نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دوازدهم. شماره چهل و پنج. پاییز۱۴۰۰

بررسی عوامل موثر بر دقت کنتورهای آب و ارائه رویکردی مناسب جهت تعویض آن‌ها با استفاده از روش خوشه بندی وشبکه عصبی مصنوعی

محمد بهروزیان[۱]، مهدی ناصری[۲]، محمد اکبری[۳]، علی نصیریان[۴]

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۰۴/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

مقاله پژوهشی

چکیده

آب بدون درآمد یکی از مهمترین مسائلی است که امروزه شرکت‌های آبفا درصدد کاهش هر چه بیشتر آن هستند و اغلب پژوهش‌های داخلی صورت پذیرفته این بخش، معطوف بر هدررفت واقعی و نشت در خطوط انتقال و توزیع آب بوده و تاکنون توجه کمتری به دومین مؤلفه آب بدون درآمد و به اختصار عدم دقت تجهیزات اندازه‌گیری صورت پذیرفته است. در این پژوهش به دلیل نبود روندی علمی و کاملا مشخص در خصوص تعویض کنتورها در شرکت‌های آبفا، مطالعات میدانی در خصوص دقت تجهیزات اندازه‌گیری و خطای کنتورهای مشترکین صورت پذیرفت و با ارائه رویکردی جدید به مقایسه محدوده عملکرد کنتورها پرداخته شد؛ ابتدا به شناسایی پارامترهای موثر بر دقت کنتورها پرداخته و سپس به روش خوشه‌بندی، کنتورها مورد مقایسه قرار گرفتند و میزان اثرگذاری هر پارامتر بر میزان دقت کنتورها مشخص گردید. به منظور پیش‌بینی نحوه عملکرد کنتورها، از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و به منظور بهینه سازی ماتریس وزن‌ها و بایاس در تابع فعالیت شبکه از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید.

واژه‌های کلیدی: دقت تجهیزات اندازه‌گیری، تلفات ظاهری، تست و تعویض کنتورها،خوشه‌بندی، شبکه عصبی مصنوعی

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، ایران، ۰۵۶۳۲۳۲۰۵۵۲ ، آدرس پست الکترونیکی mohamadbehruzian@birjand.ac.ir.

[۲] استادیار دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، ایران، ۰۵۶۳۲۳۲۰۵۵۲، آدرس پست الکترونیکی mnaseri@birjand.ac.ir. (نویسنده مسئول).

[۳] استادیار دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، ایران، ۰۵۶۳۲۳۲۰۵۵۲، آدرس پست الکترونیکی moakbari@birjand.ac.ir.

[۴] استادیار دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، ایران، ۰۵۶۳۲۳۲۰۵۵۲، آدرس پست الکترونیکی a.nasirian@birjand.ac.ir.

مقدمه

کمبود آب در ایران یکی از عوامل محدود کننده اصلی توسعه فعالیت‌های اقتصادی به‌شمار می‌آید. متأسفانه در کشور ما هنوز استفاده مطلوب از آب به شکل یک فرهنگ جایگاه خاص خود را پیدا نکرده است، به همین جهت دستیابی به تعادل نسبی در زمینه عرضه و مصرف آب یک اصل اساسی و ضروری است که این امر جز با ایجاد یک برنامه جامع مدیریت آب میسر نخواهد بود. مجموعه اقداماتی که تاکنون در کشور در ارتباط با تأمین آب کشاورزی، شهری و صنعتی انجام شده، عمدتاً در زمینه مدیریت تولید و عرضه آب بوده است و توجه کمی به مدیریت مصرف گردیده است.

آب به عنوان یک کالای اقتصادی-اجتماعی ، تولید و توسط خطوط لوله به شهرها و مشترکین ارائه می‌گردد اما با گذشت زمان، سیستم‌های انتقال آب با مشکلاتی چون کاهش قابلیت هیدرولیکی، اختلال در سرویس به مشترکین، تلفات آب و حتی پایین آمدن کیفیت آب روبرو هستند؛ از طرفی با افزایش تدریجی جمعیت در شهرها و افزایش تقاضای آبی توسط مشترکین مشکلات جدیدی مانند کمبود فشار در شبکه نیز به‌وجود می‌آید. برای جلوگیری از کمبود فشار، بایستی میزان فشار آب را در شبکه توزیع افزایش داد که این امر خود عاملی بر افزایش میزان نشت در شبکه‌های انتقال آب می‌گردد. (Saldarriaga et al. 2010).

برای غلبه بر مشکلات مدیریت فشار و اطمینان از عملکرد مداوم، کارآمد و اقتصادی یک سیستم توزیع آب، یک استراتژی بازتوانی(نو بخشی) موثر لازم است. این اقدام باعث کاهش تلفات و آب بدون درآمد، حل نارسایی‌های هیدرولیکی شبکه توزیع، رفع عوارض بهداشتی(ناشی از رسوبات، باکتری‌ها فرسودگی شبکه وغیره) وحتی مقاوم-سازی شبکه می‌گردد. (ضوابط ومعیارهای فنی عملیات اصلاح، بازسازی و نوسازی شبکه توزیع آب ۱۳۹۴). همچنین بایستی معیارهای هیدرولیکی، اقتصادی، قابلیت اطمینان‌پذیری و عملکرد کیفی آب را در نظر گرفت و از آن‌جا که منابع اقتصادی موجود برای بازسازی یک سیستم توزیع آب کم است، باید اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری را نیز در نظر گرفت(Halhal et al. 1997).

در اوایل دهه ۱۹۹۰ هیچ اصطلاح استانداردی برای بیان و ارزیابی تلفات آب در یک سیستم توزیع آب وجود نداشت. انجمن بین‌المللی آب(IWA) با توجه به این مسئله در همان سال‌ها بطور جدی بهترین شیوه‌های بین‌المللی را مورد بررسی قرار داد و تعریف استانداردی برای آب بدون درآمد بیان نمود که طبق این تعریف آب بدون درآمد شامل دو بخش: هدررفت فیزیکی(واقعی) و هدررفت ظاهری است (Frauendorfer and Liemberger 2010). مدل جدیدی از مدیریت تلفات آب ابتدا در انگلستان و سپس در برخی از کشورها شکل گرفت. "طرح ملی نشت" تحقیقات گسترده‌ای بود که توسط شرکت‌های آب انگلیس و ولز در اوایل دهه ۱۹۹۰ به انجام رسید. نتایج حاصل از این روش، یک ساختار مدیریت تلفات پیشرفته را پایه‌گذاری کرد که هم اکنون نیز از بهترین مدل‌ها در نوع خود در جهان به شمار می‌رود(Thronton 2002). در یک سیستم انتقال و توزیع آب شهری، اگر از میزان کل حجم آب ورودی به شبکه، میزان حجم آبی که برای آن قبض صادر می‌شود کم شود، تقریبی از میزان آب بدون درآمد یک شبکه بدست خواهد آمد؛ شرکت‌های آبفا همیشه درصدد آن هستند که میزان آب بدون درآمد خود را به حداقل میزان ممکن برسانند. صدور قبض‌های واقعی و دقیق نیازمند اصلی‌ترین بخش اندازه‌گیری آب مورد مصرف مشترکین یعنی کنتورهای با دقت مناسب و بالاست. در این بخش همیشه موضوعاتی نظیر دقت کنتورهای مشترکین به عنوان اولین مولفه گزارش کننده حجم مصرفی آب مشترکین و میزان اطمینان به حجم آب گزارش شده توسط کنتورها از دغدغه‌های شرکت‌های آبفا بوده است. برای مقابله با چالش-های مذکور (اطمینان از صحت و دقت اندازه‌گیری)، انجمن آب آمریکا (AWWA) توصیه‌ها و مقرراتی را برای زمان آزمایش و تعویض کنتورها با سایزهای مختلف ارائه داده است. بعنوان مثال طبق این توصیه‌ها برای کنتورها با سایزهای $\frac{5}{8}$ الی ۱ اینچ،1 الی ۴ اینچ و ۴ اینچ به بالا، بایستی به ترتیب هر ۱۰ ،۵ و ۱ سال مورد تست وآزمایش قرار گیرند(Saldarriaga et al. 2010).

هرچه میزان خطای کنتورها کمتر باشد میزان دقت آن‌ها در محاسبه حجم عبوری آب و در نهایت بدست آوردن میزان آب بدون درآمد یک سیستم دقیق‌تر خواهند بود؛ اما از آن‌جایی که دقت کنتورها در شرایط مختلف به عوامل مختلفی وابسته‌اند، این توصیه و پیشنهادات بطور کامل سازنده و قابل اجرا نمی‌باشند؛ لذا بسیاری از محققان سعی کردند فراتر از این پیشنهادات گام نهند و دستورالعمل‌های مختلفی را برای پیش‌بینی جایگزینی به موقع کنتورها پیشنهاد دهند. اکثر مدل‌های فوق‌الذکر به مفروضات ذاتی، پیچیدگی، عدم اطمینان و عوامل موثری چون شرایط نصب و راه‌اندازی کنتور، سن، کیفیت و فشار شبکه توزیع آب وغیره حساس هستند.

بعضی از کشورها درسراسر جهان، معیارهای ساده و غیر پیچیده‌ای را برای قضاوت در مورد تعویض و جایگزینی کنتورهای آب استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال، بعضی به میزان حجم عبوری کنتور و میزان کارکرد کنتور و برخی تاریخ نصب کنتور را معیار اساسی برای تعویض و نصب کنتور درنظر می‌گیرند(Davis 2005)؛ (Arregui et al.2006)؛ (Mutikanga 2012)؛ (Noss et al. (1987).

Noss et al. (1987) اظهار داشتند که دقت کنتورها بایستی در سه محدوده مختلف جریان یعنی، جریان کم، متوسط و بالا اندازه‌گیری شوند. نتایج آن ها نشان داد که در جریان کم کنتورها دارای خطای زیاد و دقت کمی هستند. پس از چندی (Allender 1996) برخی از نتایج نوس را مبتنی بر اندازه‌گیری جریان در سه دبی پیشنهادی و همچنین پایین بودن دقت کنتورها در جریان‌های پایین را تایید نمود؛ (Fontanazza et al. 2012) اظهار داشتند که تنها با دانستن سن کنتور ها و میزان حجم عبوری آب از آن‌ها نمی‌توان معیار مناسبی برای تعویض کنتورها ارائه نمود. بنابراین آن‌ها یک معیار جدید را به‌نام شاخص جایگزینی مرکب(CRI) بر اساس توصیه-های سازمان همکاری اقتصاد و توسعه(OECD) ارائه و پیشنهاد نمودند(OECD 2008).

برخی از محققان با دیدگاه متفاوتی عوامل موثر بر جایگزینی کنتور مانند مسائل اقتصادی نظیر قیمت آب و کنتورها را مورد توجه قرار دادند. از (Noss et al. 1987) و (Yee 1999) می‌توان به عنوان پژوهشگران پیش‌گام در این زمینه یاد نمود که تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام داده‌اند. در مطالعات بعدی، نشان داده شد که کاهش دقت کنتورها و مسائل اقتصادی تنها عوامل موثر در یافتن زمان مناسب برای تعویض کنتورها نمی‌باشند؛ در مدت عمر یک کنتور عواملی چون سیاست گذاری‌های جایگزینی کنتور، هزینه‌های نصب، میزان آب از دست رفته در شبکه، هزینه آزمایش ها، تعمیرات و نگهداری کنتور، قیمت کنتورهای مختلف همراه با نرخ تورم بهره‌وری و غیره، خود عواملی تاثیرگذار در این زمینه می‌باشند(Arregui et al.2010)؛ (Mutikanga 2012).

در نهایت با یک بازبینی جامع می‌توان دریافت که تحقیقات بسیاری در خصوص زمان تعویض کنتورها و شرایط تاثیرگذار و موثری که زمان تعمیر، نگه‌داری و نصب و راه اندازی مجدد کنتورها را بیان می‌نماید، صورت پذیرفته است؛ اما توجه کمتری نسبت به عوامل تاثیرگذار بر خرابی کنتورها و یا دقت کنتورها صورت پذیرفته است. نتیجه این گونه تحقیقات نه تنها به شناسایی عوامل موثر بر کاهش عملکرد و دقت کنتورها کمک می‌نماید بلکه با ایجاد یک رویه و رویکرد علمی-عملی، شرکت‌های آبفا را درصدد آن وا می‌دارد که با داشتن دید مناسب نسبت به طریقه عملکرد کنتورها، چشم‌اندازی مناسبی را برای پایش و در نتیجه ارائه خدمات مطلوب‌تر به مشترکین ارائه نمایند.

ارائه خدمات آبی مناسب همیشه از دغدغه‌های شرکت‌های آبفا در کشور بوده است. در چند دهه اخیر مجامع بین‌المللی و کشورهای توسعه یافته توجه خاصی به مسائل محدودیت‌های آبی و یافتن راه حل‌هایی در زمینه مقابله با کمبود آب به‌ویژه جلوگیری از تلفات آب در سیستم‌های انتقال و توزیع آب شهری معطوف گردیده است. موضوع آب به‌حساب نیامده در سامانه‌های آبرسانی و شبکه‌های توزیع آب شهری از مواردی است که در دهه‌های اخیر در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است و با برنامه‌ریزی‌های مدون علمی، تجارب خوبی نیز در زمینه مباحث نظری و اجرایی کاهش آن، حاصل گردیده است.

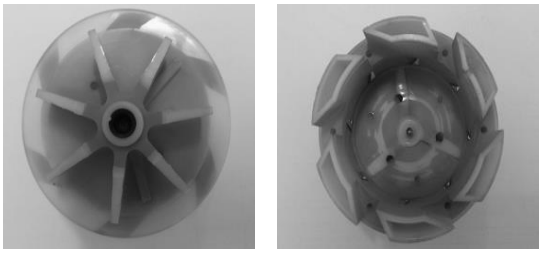
خوشبختانه این امر مهم بیش از یک دهه است که در کشورمان به صورت جدی مورد توجه قرار گرفته و ابتدا در قالب طرح ملی تحقیق، توسعه و بهسازی تاسیسات توزیع آب شهری در طول برنامه دوم توسعه و سپس به وسیله دفاتر نظارت بر کاهش آب به‌حساب نیامده در شرکت‌های آب و فاضلاب کشور به امر مطالعه و کاهش تلفات و آب به‌حساب نیامده پرداخته شده‌است (راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به‌حساب نیامده و راه‌کارهای کاهش آن ۱۳۹۱).

اگر از کل حجم ورودی آب به یک سامانه، میزان تلفات آب کاسته شود، میزان آب با درآمد(مصارف مجاز) مشخص می‌گردد. تلفات کل(آب بدون درآمد) به دو بخش تلفات ظاهری و تلفات واقعی تقسیم می‌گردد (Farley and Trow 2003). خطای تجهیزات اندازه‌گیری به عنوان بخشی از مولفه‌های اجزای آب به‌حساب نیامده در تلفات ظاهری می‌باشد که کمتر مورد توجه پژوهشگران داخلی قرار گرفته است؛ اکثر پژوهش‌ها در زمینه تلفات واقعی(نشت) سیستم‌های انتقال و توزیع آب معطوف گردیده و همچنان نیازمند توجهات بیشتری در این بخش می‌باشد. از طرفی با عنایت به رویکرد شرکت‌های آبفا جهت تعویض کنتورهای مشترکین، خلاء روشی علمی-عملی در جهت این فرایند به شدت حس می‌شود؛ لذا در این پژوهش برای نخستین بار مهمترین عوامل موثر در کاهش دقت کنتورها را به تفکیک شناسایی و میزان تاثیرگذاری آن‌ها را در خطای کنتورهای مشترکین مورد آزمایش، مشخص گردید؛ همچنین با معرفی و ارائه روش خوشه‌بندی، راهکاری بسیار مناسب در جهت اخذ تصمیم صحیح به منظور تهیه برنامه تعویض کنتورها با توجه به نحوه عملکرد، میزان خطا و دقتشان در خوشه‌های متناظر با هر کنتور به شرکت‌های آبفا ارائه گردید. در این پژوهش دبی شروع کنتور به عنوان دبی حساس معرفی گردیده و آزمایشی مبتنی بر دقت کنتورها در محاسبه حجم مصرفی آب یک کولر آبی اجرا و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. با توجه به تلاش‌های صورت پذیرفته در این پژوهش، تنها بخشی از تلفات ظاهری یک شبکه انتقال آب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است و می‌توان جنبه های دیگر آن را نیز به صورت عملیاتی مورد پژوهش قرار داد. باتوجه به اینکه بیشتر شرکت‌های آبفا بایستی داده‌های مربوط به تعداد زیادی از مشترکین را مدیریت نمایند بنابراین خطای ناشی از ضعف دقت کنتورها در ثبت داده‌ها، می‌تواند تحت تاثیر حجم زیادی از داده‌های پنهان بماند.

مواد و روش‌ها

خطای کنتور

بدلیل مکانیکی بودن اغلب کنتورهای آب و متفاوت بودن جنس مکانیسم، در دراز مدت دقتشان کاهش و یا از دست می‌رود که متاسفانه شرکت‌های آبفا، دقت اغلب کنتورهای مشترکین خود را مورد بررسی دقیق قرار نمی-دهند و نتیجه آن، افزایش تلفات ظاهری وتبعات منفی دیگری است(شکل ۱).



(الف) (ب)

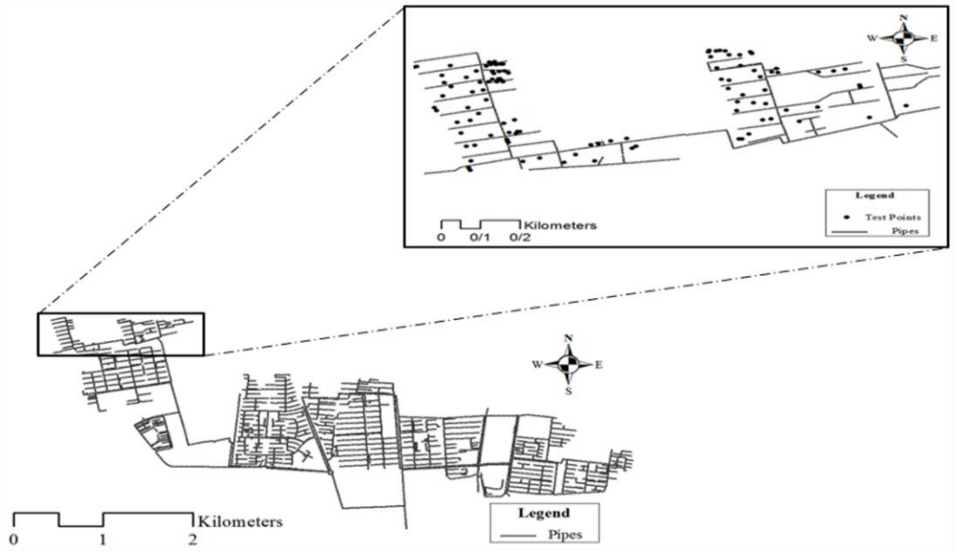
شکل (۱): الف- اصطکاک قسمت تحتانی توربین با کف محفظه حوضچه توربین، ب- ساییده شدن کف حوضچه در اثر اصطکاک با توربین و کاهش میزان دقت کنتور.

با توجه به اینکه کنتورها را می‌توان به عنوان اولین جزء تعیین کننده میزان حجم مصرفی آب مشترکین نام برد، لذا شرکت های آبفا بایستی اقداماتی در جهت شناسایی و رفع مشکلات خطای کنتورها در قرائت صحیح حجم عبوری آب انجام دهند. با اینکه بیشتر شرکت‌های آب آمریکای شمالی مصرف مشترکین خود را اندازه‌گیری می‌نمایند، شرکت‌های زیادی نیز این کار را با دقت انجام نمی‌دهند. بعنوان مثال ۵۶٪ ساکنین کشور کانادا از سال ۱۹۹۹ الی ۲۰۰۸ مورد رصد و اندازه‌گیری قرار می‌گرفتند اما بقیه‌ی مشترکین مستثنی بودند و نرخ ثابتی را به عنوان هزینه آب مصرفی پرداخت می‌نمودند (Thronton 2002). همانطور که کنتور باید داده‌ها را با دقت ثبت کند

مراحل بعدی نظیر کنتورخوانی، انتقال داده‌ها و عملیات ثبت و بایگانی باید به دقت صورت پذیرد.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند واقع در خراسان جنوبی یکی از قدیمی‌ترین شهرستان‌های کشور است که به سیستم انتقال آب شهری دست یافته‌است. این شهرستان مرکز استان خراسان جنوبی با جمعیتی بالغ بر ۲۰۳۶۳۶ نفر بوده که تقریبا تمامی این جمعیت تحت پوشش سیستم آبرسانی قرار دارند. شبکه توزیع آب این شهر به هفت زون فشاری تقسیم شده و منطقه مورد مطالعه واقع در زون D این شهرستان که دارای ۱۵۱۶ مشترک می‌باشد، است و به دلیل متنوع بودن نوع کنتورهای مشترکین، تغییرات زیاد فشاری در طی ۲۴ ساعت، کاربری‌های متنوع، تفاوت سنی زیاد کنتورها و همچنین نشت‌یابی های مکرر صورت پذیرفته در این ناحیه، این منطقه به عنوان پایلوت مطالعاتی لحاظ گردید.



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی زون D و موقعیت نقاط تست در پایلوت مطالعاتی

شبکه عصبی و تئوری خوشه‌بندی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با بهره‌مندی و الهام پذیرفتن از مغز انسان، به پردازش و تجزیه و تحلیل الگوها و یا طبقه‌بندی داده‌ها از طریق فرآیند یادگیری می‌پردازند. یادگیری در شبکه‌ها به دو صورت نظارت شده و بدون نظارت است که یک مجموعه پیچیده متشکل از نرون‌های به هم متصل، در فرآیند یادگیری دخیل هستند. یکی از پرکاربرد ترین مدل‌های عصبی موجود، مدل پرسپترون[1] چند لایه می‌باشد که عملکرد انتقالی مغز انسان را در شبکه به صورت شبیه‌سازی، اجرا می‌نماید. شبکه‌های عصبی پرسپترونی، توانایی برای تولید یک هدف مشخص متناظر با بردار ورودی را دارند. یک مدل شبکه عصبی پرسپترونی چند لایه شامل سه بخش: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی است. دقت در این‌گونه از شبکه‌ها وابسته به تعداد لایه‌های میانی، تابع فعالیت و تعداد نرون‌ها در هر لایه می‌باشد که لزوما افزایش تعداد لایه‌های پنهان(لایه‌های مخفی) و نرون‌ها به منزله افزایش دقت و رسیدن به بهترین و نزدیک‌ترین جواب‌ها نمی‌باشد؛ زیرا در بسیاری از موارد با افزایش تعداد نرون‌ها و لایه‌های میانی، حجم محاسبات بیشتر شده و مدت زمان رسیدن به جواب‌های نهایی افزایش خواهد یافت. یکی از کاربردهای شبکه‌های چند لایه پرسپترونی، حل مسائل طبقه‌بندی می‌باشند.

[1] MLP (Multilayer Perceptron)

خوشه‌بندی[1] یکی از چند قالب مهم مسائلی است که در کاربردهای مختلف یادگیری ماشین[2] و داده‌کاوی[3] مطرح می‌شود. خوشه‌بندی یکی از گونه مسائل یادگیری غیر نظارت شده است. هنگامی مسائل خوشه‌بندی پیچیده می‌گردند که تعداد خوشه‌ها نامعلوم بوده و الگوریتم موظف به یافتن تعداد خوشه‌ها باشد. در این حالت، حل مسائل پیچیده خوشه‌بندی گاهی می‌تواند خارج از توان الگوریتم خوشه‌بندی باشد. یکی از راه حل‌هایی که برای این موضوع در نظر گرفته می‌شود، تبدیل مسئله خوشه‌بندی یه یک مسئله بهینه‌سازی و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و هوشمند است.

روش تحقیق

دقت کنتورها تحت تاثیر دوعامل اصلی قرار دارند : تاثیر جریان بر اجزای مکانیکی(مکانیسم) کنتور و اندازه مناسب کنتور با توجه به پروفیل مصرف. کنتورها حتی در بهترین شرایط نیز پس از گذراندن مدت زمان مشخصی، فرسوده شده و سرانجام به آستانه دقت خود می‌رسند.

جهت شناسایی بهتر عوامل موثر بر دقت کنتورها، در ابتدا ۱۸ کنتور تعویض شده خراب، از شرکت‌های سازنده مختلف(مدل‌های متفاوت) بطور کامل باز و مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهایی نظیر عمر، عملکرد در شرایط فشاری متفاوت، کاربری مختلف، عمق قرارگیری کنتورها و محصور یا غیر محصور بودن کنتورها(پارامتر دما)، مدل(برند) کنتورها و قطر کنتورها ($\frac{1}{2}$ اینچ و $\frac{3}{4}$ اینچ) به عنوان فاکتورهای احتمالی تاثیر گذار بر دقت کنتورهای منطقه و طریقه حمل و نصب کنتورهای مشترکین (ضربه خوردن و آسیب دیدن کنتورها) نیز به عنوان مهمترین عوامل تاثیرگذار مشخص گردید.

ابتدا حجم نمونه آماری از جامعه، با استفاده از فرمول کوکران با میزان خطای ۰/۱ محاسبه گردید. سپس با روش نمونه‌گیری خوشه‌ای، منطقه مورد مطالعه به بخش‌های کوچکتر تقسیم گردید و با تهیه و تنظیم جدول ثبت اطلاعات، تست کنتورهای مشترکین به منظور تعیین خطای کنتورها و بررسی عوامل موثر موجود بر خطای هر کنتور، صورت پذیرفت. کنتور مرجع مورد استفاده در این تحقیق،کنتور التراسونیک PT901 مدل پرتابل با قابلیت تست کنتور مشترکین در محل نصب کنتور می باشد، است که قبل از انجام تست کنتورهای مشترکین با دستگاه التراسونیک بجر[4] سری E تست و کالیبره گردید.

تست کنتورهای مشترکین در مدت سه ماه کاری صورت پذیرفت و تعداد ۱۱۷ کنتور مشترک در طی این فرآیند مورد تست و آزمایش قرار گرفتند اما به منظور افزایش دقت، تعداد ۲۱ تست حذف و در نهایت نتایج تست ۹۶ کنتور منتخب به عنوان کنتورهای نهایی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصل مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی گردید. در منطقه مذکور ابتدا به منظور جلوگیری از خطا، نشت‌یابی انشعابات از کنتور مشترکین به بعد با دستگاه FSB از محصولات شرکت فوجی‌تیکام[5] صورت پذیرفت و مشترکینی که دارای نشت داخلی بودند مشخص گردیدند؛ همچنین مشترکینی که دارای سوابق نشت قبلی بودند نیز مورد بررسی قرار گرفتند و از آزمایش ها حذف گردیدند. پس از اطمینان حاصل نمودن از بسته بودن شیرهای مشترک و ایست کامل کنتور، روند انجام تست‌زنی صورت پذیرفت.

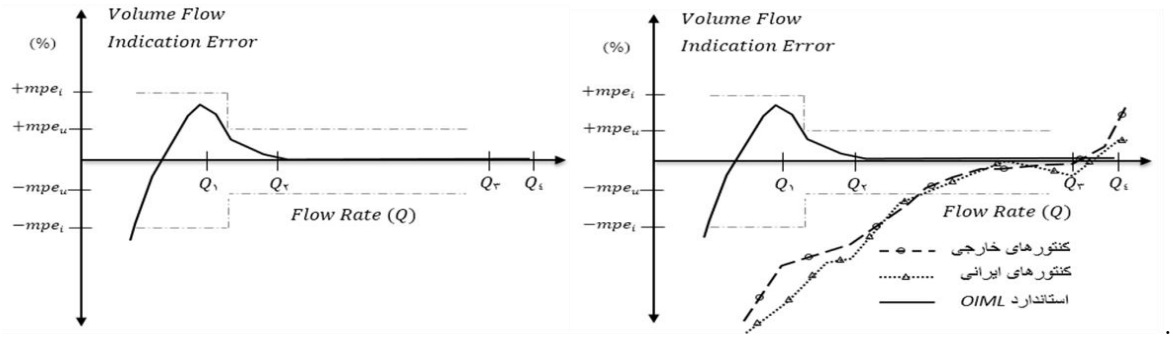
[1] Clustering
[2] Machine Learning
[3] Data Mining
[4] Badger
[5] Fuji Tecom

جدول(۱): نتایج حاصل از بررسی تست کنتورهای پایلوت منطقه

پارامترها/ آیتم‌ها	شرح
عمر(سن) کنتور	۴ ماه الی ۲۱ سال و ۳ ماه
عمق قرارگیری کنتور	۱۵ الی ۶۵ سانتی‌متر
کاربری	مسکونی، تجاری، کارواش، نانوایی و مسجد
فشار کاری کنتور	۱/۸ الی ۴/۲ بار
خطای کنتور	٪ -۵۲/۲۹ الی ٪+۱۲/۱۷
دما	شرایط محصور یا غیر محصور بودن کنتورها
قطر کنتور	$\frac{1}{2}$ الی $\frac{3}{4}$ اینچ
مدل کنتور	آبان، آبفر(دوریس)، اترک، بایلان، ایران‌انشعاب، پرشیا، Elester، Unimag

با توجه با الزامات اندازه‌گیری، برای هر کنتور چهار محدوده دبی جریان معرفی گردیده و منحنی عملکرد و خطای آن رسم شدند(شکل ۳- الف). با توجه به شکل، Q_1 حداقل جریانی است که از کنتور عبور می‌کند و خطای عملکردی کنتور وارد محدوده $\pm 5\%$ می‌شود بیان می‌گردد. Q_2 مقدار دبی است که در آن خطای عملکرد کنتور از محدوده $\pm 5\%$ وارد محدوده $\pm 2\%$ می‌شود.

Q_3 دبی است که کنتور بصورت پیوسته و متناوب، بدون تجاوز از خطای مجاز $\pm 2\%$ کار می‌کند بیان می‌گردد و Q_{max} حداکثر میزان دبی است که کنتور بدون تجاوز از خطای مجاز $\pm 2\%$ و افزایش خطای این مقدار می‌تواند پیوسته عمل کند، است. با توجه به کاتالوگ‌های موجود شرکت‌های سازنده کنتورها (هشت مدل کنتور مورد تست در این تحقیق) دبی‌های جریان در دبی‌های Q_s، Q_1، Q_2، Q_3 و Q_{max} تنظیم و اندازه‌گیری گردید و میانگین میزان خطای کنتورها در هر مدل و در هر دبی مشخص گردید(جدول ۲). طریقه محاسبه میزان خطا در دبی‌های مذکور به روش حجمی و تعداد تکرار تست‌ها در هر دبی به منظور جلوگیری از خطای آزمایش، تا چهار بار تکرار صورت پذیرفت؛ به دلیل اندک و حساس بودن میزان دبی شروع در کنتورها، میزان خطا در دبی شروع هر کنتور با بشر مدرج سنجیده و محاسبه گردید. به منظور حفظ مسائل حقوقی شرکت‌های سازنده کنتور از آوردن مستقیم نام اختصاری کنتورها در جدول ۲ خودداری گردیده است. بدیهی است در صورت لزوم و نیاز، نتایج حاصل از این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده می‌تواند در اختیار شرکت‌های آبفا قرار گیرد



شکل (۳): الف- نمونه‌ای از منحنی خطای کنتور آب(استاندارد OIML-R۴۹)(ISO 2005)، ب- مقایسه دو دسته کنتور ایرانی و خارجی با استاندارد OIML-R۴۹.

لازم به ذکر است که با توجه به نتایج بدست آمده از تست کنتورهای مشترکین، برای قیاس بهتر نحوه عملکرد کنتورها با توجه شرایط مختلف ذکر شده در جدول (۱)، ابتدا کنتورها از نظر مکانیسم به دو دسته ایرانی و خارجی تقسیم و میزان خطای کنتورها با استاندارد(OIML R-49) مقایسه گردید (شکل ۳-ب).

جدول(۲): میانگین درصد خطای کنتورها در دبی‌های مختلف به روش حجمی.

نام کنتور	Q_s	Q_1	Q_2	Q_3	Q_{max}
کنتور شماره ۱	-۱۹/۸۷	-۹/۴۸	-۵/۴۶	+۰/۴۳	+۲/۴۱
کنتور شماره ۲	-۵۳/۲۹	-۲۱/۵۵	-۶/۸۳	-۳/۹۵	-۰/۰۷
کنتور شماره ۳	-۳۱/۵۲	-۱۹/۶۵	-۸/۳۲	-۰/۱۴	+۴/۸۷
کنتور شماره ۴	-۳۵/۳۵	-۲۲/۸۳	-۱۱/۴۳	-۰/۸۳	-۰/۳
کنتور شماره ۵	-۲۷/۲۴	-۱۰/۸۵	-۶/۲۵	-۱/۷۴	+۱۲/۱۷
کنتور شماره ۶	-۴۷/۹۵	-۲۹/۳۵	-۱۶/۱	-۴/۸۱	-۰/۲۱
کنتور شماره ۷	-۲۵/۶۷	-۱۲/۱۳	-۵/۶۶	+۳/۷۷	+۱/۰۵
کنتور شماره ۸	-۴۲/۸۳	-۲۴/۸۸	-۱۳/۶۱	-۱/۹۹	-۰/۵۷

نتایج و بحث

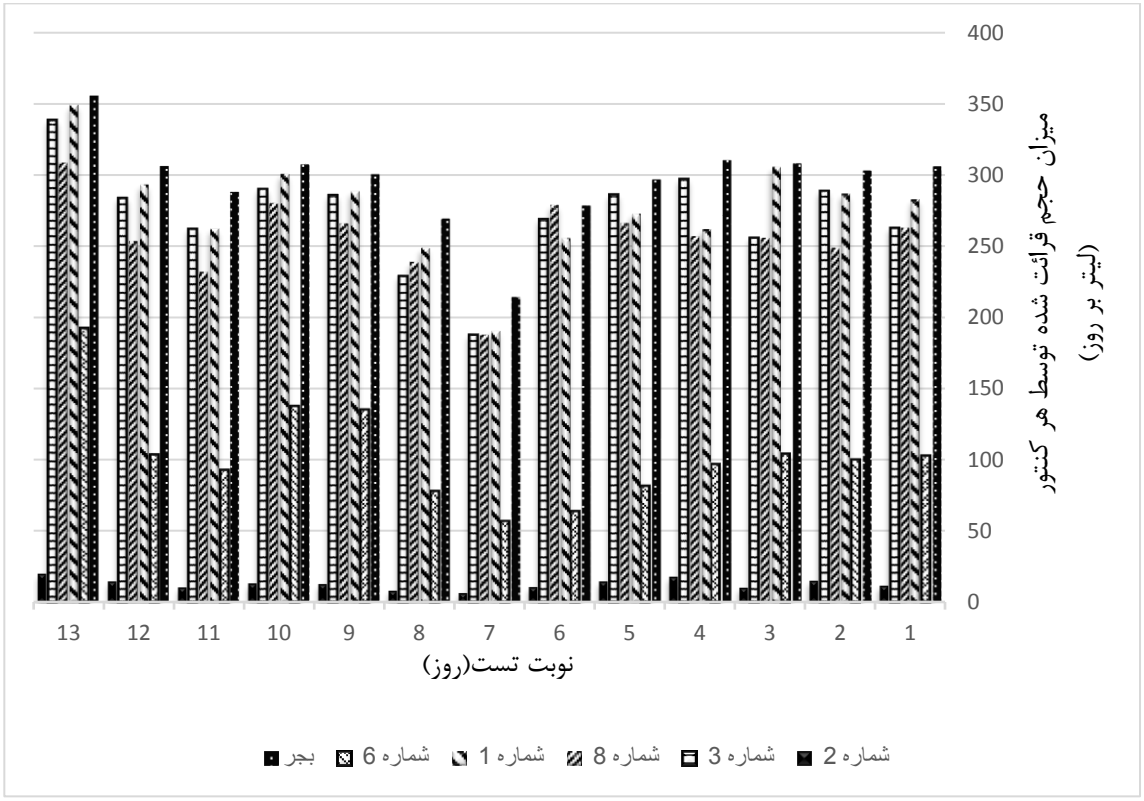
اهمیت دبی شروع در کنتورها

با توجه به آزمایش‌های تست کنتور در بخش قبل مشخص گردید که کنتورها در دبی شروع دارای خطای بسیار زیادی نسبت به استاندارد هستند و تصور بر آن است که کنتورها قادر به قرائت میزان حجم آبی که کولرهای آبی مصرف می‌کنند، نیستند؛ لذا در آزمایشی مکمل، پنج کنتور نو با دقت‌های متفاوت در دبی شروع با عنایت به جدول (۲) انتخاب گردیدند.

با توجه به منطقه مورد مطالعه از نظر کاربری غالب، کولر مورد آزمایش با ظرفیت هوادهی ۴۵۰۰ (فوت مکعب) انتخاب گردید.کنتور مرجع برای محاسبه حجم دقیق آب مصرفی کولر، کنتور التراسونیک بجر[1] سری E و پنج کنتور مذکور با این کنتور به صورت سری نصب گردیدند. این تست بصورت ۲۴ ساعته، در ماه مرداد با دمای حداقل ۲۳/۵ و حداکثر ۴۱ درجه سانتی‌گراد، در مدت ۱۳ روز با فشار متوسط حدود ۳ بار[2] و بدون سایبان صورت پذیرفت. در پایان هر ۲۴ ساعت میزان حجم قرائت شده توسط هر کنتور خوانده و با کنتور التراسونیک مرجع مقایسه و ثبت گردیدند(شکل ۴).

[1] Badger

[2] Bar



شکل (۴): مقایسه پنج کنتور انتخابی با کنتور مرجع

در این آزمایش تمامی پارامترها نظیر سن کنتور، فشار، قطر، دما، و شرایط محیطی، یکسان و ثابت اختیار گردید و نتایج نحوه عملکرد کنتورها در دبی‌های بسیار پایین گزارش گردید. بر طبق انتظار کنتورهای شماره ۲ و شماره ۶ از عملکرد نامناسبی در مقایسه با دیگر کنتورها برخوردار بودند.

خوشه‌بندی داده‌ها

خوشه‌بندی الگوریتمی است بسیار مناسب برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های مقیاس‌پذیر، برای رسیدن به داده‌های بسیار وسیع که قادر به مدیریت هر دو دسته داده-های کمی و کیفی(پیوسته و گسسته) می‌باشد، است. در گام نخست ابتدا داده‌ها از نظر شباهت به خوشه‌های بسیار کوچک تقسیم می‌شوند و در گام دوم اگر تعداد خوشه‌های مورد نظر ناشناخته و از قبل تعیین شده نباشند، بصورت خودکار تعداد خوشه‌های مناسب پیدا و تعداد آن ها بهینه می‌شوند. نتایج حاصل از این روش نه تنها دارای دقت و سرعت نتایج حاصل از این روش نه تنها دارای دقت و سرعت مناسبی است بلکه با این روش می‌توان داده‌ها را خوشه-بندی نمود تا نتایج کار در قالب خوشه قابل مشاهده و با یکدیگر مقایسه گردند(Fraley and Raftery 1998).

به منظور خوشه‌بندی ۹۶ کنتور مورد آزمایش و میزان دقت داده‌های اندازه‌گیری شده و همچنین ترتیب اثرپذیری پارامترها در قیاس با یکدیگر، ابتدا تمامی داده‌ها و پارامترهای موثر، در نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS وارد گردید. بدلیل پراکندگی و تقسیم شدن داده‌ها به دو دسته کمی(عمر، فشار، قطر، عمق قرارگیری وخطای کنتورها) و کیفی(کاربری، مدل کنتور و محصور یا غیرمحصور بودن) و همچنین مشخص بودن ویژگی‌های پارامترها، از روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای[1] داده‌ها و پارامترها مورد آنالیز قرار گرفتند. خوشه‌بندی دو مرحله‌ای روشی بسیار مناسب جهت مشاهده حداکثر تشابه کنتورها در مدل‌ها و شرایط کاری

[1] Two step Clustring

مختلف می‌باشد که امکان مقایسه همزمان پارامترهای تاثرگذار در خوشه‌های بدست آمده را فراهم می‌سازد. پس از آنالیز داده‌ها، تعداد بهینه خوشه‌ها[1] ، سه خوشه با کیفیت خوب[2] تعیین گردید(جدول ۳).

جدول(۳): خوشه‌بندی دو مرحله‌ای و تعیین محدوده خوشه‌ها

خوشه ۳	خوشه ۲	خوشه ۱	اثرگذارترین پارامترها
۹ الی ۲۱/۳	۶ الی ۱۹	۰ الی ۲۰	سن کنتور(سال)
۰/۲۵ الی ۰/۶۵	۰/۱ الی ۰/۵۵	۰ الی ۰/۴۵	عمق قرارگیری(سانتی‌متر)
۲/۵ الی ۴/۲	۲ الی ۳/۵	۱/۸ الی ۳	فشار کاری کنتور(بار)
تجاری، کارواش	مسکونی، مسجد، تجاری	نانوایی، مسکونی	کاربری
کنتور شماره ۵ و شماره ۸	کنتور شماره ۱، شماره ۲، شماره ۴، شماره ۶ و شماره ۸	کنتور شماره ۱، شماره ۳ و شماره ۷	مدل کنتور(هشت مدل)
$\frac{3}{4}$ و $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	قطر کنتور(اینچ)
۶۱- الی ۱۹/۳-	۶۰- الی ۱۶-	۵۵- الی ۲-	خطای کنتور در Q_s (درصد)
۴۸/۸- الی ۵/۶-	۵۰- الی ۴/۰۴-	۴۸- الی ۲-	خطای کنتور در Q_1
۴۳- الی ۲+	۴۱- الی ۵+	۲۰- الی ۱+	خطای کنتور در Q_2
۱۸- الی ۱۲/۵۶+	۲۳- الی ۸+	۸- الی ۵+	خطای کنتور در Q_3
۱۱- الی ۸+	۱۵- الی ۱۴/۰۹+	۰ الی ۵+	خطای کنتور در Q_{max}

در جدول فوق سه پارامتر کاربری، عمق قرارگیری کنتور و فشار، به عنوان بهترین گزینه‌های پیشنهادی برای عملکرد مناسب‌تر کنتورها در شرایط یکسان لحاظ گردیده است. در خوشه اول محدوده سنی کنتور ها بیشتر از دو خوشه دیگر می‌باشد اما از نظر دقت، این خوشه با کیفیت-ترین خوشه شناسایی گردید. کنتور شماره یک بدلیل تنوع سنی کمتر نسبت به کنتورهای خوشه اول، کنتوری با عملکرد مابین خوشه‌ای گزارش گردید و پارامتر عمر بیشترین تاثیر در حرکت این کنتور از خوشه شماره یک به شماره دوم بود.

کنتورهای خوشه دوم دارای عملکردی متوسط در مقایسه با دو خوشه دیگر ارزیابی گردیدند؛ کنتورهای این خوشه مناسب برای کاربری‌هایی با حجم آب مصرفی زیاد در مدت زمان محدود معرفی گردید. به عنوان مثال این کنتورها دقت بیشتری در گزارش حجم آب مصرف شده توسط مشترکینی که به صورت همزمان از یک کنتور استفاده می‌نمایند را دارا هستند(در برخی از موارد مشاهده می‌شود که تنها یک کنتور وظیفه قرائت حجم آب مصرفی دو یا سه خانوار و یا حتی دو کاربری مجزا را در اختیار دارند).

کنتورهای خوشه شماره سوم عملکرد مناسب‌تری در فشارهای بالا به نسبت دو خوشه دیگر دارند اما باید توجه داشت که کنتورهای این خوشه به نسبت دو خوشه دیگر از سن کمتری اما خطای بیشتری برخوردار هستند. مشاهده می‌شود که کنتور شماره ۸ نیز کنتور بین خوشه‌ای قلمداد گردیده و شرایط سن کنتور فشار بسیار تاثیرگذار در دقت این کنتور مشخص گردید. این دو دسته کنتور کنتورهایی هستند که بایستی در اولویت تعویض قرار گیرند؛ هرچند که این ملاحظات نیز برای خوشه دوم نیز بایستی در نظر گرفته شود اما با حساسیتی نسبتا کمتر.

در روند تحلیل خوشه‌ای، اثرگذارترین پارامتر ابتدا سن کنتور و سپس کاربری، فشارکاری کنتور، عمق‌قرارگیری کنتور(محصور یا غیر محصور بودن) و در نهایت قطر کنتور مشخص گردید.

با توجه به خوشه‌بندی صورت پذیرفته و نتایج جدول ۲ که کنتورهای شماره ۸ و ۳ به ترتیب از کمترین و

[1] Clusters

[2] Good Quality

بیشترین دقت برخوردار بودند، پارامتر ضریب تغییرات مورد ارزیابی قرار گرفت. کنتورهای شماره ۸ و ۳ در دبی شروع به ترتیب دارای ضریب تغییرات ۰/۱۷ و ۰/۱ و همچنین ضریب تغییرات این دو کنتور در دبی بیشینه به ترتیب ۱۰/۳۴ و ۰/۷ محاسبه گردید.

پیش بینی دقت کنتورها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

شرکت‌های آبفا بطور معمول سه رویکرد در تعویض کنتورهای مشترکین دارند: ایست کامل کنتور و مراجعه مشترکین به منظور کم‌کار یا پرکار بودن کنتور، تجزیه و تحلیل دوره‌ای مصارف مشترکین کم‌کار تا ۵ الی ۶ مترمکعب در هر دوره و رویکرد سوم تعویض بر اساس عمر کنتورهای مشترکین از ۸ الی ۱۰ سال به بالا می‌باشد. به منظور پیشبینی نحوه عملکرد و دقت کنتورها و قرارگیری آنها در خوشه مناسب خود، نیاز به ابزاری قابل اعتماد جهت مدل‌سازی نگاشت‌های پیچیده موجود بین متغییرهای مختلف است که در این بخش از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. شبکه‌های عصبی با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی ، روابط بین داده‌ها را تخمین زده یا اصطلاحا آموزش می‌بیند به نحوی که پس از آن به ازای یک عضو جدید از مجموعه ورودی‌ها، خروجی متناظر با آن را تخمین زده و پیشبینی می‌کند.

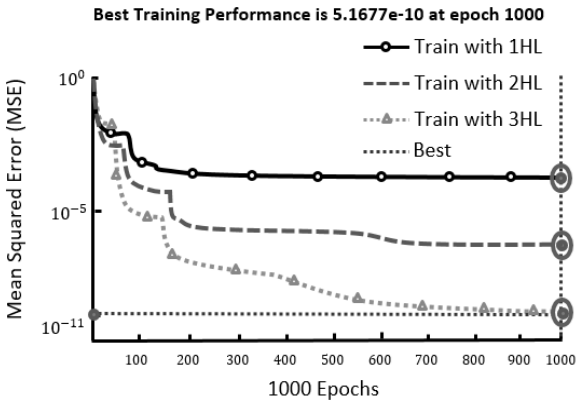
به منظور ایجاد الگویی مناسب ابتدا داده‌ها نرمالیز و به شبکه معرفی گردیدند؛ سپس ۸۰٪ از داده‌ها به عنوان داده-ها آموزش و حدود ۲۰٪ داده‌ها، به عنوان داده‌های آزمونی(تست) به شبکه اختصاص یافت و شبکه‌ای با پنج لایه(سه لایه پنهان و لایه های ورودی و خروجی) بنا گردید. با توجه به اثرگذارترین آیتم‌های شناسایی شده در بخش قبل و نتایج حاصل از خوشه‌بندی(جدول ۳)، لایه ورودی شبکه متشکل از پارامترهای سن کنتور، فشار کاری کنتور، قطر کنتور، کاربری و عمق قرارگیری کنتورها و لایه خروجی، خوشه کنتورها لحاظ گردید و به منظور بهینه سازی ماتریس وزن‌ها[1] و بایاس‌ها[2] در تابع فعالیت شبکه از الگوریتم ژنتیک[3] با ده هزار نسل[4] استفاده گردید. دقت شبکه طراحی شده با استفاده از میانگین مربعات خطا[5] و جذر میانگین مربعات خطا[6] در محیط نرم افزار متلب سنجیده شد، این مقدار برابر با $5/1677\times10^{-10}$ و در نهایت دقت بسیار مناسبی گزارش گردید.

در گام نهایی حدود ۲۰٪ از داده‌ها که به عنوان عضو جدید به الگوریتم معرفی و خروجی‌های متناظر با آنها تخمین و پیشبینی شد. مطابق شکل ۵–ب، مشاهده می-شود که روند پیشبینی، بسیار با داده‌ها در واقعیت نزدیک و متقارن است و دقت کلاسه‌بندی تایید گردید.

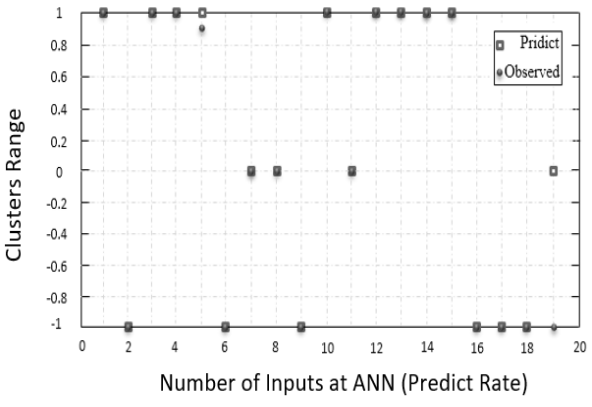
به سبب رسیدن به دقت مناسب‌تر در آموزش داده‌ها ابتدا از یک و سپس از دو و سه لایه پنهان استفاده گردید و میزان خطا مطابق شکل ۵-الف گزارش گردید. همان‌گونه که در شکل ۵-ب مشخص است میزان دقت خوشه‌بندی الگوریتم شبکه عصبی در سه کلاس مختلف با خوشه واقعی متناظر هر داده مقایسه گردیده و همانطور که مشاهده می-شود در ۱۹ داده پیشبینی شده توسط شبکه تنها داده نوزدهم در خوشه نظیر خود قرار نگرفته و داده پنجم نیز از جمله موارد بین خوشه‌ای که در بخش قبل اشاره شد، مشخص گردیده است. لازم به ذکر است سه خوشه اصلی که در جدول ۳ بیان گردیده‌اند به ترتیب نماینده اعداد ۱، ۱- و ۰ در محور عمودی شکل می‌باشند.

با توجه به شکل ۵-ج مشاهده می‌شود که به مقایسه دقت واقعی نوزده کنتور با شبکه عصبی در دبی اسمی (Q_n) پرداخته شده‌است. لازم به ذکر است که به دلیل مشخص بودن میزان خطای هر کنتور(۱۹ کنتور در بخش قبل) مقایسه‌ای با پیشبینی میزان دقت کنتورها توسط شبکه عصبی صورت پذیرفت و میزان ضریب $R^2 = 94\%$ برآورد گردید.

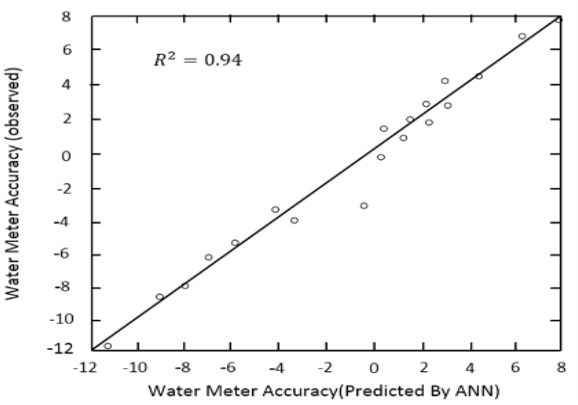
[1] Weights
[2] Biases
[3] Genetic Algorithm
[4] Generation
[5] MSE (Mean Squared Error)
[6] RMSE (Root Mean Squared Error)



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۵): الف- مقایسه عملکرد الگوریتم با یک، دو و سه لایه پنهان؛ ب- پیشبینی روند الگوریتم در ورودی داده‌های جدید در سه کلاس ۱، ۱- و ۰ ؛ ج- مقایسه پیشبینی دقت کنتورها توسط شبکه عصبی با واقعیت.

نتیجه‌گیری

نتایج حا صل از خو شه‌بندی و تحلیل پارامترها ن شان داد که شـــرکت‌های آبفا می‌توانند رویکرد مناســـب‌تری با توجه به شـــرایط محیطی مختلف جهت تعویض و تســـت کنتورها را پیش بگیرند؛ با توجه به خوشـــه‌بندی صـــورت پذیرفته مشـــخص گردید که پارامترعمر(ســـن) کنتور به تنهایی نمی‌تواند ملاک تعویض آن باشـــد بلکه پارامترهای دیگر شـــناســـایی شـــده نیز بســـیار موثر در دقت کنتورها می‌با شند؛ کنتورهای شنا سایی شده در خو شه اول دارای عمر نسبتا بالاتری از دو خوشه دیگر هستند اما دقت آن‌ها در دبی‌های مختلف بیشتر از دو کلاس دیگر هستند؛ بطور کلی مشـــخص گردید میزان دقت کنتورها در قرائت حجم آب مصـــرفی مشـــترکین در دبی شـــروع بســـیار پایین وبا افزایش دبی به سمت دبی ا سمی، به میزان دقت کنتورها افزوده می‌شـــود. در مقایســـه با تحقیقات صـــورت پذیرفته لازم به ذکر اســـت که دبی شـــروع از اهمیت به‌ســـزایی برخوردار بوده که در این تحقیق به آن پرداخته شده است و این موضوع در تحقیقات دیگران انجام نشده است. نتایج این پژوهش نشـــان می‌دهد که عملکرد اکثر کنتورها در دبی ا سمی بر ا ساس ا ستاندارد OIML از دقت قابل قبولی برخوردار بوده که با نتایج حاصـــل از تحقیقات گذشـــته، هم‌خوانی دارد.

با توجه به خوشـــه‌بندی صـــورت پذیرفته، به ترتیب کنتورهای شماره ۸ و ۳ از کمترین دقت (کیفیت ساخت پایین) و بیشـــترین دقت(کیفیت ســـاخت بالا) برخوردار بودند که به جهت مقایســـه، از پارامتر ضـــریب تغییرات ا ستفاده گردید. کنتورهای شماره ۸ و ۳ در دبی شروع به ترتیب دارای ضـــر یب تغییرات ۰/۱۷ و ۰/۱ بوده و این

درحالی‌ست که این دو کنتور از دو مدل و کارخانه ساخت متفاوت و همچنین کنتورهای مورد آزمایش قرار گرفته از هر کدام از این دو مدل دارای سنین متفاوت می‌باشند. مشاهده می شود ضریب تغییرات هر دو مدل تقریبا ناچیز است و مبین این نکته است که خطای کنتورها در دبی شروع بسیار اندک تحت تاثیر مدل و سن کنتور می‌باشد. همچنین ضریب تغییرات این دو کنتور در دبی بیشینه به ترتیب ۱۰/۳۴ و ۰/۷ محاسبه گردید که می‌توان نتیجه گرفت مدل و سن کنتور در میزان دقت کنتور در دبی بیشینه اثرگذار می‌باشد.

کنتورهای مولتی جت از تک جت دارای دقت به مراتب بالاتری برخوردارند؛ کنتورهای محصور که در حوضچه‌های زمینی مستقر بودند به دلیل محافظت کنتور در برابر دماهای شدید(سرما و گرما)، میدان‌های مغناطیسی و ضربه نسبت به کنتورهای غیر محصور، از دقت مناسب‌تری برخوردار می‌باشند. کنتورها به شدت به ضربه حساس هستند و در صورت ضربه خوردن به میزان قابل توجهی کم‌کار و گاهی نیز پرکار می‌شوند و درنتیجه دچار خطا در ثبت حجم آب می‌گردند. کنتورهای تر و نیمه تر در مقایسه با کنتورهای خشک در دبی شروع، دارای دقت کمتر و در نتیجه خطای بیشتری هستند.

کنتورهایی که با توجه به شرایط محیطی(چه محصور و چه نا محصور) بصورت شیبدار یا اریب نصب گردیده‌اند دچار اشتباه بیشتری در ثبت حجم آب عبوری از خود می‌شوند. کیفیت آب پارامتری بسیار تاثیر گذار در دقت کنتورهاست و وجود ناخالصی‌های معلق در آب، نظیر شن و ماسه بسیار ریز در دراز مدت در محفظه کنتور برای حرکت توربین اختلال و خطای زیادی در ثبت کنتورها ایجاد می‌نمایند.

استفاده ار کنتورهای باکیفیت(استفاده از کنتورهای کلاس C به جای کلاس B)، استفاده از انشعابات استاندارد و مناسب، وضع قوانین سخت‌گیرانه به جهت جلوگیری از افزایش انشعابات غیرمجاز، پیشنهاد استفاده از لوله‌های روکار در منازل مشترکین و در نهایت یکنواخت کردن فشار شبکه در مناطق با توجه به میزان نیاز آبی منطقه، خود عواملی بسیار تاثیرگذار در کاهش میزان تلفات ظاهری خواهند بود.

منابع

راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن، ۱۳۹۱ ، نشریه ۵۵۶، ص ۲-۱.

ضوابط و معیارهای فنی عملیات اصلاح، بازسازی و نوسازی شبکه توزیع آب، ۱۳۹۴، ضابطه شماره ۶۸۷، ص ۲-۱.

Allender, H.D., 1996. Determining the economical optimum life of residential water meters. Water Eng. Manag. 143 (9): 20-24.

Arregui, F.J., Cobacho, R., Cabrera Jr., E., Espert, V., 2010. Graphical method to calculate the optimum replacement period for water meters. J. Water Resour. Plann. Manag. 137 (1): 143-146.

Davis, S.E., 2005. Residential water meter replacement economics. In: Proceedings of IWA Leakage 2005 Conference: 1-10.

Farley, M., Trow, S. (Eds.), 2003. Losses in Water Distribution Networks: a Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA publishing.

Frauendorfer, R.; Liemberger, R., 2010. The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water; Asian Development Bank: Mandaluyong, Philippines.

Fraley, Ch., Raftery, A., 1998 . How Many Clusters? Which Clustering Method? Answers Via Model-Based Cluster Analysis. The Computer Journal, Vol. 41, No (8): 579- 584.

Farley, M., Trow, S. (Eds.), 2003. Losses in Water Distribution Networks: a Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA publishing.

.Fontanazza, C.M., Freni, G., La Loggia, G., Notaro, V., Puleo, V., 2012. A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network. Urban Water J. 9 (6): 419-428.

Hall, J.W., Le Masurier, J.W., Baker-Langman, E.A., Davis, J.P., Taylor, C.A., 2004. A decision-support methodology for performance-based asset management. Civ. Eng. Environ. Syst. 21 (1): 51-75.

Mutikanga, H.E., Sharma, S.K., Vairavamoorthy, K., 2011. Investigating water meter performance in developing countries: a case study of Kampala, Uganda. WaterSA 37 (4): 567-574.

Noss, R.R., Newman, G.J., Male, J.W., 1987. Optimal testing frequency for domestic water meters. J. Water Resour. Plann. Manag. 113 (1): 1-14.

OECD, Organisation for Economic Co-operation, and Development, 2008. Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. OECD Publishing, Paris, France.

OIML-R49, Eddition 2006 (E): 43.

Thornton, J., Sturm, R., Kunkel, G., 2008. Water Loss Control. McGraw Hill Professional.

Yee, M.D., 1999. Economic analysis for replacing residential meters. Am. Water Works Assoc. J. 91 (7): 72.

Investigating the Factors Affecting the Accuracy of Water Meters and Providing Appropriate Approach for Replacing them Using Cluster Analysis and Artificial Neural Networks

Mohammed Behruzian [1], Mahdi Naseri [2], Mohamad Akbari[3], Ali Nasirian[4]

Abstract

Non-Revenue Water(NRW) is one of the most important problems that beneficiaries companies are trying to reduce. Most of researches have been done in this subject, focused on actual losses and leakage in water conveyance and distribution systems and less attention has been paid to the second component of NRW and Precision of Measurement Equipment (PME) yet. In this research, due to the lack of a clear scientific knowledge about the replacement of Water Meters(WM) in national water and wastewater engineering companies, field studies have been carried out on the PME and errors of subscribers' WM and the performance range of the WMs was compared using a new approach. At first, the identification of effective parameters on the accuracy of the WM was investigated and then by clustering method, the WM were compared and the effect of each parameter on the accuracy of the WM was determined. In order to predicting the performance and accuracy of the WM, Artificial Neural Network(ANN) algorithm was used and for optimizing the weights and biases matrix, Genetic Algorithm(GA) was used too.

Keywords: Precision measuring equipments, Apparent loss, Test and replacement of water meters, cluster analysis, Artificial neural network.

[1] Master's degree in civil engineering, engineering and management of water resources University of Birjand, Iran; Email address mohamadbehruzian@ birjand.ac.ir .
[2] Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran; Email address mnaseri@birjand.ac.ir . (Corresponding author).
[3] Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran; Email address moakbari@birjand.ac.ir.
[4] Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran; Email address a.nasirian@birjand.ac.ir.

Investigating the Factors Affecting the Accuracy of Water Meters and Providing Appropriate Approach for Replacing them Using Cluster Analysis and Artificial Neural Networks

Mohammed Behruzian [5], Mahdi Naseri [6], Mohamad Akbari[7], Ali Nasirian[8]

Introduction

Water as a socio-economic commodity is produced and supplied by pipelines to cities and subscribers, but over the time, water transmission systems are faced with problems such as reduced hydraulic capacity, customer service disruption, water losses and even low water quality. In a municipal water transmission and distribution system, if the total volume of water entering the network is reduced by the amount of water for which the bill is issued, an approximate amount of water without revenue of a network will be obtained. Governments are always trying to minimize the amount of water without their income. Issuance of real and accurate bills requires the high accuracy of the main part of measuring the water consumed by the subscribers, ie water meters. The American Water Association (AWWA) has provided recommendations and regulations for testing and replacing water meters with different sizes. Some countries consider the amount of water meter volume operation and some consider the water meter installation date as a basic criterion for replacing and installing the new water meter (Davis, 2005); (Arregui et al., 2006); (Mutikanga, 2012); (Noss et al., 1987).Total losses (non-revenue water) are divided into parts; apparent losses and actual losses (Farley and Trow 2003). The error of measuring equipment is not taken into account in apparent losses, which has received less attention from researchers. In this study, for the first time, the most important factors in reducing the accuracy of water meters are identified separately. And their effectiveness in determining the error of the tested water meters was determined

Methodology

In order to better identify the factors affecting the accuracy of the water meters, at first 18 broken replacement water meters from different manufacturers (different models) were completely opened and examined. Parameters such as life, performance under different pressure conditions, different usage, depth of water meters and confinement or non-confinement of water meters (temperature parameter), model (brand) of water meters and diameter of water meters (1/2 inch and 3/4 inch) as factors potentially affecting the accuracy of water meters and the method of transport and installation of subscribers' water meters (hit and damaging of water meters) were also identified as the most important factors.

Then, the subscribers' water meters were tested in order to determine the error of the water meters and to investigate the effective factors in the error of each water meter. The reference water meter used in this research is the PT901 ultrasonic water meter, a portable model with the ability to test subscribers' water meters at the water meter installation site, which was tested and calibrated with the E-series Bajer ultrasonic device before testing. 117 water meters were tested during this process. Finally, the results were analyzed four flow rate ranges were introduced for each water meter and its performance and error curves were plotted. Q_1 is the minimum discharge that passes through the water meter and the water meter operating error is in the range of $\pm 5\%$. Q_2 is the flow rate at which the water meter operating

[5] Master's degree in civil engineering, engineering and management of water resources University of Birjand, Iran; Email address mohamadbehruzian@ birjand.ac.ir .
[6] Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran; Email address mnaseri@birjand.ac.ir . (Corresponding author).
[7] Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran; Email address moakbari@birjand.ac.ir.
[8] Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Iran; Email address a.nasirian@birjand.ac.ir.

error lie in the range of ± 5% to ± 2%. Q_3 is the flow rate that the water meter operates continuously, without exceeding the allowable error ± 2%, and Q_{max} is the maximum flow rate that the water meter can operate continuously without exceeding the allowable error ± 2% .
According to the existing manuals of meter manufacturers (eight meter models tested in this research), flow rates in Q_s, Q_1, Q_2, Q_3 and Q_{max} were adjusted and measured, and the average error of water meters was specified in each model and in each discharge. The method of calculating the error in the mentioned discharges was done by volumetric method and the number of repetitions of tests in each discharge in order to prevent test error, was done four times. Due to the small and sensitive flow rate at the Q_s, the error in the starting flow of each water meter was measured and calculated using a calibrated Beaker.

Discussion and Conclusion

According to the water meter testing procedures, it was found that the water meters at the start flow have a much larger error than the standard and it is thought that the water meters are not able to read the amount of water consumed by water coolers. Therefore, in a complementary experiments, five new water meters with different accuracy at the start flow were selected. In complementary experiments, all parameters such as water meter age, pressure, diameter, temperature, and environmental conditions were the same and constant, and the results of how the water meters work at very low flow rates were reported. As expected, water meters 2 and 6 had poor performance compared to other meters. According to the clustering method, it was found that the life parameter (age) of the water meter alone can not be a criterion for its replacement, but other identified parameters are also very effective in the accuracy of the water meters. In general, it was found that the measurement accuracy of the water meters at the start flow is very low and as the flow rate increases towards the nominal flow, the accuracy of the water meters increases. Multi-jet water meters have a much higher accuracy than single jets. Enclosed water meters located in water meter box are more accurate than non-enclosed water meters due to the protection of the water meter against extreme temperatures (cold and heat), magnetic fields and impact. The water meters are very sensitive to impact and in case of impact, they become significantly less efficient and sometimes overworked, and as a result, they have an error in recording the volume of water. Wet and semi-wet water meters have less accuracy and therefore more error compared to dry water meters in starting flow.

The most important references

Arregui, F.J., Cobacho, R., Cabrera Jr., E., Espert, V., 2010. Graphical method to calculate the optimum replacement period for water meters. J. Water Resour. Plann. Manag. 137 (1): 143-146.

Davis, S.E., 2005. Residential water meter replacement economics. In: Proceedings of IWA Leakage 2005 Conference: 1-10.

Frauendorfer, R.; Liemberger, R., 2010. The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water; Asian Development Bank: Mandaluyong, Philippines.

Fontanazza, C.M., Freni, G., La Loggia, G., Notaro, V., Puleo, V., 2012. A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network. Urban Water J. 9 (6): 419-428.

Mutikanga, H.E., Sharma, S.K., Vairavamoorthy, K., 2011. Investigating water meter performance in developing countries: a case study of Kampala, Uganda. WaterSA 37 (4): 567-574.

OECD, Organisation for Economic Co-operation, and Development, 2008. Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. OECD Publishing, Paris, France.

Thornton, J., Sturm, R., Kunkel, G., 2008. Water Loss Control. McGraw Hill Professional.