

## تعیین زمان نشت یابی و نوسازی شبکه های توزیع آب شهری با استفاده از تحلیل اطلاعات حوادث

مسعود تابش\*

استادیار دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

کیان کریمی

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۷/۲۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۴/۵، تاریخ تصویب ۸۵/۷/۸)

### چکیده

افزایش حوادث و نشت در شبکه های توزیع آب شهری بدلیل افزایش سن لوله ها از جمله عواملی است که اصلاح شبکه را ضروری می سازد. مهمترین قید تصمیم گیری در این ارتباط محدودیت منابع مالی می باشد و آنچه مساله را پیچیده می نماید تعدد عوامل و پارامترهای موثر در امر برنامه ریزی است. در این مقاله ضمن بررسی مسائلی که در طرح نوسازی یک شبکه آبرسانی حائز اهمیت است، مدلی هزینه ای متناسب با بانک داده های قابل دسترسی، در خصوص برنامه ریزی نوسازی شبکه ارائه شده است. اساس روش ارائه شده در این مقاله را بررسی نشت و آنالیز تاریخچه حوادث تشکیل می دهد. در این روش با فرض خطی بودن تغییرات نرخ حوادث بر حسب زمان، هزینه های دوره بهره برداری برای سه روش مدیریت نشت در شبکه شامل رفع حوادث، عملیات نشت یابی و جایگزینی لوله ها محاسبه و با مقایسه آنها ابتدا زمان مناسب نشت یابی و سپس زمان نوسازی شبکه تعیین گردیده است. جهت ارزیابی روش ارائه شده، زمان مناسب نشت یابی و نوسازی شبکه توزیع آب یکی از شهرهای کشور که مطالعات مربوط به حوادث آن در فاز اول این تحقیق انجام شد، محاسبه و اثر پارامترهای مختلف بر روی نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. روش ارائه شده در این مقاله، به دلیل انتخاب بانک داده قابل دسترس و منطقی نسبتاً ساده، به شکل مناسبی قابلیت کاربرد در شبکه های آبرسانی مختلف به ویژه در ایران را دارا می باشد.

**واژه های کلیدی:** شبکه های توزیع آب شهری - نشت یابی - نوسازی - تعویض لوله ها - تلفات فیزیکی - نرخ حوادث

### مقدمه

شبکه خارج می شود. کنترل نشت در یک سیستم آبرسانی علاوه بر جلوگیری از اتلاف سرمایه به کار گرفته شده برای استحصال آب، باعث استفاده بهینه از منابع آب نیز می گردد. از جمله مهمترین عوامل ایجاد و تشدید نشت در شبکه های توزیع آب عبارتند از: خوردگی و پوسیدگی لوله های شبکه، بار ترافیک روی معابر، سربارهای استاتیکی و دینامیکی، وجود فشار بیش از حد در نقاطی از شبکه، تغییرات شدید دمای هوا، حفاری معابر، جنس نامرغوب لوله ها و اتصالات، اجزای غیر استاندارد و ... با افزایش سن اجزای شبکه به ویژه لوله ها، اثر بسیاری از این عوامل تشدید می گردد و در پی آن نشت افزایش خواهد یافت.

برای غلبه بر مشکلات ناشی از حوادث مکانیکی و هیدرولیکی در شبکه های توزیع آب شهری، سه روش کنترل غیرفعال (برخورد موضعی جهت رفع حوادث

بسیاری از شبکه های توزیع آب در معرض بحران کمبود منابع آبی، محدودیتهای اقتصادی جهت بهره برداری بهینه و کهنگی و فرسودگی اجزای خود قرار گرفته اند. فرسودگی شبکه های آب شهری باعث ایجاد شکست مکانیکی و هیدرولیکی در اجزای شبکه می گردد. در شکست مکانیکی، اجزای شبکه بدلیل بروز حوادث از مدار سرویس دهی خارج می شوند. فرسودگی هیدرولیکی نیز به معنای عدم توانایی شبکه آب در برآورده نمودن مقادیر تقاضای مورد نیاز در گره های مصرف در محدوده فشار مناسب و استاندارد است. خرابی هیدرولیکی ممکن است در اثر شکست مکانیکی و یا کاهش ظرفیت هیدرولیکی لوله ها بدلیل مسائلی نظیر کاهش سطح مقطع و افزایش زبری و یا افزایش مصرف و در نتیجه افت فشار در شبکه رخ دهد. بر اثر بروز شکست مکانیکی، آب بصورت نشت از

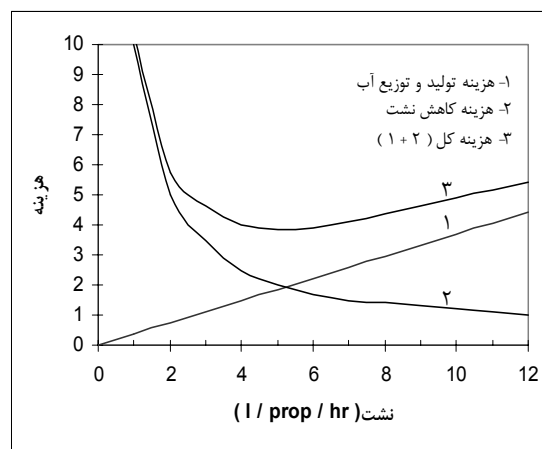
مدلهای گوناگونی برای برنامه ریزی نوسازی شبکه های آبرسانی معرفی شده که هر یک با مبنا قرار دادن بخشی از مفاهیم اصلی مرتبط با برنامه ریزی نوسازی نتیجه شده اند. انواع مدل‌های برنامه ریزی نوسازی بر حسب روش مورد استفاده به شرح زیر می باشند:

**مدلهای راهنمای عمومی نوسازی:** این نوع از مدلها مشخص می کنند که کدام لوله ها باید مورد نوسازی قرار گیرد ولی در آنها مساله اولویت بندی الزامات نوسازی مطرح نمی گردد. به عنوان نمونه با استفاده از هزینه های ناشی از شکست و جایگزینی لوله ها، زمان بهینه جایگزینی لوله ها تعیین گردیده است [۳]. با روشی مشابه، با تعریف نرخ بحرانی شکست، مدلی ارائه شد که در زمان تجاوز نرخ شکست از این میزان، لوله ها می بایست نوسازی شوند [۴]. از طرف دیگر با استفاده از اطلاعات شکست لوله ها در شبکه توزیع آب، روشی ارائه شد که زمان بهینه نشت یابی و نوسازی شبکه را تعیین می کرد [۵]. در این روش مسئله عملکرد هیدرولیکی شبکه در تعیین زمان بهینه نوسازی لوله ها لحاظ نشده است.

**مدلهای اولویت بندی:** مدل‌های اولویت بندی نوسازی، با توجه به مسائلی نظیر میزان بودجه در دسترس و وضعیت عملکرد شبکه، الزامات نوسازی لوله ها را اولویت بندی می نمایند. از جمله روشی تحت عنوان "قابلیت اطمینان مجموعه برش حداقل" (کوچکترین مجموعه از لوله ها که خرابی آنها سبب ایجاد خرابی در سیستم می گردند) جهت تعیین اولویت نوسازی لوله های شبکه مورد استفاده قرار گرفت [۶]. همچنین در تحقیقی دیگر بازسازی یک سیستم بر مبنای قابلیت اطمینان هیدرولیکی و سازه ای لوله ها و نیز کیفیت آب در شبکه طرح ریزی گردید [۷]. در روشهای اولویت بندی نوسازی ناحیه ای، ضمن تقسیم شبکه به مجموعه ای از نواحی، با بررسی و تحلیل نواحی، اولویت نوسازی هر ناحیه تعیین می گردد. نرم افزاری نیز بر مبنای همین روش ابداع شده است [۸]. در این مدلها تحلیل هیدرولیکی شبکه ضروری می باشد.

**مدلهای بحران:** مدل‌های بحران از جمله مدل‌های اولویت بندی می باشند که برنامه ریزی نوسازی در آنها بر مبنای میزان ریسک شکست لوله و اثرات بحرانی این شکست بر وضعیت شبکه صورت می گیرد. نمونه ای از این مدلها در مرجع [۹] ارائه شده است.

روزمره)، کنترل فعال (برنامه نشت یابی مستمر و منظم) و نوسازی شبکه (تعویض لوله ها و دیگر اجزاء) مورد استفاده قرار می گیرند. مهمترین عامل محدود کننده در تعیین روش مقابله با نشت و حوادث، محدودیتهای اقتصادی می باشد. مهمترین تصمیمی که باید توسط مدیران شبکه های آب اتخاذ شود آنست که مشخص شود با توجه به منابع اقتصادی موجود و وضعیت مکانیکی و هیدرولیکی شبکه، در چه زمان و کدام نقطه از شبکه، کدامیک از روشهای کنترل غیرفعال، کنترل فعال و بهسازی یا نوسازی شبکه مورد استفاده قرار گیرند. شستشو، پوشش مجدد و جایگزینی لوله ها و دیگر اجزاء، از موارد بهسازی و نوسازی شبکه می باشند. موضوع دیگری که باید مدنظر قرار گیرد آنست که کاهش نشت در یک سیستم تا چه سطحی اقتصادی می باشد. بطور مثال شکل (۱) نشان می دهد که کاهش مقدار نشت توسط هر یک از روشهای سه گانه فوق به میزان کمتر از ۵ (لیتر بر مشترک بر ساعت) مستلزم هزینه بالائی بوده و عملی غیراقتصادی و غیرقابل توجه به شمار می رود.



شکل ۱: تعیین سطح بهینه نشت.

در دو دهه اخیر تحقیقات مختلفی که در آنها اجزای مورد نیاز یک مدل بهسازی و نوسازی شبکه مورد توجه قرار گرفته، انجام شده است [۲۰،۱]. شکل عمومی مدل‌های ارائه شده، یک مدل هزینه ای است که هدف آن حداقل کردن هزینه های تحمیلی به سیستم تأمین آب می باشد. برنامه ریزی نوسازی باید به گونه ای باشد که عملکرد هیدرولیکی سیستم، نوسازی شده و کیفیت آبی که در اختیار مشترکین قرار می گیرد، از قیدهای تعیین شده تبعیت نماید. در تحقیقات گذشته،

## روش تحقیق

از آنجاییکه یکی از مهمترین اهداف نوسازی شبکه های آبرسانی کاهش نشت می باشد، روش ارائه شده در این مقاله با محوریت مفهوم نشت و با بهره گیری از تاریخچه حوادث شبکه، نرخ حوادث شبکه را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد و با آنالیز هزینه های مربوط به روشهای مدیریت نشت در شبکه، زمانبندی بهره گیری از این روشها را در دوره طرح ارائه می نماید. در این روش متغیرهای موثر مسئله به شرح زیر در نظر گرفته شده اند: نرخ حوادث، هزینه واحد تعمیرات، هزینه واحد نشت یابی، هزینه واحد سالانه نوسازی، زمان متوسط حوادث گزارش شده، هزینه واحد تلفات آب، دبی نشت.

## تغییرات نرخ حوادث در شبکه توزیع آب بر

### حسب زمان

از آنجاییکه لحاظ کردن عوامل پر شمار مؤثر در مساله نشت ارائه یک مدل فراگیر را عملاً غیر ممکن می سازد، در این تحقیق پارامتر سن لوله ها که به شکل مستقیم یا غیر مستقیم بر بسیاری از عوامل مؤثر بر مساله نشت تاثیر گذار است به عنوان عامل تعیین کننده در نظر گرفته شده است. نقطه آغازین این روش در اختیار داشتن و تحلیل تاریخچه حوادث می باشد. یکی از مهمترین پارامترهایی که از تاریخچه حوادث قابل تعیین است تعداد حوادث سالانه در هر کیلومتر از طول لوله است که به عنوان نرخ حوادث نامیده می شود. ماهیت نحوه تغییرات نرخ حوادث بر حسب زمان بصورت غیر خطی می باشد ولی می توان جهت ساده سازی مسئله، رابطه نرخ حوادث و زمان بصورت خطی فرض نمود.

یکی از پارامترهای قابل تعریف با استفاده از تاریخچه حوادث، نرخ حوادث رفع شده می باشد که از طریق فرمول زیر بدست می آید:

$$RB_i^r(t) = A_i + B_i.T_i(t)$$

(۱)

که  $RB_i^r(t)$ : نرخ حوادث سالانه رفع شده برای لوله های از جنس  $i$  در زمان  $t$  (NB/year/km)،  $A_i$ : عرض از مبدا خط رگرسیون داده های حوادث مربوط به لوله های از جنس  $i$ ،  $B_i$ : شیب خط رگرسیون،  $T_i(t)$ : سن متوسط لوله های از جنس  $i$  در زمان  $t$  (year) که از

مدلهای بهینه سازی: روشهای بهینه سازی، اثر هر لوله را در قالب عملکرد کل شبکه مورد توجه قرار می دهند. مدلهاى بهینه سازی شامل مدلهایی از نوع بهینه سازی عملکرد سیستم با قید هزینه معلوم [۱۰] و مدلهایی از نوع حداقل سازی هزینه با قید سطح عملکرد معلوم برای سیستم [۱۱] می باشند. در مرجع اخیر مدلی تحلیلی ارائه شده است که در آن با مورد توجه قرار دادن توام فرسودگی هیدرولیکی و سازه ای شبکه، برنامه بهینه اقتصادی نوسازی شبکه با در نظر گرفتن قید حداقل فشار گرهی ارائه می شود. فضای حل ترکیبی در این روش، حجیم و در اغلب موارد در مورد شبکه های آبرسانی موجود در عمل غیر قابل بررسی است و نتیجتاً این روش صرفاً در محدوده مثالهای تئوریک کاربرد دارد. در تحقیقی که توسط [۱۲] انجام شد برای حداقل نمودن هزینه ها یک برنامه ریزی غیر خطی با استفاده از یک مدل شبیه سازی هیدرولیکی بدست آمد تا مشخص شود که کدام لوله ها باید مورد جایگزینی و یا نوسازی واقع شوند. در همین ارتباط برخی توابع احتمالی برای بهبود مدل [۱۲] معرفی شد [۱۳]. این مدل توسط محققین بعدی [۱۴] بهبود یافت. همچنین مدلی برای تعیین برنامه بهینه نوسازی شبکه های آبرسانی ارائه شد که در آن ظرفیت هیدرولیکی سیستم در نظر گرفته نشده بود [۱۵].

با توجه به پیچیدگی مدلهایی که تاکنون تهیه شده است و زمانبر بودن اجرای آنها (به خصوص انواع مدلهای بهینه سازی) و نیاز آنها به داده های وسیع و متعدد، در این مقاله روشی ارائه شده است که صرفاً بر پایه تاریخچه حوادث مربوط به شبکه که در سیستمهای آب شهری ایران براحتی قابل جمع آوری می باشد، علاوه بر زمان شروع برنامه نوسازی شبکه، برآورد زمان شروع برنامه نشت یابی و رفع نشت را نیز ممکن می سازد. در زمینه تحلیل اطلاعات حوادث نیز تاکنون تحقیقات مقدماتی صورت گرفته است [۱۶، ۱۷]. در این مقاله تلاش گردیده است با بهبود و تکمیل روشهای مورد استفاده در تحقیقات گذشته (از جمله [۳، ۴، ۵]) یک مدل با قابلیت کاربرد فراگیر و در عین حال نسبتاً ساده و با دقت مناسب ارائه گردد و قابلیتهای روش پیشنهادی بر اساس مطالعات میدانی دقیقی که توسط محقق انجام شده است نشان داده شود.

حوادث و میزان نشت می باشد و این مسئله در تحقیقات قبلی بدرستی مورد بررسی قرار نگرفته است به منظور افزایش جامعیت مدل و لحاظ نمودن اثرات قطر لوله‌ها، برای تعیین نرخ حوادث لوله‌ها از طول مؤثر لوله‌ها استفاده می‌شود. طول مؤثر یک لوله عبارتست از طول لوله هم حجم لوله مورد نظر به قطر ۱۵۰ میلی‌متر. بنابراین طول مؤثر یک قطعه لوله عبارتست از:

$$LN = L_i \cdot \left(\frac{DN_i}{150}\right)^2 \quad (7)$$

که LN: طول مؤثر قطعه مورد بررسی (Km)،  $L_i$ : طول لوله (Km) و  $DN_i$ : قطر لوله مورد بررسی (mm) می باشند.

در حالت کلی سه روش برای مدیریت نشت در شبکه های توزیع آب موجود است. این سه روش عبارتند از:

- ۱- رفع نشت بدون برنامه نشت یابی (ترمیم شبکه بدون حوادث و اتفاقات در شبکه)
- ۲- رفع نشت توأم با برنامه نشت یابی.
- ۳- رفع نشت از طریق برنامه جایگزینی لوله‌ها.

در این تحقیق ضمن برآورد اقتصادی هزینه های سالانه هریک از انواع مدیریت نشت، اقتصادی ترین روش تعیین می گردد.

### آنالیز هزینه های مربوط به روش رفع حوادث بدون عملیات نشت یابی (روش اول)

در این روش صرفاً به رفع حوادث گزارش شده اقدام می شود و کنترل فعال نشت صورت نمی گیرد. تابع هزینه سالانه مربوط به این روش مطابق رابطه زیر می باشد.

$$C_i^I = C_i^{rep} + C_i^{wl} \quad (8)$$

که  $C_i^I$  = هزینه کل سالانه روش اول،  $C_i^{rep}$  = هزینه سالانه تعمیرات و  $C_i^{wl}$  = هزینه سالانه مربوط به تلفات آب.

هزینه سالانه تعمیرات ( $C_i^{rep}$ )، از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$C_i^{rep} = L_i^T \cdot RB_i^r \cdot C_i^{ur} \quad (9)$$

طریق میانگین گیری وزنی بدست می آید و  $t$ : زمان سپری شده از نخستین سال احداث شبکه (year) می باشند. با فرض اینکه:

$$\frac{L_i(t-1)}{L_i(t)} = K_i \quad (2)$$

معادله (۱) را می توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$RB_i^r(t) = A_i + B_i \cdot \frac{1 - K_i^t}{1 - K_i} \quad (3)$$

که  $L_i(t-1)$ : طول لوله های از جنس  $i$  که در زمان  $t-1$  در شبکه موجود است و  $L_i(t)$ : طول لوله های از جنس  $i$  که در زمان  $t$  در شبکه موجود است می باشند.

اگر زمان بین لحظه آغازینی که حادثه رخ داده است و زمانی که شناسایی می شود، تحت عنوان زمان متوسط حوادث گزارش نشده نامیده و با نماد  $t_{ub}$  نمایش داده شود، نرخ حوادث رخ داده برای لوله های از جنس  $i$  در زمان  $t$  که با نماد  $RB_i^o(t)$  نمایش داده می شود عملاً برابر است با نرخ حوادث رفع شده در زمان  $t + t_{ub}$ . به عبارت دیگر:

$$RB_i^o(t) = RB_i^r(t + t_{ub}) \quad (4)$$

که:

$$RB_i^r(t + t_{ub}) = A_i + B_i \cdot T_i(t + t_{ub}) = A_i + B_i \cdot \frac{1 - K_i^{t+t_{ub}}}{1 - K_i} \quad (5)$$

به منظور سهولت در نوشتار، با نماد  $T_i$  و  $T_i(t_{ub})$  با نماد  $T_{ub}$  جایگزین شده اند. طبیعی است نرخ کل حوادث موجود در زمان  $t$ ،  $(RB_i^e(t))$ ، از حاصل جمع نرخ حوادث رخ داده در زمان  $t$  به علاوه مجموع تعداد حوادثی که از نخستین سال احداث شبکه تا زمان  $t$  هر ساله رخ داده ولی تعمیر نشده است تعیین می گردد که فرم ساده شده آن به صورت زیر است:

$$RB_i^e(t) = A_i + B_i \cdot T_{ub} + B_i \cdot (1 + T_{ub}) \cdot T_i \quad (6)$$

### تعیین طول مؤثر لوله های هم جنس جهت تعیین نرخ حوادث

از آنجا که قطر لوله ها یکی از عوامل مؤثر در نرخ

برنامه نشت یابی به ازای هر کیلومتر از طول لوله باشد،  
آنگاه:

$$C_i^{ld} = L_i^T \cdot C_{uld} \quad (13)$$

از سوی دیگر فرض بر این است که تمامی حوادث رخ داده در سال، در برنامه نشت یابی شناسایی و رفع می شوند. بنابراین:

$$C_i^{rep} = L_i^T \cdot RB_i^o \cdot C_i^{ur} \quad (14)$$

هزینه سالانه تلفات آب در این حالت عبارتست از:

$$C_i^{wl} = \frac{1}{2} \cdot L_i^T \cdot RB_i^o \cdot V'_{wl} \cdot C_{uw} \quad (15)$$

تابع هزینه سالانه روش دوم مطابق رابطه زیر می باشد:

$$C_i^{II} = C_i^{rep} + C_i^{ld} + C_i^{wl} \quad (16)$$

که  $C_i^{II}$  = هزینه کل سالانه روش دوم و  $C_i^{ld}$  = هزینه سالانه مربوط به برنامه نشت یابی. بنابراین با توجه به روابط فوق تابع هزینه سالانه روش دوم از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$C_i^{II} = L_i^T \cdot [C_{uld} + (A_i + B_i \cdot T_{ub}) \cdot (C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw}) + B_i \cdot T_i \cdot (C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw})] \quad (17)$$

این معادله نیز همانند معادله معرف تابع هزینه سالانه روش اول (معادله ۱۱) بیانگر تغییرات خطی بر حسب زمان است. بر اساس شکل (۲) دو خط هزینه سالانه مربوط به روشهای اول و دوم یکدیگر را در نقطه  $T_i^{II}$  قطع می کنند. بدیهی است این زمان، زمان بهینه شروع روش دوم می باشد.  $T_i^{II}$  از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$T_i^{II} = \frac{B_i \cdot T_{ub} \cdot C_i^{ur} + C_{uld} + V_{wl} \cdot C_{uw} \cdot [\frac{A_i}{2} \cdot (\alpha - 1) + B_i \cdot T_{ub} \cdot (\frac{\alpha}{2} - 1)]}{B_i \cdot V_{wl} \cdot C_{uw} \cdot [T_{ub} + \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2}]} \quad (18)$$

که  $L_i^T$  = طول لوله های از جنس i در زمان T،  $RB_i^T$  = نرخ حوادث رفع شده در سال T برای لوله های از جنس i و  $C_i^{ur}$  = هزینه واحد مربوط به رفع یک شکستگی.

برای محاسبه هزینه تلفات آب ( $C_i^{wl}$ )، فرض می شود که به طور متوسط تلفات آب از شکستگیهای رفع شده به مدت نیمی از سال تداوم می یابد. بنابراین:

$$C_i^{wl} = L_i^T \cdot [(RB_i^e - RB_i^T) + \frac{1}{2} \cdot RB_i^T] \cdot V_{wl} \cdot C_{uw} \quad (10)$$

که  $V_{wl}$ : حجم متوسط تلفات آب از هر شکستگی در مدت یکسال و  $C_{uw}$ : هزینه واحد تولید آب (واحد پول بر واحد حجم) می باشند. بنابراین هزینه سالانه مربوط به روش اول ( $C_i^I$ ) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_i^I = L_i^T \cdot \{A_i \cdot C_i^{ur} + V_{wl} \cdot C_{uw} \cdot (B_i \cdot T_{ub} + \frac{A_i}{2}) + B_i \cdot T_i \cdot [C_i^{ur} + (T_{ub} + \frac{1}{2}) \cdot V_{wl} \cdot C_{uw}]\} \quad (11)$$

همانگونه که در رابطه فوق مشاهده می شود با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده، تغییرات هزینه سالانه روش اول بر حسب زمان به صورت خطی می باشد.

## آنالیز هزینه های مربوط به مدیریت رفع نشت همراه با نشت یابی (روش دوم)

بدیهی است با گذشت زمان، سن شبکه و به تبع آن میزان حوادث در شبکه افزایش می یابد. بنابراین در زمانی معین و پیش از آنکه آثار نشت به شکلی مشهود پدیدار شود، لازم است شبکه جهت نشت یابی مورد بررسی قرار گیرد. در این حالت، از یک سو هزینه اضافی مربوط به عملیات نشت یابی و از سوی دیگر کاهش در حجم سالانه تلفات آب اتفاق می افتد. با فرض کاهش حجم تلفات آب در این روش نسبت به روش قبل:

$$V'_{wl} = \alpha \cdot V_{wl} \quad \text{و} \quad \alpha \leq 1 \quad (12)$$

که  $V'_{wl}$ : حجم واحد تلفات آب در روش دوم (مترمکعب) و  $\alpha$ : نسبت حجم واحد تلفات آب در روش دوم نسبت به روش اول می باشند. چنانچه  $C_{uld}$  معرف هزینه واحد

می آید.

برای محاسبه  $C_i^{III}$ ، سه فاصله زمانی تعیین کنند  
هستند. این فواصل عبارتند از:

الف- دوره جایگزینی (بازپرداخت در حال افزایش  
است):  $0 \leq t \leq RP$

ب- بازپرداخت مقداری ثابت است:  $RP \leq t \leq DP$

ج- بازپرداخت کاهش می یابد:  $DP \leq t \leq DP + RP$   
t معرف مدت زمان سپری شده از زمان آغاز برنامه  
جایگزینی است (در زمان  $T_i^{III}$ :  $t=0$ ). در ادامه، جملات  
مختلف سمت راست معادله (۱۹) تبیین می شوند.

$$C_i^{rep} = \begin{cases} L_i^T \cdot RB_i^o \cdot C_i^{ur}, & t > RP \\ L_i^T \cdot RB_i^o \cdot (1 - \frac{1}{RP}) \cdot C_i^{ur}, & t \leq RP \end{cases} \quad (20)$$

$$C_i^{ld} = \begin{cases} L_i^T \cdot C_{uld}, & t > RP \\ L_i^T \cdot (1 - \frac{1}{RP}) \cdot C_{uld}, & t \leq RP \end{cases} \quad (21)$$

به ازای تمام مقادیر t:

$$C_i^{wl} = \frac{1}{2} RB_i^o \cdot V_{wl}' \cdot C_{uw} \cdot L_i^T \quad (22)$$

جمله دوم سمت راست معادله (۱۹) همانگونه که اشاره  
گردید، به دوره زمانی مورد نظر بستگی دارد. در فاصله  
زمانی نخست یعنی  $0 \leq t \leq RP$ ، بازپرداخت سالانه  
عبارت است از:

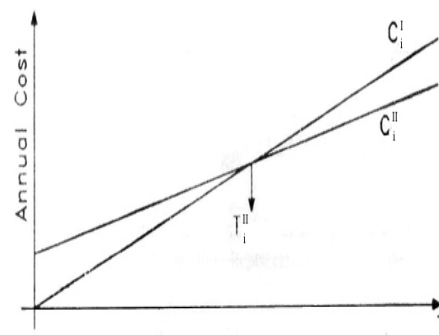
$$C_i^{pr} = L_i^T \cdot (\frac{A_i^{upr}}{RP}) \cdot t \quad (23)$$

که  $A_i^{upr}$ : هزینه سالانه جایگزینی واحد طول لوله های  
با جنس i (واحدپول بر سال بر کیلومتر) می باشد.  
سن متوسط متناظر با زمان  $T_i^{III} + t$  از رابطه زیر  
محاسبه می شود:

$$T(T_i^{III} + t) = (1 - \frac{t}{RP}) \cdot (T_i^{III} + t) + \frac{t \cdot (t+1)}{2 \cdot RP} \quad (24)$$

بنابراین با توجه به معادلات (۲۰) تا (۲۴)، تابع هزینه  
سالانه برنامه جایگزینی، در نخستین دوره  
زمانی  $0 \leq t \leq RP$  عبارتست از:

$$(C_i^{III})_1 = L_i^T \cdot [a' + b't + c't^2] \quad (25)$$



شکل ۲: توابع هزینه سالانه روش اول ( $C_i^I$ )  
و روش دوم ( $C_i^II$ ).

### آنالیز هزینه ها در مدیریت رفع نشت از طریق برنامه جایگزینی لوله ها (روش سوم)

با اجرای برنامه جایگزینی مفروض در این روش،  
طولی مشخص ( $L_T$ ) از شبکه که مجموع طول کلیه  
لوله های متشکل از یک جنس معلوم i هستند در دوره  
جایگزینی (RP) تعویض می گردد.  $T_i^{III}$  زمان شروع  
برنامه جایگزینی لوله های از جنس i و DP دوره باز  
پرداخت سرمایه می باشد. با توجه به مطالب ذکر شده :  
 $DP > RP$ . فرض بر این است که در روش برنامه ریزی  
مورد نظر، از جایگزینی یکنواخت استفاده می شود. در  
یک جایگزینی یکنواخت، طی هر سال از دوره  
جایگزینی، طولی معادل  $\frac{L_T}{RP}$  از لوله ها جایگزین

می شود. برای دستیابی به یک مدل ریاضی نسبتاً کم  
حجم، فرض می شود که تغییرات نرخ حوادث بر حسب  
زمان در مورد لوله های جدید مشابه لوله های مسن  
می باشد. طبیعی است نتایج بدست آمده از این فرض  
محافظه کارانه خواهد بود. تابع هزینه کل در این روش،  
مطابق رابطه زیر خواهد بود:

$$C_i^{III} = C_i^{rep} + C_i^{pr} + C_i^{ld} + C_i^{wl} \quad (19)$$

که  $C_i^{III}$  = هزینه کل سالانه روش سوم و  $C_i^{pr}$  = هزینه  
سالانه جایگزینی لوله ها. در این روش فرض گردیده است  
که هزینه تلفات آب برابر با هزینه تامین منبع آب جدید  
به میزان آب تلف شده می باشد که از حاصل ضرب حجم  
تلفات در قیمت استحصال یک مترمکعب آب بدست

$$(C_i^{pr})_3 = L_i^T \cdot A_i^{upr} \cdot \left(1 - \frac{t - DP}{RP}\right) \quad (29)$$

در این فاصله زمانی، سن متوسط  $T$ ، مشابه فاصله زمانی دوم، از رابطه (۲۷) محاسبه می شود. با توجه به مطالب ذکر شده و با بهره گیری از معادلات (۲۰) تا (۲۴) و معادلات (۲۸) و (۲۹) تابع هزینه سالیانه برنامه جایگزینی را در فاصله زمانی سوم  $DP \leq t \leq DP + RP$  میتوان با رابطه زیر بیان نمود:

$$(C_i^{III})_3 = L_i^T \cdot (a''' + b''' \cdot t)$$

$$a''' = a'' + A_i^{upr} \cdot \frac{DP}{RP}$$

$$b''' = b'' - \frac{A_i^{upr}}{RP} \quad (30)$$

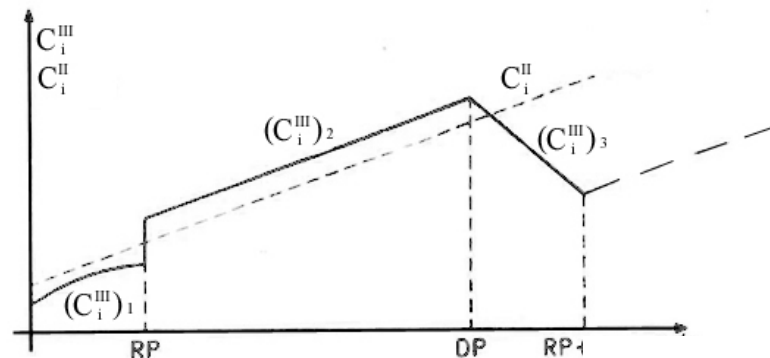
برای ایجاد یک فرمت مشابه روابط هزینه های روش سوم، هزینه کل سالانه روش دوم  $(C_i^{II})$  را در فاصله زمانی  $0 \leq t \leq DP + RP$  می توان به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$C_i^{II} = L_i^T \cdot (a + b \cdot t)$$

$$a = C_{uld} + (P + B_i \cdot T_i^{III}) \cdot (C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw})$$

$$b = B_i \cdot (C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw}) = b'' \quad (31)$$

در شکل (۳)، توابع هزینه مربوط به برنامه جایگزینی و برنامه نشت یابی در فاصله زمانی  $0 \leq t \leq DP + RP$  به صورت توأم به نمایش درآمده است.



شکل ۳: توابع هزینه سالانه روش دوم  $(C_i^{II})$  و روش سوم  $(C_i^{III})$ .

$$a' = (p + B_i \cdot T_i^{III}) \cdot m + n$$

$$b' = \frac{A_i^{upr}}{RP} + \frac{m \cdot B_i}{2 \cdot RP} (2 \cdot RP - 2 \cdot T_i^{III} + 1)$$

$$c' = -m \cdot \frac{B_i}{2 \cdot RP}$$

$$p = A_i + B_i \cdot T_{ub}$$

$$m = \left(1 - \frac{1}{RP}\right) \cdot C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw}$$

$$n = \left(1 - \frac{1}{RP}\right) \cdot C_{uld}$$

در دومین فاصله زمانی  $RP \leq t \leq DP$ ، بازپرداخت سالانه مقداری ثابت است و از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$(C_i^{pr})_2 = L_i^T \cdot A_i^{upr} \quad (26)$$

در این فاصله زمانی، سن متوسط متناظر با زمان  $T_i^{III} + t$  عبارتست از:

$$T(T_i^{III} + t) = \frac{RP + 1}{2} + t - RP \quad (27)$$

با توجه به معادلات قبل، هزینه های سالیانه برنامه جایگزینی در فاصله زمانی دوم  $RP \leq t \leq DP$  عبارتست از:

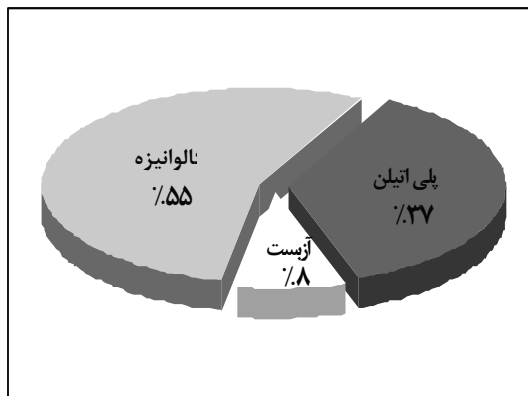
$$(C_i^{III})_2 = L_i^T \cdot (a'' + b'' \cdot t)$$

$$a'' = C_{uld} + (p + B_i \cdot \frac{1 - RP}{2}) \cdot (C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw}) + A_i^{upr}$$

$$b'' = B_i \cdot (C_i^{ur} + \frac{\alpha}{2} \cdot V_{wl} \cdot C_{uw}) \quad (28)$$

و نهایتاً در فاصله زمانی سوم  $DP \leq t \leq DP + RP$  هزینه کل باز پرداخت مطابق رابطه زیر کاهش می یابد.

طول لوله‌ها به تفکیک جنس (گالوانیزه ۵۸/۸۲۸ کیلومتر، پلی اتیلن ۲۰/۵۱۸ کیلومتر، آزبست سیمان ۱۰۷/۹۴۶ کیلومتر) و دامنه قطر لوله‌ها (۳۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر). تعیین ارتباط حوادث ایجاد شده در شبکه با جنس و قطر لوله‌ها از شاخصهای موثر در شناخت ماهیت شبکه آب شهر می‌باشد. با توجه به نتایج تحلیل اطلاعات حوادث، درصد حوادث نسبت به جنس لوله‌ها مطابق شکل (۴) است. در روش ارائه شده در این مقاله به منظور ساده سازی فرض شده است که تغییرات نرخ حوادث بر حسب زمان به صورت خطی می‌باشد.



شکل ۴: درصد حوادث بر حسب جنس لوله‌ها.

به منظور تعیین طول مؤثر لوله‌های هم جنس، لازم است اطلاعات مربوط به طول لوله‌های با قطر مختلف به تفکیک جنس لوله‌ها مورد استفاده قرار گیرد. طول مؤثر محاسبه شده لوله‌های هم جنس با توجه به اطلاعات مربوط به قطر و طول لوله‌ها (جدول ۱) می‌باشد.

جدول ۱: طول مؤثر لوله‌های با جنسهای مختلف در زمان ارزیابی.

طول مؤثر (km)	جنس لوله
۹/۰۴۱	گالوانیزه
۶/۵۹۸	پلی اتیلن
۸۹/۸۹۱	آزبست

اگر افزایش طول نسبی لوله‌های هم جنس شبکه مقدار ثابتی در نظر گرفته شود [۵]، بنابراین:

$$L_i(t) = L_0 \times e^{kt} \quad (34)$$

که  $L_i(t)$ : طول لوله‌های از جنس  $i$  در زمان  $t$  (km)،  
 $L_0$ : طول لوله‌های از جنس  $i$  در نخستین سال احداث

به منظور تعیین بهترین زمان شروع برنامه جایگزینی شبکه از لحاظ هزینه‌های دوره بهره برداری، لازم است که از طریق انتگرالگیری از توابع هزینه‌های سالانه در دوره کامل زمانی، هزینه‌های کل مربوط به هر یک از روشهای مدیریت محاسبه گردد. بنابراین:

$$(C_i^{II})_T = \int_0^{DP+RP} C_i^{II} dt = L_i^T \cdot (DP+RP) \cdot [a + \frac{b}{2}(DP+RP)] \quad (32)$$

$$(C_i^{III})_T = \int_0^{RP} (C_i^{III})_1 dt + \int_{RP}^{DP} (C_i^{III})_2 dt + \int_{DP}^{DP+RP} (C_i^{III})_3 dt + \frac{b''}{2}(DP^2 - RP^2) + a'''RP + \frac{b'''}{2}[(DP+RP)^2 - DP^2] \\ = L_i^T \{ a' \cdot RP + b' \frac{RP^2}{2} + c' \frac{RP^3}{3} + a''(DP - RP) \} \quad (33)$$

بهترین زمان شروع برنامه جایگزینی، زمانی است که  $(C_i^{III})_T = (C_i^{II})_T$ . به عبارت دیگر با مساوی قرار دادن معادلات (۳۲) و (۳۳)، مناسبترین زمان شروع برنامه جایگزینی  $(T_i^{III})$  بدست می‌آید.

از آنجاییکه روش ارائه شده در این مقاله شامل محاسبه یک سری پارامتر جهت تعیین زمانهای بهینه نشت یابی و نوسازی می‌باشد، به منظور سهولت در بکارگیری روش، یک مدل کامپیوتری ساده و کاربر دوست تحت نرم افزار Excel به صورت جدول محاسباتی<sup>۲</sup> تهیه شده است که قادر است زمان مناسب نشت یابی و نوسازی لوله‌های شبکه را به تفکیک جنس محاسبه و ارائه نماید [۱۶].

## ارزیابی روش

در این بخش با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به شبکه توزیع آب یکی از شهرهای کشور (چالوس)، روش ارائه شده جهت برنامه‌ریزی بهسازی و نوسازی شبکه‌های آبرسانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه اساس این روش را اطلاعات حاصل از تاریخچه حوادث و نتایج حاصل از طرحهای کاهش آب به حساب نیامده تشکیل می‌دهد در این مقاله از اطلاعات فاز اول این تحقیق که در این منطقه انجام شده استفاده شده است. وضعیت تأسیسات و شبکه توزیع آب شهر مورد مطالعه به شرح ذیل می‌باشد [۱۸]: قدمت لوله‌های شبکه (یک تا ۳۵ سال)، طول شبکه توزیع آب (۱۸۷/۲۹۲ کیلومتر)،



سازی شرایط لوله های مورد بررسی، از طول موثر برای تعیین نرخ حوادث استفاده می شود. در صورتیکه نرخ حوادث بر مبنای طول واقعی لوله ها محاسبه شود تغییرات نرخ حوادث بر حسب زمان به شرح جدول (۵) خواهد بود. مطابق این جدول، در این حالت بیشترین مقدار نرخ حوادث مربوط به لوله های پلی اتیلن می باشد. بنابراین در حالت استفاده از طولهای موثر، لوله های گالوانیزه و در حالت استفاده از طولهای واقعی، لوله های پلی اتیلن در اولویت نشت یابی و نوسازی قرار می گیرند. با توجه به پتانسیل آسیب پذیری لوله های گالوانیزه، بدلیل کم بودن قطر این نوع لوله و خوردگی محیط که شرایط نامناسبی را برای این نوع لوله ها فراهم آورده است، نتایج حاصل از مطالعات میدانی نشان داده شده در شکل (۴) بیانگر فراوانی بیشتر حوادث لوله های گالوانیزه نسبت به لوله های پلی اتیلن در منطقه مورد مطالعه می باشد. بنابراین روش ارائه شده در این مقاله که در آن طول موثر جهت تعیین نرخ حوادث مد نظر قرار گرفته است، نقطه ضعف روشهای دیگر از جمله [۵] که طولهای واقعی را مورد استفاده قرار داده است را برطرف کرده و نتایجی مطابق با واقع تولید می نماید که از نظر کاربرد عملی بسیار راهگشا است. با توجه به بالاتر بودن نرخ حوادث لوله های گالوانیزه لازم است این نوع از لوله ها نسبت به دو جنس دیگر از لوله های موجود در این شبکه در اولویت نشت یابی و نوسازی قرار گیرند.

جدول ۵: تغییرات نرخ حوادث بر حسب زمان برای لوله های با جنسهای مختلف با در نظر گرفتن طول واقعی لوله ها.

جنس لوله	نرخ حوادث
گالوانیزه	$RB1(t) = -0.519 + 0.114 t$
پلی اتیلن	$RB2(t) = -1.002 + 0.221 t$
آزبست	$RB3(t) = 0.007 + 0.006 t$

جهت تعیین زمان نشت یابی لازم است هزینه مربوط به روشهای اول و دوم مدیریت نشت در شبکه تعیین گردد. طبق بررسی بعمل آمده بر روی حوادث رخ داده در شبکه، تحلیل هزینه ها و مقادیر تلفات فیزیکی بر اساس جدول (۶) و زمان نشت یابی لوله های از جنس مختلف مطابق جدول (۷) می باشد.

هزینه سالانه مربوط به جایگزینی لوله ها به سرمایه

شبکه (km) و k : نرخ رشد طول لوله ها (l/year) می باشند. در مورد شبکه های نسبتاً کوچک k بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ متغیر است [۵]. در منطقه مورد ارزیابی k برابر ۰/۰۲۵ فرض می شود. با توجه به مقدار k، تغییرات طول لوله های با جنسهای مختلف بر حسب زمان، مطابق جدول ۲ می باشد.

فرض می شود رشد طول لوله معادل لوله های هم جنس، متناسب با رشد طول واقعی لوله ها باشد. با این فرض و با توجه به مقادیر طول لوله معادل محاسبه شده در زمان حال، طول لوله معادل لوله های با جنسهای مختلف از روابط جدول (۳) پیروی می کند. حال با استفاده از این روابط و تاریخچه حوادث رخ داده بر حسب سن لوله ها می توان نرخ حوادث را محاسبه و سپس نرخ حوادث را بر حسب سن لوله ها رگرسیون خطی نمود. با توجه به محاسبات صورت گرفته، تغییرات نرخ حوادث بر حسب سن لوله ها مطابق جدول (۴) می باشد.

جدول ۲: تغییرات طول لوله های با جنسهای مختلف بر حسب زمان.

جنس لوله	طول (km)
گالوانیزه	$L_1(t) = 24.519 \cdot e^{0.025 t}$
پلی اتیلن	$L_2(t) = 8.554 \cdot e^{0.025 t}$
آزبست	$L_3(t) = 44.998 \cdot e^{0.025 t}$

جدول ۳: تغییرات طول موثر لوله های با جنسهای مختلف بر حسب زمان.

جنس لوله	طول موثر (km)
گالوانیزه	$L_{e1}(t) = 2.750 \cdot e^{0.025 t}$
پلی اتیلن	$L_{e2}(t) = 3.769 \cdot e^{0.025 t}$
آزبست	$L_{e3}(t) = 37.472 \cdot e^{0.025 t}$

جدول ۴: تغییرات نرخ حوادث بر حسب زمان برای لوله های با جنسهای مختلف با در نظر گرفتن طول موثر لوله ها.

جنس لوله	نرخ حوادث
گالوانیزه	$RB1(t) = 8.280 + 0.991 t$
پلی اتیلن	$RB2(t) = 7.634 + 0.914 t$
آزبست	$RB3(t) = 0.121 + 0.015 t$

در روش ارائه شده در این مقاله، جهت همسان

جدول ۸: زمان بهینه نوسازی لوله‌های از جنس مختلف.

جنس لوله	زمان پیشنهادی جایگزینی (سال)
گالوانیزه	۱۴/۹
پلی اتیلن	۱۶/۲
آزبست	جواب غیر قابل استناد است

نزدیک بودن زمان نوسازی لوله‌های گالوانیزه و پلی اتیلن با توجه به تغییرات نرخ حوادث نسبتاً مشابه و سایر فرضیات صورت گرفته منطقی به نظر می‌رسد. زمان محاسبه شده برای نوسازی لوله‌های آزبست بسیار بیش از عمر مفید شبکه‌های متداول می‌باشد که علت این امر نرخ حوادث بسیار کم و ناچیز بودن ضریب رگرسیون خطی نرخ حوادث (B) می‌باشد. لازم به ذکر است با توجه به نحوه فرمولاسیون، روش ارائه شده در شرایطی که ضریب رگرسیون خطی نرخ حوادث (B) مقدار ناچیزی باشد نتایج قابل اطمینانی ارائه نمی‌دهد و در این شرایط لازم است روشهای کاربردی دیگری مورد استفاده قرار گیرد.

### آنالیز حساسیت پارامترهای اصلی

جهت تعیین متغیرهای حساس مسأله می‌توان اثر تغییرات پارامترهای اصلی مسأله را بر تغییرات نتایج مورد بررسی قرار داد. شکل (۵)، نتایج آنالیز حساسیت زمان نشت یابی را نسبت به ضریب زاویه خط رگرسیون نرخ حوادث (B) برای لوله‌های گالوانیزه نشان می‌دهد. در این نمودار می‌توان مشاهده نمود که تغییرات B به شکل قابل ملاحظه‌ای زمان نشت یابی را دستخوش تغییر می‌سازد. این مسأله اهمیت صحت و دقت داده‌های نرخ حوادث را در دقت نتایج روش مورد نظر روشن می‌کند. جهت مقایسه نسبی میزان حساسیت متغیرهای مختلف لازم است آنالیز حساسیت نتایج نسبت به سایر پارامترهای اصلی نیز صورت گیرد. آنالیز حساسیت زمان نشت یابی لوله‌ها نسبت به پارامتر  $\alpha$  نشان می‌دهد که پارامتر  $\alpha$  از جمله متغیرهای کم حساسیت مسأله می‌باشد.

شکل (۶)، تغییرات زمان نشت یابی لوله‌های آزبست را بر حسب هزینه واحدهای آب ( $C_{uw}$ ) نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، هزینه واحد تلفات آب از جمله پارامترهای تعیین کننده در زمان نشت یابی می‌باشد.

لازم جهت جایگزینی هر کیلومتر از طول لوله‌ها و مدت زمان بازپرداخت سرمایه بستگی دارد. با بررسیهای به عمل آمده، هزینه لازم جهت جایگزینی هر کیلومتر از طول لوله‌ها برابر  $10^6 * 200$  (ریال بر کیلومتر) در نظر گرفته شده است. با فرض اینکه دوره بازپرداخت سرمایه (DP) برابر ۱۵ سال و نرخ بازپرداخت برابر ۲۵٪ باشد هزینه سالانه جایگزینی واحد طول لوله‌ها برابر  $10^6 * 63/33$  (ریال بر کیلومتر بر سال) خواهد بود. در صورتی که مدت زمان دوره جایگزینی لوله‌ها (RP)، برابر ۶ سال در نظر گرفته شود، زمان نوسازی، مطابق جدول ۸ می‌باشد.

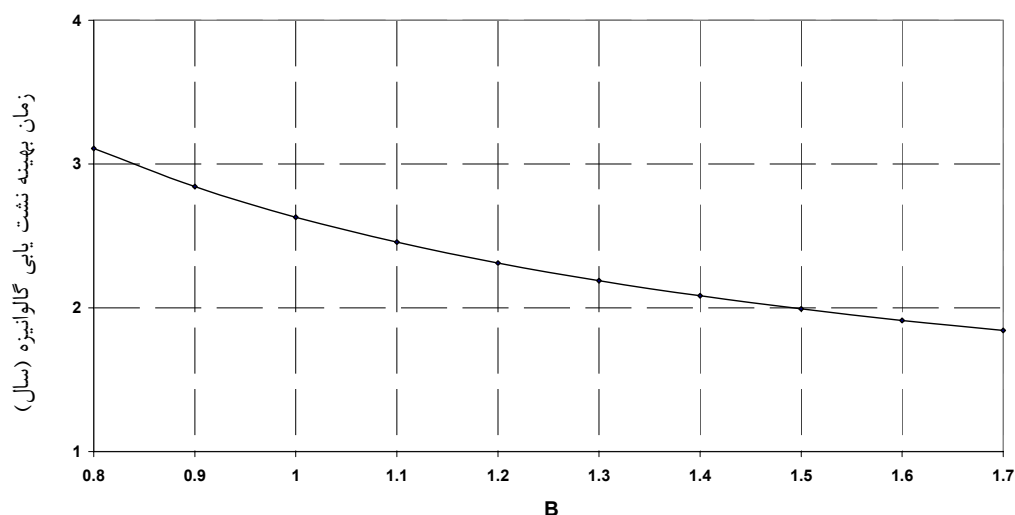
لازم به ذکر است که هزینه‌های ارائه شده در این مقاله بر اساس قیمت‌های موجود در زمان تحقیق (۱۳۸۱-۱۳۸۲) بوده و طبیعتاً برای استفاده از مدل در سالهای دیگر باید از نرخهای مربوط به همان زمان استفاده شود.

جدول ۶: هزینه‌ها و حجم تلفات فیزیکی.

عنوان	مقدار
تعداد شکستگی در سال	۴۵۶
هزینه واحد تعمیرات ( $C_i^{ur}$ )	$10^6 * 2/66$ (ریال بر حادثه)
هزینه واحد نشت یابی ( $C_i^{ur}$ )	$10^6$ (ریال بر کیلومتر)
زمان متوسط حوادث گزارش نشده ( $T_{ub}$ )	یک سال
هزینه واحد تلفات آب ( $C_{uw} = C_{wl}$ )	۵۰۰ (ریال بر مترمکعب)
هزینه واحد تعمیرات بر روی لوله‌ها، انشعابات و شیرآلات و اتصالات ( $C_{um}$ )	$10^6 * 5/12$ (ریال بر حادثه)
حجم تلفات فیزیکی (VL)	$10^6 * 4/1$ (مترمکعب)
حجم متوسط تلفات آب از هر شکستگی ( $V_{wl}$ )	۶۲۴۰ (مترمکعب بر سال)

جدول ۷: زمان بهینه نشت یابی برای لوله‌های از جنس مختلف.

جنس لوله	زمان پیشنهادی نشت یابی (سال)
گالوانیزه	۲/۶
پلی اتیلن	۲/۷
آزبست	۲۰



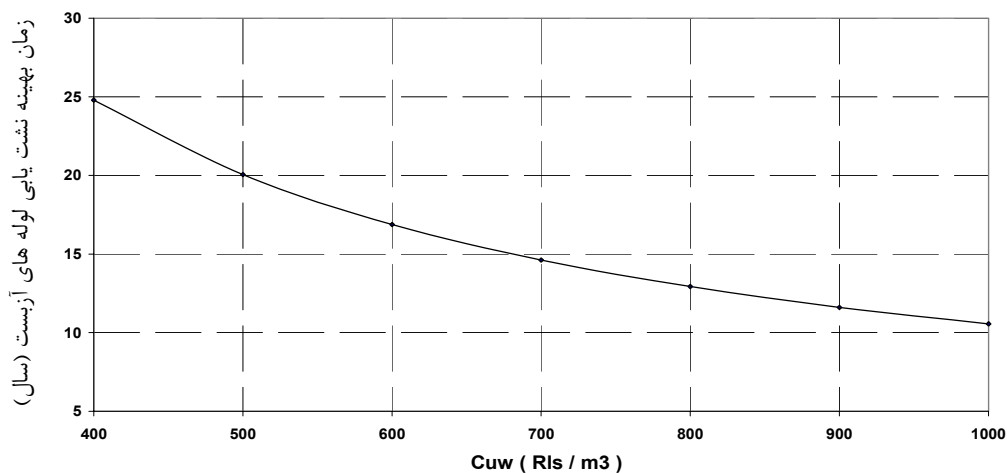
شکل ۵: آنالیز حساسیت زمان نشت یابی لوله های گالوانیزه نسبت به پارامتر B.

دقت در تهیه و پردازش تاریخچه حوادث شبکه باعث می‌گردد نتایج، غیرقابل اطمینان و غیر قابل کاربرد گردد. بررسی نتایج حاصل از ارزیابی منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد استفاده از مفهوم طول موثر در تعیین نرخ حوادث جوابهای واقعی تری نسبت به روش متداول تعیین نرخ حوادث که در دیگر مدلها بکار رفته است ارائه می‌دهد. با توجه به نحوه فرمولاسیون روش، در شرایطی که نرخ حوادث لوله‌ها ناچیز باشد نتایج حاصل از روش به دلیل افزایش تجمعی خطای محاسباتی به ویژه در مورد زمان نوسازی، غیرقابل استفاده می‌باشد. با توجه به آنالیز حساسیت صورت گرفته بر روی پارامترهای مختلف، حساسترین پارامتر در تعیین زمان نشت یابی و نوسازی، پارامتر شیب خط رگرسیون داده های نرخ حوادث (B) می باشد. از جمله متغیرهای حساس دیگر در تعیین زمان نشت یابی می توان به هزینه واحد تلفات آب و در تعیین زمان نوسازی به نرخ باز پرداخت که وابسته به سیستم اقتصادی و میزان تورم هر کشور و ناحیه می باشد اشاره نمود. به طور کلی روش ارائه شده در این مقاله، با انجام ساده سازیهایی در محاسبه تابع تغییرات نرخ حوادث برحسب زمان، تعیین نحوه تغییر هزینه‌های واحد نسبت به زمان و تعیین زمان متوسط تلفات از هر شکستگی توانسته است اهداف مورد نظر در دستیابی به یک روش کاربردی برنامه‌ریزی نوسازی را با دقتی قابل قبول تأمین نماید.

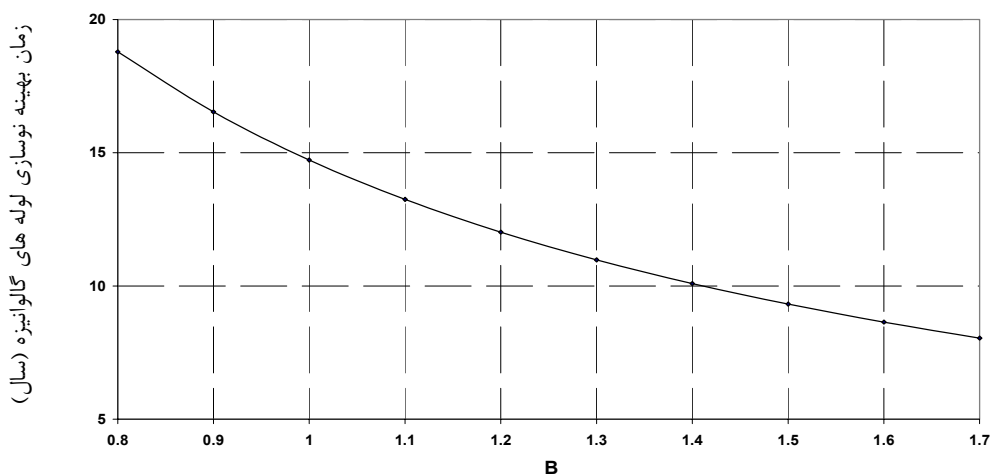
شکل (۷)، آنالیز حساسیت زمان نوسازی لوله‌های گالوانیزه را نسبت به متغیر B نشان می‌دهد. همانگونه که در مورد زمان نشت یابی نیز مشاهده شد، تغییرات B بر تغییر نتایج بسیار تأثیرگذار می‌باشد. آنالیز حساسیت زمان نوسازی لوله‌های پلی اتیلن نسبت به هزینه جایگزینی واحد طول لوله ها ( $A_{upr}$ ) و مدت زمان دوره جایگزینی (RP) در شکل‌های (۸) و (۹) قابل مشاهده است. ناچیز بودن مقدار پارامتر B محاسبه شده برای لوله های آرزبست سبب می گردد به علت مناسب نبودن فرضیات صورت گرفته برای این حالت و تجمع خطای محاسباتی، زمان نوسازی محاسبه شده به شکلی غیر معمول بزرگ بوده و جواب حاصله غیر قابل استناد باشد. به همین جهت نمی توان آنالیز حساسیت زمان نوسازی را برای لوله های آرزبست انجام داد.

### جمع بندی و نتیجه گیری

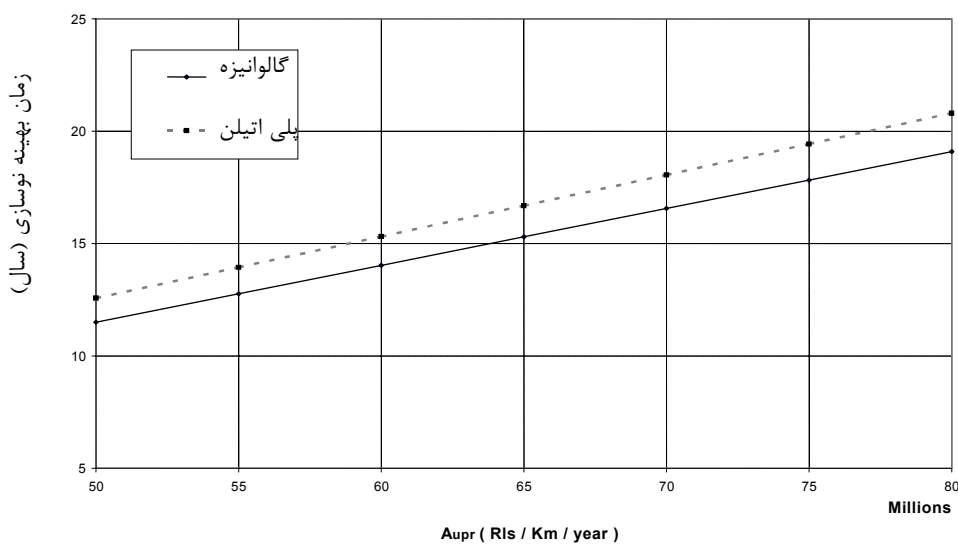
در این مقاله بر مبنای بررسی نشت و تاریخچه حوادث شبکه های توزیع آب ضمن آنالیز هزینه‌های سالانه مربوط به سه شیوه مدیریت نشت، در دو بخش کلی به تحلیل و تعیین زمان نشت یابی و نوسازی شبکه پرداخته شد. فرض تغییرات خطی نرخ حوادث برحسب زمان، فرمولاسیون و کاربرد مدل را به شکل قابل ملاحظه‌ای سهولت بخشیده ولی باعث گردیده است تا نتایج حاصله از روش، مستقیماً تحت تأثیر داده‌های نرخ حوادث و نتایج حاصل از رگرسیون خطی داده‌ها واقع گردد. به عبارت دیگر عدم



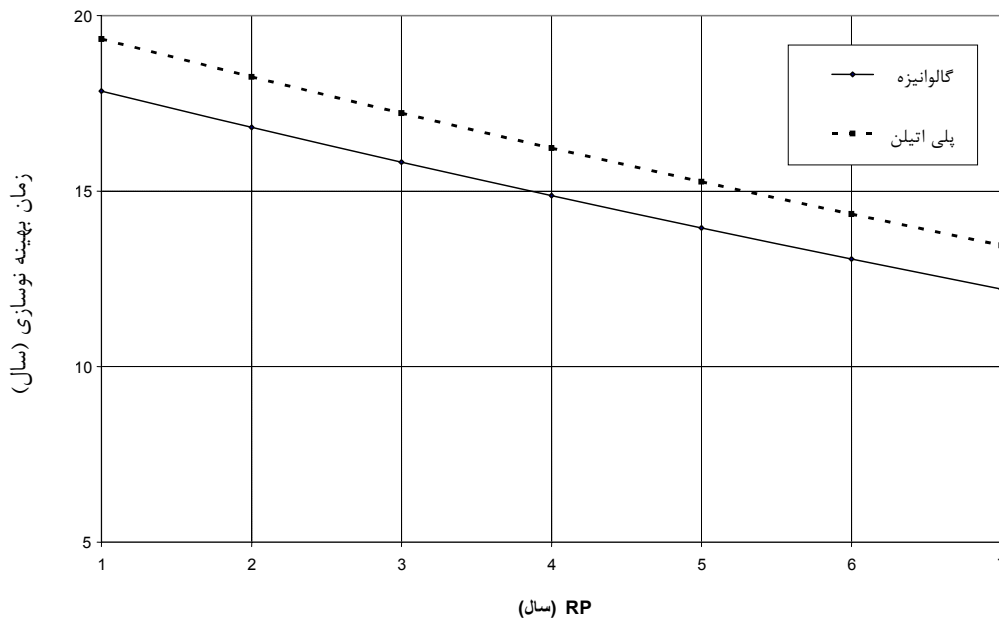
شکل ۶: آنالیز حساسیت زمان نشت یابی لوله های آزیست نسبت به پارامتر  $C_{uw}$ .



شکل ۷: آنالیز حساسیت زمان نوسازی لوله های گالوانیزه نسبت به پارامتر B.



شکل ۸: مقایسه آنالیز حساسیت زمان نوسازی لوله های پلی اتیلن و گالوانیزه نسبت به پارامتر  $A_{upr}$ .



شکل ۹: مقایسه آنالیز حساسیت زمان نوسازی لوله های گالوانیزه و پلی اتیلن نسبت به پارامتر RP.

## مراجع

- 1 - Andreou, S., Marks, D. and Clark, R. (1987). "A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: theory." *Journal of Advanced Water Resources*, Vol. 10, March, PP. 2-10.
- 2 - Madiec, H., Botzung, P., Bremond, B. and Eisenbeis, P. (1996). "Implementation of a probability model for renewal of drinking water networks." *Water Supply IWSA* (Durban), Vol. 14, No. 3-4, PP. 347-351.
- 3 - Shamir, U. and Howard, C. D. D. (1979). "An analytical approach to scheduling pipe replacement." *Journal of American Water Works Association*, Vol. 71, PP. 248-258.
- 4 - Walski, T. and Pelliccia, A. (1982). "Economic analysis of water main breaks." *Journal of the American Water Works Association*, Vol. 74, March, PP. 140-147.
- 5 - Andres, M. (1993), "Water losses versus optimal life of a water distribution system's network." *Water supply systems: State of art and future trends*, PP. 381-410.
- 6 - Engelhardt, M. O., Skipworth, P. J., Savic, D. A., Saul, A. J. and Walters, G. A., (2000). "Rehabilitation strategies for water distribution networks: A literature review with a UK perspective." *Urban Water*, Vol. 2, No. 2, June, PP. 153-170.
- 7 - Hadzilacos, T., Kalles, D., Preston, N., Melbourne, P., Camarinopoulos, L., Eimermacher, M., Kallidromitis, V., Frondistou-Yannas, S. and Saegrov, S. (2000). "UTILNETS: a water main rehabilitation decision-support system." *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 24, PP. 1-18.
- 8 - Anderson, M. J., Scott, R. and McManamon, P. (1997). "Applying condition and criticality to develop efficient inspection, maintenance and renewal programs." *17th AWWA federal convention*, Melbourne, Australia, PP. 674-679.
- 9 - Deb, A. K., Hasit, Y. J., Grablutz, F. M. and Herz, R.K. (1998). "Quantifying future rehabilitation and replacement needs of water mains." *AWWA Research Foundation*, 156 p.

- 10 - Lei, J. and Saegrov, S. (1998). "Statistical approach for describing failures and lifetime of water mains." *Water Science and Technology*, Vol. 38, No. 6, PP. 209-217.
- 11 - Kleiner, Y., Adams, B. J. and Rogers, J. S. (2001). "Water distribution network renewal planning." *Journal of Computing in Civil Engineering*, January, PP. 15-26.
- 12 - Woodburn, J., Lansey, K. E. and Mays, L. W. (1987). "Model for the optimal rehabilitation and replacement of water distribution system components." *Proceedings of ASCE National Conference on Hydraulic Engineering*, Williamsburg, Virginia.
- 13 - Su, Y. C., Mays, L. W., Duan, N. and Lansey, K. E. (1987). "Reliability based optimisation model for water distribution systems." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 114, No. 12, PP. 1539-1556.
- 14 - Kim, J. H. and Mays, L. W. (1994). "Optimal rehabilitation model for water distribution systems." *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, Vol. 120, No. 5, PP. 674-691.
- 15 - Male, J. W., Walski, T. M. and Slutski A. H. (1990). "Analyzing watermain replacement policies." *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, Vol. 116, No. 3, PP. 363-374.
- ۱۶- تابش، م. و هنری، ح. ر. "تحلیل حوادث شبکه های توزیع آب شهری (مطالعه موردی)." *مجله آب و محیط زیست*، شماره ۵۰، صفحات ۱۷-۲۳، (۱۳۸۱).
- ۱۷- تابش، م. و عابدینی، ا. ع. "تحلیل شکست لوله ها در شبکه های آبرسانی شهری." *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال اول، شماره ۱، صفحات ۷۸-۸۹، (۱۳۸۴).
- ۱۸- کریمی، ک. "تعیین زمان بهینه نشت یابی و نوسازی شبکه های آبرسانی شهری." *پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب*، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، (۱۳۸۲).

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Minimum Cut Set Reliability

2 - Spread Sheet