E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 7, No. 4 (2022) 628–647.

Paper Type: Original Article

Structure of Envelopment Analysis with Intuitive Fuzzy Data (Case Study: Evaluation of Safety-Based Performance in Construction Projects)

Zeynab Latifi[1,*], **Neda Pouyan**[1]

[1] *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Shohadaye Hoveizeh Campus of Technology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Susangerd, Iran; z.latifi@scu.ac.ir; n.pouyan@scu.ac.ir.*

Citation:

Latifi, Z., & Pouyan, N. (2022). Structure of envelopment analysis with intuitive fuzzy data (case study: evaluation of safety-based performance in construction projects). *Journal of decisions and operations research*, *7*(4), 628-647.

Received: 03/08/2021 Reviewed: 03/09/2021 Revised: 18/11/2021 Accepted: 24/11/2021

Abstract

Purpose: Data Envelopment Analysis (DEA) as one of the key subfields in mathematical planning has found a prominent role in evaluating the efficiency of decision making units in various fields. Various work accidents remind us to pay more attention to the development of safety models in the workplace. Although different paradigms have suggested approaches to describing and developing safety methods and evaluating them, given the conditions of ambiguity in the real world, there is a need for further completion and development to extend safety and evaluate them in conditions of uncertainty. The use of intuitive fuzzy numbers is of particular importance due to the consideration of indicators such as membership and non-membership of data.

Methodology: In this research, after analysis and initial processing, based on studies, a parametric and efficient method for ranking intuitive fuzzy numbers is selected and proposed. The correctness of the performance of the selected method is obvious due to its formulation in linear structures. The developed model of DEA, its mathematical formulation are expressed in terms of governing the model structure and its implementation approach. A case study is presented to determine the factors affecting safety performance using the model. In addition to ranking the units, sensitivity analysis was performed to rank the specified indicators in the inputs and outputs.

Findings: The results of the DEA model with intuitive fuzzy data showed that with increasing k, the number of efficient units increases. On the other hand, the lowest and highest efficiencies belong to the pessimistic view (k = 0) and the balanced view (k=0.5), respectively. Sensitivity analysis also showed that the two factors of work pressure and the number of injuries (physical and mental) are the most and the least safety factors affecting the efficiency results, respectively.
Originality/Value: Using a DEA model with intuitive fuzzy data to evaluate the performance of construction sites from a safety perspective can provide significantly better results because in the real world, there is uncertainty, and intuitive fuzzy data considers membership and non-membership at the same time.

Keywords: Safety dimensions, Construction projects, Data envelopment analysis, Intuitive fuzzy number ranking, Intuitive fuzzy sets.

Corresponding Author: z.latifi@scu.ac.ir
http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.4.10.1
Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۷، شماره (۴)، (۱۴۰۱)، ۶۴۷-۶۲۸

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

ساختار تحلیل پوششی با داده‌های فازی شهودی (مطالعه موردی: ارزیابی کارایی ایمنی محور در پروژه‌های ساخت‌وساز)

زینب لطیفی[۱،*]، ندا پویان[۱]

[۱]گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز- پردیس صنعتی شهدای هویزه، سوسنگرد، ایران.

چکیده

هدف: تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های کلیدی در برنامه‌ریزی ریاضی نقش برجسته‌ای در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری در حوزه‌های گوناگون یافته است. حوادث مختلف کاری، به ما یادآوری می‌کند که به توسعه مدل‌های ایمنی در محیط کار توجه بیشتری داشته باشیم. اگرچه پارادایم‌های مختلف، رویکردهایی برای توصیف و توسعه روش‌های ایمنی و ارزیابی آن‌ها پیشنهاد کرده اند، اما با توجه به شرایط ناشی از ابهام در دنیای واقعی، نیاز به تکمیل و توسعه بیشتر برای گسترش ایمنی و ارزیابی آن‌ها در شرایط عدم قطعیت محسوس می‌باشد. در این میان، استفاده از اعداد فازی شهودی به علت در نظر گرفتن شاخص‌هایی همچون عضویت و عدم عضویت داده‌ها اهمیت و ویژه‌ای دارد.

روش‌شناسی پژوهش: در این تحقیق، پس از تجزیه‌وتحلیل و پردازش اولیه، بر اساس مطالعات، ابتدا روش پارامتری و کارآمد برای رتبه‌بندی اعداد فازی شهودی مقدار انتخاب و مطرح می‌شود. درستی عملکرد روش انتخابی با توجه به فرمول‌بندی آن در ساختارهای خطی واضح می‌باشد. مدل توسعه‌یافته تحلیل پوششی داده‌ها، فرمول‌بندی ریاضی آن در شرایط حاکم بر ساختار مدل و رویکرد اجرای آن بیان می‌شود. مطالعه‌ای موردی برای تعیین عوامل موثر بر عملکرد ایمنی با استفاده از مدل آورده شده است. علاوه بر رتبه‌بندی واحدها، تحلیل حساسیت به‌منظور رتبه‌بندی شاخص‌های تعیین شده در ورودی‌ها و خروجی‌ها انجام می‌گیرد.

یافته‌ها: نتایج مدل تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های فازی شهودی نشان داد که با افزایش k، تعداد واحدهای کارا افزایش می‌یابد؛ از طرفی، کمترین و بیشترین کارایی به ترتیب متعلق به دیدگاه بدبینانه ($k=0$) و دیدگاه متعادل ($k=0.5$) می‌باشد. همچنین تحلیل حساسیت نشان داد که دو عامل فشار کاری و میزان آسیب دیدگی‌ها (جسمی و روحی) به ترتیب، بیشترین و کمترین عوامل ایمنی تاثیرگذار بر نتایج کارایی هستند.

اصالت/ارزش افزوده علمی: استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های فازی شهودی برای ارزیابی عملکرد سایت‌های ساختمانی از بعد ایمنی، می‌تواند به‌طور معناداری نتایج بهتری فراهم کند زیرا در دنیای واقعی، عدم قطعیت وجود دارد و داده‌های فازی شهودی، میزان عضویت و عدم عضویت را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: ابعاد ایمنی، پروژه‌های ساخت‌وساز، تحلیل پوششی داده‌ها، رتبه‌بندی اعداد فازی شهودی، مجموعه‌های فازی شهودی.

۱- مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها، یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس تکنیکی غیرپارامتری است که به‌منظور اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده (*DMUs*) که دارای چندین ورودی و خروجی هستند به کار گرفته می‌شود. چارنز و همکاران[۱] (۱۹۷۸)، یک مدل تحلیل

[1] Charnes et al.

* نویسنده مسئول

z.latifi@scu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.4.10.1

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحه: ۶۴۷-۶۲۸

پوششی داده‌ها به نام CCR را برای تعیین کارایی‌های عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده ابداع کردند. این نوع ارزیابی برای واحدهای کاری هم جنس و به صورت هم‌زمان انجام می‌پذیرد. واحدهای تصمیم‌گیرنده را می‌توان هر نوع از سازمان‌های دولتی یا خصوصی همچون بیمارستان‌ها، دانشگاه‌ها، بانک‌ها، سایت‌های مختلف اجرایی و غیره در نظر گرفت. بررسی کارایی یکی از اقدامات کنترلی برای مدیریتی سازنده به‌منظور ارزیابی چگونگی عملکرد ورودی‌ها و خروجی‌ها در ارتباط با یکدیگر می‌باشد (لطیفی و شعبانعلی فمی[1]، ۲۰۲۰). همان‌گونه که انتظار می‌رود کارایی نسبی عملکرد برای هر واحد، به‌عنوان نسبت عملکرد آن واحد به بیشترین عملکرد است که همواره به‌عنوان عددی در بازه [0,1] به دست می‌آید. مدل‌های کلاسیک DEA محدود به مدل‌هایی با ورودی‌ها و خروجی‌های قطعی می‌باشند. درحالی‌که در مدل‌سازی ناشی از دنیای واقعی با ابهام و نوسان‌هایی در داده‌ها مواجه می‌شویم. تئوری مجموعه‌های فازی به‌عنوان ابزاری مهم برای کنترل ابهامات در مسایل معرفی شد (زاده[2]، ۱۹۶۵). توسعه‌های گوناگونی در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های فازی ($FDEA$) در حوزه‌های گوناگون وجود دارد (کائو و لیو[3]، ۲۰۰۰؛ جهانشاهلو و همکاران[4]، ۲۰۰۹؛ محب علیزاده و همکاران[5]، ۲۰۱۱؛ دوتولی و همکاران[6]، ۲۰۱۵). نظریه فازی مجموع میزان پذیرش و رد (درجه عضویت و عدم عضویت) برای یک عنصر برابر یک است. یعنی مقدار رد برای یک عنصر برابر با تفاضل میزان پذیرش از یک است. بااین‌حال در مسایل دنیای واقعی این احتمال وجود دارد که مجموع مقادیر پذیرش و رد برای یک عنصر کمتر از یک باشد. یعنی ممکن است مقداری نیز به‌عنوان تردید وجود داشته باشد. نظریه مجموعه‌های فازی برای رودررویی با چنین مواردی مناسب نیست. نظریه مجموعه‌های فازی شهودی، با در نظر گرفتن میزان پذیرش و عدم پذیرش به صورت هم‌زمان، توسط آتاناسف[7] (۱۹۸۶) و به‌عنوان یک توسعه کاربردی برای مواجه با این چالش معرفی گردید. پوری و یداو[8] (۲۰۱۵) مدل‌هایی خوشبینانه، بدبینانه و کلی برای مساله تحلیل پوششی داده‌ها با مقادیر ورودی و خروجی از نوع فازی شهودی مطرح کردند.

آریا و یداو[9] (۲۰۱۹) مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی ($IFDEA$) و مدل دوگان متناظر با آن را بر اساس α و β- برش‌ها پیشنهاد دادند. عدالت پناه[10] (۲۰۲۰) مدلی جدید از DEA را ارایه کرد که در آن اطلاعات واحدهای تصمیم‌گیری، اعداد نوتروسوفیک مثلثی می‌باشد. پس از مقایسه دو مدل مطرح شده، نتایج نشان دادند که ویژگی قابل توجه مدل جدید این است که می‌تواند اطلاعات نوتروسوفیک مثلثی را به سادگی و به‌طور موثر کنترل کند. شکوری و همکاران[11] (۲۰۲۰)، روشی پارامتری برای رتبه‌بندی اعداد فازی شهودی مطرح کردند و کاربردهایی از آن برای حل مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ارایه دادند که در مقاله حاضر، از روش آن‌ها در مطالعه موردی خود بهره برده‌ایم. در سال‌های اخیر، تمرکز ویژه‌ای به سمت نقش شرایط ایمن در حوزه ساخت‌وساز شکل گرفته است، زیرا وجود محیط‌های کاری خطرناک، میزان بالای صدمات جسمی و روحی و حتی تعداد کشته‌شدگان، منجر به از دست رفتن بهره‌وری و افزایش هزینه‌ها و گستردگی بیشتر برنامه‌ها می‌شود، علاوه بر این می‌تواند سبب نقصان یا وقفه در پروژه شود (فلین و همکاران[12]، ۲۰۰۰). لذا در مطالعه موردی برای این پژوهش توجه خود را معطوف به موضوع ارزیابی عملکرد سایت‌های ساختمانی (پروژه‌های ساخت‌وساز) از بعد ایمنی کرده‌ایم. در هر سیستمی بی‌شک مدیریت مسئول اصلی برقراری ایمنی و بهداشت کارکنان می‌باشد. شاید بتوان کاهش بهره‌وری یا میزان تولید از دست رفته را با اضافه‌کاری یا برخی از پارادایم‌های موازی جبران کرد، اما بی‌شک راهی برای جبران تلفات ناشی از نقصان ایمنی در محیط کار وجود ندارد. منظور از شرایط ایمنی عواملی هستند که نیروی انسانی را از عوامل مضر و خطرناکی که ممکن است باعث به خطر انداختن سلامتی آن‌ها شود مصون نگه می‌دارند. لذا اولین گام در مدیریت ایمنی، شناسایی عوامل با تاثیرگذاری بیشتر بر آن است. به‌طورکلی هر چه تعداد حادثه‌های ناشی از محیط کار به میزان کمتری باشد، می‌توان نتیجه گرفت در محیط کاری اصول ایمنی بیشتر رعایت شده است (کی منش و حمامی[13]، ۲۰۱۳). بیشتر مطالعات در مورد شرایط ایمنی ساخت‌وساز بر پایه‌ی بیش از یک سایت یا واحد عملیاتی انجام شده است (بروندینو و همکاران[14]، ۲۰۱۲؛ لیو و همکاران[15]، ۲۰۱۳). بااین‌حال اغلب برنامه‌ها در هنگام اجرا متفاوت با آنچه در پیاده‌سازی بی‌نقص و قطعی خود را نشان داده‌اند عمل می‌کنند. کنترل موثرترین عوامل می‌تواند نقش بهبود دهنده‌ای در برقراری شرایط ایمن در محیط کار داشته باشد. اعداد فازی شهودی به دلیل در نظر گرفتن تعلق و عدم تعلق به صورت هم‌زمان می‌توانند در این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها به صورتی انعطاف پذیرتر عملکرد سیستم را ارزیابی کنند. ازآنجایی‌که

---

[1] Latifi and Shabanali Fami
[2] Zadeh
[3] Kao and Liu
[4] Jahanshahloo et al.
[5] Moheb-Alizadeh et al.
[6] Dotoli et al.
[7] Atanassov
[8] Puri and Yadav
[9] Arya and Yadav
[10] Edalatpanah
[11] Shakouri et al.
[12] Flin et al.
[13] Keymanesh and Hamami
[14] Brondino et al.
[15] Liu et al.

تاکنون پژوهشی در حوزه ایمنی با داده‌های فازی شهودی تحقق نیافته است، به‌منظور رفع این کاستی، ما تمرکز خود را بر بهره‌گیری از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد سایت‌های ساختمانی از بعد ایمنی و با داده‌های فازی شهودی گذاشته‌ایم. ادامه این تحقیق به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش بعدی به پیشینه پژوهش پرداخته خواهد شد. کلیاتی از روش شناسی و چارچوب پژوهش در بخش ۳ ارایه می‌شود. در بخش ٤ به اطلاعاتی در مورد نحوه پیش پردازش داده‌ها، انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها و فیلترهای اولیه اشاره خواهد شد. بخش ۵، به شرح برخی از مفاهیم اولیه مورد نیاز برای رتبه‌بندی، نحوه به کارگیری روش رتبه‌بندی و صحت عملکرد آن می‌پردازد. در بخش ٦، توسعه مدل *DEA* به مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی (*IFDEA*)، فرمول‌بندی ریاضی و نحوه حل مدل موضوع اصلی می‌باشد. در بخش ۷، مطالعه موردی و در بخش ۸، تحلیل حساسیت بر اساس اطلاعات ورودی‌ها و خروجی‌ها از ۱۳ واحد ساخت‌وساز در شهرستان اهواز در استان خوزستان بررسی و انجام خواهد شد. بخش ۹ به تصمیمات مدیریتی می‌پردازد و در بخش پایانی نیز، برخی نتیجه‌ها و پیشنهادها برای روشن نمودن مسیر پژوهشی پیش رو آورده می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

یکی از حیاتی‌ترین چالش‌هایی که پیمانکاران و کارکنان در اغلب صنایع، ناگزیر از مواجه با آن می‌باشند مبحث ایمنی در محیط‌های کاری می‌باشد. حوادثی همچون سقوط از ارتفاع، حوادث ناشی از مشکلات سقف و داربست، ریزش اشیا، افتادن و باقی‌ماندن بین دو شی و برق گرفتگی از عمده علل مرگ‌ومیر و نقص عضو در صنایع است. ساخت‌وساز به‌عنوان یکی از پرحادثه‌ترین و خطرناک‌ترین مشاغل دنیا در میان صنعت‌های مختلف، به دلیل تنوع در پیچیدگی‌ها، حوادث و فشردگی‌های کاری سهم گسترده‌ای از خطرات را به خود اختصاص داده است. در واقع ضعف بیشتری برای رعایت اصول ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز دیده می‌شود. حوادث گوناگون و دلخراش ناشی از فقدان ایمنی و پیامدهای مالی، جسمی، روحی و روانی جبران ناپذیر پیش آمده در این حوزه برای اشخاص و ابعاد گسترده تاثیرگذاری آن بر عملکرد پروژه، خانواده و جامعه انکار ناپذیر است. آمارهای حاصل از گزارش‌های بهداشت جهانی (*World Health Organization*) نشان می‌دهند که سالیانه بیشتر از ۱/۲ میلیون نفر جان خود را به علت حادثه ناشی از محیط کار یا بیماری از دست داده‌اند. همچنین بیش از ۱٦۰ میلیون نفر از مردم جهان گرفتار عوارض ناشی از حوادث مربوط به محیط‌های کاری شده‌اند. (امینی نیا[1]، ۲۰۰۹) بررسی‌های بیشتر نشان داده است جامعه بشری به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، متوسط هزینه‌ای در حدود ۲% الی ۳% از تولید ناخالص ملی کل کشورهای جهان در قبال وقوع حوادث پرداخته‌اند که رقمی نزدیک به رشد اقتصادی سالانه برخی از کشورها است (حنیفی یزدی و قلی پور[2]، ۲۰۱۲). تداوم و افزایش روزافزون این حوادث چیزی جز تحمل زیان‌های گسترده‌ی جانی، مالی و روانی برای جامعه بشری نخواهد داشت. این در حالی است که با ارزیابی و تحلیل مناسب عوامل موثر، بهره‌گیری از تدابیر ایمنی و رعایت همه جانبه مقررات می‌توان به سطح مطلوبی از ایمنی در این صنعت رسید. به گونه‌ای که با اجرای استراتژی‌های مدبرانه و کمترین مخارج سبب افزایش کارایی عملیاتی ایمنی شد. در حوزه ایمنی، در مطالعه هرمانز و همکاران[3] (۲۰۰۹)، از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌ای در ۲۱ کشور استفاده شد. در نمونه‌ای دیگر برای ایمنی ساختمانی، از *DEA* برای عملکرد ایمنی ٤۵ پیمانکار ساختمانی بهره گرفته شد (ال-مشعله و همکاران[4]، ۲۰۱۰). زاده (۲۰۱۱)، برای تطابق بیشتر اعداد با دانش بشری مفهوم جدیدی به نام *Z-number* را معرفی کرد. این عدد مربوط به متغیری مانند x می‌باشد که بر اساس زوج مقادیری همچون (A, B) تعریف می‌شود به صورتی که در آن A یک زیرمجموعه فازی از متغیر x و B قابلیت اطمینان متخصصان در مورد x را نشان می‌دهد و ازاین‌رو برای توصیف تصمیم‌گیری‌های منطقی بر اساس اطلاعات ناشی از عدم قطعیت در مساله بهتر عمل می‌کند (آزاده و همکاران[5]، ۲۰۱۳). در صورت تعیین قطعیت برای میزان عدم اطمینان، این نوع اعداد به اعداد فازی تبدیل می‌شوند. برای نمونه می‌توان به آزاده و کوکبی[6] (۲۰۱٦)، یزدان پرست و همکاران[7] (۲۰۲۱) و توانا و همکاران[8] (۲۰۲۱) به‌عنوان برخی از پژوهش‌های مطرح شده در زمینه تحلیل پوششی داده‌ها با این نوع از داده‌ها اشاره کرد. اردشیر و همکاران[9] (۲۰۱٤)، از تحلیل سلسله مراتبی فازی برای شناسایی فاکتورهای موثر بر عملکرد ایمنی کارگران در صنعت ساخت‌وساز استفاده کردند. رهنورد و همکاران[10] (۲۰۱٦)، در پژوهش خود به بررسی حادثه‌های مربوط به ساخت‌وساز و عوامل تاثیرگذار بر آن در شهرستان کازرون پرداخته‌اند. آن‌ها ضمن اشاره به اهمیت بالای مسایل مرتبط با شرایط ایمن و سلامت شغلی کارگران ساختمانی، به بررسی آثار و

---

[1] Amininia
[2] Hanifiyazdi and GHolipour
[3] Hermans et al.
[4] El-Mashaleh et al.
[5] Azadeh et al.
[6] Azadeh and Kokabi
[7] Yazdanparast et al.
[8] Tavana et al.
[9] Ardeshir et al.
[10] Rahnavard et al.

لطفی و پویان/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحه: ٦۲۸-٦٤۷

تبعات مربوط به عدم رعایت مسایل ایمنی در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ پرداخته‌اند. نبی زاده و زاهدی[1] (۲۰۱۶)، برای تحلیل عوامل موثر بر حوادث در کارگاه‌های ساختمانی ایران با استفاده از ادبیات موضوعی پیشین و نظرات کارشناسان، ۷٤ عامل موثر بر ایمنی را استخراج کردند و در ٤ دسته کلی شامل عوامل فردی، شغلی، مدیریتی و محیطی قرار دادند. آن‌ها برای رتبه‌بندی عوامل با تاثیرگذاری بیشتر از نظرات متخصصان بهره گرفتند. امروزنژاد و یانگ[2] (۲۰۱۷) در پژوهش خود یک فهرست گسترده از مقالات مرتبط با *DEA* از جمله پیشرفت‌های نظری و روش‌شناسی و کاربردهای "حقیقی" در سناریوهای متنوع از سال ۱۹۷۸ تا پایان سال ۲۰۱٦ را گزارش داده‌اند که به‌عنوان مرجع مناسبی از تحقیقات پیشین می‌تواند مورد توجه پژوهشگران واقع شود. نتایجی کلی بر اساس گردآوری اطلاعات از ۸۳۷ نظرسنجی که در مورد ایمنی ساخت‌وساز از ۱۱۲ سایت انجام شد، توسط چن و همکاران[3] (۲۰۱۷b) ارایه گردید. نهنگی و همکاران[4] (۲۰۱۹) به‌منظور درک کارایی سایت‌های ساخت‌وساز و ارتباط آن‌ها با معیارهای اندازه‌گیری ایمنی، پژوهش گسترده‌ای با استفاده از *DEA* ارایه دادند. گنجی و همکاران[5] (۲۰۱۹) یک روش کارایی متقابل دو مرزی با رویکرد استدلالی آشکار برای ارزیابی کارایی ایمنی جاده‌ای پیشنهاد کردند. عمرانی و همکاران[6] (۲۰۲۰)، *DEA* را با روش بهترین-بدترین برای ارزیابی کارایی ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای ایران ترکیب کردند. ژو و همکاران[7] (۲۰۲۱)، کارایی ایمنی عمومی محله‌ای در چین را با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها انجام دادند. در پژوهش دیگری چن و همکاران (۲۰۲۱)، یک روش جدید با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های معکوس برای دستیابی به اهداف ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای و به‌منظور بررسی راهکارهای لازم برای کاهش حوادث جاده‌ای معرفی کردند. در **جدول ۱**، در این حوزه، خلاصه‌ای از پژوهش‌های مهم انجام شده و دستاوردهای آن‌ها با اعداد قطعی، فازی یا سایر توسیع‌ها آورده شده است.

جدول ۱- مروری بر برخی از پژوهش‌های انجام شده در تحلیل پوششی داده‌ها با عددهای قطعی، فازی یا توسیع‌های آن.

Table 1- An overview of some the research on DEA with crisp, fuzzy numbers or their extensions.

پژوهشگران (سال)	نوع	خلاصه پژوهش
کائو و لیو (۲۰۰۰)	F-DEA	مدل مربوط به سیستم‌های دو مرحله‌ای DEA را برای داده‌های فازی طراحی کردند.
صانعی فرد و همکاران[8] (۲۰۰۷)	F-DEA	رتبه‌بندی اقلیدسی DMUs را با اعداد فازی در مدل‌های DEA انجام دادند و صحت روش خود را در مثال‌هایی عددی آزمودند.
هرمانز و همکاران (۲۰۰۹)	DEA	از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌ای در ۲۱ کشور استفاده کردند.
جهانشاهلو و همکاران (۲۰۰۹)	F-DEA	با ارایه یک روش رتبه‌بندی جدید تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی را بررسی کردند.
نجفی و همکاران[9] (۲۰۰۹)	قطعی	در رویکردی کارت امتیازی متوازن (BSC) و تحلیل پوششی داده‌ها را ادغام کردند و یک مدل DEA توسعه‌یافته ارایه نمودند و سپس مقادیر ورودی و خروجی‌ها را برای مدل DEA-BSC گروه‌بندی کردند. آن‌ها نتایج پژوهش خود را برای ارزیابی ۶ شعبه بانکی آزمودند.
امیرتیموری و کردرستمی[10] (۲۰۱۰)	قطعی	روشی برای اندازه‌گیری کارایی که مبتنی بر فاصله اقلیدسی بود را پیشنهاد دادند و ضمن توسعه آن در برخی مدل‌ها، کاربردهایی از آن برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های گاز ارایه دادند.
ال-مشعله و همکاران (۲۰۱۰)	DEA	از DEA برای عملکرد ایمنی ۴۵ پیمانکار ساختمانی بهره گرفتند.
زاده (۲۰۱۱)	Z-number	برای تطابق بیشتر اعداد با دانش بشری مفهوم جدیدی به نام Z-number را معرفی کرد که برای توصیف تصمیم‌گیری‌های منطقی بر اساس اطلاعات ناشی از عدم قطعیت در مساله بهتر عمل می‌کند.
حاجی‌آقا و همکاران[11] (۲۰۱۳)	IF-DEA	مدل‌های تجمعی وزن‌دار را برای ورودی‌ها و خروجی‌های با داده‌های فازی شهودی ارایه و برای تبدیل متغیرهای زبانی به فازی شهودی از مقیاسی ۱۰ ارزشی در مطالعه خود استفاده کردند.
ابراهیم نژاد و همکاران[12] (۲۰۱۴)	قطعی	سه مرحله‌ای با دو مرحله موازی و مستقل از یکدیگر را به مرحله DEA یک مدل نهایی (مرحله سوم) متصل کردند و با در نظر گرفتن برخی فرضیات، کارایی مدل را در خدمات بانکداری ارایه دادند.

[1] Nabizadeh and Zahedi
[2] Emrouznejad and Yang
[3] Chen et al.
[4] Nahangi et al.
[5] Ganji et al.
[6] Omrani et al.
[7] Zou et al.
[8] Saneifard et al.
[9] Najafi et al.
[10] Amirteimoori and Kordrostami
[11] Hajiagha et al.
[12] Ebrahimnejad et al.

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continued.

پژوهشگران (سال)	نوع	خلاصه پژوهش
امروز نژاد و همکاران[1] (۲۰۱۴)	F-DEA	طبقه‌بندی شش‌گانه و بررسی‌های گسترده‌ای از روش‌های F-DEA را مطرح کردند. آن‌ها بر اساس رویکرد مبتنی بر سطح α، رتبه‌بندی فازی، رویکرد امکان، حساب فازی و مجموعه‌های فازی تصادفی نوع ۲، مقالات موضوعی مرتبط را دسته‌بندی کردند.
طلوع و همکاران[2] (۲۰۱۴)	DEA	یک مدل DEA خطی جدید برای به دست آوردن رتبه مربوط به کارایی فرآیندهای دو مرحله‌ای با فرض نسبت بازده به مقیاس ثابت و ورودی‌های مشترک مطرح کردند.
اردشیر و همکاران (۲۰۱۴)	F-AHP	از تحلیل سلسله مراتبی فازی برای شناسایی فاکتورهای موثر بر عملکرد ایمنی کارگران در صنعت ساخت‌وساز استفاده کردند.
دوتولی و همکاران (۲۰۱۵)	F-DEA	تکنیک جدیدی برای F-DEA به‌منظور ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت ارایه دادند. آن‌ها به‌منظور ارزیابی عملکرد چندین DMU درحالی‌که با داده‌های ورودی و خروجی نامشخص سروکار داریم، از اعداد فازی مثلثی استفاده کردند. در روش آن‌ها کارایی مثلثی فازی به هر DMU از طریق ارزیابی متقابل به دست آمده با سازش بین اهداف مناسب انتخاب شد. این روش برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی در منطقه‌ای در جنوب ایتالیا استفاده شد.
پوری و یداو (۲۰۱۵)	IF-DEA	مدل‌های IF-DEA و دوگان‌های آن‌ها را توسعه دادند.
آزاده و کوکبی (۲۰۱۶)	Z-DEA	برای اولین بار هنگام برخورد با ابهام موجود در داده‌ها از Z-number در مدل‌های DEA استفاده کردند. این نوع مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان مدل‌هایی احتمالی و فراتر از F-DEA باشند که در حالت خاص تبدیل به F-DEA می‌شوند.
رهنورد و همکاران (۲۰۱۶)	قطعی	به بررسی حادثه‌های مربوط به ساخت‌وساز و عوامل تاثیرگذار بر آن در شهرستان کازرون پرداخته‌اند.
نبی زاده و زاهدی (۲۰۱۶)	قطعی	برای تحلیل عوامل موثر بر حوادث در کارگاه‌های ساختمانی ایران، ۷۴ عامل موثر بر ایمنی را استخراج کردند.
چن و همکاران (۲۰۱۷b)	قطعی	نتایجی کلی بر اساس گردآوری اطلاعات از ۸۳۷ نظرسنجی که در مورد ایمنی ساخت‌وساز از ۱۱۲ سایت انجام گرفته بود، ارایه دادند.
امروزنژاد و یانگ (۲۰۱۷)	DEA	فهرست گسترده از مقالات مرتبط با DEA از جمله پیشرفت‌های نظری و روش‌شناسی و کاربردهای "حقیقی" در سناریوهای متنوع از سال ۱۹۷۸ تا پایان سال ۲۰۱۶ را گزارش داده‌اند.
نهنگی و همکاران (۲۰۱۹)	DEA	به‌منظور درک کارایی سایت‌های ساخت‌وساز و ارتباط آن‌ها با معیارهای اندازه‌گیری ایمنی، پژوهش گسترده‌ای با استفاده از DEA ارایه دادند.
سبت و همکاران[3] (۲۰۱۸)	قطعی	با در نظر گرفتن نتایج مطالعات امکان‌سنجی، در یک شرکت سرمایه‌گذاری ایرانی دارای ۱۵ فرصت سرمایه‌گذاری، مدل‌های DEA را به کار گرفتند.
یزدان پرست و همکاران (۲۰۱۸)	Z-DEA	ترکیب Z-DEA و شبکه‌هایی را برای ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تامین پس از طراحی پرسشنامه و با بهره‌گیری از ارزیابی‌های آماری به کار گرفتند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که با بهبود قابلیت‌های انعطاف‌پذیری و به ویژه آن‌هایی که بیشترین تاثیر را بر عملکرد زنجیره تامین دارند، در مواقع اختلال شرکت‌ها شاهد آسیب‌پذیری کمتری در عملکرد زنجیره تامین خواهند بود.
جهانی سیدنویری و همکاران[4] (۲۰۱۹)	قطعی	در مطالعه خود روشی مبتنی بر DEA را برای ارزیابی کارایی نسبی زنجیره‌های تامین با جریان معکوس و با حضور عوامل نامطلوب ارایه کردند. آن‌ها ضمن بیان فرضیاتی برای کنترل مناسب شرایط نامطلوب، یک مدل DEA شعاعی برای تعیین کارایی زنجیره‌های معکوس را در حالتی که خروجی‌های نامطلوب به‌عنوان عوامل خارجی و جریان‌های معکوس در نظر گرفته می‌شوند را ارایه کردند.
آریا و یداو (۲۰۱۹)	IF-DEA	با ورودی‌ها و DMUs را ارایه کردند که مدلی غیرشعاعی برای ارزیابی کارایی SBMمدلی به نام خروجی‌های از نوع اعداد فازی شهودی هست. این نوع مدل‌ها به‌عنوان مدل‌هایی کارآمد برای مقابله با عدم قطعیت‌ها، تعاملات بین پروژه‌ها و قابلیت اطمینان کاربرد دارند.

[1] Emrouznejad et al.

[2] Toloo et al.

[3] Sebt et al.

[4] Jahani Sayyad Noveiri et al.

لطیفی و پویان/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحه: ۶۴۷-۶۲۸

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continued.

پژوهشگران (سال)	نوع	خلاصه پژوهش
گنجی و همکاران (۲۰۱۹)	DEA	یک روش کارایی متقابل دو مرزی با رویکرد استدلالی آشکار برای ارزیابی کارایی ایمنی جاده‌ای پیشنهاد کردند.
عدالت پناه (۲۰۲۰)	N-DEA	مدل‌های پایه‌ای DEA را برای اعداد مثلثی نوتروسوفیک (TNN) به صورتی کارآمد توسعه داده‌اند.
شکوری و همکاران (۲۰۲۰)	IF-DEA	روشی پارامتری برای رتبه‌بندی اعداد فازی شهودی مطرح نمودند و ضمن ارایه برخی از مدل‌های IF-DEA در مثال‌هایی عملکرد روش خود را با برخی مطالعات پیشین مقایسه کردند.
منزلی و همکاران[1] (۲۰۲۰)	قطعی	در پژوهش خود بر روی ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب در DEA، علاوه بر تعیین کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده تاثیر این نوع داده‌ها را در بر محدوده کارایی بررسی کردند.
عمرانی و همکاران (۲۰۲۰)	DEA	DEA را با روش بهترین–بدترین برای ارزیابی کارایی ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای ایران ترکیب کرد.
جواهریان و همکاران[2] (۲۰۲۱)	IF-DEA	یک شبکه عصبی برای IF-DEA به‌منظور ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با ساختارهای دو مرحله‌ای برای داده‌های فازی شهودی از نوع مثلثی طراحی کردند و روش را برای یک مثال به کار بردند.
توانا و همکاران (۲۰۲۱)	Z-DEA	یک ساختار مهندسی یکپارچه کیفیت و انعطاف‌پذیری را در مدلی از سیستم‌های سلامت به‌منظور شناسایی عوامل موثر بر عملکرد تامین کنندگان تجهیزات پزشکی، ارزیابی آن‌ها و انتخاب تامین کنندگان با بهره‌گیری از Z-DEA بیان کردند. آن‌ها نشان دادند که ساختار پیشنهادی، عملکردی کارآمدتر از مهندسی کیفیت و تاب آوری به صورت مستقل از هم دارد.
ژو و همکاران (۲۰۲۱)	DEA	کارایی ایمنی عمومی محله‌ای در چین را با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها انجام دادند.
چن و همکاران (۲۰۲۱)	DEA	یک روش جدید با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های معکوس برای دستیابی به اهداف ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای و به‌منظور بررسی راهکارهای لازم برای کاهش حوادث جاده‌ای معرفی کردند.

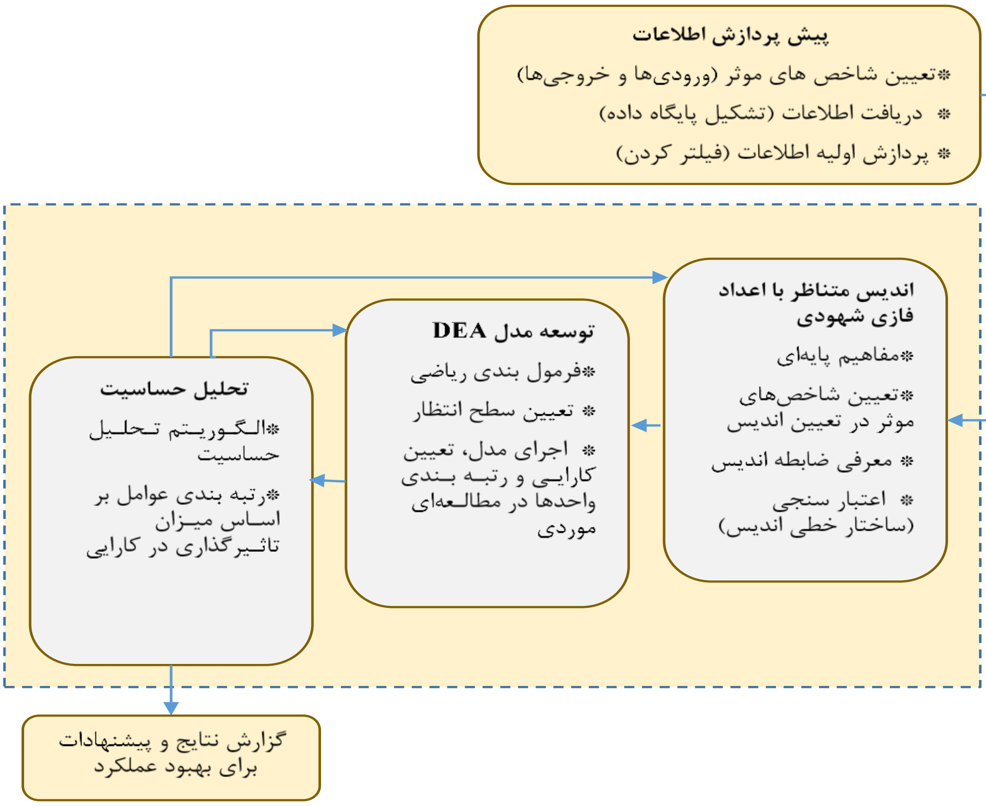
۳- روش شناسی پژوهش

در این پژوهش نظری–کاربردی که داده‌های آن از نوع فازی شهودی است برای تکامل پژوهش، ابتدا مطالعاتی کتابخانه‌ای با توجه به منابع روز فارسی و لاتین و اطلاعات وب سایت‌های معتبر انجام شده است. بررسی مطالعات نشان داد که تاکنون تحقیقی در این زمینه با داده‌های فازی شهودی صورت نپذیرفته است. برخی از سوالات در این پژوهش عبارتند از:

۱. چه عواملی به‌عنوان عوامل ورودی و خروجی در مدل *DEA* مربوط به این پژوهش شناخته و معرفی می‌شوند؟
۲. نحوه جمع‌آوری اطلاعات و فیلتر کردن آن‌ها به چه صورت انجام می‌شود؟
۳. با توجه به عدم قطعیت داده‌ها و استفاده از اعداد فازی شهودی برای مدل نمودن آن‌ها، چه روش رتبه‌بندی معتبری برای تخصیص رتبه متناظر می‌توان انتخاب و تعیین کرد؟
۴. آیا امکان توسعه مدل *DEA* به مدل *IFDEA*، از نظر ساختاری و اجرایی وجود دارد؟
۵. حل مدل و تحلیل حساسیت برای رتبه‌بندی شاخص‌های موثر بر کارایی (از بین ورودی‌ها و خروجی‌ها) در مطالعه موردی چگونه است؟

چارچوبی پیشنهادی برای تجزیه‌وتحلیل کارایی مبتنی بر ایمنی در **شکل ۱** به تصویر کشیده شده است. درباره هریک از ماژول‌ها در بخش‌های آتی، توضیحات کامل‌تری ارایه خواهد شد.

[1] Monzeli et al.
[2] Javaherian et al.



شکل ۱- ساختار کلی پژوهش.

Figure 1- General structure of the researcher.

۴- پیش پردازش اطلاعات

همان‌گونه که در قسمت مقدمه ذکر گردید یکی از شاخص‌های اصلی در ارتقای عملکرد پروژه‌های ساخت‌وساز مبحث ایمنی می‌باشد. واضح است که بدون شناسایی عوامل تاثیرگذار بر ایمنی، امکان بهبود عملکرد ایمنی محور برای سایت‌های ساخت‌وساز میسر نمی‌باشد (نهنگی و همکاران، ۲۰۱۹؛ چن و همکاران، ۲۰۱۷a). مروری بر یافته‌های پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که فاکتورهای شرایط ایمنی (*Safety Climate Factors*) به‌عنوان ورودی‌های یک واحد می‌توانند شامل موارد ۱- تعهد مدیریت (*SCF-1*)، ۲- درک ایمنی ناظر (*SCF-2*)، ۳- درک ایمنی همکار (*SCF-3*)، ٤- دانش ایمنی (*SCF-4*)، ٥- فشار کاری (*SCF-5*) و ٦- اضافه کار (*SCF-6*) می‌باشد. با توجه به پژوهشی که اخیرا نهنگی و همکاران (۲۰۱۹) انجام داده‌اند فشار کاری و درک ایمنی ناظر به ترتیب بیشترین تاثیر را در بین این ورودی‌ها داشته‌اند. دو عاملی که می‌توان به‌عنوان خروجی‌های هر سایت در نظر گرفت عبارتند از:

۱. میزان آسیب دیدگی‌های جسمی و روحی.
۲. حوادث ناامن.

از آنجا که ورودی به‌عنوان یک عامل تاثیرگذار مثبت، اثری مثبت بر خروجی باید داشته باشد، اطلاعات به دست آمده از گزارش موارد ۱ و ۲ به‌عنوان خروجی می‌بایست به صورتی معکوس ثبت گردد.

ازاین‌رو دو عامل فشار کاری و درک ایمنی ناظر را به‌عنوان ورودی‌ها و یافته‌های معکوس از میزان آسیب دیدگی‌های جسمی و روحی و حوادث ناامن را به‌عنوان خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیرنده مشخص می‌کنیم.

در مطالعه‌ای موردی که برای ارزیابی عملکرد سایت‌های ساختمانی از بعد ایمنی انجام شد، تعدادی سایت ساختمانی با حداقل پرسنل ۵۰ نفر را مدنظر قرار دادیم. از هر سایت حداقل ۱۰ نفر از پرسنل برای مصاحبه و نظرسنجی انتخاب شدند. با دریافت و ثبت اطلاعات به صورت اعداد فازی شهودی، بر اساس نظر کارشناسان آن حوزه در منطقه، پایگاه داده‌ای از مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌ها تشکیل گردید.

برای کسب اطمینان از میزان قابل اعتماد بودن داده‌ها، سایت‌های با تعداد کمتر از ۱۰ نفر شرکت کننده در نظرسنجی حذف گردید و نهایتا اطلاعات ۱۳ سایت در پایگاه داده باقی ماندند. تعدادی از اعداد نیز با نظر کارشناسان خبره در این حوزه با توجه به پرت بودن از سایر داده‌ها حذف شدند.

۵- تعیین رتبه متناظر با عدد فازی شهودی

در این بخش، برای تعیین رتبه متناظر با عدد فازی شهودی، به شرح برخی از مفاهیم اولیه مورد نیاز برای رتبه‌بندی، نحوه به کارگیری روش رتبه‌بندی و صحت عملکرد آن با استفاده از تعاریف و قضایای مربوطه که اغلب از مطالعه شکوری و همکاران (۲۰۲۰) بهره گرفته شده است، می‌پردازیم.

۵-۱- مفاهیم پایه‌ای

در این قسمت به‌منظور معرفی رتبه متناظر با هر عدد فازی شهودی، ابتدا مفاهیم اصلی و عملگرهای پایه‌ای مرتبط با اعداد فازی شهودی که در ادامه مورد نیاز می‌باشند، به صورت خلاصه معرفی می‌شوند.

تعریف ۱- فرض کنید X مجموعه مرجع باشد، یک مجموعه فازی شهودی (IFS) مانند A در X به‌صورت زیر معرفی می‌شود (آتاناسف، ۱۹۸٦):

$$A = \left\{ x, \mu_A\ x), \nu_A\ x))|x \in X \right\}. \quad (۱)$$

که در آن $\mu_A(x)$ و $\nu_A(x)$ به‌ترتیب نشان دهنده عضویت و عدم عضویت می‌باشند و مطابق با **روابط (۲)** و **(۳)** تعریف می‌شوند:

$$\mu_A: X \to [0,1],\ x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]). \quad (۲)$$

$$\nu_A: X \to [0,1],\ x \in X, \nu_A\ x) \in [0,1]). \quad (۳)$$

همچنین، برای هر عدد $x \in X$ شرط $0 \le \mu_A(x) + \nu_A(x) \le 1$ باید برقرار شود. تابعی به نام تابع تردید را برای هر $x \in X$، می‌توان با **رابطه (٤)** تعریف کرد:

$$\pi_A\ x) = 1 - \mu_A\ x) - \nu_A\ x). \quad (۴)$$

و ازاین‌رو $0 \le \pi_A(x) \le 1$ می‌باشد.

تعریف ۲- هر عدد فازی شهودی (IFN) دلخواه مانند a، یک مجموعه فازی شهودی روی محور اعداد حقیقی مشخص می‌کند که تابع عضویت و عدم عضویت آن به‌ترتیب متناظر با **روابط (۵)** و **(٦)** معرفی می‌شوند (وانگ[1]، ۲۰۰۸):

$$\mu_a(x) = \begin{cases} f_a(x), & a \le x \le b, \\ \mu, & b \le x \le c, \\ g_a(x), & c \le x \le d, \\ 0, & o.w. \end{cases} \quad (۵)$$

و

$$\nu_a(x) = \begin{cases} h_a(x), & a' \le x \le b', \\ \nu, & b' \le x \le c', \\ r_a(x), & c' \le x \le d', \\ 1, & o.w\,. \end{cases} \quad (۶)$$

و در آن f_a و r_a دو تابع پیوسته و غیر نزولی از $\mathbb{R}$ به $[0,1]$ و g_a و h_a دو تابع پیوسته و غیر صعودی از $\mathbb{R}$ به $[0,1]$ هستند. همین‌طور $a' \le a$ و $c \le c'$ و $b' \le b \le c \le c'$ و $d \le d'$ و $0 \le \mu + \nu \le 1$ و $0 \le \mu, \nu \le 1$ هستند. اگر $\mu = 1$ و $\nu = 0$ باشند یک عدد فازی شهودی نرمال خواهیم داشت. اعداد فازی شهودی ذوزنقه‌ای ($TraIFN$) که به‌عنوان دسته مهمی از اعداد فازی شهودی شناخته شده‌اند به صورت زیر تعریف می‌شوند:

تعریف ۳- عددی دلخواه مانند $a = \left\langle [a,b,c,d;\ \mu], [a',b',c',d';\nu] \right\rangle$ یک عدد فازی شهودی ذوزنقه‌ای ($TraIFN$) است، اگر توابع عضویت و عدم عضویت در آن به‌ترتیب به‌صورت زیر معرفی شوند:

---

[1] Wang

$$\mu_a(x)=\begin{cases}\mu\dfrac{x-a)}{b-a}, & a\le x<b,\\ \mu, & b\le x\le c,\\ \mu\dfrac{d-x)}{d-c}, & c\le x\le d,\\ 0, & o.w.\end{cases} \tag{۷}$$

و

$$\nu_a(x)=\begin{cases}\dfrac{\upsilon-1)\ x-a\prime)}{b'-a'}+1\,, & a'\le x<b',\\ \nu, & b'\le x<c',\\ \dfrac{\nu-1)(x-d')}{c'-d'}+1, & c'\le x<d',\\ 1, & o.w\,.\end{cases} \tag{۸}$$

توجه داریم که a، b، c، d، a'، b'، c' و d' اعدادی حقیقی هستند و روابط $0\le\mu,\nu\le 1$ و $0\le\mu+\nu\le 1$ برقرار می‌باشند.

تعریف ٤- هریک از مقادیر α- برش، β- برش و (α,β)- برش برای عدد $a=\left\langle\left[a,b,c,d;\ \mu\right],\left[a',b',c',d';\upsilon\right]\right\rangle$ به ترتیب عبارتند از:

$$a_\alpha=\left\{x|\mu_a(x)\ge\alpha\right\}=\left[a+\frac{\alpha}{\mu}(b-a),d+\frac{\alpha}{\mu}(c-d)\right]. \tag{۹}$$

$$\tilde{a}_\beta=\{x|\nu_{\tilde{a}}(x)\le\beta\}=\left[a'+\frac{(1-\beta)}{1-\nu}(b'-a'),d'+\frac{(1-\beta)}{1-\nu}(c'-d')\right]. \tag{۱۰}$$

$$\begin{aligned}a_{\alpha,\beta}&=\left\{x|\mu_a(x)\ge\alpha,\nu_a(x)\le\beta\right\}\\&=\left[a+\frac{\alpha}{\mu}(b-a),d+\frac{\alpha}{\mu}(c-d)\right]\cap\left[a'+\frac{1-\beta)}{1-\nu}\ b'-a'),d'+\frac{1-\beta)}{1-\nu}\ c'-d')\right].\end{aligned} \tag{۱۱}$$

تعریف ٥- فرض کنید دو عدد فازی شهودی ذوزنقه‌ای ($TraIFN$) مقدار دلخواه مانند $a_1=\left\langle\left[a_1,b_1,c_1,d_1;\ \mu_1\right],\left[a_1',b_1',c_1',d_1';\upsilon_1\right]\right\rangle$ و $a_2=\left\langle\left[a_2,b_2,c_2,d_2;\ \mu_2\right],\left[a'_2,b'_2,c'_2,d'_2;\upsilon_2\right]\right\rangle$ و $\gamma\in\mathbb{R}$ را داشته باشیم، آنگاه عملگرهای حسابی زیر را داریم (چوتیا و سیکیا[1]، ۲۰۱۸):

$$a_1\oplus a_2=\left\langle\left[a_1+a_2,b_1+b_2,c_1+c_2,d_1+d_2;min\{\mu_1,\mu_2\}\right],\left[a_1'+a_2',b_1'+b_2',c_1'+c_2',d_1'+d_2';max\{\upsilon_1,\upsilon_2\}\right]\right\rangle.$$

$$\gamma a_1=\begin{cases}\left\langle\left[\gamma a_1,\gamma b_1,\gamma c_1,\gamma d_1;\ \mu_1\right],\left[\gamma a_1',\gamma b_1',\gamma c_1',\gamma d_1';\upsilon_1\right]\right\rangle,\gamma\ge 0\,,\\ \left\langle\left[\gamma d_1,\gamma c_1,\gamma b_1,\gamma a_1;\ \mu_1\right],\left[\gamma d_1',\gamma c_1',\gamma b_1',\gamma a_1';\upsilon_1\right]\right\rangle,\gamma<0\ \ .\end{cases}$$

۲-۵- شاخص‌های موثر در تعیین رتبه

یکی از پایه‌ای‌ترین و مهم‌ترین موضوعات اولیه بعد از معرفی هر نوع داده، نحوه‌ی مقایسه یا اولویت‌بندی بین آن‌ها است. ازآنجاکه در این مطالعه اعداد فازی شهودی را مورد توجه قرار داده‌ایم. به دنبال تعیین روش مناسبی برای تخصیص اندیس متناظر با این نوع اعداد هستیم. همان‌گونه که می‌دانیم برای یک عدد فازی شهودی، مقداری را به‌عنوان درجه عضویت (میزان پذیرش) در نظر می‌گیرند که مسلماً باید اصلی‌ترین نقش را برای مشخص کردن ارزش متناظر با عدد داشته باشد. البته با تعیین سطح α می‌توان در سطوح تصمیم مختلف میزان درستی (تعلق) اعداد را با هم مقایسه کرد و ازاین‌رو امکان بررسی پارامتری نیز به‌منظور انعطاف‌پذیری بالاتر می‌تواند در انتخاب روش موثر باشد. از طرفی تابعی با مقدار $1-\mu-\nu$ به‌عنوان تابع تردید داریم که می‌توان ضریبی از آن را در تعیین رتبه تاثیر داد. زیرا در نقاطی که تردید داریم ممکن است تا حدودی امکان تعلق یا درستی در واقعیت اتفاق افتاده باشد.

---

[1] Chutia and Saikia

۵-۳- انتخاب رتبه متناظر با عدد فازی شهودی

با توجه به شاخص‌های موثر در تعیین رتبه برای یک عدد فازی شهودی، روش رتبه‌بندی که شکوری و همکاران (۲۰۲۰) برای رتبه‌بندی اعداد فازی شهودی استفاده کردند را مورد توجه قرار می‌دهیم. آن‌ها برای نوعی از اعداد فازی شهودی تعریفی ارایه دادند که بر اساس آن محور عمودی را به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفتند.

تعریف ٦- برای یک عدد فازی شهودی $a = \langle \mu'_a, \nu'_a \rangle$، هر یک از مولفه‌های موجود در بازه‌ها را می‌توان به صورت زوج مرتب‌های زیر نشان داد:

$$\mu_a'(r) = \big(m_l(r), m_u(r)\big), 0 \le r \le \mu_a.$$

$$\nu_{\tilde{a}}'(r) = \big(\mathrm{n}_l(r), \mathrm{n}_u(r)\big), \nu_{\tilde{a}} \le r \le 1.$$

هر یک از عناصر در آن به صورتی هستند که در روابط زیر صدق می‌کنند:

۱. $m_l(r)$ و $n_u(r)$ توابعی از نوع یکنوا، صعودی، کران‌دار و پیوسته از سمت چپ می‌باشند.
۲. $m_l(r)$ و $n_u(r)$ توابعی از نوع یکنوا، نزولی، کران‌دار و پیوسته از سمت چپ می‌باشند.
۳. $m_l(r) \le m_u(r)$ با $0 \le r \le \mu_a$.
۴. $n_l(r) \le n_u(r)$ با $\nu_a \le r \le 1$.

به‌عنوان نمونه، برای یک عدد فازی شهودی مقدار ذوزنقه‌ای همچون $a = \big\langle [a,b,c,d;\ \mu], [a',b',c',d';\nu] \big\rangle$ داریم:

$$\mu_a'(r) = \big(m_l(r), m_u(r)\big) = \left(a + \frac{r}{\mu_a}(b-a), d + \frac{r}{\mu_a}(c-d) \right), 0 \le r \le \mu_a.$$

$$\nu_a'(r) = \big(n_l(r), n_u(r)\big) = \left(a' + \frac{1-r}{1-\nu_a}(b'-a'), d' + \frac{1-r}{1-\nu_a}(c'-d') \right), \nu_a \le r \le 1.$$

آن‌ها با بهره‌گیری از این تعریف و با توجه به نقش عامل فازی شهودی در تعیین ارزش این نوع اعداد، روش رتبه‌بندی پارامتری زیر را تعریف کردند.

تعریف ۷- اگر یک عدد فازی شهودی بازه‌ای-مقدار مانند $a = \langle \mu'_a, \nu'_a \rangle$ داشته باشیم، آن‌گاه اندیس پارامتری متناظر با آن را می‌توان از **رابطه (١٤)** به دست آورد:

$$S_{\alpha,k}(a) = \int_{\alpha}^{\mu}\big(m_l(r) + m_u(r)\big)\,dr + k\left(\int_{\alpha}^{1-\nu}\big(n_l(r) - n_u(r)\big)\,dr - \left(\int_{\alpha}^{\mu}\big(m_l(r) + m_u(r)\big)\,dr\right)\right). \qquad (۱۴)$$

که در آن $0 \le \alpha \le \mu_a$ ، $k\epsilon[0,1]$ و $n_u(r)$ و $n_l(r)$ متعلق به $1 - \nu_a'$ است. مقدار به دست آمده برای $S_{\alpha,k}(a)$ به معنای اختصاص یافتن اندیسی پارامتری مقدار برای سطح تصمیم‌گیری بالاتر از α می‌باشد. همچنین ضریب k برای تاثیر تابع تردید از جانب تصمیم‌گیرنده به‌عنوان عددی در بازه صفر و یک انتخاب می‌شود. فرمول‌بندی **رابطه (١٥)** بیان ساده‌تری از **رابطه (١٤)** می‌باشد.

$$S_{\alpha,k}(a) = (1-k)\left(\int_{\alpha}^{\mu}\big(m_l(r) + m_u(r)\big)\,dr\right) + k\left(\int_{\alpha}^{1-\nu}\big(n_l(r) - n_u(r)\big)\,dr\right). \qquad (۱۵)$$

به‌عنوان مثالی پرکاربرد فرض کنید $a = \big\langle [a,b,c,d;\ \mu], [a',b',c',d';\nu] \big\rangle$ یک عدد فازی شهودی ذوزنقه‌ای مقدار باشد، آنگاه اندیس متناظر با آن عبارت است از:

$$S_{\alpha,k}(a) = (1-k)\left[(a+d)(\mu-\alpha) + \frac{(\mu^2-\alpha^2)}{2\mu}(b+c-a-d)\right] + k\Big[(a'+d')\big((1-\nu)-\alpha\big) + \frac{((1-\nu)^2-\alpha^2)}{2(1-\nu)}(b'+c'-a'-d')\Big], 0 \le \alpha \le \mu, k\epsilon[0,1]. \qquad (۱۶)$$

۵-۴- ساختار خطی اندیس و نحوه رتبه‌بندی

قضیه ۱ (خطی بودن ساختار اندیس)- فرض کنید دو عدد فازی شهودی ذوزنقه‌ای مقدار دلخواه مانند $a_1 = \big\langle [a_1,b_1,c_1,d_1;\ \mu], [a_1',b_1',c_1',d_1';\nu] \big\rangle$ و $a_2 = \big\langle [a_2,b_2,c_2,d_2;\ \mu], [a'_2,b'_2,c'_2,d'_2;\nu] \big\rangle$ داشته باشیم و همین‌طور $\gamma \in \mathbb{R}$ باشد، آنگاه:

$$S_{\alpha,k}\ \gamma\ a_1 \oplus a_2) \ = \gamma S_{\alpha,k}\ a_1) \oplus S_{\alpha,k}\ a_2). \qquad (۱۷)$$

وانگ و کر[1] (۲۰۰۱) هفت ویژگی منطقی برای ساختار اندیس‌های معرفی شده برای رتبه‌بندی اعداد فازی بیان کردند که اندیس معرفی شده در **روابط (۱٤)** و **(۱۵)** این خواص را دارد.

تعریف ۸- اگر دو عدد فازی شهودی مقدار مانند $a_1 = \langle \mu'_{a_1}, \nu'_{a_1} \rangle$ و $a_2 = \langle \mu'_{a_2}, \nu'_{a_2} \rangle$ داشته باشیم، آنگاه اندیس پارامتری متناظر با آن را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد ($0 \le \alpha \le \min\{\mu_{a_1}, \mu_{a_2}\}$ ، $k\epsilon[0,1]$):

$$a_1 \prec a_2 \ \leftrightarrow \forall\, \alpha, k;\quad S_{\alpha,k}\ a_1) < S_{\alpha,k}\ a_2).$$
$$a_1 \sim a_2 \ \leftrightarrow \forall\, \alpha, \mathrm{k};\quad S_{\alpha,k}\ a_1) = S_{\alpha,k}\ a_2).$$
$$a_1 \succ a_2 \ \leftrightarrow \forall\, \alpha, \mathrm{k};\quad S_{\alpha,k}\ a_1) > S_{\alpha,k}\ a_2).$$

به این ترتیب مقایسه بین دو عدد فازی شهودی امکان‌پذیر می‌شود.

۶- تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی (IFDEA)

۱-۶- مدل قطعی

تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک روش برنامه‌ریزی ریاضی این امکان را فراهم می‌آورد تا اندازه‌گیری عملکرد *DMU* هایی هم جنس که چندین ورودی و خروجی دارند به صورت هم‌زمان اندازه‌گیری شود. فرض کنید n واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_j\ (j = 1,2,\dots,n)$ داریم. با استفاده از m ورودی $p_{ij}\ \ i = 1,2,\dots,m)$ ، s تا خروجی $q_{rj}\ (r = 1,2,\dots,s)$ تولید می‌شود. علاوه براین DMU_o را به‌عنوان واحد تحت بررسی در نظر بگیرید، در این صورت مدل *CCR* را می‌توان به صورت زیر نوشت (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸).

$$\begin{aligned} CCR:\quad & \theta_o = max \frac{\sum_{r=1}^{s} v_r q_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} u_i p_{io}}, \\ s.t.\quad & \frac{\sum_{r=1}^{s} v_r q_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} u_i p_{ij}} \le 0, j = 1,2,\dots,n, \\ & (u_i, v_r \ge 0), i = 1,2,\dots,m, r = 1,2,\dots,s. \end{aligned} \qquad (۱۸)$$

که در آن u_i و v_r وزن‌های متناظر با ورودی‌ها و خروجی‌ها در مدل هستند. همچنین θ_0، معرف میزان کارایی نسبی برای واحد تحت بررسی است. با تبدیل خطی مناسب **مدل غیرخطی (۱۸)** می‌تواند به فرم خطی زیر نوشته شود:

$$\begin{aligned} CCR:\quad & \theta_o = max \sum_{r=1}^{s} v_r q_{ro}, \\ s.t.\quad & \sum_{i=1}^{m} u_i p_{io} = 1, \\ & \sum_{r=1}^{s} v_r q_{rj} - \sum_{i=1}^{m} u_i p_{ij} \le 0, j = 1,2,\dots,n, \\ & (u_i, v_r \ge 0), i = 1,2,\dots,m, r = 1,2,\dots,s. \end{aligned} \qquad (۱۹)$$

بنکر و همکاران[2] (۱۹۸۴) مدل *BCC* را با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس ارایه دادند که به‌عنوان نمونه بر اساس الگوهای ورودی محور و خروجی محور می‌تواند ساختار یابد. الگوی ورودی محور می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\begin{aligned} IO - BCC:\quad & \theta_o = max \sum_{r=1}^{s} v_r q_{ro} + u_0, \\ s.t.\quad & \sum_{i=1}^{m} u_i p_{io} = 1, \\ & \sum_{r=1}^{s} v_r q_{rj} + u_0 - \sum_{i=1}^{m} u_i p_{ij} \le 0, j = 1,2,\dots,n, \\ & (u_i, v_r \ge 0), i = 1,2,\dots,m, r = 1,2,\dots,s, (u_0\ is\ free). \end{aligned} \qquad (۲۰)$$

---

[1] Wang and Kerre

[2] Banker et al.

در این مدل، متغیرها مشابه قبل تعریف می‌شوند با این تفاوت که اکنون متغیر u_0، به شکل آزاد در علامت به مساله اضافه شده است.

۲-۶- مدل فازی شهودی

یکی از فرضیات اصلی در مدل‌های سنتی *DEA* وضوح و قطعیت آن‌ها در داده‌های ورودی و خروجی است. در واقع ریاضیات کلاسیک به تنهایی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و دارای ابهام نمی‌باشد. مانند هر نوع مدل‌سازی دیگری *DEA* نیز نیاز به تکامل و توسعه در محیط‌هایی با عدم قطعیت در داده‌ها دارد. با توجه به ویژگی‌های بارزی که در اعداد فازی شهودی وجود دارد به دنبال مدل‌سازی مناسب آن با این نوع از داده‌ها می‌باشیم. مدل *CCR* کلاسیک را در نظر بگیرید. اما مقادیر ورودی و خروجی را به صورت داده‌های فازی شهودی در نظر بگیرید یعنی، فرض کنید با استفاده از m ورودی $(p_{ij} \ \ i = 1,2, \dots ,m)$، s تا خروجی $(q_{rj}\ (r = 1,2, \dots ,s)$ تولید می‌شود. حال DMU_0 را به‌عنوان واحد تحت بررسی در نظر بگیرید، در این صورت **رابطه (۱۹)** به **رابطه (۲۱)** تبدیل می‌شود (شکوری و همکاران، ۲۰۲۰):

$$\begin{aligned} IF-CCR:\ \ \theta_o &= max \sum_{r=1}^{s} v_r q_{ro}, \\ s.t.\ \ &\sum_{i=1}^{m} u_i p_{io} = 1, \\ \sum_{r=1}^{s} v_r q_{rj} - &\sum_{i=1}^{m} u_i p_{ij} \le 0\,, j = 1,2, \dots ,n, \\ (u_i\,, v_r \ge 0), i &= 1,2, \dots ,m, r = 1,2, \dots ,s. \end{aligned} \tag{۲۱}$$

که در آن θ_o نشان دهنده میزان کارایی نسبی مدل شهودی برای واحد تحت ارزیابی است. مسلما حل مدل بدون استفاده از روش‌های رتبه‌بندی یا تبدیل به تعدادی زیر مساله امکان‌پذیر نخواهد بود. با توجه به خاصیت خطی اندیس انتخابی در بخش ۵ و تاثیر آن بر **مدل (۲۱)** به مدلی پارامتری بر اساس شاخص‌های α و k به صورت زیر می‌رسیم:

$$\begin{aligned} IF-CCR:\ \ \theta_o(\alpha,k) &= max \sum_{r=1}^{s} v_r S_{\alpha,k}(q_{ro}), \\ s.t.\ \ &\sum_{i=1}^{m} u_i S_{\alpha,k}(p_{io}) = 1, \\ \sum_{r=1}^{s} v_r S_{\alpha,k}(\,q_{rj}) - &\sum_{i=1}^{m} u_i S_{\alpha,k}(p_{ij}) \le 0\,, j = 1,2, \dots ,n, \\ (u_i\,, v_r \ge 0), i &= 1,2, \dots ,m, r = 1,2, \dots ,s. \end{aligned} \tag{۲۲}$$

که در آن $0 \ \le k \le 1, 0 \le \alpha < \mu; \mu = \min\{\mu_{x_{ij}}, \mu_{y_{rj}} \big|\ i = 1,2, \dots ,m,\ \ r = 1,2, \dots ,s,\ j = 1,2, \dots ,n\}$.

به طریق مشابه برای مدل *IO-BCC*، **رابطه (۲۳)** به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} IF-IO-BCC:\ \ \theta_o\ \alpha,k) &= max \sum_{r=1}^{s} v_r S_{\alpha,k}\ q_{ro}) + u_0, \\ s.t.\ \ &\sum_{i=1}^{m} u_i S_{\alpha,k}\ p_{io}) = 1, \\ \sum_{r=1}^{s} v_r S_{\alpha,k}\big(\,q_{rj}\big) + u_0 - &\sum_{i=1}^{m} u_i S_{\alpha,k}\big(p_{ij}\big) \le 0\,, j = 1,2, \dots ,n, \\ (u_i\,, v_r \ge 0), i = 1,2, \dots ,m,\ \ & r = 1,2, \dots ,s, (u_0\ is\ free). \end{aligned} \tag{۲۳}$$

۷- مطالعه موردی: ارزیابی کارایی ایمنی محور در پروژه‌های ساخت‌وساز

در این قسمت قصد داریم ارزیابی کارایی ایمنی محور در پروژه‌های ساخت‌وساز را برای ۱۳ سایت ساختمانی با داده‌های فازی شهودی مقدار به دست آوریم. ورودی‌های سیستم را فشار کاری و درک ایمنی ناظر و خروجی‌های آن را بر اساس شواهد معکوس از دریافت اطلاعات مربوط میزان آسیب دیدگی‌ها (جسمی و روحی) و حوادث ناامن در نظر می‌گیریم. اطلاعات به دست آمده در **جدول ۲** نوشته شده است. با توجه به نظر متخصصین میزان درستی برای هر عدد ۰/۸ و میزان نادرستی ۰/۱ می‌باشد. سه سناریو برای ارزیابی و حل مدل‌های پارامتری با توجه به **رابطه‌های (۲۲)** و **(۲۳)** بررسی می‌شود:

۱. تصمیم‌گیرنده خوشبین: انتخاب $k = 1$ و تعیین سطوح مختلف تصمیم با تغییرات α.

۲. تصمیم‌گیرنده متعادل: انتخاب $k = 0.5$ و تعیین سطوح مختلف تصمیم با تغییرات α.

۳. تصمیم‌گیرنده بدبین: انتخاب $k = 0$ و تعیین سطوح مختلف تصمیم با تغییرات α.

جدول ۲- اطلاعات مربوط به ۲ ورودی و ۲ خروجی برای ۱۳ واحد تصمیم‌گیرنده با داده‌های فازی شهودی.

Table 1- Information about 2 inputs and 2 outputs for 13 DMUs with intuitionistic fuzzy data.

DMUs	Input 1	Input 2	Output 1	Output 2
DMU 1	(14.5,15,16,16.5; 14,14.75,16.25,17)	(12.25,13,14,14.5; 12,12.5,14.25,15)	(9.5,10,14,14.75; 9,9.75,14.25,15.5)	(11.5,12,15,15.5; 11,11.75,15.25,16)
DMU 2	(10.25,11,12,12.5; 9.5,10.75,12.25,13)	(10.5,11,13,13.75; 10,10.75,13.25,14.5)	(12.5,13,15,15.5; 12,12.75,15.25,16)	(12,13,14,15; 11.5,12.5,14.25,15.5)
DMU 3	(11.25,12,14,14.75; 10.5,11.75,14.25,15.5)	(13,14,16,16.5; 12.5,13.5,16.25,17)	(10.5,11,15,1575; 10,10.75,15.25,16.5)	(13.5,14,15,16; 13,13.75,15.25,16.5)
DMU 4	(12.5,13,15,15.5; 12,12.75,15.25,16.5)	(14.5,15,16,16.5; 14,14.75,16.25,17)	(9.5,10,13,13.75; 9,9.75,13.25,14.5)	(12.5,13,15,15.75; 12,12.75,15.25,16.5)
DMU 5	(11.5,12,13,13.5; 11,11.75,13.25,14)	(10.5,11,14,14.75; 10,10.75,14.25,15.5)	(11.25,12,15,16; 10.5,11.75,15.25,16.5)	(14.25,15,16,16.5; 13.5,14.75,16.25,17)
DMU 6	(12.25,13,16,16.5; 11.5,12.75,16.25,17)	(14.25,15,17,17.5; 14,14.75,17.25,18)	(8.5,9,13,13.5; 8,8.75,13.25,14)	(12.25,13,15,15.75; 11.5,12.75,15.25,16.5)
DMU 7	(11.5,12,14,14.5; 11,11.75,14.25,15.5)	(11.5,12,14,14.5; 11,11.75,14.25,15)	(9.5,10,12,12.5; 9,9.75,12.25,13.5)	(14.5,15,16,16.5; 14,14.75,16.25,17)
DMU 8	(13.5,14,16,16.5; 13,13.75,16.25,17)	(14.5,15,16,16.5; 14,14.75,16.25,17)	(10.5,11,14,15; 10,10.75,14.25,15.5)	(13.25,14,16,16.5; 12.5,13.75,16.25,17)
DMU 9	(12.25,13,15,15.75; 12,12.5,15.25,16.5)	(11.5,12,15,15.5; 11,11.75,15.25,16)	(12.5,13,14,14.75; 12,12.75,14.25,15.5)	(12.5,13,14,15; 12,12.75,14.25,15.5)
DMU 10	(9,11.5,12.5,13.75; 8.5,10,13,14)	(13,14.25,15,15.5; 12.25,14,15.25,16)	(13.25,14.5,15.5,16; 13,14,15.75,16.5)	(14,15,15.5,16.25; 13.5,14.5,16,17)
DMU 11	(10.25,11,11.5,14.25; 10,10.5,15,15.5)	(13.25,16,16.5,17; 13,14,16.75,17.5)	(11.5,12.5,13,14; 11,12.25,13.5,15)	(14,14.5,15,16.5; 13.25,14.25,15.5,17)
DMU 12	(12,13.5,14,14.5; 11.5,13,14.25,15)	(15.25,16.5,17,18; 15,16,17.5,18.5)	(12,13.5,14,15.5; 11.5,13,15,16.25)	(13.5,14,14.75,15.25; 13,13.75,15,16)
DMU 13	(8,9.5,10,11; 7.5,8.5,10.5,11.5)	(10.5,11.5,12,13.25; 9.5,11,12.5,14)	(11,12.25,13,13.5; 10.25,11.5,13.25,14)	(11.75,12.5,13,14; 11,12,13.5,14.25)

برای سطح تصمیم $\alpha = 0.6$، با در نظر گرفتن سه دیدگاه بدبینانه، متعادل و خوش بینانه با بهره‌گیری از روش رتبه‌بندی ذکر شده در بخش ۵، مطابق آنچه در **جدول‌های ۳**، **٤** و **٥** مشاهده می‌شود، اطلاعات قطعی به دست می‌آید. به‌عنوان نمونه برای ورودی ۱ از واحد کارگاهی اول، یعنی $\tilde{a}_{(1\text{-}in1)}=(14.5,15,16,16.5,14,14.75,16.25,17)$ با استفاده از **رابطه (۱۶)** و بر اساس سه دیدگاه به ترتیب داریم:

$$S_{0.6,0}\ a_{1-in1}) = \ 1-0)[\ 14.5+16.5)\ 0.8-0) + \frac{0.8^2-0^2)}{2.\ (0.8)}\ 15+16-14.5-16.5)]$$
$$+0[\ 14+17)(\ 1-0.1)-0) + \frac{\ 1-0.1\ )^2-0^2)}{2\ 1-0.1)}\ 14.75+16.25-14-17)] = 6.2000,$$
$$S_{0.6,0.5}\ a_{1-in1}) = \ 1-0.5)[\ 14.5+16.5)\ 0.8-0.6) + \frac{0.8^2-0.6^2)}{2.\ (0.8)}\ 15+16-14.5-16.5)]$$
$$+0.5[\ 14+17)(\ 1-0.1)-0.6) + \frac{\ 1-0.1\ )^2-0.6^2)}{2\ 1-0.1)}\ 14.75+16.25-14-17)] = \ 7.7500,$$
$$S_{0.6,1}\ a_{1-in1}) = \ 1-1)[\ 14.5+16.5)\ 0.8-0.6) + \frac{0.8^2-0.6^2)}{2.\ (0.8)}\ 15+16-14.5-16.5)]$$
$$+1[\ 14+17)(\ 1-0.1)-0.6) + \frac{\ 1-0.1\ )^2-0.6^2)}{2\ 1-0.1)}\ 14.75+16.25-14-17)] = 9.3000.$$

همان‌گونه که انتظار می‌رود در صورت ثابت ماندن α با افزایش مقدار k، رتبه عدد افزایش می‌یابد (یا در موارد خاص ثابت خواهد ماند).

همچنین، نتایج کارایی و رتبه‌بندی واحدها برای هریک از سناریوها و مدل‌ها در **جدول ٦** آورده شده است. در تحلیل جدول بر اساس دیدگاه‌ها، می‌توان گفت تعداد واحدهای کارا با افزایش k، بیشتر شده یا حداقل ثابت مانده است. علاوه براین، بررسی **جدول ٦** بر مبنای مدل‌ها در هر دیدگاه، حاکی از افزایش میزان کارایی در مدل *IO-BCC* نسبت به مدل *CCR* می‌باشد. این مطلب برای هر واحد باعث بهبود رتبه یا ثابت ماندن آن در مدل *IO-BCC* نسبت به مدل *CCR* شده است.

جدول ۳- اطلاعات قطعی برای دیدگاه بدبینانه.

Table 2- Definitive information for a pessimistic scenario.

DMUs	Input 1	Input 2	Output 1	Output 2
DMU 1	6.2000	5.3938	4.8063	5.4000
DMU 2	4.5938	4.8063	5.6000	5.4000
DMU 3	5.2000	5.9875	5.2063	5.8125
DMU 4	5.6000	6.2000	4.6063	5.6063
DMU 5	5.0000	5.0063	5.4063	6.1938
DMU 6	5.7938	6.3938	4.4000	5.6000
DMU 7	5.2000	5.2000	4.4000	6.2000
DMU 8	6.0000	6.2000	5.0125	5.9938
DMU 9	5.6000	5.4000	5.4063	5.4125
DMU 10	4.7688	5.3813	5.9813	6.0938
DMU 11	4.5500	6.4438	5.1000	5.9250
DMU 12	5.4750	6.6938	5.5000	5.7500
DMU 13	3.8875	4.7063	5.0313	5.1063

جدول ۴- اطلاعات قطعی برای دیدگاه متعادل.

Table 3- Definitive information for a balanced scenario.

DMUs	Input 1	Input 2	Output 1	Output 2
DMU 1	7.7500	5.3750	6.0156	6.7500
DMU 2	5.7344	6.0156	7.0000	6.7188
DMU 3	6.5000	7.4500	6.5156	7.2688
DMU 4	7.0125	7.7500	5.7656	7.0156
DMU 5	6.2500	6.2656	6.7531	7.7344
DMU 6	7.2344	7.9969	5.5000	7.0000
DMU 7	6.5125	6.5000	5.5125	7.7500
DMU 8	7.5000	7.7500	6.2688	7.4844
DMU 9	6.9813	6.7500	6.7656	6.7688
DMU 10	5.8219	7.2781	7.4469	7.6219
DMU 11	6.1000	7.8281	6.4188	7.4375
DMU 12	6.8063	8.3719	6.9438	7.1938
DMU 13	4.7938	5.8781	6.2156	6.3719

جدول ۵- اطلاعات قطعی برای دیدگاه خوش بینانه.

Table 4- Definitive information for an optimistic scenario.

DMUs	Input 1	Input 2	Output 1	Output 2
DMU 1	9.3000	5.3563	7.2250	8.1000
DMU 2	6.8750	7.2250	8.4000	8.0375
DMU 3	7.8000	8.9125	7.8250	8.7250
DMU 4	8.4250	9.3000	6.9250	8.4250
DMU 5	7.5000	7.5250	8.1000	9.2750
DMU 6	8.6750	9.6000	6.6000	8.4000
DMU 7	7.8250	7.8000	6.6250	9.3000
DMU 8	9.0000	9.3000	7.5250	8.9750
DMU 9	8.3625	8.1000	8.1250	8.1250
DMU 10	6.8750	8.7250	8.9125	9.1500
DMU 11	7.6500	9.2125	7.7375	8.9500
DMU 12	8.1375	10.0500	8.3775	8.6375
DMU 13	5.7000	7.0500	7.4000	7.6375

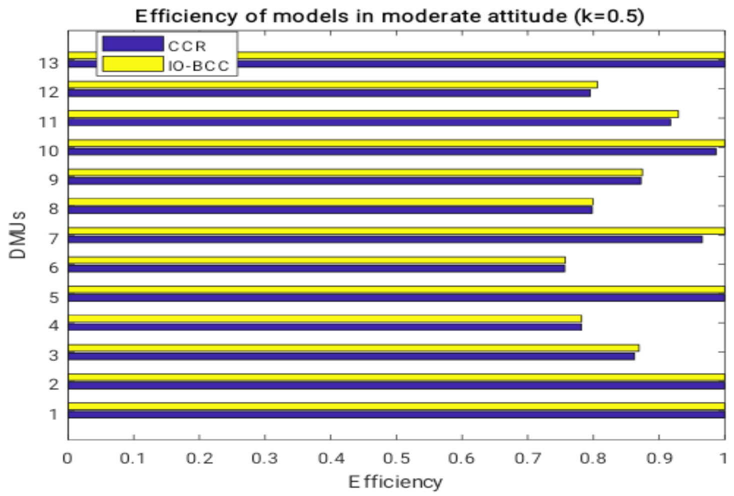
جدول ۶- نتایج کارایی و رتبه‌بندی برای ۱۳ واحد تصمیم‌گیرنده بر اساس سه دیدگاه و برای روش‌های CCR و IO-BCC با $\alpha = 0.6$.

Table 5- the results of Efficiency and ranking of 13 DMUs based on three scenarios and for CCR, and IO-BCC methods with $\alpha = 0.6$.

	تعیین رتبه با توجه به دیدگاه											
DMUs	k = 0				k = 0.5				k = 1			
	CCR	رتبه	IO-BCC	رتبه	CCR	رتبه	IO-BCC	رتبه	CCR	رتبه	IO-BCC	رتبه
DMU 1	0.8178	7	0.8876	3	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
DMU 2	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
DMU 3	0.8649	6	0.8764	4	0.8626	6	0.8694	4	0.8616	5	0.8661	3
DMU 4	0.7842	10	0.7849	7	0.7818	9	0.7820	7	0.7806	9	0.7815	7
DMU 5	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1
DMU 6	0.7579	11	0.7580	8	0.7561	10	0.7570	8	0.7551	10	0.7561	8
DMU 7	0.9637	4	1.0000	1	0.9657	3	1.0000	1	0.9654	3	1.0000	1
DMU 8	0.7990	9	0.7991	6	0.7982	7	0.7990	6	0.7978	7	0.7978	6
DMU 9	0.8731	5	0.8892	2	0.8724	5	0.8745	3	0.8590	6	0.8600	4
DMU 10	0.9728	3	1.0000	1	0.9865	2	1.0000	1	0.9986	2	1.0000	1
DMU 11	0.9914	2	1.0000	1	0.9173	4	0.9295	2	0.8826	4	0.8928	2
DMU 12	0.7996	8	0.8148	5	0.7952	8	0.8059	5	0.7944	8	0.8043	5
DMU 13	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1

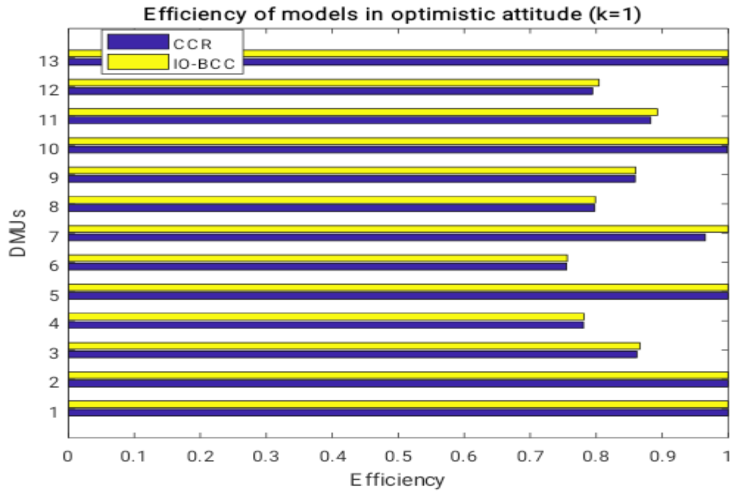
لطیفی و پویان/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحه: ۶۴۷-۶۲۸

شکل‌های ۲، ۳ و ٤، به وضوح تغییرات کارایی را به تفکیک دیدگاه‌ها در دو مدل *CCR* و *IO-BCC*، به تصویر کشیده‌اند. همان‌گونه که انتظار می‌رود میزان کارایی هر واحد در حل با روش *IO-BCC* مقدار بیشتری (در برخی مواقع ثابتی) را در مقایسه با حل به روش *CCR* نشان می‌دهد.



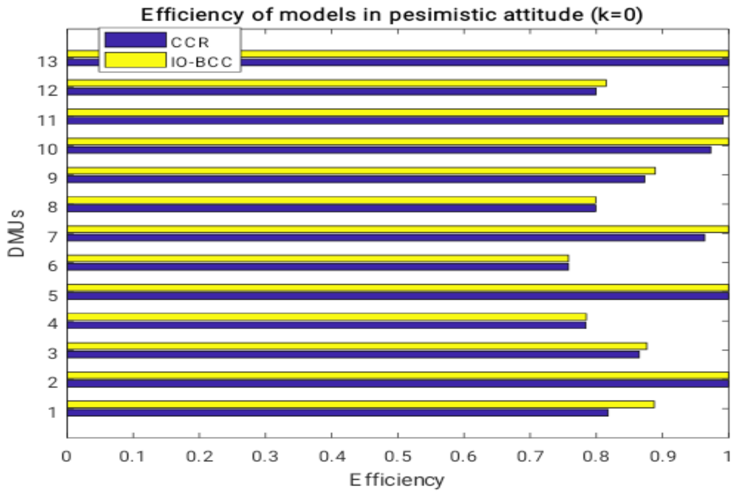
شکل ۲- تغییرات کارایی واحدها بر اساس دیدگاه بدبینانه (k=0).

Figure 2- Variation in the DMUs' efficiency based on pesimistic attitude (k=0).



شکل ۳- تغییرات کارایی واحدها بر اساس دیدگاه متعادل (k=0.5).

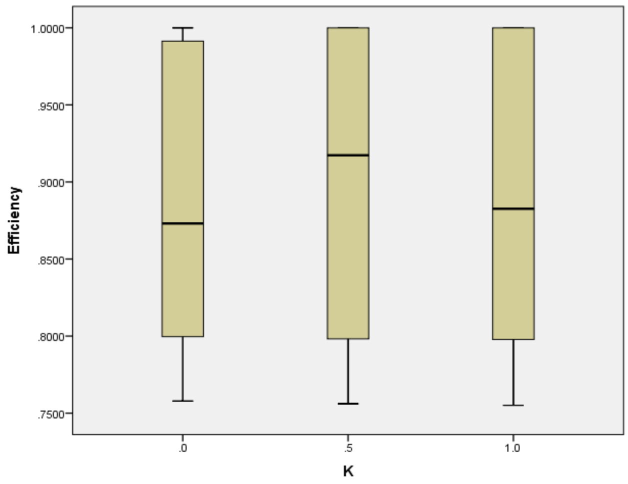
Figure 3- Variation in the DMUs' efficiency based on moderate attitude (k=0.5).



شکل ۳- تغییرات کارایی واحدها بر اساس دیدگاه خوش بینانه (k=1).

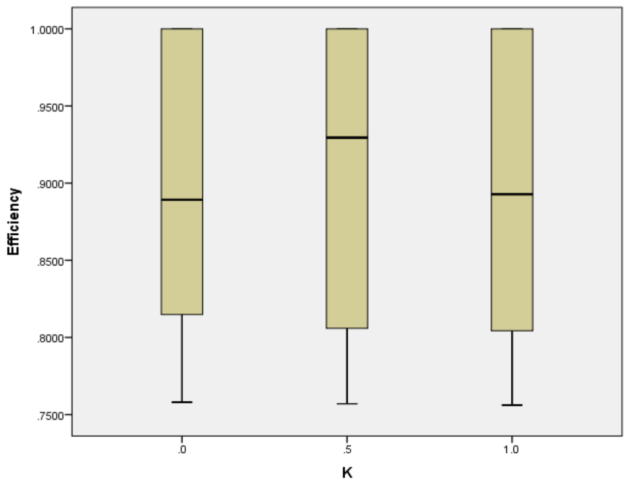
Figure 3- Variation in the DMUs' efficiency based on optimistic attitude (k=1).

در **شکل‌های ۵** و ٦، تغییرات کارایی برای هر دیدگاه و برای دو مدل *CCR* و *IO-BCC* نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در هر دو رویکرد *CCR* و *IO-BCC*، کمترین تغییرات با کمترین کارایی نسبت به سایر دیدگاه‌ها، مربوط به دیدگاه بدبینانه می‌باشد.



شکل ۴- تغییرات کارایی با رویکرد CCR به ازای سه دیدگاه.
Figure 4- Variation in efficiency with CCR method based on three scenarios.

مقادیر متوسط برای دیدگاه‌های بدبینانه، متعادل و خوش بینانه به ترتیب برابر ۰/۸۹۴۲، ۰/۹۰۲۸ و ۰/۸۹۹٦ می‌باشند.



شکل ۵- تغییرات کارایی با رویکرد IO-BCC به ازای سه دیدگاه.
Figure 5- Variation in efficiency with IO-BCC method based on three scenarios.

مقادیر متوسط برای دیدگاه‌های بدبینانه، متعادل و خوش بینانه به ترتیب برابر ۰/۹۰۴۵، ۰/۹۰۹۰ و ۰/۹۰۸۵ می‌باشند.

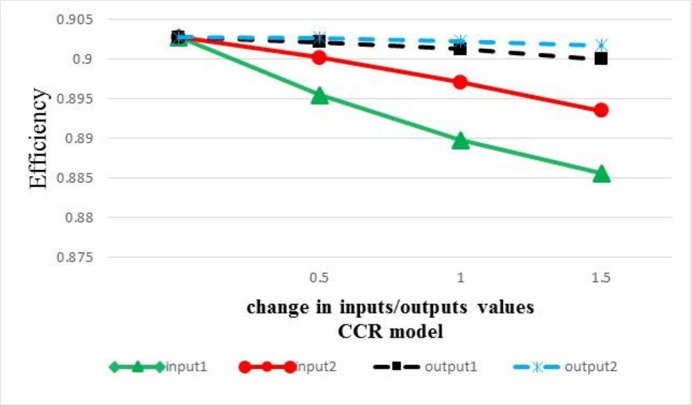
۸- تحلیل حساسیت

برای شناسایی و رتبه‌بندی تاثیرگذارترین ورودی‌ها و خروجی‌ها بر کارایی سایت‌های مورد بررسی در این مقاله، تجزیه‌وتحلیل حساسیت انجام می‌شود. درواقع، دلیل اصلی انجام تجزیه‌وتحلیل حساسیت، بررسی تاثیر ورودی‌ها و خروجی‌ها بر نتایج کارایی است. ازآنجاکه تغییرات مقادیر ورودی غیرقابل کنترل است، لذا تاثیر واقعی عوامل بر نتایج کارایی را نمی‌توان مستقیماً اندازه‌گیری کرد؛ بنابراین، برای تعیین میزان تاثیر هر عامل بر مقدار کارایی، عامل مذکور به‌طور تصنعی تغییر داده می‌شود، درحالی‌که سایر عوامل بدون تغییر نگه داشته می‌شوند. بدین ترتیب که از مقدار اصلی هر متغیر ورودی/ خروجی، مقادیر ۰/۵، ۱ و ۱/۵ (در هر مرحله، ۰/۵ مقدار) کم می‌شود. این روش برای تمامی ورودی‌ها و خروجی‌ها برای دو مدل *CCR* و *IO-BCC* انجام گرفت که نتایج آن در **شکل‌های ۷** و ۸ قابل مشاهده است. محور عمودی که میزان کارایی را نشان می‌دهد، درواقع، متوسط مقدار کارایی کلیه سایت‌های ساختمانی برای هر عامل می‌باشد که مقدار هر عامل از ۰/۵ تا ۱/۵ کم شده است. به عبارتی، محور عمودی، میزان کارایی سایت‌های ساختمانی با توجه به شرایط ایده‌آل

(مقدار کارایی یک برای کلیه سایت‌ها) را اندازه‌گیری می‌کند. همان‌گونه که در **شکل‌های ۷** و ۸ مشاهده می‌شود عوامل ورودی و خروجی بر اساس میزان تاثیر آن‌ها بر کارایی، از بیشترین به کمترین تاثیر رتبه‌بندی شده‌اند. مطابق **شکل‌های ۷** و ۸، در هر دو مدل *CCR* و *IO-BCC*:

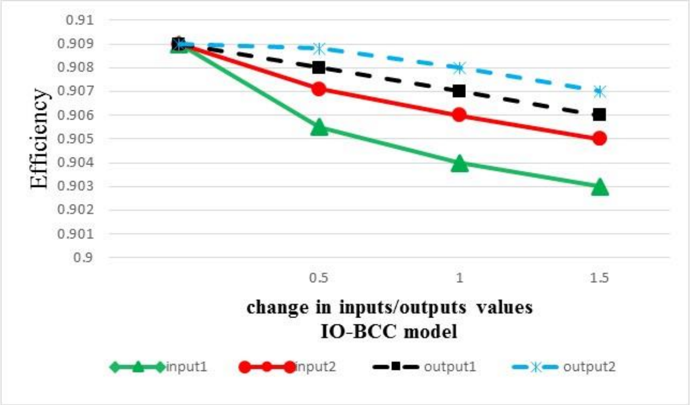
- رتبه اول: فشار کاری.
- رتبه دوم: درک ایمنی ناظر.
- رتبه سوم: میزان آسیب دیدگی‌ها (جسمی و روحی).
- رتبه چهارم: حوادث ناامن.

رتبه‌بندی فوق، اصلی‌ترین اولویت‌بندی عوامل ایمنی برای بهبود کارایی ایمنی محور سایت‌های ساختمانی با توجه به دو مدل *CCR* و *IO-BCC* است. با توجه به رتبه‌بندی به دست آمده در دو مدل *CCR* و *IO-BCC*، اگر قرار باشد عملکرد مبتنی بر ایمنی در یک شرکت ساختمانی بهبود یابد، باید بیشترین اولویت را کاهش فشار کاری قرار داد. از طرفی، حوادث ناامن باید کمترین اولویت را داشته باشد و با در نظر گرفتن هزینه یکسان برای همه عوامل ایمنی، باید آخرین عامل ایمنی باشد که بهبود یابد.



شکل ۶- تحلیل حساسیت ورودی‌ها و خروجی‌ها بر اساس کارایی در مدل CCR.

Figure 6- Sensitivity analysis of inputs and outputs based on efficiency, in CCR model.



شکل ۷- تحلیل حساسیت ورودی‌ها و خروجی‌ها بر اساس کارایی در مدل IO-BCC.

Figure 7- Sensitivity analysis of inputs and outputs based on efficiency, in IO-BCC model.

۹- تصمیمات مدیریتی

مدیریت کارآمد با بهره‌گیری از اطلاعات برآمده از کارایی و با اتخاذ تصمیمات هدفمند می‌تواند به ارتقای سطح قابلیت‌های خود دست یابد. به عبارتی می‌توان با برنامه‌ریزی و تدابیر کنترلی گوناگون، سیستم را به سمت‌وسوی تعالی روزافزون سوق داد. سازمان‌های بالادستی نیز می‌توانند به واحدهایی که کارایی لازم را دارند یا کارایی آن‌ها به‌طور متوسط به ازای مقادیر مختلف α و k از متوسط نمونه بیشتر است، خدماتی تشویقی به‌منظور گسترش فعالیت‌های آن‌ها و در نتیجه بهبود فضای عمومی ایمنی ارایه دهند. علاوه بر این، در صورت مشاهده کارایی کمتر از استاندارد تعیین شده، می‌توان با توجه به رتبه به دست آمده از میزان تاثیرگذاری پارامترها بر اساس آن‌چه در تحلیل حساسیت

ذکر گردید، در راستای ارتقای سطح ایمنی و کارایی گام برداشت. همان‌گونه که مشاهده گردید برمبنای مطالعات پیشین، از روشی پارامتری برای مطالعه موردی در این نوشته استفاده شده است. لذا می‌توان تنها به انتخاب مقادیر α و k مورد استفاده در این مثال اکتفا ننمود. تصمیم‌گیرندگان با افزایش α می‌توانند تصمیمی در سطح رضایت و تعلق بالاتر اخذ نمایند. از سویی دیگر، ممکن است مایل باشند با افزایش k، سهم تردید را در تعیین رتبه افزایش دهند. همچنین، اعداد می‌توانند تنها از نوع ذوزنقه‌ای نباشند بلکه از نوع مثلثی یا از انواع دیگر اعداد فازی باشند. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت، می‌توان از طریق جذب نیروی پاره‌وقت، فشار کاری را بر روی سیستم کاهش داد به گونه‌ای که منجر به کاهش حوادث جانی شود.

۱۰- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه، چارچوبی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های فازی شهودی جهت ارزیابی ایمنی محور سایت‌های ساختمانی توسعه داده شد. این پژوهش با استفاده از یک نظرسنجی جمع‌آوری شده در سایت‌های مختلف ساخت‌وساز در شهرستان اهواز در استان خوزستان انجام شده است. سه سناریو (بدبینانه ($k=0$)، متعادل ($k=0.5$) و خوش‌بینانه ($k=1$)) برای ارزیابی و حل مدل *DEA* و تاثیر آن بر کارایی در نظر گرفته شد. همچنین، تحلیل حساسیت برای رتبه‌بندی و شناسایی عوامل تاثیرگذار بر کارایی انجام گرفت. می‌توان نتایج مهم این تحقیق را به‌طور خلاصه به صورت زیر عنوان کرد:

۱. با افزایش k، تعداد واحدهای کارا افزایش یافته یا حداقل ثابت مانده است.
۲. با توجه به نتایج به دست آمده، دیدگاه بدبینانه ($k=0$) در مقایسه با سایر دیدگاه‌ها، کمترین تغییرات با کمترین کارایی را دارا می‌باشد.
۳. دیدگاه متعادل در بین سایر دیدگاه‌ها، تقریبا بالاترین کارایی را دارد.

تجزیه‌وتحلیل حساسیت نشان داد که "فشار کاری" در هر دو مدل *CCR* و *IO-BCC*، بیشترین عامل ایمنی تاثیرگذار بر نتایج کارایی است؛ بنابراین، برای افزایش کارایی سایت‌های ساختمانی، پارامتر "فشار کاری"، عامل اصلی برای بهبود کارایی سایت‌های ساختمانی است و باید بیشترین اولویت را داشته باشد. از محدودیت‌های موجود در این تحقیق می‌توان به تعداد عوامل ورودی برای مدل *DEA* اشاره نمود. عوامل زیادی به‌عنوان عوامل تاثیرگذار بر ایمنی سایت‌های ساخت‌وساز وجود دارند که باید به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شوند تا میزان تاثیر آن‌ها را بر کارایی سنجید. همچنین، می‌توان این نظرسنجی را در مناطق مختلف و به صورت سراسری انجام داد تا از نظرات متفاوت و اهمیت تاثیر این مناطق مطلع شد؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد که این مدل مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های فازی شهودی را برای مثالی با تعداد عوامل ورودی و خروجی بیشتر پیاده‌سازی کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود جهت مطالعه بهتر، نظرسنجی را برای تعداد سایت‌های بیشتر و برای مناطق متفاوت و به صورت سراسری اجرا کرد و نتیجه را مورد بررسی و تحلیل قرار داد.

تعارض با منافع

نویسندگان این نوشته اعلام می‌دارند که هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد.

منابع

Amininia, B. (2009). Investigation and analysis of accidents in the construction industry and in the whole country, registered with the social security organization in 1999. *Second national conference on building safety, civil house*, Tehran, Iran. Civilica. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/93787/

Amirteimoori, A., & Kordrostami, S. (2010). A Euclidean distance-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *Optimization*, *59*(7), 985-996. https://doi.org/10.1080/02331930902878333

Ardeshir, A., Alipouri, Y., & Besmel, P. A. (2014). Survey of factors influencing safety performance of workers in construction sites using fuzzy analytic hierarchy process (case study: Khuzestan province). *IOH*, *11*(6), 64-74. (**In Persian**). https://ioh.iums.ac.ir/article-1-1234-fa.html

Arya, A., & Yadav, S. P. (2019). Development of intuitionistic fuzzy data envelopment analysis models and intuitionistic fuzzy input–output targets. *Soft computing*, *23*(18), 8975-8993. https://doi.org/10.1007/s00500-018-3504-3

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets system*, *20*(1), 87–96. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3

Azadeh, A., & Kokabi, R. (2016). Z-number DEA: A new possibilistic DEA in the context of Z-numbers. *Advanced engineering informatics*, *30*(3), 604-617. https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.005

Azadeh, A., Saberi, M., Atashbar, N. Z., Chang, E., & Pazhoheshfar, P. (2013). Z-AHP: A Z-number extension of fuzzy analytical hierarchy process. *2013 7th IEEE international conference on digital ecosystems and technologies (DEST)* (pp. 141-147). IEEE. 10.1109/DEST.2013.6611344

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, *30*(9), 1078-1092. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078

Brondino, M., Silva, S. A., & Pasini, M. (2012). Multilevel approach to organizational and group safety climate and safety performance: Co-workers as the missing link. *Safety science*, *50*(9), 1847-1856. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.04.010

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, *2*(6), 429-444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8

Chen, L., Gao, Y., Li, M. J., Wang, Y. M., & Liao, L. H. (2021). A new inverse data envelopment analysis approach to achieve China's road transportation safety objectives. *Safety science*, *142*, 105362. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105362

Chen, Y., McCabe, B., & Hyatt, D. (2017a). Impact of individual resilience and safety climate on safety performance and psychological stress of construction workers: A case study of the Ontario construction industry. *Journal of safety research*, *61*, 167-176. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.014

Chen, Y., McCabe, B., & Hyatt, D. (2017b). Relationship between individual resilience, interpersonal conflicts at work, and safety outcomes of construction workers. *Journal of construction engineering and management*, *143*(8), 04017042. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001338

Chutia, R., & Saikia, S. (2018). Ranking intuitionistic fuzzy numbers at levels of decision-making and its application. *Expert systems*, *35*(5), e12292. https://doi.org/10.1111/exsy.12292

Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., & Sciancalepore, F. (2015). A cross-efficiency fuzzy data envelopment analysis technique for performance evaluation of decision-making units under uncertainty. *Computers & industrial engineering*, *79*, 103–114. https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.026

Ebrahimnejad, A., Tavana, M., Hosseinzadeh Lotfi, F., Shahverdi, R., & Yousefpour, M. (2014). A three-stage data envelopment analysis model with application to banking industry. *Measurement*, *49*, 308–319. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.11.043

Edalatpanah, S. A. (2020). Data envelopment analysis based on triangular neutrosophic numbers. *CAAI transactions on intelligence technology*, *5*(2), 94-98. https://doi.org/10.1049/trit.2020.0016

El-Mashaleh, M. S., Rababeh, S. M., & Hyari, K. H. (2010). Utilizing data envelopment analysis to benchmark safety performance of construction contractors. *International journal of project management*, *28*(1), 61-67. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.04.002

Emrouznejad, A., & Yang G. L. (2017). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. *Socio-economic planning sciences*, *61*, 4-8. http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008

Emrouznejad, A., Tavana, M., & Hatami-Marbini, A. (2014). The state of the art in fuzzy data envelopment analysis, in performance measurement with fuzzy data envelopment analysis. *Studies in fuzziness and soft computing*, *309*, 1-45. DOI: 10.1007/978-3-642-41372-8-1

Flin, R., Mearns, K., O'Connor, P., & Bryden, R. (2000). Measuring safety climate: identifying the common features. *Safety science*, *34*(1-3), 177–192. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00012-6

Ganji, S. S., Rassafi, A., & Xu, D. L. (2019). A double frontier DEA cross efficiency method aggregated by evidential reasoning approach for measuring road safety performance. *Measurement*, *136*, 668-688. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.098

Hajiagha, S. H. R., Akrami, H., Zavadskas, E. K., & Hashemi, Sh. S. (2013). An introductionistic fuzzy data envelopment analysis for efficiency evaluation under uncertainty: case of a finance and credit institution. *Ekonomie a management*, *16*(1), 128-137.

Hanifiyazdi, S., & Gholipour, Y. (2012). Study of body organ risk in construction accidents, *9th international congress of civil engineering*, Isfahan, Iran. Civilica. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/165638

Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009). Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident analysis & prevention*, *41*(1), 174-182. https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.010

Jahani Sayyad Noveiri, M., Kordrostami, S., Wu, J., & Amirteimoori, A. (2019). Supply chains performance with undesirable factors and reverse flows: A DEA-based approach. *Journal of the operational research society*, *70*(1), 125-135. https://doi.org/10.1080/01605682.2017.1421852

Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F., Shahverdi, R., Adabitabar, M., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Sohraiee, S. (2009). Ranking DMUs by l1-norm with fuzzy data in DEA. *Chaos, solitons & fractals*, *39*(5), 2294–2302. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2007.06.130

Javaherian, N., Hamzehee, A., & Sayyadi Tooranloo, H. (2021). Designing an intuitionistic fuzzy network data envelopment analysis model for efficiency evaluation of decision-making units with two-stage structures. *Advances in fuzzy systems*, *2021*. https://doi.org/10.1155/2021/8860634

Kao, C., & Liu, S. T. (2000). Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. *Fuzzy sets and systems*, *113*(3), 427-437. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00137-7

Keymanesh, M., & Hamami, M. (2013). *Safety management of construction sites (first edition)*. Nedaye Karafarin Publications. Tehran. (**In Persian**). https://www.gisoom.com

Latifi, Z., & Shabanali Fami, H. (2020). Investigating the technical efficiency of date palm cultivation using the data envelopment analysis. *International journal of agricultural management and development*, *10*(4), 383-399. DOI: 20.1001.1.21595852.2020.10.4.5.6

Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., Lu, W., & Lin, B. J. Y. (2013). A survey of DEA applications. *Omega*, *41*(5), 893–902. https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.11.004

Moheb-Alizadeh, H., Rasouli, S. M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location–allocation problems in a fuzzy environment. *Expert systems with applications*, *38*(5), 5687-5695. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.065

Monzeli, A., Daneshian, B., Tohidi, G., Sanaei, M., & Razaveian, S. (2020). Efficiency study with undesirable inputs and outputs in DEA. *Journal of fuzzy extension and applications*, *1*(1), 76-84.

Nabizadeh, F., & Zahedi, R. (2016). Analysis of factors affecting accidents in Iranian construction workshops; case study: Abbasabad city. *National conference on health, safety and environment in the construction industry*, Tehran, Iran. (**In Persian**). https://elmnet.ir/article

Nahangi, M., Chen, Y., & McCabe, B. (2019). Safety-based efficiency evaluation of construction sites using data envelopment analysis (DEA). *Safety science*, *113*, 382-388. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.005

Najafi, E., Aryanejad, M., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Ebnerasoul, A. (2009). Performance evaluation accounting with inputs non-discretionary factors in an integrated BSC-DEA methodology. *Future study management*, *20*(82), 161-161. (**In Persian**). https://jmfr.srbiau.ac.ir/article_5066.html?lang=en

Omrani, H., Amini, M., & Alizadeh, A. (2020). An integrated group best-worst method–data envelopment analysis approach for evaluating road safety: a case of Iran. *Measurement*, *152*, 107330. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107330

Puri, J., & Yadav, S. P. (2015). Intuitionistic fuzzy data envelopment analysis: an application to the banking sector in India. *Expert systems with applications*, *42*(11), 4982-4998. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.014

Rahnavard, M., GJasemi, S., & Ebrahimi, M. H. (2016). Investigation of construction accidents and factors affecting it, case study: Kazerun city. *Fourth international congress of civil engineering, architecture and urban development*, Tehran, Iran. (**In Persian**). https://elmnet.ir/article

Saneifard, R., Allahviranloo, T., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Mikaeilvand, N. (2007). Euclidean ranking DMUs with fuzzy data in DEA. *Applied mathematical sciences*, *1*(60), 2989-2998.

Sebt, M. V., Juybari, M. N., & Soleymanfar, V. R. (2018). Investment projects ranking with DEA method considering feasibility study results. *International journal of research in industrial engineering*, *7*(3), 320-335. https://doi.org/10.22105/riej.2018.147016.1058

Shakouri, B., Abbasi Shureshjani, R., Daneshian, B., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2020). A parametric method for ranking intuitionistic fuzzy numbers and its application to solve intuitionistic fuzzy network data envelopment analysis models. *Complexity*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/6408613

Tavana, M., Nazari-Shirkouhi, S., & Farzaneh Kholghabad, H. (2021). An integrated quality and resilience engineering framework in healthcare with Z-number data envelopment analysis. *Health care management science*, *24*(4), 768-785. https://doi.org/10.1007/s10729-021-09550-8

Toloo, M., Emrouznejad, A., & Moreno, P. (2017). A linear relational DEA model to evaluate two-stage processes with shared inputs. *Computational and applied mathematics*, *36*(1), 45-61. https://doi.org/10.1007/s40314-014-0211-2

Wang, J. (2008). Overview on fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Control and decision*, *23*(6), 601-606.

Wang, X., & Kerre, E. E. (2001). Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (I). *Fuzzy sets and systems*, *118*(3), 375-385. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00062-7

Yazdanparast, R., Tavakkoli-Moghaddam, R., Heidari, R., & Aliabadi, L. (2021). A hybrid Z-number data envelopment analysis and neural network for assessment of supply chain resilience: a case study. *Central European journal of operations research*, *29*(2), 611-631. https://doi.org/10.1007/s10100-018-0596-x

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Inform control*, *8*(3), 338-353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Zadeh, L. A. (2011). A note on z-numbers. *Information sciences*, *181*(14), 2923-2932.

Zou, Y., He, Y., Lin, W., & Fang, S. (2021). China's regional public safety efficiency: a data envelopment analysis approach. *The annals of regional science*, *66*(2), 409-438. https://doi.org/10.1007/s00168-020-01025-y