Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 7, Issue 2, Summer 2020, Pages: 54-61

Original Article

doi: 10.52547/johe.7.2.54

Evaluation of the Possibility of Human Error in the Operation of Tower Cranes Using Success Likelihood Index

Mostafa Mirzaei Aliabadi[1], **Samane Khorshidikia**[2,*]

[1] *Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

[2] *Occupational Health and Safety Research Center, Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

*** *Corresponding Author:*** *Samane Khorshidikia, Occupational Health and Safety Research Center, Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: S.khorshidi@edu.umsha.ac.ir*

Received: 29/02/2020
Accepted: 03/05/2020

How to Cite this Article:
Mirzaei Aliabadi M, Khorshidikia S. Evaluation of the Possibility of Human Error in the Operation of Tower Cranes Using Success Likelihood Index. *J Occup Hyg Eng*. 2020; 7(2): 54-61. DOI: 10.52547/johe.7.2.54

Abstract

Background and Objective: Human error is the most common cause of accidents involving operating cranes in the construction industry. Operator errors are caused by various factors during crane loading operations. Success Likelihood Index Model (SLIM) is used as a simple and effective way to assess the probability of human error.

Materials and Methods: In this study, the SLIM method was used to evaluate and manage the possibility of human error in loading operations by tower cranes. After forming the expert team, the factors influencing the errors in the operation of the cranes were identified in this study. Subsequently, the rate and weight of these factors were determined, and the probability of human error was calculated for each error using the total SLI.

Results: Initially, six effective Performance Shaping Factors (PSF) influencing the operation of the tower cranes were determined by experts. Out of the identified PSFs, training obtained the greatest impact on the likelihood of human error. By calculating the probability of human error based on the calculated SLIs, it was found that the errors of obstacle collisions (1.70×10^{-02}), contact with power lines (1.69×10^{-02}), and overturns (1.62×10^{-02}) obtained the highest Human Error Probability in descending order.

Conclusion: The results of this study showed that the highest probability of human error in crane loading operations is related to obstacle collisions. Moreover, the most effective PSFs in creating errors are training, conditions, tools, and experience. Therefore, the reliability and overall safety of the loading operations can be increased by planning and holding continuous training courses, updating instructions, and appointing highly experienced people as crane operators.

Keywords: Construction; Human Error Probability Assessment; Loading Operations; Success Probability Index; Tower Cranes

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

Copyright © 2020 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۵۴ تا ۶۱

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.7.2.54

ارزیابی احتمال خطای انسانی در راهبری جرثقیل‌های برجی با استفاده از روش شاخص احتمال موفقیت

مصطفی میرزایی علی آبادی [۱]، سمانه خورشیدی کیا [۲،*]

[۱] دانشیار قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای، عضو مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** سمانه خورشیدی کیا، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: S.khorshidi@edu.umsha.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: خطای انسانی شایع‌ترین دلایل حوادث ناشی از راهبری جرثقیل‌ها در صنعت ساخت و ساز می‌باشد. خطاهای اپراتور که ناشی از عوامل مختلفی در حین عملیات باربرداری توسط جرثقیل می‌باشد (SLIM: Success Likelihood Index Model)، به عنوان روشی ساده و مؤثر برای ارزیابی احتمال خطای انسانی کاربرد دارد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه از روش SLIM جهت ارزیابی و مدیریت احتمال خطای انسانی در عملیات باربرداری توسط جرثقیل‌های برجی استفاده شد. پس از تشکیل تیم متخصص، عوامل شکل‌دهنده مؤثر بر خطاهای مورد نظر در عملیات جرثقیل‌ها شناسایی شدند. سپس میزان نرخ و وزن این عوامل تعیین گردید و در انتها با محاسبه SLI (Success Likelihood Index) کل، میزان احتمال خطای انسانی برای هر خطا محاسبه شد.

یافته‌ها: ابتدا شش PSF (PSF: Performance Shaping Factor) تأثیرگذار بر راهبری جرثقیل‌های برجی توسط متخصصین تعیین شد. از میان PSF های شناسایی شده، آموزش بیشترین تأثیر را بر ایجاد احتمال خطای انسانی داشت. با محاسبه احتمال خطای انسانی براساس SLI های محاسبه شده، مشخص گردید که خطاهای برخورد با موانع، لمس خطوط برق و واژگون شدن جرثقیل، بیشترین HEP (Human Error Probability) را به ترتیب با مقادیر $۱/۷۰\times۱۰^{-۲}$، $۱/۶۹\times۱۰^{-۲}$ و $۱/۶۲\times۱۰^{-۲}$ به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که بیشترین احتمال خطای انسانی در عملیات باربرداری جرثقیل‌ها مربوط به خطای برخورد با موانع می‌باشد. همچنین مؤثرترین PSF ها در ایجاد خطا، آموزش، شرایط، ابزار و تجربه هستند؛ از این رو با ارائه راه‌کارهایی همچون برنامه‌ریزی و برگزاری دوره‌های آموزشی مداوم، به‌روزرسانی دستورالعمل‌ها و تعیین افرادی با تجربه کاری بالا به عنوان اپراتور جرثقیل می‌توان قابلیت اطمینان و ایمنی کلی عملیات باربرداری را افزایش داد.

واژگان کلیدی: ارزیابی احتمال خطای انسانی؛ جرثقیل‌های برجی؛ ساخت و ساز؛ شاخص احتمال موفقیت؛ عملیات باربرداری

مقدمه

افزایش تقاضا در ساخت پروژه‌های ساختمانی در مقیاس بزرگ به ویژه در مناطق شهری بر اهمیت ایمنی در هنگام نصب و جابه‌جایی جرثقیل‌ها تأکید دارد [۱]. جرثقیل‌ها به عنوان یکی از اساسی‌ترین و پرکاربردترین ماشین‌آلات در صنعت ساخت و ساز در تمام مراحل یک پروژه، مسئول حمل و نقل عمودی و افقی تجهیزات ساختمانی هستند. طبق مطالعات صورت‌گرفته در آمریکا، روزانه ۱۲۵۰۰۰ نوع مختلف جرثقیل در بین تمامی بخش‌های صنعت ساخت و ساز در حال فعالیت می‌باشند [۲-۴]. در این میان، جرثقیل برجی یکی از انواع جرثقیل‌های کاربردی در صنعت ساخت و ساز بوده و از قسمت‌هایی نظیر دکل، پایه، بازوی متحرک، کابین اپراتور و بازوی کوچک تشکیل شده است [۵]. با توجه به پیچیده بودن عملکرد جرثقیل‌های برجی، هر زمان در این جرثقیل‌ها خطایی رخ دهد، علاوه بر کارگران ساختمانی و اپراتور جرثقیل، امنیت عابرین پیاده و تجهیزات

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

موجود در نزدیکی سایت ساخت و ساز نیز به خطر می‌افتد و باعث ایجاد یک تأثیر جدی اجتماعی می‌شود [۶-۸]. تاکنون مطالعات بسیاری به تحلیل رویدادهای ایمنی جرثقیل‌های برجی پرداخته‌اند [۹،۱۰]. عامل انسانی و رفتار ناایمن، اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارند [۱۱]؛ به طوری که طبق گزارشات دفتر ایمنی و اجرای محیط زیست (۲۰۱۷)، طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ از ۵۷ حادثه مربوط به جرثقیل‌ها در خلیج مکزیک، ۴۸ حادثه ناشی از خطای انسانی بود و هزینه کل این حوادث بیش از ۳/۵ میلیون دلار تخمین زده شد [۱۲]. مطالعه دیگری که توسط سوراج و همکاران در سال ۲۰۰۱ انجام شد، بیان گردید که از ۵۰۰ گزارش حادثه مربوط به صنعت ساخت و ساز، در ۸۸ درصد از حوادث، خطاهای کارگران در حین عملیات از علت‌های مهم ایجاد حوادث بوده است [۱۳]. خطای اپراتورهای جرثقیل ناشی از عوامل مختلفی می‌باشد. این عوامل شامل: خستگی، حواس‌پرتی، تجربه ناکافی و واکنش نامناسب نسبت به اتفاقات غیر منتظره در حین عملیات باربرداری است [۱۴]. با توجه به قرار گرفتن اپراتور در کابین جرثقیل و وجود مصالح و سازه‌هایی با اشکال مختلف، اپراتور جهت جابه‌جایی بارهایی با وزن و اندازه‌های متفاوت، دید محدود و آگاهی موقعیتی ضعیفی برای تعیین ارتفاع و فاصله بار برداشته شده نسبت به اشیای اطراف آن دارد؛ از این رو عدم وجود تعامل درست بین اپراتور و جرثقیل می‌تواند آگاهی موقعیتی اپراتور را نسبت به خطرات احتمالی و تصمیم‌گیری مناسب در حین عملیات باربرداری کاهش دهد [۱۴،۱۵]. از سوی دیگر، اپراتورهای جرثقیل برای باربرداری تجهیزات و مواد مورد نیاز ساخت و ساز، اغلب فعالیت خود را زودتر از دیگر کارکنان شروع کرده و در پایان شیفت کار، بیشتر دچار خستگی می‌شوند [۱۶]. مطالعات متعددی در زمینه شناسایی و ارزیابی خطای انسانی در پروژه‌های ساخت و ساز صورت پذیرفته است. در پژوهشی که توسط Mandal و همکاران (۲۰۱۵) به منظور شناسایی خطاهای اپراتور جرثقیل سقفی و دروازه‌ای با به‌کارگیری روش SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach) صورت گرفت، مشخص شد که با توجه به حذف کامل انسان از عملیات باربرداری جرثقیل، امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ در نتیجه تعداد زیادی خطا در زمینه انجام فعالیت وجود دارد که توسط مداخلات اپراتورها انجام می‌شود و یک اشتباه کوچک انسانی می‌تواند منجر به عواقب فاجعه‌بار شود [۱۷]. در این راستا، Jian و همکاران (۲۰۱۷) نشان داند که با وجود پیشرفت بزرگی که در زمینه فناوری و تنظیم جرثقیل حاصل شده است، اپراتورها و کارگران در معرض خطرات بسیاری قرار دارند. همچنین خطای انسانی به دلیل نقص طراحی می‌تواند منجر به خرابی عملیات و متعاقباً از دست دادن کنترل بار شود. بهترین روش برای به حداقل رساندن خطای انسانی و کاهش حوادث، ایجاد کنترل‌های مهندسی در طراحی جرثقیل با رعایت استانداردهای صنعت است [۱۲]. Lee و همکاران نیز (۲۰۱۶) نشان دادند که تصمیم نادرست در مورد انتخاب نوع و تعداد جرثقیل در اماکن ساختمانی ممکن است منجر به خسارت و حوادث شدیدی شود و به طور کلی بر عملکرد ایمنی و بهداشت شغلی تأثیرگذار باشد. براساس بررسی‌های صورت‌گرفته در کلیه پروژه‌های ساختمانی می‌بایست از روش‌های نرم‌افزاری برای نمونه‌برداری مجازی جهت انتخاب نوع و تعداد جرثقیل استفاده کرد. با توجه به پیچیدگی ذاتی کار و عدم اطمینان در صنعت ساخت و ساز به برنامه‌ریزی مدیران پروژه‌های ساخت و ساز در طراحی درست سایت‌های ساخت و ساز، انتخاب مناسب روش‌های ساخت و ساز و انتخاب درست رانندگان تجهیزات و ماشین‌آلات نیاز است [۱۸]. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، شناسایی و ارزیابی انواع خطاهای انسانی در عملیات جرثقیل‌های برجی که منجر به ایجاد خسارات جانی، مالی و زیست محیطی می‌شود، یکی از ارکان اصلی مدیریت ایمنی در صنعت ساخت و ساز می‌باشد [۳]. روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی همچون پیش‌بینی میزان خطای انسانی (THERP: The technique for human error-rate prediction)، قابلیت اطمینان شناختی انسان (HCR: Human Cognitive Reliability)، تجزیه و تحلیل خطای انسانی (ATHENA: A Technique for Human Event Analysis) و روش شاخص احتمال موفقیت (SLIM) ارائه شده است. در میان روش‌های بیان شده، THERPA، HCR و ATHENA به طور گسترده‌ای در صنایع هسته‌ای و دیگر صنایع مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این وجود به داده‌های کافی از خطای انسانی برای تحلیل قابلیت اطمینان انسانی با این روش‌ها نیاز می‌باشد. متأسفانه در دسترس بودن چنین اطلاعاتی به صورت کامل و جامع در عملیات باربرداری جرثقیل‌ها در صنعت ساخت و ساز محدود می‌باشد؛ از این رو این امر منجر به تکیه بر قضاوت متخصصین در زمینه تجزیه و تحلیل HRA در عملیات جرثقیل‌ها می‌شود [۱۹]. SLIM یکی از انعطاف‌پذیرترین و رایج‌ترین روش برای تخمین HEP براساس قضاوت متخصصین است [۲۰-۲۳]. این روش با حمایت آزمایشگاه ملی بروکهاون و کمیسیون تنظیم مقررات هسته‌ای ایالات متحده برای کمی‌سازی اقدامات اپراتور در پاسخ به یک خطر احتمالی تهیه گردید. روش SLIM بر این فرض استوار است که میزان احتمال خطای انسانی در یک وضعیت خاص به تأثیرات متقابل مجموعه‌ای از عوامل شکل‌دهنده عملکرد که بر توانایی اپراتور برای انجام موفقیت‌آمیز اقدامات تأثیر می‌گذارد، بستگی دارد [۲۴]؛ بنابراین متخصصین با رتبه‌بندی عددی خود می‌توانند تعیین کنند که هر PSF برای یک فعالیت خاص به چه میزان تأثیرگذار است [۲۵]. با توجه به مطالب بیان شده و لزوم توجه به تحلیل خطای انسانی در عملیات باربرداری جرثقیل‌های برجی و نبود مطالعه مشابه در صنعت ساخت و ساز در ایران با استفاده از روش SLIM، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی احتمال

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

خطای انسانی در راهبری جرثقیل‌های برجی با استفاده از روش شاخص احتمال موفقیت انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع مقطعی- تحلیلی بوده و با هدف ارزیابی احتمال خطای انسانی در عملیات باربرداری جرثقیل‌های برجی در یکی از پروژه‌های ساخت و ساز در استان همدان در سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است. در این مطالعه از روش SLIM برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA: Human Reliability Analysis) براساس قضاوت متخصصین استفاده گردید. اصل اساسی SLIM بر این فرض استوار است که احتمال بروز یک خطای خاص به اثرات مجموعه‌ای از عوامل شکل‌دهنده عملکرد (PSF: Performance Shaping Factor) بستگی دارد. به منظور انجام این مطالعه، ابتدا دو جرثقیل موجود در پروژه ساخت و ساز در استان همدان از طریق مشاهده میدانی، بررسی مستندات، مصاحبه با اپراتورهای جرثقیل‌های برجی و کارشناسان و متخصصان ایمنی شاغل در پروژه مذکور مورد بررسی قرار گرفتند. مراحل اصلی پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

تشریح هریک از مراحل مربوط به روش SLIM به صورت زیر می‌باشد [۲۵-۲۷].

گام اول: تشکیل تیم متخصصین

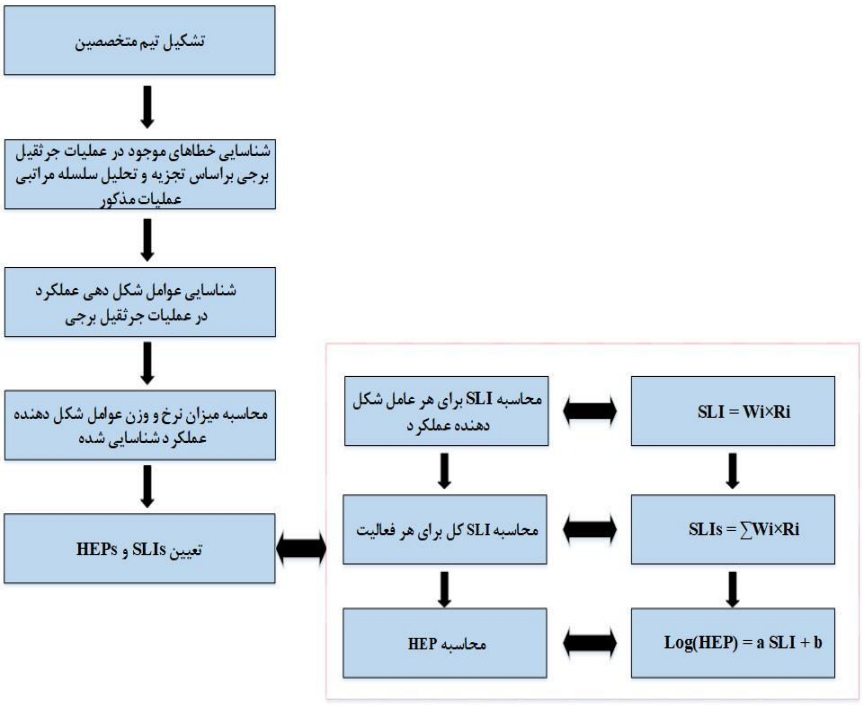
برای انجام روش SLIM، ابتدا معیارهایی ثابت برای تشکیل تیم متخصصین تعیین شد. این معیارها آشنایی کامل با مفاهیم ایمنی و خطای انسانی را شامل می‌شدند و افرادی مورد نظر بودند که سابقه کاری بیش از ۱۰ سال داشتند. بر این اساس، سه نفر از افراد واجد شرایط در عملیات شامل: کارشناس ایمنی، اپراتور جرثقیل برجی و مهندس مکانیک انتخاب شدند. ویژگی‌های اعضای تیم در جدول ۱ ارائه شده است.

گام دوم: شناسایی خطاهای عملیات جرثقیل برجی

تیم متخصصین شغل اپراتور جرثقیل‌های برجی را با استفاده از روش سلسله‌مراتبی وظیفه (HTA: Hierarchical Task Analysis) مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. در ادامه براساس HTA به دست آمده، خطاهای معمول در عملیات جرثقیل‌ها در هریک از وظایف و زیروظایف تعیین گردید (جدول ۲).

گام سوم: شناسایی PSF های مرتبط

متخصصین با شناخت کامل از مشخصات فعالیت و محیط مورد مطالعه از طریق بحث و گفتگو، شش PSF تأثیرگذار بر ایجاد خطاهای عملکرد جرثقیل‌های برجی را تهیه کردند (جدول ۳).



شکل ۱: فلوچارت مراحل اصلی پژوهش

جدول ۱: مشخصات اعضای تیم متخصصین

کارشناس	شغل	تجربه (سال)	ساعات آموزشی گذرانده شده (سال/ساعت)
۱	کارشناس ایمنی	۱۱	۱۵
۲	اپراتور	۱۵	۱۲
۳	مهندس مکانیک	۱۲	۱۲

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

جدول ۲: خطاهای معمول در عملیات جرثقیل برجی

ردیف	خطا
۱	واژگون شدن جرثقیل
۲	سقوط اشیا
۳	لمس خطوط برق
۴	برخورد با موانع
۵	عملکرد نادرست اهرم‌های عملیاتی در حین جابه‌جایی و تخلیه بار

گام چهارم: تعیین نرخ و وزن هر PSF

با توجه به اینکه در ایجاد یک خطا ممکن است چندین PSF نقش داشته باشد، در این گام پس از شناسایی PSF تأثیرگذار بر هریک از خطاهای مشخص شده، تعیین میزان نرخ (δ) و وزن (σ)، عوامل شکل‌دهی عملکرد مشخص گردید. نرخ‌دهی تمامی PSF برای هر خطای مورد نظر در عملیات جرثقیل‌ها براساس قضاوت متخصصین در یک مقیاس ۱-۰ انجام شد که در آن عدد صفر برای PSF که از نظر نرخ‌گذاری کمترین تأثیر را بر ایجاد خطای مد نظر دارد و نیز عدد ۱ برای PSF که بیشترین تأثیر را بر ایجاد خطا دارد، در نظر گرفته می‌شود. در وزن‌دهی PSF نیز همانند نرخ‌گذاری، عدد صفر برای PSF که از نظر وزن‌دهی کمترین تأثیر را بر ایجاد خطای مورد نظر دارد و عدد ۱ برای PSF که بیشترین تأثیر را بر ایجاد خطا دارد، در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که برای یک خطا، مجموع وزن تمام PSF تأثیرگذار مطابق با رابطه ۱ نباید بیشتر از ۱ باشد.

$$\sum_{i=1}^{N} W_i = ۱$$ رابطه ۱

در این رابطه، N تعداد PSF تأثیرگذار و i= ۳،۲،۱ و ... می‌باشد.

گام پنجم: محاسبه SLI و HEP

در این مرحله ابتدا شاخص احتمال موفقیت هریک از خطاها از حاصل‌ضرب میزان نرخ و وزن هر PSF تعیین شده در مرحله قبل، محاسبه می‌شود (رابطه ۲). سپس SLI_{total} از مجموع تمام SLI_i محاسبه شده به دست می‌آید.

$$SLI_i = W_i \times R_i \qquad ۰ \le SLI_i \le 1$$ رابطه ۲

در این رابطه W_i وزن هرPSF؛ R_i نرخ هرPSF؛ SLI_i شاخص احتمال موفقیت هریک از PSF های مد نظر برای هر خطا؛ SLI_{total} مجموع SLI_i های محاسبه شده برای شش PSF مورد نظر برای هر خطا می‌باشد. برای محاسبه HEP، ابتدا اقدامات نسبی احتمال موفقیت مطابق با رابطه ۳ محاسبه گردید و در انتها با استفاده از رابطه ۴، HEP به دست آمد.

جدول ۳: PSF های مرتبط با خطاهای معمول در عملیات جرثقیل برجی

ردیف	PSF	نرخ PSF
۱	آموزش	مقیاس ۱-۰
۲	تجربه	
۳	پیچیدگی کار	
۴	استرس	
۵	شرایط محیطی	
۶	شرایط ابزار	

$$Log\ (POS) = a\ SLI + b$$ رابطه ۳

$$HEP = 1 - POS$$ رابطه ۴

در این روابط نیز SLI شاخص احتمال موفقیت؛ (POS) Log اقدامات نسبی احتمال موفقیت؛ a و b ضرایب ثابت معادله می‌باشند (ضرایب ثابت a و b براساس بیشترین و کمترین SLI محاسبه شده در مرحله ۳ و با در نظر گرفتن HEP برای دو خطا براساس تجربیات متخصصین و مستندات موجود به دست می‌آیند).

یافته‌ها

در مطالعه حاضر، تجزیه و تحلیل احتمال خطای انسانی در عملیات جرثقیل‌های برجی به روش SLIM صورت پذیرفت. در روش پیشنهادی برای ارزیابی HEP براساس انواع خطاهای عملکردی از دانش متخصصین استفاده شده است. ابتدا و پس از تعیین معیارهای ثابت، تیم متخصصین براساس معیارهای مد نظر انتخاب شدند. سپس متخصصین HTA، شغل اپراتور جرثقیل برجی را ترسیم نموده و با توجه به تجربه و مستندات موجود در خصوص عملیات باربرداری جرثقیل‌های برجی، شش خطای رایج در عملیات مذکور را شناسایی کردند. پس از شناسایی خطاهای موجود در عملیات باربرداری، PSF های تأثیرگذار بر هریک از خطاهای تعیین شده توسط تیم متخصصین شناسایی شدند. PSF های شناسایی شده شامل: استرس، پیچیدگی کار، تجربه، آموزش، شرایط محیطی و شرایط ابزار بودند. در ادامه مطابق با جدول ۴، وزن‌دهی و نرخ‌گذاری PSF شناسایی شده صورت گرفت. با توجه به وزن‌دهی و نرخ‌گذاری صورت‌گرفته مطابق با رابطه ۲، SLI_i مربوط به هر خطا محاسبه گردید (جدول ۵). در ادامه، SLI_{total} از طریق حاصل جمع SLI محاسبه شده برای تمام PSF های مد نظر برای هر خطا به دست آمد (جدول ۶). سپس با توجه به SLI_{total}های محاسبه شده و ضرایب ثابت a وb با مقادیر a=۰/۶۵ و b=۰/۰۰۵۹، لگاریتم احتمال موفقیت برای هر خطا مطابق با رابطه ۳ تعیین گردید (جدول۶). همان‌طور که در رابطه ۴ نشان داده شده است، HEP برای هر فعالیت محاسبه گردید (جدول ۶).

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

جدول ۴: وزن‌دهی و نرخ‌گذاری psf

خطا	PSFs											
	آموزش		تجربه		پیچیدگی کار		استرس		شرایط محیطی		شرایط ابزار	
	نرخ	وزن	نرخ	وزن	نرخ	وزن	نرخ	وزن	نرخ	وزن	نرخ	وزن
واژگون شدن جرثقیل	۰/۰۰۱۹	۰/۲۵	۰/۰۰۱۸	۰/۲۲	۰/۰۰۱۵	۰/۱۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۹	۰/۰۰۱۷	۰/۱۹	۰/۰۰۱۳	۰/۱۵
سقوط اشیا	۰/۰۱۷	۰/۱۵	۰/۰۰۱۲	۰/۱۸	۰/۰۰۱۱	۰/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۱۰	۰/۰۰۱۴	۰/۱۷	۰/۰۰۱۱	۰/۲۳
لمس خطوط برق	۰/۰۱۷	۰/۱۸	۰/۰۰۲۲	۰/۱۵	۰/۰۰۲۱	۰/۱۸	۰/۰۰۱۹	۰/۱۳	۰/۰۰۱۲	۰/۱۷	۰/۰۰۱۷	۰/۱۹
برخورد با موانع	۰/۰۲۴	۰/۰۹	۰/۰۰۳۱	۰/۱۵	۰/۰۰۱۹	۰/۱۸	۰/۰۰۱۷	۰/۱۴	۰/۰۰۲۱	۰/۲۰	۰/۰۰۳۰	۰/۲۴
عملکرد نادرست اهرم‌های عملیاتی حین جابه‌جایی و تخلیه بار	۰/۰۳۲	۰/۲۷	۰/۰۰۳۰	۰/۱۸	۰/۰۰۲۷	۰/۱۴	۰/۰۰۱۹	۰/۰۶	۰/۰۰۱۵	۰/۱۴	۰/۰۰۱۸	۰/۲۱

جدول ۵: میزان شاخص احتمال موفقیت

خطا	SLI_i					
	آموزش	تجربه	پیچیدگی کار	استرس	شرایط محیطی	شرایط ابزار
واژگون شدن جرثقیل	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۴۸
سقوط اشیا	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۲۵
لمس خطوط برق	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۰۷۲
برخورد با موانع	۰/۰۰۰۸۶	۰/۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۳۷
عملکرد نادرست اهرم‌های عملیاتی در حین تخلیه بار	۰/۰۰۰۳۰	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۳۲

جدول ۶: میزان احتمال خطای انسانی

خطا	SLI_{total}	Log (POS)	POS	HEPs=1-POS
واژگون شدن جرثقیل	۰/۰۰۱۹۸	۰/۰۰۷۱	۱/۰۱۶۲	۰/۰۱۶۲
سقوط اشیا	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۰۶۶	۱/۰۱۵۰	۰/۰۱۵۰
لمس خطوط برق	۰/۰۰۲۳۰	۰/۰۰۷۳	۱/۰۱۶۹	۰/۰۱۶۹
برخورد با موانع	۰/۰۰۲۴۶	۰/۰۰۷۴	۱/۰۱۷۰	۰/۰۱۷۰
عملکرد نادرست اهرم‌های عملیاتی در حین جابه‌جایی و تخلیه بار	۰/۰۰۱۷۴	۰/۰۰۷۰	۱/۰۱۶۰	۰/۰۱۶۰

بحث

در این مطالعه مطابق با جدول ۳، شش PSF آموزش، تجربه، پیچیدگی کار، استرس، شرایط محیطی و شرایط ابزار به عنوان PSF های تأثیرگذار بر عملیات باربرداری جرثقیل‌های برجی توسط متخصصین تعیین شدند. میزان نرخ‌گذاری و وزن‌دهی این PSF ها برای هریک از خطاهای مد نظر در عملیات جرثقیل‌های برجی در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد. بر این اساس در میان PSFهای تعیین شده، آموزش، تجربه و شرایط ابزار با توجه به ضرایب ثابت a و b، بیشترین SLI_i را برای خطاهای تعیین شده به خود اختصاص داده‌اند. در ادامه، میزان HEP برای هر خطا محاسبه گردید و بیشترین HEP برای خطاهای برخورد با موانع، واژگون شدن جرثقیل و لمس خطوط برق به ترتیب با مقادیر $۱/۷۰\times۱۰^{-۲}$، $۱/۶۹\times۱۰^{-۲}$ و $۱/۶۲\times۱۰^{-۲}$ تعیین شد؛ در نتیجه با تحلیل محاسبات صورت گرفته می‌توان نقش احتمال خطای انسانی در عملیات جرثقیل‌های برجی را بهتر بررسی نمود. نتایج استفاده از روش SLIM در پژوهش Tu و Lou (۲۰۱۵) با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارند. در مطالعه مذکور همانند مطالعه صورت‌گرفته، سقوط جرثقیل، سقوط اشیا و برخورد با موانع به عنوان خطاهای عملیات باربرداری و آموزش، تجربه و شرایط محیطی به عنوان PSF های تأثیرگذار در نظر گرفته شده‌اند. همچنین خطای برخورد جرثقیل با موانع، بیشترین HEP به میزان $۱/۰۱\times۱۰^{-۲}$ را به خود اختصاص داده است [۲۱]. از سوی دیگر در مطالعه ابریشمی و همکاران (۲۰۲۰) برای شناسایی احتمال خطای انسانی از ترکیب SLIM و Bayesian () استفاده گردید. در این مطالعه از روش Bayesian برای رفع عدم قطعیت ناشی از قضاوت متخصصین استفاده شد و تجربه، نقص اجزا و آموزش به عنوان PSF های تأثیرگذار در نظر گرفته شدند [۲۶]. در مطالعه نوروزی و همکاران (۲۰۱۳) آموزش، استرس و تجربه به عنوان PSF های تأثیرگذار بر فعالیت تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شدند و در این مطالعه آموزش، بیشترین وزن‌دهی را به میزان ۰/۲۵ به خود اختصاص داد. همچنین بیشترین HEP محاسبه شده برای فعالیت تعمیر خطوط فشار به میزان $۲/۹\times۱۰^{-۱}$ محاسبه گردید [۲۲].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

نتیجه‌گیری

ارزیابی احتمال خطای انسانی به روش SLIM با هدف شناسایی خطاهای رایج در عملیات جرثقیل‌های برجی و تعیین PSF تأثیرگذار بر این خطاها و محاسبه احتمال خطای انسانی مطابق بر PSF مد نظر انجام می‌شود. نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که با توجه به شش خطای رایج در عملیات جرثقیل‌های برجی، بیشترین احتمال خطای انسانی در این عملیات مربوط به خطای برخورد با موانع است و مؤثرترین PSF بر این خطا، آموزش، شرایط، ابزار و تجربه می‌باشند؛ از این رو می‌توان با ارائه راه‌کارهایی همچون برنامه‌ریزی و برگزاری دوره‌های آموزشی مداوم، به‌روزرسانی دستورالعمل‌ها و تعیین افرادی با تجربه کاری بالا به عنوان اپراتور جرثقیل، قابلیت اطمینان و ایمنی کلی عملیات باربرداری را افزایش داد. با این حال، وجود مشکلات مرتبط با قضاوت کارشناسان در تعیین PSF مؤثر و دقت لازم در امتیازات تعلق‌گرفته از جمله معایب مطالعه حاضر به شمار می‌رود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با شناسه ۹۸۱۰۱۷۷۸۴۶ می‌باشد. بدین‌وسیله پژوهشگران از معاونت تحقیقات فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل حمایت مالی، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافعی برای نویسندگان نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

افراد شرکت‌کننده در مطالعه حاضر با اهداف این مطالعه کاملاً آشنایی داشتند. شرکت در مطالعه کاملاً داوطلبانه بود و افراد در صورت نداشتن رضایت کامل، قادر به ترک مطالعه در هر مرحله از انجام پژوهش بودند. همچنین به افراد اطمینان داده شد که اطلاعات آنان کاملاً محرمانه خواهد ماند و صرفاً در راستای اهداف مطالعه استفاده خواهد شد.

سهم نویسندگان

جمع‌آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل داده‌ها: سمانه خورشیدی کیا؛ تهیه گزارش نهایی مقاله: مصطفی میرزایی علی آبادی و سمانه خورشیدی کیا؛ انجام تصحیحات: مصطفی میرزایی علی‌آبادی و سمانه خورشیدی کیا

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان انجام شده است.

REFERENCES

1. Shin IJ. Factors that affect safety of tower crane installation/dismantling in construction industry. *Saf Sci*. 2015;**72**:379-90. DOI: 10.1016/j.ssci.2014.10.010
2. Swuste P. A 'normal accident'with a tower crane? An accident analysis conducted by the Dutch Safety Board. *Saf Sci*. 2013;**57**:276-82. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.03.002
3. Dhalmahapatra K, Singh K, Jain Y, Maiti J. Exploring causes of crane accidents from incident reports using decision tree. Information and Communication Technology for Intelligent Systems. Singapore: Springer; 2019. P. 175-83. DOI: 10.1007/978-981-13-1742-2_18
4. Milazzo MF, Ancione G, Brkic VS. Safety in crane operations: an overview on crane-related accidents. 6th International Symposium on Industrial Engineering, Belgrade, Serbia; 2015.
5. Tam VW, Fung IW. Tower crane safety in the construction industry: a Hong Kong study. *Saf Sci*. 2011;**49**(2):208-15. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.08.001
6. Zhao CH, Zhang J, Zhong XY, Zeng J, Chen SJ. Analysis of accident safety risk of tower crane based on fishbone diagram and the Analytic Hierarchy Process. *Appl Mechan Materials*. 2012;**127**:139-43. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.127.139
7. Wang Q, Xie L. Safety analysis of tower crane based on fault tree. *Appl Mechan Materials*. 2012;**163**:66-9. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.163.66
8. Bao-Chun C, Jian-Guo C, Alsmadi M. Fuzzy AHP-based safety risk assessment methodology for tower crane. *J Appl Sci*. 2013;**13**(13):2598-601. DOI: 10.3923/jas.2013.2598.2601
9. Ali MK, Mohamad MI. Crane failure and accident in construction. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia; 2016.
10. Raviv G, Fishbain B, Shapira A. Analyzing risk factors in crane-related near-miss and accident reports. *Saf Sci*. 2017;**91**:192-205. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.022
11. Beavers JE, Moore JR, Rinehart R, Schriver WR. Crane-related fatalities in the construction industry. *J Construct Eng Manag*. 2006;**132**(9):901-10. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:9(901)
12. Jian JY, Miller GE, Shah S. Preventing human error in crane operations: a case study of organizational and design elements. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Los Angeles, CA: SAGE Publications; 2017. DOI: 10.1177/1541931213601912
13. Fang D, Zhao C, Zhang M. A cognitive model of construction workers' unsafe behaviors. *J Construct Engin Manag*. 2016;**142**(9):04016039. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001118
14. Fang Y, Cho YK, Chen J. A framework for real-time pro-active safety assistance for mobile crane lifting operations. *Automat Construct*. 2016;**72**:367-79. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.08.025
15. Cho YK, Haas CT. Rapid geometric modeling for unstructured construction workspaces. *Comput Aided Civil Infrastructure Eng*. 2003;**18**(4):242-53. DOI: 10.1111/1467-8667.00314
16. Zhou W, Zhao T, Liu W, Tang J. Tower crane safety on construction sites: a complex sociotechnical system perspective. *Saf Sci*. 2018;**109**:95-108. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.05.001
17. Mandal S, Singh K, Behera RK, Sahu SK, Raj N, Maiti J. Human error identification and risk prioritization in overhead crane operations using HTA, SHERPA and fuzzy VIKOR method. *Exp Syst Applic*. 2015;**42**(20):7195-206. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.05.033
18. Lee WH, Tse KHD, Ma WK. Applied technologies in minimizing accidents in construction industry. *Proc Environ Sci*. 2016;**36**:54-6. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.09.010
19. Tu J, Lou Y. A SLIM based methodology for human reliability analysis of lifting operations. Proceedings 2013

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]

International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), Shengyang, China; 2013. DOI: 10.1109/MEC.2013.6885091
20. Islam R, Yu H, Abbassi R, Garaniya V, Khan F. Development of a monograph for human error likelihood assessment in marine operations. *Saf Sci*. 2017;**91**:33-9. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.07.008
21. Tu J, Lin W, Lin Y. A Bayes-SLIM based methodology for human reliability analysis of lifting operations. *Int J Ind Ergon*. 2015;**45**:48-54. DOI: 10.1016/j.ergon.2014.11.004
22. Noroozi A, Khakzad N, Khan F, MacKinnon S, Abbassi R. The role of human error in risk analysis: Application to pre- and post-maintenance procedures of process facilities. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2013;**119**:251-8. DOI: 10.1016/j.ress.2013.06.038
23. Nurdiawati AA, Handoko L, Amrullah HN, Dermawan D, Shah M, Hamzah F. Human error probability analysis of overhead crane operation in steel fabrication company using SLIM-DEMATEL-ANP method. International Mechanical and Industrial Engineering Conference, Malang, Indonesia; 2018. DOI: 10.1051/matecconf/201820405012
24. Bevilacqua M, Ciarapica FE. Human factor risk management in the process industry: a case study. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2018;**169**:149-59. DOI: 10.1016/j.ress.2017.08.013
25. Park KS, Lee JI. A new method for estimating human error probabilities: AHP–SLIM. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2008; **93**(4):578-87. DOI: 10.1016/j.ress.2007.02.003
26. Abrishami S, Khakzad N, Hosseini SM, Van Gelder P. BN-SLIM: a bayesian network methodology for human reliability assessment based on success likelihood index method (SLIM). *Reliabil Eng Syst Saf*. 2020;**193**:106647. DOI: 10.1016/j.ress.2019.106647
27. Islam R, Yu H. Human factors in marine and offshore systems. *Methods Chem Proc Saf*. 2018;**2**:145-67. DOI: 10.1016/bs.mcps.2018.04.002

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.54]