



بکارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری AHP و TOPSIS برای ارزیابی اثرات زیست محیطی در پروژه‌های ساخت و ساز

فاطمه طرفی

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

خلاصه

هدف از این پژوهش، پیشنهاد رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی (FMCDM) به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی در پروژه‌های ساخت و ساز، با توجه به رتبه‌بندی معیارهای کیفی و زیرمعیارهایی است که به عنوان متغیرهای زبانی در نظر گرفته می‌شوند. دو روش FMCDM برای حل مسئله پیشنهاد شده است: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی بکار گرفته شد که مهمترین معیارها به ترتیب، تخریب زیستگاه‌ها، آلودگی هوا، مصرف منابع طبیعی، آلودگی آب و تولید زباله‌های ساختمانی خروجی این روش بود و گسترش تکنیک فازی برای اولویت بندی با شباهت به راه حل ایده آل (FTOPSIS) با هدف رتبه بندی آلترناتیوهای کاهش اثرات زیست محیطی اعمال شد. وزن آلترناتیوها در نتایج تجربی به ترتیب ساخت و ساز سبز، استفاده از تکنولوژی‌های سبز، استراتژی‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، استفاده از مواد بازیافتی، استراتژی‌های مدیریت پسماند، کاهش آلودگی صوتی است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی رویکردی قابل اجرا در حل مسئله است. وقتی رتبه‌بندی‌های عملکرد مبهم و نادقیق هستند، MCDM فازی یک روش حل ترجیحی است.

کلمات کلیدی: AHP، TOPSIS، فازی، اثرات زیست محیطی.

۱. مقدمه

با توجه به رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز به زیرساخت‌های جدید، پروژه‌های ساخت و ساز به عنوان یکی از بخش‌های کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع به شمار می‌آیند. با این حال، این پروژه‌ها به دلیل ماهیت خود، می‌توانند اثرات قابل توجهی بر محیط زیست داشته باشند. این اثرات می‌تواند شامل آلودگی هوا و آب، تخریب زیستگاه‌ها، مصرف بیش از حد منابع طبیعی و تولید زباله‌های ساختمانی باشد. در این راستا، ارزیابی اثرات محیطی پروژه‌های ساخت و ساز به یکی از دغدغه‌های اصلی طراحان و تصمیم‌گیرندگان تبدیل شده است.

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ به ویژه مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ و تکنیک رتبه‌بندی بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل^۳ ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل و ارزیابی پیچیدگی‌های این نوع تصمیمات هستند. این مدل‌ها به مدیران پروژه

¹. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

². Analytical Hierarchy process (AHP)

³. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)



کمک می کنند تا با در نظر گرفتن معیارهای مختلف (مانند هزینه، زمان، کیفیت و اثرات محیطی)، بهترین گزینه را برای اجرای پروژه های ساخت و ساز انتخاب کنند.

در این مقاله، به بررسی نحوه استفاده از مدل های AHP و TOPSIS برای ارزیابی اثرات محیطی در پروژه های ساخت و ساز پرداخته خواهد شد. هدف از این مطالعه، ارائه یک چارچوب تصمیم گیری جامع است که با ترکیب این دو مدل، به مدیران پروژه های ساخت و ساز کمک کند تا ضمن کاهش اثرات منفی زیست محیطی، به بهره وری بهینه و کاهش هزینه ها نیز دست یابند. همچنین، این مقاله به تحلیل مقایسه ای مزایا و معایب هر دو مدل در این زمینه خواهد پرداخت. با توجه به اهمیت روزافزون حفظ محیط زیست و پایش اثرات پروژه های ساختمانی، نتایج این مطالعه می تواند به عنوان یک راهنمای عملی برای تصمیم گیرندگان در صنعت ساخت و ساز، ارگان های دولتی و مشاوران محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد

با توجه به اینکه پروژه های ساخت و ساز به عنوان یکی از بزرگترین بخش های اقتصادی در سراسر جهان است و نقشی حیاتی در توسعه زیرساخت ها و اقتصاد کشورها ایفا می کنند. با این حال، این پروژه ها همواره با چالش هایی در زمینه اثرات محیطی همراه هستند. اثرات منفی زیست محیطی پروژه های ساختمانی می تواند شامل تخریب منابع طبیعی، آلودگی خاک، هوا و آب، و کاهش تنوع زیستی باشد (Zhang et al., 2020). بنابراین، ارزیابی و مدیریت این اثرات به یکی از دغدغه های اصلی مهندسان و مدیران پروژه تبدیل شده است.

در این راستا، مدل های تصمیم گیری چندمعیاره MCDM به عنوان ابزارهایی مفید برای ارزیابی و انتخاب گزینه های بهینه در مواجهه با پیچیدگی های اثرات محیطی شناخته شده اند. مدل های AHP و TOPSIS از جمله متداول ترین روش ها برای حل اینگونه مسائل پیچیده به شمار می آیند. این مدل ها قادر به ترکیب معیارهای مختلف از جمله هزینه، زمان، کیفیت و اثرات محیطی در یک ساختار منطقی و سیستماتیک هستند (Saaty, 1980; Hwang & Yoon, 1981).

در سال های اخیر، مطالعات متعددی به بررسی کاربرد این مدل ها در ارزیابی اثرات محیطی پروژه های ساخت و ساز پرداخته اند. به عنوان مثال، (Li et al., 2019) در تحقیقی استفاده از AHP و TOPSIS برای ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه های ساختمانی در چین را بررسی کرده و نشان داده اند که این مدل ها می توانند به انتخاب بهینه ترین روش های کاهش اثرات محیطی کمک کنند. همچنین، (Cheng et al., 2021) در یک مطالعه مشابه در هند، از مدل های AHP و TOPSIS برای مقایسه استراتژی های مختلف کاهش آلودگی در پروژه های ساخت و ساز استفاده کردند و نتایج نشان داد که این مدل ها می توانند ابزارهایی موثر برای ارزیابی پروژه های پایدار باشند.

علاوه بر این، (Agrawal et al., 2022) در یک مقاله جدید به ترکیب مدل های AHP و TOPSIS برای ارزیابی پایداری زیست محیطی در پروژه های ساخت و ساز پرداخته اند و بر این نکته تأکید کرده اند که این روش ها نه تنها در ارزیابی اثرات زیست محیطی بلکه در انتخاب مواد و تکنیک های ساخت سبز نیز کاربرد دارند. در این راستا، استفاده از مدل های AHP و TOPSIS به تصمیم گیرندگان کمک می کند تا با در نظر گرفتن اثرات کوتاه مدت و بلندمدت محیطی، تصمیمات بهینه ای اتخاذ کنند (Wang et al., 2019). طرفی و همکاران (۲۰۰۹) یک رویکرد تصمیم گیری چند معیاره فازی (FMCDM) را برای ارزیابی گزینه های جایگزین با توجه به سفارش های ترجیحی کاربر پیشنهاد کردند. دو روش فازی برای حل مساله MCDM پیشنهاد شده است: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) برای تعیین وزن نسبی معیارهای ارزیابی و تکنیک فازی برای اولویت سفارش با شباهت به راه حل ایده آل (FTOPSIS) برای رتبه بندی گزینه ها استفاده می شود.



این مقاله به بررسی نحوه استفاده از این مدل‌ها برای ارزیابی اثرات محیطی پروژه‌های ساخت و ساز می‌پردازد و با تحلیل نمونه‌های عملی، مزایا و محدودیت‌های هر یک از این مدل‌ها را در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی پروژه‌ها بررسی می‌کند. هدف اصلی این مطالعه، ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیری جامع است که بتواند به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب گزینه‌های بهینه از نظر زیست‌محیطی در پروژه‌های ساختمانی کمک کند.

۲. چارچوب ارزیابی

MCDM یک ابزار قدرتمند است که بطور گسترده‌ای برای حل مشکلات تصمیم‌گیری استفاده می‌شود با معیارهای چندگانه و معمولاً متناقض اگر چه این روش‌ها بسیار قدرتمند می‌باشد ولی به دلیل عدم دقت ممکن ناشی از دلایلی مثل اطلاعات غیرقابل سنجش، اطلاعات ناقص و آگاهی‌های جزئی و... روش‌های عرفی MCDM در برابر مسائلی با اطلاعات غیردقیق نمی‌توانند کارایی و تاثیر لازم را داشته باشند. لذا ضرورت ارائه روشی که بتواند به سادگی محاسباتی تمام نواقص موجود در روش‌های MCDM را پوشش دهد ضروری به نظر می‌آید در این مقاله سعی شده است که با ارائه روش جدید در MCDM فازی که هم سادگی محاسباتی و هم دقت در تصمیم‌گیری را داشته باشد گامی در این زمینه برداشته شود.

در این مقاله ابتدا از FAHP برای تعیین وزن معیارها و بعد از طریق تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. همچنین جهت بررسی دقت آن این روش با روش کلاسیک قطعی مقایسه شده و نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

این روش در سه مرحله بطور خلاصه بیان می‌شود:

۱. انتخاب مهم‌ترین معیارها

۲. ساخت درخت سلسه‌مراتبی معیارهای ارزیابی و محاسبه وزن معیارها از طریق AHP فازی

۳. استفاده از تاپسیس فازی برای دستیابی به رتبه‌بندی نهایی

۲-۱. مدل AHP فازی

AHP یک روش تصمیم‌گیری قدرتمند برای تعیین اولویت‌ها در بین معیارهای مختلف است. AHP شامل شش مرحله اساسی است. ابتدا، به طور خلاصه عملیات اساسی نظریه فازی را قبل از توسعه AHP فازی و TOPSIS فازی به شرح زیر مرور می‌کنیم:

تعریف ۱:

هر مجموعه فازی مانند $\bar{a}$ در یک جامعه X با یک تابع $\mu_{\bar{a}}(x)$ مشخص می‌شود که همراه با هر عنصر x در X یک عدد بین فاصله $[0, 1]$ وجود دارد و تابع $\mu_{\bar{a}}(x)$ درجه عضویت x در $\bar{a}$ را نشان می‌دهد [۵۲] در این پایان‌نامه ما از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌کنیم که به صورت (a_1, a_2, a_3) تعریف می‌شوند و شمای مفهومی و فرم ریاضی آن در معادله (۱) نشان داده شده است.



$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 < x \leq a_3 \\ 1 & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

تعریف ۲:

اگر $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ دو عدد فازی مثلثی باشند فاصله‌ی آن دوازهم دیگر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$d(\hat{a}, \hat{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (2)$$

تعریف ۳:

اگر $\tilde{a}$ یک عدد فازی باشد یک α برش از آن نمایش داده می‌شود به صورت:

$$\tilde{a}_\alpha = [(a_2 - a_1)\alpha + a_1, a_3 - (a_3 - a_2)\alpha] \quad (3)$$

تعریف ۴:

فرض $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ و $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ دو عدد فازی مثلثی باشند و $\tilde{a}_\alpha, \tilde{b}_\alpha$ برش‌های α و $\tilde{b}$ باشند تقسیم دو عدد فازی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{\tilde{a}_\alpha}{\tilde{b}_\alpha} = \left[\frac{(a_2 - a_1)\alpha + a_1}{-(b_3 - b_2)\alpha + b_3}, \frac{-(a_3 - a_2)\alpha + a_3}{(b_2 - b_1)\alpha + b_1} \right] \quad (4)$$

وقتی $\alpha = 0$

$$\frac{\tilde{a}_\alpha}{\tilde{b}_\alpha} = \left[\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_3}{b_1} \right] \quad (5)$$

وقتی $\alpha = 1$



$$\frac{\tilde{a}_1}{\tilde{b}_1} = \left[\frac{(a_2 - a_1) + a_1}{-(b_3 - b_2) + b_3}, \frac{-(a_3 - a_2) + a_3}{(b_2 - b_1) + b_1} \right]$$

$$\frac{\tilde{a}_1}{\tilde{b}_1} = \left[\frac{a_2}{b_2}, \frac{a_2}{b_2} \right]$$

بنابراین مقدار تقریبی $\frac{\tilde{a}}{\tilde{b}}$ برابر خواهد بود:

$$\frac{\tilde{a}}{\tilde{b}} = \left[\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1} \right] \quad (6)$$

تعریف ۵:

فرض کنید که $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ دو عدد واقعی هستند اندازه فاصله $d(\tilde{a}, \tilde{b})$ همانند فاصله اقلیدسی می باشد.

عملکردهای اصلی روی اعداد فازی به صورت زیر تعریف می شوند.

$$\tilde{a} \times \tilde{b} = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (7)$$

$$\tilde{a} + \tilde{b} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (8)$$

با توجه به نظریه فازی فوق الذکر، روش AHP فازی پیشنهادی به صورت زیر تعریف می شود:

قدم ۱: AHP از چندین مساله فرعی کوچک برای ارائه یک مسئله تصمیم گیری پیچیده استفاده می کند. بنابراین، اولین اقدام تجزیه مسئله تصمیم به یک سلسله مراتب با هدف در بالا، معیارها و زیر معیارها در سطوح و سطوح فرعی و آلترناتیوهای تصمیم در پایین سلسله مراتب است.

قدم ۲: _____

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی که شامل مقایسات زوجی بین عناصر تشکیل دهنده شد در سطحی می باشد که با جز اسطح بالاتر در راتب اطمینان باشند.



$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} c_1 & c_2 & c_3 & \dots & c_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

که عنصر $[x_{ij}]$ را می توانیم به عنوان میزان ارزیابی معیار i ام نسبت به معیار j ام تعبیر کنیم این نشان می دهد که اوزان بدست آمده از طریق مقایسات زوجی از اوزانی که مستقیماً بدست آمده اند قابل اعتمادتر است زیرا مقایسه بین دو مشخصه از انتساب وزن بطور کلی آسانتر است

قبل از انجام محاسبات، بردار ارزیابی های ماتریس تصمیم گیری باید نرمال گردد در محدوده $[0,1]$ از طریق معادله ی زیر

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (10)$$

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} c_1 & c_2 & c_3 & \dots & c_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \dots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (11)$$

قدم ۳: محاسبه شاخص ناسازگاری یا نرخ سازگاری

به منظور اینکه در مدت مرحله ارزیابی میزان سازگاری قضاوت تصمیم گیرندگان منعکس شود شاخص ناسازگاری ماتریس تصمیم و ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از معادله ی زیر محاسبه می شود [۵۶]

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} \quad (12)$$

که $\lambda_{\max}$ مقدار ویژه ی اصلی و N اندازه ماتریس ماتریس قضاوت (ارزیابی) می باشد.

اگر $(a_{ij} a_{jk} = a_{ik}, i, j, k)$ باشد، آنگاه برای همه معیارها برقرار باشد سازگاری برای همه ی ارزیابی ها تضمین می شود شاخص مربوطه باید از ۰.۱ کمتر باشد تا نتایج AHP بعنوان سازگار پذیرفته شود اگر چنین نباشد تصمیم گیرنده باید بر گرد دوز نوارزیابی و مقایسه را انجام دهد.

قدم ۴: تبدیل عناصر قطعی از ماتریس R به اعداد فازی

قدم ۵: به دست آوردن اوزان معیارها از طریق محاسبه میانگین عناصر هر سطر از ماتریس بدست آمده از مرحله ی ۴ با استفاده از تعریف ۴.



۲-۲. تابع عضویت فازی

خبرگان معمولاً به منظور ارزیابی اهمیت معیارها و مقدار گزینه‌ها با توجه به معیارها مختلف از متغیرهای زبانی استفاده می‌کنند مثال مطالع حاضر تنها از مقدار دقیق برای رتبه‌بندی عملکرد دو وزن معیارها استفاده نموده است به منظور نشان دادن ایده MCDM فازی ما عمداً ارزش‌های موجود دقیق را به پنج سطح تبدیل کردیم.

متغیرهای زبانی خیلی کم VL و کم L و متوسط M و بالا H و بسیار بالا VH.

هدف از این فرایند تبدیل دو مطلب است: I. برای نشان دادن روش فازی پیشنهادی II به محک قرار دادن نتایج تجربی بدست آمده از روش‌های دقیق در تجزیه تحلیل آخر.

اعداد فازی که به طور معمول استفاده می‌شوند اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای می‌باشند زیرا مدل کردن و تفسیر آنها ساده است. هم اعداد فازی مثلثی و هم ذوزنقه‌ای در این مطالعه قابل استفاده هستند.

ما در این مطالعه از اعداد فازی مثلثی استفاده کردیم چون که به نظر م برای نمایش پنج سطح فازی متغیرهای زبانی مناسب است...

بر اساس این فرضیه یک جدول تبدیل می‌توان ایجاد کرد که در جدول ۱-۳ نمایش داده شده است

جدول ۱- تبدیل به اعداد مثلثی

رتبه بندی	درجه زیرمعیارها	تابع عضویت
خیلی کم (VL)	1	(0.00,0.10,0.25)
کم (L)	2	(0.15,0.30,0.45)
متوسط (M)	3	(0.35,0.50,0.65)
زیاد (H)	4	(0.55,0.70,0.85)
خیلی زیاد (VH)	5	(0.75,0.90,1.00)

۲-۳. اصول TOPSIS

روش تاپسیس، مبتنی بر انتخاب بهترین جایگزین است که کمترین فاصله را از راه حل مثبت-ایده آل و بیشترین فاصله را از راه حل منفی-ایده آل دارد.

۱-۲-۳. روش تاپسیس فازی

اغلب برای یک تصمیم گیرنده اختصاص یک مقدار قطعی به ارزیابی یک گزینه با توجه به معیار مربوطه سخت می‌باشد استفاده از روش‌های فازی این مزیت را ایجاد می‌کند که اهمیت نسبی معیارها را با استفاده از اعداد فازی به جای اعداد قطعی تعیین کرد. در این بخش تاپسیس به محیط فازی بسط داده می‌شود:



$$A_i \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & \dots & c_n \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \tilde{x}_{i3} & \dots & \tilde{x}_{in} \end{bmatrix} \quad W = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (13)$$

که $\tilde{x}_{ij}, i = 1, 2, \dots, n$ و $\tilde{w}_j, j = 1, 2, \dots, n$ اعداد فازی مثلثی هستند و $\tilde{w}_j = (a_{j1}, b_{j2}, c_{j3})$ و $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ که $\tilde{x}_{ij}$ میزان ارزیابی گزینه i ام (Ai) بر مبنای معیار j ام (C_j) و w_j وزن معیار j ام (C_j) را نشان می دهد.

ماتریس تصمیم گیری فازی نرمال شده با $\tilde{R}$ نشان داده می شود.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (14)$$

همچنین ماتریس تصمیم گیری فازی نرمال شده مموزن به صورت زیر نمایش داده می شود.

$$V = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \dots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \dots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \dots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \tilde{r}_{11} & \tilde{w}_2 \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{w}_2 \tilde{r}_{21} & \tilde{w}_2 \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_1 \tilde{r}_{m1} & \tilde{w}_2 \tilde{r}_{m2} & \dots & \tilde{w}_n \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

این روش توانایی ویژه در حل مسائل تصمیم گیری گروهی در محیط فازی را دارد. باتوجه به تئوری فازی فرایند تاپسیس فازی ارائه شده به شرح زیر می باشد

قدم ۱: انتخاب مقادیر زبانسی $(\tilde{x}_{ij})$; $j = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ برای هر گزینه با توجه به معیار مربوطه در متغیرهای زبانی مناسب $(w_j, j = 1, 2, \dots, m)$ برای وزن معیارها و ویژه یک مقدار وازه های فازی $(\tilde{x}_{ij})$ این است که چون اعداد فازی مثلثی نرمال شده بین $[0, 1]$ قرار دارند بنابراین دیگر نیازی به نرمال کردن ماتریس نیست که برای همین ماتریس $\tilde{D}$ به صورت ۱۴ تعریف می شود و ماتریس R به صورت ۱۶ تعریف می شود.

قدم ۲: ایجاد ماتریس تصمیم گیری فازی نرمال شده مموزن که در ۱۷ نمایش داده شده است

قدم ۳: تشخیص جواب ایده ال مثبت (A^*) و ایده ال منفی (A^-)

جواب ایده ال مثبت فازی $(fpis, A^*)$ و ایده ال منفی فازی $(fnis, A^-)$ به صورت زیر می باشد.

$$A^* = \{\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*\} = \{(\max \tilde{v}_{ij} | i = 1 \dots m), j = 1 \dots n\}$$



$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} = \{(\min \tilde{v}_{ij} | i = 1 \dots m), j = 1 \dots n\} \quad (16)$$

عمل ماکزیمم و مینیمم روی اعداد مثلثی کارایی ندارد ولی این امکان هست که بتوانیم بطور تقریبی مقادیر ماکزیمم و مینیمم اعداد فازی را بیان کنیم [۱۴]. می دانیم که عناصر $\tilde{v}_{ij}$ به ازای هر i و j اعداد فازی نرمال مثلثی مثبت هستند که در فاصله بسته $[0,1]$ قرار دارند بنابراین ما می توانیم ایده آل مثبت فازی را به صورت $\tilde{v}_j^* = (1,1,1)$ و ایده آل منفی فازی را به صورت $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$ که $j = 1,2,\dots,n$ تعریف نماییم [۱۰]

قدم ۴: محاسبه فاصله از ایده آل مثبت و منفی

یعنی فاصله هر گزینه از (A^*) و (A^-) که به صورت زیر قابل محاسبه است

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), i = 1,2,\dots,m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1,2,\dots,m \quad (17)$$

قدم ۵: محاسبه شباهت به راه حل ایده آل

در این مرحله شباهت به راه حل ایده آل را به صورت زیر بدست می آوریم

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad (18)$$

قدم ۶: رتبه بندی

انتخاب یک گزینه با بیشترین CC_i یا رتبه بندی گزینه ها بر طبق CC_i به صورت نزولی.

۳-۳. ارزیابی اثرات محیطی پروژه های ساخت و ساز با استفاده از AHP و TOPSIS فازی

در این مطالعه، AHP فازی برای ارزیابی اهمیت و وزندهی به معیارهای مختلف زیست محیطی استفاده شد. معیارهایی همچون آلودگی هوا، آلودگی صوتی، مصرف منابع طبیعی، و تولید زباله در نظر گرفته شدند. سپس، از TOPSIS فازی برای رتبه بندی گزینه های مختلف (مثل روش ها یا استراتژی های مختلف کاهش اثرات محیطی) استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل های AHP و TOPSIS فازی به خوبی توانسته اند معیارهای پیچیده و چندگانه اثرات زیست محیطی را تجزیه و تحلیل کنند.

۳-۳-۱. تعیین معیارها با AHP

در مدل AHP، برای ارزیابی اثرات محیطی پروژه های ساخت و ساز، ابتدا باید معیارهای مختلفی که اثرات زیست محیطی را تعیین می کنند، شناسایی کرده و سپس برای هر کدام وزن تخصیص داد. معیارهای مختلفی برای ارزیابی اثرات محیطی



پروژه‌های ساخت و ساز انتخاب شده است. این معیارها را در دو گروه آلودگی و تخریب قرار داده که معمولاً شامل زیرمعیارهای زیر هستند:

۱. آلودگی هوا^۱

این معیار معمولاً شامل میزان انتشار آلاینده‌ها مثل CO₂، NO_x، SO_x در فرآیندهای ساخت و ساز است. این آلاینده‌ها می‌توانند به تغییرات اقلیمی و مشکلات بهداشتی در منطقه منجر شوند.

۲. آلودگی آب^۲

آلودگی آب از جمله شاخص‌های کلیدی است که به بررسی میزان آلودگی منابع آبی از جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و منابع زیرزمینی ناشی از فرآیندهای ساخت و ساز می‌پردازد.

۳. تخریب زیستگاه‌ها^۳

این معیار به ارزیابی اثرات منفی بر تنوع زیستی و اکوسیستم‌های طبیعی ناشی از تخریب مناطق طبیعی برای ساخت و ساز پرداخته می‌شود.

۴. مصرف منابع طبیعی^۴

بررسی میزان مصرف مواد خام و منابع طبیعی مانند چوب، سنگ، فلزات و آب در فرآیند ساخت و ساز.

۵. تولید زباله‌های ساختمانی^۵

بررسی میزان تولید ضایعات و زباله‌ها از مواد استفاده‌شده در پروژه‌های ساختمانی و مدیریت بهینه آن‌ها.

۳-۳-۲. تکنیک رتبه‌بندی بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)

در TOPSIS، هدف این است که چندین الترناتیو (گزینه‌های مختلف استراتژی یا روش‌های کاهش اثرات زیست‌محیطی) را بر اساس فاصله‌شان از یک راه‌حل ایده‌آل (بهترین گزینه ممکن) و راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین گزینه ممکن) رتبه‌بندی کنیم. در مطالعه‌های انجام شده گزینه‌ها یا الترناتیوها برای کاهش اثرات محیطی ممکن است شامل انتخاب استراتژی‌های مختلف زیر باشد.

الترناتیوهایی که معمولاً برای ارزیابی انتخاب می‌شوند، می‌توانند شامل این گزینه‌ها باشند:

¹ Air Pollution

² Water Pollution

³ Habitat Destruction

⁴ Natural Resource Consumption

⁵ Construction Waste Generation



۱. استفاده از تکنولوژی‌های سبز^۱

انتخاب تکنولوژی‌های نوین و کم‌اثر محیطی مانند استفاده از مصالح بازیافتی، سیستم‌های مدیریت انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر (مثل انرژی خورشیدی یا بادی) برای کاهش آلودگی.

۲. استفاده از مواد بازیافتی^۲

انتخاب مصالح ساختمانی بازیافتی برای کاهش نیاز به استخراج منابع جدید و کاهش تولید زباله‌های ساختمانی.

۳. استراتژی‌های مدیریت پسماند^۳

اجرای استراتژی‌های مؤثر برای کاهش تولید ضایعات و بهبود فرآیندهای بازیافت و دفع زباله‌ها در پروژه‌های ساخت و ساز.

۴. ساخت و ساز سبز^۴

اجرای تکنیک‌های ساخت و ساز سبز که به کاهش مصرف منابع طبیعی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار آلاینده‌ها کمک می‌کند.

۵. کاهش آلودگی صوتی^۵

استفاده از تکنیک‌های مختلف برای کاهش آلودگی صوتی ناشی از فعالیت‌های ساخت و ساز در مناطق مسکونی و صنعتی.

۶. استراتژی‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی^۶

اعمال تکنیک‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیندهای ساخت و ساز برای کاهش اثرات منفی محیطی و بهبود بهره‌وری انرژی.

۴. نتایج تجربی

۴-۱. نتایج تجربی روش AHP

ساختار سلسله مراتبی مدل تصمیم‌گیری مقاله با ۲ معیار آلودگی و تخریب، ۵ زیرمعیار آلودگی هوا، آلودگی آب، تخریب زیستگاه‌ها، مصرف منابع طبیعی و تولید زباله‌های ساختمانی و ۶ نوع گزینه یا الترناتیو استفاده از تکنولوژی‌های سبز، استفاده از مواد بازیافتی، استراتژی‌های مدیریت پسماند، ساخت و ساز سبز، کاهش آلودگی صوتی و استراتژی‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی برای کاهش اثرات محیطی مورد بررسی مشخص شده است. مسئله تصمیم‌گیری از سه سطح

¹ Green Technologies

² Use of Recycled Materials

³ Waste Management Strategies

⁴ Green Building Construction

⁵ Noise Reduction

⁶ Energy Consumption Optimization



تشکیل شده است: در بالاترین سطح هدف مسئله قرار دارد در حالی که در سطح دوم، معیارها فهرست شده و در سطح سوم زیرمعیارها ذکر شده است. آخرین سطح متعلق به گزینه های جایگزین است. همانطور که گفته شد، روش AHP ابتدا نیاز به مقایسه عاقلانه دوگانه معیارها و زیرمعیارها را برای تعیین وزن آنها دارد. ابتدا ماتریس های مقایسه سازگار تعیین می شود. وزن های اولویت نرمال شده بین دو معیار اصلی و پنج معیار فرعی و رتبه بندی آنها در مراحل بعد تعیین می شود.

جدول ۲- ماتریس مقایسات زوجی فازی زیرمعیارها و وزن آنها

No.	SC ₁	SC ₂	SC ₃	SC ₄	SC ₅	وزن	رتبه
SC ₁	-	H	L	M	H	H	چهارم
SC ₂	L	-	VL	M	H	L	دوم
SC ₃	H	VH	-	H	VH	VH	اول
SC ₄	M	H	L	-	H	H	سوم
SC ₅	L	L	VL	L	-	VL	پنجم

جدول ۳- ماتریس مقایسات زوجی فازی معیارها و وزن آنها

No.	C ₂	C ₁	وزن	رتبه
C ₁	L	L	L	دوم
C ₂	VH	VH	VH	اول

۲-۴. نتایج تجربی روش TOPSIS

برای تحلیل TOPSIS از ماتریس تصمیم استفاده شده است. براساس اولین مرحله از روش TOPSIS، هر عنصر نرمال سازی می شود. ماتریس تصمیم گیری نرمال شده برای تجزیه و تحلیل TOPSIS آماده می شود. مرحله دوم به اطلاعات وزن معیار برای محاسبه رتبه نرمال شده وزنی نیاز است. وزن معیارها در قسمت قبلی با AHP محاسبه شدند. مرحله بعد



ماتریس تصمیم گیری نرمال شده وزنی ایجاد می شود. در نهایت رتبه آلترناتیوها خروجی این مدل است. به دلیل محاسبات بسیار زیاد خروجی های نهایی ارایه شده است.

جدول ۴- خروجی روش تاپسیس فازی

No.	d_i^+	d_i^-	CC_i	رتبه
A1	0.1215	0.0563	0.316998	سوم
A2	0.1658	0.0814	0.329978	چهارم
A3	0.1784	0.0915	0.339032	پنجم
A4	0.0992	0.0608	0.380777	اول
A5	0.2106	0.1013	0.324043	ششم
A6	0.1105	0.0642	0.367041	دوم

۵. نتیجه گیری

در مدل AHP، ابتدا معیارها وزن دهی می شود تا اولویت اهمیت هر کدام از اثرات محیطی (مانند آلودگی هوا یا تخریب زیستگاه ها) مشخص شود. سپس در TOPSIS، با استفاده از معیارهای مشخص شده، به رتبه بندی استراتژی ها یا روش های مختلف برای کاهش اثرات محیطی پرداخته و گزینه بهینه را انتخاب می کنید. با ترکیب این دو مدل، تصمیمات مؤثری در راستای کاهش اثرات محیطی پروژه های ساخت و ساز اتخاذ می شود. این روش ها به ویژه در پروژه هایی که چندین گزینه برای انتخاب وجود دارد، بسیار کارآمد خواهند بود.



مراجع

1. Agrawal, V. Seth, N. Kumar Dixit, J. (2022), "A combined AHP–TOPSIS–DEMATEL approach for evaluating success factors of e-service quality: an experience from Indian banking industry". *Electronic Commerce Research*. 22 (1), pp. 715-747.
2. Cheng, S., Zhang, M., & Wang, J. (2021). "Application of AHP and TOPSIS for evaluating environmental sustainability in construction projects in India". *Sustainability*, 13(5), pp. 26-40.
3. Hwang, C.L., Yoon, K., (1981). "Multiple attribute decision making-methods and applications ". Springer-Verlag, Heidelberg.
4. Li, L., Zhang, X., & Wu, Y. (2019). "Application of AHP and TOPSIS in environmental impact assessment of construction projects in China". *Environmental Science and Pollution Research*, 26(24), pp. 24692-24701.
5. Torfi, F. Farahani, R.Z. Rezapour, S. (2010), "Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and fuzzy TOPSIS to rank the alternatives ". *Applied Soft Computing*. 10 (2), pp. 520-528.
6. Saaty, T. L. (1980). "The Analytic Hierarchy Process ". McGraw Hill Company. New York.
7. Saaty, T.L., Vargas, L.G., (2001). "Models, Methods, Concepts and Applications of the analytic hierarchy process ". Kluwer Academic Publishers, Boston.
8. Wang, P.; Wang, J.; Wei, G.W. (2019). "EDAS method for multiple criteria group decision making under 2-tuple linguistic "Neutrosophic environment. *J. Intelligence. Fuzzy System*. 37, pp. 1597–1608