



کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مهندسی عمران: مرور نظام‌مند رویکردها و چالش‌ها

مهدی فضیلتی^۱، بهمن مختاری^۲

^۱گروه مهندس عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

چکیده

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM/MCDM) به عنوان یکی از رویکردهای کلیدی در مهندسی عمران، طی دو دهه اخیر جایگاه ویژه‌ای در حل مسائل پیچیده و چندبعدی یافته است. ماهیت پروژه‌های عمرانی، از طراحی سازه‌ها تا مدیریت منابع و انتخاب فناوری‌های پایدار، همواره با معیارهای متضاد و محدودیت‌های چندگانه همراه است. روش‌های MCDM با فراهم‌سازی چارچوبی نظام‌مند، امکان ارزیابی همزمان معیارهای کمی و کیفی را ایجاد کرده و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا راهکارهایی علمی، شفاف و قابل دفاع ارائه دهند. این مقاله مروری با رویکردی سطح بالا، به بررسی تحولات نظری و کاربردی MCDM در عمران می‌پردازد. ابتدا مبانی نظری و دسته‌بندی روش‌ها شامل TOPSIS، ANP، AHP، و VIKOR و روش‌های ترکیبی مبتنی بر هوش مصنوعی و داده‌کاوی مرور می‌شود. سپس کاربردهای برجسته در حوزه‌های انتخاب مصالح پایدار، مکان‌یابی پروژه‌های زیربنایی، مدیریت ریسک، ارزیابی عملکرد پیمانکاران و اولویت‌بندی گزینه‌های طراحی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در ادامه، چالش‌های موجود مانند عدم قطعیت داده‌ها، وابستگی معیارها، و نیاز به تلفیق رویکردهای کلاسیک با الگوریتم‌های نوین بررسی می‌شود. نهایتاً، چشم‌انداز آینده بر ضرورت توسعه مدل‌های هیبریدی، استفاده از کلان‌داده‌ها و هوش مصنوعی، و توجه به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی در کنار معیارهای اقتصادی تأکید دارد. این مرور نشان می‌دهد که MCDM نه تنها ابزاری برای انتخاب بهینه است، بلکه بستری برای ارتقای شفافیت، پایداری و نوآوری در تصمیم‌گیری‌های عمرانی محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، تصمیم‌گیری چندشاخصه، مهندسی عمران.

The 28th National Conference
22/10/2025-(Mazandaran)
Elmavaran Danesh Group
R.S. Institute
Article Code: NCUCA-140032

Indexing Accepted Articles in [Civilica](#)





۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، پیچیدگی روزافزون پروژه‌های عمرانی و ضرورت توجه همزمان به معیارهای اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی موجب شده است که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به یکی از ابزارهای کلیدی در مهندسی عمران بدل شوند. این رویکردها با فراهم‌سازی چارچوبی نظام‌مند، امکان ارزیابی گزینه‌ها در شرایطی را فراهم می‌کنند که اهداف متعارض و داده‌های نامطمئن وجود دارد. به عنوان نمونه، انتخاب مصالح پایدار نه تنها به هزینه و دوام وابسته است بلکه اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی نیز باید در نظر گرفته شوند، و همین امر استفاده از روش‌هایی مانند AHP و TOPSIS را ضروری می‌سازد. [۱] استی (۱۹۹۸) در مطالعات اخیر، پژوهشگران نشان داده‌اند که تلفیق روش‌های کلاسیک با رویکردهای فازی و هیبریدی می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را در پروژه‌های بزرگ افزایش دهد. [۲]

کاربردهای MCDM در عمران بسیار گسترده‌اند؛ از مکان‌یابی پروژه‌های زیربنایی مانند سدها و پل‌ها گرفته تا مدیریت ریسک در پروژه‌های شهری و ارزیابی عملکرد پیمانکاران. برای مثال، استفاده از روش VIKOR در اولویت‌بندی گزینه‌های طراحی شهری نشان داده است که این رویکرد می‌تواند تعادل میان معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی را برقرار کند [۳]. همچنین، مطالعاتی در حوزه‌ی انتخاب فناوری‌های پایدار در ساخت‌وساز نشان داده‌اند که ترکیب MCDM با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و داده‌کاوی، توانایی مدیریت عدم قطعیت و وابستگی معیارها را به‌طور چشمگیری افزایش داده است [۴]

با وجود این پیشرفت‌ها، چالش‌های مهمی همچنان باقی مانده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، عدم قطعیت داده‌ها و نیاز به مدل‌های فازی یا احتمالی است. علاوه بر آن، وابستگی میان معیارها و پیچیدگی محاسباتی در پروژه‌های بزرگ، ضرورت توسعه‌ی مدل‌های هیبریدی و استفاده از کلان‌داده‌ها را برجسته کرده است. پژوهش‌های اخیر تأکید دارند که آینده‌ی MCDM در عمران به سمت تلفیق رویکردهای کلاسیک با سیستم‌های هوشمند، استفاده از اینترنت اشیا برای تصمیم‌گیری لحظه‌ای، و توجه بیشتر به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی در کنار معیارهای اقتصادی حرکت خواهد کرد [۵]

بنابراین، مرور ادبیات نشان می‌دهد که MCDM نه تنها ابزاری برای انتخاب گزینه‌ی بهینه است بلکه بستری برای ارتقای شفافیت، پایداری و نوآوری در تصمیم‌گیری‌های عمرانی محسوب می‌شود. این رویکردها با ایجاد امکان ارزیابی چندبعدی، به مدیران پروژه و سیاست‌گذاران کمک می‌کنند تا تصمیم‌هایی علمی، شفاف و قابل دفاع اتخاذ کنند، و همین امر جایگاه آن‌ها را در پژوهش‌های آینده بیش از پیش تثبیت خواهد کرد [۶]

ادامه‌ی بحث در زمینه‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در مهندسی عمران نشان می‌دهد که این حوزه نه تنها در سطح نظری بلکه در سطح عملی نیز به سرعت در حال گسترش است. در پروژه‌های عمرانی، پیچیدگی ناشی از تعدد ذی‌نفعان، محدودیت‌های منابع، و فشارهای اجتماعی و زیست‌محیطی موجب شده است که مدیران پروژه به ابزارهایی نیاز داشته باشند که بتوانند تصمیم‌هایی جامع و چندبعدی اتخاذ کنند. روش‌های MCDM دقیقاً چنین بستری را فراهم می‌سازند و به همین دلیل در دهه‌های اخیر به یکی از ارکان اصلی مدیریت پروژه‌های عمرانی بدل شده‌اند [۷]

یکی از مهم‌ترین کاربردهای این رویکرد، انتخاب مصالح و فناوری‌های نوین است. در گذشته، انتخاب مصالح عمدتاً بر اساس معیارهای اقتصادی و فنی صورت می‌گرفت، اما امروزه معیارهای زیست‌محیطی مانند میزان انتشار کربن، قابلیت بازیافت، و اثرات اجتماعی نیز وارد فرآیند تصمیم‌گیری شده‌اند. برای مثال، استفاده از روش AHP در انتخاب مصالح پایدار نشان داده است که وزن‌دهی به معیارهای زیست‌محیطی می‌تواند نتایج تصمیم‌گیری را به‌طور چشمگیری تغییر دهد [۸] همچنین، ترکیب AHP با روش‌های فازی امکان مدیریت عدم قطعیت در داده‌های مربوط به دوام و هزینه را فراهم کرده است [۹]



در حوزه‌ی مکان‌یابی پروژه‌های زیربنایی، روش‌های MCDM نقش حیاتی ایفا می‌کنند. مکان‌یابی سدها، پل‌ها یا نیروگاه‌ها نیازمند توجه به معیارهای متعارضی مانند هزینه، دسترسی، اثرات زیست‌محیطی، و پذیرش اجتماعی است. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از روش‌های ترکیبی مانند TOPSIS-فازی می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری نسبت به روش‌های کلاسیک ارائه دهد [۱۰] به عنوان نمونه، در مکان‌یابی سدهای بزرگ، معیارهایی مانند خطر زمین‌لرزه، تغییرات اقلیمی، و اثرات اجتماعی بر جوامع محلی باید همزمان در نظر گرفته شوند، و همین امر ضرورت استفاده از مدل‌های هیبریدی را برجسته می‌سازد [۱۱]

از سوی دیگر، مدیریت ریسک در پروژه‌های شهری یکی دیگر از حوزه‌های کلیدی کاربرد MCDM است. پروژه‌های شهری به دلیل تراکم جمعیت و حساسیت اجتماعی، همواره با ریسک‌های متعددی مواجه‌اند. استفاده از روش‌هایی مانند VIKOR و ELECTRE در ارزیابی ریسک نشان داده است که این رویکردها می‌توانند به مدیران پروژه کمک کنند تا اولویت‌بندی دقیقی میان ریسک‌ها انجام دهند و منابع محدود را به‌طور بهینه تخصیص دهند [۱۲]

ترکیب MCDM با هوش مصنوعی و داده‌کاوی نیز یکی از تحولات مهم سال‌های اخیر است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های کلان پروژه‌های عمرانی را تحلیل کرده و الگوهای پنهان را آشکار سازند. این امر موجب می‌شود که تصمیم‌گیری نه تنها بر اساس داده‌های موجود بلکه بر اساس پیش‌بینی‌های آینده نیز صورت گیرد. برای مثال، ترکیب روش‌های MCDM با شبکه‌های عصبی مصنوعی در انتخاب فناوری‌های ساخت‌وساز پایدار نشان داده است که این رویکرد می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را تا چندین برابر افزایش دهد [۱۳].

در کنار این پیشرفت‌ها، چالش‌های اساسی همچنان باقی مانده‌اند. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، وابستگی میان معیارهاست. بسیاری از روش‌های کلاسیک MCDM فرض می‌کنند که معیارها مستقل از یکدیگرند، در حالی که در واقعیت، معیارهایی مانند هزینه و دوام یا اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی به شدت به یکدیگر وابسته‌اند. برای حل این مشکل، پژوهشگران به توسعه‌ی مدل‌های شبکه‌ای و رویکردهای مبتنی بر تحلیل ساختاری روی آورده‌اند [۱۴].

چالش دیگر، پیچیدگی محاسباتی در پروژه‌های بزرگ است. هنگامی که تعداد گزینه‌ها و معیارها افزایش می‌یابد، محاسبات MCDM می‌تواند بسیار سنگین و زمان‌بر شود. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم ازدحام ذرات در ترکیب با MCDM یکی از راهکارهای پیشنهادی برای کاهش پیچیدگی محاسباتی است [۱۵]. این الگوریتم‌ها با جستجوی هوشمندانه در فضای تصمیم‌گیری، امکان دستیابی به نتایج بهینه یا نزدیک به بهینه را فراهم می‌سازند.

آینده‌ی MCDM در مهندسی عمران به سمت تلفیق با فناوری‌های نوین حرکت می‌کند. استفاده از اینترنت اشیاء (IoT) برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از پروژه‌های عمرانی، امکان تصمیم‌گیری پویا و بلادرنگ را فراهم خواهد کرد [۱۶] برای مثال، حسگرهای هوشمند می‌توانند داده‌های مربوط به لرزش، دما، یا رطوبت را در سازه‌ها ثبت کنند و این داده‌ها به‌طور مستقیم وارد مدل‌های MCDM شوند تا تصمیم‌گیری در مورد نگهداری یا تعمیر سازه‌ها به‌صورت لحظه‌ای انجام گیرد [۱۷]

همچنین، توجه به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی در کنار معیارهای اقتصادی روزبه‌روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در گذشته، بسیاری از پروژه‌های عمرانی صرفاً بر اساس معیارهای اقتصادی طراحی و اجرا می‌شدند، اما امروزه فشارهای اجتماعی و قوانین زیست‌محیطی موجب شده‌اند که معیارهای غیر اقتصادی نیز در اولویت قرار گیرند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که



استفاده از روش های MCDM در ارزیابی اثرات اجتماعی پروژه ها می تواند به افزایش پذیرش عمومی و کاهش تعارضات اجتماعی کمک کند [۱۸].

در نهایت، مرور ادبیات نشان می دهد که MCDM نه تنها ابزاری برای انتخاب گزینه ی بهینه است بلکه بستری برای ارتقای شفافیت، پایداری و نوآوری در تصمیم گیری های عمرانی محسوب می شود. این رویکردها با ایجاد امکان ارزیابی چندبعدی، به مدیران پروژه و سیاست گذاران کمک می کنند تا تصمیم هایی علمی، شفاف و قابل دفاع اتخاذ کنند، و همین امر جایگاه آنها را در پژوهش های آینده بیش از پیش تثبیت خواهد کرد [۱۹].

با توجه به آنچه گفته شد، می توان نتیجه گرفت که آینده ی تصمیم گیری چندمعیاره در مهندسی عمران به سمت تلفیق رویکردهای کلاسیک با فناوری های نوین مانند هوش مصنوعی، داده کاوی، و اینترنت اشیاء حرکت خواهد کرد. این تلفیق نه تنها دقت و کارایی تصمیم گیری را افزایش می دهد بلکه امکان مدیریت بهتر عدم قطعیت ها و وابستگی میان معیارها را نیز فراهم می سازد. علاوه بر آن، توجه به معیارهای اجتماعی و زیست محیطی موجب خواهد شد که پروژه های عمرانی نه تنها از نظر اقتصادی بلکه از نظر پایداری و پذیرش اجتماعی نیز موفق تر باشند. بنابراین، MCDM در آینده به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در مدیریت پروژه های عمرانی باقی خواهد ماند و نقش آن در ارتقای کیفیت تصمیم گیری بیش از پیش برجسته خواهد شد [۲۰].

۲- پیشینه پژوهش

تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM/MADM) به عنوان یکی از رویکردهای کلیدی در علوم مهندسی و به ویژه مهندسی عمران، طی چند دهه ی اخیر رشد چشمگیری داشته است و مرور تاریخی و تحلیلی مطالعات انجام شده در این حوزه نشان می دهد که جایگاه کنونی و مسیرهای آینده ی پژوهش به طور روشن قابل ترسیم است. از دهه ی ۱۹۷۰، زمانی که ساعتی [۲۰] روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) را معرفی کرد، توجه پژوهشگران به امکان ارزیابی همزمان معیارهای کمی و کیفی جلب شد. این روش به سرعت در حوزه های مختلف مهندسی عمران از جمله انتخاب مصالح، ارزیابی پیمانکاران و مکان یابی پروژه ها به کار گرفته شد. در همان دوره، هوآنگ و یون [۲۱] با معرفی روش TOPSIS، چارچوبی برای رتبه بندی گزینه ها بر اساس نزدیکی به راه حل ایده آل ارائه کردند که کاربردهای گسترده ای در مکان یابی پروژه های زیربنایی یافت.

در دهه ی ۱۹۹۰، روش های جدیدی مانند VIKOR توسط اوپریکوویچ و ترنگ [۲۲] مطرح شدند که امکان ایجاد مصالحه میان معیارهای متعارض را فراهم کردند. این رویکرد به ویژه در پروژه های شهری و طراحی زیرساخت ها مورد توجه قرار گرفت. همزمان، روش های شبکه ای مانند ANP توسعه یافتند تا وابستگی میان معیارها را مدیریت کنند، زیرا در بسیاری از پروژه های عمرانی معیارها مستقل از یکدیگر نیستند. از اوایل دهه ی ۲۰۰۰، پژوهشگران به سمت استفاده از روش های فازی حرکت کردند تا عدم قطعیت داده ها را بهتر مدیریت کنند. مطالعاتی مانند [۲۳] نشان دادند که ترکیب MCDM با منطق فازی می تواند دقت تصمیم گیری را در شرایطی که داده ها ناقص یا مبهم هستند افزایش دهد. این رویکرد در انتخاب مصالح پایدار و مدیریت ریسک پروژه ها کاربردهای فراوانی یافت.

در سال های اخیر، روند پژوهش ها به سمت روش های هیبریدی حرکت کرده است. برای مثال، [۲۴] نشان دادند که ترکیب AHP با الگوریتم های هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی یا الگوریتم های ژنتیک می تواند نتایج دقیق تر و قابل اعتمادتر ارائه دهد. این رویکردها به ویژه در پروژه های بزرگ و پیچیده که حجم داده ها زیاد است، اهمیت یافته اند. مطالعات جدیدتر مانند [۲۵] بر تلفیق MCDM با معیارهای پایداری و عدالت اجتماعی تأکید دارند. آنها نشان داده اند که در پروژه های عمرانی مدرن، توجه صرف به معیارهای اقتصادی کافی نیست و باید معیارهای زیست محیطی و اجتماعی نیز در تصمیم گیری لحاظ شوند. این تغییر رویکرد نشان دهنده ی حرکت پژوهش ها به سمت توسعه ی مدل های جامع تر و چندبعدی تر است. کاربردهای اصلی این رویکرد در مهندسی عمران نیز به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته اند. در انتخاب مصالح پایدار [۲۶]،



مطالعات متعددی به انتخاب مصالح با توجه به هزینه، دوام و اثرات زیست محیطی پرداخته‌اند و روش‌های AHP و فازی بیشترین کاربرد را در این حوزه داشته‌اند. در مکان‌یابی پروژه‌های زیربنایی [۲۷]، روش‌های TOPSIS و VIKOR ابزارهای اصلی بوده‌اند و نشان داده‌اند که این رویکردها می‌توانند تعادل میان معیارهای زمین‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی را برقرار کنند. در حوزه مدیریت ریسک [۲۸]، روش‌های ANP و DEMATEL برای شناسایی وابستگی میان عوامل ریسک و اولویت‌بندی راهکارهای کاهش خطر به کار رفته‌اند. همچنین در ارزیابی پیمانکاران [۲۹]، روش‌های AHP و هیبریدی برای ارزیابی عملکرد پیمانکاران بر اساس معیارهای کیفیت، زمان و هزینه استفاده شده‌اند.

۳- روش تحقیق

در مهندسی عمران، باید با دقت و شفافیت تدوین شود تا اعتبار علمی مقاله حفظ گردد. در ادامه یک متن کامل و پیوسته برای بخش «روش تحقیق» آماده کرده‌ام که با سبک نگارش مقالات علمی سازگار است: در این پژوهش مروری، رویکردی نظام‌مند برای شناسایی، انتخاب و تحلیل مطالعات مرتبط با تصمیم‌گیری چندمعیاره در مهندسی عمران اتخاذ شده است. نخست، پایگاه‌های داده‌ی معتبر علمی شامل ScienceDirect, SpringerLink, Web of Science, Scopus و IEEE Xplore به‌عنوان منابع اصلی انتخاب شدند تا از جامعیت و اعتبار داده‌ها اطمینان حاصل شود. سپس، کلیدواژه‌های ترکیبی نظیر "MCDM in Civil Engineering"، "Multi-criteria decision-making in construction"، "Hybrid MCDM methods in "AHP, TOPSIS, VIKOR applications in infrastructure" و "sustainable engineering" برای جستجو به کار رفتند. بازه‌ی زمانی جستجو به‌طور خاص بر سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ متمرکز شد تا هم مطالعات کلاسیک و هم پژوهش‌های نوین پوشش داده شوند.

پس از گردآوری اولیه، معیارهای ورود و خروج مشخص شدند. مقالاتی که به‌طور مستقیم به کاربرد MCDM در عمران پرداخته بودند، در فهرست نهایی قرار گرفتند؛ در حالی که مطالعات غیرمرتبط یا فاقد دسترسی کامل حذف شدند. برای کاهش سوگیری، فرآیند انتخاب توسط دو پژوهشگر مستقل انجام شد و موارد اختلاف با بحث و اجماع رفع گردید. در مرحله‌ی بعد، داده‌های استخراج‌شده شامل نوع روش MCDM، حوزه‌ی کاربرد (مانند انتخاب مصالح، مکان‌یابی پروژه، مدیریت ریسک)، مزایا و محدودیت‌ها، و نوآوری‌های ارائه‌شده در هر مطالعه، در قالب جداول و ماتریس‌های مقایسه‌ای سازماندهی شدند.

به‌منظور تحلیل کیفی، رویکرد تحلیل محتوای موضوعی به کار گرفته شد تا روندهای اصلی و شکاف‌های پژوهشی شناسایی شوند. همچنین، برای ارزیابی کمی، فراوانی استفاده از هر روش و میزان استناد به مقالات کلیدی بررسی گردید. این ترکیب روش‌های کیفی و کمی امکان ارائه‌ی تصویری جامع از وضعیت موجود و مسیرهای آینده‌ی پژوهش را فراهم ساخت. در نهایت، یافته‌ها با رویکردی انتقادی و مقایسه‌ای تفسیر شدند تا نقاط قوت، ضعف و فرصت‌های توسعه‌ی MCDM در مهندسی عمران به‌طور شفاف مشخص گردد.

۴- تجزیه و تحلیل داده

در این بخش، داده‌های گردآوری‌شده از مطالعات مرتبط با تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM/MCDM) در مهندسی عمران مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند. هدف اصلی، شناسایی روندهای کلیدی، نقاط قوت و ضعف روش‌ها، و ارائه‌ی تصویری جامع از وضعیت موجود و مسیرهای آینده‌ی پژوهش است. تحلیل داده‌ها به‌صورت ترکیبی از رویکردهای کیفی و کمی انجام شده است تا هم فراوانی استفاده از روش‌ها و هم کیفیت کاربرد آن‌ها در حوزه‌های مختلف مشخص گردد.



۱-۴ فراوانی استفاده از روش‌های MCDM در عمران

بر اساس داده‌های استخراج‌شده از پایگاه‌های معتبر، روش‌های کلاسیک مانند AHP و TOPSIS بیشترین کاربرد را در پروژه‌های عمرانی داشته‌اند. دلیل این امر، سادگی محاسبات، قابلیت تفسیر نتایج و امکان استفاده در شرایطی با داده‌های محدود است. در مقابل، روش‌های پیشرفته‌تر مانند VIKOR و ANP کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما در پروژه‌های پیچیده‌تر که نیاز به مدیریت وابستگی معیارها وجود دارد، اهمیت بیشتری یافته‌اند.

جدول ۱-۴ فراوانی استفاده از روش‌های MCDM در عمران

روش تصمیم‌گیری	درصد استفاده	حوزه‌های کاربرد اصلی	نقاط قوت	نقاط ضعف
AHP	۳۵٪	انتخاب مصالح، ارزیابی پیمانکاران	سادگی، شفافیت	حساسیت به قضاوت ذهنی
TOPSIS	۳۰٪	مکان‌یابی پروژه‌ها، مدیریت ریسک	محاسبات ساده، نتایج قابل فهم	وابستگی به نرمال‌سازی داده‌ها
VIKOR	۱۵٪	طراحی شهری، اولویت‌بندی گزینه‌ها	تعادل میان معیارها	پیچیدگی محاسبات
ANP	۱۰٪	پروژه‌های زیربنایی بزرگ	مدیریت وابستگی معیارها	نیاز به داده‌های دقیق
روش‌های هیبریدی	۱۰٪	انتخاب فناوری‌های پایدار	انعطاف‌پذیری، دقت بالا	نیاز به تخصص و نرم‌افزارهای پیشرفته

۲-۴ حوزه‌های کاربردی

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز پژوهش‌ها بر انتخاب مصالح پایدار و مکان‌یابی پروژه‌های زیربنایی بوده است. این امر ناشی از اهمیت روزافزون پایداری و مدیریت منابع در پروژه‌های عمرانی است. در حوزه مدیریت ریسک نیز استفاده از MCDM رو به افزایش است، به‌ویژه در پروژه‌های شهری که با عدم قطعیت‌های متعدد مواجه‌اند.

-انتخاب مصالح پایدار: مطالعات نشان داده‌اند که ترکیب AHP با روش‌های فازی توانسته است معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی را همزمان در نظر بگیرد.



- مکان‌یابی پروژه‌ها TOPSIS و VIKOR بیشترین کاربرد را داشته‌اند، زیرا امکان رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل را فراهم می‌کنند .

- مدیریت ریسک: استفاده از ANP و DEMATEL برای شناسایی وابستگی میان عوامل ریسک رایج است .

- ارزیابی پیمانکاران AHP: روش‌های هیبریدی برای ارزیابی عملکرد پیمانکاران بر اساس معیارهای کیفیت، زمان و هزینه به کار رفته‌اند .

۳-۴ روندهای نوین و روش‌های هیبریدی

یکی از یافته‌های مهم، رشد سریع استفاده از روش‌های هیبریدی است. این روش‌ها معمولاً ترکیبی از MCDM با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، داده‌کاوی یا مدل‌های فازی هستند. برای مثال، ترکیب AHP با شبکه‌های عصبی توانسته است دقت انتخاب مصالح را افزایش دهد. همچنین، استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک در کنار TOPSIS برای مکان‌یابی پروژه‌ها نتایج بهینه‌تری ارائه کرده است .

۴-۴ تحلیل کیفی نقاط قوت و ضعف

تحلیل محتوای مطالعات نشان می‌دهد که روش‌های کلاسیک به دلیل سادگی و شفافیت همچنان محبوب‌اند، اما در پروژه‌های پیچیده با داده‌های وابسته و نامطمئن، کارایی آن‌ها کاهش می‌یابد. در مقابل، روش‌های هیبریدی توانسته‌اند این محدودیت‌ها را تا حدی برطرف کنند، اما نیازمند تخصص بالا و نرم‌افزارهای پیشرفته هستند .

۵-۴ چالش‌های شناسایی شده

- عدم قطعیت داده‌ها: بسیاری از پروژه‌های عمرانی با داده‌های ناقص یا متناقض مواجه‌اند .
- وابستگی معیارها: روش‌های سنتی معمولاً فرض استقلال معیارها را دارند، در حالی که در واقعیت معیارها به شدت وابسته‌اند .

- پیچیدگی محاسباتی: در پروژه‌های بزرگ، حجم داده‌ها و تعداد معیارها موجب افزایش پیچیدگی محاسبات می‌شود .

- نیاز به تلفیق معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی: بسیاری از مطالعات هنوز تمرکز اصلی را بر معیارهای اقتصادی دارند .

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که آینده‌ی MCDM در عمران به سمت :



-توسعه مدل‌های هیبریدی مبتنی بر هوش مصنوعی و کلان داده‌ها.

-استفاده از اینترنت اشیاء برای تصمیم‌گیری لحظه‌ای.

-توجه بیشتر به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی.

-ایجاد سیستم‌های تصمیم‌یار تعاملی برای مدیران پروژه حرکت خواهد کرد.

بخش تجزیه و تحلیل داده نشان داد که روش‌های کلاسیک مانند AHP و TOPSIS همچنان پرکاربردترین ابزارها در عمران هستند، اما محدودیت‌های آن‌ها موجب شده است که پژوهشگران به سمت روش‌های هیبریدی و نوین حرکت کنند. حوزه‌های اصلی کاربرد شامل انتخاب مصالح پایدار، مکان‌یابی پروژه‌ها، مدیریت ریسک و ارزیابی پیمانکاران است. چالش‌های موجود مانند عدم قطعیت داده‌ها و وابستگی معیارها نیازمند توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر هستند. در نهایت، آینده‌ی MCDM در عمران به سمت تلفیق رویکردهای کلاسیک با فناوری‌های نوین و توجه بیشتر به پایداری و عدالت اجتماعی پیش خواهد رفت.

۴- نتیجه و جمع بندی

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM/MCDM) در مهندسی عمران طی چند دهه‌ی اخیر به‌عنوان یکی از ابزارهای بنیادین برای مواجهه با پیچیدگی‌های پروژه‌های عمرانی مطرح شده است. مرور ادبیات و تحلیل داده‌ها نشان داد که این رویکرد نه تنها ابزاری برای انتخاب گزینه‌ی بهینه است، بلکه بستری برای ارتقای شفافیت، پایداری و نوآوری در تصمیم‌گیری‌های عمرانی محسوب می‌شود. در این بخش، تلاش می‌شود جمع‌بندی جامعی از یافته‌ها، چالش‌ها و چشم‌انداز آینده ارائه گردد تا مسیر پژوهش‌های بعدی روشن‌تر شود.

از منظر تاریخی، روش‌های کلاسیک مانند AHP و TOPSIS نقطه‌ی آغاز کاربرد MCDM در عمران بودند. این روش‌ها به دلیل سادگی محاسبات و قابلیت تفسیر نتایج، به‌سرعت در انتخاب مصالح، ارزیابی پیمانکاران و مکان‌یابی پروژه‌ها به‌کار گرفته شدند. با این حال، محدودیت‌های آن‌ها در مدیریت وابستگی معیارها و عدم قطعیت داده‌ها موجب شد که پژوهشگران به سمت روش‌های پیشرفته‌تر مانند VIKOR و ANP حرکت کنند. این تحول نشان‌دهنده‌ی نیاز روزافزون به ابزارهایی بود که بتوانند پیچیدگی‌های واقعی پروژه‌های عمرانی را بهتر بازتاب دهند.

تحلیل داده‌ها نشان داد که بیشترین تمرکز پژوهش‌ها بر حوزه‌های انتخاب مصالح پایدار و مکان‌یابی پروژه‌های زیربنایی بوده است. این امر ناشی از اهمیت روزافزون پایداری و مدیریت منابع در پروژه‌های عمرانی است. در حوزه‌ی مدیریت ریسک نیز استفاده از MCDM رو به افزایش است، به‌ویژه در پروژه‌های شهری که با عدم قطعیت‌های متعدد مواجه‌اند. این روند نشان می‌دهد که MCDM توانسته است به‌عنوان ابزاری انعطاف‌پذیر در حوزه‌های متنوع عمران جایگاه خود را تثبیت کند.

یکی از یافته‌های کلیدی، رشد سریع استفاده از روش‌های هیبریدی است. ترکیب MCDM با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، داده‌کاوی و مدل‌های فازی توانسته است محدودیت‌های روش‌های کلاسیک را کاهش دهد. برای مثال، ترکیب AHP با شبکه‌های عصبی دقت انتخاب مصالح را افزایش داده و استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک در کنار TOPSIS برای مکان‌یابی پروژه‌ها نتایج بهینه‌تری ارائه کرده است. این رویکردها نشان‌دهنده‌ی حرکت پژوهش‌ها به سمت تلفیق دانش تصمیم‌گیری با فناوری‌های نوین هستند.



با وجود این پیشرفت‌ها، چالش‌های مهمی همچنان باقی مانده است. نخست، عدم قطعیت داده‌ها یکی از بزرگ‌ترین موانع در تصمیم‌گیری‌های عمرانی است. بسیاری از پروژه‌ها با داده‌های ناقص یا متناقض مواجه‌اند و همین امر نیاز به مدل‌های فازی یا احتمالی را برجسته کرده است. دوم، وابستگی معیارها که در بسیاری از پروژه‌ها وجود دارد، توسط روش‌های سنتی به‌خوبی مدیریت نمی‌شود. سوم، پیچیدگی محاسباتی در پروژه‌های بزرگ که تعداد معیارها و گزینه‌ها زیاد است، موجب دشواری در اجرای روش‌های پیشرفته می‌شود. چهارم، نیاز به تلفیق معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی در کنار معیارهای اقتصادی، که هنوز در بسیاری از مطالعات به‌طور کامل لحاظ نشده است.

چشم‌انداز آینده نشان می‌دهد که MCDM در عمران به سمت توسعه‌ی مدل‌های جامع‌تر و چندبعدی‌تر حرکت خواهد کرد. استفاده از کلان‌داده‌ها و اینترنت اشیا می‌تواند امکان تصمیم‌گیری لحظه‌ای را فراهم کند. همچنین، تلفیق MCDM با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌تواند دقت و سرعت تصمیم‌گیری را افزایش دهد. توجه بیشتر به پایداری و عدالت اجتماعی نیز نشان‌دهنده‌ی تغییر رویکرد پژوهش‌ها از تمرکز صرف بر معیارهای اقتصادی به سمت معیارهای انسانی‌تر و زیست‌محیطی‌تر است.

از منظر کاربردی، انتظار می‌رود که MCDM در آینده نقش مهمی در طراحی شهرهای هوشمند، مدیریت منابع آب، کاهش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا کند. این حوزه‌ها نیازمند تصمیم‌گیری‌های چندبعدی هستند و MCDM می‌تواند چارچوبی علمی و شفاف برای این تصمیم‌ها فراهم کند.

در جمع‌بندی نهایی، می‌توان گفت که MCDM نه تنها ابزاری برای انتخاب گزینه‌ی بهینه است، بلکه بستری برای ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری در پروژه‌های عمرانی محسوب می‌شود. این رویکرد با ایجاد امکان ارزیابی چندبعدی، به مدیران پروژه و سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا تصمیم‌هایی علمی، شفاف و قابل دفاع اتخاذ کنند. با توجه به چالش‌های موجود و روندهای نوین، آینده‌ی MCDM در عمران به سمت تلفیق رویکردهای کلاسیک با فناوری‌های نوین و توجه بیشتر به پایداری و عدالت اجتماعی حرکت خواهد کرد.

مراجع

- [1] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- [2] Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer.
- [3] Opricovic, S., & Tzeng, G.H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: VIKOR. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.
- [4] Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., & Adeli, H. (2016). Hybrid multiple-criteria decision-making methods: A review of applications in engineering. *Scientia Iranica*, 23(1), 1–20.
- [5] Antucheviciene, J., Zavadskas, E.K., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria decision-making in civil engineering: Recent applications and trends. *Procedia Engineering*, 122, 129–136.
- [6] Štilić, A., & Puška, A. (2023). Integrating Multi-Criteria Decision-Making Methods with Sustainable Engineering: A Comprehensive Review. *Eng*, 4(2), 1536–1549.



- [7] Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., & Kapliński, O. (2015). Multi-criteria decision making in civil engineering: Part I – A state-of-the-art survey. *Engineering Structures and Technologies*, 7(3), 103–113.
- [8] Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Springer.
- [9] Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66–83.
- [10] Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E.K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148.
- [11] Chen, S.J., & Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer.
- [12] Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill.
- [13] Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Springer.
- [14] Saaty, T.L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications.
- [15] Yoon, K. (1987). A reconciliation theory for MCDM. *Management Science*, 33(2), 198–203.
- [16] Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer.
- [17] Zavadskas, E.K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397–427.
- [18] Mardani, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Jusoh, A., & Nor, K.M. (2016). Multiple criteria decision-making techniques and applications in sustainable energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 290–317.
- [19] Velasquez, M., & Hester, P.T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56–66.
- [20] Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.
- [21] Hwang, C.L., & Lin, M.J. (1987). *Group Decision Making under Multiple Criteria: Methods and Applications*. Springer.



- [22] Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering*, Belgrade.
- [23] Kahraman, C., Ruan, D., & Doğan, I. (2003). Fuzzy group decision-making for facility location selection. *Information Sciences*, 157(1–4), 135–153.
- [24] Xu, Z. (2005). A method based on linguistic aggregation operators for group decision making under fuzzy environment. *Information Sciences*, 166(1–4), 19–30.
- [25] Mardani, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Jusoh, A., & Nor, K.M. (2017). Application of MCDM methods in sustainable development: A systematic review. *Sustainability*, 9(10), 1–24.
- [26] Li, D.F. (2008). A novel method for fuzzy multi-criteria group decision-making. *Applied Mathematical Modelling*, 32(10), 1888–1902.
- [27] Opricovic, S., & Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529.
- [28] Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000–3011.
- [29] Zavadskas, E.K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of the art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179.
- [30] Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., & Zhao, J.H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263–2278.
- [31] Liu, P., & Zhang, X. (2011). Research on the supplier selection of a supply chain based on entropy weight and improved TOPSIS method. *International Journal of Production Research*, 49(3), 637–646.
- [32] Govindan, K., & Jepsen, M.B. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1–29.
- [33] Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., & Adeli, H. (2017). MCDM methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(2), 1–20.
- [34] Mardani, A., Zavadskas, E.K., Streimikiene, D., Jusoh, A., & Nor, K.M. (2017). Application of MCDM methods in renewable energy and sustainability: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 216–228.



Application of Multi-Criteria Decision Making Methods in Civil Engineering: A Systematic Review of Approaches and Challenges

ABSTRACT

Multi-criteria decision making (MADM/MCDM), as one of the key approaches in civil engineering, has gained a special place in solving complex and multidimensional problems over the last two decades. The nature of civil engineering projects, from structural design to resource management and selection of sustainable technologies, is always accompanied by conflicting criteria and multiple constraints. MCDM methods, by providing a systematic framework, enable the simultaneous evaluation of quantitative and qualitative criteria and help decision-makers to provide scientific, transparent and defensible solutions. This review article, with a high-level approach, examines the theoretical and practical developments of MCDM in civil engineering. First, the theoretical foundations and classification of methods, including AHP, ANP, TOPSIS, VIKOR and hybrid methods based on artificial intelligence and data mining, are reviewed. Then, prominent applications in the fields of sustainable material selection, infrastructure project location, risk management, contractor performance evaluation and prioritization of design options are analyzed. Next, existing challenges such as data uncertainty, criterion dependency, and the need to combine classical approaches with modern algorithms are reviewed. Finally, the future outlook emphasizes the necessity of developing hybrid models, using big data and artificial intelligence, and considering environmental and social criteria alongside economic criteria. This review shows that MCDM is not only a tool for optimal selection, but also a platform for promoting transparency, sustainability, and innovation in construction decision-making.

Keywords: Multi-criteria decision making, multi-attribute decision making, civil engineering.



بیست و هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری

The 28th National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development

مهر ۱۴۰۴ - October 2025

