

## ضرورت بکارگیری سیستم پشتیبان تصمیم (DSS) برای اولویت‌بندی اجرایی طرح- های اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب شهری

محسن قمشی - مشاور فنی مدیر عامل آبفا خوزستان و مشاور معاون عمرانی استانداری \*

صادق حقیقی پور - مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب خوزستان

علی حقیقی - دانشیار گروه عمران دانشگاه شهید چمران اهواز

عادل مرادی سبزکوهی - دانشجوی دوره دکتری مهندسی عمران آب دانشگاه شهید چمران اهواز

یاسمن مکارمی - کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه‌های هیدرولیکی مهندسین مشاور آسمان برج کارون

\* mohsenghmeshi1@gmail.com

### چکیده

همه ساله بخش قابل توجهی از اعتبارات وزارت نیرو در بخش آب، صرف پروژه‌های نوسازی و علاج بخشی شبکه‌های توزیع آب و جمع‌آوری و دفع فاضلاب می‌گردد. ماهیت این پروژه‌ها از بعد ادا مه‌دار بودنشان در کنار محدودیت اعتبارات مالی آنها سبب گردیده که بهره‌برداران همه ساله در چالش اولویت‌بندی اجرایی پروژه‌های نوسازی و علاج بخشی قرار داشته باشند. تجربه نشان داده که در اولویت‌بندی اختیاص اعتبارات برای اصلاح اجزای شبکه در مناطق مختلف آن، عموماً سوابق حوادث و اتفاقات شبکه و علی‌الخصوص دیدگاه‌های مدیریتی و حاکمیتی نقش اصلی را ایفا نموده و کمتر بعد تحلیل اعتمادپذیری شبکه در چارچوب یک سیستم نظام‌مند با نگاه جامع‌نگر به آینده در نظر گرفته می‌شود. استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم (DSS<sup>1</sup>) به عنوان یک ابزار قدرتمند که حاصل تلفیق علوم تخصصی مختلف مرتبط با دانش سیستم‌های آب و فاضلاب است، با توجه به ویژگی‌های جامعیت آنها تا حد زیادی می‌تواند پروسه تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی اجرا را تسهیل و در عین حال علمی‌تر نماید. مقاله حاضر به بررسی ضرورت‌های تعریف و چارچوب لازم برای پیاده‌سازی یک DSS جهت اولویت‌بندی اجرایی پروژه‌های اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب می‌پردازد.

کلید واژه‌ها: شبکه‌های آب و فاضلاب، سیستم پشتیبانی تصمیم

### ۱- مقدمه

اگرچه خطوط لوله شبکه‌های آب و فاضلاب شهری عموماً بر مبنای طرح‌های جامع طراحی می‌گردند، اجرای آنها به دلایلی مختلفی عموماً بصورت مرحله به مرحله صورت می‌گیرد. از جمله این دلایل، محدودیت منابع مالی، محدودیت‌های اجرایی، انحراف روند واقعی توسعه شهری با طرح‌های مطالعاتی شبکه و ... می‌باشد. این موضوع با توجه به دوره طرح ۱۵-۳۰ ساله ای که برای

<sup>1</sup>Decision Support System

شبکه وجود دارد، در دراز مدت سبب می‌گردد که شبکه‌های آب و فاضلاب شهری، شامل تنوعی از لوله‌ها با درجات قدمت و جنس و به تبع آنها عملکرد هیدرولیکی متفاوت باشد. در بهترین حالت ممکن می‌توان تصور نمود که در قالب طرح جامع اصلاح شبکه، یک نقشه راه در اختیار بهره‌بردار است که بدون در نظر گرفتن محدودیتهای بودجه‌ای و زمان، نشان می‌دهد هر جزء موجود شبکه چگونه باید اصلاح شود. بدیهی است با توجه به محدودیتهای مالی و فنی، در چنین شبکه درهم تنیده‌ای از لوله‌ها با وضعیت فیزیکی و هیدرولیکی گوناگون، اولویت بندی و انتخاب لوله‌ها از بین صدها لوله کاندید تعویض موضوع بسیار پیچیده‌ای خواهد بود که نیازمند یک نظام کارآمد برای فرآیند تصمیم‌گیری است.

## ۲- ضرورت DSS برای اولویت بندی اصلاح شبکه

تجربه نشان داده که در اولویت بندی اختصاص اعتبارات برای اصلاح اجزای شبکه در مناطق مختلف آن، عموماً سوابق حوادث و اتفاقات شبکه و علی‌الخصوص دیدگاه‌های مدیریتی و حاکمیتی نقش اصلی را ایفا نموده و کمتر از بعد تحلیل اعتمادپذیری شبکه در چارچوب یک سیستم نظام‌مند با نگاه جامع‌نگر به آینده استفاده می‌شود [۱]. از نقاط ضعف این رویکرد سنتی آن است که در انتخاب و اولویت بندی اصلاح و نو سازی/باز سازی لوله‌ها، اثرگذاری اجرای سناریوها در بهبود شاخص اعتمادپذیری هیدرولیکی و تغییرات زمانی این شاخص در طول دوره بهره‌برداری، کمتر مدنظر قرار می‌گیرد. به بیان دقیق‌تر تعویض و اصلاح هر یک از لوله‌های کاندید در یک طرح نو سازی/باز سازی، با توجه به ویژگی لوله‌ها، موقعیت مکانی آنها و گراف شبکه توزیع، اثرگذاری مشخصی در عملکرد هیدرولیکی و ارتقاء سطح سرویس دهی شبکه و حتی تغییر در شاخصه‌های شکست در سایر لوله‌ها خواهد داشت که در رویکرد سنتی در نظر گرفته نمی‌شود [۱].

امروزه توسعه ابزارهای مختلف در زمینه هیدروانفورماتیک و تجهیز و پیاده‌سازی سیستم‌های پایش شبکه، به لطف پیشرفت‌های شگرف حوزه ابزار دقیق و ICT، امکاناتی فراهم آورده که در سایه آن می‌توان چالش بزرگ اولویت بندی اجرایی در طرح‌های اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب را در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم (DSS) برنامه‌ریزی و مدیریت نمود. از جمله ویژگی‌های بارز چنین سیستمی، پویایی آن است که به لطف کاربرد ابزارهای پیشرفته مدل‌سازی-بهینه‌سازی در آن، امکان بروزسانی DSS متناسب با تغییرات شبکه در طول زمان نیز به آسانی میسر است.

## ۳- سیستم پشتیبان تصمیم برای طرح اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب

تعریف: یک سیستم پشتیبان تصمیم بصورت ساده سیستمی است مبتنی بر کامپیوتر برای کمک به تصمیم‌گیرنده در حل مسائل با ساختار پیچیده [۲].

هدف: اصلی‌ترین هدف یک سیستم پشتیبان تصمیم برای اولویت‌بندی اجرایی اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب، پیاده‌سازی یک چارچوب نظام‌مند برای تعیین موثرترین اصلاحات خطوط لوله و تاسیسات شبکه از کل طرح جامع اصلاح شبکه است که متناسب با محدودیت بودجه در زمان اصلاح، کارایی هیدرولیکی شبکه را تا حد امکان حداکثر نماید.

مزایا: مهمترین مزایای پیاده سازی یک سیستم پشتیبان تصمیم عبارتند از:

کاهش زمان تصمیم‌گیری

کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری

بهبود کیفیت تصمیم‌گیری و حل مسئله

بهبود مهارت‌های تصمیم‌گیری افراد

بهبود کنترل سازمانی

تسهیل ارتباطات بین بخشی سیستم

بهبود بهره‌وری فردی

#### ۴- اجزای یک DSS برای اولویت بندی اصلاح شبکه

پیاده سازی یک سیستم پشتیبان تصمیم برای اولویت بندی اجرایی طرح اصلاح شبکه آب و فاضلاب نیازمند اجزای زیر است:  
الف) شبکه تله متری: داشتن اطلاعات پایه‌ای دقیق و کافی از اجزای سخت افزاری یک سامانه مهندسی و ویژگی‌های فیزیکی آن و آگاهی از نحوه تغییرات این ویژگی‌ها در طول زمان یکی از مهمترین الزامات مدیریت صحیح بهره‌برداری از سامانه‌های مهندسی است. بسیاری از اهداف مورد نظر در فاز توسعه و فاز بهره‌برداری از شبکه‌های آب و فاضلاب شهری بر بستر یک شبکه تله متری برای پایش وضعیت امکانپذیر است. سیستم پشتیبان تصمیم برای اولویت بندی اجرایی طرح اصلاح شبکه آب و فاضلاب نیز از این قاعده مستثنی نبوده و لازم است با رصد مداوم علائم حیاتی کمی و کیفی شبکه، وضعیت موجود آن را پایش گردد تا بدینوسیله بتوان متناسب با وضعیت لوله‌ها و سایر اجزای سخت افزاری شبکه برنامه‌های اصلاح شبکه را به نحو موثرتری برنامه‌ریزی نمود.

ب) مدل شبیه‌سازی هیدرولیک شبکه: مدل شبیه‌سازی هیدرولیک شبکه و وضعیت موجود شبکه و میزان کارایی آن را ارزیابی می‌نماید. یک مدل هیدرولیکی دقیق و اسنجی شده از شبکه، قادر است کارایی شبکه را در قبال هرگونه تغییرات اصلاحی در اجزای شبکه موجود را پیش‌بینی نموده و اثربخشی هر سناریو بازسازی-نوسازی در تمام شبکه تعیین نماید.

پ) بروزرسانی و کالیبراسیون مدل هیدرولیکی: شبکه‌های آبرسانی در دست بهره‌برداری دچار تغییر و تحولات متعددی در طول زمان هستند. این شبکه‌ها بصورت تدریجی توسعه یافته و بخش‌ها و زیرشبکه‌های جدیدی به آنها اضافه می‌شود، مصارف ساکنین شهر و نوع کاربری اراضی با گذشت زمان تغییر می‌یابد، لوله‌های شبکه بطور مداوم در معرض خوردگی، شکستگی، وقوع نشست و تغییر زبری هستند، تعمیرات لحظه‌ای و بدون یک برنامه مشخص و همچنین تغییر در جنس و حتی قطر لوله‌ها، ایجاد مشترکین و اتصالات جدید، تغییر در منابع و نقاط تأمین آب و انرژی سیستم و... بسیاری از اتفاقات مترقبه و غیر مترقبه، عملکرد شبکه را متفاوت از شرایط اولیه آن می‌سازد. از این نظر لازم است که شبکه‌های آب و فاضلاب، بصورت دوره‌ای کالیبره شده و وضعیت عملکرد اجزای مختلف آنها بروزرسانی گردد. علاوه بر این، قابلیت‌ها و کارکردهای موثر و متعدد یک مدل هیدرولیکی دقیق و کالیبره شده در زمینه‌های دیگری همچون شناسایی خطا، مدیریت عرضه و تقاضای آب، مدیریت انرژی، مدیریت نشست و آب بحساب نیامده، جانمایی سنسورهای تله متری، مدیریت حوادث شهری و بحرانهای طبیعی، توسعه شبکه و ... برای بهره‌بردارن واضح و مبرهن است.

ت) طرح جامع اصلاح شبکه: طرح جامع اصلاح شبکه بر اساس جوابگویی به نیازمندیهای دوره طرح پایه ریزی شده و مشخصات اجزای مورد نیاز شبکه بر اساس آن تهیه و موجود خواهد بود. طرح‌های جامع اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب شهری طرح‌های بسیار پرهزینه‌ای هستند که تامین و تخصیص اعتبار مالی مورد نیاز آنها عموماً در یک بازه زمانی میان مدت تا دراز مدت صورت می‌گیرد. در واقع ضرورت بکارگیری سیستم‌های جامع پشتیبان تصمیم برای اولویت‌بندی اجرایی در طرح‌های اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب شهری نیز از همین محدودیت منابع مالی نشأت می‌گیرد.

ث) مدل پیش‌بینی تقاضای آب: طرح‌های جامع اصلاح شبکه، عموماً بر مبنای تقاضای آب در افق طرح، تهیه می‌شوند. از سوی دیگر چالش اولویت‌بندی اجرایی برای اصلاح شبکه بر اساس روند تخصیص بودجه‌های محدود اجرایی در دوره‌های زمانی کوتاه‌تری (بعضاً سالانه) موضوعیت پیدا می‌کند. از این نظر لازم است در قالب یک مدل پیش‌بینی کننده تقاضای آب در افق‌های کوتاه‌تر، مصرف آب در مدل شبیه‌ساز هیدرولیک بصورت واقعی‌تری بارگذاری گردد. بدیهی است پویایی DSS این امکان را فراهم می‌کند تا در صورت انحراف روند واقعی توسعه شهر با طرح مطالعاتی اصلاح شبکه، اصلاحات لازم در پیش‌بینی تقاضای گره‌های مصرف نیز متناظراً صورت گرفته و از این نظر اولویت‌بندی، اصلاح و انتخاب لوله‌ها به نحو موثرتری صورت گیرد.

ج) مدل ارزیابی آسیب‌پذیری: آسیب‌پذیری لوله‌های شبکه و شکستگی و نشت از آنها بسته به عوامل متعددی همچون کلاس نامناسب فشاری، عمق نامناسب کارگذاری، شیوه نامناسب اجرایی و ... ممکن است بالا باشد. بدیهی است هرچه شاخص آسیب‌پذیری لوله‌ای بالاتر رود، اولویت تعویض آن لوله بیشتر می‌شود. از این نظر با جمع‌آوری اطلاعات و آمار حوادث و شکستگی لوله‌های شبکه، یک مدل برای ارزیابی سطح آسیب‌پذیری لوله‌ها توسعه داده شده و در مدل DSS بکار گرفته می‌شود. چنانچه لازم باشد که از مدل DSS برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه در افق‌های زمانی بلند مدت استفاده گردد، لازم است در مدل ارزیابی آسیب‌پذیری، پیش‌بینی تغییرات ظرفیت هیدرولیکی لوله‌ها نیز در نظر گرفته شود.

چ) مدل بهینه‌سازی: در سالهای اخیر توسعه مدل‌های بهینه‌سازی خصوصاً مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه فرایندکاری ابزاری بسیار مفید در اختیار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران مرتبط با منابع آب قرار داده تا با تکیه بر پیشرفت‌های علمی در حیطه‌های مختلف علوم هیدروانفورماتیک، فرآیندهای پیچیده تصمیم‌گیری را با دانش و آگاهی بیشتری انجام دهند. تکنیک‌های پیشرفته بهینه‌سازی چند هدفه با در نظر گرفتن انواع قیود فنی، مدیریتی و حتی حاکمیتی امکانات ویژه‌ای را مهیا کرده‌اند که طیف وسیعی از سناریوهای بهینه‌سازی را روی تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد تا به اقتضای شرایط مختلف بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند. در یک مسئله تصمیم‌گیری مقید به هزینه و سایر محدودیتها، برای گزینش لوله‌های ارجح از بین صدها لوله کاندید نو سازی و اصلاح در یک شبکه آب و فاضلاب، بهینه‌سازی نقش کلیدی ایفا می‌کند. در موتور بهینه‌سازی یک مدل DSS برای اولویت‌بندی اجرایی طرح اصلاح شبکه آب و فاضلاب، متغیرهای تصمیم شامل انتخاب یا عدم انتخاب هر یک از لوله‌های کاندید نو سازی در قالب متغیرهای صفر و ۱، و شاخص‌های اعتمادپذیری و آسیب‌پذیری به عنوان اهداف مسئله مطرح هستند که منحنی تبادل<sup>۳</sup> آنها بصورت یک جبهه بهینه پارتو<sup>۴</sup>

<sup>۳</sup>Trade-off

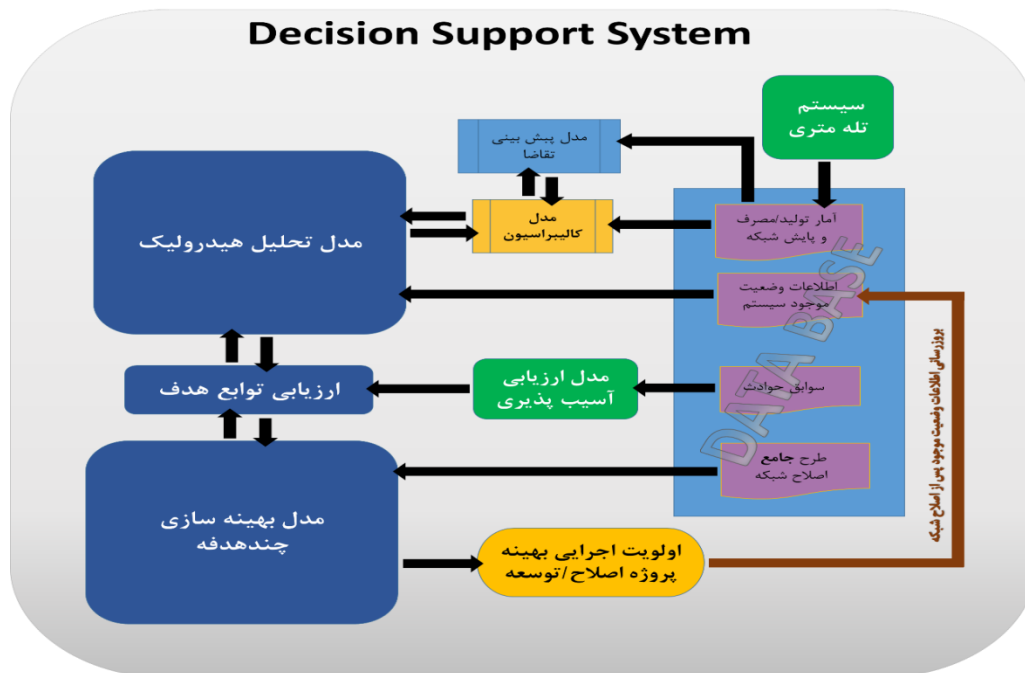
<sup>۴</sup>Pareto optimal front

جستجو می‌گردد. با اجرای این مدل، سناریوهای جبهه بهینه پارتو استخراج شده و سناریو نهایی بر اساس رویکردهای مدیریتی در زمان تصمیم‌گیری انتخاب می‌شود.

در شکل (۱) چارچوب یک سیستم DSS برای اولویت‌بندی اجرایی طرح اصلاح شبکه آب و فاضلاب بر مبنای اجزای مورد اشاره فوق و ارتباطات بخش‌های مختلف آن ترسیم گردیده است.

### ۵- تجارب بین‌المللی

قریب دو دهه است که توسعه مدل‌های مبتنی بر رایانه در موضوع تصمیم‌گیری برای جایگزینی خطوط لوله سیستم‌های آبرسانی آغاز گردیده است. هرز [۳]، کلینر و همکاران [۴]، هادزیلاکوس و همکاران [۵] و سائروف و همکاران [۶]، با معرفی مدل‌هایی بر پایه تحلیل آماری دوره عمر، تحلیل آماری سوابق شکستگی‌ها و نرخ آنها، تحلیل ریسک، رویکردهای پیشگیرانه و ... مسئله انتخاب لوله‌های جایگزین را در خطوط لوله برنامه‌ریزی نمودند. هلهال و همکاران [۷] الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی طرح علاج بخشی شبکه‌های توزیع آب تحت بودجه محدود به کار گرفتند. همچنین کریکو و همکاران [۸] از تکنیک بهینه‌سازی چندهدفه در تعیین سناریوهای نامغلوب پارتو برای هزینه-اعتمادپذیری طرح‌های جایگزینی لوله‌های شبکه آبرسانی استفاده نمودند. موگلیا و همکاران [۹] یک مدل DSS بر مبنای ۵ ماژول مختلف شامل تحلیل ریسک، پیش‌بینی شکست، ارزیابی هزینه، ارزیابی سناریو و تحلیل داده‌ها برای تعیین اولویت اجرایی خطوط لوله توسعه دادند.



شکل ۱. چارچوب مفهومی سیستم پشتیبان تصمیم DSS برای اولویت‌بندی اجرایی طرح‌های اصلاح شبکه‌های آب و

همچنین مدل‌های رگرسیون ساده [۱۰] و [۱۱]، شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های تطبیقی فازی-عصبی [۱۲] نیز برای پیش‌بینی شکست لوله‌ها و اولویت بندی تعویض آنها به کار برده شده‌اند. ژانگ و همکاران [۱۳] در مروری بر سیر تکامل مدل‌های DSS در سیستم‌های منابع آب، به روش‌های موجود دو ایراد اساسی نسبت می‌دهند. اول آنکه این روش‌ها صرفاً قابل فهم و کارا برای متخصصین بوده و کمتر برای کاربران و مدیران بهره‌بردارای ساده‌سازی شده‌اند. دوم آنکه مدل‌های توسعه یافته برخی شاخص‌های مهم کیفی از جمله تجارب متخصصین و بهره‌برداران را در فرآیند تصمیم‌سازی در نظر نمی‌گیرند.

### ۶- تجارب ملی

بررسی منابع تحقیق داخلی نشان می‌دهد تجربه مشابهی در خصوص بکارگیری سیستم پشتیبان تصمیم برای اولویت بندی اجرایی طرح اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب شهری وجود ندارد. به عنوان چند تجربه نزدیک به موضوع، تابش و کریمی [۱۴] یک روش کاربردی بر پایه تاریخچه حوادث شبکه و آنالیز هزینه‌های آن که در سیستم‌های آب شهری به راحتی قابل جمع‌آوری است، برای برنامه‌ریزی زمانی نوسازی لوله‌ها ارائه دادند. همچنین تابش و صابر [۱۵] با استخراج شاخص‌های عمده تصمیم‌گیری به ارائه یک مدل مفهومی جهت تعیین اولویت اصلاح و نوسازی شبکه‌های توزیع آب با تلفیق GIS پرداختند. مینایی [۱] با توسعه یک مدل بهینه سازی دودهنه خود سازگار شونده نوسازی شبکه‌های آبرسانی شهری را برنامه‌ریزی نمود. متکان و همکاران [۱۶] با پیاده‌سازی اجزای اصلی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی SDSS از این سیستم جهت تحلیل داده‌ها و مدیریت یکپارچه شبکه توزیع آب فریدون شهر استفاده نمودند. شغلی و همکاران [۱۷] با بکارگیری یک سیستم پشتیبان تصمیم‌روشنای بهسازی شبکه‌های فاضلاب را در قالب سه گروه تعمیر، نوسازی و جایگزینی بررسی و سازماندهی کرده و چگونگی ارزیابی و طبقه بندی روش‌های بهسازی و انتخاب روش مناسب را تشریح نمودند.

با توجه به اهداف اصلی و مزایای متعددی که برای سیستم پشتیبان تصمیم برای اولویت بندی اجرایی طرح اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب شهری بیان گردید، اخیراً شرکت آب و فاضلاب استان خوزستان در قالب یک قرارداد مطالعاتی، پروژه‌ای تحت عنوان "طراحی سیستم پشتیبان تصمیم DSS برای برنامه‌ریزی و اولویت بندی طرح نوسازی و علاج بخشی شبکه توزیع آب شهرهای دزفول و شادگان" را در دستور کار قرار داده است. اگرچه تجربه نشان داده که بکارگیری تکنولوژی‌های نوین کاربردی علوم مرتبط با مهندسی، در گام‌های نخستین همیشه با چالش‌هایی روبروست، ولیکن منافع متعددی که استفاده از ابزار جدید در حل مسائل پیچیده با خود به همراه دارد، باعث می‌گردد که سرمایه‌های مالی و فکری صرف شده در این راه کاملاً توجیه پذیر باشد.

### ۷- جمع بندی

در مقاله حاضر به بررسی اهمیت سامانه‌های DSS و ابزارهای مرتبط با آن در تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری برای اولویت بندی اجرایی طرح‌های اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب پرداخته شد. سیستم پشتیبان تصمیم برای اولویت بندی اجرایی طرح‌های اصلاح شبکه‌های آب و فاضلاب متشکل از بخش‌های اصلی مدل‌سازی، بهینه سازی، بانک اطلاعات شبکه، مدل کالیبراسیون و مدل پیش‌بینی تقاضاست. ارتباط ذاتی و سیستماتیک بین این اجزا از طریق سیستم DSS برقرار شده و در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی، بهترین

سناریوهای اجرایی اصلاح شبکه از طرح جامع اصلاح شبکه با قید محدودیت بودجه جستجو می‌گردد. از جمله کارکردهای مثبت بکارگیری سیستمهای پشتیبان تصمیم، کاهش زمان تصمیم‌گیری، بهبود کیفیت تصمیم، کاهش هزینه‌ها و ... می‌باشد.

#### ۸- مراجع

- [۱] مینایی، ا.، (۱۳۹۵)، "نوسازی شبکه‌های آبرسانی با رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [2] Watson, H.J., Houdeshel G. and Rainer, R.K., Jr.(1997). "Building Executive Information Systems and Other Decision Support Application." United States of America : John Wiley and Sons Inc.
- [3] Herz RK 1998, "Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks" J Water SRT - Aqua 47, 275-283.
- [4] Kleiner, Y., Adams, B.J. and Rogers, J.S., 2001, "Water Distribution Network Renewal Planning", ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, 15(1), 15-26
- [5] Hadzilacos T, Kalles D, Preston N, Melbourne P, Camarinopoulos L, Eimermacher M, Kallidromitis V, Frondistou-Yannas S and Saegrov S (2000). "UtilNets: a water mains rehabilitation decision-support system." Computers, environment and urban systems 24, 215-232.
- [6] Sægrov S, König A, Mattick A, Milina J, Röstum J and Selseth I .(2003). "Methods for estimating water network rehabilitation needs." Water supply 3, 63-69.
- [7] Halhal, D., Walters, G.A., Ouazar, D., and Savic, D.A. 1997. Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm. Journal of Water Resources Planning and Management, 123(3): 137-146. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(1997) 123:3(137).
- [8] Creaco, E., Franchini, M. and Walski, M., 2014, "Accounting for Phasing of Construction within the Design of Water Distribution Networks", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 140(5), 589-606
- [9] Moglia, M., Burn, S., and Meddings, S. 2006. Decision support system for water pipeline renewal prioritisation. Electronic Journal of Information Technology in Construction, 11: 237-256.
- [10] Sacluti, F.R., 1999. Modeling water distribution pipe failures using Artificial neural networks" M.Sc. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.
- [11] Giustolisi, O., Laucelli, D., and Savic, D.A. 2006. Development of rehabilitation plans for water mains replacement considering risk and cost-benefit assessment. Civ. Eng. Environ. Syst. 23(3): 175-190. doi:10.1080/10286600600789375.
- [12] Tabesh, M., Yekta, A.H.A., and Burrows, R. 2009. An integrated model to evaluate losses in water distribution systems. Water Resour. Manage. 23(3): 477-492. doi:10.1007/s11269-008-9284-2.
- [13] Zhang, K., Zargar, A., Achari, g., Islam, M. and Sadiq, r., 2014, "Application of decision support systems in water management", Journal of Environmental Reviews, 22(3): 189-205
- [۱۴] تابش، م. و کریمی، ک.، ۱۳۸۵، "تعیین زمان نشت یابی و نوسازی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تحلیل اطلاعات حوادث"، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، سال چهارم، شماره ۵، ۵۹۷ تا ۶۱۰
- [۱۵] تابش، م. و صابر، ح.، ۱۳۸۷، مدل مفهومی اصلاح و نوسازی شبکه‌های آب شهری با استفاده از GIS، دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره‌بردار، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، [https://www.civilica.com/Paper-NCWW02-NCWW02\\_044.html](https://www.civilica.com/Paper-NCWW02-NCWW02_044.html)
- [۱۶] متکان، ا.، میرباقری، ب.، بیگی، ع. و قیاسوند، م.، ۱۳۹۳، "طراحی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS) جهت مدیریت بهینه شبکه توزیع آب شهری (مطالعه موردی: شهرستان فریدون‌شهر)"، مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال هفتم، شماره چهارم



اولین اجلاس «هم‌اندیشی با متخصصان علوم آب و محیط‌زیست»  
وزارت نیرو، ۱۰ اسفند ۱۳۹۶

---

[۱۷] شغلی، امیدرضا؛ امیررضا احمدی مطلق و عباس افشار، ۱۳۸۷، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیر به منظور انتخاب روش‌های مناسب به سازی شبکه‌های فاضلاب، دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره‌برداری، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، [https://www.civilica.com/Paper-NCWW02-NCWW02\\_061.html](https://www.civilica.com/Paper-NCWW02-NCWW02_061.html)