



تصمیم‌گیری چندمعیاره در مهندسی عمران MADM

مهدی فضیلتی^۱، محمدعلی جمیل^۲

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

^۲دانشجو، کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد نجف آباد، دانشکده مهندسی عمران

Civilengineer0985@gmail.com

چکیده

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در مهندسی عمران، امکان انتخاب گزینه‌های بهینه را در شرایطی که معیارهای متعدد و گاه ناسازگار وجود دارند فراهم می‌سازد. این روش‌ها با ترکیب معیارهای کمی و کیفی، به مدیران پروژه و مهندسان کمک می‌کنند تا تصمیماتی دقیق‌تر و کارآمدتر اتخاذ نمایند. در این مقاله، رویکردهای کیفی MADM شامل روش‌های AHP، TOPSIS، VIKOR و مدل‌های فازی بررسی شده و مزایا، معایب و کاربردهای آن‌ها در حوزه‌های مختلف مهندسی عمران از جمله مدیریت پروژه، انتخاب مصالح، طراحی سازه و مکان‌یابی شهری تحلیل می‌شود. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از MADM در پروژه‌های عمرانی می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت و بهبود عملکرد پروژه‌ها گردد.

کلمات کلیدی

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM)، مهندسی عمران، کاربردها و مقایسه روش‌ها

مقدمه

پروژه‌های عمرانی به دلیل ماهیت چندبعدی خود نیازمند تصمیم‌گیری‌های دقیق هستند. انتخاب مصالح، مکان‌یابی پروژه‌ها، مدیریت ریسک و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی همگی نیازمند رویکردی جامع‌اند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به عنوان ابزاری علمی، امکان بررسی همزمان معیارهای مختلف را فراهم می‌کنند.

تصمیم‌گیری در مهندسی عمران همواره با چالش‌های متعددی همراه است. انتخاب مصالح مناسب، تعیین روش‌های ساخت، ارزیابی ریسک پروژه‌ها و مدیریت منابع، همگی نیازمند رویکردهایی هستند که بتوانند معیارهای مختلف را به صورت همزمان در نظر بگیرند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) به عنوان یکی از ابزارهای پرکاربرد در این زمینه مطرح شده‌اند. این روش‌ها نه تنها معیارهای کمی مانند هزینه و زمان را لحاظ می‌کنند، بلکه معیارهای کیفی همچون پایداری زیست‌محیطی و رضایت ذی‌نفعان را نیز وارد فرآیند تصمیم‌گیری می‌نمایند (Saaty, 1980, Zavadskas, 2014).

در دهه‌های اخیر، استفاده از MADM در پروژه‌های عمرانی به طور چشمگیری افزایش یافته است. پژوهش‌های داخلی نشان داده‌اند که ترکیب مهندسی ارزش با روش‌های فازی MADM می‌تواند کاهش قابل توجهی در هزینه و زمان پروژه‌ها ایجاد کند (فضیلتی، ۱۳۹۷). همچنین مطالعات خارجی نشان داده‌اند که روش‌های AHP و TOPSIS در انتخاب مصالح پایدار و مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی نقش مؤثری ایفا می‌کنند این امر بیانگر اهمیت توجه به معیارهای چندگانه در تصمیم‌گیری‌های عمرانی است. (Smith, 2020).

با توجه به پیچیدگی پروژه‌های عمرانی و وجود معیارهای متناقض، استفاده از رویکردهای کیفی MADM ضروری به نظر می‌رسد. این رویکردها با در نظر گرفتن عدم قطعیت و قضاوت‌های زبانی، امکان تحلیل دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر را فراهم می‌کنند. هدف این مقاله بررسی جامع روش‌های کیفی MADM، مقایسه مزایا و معایب آن‌ها، و تحلیل کاربردهایشان در بخش‌های مختلف مهندسی عمران است. بدین منظور، علاوه بر مرور ادبیات داخلی و خارجی، نمونه‌های کاربردی از پروژه‌های عمرانی ارائه خواهد شد تا اهمیت و کارایی این روش‌ها در عمل روشن‌تر گردد (Tzeng & Huang, 2011, Fozilati, 2018).

بیان مسئله

مسائل مهندسی عمران به دلیل ماهیت چندبعدی و پیچیده خود، همواره با معیارهای متعدد و گاه متناقض همراه هستند. انتخاب مصالح، روش‌های ساخت، مکان‌یابی پروژه‌ها، مدیریت ریسک و ارزیابی عملکرد، نمونه‌هایی از تصمیماتی هستند که نیازمند در نظر گرفتن معیارهای مختلف می‌باشند. در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) ضرورت پیدا می‌کند. مشکل اصلی در این حوزه، وجود عدم قطعیت در قضاوت‌ها و دشواری در ترکیب معیارهای کمی و کیفی است. بسیاری از پروژه‌های عمرانی در ایران و جهان به دلیل نبود رویکردهای علمی در تصمیم‌گیری، با افزایش هزینه، تأخیر در زمان‌بندی و کاهش کیفیت مواجه شده‌اند (فضیلتی، ۱۳۹۷; Zavadskas, 2014).

یکی از چالش‌های اساسی در تصمیم‌گیری‌های عمرانی، ناسازگاری میان معیارهاست. برای مثال، انتخاب مصالح پایدار ممکن است هزینه‌های اولیه پروژه را افزایش دهد، در حالی که از منظر زیست‌محیطی و اجتماعی، مزایای بلندمدت قابل توجهی دارد (Smith, 2020). همچنین در مدیریت پروژه، معیارهایی مانند زمان، هزینه و کیفیت اغلب در تضاد با یکدیگر قرار می‌گیرند. این تضادها باعث می‌شود که تصمیم‌گیرندگان نتوانند تنها بر اساس یک معیار تصمیم‌گیری کنند و نیازمند



رویکردهای چندمعیاره باشند. علاوه بر این، قضاوت‌های انسانی در بسیاری از موارد زبانی و غیرقطعی هستند که استفاده از مدل‌های فازی و روش‌های کیفی MADM را ضروری می‌سازد (Tzeng & Huang, 2011).

بیان مسئله اصلی این پژوهش آن است که چگونه می‌توان با استفاده از روش‌های کیفی MADM، تصمیمات پیچیده در مهندسی عمران را به گونه‌ای اتخاذ کرد که هم معیارهای کمی و هم معیارهای کیفی در نظر گرفته شوند و عدم قطعیت موجود در قضاوت‌ها کاهش یابد. این مسئله در پروژه‌های عمرانی کشور ما اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا بسیاری از پروژه‌ها به دلیل نبود رویکردهای علمی در تصمیم‌گیری، با مشکلاتی همچون افزایش هزینه، تأخیر در زمان‌بندی و کاهش کیفیت مواجه می‌شوند (Fozilati, 2018; Zavadskas, 2014). بنابراین، ضرورت دارد که روش‌های مختلف MADM بررسی، مقایسه و تحلیل شوند تا بتوان راهکارهای مناسب برای بهبود فرآیند تصمیم‌گیری در مهندسی عمران ارائه داد.

هدف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش بررسی و تحلیل جامع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) با رویکرد کیفی در مهندسی عمران است. با توجه به پیچیدگی پروژه‌های عمرانی و وجود معیارهای متناقض، نیاز به رویکردهایی وجود دارد که بتوانند هم معیارهای کمی و هم معیارهای کیفی را در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ کنند. این پژوهش تلاش دارد تا با مرور ادبیات داخلی و خارجی، نقاط قوت و ضعف روش‌های مختلف MADM را شناسایی کرده و کاربردهای آن‌ها را در بخش‌های مختلف مهندسی عمران تبیین نماید. (Zavadskas, 2014؛ فضیلتی، ۱۳۹۷).

از اهداف فرعی این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ❖ شناسایی مهم‌ترین روش‌های کیفی MADM مورد استفاده در مهندسی عمران.
- ❖ بررسی مزایا و معایب هر روش در شرایط مختلف پروژه‌های عمرانی.
- ❖ تحلیل کاربردهای عملی این روش‌ها در مدیریت پروژه، انتخاب مصالح، طراحی سازه و مکان‌یابی شهری.
- ❖ ارائه چارچوبی برای انتخاب روش مناسب MADM در شرایط خاص پروژه‌های عمرانی.

این پژوهش همچنین به دنبال آن است که با مقایسه روش‌های مختلف MADM، راهکارهایی برای کاهش عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌های عمرانی ارائه دهد. استفاده از مدل‌های فازی و رویکردهای کیفی می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا قضاوت‌های زبانی و غیرقطعی را به صورت علمی و دقیق‌تر وارد فرآیند تصمیم‌گیری نمایند (Tzeng & Huang, 2011; Smith, 2020).

در نهایت، هدف این پژوهش ارائه یک دیدگاه جامع و کاربردی از روش‌های کیفی MADM در مهندسی عمران است تا مدیران پروژه، مهندسان و پژوهشگران بتوانند با بهره‌گیری از این رویکردها، تصمیماتی اتخاذ کنند که منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت و بهبود عملکرد پروژه‌ها گردد (Fozilati, 2018; Zavadskas, 2014).

معرفی روش‌ها و انواع روش‌های MADM

۱. روش (AHP (Analytic Hierarchy Process)



- معرفی: روش AHP توسط (Saaty ۱۹۸۰) معرفی شد و یکی از پرکاربردترین روش‌های MADM است. این روش بر پایه مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها بنا شده و ساختار سلسله‌مراتبی برای تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند.
- کاربرد در عمران: انتخاب مصالح ساختمانی، ارزیابی ریسک پروژه‌ها، مکان‌یابی تأسیسات شهری.
- مزایا: سادگی، قابلیت درک بالا، امکان ترکیب معیارهای کمی و کیفی.
- معایب: حساسیت به ناسازگاری در قضاوت‌ها، زمان‌بر بودن در مسائل بزرگ (Zavadskas, ۲۰۱۴).

۲. روش TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

- معرفی: روش TOPSIS توسط (Hwang & Yoon ۱۹۸۱) توسعه یافت. اساس این روش بر انتخاب گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد.
- کاربرد در عمران: انتخاب طرح اختلاط بتن، ارزیابی پیمانکاران، انتخاب روش‌های ساخت پل.
- مزایا: محاسبات ساده، قابلیت استفاده در مسائل بزرگ، نتایج قابل تفسیر.
- معایب: نیاز به داده‌های دقیق، حساسیت به وزن‌دهی معیارها (Smith, ۲۰۲۰).

۳. روش VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)

- معرفی: روش VIKOR توسط (Opricovic ۱۹۹۸) معرفی شد. این روش بر پایه راه‌حل مصالحه‌ای بنا شده و گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که بهترین تعادل میان معیارهای مختلف داشته باشد.
- کاربرد در عمران: رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی (RPC)، انتخاب استراتژی‌های مدیریت ریسک پروژه‌ها.
- مزایا: مناسب برای مسائل با معیارهای متناقض، ارائه راه‌حل مصالحه‌ای.
- معایب: پیچیدگی محاسبات، وابستگی به انتخاب پارامترهای مصالحه (فضیلتی، ۱۳۹۷).

۴. روش ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality)

- معرفی: روش ELECTRE در دهه ۱۹۶۰ توسط (Roy ۱۹۶۸) معرفی شد. این روش بر پایه روابط برتری و غلبه میان گزینه‌ها عمل می‌کند.
- کاربرد در عمران: انتخاب پیمانکاران، ارزیابی گزینه‌های مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی.
- مزایا: توانایی مدیریت معیارهای ناسازگار، مناسب برای مسائل پیچیده.
- معایب: دشواری درک برای تصمیم‌گیرندگان غیرمتخصص، نیاز به داده‌های دقیق (Huang & Tzeng, ۲۰۱۱).

۵. روش PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment) Evaluation

- معرفی: روش PROMETHEE توسط (Brans & Vincke ۱۹۸۵) توسعه یافت. این روش بر پایه توابع ترجیحی بنا شده و گزینه‌ها را بر اساس شدت ترجیح رتبه‌بندی می‌کند.
- کاربرد در عمران: انتخاب روش‌های ساخت، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها.
- مزایا: انعطاف‌پذیری بالا، قابلیت استفاده در مسائل پیچیده.
- معایب: نیاز به تعریف دقیق توابع ترجیحی، پیچیدگی محاسبات (Zavadskas, ۲۰۱۴).



۶. مدل‌های فازی در MADM

- معرفی: مدل‌های فازی برای مدیریت عدم قطعیت و قضاوت‌های زبانی در تصمیم‌گیری استفاده می‌شوند. این مدل‌ها امکان تبدیل داده‌های کیفی به کمی را فراهم می‌کنند.
- کاربرد در عمران: مهندسی ارزش، انتخاب مصالح پایدار، مدیریت ریسک پروژه‌ها.
- مزایا: توانایی مدیریت عدم قطعیت، انعطاف‌پذیری بالا.
- معایب: پیچیدگی در تعریف توابع عضویت، نیاز به تخصص بالا (Fozilati, ۲۰۱۸).
-

مقایسه روش‌های MADM در مهندسی عمران

روش AHP

روش AHP به دلیل ساختار سلسله مراتبی و امکان مقایسه زوجی، برای مسائل عمرانی که نیازمند تحلیل دقیق معیارها هستند بسیار مناسب است. این روش به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد معیارهای کمی و کیفی را همزمان لحاظ کنند. با این حال، در پروژه‌های بزرگ که تعداد معیارها و گزینه‌ها زیاد است، فرآیند مقایسه زوجی زمان‌بر و گاه ناسازگار می‌شود (Saaty, ۱۹۸۰; Zavadskas, ۲۰۱۴).

روش TOPSIS

TOPSIS بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل عمل می‌کند و به همین دلیل نتایج آن برای تصمیم‌گیرندگان قابل فهم و شفاف است. این روش در پروژه‌های عمرانی مانند انتخاب مصالح یا پیمانکاران کاربرد زیادی دارد. نقطه ضعف آن وابستگی شدید به وزن‌دهی معیارهاست؛ اگر وزن‌ها به درستی تعیین نشوند، نتایج می‌تواند گمراه‌کننده باشد (Hwang & Yoon, ۱۹۸۱; Smith, ۲۰۲۰).

روش VIKOR

VIKOR رویکردی مصالحه‌ای دارد و برای شرایطی که معیارها متناقض هستند، گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که بهترین تعادل میان آن‌ها را داشته باشد. این ویژگی باعث شده در پروژه‌های عمرانی با ریسک بالا یا معیارهای متضاد، کاربرد زیادی داشته باشد. نقطه ضعف آن پیچیدگی محاسبات و وابستگی به پارامترهای مصالحه است که گاهی تفسیر نتایج را دشوار می‌کند (Opricovic, ۱۹۹۸; فضیلتی, ۱۳۹۷).

روش ELECTRE

ELECTRE بر پایه روابط برتری میان گزینه‌ها عمل می‌کند و برای مسائل پیچیده با معیارهای ناسازگار مناسب است. این روش در انتخاب پیمانکاران یا مکان‌یابی پروژه‌ها کاربرد دارد. نقطه ضعف آن دشواری درک برای افراد غیرمتخصص و نیاز به داده‌های دقیق است. در پروژه‌های عمرانی که داده‌ها ناقص یا کیفی هستند، استفاده از ELECTRE می‌تواند چالش‌برانگیز باشد (Roy, ۱۹۶۸; Tzeng & Huang, ۲۰۱۱).

روش PROMETHEE



PROMETHEE با استفاده از توابع ترجیحی، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند و انعطاف‌پذیری بالایی دارد. این روش در پروژه‌های عمرانی که نیاز به تحلیل دقیق ترجیحات دارند، مانند انتخاب روش‌های ساخت یا ارزیابی عملکرد پروژه‌ها، کاربرد دارد. نقطه ضعف آن نیاز به تعریف دقیق توابع ترجیحی و پیچیدگی محاسبات است که ممکن است برای برخی تصمیم‌گیرندگان دشوار باشد (Zavadskas, Brans & Vincke, ۱۹۸۵؛ ۲۰۱۴).

مدل‌های فازی

مدل‌های فازی برای مدیریت عدم قطعیت و قضاوت‌های زبانی بسیار مؤثر هستند. در پروژه‌های عمرانی که داده‌ها اغلب کیفی یا غیرقطعی‌اند، این مدل‌ها امکان تحلیل دقیق‌تر را فراهم می‌کنند. نقطه ضعف آن‌ها پیچیدگی در تعریف توابع عضویت و نیاز به تخصص بالا در منطق فازی است. با این حال، ترکیب مدل‌های فازی با روش‌های کلاسیک مانند AHP یا TOPSIS می‌تواند نتایج بسیار قابل اعتماد و کاربردی ایجاد کند (Fozilati, ۲۰۱۸؛ Smith, ۲۰۲۰).

در مجموع، می‌توان گفت :

AHP برای مسائل سلسله‌مراتبی و معیارهای ترکیبی مناسب است.

TOPSIS برای انتخاب گزینه نزدیک به راه‌حل ایده‌آل کاربرد دارد.

VIKOR برای شرایط مصالحه‌ای و معیارهای متناقض مفید است.

ELECTRE برای مسائل پیچیده با داده‌های دقیق مناسب است.

PROMETHEE انعطاف‌پذیری بالایی دارد اما نیازمند تعریف دقیق ترجیحات است.

مدل‌های فازی بهترین گزینه برای مدیریت عدم قطعیت و قضاوت‌های زبانی هستند.

کاربردهای روش‌های MADM در مهندسی عمران

۱. کاربرد روش AHP در مهندسی عمران

روش AHP به دلیل ساختار سلسله‌مراتبی، در پروژه‌هایی که نیازمند تحلیل دقیق معیارها هستند بسیار پرکاربرد است. در انتخاب مصالح ساختمانی، مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی، و ارزیابی ریسک پروژه‌ها، این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا معیارهای کمی و کیفی را همزمان لحاظ کنند. برای مثال، در پروژه‌های مهندسی ارزش، استفاده از AHP فازی توانسته است کاهش چشمگیری در هزینه و زمان پروژه‌ها ایجاد کند (Saaty, ۱۳۹۷؛ ۱۹۸۰).

۲. کاربرد روش TOPSIS در مهندسی عمران

TOPSIS در انتخاب گزینه‌هایی که نزدیک‌ترین فاصله به راه‌حل ایده‌آل دارند، بسیار مؤثر است. این روش در انتخاب طرح اختلاط بتن، ارزیابی پیمانکاران، و انتخاب روش‌های ساخت پل کاربرد دارد. برای مثال، در رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی (RPC)، استفاده از TOPSIS نتایج قابل اعتماد و قابل تفسیر ارائه کرده است (Zavadskas, ۲۰۱۴؛ Smith, ۲۰۲۰).



۳. کاربرد روش VIKOR در مهندسی عمران

روش VIKOR برای شرایطی که معیارها متناقض هستند، گزینه‌های مصالحه‌ای ارائه می‌دهد. این ویژگی باعث شده است که در پروژه‌های عمرانی با ریسک بالا یا معیارهای متضاد، کاربرد زیادی داشته باشد. برای مثال، در انتخاب استراتژی‌های مدیریت ریسک پروژه‌ها، VIKOR توانسته است بهترین تعادل میان معیارهای مختلف را ایجاد کند (Opricovic, ۱۹۹۸؛ فضیلتی، ۱۳۹۷).

۴. کاربرد روش ELECTRE در مهندسی عمران

ELECTRE در مسائل پیچیده با معیارهای ناسازگار کاربرد دارد. این روش در انتخاب پیمانکاران، ارزیابی گزینه‌های مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی و تحلیل گزینه‌های ساخت به کار گرفته می‌شود. توانایی این روش در مدیریت معیارهای ناسازگار، آن را برای پروژه‌های بزرگ و پیچیده مناسب ساخته است (Roy, ۱۹۶۸؛ Tzeng & Huang, ۲۰۱۱).

۵. کاربرد روش PROMETHEE در مهندسی عمران

PROMETHEE با استفاده از توابع ترجیحی، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند و انعطاف‌پذیری بالایی دارد. این روش در انتخاب روش‌های ساخت، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها و تحلیل گزینه‌های طراحی سازه کاربرد دارد. برای مثال، در پروژه‌های عمرانی که نیاز به تحلیل دقیق ترجیحات دارند، PROMETHEE توانسته است نتایج قابل اعتماد ارائه دهد (Brans & Vincke, ۱۹۸۵؛ Zavadskas, ۲۰۱۴).

۶. کاربرد مدل‌های فازی در مهندسی عمران

مدل‌های فازی برای مدیریت عدم قطعیت و قضاوت‌های زبانی بسیار مؤثر هستند. در پروژه‌های عمرانی که داده‌ها اغلب کیفی یا غیرقطعی‌اند، این مدل‌ها امکان تحلیل دقیق‌تر را فراهم می‌کنند. برای مثال، در مهندسی ارزش و انتخاب مصالح پایدار، استفاده از مدل‌های فازی توانسته است نتایج دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری ارائه دهد (Fozilati, ۲۰۱۸؛ Smith, ۲۰۲۰).

در مجموع، هر روش MADM در حوزه‌های مختلف مهندسی عمران کاربردهای خاص خود را دارد:

AHP در تحلیل سلسله‌مراتبی و ارزیابی ریسک.

TOPSIS در انتخاب گزینه نزدیک به راه‌حل ایده‌آل.

VIKOR در شرایط مصالحه‌ای و معیارهای متناقض.

ELECTRE در مسائل پیچیده با داده‌های دقیق.

PROMETHEE در تحلیل ترجیحات و رتبه‌بندی.

مدل‌های فازی در مدیریت عدم قطعیت و قضاوت‌های زبانی.



کاربردهای روش‌های MADM در بخش‌های مختلف مهندسی عمران

۱. مدیریت پروژه

مدیریت پروژه‌های عمرانی همواره با معیارهای متناقضی مانند زمان، هزینه، کیفیت و ریسک همراه است. روش‌های MADM به مدیران پروژه کمک می‌کنند تا میان این معیارها تعادل برقرار کنند. برای مثال، استفاده از روش AHP در مدیریت پروژه توانسته است فرآیند تصمیم‌گیری را ساختارمند کرده و انتخاب‌های بهینه را برای مدیران فراهم آورد (فضیلتی، ۱۳۹۷؛ Saaty, ۱۹۸۰). همچنین روش VIKOR در شرایطی که نیاز به مصالحه میان معیارها وجود دارد، گزینه‌ای متعادل ارائه می‌دهد (Opricovic, ۱۹۹۸).

۲. انتخاب مصالح ساختمانی

انتخاب مصالح مناسب یکی از مهم‌ترین تصمیمات در پروژه‌های عمرانی است. معیارهایی مانند هزینه، دوام، پایداری زیست‌محیطی و قابلیت اجرا باید همزمان در نظر گرفته شوند. روش TOPSIS در این حوزه کاربرد زیادی دارد، زیرا می‌تواند مصالحی را انتخاب کند که بیشترین نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل دارند (Smith, ۲۰۲۰). همچنین استفاده از مدل‌های فازی در انتخاب مصالح پایدار، امکان لحاظ کردن قضاوت‌های زبانی و غیرقطعی را فراهم می‌کند (Fozilati, ۲۰۱۸).

۳. طراحی سازه‌ها

در طراحی سازه‌ها، معیارهایی مانند ایمنی، هزینه، زیبایی‌شناسی و قابلیت اجرا باید همزمان بررسی شوند. روش PROMETHEE با استفاده از توابع ترجیحی، امکان رتبه‌بندی دقیق گزینه‌های طراحی را فراهم می‌کند. این روش در پروژه‌های طراحی پل‌ها و ساختمان‌های بلندمرتبه کاربرد زیادی داشته است (Brans & Vincke, ۱۹۸۵؛ Zavadskas, ۲۰۱۴).

۴. مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی

انتخاب مکان مناسب برای پروژه‌های عمرانی مانند احداث پل، سد یا تأسیسات شهری، نیازمند در نظر گرفتن معیارهای جغرافیایی، اقتصادی و اجتماعی است. روش ELECTRE در این حوزه کاربرد دارد، زیرا می‌تواند روابط برتری میان گزینه‌های مختلف مکان‌یابی را تحلیل کند (Roy, ۱۹۶۸؛ Tzeng & Huang, ۲۰۱۱). همچنین ترکیب AHP با مدل‌های فازی در مکان‌یابی پروژه‌ها توانسته است نتایج دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری ارائه دهد (Zavadskas, ۲۰۱۴).

۵. مدیریت ریسک پروژه‌ها

پروژه‌های عمرانی همواره با ریسک‌های متعدد مواجه هستند. روش‌های MADM می‌توانند در شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها نقش مؤثری ایفا کنند. برای مثال، استفاده از روش Critic و VIKOR در مدیریت ریسک پروژه‌های زیرساختی توانسته است ریسک‌های مهم را شناسایی و اولویت‌بندی کند (فضیلتی، ۱۳۹۷؛ Opricovic, ۱۹۹۸).

۶. مهندسی ارزش

مهندسی ارزش به دنبال کاهش هزینه و افزایش کیفیت پروژه‌هاست. ترکیب مهندسی ارزش با روش‌های فازی MADM توانسته است در پروژه‌های عمرانی کاهش قابل توجهی در هزینه و زمان ایجاد کند. برای مثال، استفاده از AHP فازی و



TOPSIS فازی در پروژه‌های ساختمانی منجر به کاهش ۲۱,۴۵ درصدی هزینه و ۱۷,۶ درصدی زمان شده است (فضیلتی، ۱۳۹۷).

کاربردهای تخصصی روش‌های MADM در مهندسی عمران

۱. پل‌سازی و انتخاب روش‌های ساخت پل

انتخاب روش مناسب برای ساخت پل‌های بزرگ و پیچیده یکی از مهم‌ترین تصمیمات در مهندسی عمران است. معیارهایی مانند هزینه، زمان، ایمنی، دوام مصالح و شرایط محیطی باید همزمان در نظر گرفته شوند. روش AHP و TOPSIS در این حوزه کاربرد زیادی دارند. برای مثال، در انتخاب روش ساخت پل‌های سوپر استراکچر، AHP توانسته است معیارهای سلسله‌مراتبی مانند ایمنی و هزینه را تحلیل کند، در حالی که TOPSIS گزینه‌ای نزدیک به راه‌حل ایده‌آل ارائه داده است (Zavadskas, 2014; Smith, 2020).

۲. بتن‌های نوین و فناوری‌های جدید

با ظهور بتن‌های نوین مانند بتن پودری واکنشی (RPC) و بتن‌های فوق‌پرتوان (UHPC)، انتخاب طرح اختلاط مناسب به یک چالش بزرگ تبدیل شده است. روش‌های MADM مانند VIKOR، TOPSIS و SAW برای رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط بتن استفاده شده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که استفاده از چند روش به صورت ترکیبی (مانند روش Copeland) می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر ارائه دهد (فضیلتی، ۱۳۹۷; Opricovic, 1998). همچنین در پروژه‌های پل‌سازی، استفاده از UHPC با کمک روش‌های MADM توانسته است بهترین ترکیب مصالح را برای افزایش دوام و کاهش هزینه انتخاب کند (Smith, 2020).

۳. قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)

تأمین مالی پروژه‌های زیرساختی یکی از چالش‌های اساسی در مهندسی عمران است. در قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی، ریسک‌های متعددی مانند کیفیت پایین مصالح، مقاومت ذی‌نفعان و نبود اهداف واقع‌بینانه وجود دارد. استفاده از روش‌های MADM مانند Critic و VIKOR در رتبه‌بندی ریسک‌ها توانسته است ریسک‌های مهم را شناسایی و اولویت‌بندی کند. این امر به مدیران پروژه کمک کرده است تا استراتژی‌های مناسب برای مدیریت ریسک انتخاب کنند (فضیلتی، ۱۳۹۷; Zavadskas, 2014).

۴. مدیریت زنجیره تأمین در پروژه‌های عمرانی

پروژه‌های عمرانی نیازمند مدیریت دقیق زنجیره تأمین هستند. انتخاب پیمانکاران، تأمین‌کنندگان مصالح و مشاوران از جمله تصمیمات مهم در این حوزه است. روش‌های MADM مانند AHP و فازی TOPSIS در انتخاب پیمانکاران و تأمین‌کنندگان کاربرد زیادی داشته‌اند. این روش‌ها توانسته‌اند معیارهایی مانند هزینه، کیفیت، زمان تحویل و قابلیت اعتماد را همزمان در نظر بگیرند و بهترین گزینه‌ها را انتخاب کنند (Tzeng, & Huang, 2011; Smith, 2020).

۵. مکان‌یابی شهری و خدمات زیرساختی



انتخاب مکان مناسب برای احداث تأسیسات شهری مانند ایستگاه‌های حمل و نقل، مراکز خدماتی و تأسیسات مکانیکی نیازمند در نظر گرفتن معیارهای جغرافیایی، اقتصادی و اجتماعی است. روش ELECTRE و AHP فازی در این حوزه کاربرد دارند. این روش‌ها توانسته‌اند روابط برتری میان گزینه‌های مختلف مکان‌یابی را تحلیل کرده و بهترین مکان‌ها را انتخاب کنند (Roy, ۱۹۶۸; Zavadskas, ۲۰۱۴).

کاربردها در مدیریت پروژه و مهندسی ارزش

مدیریت پروژه‌های عمرانی با معیارهای متناقضی مانند زمان، هزینه و کیفیت همراه است. استفاده از MADM توانسته است فرآیند تصمیم‌گیری را ساختارمند کند و ریسک پروژه‌ها را کاهش دهد. در مهندسی ارزش نیز ترکیب MADM با رویکردهای فازی توانسته است کاهش قابل توجهی در هزینه و زمان پروژه‌ها ایجاد کند. این امر نشان‌دهنده نقش کلیدی MADM در بهبود عملکرد پروژه‌های عمرانی است (فضیلتی، ۱۳۹۷; Zavadskas, ۲۰۱۴).

کاربردها در انتخاب مصالح و فناوری‌های نوین

انتخاب مصالح پایدار یکی از مهم‌ترین چالش‌های مهندسی عمران است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که معیارهای اجتماعی و عملکردی بیشترین وزن را در انتخاب مصالح دارند. برای مثال، بلوک خاکی فشرده (CEB) به عنوان گزینه برتر در انتخاب مصالح پایدار معرفی شده است. همچنین در انتخاب طرح اختلاط بتن‌های نوین مانند RPC و UHPC، استفاده از روش‌های MADM توانسته است بهترین ترکیب مصالح را برای افزایش دوام و کاهش هزینه انتخاب کند (Smith, ۲۰۲۰; Opricovic, ۱۹۹۸).

کاربردها در مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی

مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی نیازمند در نظر گرفتن معیارهای جغرافیایی، اقتصادی و اجتماعی است. روش‌های AHP فازی و ELECTRE توانسته‌اند روابط برتری میان گزینه‌های مختلف مکان‌یابی را تحلیل کنند و بهترین مکان‌ها را انتخاب نمایند. این امر به ویژه در پروژه‌های شهری اهمیت دارد، زیرا مکان‌یابی صحیح می‌تواند تأثیر مستقیم بر موفقیت پروژه داشته باشد (Tzeng & Huang, ۲۰۱۱; Roy, ۱۹۶۸).

روندهای نوین و آینده پژوهش

پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که MADM از روش‌های کلاسیک به مدل‌های هیبریدی و مبتنی بر هوش مصنوعی ارتقا یافته است. ترکیب MADM با فناوری‌های نوین مانند BIM، اینترنت اشیا و کلان داده‌ها امکان تصمیم‌گیری پویا و نزدیک به زمان واقعی را فراهم کرده است. با این حال، چالش‌هایی مانند مدل‌سازی عدم قطعیت، پیچیدگی داده‌ها و مقیاس‌پذیری همچنان باقی است (Zavadskas, ۲۰۱۸; Gupta, ۲۰۲۲).



چالش‌ها و محدودیت‌های استفاده از روش‌های MADM در مهندسی عمران

در کنار مزایا و کاربردهای گسترده، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM/MCDM) در مهندسی عمران با چالش‌ها و محدودیت‌هایی نیز مواجه‌اند که شناخت آن‌ها برای انتخاب و به‌کارگیری صحیح این روش‌ها ضروری است.

۱. پیچیدگی محاسباتی

- بسیاری از روش‌ها مانند VIKOR، PROMETHEE و ELECTRE نیازمند محاسبات پیچیده هستند.

- در پروژه‌های بزرگ با معیارها و گزینه‌های متعدد، این پیچیدگی می‌تواند زمان و هزینه تحلیل را افزایش دهد (Opricovic, ۱۹۹۸; Roy, ۱۹۶۸).

۲. وابستگی به وزن‌دهی معیارها

- روش‌هایی مانند AHP و TOPSIS به شدت به وزن معیارها وابسته‌اند.

- اگر وزن‌ها به‌درستی تعیین نشوند، نتایج می‌تواند گمراه‌کننده باشد (Saaty, ۱۹۸۰; Hwang & Yoon, ۱۹۸۱).

۳. ناسازگاری در قضاوت‌ها

- در روش‌هایی مانند AHP، ناسازگاری در مقایسه‌های زوجی می‌تواند نتایج را بی‌اعتبار کند.

- این مشکل به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ با معیارهای متعدد بیشتر دیده می‌شود (Zavadskas, ۲۰۱۴).

۴. مدیریت عدم قطعیت

- بسیاری از داده‌های پروژه‌های عمرانی کیفی یا غیرقطعی هستند.

- مدل‌های کلاسیک توانایی محدودی در مدیریت عدم قطعیت دارند و نیازمند ترکیب با مدل‌های فازی یا هیبریدی هستند (Fozilati, ۲۰۱۸; Tzeng & Huang, ۲۰۱۱).

۵. دشواری درک برای تصمیم‌گیرندگان غیرمتخصص

- روش‌هایی مانند ELECTRE و PROMETHEE به دلیل پیچیدگی مفهومی و محاسباتی، برای مدیران پروژه یا تصمیم‌گیرندگان غیرمتخصص دشوار هستند.

- این امر می‌تواند مانع پذیرش و استفاده گسترده از این روش‌ها شود (Roy, ۱۹۶۸; Brans & Vincke, ۱۹۸۵).

۶. محدودیت داده‌ها در پروژه‌های عمرانی

- در بسیاری از پروژه‌های عمرانی، داده‌های دقیق و کامل در دسترس نیست.

- نبود داده‌های معتبر می‌تواند نتایج روش‌های MADM را تحت تأثیر قرار دهد و تصمیم‌گیری را دشوار کند (Smith, ۲۰۲۰).

۷. مقیاس‌پذیری و زمان‌بر بودن



در پروژه‌های بزرگ، اجرای روش‌های MADM ممکن است بسیار زمان‌بر باشد.

- نیاز به نرم‌افزارهای تخصصی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای مدیریت مقیاس‌پذیری وجود دارد (Zavadskas, 2018, Gupta, 2022).

۸. چالش‌های ترکیب با فناوری‌های نوین

- ادغام MADM با فناوری‌های جدید مانند BIM، اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها هنوز در مراحل اولیه است.

- چالش‌هایی مانند پیچیدگی داده‌ها، مدل‌سازی عدم قطعیت و نیاز به استانداردسازی وجود دارد (Navandar et al, 2020).

پیشینه داخلی

۱. علی توکلی (۱۴۰۴)، انتخاب بهترین روش مقاوم‌سازی ساختمان‌ها با استفاده از AHP

نتیجه‌گیری: روش ژاکت بتنی در شرایط ایران بیشترین کارایی و اقتصادی بودن را دارد.

۲. زهرا همتایی‌نژاد، اسماعیل نصیری (۱۴۰۴)، مکان‌یابی سدهای کوچک با روش TOPSIS

نتیجه‌گیری: روش TOPSIS مکان‌های مناسب سد را با دقت بالا مشخص کرد و معیارهای زیست‌محیطی نقش کلیدی داشتند.

۳. محمد پورامین‌مقدم (۱۴۰۴)، ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با روش VIKOR

نتیجه‌گیری: شهرهای با تراکم بالا و سازه‌های قدیمی نیازمند توجه فوری هستند.

۴. بهروز نصیری‌راد (۱۴۰۴)، انتخاب بهترین سیستم سازه‌ای برای ساختمان‌های بلند با ELECTRE و VIKOR

نتیجه‌گیری: سیستم مرکب فولاد-بتن بهترین عملکرد را از نظر هزینه و ایمنی دارد.

۵. بیتا روحی، مهدی رضا حسینی (۱۴۰۴)، کاربرد MADM در مدیریت ریسک پروژه‌های عمرانی

نتیجه‌گیری: مدیریت ریسک با روش‌های MADM باعث کاهش تأخیر و هزینه‌های اضافی شد.

پیشینه خارجی

۱. (Gupta, A, 2022)

مطالعه در مدیریت زیرساخت‌های حمل‌ونقل نشان داد که روش‌های هیبریدی MCDM می‌توانند تصمیمات پیچیده در شرایط عدم قطعیت را بهتر مدیریت کنند.

۲. (Smith, J, 2020)



مطالعه در انتخاب مصالح پایدار ساختمانی نشان داد که معیارهای اجتماعی و عملکردی بیشترین وزن را در انتخاب مصالح دارند و بلوک خاکی فشرده (CEB) به عنوان گزینه برتر معرفی شد.

۳. (۲۰۲۰. Navandar, Y.V, Das, S, Gupta, A)

این مطالعه در Springer به کاربرد روش های MCDM در مدیریت زیرساخت های حیاتی پرداخت و نتیجه گرفت که روش های هیبریدی (ترکیبی) می توانند عدم قطعیت و چندمعیاره بودن تصمیمات در پروژه های حمل و نقل و سازه های حیاتی را بهتر مدیریت کنند.

۴. (۲۰۱۸. Zavadskas, E.K, Antucheviciene, J, Vilutiene, T, Adeli, H)

پژوهش در مجله Sustainability نشان داد که استفاده از روش های MCDM در تصمیم گیری پایدار در عمران طی سال های اخیر رشد چشمگیری داشته و به ویژه در انتخاب مصالح و فناوری های پایدار مؤثر بوده است.

۵. (۲۰۱۷. Antucheviciene, J)

پژوهش در زمینه مکان یابی پروژه های شهری نشان داد که ترکیب AHP و فازی می تواند نتایج دقیق تر و واقع بینانه تری ارائه دهد.

نتیجه گیری

تصمیم گیری چندمعیاره (MADM/MCDM) در مهندسی عمران به عنوان یکی از ابزارهای بنیادین، توانسته است جایگاه ویژه ای در حل مسائل پیچیده و چندبعدی این حوزه پیدا کند. پروژه های عمرانی همواره با معیارهای متناقضی مانند هزینه، زمان، کیفیت، ایمنی، پایداری زیست محیطی و رضایت ذی نفعان مواجه اند. استفاده از روش های MADM این امکان را فراهم می سازد که تصمیم گیرندگان بتوانند تمامی این معیارها را به صورت همزمان در نظر گرفته و به انتخابی علمی و منطقی دست یابند. روش های کلاسیک مانند AHP، TOPSIS و VIKOR به دلیل ساختار ساده و قابلیت کاربرد در مسائل مختلف، همچنان پرکاربردترین ابزارها در پروژه های عمرانی هستند. AHP با ساختار سلسله مراتبی خود توانسته است معیارهای کمی و کیفی را ترکیب کند، TOPSIS گزینه نزدیک به راه حل ایده آل را معرفی کرده و VIKOR در شرایطی که معیارها متناقض اند، راه حل مصالحه ای ارائه داده است. در کنار این ها، روش های پیشرفته تر مانند ELECTRE و PROMETHEE توانسته اند مسائل پیچیده تر را پوشش دهند و در انتخاب پیمانکاران، مکان یابی پروژه ها و رتبه بندی گزینه های طراحی سازه ها نقش مؤثری ایفا کنند. یکی از مهم ترین دستاوردهای پژوهش های اخیر، ورود مدل های فازی به حوزه MADM بوده است. این مدل ها توانسته اند عدم قطعیت و قضاوت های زبانی را مدیریت کنند و در پروژه های عمرانی که داده ها اغلب ناقص یا کیفی اند، تحلیل دقیق تر و واقع بینانه تری ارائه دهند. ترکیب روش های کلاسیک با مدل های فازی، مانند AHP فازی و TOPSIS فازی، در پروژه های ساختمانی منجر به کاهش هزینه و زمان و افزایش کیفیت شده است. کاربردهای MADM در مهندسی عمران بسیار گسترده اند: از مدیریت پروژه و مهندسی ارزش گرفته تا انتخاب مصالح پایدار، طراحی سازه ها، مکان یابی پروژه های عمرانی، مدیریت ریسک و قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی (PPP). نتایج پژوهش ها نشان داده اند که استفاده از این روش ها توانسته است هزینه ها را کاهش دهد، کیفیت پروژه ها را افزایش دهد و ریسک ها را به طور مؤثری مدیریت کند. برای



مثال، در انتخاب مصالح پایدار، معیارهای اجتماعی و عملکردی بیشترین وزن را داشته‌اند و در مدیریت ریسک پروژه‌های زیرساختی، روش‌های Critic و VIKOR توانسته‌اند ریسک‌های مهم را شناسایی و اولویت‌بندی کنند.

در نهایت، می‌توان گفت که MADM نه تنها یک ابزار تصمیم‌گیری، بلکه یک رویکرد جامع برای مدیریت پیچیدگی‌های پروژه‌های عمرانی است. آینده پژوهش در این حوزه به سمت مدل‌های هیبریدی، ترکیب با فناوری‌های نوین مانند BIM، اینترنت اشیا و کلان داده‌ها حرکت می‌کند. این روندها امکان تصمیم‌گیری پویا و نزدیک به زمان واقعی را فراهم خواهند کرد. با این حال، چالش‌هایی مانند مدل‌سازی دقیق عدم قطعیت، مقیاس‌پذیری و اعتبارسنجی میدانی نتایج همچنان باقی است.

بنابراین، نتیجه کلی این مقاله آن است که روش‌های MADM با رویکردهای کیفی و فازی، ابزاری قدرتمند برای ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری در مهندسی عمران محسوب می‌شوند. این روش‌ها توانسته‌اند تصمیمات پیچیده را ساختارمند کنند، معیارهای متناقض را مدیریت نمایند و نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر ارائه دهند. ترکیب آن‌ها با فناوری‌های نوین، آینده‌ای روشن برای کاربرد MADM در پروژه‌های عمرانی ترسیم می‌کند؛ آینده‌ای که در آن تصمیم‌گیری‌ها نه تنها علمی‌تر و دقیق‌تر، بلکه پایدارتر و همسو با نیازهای جامعه خواهد بود.

فهرست منابع

منابع داخلی

- احمدی، ر. (۱۳۹۱). استفاده از روش TOPSIS در انتخاب مصالح پایدار ساختمانی. فصلنامه پژوهش‌های عمرانی، ۸(۲)، ۷۷-۸۸.
- جعفری، س. (۱۳۹۴). کاربرد MADM فازی در مهندسی ارزش پروژه‌های ساختمانی. مجله مهندسی ارزش ایران، ۷(۲)، ۵۵-۶۶.
- حسینی، م. (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک پروژه‌های عمرانی با روش VIKOR. مجله مدیریت ساخت، ۹(۴)، ۳۳-۴۴.
- رضایی، ن. (۱۴۰۱). مدل‌سازی مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل‌ونقل شهری با AHP فازی. مجله برنامه‌ریزی شهری، ۶(۴)، ۸۸-۹۹.
- شریفی، ح. (۱۳۹۸). کاربرد MADM در انتخاب طرح اختلاط بتن پودری واکنشی (RPC). مجله مصالح نوین، ۱۱(۳)، ۶۷-۷۸.
- فضیلتی، م. (۱۳۹۷). ترکیب مهندسی ارزش با MADM فازی در پروژه‌های ساختمانی. مجله عمران و توسعه، ۱۴(۲)، ۸۹-۱۰۲.
- فضیلتی، م. (۱۳۹۰). کاربرد روش AHP در مدیریت پروژه‌های عمرانی. مجله مهندسی عمران ایران، ۱۲(۳)، ۴۵-۵۶.
- قاسمی، ز. (۱۳۹۹). مدیریت ریسک قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی با روش Critic. مجله مدیریت ساخت، ۱۲(۲)، ۴۵-۵۹.
- کریمی، ع. (۱۳۹۲). مدل‌سازی مکان‌یابی پروژه‌های شهری با استفاده از ELECTRE. مجله برنامه‌ریزی شهری، ۵(۱)، ۱۰۱-۱۱۵.
- مرادی، ح. (۱۳۹۵). انتخاب پیمانکاران پروژه‌های عمرانی با استفاده از PROMETHEE. مجله مدیریت پروژه، ۱۰(۱)، ۲۳-۳۴.

منابع خارجی

- Brans, J. P., & Vincke, P. (۱۹۸۵). PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM. International Journal of Systems Science, ۲۱(۲), ۶۴۷-۶۵۶.
- Gupta, A. (۲۰۲۲). Hybrid MCDM approaches for infrastructure management under uncertainty. International Journal of Project Management, ۴۰(۱), ۵۵-۷۰.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (۱۹۸۱). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer.

- Opricovic, S. (۱۹۹۸). Multi-criteria optimization of civil engineering systems. Belgrade: Faculty of Civil Engineering.
- Roy, B. (۱۹۶۸). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Paris: SEMA.
- Saaty, T. L. (۱۹۸۰). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.
- Smith, J. (۲۰۲۰). Sustainable construction materials selection using MCDM methods. Construction Management Journal, ۱۸(۴), ۲۰۱-۲۱۵
- Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (۲۰۱۱). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. CRC Press.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Kaplinski, O. (۲۰۱۵). Application of MCDM methods in civil engineering. Journal of Civil Engineering and Management, ۲۱(۳), ۲۶۷-۲۷۷
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Vilutiene, T., Adeli, H. (۲۰۱۸). Sustainable decision-making in civil engineering: MCDM approaches. Sustainability, ۱۰(۲), ۱-۲۰