

Investigating the Impact of Modern Scaffolding on Reducing Construction Accident Risks Using Fuzzy Risk Assessment

Somayeh Chegeni

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ale Taha University, Tehran, Iran

*Corresponding author's email address:
chegini_ss@yahoo.com

How to cite this article:

Somayeh Chegeni, Investigating the Impact of Modern Scaffolding on Reducing Construction Accident Risks Using Fuzzy Risk Assessment, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):11-23.

بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی

سمیه چگنی

کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آل طاها، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

ارجاع به مقاله:

سمیه چگنی، بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی، مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۱۱-۲۳.

Abstract

Construction accidents, particularly falls from scaffolding, are a major issue in developing countries, leading to serious economic, social, and environmental consequences. This study examines the impact of modern RLS scaffolding on reducing construction accident risks using a fuzzy risk assessment approach. The evaluation utilized the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) combined with Intuitionistic Fuzzy Sets (IFS). Potential failures in two scaffolding systems were identified through field surveys and expert opinions. FMEA parameters, including failure occurrence probability, detection likelihood, and consequence severity, were redefined using a seven-point linguistic scale. The Risk Priority Number (RPN) for each identified failure was calculated and statistically compared. Experts identified 36 potential failures for 15 components in classic TCS scaffolding and 23 potential failures for 10 components in modern RLS scaffolding. Results indicated that replacing classic TCS scaffolding with modern RLS scaffolding could significantly reduce the average likelihood of failure occurrence, increase detection probability, and decrease consequence severity ($p\text{-value} < 0.05$). The average RPN decreased from 36.81 to 19.67; however, this reduction was not statistically significant ($p\text{-value} = 0.524$). Overall, the findings suggest that modern RLS scaffolding can be a suitable alternative to traditional TCS scaffolding in construction projects due to its lower risk criteria and fewer potential failures.

Keywords

Construction Projects, Risk Assessment, Fuzzy FMEA, Classic Tube-Coupler Scaffolding, Modular Ring-Lock Scaffolding

چکیده

حوادث ساختمانی، به‌ویژه سقوط از داربست، یکی از مشکلات مهم در کشورهای در حال توسعه است که پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جدی به همراه دارد. این مطالعه تأثیر استفاده از داربست‌های نوین RLS بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی را با استفاده از رویکرد ارزیابی ریسک فازی بررسی می‌کند. برای ارزیابی ریسک، از روش تجزیه و تحلیل حالات نقص و اثرات آن (FMEA) به همراه تئوری مجموعه‌های فازی شهودی (IFS) استفاده شد. نقص‌های بالقوه دو سیستم داربست با استفاده از بررسی‌های میدانی و نظرات کارشناسان شناسایی شدند. پارامترهای FMEA شامل احتمال وقوع نقص، احتمال کشف نقص و شدت پیامدها بر اساس یک مقیاس زبانی هفت نقطه‌ای دوباره تعریف شدند. عدد اولویت ریسک (RPN) برای هر نقص محاسبه و با روش‌های آماری مقایسه شد. کارشناسان ۳۶ نقص بالقوه برای ۱۵ جزء در داربست کلاسیک TCS و ۲۳ نقص بالقوه برای ۱۰ جزء در داربست نوین RLS شناسایی کردند. نتایج نشان داد که جایگزینی داربست نوین RLS به جای داربست کلاسیک TCS می‌تواند به‌طور معناداری میانگین احتمال وقوع نقص را کاهش دهد، احتمال کشف نقص را افزایش دهد و شدت پیامدها را کاهش دهد ($p\text{-value} < 0.05$). همچنین میانگین RPN از ۳۶.۸۱ به ۱۹.۶۷ کاهش یافت؛ اما این کاهش از نظر آماری معنادار نبود ($p\text{-value} = 0.524$). در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که داربست نوین RLS می‌تواند جایگزین مناسبی برای داربست‌های کلاسیک TCS در پروژه‌های ساختمانی باشد.

کلمات کلیدی

پروژه‌های ساختمانی، ارزیابی ریسک، Fuzzy FMEA، داربست کلاسیک لوله-گیره، داربست مدولار

۱- مقدمه

امروزه حوادث شغلی یکی از مهمترین مشکلات کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه محسوب می‌شوند. این حوادث دارای پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نامطلوب زیادی هستند. حادثه یک رویداد برنامه ریزی نشده، نامطلوب و کنترل نشده است که منجر به خسارت مالی،

جراحت به افراد یا سایر خسارات شده است یا می‌تواند منجر شود. برای پیشگیری از حوادث، اولین قدم این است که بدانیم تصادفات چگونه رخ می‌دهند [۱]. با وجود تلاش‌های زیادی که در حیطه‌های مختلف صنعت برای کاهش حوادث و آسیب‌های شغلی انجام شده است، اما همچنان آمارهایی که از مطالعات و گزارش‌های مختلف استخراج و ارائه می‌شوند فاجعه‌بار بوده، به‌طوری‌که سازمان جهانی بهداشت (WHO) حوادث و



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران

بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی

آسیب‌های شغلی را به‌عنوان یک اپیدمی در حوزه بهداشت عمومی معرفی نموده است [۲].

طبق گزارش‌های مختلف سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان بین‌المللی کار (ILO)، هر ۱۵ ثانیه یک کارگر در اثر حوادث شغلی جان خود را از دست داده و ۱۵۳ کارگر دچار آسیب‌های ناشی از این حوادث می‌شوند. همچنین سالانه ۲ میلیون حادثه منجر به مرگ و حدود ۲۶۸ میلیون حادثه منجر به آسیب در محیط‌های کاری و صنعتی به وقوع می‌پیوندد [۲]. برآوردها نشان می‌دهد که تنها پیامدها و آثار اقتصادی حوادث شغلی معادل ۴ درصد تولید ناخالص ملی "میباشند" [۳]. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهند که در کشورهای مختلف ۳۰ تا ۶۰ درصد حوادث گزارش نمی‌شوند. میزان حوادث گزارش نشده در کشورهای در حال توسعه به علت نبود سیستم جامع برای ثبت حوادث ضعف قوانین و مقررات و همچنین عدم وجود یک سیستم نظارتی قوی، بیش از کشورهای توسعه یافته می‌باشد [۴]. در نتیجه میتوان بیان کرد که هزینه‌های تحمیل شده به جامعه ناشی از حوادث فراتر از حد تصور بوده و نیاز به توجهات خاصی دارد بنابراین لازم است حوادث به دقت شده و با تعیین علل ریشه‌ای آنها از بروز مجدد آنها پیشگیری شود [۲]. در همین راستا بررسی حوادث رویکردی است که اطلاعات لازم در زمینه علل بروز حوادث در گروه خاصی از صنایع را فراهم می‌آورد. دانستن علل حوادث و همچنین شرایطی که در آن این حوادث به وقوع پیوسته، مدیران را قادر می‌سازد تا اقدامات کنترلی و پیشگیرانه را جهت کنترل این حوادث اتخاذ نمایند [۵].

صنعت ساخت‌وساز یکی از صنایعی است که از لحاظ عملکرد ایمنی و بهداشت با چالش روبرو بوده است. مطالعات انجام‌شده در چندین کشور از جمله کره، چین، ترکیه، فنلاند، بریتانیا و ایالات متحده آمریکا تعداد بالایی از عوارض و پیامدهای نامطلوب ایمنی و بهداشتی را به صنعت ساخت‌وساز نسبت داده است [۶-۸]. تنها در دو دهه گذشته بیش از 26000 نفر از کارگران صنایع ساخت‌وساز در ایالات متحده در محل کار فوت نموده‌اند. این مقدار برابر با مرگ پنج کارگر ساختمانی در هر روز است [۹]. بررسی‌ها در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که درصد بالایی از حوادث و مرگ و میرها در حوزه ساخت و ساز مربوط به کارگاه‌های ساختمانی میباشد [۱۰، ۱۱]. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد در بین پروژه‌های ساخت و ساز، بیشترین تعداد مرگ و میر مربوط به کارگران ساختمانی است [۱۲]. بر اساس گزارش سازمان تأمین اجتماعی در سال ۱۳۹۵، تقریباً ۴۰ درصد از کل حوادث رخ داده در ایران، مربوط به پروژه‌های ساختمانی و فعالیت‌های مختلف ساخت و ساز می‌باشد. با توجه به آمارهای ارائه شده در مجموع در سال ۱۳۹۵ تعداد ۳۲۵۴ حادثه ثبت شده رخ داده است که از بین آنها ۱۴۰۰ حادثه مربوط به لغزش و سکندری، ۶۵۱ حادثه سقوط از ارتفاع، ۷۴۸ حادثه هنگام کار با ماشین‌آلات، ۳۲۵ حادثه برخورد و گرفتار شدن و ۱۳۰ حادثه مربوط به برق‌گرفتگی می‌باشد [۱۳].

در کارگاه‌های ساختمانی، همه افراد به‌صورت مستقیم در معرض ریسک‌های ایمنی قرار گرفته و ماهیت ذاتی نوع کار و فعالیت‌ها در پروژه‌های ساختمانی منجر به افزایش ریسک حوادث در این شاغلین شده است. یکی از مهم‌ترین فعالیت‌هایی که در سطحی گسترده در پروژه‌های ساختمانی در حال انجام است فعالیت کار در ارتفاع می‌باشد [۱۴]. کار در ارتفاع با اهداف متنوعی از جمله ساخت، تخریب، تعمیرات، نصب تجهیزات و غیره انجام می‌شود. کار در ارتفاع یکی از فعالیت‌های با ریسک بالا از

دیدگاه ایمنی ساختمان است که منجر به پیامدهای متنوعی می‌گردد که مهم‌ترین پیامد کار در ارتفاع، سقوط از ارتفاع است [۱۵]. سقوط از ارتفاع مهم‌ترین علت مرگ کارگران ساختمانی است [۱۶]. سقوط از ارتفاع دلایل متعددی دارد که مهم‌ترین عامل آن جایگاه‌های کار نایمن بیان شده است [۱۷].

یکی از مهم‌ترین تجهیزاتی که بمنظور صعود و کار به ارتفاع در پروژه‌های ساختمانی استفاده می‌شود داربست است [۱۸]. داربست ابزار مهمی در سایت‌های ساختمانی میباشد و یک چارچوب موقتی است که برای حمایت از افراد و مصالح در ساخت و ساز یا تعمیر ساختمان‌ها و سایر سازه‌های بزرگ استفاده می‌شود [۱۹]. اداره ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (OSHA) تخمین زده است که بیش از ۲ میلیون یا ۶۵ درصد از سایت‌های ساختمانی از داربست استفاده می‌کنند [۱۶]. نقش اصلی داربست پشتیبانی از کار ساخت و ساز ساختمان در ارتفاعات و مکان‌هایی با دسترسی ضعیف است. داربست نه تنها در کارگاه‌های ساختمانی، بلکه در زمینه‌های دیگر مانند کارهای نوسازی خطوط فرآوری، در کارخانه‌های کشتی‌سازی، به عنوان پشتیبان ساخت تابلوهای تبلیغاتی، صحنه، سالن و همچنین به عنوان عنصر تزئینی کاربرد فراوانی دارد [۲۰]. داربست امکاناتی را برای کارگران فراهم می‌کند که هم مکانی برای کار دارند و هم وسایلی برای رسیدن به مناطقی که به تنهایی نمی‌توانند به آنها دسترسی پیدا کنند [۲۱]. کارگران می‌توانند به راحتی با استفاده از داربست به ایستگاه‌های کاری خود دسترسی داشته باشند [۲۲]. مطالعات نشان می‌دهد که سقوط‌های مرتبط با داربست - با فروریختن یا افتادن از داربست - دومین عامل اصلی سقوط است که به طور متوسط ۵۲ مرگ در سال (۱۸٪ از کل سقوط‌ها) را شامل می‌شود. برآورد دیگری نشان می‌دهد که سالانه بیش از ۹۵۰۰ کارگر در ایالات متحده در حوادث ناگوار داربست مجروح و ۸۰ نفر کشته می‌شوند. در سال ۲۰۰۰، تقریباً ۱۲٪ (۷۳۴) از ۵۹۱۵ از آسیب‌های شغلی منجر به مرگ، سقوط بود. از این تعداد، ۱۲٪ (۸۵) شامل سقوط از داربست بودند [۱۶].

علاوه بر نقش مهم داربست به عنوان یک سازه موقت، حوادث ناشی از داربست باعث تعداد زیادی جراحات و مرگ و میر در محل ساخت و ساز می‌شود. در نتیجه توجه به ایمنی داربست و ارتقاء این سازه با هدف کاهش ریسک حوادث امری ضروری می‌باشد. در ایران تا کنون مطالعات متعددی در زمینه ارتقاء سطح ایمنی پروژه‌های ساختمانی انجام شده است. اکثر مطالعات بصورت توصیفی و تحلیلی به بررسی متغیرهای متعدد ایمنی ساختمان پرداخته‌اند. بر برخی مطالعات علل حوادث مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن، بررسی فرهنگ ایمنی، شاخص‌های ایمنی و عملکرد ایمنی و همچنین اثر آموزش ایمنی بر ارتقاء سطح ایمنی پروژه‌های ساختمانی در سطح گسترده‌ای انجام شده است [۱۳، ۲۳-۲۸]. با این وجود، بررسی وضعیت ایمنی داربست‌های مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی و انجام مداخله در این سازه‌های برای کاهش سطح ریسک حوادث شغلی، بویژه حوادث سقوط از ارتفاع تا کنون در ایران انجام نشده است. در نتیجه هدف از مطالعه حاضر استفاده از فرآیند ارزیابی ریسک برای تعیین سطح ریسک داربست‌های سنتی مورد استفاده در پروژه‌های ساختمانی بوده و در وهله بعدی در نظر داریم تا اثر داربست‌های نوین را بر کاهش سطح ریسک حوادث ساختمانی مورد بررسی قرار دهیم. همچنین بمنظور کاهش عدم قطعیت در فرآیند ارزیابی ریسک، از یک رویکرد فازی برای این منظور استفاده شد.



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

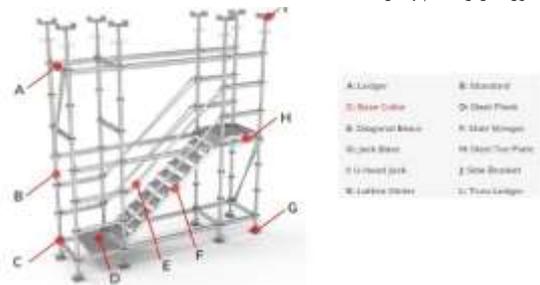
زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی

مجله علمی پژوهشی

۲- روش کار

یک اتصال قوی ساختاری سفت تبدیل می‌کند. همانطور که گوه رانده می‌شود، به طور ایمن از هر حرکتی قفل می‌شود. نمایی شماتیک از این نوع داربست در شکل ۲ ارائه شده است. مطالعه حاضر در ۵ مرحله و بصورت زیر انجام پذیرفت.



شکل ۲- شماتیک از سیستم داربست‌بندی RLS و اجزاء تشکیل دهنده آن

۴-۱- مرحله اول - انتخاب محل اجرای مطالعه

اولین بخش از مطالعه حاضر تعیین محل مناسب برای اجرای مطالعه بود. برای این منظور محلی انتخاب شد که در آن یک سیستم داربست کلاسیک TCS متداول نصب شده باشد و امکان انجام مطالعه و تجزیه و تحلیل این سازه توسط محققین امکان پذیر باشد. محل مورد مطالعه یکی از پروژه‌های بزرگ شهر تهران بود که کار در ارتفاع یکی از متداولترین فعالیت‌ها در آن می‌باشد. در این پروژه، بمنظور دسترسی به ارتفاع از دو نوع داربست کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS استفاده می‌شد. در این مطالعه، ابتدا متغیرهای مورد بررسی برای داربست کلاسیک TCS جمع‌آوری شد و سپس کلیه متغیرها مجدداً در داربست نوین RLS تعیین و جمع‌آوری شد و این اطلاعات با یکدیگر مقایسه گردید تا اثربخشی استفاده از داربست نوین مدولار در کاهش سطح ریسک حوادث احتمالی تعیین گردد.

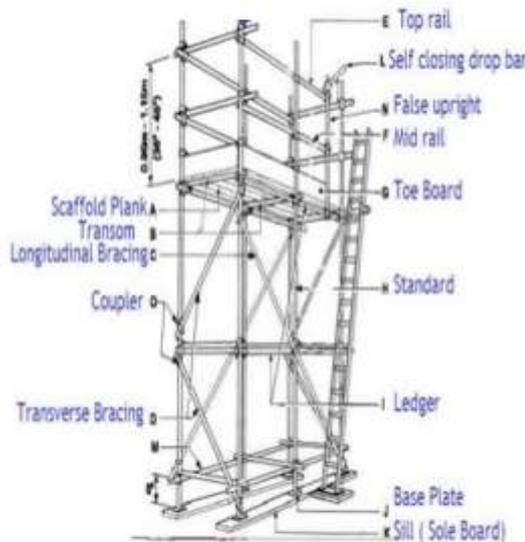
۴-۲- مرحله دوم - انتخاب اعضای تیم پنل خبرگان

در این تحقیق، جامعه آماری شامل متخصصین شاغل در فرآیند بوده و افراد مورد نظر با توجه به معیارهای ورود به مطالعه انتخاب شدند. معیارهای انتخاب خبرگان در این مطالعه سابقه کار بیش از ۱۰ سال در پروژه‌های عمرانی و ساخت و ساز، آشنایی با داربست‌های کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS و همچنین تخصص علمی مرتبط با ایمنی و ارزیابی ریسک بود. در نتیجه افراد مناسب با توجه به این معیارها انتخاب شدند. با توجه به توصیه‌های انجام شده توسط دیگر مطالعات، تعداد مطلوب افراد تیم FMEA بین ۴ الی ۶ نفر می‌باشد [۲۹]. در نتیجه ۶ نفر از افراد خیره از صنعت مورد بررسی برای انجام فرآیند ارزیابی ریسک با روش FMEA فازی انتخاب شدند. از کلیه افراد شرکت کننده در این مطالعه رضایت نامه کتبی دریافت شد و پس از مطالعه و امضاء رضایت نامه شرکت در مطالعه، افراد مورد نظر وارد مطالعه شدند. تخصص خبرگان شرکت کننده در مطالعه عبارت بود از: ۳ نفر کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، ۱ نفر کارشناس ارشد مهندسی عمران و ۲ نفر کارشناس ارشد HSE. سابقه کار خبرگان نیز در محدود ۸ تا ۱۹ سال بود.

مطالعه حاضر بصورت توصیفی - تحلیلی در یکی از پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز در شهر تهران در زمستان ۱۴۰۲ انجام شد. در این مطالعه اثر استفاده از داربست‌های نوین در کاهش ریسک حوادث مورد تحلیل قرار گرفت. ارزیابی‌ها در مطالعه حاضر روی دونوع داربست انجام پذیرفت. این داربست‌ها عبارت بودند از: ۱) داربست کلاسیک گیره- لوله (TCS) ۲) داربست مدولار قفل حلقه‌ای (RLS). در ادامه معرفی این سیستم‌ها انجام خواهد شد.

۳- داربست کلاسیک گیره- لوله (TCS)

سیستم داربست‌بندی TCS (که «داربست لوله و گیره» نیز نامیده می‌شود) نوعی داربست است که از لوله‌ها و کوپلرها تشکیل شده است. مزیت اصلی داربست لوله و کوپلر این است که لوله‌های افقی زیر جایگاه کار (لدر و ترازومها) را می‌توان در هر ارتفاعی از لوله‌های عمودی (استاندارد) قرار داد. در عین حال لوله‌های عمودی را می‌توان در هر فاصله‌ای از هم قرار داد. این عوامل می‌تواند انعطاف‌پذیری داربست را در تطابق با نوع سازه افزایش دهد اما ممکن است اثر منفی بر ایمنی داشته باشد. نمایی شماتیک از این نوع داربست در شکل ۱ ارائه شده است.



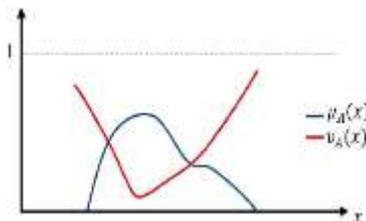
شکل ۱ نمایی شماتیک از سیستم داربست‌بندی TCS و اجزاء تشکیل دهنده آن

۴- داربست مدولار قفل حلقه‌ای (RLS)

سیستم RLS پیشرفته‌ترین سیستم داربست موجود در بازار است. به سرعت و به راحتی مونتاژ می‌شود و در عین حال تطبیق پذیری کافی را برای هر پیکربندی ساختمانی فراهم می‌کند. بخش مرکزی داربست قفل- حلقه‌ای خود Ring-Lock است که به آن اتصال‌دهنده گلبیری شکل^۶ نیز می‌گویند. لوله‌های افقی یا لدر^۷ و مورب یا بریس^۸ دارای هدهای مخصوص برای قرارگیری داخل روزه‌های اتصال‌دهنده گلبیری شکل و در نهایت با استفاده از یک گوه به داربست فیکس می‌شوند. چکش تنها ابزار مورد نیاز برای مونتاژ کامل است. یک ضربه چکش به گوه اتصال شل را به

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (۶)$$

جاییکه $\pi_A(x)$ تابع تردید یا عدم تعیین x به A است. همچنین به عنوان یک شاخص شهودی x در A تعریف شده است [۳۴]. شکل ۳ نمایش گرافیکی یک مجموعه فازی شهودی را نشان می دهد.



شکل ۳ نمایش گرافیکی یک مجموعه فازی شهودی (IFS)

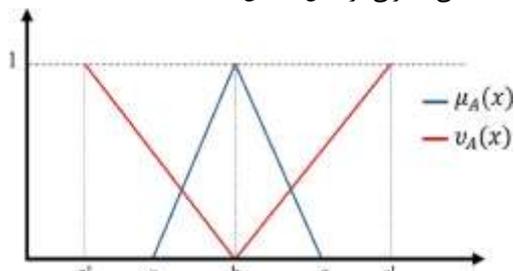
یک IFS مثلثی (TIFS) یک IFS با توابع عضویت و غیرعضویت زیر است (معادلات (۷) و (۸)):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۷)$$

$$\nu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a'}{b'-a'} & a' \leq x < b' \\ \frac{c'-x}{c'-b'} & b' \leq x \leq c' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۸)$$

جایی که، $a' \leq a \leq b \leq c \leq c'$

یک IFS مثلثی به صورت $A = (a, b, c; a', b, c')$ نشان داده می شود. یک IFS مثلثی معمولی در شکل ۴ نشان داده شده است [۳۵].



شکل ۴ نمایش گرافیکی یک مجموعه فازی شهودی مثلثی (TIFS)

با توجه به آنچه در بالا ارائه شد، ارزیابی ریسک با روش IFS-FMEA بصورت زیر اجرا گردید:

۵-۱- ایجاد چارچوبی برای رتبه بندی پارامترهای FMEA با استفاده از اعداد فازی شهودی

انجام FMEA با استفاده از اعداد فازی شهودی نیازمند چارچوبی برای رتبه بندی پارامترهای آن، یعنی احتمال وقوع نقص (P^1)، احتمال کشف نقص (D^1) و شدت پیامد ناشی از نقص (S^1) است. بر این اساس، یک مقیاس ۷ درجه ای از اصطلاحات زبانی (بسیار کم (VL)، کم (L)، نسبتاً کم (ML)، متوسط (M)، نسبتاً زیاد (MH)، زیاد (H)، بسیار زیاد (VH)) برای اندازه گیری پارامترهای FMEA تعریف شد. اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها

یکی از روشهای معروف شناسایی خطر و ارزیابی ریسک، روش FMEA است [۲۹]. در چارچوب این روش ابتدا به شناسایی حالات نقص در سیستم پرداخته و سپس دلایل مختلف بروز این نقایص و اثرات آنها بر روی سیستم، تعیین و در نهایت، RPN محاسبه میشود. استفاده از منطق فازی برای اجرای FMEA راهکاری مناسب برای رفع محدودیتهای این روش است، زیرا که منطق فازی مناسبترین گزینه برای مدل سازی در سیستمهایی است که دارای پیچیدگی زیادی بوده یا همچنین اطلاعاتی که در مورد آنها در اختیار می باشد، مبهم و غیر صریح است. عبارتی استفاده از منطق فازی و استفاده از نظر خبرگان می تواند عدم قطعیت های موجود در فرآیند ارزیابی ریسک را تا حد زیادی کاهش دهد. در صنعت ساخت و ساز و از جمله استفاده از داربست برای فعالیت های کار در ارتفاع عموماً دسترسی محدود به اطلاعات وجود داشته یا مشکل و حتی غیر ممکن است. در این حالت عملیات ریاضیاتی فازی که از نظر محاسباتی نیازی به اطلاعات مفصل تجربی ندارند می توانند بعنوان ابزاری مفید واقع شوند [۳۰]. در چارچوب روش FMEA تحلیل ریسک از مرحله جزئی سیستم شروع و یک لیست از حالات نقص مرتب شده و تأثیر آن حالات نقص با محاسبه RPN مورد تحلیل قرار می گیرد. در مطالعه حاضر روش FMEA در تلفیق با روش فازی IFS مورد استفاده قرار گرفت.

۵- مجموعه های فازی شهودی (IFS)

یک مجموعه فازی کلاسیک توسعه یافته توسط Zadeh [۳۱] دارای ویژگی های زیر است:

با در نظر گرفتن B به عنوان یک مجموعه فازی کلاسیک و γ به عنوان یک شی در جهان گفتمان γ ، می توان B را با استفاده از رابطه (۱) بیان کرد:

$$B = \{ \langle \gamma, \mu_B(\gamma) \rangle \mid \gamma \in Y \} \quad (۱)$$

که در آن، $\mu_B(\gamma)$ تابع عضویت γ در B با مقداری بین صفر و یک است. چندین دهه بعد، آتاناسوف [۳۲] مفهوم IFS را به عنوان بسط مجموعه های فازی کلاسیک با ویژگی های زیر توسعه داد:

با در نظر گرفتن A به عنوان یک IFS و x به عنوان یک شی در جهان گفتمان X ، A با استفاده از رابطه (۲) بیان می شود:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (۲)$$

که در آن، $\mu_A(x)$ تابع عضویت و $\nu_A(x)$ تابع غیر عضویت x در A است [۳۳]. برای این منظور، روابط زیر (معادلات (۳) - (۵)) نیز باید برآورده شوند:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1 \quad (۳)$$

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (۴)$$

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (۵)$$

علاوه بر این، برای هر x ، یک تابع تردید با استفاده از رابطه (۶) تعریف شده است:



و مجموعه‌های فازی شهودی مثلثی مربوط به این پارامترها در جدول ۱، جدول ۲ و جدول ۳ ارائه شده است. این جداول در دیگر مطالعات نیز بخوبی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله در مطالعات یزدی و همکاران [۳۶]، جیانگ و همکاران [۳۷] و عربیان حسین آبادی و همکاران [۳۸]. این جداول به متخصصان و محققان کمک می‌کند تا اصطلاحات زبانی را به شیوه‌های عینی‌تر تعیین کنند.

۵-۲- شناسایی حالت‌های نقص در داربست کلاسیک TCS و داربست نوین RLS

برای انجام این مرحله، ابتدا داربست‌ها به اجزاء کوچکتر تجزیه شد و از بین آنها، اجزاء مستعد نقص شناسایی گردید و بعنوان اجزاء اصلی انتخاب شد. سپس با مصاحبه با کارکنان مجرب، نظرات خبرگان و همچنین تولیدکنندگان و واردکنندگان این داربست‌ها، حالت‌های مختلف نقص هر یک از اجزاء مستعد نقص شناسایی و لیست شد.

جدول ۱ اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها، و مجموعه‌های فازی

شهودی مثلثی مرتبط با شدت پیامد (S)			
رتبه	اصطلاح زبانی	توصیف (شدت پیامد)	اعداد مجموعه فازی شهودی مثلثی
۱	خیلی پایین (VL)	بسیار کم یا بدون تأثیر و آسیب بر سلامتی	(0.00, 0.04, 0.08; 0.00, 0.04, 0.08)
۲	پایین (L)	سیستم می‌تواند عملکرد بهینه خود را حفظ کند، عوارض و صدمات جزئی فقط به کمک‌های اولیه نیاز دارد، عملکرد سیستم ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد.	(0.07, 0.13, 0.19; 0.06, 0.13, 0.20)
۴.۳	اندکی پایین (ML)	صدمات و اثرات سلامتی منجر به کمتر از سه روز کاری از دست رفته، سیستم قابل اجراست اما برخی عملکردهای خود را برای مدت کوتاهی از دست می‌دهد.	(0.17, 0.27, 0.37; 0.15, 0.27, 0.39)
۶.۵	متوسط (M)	صدمات برگشت پذیر و اثرات سلامتی منجر به از دست دادن بیش از سه روز کاری، سیستم قابل اجراست اما ممکن است کاهش جزئی در عملکرد آن رخ دهد.	(0.35, 0.50, 0.65; 0.32, 0.50, 0.68)
۸.۷	کمی بالا (MH)	صدمات جریان ناپذیر شدید و اثرات سلامتی ممکن است سیستم قابل اجراست اما ممکن است کاهش زیادی در عملکرد آن رخ دهد.	(0.62, 0.73, 0.82; 0.61, 0.73, 0.85)
۹	بالا (H)	نقص می‌تواند منجر به مرگ شود، سیستم غیر قابل اجراست و عملکرد اصلی خود را از دست می‌دهد.	(0.81, 0.87, 0.93; 0.79, 0.87, 0.95)
۱۰	خیلی بالا (VH)	نقص قطعا منجر به حداقل یک مرگ می‌شود، سیستم غیر قابل اجراست و بر تجهیزات پایین دستی تأثیر منفی می‌گذارد.	(0.92, 0.96, 1.00; 0.92, 0.96, 1.00)

جدول ۲ اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها، و مجموعه‌های فازی شهودی مثلثی مرتبط با احتمال وقوع نقص (P)

رتبه	اصطلاح زبانی	توصیف (احتمال وقوع نقص)	اعداد فازی مجموعه شهودی مثلثی
۱	خیلی پایین (VL)	شکست بعید است.	(0.00, 0.04, 0.08; 0.00, 0.04, 0.08)
۲	پایین (L)	میزان شکست پایین است.	(0.07, 0.13, 0.19; 0.06, 0.13, 0.20)
۴.۳	اندکی پایین (ML)	میزان شکست نسبتاً کم است.	(0.17, 0.27, 0.37; 0.15, 0.27, 0.39)
۶.۵	متوسط (M)	شکست‌های گاه به گاه ممکن است.	(0.35, 0.50, 0.65; 0.32, 0.50, 0.68)
۸.۷	کمی بالا (MH)	میزان شکست نسبتاً بالا است.	(0.62, 0.73, 0.82; 0.61, 0.73, 0.85)
۹	بالا (H)	میزان شکست بالاست.	(0.81, 0.87, 0.93; 0.79, 0.87, 0.95)
۱۰	خیلی بالا (VH)	شکست تقریباً قطعی و اجتناب ناپذیر است.	(0.92, 0.96, 1.00; 0.92, 0.96, 1.00)

جدول ۳ اصطلاحات زبانی، تعاریف آنها، و مجموعه‌های فازی شهودی مثلثی مرتبط با احتمال کشف نقص (D)

رتبه	اصطلاح زبانی	توصیف (احتمال کشف)	مجموعه اعداد فازی شهودی مثلثی
۱	خیلی بالا (VH)	نقص قطعاً توسط هر کاربری شناسایی می‌شود.	(0.00, 0.04, 0.08; 0.00, 0.04, 0.08)
۲	بالا (H)	احتمال دارد هر کاربری این نقص را شناسایی کند.	(0.07, 0.13, 0.19; 0.06, 0.13, 0.20)
۴.۳	کمی بالا (MH)	نقص فقط توسط یک کاربر با تجربه با تجربه قابل تشخیص است.	(0.17, 0.27, 0.37; 0.15, 0.27, 0.39)
۶.۵	متوسط (M)	تشخیص نقص کار آسانی نیست، اما یک کاربر با تجربه هنوز فرصتی برای تشخیص آن دارد.	(0.35, 0.50, 0.65; 0.32, 0.50, 0.68)
۸.۷	اندکی پایین (ML)	بعید است که نقص توسط یک کاربر عادی شناسایی شود.	(0.62, 0.73, 0.82; 0.61, 0.73, 0.85)
۹	پایین (L)	حتی توسط یک کاربر با تجربه نیز بعید است این نقص شناسایی شود.	(0.81, 0.87, 0.93; 0.79, 0.87, 0.95)
۱۰	خیلی پایین (VL)	هیچ راهی برای تشخیص نقص وجود ندارد.	(0.92, 0.96, 1.00; 0.92, 0.96, 1.00)

۵-۳- رتبه‌بندی پارامترهای FMEA با استفاده از چارچوب تعیین‌شده

مرحله ۳-۳-۱- جمع‌آوری نظرات خبرگان: برای رتبه‌بندی پارامترهای FMEA، نظرات خبرگان انتخابی از طریق سوالات زیر جمع‌آوری شد: سوال ۱ (احتمال وقوع نقص): هر چند وقت یکبار این قسمت از داربست دچار نقص می‌شود؟ سوال ۲ (احتمال کشف نقص): چقدر محتمل است که این نقص در طی یک بازرسی معمولی پیدا شود؟



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران

بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با استفاده از ارزیابی ریسک فازی

سوال ۳ (شدت پیامد ناشی از نقص): در صورت تحقق و بالفعل شدن این نقص، شدت عواقب آن چقدر است؟

مرحله ۳-۳-۲- محاسبه درجه شباهت بین نظرات خبرگان: با در نظر گرفتن Ru و Rv دو خبرگان Eu و Ev، درجه شباهت Suv(Ru, Rv) با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$S_{uv}(R_u, R_v) = \begin{cases} \frac{EV_u}{EV_v} & \text{if } EV_u \leq EV_v \\ \frac{EV_v}{EV_u} & \text{if } EV_u \geq EV_v \end{cases} \quad (9)$$

جایی که، EV مقدار انتظار است و برای TIFS R (a', b, c; a, b, c) با معادله (۱۰) محاسبه می‌شود [۳۹، ۳۵].

$$EV(R) = \frac{(a+a') + 4 \times b + (c+c')}{8} \quad (10)$$

مرحله ۳-۳-۳- محاسبه میانگین توافق (AA) برای هر خبره: در این مرحله، AA برای هر یک از خبرگان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$AA(E_u) = \frac{1}{m-1} \sum_{u \neq v} S_{uv}(R_u, R_v) \quad (11)$$

جایی که m تعداد کل خبرگان شرکت کننده در مطالعه است.

مرحله ۳-۳-۴- محاسبه توافق نسبی (RA) برای هر یک از خبرگان: در این مرحله RA برای هر یک از خبرگان با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$RA(E_u) = \frac{AA(E_u)}{\sum_{u=1}^m AA(E_u)} \quad (12)$$

مرحله ۳-۳-۵- محاسبه درجه اجماع خبرگان (CD) مقدار CD برای هر خبره با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شد [۳۹، ۳۵].

$$CC(E_u) = \beta \cdot W(E_u) + (1 - \beta) \cdot RA(E_u) \quad (13)$$

جایی که W وزن خبره بر اساس تجربه، رشته تحصیلی و سطح تحصیلات او محاسبه می‌شود و β یک عامل آرامش است که از ۰ تا ۱ متغیر است و اهمیت نسبی W(Eu) را نسبت به RA(Eu) نشان می‌دهد. مرحله ۳-۳-۶- تجمیع نظرات خبرگان: در این مرحله نظرات خبرگان با استفاده از معادله (۱۴) [۳۹، ۳۵] تجمیع شد:

$$R_{AG} = \sum_{i=1}^m CC(E_i) \cdot R_i \quad (14)$$

جایی که، Ri یک TIFS است که توسط متخصص Ei بیان شده است. مرحله ۳-۳-۷- فازی زدایی (دیفازی سازی) RAG: خروجی قبلی یک TIFS است که باید به یک مقدار واضح تبدیل شود. راه‌های مختلفی برای دیفازی

کردن یک TIFS وجود دارد. در این تحقیق از معادله (۱۵) برای این منظور استفاده شد [۳۹، ۳۵].

$$X = \frac{1}{3} \left(\frac{(c-a')(b-2c'-2a') + (c-a)(a+b+c) + 3(c^2-a'^2)}{c'-a'+c-a} \right) \quad (15)$$

مرحله ۴- محاسبه RPN: در مرحله آخر مطالعه، RPN برای هر حالت نقص شناسایی شده محاسبه شد. مقادیر واضح به دست آمده از رابطه (۷) در محدوده ۰ تا ۱ هستند، اما پارامترهای FMEA، یعنی شدت، وقوع و تشخیص، در محدوده ۱ تا ۱۰ قرار دارند. برای حل این مشکل، مقادیر به دست آمده از رابطه (۱۵) در ۱۰ ضرب شد [۳۶]. سپس، RPN با ضرب S، D و P، همانطور که در رابطه (۱۶) نشان داده شده است، محاسبه شد:

$$RPN = (X_S^* \times 10) \cdot (X_D^* \times 10) \cdot (X_P^* \times 10) \quad (16)$$

مرحله چهارم- تکرار ارزیابی ریسک فازی برای داربست نوین RLS با روش IFS-FMEA: کلیه مراحل انجام شده در مرحله سوم مطالعه برای داربست-های کلاسیک TCS، برای داربست‌های نوین RLS نیز تکرار شد. عبارتی پس از شناسایی نقایص داربست‌های نوین RLS، نمره RPN با استفاده از IFS-FMEA برای این نوع از داربست نیز تعیین شد.

مرحله پنجم- تعیین اثربخشی از طریق مقایسه نتایج: پس از تعیین نمره ریسک برای داربست‌های کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS، مقایسه نتایج برای تعیین اثربخشی استفاده از داربست‌های نوین بعنوان یک جایگزین برای داربست‌های کلاسیک TCS برای کاهش نمره ریسک حوادث شغلی علی‌الخصوص ریسک سقوط و واژگونی داربست انجام شد. مقایسه نمره RPN و معیارهای ریسک شامل شدت پیامد ناشی از نقص، احتمال وقوع نقص و احتمال کشف نقص با استفاده از روش‌های آماری انجام شد. برای تعیین اثربخشی نیز از سطح ریسک قابل قبول و غیرقابل قبول استفاده شد. در روش FMEA سنتی معمولاً معیار ریسک قابل قبول و غیرقابل قبول عدد ۱۲۵ در نظر گرفته می‌شود (ضرب نمرات احتمال وقوع نقص، احتمال کشف خطر و شدت پیامد زمانی که هر سه پارامتر عدد ۵ را به خود اختصاص دهد) [۴۰]. با توجه به اینکه در این مطالعه از رویکرد فازی IFS-FMEA استفاده گردیده است، در جدول تعیین احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد، ترکیبی از اعداد ۴ و ۵ و ۶ را بعنوان حد ریسک متوسط در نظر می‌گیرند. در نتیجه ما از حاصلضرب احتمال وقوع نقص، احتمال کشف نقص و شدت پیامد در ۳ حالت با نمرات ۴، ۵ و ۶ استفاده کردیم و مقادیر حاصلضرب را برای هر ۳ عدد محاسبه کردیم (۴×۴×۴=۶۴ و ۵×۵×۵=۱۲۵ و ۶×۶×۶=۲۱۶) و در نهایت مقادیر به دست آمده را با یکدیگر جمع و بر عدد ۳ تقسیم نمودیم و از این طریق معیار ریسک غیرقابل قبول با توجه به اعداد فازی عدد ۱۳۵ محاسبه شد ($135 = \frac{64+125+216}{3}$). عبارتی، عدد اولویت ریسک بالاتر از ۱۳۵ بعنوان ریسک بالا در نظر گرفته شد.

برای محاسبه سطح ریسک متوسط نیز همین فرآیند محاسباتی برای اعداد ۳، ۴ و ۵ استفاده شد. در نتیجه عدد ۷۲ بعنوان معیاری برای ریسک متوسط در نظر گرفته شد ($72 = \frac{64+125+27}{3}$). همچنین کمتر از این عدد نیز بعنوان ریسک پایین در نظر گرفته شد. سطوح ریسک محاسبه‌شده



9 (2), 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



جهت ارزشیابی ریسک نهایی نقیص شناسایی شده در داربست‌های مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

بعبارتی، پس از محاسبه ریسک برای نقیص‌های شناسایی شده، عدد RPN بالاتر از ۱۳۵ بعنوان ریسک بالا، عدد RPN بین ۷۴-۱۳۵ بعنوان ریسک متوسط و عدد RPN کمتر- مساوی ۷۴ ریسک پایین در نظر گرفته شدند.

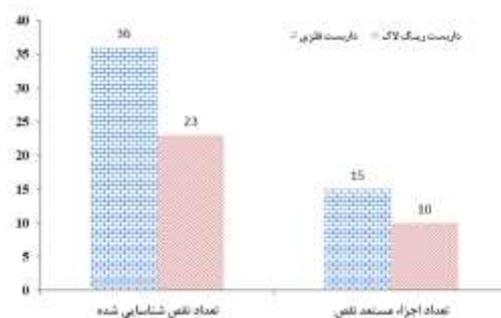
ردیف	سطح ریسک	نمره ریسک
۱	سطح ریسک بالا	$RPN > 135$
۲	سطح ریسک متوسط	$135 \geq RPN > 74$
۳	سطح ریسک پایین	$RPN \leq 74$

۶- تجزیه و تحلیل آماری

بمنظور تعیین نمرات ارزیابی ریسک و نمره نهایی ریسک روش فازی، از نرم افزار Excel 2016 استفاده شد و محاسبات با استفاده از آن انجام پذیرفت. بمنظور رسم جداول نیز از نرم افزار office word 2016 استفاده شد و نمودارها نیز با استفاده از Excel 2016 رسم گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از Shapiro-Wilk test تعیین شد. بمنظور مقایسه میانگین نمره RPN و معیارهای ریسک شامل احتمال وقوع نقیص، احتمال کشف نقیص و شدت پیامد از بین داربست کلاسیک TCS و داربست RLS از آزمون ناپارامتری Mann-Whitney U test استفاده شد. سطح معناداری $\alpha = 0.05$ برای آزمون‌ها در نظر گرفته شد.

۷- نتایج

نتایج مقایسه‌ای مربوط به حالات نقیص شناسایی شده برای سیستم TCS و سیستم RLS در شکل ۵ ارائه شده است. در داربست TCS ۱۵ جزء مستعد نقیص و ۳۶ نقیص توسط خبرگان تعیین شد. اجزاء مستعد نقیص عبارت بود از: صفحه پایه^{۱۶}، پایه‌های عمودی^{۱۷}، صفحه زیر داربست^{۱۸}، لدرج، ترازوم^{۱۹}، لوله مهاری داخلی^{۲۰}، لوله مهاری خارجی^{۲۱}، بست‌ها^{۲۲}، پین اتصال^{۲۳}، لوله اتصال^{۲۴}، لوله‌های حفاظتی^{۲۵}، پاخور حفاظتی^{۲۶}، لنگرگاه^{۲۷}، تخته داربست، راه دسترسی. در داربست RLS ۱۰ جزء مستعد نقیص و ۲۳ نقیص توسط خبرگان شناسایی و لیست شد. اجزاء مستعد نقیص در این سازه عبارت بود از: جک پایه^{۲۸}، طوقه پایه^{۲۹}، پایه‌های عمودی، لدرج، لوله مهاری مورب^{۳۰}، پین گوه‌ای^{۳۱}، پین اتصال، لوله‌های حفاظتی، صفحه زیرپایی^{۳۲}، پله‌های دسترسی^{۳۳}.



شکل ۵ مقایسه حالات نقیص شناسایی شده برای داربست‌های TCS و RLS

نمرات احتمال وقوع نقیص، شدت پیامد ناشی از نقیص و احتمال کشف نقیص‌های شناسایی شده در داربست کلاسیک TCS در جدول ۵ ارائه شده است. کد هر نقیص با کاراکترهای FMTC^{۳۴} نشان داده شده است که به معنای حالات نقیص در داربست لوله-گیره می‌باشد. بالاترین نمره احتمال وقوع مربوط به نقیص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه داربست بود ($FMTC27 = 7.4$). کمترین نمره احتمال وقوع نیز برای نقیص ترک برداشتن لوله مهار داخلی تعیین شد ($FMTC16 = 2.4$). بدترین نمره احتمال کشف نقیص بطور مشترک مربوط به نقیص برشی^{۳۵} پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه داربست و نقیص شکستگی^{۳۶} هوک لنگرگاه بود ($FMTC27 = 3.9$ و $FMTC28 = 3.9$). بهترین نمره احتمال کشف نقیص نیز بطور مشترک و یکسان برای خوردگی و فرسودگی لوله عمودی و لدرج تعیین شد ($FMTC9 = 1.2$ و $FMTC6 = 1.2$). بالاترین نمره شدت پیامدهای بالقوه نقیص‌های شناسایی شده بطور مشترک مربوط به نقیص ترک برداشتن صفحه زیرداربست، لغزش و خزش^{۳۷} صفحه زیرداربست، لغزش و خزش صفحه پایه، ترک برداشتن لوله عمودی، نقیص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه داربست و نقیص شکستگی هوک لنگرگاه و نقیص بهره‌برداری^{۳۸} راه دسترسی بود ($FMTC1$, $FMTC2$, $FMTC4$, $FMTC7$, $FMTC27$, $FMTC28$, $FMTC35 = 9.6$). کمترین نمره شدت پیامدهای بالقوه نقیص‌های شناسایی شده نیز برای نقیص ابعادی (پهنای کم) پاخور داربست تعیین شد ($FMTC31 = 4.5$). نهایتاً، نتایج نهایی ریسک نقیص شناسایی شده در داربست کلاسیک TCS نشان داد بالاترین نمره عدد اولویت ریسک به ترتیب برای نقیص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه ($RPN = 277.1$)، نقیص شکستگی هوک لنگرگاه ($RPN = 213.4$)، نقیص برشی پیچ و مهره گیره ($RPN = 181.5$)، نقیص شکستگی بدنه گیره ($RPN = 148.5$) و لغزش و خزش صفحه زیرداربست ($RPN = 137.3$) می‌باشد. کمترین نمره عدد اولویت ریسک نیز برای نقیص خوردگی و فرسودگی لوله‌های مهاری داخلی به دست آمد ($RPN = 20.8$).

جدول ۵ نتایج نمرات معیارهای ریسک و عدد اولویت ریسک نقیص‌های TCS شناسایی شده داربست کلاسیک

کد	حالت نقیص	احتمال وقوع	احتمال کشف	شدت پیامد	RPN
FMTC1	ترک برداشتن صفحه زیرداربست	5.9	1.7	9.6	96.3
FMTC2	لغزش و خزش صفحه زیرداربست	5.5	2.6	9.6	137.3
FMTC3	(Deformation) تغییر شکل صفحه پایه	4.3	1.8	7.4	57.3
FMTC4	لغزش و خزش صفحه پایه	5.3	2.5	9.6	127.2
FMTC5	تغییر شکل و خمش لوله عمودی	4.2	1.8	5.9	44.6
FMTC6	خوردگی و فرسودگی لوله عمودی	3.8	1.2	8.7	39.7
FMTC7	ترک برداشتن لوله عمودی	5.8	1.6	9.6	89.1
FMTC8	تغییر شکل و خمش لدرج	4.5	1.8	5.9	47.8

TCS ۱۳٪/۹ (نقص ۵) و در داربست RLS ۴٪/۳ (نقص ۱) می‌باشد. با این وجود، درصد نقص‌های قرارگرفته در سطح ریسک متوسط و پایین در داربست نوین RLS بالاتر از نقص‌های کلاسیک TCS است.

جدول ۷ مقایسه معیارهای ریسک و عدد اولویت ریسک در ۲ سیستم داربست مورد بررسی

معیارهای ریسک	نوع داربست	تعداد میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین رتبه	p-value
احتمال وقوع	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۴/۸۷	۲/۴۰	۷/۴۰	۳۴/۸۵	۰/۰۰۷
	داربست نوین RLS	۲۳	۳/۹۰	۰/۹۲	۲/۴۰	۵۲/۴۱	
احتمال کشف	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۲/۰۱	۰/۷۲	۳/۹۰	۲۴/۱۴	۰/۰۰۱
	داربست نوین RLS	۲۳	۲/۵۶	۰/۷۵	۱/۶۰	۳۹/۱۷	
شدت پیامد	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۷/۵۷	۱/۵۴	۴/۵۰	۳۴/۶۵	۰/۰۰۹
	داربست نوین RLS	۲۳	۶/۳۴	۰/۹۹	۴/۲۰	۷/۲۰	
عدد اولویت ریسک	داربست کلاسیک TCS	۳۶	۸۱/۳۶	۵۷/۲۲	۲۰/۸۰	۲۷۷/۱۰	۰/۵۲۴
	داربست نوین RLS	۲۳	۶۷/۱۹	۳۵/۹۱	۲۶/۲۰	۱۴۶/۰۰	

این نتایج بیانگر این است که درصد بیشتری از نقص‌های شناسایی شده در کلاسیک TCS در سطوح ریسک بالاتر نسبت به داربست نوین RLS قرار دارند.



شکل ۶ فراوانی عدد اولویت ریسک نقص‌های شناسایی شده در سطوح ریسک

۸- بحث

صنعت ساختمان به دلیل ماهیت کاری و ریسک ذاتی خود به عنوان یکی از خطرناک‌ترین صنایع شناخته می‌شود. یکی از مهم‌ترین فعالیت‌هایی که منجر به حوادث خطرناکی مانند سقوط و مرگ می‌شود کار در ارتفاع با استفاده از داربست است. داربست‌های جزء تجهیزات اصلی و بنیادی پروژه‌های ساختمانی بوده و توسعه این تجهیزات در راستای ارتقاء عملکرد کار و بخصوص افزایش ایمنی بسیار ضروری و مفید می‌باشد. در مطالعه حاضر اثر استفاده از داربست‌های نوین RLS در کاهش سطح ریسک حوادث در پروژه‌های ساختمانی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور با استفاده از روش IFS-FMEA اقدام به ارزیابی نقص‌های بالقوه موجود در ۲ نوع داربست کلاسیک TCS و داربست‌های نوین RLS گردید.

FMRL8	ترک برداشتن لوله عمودی	3.2	1.6	7.2	36.9
FMRL9	تغییر شکل و خمشی لوله لدر	3.2	1.8	5.7	32.8
FMRL10	ترک برداشتن هد لدر	3	3.1	6.6	61.4
FMRL11	نقص شکستگی هد لدر	3.8	3.3	7.2	90.3
FMRL12	تغییر شکل و خمشی لوله لوله مهاری مورب	2.6	1.9	5.3	26.2
FMRL13	ترک برداشتن هد لوله مهاری مورب	2.4	3.3	6.6	52.3
FMRL14	نقص شکستگی هد لوله مهاری مورب	3.5	3.3	6.6	76.2
FMRL15	خوردگی در بدنه بین‌گوه‌ای	2.4	2.6	5.3	33.1
FMRL16	نقص شکستگی یا برش در بدنه بین‌گوه‌ای	5.2	3.9	7.2	146
FMRL17	نقص بهره‌برداری و نصب نادرست بین‌گوه‌ای	5.2	3.3	7.2	123.5
FMRL18	نقص برشی پیچ و مهره پین اتصال	4.6	3.9	7.2	129.2
FMRL19	نقص بهره برداری و نصب نادرست پین اتصال	4.5	3.3	6.6	98
FMRL20	تغییر شکل و خمشی لوله حفاظتی	3.2	1.9	5.1	31.1
FMRL21	نقص شکستگی هوکهای اتصال صفحه زیرپایی	3.8	2.8	5.1	54.2
FMRL22	کمانش پله‌های دسترسی	3.5	1.8	4.2	26.5
FMRL23	نقص اتصال (Connection) پله - های دسترسی	3.2	1.9	4.5	27.3

نتایج مقایسه آماری بین معیارهای ریسک و عدد اولویت ریسک داربست کلاسیک TCS با داربست نوین RLS در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS می‌تواند بطور معناداری منجر به کاهش میانگین احتمال وقوع نقص، افزایش احتمال کشف نقص و کاهش شدت پیامدهای ناشی از نقص شود ($p\text{-value} < 0.05$). نتایج نمره ریسک محاسبه شده نشان داد که جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS منجر به کاهش میانگین نمره عدد اولویت ریسک از ۸۱/۳۶ به ۶۷/۱۹ می‌شود. اما این کاهش از نظر آماری معنادار نبود ($p\text{-value} = 0.524$).

نتایج سطح بندی ریسک عدد اولویت ریسک نقص‌های شناسایی شده در داربست کلاسیک TCS و داربست نوین RLS در شکل ۶ و جدول ۸ ارائه شده است. همانگونه که مشخص است نقص‌های قرارگرفته در سطح ریسک بالا در کلاسیک TCS بطور فزاینده‌ای بیشتر از داربست RLS است. بگونه‌ای که درصد نقص‌های قرارگرفته در سطح ریسک بالا در کلاسیک

بطور کلی نتایج نشان داد جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS می‌تواند بطور معناداری منجر به کاهش میانگین احتمال وقوع نقص، افزایش احتمال کشف نقص و کاهش شدت پیامدهای ناشی از نقص شود. نتایج ریسک محاسبه شده نیز نشان داد که جایگزینی داربست نوین RLS بجای داربست کلاسیک TCS منجر به کاهش میانگین نمره RPN از ۸۱/۳۶ به ۶۷/۱۹ می‌شود.

جدول ۸ مقایسه توزیع نقص‌ها در سطوح مختلف ریسک

نوع داربست	سطح ریسک	تعداد	درصد	درصد صحیح	درصد تجمعی
داربست کلاسیک TCS	پایین	۱۴	۶۰/۹	۶۰/۹	۶۰/۹
	متوسط	۸	۳۴/۸	۳۴/۸	۹۵/۷
	بالا	۱	۴/۳	۴/۳	۱۰۰
داربست نوین RLS	پایین	۲۰	۵۵/۶	۵۵/۶	۵۵/۶
	متوسط	۱۱	۳۰/۶	۳۰/۶	۸۶/۱
	بالا	۵	۱۳/۹	۱۳/۹	۱۰۰

در ابتدای مطالعه حاضر با استفاده از نظرات خبرگان نقص‌های بالقوه دو نوع داربست مورد بررسی شناسایی و با استفاده از روش FMEA عوامل علی ایجادکننده نقص و پیامدهای نقص‌ها شناسایی و لیست گردید. خبرگان تعداد ۳۶ نقص بالقوه را برای ۱۵ جزء مستعد نقص در داربست کلاسیک TCS شناسایی کردند. اما تعداد نقص‌های بالقوه شناسایی شده و اجزاء مستعد نقص در داربست نوین RLS ۲۳ و ۱۰ عدد تعیین شد. عبارتی تعداد اجزاء مستعد نقص در داربست نوین RLS ۵ جزء کمتر از داربست کلاسیک TCS تعیین شد و ۱۳ نقص نیز تفاوت بین این ۲ نوع داربست بود. عبارتی، خبرگان حاضر در مطالعه اجزاء مستعد نقص و تعداد نقص در داربست نوین را کمتر از داربست‌های کلاسیک TCS بیان کردند. مهم‌ترین دلیل برای این نتایج ساختار مدولار داربست RLS است. داربست مدولار دارای تطبیق‌پذیری بالایی بوده و زمان مونتاژ را در مقایسه با سیستم‌های غیر مدولار (مانند داربست‌های کلاسیک TCS کاهش می‌دهد. سیستم‌های مدولار مانند داربست‌های RLS از استانداردهایی با نقاط اتصال ثابت تشکیل شده‌اند که با کمترین اجزاء، بالاترین کارایی را ایجاد می‌کنند. تمام اجزای اصلی داربست مدولار مانند استانداردها، دفترها، تراشه‌ها، عرشه‌ها و مورب‌ها دارای طول و عرض یکنواخت هستند و همین موضوع منجر به کاهش اجزاء مستعد نقص نسبت به داربست‌های کلاسیک TCS می‌گردد [۴۱]. در یک مطالعه Fang و همکاران نشان دادند که افزایش اجزاء و اتصالات در داربست می‌تواند منجر به افزایش نقص‌های بالقوه در آن شود. در مطالعه آنان مشخص شد که داربست کلاسیک TCS نسبت به داربست‌های سنتی بامبو (ساختارهای چوبی و اجزاء گسترده) عملکرد بهتری داشته و ایمن‌تر هستند [۴۲]. این نتایج منطبق با نتایج مطالعه حاضر است.

از جمله نتایج مطالعه حاضر تفاوت معنادار آماری بین میانگین نمره احتمال وقوع نقص و شدت پیامد نقص بین داربست کلاسیک TCS و داربست نوین RLS بود. نتایج این بخش نشان داد که میانگین نمره این پارامترها در نقص‌های داربست کلاسیک TCS بطور معناداری بالاتر از داربست نوین است. عبارتی احتمال وقوع نقص و شدت پیامد در داربست نوین پایین‌تر از داربست فلز کلاسیک TCS ی بود و همین تفاوت نیز منجر

به پایین‌تر شدن میانگین نمره RPN نقص‌های داربست نوین نسبت به داربست کلاسیک TCS گردید. یکی از مهمترین دلایل در پایین‌تر بودن احتمال وقوع نقص در داربست‌های نوین RLS عدم استفاده از جوشکاری در اجزاء مختلف این سیستم است. مطالعات نشان داده است که چنین اتصالی سفتی و پایداری بیشتری را در مقایسه با سیستم‌های داربست با ساختارهای جوشکاری شده دارد [۴۱]. همچنین ساختار مدولار داربست‌های نوین نیز اثر مثبتی در افزایش سطح ایمنی داربست دارد. داربست‌های مدولار به دلیل ساختار منظم، شبکه‌ای و استاندارد که نسبت به داربست‌های غیرمدولار مانند داربست کلاسیک TCS دارند عموماً پایداری بسیار بالاتری داشته و تحمل بار آنها به حد مطلوبی افزایش یافته است. در این داربست‌ها با توجه به ساختار از پیش طراحی و ساخته شده، احتمال مونتاژ غیر ایمن و ایجاد ساختاری با تحمل بار پایین‌تر از حد طراحی اندک می‌باشد [۴۳]. اما در داربست‌های کلاسیک TCS، لوله‌های عمودی را می‌توان در هر فاصله‌ای از هم قرار داد. این سیستم‌ها دارای کوپلرهای متحرک می‌باشد که باعث می‌شود بتوان سیستم را در هر شرایطی تنظیم کرد و فواصل متفاوتی بین عناصر ایجاد کرد. اما در داربست RLS نصب کننده مجاز به استفاده از فواصل از پیش طراحی شده بوده و نمی‌تواند فواصل را بین لوله‌های عمودی و افقی تغییر دهد [۴۳، ۴۱]. با توجه به اینکه حداکثر فاصله بین لوله‌های استاندارد و لدر و ترازوم‌ها فقط با محدودیت‌های مهندسی محدود می‌شود، در بسیاری از موارد عدم رعایت این محاسبات مهندسی و استانداردهای فواصل نصب رعایت نشده و همین نکته بطور اساسی می‌تواند احتمال وقوع نقص و شدت پیامدهای ناشی از نقص‌ها را به شدت افزایش دهد. در یک مطالعه Borowa و همکاران نشان دادند که یکی از مهم‌ترین موارد در ایمنی داربست رعایت طرح‌های مهندسی هنگام برپایی داربست می‌باشد که عموماً در اکثریت پروژه‌های ساختمانی رعایت نمی‌گردد [۲۰].

بالاترین نمره عدد اولویت ریسک در داربست کلاسیک TCS به ترتیب برای نقص برشی پیچ چشمی و رولپلاک در لنگرگاه، نقص شکستگی هوک لنگرگاه، نقص پیچ و مهره کوپلر، نقص شکستگی بدنه کوپلر (RPN = 148.5) و لغزش و خزش صفحه زیرداربست تعیین شد. در داربست نوین نیز بالاترین نمره عدد اولویت ریسک به ترتیب برای نقص شکستگی یا برش در بدنه پین‌گوه‌ای، نقص برشی پیچ و مهره پین اتصال، نقص بهره‌برداری و نصب نادرست پین‌گوه‌ای، نقص شکستگی روزت طوقه پایه و ترک برداشتن روزت طوقه پایه تعیین شد. توجه به این نتایج نشان می‌دهد که بالاترین ریسک مربوط به اجزائی از داربست است که با عنوان پایه و محل قرارگیری پایه داربست مطرح هستند (مانند صفحه زیرداربست در داربست TCS و طوقه پایه در داربست RLS) و یا محل اتصالات لوله‌های افقی و عمودی داربست‌ها به یکدیگر یا محل اتصال داربست به سازه هستند (مانند هوک و پیچ چشمی لنگرگاه، پیچ و مهره و بدنه کوپلر یا بست‌ها در داربست کلاسیک TCS و بدنه و ساختار روزت‌ها و پین‌های گوه‌ای در داربست RLS). این نتایج هم راستا با دیگر مطالعات است. در مطالعه‌ای توسط Ibrahim و همکاران روی اجزاء مختلف داربست‌ها نشان داده شد که استفاده نادرست از گیره‌ها و اتصال دهنده‌ها مهم‌ترین عامل مؤثر در حوادث داربست‌ها بوده و این اجزاء از عناصر حیاتی داربست‌ها هستند [۴۴]. در دیگر مطالعه، Borowa و همکاران نشان دادند که با توجه به اتصال سری پایه‌های داربست ایجاد نقص در یکی از آنها منجر به تنش در کل ساختار داربست شده و یکی از مهم‌ترین وقایع در ایجاد



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



۹- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بیانگر کارایی بالای داربست‌های نوین RLS در کاهش ریسک حوادث بویژه حوادث سقوط از ارتفاع و واژگونی داربست می‌باشد. علاوه بر اینکه تعداد نقص‌های بالقوه و اجزاء مستعد نقص در این داربست‌ها نسبت به داربست‌های کلاسیک TCS کمتر است، استفاده از این داربست‌ها به دلیل مزایایی که دارد می‌تواند منجر به کاهش احتمال وقوع نقص و شدت پیامد حوادث و متعاقباً کاهش عدد اولویت ریسک نقص‌های شناسایی شده شود. بطور کلی می‌توان استنباط کرد که داربست نوین RLS به دلیل مزایایی همچون سهولت در مونتاژ و جداسازی، استحکام و پایداری، سازگاری بالا با انواع نیازها و کاربردها، کارایی فضا، سازگاری با محیط زیست، ویژگی‌های ایمنی بهتر و مقرون به صرفه بودن می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای داربست‌های کلاسیک TCS متداول در پروژه‌های ساختمانی باشد.

۱۰- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

۱۱- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۱۲- مراجع

- [1] Darshi De Saram D, Tang S. Pain and suffering costs of persons in construction accidents: Hong Kong experience. *Construction management and economics*. 2005;23(6):645-58.
- [2] Hämäläinen P, Takala J, Saarela KL. Global estimates of occupational accidents. *Safety science*. 2006;44(2):137-56.
- [3] Anderson RD, Vastag G. Causal modeling alternatives in operations research: Overview and application. *European Journal of Operational Research*. 2004;156(1):92-109.
- [4] Elvik R. How much do road accidents cost the national economy? *Accident Analysis & Prevention*. 2000;32(6):849-51.
- [5] Shafique M, Rafiq M. An overview of construction occupational accidents in Hong Kong: A recent trend and future perspectives. *Applied Sciences*. 2019;9(10):2069.
- [6] Donaghy R. One death is too many: inquiry into the underlying causes of construction fatal accidents, Rita Donaghy's report to the Secretary of State for Work and Pensions: DERECHO INTERNACIONAL; 2009.
- [7] Im H-J, Kwon Y-J, Kim S-G, Kim Y-K, Ju Y-S, Lee H-P. The characteristics of fatal occupational injuries in Korea's construction industry, 1997-2004. *Safety Science*. 2009;47(8):1159-62.
- [8] Manu P, Ankrah N, Proverbs D, Suresh S. An approach for determining the extent of contribution of construction project features to accident causation. *Safety Science*. 2010;48(6):687-92.
- [9] Hinze JW, Teizer J. Visibility-related fatalities related to construction equipment. *Safety science*. 2011;49(5):709-18.
- [10] Azadeh A, Fam IM, Nouri J, Azadeh MA. Integrated health, safety, environment and ergonomics management system (HSEE-MS): An efficient substitution for conventional HSE-MS. 2008.
- [11] DANESHVAR M, SOLTANZADEH A, MOHAMMADI H, SOLTANZADEH A, AHMADIYAN N. Analysis of Construction Safety Risk in House Power of a Power Plant Based on Bow-Tie Technique. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2018;10(2):87-93.
- [12] Waehrer GM, Dong XS, Miller T, Haile E, Men Y. Costs of occupational injuries in construction in the United States. *Accident Analysis & Prevention*. 2007;39(6):1258-66.

حوادث واژگونی داربست‌ها هستند. همچنین نشان دادند که نقص لنگرگاه داربست نیز بعنوان مهم‌ترین وقایع در ایجاد واژگونی داربست محسوب می‌شود و باید به آن توجه ویژه‌ای داشت [۴۵].

روش FMEA یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌ها برای ارزیابی ریسک سیستم‌های مهندسی است. با این حال، این روش بر اساس قضاوت کارشناسان است که به طور کلی حاوی عدم قطعیت قابل توجهی است. نظریه مجموعه‌های فازی^{۴۰} راه حلی برای کاهش چنین عدم قطعیتی است. تاکنون چندین مطالعه سعی کرده‌اند FMEA را با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی به روش‌های مختلف بهبود بخشند. به عنوان مثال، Kutlu و Ekmekçioglu از روش TOPSIS^{۴۱} فازی و AHP^{۴۲} فازی استفاده کردند [۴۶]. در دیگر مطالعه، Boral و همکاران از AHP فازی و MAIRCA^{۴۳} فازی استفاده کردند [۴۷]. همچنین Song و همکاران عدم قطعیت را با استفاده از TOPSIS فازی یکپارچه مبتنی بر وزن مدیریت استفاده کردند [۴۸]. با این حال، همه این مطالعات از نظریه کلاسیک مجموعه‌های فازی استفاده کردند، در حالی که در مطالعه حاضر از IFS استفاده شد. تحقیقات نشان داده است که IFS نسبت به نظریه مجموعه‌های فازی سنتی در مدیریت عدم قطعیت و ابهام قوی‌تر بوده و خروجی بهتری دارد [۴۹]. به نظر می‌رسد IFS گزینه بهتری برای حل مشکلاتی است که بر اساس تخصص و قضاوت انسانی صورت می‌گیرد [۴۹]. این روش فازی نه تنها توابع عضویت و غیرعضویت را در نظر می‌گیرد، بلکه تابع تردید را نیز در نظر می‌گیرد، که باعث می‌شود کمبود دانش در مورد درجه عضویت را درک کند [۴۳]. اکثر مطالعات از یک سری روش‌های MCDM^{۴۴} در کنار ابزارهای دیگر برای شناسایی عدم قطعیت‌ها در استفاده و اجرای FMEA استفاده کرده‌اند که روش‌شناسی آن‌ها را پیچیده و تا حدودی سخت می‌کند. این مطالعه از IFS برای جمع‌آوری و کمی‌سازی نظرات خبرگان استفاده کرد، بنابراین این روش می‌تواند با عدم قطعیت‌ها در فرآیند ارزیابی ریسک مقابله کند. علاوه بر این، مطالعات قبلی از روش‌های مختلفی، معمولاً TOPSIS یا Fuzzy TOPSIS، برای محاسبه RPN استفاده کرده‌اند. بر خلاف این مطالعات، ما از معادله اصلی برای محاسبه RPN استفاده کردیم تا روش‌شناسی پیچیده‌تر و زمان برتر نشود. در این مطالعه بجای استفاده از FMEA سنتی در تعیین ریسک نقص‌های بالقوه شناسایی شده در ۲ سیستم داربست‌بندی مورد بررسی، از روش IFS-FMEA استفاده شد که خود می‌تواند با کاهش عدم قطعیت منجر به خروجی واقع بینانه و دقیق‌تری گردد. ما از IFS در ادغام با FMEA برای ارزیابی ریسک داربست‌ها و تعیین اثر استفاده از داربست‌های نوین بر ریسک حوادث استفاده کردیم. با این حال، نسخه‌های جدیدتر توسعه‌یافته مجموعه‌های فازی مانند مجموعه فازی فیثاغورث (PFS)^{۴۵} نیز می‌توانند در این رابطه به کار گرفته شوند. به علت محدودیات زمانی در اجرای مطالعه، در این مطالعه نظرات تنها شش نفر از خبرگان شاغل در پروژه‌های عمرانی و ساختمان‌سازی جمع‌آوری شد. با توجه به اینکه داده‌های معتبری در مورد احتمال نقص قطعات داربست وجود ندارد، استفاده از کارشناسان ایمنی بیشتر از بخش‌های مختلف صنعت ساخت و ساز مانند معدن، پل‌سازی، جاده‌سازی و غیره می‌تواند به خروجی‌های قابل اعتمادتری منجر شود.

- application for aircraft landing system. Safety science. 20۹۸:۱۱۳-۲۳:۱۷
- [37] Jiang W, Xie C, Wei B, Zhou D. A modified method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft turbine rotor blades. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016;8(4):1687814016644579.
- [38] Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner PJ. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. *International journal of electrical power & energy systems*. 2010;32(7):817-24.
- [39] Kabir S, Geok TK, Kumar M, Yazdi M, Hossain F. A method for temporal fault tree analysis using intuitionistic fuzzy set and expert elicitation. *IEEE access*. 2019;8:980-96.
- [40] Kolahdouzi M, Halvani GH, Abdehghah EN, Shendi MRA, Aval MY. Use of failure mode and effects analysis in improving safety: a case study in an oil company. 2017.
- [41] Viunov V. Comparison of scaffolding systems in Finland and in Russia [Bachelor's Thesis]. Russia: Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta; 2011.
- [42] Fang D, Shen Q, Wu S, Liu G. A comprehensive framework for assessing and selecting appropriate scaffolding based on analytic hierarchy process. *Journal of Safety Research*. 2003;34(5):589-96.
- [43] Pieńko M, Błazik-Borowa E. Experimental studies of ringlock scaffolding joint. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020;173:106265.
- [44] Quadri AI, Fadugba OG. Risk assessment and safety precautions for construction site scaffolding. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*. 2022;10(4):1-13.
- [45] Ewa B, Gery R, Wielgos P. The probability of a scaffolding failure on a construction site. January. 2021.
- [46] Kutlu AC, Ekmekçioglu M. Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert systems with applications*. 2012;39(1):61-7.
- [47] Boral S, Howard I, Chaturvedi SK, McKee K, Naikan VNA. An integrated approach for fuzzy failure modes and effects analysis using fuzzy AHP and fuzzy MAIRCA. *Engineering Failure Analysis*. 2020;108:104195.
- [48] Song W, Ming X, Wu Z, Zhu B. Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2013;26(12):1172-86.
- [49] Burillo P, Bustince H, Mohedano V, editors. Some definitions of intuitionistic fuzzy number. *First properties*1994: Sofia Bulgaria.
- [13] Ahmadi K, Rafieizonooz M. Investigation of safety factors through frequency and severity importance index in Iranian construction project. *Journal of Energy and Environmental Pollution*. 2020;1(1):18-28.
- [14] Nadhim EA, Hon C, Xia B, Stewart I, Fang D. Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature. *International journal of environmental research and public health*. 2016;13(7):638.
- [15] Newaz MT, Ershadi M, Carothers L, Jefferies M, Davis P. A review and assessment of technologies for addressing the risk of falling from height on construction sites. *Safety science*. 2022;147:105618.
- [16] Hamdan N, Awang H. Safety scaffolding in the construction site. *Jurnal Teknologi*. 2015;75(5):26-31.
- [17] Min S-N, Subramaniam M, Park SJ, Lee K-S. Development of the fall prevention index on the movable scaffold for construction workers. *Work*. 2020;65(1):167-73.
- [18] Khan M, Khalid R, Anjum S, Tran SV-T, Park C. Fall prevention from scaffolding using computer vision and IoT-based monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2022;148(7):04022051.
- [19] Azizdin RA. *Safety of Scaffolding in Construction Site* [BSc]. Tronoh, Perak: Universiti Teknologi Petronas; 2006.
- [20] Błazik-Borowa E, Szer J. The analysis of the stages of scaffolding "life" with regard to the decrease in the hazard at building works. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2015;15(2):516-24.
- [21] Herber HL, Herber JN. *Teaching in Content Areas with Reading, Writing, and Reasoning*: ERIC; 1993.
- [22] Ismail HB, Ab Ghani KD. Potential hazards at the construction workplace due to temporary structures. *Procedia-Social and behavioral sciences*. 2012;49:168-74.
- [23] Chan DW, Cristofaro M, Nassereddine H, Yiu NS, Sarvari H. Perceptions of safety climate in construction projects between workers and managers/supervisors in the developing country of Iran. *Sustainability*. 2021;13(18):10398.
- [24] Ghasemi F, Mohammadfam I, Soltanian AR, Mahmoudi S, Zarei E. Surprising incentive: an instrument for promoting safety performance of construction employees. *Safety and health at work*. 2015;6(3):227-32.
- [25] Ishwarya GA, Rajkumar D. Analysis of ergonomic risk factors in construction industry. *Materials Today: Proceedings*. 2021;37:2415-8.
- [26] Jafari MJ, Gharari M, Ghafari M, Omid L, Kalantari S, Asadolah-Fardi G. The influence of safety training on safety climate factors in a construction site. *International journal of occupational hygiene*. 2014;6(2):81-7.
- [27] Mahmoudi S, Ghasemi F, Mohammadfam I, Soleimani E. Framework for continuous assessment and improvement of occupational health and safety issues in construction companies. *Safety and health at work*. 2014;5(3):125-30.
- [28] Mohammadian F, Sadeghi M, Hanifi SM, Noorzadeh N, Abedi K, Fazli Z. Modeling important factors on occupational accident severity factor in the construction industry using a combination of artificial neural network and genetic algorithm. *Work*. 2022;73(1):189-202.
- [29] Press D. *Guidelines for failure mode and effects analysis (FMEA), for automotive, aerospace, and general manufacturing industries*: CRC Press; 2003.
- [30] ul Hassan F, Nguyen T, Le T, Le C. Automated prioritization of construction project requirements using machine learning and fuzzy Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *Automation in Construction*. 2023;154:105013.
- [31] Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and control*. 1965;8(3):338-53.
- [32] Atanassov KT. *On intuitionistic fuzzy sets theory*: Springer; 2012.
- [33] Xu Z, Liao H. Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process. *IEEE transactions on fuzzy systems*. 2013;22(4):749-61.
- [34] Szmidt E, Kacprzyk J. Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*. 2000;114(3):505-18.
- [35] Aliabadi MM. Human error analysis in furnace start-up operation using HEART under intuitionistic fuzzy environment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2021;69:104372.
- [36] Yazdi M, Daneshvar S, Setareh H. An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA)

-
- ²⁴ Sleeve Coupler
²⁵ guardrail
²⁶ Toebord
²⁷ Anchoring
²⁸ base jack
²⁹ base collar
³⁰ Diagonal Brace
³¹ wedge pin
³² Steel Plank
³³ steel stair
³⁴ Failure Mode in Tube-Coupler Scaffolding
³⁵ Shearing failure
³⁶ fracture failure
³⁷ sliding and creep
³⁸ Failure to operate
³⁹ Failure Mode in Ring-Louck Scaffolding
⁴⁰ Fuzzy sets theory
⁴¹ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
⁴² Analytical Hierarchy Process
⁴³ Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis
⁴⁴ Multi-criteria decision-making
⁴⁵ Pythagorean fuzzy set
- ¹ World Health Organization
² International Labour Organization
³ Occupational Safety and Health Administration
⁴ Tube and clamp scaffold
⁵ Ring Lock Scaffolding
⁶ Rosette Connector
⁷ Ledger
⁸ Brace
⁹ Triangular Intuitionistic Fuzzy Sets
¹⁰ Probability
¹¹ Detectability
¹² Severity
¹³ Average Agreement
¹⁴ Relative Agreement
¹⁵ Consensus Degree
¹⁶ base plate
¹⁷ Standard
¹⁸ sole board/plate
¹⁹ Transom/putlog
²⁰ Internal Brace
²¹ External Brace
²² Coupler
²³ Joint Pin



9 (2) , 2025

دوره ۹، شماره ۲

زمستان ۱۴۰۳

دوفصلنامه پژوهشی



بررسی تأثیر داربست‌های نوین بر کاهش ریسک حوادث ساختمانی با
 استفاده از ارزیابی ریسک فازی

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)