

ارائه الگوریتم هوشمند برای اولویت‌بندی پروژه‌های شهری با استفاده از تکنیک‌های

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و داده‌های کلان

علی حاجیانی^۱، امیر اعتباری^۲

۱- کارشناسی فناوری اطلاعات، دانشگاه علمی کاربردی بوشهر. (رییس اداره زیرساخت و مرکز داده سازمان فناوری

اطلاعات شهرداری بندر بوشهر)

۲- کارشناسی نرم افزار کامپیوتر، دانشگاه آزاد واحد دیلم. (رییس اداره فنی و پشتیبانی سازمان فناوری اطلاعات شهرداری بندر بوشهر)

چکیده

مدیریت پروژه‌های شهری به دلیل پیچیدگی ذاتی، تنوع ذی‌نفعان، منابع محدود و نیاز به پاسخگویی به نیازهای متغیر شهروندان، همواره با چالش‌های اساسی در زمینه اولویت‌بندی مواجه بوده است. انتخاب بهینه پروژه‌هایی که بیشترین بازده اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم آورند، مستلزم اتخاذ رویکردهای تصمیم‌گیری دقیق و مبتنی بر شواهد است. رویکردهای سنتی که عمدتاً بر قضاوت‌های شهودی و معیارهای اندک متمرکز هستند، دیگر پاسخگوی نیازهای نظام مدیریت شهری نوین نیستند. در این پژوهش، ضرورت ادغام تکنیک‌های پیشرفته تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) با قابلیت‌های تحلیل داده‌های کلان (Big Data) در فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌های شهری مورد تأکید قرار گرفته است. هدف اصلی این مقاله، ارائه یک چارچوب الگوریتمی هوشمند است که بتواند با بهره‌گیری از داده‌های حجیم و متنوع جمع‌آوری شده از زیرساخت‌های الکترونیکی شهرداری، معیارهای ارزیابی پروژه‌ها را به صورت کمی و کیفی وزن‌دهی کرده و رتبه‌بندی دقیق و عادلانه‌ای را ارائه دهد. روش تحقیق این مقاله، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مرور ادبیات تخصصی در حوزه‌های مدیریت شهری، شهر هوشمند، و تکنیک‌های MCDM است. یافته‌های حاصل از مرور منابع نشان می‌دهد که تلفیق مدل‌هایی نظیر AHP/ANP یا TOPSIS با منابع داده‌های لحظه‌ای (مانند ترافیک، شکایات شهروندان و مصرف انرژی) می‌تواند دقت پیش‌بینی موفقیت پروژه و همسویی آن با اهداف استراتژیک شهری را به نحو چشمگیری افزایش دهد. نتیجه‌گیری این مقاله بر این اصل استوار است که پذیرش الگوریتم‌های هوشمند در سازمان‌های شهری، نه یک انتخاب، بلکه یک الزام راهبردی برای گذار موفق به مدل حکمرانی فعال و پاسخگو است و نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌محور می‌باشد.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی پروژه، مدیریت شهری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، شهر هوشمند، داده‌های کلان.

۱. مقدمه

مدیریت پروژه‌های شهری به عنوان یکی از حیاتی‌ترین ارکان توسعه پایدار شهری، نقشی محوری در تحقق اهداف کلان شهری ایفا می‌کند؛ از توسعه زیرساخت‌های فیزیکی مانند حمل‌ونقل و انرژی گرفته تا بهبود کیفیت خدمات عمومی و افزایش رضایتمندی شهروندان. این حوزه همواره با محدودیت‌های ساختاری متعددی روبه‌رو بوده است که مهم‌ترین آن‌ها کمبود منابع مالی و نیروی انسانی در مقایسه با دامنه وسیع نیازهای شهر است. در بستر محیط مدیریتی ایران، این محدودیت‌ها تشدید شده و لزوم اتخاذ فرآیندهای تصمیم‌گیری بسیار کارآمد و عاری از سوگیری‌های شخصی را دوچندان می‌سازد. اولویت‌بندی پروژه‌ها در واقع فرآیند انتخاب مجموعه‌ای از سرمایه‌گذاری‌هاست که بیشترین ارزش افزوده را در چارچوب محدودیت‌های موجود ایجاد کند، و این امر به خودی خود یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه پیچیده است که نیازمند مدل‌سازی دقیق و جامع است (عزیزی ۱۳۹۲).

نظام‌های سنتی تخصیص منابع در شهرداری‌ها غالباً بر مبنای معیارهای صرفاً مالی یا فشارهای سیاسی کوتاه‌مدت شکل می‌گرفته‌اند که این امر منجر به عدم توازن در توسعه مناطق مختلف شهری و ایجاد پروژه‌هایی با بازده اجتماعی پایین شده است. عدم شفافیت در فرآیند انتخاب و فقدان چارچوب‌های کمی مستدل، اعتماد عمومی به مدیران شهری را تضعیف کرده و سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت را با ریسک مواجه ساخته است. ضرورت تغییر پارادایم از مدیریت واکنشی (Reactive Management) به مدیریت راهبردی (Strategic Management) ایجاب می‌کند که ابزارهای تصمیم‌گیری مدرن، مانند مدل‌های مبتنی بر شواهد، جایگزین روش‌های ذهنی و تجربه‌محور شوند تا اطمینان حاصل شود که هر ریال سرمایه‌گذاری در جهت تحقق چشم‌انداز جامع شهر به کار گرفته می‌شود (قربانی ۱۳۹۵). با ورود به عصر تحول دیجیتال و ظهور مفاهیمی نظیر شهر هوشمند، امکان جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل حجم عظیمی از داده‌های مرتبط با عملکرد شهری فراهم آمده است. این داده‌ها که شامل اطلاعاتی از حسگرها، شبکه‌های اجتماعی، سامانه‌های خدمات شهری و سوابق پروژه‌های پیشین است، منبعی غنی برای شناسایی گلوگاه‌ها و نیازمندی‌های واقعی شهروندان محسوب می‌شوند. نادیده گرفتن این حجم از اطلاعات در فرآیند اولویت‌بندی، به مثابه استفاده از نقشه‌ای قدیمی در یک جاده دیجیتالی است؛ اطلاعات موجود ظرفیت بالقوه‌ای دارند که در صورت استخراج دانش از آن‌ها، می‌توانند دقت مدل‌های تصمیم‌گیری را به سطحی فراتر از آنچه با روش‌های مرسوم قابل دستیابی بود، ارتقا دهند (جووری ۱۴۰۳).

تحلیل دقیق نیازها و پتانسیل‌های شهری نیازمند در نظر گرفتن ابعاد چندگانه است؛ از جمله صرفه اقتصادی، تأثیر اجتماعی، پایداری زیست‌محیطی، انطباق با طرح‌های تفصیلی، و قابلیت اجرا در بازه زمانی مشخص. هر یک از این ابعاد خود شامل زیرمعیارهای متعددی هستند که ارزیابی همزمان آن‌ها و تعیین وزن نسبی هر یک، از طریق تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) امکان‌پذیر است. MCDM چارچوب‌های ریاضیاتی قدرتمندی را برای مدل‌سازی ترجیحات و روابط پیچیده بین معیارها فراهم می‌کند و این امکان را می‌دهد که چندین ذی‌نفع با دیدگاه‌های متفاوت، به یک جمع‌بندی منطقی برسند (علیخانی ۱۳۹۶). بنابراین، شکاف اصلی در مدیریت شهری ایران، در عدم یکپارچگی این دو حوزه مهم نهفته است: قدرت تحلیلی داده‌های کلان و انعطاف‌پذیری مدل‌سازی MCDM. الگوریتم‌های هوشمند پیشنهادی در این مقاله با هدف پر کردن

این شکاف طراحی می‌شوند تا بتوانند داده‌های خام و پرحجم را به معیارهای کمی قابل اندازه‌گیری تبدیل کرده و سپس از طریق مدل‌های MCDM، آن‌ها را در فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌ها ادغام نمایند. این ادغام، فرآیند تصمیم‌گیری را از حالت ذهنی خارج کرده و آن را به سمت یک رویکرد شناختی مبتنی بر داده‌های واقعی سوق می‌دهد.

ضرورت حرکت به سمت چنین رویکردهایی در ایران به طور خاص با توجه به چالش‌های ناشی از مدیریت بحران‌های شهری، نوسانات اقتصادی و نیاز مبرم به بهینه‌سازی مصرف منابع عمومی، بیش از پیش آشکار می‌شود. یک الگوریتم هوشمند اولویت‌بندی باید بتواند سناریوهای مختلف را به سرعت شبیه‌سازی کند و بهترین مسیر سرمایه‌گذاری را بر اساس شاخص‌های عملکردی تعریف‌شده (KPIs) و داده‌های لحظه‌ای شهری تعیین نماید. این امر نیازمند ایجاد یک فرهنگ سازمانی مبتنی بر داده و استفاده از ابزارهای تحلیلی پیچیده است که در ادامه به تبیین مبانی نظری این تحول پرداخته خواهد شد. اولویت‌بندی پروژه‌های شهری در حقیقت تلاشی است برای تخصیص سرمایه محدود به فرصت‌های نامحدود توسعه. این مسئله از منظر مدیریت استراتژیک، مستلزم درک عمیقی از اهداف بلندمدت سازمان شهرداری و همسویی آن با برنامه توسعه ملی و استانی است. اگر پروژه‌هایی بدون در نظر گرفتن تأثیرات شبکه‌ای و وابستگی‌های متقابل آن‌ها انتخاب شوند، ممکن است تخصیص منابع ناکارآمد شده و پروژه‌های کلیدی دچار تأخیر یا شکست شوند. بنابراین، الگوریتم پیشنهادی باید قابلیت ارزیابی تعاملات بین پروژه‌ها (مانند پیش‌نیاز بودن یک پروژه زیرساختی برای پروژه‌های خدماتی بعدی) را نیز مد نظر قرار دهد که این امر از طریق مدل‌های پیشرفته‌تر MCDM نظیر ANP (شبکه تحلیلی فرآیند) امکان‌پذیر است و می‌تواند دقت مدل‌سازی را افزایش دهد. در نهایت، این بخش بر این نکته تأکید می‌کند که پذیرش فناوری‌های نوین در مدیریت شهری ایران، فراتر از صرف خرید ابزارهای فناورانه، نیازمند بازمهندسی فرآیندهای مدیریتی و تربیت نیروی انسانی متخصص در زمینه تحلیل داده‌های شهری است. مقاله حاضر با ارائه یک مدل مفهومی و الگوریتمی، تلاش می‌کند تا راهکاری عملی برای گذار از شیوه‌های سنتی به یک سیستم تصمیم‌گیری پیشرفته، شفاف و داده‌محور در حوزه اولویت‌بندی پروژه‌های شهری ارائه دهد.

۲: مبانی نظری شهر هوشمند، مدیریت شهری الکترونیک و داده‌های کلان

مفهوم شهر هوشمند (Smart City) به عنوان پارادایم غالب در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری قرن بیست و یکم، تعریفی جامع از یک محیط شهری پویا ارائه می‌دهد که در آن فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) به صورت یکپارچه برای بهبود کیفیت زندگی، کارایی عملیات شهری و رقابت‌پذیری اقتصادی به کار گرفته می‌شود (مرادی ۱۴۰۳). این مفهوم بر شش رکن اصلی استوار است: دولت هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند، اقتصاد هوشمند، محیط زیست هوشمند، زندگی هوشمند و شهروندان هوشمند. هسته مرکزی این پارادایم، توانایی جمع‌آوری، پردازش و استفاده از داده‌ها در مقیاس وسیع و به صورت لحظه‌ای است تا تصمیم‌گیری‌ها بر اساس شواهد عینی و نه حدس و گمان صورت پذیرد. مدیریت شهری الکترونیک (E-Government) به عنوان پایه و اساس عملیاتی شهر هوشمند، مرحله‌ای از تکامل خدمات شهری است که در آن فرآیندهای اداری و تعاملات شهروندان با نهادهای شهری از طریق بستر دیجیتال انجام می‌پذیرد. این گذار از خدمات کاغذی به الکترونیکی، نه تنها بهره‌وری داخلی سازمان را افزایش می‌دهد، بلکه شفافیت و دسترسی‌پذیری خدمات را برای عموم تسهیل می‌کند (صفرزاده ۱۴۰۲). زیرساخت‌های الکترونیکی مانند سیستم‌های مدیریت اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیستم‌های مدیریت ارتباط با مشتری (CRM) و پورتال‌های خدمات شهروندی، منابع اولیه تولید داده‌های ساختاریافته‌ای هستند که برای تحلیل‌های آتی ضروری خواهند بود.

ظهور پدیده داده‌های کلان (Big Data) به عنوان عامل دگرگون‌کننده، این پارادایم هوشمند را غنی‌تر ساخته است. داده‌های کلان با ویژگی‌های سه‌گانه (حجم بالا، تنوع زیاد و سرعت زیاد) شناخته می‌شوند که ابزارهای تحلیلی سنتی قادر به مدیریت و

استخراج ارزش از آن‌ها نیستند (مومنی ۱۴۰۲). در بستر شهری، این داده‌ها از شبکه‌های گسترده‌ای از سنسورهای اینترنت اشیا (IoT)، دستگاه‌های موبایل، دوربین‌های نظارتی و تراکنش‌های مالی جمع‌آوری می‌شوند. توانایی پردازش این داده‌ها، شهرداری‌ها را قادر می‌سازد تا الگوهای پیچیده رفتاری شهروندان، وضعیت لحظه‌ای زیرساخت‌ها و نقاط ضعف خدمات‌رسانی را با دقتی بی‌سابقه شناسایی کنند. تحلیل داده‌های کلان، بنیان تصمیم‌گیری هوشمند را تشکیل می‌دهد. داده‌ها به تنهایی ارزش چندانی ندارند؛ ارزش واقعی در تبدیل آن‌ها به بینش‌ها و اقداماتی است که قابلیت پیاده‌سازی در سیاست‌گذاری‌ها و پروژه‌های شهری را داشته باشند. برای مثال، تحلیل داده‌های ترافیکی لحظه‌ای می‌تواند نشان دهد که کدام تقاطع‌ها در ساعات پیک بیشترین تأخیر را ایجاد می‌کنند و این اطلاعات مستقیماً باید به اولویت‌بندی پروژه‌های عمرانی مرتبط با بهبود شبکه حمل‌ونقل تزریق شود. این رویکرد، نیاز به مدل‌های پیشرفته مانند یادگیری ماشین و یادگیری عمیق را برجسته می‌سازد که قادرند الگوهای نهفته در داده‌های حجیم را کشف کنند.

تلفیق داده‌های کلان با فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌ها، نیازمند تعریف معیارهای عملکردی جدید است. در گذشته، معیارها عمدتاً ثابت و تاریخی بودند؛ اما امروزه، معیارهایی مانند "میزان رضایت شهروندان از خدمات در یک محله خاص" که به صورت مستمر از طریق شبکه‌های اجتماعی و سامانه‌های ثبت شکایات جمع‌آوری می‌شود، باید به عنوان ورودی‌های پویا در مدل‌های تصمیم‌گیری لحاظ گردند (زینالی ۱۴۰۳). این امر، فرآیند اولویت‌بندی را از یک فعالیت سالانه ایستا به یک فرآیند پویا و مداوم (Continuous Prioritization) تبدیل می‌کند که می‌تواند با تغییر شرایط شهری سازگار شود. مدیریت شهری الکترونیک نقش مهمی در ایجاد زیرساخت‌های لازم برای تحقق این چشم‌انداز دارد. سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) که موقعیت مکانی تمامی دارایی‌ها، نیازها و پروژه‌های بالقوه را مستند می‌سازند، نقش مرکزیت داده‌ها را ایفا می‌کنند. در غیاب یک زیرساخت قوی GIS که بتواند با سامانه‌های داده‌های کلان هماهنگ شود، تلاش‌ها برای هوشمندسازی مدیریت پروژه محکوم به شکست خواهد بود؛ زیرا داده‌های مکانی دقیق برای ارزیابی تأثیرات فضایی پروژه‌ها حیاتی است (قربانی ۱۳۹۵). در نهایت، پذیرش این پارادایم مستلزم درک این نکته است که شهر هوشمند صرفاً در مورد فناوری نیست، بلکه در مورد استفاده استراتژیک از فناوری برای حل مشکلات واقعی شهری است. اولویت‌بندی پروژه‌ها به عنوان قلب سرمایه‌گذاری‌های شهری، باید از این تحول بهره‌مند شود تا اطمینان حاصل شود که منابع به سمت پروژه‌هایی هدایت می‌شوند که بیشترین همسویی را با اهداف بلندمدت شهری دارند و از سوی دیگر، بر اساس شواهد و داده‌های واقعی مبنی بر نیازهای شهروندان وزن‌دهی شده‌اند. این بخش مبانی نظری لازم برای درک اهمیت و ضرورت ادغام تکنیک‌های تحلیلی با زیرساخت‌های داده‌ای نوین را فراهم می‌آورد.

۳: زیرساخت‌های الکترونیکی شهرداری‌ها و نقش آن در تصمیم‌سازی

توسعه زیرساخت‌های الکترونیکی در شهرداری‌ها از ابتدای دهه ۱۳۸۰ شمسی آغاز شد و به تدریج از سیستم‌های ساده بایگانی الکترونیکی فراتر رفته و اکنون شامل سامانه‌های پیچیده مدیریتی و ارتباطی است. این زیرساخت‌ها که شامل شبکه‌های ارتباطی امن، مراکز داده (Data Centers)، سامانه‌های مدیریت ارتباط با ذی‌نفعان (SRM) و به خصوص سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) می‌باشند، ستون فقرات هرگونه تصمیم‌گیری مبتنی بر داده در مدیریت شهری را تشکیل می‌دهند (عزیزی ۱۳۹۲). بدون وجود یک زیرساخت الکترونیکی منسجم، مفهوم داده‌کاوی و تحلیل‌های پیشرفته تنها در حد نظری باقی خواهد ماند، زیرا داده‌ها به صورت سیلوهای مجزا و با فرمت‌های ناسازگار ذخیره شده‌اند. سیستم GIS به عنوان مهم‌ترین ابزار مکانی‌سازی اطلاعات شهری، نقشی تعیین‌کننده در اولویت‌بندی پروژه‌ها ایفا می‌کند. پروژه‌های شهری ذاتاً دارای یک مؤلفه مکانی هستند؛ خواه توسعه یک خط مترو باشد یا بهینه‌سازی شبکه جمع‌آوری زباله. GIS امکان لایه‌بندی اطلاعاتی مختلف، از جمله تراکم

جمعیت، وضعیت زیرساخت‌های موجود (لوله‌کشی، کابل‌کشی)، مناطق پرخطر (سیل، زلزله) و موقعیت مراکز خدماتی را فراهم می‌آورد (قربانی ۱۳۹۵). این لایه‌بندی، برای ارزیابی معیارهایی نظیر "نیاز منطقه‌ای" یا "تأثیر بر ترافیک" در مدل‌های MCDM بسیار حیاتی است و امکان ارزیابی‌های عینی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی را میسر می‌سازد.

نقش داده‌ها در تصمیم‌سازی به طور مستقیم با میزان یکپارچگی زیرساخت‌های الکترونیکی مرتبط است. شهرداری‌هایی که موفق به یکپارچه‌سازی داده‌های حوزه‌های مختلف (مالی، عمرانی، خدمات شهر، ترافیک) در یک پلتفرم واحد شده‌اند، می‌توانند با استفاده از ابزارهای هوشمند، وابستگی‌های متقابل بین پروژه‌ها را بهتر درک کنند (علیخانی ۱۳۹۶). به عنوان مثال، داده‌های جمع‌آوری شده از سامانه صدور پروانه ساختمانی (بخش الکترونیک) می‌تواند به عنوان یک شاخص پیش‌بینی‌کننده برای تقاضای آتی خدمات عمومی (مانند نیاز به فضای سبز یا مدارس جدید) در همان منطقه عمل کند و این امر مستقیماً در اولویت‌بندی پروژه‌های توسعه خدمات تأثیرگذار است.

با این حال، تجربه نشان داده است که بسیاری از شهرداری‌ها در ایران با چالش‌های عمده‌ای در زمینه زیرساخت‌های الکترونیکی مواجه هستند. این چالش‌ها شامل قدیمی بودن نرم‌افزارهای مورد استفاده، عدم رعایت استانداردهای تبادل داده (Interoperability)، و مهم‌تر از همه، مقاومت سازمانی در برابر اشتراک‌گذاری داده‌ها بین واحدها است (جووری ۱۴۰۳). تا زمانی که این سیلوهای اطلاعاتی شکسته نشوند و یک معماری داده‌ای واحد مبتنی بر حاکمیت داده (Data Governance) ایجاد نگردد، استخراج بینش‌های تحلیلی پیچیده که در دل داده‌های کلان نهفته است، غیرممکن خواهد بود.

اهمیت زیرساخت‌ها در تصمیم‌سازی نوین فراتر از صرف ذخیره‌سازی داده‌ها است؛ آن‌ها باید توانایی پشتیبانی از تحلیل‌های بلادرنگ (Real-time Analytics) را نیز داشته باشند. برای مثال، در حوزه مدیریت بحران، فرآیند اولویت‌بندی تخصیص منابع امدادی پس از یک حادثه (مانند سیل یا زلزله) باید ظرف چند ساعت انجام شود. این امر تنها با وجود شبکه‌های حسگری متصل به یک پلتفرم تحلیلی مرکزی میسر است که بتواند داده‌های سنسورهای محیطی را با اطلاعات دارایی‌ها و مسیرهای امدادی در GIS ترکیب کند (قربانی ۱۳۹۵). مدیریت پروژه‌های شهری نیازمند چارچوب‌های مدیریت دانش (KM) نیز هست. زیرساخت‌های الکترونیکی باید بتوانند نتایج پروژه‌های پیشین، شامل میزان انحراف از بودجه و زمان‌بندی، و سطح نهای رضایت شهروندان پس از تکمیل پروژه را مستندسازی کنند. این سوابق تاریخی (Historical Records) به عنوان داده‌های آموزشی برای الگوریتم‌های هوشمند آتی عمل می‌کنند و به مدل MCDM اجازه می‌دهند تا وزن معیارها را بر اساس عملکرد واقعی گذشته تنظیم کند، به جای آنکه صرفاً بر اساس نظر کارشناسان اولیه باشد (عزیزی ۱۳۹۲).

علیخانی (۱۳۹۶) بر این نکته تأکید می‌کند که سرمایه‌گذاری بر روی زیرساخت‌های مدرن، باید همزمان با سرمایه‌گذاری در امنیت سایبری صورت گیرد؛ چرا که افزایش اتصال و وابستگی به داده‌ها، سازمان شهرداری را در برابر تهدیدات سایبری آسیب‌پذیرتر می‌سازد. هرگونه نقص در امنیت این زیرساخت‌ها می‌تواند منجر به دستکاری در داده‌های ورودی مدل اولویت‌بندی و در نتیجه، تخصیص نادرست منابع عمومی شود. در مجموع، زیرساخت‌های الکترونیکی شهرداری‌ها نه تنها بستری برای جمع‌آوری داده‌ها، بلکه خود یکی از معیارهای کلیدی در موفقیت الگوریتم هوشمند پیشنهادی هستند. کیفیت، یکپارچگی، دسترسی‌پذیری و امنیت این زیرساخت‌ها تعیین‌کننده میزان دقت و اعتبار خروجی‌های فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌ها خواهد بود و این امر نیازمند یک رویکرد سیستمی و جامع در سطح فناوری اطلاعات شهرداری است (جووری ۱۴۰۳).

۴: داده‌کاوی، کلان‌داده و تحول تصمیم‌گیری مدیران شهری

داده‌کاوی (Data Mining) به عنوان پلی میان مجموعه عظیم داده‌های خام و دانش قابل استفاده، نقشی بنیادین در تحول پارادایم تصمیم‌گیری در مدیریت شهری ایفا می‌کند. این فرآیند شامل استخراج الگوها، روندها و روابط معنادار از مجموعه داده‌های بزرگ، پیچیده و اغلب بدون ساختار است. در مدیریت شهری، داده‌کاوی به مدیران اجازه می‌دهد تا از حالت توصیفی (چه اتفاقی افتاده است؟) به حالت پیش‌بینی‌کننده (چه اتفاقی خواهد افتاد؟) و در نهایت به حالت تجویزی (بهترین اقدام چیست؟) حرکت کنند (ضیاءپور و نقی‌زاده ۱۴۰۱). کلان‌داده، منبع تغذیه‌کننده این فرآیند است. داده‌های شهری دیگر محدود به گزارش‌های مالی و آماری رسمی نیستند؛ بلکه شامل جریان‌های عظیم داده‌های تولید شده توسط حسگرهای محیطی، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)، گزارش‌های شهروندان از طریق اپلیکیشن‌های موبایلی، و داده‌های شبکه‌های اجتماعی هستند. تنوع و حجم این داده‌ها، ابزارهای سنتی مانند رگرسیون‌های ساده را ناکارآمد می‌سازد و نیازمند الگوریتم‌های پیچیده‌تری مانند خوشه‌بندی (Clustering)، طبقه‌بندی (Classification) و قواعد انجمنی (Association Rules) است (ضیاءپور و نقی‌زاده ۱۴۰۱).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای داده‌کاوی در فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌ها، شناسایی نیازمندی‌های پنهان شهری است. به عنوان مثال، با استفاده از تحلیل احساسات (Sentiment Analysis) بر روی شکایات ثبت‌شده در سامانه‌های خدمات شهر، می‌توان مناطقی را که از نظر ذهنی شهروندان با کمبود شدید امکانات مواجه هستند، شناسایی کرد، حتی اگر این کمبودها در آمار رسمی سرانه فضاهای عمومی منعکس نشده باشد. این بینش، معیاری جدید و مهم برای وزن‌دهی پروژه‌های خدماتی در مدل MCDM فراهم می‌آورد.

تحول در تصمیم‌گیری مدیران شهری از طریق داده‌کاوی، بر دو محور اصلی استوار است: کاهش عدم قطعیت و افزایش سرعت پاسخگویی. در گذشته، تحلیل امکان‌سنجی یک پروژه ممکن بود ماه‌ها به طول انجامد و اغلب بر اساس داده‌های قدیمی انجام می‌شد. امروزه، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده مبتنی بر داده‌های کلان، می‌توان تأثیرات جانبی یک پروژه پیشنهادی (مثلاً تأثیر ساخت یک پل جدید بر توزیع ترافیک در شعاع ۵ کیلومتری) را در چند دقیقه شبیه‌سازی کرد (ضیاءپور و نقی‌زاده ۱۴۰۱). این قابلیت شبیه‌سازی، مدیران را قادر می‌سازد تا سناریوهای مختلف را به صورت مکرر ارزیابی کرده و بهترین گزینه را از منظر مجموعه‌ای از معیارها انتخاب نمایند. همچنین، داده‌کاوی نقش مهمی در اعتبارسنجی معیارهای مورد استفاده در مدل‌های MCDM دارد. معیارها و وزن‌هایی که توسط کارشناسان تعیین می‌شوند، باید به صورت مستمر با داده‌های واقعی عملکردی مقایسه شوند. اگر مدلی وزن بالایی به "ایجاد درآمد" بدهد، اما داده‌های تاریخی نشان دهد که پروژه‌های با درآمدزایی بالا، رضایت شهروندی پایینی داشته‌اند، این وزن باید تعدیل شود. داده‌کاوی امکان ایجاد حلقه‌های بازخورد خودکار (Automated Feedback Loops) را فراهم می‌آورد که مدل MCDM را به صورت پویا بهبود می‌بخشد.

چالش اصلی در پیاده‌سازی این فرآیند در شهرداری‌های ایران، کیفیت داده‌ها است. داده‌های شهری اغلب پراکنده، ناقص، دارای خطا یا در فرمت‌های ناسازگار هستند. تیم‌های داده‌کاوی باید ابتدا زمان قابل توجهی را صرف فرآیند پاک‌سازی، نرمال‌سازی و ادغام داده‌ها (Data Integration) از منابع مختلف (شامل GIS، سوابق مالی و سامانه‌های خدماتی) نمایند تا بتوانند بر روی یک مجموعه داده قابل اعتماد برای آموزش مدل‌ها کار کنند (ضیاءپور و نقی‌زاده ۱۴۰۱). از منظر مدیریتی، اتکا به داده‌کاوی نیازمند تغییر فرهنگ سازمانی است. مدیران باید از تصمیم‌گیری‌های شهودی به سمت "مدیریت مبتنی بر شواهد" حرکت کنند. این بدان معناست که هر تصمیم برای اولویت‌بندی یک پروژه باید با ارجاع به تحلیل‌های آماری و خروجی‌های مدل‌های داده‌کاوی همراه باشد، که این خود مستلزم افزایش سطح سواد داده‌ای (Data Literacy) در سطوح میانی و عالی مدیریت شهری است. به طور خلاصه، داده‌کاوی و کلان‌داده‌ها سوخت لازم برای الگوریتم هوشمند اولویت‌بندی پروژه‌ها را فراهم می‌آورند. آن‌ها معیارهای

سنتی را با شاخص‌های عملکردی مبتنی بر شواهد زنده شهری جایگزین کرده و امکان تحلیل‌های پیشرفته و اعتبارسنجی مستمر مدل‌های تصمیم‌گیری را میسر می‌سازند و این تحول، سنگ بنای گذار از مدیریت سنتی به مدیریت شهری هوشمند و پاسخگو است.

۵: تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDM و MADM و کاربردهای آن‌ها

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و شاخه وسیع‌تر آن، تصمیم‌گیری چندمعیاره و چندعاملی (MADM)، مجموعه‌ای از روش‌های تحلیلی هستند که برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها در شرایطی که اهداف متعددی در تعارض با یکدیگر قرار دارند، طراحی شده‌اند. در مدیریت پروژه‌های شهری، این تعارض‌ها بسیار رایج هستند؛ برای مثال، یک پروژه ممکن است از نظر هزینه اقتصادی بهینه باشد اما تأثیرات اجتماعی نامطلوبی داشته باشد یا یک پروژه با تأثیر زیست‌محیطی بالا، از نظر سیاسی اولویت کمتری داشته باشد. MCDM چارچوبی ریاضیاتی برای ادغام این ملاحظات کیفی و کمی فراهم می‌آورد (شریفی و همکاران ۱۴۰۳). تکنیک‌های MCDM بر دو بخش اصلی استوارند: روش‌های رتبه‌بندی (مثل TOPSIS و ELECTRE) و روش‌های دسته‌بندی یا انتخاب (مثل AHP/ANP). در فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌ها، نیاز اصلی ما تعیین رتبه نسبی پروژه‌هاست، از این رو، روش‌های رتبه‌بندی از اهمیت بیشتری برخوردارند. روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از پرکاربردترین ابزارها است، زیرا امکان مدل‌سازی ساختار سلسله مراتبی مسئله و تعیین وزن معیارها از طریق مقایسات زوجی را فراهم می‌آورد (باقری و همکاران ۱۳۹۶).

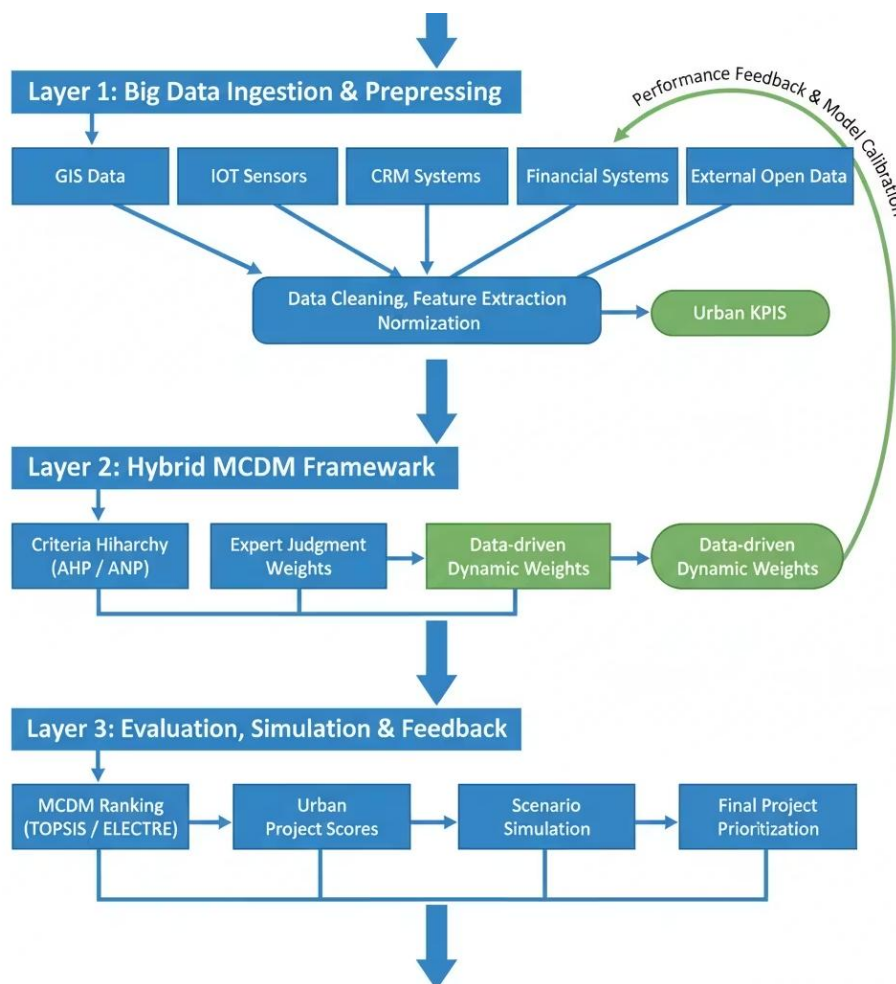
مزیت اصلی AHP در توانایی آن برای ترکیب قضاوت‌های کیفی مدیران و کارشناسان با داده‌های کمی است. با این حال، AHP به شدت به سازگاری مقایسات زوجی متکی است و ممکن است در مواجهه با تعداد زیادی معیار و گزینه، دچار عدم سازگاری شود. برای غلبه بر این محدودیت و درک بهتر وابستگی‌های متقابل بین معیارها (مثلاً تأثیر افزایش هزینه بر رضایت عمومی)، تکنیک شبکه تحلیلی فرآیند (ANP) که توسعه یافته AHP است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ANP اجازه می‌دهد تا روابط حلقوی و شبکه‌ای بین معیارهای تصمیم‌گیری مدل‌سازی شوند، که این امر برای ارزیابی پروژه‌های پیچیده شهری که به شدت به یکدیگر وابسته هستند (مانند پروژه احداث خط مترو که بر پروژه‌های توسعه پایانه اتوبوس تأثیر می‌گذارد)، ضروری است (مظفری و کریمی ۱۴۰۱).

روش TOPSIS (تکنیک اولویت‌بندی بر اساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل) نیز یکی دیگر از روش‌های محبوب در این زمینه است. TOPSIS گزینه‌ها را بر اساس فاصله اقلیدسی آن‌ها از دو نقطه ایده‌آل (بهترین و بدترین حالت ممکن برای هر معیار) ارزیابی می‌کند. این روش به دلیل سادگی نسبی و محاسبه و ارائه یک امتیاز نسبی برای هر پروژه، برای اولین مرحله از فیلتر کردن پروژه‌های شهری بسیار مناسب است (باقری و همکاران ۱۳۹۶). کاربرد این تکنیک‌ها در مدیریت شهری بسیار گسترده است؛ از انتخاب بهترین مکان برای احداث تأسیسات جدید گرفته تا ارزیابی طرح‌های توسعه زیرساختی و انتخاب تأمین‌کننده خدمات. چالش اصلی در کاربرد عملی MCDM در ایران، تعیین وزن‌های دقیق معیارها و تعریف معیارهای کاملاً مناسب است. داده‌های کلانی که در بخش‌های پیشین مطرح شد، می‌توانند این فرآیند را متحول کنند. به جای تکیه صرف بر نظرسنجی کارشناسان برای تعیین وزن‌ها، می‌توان از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای استخراج وزن‌های استنباطی (Inferred Weights) از داده‌های تاریخی استفاده کرد و سپس این وزن‌ها را با نظر کارشناسان ترکیب نمود (شریفی و همکاران ۱۴۰۳).

مظفری و کریمی (۱۴۰۱) اشاره می‌کنند که در پروژه‌های بزرگ، استفاده از روش‌های فازی (Fuzzy MCDM) برای مدیریت عدم قطعیت ذاتی در پیش‌بینی‌های بلندمدت (مانند نرخ تورم یا رشد جمعیت) اهمیت فراوانی دارد. شهر هوشمند با ارائه داده‌های لحظه‌ای، عدم قطعیت مربوط به وضعیت فعلی را کاهش می‌دهد، اما عدم قطعیت‌های مربوط به آینده همچنان باقی است و مدل‌های فازی می‌توانند این ابهام زبانی و پیش‌بینی را به خوبی مدیریت کنند. برای مثال، در اولویت‌بندی پروژه‌های نوسازی شبکه آب، معیارهایی نظیر "قدمت لوله‌ها" (داده تاریخی)، "میزان هدررفت آب" (داده لحظه‌ای از سنسورها) و "تأثیر اجتماعی ناشی از قطعی‌ها" (داده احساسی از شبکه‌های اجتماعی) باید همزمان ارزیابی شوند. یک مدل MCDM ترکیبی که بتواند وزن‌های این معیارها را بر اساس اولویت‌های استراتژیک شهرداری (مثلاً اولویت با کاهش هدررفت در مناطق خشک) تنظیم کند، ابزاری قدرتمند خواهد بود. در نهایت، روش‌های MCDM، به ویژه آن‌هایی که از روابط شبکه‌ای پشتیبانی می‌کنند (مانند ANP)، چارچوب ریاضی لازم برای ساخت الگوریتم هوشمند پیشنهادی را فراهم می‌کنند. این تکنیک‌ها ابزارهایی هستند که داده‌های غنی استخراج‌شده از کلان‌داده‌ها را دریافت کرده و آن‌ها را به یک رتبه‌بندی عملیاتی و قابل دفاع برای تخصیص منابع تبدیل می‌نمایند (باقری و همکاران ۱۳۹۶).

۶: طراحی چارچوب الگوریتم هوشمند پیشنهادی برای اولویت‌بندی پروژه‌های شهری (تلفیق MCDM و Big Data)

الگوریتم هوشمند پیشنهادی برای اولویت‌بندی پروژه‌های شهری، بر مبنای یک معماری سه‌لایه طراحی شده است که هدف آن تلفیق عملی و منسجم بین قدرت مدل‌سازی MCDM و ظرفیت تحلیلی داده‌های کلان است.



شکل ۱ - مدل مفهومی الگوریتم هوشمند اولویت‌بندی پروژه‌های شهری مبتنی بر تلفیق لایه‌های کلان داده و چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در سه لایه «دریافت و پیش‌پردازش داده‌ها»، «مدل‌سازی معیارها و وزن‌دهی ترکیبی» و «ارزیابی، شبیه‌سازی سناریو و بازخورد عملکرد»

این چارچوب فرآیند سنتی و ایستا را به یک چرخه تصمیم‌گیری پویا، تکرارشونده و مبتنی بر شواهد تبدیل می‌کند.

۱. لایه اول: لایه جمع‌آوری و پیش‌پردازش داده‌های کلان (Data Ingestion & Preprocessing): این لایه مسئول اتصال به زیرساخت‌های الکترونیکی شهرداری (GIS، سامانه‌های CRM، حسگرهای IoT، داده‌های مالی) و جریان‌های داده‌های خارجی (مانند داده‌های جمعیتی و جغرافیایی) است. در این مرحله، از تکنیک‌های داده‌کاوی (همانند بخش چهارم) برای استخراج ویژگی‌ها، نرمال‌سازی داده‌ها و اطمینان از کیفیت آن‌ها استفاده می‌شود. خروجی این لایه، مجموعه‌ای از شاخص‌های عملکردی (KPIs) پاک‌سازی شده و ساختاریافته است که مستقیماً به معیارهای تصمیم‌گیری قابل تبدیل هستند. به عنوان مثال، به جای معیار کلی "نیاز به بهبود ترافیک"، شاخصی مانند "میانگین زمان تأخیر در تقاطع‌های کلیدی در ساعات پیک" استخراج می‌شود.

۲. لایه دوم: لایه مدل‌سازی معیارهای تصمیم‌گیری (MCDM Framework Implementation): این لایه قلب تحلیلی الگوریتم است و از یک مدل ترکیبی MCDM برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی استفاده می‌کند. ابتدا، ساختار سلسله مراتبی

(یا شبکه‌ای در صورت استفاده از ANP) معیارهای پروژه تعریف می‌شود. وزن‌دهی معیارها به صورت دوگانه انجام می‌شود: الف) وزن‌دهی اولیه از طریق روش‌های سنتی (مانند AHP مبتنی بر نظرات کارشناسان) و ب) وزن‌دهی پویا بر اساس داده‌های استخراج شده از لایه اول. برای مثال، اگر داده‌های کلان نشان دهند که پروژه‌های زیست‌محیطی در سال گذشته کمترین تأثیر را بر رضایت عمومی داشته‌اند، وزن این معیار در مدل به صورت خودکار توسط یک تابع وزنی مبتنی بر عملکرد تاریخی کاهش می‌یابد. این کار، مدل را از حالت ثابت خارج کرده و آن را به یک سیستم انطباق‌پذیر تبدیل می‌کند.

۳. لایه سوم: لایه ارزیابی، شبیه‌سازی و بازخورد (Evaluation, Simulation & Feedback): در این لایه، هر پروژه کاندیدا بر اساس معیارهای وزن‌دهی شده، توسط یک روش رتبه‌بندی MCDM (مانند TOPSIS یا ELECTRE) نمره نهایی خود را دریافت می‌کند. برای پروژه‌های بزرگ و پیچیده، شبیه‌سازی‌های مبتنی بر مدل‌سازی سیستم‌های دینامیک شهری می‌تواند برای ارزیابی سناریوهای مختلف (بهترین و بدترین حالت) استفاده شود. خروجی نهایی، رتبه‌بندی پروژه‌ها از اولویت بالا تا پایین است. مهم‌تر از همه، این لایه یک حلقه بازخورد را به لایه اول متصل می‌کند. پس از اجرای هر پروژه، نتایج واقعی عملکردی آن (تأخیر در اجرا، هزینه نهایی، تأثیر واقعی بر شاخص‌های کلیدی) مجدداً به سیستم تزریق شده و برای کالیبره کردن مجدد وزن‌ها و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده در تکرارهای بعدی استفاده می‌شود.

این الگوریتم هوشمند، به طور مؤثری تعارض بین معیارهای ذهنی (مانند اولویت‌های سیاسی) و معیارهای عینی مبتنی بر داده (مانند میزان هدررفت آب) را حل می‌کند. داده‌های کلان، مبنای عینی برای ارزیابی عملکرد معیارها را فراهم می‌آورند، در حالی که چارچوب MCDM اطمینان حاصل می‌کند که این ارزیابی‌ها در چارچوب استراتژی جامع و با در نظر گرفتن تعارض‌های ذاتی مدیریت شهری انجام شود. این تلفیق، امکان دستیابی به یک اولویت‌بندی را فراهم می‌کند که هم از نظر فنی قابل دفاع و هم از نظر سیاسی قابل پذیرش باشد (شریفی و همکاران ۱۴۰۳، مظفری و کریمی ۱۴۰۱).

۷: چالش‌ها، موانع و الزامات پیاده‌سازی الگوریتم در شهرداری‌های ایران

پیاده‌سازی یک الگوریتم هوشمند اولویت‌بندی که مبتنی بر داده‌های کلان و تکنیک‌های پیشرفته MCDM باشد، در محیط مدیریتی شهرداری‌های ایران با موانع ساختاری، فنی و فرهنگی متعددی روبه‌رو است. این چالش‌ها نیازمند تدوین الزامات دقیق برای موفقیت‌گذار به حکمرانی داده‌محور هستند.

یکی از بزرگترین چالش‌های فنی، کیفیت و یکپارچگی داده‌ها است. همانطور که اشاره شد، داده‌ها در اغلب شهرداری‌ها در سیلوهای مجزا (مانند واحد مالی، واحد شهرسازی، واحد خدمات شهری) ذخیره شده‌اند و فاقد یک استاندارد تبادل یکپارچه هستند (مومنی ۱۴۰۲). برای مثال، داده‌های مکانی پروژه‌های عمرانی در GIS ممکن است با مختصات ثبت‌شده در گزارش‌های میدانی واحد نگهداری تفاوت داشته باشد. این عدم انسجام، فرآیند پاک‌سازی داده‌ها را به یک مانع بزرگ تبدیل می‌کند و دقت خروجی مدل‌های داده‌کاوی و MCDM را به شدت کاهش می‌دهد. الزامی است که شهرداری‌ها، حاکمیت داده (Data Governance) را به عنوان یک اولویت استراتژیک تعریف کرده و یکپارچه‌سازی سیستمی (System Interoperability) را در دستور کار خود قرار دهند (صفرزاده ۱۴۰۲). چالش ساختاری مهم دیگر، مقاومت سازمانی و فقدان منابع انسانی متخصص است. الگوریتم‌های هوشمند نیازمند متخصصانی هستند که همزمان با فرآیندهای شهری آشنایی داشته باشند و در تحلیل‌های کمی، مدل‌سازی داده‌ها و اجرای روش‌های MCDM مهارت داشته باشند. در بسیاری از شهرداری‌ها، شکاف عمیقی بین تیم‌های فنی

و مدیران ارشد وجود دارد؛ مدیران به دلیل عدم درک کامل از منطق ریاضی مدل‌ها، تمایلی به اعتماد به خروجی‌های آن‌ها ندارند و کارمندان نیز فاقد آموزش‌های لازم برای نگهداری و تفسیر این سامانه‌ها هستند (زینالی ۱۴۰۳). موانع فرهنگی شامل تمرکز بر تصمیم‌گیری‌های کوتاه‌مدت و سیاسی در مقابل رویکردهای بلندمدت مبتنی بر شواهد است. پروژه‌های اولویت‌بندی شده توسط مدل‌های هوشمند ممکن است در کوتاه‌مدت محبوبیت سیاسی کمتری داشته باشند زیرا تأثیرات آن‌ها ممکن است در مقیاس منطقه‌ای توزیع شود یا نتایج مثبت آن‌ها پس از دوره مدیریتی فعلی محقق گردد (مرادی ۱۴۰۳). غلبه بر این مانع مستلزم شفاف‌سازی کامل فرآیند اولویت‌بندی و آموزش مدیران در مورد مزایای بلندمدت ثبات در رویکردهای سرمایه‌گذاری است.

الزامات پیاده‌سازی این الگوریتم شامل موارد زیر است: اول، ایجاد یک پلتفرم داده یکپارچه شهری (Urban Data Platform) که به عنوان مخزن واحد برای تمام ورودی‌های MCDM عمل کند. دوم، تدوین چارچوب‌های شفاف برای تعیین وزن‌دهی معیارها، که شامل تعریف معیارهای استراتژیک با پشتوانه داده‌ای قوی باشد. سوم، اجرای تدریجی الگوریتم به صورت پایلوت در یک حوزه کوچک شهری (مثلاً در حوزه پروژه‌های ترافیکی یک منطقه) برای اعتبارسنجی و کسب اعتماد سازمانی قبل از تعمیم آن به کل سازمان (مومنی ۱۴۰۲). علاوه بر این، مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌های شهروندان یک الزام غیرقابل چشم‌پوشی است. استفاده از داده‌های کلان مستلزم رعایت سختگیرانه مقررات حفاظت از داده‌ها است. الگوریتم باید طوری طراحی شود که داده‌های حساس شهروندان را در هنگام ورود به مدل‌های تحلیلی ناشناس‌سازی (Anonymize) یا تجمیع (Aggregate) کند تا از سوءاستفاده یا نقض حریم خصوصی جلوگیری شود (صفرزاده ۱۴۰۲). در نهایت، الزامات قانونی و نظارتی نیز باید فراهم شود. برای پذیرش کامل این الگوریتم‌ها، باید سازوکارهایی تعریف شود که بر اساس خروجی‌های این مدل‌ها، تخصیص بودجه به صورت خودکار انجام پذیرد، که این امر مستلزم اصلاح آیین‌نامه‌های مالی و معاملاتی شهرداری‌ها است. بدون این حمایت‌های رسمی، الگوریتم هوشمند پیشنهادی ممکن است در مرحله گزارش‌دهی متوقف شده و به ابزاری صرفاً مشاوره‌ای تبدیل شود و نتواند نقش فعال خود را در تخصیص منابع ایفا کند (زینالی ۱۴۰۳).

نتیجه‌گیری، جمع‌بندی، پیامدهای مدیریتی و پیشنهادها

این مقاله با هدف ارائه یک چارچوب الگوریتمی هوشمند برای حل یکی از مزمن‌ترین معضلات مدیریت شهری، یعنی اولویت‌بندی بهینه پروژه‌ها در شرایط منابع محدود، تدوین شد. تحلیل‌های انجام‌شده در بخش‌های پیشین نشان داد که رویکردهای سنتی پاسخگوی پیچیدگی‌های محیط شهری مدرن نیستند و گذار به یک مدل تصمیم‌گیری داده‌محور، مبتنی بر تلفیق تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و ظرفیت‌های تحلیل کلان‌داده، ضروری است. هسته اصلی این پژوهش، معرفی یک معماری سه‌لایه بود که داده‌های حجیم و لحظه‌ای را استخراج، معیارهای ارزیابی را به صورت پویا وزن‌دهی کرده و نهایتاً رتبه‌بندی عینی پروژه‌ها را ارائه می‌دهد.

جمع‌بندی یافته‌ها: مهم‌ترین یافته این پژوهش، امکان‌پذیر بودن ادغام عملی بین قدرت مدل‌سازی ریاضی MCDM (که روابط پیچیده بین معیارها را در نظر می‌گیرد) و غنای اطلاعاتی داده‌های کلان (که معیارهای مبتنی بر شواهد زنده شهری را فراهم می‌آورد) است. تکنیک‌های MCDM مانند AHP و ANP چارچوب لازم برای ساختاردهی اولویت‌ها را فراهم می‌آورند، اما وزن‌دهی این معیارها باید توسط داده‌های حاصل از لایه‌های الکترونیکی شهرداری (مانند GIS، سامانه‌های خدمات شهر و حسگرها) به صورت مستمر کالیبره شود. این رویکرد ترکیبی، از ذهنیت‌گرایی در وزن‌دهی معیارهای کلیدی می‌کاهد و دقت پیش‌بینی موفقیت پروژه را به نحو چشمگیری افزایش می‌دهد.

پیامدهای مدیریتی: پذیرش الگوریتم هوشمند پیشنهادی، پیامدهای مدیریتی مهمی را برای سازمان‌های شهری به دنبال دارد. اولاً، افزایش شفافیت و پاسخگویی در تخصیص بودجه، زیرا تصمیمات دیگر صرفاً بر اساس قضاوت‌های فردی نیستند بلکه مبتنی بر مجموعه‌ای از معیارهای عمومی و کمی هستند. ثانیاً، بهبود کارایی سرمایه‌گذاری؛ با تمرکز منابع بر پروژه‌هایی که بیشترین همسویی را با اهداف استراتژیک شهری دارند و نیازهای واقعی شهروندان را بر اساس داده‌ها پوشش می‌دهند، هدررفت منابع به حداقل می‌رسد. ثالثاً، امکان مدیریت ریسک بهتر از طریق شبیه‌سازی تأثیرات جانبی پروژه‌ها قبل از تخصیص کامل منابع.

پیشنهادهای برای تحقیقات آتی: با توجه به چالش‌های پیاده‌سازی، تحقیقات آینده باید بر دو محور تمرکز کنند. نخست، توسعه الگوریتم‌های ترکیبی پیشرفته‌تر (مانند MCDM مبتنی بر یادگیری تقویتی) که بتوانند وزن معیارها را نه تنها بر اساس داده‌های تاریخی، بلکه بر اساس پیش‌بینی سودمندی بلندمدت هر پروژه تنظیم کنند. دوم، طراحی یک مدل بلوغ سازمانی برای سنجش آمادگی شهرداری‌ها در پذیرش فناوری‌های داده‌محور و ارائه مسیرهای گام به گام برای غلبه بر مقاومت‌های فرهنگی و فنی در زمینه یکپارچه‌سازی داده‌ها. همچنین، تدوین استانداردهای ملی برای تبادل داده‌های شهری، زمینه را برای کاربرد گسترده‌تر این الگوریتم‌ها در سطح کشور فراهم خواهد ساخت. در مجموع، این مقاله تأکید می‌کند که آینده مدیریت شهری در گرو توانایی آن در جذب و تحلیل داده‌ها برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده است. الگوریتم هوشمند مبتنی بر تلفیق MCDM و داده‌های کلان، ابزاری ضروری برای هدایت سرمایه‌گذاری‌ها در جهت ساختن شهرهای کارآمدتر، پایدارتر و پاسخگوتر محسوب می‌شود.

منابع

- رضائی صدرآبادی، معین زاد، کرامتی. (۲۰۲۵). طراحی مدل پیش‌بینی رفتار زنجیره تأمین پویا خدمات الکترونیک شهری (مطالعه موردی: شهرداری ناحیه تاریخی یزد). مطالعات میان‌رشته‌ای معماری ایران، ۴(۷)، ۱۱۷-۱۴۳.
- روستایی، دکتر شهریور، پورمحمدی، قنبری. (۲۰۱۸). تئوری شهر هوشمند و ارزیابی مؤلفه‌های زیرساختی آن در مدیریت شهری مورد شناسی: شهرداری تبریز. جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، ۸(۲۶)، ۱۹۷-۲۱۶.
- زینالی عظیم، فدائی حقی، مهری، علیزاده، امین، جدیری عباسی، ... شریفی. (۲۰۲۴). سنجش عوامل مؤثر در عدم توسعه شهر هوشمند پایدار تبریز. فصلنامه علوم محیطی، ۲۲(۳)، ۴۲۷-۴۴۶.
- سعید مظفری، حمزه کریمی. (۲۰۲۲). شناسایی و دسته‌بندی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره گسسته (MADM) با استفاده از روش‌های MCDM. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۴(۱۴)، ۱۱۵-۱۳۳.
- سلماسی، سهرابی، رهبر، محمدی، حیدر. (۲۰۲۰). مطالعه امکان‌سنجی کسب و کار نوپا تفکیک از مبدأ و جمع‌آوری پسماند جامد شهری قابل بازیافت با استفاده از فناوری دیجیتال: مطالعه موردی شهر همدان. اقتصاد شهری، ۵(۲)، ۱۳۵-۱۴۸.
- شریفی، یوسفعلی، جلالی، عبدالعلی، ضرغامی. (۲۰۲۴). شناسایی و اولویت‌بندی روش‌های روسازی سطوح پروازی فرودگاه‌های ایران با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM). نشریه علمی پژوهشی مهندسی هوانوردی، ۲۶(۱)، ۲۷-۴۱.
- صفرزاده، بازاری، قاسمعلی، فقیهی. (۲۰۲۳). مدل‌سازی عوامل فنی مؤثر بر پیاده‌سازی طرح‌های شهر هوشمند با استفاده از رویکرد مدل‌سازی تفسیری ساختاری. اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری، ۴(۲)، ۱۹۲-۲۰۸.
- عزیزی، شهریار، صفائی فراهانی، روناک. (۲۰۱۳). ارزیابی آمادگی الکترونیکی شهرداری تهران. چشم‌انداز مدیریت دولتی، ۳(۳).
- علیخانی، ناجی عظیمی، لگزبان. (۲۰۱۷). ارزیابی آمادگی الکترونیکی مناطق شهرداری مشهد در راستای تحقق شهرداری الکترونیک. چشم‌انداز مدیریت دولتی، ۸(۳)، ۸۷-۱۰۸.

- قربانی، سرمست، بهزام، مهدی پور. (۲۰۱۶). بررسی زیرساختهای استقرار شهرداری الکترونیک در کلان شهر تبریز. مدیریت سازمان‌های دولتی، ۴(شماره ۲ (پیاپی ۱۴))، ۱۳۷-۱۴۸.
- مرادزاده، علی، دریوش، مبارک‌پور، فرید، بحری، ... صدیق‌اصرافی. (۲۰۲۲). مدیریت شهری الکترونیک؛ از برنامه ریزی تا اجرا. پژوهشهای جدید در مدیریت و حسابداری، ۸۲(۸)، ۳۵-۴۴.
- مرادی، متولپگله کلائی، نظامی اصل سیسی، سیف السادات. (۲۰۲۴). چالش‌های پیاده‌سازی مدیریت شهر هوشمند در حوزه حمل‌ونقل همگانی ایران. پژوهشنامه پردازش و مدیریت اطلاعات، ۴۰(۱)، ۷۱-۹۲.
- مومنی، کورش، ملکی، حسنی‌سیاه‌گلی، دامن‌باغ، صفیه. (۲۰۲۳). اولویت‌بندی موانع و چالش‌های پیش‌روی شهر هوشمند در شهر اهواز. مدیریت شهری و روستایی، ۷۱(۲۱)، ۲۳-۳۵.
- مهرداد ضیاءپور، رضا نقی‌زاده کوچصفهانی. (۲۰۲۲). مروری بر تکنیک‌های پرکاربرد داده‌کاوی جهت تصمیم‌گیری مدیران شهرداری در حوزه مدیریت شهری. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۵(۱۶)، ۲۶۲-۲۸۰.
- اسکندری ثانی محمد، مرادی محمود، قادری مقدم پروین. (۲۰۱۸). ارزیابی پتانسیل‌های پیاده‌سازی شهر هوشمند با تأکید بر حمل‌ونقل، مورد مطالعه: شهر بیرجند.
- امیرحسین قاسمی. (۲۰۲۴). پتانسیل سنجی استقرار شهر هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا، با تمرکز بر زندگی هوشمند (مطالعه موردی: شهر بیرجند). توسعه پایدار و ساختمان هوشمند، ۱۱(۳)، ۱۹-۳۶.
- باقری، محمدی زاده، ماریا. (۲۰۱۷). رتبه‌بندی جاذبه‌های اکوتوریسمی شهرستان جاسک با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM). فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۶(۲۵)، ۷-۱۶.
- جووری، بهنوش، یگانگی، سید کامران. (۲۰۲۴). زیرساخت‌های الکترونیکی در خدمت مدیریت منابع انسانی شهرداری ها. مطالعات مدیریت خدمات عمومی، ۲(۳).
- رضایی صدرآبادی نجمه، معین زاد حسین، کرامتی محمدعلی. (۲۰۲۵). طراحی مدل پیش بینی رفتار زنجیره تامین پویا خدمات الکترونیک شهری (مطالعه موردی: شهرداری ناحیه تاریخی یزد).