

روش های تصمیم گیری چند شاخصه برای انتخاب مصالح ساختمانی پایدار و سبز: یک مرور سیستماتیک

محمد شریفی نیا^{۱*}، مهدی فضیلتی^۲

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

پست الکترونیکی: mohamaadsharifinia25@gmail.com

^۲مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

پست الکترونیکی: fazilati2001@yahoo.com

چکیده

این مرور سیستماتیک به بررسی کاربرد روش های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM یا Multi-Attribute Decision-Making) در انتخاب مصالح ساختمانی پایدار در صنعت ساخت و ساز می پردازد. در مجموع ۲۱ مطالعه داوری شده که بین سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵ منتشر شده اند که از گوگل اسکولار (Google Scholar) و منابع علمی مرتبط جمع آوری شدند. مقالات منتخب بر اساس حوزه کاربردی، روش های MADM، معیارهای تصمیم گیری و مشارکت های کلیدی مورد تجزیه و تحلیل و دسته بندی قرار گرفتند. این مرور، استفاده گسترده از تکنیک های کلاسیک مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تاپسیس (TOPSIS) را در کنار رویکردهای پیشرفته شامل روش های فازی (Fuzzy)، نوتروسوفیک (Neutrosophic)، مارکوس (MARCOS) و روش های مبتنی بر مونت کارلو (Monte Carlo) برجسته می کند. معیارهای کلیدی تصمیم گیری شناسایی شده در میان مطالعات، شامل عوامل اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی، کیفی و فنی است که نشان دهنده تأکید فزاینده بر پایداری در پروژه های ساختمانی است. یافته ها روند توسعه روش شناختی، معیارهای ارزیابی مشترک و شکاف های موجود در تحقیقات فعلی را آشکار می سازند و بینش های ارزشمندی را برای پژوهشگران و دست اندرکارانی که هدفشان بهبود تصمیم گیری در ساخت و ساز پایدار است، فراهم می کنند.

کلمات کلیدی: تصمیم گیری چند شاخصه، MADM، انتخاب مصالح سبز، انتخاب مصالح پایدار، انتخاب تأمین کننده سبز.

۱- مقدمه

انتخاب مصالح ساختمانی مناسب به عنوان یک تصمیم چند معیاره پیچیده، نقش حیاتی در تحقق اهداف پایداری اقتصادی، محیط زیستی، اجتماعی، فنی و کیفیت پروژه های عمرانی ایفا می کند. برای مواجهه با این پیچیدگی، روش های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) به عنوان ابزار های کارآمد برای ارزیابی نظام مند گزینه ها مورد توجه قرار گرفته اند و تکنیک های TOPSIS [۳،۷،۱۱،۱۲،۲۰،۲۱]، AHP [۲،۱۸،۲۰،۲۱]، روش های فازی [۵،۹،۱۳-۱۶،۱۸-۲۰] و آنتروپی [۵،۷،۱۱،۱۲،۱۴] در مطالعات متعددی به کار گرفته شده اند. با این حال مرور آن ها نشان میدهد پژوهش های موجود، از پراکندگی و عدم انسجام رنج میبرند؛ به گونه ای که در زمینه های کاربردی، روش های مورد استفاده و مجموعه معیار های ارزیابی، تنوع و ناسازگاری قابل توجهی دیده میشود؛ این آشفتگی درک یکپارچه از دستاوردها، شناسایی شکاف ها و ترسیم مسیر آینده پژوهش را برای محققان و متخصصان دشوار ساخته است. هدف این مقاله مروری، پر کردن این شکاف با ارائه ی یک تحلیل نظام مند و ساختار یافته از مطالعات منتخب در این حوزه است. در این راستا، پژوهش حاضر با دسته بندی و تحلیل تطبیقی مطالعات بر اساس چهار محور اصلی «روش های تصمیم گیری»، «معیار های تصمیم گیری»، «حوزه کاربردی» و «مشارکت کلیدی» انجام شده است. دستاورد و نوآوری اصلی این مرور، ارائه ی چشم اندازی منسجم و یکپارچه از روند های تحقیقاتی جاری، تحولات روش شناختی و همچنین تبیین شکاف های دانش و جهت گیری های پیشنهادی در حوزه انتخاب مصالح پایدار با استفاده از رویکردهای MADM می باشد.

۲- روش شناسی

۲-۱- منابع داده و استراتژی جستجو

این مرور سیستماتیک، ۲۱ مطالعه تأثیرگذار بازبینی شده از گوگل اسکولار و پایگاه های داده علمی مرتبط را با هدف ارائه نقشه ای از روند های فعلی MADM به عنوان پایگاه داده علمی اولیه، ترکیب می کند. فرآیند جستجو بر مقالات مجلات داوری شده مرتبط با روش های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) اعمال شده بر مصالح ساختمانی پایدار و انتخاب تأمین کننده سبز متمرکز بود. اصطلاحات کلیدی جستجو شامل تصمیم گیری چند شاخصه، MADM، MCDM، Multi-Attribute، Decision-Making، مصالح پایدار، انتخاب مصالح سبز و انتخاب تأمین کننده سبز بود. تنها مقالات منتشر شده بین سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵ برای اطمینان از ارتباط و به روز بودن مطالعات مورد بررسی، در نظر گرفته شدند.

۲-۲- انتخاب و گزینش

مطالعات جستجوی اولیه منجر به پیدایش تعداد زیادی از انتشارات شد. ابتدا عناوین و چکیده ها برای حذف مطالعات غیرمرتبط گزینش شدند. مقالات در صورتی وارد فرآیند شدند که به طور صریح تکنیک های MADM یا تصمیم گیری چند معیاره MCDM را در انتخاب مصالح یا انتخاب تأمین کننده در چارچوب پایداری یا ساخت و ساز به کار گرفته بودند. مقالات کنفرانسی، اسناد داوری نشده و مطالعات خارج از حوزه ساخت و ساز حذف شدند. پس از این فرآیند گزینش، در مجموع ۲۱ مقاله مجله برای تجزیه و تحلیل دقیق انتخاب شد.

۳-۲- استخراج و تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای هر مطالعه منتخب، اطلاعات کلیدی به طور سازمان یافته استخراج شد، از جمله حوزه کاربردی، معیارهای تصمیم‌گیری، روش‌های MADM به کارگرفته شده و مشارکت‌های اصلی. داده‌های استخراج شده در یک جدول مقایسه‌ای سازمان‌دهی شدند تا تحلیل‌های بین مطالعه‌ای آسان شود. این رویکرد شناسایی روش‌های پرکاربرد، معیارهای ارزیابی غالب و روندهای روش‌شناختی نوظهور در تصمیم‌گیری ساخت و ساز پایدار را ممکن ساخت.

۳- نتایج و بحث

این بخش نتایج مرور سازمان یافته کاربردهای MADM در انتخاب مصالح ساختمانی پایدار را ارائه می‌دهد مطالعات منتخب با توجه به تمرکز کاربردی، روش‌های MADM به کارگرفته شده، معیارهای تصمیم‌گیری و مشارکت‌های کلیدی مورد بررسی قرار گرفتند. جدول ۱ ویژگی‌های اصلی مطالعات مورد بررسی را خلاصه می‌کند و به عنوان پایه‌ای برای تحلیل‌های بعدی عمل می‌کند.

جدول ۱- خلاصه‌ای از مطالعات بررسی شده در مورد روش‌های MADM برای انتخاب مصالح ساختمانی پایدار

شماره	عنوان	سال	نوع مقاله	روش‌های MADM	تمرکز اصلی	معیارهای تصمیم‌گیری	مشارکت کلیدی
۱	Sensitivity analysis in MADM methods: Application of material selection	۲۰۱۶	پژوهشی	SWARA, MOORA, WASPAS	انتخاب مصالح	بهره‌وری انرژی، ویژگی‌های مغناطیسی، عملکرد حرارتی	بررسی حساسیت نرمال سازی
۲	Commercially available materials selection in sustainable design: An integrated multi-attribute decision-making approach	۲۰۱۶	پژوهشی	GRA, AHP	طراحی انتخاب مصالح	رضایت از محصول، عملکرد اجتماعی، محیطی، اقتصادی	رویکرد MADM یکپارچه
۳	Green material selection for sustainability: A hybrid MCDM approach	۲۰۱۷	پژوهشی	GRA, TOPSIS, ANP, DEMATEL, GTOPSIS, DANP	انتخاب مصالح سبز	هزینه مصالح، ویژگی‌های فیزیکی، محیطی، اقتصادی	رویکرد MCDM ترکیبی

۴	Multi-criteria selection of building materials	۲۰۱۸	پژوهشی	روش z-Value، روش محدوده اختلاف، روش امتیازدهی، روش رتبه بندی	انتخاب مصالح چند معیاره	کیفیت هوای داخلی، تأثیر چرخه حیات، ویژگی های مکانیکی، عملکرد حرارتی، مقاومت در برابر آتش، عملکرد آکوستیک	چارچوب ریاضی مقایسه مصالح
۵	Entropy-based fuzzy TOPSIS framework for selection of a sustainable building material	۲۰۱۹	پژوهشی	روش آنترופی، تاپسیس فازی	انتخاب مصالح پایدار	انعطاف پذیری، ایمنی سلامت انسان، قابلیت بازیافت، هزینه چرخه حیات، مصرف منابع پتانسیل گرمایش جهانی	تاپسیس فازی با وزن یکپارچه
۶	A new hybrid MCDM model: Sustainable supplier selection in a construction company	۲۰۱۹	پژوهشی	FUCOM, COPRAS, ARAS, WASPAS, SAW, MABAC	انتخاب تأمین کننده پایدار	کیفیت، هزینه، عملکرد محیطی، عملکرد اجتماعی، عملکرد اقتصادی	مدل MCDM ترکیبی جدید
۷	A new MCAM assessment GRA techniques with intuitionistic fuzzy entropy-based TOPSIS method for sustainable building materials supplier selection	۲۰۱۹	پژوهشی	آنترופی، TOPSIS, GRA, SAW	مدل انتخاب تأمین کننده	هزینه، قابلیت فنی، اعتبار تجاری	GRA تاپسیس فازی شهودی
۸	Green Supplier Selection via an Integrated Multi-Attribute Decision-Making Approach	۲۰۱۹	پژوهشی	IF-AHP, PROMETHE E II	انتخاب تأمین کننده سبز	عملکرد محیطی، انعطاف پذیری، تحويل، هزینه، کیفیت	IF-AHP PROMETH EE یکپارچه

شبه سازی مونت کارلو فازی یکپارچه	کیفیت، اهداف پایداری، ریسک ساخت، امتیاز LEED، هزینه	انتخاب مصالح سبز	MCDM، بهینه سازی عدد صحیح مختلط، Fuzzy EAHP، مونت کارلو فازی	پژوهشی	۲۰۲۰	Fuzzy Monte Carlo simulation optimization for selecting materials in green buildings	۹
رتبه بندی مصالح بر اساس SDG	هزینه، بهره وری آب، بهره وری انرژی، کیفیت هوای داخلی، بهره وری منابع، اهداف پایداری	رتبه بندی مصالح سبز	SWARA, COPRAS	پژوهشی	۲۰۲۰	Multi-criteria ranking of green materials according to the goals of sustainable development	۱۰
مدل ترکیبی G-DEA TOPSIS	قابلیت پردازش، عملکرد محیطی، عملکرد محصول، هزینه محیطی، هزینه	انتخاب مصالح سبز	بازدهی فوق العاده، وزن آنتروپی، G-CCR G-DEA TOPSIS DEA ،	پژوهشی	۲۰۲۱	Material selection in green design: A method combining DEA and TOPSIS	۱۱
مدل ترکیبی ANP- Entropy TOPSIS	تحویل، کیفیت، هزینه، نوآوری، رضایت، خدمات	انتخاب تأمین کننده ساختمان	وزن دهی ترکیبی، TOPSIS، وزن دهی آنتروپی، ANP	پژوهشی	۲۰۲۱	A hybrid multi-criteria decision-making approach based on ANP- entropy TOPSIS for building materials supplier selection	۱۲
مدل ارزیابی محیط عدم قطعیت	سازگاری، عملکرد محیطی، قابلیت نوآوری، کیفیت، هزینه	ارزیابی تأمین کننده سبز	اندازه گیری مبتنی بر فاصله، تحلیل مبتنی بر احتمال، تاپسیس فازی تردیدآمیز	پژوهشی	۲۰۲۱	A Multi-Attribute Decision Method under Uncertainty Environment Conditions-The Green Supplier Evaluation Perspective	۱۳
مدل TODIM ناهمگون ترکیبی	عملکرد محیطی، قابلیت اطمینان تأمین کننده، کیفیت، هزینه	انتخاب تأمین کننده سبز	Fuzzy VIKOR, Fuzzy TOPSIS Fuzzy BMW, TODIM, روش آنتروپی	پژوهشی	۲۰۲۱	Green Supplier Selection Under Cloud Manufacturing Environment: A Hybrid MCDM Model	۱۴

مدل MCDM ترکیبی جدید	ویژگی های فیزیکی، پایداری، عملکرد حرارتی، هزینه، تأثیر محیطی، بهره وری انرژی	ارزیابی مصالح عایق	ARAS, WASPAS, MARCOS, MACONT, CRITIC, Fuzzy BWM	پژوهشی	۲۰۲۲	A New Hybrid MCDM Model for Insulation Material Evaluation for Healthier Environment	۱۵
مدل MCDM فازی ترکیبی	تأثیر سلامت، هزینه چرخه حیات، عملکرد اجتماعی، عملکرد محیطی، هزینه، عملکرد فنی	انتخاب سیستم سازه‌ای	Fuzzy ARAS, Fuzzy SWARA, Fuzzy FDM	پژوهشی	۲۰۲۲	A Hybrid Fuzzy MCDM Methodology for Optimal Structural System Selection Compatible with Sustainable Materials in Mass-Housing Projects	۱۶
استراتژی تصمیم گیری استبدادی نوتروسوفیک	عملکرد مالی، عملکرد محیطی، کیفیت خدمات، هزینه، تحویل، کیفیت	انتخاب تأمین کننده	تابع امتیاز N، تابع امتیاز S، تابع امتیاز AZ، MADM استبدادی نوتروسوفیک	پژوهشی	۲۰۲۳	Neutrosophic Autocratic Multi-Attribute Decision-Making Strategies for Building Material Supplier Selection	۱۷
MADM نمودار نفوذ فازی	طراحی سبز، فناوری، همکاری، عملکرد محیطی، نوآوری، توسعه	انتخاب تأمین کننده سبز	ریشه دوم، مجموع وزنی، AHP، نظریه چشم‌انداز، نمودار نفوذ فازی	پژوهشی	۲۰۲۴	Application of multi-attribute decision-making method based on fuzzy influence diagram in green supplier selection	۱۸
روش تصمیم گیری Group- IF- ExpTODIM	عملکرد محیطی، تحویل، خدمات، هزینه، کیفیت	انتخاب تأمین کننده سبز	مقدار شاپلی، انتگرال شوکه، اندازه fuzz- λ ، IFNs, ExpTODIM, Group IF- ExpTODIM, AGDM	پژوهشی	۲۰۲۴	A Group Intuitionistic Fuzzy Exponential TODIM Method Considering Attribute Interactions Applied to Green Building Material Supplier Selection	۱۹

۲۰	Enhancing green building decision-making with a hybrid fuzzy AHP-TOPSIS model for material selection	۲۰۲۵	پژوهشی	TOPSIS, AHP فازی	انتخاب مصالح پایدار	ایمنی، دوام، هزینه، قابلیت بازیافت، تأثیر کربن، چرخه حیات	وزن دهی پویا مبتنی بر خبره
۲۱	Smart Sustainability in Construction: An Integrated LCA-MCDM Framework for Climate-Adaptive Material Selection in Educational Buildings	۲۰۲۵	پژوهشی	VIKOR, TOPSIS, AHP	انتخاب مصالح پایدار	عملکرد انرژی، عملکرد فنی، عملکرد اجتماعی، هزینه، تأثیر محیطی	چارچوب LCA-MCDM سازگار با اقلیم

۴- شرح مطالعات بررسی شده

جدول ۱، مروری جامع بر مطالعات بررسی شده ارائه می دهد و زمینه های اصلی کاربرد، روش های MADM به کار رفته، معیارهای تصمیم گیری و مشارکت های کلیدی آنها را خلاصه می کند؛ که شامل:

۴-۱- روند بر اساس سال

مطالعات بررسی شده بین سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵ منتشر شده اند که نشان دهنده رشد مداوم علاقه پژوهشی به کاربرد روش های MADM برای ساخت و ساز پایدار است. مطالعات اولیه عمدتاً بر تکنیک های کلاسیک [۱۰-۸، ۳-۱] و [۲۱، ۲۲، ۱۵، ۱۴، ۱۲] تصمیم گیری تکیه داشتند، در حالی که انتشارات اخیر تمایل واضحی به سمت رویکردهای MADM پیشرفته و ترکیبی [۱۹-۱۳، ۵، ۳] نشان می دهند. این روند بر افزایش پیچیدگی مسائل تصمیم گیری مرتبط با پایداری در بخش ساخت و ساز تأکید دارد.

۴-۲- تمرکز کاربردی مطالعات

براساس تحلیل ارائه شده در جدول ۱، مطالعات بررسی شده عمدتاً بر سه حوزه کاربردی متمرکز هستند: انتخاب مصالح ساختمانی پایدار [۲۱، ۲۰، ۱۱-۵، ۹]، انتخاب تأمین کننده سبز [۱۹-۱۷، ۱۴-۸، ۶] و ارزیابی سیستم های سازه ای یا عایق [۱۵، ۱۶]. مطالعات انتخاب مصالح اکثریت را تشکیل می دهند که بر اهمیت انتخاب مصالح مسئولانه از نظر زیست محیطی [۲۱-۱۱، ۸-۱] در پروژه های ساختمانی تأکید دارد. مطالعات انتخاب تأمین کننده عمدتاً به عوامل اقتصادی [۲-۱۷، ۱۹، ۵-۲، ۳]، اجتماعی [۲۱-۱۷، ۱۹، ۵-۲، ۳] و کیفی [۲۰، ۱۹، ۱۷، ۱۵-۹، ۳، ۲] می پردازند، در حالی که تعداد کمی از مطالعات بر سیستم های سازه ای و عایق [۱۵، ۱۶] تمرکز دارند.

۴-۳- تحلیل روش های MADM

طیف گسترده ای از روش های MADM در مطالعات بررسی شده به کار گرفته شده است. روش های کلاسیک [۲۱، ۲۰، ۱۸، ۱۴، ۱۲، ۱۱، ۷، ۵-۲، ۳] مانند AHP، TOPSIS و آنتروپی به دلیل سادگی و شفافیت به دفعات استفاده می شوند. علاوه بر این، چندین مطالعه از رویکردهای پیشرفته [۲۰-۱۳، ۹، ۵]، از جمله روش های مبتنی بر فازی، نوتروسوفیک،

MARCOS و روش های مبتنی بر مونت کارلو برای مدیریت بهتر عدم قطعیت و محیط های پیچیده تصمیم گیری استفاده می کنند. استفاده فزاینده از مدل های ترکیبی MADM [۱۶-۳،۵،۹،۱۱،۱۲،۱۴] نشان دهنده تلاشی برای ارتقای دقت تصمیم گیری با ترکیب نقاط قوت چندین تکنیک است.

۴-۴- معیارهای تصمیم گیری

معیارهای تصمیم گیری به کاررفته در مطالعات بررسی شده، طیف گسترده ای از ابعاد پایداری را پوشش می دهند. معیارهای اقتصادی مانند هزینه و مقرون به صرفه بودن [۲۱-۲،۳،۵-۱۷،۱۹] به طور مداوم در کنار عوامل محیطی [۲۱-۱۱،۱۳-۶،۸] از جمله تأثیر چرخه حیات، بهره وری انرژی و بهره وری آب در نظر گرفته می شوند، در حالی که جنبه های مرتبط با سلامت مانند کیفیت هوای داخلی [۲۰-۴،۵،۱۰،۱۶] در چندین مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. جنبه های اجتماعی [۱۶-۲،۵-۹،۱۲،۱۴] و فنی [۲۱-۱،۴،۷،۸،۱۰،۱۵،۱۶،۱۸،۲۱] مانند قابلیت فنی و فناوری و عملکرد محصول نیز به طور مکرر گنجانده شده اند. این مجموعه جامع از معیارها، نشان دهنده تغییری به سمت چارچوب های ارزیابی کل نگر در تصمیم گیری ساخت و ساز پایدار است.

۴-۵- مشارکت های کلیدی و مشاهدات

مطالعات بررسی شده با پیشنهاد چارچوب های MADM یکپارچه و ترکیبی برای تصمیم گیری پایدار در ساخت و ساز، به ادبیات موضوع کمک می کنند. بسیاری از مطالعات بر اهمیت ترکیب چندین تکنیک MADM [۱۶-۳،۵،۹،۱۱،۱۲،۱۴] برای رسیدگی به عدم قطعیت و بهبود قابلیت اطمینان ارزیابی تأکید دارند. با این حال، علی رغم پیشرفت های روش شناختی، چندین مطالعه بر مطالعات موردی محدود تکیه دارند [۲۱-۱،۴،۷،۸،۱۰،۱۳،۱۷،۱۸،۲۱] که فرصت هایی را برای تحقیقات آینده جهت اعتبارسنجی این رویکردها در کاربردهای گسترده تر در دنیای واقعی پیشنهاد می دهد.

۵- نتیجه گیری

این مطالعه یک مرور سیستماتیک از کاربرد روش های تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) در انتخاب مصالح ساختمانی پایدار ارائه داد و داده های ۲۱ مطالعه داوری شده منتشر شده بین سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵ را ترکیب کرد. یافته ها یک تکامل روش شناختی قابل توجه را در این حوزه تأیید می کنند که از تکیه اولیه بر تکنیک های کلاسیک [۱۰-۱،۳،۶-۸] به سمت چارچوب های ترکیبی پیشرفته [۱۹-۳،۵،۸،۱۳] شامل رویکردهای فازی، نوتروسوفیک و مبتنی بر مونت کارلو که برای رسیدگی به عدم قطعیت و پیچیدگی طراحی شده اند، در حال گذار است. فراتر از این تغییرات روش شناختی، این مرور حرکتی آشکار به سمت چارچوب های ارزیابی کل نگر را نشان می دهد که در آن معیارهای تصمیم گیری از مدل های سنتی هزینه محور فراتر رفته و ابعاد جامع اقتصادی [۲۱-۲،۳،۵-۱۷،۱۹]، محیطی [۲۱-۱۱،۱۳-۶،۸]، اجتماعی [۲۱-۲،۳،۵-۱۷،۱۹]، فنی [۲۱-۱،۴،۷،۸،۱۰،۱۵،۱۶،۱۸،۲۱] و کیفی [۲۰-۲،۳،۶،۹-۱۵،۱۷،۱۹،۲۰] را دربر می گیرند. علاوه بر این، دامنه تحقیقات از رتبه بندی ساده مصالح به حوزه های حیاتی مانند انتخاب تأمین کننده سبز [۱۹-۱۶،۱۷-۱۴،۱۲-۸،۶]، انتخاب مصالح ساختمانی [۲۱-۱۱،۲۰-۵،۹-۱] و ارزیابی سیستم های تخصصی سازه ای و عایق [۱۶،۱۵] گسترش یافته است. در حالی که این پیشرفت ها ابزارهای تصمیم گیری پیچیده ای را برای صنعت فراهم می کنند، شکاف تحقیقاتی مداوم در رابطه با اعتبارسنجی در دنیای واقعی در مقیاس بزرگ باقی مانده است که فرصت مهمی را برای مطالعات آینده جهت پل زدن میان مدل سازی نظری و اجرای عملی در ساخت و ساز برجسته می کند.

۶- محدودیت ها و تحقیقات آینده

این مرور علی رغم مشارکت های خود، محدودیت های خاصی دارد. تجزیه و تحلیل محدود به مطالعات بازیابی شده از گوگل اسکولار و منابع علمی مرتبط بود که منجر به تعداد نسبتاً کمی از مقالات بررسی شده شد. تحقیقات آینده می تواند منابع پایگاه داده را گسترش داده، تعداد بیشتری از مطالعات را شامل شود و تحلیل های مقایسه ای را برای ارزیابی بیشتر عملکرد روش های مختلف (MADM) در پروژه های ساختمانی واقعی انجام دهد.

مراجع

- [۱] Yazdani, Morteza, Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Ignatius, Joshua, & Abad, Manuel Doval. Sensitivity analysis in MADM methods: Application of material selection. *Engineering Economics*, 27(۴), ۳۸۲-۳۹۱. (۲۰۱۶). <http://dx.doi.org/10.5755/j.1.ee.27.4.14005>
- [۲] Zhao, Rui, Su, Han, Chen, Xiaolang, & Yu, Yanni. Commercially Available Materials Selection in Sustainable Design: An Integrated Multi-Attribute Decision Making Approach. *Sustainability*, 8(۱), ۷۹. (۲۰۱۶). <https://doi.org/10.3390/su8010079>
- [۳] Zhang, Honghao, Peng, Yong, Tian, Guangdong, Wang, Danqi, & Xie, Pengpeng. Green material selection for sustainability: A hybrid MCDM approach. *PLOS ONE*, 12(۵), e0۱۷۷۵۷۸. (۲۰۱۷). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177578>
- [۴] Maskell, Daniel, Thomson, Andrew, & Walker, Pete. Multi-criteria selection of building materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Construction Materials*, 171(۲), ۴۹-۵۸. (۲۰۱۸). <https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00064>
- [۵] Reddy, A. Suchith, Kumar, P. Rathish, & Raj, P. Anand. Entropy-based fuzzy TOPSIS framework for selection of a sustainable building material. *International Journal of Construction Management*. (۲۰۱۹). <https://doi.org/10.1080/15623099.2019.1683695>
- [۶] Aksakal, Berrak, Ulutaş, Alptekin, Balo, Figen, & Karabasevic, Darjan. A New Hybrid MCDM Model for Insulation Material Evaluation for Healthier Environment. *Buildings*, 12(۵), ۶۵۵. (۲۰۲۲). <https://doi.org/10.3390/buildings12050655>
- [۷] Chen, Chun-Ho. A New Multi-Criteria Assessment Model Combining GRA Techniques with Intuitionistic Fuzzy Entropy-Based TOPSIS Method for Sustainable Building Materials Supplier Selection. *Sustainability*, 11(۸), ۲۲۶۵. (۲۰۱۹). <https://doi.org/10.3390/su11082265>
- [۸] Yalcin, Ahmet Selcuk, & Kilic, Huseyin Selcuk. Green Supplier Selection via an Integrated Multi-Attribute Decision Making Approach. *Sakarya University Journal of Science*, 23(۶), ۱۰۶۶-۱۰۷۹. (۲۰۱۹). <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.462796>
- [۹] Marzouk, Mohamed. Fuzzy Monte Carlo simulation optimization for selecting materials in green buildings. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 28(۲), ۹۵-۱۰۴. (۲۰۲۰). <https://doi.org/10.3846/jee.2020.12087>
- [۱۰] Balali, Amirhossein, Valipour, Alireza, Zavadskas, Edmundas Kazimieras, & Turskis, Zenonas. Multi-Criteria Ranking of Green Materials According to the Goals of Sustainable Development. *Sustainability*, 12(۲۲), ۹۴۸۲. (۲۰۲۰). <https://doi.org/10.3390/su12229482>
- [۱۱] Peng, Cheng, Feng, Dianshuang, & Guo, Sidai. Material Selection in Green Design: A Method Combining DEA and TOPSIS. *Sustainability*, 13(۱۰), ۵۴۹۷. (۲۰۲۱). <https://doi.org/10.3390/su13105497>

- [12]Chen, Chun-Ho.. A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach Based on ANP-Entropy TOPSIS for Building Materials Supplier Selection. *Entropy*, 23(12), 1097. (2021).
<https://doi.org/10.3390/e23121097>
- [13]Xu, Hao, Chen, Liuxin, Li, Qiongfang, & Yang, Jianchao. A Multi-Attribute Decision Method under Uncertainty Environment Conditions—The Green Supplier Evaluation Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 333. (2021).
<https://doi.org/10.3390/ijerph18010333>
- [14]Li, Dan-Ping, Xie, Li, Cheng, Peng-Fei, Zhou, Xiang-Hong, & Fu, Cheng-Xun.. Green Supplier Selection Under Cloud Manufacturing Environment: A Hybrid MCDM Model. *SAGE Open*, 11(4), 1–19. (2021).
<https://doi.org/10.1177/21582440211057112>
- [15]Matić, Bojan, Jovanović, Stanislav, Das, Dillip Kumar, Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Stević, Željko, Sremac, Siniša, & Marinković, Milan. A New Hybrid MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in a Construction Company. *Symmetry*, 11(3), 303. (2019).
<https://doi.org/10.3390/sym11030303>
- [16]Aghazadeh, Ebrahim, Yildirim, Hasan, & Kuruoglu, Murat. A Hybrid Fuzzy MCDM Methodology for Optimal Structural System Selection Compatible with Sustainable Materials in Mass-Housing Projects. *Sustainability*, 14(20), 13009. (2022).
<https://doi.org/10.3390/su142013009>
- [17]Nafei, Amirhossein, Huang, Chien-Yi, Chen, Shu-Chuan, Huo, Kuang-Zong, Lin, Yi-Ching, & Nasseri, Hadi. Neutrosophic Autocratic Multi-Attribute Decision-Making Strategies for Building Material Supplier Selection. *Buildings*, 13(6), 1373. (2023).
<https://doi.org/10.3390/buildings13061373>
- [18]Peng, Xinyong, Zhao, Yue, Cai, Yaojun, & Su, Xin. Application of multi-attribute decision-making method based on fuzzy influence diagram in green supplier selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 19(2), 6111. (2024).
<https://doi.org/10.15837/ijccc.2024.2.6111>
- [19]Jia, Zhili, Liu, Liyi, & Diao, Zhaofeng.. A Group Intuitionistic Fuzzy Exponential TODIM Method Considering Attribute Interactions Applied to Green Building Material Supplier Selection. *Sustainability*, 16(18), 7880. (2024). <https://doi.org/10.3390/su16187880>
- [20]Cheng, Weiran, Hu, Manting, & Wu, Chaonan.. Enhancing green building decision-making with a hybrid fuzzy AHP-TOPSIS model for material selection. *Applied Water Science*, 15(5), 129. (2020).
<https://doi.org/10.1007/s13201-020-02481-7>
- [21]Mlybari, Ehab A. Smart Sustainability in Construction: An Integrated LCA-MCDM Framework for Climate-Adaptive Material Selection in Educational Buildings. *Sustainability*, 17(21), 9600. (2020).
<https://doi.org/10.3390/su17219600>