

مکانیابی کارخانه کنسانتره سنگ آهن در شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل

حسن حسینی نسب^{۱*}، امیر حاجی مرادی^۲.

۱- استاد، رشته مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد، hosseininasab@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری، رشته مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد، amir.moradi1367@gmail.com

خلاصه

فرآیند انتخاب مکان مناسب برای یک کارخانه جدید یک کار تصمیم گیری پیچیده است که شامل معیارها و عدم قطعیت های متعددی است. پیشرفت های اخیر در روش های تصمیم گیری چند معیاره^۱، به ویژه ادغام فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی^۲ و تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل^۳، چهارچوبی قوی برای پرداختن به این چالش ها فراهم می کند. در این مقاله ابتدا داده های مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه های فازی جمع آوری شده و سپس، مکان یابی کارخانه کنسانتره سنگ آهن در شهرستان بافق استان یزد از طریق ترکیب این دو روش انجام می گردد. در نهایت از بین دو گزینه زمین مجاور راه آهن و زمین مجاور معدن آنومالی شمالی، زمین مجاور معدن آنومالی شمالی به عنوان گزینه مطلوب شناخته شد.

کلمات کلیدی: منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل، مکان یابی کارخانه

۱. مقدمه

تحلیل سلسله مراتبی فازی به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تعیین وزن به ویژگی های کیفی و کمی مختلف در فرآیند انتخاب مکان کارخانه عمل می کند. این ابزار به تصمیم گیرندگان اجازه می دهد تا معیارهایی مانند نزدیکی به تامین کنندگان، در دسترس بودن نیروی کار، دسترسی حمل و نقل و اثرات زیست محیطی را که اغلب در معرض عدم قطعیت هستند، ارزیابی کنند [۱]. توانایی این روش برای ترکیب منطق فازی، ابهامات ذاتی مرتبط با ارزیابی های کیفی را تطبیق می دهد، در نتیجه رویکرد متفاوت تری برای تصمیم گیری ارائه می دهد. [۲].

¹ MCDM

² FAHP

³ TOPSIS

به عنوان مثال، یک مطالعه کاربرد تحلیل سلسله مراتبی فازی را در انتخاب یک سایت ساخت و ساز برای یک مرکز خرید برجسته کرد و توانایی آن را در سنجش مؤثر معیارهای متعدد نشان داد [۱]. این رویکرد می تواند به طور مشابه برای انتخاب محل کارخانه تطبیق داده شود، جایی که معیارها می توانند شامل مبادلات پیچیده بین هزینه، دسترسی و انطباق با مقررات باشد.

پس از تعیین وزن معیارها از طریق تحلیل سلسله مراتبی فازی، تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل می تواند برای رتبه بندی سایت های کارخانه بالقوه بر اساس فاصله آنها از یک راه حل ایده آل استفاده شود. این روش گزینه ها را با محاسبه فاصله هندسی آنها از راه حل های ایده آل و ضایده آل ارزیابی می کند و امکان ارزیابی سیستماتیک مناسب بودن سایت را فراهم می کند [۳]. استفاده از تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل فازی در سناریوهایی مانند انتخاب سرریز برای سدها تطبیق پذیری و اثربخشی آن را در مدیریت چندین معیار تحت عدم قطعیت نشان می دهد [۴].

در زمینه مکان کارخانه، تصمیم گیرندگان می توانند از TOPSIS برای اولویت بندی سایت هایی استفاده کنند که نه تنها معیارهای تعیین شده را برآورده می کنند، بلکه با اهداف استراتژیک کسب و کار همخوانی دارند. این رویکرد دوگانه AHP فازی و TOPSIS با ارائه یک چارچوب ساختاریافته برای ارزیابی و انتخاب مکان های بهینه کارخانه، فرآیند تصمیم گیری را افزایش می دهد.

ادغام منطق فازی در روش های تصمیم گیری چند معیاره مانند AHP و TOPSIS برخی از چالش های حیاتی را که در انتخاب مکان کارخانه با آن مواجه می شوند، برطرف می کند. این امکان را برای ارزیابی انعطاف پذیرتر معیارها، تطبیق با ادراکات ذهنی و درجات مختلف اهمیت مرتبط با عوامل مختلف فراهم می کند [۵]. علاوه بر این، نشان داده شده است که استفاده از روش های مبتنی بر فازی با به حداقل رساندن تأثیر عدم قطعیت ها و سوگیری ها، استحکام نتایج تصمیم گیری را بهبود می بخشد [۶].

با توجه به اینکه انتخاب مکان کارخانه تحت تأثیر عدم قطعیت های مختلفی قرار دارد، استفاده از روش های تصمیم گیری فازی به تصمیم گیرندگان کمک می کند تا با در نظر گرفتن این عدم قطعیت ها، به انتخاب بهینه تری دست یابند. این امر به ویژه در مواردی که داده ها ناقص یا مبهم هستند، اهمیت بیشتری پیدا می کند. تطبیق پذیری تکنیک های MCDM فازی با کاربرد موفقیت آمیز آنها در زمینه های مختلف، از جمله سیاست گذاری انرژی و مدیریت زیست محیطی تاکید می شود [۲]. این کاربرد بین رشته ای نشان می دهد که روش های مشابه می توانند به طور مؤثر با زمینه های صنعتی سازگار شوند و ارتباط FAHP و TOPSIS را برای تصمیم گیری های مکان یابی کارخانه تقویت کنند.

۲. مبانی نظری

۲.۱. تحلیل سلسله مراتبی فازی

تحلیل سلسله مراتبی فازی ۶ مرحله دارد. مرحله اول به دست آوردن میزان اهمیت هر مقیاس از طریق مقایسه دو به دو می باشد. هر عدد فازی مثلثی را به صورت زیر نمایش می دهیم:

$$a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (1)$$

با استفاده از اعداد فازی و مقایسه دو به دو، ماتریس ارزیابی فازی $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ساخته می شود. اگر المان i نسبت به المان j

اهمیت بالایی داشته باشد، رابطه زیر قابل استفاده می باشد:

$$a_{ij}^{-1} = (\frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}}) \quad (2)$$

اگر $M_{g_i}^j$ ماتریس مقایسه برای گزینه i ام و هدف j ام باشد، آنگاه مقدار گستره مصنوعی فازی^۴ به روش زیر به دست می آید:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j * [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} \quad (3)$$

برای به دست آوردن وزن ها در هر معیار، لازم است که اعداد فازی را با یکدیگر مقایسه کنیم. احتمال بزرگتر بودن M_1 از M_2 به صورت

زیر تعریف می شود:

$$V(M_1 > M_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(x))] = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$$

(4)

همچنین احتمال بزرگتر بودن یک عدد فازی محدب^۵ از k عدد فازی دیگر به صورت زیر تعریف می شود:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min(V(M \geq M_i))_{i=1,2,\dots,k} \quad (5)$$

حال در نظر بگیرید:

$$d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)_{k=1,2,\dots} \quad (6)$$

آنگاه بردار وزن به صورت زیر به دست می آید:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (7)$$

که W یک عدد غیر فازی می باشد.

⁴ Fuzzy synthetic value

⁵ convex

۲.۲. تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل

در این روش ماتریس ارزیابی را به صورت $(x_{ij})_{m \times n}$ نمایش می دهیم. از روی این ماتریس، ماتریس نرمال شده $R = (r_{ij})_{m \times n}$ را به دست می آوریم. سپس ماتریس نرمالیز شده تصمیم به صورت زیر به دست می آید:

$$t_{ij} = r_{ij} * w_j \quad (8)$$

پس از این مرحله، بهترین A_b و بدترین A_w راه حل را به دست می آوریم. مرحله بعدی، محاسبه فواصل راه حل ها از این دو راه حل می باشد:

$$d_{iw} = \sqrt{(\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_{wj})^2)} \quad (9)$$

$$d_{ib} = \sqrt{(\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_{bj})^2)} \quad (10)$$

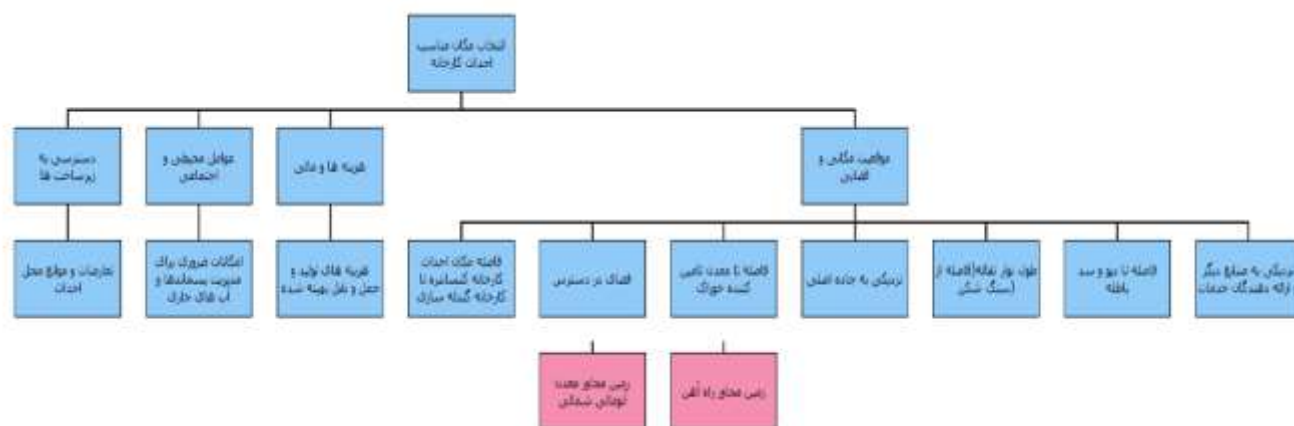
سپس، شباهت به بدترین شرایط را به صورت زیر محاسبه می کنیم:

$$s_{iw} = d_{iw} / (d_{iw} + d_{ib}) \quad (11)$$

و سپس، گزینه ها را براساس میزان s_{iw} مرتب می کنیم.

۳. مکانیابی کارخانه کنسانتره آهن

ساختار نمودار تحلیلی سلسله مراتبی برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه در شکل (۱) دیده می شود. در بالای این نمودار هدف کلی قرار دارد؛ در سطوح بعدی به ترتیب معیار ها و زیرمعیار ها قرار می گیرند. در انتهای نمودار گزینه ها قرار دارند.



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی معیارها

در این مقاله برای جمع آوری اطلاعات از پرسش نامه های فازی استفاده شده است که نمونه آن در شکل (۲) قابل مشاهده می باشد. متغیر های فازی به صورت جدول زیر تعریف می شوند:

جدول ۱. متغیر های فازی و اعداد فازی معادل آن ها

متغیر فازی	عدد فازی معادل
ارجحیت برابر	(۱،۱،۱)
ارجحیت کم	(۲،۳،۴)
ارجحیت تقریباً زیاد	(۴،۵،۶)
ارجحیت خیلی زیاد	(۶،۷،۸)
ارجحیت کاملاً زیاد	(۸،۸،۹)

نام و نام خانوادگی:

سمت شغلی:

مقایسه زوجی معیارها نسبت به انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه

- ۱- معیار دسترسی به زیرساخت‌ها نسبت به معیار عوامل محیطی و اجتماعی برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه دارای چه ارجحیتی است؟
 (۱) ارجحیت برابر ☐ (۲) ارجحیت کم ☐ (۳) ارجحیت تقریباً زیاد ☐ (۴) ارجحیت خیلی زیاد ☐ (۵) ارجحیت کاملاً زیاد ☐
- ۲- معیار هزینه‌ها و مالی نسبت به معیار دسترسی به زیرساخت‌ها برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه دارای چه ارجحیتی است؟
 (۱) ارجحیت برابر ☐ (۲) ارجحیت کم ☐ (۳) ارجحیت تقریباً زیاد ☐ (۴) ارجحیت خیلی زیاد ☐ (۵) ارجحیت کاملاً زیاد ☐
- ۳- معیار دسترسی به زیرساخت‌ها نسبت به معیار موقعیت مکانی و فضایی برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه دارای چه ارجحیتی است؟
 (۱) ارجحیت برابر ☐ (۲) ارجحیت کم ☐ (۳) ارجحیت تقریباً زیاد ☐ (۴) ارجحیت خیلی زیاد ☐ (۵) ارجحیت کاملاً زیاد ☐
- ۴- معیار عوامل محیطی و اجتماعی نسبت به معیار هزینه‌ها و مالی برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه دارای چه ارجحیتی است؟
 (۱) ارجحیت برابر ☐ (۲) ارجحیت کم ☐ (۳) ارجحیت تقریباً زیاد ☐ (۴) ارجحیت خیلی زیاد ☐ (۵) ارجحیت کاملاً زیاد ☐
- ۵- معیار موقعیت مکانی و فضایی نسبت به معیار عوامل محیطی و اجتماعی برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه دارای چه ارجحیتی است؟
 (۱) ارجحیت برابر ☐ (۲) ارجحیت کم ☐ (۳) ارجحیت تقریباً زیاد ☐ (۴) ارجحیت خیلی زیاد ☐ (۵) ارجحیت کاملاً زیاد ☐
- ۶- معیار هزینه‌ها و مالی نسبت به معیار موقعیت مکانی و فضایی برای انتخاب مکان مناسب احداث کارخانه دارای چه ارجحیتی است؟
 (۱) ارجحیت برابر ☐ (۲) ارجحیت کم ☐ (۳) ارجحیت تقریباً زیاد ☐ (۴) ارجحیت خیلی زیاد ☐ (۵) ارجحیت کاملاً زیاد ☐

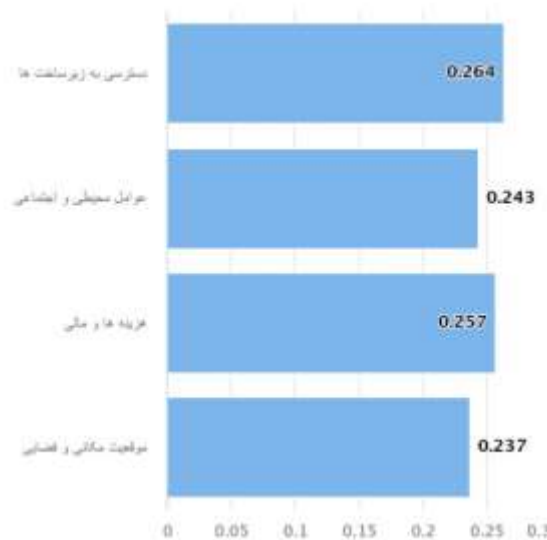
شکل ۲. نمونه پرسشنامه فازی

۴. نتایج

نتیجه پیاده سازی روش تحلیل سلسله مراتبی فازی روی معیارها به صورت جدول زیر می باشد:

جدول ۲: وزن‌های به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی

رتبه	نام معیار	وزن معیار
۱	دسترسی به زیرساخت‌ها	۰/۲۶۴
۲	هزینه‌ها و مالی	۰/۲۵۷
۳	عوامل محیطی و اجتماعی	۰/۲۴۳
۴	موقعیت مکانی و فضایی	۰/۲۳۷



شکل ۳: وزن های به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی

نتایج رتبه بندی زیر معیارهای معیار موقعیت مکانی و فضایی به صورت جدول زیر به دست می آید:

جدول ۳. وزن های زیرمعیار های معیار موقعیت مکانی و فضایی

رتبه	نام زیرمعیار	وزن
۱	فاصله تا معدن تامین کننده خوراک	۰/۱۵
۲	نزدیکی به صنایع دیگر و ارائه دهندگان خدمات	۰/۱۴۷
۳	فاصله مکان احداث کارخانه کنسانتره تا کارخانه گندله سازی	۰/۱۴۴
۴	طول نوار نقاله (فاصله از سنگ شکن)	۰/۱۴۳
۵	نزدیکی به جاده اصلی	۰/۱۴۲
۶	فاصله تا دیو و سد باطله	۰/۱۳۲



شکل ۴. نتایج وزنی زیرمعیارهای معیار موقعیت مکانی و فضایی

نتایج برای معیار هزینه ها و مالی به صورت جدول زیر می باشد:

جدول ۴. نتایج معیار هزینه ها و مالی

رتبه	گزینه	وزن
۱	زمین مجاور معدن آنومالی شمالی	۰/۷۰۱
۲	زمین مجاور راه آهن	۰/۲۹۹

نتایج برای معیار عوامل محیطی و اجتماعی به صورت جدول زیر می باشد:

جدول ۵. نتایج معیار عوامل محیطی و اجتماعی

رتبه	گزینه	وزن
۱	زمین مجاور معدن آنومالی شمالی	۰/۴۲۱
۲	زمین مجاور راه آهن	۰/۵۷۹

نتایج برای معیار دسترسی به زیرساخت ها به صورت زیر می باشد:

جدول ۶. نتایج معیار دسترسی به زیرساخت ها

رتبه	گزینه	وزن
۱	زمین مجاور معدن آنومالی شمالی	۰/۷۰۱
۲	زمین مجاور راه آهن	۰/۲۹۹

و در نهایت وزن ها برای معیار عوامل فضایی و محیطی به صورت زیر می باشد:

جدول ۷. نتایج معیار عوامل فضایی و محیطی

رتبه	گزینه	وزن
۱	زمین مجاور معدن آنومالی شمالی	۰/۵۳۵
۲	زمین مجاور راه آهن	۰/۴۶۵

بهترین و بدترین راه حل ایده آل به صورت زیر محاسبه می شود:

$$A_b = [0/1789 \quad 0/2364 \quad 0/1965 \quad 0/2428]$$

$$A_w = [0/1555 \quad 0/1008 \quad 0/1429 \quad 0/1036]$$

در نهایت رتبه بندی گزینه ها به صورت زیر می باشد:

جدول ۸. رتبه بندی نهایی

رتبه	گزینه	S_{iw}
۱	زمین مجاور معدن آنومالی شمالی	۰/۷۸۴۹
۲	زمین مجاور راه آهن	۰/۲۱۵۱

با توجه به نتایج به دست آمده، زمین مجاور معدن آنومالی شمالی گزینه مناسب جهت تاسیس کارخانه می باشد.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات آینده

با استفاده از تکنیک های ذکر شده، با در نظر گرفتن عدم قطعیت های فراوان این مسئله، زمین مجاور معدن آنومالی شمالی به عنوان گزینه مطلوب جهت تاسیس کارخانه انتخاب گردید. در مطالعات آینده می توان گزینه های بیشتری را جهت مقایسه در نظر گرفت. در بحث معیار ها، می توان زیر معیار های بیشتری برای توصیف معیار های اصلی در نظر گرفت. همچنین می توان از اعداد فازی دوزنقه ای و اعداد فازی نوع دو جهت در نظر گرفتن بیشتر عدم قطعیت ها استفاده کرد.

۶. مراجع

1. Ghorabae, Mehdi Keshavarz., Zavadskas, E., Amiri, M., & Turskis, Zenonas. (2016). Extended EDAS Method for Fuzzy Multi-criteria Decision-making: An Application to Supplier Selection. *Int. J. Comput. Commun. Control* , 11 , 358-371 . <http://doi.org/10.15837/IJCCC.2016.3.2557>
2. Kaya, I., Çolak, Murat., & Terzi, F.. (2019). A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. *Energy Strategy Reviews* . <http://doi.org/10.1016/J.ESR.2019.03.003>
3. Uygun, Özer., & Dede, Ayse. (2016). Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques. *Comput. Ind. Eng.* , 102 , 502-511 . <http://doi.org/10.1016/j.cie.2016.02.020>
4. Turskis, Zenonas., Zavadskas, E., Antuchevičienė, J., & Kosareva, N.. (2015). A Hybrid Model Based on Fuzzy AHP and Fuzzy WASPAS for Construction Site Selection. *Int. J. Comput. Commun. Control* , 10 , 113-128 . <http://doi.org/10.15837/IJCCC.2015.6.2078>
5. Ashraf, Shahzaib., Mahmood, T., Abdullah, S., & Khan, Q.. (2018). Different Approaches to Multi-Criteria Group Decision Making Problems for Picture Fuzzy Environment. *Bulletin of the Brazilian Mathematical Society, New Series* , 50 , 373 - 397 . <http://doi.org/10.1007/s00574-018-0103-y>
6. Sahoo, S. K., & Goswami, S.. (2023). A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances* . <http://doi.org/10.31181/dma1120237>