



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



شناسایی و رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری با استفاده از شبکه‌های بیزین

نیوشا راثی فقیهی

کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های

فنی، دانشگاه تهران

n.rasifaghihi@ut.ac.ir

مسعود تابش

استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های

فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

mtabesh@ut.ac.ir

عباس روزبهرانی

استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

roozbahany@ut.ac.ir

بردیا روغنی

دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

bardia.roghani@yahoo.com

رضا حیدرزاده

دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

rheydarzadeh@ut.ac.ir

خلاصه

برای جبران مشکل کمبود آب در کشور، تلاش برای کاهش آب بدون درآمد امری ضروری است. آب بدون درآمد دارای سه بخش اصلی تلفات ظاهری، تلفات واقعی و مشترکین مجاز بدون قبض می‌باشد که از میان این سه جز، غالباً تلفات ظاهری و پارامترهای مؤثر بر آن کمتر مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته‌اند. در این مقاله مهمترین



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری شناسایی شده و با استفاده از پرسشنامه، وضعیت وجودی آن‌ها در محدوده تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ تهران مورد پرسش قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از شبکه‌های بیزین پارامترهای شناسایی شده رتبه‌بندی شده تا مؤثرترین و کم‌اثرترین آن‌ها برای مدیریت و کاهش تلفات ظاهری مشخص شوند. نهایتاً نتایج این بررسی نشان داد که از میان اجزای اصلی تلفات ظاهری "انشعابات غیر مجاز" و "خطای پرسنلی" به ترتیب بیشترین و کمترین اولویت را برای کاهش تلفات ظاهری دارند.

کلمات کلیدی: پرسشنامه، تلفات ظاهری، شبکه‌های بیزین، عدم قطعیت

۱- مقدمه

تلفات ظاهری^۱ بخشی از آب مصرف شده است که به دلیل انشعابات غیرمجاز^۲، خطای پرسنلی^۳، خطای کنتورها^۴ و یا خطای مدیریتی^۵ و بهره‌برداری^۶ سیستم دقیقاً اندازه‌گیری نشده است. بنابراین شرکت آب و فاضلاب به منظور کاهش تلفات ظاهری آب بایستی تمهیدات لازم برای به حداقل رساندن عوامل فوق‌الذکر و پارامترهای اثرگذار بر هریک را اعمال نماید. براساس [۱] و [۲]، اجزای تلفات ظاهری به شرح زیر است:

• انشعابات غیرمجاز

مصارف غیرمجاز از تأسیسات که در طیف گسترده‌ای می‌تواند اتفاق افتد، آن دسته از مصارفی است که از طریق غیرقانونی از قبل از کنتور مشترک دیگر و یا از خط لوله شبکه توزیع، آب گرفته‌اند.

• خطای مدیریتی

این خطاها مربوط به انشعاباتی است که اطلاعات آن‌ها در پرونده‌ها و فایل‌های کامپیوتری شرکت آب و فاضلاب ثبت نشده است. عدم جمع‌آوری اطلاعات این مشترکین و ثبت مصارف آن‌ها باعث می‌شود که بخش قابل توجهی از آب مصرفی اندازه‌گیری نشود. همچنین عدم شناسایی و ثبت اطلاعات انشعابات و کنتورها به دلیل عدم وجود ساز و کارهای مناسب در شرکت‌های آب و فاضلاب از دیگر موارد خطای مدیریتی هستند [۱].

• خطای بهره‌برداری

این خطاها بیشتر به مشترکین جدید که انشعاب آب دریافت کرده‌اند ولی به دلیل عدم اطلاع کنتورخوان‌ها، قبض برای آن‌ها صادر نمی‌شود و همچنین خرابی کنتورهای تعدادی از مشترکین مرتبط می‌شود. برای بررسی چنین مصارفی لازم است در یک دوره خواندن کنتورها، تعداد این گونه انشعابات فعال بررسی و شناسایی شوند. با توجه به آنکه موارد مربوط به خطای مدیریتی و خطای بهره‌برداری اشتراک بسیاری با یکدیگر دارند بنابراین این دو جزء در قالب خطای مدیریتی و بهره‌برداری در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

• خطای پرسنلی

¹ Apparent Losses

² Unauthorized consumptions

³ Personnel errors

⁴ Flow meter errors

⁵ Management errors

⁶ Operational errors



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



تا زمانی که قرائت کنتورها توسط فرد و به صورت دوره‌ای انجام شود، خطاهای ناشی از اشتباه در خواندن و ثبت وجود خواهد داشت. در هر حال تا موقعی که عامل انسانی در این کار دخالت دارد و یا ابزار اندازه‌گیری به صورت کنونی باشد مشکل یادشده قابل کاهش بوده ولی حذف شدنی نیست، مگر آن که با استفاده از فناوری پیشرفته خواندن از دور (AMR) بتوان از طریق خطوط ارتباطی و یا ... بدون دخالت انسان، اطلاعات را کسب و حتی قبض صادر نمود [۲]. بنابراین در شرایط کنونی باید با کنترل مجدد کار کنتورخوان و واردکنندگان اطلاعات، خطاهای انسانی را شناسایی و به حداقل رساند.

• خطای کنتورها

تقریباً تمامی ابزار اندازه‌گیری دارای خطاهایی با نسبت‌های مختلف هستند که باعث بروز خطای کنتور مشترکین می‌شوند و در سه حالت دبی کم، دبی متوسط و دبی زیاد رخ می‌دهد. در دبی‌های کم، برخی کنتورها قادر نیستند مواردی نظیر نشت کم در داخل منازل، مصارف کولرها و مصارف منابع انبساط تأسیسات گرمایی، که مقدار آن‌ها کمتر از دبی شروع حرکت کنتورها می‌باشد، را اندازه‌گیری کنند. در دبی‌های متوسط و زیاد به دلایل زیادی از جمله بالا بودن فشار آب، عبور جریان بیش از ظرفیت کنتور، ترسیب مواد روی اجزای کنتور و غیره، مصرف اندازه‌گیری شده دارای خطا است. در برخی کنتورها نیز عواملی همچون فرسودگی، جرم‌گرفتگی و ... باعث می‌شود، کنتور ارقام مصرف را عمدتاً کمتر و یا در برخی موارد بیشتر از حد جریان عبوری نشان دهند. این میزان تلفات عموماً در دبی‌های کم و زمان‌های طولانی اتفاق می‌افتد، اما چون بخش قابل توجهی از مشترکین را در بر می‌گیرد، حجم قابل ملاحظه‌ای از تلفات را تشکیل می‌دهد. اما به علت دقت کم اکثر کنتورها در دبی‌های کم، این مقدار ثبت نمی‌شود و به‌عنوان تلفات ظاهری شناخته می‌شود.

براساس آمار رسمی منتشر شده در [۳]، متوسط آب بدون درآمد در ایران ۲۶ درصد در سال ۱۳۹۴ گزارش شده است، که ۱۳/۸ درصد مربوط به تلفات واقعی، ۱۰/۸ درصد مربوط به تلفات ظاهری و ۱/۶ درصد مربوط به مصرف مجاز بدون قبض می‌باشد. با استناد به آمارهای شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و با در نظر گرفتن شرایط مناطق مختلف کشور، به‌طور میانگین ۴۵ درصد از آب بدون درآمد مربوط به تلفات ظاهری است [۴]. با توجه به مقدار تلفات ظاهری سالانه کل کشور و تعرفه فروش آب (۳۵۰ تومان)، خسارت مالی ناشی از تلفات ظاهری حدود ۲۳۰ میلیارد تومان در سال برآورد می‌شود. بنابراین اطلاع از پارامترهای اصلی مؤثر بر تلفات ظاهری و توسعه ابزاری مناسب برای مدل‌سازی روابط احتمالاتی میان آن‌ها، به تصمیم‌گیرندگان شرکت‌های آب و فاضلاب کمک می‌کند تا برای مدیریت و کاهش ریسک هدررفت آب به‌صورت ظاهری، راهکارهای مؤثر و با قابلیت اطمینان بالا ارائه نمایند.

با آنکه تلفات ظاهری یکی از بخش‌های اصلی و مهم آب بدون درآمد است اما مطالعات اندک و محدودی به صورت اختصاصی به آن پرداخته‌اند. Tabesh et al. به ارزیابی آب بدون درآمد (NRW) و تلفات آن در شبکه‌های توزیع آپریداختند [۵]. آن‌ها با استفاده از داده‌های موجود در مورد مصرف ماهیانه از هر گره، تعداد مشترکین، تعداد مشترکین فعالی که کنتور آن‌ها عدد صفر را نشان می‌دهد، تعداد انشعاباتی که اطلاعات آن‌ها در سیستم ثبت نشده است و تعداد گره‌هایی که مصارف آن‌ها کمتر از مصرف آستانه است، اجزای تلفات ظاهری را محاسبه نمودند. Mutukanga et al. یک متدولوژی برای ارزیابی درصد اجزای مختلف تلفات ظاهری براساس بررسی میدانی و داده‌های منطقه پایلوت ارائه کردند [۶]. در این پژوهش با مشخص کردن حجم آب ورودی به سیستم توزیع آب و محاسبه تلفات واقعی با استفاده از داده‌های عملیاتی و با روش‌های تخمین مؤلفه‌های نشت و توری FAVAD، مقدار تلفات ظاهری تعیین شده است. سپس با استفاده از روش‌های مختلف،

اجزای تلفات ظاهری اندازه گیری شده است. نتایج حاکی از آن بود که خطای کنتورها و مصارف (انشعابات) غیر مجاز بیشترین مقدار تلفات را در میان اجزای تلفات ظاهری به خود اختصاص می دهند. Shilehwa مطالعه‌ای با هدف ارزیابی میزان تأثیر عدم دقت در ثبت اطلاعات، مصارف اندازه گیری نشده، مصارف غیر مجاز، مالیات آب بر آب بدون درآمد و با فرض عدم وجود رابطه میان عوامل فوق‌الذکر و آب بدون درآمد انجام دادند [۷]. داده‌های اولیه از طریق پرسشنامه^۱ و مشاهدات میدانی و داده‌های ثانویه با مرور اطلاعات موجود و داده‌های نهایی از بسته آماری علوم اجتماعی جمع آوری شد. نتایج نشان داد که با افزایش عدم دقت در ثبت اطلاعات، مصارف اندازه گیری نشده و مصارف غیر مجاز آب بدون درآمد به میزان ۱٪ افزایش می‌یابد.

با توجه به ماهیت مسئله تلفات ظاهری و کاستی‌های داده‌های موجود در این زمینه، اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی را می‌توان از نظر کارشناسان و مسئولین این حوزه اخذ نمود. در این صورت برای در نظر گرفتن عدم قطعیت حاکم بر نظرات لازم است از ابزاری استفاده شود که بتواند با استناد بر نظر افراد و وجود سری داده‌های ناقص، به درستی شرایط فعلی را مدل کند. امروزه شبکه بیزین به عنوان یک ابزار مناسب برای مدل کردن عدم قطعیت در سیستم‌های خبره محسوب می‌شود. با آن که استفاده از شبکه بیزین^۲ در زمینه‌های مختلف افزایش یافته است، اما به کارگیری آن در شبکه توزیع آب شهری به‌ویژه در بررسی و شناسایی اجزا آب بدون درآمد را می‌توان جزء موضوعات جدید دانست. بررسی مطالعات انجام شده در حوزه شبکه آب با استفاده از شبکه بیزین نشان می‌دهد که از این ابزار احتمالاتی غالباً برای بررسی شکست لوله در شبکه توزیع آب استفاده شده است [۸-۱۰]. تنها در چند مورد اندک برای پیش‌بینی تقاضا روزانه آب [۱۱-۱۲] از شبکه بیزین برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

در این تحقیق در ابتدا مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری شناسایی و با طراحی پرسشنامه به صورت بهینه درمی‌آیند. سپس با توجه عدم قطعیت حاکم، از شبکه بیزین به‌عنوان ابزار مدل‌سازی استفاده می‌شود. در نهایت برای آن که نتایج مدل شبکه بیزین در صنعت آب و فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد و مسئولین و تصمیم‌گیرندگان در شرکت‌های آب و فاضلاب بتوانند با صرف کمترین هزینه و زمان تلفات ظاهری را کاهش دهند، بر روی نتایج مدل بیزین، تحلیل حساسیت انجام شده تا در نهایت پارامترهای مؤثر شناسایی شده براساس میزان اثرگذاری رتبه‌بندی شدند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- شناسایی پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری و طراحی پرسشنامه

در این تحقیق در ابتدا با استفاده از مراجع داخلی [۱-۲] و مراجع و استانداردهای بین‌المللی فهرستی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری تهیه شد. در ادامه پرسشنامه‌ای طراحی شد تا از نظر کارشناسان و مسئولین شرکت آب و فاضلاب برای کسب اطلاعات و داده‌های مورد نیاز در مورد پارامترهای مؤثر شناخته شده، استفاده شود. در پرسشنامه برای هر پارامتر وضعیت وجودی در سه حالت "زیاد"^۳، "کم"^۴ و "وجود ندارد"^۱ از افراد پرسیده شد. وضعیت "وجود ندارد" به معنای

¹ Questionnaire

² Bayesian Network

³ High

⁴ Low



شرکت آب و فاضلاب کوزهر پردیس بین‌المللی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



عدم تأثیر یک پارامتر در پیدایش و افزایش تلفات ظاهری است. در نهایت با جمع‌بندی داده‌های پرسشنامه، برخی از پارامترها حذف و یا با یکدیگر ترکیب شده و فهرست نهایی مشخص شد.

۲-۲- شبکه‌های بیزین

شبکه‌های بیزین ساختارهای گرافیکی هستند که ابزاری مناسب برای نشان دادن اطلاعات دارای عدم قطعیت می‌باشند. در این شبکه‌ها هر گره در گراف نشان دهنده یک متغیر تصادفی است و شاخه‌ها (کمان) وابستگی‌های احتمالاتی بین متغیرها را نشان می‌دهند. شبکه بیزین قادر است ارتباط بین متغیرها را به صورت کمی نشان دهد. نکته بسیار مهم در مورد این شبکه‌ها این است که برای مدل‌سازی به اطلاعات دقیق و کامل در مورد پارامترها نیازی نیست، بلکه می‌تواند با استفاده از اطلاعات ناقص و غیردقیق به شکل یک سیستم خبره عمل کرده و به نتایج مناسب در زمینه پیش‌بینی وضعیت فعلی و آینده‌یک سیستم دست یافت. شبکه‌های بیزین براساس تئوری بیز که روشی مناسب برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها است، گسترش یافته‌اند. این تئوری برای n رویداد E_1, E_2, \dots, E_n که $P(E_i) \neq 0$ باشد ($1 \leq i \leq n$)، به صورت زیر بیان می‌شود [۱۳]:

$$P(E_i|F) = \frac{P(F|E_i)P(E_i)}{P(F|E_1)P(E_1) + P(F|E_2)P(E_2) + \dots + P(F|E_n)P(E_n)} \quad (1)$$

۳-۲- ساخت شبکه بیزین

الگوریتم کلی این تحقیق شامل پنج مرحله؛ آماده‌سازی اطلاعات ورودی، طراحی ساختار شبکه بیزین، آموزش شبکه بیزین، دریافت خروجی و تحلیل نتایج با استفاده از تحلیل حساسیت است. در مرحله اول مهمترین پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری و وضعیت وجودی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه مطابق داده‌های پرسشنامه جمع‌آوری می‌شود. سپس شبکه بیزین شامل گره‌ها و ارتباطات میان آن‌ها در نرم‌افزار Hugin Lite 8.4 رسم می‌شود. در این مرحله برای هر گره دو دسته‌بندی "زیاد" و "کم" مطابق با وضعیت هر پارامتر در پرسشنامه، تعریف می‌شود. شایان ذکر است، وضعیت "وجود ندارد" در فایلی ورودی به نرم‌افزار به صورت جای خالی تعریف می‌شود. در ادامه پارامترهای شبکه بیزین با استفاده از داده‌های پرسشنامه آموزش داده می‌شود. در نهایت پس از دریافت خروجی و مشخص شدن درصدها در دسته‌بندی هر گره، با تحلیل حساسیت، میزان اثرگذاری هر پارامتر در تلفات ظاهری مشخص می‌شود. معیار مورد استفاده برای تحلیل حساسیت شاخص SI است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$SI = \frac{\Delta C_i}{\Delta P_i} \quad (2)$$

در این رابطه، SI : شاخص حساسیت، ΔC_i : تغییرات درصد پارامترهای فرزند (تلفات ظاهری) است و ΔP_i : تغییرات درصد پارامتر والد پس از افزایش یک حالت به یک میزان مشخص است.

¹ Not Available

۳- نتایج

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه تحت پوشش مخزن ۲ واقع در محدوده شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ به عنوان پایلوت انتخاب شده است. محدوده تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ با قدمت لوله‌گذاری آب شرب بیش از ۴۰ سال شامل قدیمی‌ترین محله‌های تهران می‌باشد که بنا به دلایلی همچون بافت شهرسازی قدیمی، وجود بازار تهران، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، وجود تأسیسات سایر شرکت‌ها و ارگان‌های خدماتی و وجود محدوده طرح ترافیک از شرکت‌های آب و فاضلاب سایر مناطق مستثنی است. اطلاعات مربوط به جداول بالانس از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد که به‌طور میانگین در محدوده تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴، تلفات ظاهری ۱۳/۳۴ درصد می‌باشد [۱۴].

۳-۲- مهمترین پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری

پس از تدوین پرسشنامه، با مراجعه حضوری به شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ تهران و سه ناحیه آن؛ بهارستان، سلیمانیه و افسریه، شرکت آب و فاضلاب استان تهران و دانشگاه تهران کارشناسان بخش‌های مختلف و اساتید با توجه به اطلاعات و تخصص خود پرسشنامه را تکمیل کردند. در مجموع تعداد ۴۷ پرسشنامه از محل‌های ذکر شده جمع‌آوری شد. ترکیب نهایی پارامترها به همراه مخفف به کار رفته برای هر یک در مدل بیزین در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: پارامترهای نهایی مؤثر بر اجزای تلفات ظاهری در محدوده مورد مطالعه

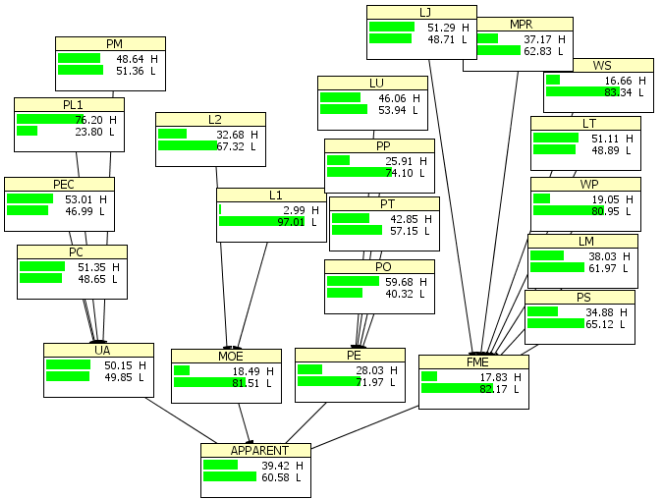
پارامترهای مؤثر	اجزای تلفات ظاهری
فقر فرهنگی (مشترکین) (PC)	انشعابات غیر مجاز (UA)
فقر اقتصادی (مشترکین)، زیاده‌خواهی اقتصادی (PEC)	
ضعف مدیریتی در ایجاد انشعابات غیر مجاز (PM)	
ضعف قانونی (PL1)	خطای مدیریتی و بهره‌برداری (MOE)
عدم ثبت، نصب و قرائت به موقع اطلاعات انشعابات و کنتورها جدید (L1)	
عدم شناسایی کنتورهای خراب (L2)	خطای پرسنلی (PE)
ضعف آموزش (PT)	
ضعف برنامه‌ریزی و نبود مسیر بهینه برای کنتورخوان (PP)	
ضعف نظارت در ایجاد خطای پرسنلی (PO)	خطای کنتورها (FME)
عدم استفاده از فناوری‌های جدید (LU)	
ضعف در ساخت کنتورها (PS)	
انتخاب نادرست سایز و کلاس (دقت) کنتورها (WS)	
جانمایی و نصب غلط کنتورها (WP)	
عدم نگهداری صحیح کنتورها (LM)	
عدم تست و تعویض به موقع کنتورها (LT)	
مشکلات مالی (MPR)	عدم توجه اقتصادی تعویض کنتورها به دلیل قیمت کم آب (LJ)
عدم توجه اقتصادی تعویض کنتورها به دلیل قیمت کم آب (LJ)	

۳-۳- دریافت خروجی مدل

پرسشنامه به گونه‌ای طراحی شده است که در مدل‌سازی علاوه بر نظر کارشناسان، از اطلاعات منطقه مورد مطالعه و شرایط حاکم بر آن نیز استفاده شود. بنابراین ضمن بهره‌گیری از دیدگاه کارشناسان، پاسخ‌های نهایی به شرایط واقعی منطقه پایلوت نزدیک‌تر می‌شوند. لذا برای مشخص شدن وضعیت وجودی اجزای تلفات ظاهری (انشعابات غیرمجاز خطای مدیریتی و بهره‌برداری، خطای پرسنلی و خطای کنتورها)، با یک وزن‌دهی ساده به حالت "زیاد" عدد ۷، به حالت "کم" عدد ۳ و به حالت "وجود ندارد" عدد ۱ اختصاص داده شد. برای پارامتر تلفات ظاهری از میانگین اطلاعات موجود در جداول بالانس سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ استفاده شده است. درصدهای به‌دست آمده طی فرایند فوق‌الذکر به شرح زیر است:

- انشعابات غیر مجاز ۵۱ درصد تلفات ظاهری
- خطای مدیریتی و بهره‌برداری ۲۸ درصد تلفات ظاهری
- خطای کنتورها ۱۶ درصد تلفات ظاهری
- خطای پرسنلی ۰ درصد تلفات ظاهری

پس از ورود اطلاعات اولیه و ایجاد ساختار مدل گرافیکی شبکه‌های بیزین، به منظور دریافت خروجی مدل، شبکه اجرا می‌شود. اطلاعات ورودی بر مبنای نتایج پرسشنامه‌ها و اطلاعات موجود در شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ تهران تهیه شده است. نتایج اجرای شبکه برای مدل تلفات ظاهری در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس این شکل، احتمال زیاد بودن تلفات ظاهری در منطقه مورد مطالعه ۳۹/۴۲ درصد و احتمال کم بودن آن ۶۰/۵۸ درصد است.



شکل ۱: خروجی مدل تلفات ظاهری

۳-۴- رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر

در جدول ۲ نتایج تحلیل حساسیت تلفات ظاهری نسبت به پارامترهای مؤثر بر آن که در شکل ۱ مشخص شده‌اند، نشان داده شده است. در این جدول پارامترهای مؤثر بر اساس شاخص SI به صورت نزولی اولویت‌بندی شده‌اند. به عنوان مثال، "ضعف مدیریتی" از میان سایر عوامل بیشترین تأثیر را بر پیدایش و افزایش تلفات ظاهری دارد، به طوری که با بهبود وضعیت آن نسبت به سایر پارامترها، می‌توان تلفات ظاهری را با درصد بیشتری کاهش داد. پس از آن به ترتیب "ضعف قانونی" و "فقر فرهنگی" بیشترین اولویت را دارند. همچنین "ضعف برنامه‌ریزی و نبود مسیر بهینه برای کنتورخوان" نیز از کمترین اولویت برای کاهش تلفات ظاهری برخوردار است.

جدول ۲: نتایج تحلیل حساسیت تلفات ظاهری نسبت به پارامترهای مؤثر ورودی

رتبه	پارامترهای مؤثر بر تلفات ظاهری	شاخص حساسیت (%)
۱	ضعف مدیریتی در ایجاد انشعابات غیرمجاز	۳۷/۴
۲	ضعف قانونی	۳۲/۲
۳	فقر فرهنگی	۲۵/۳
۴	عدم شناسایی کنتورهای خراب	۱۳/۱
۵	فقر اقتصادی	۸/۱
۶	عدم استفاده از فناوری‌های جدید	۶/۸
۷	جانمایی و نصب غلط کنتورها	۵/۹
۸	ضعف در ساخت کنتورها	۵/۵
۹	ضعف آموزش پرسنل	۴/۵
۱۰	عدم نگهداری صحیح کنتورها	۳/۸
۱۱	ضعف نظارت در ایجاد خطای پرسنلی	۳/۴
۱۲	مشکلات مالی	۳
۱۳	عدم ثبت، نصب و قرائت به موقع اطلاعات انشعابات و کنتورهای جدید	۲/۷
۱۴	عدم تست و تعویض به موقع کنتورها	۲/۵
۱۵	انتخاب نادرست سایز و دقت مناسب کنتور	۱/۷
۱۶	عدم توجیه اقتصادی تعویض بدلیل قیمت کم آب	۱/۴
۱۷	ضعف برنامه‌ریزی و نبود مسیر بهینه برای کنتورخوان	۰

۴- نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن مشکلاتی که در زمینه اخذ اطلاعات و داده در زمینه علل و عوامل تشدیدکننده تلفات ظاهری وجود دارد، لازم است با استفاده از روشی مناسب، از تلفیق داده‌های ناقص موجود و نظرات کارشناسان برای تحلیل پارامترهای مؤثر در شبکه‌های توزیع آب شهری استفاده شود. در این تحقیق با استفاده از مراجع داخلی و بین‌المللی، مهمترین پارامترهای مؤثر بر اجزای تلفات ظاهری جمع‌آوری شدند. سپس پرسشنامه‌ای طراحی شد تا با استفاده از نظر افراد آگاه به تلفات ظاهری و همچنین آشنا به شرایط منطقه مورد مطالعه، ترکیب نهایی پارامترهای مؤثر مشخص شود. در ادامه برای آن که میزان اثرگذاری پارامترها



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



بر پیدایش و افزایش تلفات ظاهری و اجزای آن مشخص شود، شبکه بیزین انتخاب شد. علت این گزینش توانایی این ابزار برای مدل سازی در شرایط وجود عدم قطعیت است. پس از تدوین مدل و آموزش آن با استفاده از داده‌های پرسشنامه، به منظور رتبه بندی پارامترهای شناسایی شده، شاخص حساسیت تعریف و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که "ضعف مدیریتی در ایجاد انشعابات غیرمجاز" از میان سایر عوامل بیشترین تأثیر را بر پیدایش و افزایش تلفات ظاهری دارد. "ضعف برنامه‌ریزی و نبود مسیر بهینه برای کنترل‌خوان" نیز از کمترین اولویت برای کاهش تلفات ظاهری برخوردار است.

۵- قدردانی

بدین وسیله از شرکت آب و فاضلاب استان تهران برای حمایت مالی از این تحقیق تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ تهران نیز برای در اختیار قراردادن اطلاعات و داده‌های مورد نیاز این تحقیق قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

۱. تابش، م. (۱۳۹۵). مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۵۸۵ صفحه.
۲. امور نظام فنی و اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۱). "راهنمای شناخت و بررسی عوامل مؤثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن"، نشریه شماره ۵۵۶، امور نظام فنی و اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، تهران، ایران، ۱۷۹ صفحه.
۳. پایگاه اطلاع‌رسانی وزارت نیرو، (۱۳۹۵). تجهیز ۱۰۰۰ شهر به سامانه بالانس آب، <http://news.moe.gov.ir/Detail?anwid=38816>، بهمن ۱۳۹۵.
۴. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۴). گزارش صنعت آب و فاضلاب شهری در یک نگاه، تهران، ایران.

5. Tabesh, M., Yekta, A. A., & Burrows, R. (2009). An integrated model to evaluate losses in water distribution systems, *Water Resources Management*, 23(3), pp.477-492.
6. Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011), Assessment of apparent losses in urban water systems, *Water and Environment Journal*, 25(3), pp.327-335.
7. Shilehwa, C. M. (2013). *Factors influencing water supply's non revenue water: A case of Webuye water supply scheme*, Doctoral Dissertation, University of Nairobi, Kenya.
8. Kabir, G., Tesfamariam, S., Francisque, A., Sadiq, R. (2015a). Evaluating risk of water mains failure using a Bayesian belief network model, *European Journal of Operational Research*, 240(1), pp.220-234.
9. Kabir, G., Tesfamariam, S., Sadiq, R. (2015b). Predicting water main failures using Bayesian model averaging and survival modelling approach, *Reliability Engineering & System Safety*, 142, pp.498-514.



اولین همایش ملی
مدیریت مصرف و هدر رفت آب
1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

10. Francis, R. A., Guikema, S. D., & Henneman, L. (2014). Bayesian belief networks for predicting drinking water distribution system pipe breaks, *Reliability Engineering & System safety*, 130, pp.1-11.
 11. Froelich, W. (2015). Forecasting daily urban water demand using dynamic gaussian Bayesian network. International Conference: Beyond Databases, Architectures and Structures, *Springer international publishing*, 26 May, New York City, USA, pp. 333-342.
 12. Magiera, E., & Froelich, W. (2015). Application of Bayesian networks to the forecasting of daily water demand, In intelligent decision technologies, pp.385-393, *Springer International Publishing*, New York City, USA.
 13. Neapolitan, R. E. (2004). *Learning Bayesian networks*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
۱۴. شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ تهران. (۱۳۹۴). فرم بالانس آب برای سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ در محدوده شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴، تهران، ایران.