Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2020 (12 Dec);17:58.

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Identification and Ranking of Factors Affecting HSE Performance by Fuzzy Dimensional Combined Approach and Interpretive Structural Modeling

Alireza Motaghifard, PhD student of Industrial Engineering Department, Industrial and Mechanical Engineering Faculty, Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran.

Manouchehr Omidvari, (*Corresponding author), Associated professor, Safety Industrial Engineering Department, Industrial and Mechanical Engineering Faculty, Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran. omidvari88@yahoo.com

Abolfazl Kaazemi, Assistant professor, Industrial Engineering Department, Industrial and Mechanical Engineering Faculty, Islamic Azad University Qazvin Branch, Qazvin, Iran.

Abstract

Background and Objective: Today, there are different building performance assessment standards, which mostly adopt an environmental approach to buildings. Standards are the common language of countries and the world. By providing a common language, a standard can guarantee health and safety for the entire consumers, products, and services. The global village determines a wide range of rights and responsibilities for citizens, including the areas of safety, health, environment, and saving energy. In the building industry, different performance assessment methods are practiced in the world to promote the culture of a healthy life, including the ranking systems BEAM, LEED, and BREEAM. Assessment of building performance is a complex issue because it has to meet several criteria and it is necessary to establish consistency and consistency between these criteria. These include energy consumption, acoustic performance, thermal comfort, indoor air quality and many other issues. Building performance is a critical aspect of organizational activity influenced by building maintenance policies and practices.

Today, the measurement of building HSE performance assessment criteria is becoming an essential exercise due to legal processes and rules and individuals' increased knowledge of the safety, health, environment, energy consumption, welfare, and elegance of buildings. Building performance assessment criteria may be employed to assess the effects of different management activities in this area, consequently providing a good mechanism to supervise the building's performance to move toward HSE. One of the most important issues in the performance appraisal process is the impact of evaluators' personal judgment on performance appraisal results. Some researchers have addressed the impact of appraisal judgments on the appraisal process and identified this as one of the most important challenges of performance appraisal processes.

The use of multi-criteria decision making models can be very effective in this regard. One of the best practices that can be addressed in this regard is DEMATEL, in which it considers the intrinsic relationships between factors affecting performance indicators. Structural models can be used to determine relationships between evaluation criteria. Interpretive structural modeling approach has been used to increase data analytics capability and reduce system complexity. ISM is an interactive learning process introduced by Warfield in 1973. Interpretive structural models are able to determine the relationship between indices that are interdependent individually or in groups, and to

Keywords

HSE Performance

Interpretive Structural Analysis

Fuzzy DEMATEL

Construction Industry

HSE

Received: 2019-09-20

Accepted: 2020-06-01

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

analyze the relationship between indices by analyzing criteria at several different levels.

This study aims to identify and rank factors impacting buildings' HSE performance via the Fuzzy DEMATEL Approach and Interpretive Structural Modeling (ISL).

Methodology: This study is applicable in terms of objectives and descriptive-casual in terms of methodology. Using available resources and eight experts' views, 24 factors were identified in four areas: 1) structure, 2) architecture, 3) mechanical, and 4) electrical. Then, they were scored by the experts on the 9-point Likert scale. Those with a mean score above 5 were selected. The experts' selection criteria were classified into four groups. Then, their relationships and ranks were determined by using DEMATEL and ISM methods. Moreover, the relationships' strengths and the criteria's effectiveness and susceptibility were explored via the Fuzzy DEMATEL technique. The ISM and FDEMATEL results were used for two purposes: first, to confirm and verify the results of both methods and second, to improve the obtained results. In this study, the prioritization derived from the FDEMATEL method confirmed and improved the ISM prioritization. By combining the two methods, a conceptual model of building HSE performance assessment can be defined. The reason for using both interpretive structural modeling and DEMATEL is that the interpretive structural modeling method only determines the level of impact of the overlapping factors. And, it helps to identify the internal relationships between the factors. In other words, interpretive structural modeling is a good technique for analyzing the influence of one factor on other factors and can help to prioritize and determine the level of factors in a system. Whereas, the DEMATEL method has the ability to quantify the intensity of the interactions among the factors and to show how effective the factors are with each other. Penetration-Dependency Analysis(MICMAC) Impact-dependency power analysis is used to analyze the driving forces and the dependent forces of the variables. The sum of the values in the final access matrix for each element indicates the extent of penetration and the column sum will indicate the degree of dependence. Due to their dependence on conductor factors, they are considered followers. Based on the power of influence and dependency, four groups of identifiable elements will be:

1- Autonomous Attributes: Factors that have weak influence and dependence.

2- Dependent Attributes: Factors that have low penetration power but are highly dependent.

3- Linkage Attributes: Factors that have high influence and dependence.

4- Driver Attributes: Factors that have strong influence but weak dependence.

Findings: The FDEMATEL findings suggested that the structure's safety, electrical safety, and saving energy in the mechanical area were the most effective factors, respectively. However, architectural environment protection, saving architectural energy, and architectural elegance were the least important impacting factors. At the same time, ISM findings indicated that mechanical elegance and electrical welfare in the dependent group were factors with low influence but high dependence, while mechanical environment protection, saving electrical energy, and mechanical health in the independent group were factors with a strong influence but weak dependence. Based on the power of influence and dependency, four groups of identifiable elements will be:

1-Structural health factors, environmental protection of structures, energy

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

conservation of structures, architectural health, electrical health, electrical environment and electrical beauty in the autonomous group: factors that have weak influence and dependence.

2- Mechanical aesthetic factors and electrical welfare in the dependent group: factors that have low penetration power but are highly dependent

3- Structural safety factors, structural well-being, structural beauty, architectural safety, architectural environmental protection, architectural energy saving, architectural well-being, architectural beauty, mechanical safety, mechanical energy saving, mechanical well-being and electrical safety in Interconnected Group: Factors that have high influence and dependence.

4- Environmental protection, electrical energy saving, and mechanical health factors in the independent group: Factors that have strong penetration power but poor dependency.

Conclusion: There are different performance assessment standards in the building industries of countries in the world to improve health, including the BEAM, LEED, and BREEAM ranking systems. These standards are mostly concerned with environmental problems and energy consumption and none of them consider building performance assessment with safety, health, environment protection, saving energy, and elegance. Performance criteria ranking with the consideration of conditions governing the studied area enables material producers and suppliers in the building industry construct buildings according to the views on the area to enhance comfort feeling in them. Furthermore, the consideration of safety and health criteria in the material provision, construction, and use processes of buildings may increase the health and safety levels of the construction industry, which is referred to as one of the most dangerous industries. The combination of the HSE criteria with energy, comfort, and elegance is one of the most important practices in the performance assessment of the building industry, considered in this study. The determination of their relationships, as well as the effectiveness and susceptibility of each criterion and its sub criteria, can be very essential in building performance control and management considered by this study.

Conflicts of interest: None

Funding: None

How to cite this article:

Alireza Motaghifard, Manouchehr Omidvari, Abolfazl Kaazemi. Identification and Ranking of Factors Affecting HSE Performance by Fuzzy Dimensional Combined Approach and Interpretive Structural Modeling. Iran Occupational Health. 2020 (12 Dec);17:58.

***This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence**

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۵۸/۱۳۹۹

شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان با رویکرد ترکیبی دیمتل فازی و مدل‌سازی ساختاری تفسیری

علیرضا متقی‌فرد: دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران .
منوچهر امیدواری: (* نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی HSE، دانشکدهٔ صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران. omidvari88@yahoo.com
ابوالفضل کاظمی: استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: در دنیای امروز، استانداردهای مختلفی درخصوص ارزیابی عملکرد ساختمان وجود دارد که بیشتر رویکرد محیطزیستی به ساختمان دارد. استاندارد زبان مشترک جهان و کشورهاست. استاندارد با خلق زبان مشترک می‌تواند سلامت و ایمنی را برای همهٔ مصرف‌کنندگان، تولیدات و خدمات تضمین نماید. دهکدهٔ جهانی دامنهٔ وسیعی از حقوق و وظایف را برای شهروندان تعیین می‌کند که شامل مسائل مختلف ایمنی، بهداشت، محیط زیست و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. در صنعت ساختمان، ارزیابی‌های عملکرد مختلفی در کشورهای جهان، جهت اشاعهٔ فرهنگ سالم‌زیستی، درحال اجراست که از آن جمله می‌توان سیستم رتبه‌بندی BREEAM، LEED و BEAM را نام برد. امروزه اندازه‌گیری معیارهای ارزیابی عملکرد HSE ساختمان به‌علت رویه‌ها و مقررات قانونی و افزایش آگاهی افراد از منظرهای ایمنی، بهداشت، محیط زیست، مصرف انرژی، رفاه و زیبایی در ساختمان، درحال تبدیل شدن به فعالیتی مهم است. معیارهای ارزیابی عملکرد ساختمان برای ارزیابی اثر فعالیت‌های مختلف مدیریت در این حوزه استفاده می‌شود؛ درنتیجه سازوکاری مناسب برای نظارت بر عملکرد ساختمان به‌منظور حرکت به‌سمت HSE را فراهم می‌کند. هدف از این پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان با رویکرد دیمتل فازی و مدل‌سازی ساختاری تفسیری است.

روش بررسی: این مطالعه با توجه به هدف، کاربردی و براساس روش، توصیفی ـ علّی است. با استفاده از منابع در دسترس و همچنین نظرات خبرگان (۸ خبره)، ۲۴ عامل در ۴ حوزهٔ سازه، معماری، مکانیکال و الکتریکال شناسایی شد. در گام اول، با استفاده از منابع معیارهای عملکردی HSE در حوزهٔ ساختمان شناسایی شد. سپس توسط خبرگان به کمک طیف لیکرت ۹ به آن‌ها امتیاز داده شد. سپس آن‌هایی که دارای امتیاز متوسط بیش از ۵ بودند، انتخاب شدند. معیارهای انتخابی خبره‌ها در ۴ حوزه طبقه‌بندی شد. سپس با استفاده از روش DEMATEL و ISM اقدام به تعیین روابط بین آن‌ها و رتبه‌بندی گردید. از طریق رویکرد ساختاری تفسیری ISM اقدام به سطح‌بندی معیارها شد. همچنین به کمک تکنیک دیمتل فازی شدت روابط، اثرگذاری و اثرپذیری معیارها بررسی شد. نتایج روش ISM و FDEMATEL برای دو هدف استفاده می‌شود: اول اینکه، نتایج به‌دست‌آمده از هر دو روش تأیید و تصدیق شود؛ دوم اینکه، نتایج به‌دست‌آمده را بهبود دهد. در این پژوهش، اولویت‌بندی حاصل از روش FDEMATEL اولویت‌بندی برآمده از روشISM را تصدیق می‌کند و بهبود می‌بخشد. از تلفیق این دو روش می‌توان به تعریف مدل مفهومی ارزیابی عملکرد HSE ساختمان‌ها پرداخت.

یافته ها: یافته‌های تحقیق با رویکرد FDEMATEL نشان داد ایمنی سازه، ایمنی الکتریکال و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مکانیکال به‌ترتیب اثرگذارترین عوامل و حفاظت از محیط زیست معماری، صرفه‌جویی در مصرف انرژی معماری و زیبایی معماری کم‌اهمیت‌ترین عوامل اثرگذار است. از طرفی یافته‌های تحقیق با رویکرد ISM نشان داد عوامل زیبایی مکانیکال و رفاه الکتریکال در گروه وابسته، عواملی که دارای قدرت نفوذ کم ولی وابستگی شدید هستند و عوامل حفاظت از محیط زیست مکانیکال، صرفه‌جویی در انرژی الکتریکال و بهداشت مکانیکال در گروه مستقل، عواملی که قدرت نفوذ قوی ولی وابستگی ضعیف دارند.

نتیجه گیری: در صنعت ساختمان، استانداردهای ارزیابی‌های عملکرد مختلفی در کشورهای جهان جهت ارتقای سلامت وجود دارد که می‌توان به سیستم رتبه‌بندی BREEAM، LEED وBEAM اشاره نمود. این استانداردها بیشتر به مسائل محیط‌زیستی و مصرف انرژی پرداخته‌اند؛ به‌طوری در هیچ‌کدام از آن‌ها سیستم‌های ارزیابی عملکرد ساختمان با درنظر گرفتن مسائل ایمنی، بهداشت، حفاظت از محیط زیست و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و زیبایی مدنظر قرار نگرفته است. رتبه‌بندی معیارهای عملکردی با توجه به شرایط منطقهٔ مورد بررسی این فرصت را ایجاد می‌کند که سازندگان و تأمین‌کنندگان مواد در صنعت ساختمان بتوانند با توجه به نظرات حاکم بر منطقه اقدام به ساخت کنند تا احساس راحتی در آن‌ها افزایش یابد. همچنین توجه به معیارهای ایمنی و بهداشت در فرایند تهیهٔ مواد و ساخت و بهره‌برداری از ساختمان‌ها می‌تواند سبب افزایش سطح سلامتی و ایمنی فرایند صنعت ساخت‌وساز گردد که یکی از پرمخاطره‌ترین صنایع قلمداد می‌شود. تلفیق معیارهای HSE با انرژی، راحتی و زیبایی از مهم‌ترین مسائلی است که در ارزیابی عملکرد در صنعت ساختمان در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. تعیین روابط بین آن‌ها و مشخص نمودن اثرگذار و اثرپذیر بودن هر معیار و زیرمعیارهایش در کنترل و مدیریت عملکرد ساختمان بسیار اهمیت دارد که مورد توجه این تحقیق بوده است.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: ندارد.

کلیدواژه‌ها

عملکرد HSE

تحلیل ساختاری تفسیری

دیمتل فازی

صنعت ساختمان

HSE

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

شیوه استناد به این مقاله:

Alireza Motaghifard, Manouchehr Omidvari, Abolfazl Kaazemi. Identification and Ranking of Factors Affecting HSE Performance by Fuzzy Dimensional Combined Approach and Interpretive Structural Modeling. Iran Occupational Health. 2020 (12 Dec);17:58.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

مقدمه

صنعت ساخت‌وساز یکی از حوزه‌های مؤثر در توسعهٔ کشورها و از صنایع پرسود و رو به رشد قلمداد می‌شود. موضوع ارزیابی عملکرد چرخهٔ عمر ساختمان از مسائل مهم و مورد توجه کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه است. بی‌توجهی به مسائل ایمنی، بهداشت و محیط زیست در این صنعت جامعه و دولت‌ها را با چالش بزرگی مواجه خواهد کرد. هزینه‌های غیرمستقیم و درازمدت حاصل از بی‌توجهی به مسائل HSE در زمان ساخت و بهره‌برداری ساختمان‌ها ساکنان و نهادهای خدماتی مانند شهرداری‌ها را با مشکلات مهمی روبه‌رو می‌کند و هزینه‌های زیادی را به دولت و کشور تحمیل می‌نماید. در این خصوص، راهکارها و ساختارهای مختلفی جهت ارزیابی عملکرد ساختمان ارائه شده است. تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان یک فعالیت مهم و درعین حال پیچیده است. مفهوم عملکرد ساختمان و چرایی تجزیه و تحلیل این فعالیت از مسائل چالش‌برانگیز بوده است. مزایای استفاده از تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان و رابطهٔ بین عملکرد ساختمان با رتبه‌بندی ساختمان‌ها ازجمله موضوعات مورد بحث است.

سیستم‌های رتبه‌بندی سبز ساختمان انواع مختلفی از حفاظت را برای حل مشکلات محیط زیست در صنعت ساختمان به‌کار می‌برند. این موضوع بیشتر از جهت رتبه‌بندی ساختمان‌ها کاربرد دارد. (۱ـ۳)

در مطالعات انجام‌شده در این زمینه بیشتر به مسائل محیط‌زیستی پرداخته شده است؛ درحالی که مشکلاتی که در زمان بهره‌برداری از ساختمان و یا در زمان بحران برای ساختمان‌ها ممکن است ایجاد شود، لزوم استفاده از استانداردهای ایمنی و بهداشت در کنار محیط زیست را نشان می‌دهد.

بسیاری از کشورها برای کاهش اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها گواهی‌نامه‌هایی را توسعه داده‌اند که هدف آن کاهش مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی در طول ساخت‌وساز و فازهای عملیاتی ساختمان است. در هیچ‌کدام از این الگوها مسائل ایمنی و بهداشتی، چه در زمان ساخت و چه در زمان بهره‌برداری، لحاظ نشده است. (۴) اکثر ساختمان‌های سبز تأییدشده با این ابزارها عمدتًا درمورد طراحی و ساخت ساختمان به‌کار می‌روند؛ درحالی که چرخهٔ زندگی ساختمان سبز فراتر از این بوده و لازم است در تمامی مراحل از طراحی، ساخت و بهره‌برداری از یک ساختمان لحاظ شود. (۱ـ۲، ۵ـ۶)

از طرفی در بسیاری از سیستم‌های گواهی‌دهنده و ارزیابی‌کننده عملکرد ساختمان به مسائل محیط‌زیستی اشاره شده و شرایط ساکنان و ذی‌نفعان ساختمان در آن لحاظ نشده است. (۷ـ۱۱)

Alwisy (۲۰۱۸) به لزوم ایجاد چارچوب‌هایی برای رتبه‌بندی که بتواند قضاوت‌های شخصی ارزیابی‌ها را به‌حداقل برساند، پرداخته است. (۳) در این مطالعه، از سیستم‌های ساختاریافته استفاده شده؛ ولی با توجه به شاخص‌ها در این تحقیق، روابط بین شاخص‌ها مدنظر قرار نگرفته و شاخص‌ها به‌صورت کاملاً مستقل در ارزیابی لحاظ شده است.

Mattoni و همکاران در پژوهش خود به لزوم استفاده از معیارهای آب، انرژی، آسایش و ایمنی، مواد و کیفیت فضای باز در سیستم‌های رتبه‌بندی ساختمان‌ها تأکید کردند. (۴) این مطالعه از معدود پژوهش‌هایی است که در آن به آسایش ساکنان در ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها توجه شده و به عنوان یک پارامتر در عملکرد استفاده از ساکنان آن لحاظ شده است.

ارزیابی عملکرد ساختمان موضوعی پیچیده است؛ چراکه باید به چندین معیار پاسخ دهد و ضروری است میان این معیارها هماهنگی و سازگاری ایجاد شود. از آن جمله می‌توان مصرف انرژی، عملکرد صوتی، آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخل و بسیاری از مسائل دیگر را نام برد. (۱۲) عملکرد ساختمان‌ها یک جنبهٔ حیاتی از فعالیت سازمانی است که تحت تأثیر رویه‌ها و سیاست‌های حفظ و نگه‌داری ساختمان قرار می‌گیرد. Marzouk و Seleemدر تحقیقی با استفاده از شاخص‌های عملکردی کلیدی (KPIS[1]) مدلی پویا و شبیه‌سازی‌شده برای عملکرد تسهیلات موجود پیشنهاد کردند. (۱۳) این مقاله متأثر از عواملی است که به کاهش مصرف انرژی اشاره دارد و اثر مصرف انرژی بر هزینه‌های عملیاتی و چگونگی تأثیر آن‌ها بر عملکرد ساختمان را بیان می‌کند. لذا عوامل ایمنی و بهداشتی مؤثر بر عملکرد ساختمان به‌صورت یک‌پارچه بررسی نشده است. در این مطالعه، فقط به مبحث انرژی و عملکرد ساختمان‌ها درخصوص مصرف انرژی توجه شده است.

گوبی و همکاران در مقاله‌ای به بررسی مختصر تحقیقات درمورد نقش مقررات انرژی ساختمان در کشورهای

1 key performance indicators

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

درحال توسعه و رشد ابزارهای ارزیابی عملکرد ساختمان در کلمبیا، قطر و اردن پرداختند. آن‌ها با هدف ادغام سیستم ارزش‌گذاری ساختمان (BRaVe)[1] با ابزارهای موجود در کشورهای درحال توسعه، متغیرهای مورد استفاده برای ارزیابی جامع ساختمان را ارتقا دادند. (۱۴) در این مقاله عوامل مؤثر بر عملکرد ساختمان خوشه‌بندی نشده و روابط حاکم بر این عوامل، ازجمله نفوذپذیری و وابستگی، مورد بررسی قرار نگرفته است.

ارزیابی عملکرد چرخهٔ عمر ساختمان[2] تضمین‌کنندهٔ عملکرد ساختمان در طول ساخت و بهره‌برداری از آن است. این فعالیت‌های ارزیابی معمولاً دارای چند فاز در چندین رشته است که می‌تواند حجم زیادی از اطلاعات را تولید کند که نیاز به مدیریت کارآمد دارد. در LBPA روش‌های مختلف ارزیابی عملکرد مطرح می‌شود. (۱۵)

امیری و همکاران در مطالعهٔ خود به ایمنی در ساختارهای ساختمان و سازه‌های ساختمان اشاره کرده و اذعان کرده‌اند که بیشترین حوادث در صنعت ساختمان در زمان ایجاد سازه‌های ساختمان است. در این پژوهش، نویسندگان بر اهمیت ایمنی در سازه‌ها تمرکز کرده‌اند. (۱۶)

یاراحمدی و همکاران ضمن اشاره به شاخص‌های ایمنی، بهداشت و محیط زیست در صنعت ساختمان، بیان کردند که صنعت ساختمان در مرحلهٔ طراحی و ساخت درخصوص ایمنی و بهداشت و محیط زیست باید ملاحظاتی را رعایت نماید. چنانچه این مسئله مدنظر قرار نگیرد، ساختمان با چالش‌هایی روبه‌رو خواهد شد که درنهایت سبب کاهش عملکرد سبز آن می‌گردد. (۱۷)

دربارهٔ عملکرد ایمنی ساختمان‌ها یاراحمدی و همکاران در سال ۱۳۸۸ مطالعه‌ای انجام دادند که در آن عملکرد ایمنی حریق در ساختمان‌های بیمارستان را غیرقابل قبول دانستند و اعلام کردند که درباب عملکرد ساختمان‌ها در زمینهٔ حریق باید در مرحلهٔ ساخت و بهره‌برداری اقداماتی انجام داد. (۱۸)

در فرایند ارزیابی عملکرد، یکی از مهم‌ترین مسائل تأثیر قضاوت‌های شخصی ارزیاب‌ها در نتایج ارزیابی عملکرد است. در تحقیق شمایی و همکاران، به رفع تأثیر قضاوت‌های ارزیابی در روند ارزیابی پرداخته شد و این مسئله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های فرایندهای ارزیابی عملکرد مطرح گردید. (۱۹) استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این زمینه بسیار تعیین‌کننده خواهد بود. (۲۰ـ۲۲) یکی از بهترین روش‌ها در این حوزه DEMATEL است که در آن، روابط درونی بین عوامل مؤثر بر شاخص‌های عملکردی بررسی می‌شود. (۲۳ـ۲۵)

گرسل و همکاران در تحقیقی به ارائهٔ مدلی به‌منظور توسعهٔ الگوی مرجع یک‌پارچه جهت بهبود کارایی و کیفیت مدل‌های ارزیابی عملکرد ساختمان پرداختند که مدل ساختاری داده‌ها و الگوریتم‌های انعطاف‌پذیر، مدولار و گسترده‌ای را برای ارائه، تبدیل، ادغام و تجسم اطلاعات عملکرد ساختمان فراهم می‌آورد و نتایج اولیه حکایت از توانایی مدل دارد. (۱۵) در این مقاله، پیچیدگی روابط و بیان ارتباطات و وابستگی‌های عوامل مؤثر در ارزیابی عملکرد چرخهٔ عمر ساختمان مشخص نشده است؛ بنابراین نتوانسته عوامل را براساس قدرت نفوذ و وابستگی طبقه‌بندی نماید.

برای تعیین روابط بین معیارهای ارزیابی می‌توان از مدل‌های ساختاری استفاده کرد. برای افزایش قابلیت تجزیه و تحلیل داده‌ها و کاهش پیچیدگی سیستم از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری[3] استفاده شده است. ISM فرایند یادگیری تعاملی است که وارفیلد در سال ۱۹۷۳ ارائه کرد. (۲۶ـ۲۸)

مدل‌های ساختاری تفسیری قادر است ارتباط بین شاخص‌ها را که به‌صورت تکی یا گروهی با یکدیگر وابسته‌اند، تعیین کند و با تجزیهٔ معیارها در چند سطح مختلف، به تحلیل ارتباط بین شاخص‌ها بپردازد. (۲۶، ۲۹، ۳۰ـ۳۲)

لذا این مطالعه بر نظم دادن و جهت دادن به پیچیدگی روابط بین عوامل ایمنی، بهداشت، حفاظت از محیط زیست، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، زیبایی و رفاه براساس قدرت اثرگذاری و اثرپذیری و میزان وابستگی در عملکرد HSE ساختمان در چهار حوزهٔ سازه، معماری، مکانیکال و الکتریکال تمرکز کرده است. هدف از این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان‌ها و ارائهٔ مدلی مفهومی در تعیین و سطح‌بندی معیارهای مؤثر در ارزیابی عملکرد HSE ساختمان با رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل کمّی روابط و تعامل میان عوامل با رویکرد تکنیک دیمتل فازی است.

سؤال اصلی این تحقیق: مهم‌ترین عوامل مؤثر بر

1 Building Rating Value
2 Lifecycle building performance assessment
3 Interpretive Structural Modelling

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

عملکرد HSE ساختمان‌ها چیست و چه روابطی بین این عوامل وجود دارد؟

روش بررسی

عوامل کلیدی مؤثر برعملکرد HSE ساختمان

در این پژوهش، ۲۴ شاخص به‌عنوان عوامل مؤثر در عملکرد HSE ساختمان با استفاده از منابع در دسترس و نظرخواهی از خبرگان صنعت ساختمان مطابق جدول ۱ شناسایی شد. برای انتخاب شاخص‌ها در قدم اول از داخل منابع تعداد ۵۶ شاخص انتخاب شد که این شاخص‌ها در اختیار خبره‌ها قرار گرفت. خبره‌ها به هر شاخص براساس طیف لیکرک بین ۱ تا ۵ امتیاز دادند که متوسط امتیاز هر شاخص برمبنای نظر خبرگان تعیین گردید. شاخص‌هایی که دارای متوسط امتیاز ۳ به بالا بودند، برای تحقیق انتخاب شدند. تعداد خبره‌های این تحقیق ۸ نفر بود. خبره در این تحقیق به فردی گفته شد که دارای تحصیلات حداقل لیسانس در زمینهٔ مهندسی صنایع، ایمنی، HSE و یا عمران و معماری بوده و با سیستم‌های ISMو DEMATEL آشنایی داشته و دست‌کم ۵ سال در صنعت ساختمان تجربهٔ مفید داشته است. این تحقیق از نوع توصیفی ـ تحلیل حل مدل است که در آن به ارائهٔ مدل مفهومی برای ارزیابی و رتبه‌بندی ساختمان‌ها با ملاحظات منطقه‌ای و محلی می‌پردازد. مراحل تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. روش جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش طراحی و توزیع پرسش‌نامه میان گروه خبرگان بوده است. دو پرسش‌نامه طراحی شد که یکی از آن‌ها برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تحلیل به روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری و دیگری برای فراهم آوردن داده‌ها برای تحلیل به روش دیمتل به‌کار برده شد.

دربارهٔ شاخص‌های به‌دست‌آمده، چهار حوزهٔ اصلی در ساختمان‌سازی تعیین شد که در هر حوزه شاخص‌های ایمنی، بهداشتی، محیط زیست، مصرف انرژی، رفاه و زیبایی تعریف گردید. تمامی حوزه‌های اصلی براساس معیارهای حوزهٔ HSE و انرژی و زیبایی مورد توجه قرار گرفته تا بتوان عملکرد ساختمان را با رویکرد HSE مورد توجه قرار داد. این شاخص‌ها در جدول ۱ تعریف شده است. به‌طوری که در هر حوزهٔ اصلی معیارها و زیرمعیارهای HSEمورد توجه خبرگان قرار گرفت و براساس آن نظرات خود را اعلام کردند.

در پرسش‌نامه‌ای که به روش تحلیل ساختاری تفسیری طراحی گردید، از خبرگان خواسته شد تا نوع رابطهٔ بین عوامل مورد نظر را به‌لحاظ اثرگذاری و اثرپذیری مشخص نمایند. پرسش‌نامه‌ای برای دیمتل طراحی گردید و از خبرگان خواسته شد تا شدت اثرگذاری عوامل بر یکدیگر را به‌صورت کمّی نشان دهند. در این پژوهش، برای سنجش و تضمین روایی پرسش‌نامه‌ها از نظر ۸ نفر از خبرگان، و برای سنجش پایایی پرسش‌نامه‌ها از آلفای کرونباخ استفاده شد. محاسبهٔ ضریب آلفای کرونباخ با نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای روش‌های ISM و DEMATEL به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۸۳ به‌دست آمد. ابتدا روش ISM برای بررسی اولویت‌بندی عوامل به‌کار رفت و عوامل از دیدگاه اثرگذاری بر یکدیگر و درنهایت اثرگذاری بر عملکرد HSE ساختمان اولویت‌بندی شدند. در ادامه نیز با استفاده از روش FDEMATEL نحوهٔ تعامل و روابط علت و معلولی عوامل مشخص شد.

علت استفاده از هر دو روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری و دیمتل این است که روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری فقط سطح تأثیر عوامل بر هم را مشخص می‌کند و به تشخیص روابط درونی میان عوامل یاری می‌رساند. به‌عبارتی مدل‌سازی ساختاری تفسیری تکنیک مناسبی برای تجزیه و تحلیل تأثیر یک عامل بر عوامل دیگر است و می‌تواند در اولویت‌بندی و همچنین تعیین سطح عوامل سیستم کمک کند. درحالی که روش دیمتل توانایی این را دارد که شدت تعاملات روابط میان عوامل را به‌صورت کمّی نشان دهد و میزان اثرپذیری و اثرگذاری عوامل را با یک عدد نشان دهد.

مراحل و نتایج روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری

در روش ISM، جهت تعیین روابط بین عناصر از مراحلی به شرح زیر پیروی می‌شود (۳۶):

۱. تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری

در این مرحله، عوامل وارد ماتریس خودتعاملی می‌شوند. ماتریسی به ابعاد تعداد عوامل شناسایی و برای نشان دادن ارتباطات بین عوامل و قواعد SSIM تشکیل می‌شود. از چهار نماد V، A، X و O استفاده می‌شود (مطابق جدول ۲).

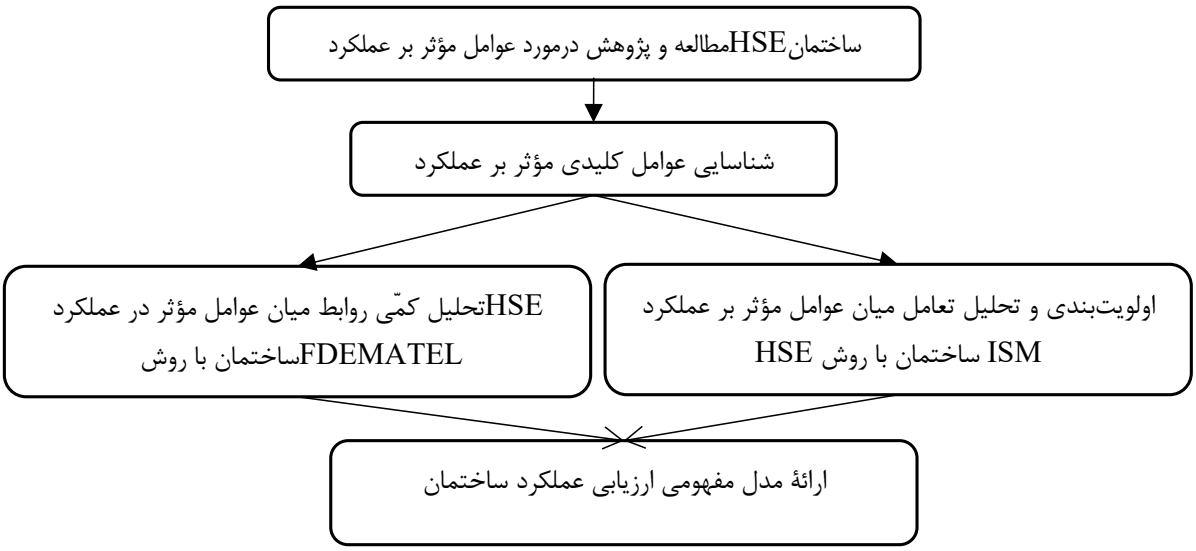
۲. تشکیل ماتریس دستیابی اولیه

با تبدیل نمادهای ماتریس SSIM به اعداد صفر و ۱

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

جدول ۱ـ عوامل مؤثر بر ارزیابی عملکرد HSE ساختمان (۴، ۳۳ـ۳۳۵)

شاخص	حوزه	تعریف	علامت
ایمنی	سازه	تدوین دستورالعمل ایمنی و پیاده‌سازی آن در طراحی و اجرای سازه	X1
بهداشت		پیاده‌سازی سازه با ملاحظات بهداشتی در زمان اجرای پروژه	X2
محیط زیست		طراحی سازه براساس ملاحظات محیط‌زیستی با استفاده از سیستم ارزیابی اثرات	X3
مصرف انرژی		طراحی سازه با ملاحظات انرژی (استفاده از روکش‌های مقاوم در انتقال انرژی)	X4
رفاه		طراحی و اجرای سازه با توجه به مسائل آسایش و رفاه ساکنان آتی (شیب رمپ‌ها و راه‌پله‌ها)	X5
زیبایی		طراحی و اجرای سازه با توجه به ملاحظات سلیقه‌ای منطقه	X6
ایمنی	معماری	طراحی و اجرای سفت‌کاری و نازک‌کاری ساختمان با ملاحظات ایمنی	X7
بهداشت		طراحی و اجرای سفت‌کاری و نازک‌کاری ساختمان با ملاحظات بهداشت محیط و حرفه‌ای	X8
محیط زیست		طراحی و اجرای ساختمان با ملاحظات سازگاری با محیط زیست (استفاده از مواد سازگار با محیط زیست)	X9
مصرف انرژی		طراحی و اجرای ساختمان با ملاحظات جلوگیری از هدر رفت انرژی	X10
رفاه		طراحی و اجرای ساختمان با ملاحظات آسایش ساکنان آتی (ناتوان/ کم‌توان/ معلول)	X11
زیبایی		طراحی و اجرای سفت‌کاری و نازک‌کاری با توجه به ملاحظات سلیقه‌ای منطقه	X12
ایمنی	مکانیکال	انتخاب و طراحی و اجرای سیستم مکانیکی (آب و فاضلاب و تهویه) ساختمان با ملاحظات ایمنی	X13
بهداشت		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم مکانیکی (آب و فاضلاب و تهویه) ساختمان با ملاحظات بهداشتی	X14
محیط زیست		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم مکانیکی (آب و فاضلاب و تهویه) ساختمان با ملاحظات محیط زیست	X15
مصرف انرژی		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم مکانیکی (آب و فاضلاب و تهویه) ساختمان با ملاحظات انرژی	X16
رفاه		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم مکانیکی ب و فاضلاب و تهویه) ساختمان با ملاحظات آسایش ساکنان	X17
زیبایی		انتخاب و طراحی سیستم تهویه و آب و فاضلاب و... با ملاحظات سلیقه‌ای منطقه	X18
ایمنی	الکتریکال	انتخاب و طراحی و اجرای سیستم الکتریکی ساختمان با ملاحظات ایمنی	X19
بهداشت		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم الکتریکی ساختمان با ملاحظات بهداشتی حرفه‌ای	X20
محیط زیست		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم الکتریکی ساختمان با ملاحظات اثرات محیط‌زیستی	X21
مصرف انرژی		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم الکتریکی ساختمان با رویکرد کاهش مصرف انرژی	X22
رفاه		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم الکتریکی ساختمان با ملاحظات آسایش ساکنان (سیستم هوشمند)	X23
زیبایی		انتخاب و طراحی و اجرای سیستم الکتریکی ساختمان با ملاحظات زیبایی منطقه (نورپردازی و تجهیزات برقی)	X24



شکل ۱ـ الگوی اجرای پژوهش

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

جدول ۲ـ ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM) عومل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24
X1	1	O	O	O	V	O	V	O	O	O	X	O	X	O	O	O	A	V	O	O	O	O	O	O
X2		1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X3			1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X4				1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X5					1	X	O	O	O	O	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X6						1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	V	O	O	O	O	O	O
X7							1	O	O	O	V	O	X	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O
X8								1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X9									1	X	X	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X10										1	X	A	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O
X11											1	V	A	O	O	A	A	O	A	O	O	A	O	O
X12												1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X13													1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X14														1	A	O	V	O	O	O	O	O	O	O
X15															1	O	O	O	O	O	O	O	O	O
X16																1	O	O	O	O	O	O	O	O
X17																	1	O	O	O	O	O	O	O
X18																		1	O	O	O	O	O	O
X19																			1	O	O	O	V	O
X20																				1	O	O	O	O
X21																					1	O	O	O
X22																						1	O	O
X23																							1	O
X24																								1

A: عامل ستون (j) می‌تواند زمینه‌ساز رسیدن به عامل سطر (i) باشد (ارتباط یک‌طرفه از j به i).

V: عامل سطر (i) می‌تواند زمینه‌ساز رسیدن به عامل ستون (j) باشد (ارتباط یک‌طرفه از i به j).

X: بین عامل سطر (i) و عامل (j) ارتباط دوجانبه وجود دارد. به‌عبارتی هر دو می‌توانند زمینه‌ساز رسیدن به همدیگر شوند (ارتباط دوطرفه از i به j و برعکس).

O: هیچ ارتباطی بین این دو عنصر (ij) وجود ندارد.

جدول ۳ـ ماتریس دستیابی اولیه عوامل (RM) مؤثر بر HSE ساختمان

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24
X1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
X7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
X8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
X11	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X13	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
X15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
X20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ب. اگر خانهٔ (j,i) در ماتریس SSIM نماد A بگیرد، خانهٔ مربوط در ماتریس دستیابی عدد صفر می‌گیرد و خانهٔ قرینه آن یعنی (i,j) عدد ۱ می‌گیرد.

ج. اگر خانهٔ (j,i) در ماتریس SSIM نماد X بگیرد، خانهٔ مربوط در ماتریس دستیابی عدد ۱ می‌گیرد و خانهٔ قرینهٔ آن یعنی (i,j) عدد ۱ می‌گیرد.

د. اگر خانهٔ (j,i) در ماتریس SSIM نماد O بگیرد، خانهٔ مربوط در ماتریس دستیابی عدد صفر می‌گیرد و خانهٔ قرینهٔ آن یعنی (i,j) عدد صفر می‌گیرد.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

جدول ٤ـ ماتریس دستیابی نهایی عومل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	
X1	1*	0	0	0	1	1*	1	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1	1*	0	0	0	1*	0	14
X2	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
X3	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
X4	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
X5	1*	0	0	0	1*	1	1*	0	1*	1*	1*	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X6	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1	1*	0	0	0	1*	0	14
X7	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1	0	0	0	1*	0	14
X8	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
X9	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X10	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1	1*	1	1*	1*	0	0	1	1	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X11	1	0	0	0	1	1*	1*	0	1	1	1*	1	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X12	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X13	1	0	0	0	1*	1*	1	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X14	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	1*	1*	0	1*	1	1*	1*	0	0	0	1*	0	15
X15	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	16
X16	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X17	1	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1*	0	14
X18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	0	0	1
X19	1*	0	0	0	1*	1*	1	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	0	1	0	14
X20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	0	1
X21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	0	0	1
X22	1*	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	1*	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	1*	0	0	1*	1*	0	15
X23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	1
X24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	1
	15	1	1	1	15	15	15	1	15	15	15	15	15	2	1	15	15	16	15	1	1	1	16	1	

برحسب قواعد ماتریس RM در رویکرد ISM، ماتریس دستیابی اولیه مطابق جدول ۳ تشکیل می‌شود. این قواعد به‌صورت زیر است :

الف. اگر خانهٔ (j,i) در ماتریس SSIM نماد V بگیرد، خانهٔ مربوط در ماتریس دستیابی عدد ۱ می‌گیرد و خانهٔ قرینه آن یعنی (i,j) عدد صفر می‌گیرد.

استفاده از مدل‌های ساختاری می‌تواند روابط بین شاخص‌ها را مشخص نماید که در این تحقیق با توجه به اهمیت این روابط در ارزیابی عملکرد از مدل‌های SSIM استفاده شده است. این مدل‌ها قادرند ضمن تعیین روابط بین شاخص‌ها میزان قدرت این روابط را برای تصمیم‌گیری درخصوص اهمیت این شاخص‌ها بیان کنند.

۳ . *تشکیل ماتریس دستیابی نهایی*

ماتریس دستیابی اولیه براساس قانون بولین بررسی و سازگار می‌گردد. برای سازگار کردن ماتریس روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است؛ در اینجا ماتریس به توان 2K+1 رسانده شد تا ماتریس سازگار گردد (در این تحقیق ماتریس به توان ۱۷ رسید). از آنجایی که طبق خاصیت تعدی در منطق ریاضی، معیارها به‌صورت غیرمستقیم بر معیار دیگر اثر دارند، درنظر گرفته می‌شود رابطهٔ دو متغیر که بعد از به‌کارگیری این منطق با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند به‌صورت ۱* در جدول ۴ نمایش داده می‌شود. برای محاسبات ISM از نرم‌افزار متلب و اکسل استفاده شده است.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

۴. تعیین سطح و اولویت عوامل

برای تعیین سطح و اولویت متغیرها، مجموعهٔ دستیابی و مجموعهٔ پیش‌نیاز برای هر عامل تعیین می‌شود. عناصر مشترک در مجموعهٔ دستیابی و پیش‌نیاز برای هر عامل شناسایی می‌گردد. پس از تعیین این مجموعه‌ها، سطح عوامل (عناصر) مشخص می‌شود. عواملی که در بالاترین سطح (سطح ۱) قرار می‌گیرند، تحت تأثیر سایر عوامل بوده و بر عامل دیگری اثر نمی‌گذارند. سطح‌بندی سیستم به سطوح مختلف به شفاف‌سازی و نقش هریک از اجزای تشکیل‌دهنده و تعامل ظرفیتی آن‌ها کمک می‌کند و فرایند تجزیه و تحلیل آن‌ها را تسهیل می‌نماید.

۵. ترسیم مدل ساختاری تفسیری

براساس سطوح تعیین‌شده و ماتریس دستیابی نهایی، مدل ساختاری تفسیری ترسیم می‌شود.

۶. تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ ـ وابستگی (MICMAC)

هدف از تحلیل MICMAC بررسی و تحلیل نیروهای محرک و نیروهای وابستهٔ متغیرهاست. (۳۷)

جمع سطری مقادیر در ماتریس دستیابی نهایی برای هر عنصر بیانگر میزان نفوذ و جمع ستونی نشانگر میزان وابستگی خواهد بود عواملی که در سطوح پایین‌تر مدل قرار دارند، به‌دلیل دارا بودن قدرت پیش‌برندگی بیشتر به‌عنوان عوامل هادی تلقی می‌شوند و عواملی که در سطوح بالاتر قرار دارند، به‌سبب وابستگی به عوامل هادی پیرو محسوب می‌شوند. براساس قدرت نفوذ و وابستگی، چهار گروه از عناصر قابل شناسایی‌اند:

۱. خودمختار[1]: عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف‌اند.

۲. وابسته[2]: عواملی که دارای قدرت نفوذ کم ولی وابستگی شدید هستند.

۳. متصل (پیوندی)[3]: عواملی که قدرت نفوذ و وابستگی زیاد دارند.

۴. مستقل[4] (نفوذ): عواملی که دارای قدرت نفوذ قوی ولی وابستگی ضعیف هستند.

1 Autonomous Attributes
2 Dependent Attributes
3 Linkage Attributes
4 Driver Attributes

روش دیمتل

روش دیمتل اولین بار در سال ۱۹۷۱ در ژنو توسط BMA ابداع شد. در آن زمان، از این ابزار برای پژوهش در مسائل پیچیده و حل آن‌ها استفاده می‌شد. دیمتل روشی جامع برای طراحی و تحلیل مدل‌سازی روابط علّی و معلولی میان عوامل یک سیستم پیچیده است. روش دیمتل سیستم‌های پیچیده را درنظر می‌گیرد و به مقایسهٔ مستقیم روابط میان عوامل مختلف موجود در سیستم می‌پردازد. این روش از یک ماتریس برای نشان دادن تمامی روابط مستقیم و غیرمستقیم و سطح اثرگذاری میان عوامل استفاده می‌کند. علاوه‌بر این ساختار بصری، یک دیاگرام علت‌ومعلولی برای نشان دادن روابط میان عوامل و ساده کردن آن‌ها برای تصمیم‌گیری نیز ارائه می‌کند. (۳۸)

مراحل و نتایج روش دیمتل فازی

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش دیمتل استفاده شده است. مراحل اجرای این روش به این شرح است (۳۹):

مرحلهٔ اول: تعیین هدف تصمیم‌گیری و تشکیل گروهی از خبرگان آشنا به موضوع برای تصمیم‌گیری. در این تحقیق، خبره به فردی گفته می‌شود که دارای تخصص HSE و یا مهندسی عمران، برق و مکانیک تأسیسات بوده که حداقل ۵ سال سابقهٔ کار در صنعت ساختمان دارد.

مرحلهٔ دوم: تعیین معیارها (عوامل) و طراحی مقیاس کلامی فازی: در این مرحله لازم است تا مجموعه‌ای از معیارهای لازم برای ارزیابی تعیین گردد و پس از آن مقیاس کلامی فازی برای سنجش میزان تأثیر مستقیم هر عامل بر سایر عوامل مشخص شود.

با توجه به ابهامات موجود در ارزیابی‌های خبرگان با متغیرهای کلامی، در این تحقیق مجموعه‌های فازی به‌کار گرفته شده است. لذا از اعداد فازی مثلثی و مقیاس کلامی فازی پیشنهادی Li که در جدول ۵ آمده، استفاده گردیده است. (۴۰)

جدول ۵ـ اعداد فازی مربوط به هر متغیر کلامی

اعداد فازی معادل	متغیر کلامی	نماد
(۱، ۱، ۰/۷۵)	تأثیر خیلی زیاد	VH
(۱، ۰/۷۵، ۰/۵)	تأثیر زیاد	H
(۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵)	تأثیر کم	L
(۰/۵، ۰/۲۵، ۰)	تأثیر خیلی کم	VL
(۰/۲۵، ۰، ۰)	بدون تأثیر	NO

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

مرحلهٔ سوم: جمع‌آوری ارزیابی تصمیم‌گیرندگان و تشکیل ماتریس رابطهٔ مستقیم اولیهٔ فازی: به‌منظور ارزیابی روابط موجود بین معیارها $C=\{C_i \mid i=1,2,\ldots,n\}$ یک گروه تصمیم‌گیری متشکل از p خبره (جامعهٔ آماری: ۸ نفر) مورد سؤال قرار گرفته تا مجموعه‌ای از مقایسات زوجی برحسب عبارات کلامی به‌دست آید. از این رو تعداد P ماتریس فازی با استفاده از نظرات هر کارشناس تهیه می‌گردد. سپس با استفاده از رابطهٔ ۱ میانگین نظرات گرفته می‌شود تا ماتریس رابطهٔ مستقیم فازی $\tilde{z}$ که حاصل ماتریس‌های $\tilde{z}^{\langle 1\rangle}, \tilde{z}^{\langle 2\rangle}, \ldots, \tilde{z}^{\langle p\rangle}$ است، به‌دست آید.

$$\tilde{z}=\frac{\left(\tilde{z}^{\langle 1\rangle}\oplus\tilde{z}^{\langle 2\rangle}\oplus\ldots\oplus\tilde{z}^{\langle p\rangle}\right)}{p} \qquad (۱)$$

مرحلهٔ چهارم: بی‌مقیاس‌سازی ماتریس رابطهٔ مستقیم فازی: برای بی‌مقیاس‌سازی و تبدیل مقیاس معیارها به مقیاس‌های قابل مقایسه، از تبدیل مقیاس خطی به‌عنوان رابطهٔ بی‌مقیاس‌سازی استفاده می‌شود.

ماتریس فازی رابطهٔ مستقیم بی‌مقیاس‌شده (نرمال) که با علامت $\tilde{x}$ مشخص می‌شود، با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌گردد.

$$\tilde{x}_{ij}=\frac{\tilde{z}_{ij}}{r}=\left(\frac{l_{ij}}{r},\frac{m_{ij}}{r},\frac{u_{ij}}{r}\right) \qquad (۲)$$

با درنظر گرفتن اینکه اگر $\tilde{a}_i$ یک عدد فازی مثلثی باشد، خواهیم داشت:

$$\tilde{a}_i=\sum_{j=1}^{n}\tilde{z}_{ij}=\left(\sum_{j=1}^{n}l_{ij},\sum_{j=1}^{n}m_{ij},\sum_{j=1}^{n}u_{ij}\right. \qquad (۳)$$

$$r=\max_{1\le i\le n}\left[\sum_{j=1}^{n}u_{ij}\right] \qquad (۴)$$

مرحلهٔ پنجم: محاسبهٔ ماتریس روابط کلی فازی:

مطابق با حالت قطعی، ماتریس رابطهٔ کلی فازی را به‌صورت رابطهٔ ۵ تعریف می‌کنیم.

$$\tilde{T}=\lim_{w\to\infty}(\tilde{x}+\tilde{x}^2+\ldots+\tilde{x}^w)=X(I-X)^{-1} \qquad (۵)$$

مرحلهٔ ششم: به‌منظور فازی‌زدایی داده‌ها از روش BNP که به‌صورت رابطهٔ ۶ است، استفاده شده.

$$BNP=l+\frac{(u-l)+(m-l)}{3} \qquad (۶)$$

مرحلهٔ هفتم: محاسبهٔ مقادیر D+R و D-R :

پس از محاسبهٔ T، محاسبهٔ $(D_i+R_i)^{def}$ و $(D_i-R_i)^{def}$ آسان است؛ زیرا D_i و R_i به‌ترتیب مجموع سطرها و ستون‌های T هستند.

مرحلهٔ هشتم: ترسیم نمودار علت و معلول:

پس از فازی‌زدایی، نمودار شدت اثرگذاری و اثرپذیری رسم می‌شود که درواقع مبنای تصمیم‌گیری است. (۴۱)

ارزش‌های $(D_i+R_i)^{def}$ اهمیت هر عامل را نشان می‌دهد و هرچه عاملی مقدار بالاتری از این ارزش را به خود اختصاص دهد، اهمیت بیشتری نیز خواهد داشت. $(D_i-R_i)^{def}$ که در محور عمودی قرار می‌گیرد، عوامل را به دو گروه علت و معلول تقسیم می‌نماید؛ به‌طوری که $(D_i-R_i)^{def}$ اگر مثبت شود، عامل مورد نظر به گروه علت و اگر منفی شود، به گروه معلول تعلق دارد. (۴۲)

در این تحقیق به کمک مدل دیمتل شاخص‌ها به دو گروه اثرگذار و اثرپذیر تقسیم شد. از این طبقه‌بندی روشن می‌شود که عملکرد پایین کدام شاخص می‌تواند پیامد محیط‌زیستی مرتبط با ساختمان ایجاد کند و کدام شاخص می‌تواند در عملکرد HSE ساختمان تأثیر گذاشته، عملکرد آن را کاهش دهد که این خود می‌تواند در ساکنان و ذی‌نفعان مرتبط با ساختمان اثرگذار باشد.

یافته‌ها

نتایج تکنیک تحلیل ساختاری تفسیری ISM تحقیق در شش حوزه بیان‌کنندهٔ این مسئله است که عوامل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان می‌تواند در سطوح مختلف قرار گیرد (جدول ۶).

عواملی که در سطوح پایین‌تر مدل قرار دارند، به‌دلیل دارا بودن قدرت پیش‌برندگی بیشتر به‌عنوان عوامل هادی تلقی می‌شوند و عواملی که در سطوح بالاتر قرار دارند، به‌سبب وابستگی به عوامل هادی، پیرو محسوب می‌شوند (مطابق شکل ۲).

براساس قدرت نفوذ و وابستگی شکل ۳، چهار گروه از عناصر قابل شناسایی است:

۱. عوامل بهداشت سازه، حفاظت از محیط زیست سازه، صرفه‌جویی در مصرف انرژی سازه، بهداشت معماری، بهداشت الکتریکال، محیط زیست الکتریکال و زیبایی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

جدول ٦ـ تعیین سطوح عوامل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان

شاخص‌ها	مجموعهٔ خروجی	مجموعهٔ ورودی	مجموعهٔ مشترک	سطح
X1	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X2	x_2	x_2	x_2	۱
X3	x_3	x_3	x_3	۱
X4	x_4	x_4	x_4	۱
X5	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X6	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X7	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X8	x_8	x_8	x_8	۱
X9	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X10	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X11	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X12	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X13	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X14	x_{14}	x_{14},x_{15}	x_{14}	۳
X15	x_{15}	x_{15}	x_{15}	۴
X16	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X17	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X18	x_{18}	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{18},x_{19},x_{22}$	x_{18}	۱
X19	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14},x_{15},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22}$	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19}$	۲
X20	x_{20}	x_{20}	x_{20}	۱
X21	x_{21}	x_{21}	x_{21}	۱
X22	x_{22}	x_{22}	x_{22}	۳
X23	x_{23}	$x_1,x_5,x_6,x_7,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{19},x_{22},x_{23}$	x_{23}	۱
X24	x_{24}	x_{24}	x_{24}	۱

الکتریکال در گروه خودمختار: عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف‌اند.

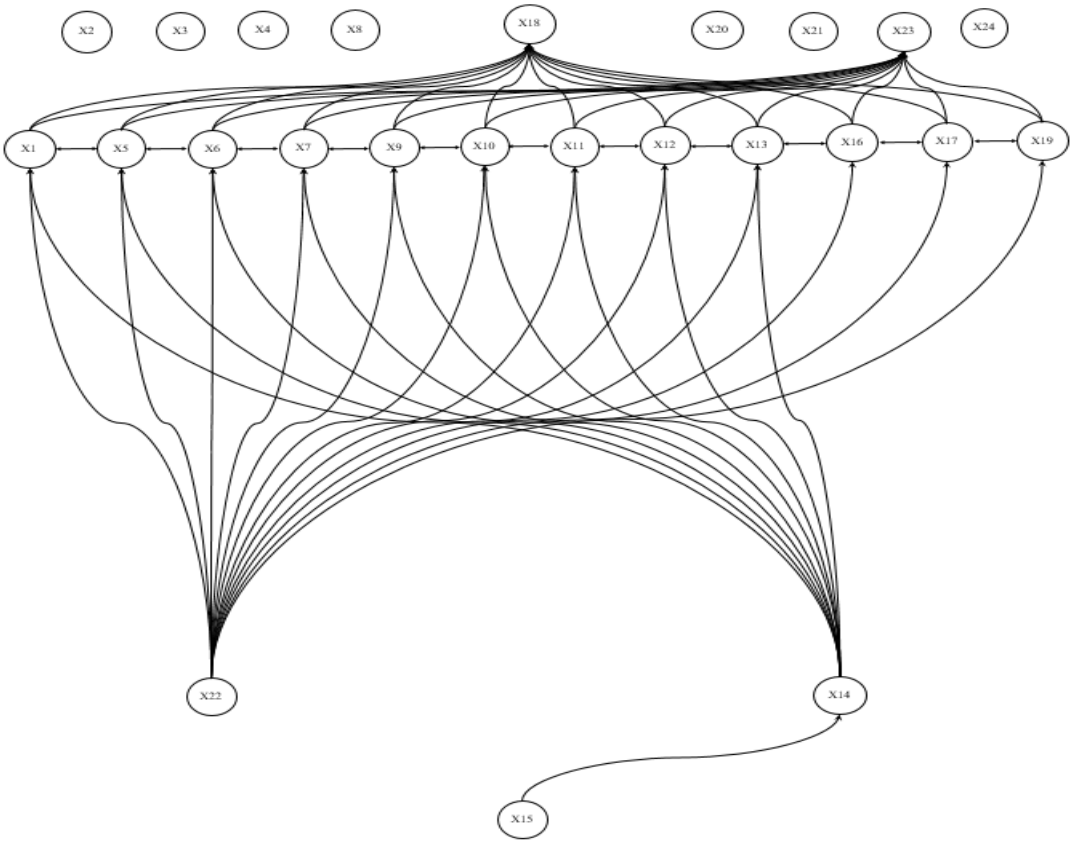
۲.عوامل زیبایی مکانیکال و رفاه الکتریکال در گروه وابسته: عواملی که قدرت نفوذ کم ولی وابستگی شدید دارند.

۳. عوامل ایمنی سازه، رفاه سازه، زیبایی سازه، ایمنی معماری، حفاظت از محیط زیست معماری، صرفه‌جویی در مصرف انرژی معماری، رفاه معماری، زیبایی معماری، ایمنی مکانیکال، صرفه‌جویی در مصرف انرژی مکانیکال، رفاه مکانیکال و ایمنی الکتریکال در گروه متصل (پیوندی): عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی زیاد هستند.

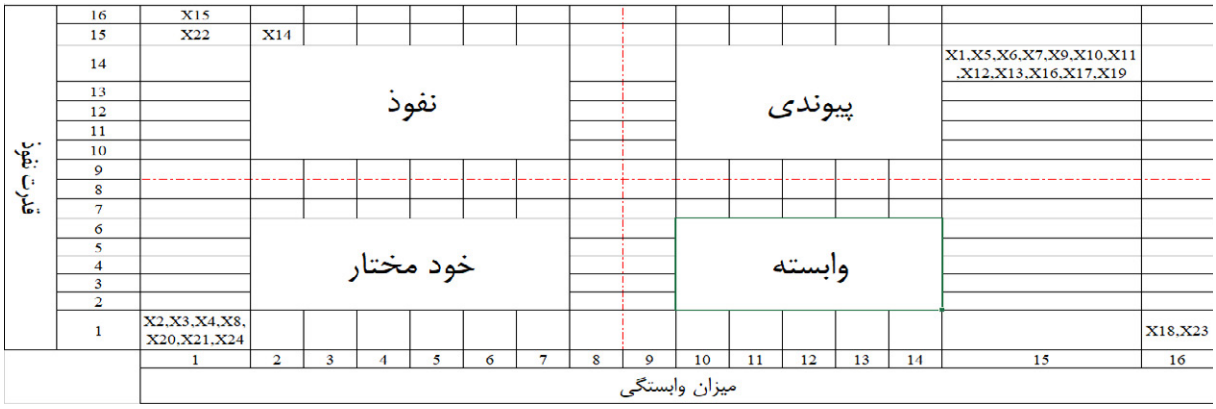
۴.عوامل حفاظت از محیط زیست مکانیکال، صرفه‌جویی در انرژی الکتریکال و بهداشت مکانیکال در گروه مستقل: عواملی که قدرت نفوذ قوی ولی وابستگی ضعیف دارند.

نتایج حاصل از FDEMATEL تحقیق در شش حوزه به تفکیک بیانگر این است که در بسیاری از پارامترها بر عملکرد HSE ساختمان اثرگذار است و برخی دیگر از عملکرد HSE اثر می‌پذیرند. با توجه به مقدار $(D_i - R_i)^{def}$ مطابق جدول ۷ می‌توان عوامل را به دو گروه علت و معلول تقسیم نمود. نتایج تعیین روابط علّی‌معلولی در ساختمان در جدول ۶ بیان شده است. همان‌گونه که از

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]



شکل ۲ـ ساختار سلسله‌مراتبی عوامل مؤثر برعملکرد ساختمان با تأکید بر روابط دورنی شاخص‌ها



شکل ۳ـ نمودار قدرت نفوذ و وابستگی عوامل مؤثر بر عملکرد HSE ساختمان

جدول مشخص است، معیار ایمنی سازه، ایمنی الکتریکال و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مکانیکال از معیارهای اثرگذار بر HSE ساختمان محسوب می‌شوند. بسیاری از شاخص‌ها بر عملکرد HSE ساختمان اثرگذارند و برای افزایش عملکرد HSE ساختمان باید تقویت شوند. از طرفی بسیاری از شاخص‌های ارائه‌شده اثربخش هستند که عملکرد درست شاخص‌های اثرگذار می‌تواند بر این شاخص‌ها تأثیر بگذارد. از این شاخص‌ها می‌توان برای ارزیابی اثربخشی سیستم عملکردی HSE ساختمان‌ها استفاده نمود که در ارزیابی عملکرد از اهمیت ویژه‌ای

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

جدول ۷ـ اثرگذاری ـ اثرپذیری معیارها در ارزیابی عملکرد HSE ساختمان

شاخص	D	R	D+R	رتبه D+R	D-R	رتبه D-R	وضعیت
X۱	۱/۶۵	۱/۲۸	۲/۹۳	۳	۰/۳۸	۱	اثرگذار
X۲	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر
X۳	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر
X۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر
X۵	۱/۰۱	۱/۱۷	۲/۱۸	۱۱	−۰/۱۶	۱۵	اثرپذیر
X۶	۱/۱۸	۱/۰۱	۲/۱۹	۱۰	۰/۱۷	۴	اثرگذار
X۷	۱/۴۲	۱/۳۰	۲/۷۲	۴	۰/۱۲	۸	اثرگذار
X۸	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر
X۹	۱/۲۳	۱/۲۳	۲/۴۶	۶	۰/۰۱	۱۳	اثرگذار
X۱۰	۱/۵۳	۱/۵۰	۳/۰۳	۲	۰/۰۲	۱۲	اثرگذار
X۱۱	۱/۴۲	۲/۶۳	۴/۰۵	۱	−۱/۲۲	۱۸	اثرپذیر
X۱۲	۱/۱۳	۱/۰۸	۲/۲۱	۹	۰/۰۵	۱۱	اثرگذار
X۱۳	۱/۳۵	۱/۱۹	۲/۵۴	۵	۰/۱۶	۵	اثرگذار
X۱۴	۱/۰۲	۰/۹۲	۱/۹۳	۱۳	۰/۱۰	۹	اثرگذار
X۱۵	۰/۹۳	۰/۸۴	۱/۷۷	۱۶	۰/۰۸	۱۰	اثرگذار
X۱۶	۱/۲۳	۱/۰۴	۲/۲۷	۸	۰/۲۰	۳	اثرگذار
X۱۷	۱/۳۱	۱/۱۶	۲/۴۶	۶	۰/۱۵	۶	اثرگذار
X۱۸	۰/۸۴	۱/۱۵	۲/۰۰	۱۲	−۰/۳۱	۱۷	اثرپذیر
X۱۹	۱/۳۳	۱/۰۴	۲/۳۷	۷	۰/۲۹	۲	اثرگذار
X۲۰	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر
X۲۱	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر
X۲۲	۰/۹۸	۰/۸۴	۱/۸۳	۱۵	۰/۱۴	۷	اثرگذار
X۲۳	۰/۸۴	۱/۰۲	۱/۸۶	۱۴	−۰/۱۷	۱۶	اثرپذیر
X۲۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۶۸	۱۷	۰/۰۰	۱۴	اثرپذیر

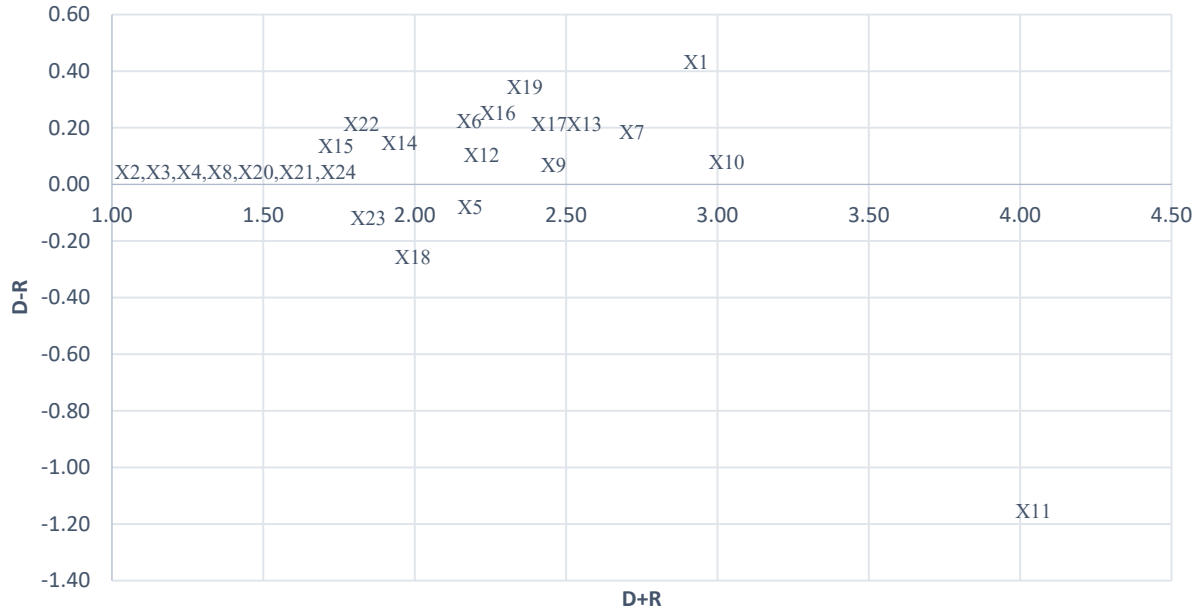
برخوردار است. از طرفی همان‌طور که در مدل مشخص است، شاخص‌های اثرگذار به‌گونه‌ای تأثیر داخلی بر هم دارند که این مسئله در ارزیابی‌های عملکرد باید لحاظ شود. دیاگرام رسم‌شده در شکل ۴ نشان‌دهنده روابط عوامل مؤثر بر عملکرد ساختمان و شدت اثرگذاری و اثرپذیری بین متغیرهاست. همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، از بین عوامل تأثیرگذار در عملکردHSE ساختمان‌ها بیشترین نقش مربوط به ایمنی سازه و الکتریکال و صرفه‌جویی در مصرف انرژی مکانیکال است. همچنین بیشترین اهمیت را در عملکرد درست HSE ساختمان‌ها شاخص‌هایی مانند رفاه معماری و صرفه‌جویی در مصرف انرژی معماری و ایمنی سازه دارند.

براساس $(D_i + R_i)^{def}$ و $(D_i - R_i)^{def}$ نمودار علّی رسم‌شده در شکل ۳ نشان‌دهندهٔ نمودار شدت اثرگذاری و اثرپذیری بین متغیرهاست.

عواملی که در بالای محور افقی قرار گرفته‌اند، به گروه علت تعلق دارند و اثرگذارند و عواملی که در پایین محور افقی قرار گرفته‌اند، به گروه معلول اختصاص دارند و اثرپذیرند. عامل ایمنی سازه با بیشترین $(D_i - R_i)^{def}$ تأثیرگذارترین عامل در مجموعهٔ متغیرهاست؛ ولی درعین حال از نظر اهمیت براساس مقدار محاسبه‌شده برای $(D_i + R_i)^{def}$ بعد از متغیرهای رفاه معماری و صرفه‌جویی در مصرف انرژی معماری قرار گرفته که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است. سایر عوامل را نیز می‌توان براساس وضعیت قرارگیری در نمودار علّی بررسی کرد.

نتایج روش دیمتل برای دو هدف استفاده می‌شود: اول اینکه، نتایج حاصل از روش ISM را تأیید و تصدیق کند و دوم اینکه، نتایج آن را بهبود بخشد. در این پژوهش، اولویت‌بندی به‌دست‌آمده از روش دیمتل اولویت‌بندی حاصل از روش ISM را تصدیق می‌کند. روش ISM فقط عوامل را در چند سطح اولویت‌بندی می‌کند و

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]



شکل ٤ـ نمودار علّی ارزیابی عملکرد HSE ساختمان

روابط بین آن‌ها را مشخص می‌سازد؛ ولی دربارهٔ اولویت عوامل در هر سطح و شدت روابط میان عوامل چیزی را مشخص نمی‌کند. اما همان‌طور که از نتایج روش دیمتل قابل استنتاج است، می‌توان عوامل را به‌صورت کمّی اولویت‌بندی و نیز شدت هریک از آن‌ها را مشخص کرد.

نتیجه‌گیری

در عملکرد HSE ساختمان‌ها عوامل زیادی نقش دارند که پرداختن به آن‌ها در ارزیابی دقیق و درست عملکرد اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق، در چهار حوزهٔ مختلف عملکرد ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفت که این مسئله در هیچ پژوهش دیگری بررسی نشده بود. توجه به ایمنی، بهداشت و محیط زیست و مصرف انرژی و همچنین آسایش ساکنان و زیبایی از جنبه‌هایی است که در عملکرد HSE در این تحقیق واکاوی شده است. از بین شاخص‌های مورد بررسی، ایمنی‌سازی مهم‌ترین شاخص اثرگذار به‌شمار می‌آید که باید برای ایمنی ساکنان و سازندگان اهمیت ویژه‌ای داشته باشد. شاید اصلی‌ترین علت آن را بتوان وجود شرایط بروز بحران‌های زلزله دانست که ایمنی سازه نقش مهمی را در آن بازی می‌کند. در درجهٔ دوم، ایمنی سیستم الکتریکی ساختمان از اهمیت خاصی برخوردار است که در سلامت و ایمنی ساکنان نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. ایمنی برق از مهم‌ترین مسائل در ایمنی ساکنان است که به‌دلیل بروز حوادث برق‌گرفتگی و آتش‌سوزی‌های ناشی از برق مسئلهٔ حساسی برای ساکنان تلقی می‌شود. از پارامترهای اثرپذیر از عملکرد HSE ساختمان می‌توان به راحتی ساکنان به‌عنوان مهم‌ترین شاخص اثرپذیر اشاره کرد. زیبایی در طراحی سیستم‌های مکانیکی، شامل تهویه، تأسیسات آب‌رسانی و شیرآلات، شاخص اثرپذیر در درجه دوم محسوب می‌شود. راحتی و زیبایی در سیستم‌های مکانیکال که ارتباط زیادی با مسائل بهداشت فردی ساکنان دارد، از دلایل اهمیت پیدا کردن این شاخص است.

نتایج تحقیق بیان می‌کند که عوامل متعدد و متنوعی بر عملکرد HSE ساختمان اثر می‌گذارد. شناسایی، تحلیل رفتار و شناخت روابط میان این عوامل می‌تواند به صنعت ساختمان کمک کند تا از این طریق احتمال اثرگذاری ساختمان‌ها بر محیط زیست و ایمنی ساکنان در زمان ساخت و بهره‌برداری به حداقل برسد. بی‌توجهی به مسائل ایمنی، بهداشت، محیط زیست، مصرف انرژی و راحتی و زیبایی به‌صورت تلفیقی در ۴ حوزهٔ سازه، معماری، مکانیکال و الکتریکال و تعیین پیچیدگی ارتباطات بین عوامل ازجمله مواردی است که در هیچ‌کدام از تحقیقات مورد توجه نبوده؛ بنابراین این مسئله سبب شده است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

مدل‌های ارائه‌شده در این زمینه کارایی زیادی با رویکرد HSE نداشته باشند.

نتایج بخش دیمتل نشان داد که در چهار حوزه، رفاه شاخص اثرپذیر است که باید در طراحی‌ها برای افزایش رضایتمندی ساکنان بر آن تأکید شود. این مسئله تأثیر زیادی در قیمت‌گذاری ساختمان خواهد داشت.

ایمنی سازه شاخص اثرگذار بوده که ضرورت دارد در زمان طراحی مدنظر قرار گیرد. درخصوص ایمنی در سایر حوزه‌ها شاخص اثرپذیر است که باید در زمان بهره‌برداری مورد توجه قرار گیرد تا بتواند ایمنی ساکنان را تضمین کند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مهم‌ترین محدودیت تحقیق کیفی بودن شاخص‌ها و تأثیر نظرات شخصی ارزیاب‌ها در فرایند ممیزی است که پیشنهاد می‌شود این تحقیق در محیط فازی در مطالعات آتی انجام گیرد تا در اعتبار نتایج مؤثر باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین که شرایط اجرای این تحقیق را فراهم نمود، و نیز از سازمان نظام‌مهندسی قزوین برای حمایت‌های معنوی‌شان سپاس‌گزاری نمایند.

References

1. Freitas IAS, Zhang X. Green building rating systems in Swedish market - A comparative analysis between LEED, BREEAM SE, GreenBuilding and Miljöbyggnad. Energy Procedia. 2018; 153: 402-7.
2. Shan M, Hwang B-g. Green building rating systems: Global reviews of practices and research efforts. Sustainable Cities and Society. 2018; 39: 172-80.
3. Alwisy A, BuHamdan S, Gül M. Criteria-based Ranking of Green Building Design Factors According to Leading Rating Systems. Energy and Buildings. 2018; 178: 347-359.
4. Mattoni B, Guattari C, Evangelisti L, Bisegna F, Gori P, Asdrubali F. Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018; 82: 950-6.
5. Ding Z, Fan Z, Tam V. W. Y, Bian Y, Li S, Illankoon I. M. C. S, Moon, S. Green building evaluation system implementation. Building and Environment. 2018; 133: 32-40.
6. Doan DT, Ghaffarianhoseini A, Naismith N, Zhang T, Ghaffarianhoseini A, Tookey J. A critical comparison of green building rating systems, Building and Environment. 2017; 123: 243-60.
7. Chen X, Yang H, Zhang W. A Proposed New Weighting System for Passive Design Approach in BEAM Plus. Energy Procedia. 2017; 105: 2113-8.
8. Lohmeng A, Sudasna K, Tondee T. State of The Art of Green Building Standards and Certification System Development in Thailand. Energy Procedia. 2017; 138: 417-22.
9. Ismaeel WSE. Midpoint and endpoint impact categories in Green building rating systems. Journal of Cleaner Production. 2018; 182: 783-93.
10. Suzer O. Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects. Building and Environment. 2019; 147: 158-170.
11. Wu P, Song Y, Shou W, Chi H, Chong H-Y, Sutrisna M. A comprehensive analysis of the credits obtained by LEED 2009 certified green buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017; 68: 370-9.
12. Hopfe CJ, Augenbroe GLM, Hensen JLM. Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment. Building and Environment. 2013; 69: 81-90.
13. Marzouk M, Seleem N. Assessment of existing buildings performance using system dynamics technique. Applied Energy. 2018; 21: 308-1323.
14. Gobbi S, Puglisi V, Ciaramella A. A Rating System for Integrating Building Performance Tools in Developing Countries. Energy Procedia. 2016; 96: 333-344.
15. Gursel I, Sariyildiz S, Akin Ö, Stouffs R. Modeling and visualization of lifecycle building performance assessment. Advanced Engineering Informatics. 2009; 23: 396-417.
16. Amiri M, Ardeshir A, Soltanaghaei E. Analysis of High Risk Occupational Accidents in Construction Industry Using Data-mining Methods. ioh. 2014; 11 (4): 31-43. [Persian]
17. yarahmadi R, shahkohi F, taheri F, moridi P. Priority of Occupational Safety and Health indexes Based on the Multi Criteria Decision Making in Construction Industries. ioh. 2016; 12 (6): 39-47. [Persian]
18. Yarahmadi R, Gholizade A, Jafari M, Kohpae A, Mahdinia M. Performance Assessment and analysis of national building codes with fire safety in all wards of a hospital. ioh. 2009; 6 (1): 28-36 [Persian]
19. Shamaii A, Omidvari M, Hosseinzadeh Lotfi F. Presenting of pattern of HSE unit performance assessment in the steel industries. Iran Occupational Health. 2017; 14: 71-83. [Persian]
20. Ghaleh S, Omidvari M, Nassiri P, Momeni M, Miri

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]

Lavasani SMR. Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). Safety Science. 2019; 116: 1-12.
21. Yarahmadi R, Shahkohi F, Taheri F, Moridi P. Priority of Occupational Safety and Health indexes Based on the Multi Criteria Decision Making in Construction Industries. Iran Occupational Health. 2016; 12(6): 39-47. [Persian]
22. Ardeshir A, Mohajeri M, Amiri M. Safety Assessment in Construction Projects Based on Analytic Hierarchy Process and Grey Fuzzy Methods. Iran Occupational Health. 2014; 11 (2): 87-98 [Persian]
23. Fontela E, Gabus A, DEMATEL, Innovative Methods, Report No. 2 Structural Analysis of the World Problematique. Battelle Geneva Research Institute. 1974.
24. Uzunovic E, Canizares C, Huang Z, Ni Y, Shen C, Wu F, Chen S. and et al. Discussion of Application of unified power flow controller in interconnected power systems-modeling, interface, control strategy, and case study [and reply]. IEEE Transactions on Power Systems. 2000; 15: 1461-1462.
25. Wu W-W, Lee Y-T. Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. Expert Systems with Applications. 2007; 32: 499-507.
26. Warfield J W. Developing interconnected matrixes in structural modeling. IEEE Transcript on Systems, Men and Cybernetics. 1974; 4(1): 51-81.
27. Magliocca L A, Christakis A N. Creating Transforming Leadership for Organizational Change: the CogniScope System Aproach. System Research and Behavioral Science. 2001; 18(3): 259-277.
28. Vivek S D, Banwet D K, Shankar R. Analysis of Interactions among Core, Transaction and Relationship-Specific Investments: The Case of Offshoring. Journal of Operations Management. 2008; 26(4): 180-197.
29. Kannan G, Haq AN, Sasikumar P, Arunachalam S. Analysis and selection of green suppliers using interpretative structural modeling and analytic hierarchy process. International Journal of Management and Decision Making 2008; 9(2): 163-82.
30. Ravi V, Shankar R, Tiwari MK. Productivity Improvement of a Computer Hardware Supply Chain. International Journal of Productivity and Performance Management. 2005; 54 (4): 239-255.
31. Mandal A, Deshmukh SG. Vendor Selection Using Interpretive Structural Modelling (ISM). International Journal of Operations & Production Management. 1994; 14(6): 52-59.
32. Agarwal A, Shankar R, Tiwari M.K. Modeling Agility of Supply Chain. Industrial Marketing Management. 2007; 36: 443–457.
33. Asdrubali F, Baldinelli G, Bianchi F, Sambuco S. A comparison between environmental sustainability rating systems LEED and ITACA for residential buildings. Building and Environment. 2015; 86: 98-108.
34. Rogmans T, Ghunaim M. A framework for evaluating sustainability indicators in the real estate industry. Ecological Indicators. 2016; 66: 603-611.
35. Moussa R A, Farag A A. The Applicability of LEED of New Construction (LEED-NC) in the Middle East. Procedia Environmental Sciences. 2017; 37: 572-583.
36. Faisal MN, Banwet, DK, Shankar, R. Supply Chain Risk Mitigation: Modeling the Enablers. Business Process Management Journal. 2006; 12 (4): 535-552.
37. Attaran M. Critical success factors and challenges of implementing RFID. In Supply Chain Management. 2012; 10 (1): 144-167.
38. Lee YC, Hu H Y, Yen TM, Tsai, CH. Kano's model and decision making trial and evaluation laboratory alied to order-winners and qualifiers improvement: A study of computer industry. Information Technology Journal. 2008; 7(5): 702-714.
39. Chou Y-C, Sun C-C, Yen H-Y. Evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach. Applied Soft Computing. 2012; 12: 64-71.
40. Li R-J. Fuzzy method in group decision making. Computers & Mathematics with Applications. 1999;38:91-101.
41. Jassbi J, Mohamadnejad F, Nasrollahzadeh H. A Fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map. Expert Systems with Applications. 2011; 38: 5967-73.
42. Shieh J-I, Wu H-H, Huang K-K. A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. Knowledge-Based Systems. 2010; 23: 277-82.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-26]