نشریه علمی– پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دوره چهل وهفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹٤، صفحه ۱٤۱ تا ۱۵۱
Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 141-151

مدیریت شبکه فاضلاب با استفاده از سیستم خبره

علی اکبر رمضانیانپور[1*]، فرامرز مودی[2]، مصطفی نامیان [3]،منا دوست محمدی[4]

۱- استاد، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲- استادیار، مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۳-دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۴- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مهندسی زلزله، پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

(دریافت۱۳۸۸/۱۱/۲۰، پذیرش۱۳۹۲/۱۲/۴)

چکیده:

به علت اهمیت شبکه‌های فاضلابرو در عملکرد جوامع، وضعیت جاری شبکه‌ها و هزینه‌های گزاف جایگزینی این سیستم‌ها، نیازمند بهسازی و بهبود سیستم‌های فاضلابرو برای افزایش عمر سرویس‌دهی آنها هستیم. همچنین لزوم تعیین اولویت‌های تعمیری برای تخصیص متناسب بودجه‌های محدود تعمیر و نگهداری در کنار مشکلات و ضعف‌های استانداردها و دستورالعمل‌های ارزیابی موجود، تهیه سیستم‌های هوشمند و خبره کامپیوتری برای ارزیابی شبکه‌های فاضلاب بیش از پیش نمایان می‌کند.. مهندسان می‌توانند با تهیه اجزاء نرم‌افزاری بر پایه سیستم‌های مدیریت دارائی هزینه‌های سنگین بازسازی را محدود کرده و در هر سال هزاران کیلومتر از فاضلابروها را بازرسی کنند. مقاله حاضر به بررسی تعدادی از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی فاضلابرو در دنیا می‌پردازد و سپس به بررسی وضعیت آن در ایران اشاره می‌کند. این سیستم‌ها بر مبنای عملکردشان در ارتباط با سیستم کامل مدیریت دارائی زیرساختار دسته‌بندی می‌شوند. در ادامه مفهموم اصلی هر یک از این ابزارها توضیح داده شده و داده‌های ارتباطی مورد نیاز مشخص گردیده‌اند. به علاوه این مقاله نگاهی به مسائل دربرگیرنده استفاده از ابزارهای معمول خواهد داشت و چارچوبی از نیازهای تحقیقات آینده در این زمینه را ارائه خواهد کرد.

کلمات کلیدی

زیرساخت، فاضلابرو، سیستم خبره، زیرساختار، ارزیابی.

* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: aaramce@aut.ac.ir

۱- مقدمه

توجه عموم را به خود جلب می‌کنند- همواره در حال کهنه شدن هستند و در حالی که از خرابی آنها جلوگیری می‌شود، با این حال عملکردشان تحت فشار فزاینده‌ای برای کاهش هزینه‌های نگهداری قرار دارد. به علت اهمیت شبکه های فاضلابرو در عملکرد جوامع، وضعیت جاری شبکه‌ها و هزینه‌های گزاف جایگزینی این سیستم‌ها، ما نیازمند بهسازی و بهبود سیستم‌های فاضلابرو برای افزایش عمر سرویس‌دهی آنها هستیم. بازرسی می‌تواند هشدار سریعی از خرابی‌ها داده و اجازه دهد تا بتوان بهسازی به صرفه و اقتصادی را در شرایطی غیر اضطرار انجام دهیم(۱). اما وجود مقدار زیادی داده، عدم اطمینان و اطلاعات ناقص، نیاز به قضاوت مهندسی، داشتن دانش و اطلاعات در خصوص سازه‌ای خاص و دانش مهندسی عمومی برای تفسیر داده‌ها مانع از تصمیم‌گیری سریع و بموقع در این زمینه می‌شود. مفاهیم هوش مصنوعی و سیستم‌های خبره به مهندسان با تهیه اجزاء نرم‌افزاری جدید کمک می‌کنند تا آنها بتوانند هزینه‌های سنگین بازسازی را محدود کرده و در هر سال هزاران کیلومتر از فاضلابروهای را بازرسی کنند(۲). این اهداف می‌توانند با استقرار سیستم‌های مدیریت دارائی شبکه های فاضلابرو تحقق یابند.

مقاله حاضر به بررسی تعدادی از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی فاضلابرو در دنیا پرداخته و سپس به بررسی وضعیت آن در ایران اشاره می‌کند. این سیستم‌ها بر مبنای عملکردشان در ارتباط با سیستم کامل مدیریت دارائی زیرساختار دسته‌بندی می‌شوند(۳). مفهموم اصلی هر یک از این ابزارها توضیح داده شده و داده‌های ارتباطی مورد نیاز هر یک نیز مشخص شده‌اند. به علاوه این مقاله نگاهی به مسائل مرتبط با استفاده از ابزارهای معمول خواهد داشت و چارچوبی از نیازهای تحقیقات آینده در این زمینه را ارائه خواهد کرد.

۲- مدیریت دارائی

در برنامه‌های آموزشی فعلی، تاکید بیش از حدی بر طراحی و ساخت می‌شود حال آنکه بیشتر کار مهندسی در دو دهه آتی، در واقع حاوی فعالیت‌های حفاظت، نگهداری و مرمت و نیز بهبود کاربری تسهیلات زیرساختاری، در مقیاس وسیع خواهد بود. اصطلاح مدیریت دارائی‌ها نخست در بخش خصوصی پدید آمد و مفهوم دارائی‌های سرمایه، پرسنل، تکنولوژی و ایده‌های تکنولوژی (فناوری) را، علاوه بر زیرساختار، دربرمی‌گیرد. زیرگروه های مربوط به دارائی‌های زیرساختاری ، بیشتر تسهیلات و فاضلابروها -سرمایه‌های گرانقیمتی که تنها در هنگام خرابی تاسیسات تحت مالکیت و مدیریت دولتی و خصوصی را که برای تامین خدمات اساسی، به منظور پشتیبانی و نگهداری از زندگی مدنی در یک کشور به کار می‌روند، شامل می‌شوند.از عناوین مدیریت زیرساختارها، مدیریت دارائی‌ها و مدیریت تسهیلات اغلب معادل هم برای توصیف فرآیند یکپارچه‌سازی هزینه دوره عمر به کار می‌روند و منظور فرآیند یکپارچه‌سازی طراحی، ساخت، نگهداری، مرمت و نوسازی، برای حداکثر کردن منافع استفاده‌کننده و حداقل کردن هزینه‌های مالکان و استفاده‌کنندگان است[۴]

۳- تعریف مدیریت زیرساختار و سیستم مدیریت زیرساختار

مدیریت زیرساختار عبارت است از برنامه‌ریزی و برنامه‌سازی روشمند و هماهنگ در زمینه سرمایه‌گذاری‌ها یا هزینه‌ها، طراحی، ساخت، نگهداری، بهره‌برداری و ارزیابی ضمن بهره‌برداری از تسهیلات فیزیکی. مدیریت زیرساختار فرآیندی گسترده است که فعالیت‌های موجود در تدارک و نگهداری زیرساختار را در حدی شامل می‌شود که خدماتی قابل پذیرش برای عموم یا کارفرمایان انجام دهد. دامنه این فعالیت‌ها از تصحیل اطلاعات اولیه (اطلاعات پایه) تا برنامه‌ریزی، برنامه‌سازی و اجرای یک کار ساختمانی جدید همراه با نگهداری، مرمت و بازنوسازی آن را شامل می‌شود. این مدیریت، از جزئیات طراحی و ساخت هر پروژه تا نظارت و ارزیابی ضمن بهره‌برداری را دربر می‌گیرد[۴].

سیستم مدیریت زیرساختار: سیستم مدیریت زیرساختار مشتمل است بر مجموعه بهم پیوسته عملیات اجرایی روش‌های کلی، روش‌های عملی، دانسته‌ها (اطلاعات)، نرم‌افزار، خطی مشی‌ها، تصمیمات و غیره که با همدیگر پیوند می‌یابند و اجرای همه فعالیت‌های مورد نظر در مدیریت زیرساختار را ممکن می‌کنند[۴]

۴- مدیریت دارائی فاضلابرو

همانند مدیریت دارائی سایر زیرساختارها، مدیریت اطلاعات موثر، کلید اصلی در اتخاذ تصمیم بهتر در مدیریت دارائی فاضلاب است. مدیران دارائی برای تصمیم‌گیری‌هایی که عمدتا نتایج درازمدت و بعضا بحرانی دارند به آنها نیازمند هستند[۳].

۵- شرح ابزارها

در حال حاضر ابزارهای مختلف پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت فاضلابرو وجود دارند. این ابزارها در حیطه و اهداف متغیرند جدول شماره ۱ ابزارهای رایج و مراحلی که آنها از یک سیستم کامل مدیریت دارائی زیرساختار پوشش می‌دهند را به نمایش می‌گذارد. سمت چپ تصویر اجزاء اولیه یک سیستم کامل مدیریت دارائی زیرساختار را نشان می‌دهد. این ابزارها در ۳ گروه تقسیم‌بندی شده‌اند که توضیح مفاهیم اصلی هر یک از آنها در ادامه آمده است.

۵-۱- گروه ۱: ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی که عمدتا با مدل‌سازی عملکرد سر و کار دارند

مدل Baik

مدل بیک احتمالات انتقال مراحل مختلف را در مدل‌های خرابی برای سیستم‌های فاضلابرو بر پایه زنجیره مارکوف و با استفاده از مدل پرابیت داده شده تخمین می‌زند. این کار بمنظور پیش‌بینی شرایط آینده فاضلابرو است بطوریکه مدیران بتوانند فعالیت‌های بازرسی، بهسازی و جایگزینی را بموقع و موثر در کاهش هزینه‌ها انجام دهند.

برای تخمین احتمال انتقال، این مدل نیازمند داده‌هایی از بازرسی وضعیت موجود سیستم است. از بازرسی‌های داخلی فاضلابرو برای ارزیابی‌های سازه‌ای و برای ارزیابی هیدرولیکی از مدل‌هایی در این زمینه استفاده شده و نشتاب و جریان نیز به آنها اضافه می‌شود. درجه‌بندی وضعیت لوله بر پایه نگهداری‌های انجام شده و امتیازهای وضعیت سازه‌ای که از بازرسی‌ها بدست می‌آید محاسبه می‌گردد.(در محاسبات از ۱۰۸ ضابطه مانند تغییر شکل و وجود ریشه استفاده می‌شود)[۳].

مدل Bengassem و Bennis

این مدل روش سیستماتیکی برای ارزیابی شرایط هیدرولیکی و سازه‌ای سیستم فاضلابرو است که از استنتاج فازی به عنوان کمکی در ارتقاء برنامه بهسازی استفاده می‌کند. روش مذکور بازرسی سازه‌ای و شبیه‌سازی هیدرولیکی را برای ارزیابی شرایط اجزاء شبکه فاضلابرو دربر می‌گیرد. سپس با استفاده از تئوری فازی همه فاکتورهای ارزیابی را در تراز لوله جمع‌بندی می‌کند تا به همراه ارزیابی عملکرد شبکه فاضلابرو درنظر گرفته شود.

سه جنبه در ارزیابی عملکرد سازه‌ای درنظر گرفته شده است:

۱- داخلی، از قبیل خرابی‌های لوله

۲- خارجی از قبیل مشخصات لوله و مشخصات محیط‌زیستی موثر بر خرابی لوله مانند: عوامل ژئوتکنیکی عوامل هیدروژئولوژی و عوامل مختلف شامل فعالیت‌های لرزه‌ای و ساختگاهی.

۳- آسیب‌پذیری‌های سایت از قبیل طبیعت سایت، دانسیته خاک

در نهایت بمنظور تعیین شرایط هر لوله، بر اساس سه جنبه فوق بین ۰ تا ۱۰۰ امتیازدهی می‌شود.

بمنظور تعیین تراز عملکرد شبکه فاضلابرو سه سیستم فازی مختلف: سیستم سازه‌ای فازی، سیستم هیدرولیکی فازی، سیستم و سیستم یکپارچه فازی در نظر گرفته شده است. دو سیستم سازه‌ای و هیدرولیکی شاخص‌های عملکردی مربوط را محاسبه کرده و سپس این شاخص‌ها توسط سیستم یکپارچه فازی ترکیب می‌شوند و در نهایت شاخص عملکرد یکپارچه برای هر یک از مقاطع لوله‌ها در شبکه فاضلابرو بدست می‌آید[۳].

مدل Hasegawa و همکاران

این مدل درجه ضرورت تعمیر لوله‌های فاضلابرو موجود را بر پایه چهاردیدگاه تخمین می‌زند:

۱- کاهش در ظرفیت جریان

۲- احتمال خرابی و فروریزش راه

۳- سرریز و سیلاب فاضلابرو به میزانی که متاثر از نشتاب و جریان ورودی باشند

۴- افزایش هزینه به علت نشتاب یا جریان ورودی

این درجه ضرورت تعمیر در تراز لوله محاسبه می‌شود.

کاهش در ظرفیت جریان، با استفاده از نتایج بازرسی CCTV محاسبه می‌شود. بر اساس مقدار ظرفیت کاهش جریان و نوع لوله (فاضلاب بهداشتی و یا مخلوط) لوله ها در سه رده دسته‌بندی می‌شوند:

۱- کاهش مقدار کمی از ظرفیت جریان

۲- کاهش ظرفیت جریان نصف ظرفیت اصلی لوله

۳- کاهش ظرفیت جریان بیش از نصف ظرفیت اصلی لوله

امکان فروریزش راه با استفاده از شاخص احتمال وقوع آن و بر اساس خرابی‌های مشاهده شده در سطح لوله (مانند: شکستگی، اتصالات جدا شده و غیره) محاسبه می‌شود. شاخصی به هر فاضلابرو بر پایه خرابی‌های مشاهده شده در تصاویر CCTV اختصاص می‌یابد. سپس فاضلابروها بر اساس مقدار شاخص اختصاص یافته به سه دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- احتمال بالای فروریزش راه

۲- احتمال بالای فروریزش راه؛ اگر هیچ اندازه‌گیری انجام نشده باشد.

۳- احتمال کم فروریزش راه

تاثیر محیط فاضلابرو نیز به عنوان عاملی در تعیین مقدار احتمال فروریزش آن در نظر گرفته می‌شود.

با استفاده از اطلاعات لوله (سن و مصالح) و شرایط محیطی که آن را در برگرفته (میزان پوشش، تراز آب زیرزمینی، نوع راه، ترافیک عبوری، نوع خاک و حضور سایر تاسیسات در زیر زمین) به لوله‌ها یک رتبه اختصاص می‌یابد. سپس احتمال فروریزش راه در نظر گرفته می‌شود تا میزان این رتبه افزایش یابد. تاثیر جریان ورودی و نشتاب بر سرریز و طغیان فاضلابرو با استفاده از یک مدل شبیه سازی اندازه‌گیری می‌شود. احتمال سرریز بر پایه ارتباط جریان ماکزیمم در زمان بارندگی (Q) و ظرفیت جریان طراحی (Q_d) یا جریان ماکزیمم لوله (Q_{max}) محاسبه می‌شود:

رتبه ۱: $Q \geq Q_{max}$

رتبه ۲: $Q_d \leq Q < Q_{max}$

رتبه ۳: $Q < Q_d$

سپس میزان افزایش هزینه عملکرد برای جریان ورودی و نشتاب بیش از اندازه، محاسبه می‌گردد. برای رسیدن به اولویت تعمیری نهایی، رتبه‌بندی برای هر فاضلابرو بر پایه ۴ دیدگاه گفته شده ترکیب شده، لوله با بیشترین رتبه به عنوان اولویت اول در نظر گرفته می‌شود[۳].

۵-۲- گروه ۲-ابزارهای مربوط به آنالیزهای تصمیم و عملکرد:

ابزارها در این دسته سه مرحله نخست از سیستم کامل مدیریت دارائی را از جمع‌آوری داده تا مدل‌سازی عملکرد و آنالیز تصمیم پوشش می‌دهند.

APOGEE

یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری است که با هدف بهینه‌سازی برنامه‌ریزی سالانه و بهسازی شبکه فاضلابرو توسعه یافته است. این سیستم ۳ جزء اصلی را داراست:

۱- پایگاه داده: شامل اطلاعات مرتبط جمع‌آوری شده از طریق بازرسی‌ها از نشانه‌های خرابی مقاطع مختلف شبکه.

۲- سیستم خبره: کار تشخیص وضعیت شبکه فاضلابرو را بر پایه ورودی‌های داده به عهده دارد. پایگاه دانش آن مدل‌سازی مکانیزم‌های موثر بر شکست شبکه فاضلابرو را بر اساس ۵ دسته بندی مرتبط می‌سازد:

- هیدرولوژی و هیدروگرافی
- بارگذاری اضافی بر شبکه
- سایش و خورندگی فاضلاب
- جریان تحت فشار در جمع‌کننده
- تاریخچه روش‌های ساخت و ساز

موتور استنتاج این سیستم در پرولوگ ایجاد شده است.

۳- مدول برنامه‌ریزی: این بخش برنامه‌ریزی موارد مرتبط با تعمیر شبکه و تعیین روش تعمیری را به عهده دارد. مدول برنامه‌ریزی از روش چند ضابطه‌ای در تعریف، محاسبه و انتخاب فعالیت‌های بهسازی بر اساس ضوابط فنی و محیط‌زیستی استفاده می‌کند[۳].

AQUA-Wertin

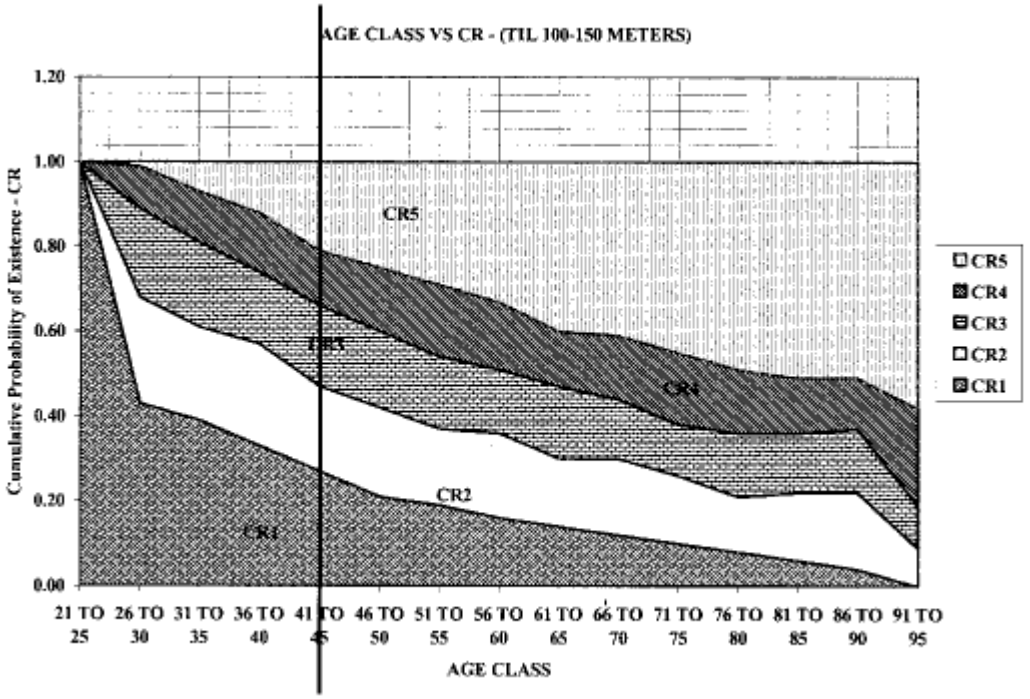
برنامه کامپیوتری است که برای کمک به تاسیسات شهری با برنامه‌ریزی روش‌های انجام بازرسی تلویزیونی، نوسازی و ساخت تاسیسات جدید، برای شبکه فاضلاب طراحی شده است. نیروی محرک آن استفاده از توزیع Herz است که انتقال فاضلابرو از یک وضعیت به وضعیت پائین‌تر در طول زمان را محاسبه می‌کند.

کاربر امتیاز مربوط به وضعیت لوله را بر اساس بازرسی‌ها (مانند CCTV) به برنامه می‌دهد. نرم‌افزار لوله‌ها را به ۶ کلاس از بهترین وضعیت یا عدم مشاهده خرابی، تا لوله شکسته شده یا نیازمند جایگزینی فوری، دسته‌بندی می‌کند. سپس نرم‌افزار احتمال انتقال وضعیت لوله به کلاس پائین‌تر را محاسبه می‌کند. همین طور خرابی لوله‌ها و نیاز به بهسازی سیستم فاضلابرو پیش‌بینی می‌شود. این ابزار همچنین دارای مدول‌هایی است که در آن کاربران می‌توانند هزینه‌های روش‌های مختلف تعمیر و بهسازی را بر پایه آنالیز اقتصادی هزینه و زمان تعمیرات، با یکدیگر مقایسه کنند[۳].

Edmonton

سه مدل، که هریک از ترکیب شبیه‌سازی مبتنی بر قاعده و آنالیز احتمال استفاده می‌کنند، برای کمک به شهر ادمونتون ایجاد شده تا برآورد هزینه بهسازی فاضلابرو را طرح‌ریزی کند. هدف اصلی، پیش‌بینی هزینه تعمیر یا بهسازی لوله‌های موجود، تنها بر اساس وضعیت لوله است. مدل اصلی از شبیه‌سازی مبتنی بر قاعده مونت‌کارلو برای پیش‌بینی رتبه‌بندی وضعیت لوله (CR) بر اساس سن، مصالح، طول و APE بهره می‌گیرد. مقادیر APE که احتمال وجود لوله در یک CR مشخص را بر اساس داده‌های

واقعی مشخص می‌کند با استفاده از منحنی‌های توزیع احتمال انباشته بدست می‌آید این منحنی‌های رتبه‌بندی وضعیت فاضلابرو از بازرسی‌های CCTV بدست می‌آیند[۳]. این منحنی‌ها به تفکیک سن لوله تهیه می‌شوند. برای مثال با توجه به شکل شماره ۱ مقادیر CR 1-5 زمانی که لوله بین ۴۱-۴۵ سال سن داشته باشد به ترتیب ۰,۲۷، ۰,۲، ۰,۱۹، ۰,۱۳ و ۰,۲۱ است.[۵].



شکل شماره۱، منحنی توزیع احتمال انباشته حاصل از بازرسی‌ها برای رتبه‌بندی وضعیت فاضلابرو در شهر ادمونتون(۵)

مدل دوم: از تئوری مارکوف برای پیش‌بینی CR آینده لوله در دوره ۵ ساله استفاده می‌کند. وضعیت موجود لوله معین شده و سن، نوع مصالح، طول و احتمالات انتقال وضعیت بر اساس مقادیر APE در نظر گرفته می‌شود. مدل سوم مربوط است به پیش‌بینی هزینه بازسازی و تعمیر فاضلابرو در زمان حال و آینده بر اساس نتایجی که از مدل‌های ۱ و ۲ بدست آمده است. مدل پیش‌بینی هزینه طیفی از هزینه‌ها را بر اساس روش تعمیر و هزینه‌های آن و با استفاده از شبیه‌سازی مبتنی بر قاعده مونت‌کارلو تولید می‌کند. بنابراین کاربر می‌تواند در خصوص هزینه‌های بهسازی و یا جایگزینی در طیفی مبتنی بر موارد توصیه شده تصمیم گیری کند[۳].

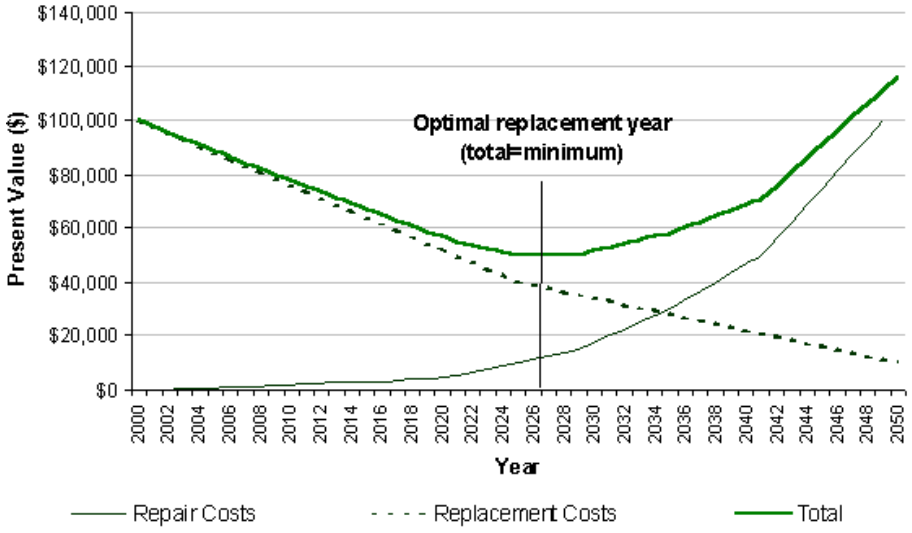
KureCAD

KureCAD ابزاری مبتنی بر GIS برای مدیریت بهسازی لوله‌های فاضلابرو با عملکردهای زیر است:

۱- ذخیره‌سازی اطلاعات دارائی
۲- اولویت بهسازی لوله فاضلابرو
۳- تهیه اسناد و مدارک بمنظور اجرای طرح‌های بهسازی

داده‌های مربوط به وضعیت سازه‌ای (مقاومت و شکل)، وضعیت عملکردی (میزان توانایی انتقال آب) و مقادیر نشت (نشت محاسباتی لوله‌ها)، ۳ نوع اصلی داده در KureCAD هستند. با استفاده از نتایج حاصل از بازرسی‌های داخلی و رکوردهای مربوط به نگهداری‌های انجام شده، کاربر می‌تواند امتیازی را از ۱، وضعیت مناسب بدون سابقه تعمیری تا ۴ وضعیت بسیار بد با نیاز فوری به انجام تعمیر، با توجه ویژه به ۳ نوع اصلی داده مشخص کند. KureCAD سپس امتیازها را ترکیب کرده و یک شاخص وضعیت بدست می‌آورد. این شاخص سپس به یک نمایش GIS تبدیل می‌شود. بر اساس این نتایج ارزیابی وضعیت لوله –شامل اولویت بهسازی فاضلابرو و انتخاب روش بهسازی و محاسبات هزینه– می‌تواند انجام پذیرد. به علاوه KureCAD باسناد و مدارک تفضیلی طراحی و برنامه‌ریزی شامل: نقشه‌های سایت، شرایط قرارداد و مشخصات ساخت- را که برای شروع عملیات بهسازی ضروری است، ارائه می‌دهد(۳). در این تحقیق همچنین با توجه به مدل‌های پیش‌بینی

هزینه‌های تعمیر و جایگزینی، سال بهینه برای جایگزینی فاضلابرو محاسبه شده است (شکل شماره۲)[۶].



شکل شماره ۲، پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و جایگزینی و محاسبه سال بهینه برای جایگزینی فاضلابرو(۶).

PRISM

مدل کامپیوتری هزینه‌های مالی برای اولویت‌بندی برنامه‌ریزی بهسازی لوله فاضلابرو است که بر اساس کنترل‌ها و محدودیت‌های بودجه‌ای عمل می‌کند. این برنامه با حداقل کردن هزینه‌ها در برنامه‌ریزی افقی در حالیکه کل بودجه سالانه را در اختیار دارد، هزینه بهسازی را ابتدا به مهمترین لوله در کلاس اول اختصاص می‌دهد. این کار با برنامه‌ریزی خطی انجام می‌پذیرد. کلاس‌بندی لوله‌ها بر اساس سن، قطر، مصالح، نوع فاضلاب عبوری، و میانگین عمق پوشش انجام می‌شود. احتمال خرابی برای لوله در هر کلاس با توجه به تاریخچه و با مدل آماری لگاریتمی-خطی بدست می‌آید. برای تعیین دو کلاس و یا بیشتر برای لوله با احتمال خرابی مشابه، ضریب اهمیت لوله بر اساس احتمال خرابی، نوع لوله (لوله فاضلاب بهداشتی، لوله فاضلاب سطحی، و لوله فاضلاب ترکیبی) و ابعاد لوله محاسبه می‌شود. کلاس لوله با بیشتر ضریب اهمیت در صدر برنامه بهسازی قرار می‌گیرد[۳].

۵-۳- گروه۳: ابزارهای مدیریت کل دارائی فاضلابرو

ابزارها در این گروه، سیستم‌های مدیریت دارائی فاضلابرویی هستند که همه مراحل یک سیستم کامل مدیریت دارائی را پوشش می‌دهند.

CARE-S

یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری است که به منظور ارائه راهنمایی به مهندسان شهرداری طراحی شده است تا آنها بتوانند مدیریت موثری بر شبکه‌های فاضلابرو را مستقر سازند. هدف نهایی آن نیز اطمینان از این مسئله است که صرفا فاضلابرو مناسب در زمان درست و با بکارگیری تکنولوژی صحیح بهسازی شده است. روش CARE-S در ارزیابی شبکه فاضلابرو و همچنین توسعه برنامه بهسازی بر اساس استاندارد EN 752-5 عمل می‌کند. رویه عملکرد CARE-S شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱- برنامه‌ریزی اولیه: این مرحله شامل تاسیس و ایجاد چهارچوب برای بهسازی فاضلابرو، مشخص کردن شاخص‌های عملکرد مرتبط (PIs) و مشخص کردن و اولویت‌بندی نواحی است که باید مورد بهسازی قرار گیرد. در این مرحله CARE-S ابزاری را برای تولید PIs که مرتبط با تصمیم انجام بهسازی است پیشنهاد می‌دهد.

۲- بررسی‌های تشخیصی: این مرحله شامل بازرسی‌هایی در خصوص عملکرد سازه‌ای، هیدرولیکی، محیطزیستی و اجرایی فاضلابروهای اولویت‌بندی شده، است (همان طور که در مرحله ۱ اندازه‌گیری شده است). CARE-S تعدادی مدل در تراز شبکه و مدل تفضیلی از مشخصات لوله را پیشنهاد می‌دهد که به وضعیت هیدرولیکی (مانند Infowork، FLUENT)، محیطزیستی (مانند ابزار ارزیابی CSO) و سازه‌ای (مانند Gompitz، WATS 20) شبکه این امکان را می‌دهد تا با در نظر گرفتن تغییرات آن در طول زمان مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳- بسط و توسعه راه‌حل‌ها: توسعه یک راه‌حل ممکن برای مشکلی معین در مورد فاضلابرو همان طور که در مرحله ۲ مشخص شده است، شامل تهیه راه‌حل‌هایی جامع می‌شود. CARE-S از ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره در رتبه‌بندی

اولویت بهسازی لوله‌ها (با استفاده از فرآیند حذف فعل و انفعالی) و در انتخاب روش‌ها و تکنیک‌های بهسازی مناسب (با استفاده از فرآیند رتبه‌بندی و متعادل‌سازی) استفاده می‌کند. اولویت‌بندی پروژه‌های بهسازی مبتنی بر ضوابط اجتماعی-اقتصادی، محیط‌زیستی، هیدرولیکی، سازه‌ای و سایر ضوابط مرتبط. انجام می‌شود. انتخاب تکنولوژی بهسازی به کمک سیستم اطلاعات تکنولوژی تعمیری CARE-S که شامل پایگاه داده‌ای گسترده‌ای از تکنولوژی‌های تعمیر و بهسازی است صورت می‌گیرد. این سیستم همچنین مجهز به ابزاری برای توسعه روش بهسازی دراز مدت، همان طور که در مرحله ۲ مشخص شده است، بر پایه شرایط پیش‌بینی شده در آینده، می‌باشد.

۴- پیاده سازی و کنترل: این مرحله شامل انجام کارهای بهسازی، اجرای برنامه عملی، اصلاح و تجدیدنظر مدل‌های محیط‌زیستی و هیدرولیکی، نظارت بر شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPIs)، پیش‌برد برنامه بازرسی شرایط و وضعیت، مرور بر موفقیت برنامه بهسازی، تجدیدنظر در برنامه به عنوان یک ضرورت است. برای انجام این وظایف واحد مدیر بهسازی CARE-S، راهنماهایی را برای اجرای آنها تهیه می‌کند[۳].

Hydropan

این مدل روشی یکپارچه برای مدیریت دارائی فاضلابرو مبتنی بر ارزیابی ریسک محیط‌زیستی، هیدرولیکی و سازه‌ای است، که بر پایه عناصر استراتژیکی از شبکه فاضلابرو عمل می‌کند. فرآیند از شرایط جاری و داده‌هایی از تاریخچه موجود آغاز و تا تهیه پایگاه داده دارائی ادامه می‌یابد، و سپس آنالیز استراتژیک در تراز لوله تهیه می‌شود. لوله‌هایی که در صورت شکستگی، بزرگترین خسارت را پدید می‌آورند بر اساس فاکتورهای مختلف، شامل خسارات مالی، اجتماعی و محیط‌زیستی امتیازدهی می‌شوند. از وزن‌دهی فاکتورها برای اختصاص امتیاز به تراز استراتژیک کلی فاضلابرو مورد نظر استفاده می‌شود. پس از تخمین اثرات شکست‌ها، احتمالات شکست فاضلابرو محاسبه می‌شود این مساله در تراز سازه‌ای(وضعیت لوله) با استفاده از مدل‌های کهنه‌شدگی (مانند توزیع Herz) و نتایج بازرسی، و در تراز هیدرولوژیکی و اکولوژیکی با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی کالیبره شده مانند InfoWorks انجام می شود. امتیازها برای خرابی‌های مختلف بر طبق ضوابط ثابتی از قبیل احتمال فروریزش (یا تخمین طول عمر باقیمانده)، فراوانی طغیان و غیره اختصاص داده می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز استراتژیکی و احتمالات خرابی، ترکیب وا امتیاز رسیک کلی بدست می‌آید. این مرحله مجموعه لوله‌های بحرانی در مناطقی که بازرسی‌های بهسازی پیش‌گستر بیشترین تاثیر را از نظر هزینه خواهد داشت به ما می‌دهد. خروجی‌های نهایی فرآیند عبارتند از:

۱- لیست فعالیت‌های کوتاه مدت که باعث ارتقاء عملکرد شبکه خواهد شد.

۲- استراتژی نگهداری و عملکرد میان‌مدت و درازمدت که منجر به نگهداری تراز بالایی از عملکرد خواهد شد. بازرسی دراز مدت با مدل مجموعه چرخه حیات، با استفاده از شبیه‌سازی‌های مونت کارلو تعیین می‌شود. این مدل همه هزینه‌ها را با تجمیع و معادل‌سازی ریسک‌ها و بازرسی‌های پیشگیرانه بدست خواهد آورد. پایگاه داده فاضلاب پیوسته با اطلاعات جدید گردآوری شده به روز خواهد شد. و این فرآیند به صورت یک چرخه بسته برای اطمینان از تشخیص، تعیین و اطلاع بموقع از مشکلات جدید و امکان برنامه‌ریزی بهتر راه‌حل‌های بهینه از نظر هزینه ادامه خواهد داشت[۳].

داده‌های مورد نیاز

داده‌های مرتبط با هر یک از ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی فاضلابرو به صورت خلاصه در جدول زیر آورده شده است:

	ابزارها	شرح داده‌ها																												
		مصالح لوله	سن لوله	طول لوله	قطر لوله	ضخامت لوله	شکل لوله	عمق جاگذاری لوله	نوع لوله	زیری لوله	شیب لوله	محل لوله	داده وضعیت	تاریخچه خرابی‌ها	داده میزان جریان	مقادیر نشت	داداه خاک	کاربری زمین	ترافیک عبوری	محل درخت	داده‌های آب زیرزمینی	جمعیت	ژئوتکنیکی	نوع اتصالات	داده های اقتصادی	هزینه و روش بهسازی
گروه ۱	Bail	×	×	×	×			×	×		×		×		×	×	×		×		×					×
	Bengassem & Bennis			×	×			×			×	×	×	×	×		×						×			
	Hasegawa et al.	×	×	×	×			×			×		×		×	×	×		×		×				×	
گروه ۲	APOGEE	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×		×			×
	Aqua-Wertmin	×	×	×	×		×		×		×	×	×	×	×		×		×						×	×
	Edmonton	×	×	×	×			×					×				×									×
	KureCAD	×	×	×	×						×	×	×	×			×		×	×				×	×	×
	PRISM	×	×	×	×			×	×				×													×
گروه ۳	CARE-S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Hydroplan	×	×	×	×		×	×	×		×	×	×		×		×	×	×	×		×				×

جدول شماره ۲، ده‌های مرتبط با هر یک از ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی فاضلابرو(۳).

۶- نگاهی به سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی فاضلابرو در ایران

در مورد تحقیقات انجام شده در این زمینه و در ایران تنها می‌توان به پژوهشی که توسط کارشناسان شرکت مهاب قدس در این زمینه انجام شده است، اشاره کرد. در این تحقیق روشهای نوین بهسازی شبکه‌ها در قالب سه گروه تعمیر، نوسازی و جایگزینی بررسی و سازماندهی شده و بیش از 35 روش متداول در این زمینه شناسایی شده است که چگونگی ارزیابی و طبقه‌بندی روش‌های بهسازی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با توجه به گستره این روش‌ها و تعدد آنها، با استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری روش متناسب با مشکل مورد نظر پیشنهاد می‌گردد. این تحقیق ابر اساس تقسیم‌بندی استاندارد EN13566 اروپا، روش‌های بهسازی را به ۳ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌کند:

۱- تعمیر، اصلاح معایب موضعی در فاضلابروها

۲- نوسازی، انجام عملیاتی بر روی کل یا قسمتی از فاضلابرو به گونه ای که عملکرد آن ارتقا یابد.

۳- جایگزینی، بهسازی فاضلابرو توسط نصب یک فاضلابرو جدید

پس از بررسی روشهای نوسازی فاضلابروها از زیرگروههای روشهای بهسازی و همچنین تبیین شاخصهایی چند بعدی برای سنجش قابلیت کاربرد و همچنین عملکرد روشهای مختلف، این شاخصها را برای تمامی روشهای بهسازی از جمله روشهای جایگزینی و تعمیر فاضلابروها بیشنهاد می‌کند. در این روش راهکارهای مختلف نوسازی بر مبنای شاخصهای مطرح شده برای انتخاب روشهای مناسب در هر پروژه در جدولی که ابتدا باید توسط الگوریت مهایی مشابه دیاگرام‌های تصمیم که توسط EN 752-5 ارایه شده است گروه روش بهسازی مناسب را از میان سه گروه روشهای جایگزینی، نوسازی و تعمیر مشخص ساخت. سپس با کمک شاخصهای گروه اول لیست روشهای قابل کاربرد در پروژه را استخراج کرد. با بدست آمدن این روشها در حقیقت با یک تصمیم گیری چند منظوره مبتنی بر شاخصهای عملکرد روشهای مختلف مواجه می‌باشیم. به کمک این شاخص گذاریها بانک اطلاعات روشها و مقادیر شاخصها تهیه و مبنای طراحی یک سیستم پشتیبان تصمیم گیر جهت انتخاب بهترین روش بهسازی قرار گرفته است. همچنین در این تحقیق استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندمنظوره مانند BRP (Balancing and Ranking Procedure) و ELECTRE(elimination and choice translating reality) می‌توان از میان فهرست کوتاه نهایی روشهای غالب در هر پروژه بهترین روشها را نیز جستجو نمود[۷].

۷- خلاصه، بحث و بررسی

بنظر می‌رسد پذیرش استفاده از سیستم مدیریت دارائی فاضلابرو و ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در کارکرد، نگهداری و بهسازی شبکه‌های فاضلابرو، اهمیت بیشتری را در سال‌های پیش رو کسب خواهند کرد. این افزایش توجه به دلایلی چون افزایش عمر سیستم‌های موجود، تغییرات در آئین‌نامه‌ها، تقاضا برای شفافیت بیشتر در تصمیم‌گیری‌ها و ارتباط با تغییرات مد نظر مشتریان و مصرف‌کنندگان صورت می‌گیرد. ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی شبکه فاضلابرو که در حال حاضر موجود است از نظر توانایی و عملکرد متفاوت هستند (جدول شماره ۱). تعدادی از ابزارها یکپارچه‌سازی شده‌اند به گونه‌ایی که از مدیریت داده، عملکرد و آنالیزهای خرابی تا توسعه برنامه بهسازی را پوشش می‌دهند(مانند CARE-S و Hydroplan). آنها بیشتر الزامات اولیه یک سیستم کامل مدیریت دارائی را همان طور که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است برآورده می‌کند. سایر ابزارها بیشتر خاص هستند و تنها بخشی از الزامات را پوشش می‌دهند. همه ابزارهای بررسی شده دارای توانایی ذخیره داده هستند و بیشتر آنها از سیستم GIS استفاده می‌کنند (ابزارهای مهم در سبد دارائی‌های تاسیساتی). هسته بیشتر ابزارها آنالیز عملکرد و پیش‌بینی خوردگی- عامل بسیار مهم و ضروری در هر سیستم مدیریت دارائی- خرابی (مانند توزیع Herz، زنجیره مارکوف) و مدل‌های هیدرودینامیکی است. تعدادی از ابزارها نیز به تهیه برنامه‌های بهسازی مناسب برای شبکه‌های فاضلابرو آسیب دیده و در حال تخریب با استفاده از تکنیک‌های چند ضابطه‌ای یا آنالیز هزینه می‌پردازند[۳].

در خصوص پیچیدگی، می‌توان گفت ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی شبکه فاضلابرو ساختاری نسبتا پیچیده دارند . استفاه از مدل‌های هیدرودینامیکی، مدل‌های خرابی و ابزارهای آنالیز چند ضابطه‌ای ممکن است باعث شود تا سیستم به چند شخص برای پیاده‌سازی و اجرای آن نیاز داشته باشد. در حالی که برخی از ابزارهای بررسی شده نشئت گرفته از کنسرسیوم‌های تحقیقاتی بزرگ هستند بیشتر آنها توسط تحقیقات دانشگاهی تهیه شده‌اند. از این رو این ابزارها اساسا دیدگاه و نقطه نظر علمی و تحقیقاتی را منعکس می‌کنند. در یک تحقیقی که توسط US EPA انجام گرفت مشخص شد

بسیاری از نمونه‌های حاضر سیستم‌های مدیریت دارائی فاضلابرو بسیار صلب و پیچیده هستند، و اغلب به مقادیر زیادی داده نیاز دارند. به گونه ای که جمع‌آوری و استفاده از آنها از نظر اقتصادی امکان‌پذیر نیست. این مسئله خصوصا در مورد ابزارهایی که توسط کنسرسیوم‌های تحقیقاتی بزرگ تهیه شده‌اند صدق می‌کند. همان طور که گروه‌ها با وظایف تعیین شده سعی بر توسعه بخش مربوط به خود به بهترین حالت دارند، لذا کل محصول بسیار پیچیده‌تر از شرایط معمول خواهد شد، پیچیدگی که خود به مقادیر زیادی داده نیاز دارد[۳].

به تحقیقات بیشتری برای توسعه ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت دارائی شبکه فاضلابرو، خصوصا نسخه های ساده که می‌تواند بسادگی در تراز تاسیسات شهری مورد استفاده قرار گیرد، نیاز است. این تحقیقات باید حالت بهینه و متعادل بین داده‌های مورد نیاز و نتایجی که می‌توان از ابزارهای مدیریت دارائی بدست آورد را ارائه کند. اگرچه داده مناسب مهم است، اما تهیه و جمع‌آوری آنها نیازمند بازرسی‌های بسیاری است. با وجود چنین نسخه ساده‌ای امکان آن وجود دارد تا بسیاری از تصمیم‌های مهم را به روش صحیحی اتخاذ کرده و به این وسیله در منابع کمیاب تاسیساتی صرفه‌جوی کرد. صرفه‌جویی که می‌تواند به بهسازی واقعی و کارهای نوسازی رهنمود شود، بجای آنکه تنها صرف جمع‌آوری داده شود. این امر خصوصا برای شرکت‌های کوچکتر مجموعه‌ای مفید خواهد بود. به علاوه بدلیل نقش مرکزی که مدلسازی خرابی در موفقیت مدیریت دارائی ایفا می‌کند، تحقیقات بیشتری در این زمینه باید انجام شود تا ایده‌های جدیدی که منجر به فهم بهتر فرآیند می‌شود، پیش‌بینی بهتری از خرابی را در ابزارهای معقول‌تر فراهم سازد.[۳].

با توجه به میزان برخورداری بسیار پایین کشورمان از شبکه‌های فاضلاب شهری در مقایسه با آمار جهانی و در نتیجه تقاضای بالای برای احداث شبکه فاضلاب شهری در پاسخ به این نیاز، در کشور حجم بالایی از فاضلابروها در دست مطالعه و اجرا می باشد. شبکه عظیم فاضلاب در حال اجرای شهر تهران با متراژ لوله گذاری بالغ بر ۹۰۰۰ کیلومترو شبکه فاضلاب اجرا شده شهر اصفهان با متراژ لوله گذاری بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر مصادیقی از این شبکه ها می باشند(۶). بنابراین به نظر می‌رسد در صورت ارائه و تهیه سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیر در زمینه مدیریت دارائی‌های فاضلابرو همزمان با رشد و توسعه شبکه فاضلاب در کشور از بروز بسیاری مشکلات در زمینه‌های مدیریت نگهداری و تعمیرات که برخی کشورها با سابقه احداث چندین ساله شبکه فاضلاب با آنها روبرو هستند جلوگیری بعمل آید.

بسیاری از تحقیقات انجام شده در دنیا بر مبنای محاسبات هزینه و پیش‌بینی آن در سال‌های آینده است. در هنگام استفاده از آنها در تحقیقات داخلی باید به این نکته مهم توجه داشت که مدل‌های ذکر شده بر اساس شرایط خاص حاکم بر آن کشور تهیه شده است و با توجه به متفاوت بودن ساختارهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و متعاقب آن تفاوت‌هایی که در هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و غیره بین کشورها خصوصا کشور ما وجود دارد این مدل‌ها باید برای استفاده در کشور و با توجه به شرایط داخلی تهیه شوند.

با توجه به نیاز کشور به چنین سیستم‌هایی در مدیریت دارائی شبکه فاضلابرو و وجود تحقیقات بسیار اندک در کشور، و همچنین توجه روزافزون جوامع علمی، هدایت تحقیقات علمی گسترده در این زمینه بسیار سودمند و حتی ضروری بنظر می‌رسد.

۸- مراجع

[۱] Kirkham, Robin, Kearney, Patrick D, Rogers, Kevin j, Mashford, John, "PIRAT—A System for Quantitative Sewer Quantitative Sewer Pipe Assessment", The International Journal of Robotics Research, Vol. 19, No. 11, pp. 1033- 1053, November, 2000.

[۲] Salvaneschi, Paolo, Cadei, Mauro, Lazzari, Marco, "Applying AI to Structutal Safety Monitoring and Evaluation", IEEE, 1996.

[۳] E. Ana, Jr, W.Bauwens, "Sewer Network Asset management Decision-Support Tools: A Review", International Symposium on New Directions in Urban Water Management, September 2007.

[۴] رونالدهادسن، دبلیو، هاس، رالف، اودین، وحید، "مدیریت زیرساختارها"، بانکی، محمدتقی، چاپ اول، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۰.

[۵] Ruwanpura, J., Ariaratnam, S.T. and El-Assaly, "Prediction Models for Sewer Infrastructure Utilizing Rule-Based Simulation", Civil Engineering and Environmental Systems, 21(3):pp. 169- 185.

[۶] Stone, S., Dzuray, E.J., Meisegeier, D., Dahlborg, A.S. and Erickson, M, "Decision-Support Tools for Predicting the Performance of Water Distribution and Wastewater Collection Systems", US EPA/600/R-02/029 (NTIS PB2003103052), 2002.

[۷] شغلی، امیدرضا، احمدی مطلق، امیررضا، افشار، عباس، "سیستم پشتیبان تصمیم‌گیر به منظور انتخاب روش‌های مناسب بهسازی شبکه‌های فاضلاب"، دومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد بهره‌برداری)، تهران، ۱۳۸۷.