Journal of Health and Safety at Work 2022; 12(3): 446-458

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Cause-Consequence Modeling of Occupational Accidents in Construction Sites: A Retrospective Study in Iran

Ahmad Soltanzadeh[1], Iraj Mohammadfam[2*]

[1] Department of Occupational Safety and Health Engineering, Faculty of Health, Research Center for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
[2] Department of Ergonomics, Health in Emergency and Disaster Research Center, University of Social Welfare and Rehabilitation Science, Tehran, Iran

Received: 2020-9-6 Accepted: 2022-4-9

ABSTRACT

Introduction: Nearly half of occupational accidents in Iran occur in construction sites. Therefore, modeling of occupational accidents in these sites is one of the solutions to design safety strategies to reduce occupational accidents in the field of construction. This study was designed and conducted with the aim of modeling the cause-consequence of accidents in construction sites.

Material and Methods: This study was conducted based on a retrospective analysis of 10-year accident data (2010-2019) in Iranian construction sites in 2020. The main variable included the types of occupational accidents in construction sites. The study tool included accidents checklist as well as a detailed report of the studiedaccidents. The required data were collected based on a conceptual model designed to model the cause-consequence of accidents in the construction sites. Cause-consequence modeling of the studied accidents has been done based on the structural equation modeling and using IBM SPSS AMOS v. 22.0.

Results: The frequency of the studied accidents was 3854 accidents. The annual averages of AFR and ASR indices were 17.27 ± 8.54 and 322.42 ± 44.23 days, respectively. The results of cause-consequence modeling of these construction accidents showed that individual and occupational, safety training and risk assessment factors as well as variables related to these factors have a negative and significant relationship with the indicators of the construction accidents, and the factors of environmental conditions and unsafe acts and variables belonged to these factors have a positive and significant relationship with these indicators ($p < 0.05$).

Conclusion: The findings of the study revealed that the highest impact factors on accident indicators were related to safety training, risk assessment and unsafe acts and their variables. Therefore, the results of this modeling can help to design safety strategies in construction sites.

Keywords: *Occupational accident, Construction site, Modeling, Cause-Consequence Analysis*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Soltanzadeh A, Mohammadfam I. Cause-Consequence Modeling of Occupational Accidents in Construction Sites: A Retrospective Study in Iran. J Health Saf Work. 2022; 12(3): 446-458.

1. INTRODUCTION

Construction workshops can be considered as the most challenging field of construction for various reasons. In construction sites, all team members are directly exposed to safety risksall of which, in addition to inflicting all kinds of damages to workers, affect the costs of these projects as well as the schedule and quality of implementation of them.

Using a software modeling that can, in addition to using a conceptual model designed with CCA, estimate the relationship between the identified risk factors and the impact of each of these risk

* Corresponding Author Email: *mohammadfam@uswr.ac.ir*

Copyright © 2022 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

factors will be very useful and will lead to a more realistic understanding of the factors affecting the events. Therefore, the structural equation modeling (SEM) approach as a mathematical, technical and software modeling tool, capable of analyzing and characterizing the complex relationships and interactions of different variables, analyzing hidden factors and variables, determining the share of each factor and causes involved in a phenomenon or dependent variable can be very suitable for this purpose.

Therefore, the present study was designed and conducted with the aim of modeling the risk factors affecting accidents in construction sites in the form of a comprehensive retrospective study using the CCA approach and SEM.

2. MATERIAL AND METHODS

This study is a cross-sectional descriptive-analytical study conducted in 2020 on the data of 10-year accidents (2010-2019) of construction workshops in Iran. Therefore, the study population included all active construction workshops during this 10-year period. Also, the statistical sample in this study included all accidents resulting in human injury that occurred in these projects during the studied period. The main variable included the accidents and their indicators in the studied construction workshops.

Steps of the study

This study was conducted in five steps:

Step 1: Data related to 10-year accidents occured in construction workshops in Iran were collected and screened by the study team. This screening was based on inclusion criteria. Inclusion criteria in this study included the complete filling of all items in the accident report checklist. Incidents that did not meet this criterion were excluded. Finally, out of 3968 collected incidents, 3854 accidents were selected as the accidednts analyzed in this study. It should be noted that the main source of data in this study was the labor office in the studied cities.

Step 2: Data related to these accidents were entered into SPSS software version 22.0. The accuracy of data entry was independently checked in 3 shifts by three of the research team members.

Step 3: The conceptual model of the study was drawn based on the Cause-Impact Analysis (CCA) approach and review of different texts. In the process of this analysis, three important questions were answered, including "what happened", "how" and "why". The implementation steps to answer these three questions included a descriptive review of the accident and the damage occurred, sequencing events, identifying the factors affecting the occurrence, collecting additional information and identifying the chain of causes led to consequences in the studied accidents.

Step 4: After assessing the normality of the collected data, descriptive analysis of all studied parameters and also evaluating the direct relationships between these risk factors and the calculated indicators of accidents in construction sites was performed using related statistical tests.

Step 5: Finally, accidents cause-and- effect modeling in construction sites was conducted with the aim of determining the type and extent of relationship, actions and interactions of all risk factors on each other and on the studied accidents, based on the proposed conceptual model, using SEM approach.

Data analysis

In the present study, SEM was performed using IBM SPSS AMOS software version 22.0. In addition, the evaluation of the good fit of the studied model was performed using general indices χ^2/DF (2-3), RMSEA (0.05-0.08) and adaptive indices CFI (0.95-1), NFI (0.95-1) and NNFI or TLI (0.95-1). The statistical tests used in this study were two-way and the significance level was less than 0.05.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The annual average of AFR and ASR indices for 3854 studied accidents were 17.27 ± 8.54 and 322.42 ± 44.23 days, respectively. In addition, the assessment of the consequences of these accidents showed that 4084 workers were injured as a result of these accidents. Of all human injuries, 4.4% were deaths (179 cases), 9.8% were disabilities (401 cases) and 85.8% were traumas (3504 cases).

The results of SEM showed that the cause-and-effect model presented for occupational accidents in the studied construction workshops was an acceptable and valid model. Evaluation of goodness of fit of this model showed that the values of goodness of fit indices including χ2 / DF, RMSEA, CFI, NFI and NNFI (TLI) were estimated at 2.78, 0.062, 0.890, 0.922 and 0.925, respectively. These results showed that individual and occupational variables, training and risk assessment could be considered as indirect risk factors and environmental variables and unsafe practices were considered as direct risk

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

factors of the accident.

The results of this modeling showed an inverse significant relationship between individual and occupational risk factors, training and risk assessment with accident indicators ($p < 0.05$) and a positive significant relationship between environmental risk factors and unsafe practices with accident indicators ($p < 0.05$). The results of cause-and-effect modeling based on the designed conceptual model showed the strongest path including safety training in construction activities - unsafe actions (misunderstanding) - accident (ASR) and safety risk assessment - unsafe actions (misunderstanding) - accident (ASR).

The findings of this study, presented in the form of a cause-and-effect analytical model of accidents in construction workshops, showed that a set of risk factors including individual variables such as work experience, marriage and education, job variables (such as type of activity, type of job and the time of the accident), environmental conditions at the time of the accident , types of safety training and risk assessment in construction workshops and construction projects as well as environmental conditions in this projects and variables such as inadequate housekeeping, faulty equipment, and unsafe practices, including human error and misconduct, have been identified as the risk factors of the studied accidents.

These findings have shown a significant relationshipbetween the identified risk factors and the accident indicators such as AFR and ASR as well as the type of accidents. The results of this study, in line with the findings of other studies, indicate that the construction site environment is a "potential accident and disaster world" that can lead to a catastrophic accident or emergency if the least force or the slightest unwanted change exists.

The findings of SEM goodness of fit of accidents cause-and-effect analysis in construction sites with a large sample of 3854 accidents and 682 construction workshops also indicated that the findings of this study could be used as a tool for macro decision making to reduce the risk of construction accidents. Occupational accidents in Iran and their catastrophic human, social and economic consequences have been used in this study.The effectiveness of applying these findings in reducing the incidence and severity of accidents in construction workshops are suggested to be investigated in future prospective studies.

4. CONCLUSION

The results of this study indicated that safety improvement in construction workshops requires intelligent and operational planning to address several important risk factors, including efficient and effective training, attention to project-related risk factors and workplace safety conditions using a specific tool to identify hazards, assessment their risk leading to the implementation of control measures through continuous safety monitoring in these projects. In addition, the results of this study show that the use of a multi-causal analytical approach such as "cause-effect analysis approach" and the use of a comprehensive software approach such as "SEM" can be very effective and useful in identifying and analyzing the effects safety measures as well as monitoring of them.

5. ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful of the INSF for this support (project number: 99012938) and the Inspection Office of the Ministry of Roads and Urban Developments in Iran for their cooperation in the implementation of present study.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۲/ شماره ۳/ پاییز ۱۴۰۱ صفحات ۴۴۶-۴۵۸

مدل‌سازی علت–پیامد حوادث شغلی در کارگاه‌های ساختمانی: یک مطالعه گذشته‌نگر در ایران

احمد سلطان‌زاده[۱]، ایرج محمدفام[۲*]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

[۲] گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات سلامت در حوادث و بلایا، دانشگاه علوم توان‌بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

چکیده

مقدمه: نزدیک به نیمی از حوادث شغلی در ایران در کارگاه‌های ساختمانی رخ می‌دهد؛ بنابراین، مدل‌سازی حوادث شغلی در این کارگاه‌ها یکی از راهکارهای طراحی استراتژی‌های ایمنی برای کاهش حوادث شغلی در حوزه ساخت‌وساز می‌باشد. این مطالعه با هدف مدل‌سازی علت-پیامد حوادث در کارگاه‌های ساختمانی طراحی و انجام شده است.

روش کار: این مطالعه در سال ۱۳۹۹ در قالب یک تحلیل گذشته‌نگر بر روی داده‌های حوادث ۱۰ساله (۱۳۸۹-۱۳۹۸) در کارگاه‌های ساختمانی در ایران انجام شده است. متغیر اصلی شامل انواع حوادث شغلی در کارگاه‌های ساختمانی بود. ابزار مطالعه شامل چک‌لیست حوادث و همچنین گزارش تفصیلی این حوادث بود. داده‌های مورد نیاز بر اساس مدل مفهومی طراحی شده برای مدل‌سازی علت-پیامد حوادث در این کارگاه‌ها جمع‌آوری شد. مدل‌سازی علت-پیامد حوادث مورد مطالعه با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری و با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS AMOS نسخه ۲۲/۰ انجام شده است.

یافته ها: فراوانی حوادث مورد تحلیل در بازه زمانی مورد مطالعه ۳۸۵۴ حادثه بود. میانگین سالانه دو شاخص AFR و ASR به ترتیب ۸/۵۴±۱۷/۲۷ حادثه و ۴۴/۲۳±۳۲۲/۴۲ روز تخمین زده شد. نتایج مدل‌سازی علت-پیامد این حوادث ساختمانی نشان داد که فاکتورهای فردی و شغلی، آموزش ایمنی و ارزیابی ریسک و همچنین متغیرهای مربوط به این فاکتورها با شاخص‌های حوادث دارای ارتباط معکوس و معنی‌دار و فاکتورهای شرایط محیطی و اعمال ناایمن و متغیرهای متعلق به آنها با این شاخص‌ها دارای ارتباط مثبت و معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

نتیجه گیری: یافته‌های مطالعه بیانگر این بود که بیشترین ضریب تأثیر بر شاخص‌های حوادث مربوط به فاکتورهای آموزش ایمنی، ارزیابی ریسک و اعمال ناایمن و متغیرهای آنها می‌باشد؛ بنابراین، نتایج این مدل‌سازی می‌تواند به طراحی استراتژی‌های ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی کمک نماید.

کلمات کلیدی: *حادثه شغلی، کارگاه‌های ساختمانی، مدل‌سازی، تحلیل علت-پیامد*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *mohammadfam@uswr.ac.ir*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

مقدمه

بخش ساخت‌وساز یکی از حوزه‌های صنعتی است که همواره از لحاظ عملکرد ایمنی دارای نقص بوده است. مطالعات انجام‌شده نشان داده است که ایمنی در بخش ساخت‌وساز نسبت به دیگر حوزه‌های صنعتی ضعیف بوده و رویدادهای مختلفی از حوادث جزئی تا حوادث مرگبار زیادی در این بخش به وقوع می‌پیوندد (۱-۳).

کارگاه‌های ساختمانی به دلایل مختلف می‌توانند به‌عنوان پرچالش‌ترین حوزه ساخت‌وساز مطرح باشند. گزارش‌های مختلف نشان داده است که درصد بالایی از حوادث و مرگ‌ومیرها در حوزه ساخت‌وساز مربوط به کارگاه‌های ساختمانی می‌باشد (۴, ۵). در برخی از مطالعات اذعان شده است که کارگران ساختمانی بیشترین تعداد مرگ‌ومیر را بین پروژه‌های ساخت‌وساز ثبت کرده‌اند (۶). در کارگاه‌های ساختمانی، همه افراد تیم به‌صورت مستقیم در معرض ریسک‌های ایمنی قرار گرفته و علاوه بر تحمیل انواع آسیب به کارگران، بر روی هزینه‌های این پروژه‌ها، جدول زمان‌بندی و کیفیت اجرای این پروژه‌های ساختمانی تأثیرگذار می باشد (۷). از متغیرهایی که در این پروژه‌ها باعث ایجاد شرایط پرمخاطره و ریسک بالا می‌شوند می‌توان به تغییرات مداوم مکان پروژه، استفاده از منابع مختلف و زیاد، شرایط کاری ضعیف، استخدام ناپایدار، شرایط محیطی پرمخاطره (صدا، ارتعاش، گردوغبار، مواجهه مستقیم با استرس‌های حرارتی محیط) اشاره نمود (۸).

هرچند مطالعات بسیاری درزمینهٔ حوادث ساخت‌وساز انجام شده است، امّا مطالعات کمی بر کارگاه‌های ساختمانی متمرکز بوده است. علاوه بر این هر یک از این مطالعات تنها به برخی از علل حوادث ساخت‌وساز اشاره نموده و میزان تأثیرگذاری و نقش مستقیم/غیرمستقیم و پنهان/آشکار این ریسک فاکتورها را مشخص نکرده‌اند (۱-۳, ۸-۱۱)؛ بنابراین، استفاده از یک رویکرد جامع برای مدل‌سازی حوادث در کارگاه‌های ساختمانی با هدف شناسایی مهم‌ترین ریسک‌فاکتورهای تأثیرگذار بر بروز این حوادث می‌تواند به طراحی استراتژی‌های ایمنی برای پیشگیری از این حوادث و کاهش آسیب‌های ناشی از آن کمک نماید. رویکرد تحلیل علت-پیامد (Cause-Consequence Analysis) یک روش تحلیلی برای بررسی جامع و نظام‌مند حوادث و ریسک‌فاکتورهای آن می‌باشد (۷, ۱۲) که می‌تواند در پروژه‌های ساختمانی مورداستفاده قرار گیرد. بعلاوه، استفاده از یک مدل‌سازی نرم‌افزاری که بتواند علاوه بر به‌کارگیری مدل مفهومی طراحی‌شده با CCA، میزان ارتباط بین ریسک‌فاکتورهای شناسایی‌شده و همچنین میزان اثر هر یک از این ریسک‌فاکتورها را برآورد نماید بسیار کاربردی و سودمند خواهد بود و به درک واقعی‌تری از عوامل مؤثر بر این حوادث خواهد انجامید. لذا، رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری (Structural Equation Modeling) می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدل‌سازی ریاضی، فنی و نرم‌افزاری دارای قابلیت تحلیل و مشخص نمودن ارتباطات و تعاملات پیچیده متغیرهای مختلف، تحلیل عوامل و متغیرهای پنهان، تعیین میزان سهم هر یک از عوامل و علل دخیل در یک پدیده یا متغیر وابسته، برای این منظور بسیار مناسب باشد (۱۳, ۱۴)؛ بنابراین، مطالعه حاضر با هدف مدل‌سازی ریسک‌فاکتورهای مؤثر بر حوادث در کارگاه‌های ساختمانی در قالب یک مطالعه جامع گذشته‌نگر و با استفاده از رویکرد تحلیل علت-پیامد (CCA) و مدل‌سازی معادله ساختاری (SEM) طراحی و انجام شده است.

روش کار

این مطالعه یک بررسی مقطعی و از نوع توصیفی-تحلیلی بوده است که در سال ۱۳۹۹ بر روی داده‌های حوادث ۱۰ ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۹) کارگاه‌های ساختمانی در ایران انجام شده است؛ بنابراین، جامعه موردمطالعه شامل همه کارگاه‌های ساختمانی فعال در طی این بازه زمانی ۱۰ ساله بوده است. همچنین، نمونه آماری در این مطالعه شامل همه حوادث منجر به آسیب انسانی بود که در این پروژه‌ها و طی بازه زمانی مطالعه به وقوع پیوسته بود. متغیر اصلی شامل این حوادث و شاخص‌های آن در کارگاه‌های ساختمانی موردمطالعه بود.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

ابزار جمع‌آوری داده‌ها

ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این مطالعه شامل چک‌لیست گزارش حوادث در کارگاه‌های ساختمانی، گزارش تفصیلی این حوادث و همچنین مستندات و سوابق کارگاه‌های ساختمانی موردمطالعه بود. این چک‌لیست شامل اطلاعاتی درباره پروژه ساختمانی، محل وقوع حادثه، نوع حادثه، اطلاعات فرد/افراد حادثه‌دیده، پیامد و آسیب حادثه، پارامترهای مرتبط با نوع فعالیت در زمان بروز حادثه، مکان و زمان حادثه، شرایط محیطی در زمان بروز حادثه و همچنین اعمال ناایمن منجر به حادثه بود. وضعیت ارائه آموزش‌های ایمنی و اجرای ارزیابی ریسک در پروژه‌های موردمطالعه از طریق مراجعه به مستندات و سوابق در کارگاه‌های ساختمانی موردمطالعه جمع‌آوری گردید.

مراحل اجرای مطالعه

این مطالعه در پنج مرحله اجرا شده است (شکل ۱):

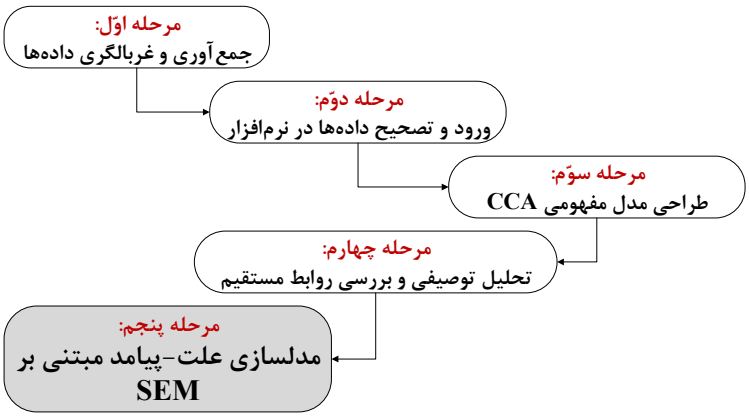
مرحله اوّل: داده‌های مربوط به حوادث ۱۰ ساله مربوط به کارگاه‌های ساختمانی در ایران جمع‌آوری و توسط تیم مطالعه غربالگری گردید. این غربالگری بر مبنای معیارهای ورود مطالعه بود. معیار ورود در این مطالعه شامل تکمیل همه آیتم‌های چک‌لیست گزارش حادثه بود. حوادثی که فاقد این معیار بودند از مطالعه خارج شدند. در نهایت، از ۳۹۶۸ حادثه جمع‌آوری‌شده، ۳۸۵۴ حادثه به‌عنوان حوادث مورد تحلیل در این مطالعه انتخاب شدند. قابل‌ذکر است که منبع اصلی ارائه داده‌ها در این مطالعه، اداره کار در شهرهای موردمطالعه بوده است.

مرحله دوّم: داده‌های مربوط به این حوادث وارد نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲/۰ شد. بررسی دقت ورود داده‌ها طی ۳ نوبت و توسط سه نفر از اعضای تیم و به‌صورت مستقل انجام گرفت.

مرحله سوّم: مدل مفهومی مطالعه بر مبنای رویکرد تحلیل علّت-پیامد (CCA) و بررسی متون مختلف ترسیم شد. در فرایند این تحلیل به سه پرسش مهم شامل اینکه «چه اتفاقی»، «چگونه» و «چرا» رخ داده است، پاسخ داده شد. مراحل اجرایی رسیدن به پاسخ درباره سه پرسش موردنظر شامل بررسی توصیفی حادثه و آسیب به وقوع پیوسته، تعیین توالی وقایع، شناسایی عوامل مؤثر بر بروز، جمع‌آوری اطلاعات تکمیلی و شناسایی زنجیره علل تا پیامد در حوادث موردمطالعه بود.

مرحله چهارم: پس از ارزیابی نرمالیتی داده‌های جمع‌آوری‌شده، تجزیه‌وتحلیل توصیفی همه پارامترهای موردمطالعه و همچنین ارزیابی ارتباط مستقیم این ریسک‌فاکتورها با شاخص‌های محاسبه‌شده حوادث در کارگاه‌های ساختمانی با استفاده از آزمون‌های آماری مرتبط انجام شد.

مرحله پنجم: در نهایت، مدل‌سازی علت-پیامد



شکل ۱. مراحل اجرای مطالعه

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

حوادث در کارگاه‌های ساختمانی با هدف تعیین نوع و میزان ارتباط، کنش‌ها و اثرات متقابل همه ریسک‌فاکتورها بر یکدیگر و بر حوادث موردمطالعه، بر مبنای مدل مفهومی ارائه شده، با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادله ساختاری انجام شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌های این مطالعه بر اساس رویکرد مدل‌سازی علت-پیامد و مدل‌سازی معادلات ساختاری انجام شده است. مدل‌یابی معادلات ساختاری یک تکنیک تحلیل چند متغیری بسیار کلی و نیرومند از خانواده رگرسیون چند متغیری است که می‌تواند ارتباطات پیچیده بین متغیرها را آشکار کند، زیرا این مدل توانایی به‌کارگیری و اجرای ارتباط هم‌زمان بین عوامل داخلی و خارجی را داشته و علاوه بر این می‌تواند عوامل و متغیرهای پنهان را وارد مدل نماید. استفاده از SEM برای درک ارتباطات پیچیده بین متغیرها و عوامل مختلفی که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، پنهان و آشکار در بروز حوادث دخیل بوده و مشارکت دارند بسیار سودمند می‌باشد. مدل‌سازی معادلات ساختاری در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS AMOS نسخه ۲۲/۰ انجام شد. بعلاوه، ارزیابی نیکویی برازش[1] مدل موردمطالعه با استفاده از شاخص‌های کلی χ^2/df (۳-۲) و RMSEA[2] (۰/۰۸-۰/۰۵) و شاخص‌های تطبیقی CFI[3] (۱/۰-۰/۹۵)، NFI[4] (۱/۰-۰/۹۵) و NNFI[5] یا TLI[6] (۱/۰-۰/۹۵) انجام شد (۱۴). آزمون‌های آماری بکار گرفته‌شده در این مطالعه دوطرفه بوده و سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

یافته ها

میانگین سالانه دو شاخص AFR و ASR برای ۳۸۵۴ حادثه موردمطالعه به ترتیب ۸/۵۴±۱۷/۲۷ حادثه و ۴۴/۲۳±۳۲۲/۴۲ روز برآورد گردید. بعلاوه، ارزیابی پیامد این حوادث نشان داد که ۴۰۸۴ کارگر به‌واسطه این حوادث دچار آسیب شده‌اند. از کل موارد آسیب انسانی، ۴/۴٪ مرگ (۱۷۹ مورد)، ۹/۸٪ نقص عضو (۴۰۱ مورد) و ۸۵/۸٪ تروما (۳۵۰۴ مورد) بود.

نتایج توصیفی نشان داد میانگین سن و سابقه کار کارگران آسیب‌دیده در حوادث موردمطالعه، به ترتیب ۸/۳۵±۲۸/۰۵ و ۷/۸۳±۶/۵۳ سال بود. تقریباً یک چهارم از افراد مجرد و تنها کمتر از یک دهم دارای تحصیلات دانشگاهی بوده‌اند. بیش از دو سوم از حوادث برای کارگران و تقریباً چهار پنجم حوادث حین انجام فعالیت‌های ساختمانی بوده است. بیش از یک-سوم حوادث مرتبط با سقوط افراد و کمتر از یک پنجم نیز مربوط به سقوط اشیا بوده است. کمترین فراوانی مربوط به مواد شیمیایی (۰/۴٪) بود. حوادث برق‌گرفتگی ۸/۵٪ از کل حوادث را تشکیل می‌داد. ۳۸٪ حوادث در شیفت صبح و ۵۵٪ در شیفت بعدازظهر و ۷٪ در شیفت شب رخ داده بود (جدول ۱).

ارزیابی وضعیت ارائه آموزش‌های ایمنی و اجرای ارزیابی ریسک در ۶۸۲ پروژه موردمطالعه نشان داد، در کمتر از یک پنجم (۱۸/۳٪) این پروژه‌ها آموزش ایمنی و در کمتر از یک دهم (۹/۱٪) نیز ارزیابی ریسک اجرا شده است. میزان ارائه این آموزش‌ها شامل ایمنی عمومی، ایمنی در فعالیت‌های ساخت‌وساز، تجهیزات حفاظت فردی، نظم و انضباط کارگاهی و ارائه اقدامات ایمنی در شرایط اضطراری مانند کمک‌های اولیه بود. بعلاوه، میزان اجرای ارزیابی ریسک شامل استفاده از چک‌لیست‌های ایمنی قبل از شروع کار به‌منظور شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک ایمنی در محیط کار، ارزیابی شرایط ناایمن مورد مشاهده و ارزیابی کیفیت و کمیت تجهیزات حفاظت فردی بود (جدول ۲).

ارزیابی شرایط محیطی در زمان بروز حادثه نشان داد که ۲۵٪ حوادث در شرایط آب و هوایی بارانی و برفی و ۲۲٪ این حوادث در شرایط گرمایی غیراستاندارد به

1 Goodness of Fit
2 Root Mean Square Error of Approximation
3 Comparative Fit Index
4 Normed-Fit Index
5 Non-Normed Fit Index
6 Tucker-Lewis Index

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

جدول ۱. یافته‌های توصیفی متغیرهای فردی و شغلی افراد موردمطالعه

متغیر		میانگین±انحراف معیار/فراوانی (٪)
سن (سال)		۲۸/۰۵±۸/۳۵
سابقه کار (سال)		۶/۵۳±۷/۸۳
وضعیت تأهل	مجرد	۱۰۱۲ (٪۲۴/۷۸)
	متأهل	۳۰۷۲ (٪۷۵/۲۲)
تحصیلات	بی‌سواد	۱۶۰۵ (٪۳۹/۳)
	زیر دیپلم	۱۳۳۶ (٪۳۲/۷)
	دیپلم	۸۵۵ (٪۲۰/۹)
	تحصیلات دانشگاهی	۲۸۸ (٪۷/۱)
نوع شغل	کارگر ساختمانی	۲۹۱۲ (٪۷۱/۳۰)
	تکنسین	۶۲۹ (٪۱۵/۴۰)
	استادکار	۴۸۴ (٪۱۱/۸۵)
	سرپرست/مدیر	۵۹ (٪۱/۴۵)
نوع فعالیت	ساخت‌وساز	۳۰۴۲ (٪۷۸/۹)
	نصب	۳۸۰ (٪۹/۹)
	حمل‌ونقل	۴۳۲ (٪۱۱/۲)
نوع حادثه	سقوط از ارتفاع	۱۵۲۲ (٪۳۹/۵)
	سقوط اشیا	۱۰۹۸ (٪۲۸/۵)
	برخورد و تصادم	۷۵۲ (٪۱۹/۵)
	برق‌گرفتگی	۳۲۷ (٪۸/۵)
	مواد شیمیایی	۱۵۵ (٪۴/۰)
زمان حادثه	صبح (۰۷-۱۴)	۱۴۶۵ (٪۳۸/۰)
	بعدازظهر (۱۴-۲۰)	۲۱۲۰ (٪۵۵/۰)
	شب (۲۰-۰۷)	۲۶۹ (٪۷/۰)

جدول ۲. یافته‌های توصیفی آموزش ایمنی و ارزیابی ریسک

متغیر		فراوانی (٪)
آموزش ایمنی	ایمنی عمومی	۹۲ (٪۱۳/۵۰)
	ایمنی در فعالیت‌های ساخت‌وساز	۱۰۸ (٪۱۵/۸۳)
	تجهیزات حفاظت فردی	۷۳ (٪۱۰/۷۰)
	نظم و انضباط کارگاهی	۴۵ (٪۶/۶)
	اقدامات ایمنی در شرایط اضطراری	۲۸ (٪۴/۱)
ارزیابی ریسک	شناسایی خطرات	۶۰ (٪۸/۸)
	ارزیابی ریسک ایمنی	۵۴ (٪۷/۹)
	ارزیابی شرایط ناایمن	۵۸ (٪۸/۵)
	ارزیابی کیفیت و کمیت PPE	۲۳ (٪۳/۴)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

جدول ۳. یافته‌های توصیفی شرایط محیطی و اعمال ناایمن

متغیر		مقادیر
شرایط محیطی	آب‌وهوای بارانی و برفی	۹۶۳ (٪۲۵/۰)
	شرایط گرمایی غیراستاندارد	۸۴۸ (٪۲۲/۰)
	روشنایی غیراستاندارد	۳۷۷ (٪۹/۸)
	روش کاری خطرناک	۹۵۱ (٪۲۴/۷۰)
	عدم وجود/نامناسب بودن حفاظ ایمن	۱۰۸۲ (٪۲۸/۱)
	تجهیزات معیوب	۱۰۱۷ (٪۲۶/۴)
اعمال ناایمن	کمبود دانش و درک نسبت به خطرات	۱۶۷۲ (٪۴۳/۴)
	خطای مبتنی بر مهارت	۱۳۲۲ (٪۳۴/۳۰)
	خطای تصمیم‌گیری	۵۵۴ (٪۱۴/۴)
	تخلفات روتین	۵۴۷ (٪۱۴/۲)
	تخلفات استثنایی	۲۶۲ (٪۶/۸)

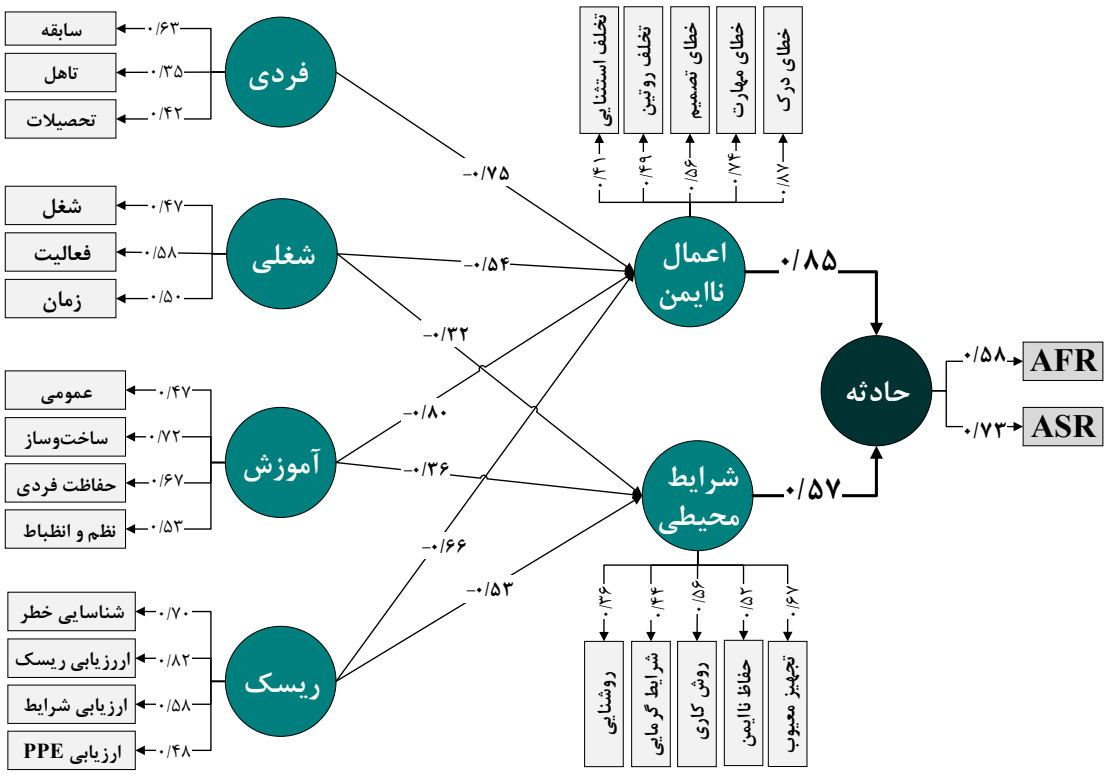
وقوع پیوسته است. در ٪۲۴/۷ این حوادث از روش کاری خطرناک برای انجام فعالیت استفاده شده و در ٪۲۸/۱ نیز عدم وجود و یا نامناسب بودن حفاظ ایمنی مشاهده شده است. سهم تجهیزات معیوب در این حوادث ٪۲۶/۴ بود. نتایج ارزیابی اعمال ناایمن نیز نشان داد که بیشترین اعمال ناایمن در این حوادث شغلی به ترتیب مربوط به خطای انسانی کمبود دانش و درک نسبت به خطرات در محیط کار (٪۴۳/۴)، خطای مبتنی بر مهارت مانند عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (٪۳۴/۳)، خطای تصمیم‌گیری مانند قرارگیری در شرایط ناایمن و فعالیت بدون مجوز (٪۱۴/۴)، تخلفات روتین مانند شوخی‌های نابجا (٪۱۴/۲) و خطاهای استثنایی مانند عدم رعایت قوانین ایمنی الزامی (٪۶/۸) بوده است.

نتایج مدل‌سازی معادله ساختاری نشان داد که مدل علت-پیامد ارائه‌شده برای حوادث شغلی در کارگاه‌های ساختمانی موردمطالعه یک مدل قابل‌قبول و معتبر می‌باشد. ارزیابی نیکویی برازش این مدل نشان داد که مقادیر شاخص‌های نیکویی برازش شامل χ^2/df، RMSEA، CFI، NFI و NNFI (TLI) به ترتیب ۲/۷۸، ۰/۰۶۲، ۰/۸۹۰، ۰/۹۲۲ و ۰/۹۲۵ برآورد شده است. این نتایج نشان داد متغیرهای فردی و شغلی، آموزش و ارزیابی ریسک به‌عنوان ریسک‌فاکتورهای غیرمستقیم و متغیرهای شرایط محیطی و اعمال ناایمن به‌عنوان ریسک‌فاکتورهای مستقیم حادثه مطرح می‌باشند. نتایج این مدل‌سازی نشان داد ارتباط ریسک فاکتورهای فردی و شغلی، آموزش و ارزیابی ریسک با شاخص‌های حادثه در این مطالعه معکوس و معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) و ارتباط ریسک فاکتورهای شرایط محیطی و اعمال ناایمن با شاخص‌های حادثه، مثبت و معنی‌دار می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

نتایج مدل‌سازی علت-پیامد بر اساس مدل مفهومی طراحی‌شده نشان داد قوی‌ترین مسیر شامل ۱. آموزش ایمنی در فعالیت‌های ساخت‌وساز-اعمال ناایمن (خطای درک)-حادثه (ASR) و ۲. ارزیابی ریسک ایمنی-اعمال ناایمن (خطای درک)-حادثه (ASR) می باشد (شکل ۲).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]



شکل ۲. یافته‌های مدل‌سازی علت-پیامد حوادث شغلی در کارگاه‌های ساختمانی

بحث

یافته‌های این مطالعه بیانگر این بود که تکرارپذیری و پیامدهای ناشی از حوادث در کارگاه‌ها و پروژه‌های ساختمانی بسیار بالاتر از دیگر حوزه‌های صنعتی برآورد شده است. بعلاوه، میزان این دو شاخص در حوادث کارگاه‌های ساختمانی بسیار بالاتر از حوزه‌های دیگر ساخت‌وساز مانند پروژه‌های بزرگ بوده است (۲, ۱۵)؛ بنابراین، این جمله غالب در بیشتر مطالعات و گزارش‌هایی که «بخش ساخت‌وساز یکی از حوزه‌های خطرناک در صنعت است» با توجه به یافته‌های این مطالعه مورد تأیید دوباره قرار گرفته است (۲, ۳).

تئوری علل چندگانه در بروز حوادث و به‌ویژه در حوزه ساخت‌وساز در مطالعات مختلفی بیان شده است (۱-۳, ۱۰, ۱۱, ۱۶, ۱۷). یافته‌های این مطالعه که در قالب مدل تحلیلی علت-پیامد حوادث در کارگاه‌های ساختمانی ارائه شده است، نیز نشان داد که مجموعه‌ای از ریسک‌فاکتورها شامل متغیرهای فردی مانند سابقه شغلی، تأهل و تحصیلات (۱۰, ۱۱)، متغیرهای شغلی (مانند نوع فعالیت، نوع شغل و زمان بروز حادثه) (۳, ۱۱, ۱۷)، شرایط محیطی در زمان بروز حادثه (۱۰, ۱۸, ۱۹)، انواع آموزش‌های ایمنی و ارزیابی ریسک در کارگاه‌های ساختمانی و پروژه‌های ساخت‌وساز (۱, ۳, ۱۰) و همچنین شرایط محیطی در این پروژه‌ها و متغیرهایی مانند Housekeeping نامناسب و وجود تجهیزات معیوب و انواع اعمال ناایمن شامل خطاهای انسانی و تخلفات (۲, ۲۰-۲۲) به‌عنوان ریسک‌فاکتورهای حوادث در این پروژه‌ها شناخته شده‌اند. این یافته‌ها نشان داده‌اند که این ریسک فاکتورها با شاخص‌های حوادث مانند AFR و ASR و همچنین نوع حوادث دارای ارتباط معنی‌دار می‌باشند (۲, ۷, ۱۱). نتایج این مطالعه، هماهنگ با یافته‌های دیگر مطالعات بیانگر این می‌باشد که

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

محیط کارگاه‌های ساختمانی ،»دنیای حادثه و فاجعه بالقوه» است که در صورت اعمال کمترین نیرو و یا کوچک‌ترین تغییرات ناخواسته می‌تواند منجر به یک حادثه و یا شرایط اضطراری فاجعه‌بار شود (۱۸, ۲۳).

نتایج مدل‌سازی علت-پیامد حوادث ساختمانی بار دیگر نشان داد نقش کارگران در بروز حوادث در پروژه‌های ساختمانی به دلیل بروز انواع خطای انسانی و تخلفات، بسیار پررنگ است. علاوه بر این، اعمال ناایمن در این پروژه‌ها می‌تواند تحت تأثیر مجموعه‌ای از ریسک‌فاکتورها مانند متغیرهای فردی، شرایط محیطی، آموزش‌های ایمنی و همچنین نتایج و کارکردهای شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک قرار گرفته و نرخ بروز و شدت آن به‌واسطه هر یک از این ریسک فاکتورها تغییر نماید (۳, ۱۹). محمدفام و همکاران در مطالعه‌ای نشان داده‌اند که شدت حوادث شغلی با متغیرهای آموزش ایمنی و پارامترهای مدیریت و ارزیابی ریسک ایمنی دارای ارتباط معنی‌دار است. آموزش ناکافی و ناکارآمد می‌تواند منجر به بی‌دقتی، رفتارهای خطرناک و انواع خطای انسانی شده و بر نرخ بروز حوادث و پیامدهای آن در کارگاه‌های ساختمانی تأثیرگذار باشد (۱۰, ۱۶). همچنین، برخی از مطالعات نشان داده‌اند که شناسایی خطرات و درک ریسک می‌توانند با مداخله‌های آموزشی بهبود یابد (۲۴, ۲۵). بر این اساس، توجه به آموزش ایمنی و ارتقا شاخص‌های آموزش باعث بالارفتن درک و شناخت خطرات و ریسک‌های موجود در این پروژه‌ها و بهبود ایمنی و کاهش بروز انواع حوادث و آسیب ها می‌گردد. انجام فعالیت‌های منظم و سیستماتیک درزمینهٔ شناسایی مخاطرات ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی (استفاده از چک‌لیست ایمنی)، اجرای ارزیابی ریسک ایمنی قبل از شروع پروژه و تدوین یک دستورالعمل جامع و کاربردی برای ثبت و گزارش انواع شرایط ناایمن و آنومالی‌ها و استفاده از آن در جلسات پس از کار و همچنین نظارت بر مناسب بودن کمیت و کیفیت تجهیزات حفاظتی مانند PPE و استفاده مناسب از آن و همچنین نظارت بر رعایت نظم و انضباط کارگاهی در محیط‌های پر ریسک پروژه‌های ساختمانی می‌تواند به کاهش بروز حوادث و پیامدهای آن در این پروژه‌ها منجر شود.

نتایج نیکویی برازش مدل معادله ساختاری تحلیل علت-پیامد حوادث در کارگاه‌های ساختمانی با نمونه موردمطالعه بزرگ ۳۸۵۴ حادثه و ۶۸۲ کارگاه ساختمانی نیز بیانگر این بود که یافته‌های این مطالعه می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری کلان با هدف کاهش ریسک بروز حوادث ساختمانی به‌عنوان مهم‌ترین حوادث شغلی در ایران و پیامدهای فاجعه‌بار انسانی، اجتماعی و اقتصادی آن مورداستفاده قرار گرفته و در مطالعات آینده‌نگر بعدی به بررسی اثربخشی به‌کارگیری این یافته‌ها در کاهش شاخص‌های بروز و شدت حوادث در کارگاه‌های ساختمانی پرداخت.

به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت این مطالعه می‌توان اذعان نمود که هرچند متغیرهای دیگری مانند ضعف دستورالعمل‌ها، قوانین، نظارت، تنوع فرهنگی شاغلین، انواع خطاهای انسانی و دیگر متغیرها نیز در بروز حوادث شغلی در کارگاه‌های ساختمانی دارای نقش و تأثیر بوده و بایستی موردتوجه قرار گیرند، اما این مطالعه یک بررسی گذشته‌نگر بوده و این مدل‌سازی و نتایج آن بر اساس داده‌های ثبت‌شده و موجود انجام گرفته است.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه بیانگر این است که ارتقا ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی نیازمند یک برنامه‌ریزی هوشمند و عملیاتی برای توجه به چندین ریسک‌فاکتور مهم شامل آموزش کارا و اثربخش، توجه به ریسک‌فاکتورهای مرتبط با پروژه و شرایط ایمنی محیط کار با به‌کارگیری ابزاری مشخص برای شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک آن‌ها، اجرای اقدامات کنترلی از طریق پایش مستمر ایمنی در این پروژه‌ها خواهد بود. بعلاوه، نتایج این مطالعه نشان داده است

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

که استفاده از یک رویکرد تحلیلی چند علیّتی مانند «رویکرد تحلیل علت-پیامد» و استفاده از یک رویکرد نرم‌افزاری جامع مانند «مدل‌سازی معادله ساختاری» می‌تواند در شناسایی، تحلیل اثر و همچنین پایش اثربخشی اقدامات ایمنی بسیار مؤثر و سودمند باشد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل از طرح مصوب ۹۹۰۱۲۹۳۸ صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور می‌باشد. نویسندگان بدین‌وسیله از صندوق مذکور تشکر و قدردانی می‌نمایند.

REFERENCES

1. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Moghimbeygi A, Ghiasvand R. Exploring causal factors on the severity rate of occupational accidents in construction worksites. International journal of civil engineering. 2017;15(7):959-65.
2. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Moghimbeigi A, Ghiasvand R. Key factors contributing to accident severity rate in construction industry in Iran: a regression modelling approach/Primjena regresijskog modela u analizi ključnih čimbenika koji pridonose težini nesreća u građevinskoj industriji u Iranu. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2016;67(1):47-53.
3. Soltanzadeh A, Mahdinia M. Path analysis of occupational injuries based on the structural equation modeling approach: a retrospective study in the construction industry. Iran Occupational Health. 2019;16(3):47-57. [Persian]
4. 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. J Sci Ind Res. 2008;67:403-11.
5. 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).
6. Waehrer GM, Dong XS, Miller T, Haile E, Men Y. Costs of occupational injuries in construction in the United States. Accid Anal Prev. 2007;39(6):1258-66.
7. Pereira E, Taghaddos H, Hermann R, Han S, Abourizk S, editors. A Conceptual Accident Causation Model Based On The Incident Root Causes. 5th International/11th Construction Specialty Conference.
8. Pinto A, Nunes IL, Ribeiro RA. Occupational risk assessment in construction industry–Overview and reflection. Safety science. 2011;49(5):616-24.
9. Pereira E, Taghaddos H, Hermann R, Han S, Abourizk S. A conceptual accident causation model based on the incident root causes. 2015.
10. Mohammadfam I, Soltanzadeh A, Moghimbeigi A, Akbarzadeh M. Confirmatory factor analysis of occupational injuries: presenting an analytical tool. Trauma monthly. 2016;22(2):e33266-e.
11. Mohammadfam I, Soltanzadeh A, Moghimbeigi A, Akbarzadeh M. Modeling of individual and organizational factors affecting traumatic occupational injuries based on the structural equation modeling: a case study in large construction industries. Arch Trauma Res. 2016;5(3).
12. Sebron W, Tschürtz H, Krebs P, editors. Extending the Shell Model via Cause/Consequence Analysis of Component Failures. European Conference on Software Process Improvement; 2019: Springer.
13. Mohammadfam I, Soltanzadeh A, Arsang-Jang S, Mohammadi H. Structural Equation Modeling Modeling (SEM) of Occupational Accidents Size Based on Risk Management Factors; A Field Study in Process Industries. Health Scope. 2018;8(1).
14. Blunch N. Introduction to structural equation modeling using IBM SPSS statistics and AMOS: Sage; 2012.
15. Ahmad S, Iraj M, Abbas M, Mahdi A. Analysis of occupational accidents induced human injuries: a case study in construction industries and sites. Journal of Civil Engineering and Construction Technology. 2016;7(1):1-7.
16. Azadeh MA, Keramati A, Mohammadfam I, Jamshidnedjad B. Enhancing the availability and reliability of power plants through macroergonomics approach. J Sci Ind Res. 2006;65:873-8.
17. Fam IM, Azadeh A, Faridan M, Mahjub H. Safety behaviors assessment in process industry: a case study in

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]

gas refinery. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. 2008;25(4):298-305.

18. Shao B, Hu Z, Liu Q, Chen S, He W. Fatal accident patterns of building construction activities in China. Safety science. 2019;111:253-63.
19. Zhang J, Zhang W, Xu P, Chen N. Applicability of accident analysis methods to Chinese construction accidents. Journal of safety research. 2019;68:187-96.
20. Mohammadfam I, Aliabadi MM, Soltanian AR, Tabibzadeh M, Mahdinia M. Investigating interactions among vital variables affecting situation awareness based on Fuzzy DEMATEL method. Int J Ind Ergon. 2019 Nov 1;74:102842.
21. Soltanzadeh A, Heidari H, Mohammad H, Mohammadbeigi A, Sarsangi V, Darakhshan Jazari M. Comprehensive causal analysis of occupational accidents' severity in the chemical industries; A field study based on feature selection and multiple linear regression techniques. Journal of Health and Safety at Work. 2019;9(4):290-9. [Persian]
22. Soltanzadeh A, Aliabadi MM, Mohammadbeigi A. Safety Locus of Control and occupational trauma; a cross-sectional study. International Journal of Occupational Hygiene. 2019;11(1).
23. Zhang F, Fleyeh H, Wang X, Lu M. Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques. Autom Constr. 2019;99:238-48.
24. Gunderson DE, Gloeckner GW. Superintendent competencies and attributes required for success: A national study comparing construction professionals' opinions. Int J Constr Educ Res. 2011;7(4):294-311.
25. Perlman A, Sacks R, Barak R. Hazard recognition and risk perception in construction. Safety Science. 2014;64:22-31.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1401.12.3.1.5]