

تعیین سطح اقتصادی نشت در شبکه توزیع آب تحت پوشش زون D شهر بیرجند

نوید غلام پور^{۱*}، حسن مرادی^۲، حسین انصاری^۳، علی نقی ضیایی^۴

۱- دانشجوی دکترا آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، navidgholampoor77@gmail.com

۲- رئیس گروه طراحی شبکه و خطوط انتقال شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی، hassan.moradi.wt@gmail.com

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ansary@um.ac.ir

۴- استاد گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، an-ziaei@um.ac.ir

چکیده

در حال حاضر تلفات در شبکه‌های توزیع آب به یک چالش مهم و اساسی در جهان تبدیل شده است. از طرفی اندازه‌گیری آن در شبکه‌های توزیع آب یک وظیفه حیاتی در راستای توسعه استراتژی‌های مناسب برای کاهش میزان تلفات است. روش‌های زیادی جهت کاهش تلفات آب در شبکه‌های توزیع آب وجود دارد که هر کدام دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. روش‌های مدیریت تلفات آب باید براساس نیاز، صرفه‌جویی، کاربرد و شرایط فعلی و اقتصادی انتخاب شوند. نشت از طریق لوله‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل در شبکه‌های توزیع آب است که منجر به تلفات شدید آب می‌گردد. هدف این مطالعه بررسی شبکه توزیع آب زون D بیرجند از نظر میزان نشت آب با استفاده از شاخص‌های عملکرد زیرساخت است که براساس آن اقدام به کنترل نشت و مدیریت فشار در وضع موجود شبکه توزیع آب می‌نماید تا جایی که مقدار نشت، اقتصادی باشد. برای این منظور از شبیه‌سازی و کالیبره کمی شبکه موجود توزیع آب توسط نرم‌افزارهای Arc GIS و WaterGEMS بهره گرفته شده است. با توجه به ارزیابی انجام گرفته شده، شاخص ILI وضع موجود شبکه توزیع برابر ۱۲ می‌باشد که نشان از وضعیت وخیم شبکه از نظر میزان نشت دارد که در این پژوهش ۴ سناریو متفاوت مدیریت فشار در شبکه توزیع محدوده مورد مطالعه برای کاهش مقدار نشت در نظر گرفته شد. نتایج سناریوها نشان داد در سناریو S4 کاهش فشار شبکه توزیع موجود و نزدیک نمودن آن به فشار حداقل محدوده مورد پژوهش یعنی ۲/۶ بار می‌تواند میزان نشت در شبکه توزیع آب زون D بیرجند را در ساعت حداقل مصرف از ۷۴/۴۹ لیتر بر ثانیه به مقدار ۵۹/۵۹ لیتر بر ثانیه کاهش دهد، به عبارتی باعث ایجاد کاهش ۲۰ درصدی حجم نشت شبکه (معادل ۱۰۹۷/۲۸۰ مترمکعب در طول روز) می‌شود که از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه بوده و سودی معادل با ۱/۲۴۱ میلیارد ریال از طریق کاهش حجم نشت در اختیار شرکت بهره‌بردار قرار خواهد گرفت.

کلمات کلیدی: تلفات آب - مدیریت فشار - مدل‌سازی - WaterGEMS- ILI

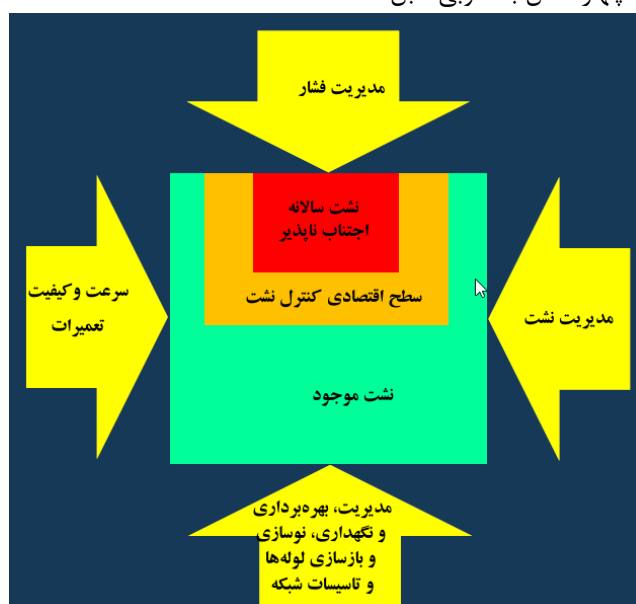
* Navid Gholampoor: اول نویسنده

Email: navidgholampoor77@gmail.com

۱. مقدمه

در سراسر جهان شرکت‌های تأمین‌کننده آب با چالش‌های استثنایی مواجه هستند؛ یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها بحث تلفات در شبکه‌های توزیع آب است. برخی از عواملی که منجر به تلفات بالای آب در شبکه توزیع آب کشورهای در حال توسعه می‌گردد شامل: افزایش مهاجرت به مناطق شهری و در نتیجه تقاضای بالا آب، عوامل اجتماعی - اقتصادی، مدیریت ضعیف زیرساخت‌ها و نشت آب، عدم دقت اندازه‌گیری، اقدامات نادرست در تعمیر و نگهداری، چالش‌های مالی و مصرف غیر مجاز آب می‌باشد (آدیدچ، ۲۰۱۷).

چهار جزء اساسی مدیریت فشار (PM)، سرعت و کیفیت تعمیرات، مدیریت نشت (ALC) و مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، نوسازی و بازسازی لوله‌ها و تاسیسات شبکه، معمولاً برای مدیریت نشت در شبکه‌های توزیع آب استفاده می‌شوند (لامبرت، ۲۰۰۲). در شکل ۱ این چهار عامل به خوبی قابل مشاهده هستند.



شکل ۱- عوامل مهم در مدیریت نشت در شبکه‌های توزیع آب

نشت آب در شبکه‌های توزیع آب می‌تواند باعث خسارات اقتصادی قابل توجهی در انتقال آب و افزایش هزینه‌های تعمیرات گردد که در نهایت هزینه اضافی برای مصرف‌کننده نهایی، ایجاد می‌کند. در بسیاری از شبکه‌های توزیع آب، تلفات ناشی از نشت تا ۳۰ درصد از کل مقدار آب استخراج شده تخمین زده شده است (آدیدچ، ۲۰۱۷).

مفهوم سطح اقتصادی بهینه در کاهش نشت را می‌توان در هنگام رسیدن تعادل بین هزینه‌های نهایی آب ذخیره شده و هزینه‌های نهایی دستیابی به کاهش اضافی در نشت تعریف نمود (فارلی، ۲۰۰۳). برای تعیین سطح بهینه اقتصادی نشت در شبکه‌های توزیع آب، باید ترازنامه اقتصادی تهیه شود که شامل هزینه‌های کنترل فعال و رفع نشت، آبگیری، تصفیه، توزیع و همچنین توسعه منابع آب جدید می‌باشد (مصلحی، ۲۰۲۱).

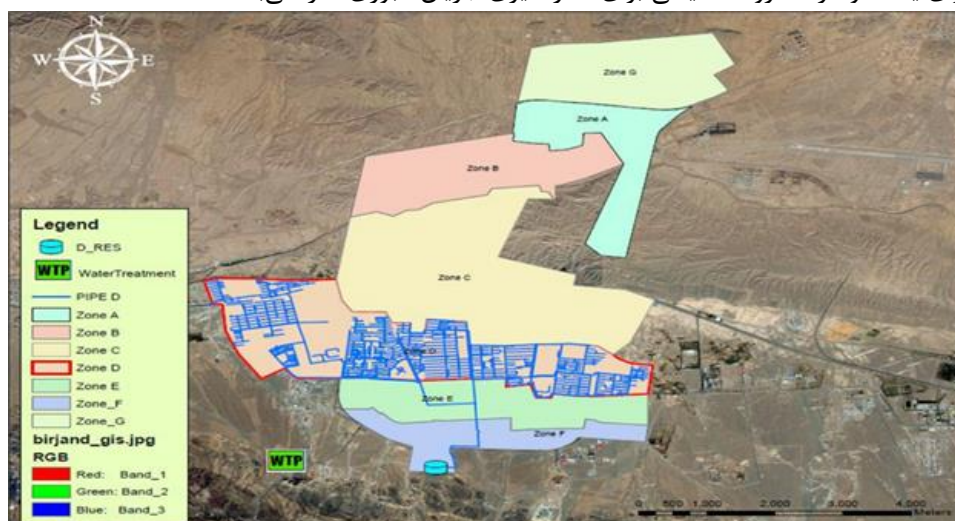
مهمترین مولفه اقتصادی کنترل نشت، تعیین سطح اقتصادی نشت (ELL) است. ELL سطحی از نشت است که در آن هزینه حاشیه‌ای کاهش نشت با هزینه حاشیه‌ای آب (منظور از هزینه حاشیه‌ای آب، تغییر در هزینه برای تولید یک واحد بیشتر یا کمتر آب بر حسب انرژی مصرفی، مواد شیمیایی و نیروی انسانی می‌باشد). ذخیره شده برابر می‌شود و از سرمایه‌گذاری اضافی برای کاهش بیشتر نشت که اقتصادی نیست جلوگیری می‌کند (فانر، ۲۰۰۷).

در یک شبکه توزیع آب، سطح اقتصادی نشت اغلب بین نشت سالیانه موجود (CARL) و نشت اجتناب ناپذیر سالیانه (UARL) قرار می‌گیرد (تورنتون، ۲۰۰۸). تخمین ELL یک فرآیند بسیار مشکل و فشرده‌سازی داده است و به عوامل مختلفی از روانشناسی انسان گرفته تا هیدرولیک آب و رفتار فرهنگی و اجتماعی جوامع بستگی خواهد داشت. عوامل مهمی که بر یک ELL تأثیر می‌گذارند شامل عملکردهای هیدرولیکی شبکه، فشارهای سیستم شبکه، تقاضاها و الگوهای مصرف، شرایط زیرساختی شبکه از نظر میزان نشت، سیاست‌های کنترل نشت منفعل و فعال و هزینه نهایی آب است.

۲. مواد و روش‌ها

۱،۲. معرفی منطقه مورد پژوهش

پهنه فشاری مورد مطالعه این پژوهش (زون D) شبکه توزیع آب شهر بیرجند مطابق شکل ۲ است. این زون دارای یک مخزن ۱۰۰۰۰ مترمکعبی در قسمت جنوبی شهر با رقوم ارتفاعی ۱۵۵۰ می‌باشد که تأمین‌کننده فشار زون‌های فشاری جنوبی شهر بیرجند (E و D) به صورت مشترک و با خروجی‌های مجزا، آب زون‌های اشاره شده را تأمین می‌کند. هر خروجی مخزن دارای یک فلومتر الکترومغناطیسی برای اندازه‌گیری جریان عبوری، دارا می‌باشد.



شکل ۲- زون بندی شبکه توزیع آب شهر بیرجند

۲،۲. وضعیت شبکه توزیع آب زون مورد پژوهش

در این زون بالاترین نقطه، مخزن ۱۰۰۰۰ مترمکعبی با کد ارتفاعی ۱۵۵۰ و پایین‌ترین نقطه دارای کد ارتفاعی ۱۴۳۶ می‌باشد که باعث اختلاف ارتفاع حدود ۱۱۴ متری بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه شبکه توزیع آب شده است. در زون مورد پژوهش از ۷ دستگاه شیر فشارشکن به منظور تعدیل فشار شبکه توزیع آب تحت پوشش مخزن استفاده گردیده است. از شیرهای فشارشکن موجود، ۲ شیر (PRV2 و PRV7) دارای عملکرد هوشمند با قابلیت ایجاد الگو برای فشار خروجی شیر بوده و از راه دور تنظیم می‌گردند. در جدول ۱ مشخصات کلی تاسیسات زون مورد پژوهش نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ارتفاعی تاسیسات شبکه توزیع آب (زون D)

ردیف	شرح	رقوم ارتفاعی (متر)
۱	مخزن ۱۰۰۰۰ مترمکعبی	۱۵۵۰
۲	PRV1	۱۴۴۷
۳	PRV2	۱۴۶۴
۴	PRV3	۱۴۷۴
۵	PRV4	۱۴۷۸
۶	PRV5	۱۴۷۸
۷	PRV6	۱۴۸۱
۸	PRV7	۱۵۰۵

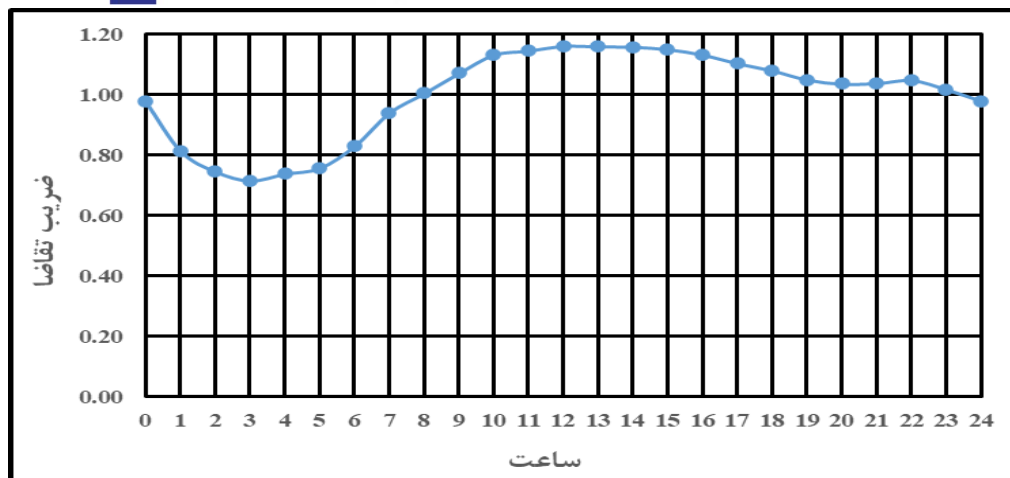
در پهنه فشاری مورد مطالعه (زون D) تعداد اشتراک‌های موجود حدود ۱۵۸۴۵ می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های مصارف قرائت شده توسط قاریان کنتور شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی در دوره پنجم سال ۱۴۰۰ استفاده شده است. شناخت وضعیت موجود اشتراک‌ها با نوع کاربری و جانمایی آنها از الزامات شبیه‌سازی می‌باشد. بدین منظور جایگذاری اشتراک‌ها با نوع کاربری در محل واقعی خود با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS براساس موقعیت و میزان مصرف هر اشتراک انجام شده است تا مصارف واقعی هر اشتراک به لوله نظیر آن اختصاص یافته و نتایج مدل‌سازی به واقعیت نزدیکتر باشند. در پهنه فشاری مورد پژوهش حدود ۱۲۷۲۶۰ متر لوله موجود می‌باشد که جنس تمامی لوله‌های به کار رفته در شبکه اصلی آبرست و پلی‌اتیلن است.

۳.۲. تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار (HDSM)

در شرایط بحرانی در شبکه‌های توزیع آب مثل شکست هیدرولیکی و مکانیکی سیستم و یا تقاضای بیش از حد، که باعث ایجاد شرایطی فشاری متغیر می‌شود فرض ثابت بودن مقدار برداشت از گره‌ها و برابری تقاضا گره‌ای پایدار خواهد بود، در نتیجه برای مدل‌سازی واقعی عملکرد سیستم در شرایط بحرانی، لازم است رابطه میان فشار و خروجی گره‌ها در نظر گرفته شود. این نوع شبیه‌سازی که در آن رابطه میان دبی خروجی گره و فشار در نظر گرفته می‌شود، روش شبیه‌سازی مبتنی بر فشار (HDSM) نام دارد. در شبکه‌های توزیع آب، مواردی مانند نشت آب نیز وابسته به فشار هستند. با تقلیل فشار در شبکه توزیع، میزان کل آب مصرفی کاهش پیدا می‌کند. انجام عملیات مرسوم کاهش فشار در شب برای کنترل نشت شبکه نیز بر حالت مبتنی بر فشار استوار است (تابش، ۱۳۹۵).

۴.۲. محاسبه متوسط مصرف ساعتی و ضریب ساعتی محدوده مورد پژوهش

براساس داده‌های ثبت شده توسط کنتور خروجی مخزن و پس از بررسی داده‌های سنجنده فشار از نظر دسترس بودن و بدون نقص بودن و براساس آخرین نقشه‌های به روزرسانی شده شبکه توزیع در پهنه فشاری مورد تحقیق، روز شنبه مورخ ۱۴۰۰/۰۹/۲۰ به عنوان روز مدل‌سازی در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه سیستم تله‌متری موجود خروجی مخزن به ازاء کمتر از هر یک لیتر تغییر، یک رکورد ثبت می‌نماید؛ ابتدا متوسط مصرف ساعتی محاسبه و سپس با توجه به مقادیر بدست آمده میانگین مصرف در کل روز محاسبه و با تقسیم متوسط مصرف ساعتی بر میانگین مصرف، مقدار ضریب ساعتی در ۲۴ ساعت شبانه روز محاسبه گردید. نتایج حاصل در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳- نمودار ضریب تغییرات تقاضا در طی شبانه‌روز برای زون فشاری D

۵.۲. واسنجی مدل

در این پژوهش جهت واسنجی مدل از داده‌های همزمان دبی و فشار استفاده گردیده است. منابع اخذ داده‌ها سیستم تله‌متری شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی می‌باشد که از داده‌های فلومتر خروجی مخزن بعنوان داده‌های دبی و از داده‌های لاگرهای آنلاین فشار موجود در سطح زون و لاگرهای نصب شده در محل شیرهای فشارشکن جهت داده‌های فشار استفاده گردیده است. براساس اطلاعات مربوط به دبی و فشار و ابزار Darwin Calibrator در نرم‌افزار Water GEMS الگوریتم ژنتیک مدل موجود واسنجی گردیده است.

۶.۲. شاخص‌های عملکرد شبکه‌های توزیع آب

برای ارزیابی و مقایسه عملکرد شبکه‌های توزیع آب با یکدیگر و برای تعیین یک هدف اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در زمینه کاهش نشت از شاخص‌های عملکرد استفاده می‌شود (لامبرت، ۱۹۹۹).

شاخص عملکرد زیرساخت (ILI): یکی از مهمترین و پرکاربردترین شاخص عملکرد شبکه‌های توزیع آب می‌باشد که در آن ارزیابی کاملی از وضعیت شبکه توزیع آب را نشان می‌دهد. همه شاخص‌های این عملکرد برای سطوح مدیریتی استفاده می‌گردد.

شاخص عملکرد زیرساخت براساس رابطه ۱ و ۲ محاسبه می‌گردد (کاوازینی، ۲۰۲۰):

$$NRW = ((SIV - BW) / SIV) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه NRW آب بدون درآمد (%)، SIV حجم ورودی سیستم (SIV) و BW آب صورت‌حساب شده مشترکین می‌باشد.

$$ILI = CARL / UARL \quad (2)$$

در این رابطه ILI کیفیت مدیریت زیرساخت را توصیف می‌کند که در آن CARL نشت موجود سالانه و UARL نشت سالانه اجتناب ناپذیر می‌باشد. میزان نشت موجود سالانه (CARL) براساس رابطه نشت و فشار محاسبه می‌گردد.

نشت سالانه اجتناب ناپذیر براساس رابطه ۳ محاسبه می‌گردد:

$$UARL = (18 \times L_m + 0.80 \times N_c + 25 \times L_p) \times p \quad (3)$$

در این رابطه $UARL$ نشت سالانه اجتناب ناپذیر بر حسب لیتر بر روز، L_m طول خطوط اصلی بر حسب کیلومتر، N_C تعداد مشترکین، L_p طول لوله موجود از مرز انشعاب تا کنتر مشترک بر حسب کیلومتر و p فشار متوسط شبکه توزیع آب بر حسب متر می‌باشد.

با محاسبه ILI می‌توان به این نتیجه رسید که یک شرکت تأمین کننده آب تا چه اندازه به طور مؤثر و کارآمد سطح نشت را کنترل می‌نماید. میزان ILI نزدیک به یک نشان‌دهنده مدیریت و نگهداری خوب شبکه توزیع آب می‌باشد و مقادیر غیر از یک براساس جدول ۳-۷ تعریف می‌گردد (انجمن آب آمریکا، ۲۰۱۶).

جدول ۲- مقادیر هدف‌گذاری شاخص عملکرد زیرساخت

بازه ILI	ملاحظات منابع آب	ملاحظات اجرایی	ملاحظات مالی
۳-۱	منابع آب موجود بسیار محدود و توسعه آن بسیار سخت از لحاظ محیط زیستی ناپایدار است.	بهره‌برداری با نشت شبکه بالاتر از این سطح به توسعه زیرساخت‌های موجود و منابع آب اضافی برای تأمین تقاضا نیاز دارد.	خرید یا توسعه منابع آب هزینه‌بر و گران است.
۵-۳	منابع آب برای تأمین نیازهای بلندمدت کافی است، اما اقدامات مربوط به مدیریت تقاضا شامل مدیریت نشت نیاز دارد.	توانایی زیرساخت‌های موجود تأمین آب برای تقاضای بلندمدت کافی است، به شرط آن که مدیریت نشت اجرا شود.	خرید یا توسعه منابع آب با یک هزینه معقول امکان دارد.
۸-۵	منابع آب فراوان، قابل اعتماد و به راحتی قابل استخراج هستند.	ظرفیت بالای زیرساخت‌های تأمین آب، آنها را در مقابل تأمین کمبودها تقریباً مصون می‌سازد.	هزینه خرید یا تصفیه آب پایین است.
بیشتر از ۸	هنگامی که ملاحظات مالی و اجرایی سبب شوند ILI در بلندمدت بیش از ۸ شود، چنین سطحی از نشت جهت مصرف آب مؤثر نیست و هدف‌گذاری نشت در این حالت به غیر از حالتی که منجر به سطح نشت کمتر در دراز مدت شود بی‌تأثیر است.		
کمتر از ۱	دستیابی به ILI کمتر از ۱ برای اکثر شبکه‌های توزیع آب غیرممکن است، و اگر حاصل شود، کنترل سطح نشت به خوبی صورت گرفته است.		

۷.۲. رابطه نشت - فشار

برای برآورد میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب توسط مدل‌های هیدرولیکی لازم است رابطه میزان نشت و فشار در هر گره یا لوله مشخص گردد. در این زمینه تحقیقات بسیار صورت گرفته است که معادلات پیچیده‌ای براساس سن و قطر لوله‌ها و حتی تغییر شکل موقتی در اثر شکست در لوله‌ها به وجود آمده است. به این منظور با توجه به محدودیت داده‌های موجود در محدوده مورد پژوهش، از رابطه ۴ که توسط ژرمنپولوس (۱۹۸۵) ارائه شده برای محاسبه نشت در لوله‌ها استفاده گردید که در این رابطه فرض شده نشت در طول لوله‌ها بطور یکنواخت توزیع می‌گردد.

$$Q_{L,ij} = C_L \times L_{ij} \times (P_{ij}^{av})^{1.18} \quad (4)$$

که در این رابطه $Q_{L,ij}$ دبی خروجی از محل نشت از هر لوله بر حسب لیتر بر ثانیه، C_L ضریب ثابت نشت که به خصوصیات شبکه توزیع آب بستگی دارد و برای هر شبکه توزیع مقدار ثابتی است. این ضریب رابطه مستقیم با جنس و عمر لوله‌ها شبکه توزیع دارد که به وسیله آزمایشات میدانی بدست می‌آید که با توجه به مطالعاتی که هومر و تابش (۲۰۰۹)، انجام دادند $C_L = 10^{-8} m/s$ پیشنهاد کردند و P_{ij}^{av} فشار متوسط در طول لوله است که از رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$P_{ij}^{av} = \frac{P_i + P_j}{2} \quad (5)$$

که در این رابطه P_i و P_j مقدار فشار آب در ابتدا و انتها لوله بر حسب متر می‌باشند.

۸.۲. شاخص اقتصادی BRC

انتخاب و اولویت‌بندی پروژه‌ها با شاخص‌های مالی و اقتصادی انجام می‌شوند. یکی از این شاخص‌ها، شاخص نسبت منافع به مخارج یا سود به هزینه می‌باشد. این شاخص علاوه بر بررسی اقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری خصوصی یک روش کاربردی و معروف در ارزیابی طرح‌های دولتی به علت عام المنفعه بودن این طرح‌ها است. اگر طرحی دارای BCR بیشتر از ۱/۰ باشد، انتظار می‌رود که طرح ارزش فعلی خالص مثبتی را به شرکت و سرمایه‌گذاران آن ارائه می‌دهد و اگر BCR طرح کمتر از ۱/۰ باشد، هزینه‌های طرح بیشتر از مزایای آن است و نباید آن را در نظر گرفت.

شاخص BCR به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌گردد (موحدی، ۲۰۰۷):

$$BCR = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{B_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}} \quad (6)$$

در این رابطه B_n و C_n هزینه و منافع حاصل از طرح در زمان n برابر نرخ بهره که در این پژوهش براساس گزارش بانک مرکزی جمهوری اسلامی در سال ۱۴۰۰ مقدار ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است، n تعداد سال و N سال مورد نظر می‌باشد.

در این روش برای محاسبه هزینه‌های سرمایه‌گذاری و سود، از قیمت هر مترمکعب آب در محدوده مورد پژوهش که برابر ۱۷۰۰۰ ریال می‌باشد و همچنین صورت‌های مالی شرکت بهره‌بردار و فهرست بهاهای توزیع و نگهداری سال ۱۴۰۰ استفاده شده است، و سپس با فرض ثابت بودن مقدار نرخ بهره به مدت ۲۰ سال، تا سال ۱۴۲۰ برای تمامی سناریوهای شاخص BCR محاسبه گردیده شد.

۹.۲. بررسی سناریوهای

براساس هدف مهم این پژوهش که مبحث کاهش نشت آب با اعمال تعدیل فشار در شبکه‌های توزیع بوده است و همچنین وجود محدودیت‌هایی از قبیل استفاده حداکثری از تاسیسات و لوله‌های موجود، پس از اجرای سناریوهای مختلف در نهایت سناریوهای زیر که قابلیت اجرا در شبکه توزیع منطقه مورد پژوهش را دارا بود در نظر گرفته شده است:

- ۱- سناریوی کالیبره وضع موجود (S_1)
- ۲- سناریوی هوشمند کردن شیرهای فشارشکن موجود تک زمانه (S_2)
- ۳- سناریو جابه‌جایی شیر PRV5 (S_3)
- ۴- سناریو جابه‌جایی شیر PRV5 و همچنین اضافه کردن یک شیرفشارشکن جدید تک زمانه (S_4)
- ۵- سناریو اضافه کردن دو شیرفشارشکن جدید تک زمانه و حذف شیر PRV6 (S_5)

۱۰.۲. بررسی سناریوهای

باتوجه به توضیحات بیان شده در بخش ۲-۶، شاخص آب بدون درآمد برای محدوده مورد پژوهش به صورت زیر محاسبه شده است:

$$NRW = \frac{208.37 - 122.05}{208.37} \times 100 = 41.42\%$$

در این شاخص ۲۰۸/۳۷ لیتر بر ثانیه مقدار ثبت شده از خروجی مخزن و ۱۲۲/۰۵ لیتر بر ثانیه مقدار مصرف ثبت شده از مشترکین کل محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

این شاخص به خوبی نشان می‌دهد مقدار تلفات آب در محدوده مورد مطالعه به مقدار زیادی بالاتر از استاندارد کل کشور (طبق نشریه ۳-۱۱۷ مقدار ماکسیمم تلفات ۱۵ درصد است) می‌باشد.

همچنین شاخص مدیریت کیفیت زیر ساخت باتوجه به نتایج بدست آمده از سناریوها، به صورت جدول ۳ محاسبه شده است:

جدول ۳- مقادیر شاخص نشت زیر ساخت در تمامی سناریوها

سناریو	(L/S) UARL	(L/S) CARL	ILI
S ₁	۵/۸۱	۶۹/۷۱	۱۲/۰۰
S ₂	۵/۵۵	۶۶/۰۸	۱۱/۹۰
S ₃	۵/۲۶	۶۱/۴۶	۱۱/۶۸
S ₄	۴/۹۱	۵۷/۰۰	۱۱/۶۱
S ₅	۵/۱۴	۶۰/۰۳	۱۱/۶۷

۱۱،۲. جمع بندی سناریوها

باتوجه به سناریوهای در نظر گرفته شده و نتایج بدست آمده از هر سناریو می‌توان خلاصه نتایج تمامی سناریوها را در جداول ۴ و ۵ شرح داد.

جدول ۴- مقادیر نشت حداکثر و متوسط روزانه در تمامی سناریوها

سناریو	میزان نشت ماکسیمم (L/S)	میزان کاهش نشت (L/S)	متوسط نشت روزانه (L/S)	مقدار حجم روزانه کاهش نشت (m3)
S ₁	۷۴/۴۹		۶۹/۷۱	
S ₂	۶۸/۷۰	۵/۷۹	۶۶/۰۸	۳۱۳/۶۳۲
S ₃	۶۴/۶۳	۹/۸۶	۶۱/۴۶	۷۱۲/۸۰۰
S ₄	۵۹/۵۹	۱۴/۹۰	۵۷/۰۰	۱۰۹۷/۲۸۰
S ₅	۶۲/۳۵	۱۲/۱۴	۶۰/۰۳	۸۳۶/۳۵۲

جدول ۵- مقادیر مجموع شاخص اقتصادی BCR در تمامی سناریوها در طی ۲۰ سال

سناریو	B (میلیون ریال)	C (میلیون ریال)	B/C
S ₂	۴۲۲۸۹۹	۳۳۸۹۴۷	۱/۳۰۷
S ₃	۱۰۰۷۴۵۵	۲۶۰۴۴۲	۳/۸۶۸
S ₄	۱۵۵۱۶۱۳	۳۱۰۲۶۴	۵/۰۰۱
S ₅	۱۱۸۱۸۷۹	۳۸۲۵۵۶	۳/۰۸۹

از جدول ۴ می‌توان به خوبی دریافت که با مدیریت هوشمند فشار در محدوده مورد پژوهش می‌توان میزان نشت آب در شبکه توزیع را کاهش داد که این کنترل در سناریو S4 به خوبی نمایان شده است. همچنین براساس جدول ۵ می‌توان یافت هزینه سرمایه‌گذاری زیاد بر روی شبکه توزیع همیشه باعث کاهش نشت بیشتر نمی‌شود لیکن می‌توان با انتخاب سناریو درست هزینه‌ها را کاهش و در مقابل هم مقدار کاهش نشت و سود بیشتر از نظر مالی حاصل گردد.

۳. نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن اهمیت موضوع نشت در شبکه‌های توزیع آب در سطح دنیا و اهمیت کنترل و مدیریت آن، براساس مطالعات انجام شده هیدرولیکی شبکه توزیع آب بر روی پهنه فشاری D شهر بیرجند، در این پژوهش سعی گردیده شد که براساس مدل‌سازی مبتنی بر فشار واقعی شبکه توزیع، ۴ سناریو اجرایی که قابلیت اجرا داشته باشند را جهت کاهش نشت مورد آزمایش قرار بگیرد. شاخص‌های زیرساخت شبکه‌های توزیع آب موجود، نشان از وخیم بودن اوضاع از نظر نشت در شبکه مورد پژوهش می‌باشد و نیاز سریع به اجرا اقدامات بلند مدت در رابطه به کنترل میزان نشت می‌باشد. که در این خصوص با توجه به ۴ سناریو در نظر گرفته شده، در سناریو S4 که مقدار کاهش نشت نسبت به بقیه سناریوها بیشتر بوده است. مقدار شاخص نشت زیرساخت حدود ۰/۴۰ کاهش نسبت به وضع موجود داشته است که خود نشان دهنده اثر بخشی این سناریو است.

با توجه به نتایج حاصله از سناریوهای ارائه شده، سناریو جابه‌جایی شیر PRV5 و اضافه نمودن یک شیر فشارشکن جدید در شبکه توزیع آب محدوده مورد پژوهش به دلیل کاهش فشار شبکه و نزدیک شدن فشار به ضوابط مطرح شده در بخش ۳-۶ به عنوان سناریو اثربخش‌تر شناخته شده است، همچنین در این سناریو مقدار سرمایه‌گذاری ۲۷۹/۳ میلیون ریال، مقدار سود حاصله از کاهش نشت آب ۱/۲۴۱ میلیارد ریال و مقدار اثر بخشی آن برابر ۱۴/۹۰ لیتر بر ثانیه در ساعت حداقل مصرف و همچنین با کاهش حجم نشتی برابر با ۱۰۹۷/۲۸۰ مترمکعب در طول شبانه‌روز می‌باشد که خود بیانگر برتر بودن آن نسبت به بقیه سناریوها می‌باشد اما از نظر مدت زمان اجرای این سناریو زمانبر خواهد بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که هرگونه مدیریت کوتاه مدت نشت در شبکه توزیع محدوده مورد پژوهش مطابق سناریوهای معرفی شده می‌تواند در کاهش میزان نشت شبکه توزیع اثرگذار باشد اما به صورت کامل در محدوده مورد مطالعه اثرگذار نبوده و نیاز به بررسی عوامل دیگر کاهش میزان نشت می‌باشد.

۴. مراجع

Adedeji, K. B., Hamam, Y., Abe, B. T., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). Towards achieving a reliable leakage detection and localization algorithm for application in water piping networks: An overview. IEEE Access, 5, 20272-20285.

Lambert, A. O. (2002). International report: water losses management and techniques. Water Science and

Technology: Water Supply, 2(4), 1-20.

Farley, M., & Trow, S. (2003). Losses in water distribution networks. IWA publishing.

Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M., & Yousefi-Khoshqalb, E. (2021). Developing a framework for leakage target setting in water distribution networks from an economic perspective. *Structure and Infrastructure Engineering*, 17(6), 821-837.

Fanner, P. V., Strum, R., Thornton, J., Liemberger, R., Davis, S. E., & Hoogerwerf, T. (2007). Leakage management technologies. American Water Works Association. Denver, Colo: Awwa Research Foundation.

Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water loss control. McGraw-Hill Education.

تابش، م. ۱۳۹۵. مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب. انتشارات دانشگاه تهران.

Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 48(6), 227-237.

Cavazzini, G., Pavesi, G., & Ardizzon, G. (2020). Optimal assets management of a water distribution network for leakage minimization based on an innovative index. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101890.

American Water Work Association, (AWWA). 2016. Water audits and loss control programs: AWWA manual M-36. 423p

Germanopoulos, G. (1985). A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models. *Civil Engineering Systems*, 2(3), 171-179.

Tabesh, M., & Hoomehr, S. (2009). Consumption management in water distribution systems by optimizing pressure reducing valves' settings using genetic algorithm. *Desalination and Water Treatment*, 2(1-3), 96-102.

Movahedi, F. (2007). Prioritizing Value Engineering Studies in Road Projects, Thesis Master of Science in Civil Engineering, Road and Transportation, Iran University of Science and Technology.