

توسعه شاخص عملکرد ایمنی بهره‌برداری جرثقیل‌های برجی و به کارگیری آن در پروژه‌های ساخت و ساز در شهر اصفهان

سید شهاب‌الدین احمدی^۱ ID، محمد حسین وزیری^{۱،۲} ID، رضا سعیدی^۳ ID، رضا غلام‌نیا^۱ ID

^۱ گروه سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۲ مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۳ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: شاخص عملکرد ایمنی در سیستم‌های مدیریت ایمنی نقش بسزایی در پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و ارزیابی اقدامات کنترلی دارد. در این پژوهش با توجه به اهمیت استفاده روز افزون از جرثقیل‌های برجی در کشورهای در حال توسعه، یک شاخص عملکرد ایمنی جرثقیل‌های برجی در مرحله بهره‌برداری توسعه یافت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، با بهره‌گیری از نظر خبرگان و به کارگیری تکنیک دلفی، سنجه‌های عملکرد ایمنی جرثقیل‌های برجی شناسایی شد و بر اساس آنها، چک‌لیست سنجش عملکرد ایمنی این نوع جرثقیل‌ها تدوین گردید. در مرحله بعد، برای هر یک از سنجه‌های ایمنی، وزن متناسب با میزان تأثیر آن بر عملکرد ایمنی تعیین شد و شاخص عملکرد ایمنی با استفاده از چارچوب‌های موجود محاسبه گردید. در نهایت، این شاخص در دو کارگاه ساخت دارای جرثقیل برجی در شهر اصفهان مورد استفاده قرار گرفت. کلیه ملاحظات اخلاقی نیز در اجرای پژوهش رعایت شده است.

یافته‌ها: تعداد ۵۶ سنجه عملکرد ایمنی توسط تیم خبرگان تایید شد. بیشترین وزن برای سنجه‌های «بازرسی‌های نهادهای نظارتی» و «اجرای نظام احراز صلاحیت کارگران خاص» و «ارتفاع کاری جرثقیل» بود. فهرست‌وارسی عملکرد ایمنی جرثقیل‌های برجی تشکیل شد. شاخص عملکرد ایمنی در بازه صفر تا صد تعیین شد که در دو کارگاه مورد نظر پژوهش اعداد «۸۱» و «۹۱» با وضعیت متوسط (زرد) و خوب (سبز) در نشانگر ایمنی دریافت نمودند.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، عوامل مؤثر بر ایمنی جرثقیل‌های برجی در مرحله بهره‌برداری با مرور دقیق منابع و نظر خبرگان شناسایی شد و سنجه‌های عملکرد ایمنی با پوشش مناسب و توافق بالا انتخاب شدند.

کلید واژه‌ها: عوامل ایمنی؛ جرثقیل برجی؛ سنجه عملکرد ایمنی؛ چک لیست؛ شاخص عملکرد ایمنی.

Please cite this article as: Ahmadi S Sh, Vaziri M H, Saeedi R, Gholamnia R. Development of safety performance index of tower cranes operation and its application in construction projects in Isfahan city. Journal of Health in the Field 2025; 13(2):25-32. Doi: <https://doi.org/10.22037/jhf.v13i2.46154>.

*نویسنده مسئول: گروه سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: mhvaziri40@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

مقدمه

کارگاه‌های ساخت و ساز به واسطه وجود چندین محل فعالیت و ماهیت پیچیده و هم‌زمان عملیات‌های اجرایی، از منظر ایمنی جزو محیط‌های با ریسک بالا محسوب می‌شوند. این ریسک تا حد زیادی ناشی از عملکرد هم‌زمان عناصر متحرکی چون نیروی انسانی، ماشین‌آلات سنگین و جابجایی مواد اولیه است. صنعت ساختمان، به عنوان یکی از پرمخاطره‌ترین صنایع شناخته می‌شود که سالانه شمار قابل توجهی از حوادث شغلی در آن به ثبت می‌رسد. در دو دهه گذشته، استفاده از جرثقیل‌های برجی در پروژه‌های ساختمانی در سطح جهان رشد چشمگیری داشته است. این نوع جرثقیل‌ها به عنوان یکی از تجهیزات کلیدی در حمل بارهای سنگین به صورت افقی و عمودی، نقش محوری در فرآیند ساخت و ساز ایفا می‌کنند. جرثقیل برجی معمولاً شامل بخش‌هایی مانند بازوی اصلی (بازوی جلو)، بازوی تعادل (بازوی عقب)، واگن باربر، وزنه‌های تعادل، تاج، اتاقک راننده، قلاب، کابل‌ها و قطعات دکل فولادی می‌باشد. با وجود مزایای عملکردی، استفاده از جرثقیل‌های برجی با خطرات ذاتی قابل توجهی همراه است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به احتمال سقوط بار اشاره کرد. مطالعات پیشین در زمینه شناسایی دقیق منطقه خطر یا محدوده سقوط بار، به ویژه در تشخیص انواع مختلف بارها و تحلیل رفتار حرکتی آن‌ها، اغلب با چالش‌هایی مواجه بوده‌اند. در همین راستا، Pazari و همکاران (۲۰۲۳) روشی نوین برای تعیین محدوده سقوط بار و موقعیت‌یابی ایمن کارگران نسبت به این محدوده ارائه کردند. این روش از الگوریتم‌های بینایی رایانه‌ای برای تشخیص نوع بار براساس الگوهای حرکتی و ارتفاع و از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای شناسایی کارگران بهره می‌گیرد. همچنین، با استفاده از داده‌های عمقی ثبت شده توسط دوربین‌ها، موقعیت مکانی افراد در فضای سه بعدی به دقت تعیین می‌شود. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی از نظر سرعت و دقت تحلیل عملکرد مطلوب‌تری نسبت به روش‌های پیشین دارد، به گونه‌ای که توانست با سرعت ۸ فریم در ثانیه، دقت ۹۴ درصد و یادآوری ۹۶/۵ درصد در تعیین منطقه نسبی کارگران دست می‌یابد [۱].

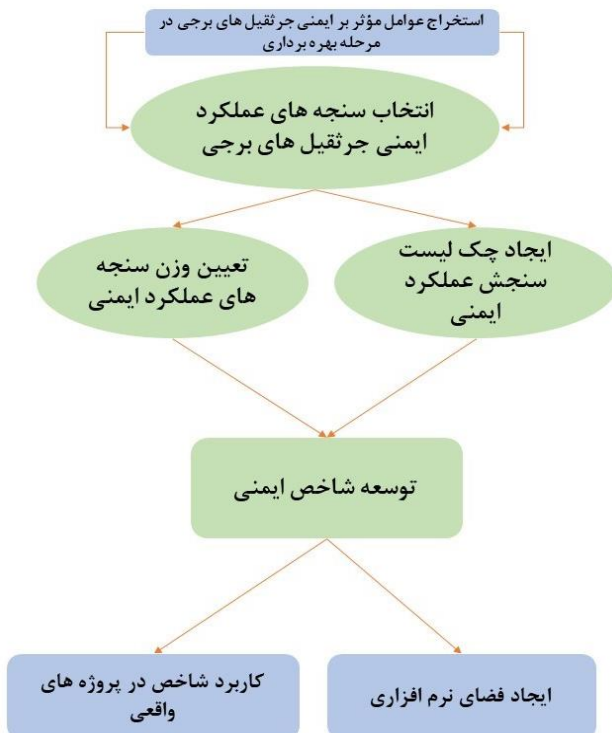
Sadeghi و همکاران (۲۰۲۳) بیان نمودند که حتی با وجود اینکه برخی از مطالعات بر روی عوامل منجر به حوادث ناشی از عملیات جرثقیل برجی متمرکز شده‌اند، کمبود یک چارچوب جامع مبتنی بر تجزیه و تحلیل ریسک وجود دارد تا بتواند به تصمیم‌گیرندگان ایمنی تصویر کاملی از عوامل حیاتی، ریسک‌های حیاتی و اقدامات کنترلی برای اجرا در چارچوب یکپارچه ارائه بدهد. با توجه به این کاستی‌ها، یک چارچوب مبتنی بر تحلیل ریسک گروهی برای بهبود ایمنی عملیات جرثقیل برجی توسعه داده شده است که نتایج جدید این چارچوب توسعه یافته بر اساس کاربرد گام به گام آن در چندین کارگاه ساخت و ساز، به شرح زیر است: (۱) تعیین عوامل علی‌بحرانی از طریق در نظر گرفتن اهمیت‌شان هم‌زمان

با سطوح تأثیر آن‌ها؛ (۲) شناسایی و اولویت‌بندی مخاطراتی که جان کارگران را تهدید می‌کند با در نظر گرفتن ارتباط عوامل و مخاطرات شناسایی شده و (۳) ارائه و اولویت‌بندی اقدامات کنترلی سودمند. نتایج چارچوب پیشنهادی با استفاده از روش بحث گروهی متمرکز، تأیید شدند. به کارگیری این چارچوب در پروژه‌های منتخب نشان داد که می‌تواند کارکنان ایمنی را در تصمیم‌گیری‌های دقیق یاری دهد و در نهایت به حفظ و ارتقای ایمنی پروژه کمک کند [۲]. Sadeghi و همکاران (۲۰۲۱) یک مطالعه مرور سیستماتیک در زمینه الزامات ایمنی جرثقیل انجام دادند. آنان اشاره کردند که اگرچه برخی پژوهش‌ها عوامل خطر و علل حوادث جرثقیل را بررسی کرده‌اند؛ اما یک مرور جامع از وضعیت موجود در ادبیات علمی وجود نداشت. هدف پژوهش پرکردن این شکاف از طریق مرور نظام‌مند مطالعات منتشر شده از ابتدای قرن حاضر بود. در این بررسی از ۵۹ عامل ریسک مندرج در فهرست راهنمای ریسک عملیات جرثقیل (Crane Operation Risk Directory: CORD) برای تحلیل استفاده شد. نتایج نشان داد که برخی عوامل ریسک به طور گسترده در متون مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ در حالی که هشت عامل مهم تقریباً نادیده گرفته شده‌اند. این یافته‌ها، جامعه علمی و صنعت را به سمت مطالعه بیشتر عوامل کمتر بررسی شده و بهبود سیستم‌های مدیریت ایمنی جرثقیل هدایت می‌کند [۳]. Sadidi و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل FMEA، شاخص‌های ایمنی جرثقیل‌های برجی در مشهد را بررسی کردند. اگرچه این مطالعه ضعف‌های فنی و نقاط شکست تجهیزات را نشان داد؛ اما تنها به یک مورد خاص محدود شد و نتایج آن قابلیت تعمیم گسترده نداشت [۴].

اسپیرینا و همکاران (۲۰۲۳) با تحلیل آسیب‌های شغلی در ساخت و ساز، راه حلی فنی برای افزایش پایداری جرثقیل‌های برجی ارائه کردند. با این حال، تمرکز پژوهش آن‌ها بر پایداری مکانیکی بود و عوامل مدیریتی و انسانی ایمنی کمتر مورد توجه قرار گرفت [۵].

Hu و همکاران (۲۰۲۳) با بهره‌گیری از رویکرد پیشگیری از طریق طراحی (Prevention through Design: PtD) و مدل‌سازی (Building Information Modelling: BIM)، راهکاری برای شناسایی زود هنگام خطرات جرثقیل‌های برجی پیشنهاد دادند. اگرچه این روش نوآورانه بود؛ اما در عمل نیازمند داده‌های دقیق و شرایط ویژه کارگاهی است و قابلیت اجرای عمومی در همه پروژه‌ها را ندارد [۶]. Yang و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی مدیریت مشارکتی ایمنی جرثقیل برجی از منظر شبکه‌های اجتماعی پرداختند و ضعف همکاری میان ذینفعان را گزارش کردند. این مطالعه بر روابط سازمانی تأکید داشت؛ اما به ابزارهای عملی برای کاهش خطرات نپرداخت [۷]. Wu و همکاران (۲۰۲۲) چارچوبی مبتنی بر بلاک‌چین برای بازرسی ایمنی ارائه نمودند که شفافیت داده‌ها را افزایش می‌دهد. با این حال، این رویکرد هنوز در مرحله مفهومی است و شواهد میدانی محدودی برای اثربخشی

جدید استخراج شدند. در نهایت، فهرست نهایی عوامل ایمنی برای جرثقیل‌های برجی در مرحله بهره‌برداری تنظیم گردید.



شکل ۱- روند نمای مراحل پژوهش و اهداف کلی

Figure 1- Flowchart of research stages and overall goals

گام دوم: انتخاب سنجه‌ها با نظر خبرگان

بر اساس عوامل شناسایی شده، چک‌لیستی از سنجه‌های عملکرد ایمنی تدوین شد. برای اعتبارسنجی، از تکنیک دلفی استفاده گردید. پانزده نفر از خبرگان شامل اعضای هیأت علمی و مسئولان ایمنی کارگاه‌ها در این فرایند مشارکت داشتند. پرسشنامه با طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت طراحی و اجرا شد و سنجه‌هایی با میانگین کمتر از ۳ حذف شدند. میزان توافق خبرگان با ضریب هماهنگی کندال سنجیده و تأیید گردید [۱۲].

گام سوم: تعیین وزن سنجه‌ها

میانگین امتیاز هر سنجه در پرسشنامه دلفی به عنوان وزن آن در نظر گرفته شد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) پیش‌بینی شده بود؛ اما به دلیل تعداد بالای سنجه‌ها و ناسازگاری مقایسات زوجی، این روش اجرا نگردید. به جای آن، میانگین‌های به دست آمده از دلفی مبنای وزن‌دهی قرار گرفت.

آن وجود دارد [۸]. Chen و همکاران (۲۰۲۲) با توسعه یک مدل تکاملی سه جانبه، نقش ذینفعان مختلف در ایمنی جرثقیل را بررسی کردند. هر چند این مطالعه شکاف مهمی را در توجه به نقش نهادهای نظارتی پر کرد، اما کاربرد آن به شرایط بومی خاص محدود شد [۹]. Mohandes و همکاران (۲۰۲۲) شاخص ایمنی جرثقیل (Crane Safety Index: CSI) را برای ارتقای سلامت شغلی معرفی کردند و کارایی آن را در پروژه‌های مدولار آزمایش نمودند. با وجود این، شاخص پیشنهادی بیشتر بر ساخت و ساز مدولار تمرکز داشت و به طور کامل به جرثقیل‌های برجی در محیط‌های متداول ساختمانی تمهید داده نشد [۱۰]. Liu و همکاران (۲۰۲۱) نیز با ترکیب شبکه بیزی فازی، مدلی برای تحلیل کمی ریسک جرثقیل‌های برجی ارائه دادند. اگرچه این روش قدرت بالایی در شبیه‌سازی روابط علی داشت؛ اما اجرای آن نیازمند داده‌های گسترده و پیچیده است که در همه پروژه‌ها در دسترس نیست [۱۱]. با مرور مطالعات گذشته می‌توان نتیجه گرفت که هر پژوهش بخشی از ابعاد ایمنی جرثقیل‌های برجی را پوشش داده است؛ برخی بر عوامل فنی، برخی بر مدیریت و برخی بر نوآوری‌های فناورانه تمرکز داشته‌اند [۱۲]. با این حال، هنوز یک شاخص جامع و عملی برای سنجش عملکرد ایمنی جرثقیل‌های برجی در مرحله بهره‌برداری در پروژه‌های واقعی وجود ندارد. بنابراین، ضرورت توسعه یک شاخص عملکردی ایمنی که بتواند با در نظر گرفتن عوامل مختلف، وضعیت ایمنی جرثقیل‌های برجی را به شکلی کاربردی و قابل استفاده در محیط‌های واقعی ساختمانی ارزیابی نماید، مشخص می‌گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع بنیادی کاربردی بود که با هدف توسعه شاخص ایمنی عملکردی جرثقیل‌های برجی انجام شد. جامعه مورد بررسی شامل دو جرثقیل برجی در کارگاه‌های ساخت ایستگاه خط دوم مترو در شهر اصفهان بود. در هر زمان، هر جرثقیل در یکی از مراحل نصب، صعود، بهره‌برداری یا برجیدن قرار داشت. با توجه به محدودیت‌های اجرایی و مجوزهای لازم، دو کارگاه تحت نظر سازمان قطار شهری اصفهان به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید و هماهنگی‌های لازم برای ورود و ثبت اطلاعات انجام شد. پژوهش در شش گام طراحی و اجرا گردید (شکل شماره ۱):

گام اول: استخراج عوامل ایمنی

برای شناسایی عوامل مؤثر بر ایمنی، ابتدا مرور نظام‌مند مطالعات پیشین (مانند صادقی و همکاران، ۲۰۲۱) استفاده شد. از میان ۵۹ عامل گزارش‌شده، عوامل مرتبط با قابلیت تحرک حذف گردید. سپس بر اساس جستجو در پایگاه‌های علمی طی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ و کلید واژه Tower Crane Safety، مقالات شاخص انتخاب و عوامل ایمنی

محیط، کاربر قادر بود امتیازات سنج‌ها را وارد کند و شاخص نهایی ایمنی را به همراه خروجی بصری (گیج ایمنی) دریافت نماید.

گام ششم: اجرای شاخص در کارگاه‌های واقعی

شاخص طراحی شده در دو کارگاه ساخت ایستگاه مترو (شاهد و زینیه) پیاده‌سازی شد. داده‌ها از طریق تکمیل چک‌لیست توسط مدیران ایمنی، افسران ایمنی و اپراتورهای جرثقیل گردآوری گردید. سپس شاخص عملکرد ایمنی برای هر کارگاه محاسبه شد.

گام چهارم: تدوین شاخص ایمنی

وزن نسبی هر سنج (Wi) در امتیاز مربوط به آن (Si) ضرب شد و مجموع حاصل به عنوان شاخص ایمنی (Isafety) تعریف گردید [۱۳].

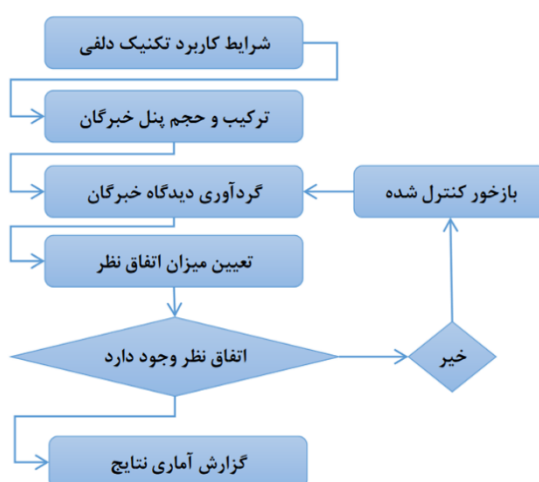
گام پنجم: ایجاد ابزار نرم‌افزاری

برای محاسبه شاخص ایمنی و نمایش نتایج به صورت عددی و گرافیکی، محیط نرم‌افزار Microsoft Excel طراحی گردید. در این

جدول ۱- مشخصات پروژه‌های ساخت با جرثقیل برجی

Table-1 Specifications of construction projects with tower cranes

نام پروژه	موقعیت مکانی	تعداد کارکنان	محدوده عملیاتی	نوع و مدل جرثقیل
ایستگاه شاهد	اصفهان خ لاله جنوبی	۲۵	مسکونی با تراکم جمعیتی متوسط	پُتین بدون تاج
ایستگاه زینیه	اصفهان خ عاشق اصفهانی	۳۵	مسکونی با تراکم جمعیت بالا	پُتین تاج‌دار



شکل ۲- چارچوب نظری تکنیک دلفی در تحقیقات کیفی [۱۴]

Figure-2 Theoretical framework of the Delphi technique in qualitative researchs

بازخورد کنترل شده به همراه پرسشنامه مجدد در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد. پس از طی دوره‌های مختلف زمانی که وحدت نظر حاصل شد، بر اساس میانگین چرخه نهایی به غربال گویه‌ها پرداخته می‌شود [۱۴]. برای تعیین میزان اتفاق نظر از ضریب هماهنگی کندال استفاده شد. نرم‌افزار مایکروسافت اکسل (Microsoft Excel) برای ایجاد پرسشنامه دلفی و ایجاد سیستم امتیازدهی عملکرد ایمنی و بدست آوردن شاخص عملکرد ایمنی در این پژوهش از این نرم‌افزار استفاده شد. نرم‌افزار SPSS برای محاسبه ضریب هماهنگی کندال و داده‌های

روش‌ها و تکنیک‌های پژوهش

تکنیک دلفی برای اجماع نظر درباره سنج‌های عملکرد ایمنی در پژوهش‌های کیفی که هدف آن تعیین میزان اهمیت و یا غربال گویه‌هاست می‌توان از طیف لیکرت برای گردآوری دیدگاه خبرگان استفاده کرد. استفاده از طیف لیکرت ۵ درجه یا ۷ درجه مرسوم است برای توافق کلامی «کاملاً موافق» و «کاملاً مخالف» در دو انتهای طیف استفاده می‌شود [۱۴]. پس از گردآوری دیدگاه خبرگان، میانگین نمره نظرات آنها پیرامون هر بعد محاسبه می‌شود. با توجه به چهارچوب نظری اگر توافق وجود نداشته باشد، میانگین محاسبه شده به عنوان

گمشته در این پژوهش از نرم‌افزار آماری SPSS کمک گرفته شد (شکل شماره ۲).

یافته‌ها

در گام ابتدایی این پژوهش، مطابق توضیحات پیشین، ۵۵ عامل مؤثر در ایمنی جرثقیل‌های بر جی در پنج دسته کلی شامل «تهادهای نظارتی، ذینفعان، مدیریت کارگاه، کارکنان جرثقیل بر جی و تجهیزات و محیط کاری» شناسایی شدند. در گام بعدی، با استفاده از تکنیک دلفی در میان تیم خبرگان، سنجه‌های ایمنی بر پایه طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت، ۵۵ سنجه عملکرد ایمنی مورد تأیید قرار گرفت.

پس از نهایی‌سازی پرسشنامه، وزن هر سنجه بر اساس میانگین اهمیت خبرگان تعیین و شاخص عملکرد ایمنی بر مبنای این وزن‌ها در محیط نرم‌افزار Microsoft Excel محاسبه شد.

همانطور که اشاره شد شاخص عملکرد ایمنی در دو پروژه واقعی ساخت ایستگاه‌های متروی شاهد و زینبیه شهر اصفهان مورد اجرا قرار گرفت. نتایج نشان داد که در ایستگاه شاهد، میانگین امتیاز سنجه‌ها در پنج دسته اصلی به ترتیب برابر بود با: نهادهای نظارتی (۴/۴۳)، ذینفعان (۴/۳۸)، مدیریت کارگاه (۴/۱۵)، کارکنان جرثقیل بر جی (۴/۱۱) و تجهیزات و محیط کاری (۴/۴۲). در مقابل، در ایستگاه زینبیه این مقادیر به ترتیب ۴/۵۶، ۴/۴۷، ۴/۳۸، ۴/۲۶ و ۴/۶۵ به دست آمد (شکل شماره ۳). شاخص نهایی عملکرد ایمنی بر اساس وزن‌دهی نسبی سنجه‌ها در دو کارگاه به ترتیب ۸۱ و ۹۱ محاسبه شد که بیانگر وضعیت «ایمنی قابل قبول» برای ایستگاه شاهد و «ایمنی مطلوب» برای ایستگاه زینبیه است.

تحلیل نتایج به تفکیک سنجه‌ها نشان داد که بیشترین نقاط قوت در هر دو پروژه به شاخص‌های مربوط به «تهادهای نظارتی» و «تجهیزات و محیط کاری» تعلق دارد، در حالی که «مدیریت کارگاه» و «رفتار و آموزش کارکنان جرثقیل» نیازمند بهبود بیشتری هستند. همچنین مشاهده شد که در ایستگاه زینبیه، ثبات مدیریتی و آموزش مداوم کارکنان نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای امتیاز شاخص ایمنی داشته است. در مجموع، یافته‌های گام ششم نشان داد شاخص طراحی شده قادر است عملکرد ایمنی جرثقیل‌های بر جی را به صورت عددی، تفکیکی و تحلیلی ارزیابی کند و تفاوت‌های واقعی بین پروژه‌ها را منعکس سازد.

بحث

در گام نهایی این پژوهش، شاخص عملکرد ایمنی در دو کارگاه ساخت و ساز با جرثقیل بر جی در شهر اصفهان اجرا گردید و مقادیر شاخص به ترتیب ۸۱ و ۹۱ به دست آمد که بیانگر وضعیت ایمنی «زرد» و

«سبز» است. این نتایج نشان می‌دهد شاخص طراحی شده توانایی تمایز میان سطوح مختلف عملکرد ایمنی در پروژه‌های مشابه را دارد.

مقایسه میان دو کارگاه نشان داد که ایستگاه زینبیه به دلیل برخورداری از تجهیزات جدیدتر، نظام منسجم‌تر آموزش کارکنان و پیگیری دقیق‌تر دستورالعمل‌های ایمنی از سوی مدیریت، سطح ایمنی بالاتری نسبت به ایستگاه شاهد داشته است. در مقابل، در ایستگاه شاهد ضعف‌هایی در حوزه «نظارت مستمر مدیریتی» و «آموزش‌های دوره‌ای اپراتور» مشاهده شد که بر شاخص نهایی تأثیرگذار بوده‌اند.

این تفاوت نتایج با یافته‌های Soliman (۲۰۱۰) همخوانی دارد؛ آنان نیز گزارش کردند که نقش مدیریت ایمنی و فرهنگ سازمانی در ارتقای شاخص عملکرد ایمنی تعیین‌کننده است. همچنین Shapira و همکاران (۲۰۱۲) تأکید داشتند که مداخلات مدیریتی مؤثر می‌تواند نمره شاخص ایمنی را در پروژه‌های عمرانی تا بیش از ده درصد بهبود بخشد. یافته‌های این پژوهش نیز چنین روندی را در دو کارگاه بررسی شده نشان می‌دهد [۱۵].

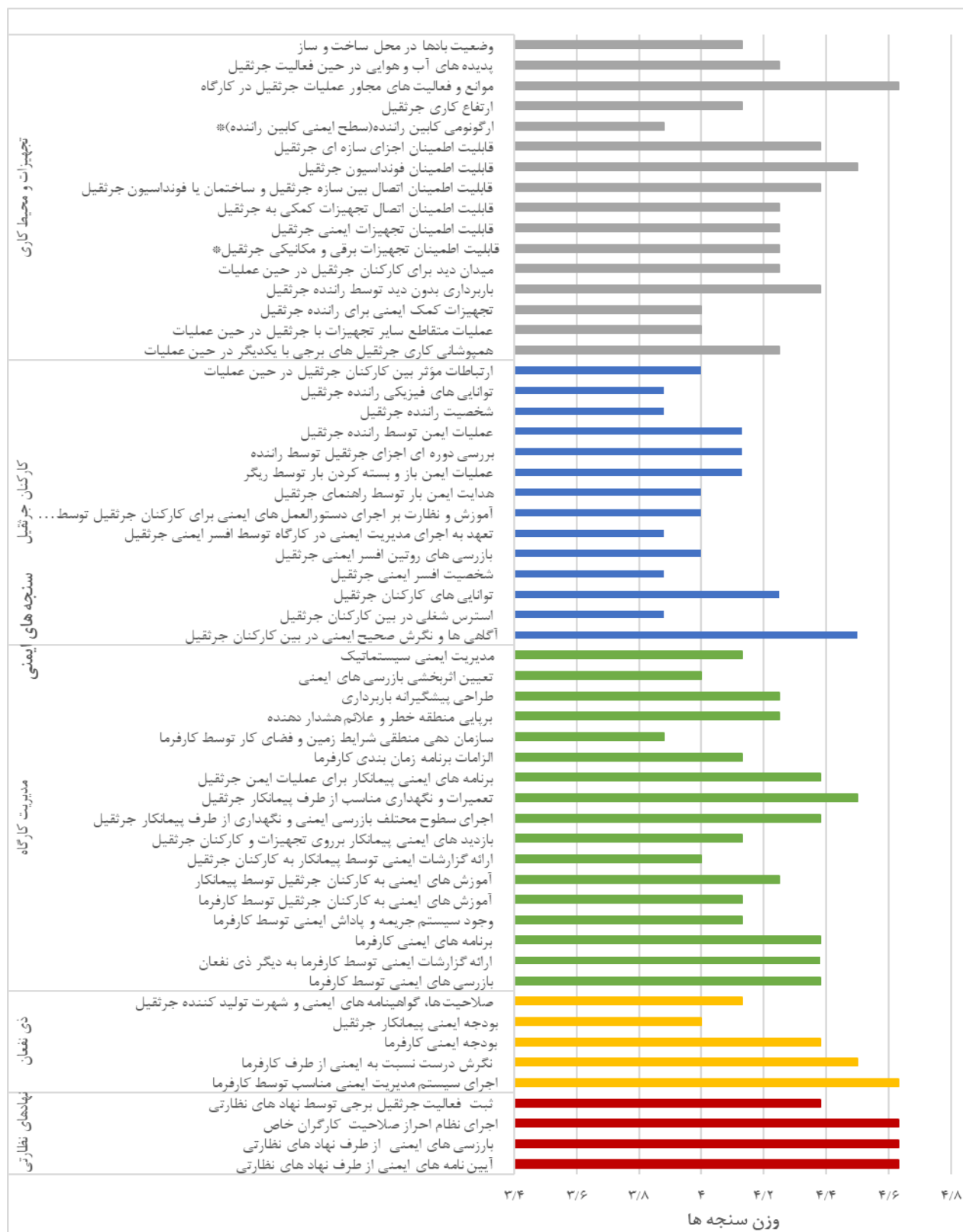
در مقایسه با پژوهش Sangiorgio (۲۰۲۰) در حوزه ایمنی حمل‌ونقل ریلی، شاخص طراحی شده در این تحقیق توانسته است با تعداد بیشتری از سنجه‌ها و با لحاظ شرایط واقعی کارگاه‌های ساخت و ساز، تصویری جامع‌تر از وضعیت ایمنی ارائه کند [۱۶]. در نهایت، هم‌راستا با مطالعه Yousefi و Hernandez (۲۰۲۰)، شاخص حاضر می‌تواند به عنوان ابزاری عملی برای پایش مستمر وضعیت ایمنی تجهیزات سنگین در پروژه‌های شهری مورد استفاده قرار گیرد [۱۷].

بنابراین، نتایج گام ششم این پژوهش ضمن تأیید کارایی شاخص در ارزیابی میدانی، نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی قادر است تفاوت‌های واقعی بین پروژه‌ها را به خوبی آشکار کند و از منظر کاربردی، ابزاری مفید برای مدیران ایمنی و تصمیم‌گیرندگان پروژه‌ها باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش عوامل مؤثر بر ایمنی عملکردی جرثقیل‌های بر جی شناسایی و در پنج دسته کلی شامل نهادهای نظارتی، ذینفعان، مدیریت کارگاه، کارکنان جرثقیل و تجهیزات و محیط کاری طبقه‌بندی شدند. با بهره‌گیری از تکنیک دلفی و نظر ۱۵ نفر از خبرگان، در دو مرحله به توافق درباره ۵۶ سنجه عملکرد ایمنی دست یافتیم و اهمیت هر سنجه بر اساس میانگین امتیازات خبرگان تعیین شد.

شاخص عملکرد ایمنی بر مبنای وزن نسبی سنجه‌ها تدوین و در محیط نرم‌افزار Microsoft Excel پیاده‌سازی گردید تا امکان محاسبه سریع و نمایش گرافیکی وضعیت ایمنی فراهم شود. اجرای این شاخص در دو کارگاه ساخت ایستگاه مترو در اصفهان نشان داد که مقادیر ۸۱ و ۹۱ به ترتیب بیانگر وضعیت ایمنی «زرد» و «سبز» هستند.



شکل ۳- نمودار میانگین وزن سنجش های عملکرد ایمنی براساس دسته بندی ایمنی

Figure-3 Average weight chart of safety performance measures based on safety category

تامین مالی مقاله

این مطالعه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد در گروه سلامت، ایمنی و محیط‌زیست دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی بوده و حمایت مالی مستقلی دریافت نکرده است.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1403.014 در کمیته اخلاق پژوهش دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تصویب شده است. تمامی اصول اخلاقی شامل محرمانگی اطلاعات و رضایت آگاهانه مشارکت‌کنندگان رعایت گردید.

مشارکت مولفین

ایده و طراحی مطالعه: سید شهاب‌الدین احمدی
جمع‌آوری داده‌ها: سید شهاب‌الدین احمدی با نظارت آقای دکتر محمد حسین وزیری
تجزیه و تحلیل آماری و تفسیر داده‌ها: سید شهاب‌الدین احمدی- محمد حسین وزیری
نگارش پیش‌نویس مقاله: سید شهاب‌الدین احمدی
بازبینی مقاله از نظر محتوا علمی: دکتر محمد حسین وزیری
تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده‌اند.

استفاده از هوش مصنوعی

در انجام این پژوهش و نگارش مقاله از هیچ‌گونه ابزار هوش مصنوعی استفاده نشده است.

این نتایج حاکی از دقت و قابلیت تفکیک‌پذیری شاخص در ارزیابی واقعی محیط‌های کاری است. شاخص طراحی شده ابزاری کاربردی برای پایش مستمر و مقایسه وضعیت ایمنی جرثقیل‌های برجی در پروژه‌های مختلف به شمار می‌رود و می‌تواند به مدیران ایمنی در تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر، بهینه‌سازی اقدامات کنترلی و ارتقای فرهنگ ایمنی کمک کند. توسعه این شاخص در پروژه‌های بزرگ‌تر و با داده‌های متنوع‌تر می‌تواند زمینه‌ساز طراحی سامانه‌های هوشمند ارزیابی ایمنی در صنعت ساخت و ساز باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از راهنمایی‌ها و حمایت‌های علمی استاد راهنما و مشاوران این پژوهش صمیمانه قدردانی نمایند. همچنین از همکاری سازمان قطار شهری اصفهان و مدیران و کارکنان کارگاه‌های ساختمانی که زمینه اجرای مطالعه را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود. این مطالعه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول در گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است.

تضاد منافع

در این پژوهش با عنایت به اهداف، زمینه‌ها و نتایج بدست آمده که باعث قدمی رو به جلو در زمینه عملکرد ایمنی جرثقیل‌های برجی در کارگاه‌های ساخت و ساز خواهد شد، بنظر می‌آید که تضاد منافعی برای ذینفعان، صاحب‌نظران و دست‌اندرکاران جرثقیل‌های برجی ایجاد نگردید.

References

- 1- Pazari P, Didehvar N, Alvanchi A. Enhancing tower crane safety: A computer vision and deep learning approach. *Engineering Proceedings* 2023; 53(1):38. Doi: 10.3390/IOCB2023-15193.
- 2- Sadeghi H, Zhang X, Mohandes SR. Developing an ensemble risk analysis framework for improving the safety of tower crane operations under coupled fuzzy-based environment. *Safety Science* 2023; 158:105957. Doi: 10.1016/j.ssci.2022.105957.
- 3- Sadeghi S, Soltanmohammadlou N, Rahnamayiezekavat P. A systematic review of scholarly works addressing crane safety requirements. *Safety Science* 2021; 133:105002. Doi: 10.1016/j.ssci.2020. 105002.
- 4- Sadidi J, Gholamnia R, Jabbari Gharabagh M, Mosavianasl Z. Evaluation of safety indexes of the tower crane with the FMEA model (A case study: Tower cranes mounted in the city of Mashhad in 2016). *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences* 2019; 13(2):607-12.
- 5- Spirina A, Mironov A, Datkhuzheva R, Maksimov A, Belova N. Analysis of occupational injuries in construction and offer of a technical solution increasing tower crane stability. *Transportation Research Profecdia* 2023; 68:559-65.
- 6- Hu S, Fang Y, Moehler R. Estimating and visualizing the exposure to tower crane operation hazards on construction sites. *Safety Science* 2023; 160:106044. Doi: 10.1016/j.ssci.2022.106044.
- 7- Yang Y, Shao B, Jin L, Zheng X. Collaborative governance of tower crane safety in the Chinese construction industry: A social network perspective. *Buildings* 2022; 12(6):836. Doi:10.3390/buildings12060836.

- 8- Wu H, Zhong B, Li H, Chi H-L, Wang Y. On-site safety inspection of tower cranes: A blockchain-enabled conceptual framework. *Safety Science* 2022; 153:105815. Doi: 10.1016/j.ssci.2022.105815.
- 9- Chen Y, Zeng Q, Zheng X, Shao B, Jin L. Safety supervision of tower crane operation on construction sites: An evolutionary game analysis. *Safety Science* 2022; 152:105578. Doi: 10.1016/j.ssci.2021.105578.
- 10-Mohandes SR, Abdelmageed S, Hem S, Yoo JS, Abhayajeewa T, Zayed T. Occupational health and safety in modular integrated construction projects: The case of crane operations. *Journal of Cleaner Production* 2022; 342:130950. Doi:10.1016/j.jclepro.2022.130950.
- 11-Liu L, Liu J, Yao Y. Safety risk assessment of tower crane construction based on fuzzy bayesian network. In *ICCREM* 2021; 2021:147-54.
- 12-Saaty RW. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling* 1987; 9(3-5):161-76.
- 13-Soliman E. Fuzzy-based Safety Index for Tower Cranes 2010. Seventh Alexandria International Conference for Structural and Geotechnical Engineering 2010 Dec. 27-29. P: MG 47-55.
- 14-Habibi A, Sarafrazi A, Izadyar S. Delphi technique theoretical framework in qualitative research. *The International Journal of Engineering and Science* 2014; 3(4):8-13.
- 15-Shapira A, Simcha M, Goldenberg M. Integrative model for quantitative evaluation of safety on construction sites with tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management* 2012; 138(11):1281-93.
- 16-Sangiorgio V, Mangini AM, Precchiazzi I. A new index to evaluate the safety performance level of railway transportation systems. *Safety Science* 2020; 131:104921. Doi: 10.1016/j.ssci.2020.104921.
- 17-Yousefi A, Hernandez MR. A novel methodology to measure safety level of a process plant using a system theory based method (STAMP). *Process Safety and Environmental Protection* 2020; 136:296-309.



Journal homepage: <https://journals.sbmu.ac.ir/jhf>



Development of safety performance index of tower cranes operation and its application in construction projects in Isfahan city

Seyed Shahabedin Ahmadi¹ , Mohammad Hossein Vaziri^{1,2*} , Reza Saeedi³ , Reza Gholamnia¹ 

¹ Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

² Workplace Health Promotion Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

³ Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Aims: Safety performance indicators play a crucial role in supporting managerial decision-making and evaluating control measures within safety management systems. Given the growing use of tower cranes in developing countries, this study aimed to develop a safety performance index for tower cranes during the operational phase.

Materials and Methods: In this study, tower crane safety performance measures were identified through expert judgment using the Delphi technique, and a checklist for assessing the safety performance of tower cranes was developed accordingly. In the next step, weights proportional to the impact of each safety measure on overall safety performance were assigned, and the safety performance index was calculated based on existing frameworks. Finally, the index was applied to two construction sites equipped with tower cranes in the city of Isfahan. All ethical considerations were observed throughout the study.

Results: A total of 56 safety performance measures were approved by the expert panel. The highest weights were assigned to “inspections by regulatory authorities”, “implementation of worker competency certification systems”, and “crane operating height”. A safety performance checklist for tower cranes was developed. The safety performance index ranged from 0 to 100, with scores of 81 and 91 obtained for the two studied construction sites, corresponding to moderate (yellow) and good (green) safety levels, respectively.

Conclusion: In this study, factors affecting the safety of tower cranes during the operational phase were identified through a comprehensive literature review and expert judgment, and safety performance measures with adequate coverage and high consensus were selected.

Keywords: Checklist, Safety factors, Safety performance index, Safety performance measure, Tower crane.

Please cite this article as: Ahmadi S Sh, Vaziri M H, Saeedi R, Gholamnia R. Development of safety performance index of tower cranes operation and its application in construction projects in Isfahan city. *Journal of Health in the Field* 2025; 13(2):25-32. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v13i2.46154>.

Corresponding Author: Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: mhvaziri40@yahoo.com

Received: 8 September 2024

Accepted: 11 July 2025