



ارائه مدل ساختاری خطاهای انسانی در کارکنان صنایع پرخطر: نقش میانجی خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی در رابطه با اقلیم ایمنی

۱. مهدی آشوری*؛ گروه ایمنی، بهداشت و محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، مؤسسه آموزش عالی کار قزوین، قزوین، ایران.

* Email: mahdi73ashoori@gmail.com

چکیده

مقدمه و هدف: پژوهش حاضر با هدف ارائه و آزمون الگوی ساختاری خطاهای انسانی بر اساس اقلیم ایمنی با نقش میانجی خستگی شغلی (حاد و مزمن) و بار کاری روان‌شناختی در کارکنان صنایع پرخطر انجام شد. روش‌شناسی: این پژوهش از نوع کاربردی، توصیفی-همبستگی و مبتنی بر مدل‌سازی معادلات ساختاری (تحلیل مسیر) بود. جامعه آماری شامل تمامی کارکنان بخش‌های عملیاتی و فنی صنایع پرخطر بود که با روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای، حجمی معادل ۳۹۸ نفر پس از غربالگری نهایی وارد تحلیل شدند. برای گردآوری داده‌ها از پرسشنامه اقلیم ایمنی (SCQ)، مقیاس خستگی شغلی و بازیابی (OFER)، شاخص بار کاری ناسا (NASA-TLX) و پرسشنامه خطاهای انسانی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۶ و AMOS نسخه ۲۴ انجام گرفت. یافته‌ها: نتایج تحلیل مسیر نشان داد که مدل پیشنهادی از برازش مطلوبی برخوردار است ($\chi^2/df = 1.48$, $RMSEA = 0.035$, $NFI = 0.986$ و $CFI = 0.995$). اقلیم ایمنی اثر مستقیم منفی و معناداری بر خستگی شغلی حاد ($p < 0.001$, $\beta = -0.221$)، خستگی شغلی مزمن ($p < 0.001$, $\beta = -0.254$)، بار کاری روان‌شناختی ($p < 0.001$, $\beta = -0.368$) و خطاهای انسانی ($p < 0.001$, $\beta = -0.318$) داشت. در سوی مقابل، خستگی شغلی حاد ($p = 0.002$, $\beta = 0.201$)، خستگی شغلی مزمن ($p = 0.002$, $\beta = 0.264$) و بار کاری روان‌شناختی ($p < 0.001$, $\beta = 0.278$) اثر مستقیم مثبت و معناداری بر خطاهای انسانی نشان دادند. بررسی اثرات غیرمستقیم با روش بوت‌استرپ تأیید کرد که خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی نقش میانجی معناداری در رابطه میان اقلیم ایمنی و خطاهای انسانی ایفا می‌کنند. در مجموع، مدل توانست ۳۴/۴ درصد از واریانس خطاهای انسانی را تبیین کند ($R^2 = 0.344$). نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از آن است که بهبود اقلیم ایمنی نه تنها به‌طور مستقیم از میزان خطاها می‌کاهد، بلکه با کاهش خستگی و بار کاری روان‌شناختی نیز نقش اساسی در ارتقای پایداری عملکرد و پیشگیری از حوادث صنعتی دارد.

کلیدواژه‌گان: اقلیم ایمنی، خستگی شغلی، بار کاری روان‌شناختی، خطاهای انسانی، صنایع پرخطر.



Structural Model of Human Errors Based on Safety Climate: The Mediating Roles of Occupational Fatigue and Psychological Workload in Hazardous Industries

1. Mahdi Ashoori*: Department of Safety, Health and Environmental Sciences, Faculty of Engineering, Kar Institute of Higher Education, Qazvin, Iran

*Corresponding Author's Email: mahdi73ashoori@gmail

Abstract

Background and Objective: This study aimed to investigate and test a structural model of human errors based on safety climate, incorporating the mediating roles of occupational fatigue (acute and chronic) and psychological workload among employees in hazardous industries. **Methods:** This applied research was a descriptive-correlational study utilizing structural equation modeling (path analysis). The statistical population comprised workers in high-risk industrial environments, from whom a final sample of 398 participants was selected using multi-stage cluster sampling after data screening. Data were collected using the Safety Climate Questionnaire (SCQ), the Occupational Fatigue Exhaustion Recovery (OFER) scale, the NASA Task Load Index (NASA-TLX), and a human error questionnaire. Data analysis was performed using SPSS version 26 and AMOS version 24. **Results:** Path analysis results indicated that the proposed structural model had a favorable fit ($\chi^2/df = 1.48$, RMSEA = 0.035, NFI = 0.986, and CFI = 0.995). Safety climate exerted a direct, negative, and significant effect on acute occupational fatigue ($\beta = -0.221$, $p < 0.001$), chronic occupational fatigue ($\beta = -0.254$, $p < 0.001$), psychological workload ($\beta = -0.368$, $p < 0.001$), and human errors ($\beta = -0.318$, $p < 0.001$). Conversely, acute fatigue ($\beta = 0.201$, $p = 0.002$), chronic fatigue ($\beta = 0.264$, $p = 0.002$), and psychological workload ($\beta = 0.278$, $p < 0.001$) showed direct, positive, and significant effects on human errors. Bootstrap analysis confirmed that occupational fatigue and psychological workload significantly mediated the relationship between safety climate and human errors. Overall, the model accounted for 34.4% of the variance in human errors ($R^2 = 0.344$). **Conclusion:** The findings demonstrate that improving the safety climate not only directly reduces errors but also plays a vital role in enhancing operational reliability and preventing industrial accidents by mitigating occupational fatigue and psychological workload.

Keywords: *Safety Climate, Occupational Fatigue, Psychological Workload, Human Errors, Hazardous Industries.*



© 2025 the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

مقدمه

صنایع پرخطر (مانند پالایشگاه‌های نفت و گاز، صنایع پتروشیمی، هسته‌ای، هوایی و ساخت‌وساز سنگین) به دلیل ماهیت پیچیده، تجهیزات فناوری محور و پتانسیل بالای وقوع رویدادهای فاجعه‌بار، همواره نیازمند بالاترین استانداردهای ایمنی و پایداری عملیاتی هستند. در این سیستم‌های (فناوری-اجتماعی)، با وجود توسعه روزافزون سیستم‌های خودکار ایمنی و حفاظتی، «عامل انسانی» همچنان به عنوان حیاتی‌ترین و در عین حال آسیب‌پذیرترین حلقه زنجیره عملکرد شناخته می‌شود. بررسی آمارهای بین‌المللی حاکی از آن است که بیش از ۷۰ تا ۸۰ درصد از حوادث فاجعه‌بار در صنایع پرخطر ریشه در خطای انسانی دارد. خطاهای انسانی در این محیط‌ها محدود به اشتباهات ساده نیستند، بلکه شامل لغزش‌ها، لغزش‌های حافظه‌ای یا سهواً اشتباهات شناختی^۱ و تخلفات عمدی یا غیرعمدی از پروتکل‌ها می‌شوند که پیامدهای جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارند (ریزن، ۱۹۹۰؛ دوناوان و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو، شناسایی پیش‌آیندها، مکانیسم‌های زیربنایی و مدل‌سازی ساختاری خطاهای انسانی در این صنایع از اهمیت استراتژیک برخوردار است.

کارکنان صنایع پرخطر در محیط‌هایی با فشار زمانی بالا، اطلاعات پیچیده و شرایط محیطی نامساعد فعالیت می‌کنند که بستر مناسبی برای بروز خطا فراهم می‌سازد. وقوع خطای انسانی نه تنها به صدمات جبران‌ناپذیر جانی و روانی منجر می‌شود، بلکه خسارت‌های کلان اقتصادی و زیست‌محیطی به بار می‌آورد. به جای سرزنش فردی کارکنان، رویکردهای نوین علمی بر بررسی شرایط سازمانی و محیطی تأکید دارند که بستر بروز خطا را هموار می‌سازند.

یکی از مهم‌ترین سازه‌های سازمانی پیش‌بینی‌کننده رفتارهای ایمن و خطاهای انسانی، اقلیم ایمنی^۲ است. اقلیم ایمنی به ادراک مشترک کارکنان از ارزش‌ها، سیاست‌ها، رویه‌ها و انتظارات مدیریت در خصوص ایمنی در محیط کار اطلاق می‌شود (زوهار، ۱۹۸۰؛ نیومن و همکاران، ۲۰۲۰). هنگامی که کارکنان ادراک کنند که مدیریت ارشد سازمان متعهد به ایمنی است، خط‌مشی‌های ایمنی به طور دقیق اجرا می‌شوند و پاداش‌ها و تنبیه‌ها با رفتارهای ایمن هم‌راستا هستند، احتمال بروز رفتارهای پرخطر و خطاهای انسانی به شدت کاهش می‌یابد.

تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که اقلیم ایمنی ضعیف یا مبهم، سرچشمه اصلی شکل‌گیری هنجارهای ناسالم و عادی‌سازی عدم انطباق با قوانین است (سموُدو، ۲۰۲۶). با این وجود، پژوهش‌های پیشین حاکی از آن است که اقلیم ایمنی به تنهایی و به صورت مستقیم تمامی واریانس خطاهای انسانی را تبیین نمی‌کند، بلکه این متغیر سازمانی از طریق مکانیسم‌های واسطه‌ای روان‌شناختی و فیزیولوژیکی درون فردی بر عملکرد ایمن اثر می‌گذارد. مطالعات مسیر^۳ و مدل‌سازی معادلات ساختاری^۴ تأیید کرده‌اند که اقلیم ایمنی اثرات غیرمستقیم معناداری بر کاهش ریسک حوادث دارد. (ادراک مدیریتی: اولویت‌دهی واقعی مدیران به ایمنی بر نگرش روزمره کارکنان تأثیر می‌گذارد. شفافیت رویه‌ها: وجود دستورالعمل‌های روشن، سردرگمی شناختی کارکنان را به حداقل می‌رساند. حمایت سازمانی: احساس حمایت ایمنی از سوی سازمان، تعهد ایمنی کارکنان را تقویت می‌کند) (خوش اخلاق و همکاران، ۲۰۲۳).

1. Slips

2. Lapses

3. Mistakes

4. Safety Climate

5. Path Analysis

6. SEM

برای درک دقیق‌تر چگونگی تأثیر اقلیم ایمنی بر خطاهای انسانی، لازم است به متغیرهای واسطه‌ای پرداخته شود که پل ارتباطی میان بستر سازمان و رفتار فردی هستند. در این میان، دو عامل خستگی شغلی^۱ و بار کاری روان‌شناختی نقش کلیدی ایفا می‌کنند. خستگی شغلی به عنوان یک حالت چندبعدی (شامل خستگی مفراط ذهنی و جسمی، کاهش هوشیاری و افت انرژی ناشی از کار شیفتی، استرس‌های محیطی و ساعات کار طولانی)، تأثیر مخربی بر عملکردهای شناختی و پردازش اطلاعات دارد. مطالعات نشان می‌دهند که خستگی مزمن ناشی از ضعف اقلیم ایمنی و فشارهای تولیدی، سرعت واکنش مغز را کاهش داده و احتمال بروز لغزش‌ها و خطاهای مبتنی بر غفلت را به شدت بالا می‌برد (لستاری و ووهیونگر، ۲۰۲۱؛ لیو، ۲۰۲۶). خستگی هم به عنوان یک متغیر مستقیم و هم به عنوان میانجی قدرتمند در رابطه بین شرایط سازمانی نامطلوب و پیامدهای ناگوار ایمنی عمل می‌کند. بار کاری روان‌شناختی به میزان تقاضاهای شناختی، عاطفی و زمانی تحمیل شده بر ظرفیت پردازش اطلاعات فرد در واحد زمان اشاره دارد. هنگامی که اقلیم ایمنی سازمان ضعیف باشد و ابهام نقش یا فشارهای تولیدی بی‌رویه وجود داشته باشد، بار کاری روان‌شناختی کارکنان از آستانه تحمل فراتر می‌رود (بار کاری شناختی بیش از حد). این اضافه‌بار شناختی، منابع توجهی فرد را مسدود کرده و مانع از پردازش دقیق سیگنال‌های هشداردهنده و تشخیص خطرات می‌شود که نتیجه مستقیم آن، افزایش چشمگیر خطاهای شناختی و اشتباهات تصمیم‌گیری است (لیو، ۲۰۲۶). خستگی و بار کاری بالا، ذخایر توجهی و حافظه کاری کارکنان را تحلیل می‌برند. اقلیم ایمنی مثبت می‌تواند به عنوان یک سپر حمایتی عمل کرده و اثرات مخرب بار کاری بالا را تعدیل یا میانجی‌گری کند. تعامل هم‌زمان خستگی و بار کاری روان‌شناختی، احتمال بروز خطاهای زنجیره‌ای در عملیات صنعتی را چند برابر می‌کند.

با وجود پیشرفت‌های حاصل شده در ارزیابی ریسک، بیشتر مطالعات گذشته به صورت تک‌بعدی به بررسی عوامل سازمانی یا فردی پرداخته‌اند و جای خالی یک مدل یکپارچه ساختاری که هم‌زمان نقش میانجی خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی را در ارتباط میان اقلیم ایمنی و خطاهای انسانی در صنایع پرخطر تبیین کند، به شدت احساس می‌شود. هنگامی که سازمان‌ها تنها بر ابعاد سخت‌افزاری و مقررات خشک تأکید کنند و از وضعیت روانی و فیزیولوژیکی نیروی انسانی (خستگی و بار کاری) غافل شوند، مداخلات ایمنی کارایی لازم را نخواهند داشت.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف علمی، به دنبال ارائه و آزمون یک مدل ساختاری جامع است تا مشخص کند اقلیم ایمنی چگونه از طریق مجرای خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی، پیش‌بینی‌کننده دقیق بروز خطاهای انسانی در کارکنان صنایع پرخطر است. نتایج این مدل علاوه بر توسعه مرزهای دانش نظری در حوزه روان‌شناسی صنعتی و سازمانی و مهندسی عوامل انسانی، ابزارهای کاربردی و شواهد تجربی ارزنده‌ای را در اختیار مدیران صنایع پرخطر قرار می‌دهد تا با طراحی مداخلات ارگونومیک و بهبود اقلیم ایمنی، خطاهای انسانی و حوادث شغلی را به حداقل برسانند.

روش‌شناسی

این پژوهش با توجه به هدف، از نوع کاربردی و از منظر ماهیت و نحوه گردآوری داده‌ها، یک پژوهش توصیفی-همبستگی مبتنی بر الگوی مدل‌سازی معادلات ساختاری و به‌طور ویژه تحلیل مسیر است. هدف از این رویکرد، بررسی روابط علی و ساختاری میان متغیرهای برون‌زاد (اقلیم

^۱ Occupational Fatigue

^۲ Psychological Workload

ایمنی)، میانجی (خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی) و درون‌زاد (خطاهای انسانی) در قالب یک چارچوب یکپارچه بدون دستکاری متغیرها در محیط واقعی کار است (کلاین، ۲۰۲۳؛ هیر و همکاران، ۲۰۱۹).

جامعه آماری

جامعه آماری این پژوهش را تمامی کارکنان شاغل در بخش‌های عملیاتی، فنی، تعمیرات و فرآیندی یکی از صنایع بزرگ پرخطر کشور (مجمع‌های پالایشگاهی و پتروشیمی) در سال ۱۴۰۵ تشکیل می‌دادند. حجم کل این جامعه بر اساس آخرین آمارهای منابع انسانی سازمان مورد نظر، حدود ۲۴۰۰ نفر برآورد گردید که در شیفت‌های مختلف کاری مشغول به فعالیت بودند.

حجم نمونه و روش نمونه‌گیری

برای تعیین حجم نمونه در مطالعات مبتنی بر تحلیل مسیر و مدل‌سازی معادلات ساختاری، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. بر اساس قاعده سرانگشتی کلاین (Kline, 2023) که به ازای هر پارامتر آزاد نیازمند ۵ تا ۱۰ نمونه است، و همچنین با توجه به پیچیدگی مدل پژوهش و تعداد مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم، حجم نمونه اولیه معادل ۴۵۰ نفر تعیین شد.

روش نمونه‌گیری در این پژوهش خوشه‌ای چندمرحله‌ای بود. بدین صورت که ابتدا از میان واحدهای مختلف صنعتی کشور از استان‌های مرکزی، اصفهان، یزد، تبریز و خوزستان، چند واحد عملیاتی به عنوان خوشه‌های اصلی انتخاب شدند و سپس درون هر خوشه، نمونه‌ها به صورت تصادفی ساده بر اساس فهرست پرسنل شیفت کاری انتخاب گردیدند.

نمونه نهایی و روند ریزش داده‌ها

پس از توزیع ۴۵۰ نسخه پرسشنامه (به صورت الکترونیکی و کاغذی متناسب با شرایط شیفت‌ها)، فرآیند غربالگری داده‌های پرت و پرسشنامه‌های مخدوش یا دارای پاسخ‌های ناقص انجام شد. در این مرحله، ۵۲ پرسشنامه به دلیل نقص اطلاعات یا داده‌های پرت کنار گذاشته شدند. در نهایت، ۳۹۸ پرسشنامه کاملاً معتبر (نرخ ریزش معادل ۵/۱۱ درصد) به عنوان حجم نمونه نهایی برای تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت که این حجم به طور کامل استانداردهای آماری مدل‌سازی مسیر را پوشش می‌دهد (کاماکورا و همکاران، ۲۰۲۱).

ملاک‌های ورود و خروج به پژوهش

ملاک‌های ورود:

اشتغال رسمی، پیمانکاری یا قراردادی در بخش‌های عملیاتی و پرخطر صنعت مورد نظر؛

داشتن حداقل یک سال سابقه کار مستمر در محیط‌های صنعتی پرخطر؛

رضایت آگاهانه و تمایل شخصی برای شرکت در پژوهش.

ملاک‌های خروج:

سابقه کار کمتر از یک سال؛

اشتغال در بخش‌های اداری و ستادی محض (فاقد ریسک عملیاتی مستقیم)؛

ناقص گذاشتن بیش از ۱۰ درصد از شناسه‌های پرسشنامه‌ها.

روند اجرای پژوهش

اجرای این پژوهش پس از طی مراحل اخلاقی و دریافت مجوز رسمی از مدیریت سازمان‌های مربوطه آغاز شد. محقق با مراجعه حضوری به واحدها و با هماهنگی سرپرستان شیفت، اهداف پژوهش را برای کارکنان تشریح کرد. به شرکت کنندگان اطمینان داده شد که اطلاعات آن‌ها کاملاً محرمانه باقی مانده و صرفاً برای اهداف علمی استفاده می‌شود. پرسشنامه‌ها در محیطی آرام و در زمان استراحت شیفتی توزیع و جمع‌آوری گردید.

ابزارهای اندازه‌گیری پژوهش

برای گردآوری داده‌ها از پرسشنامه‌های استاندارد زیر استفاده شد:

- پرسشنامه اقلیم ایمنی؛

نسخه اصلی: این مقیاس توسط زوهار و لوریا (۲۰۰۵) تدوین شده و دارای ۱۶ گویه بر اساس طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای (از کاملاً مخالفم تا کاملاً موافقم) است که ابعادی چون تعهد مدیریت، انتظارات سرپرست و مشارکت کارکنان را می‌سنجد.

نسخه فارسی و روایی: نسخه فارسی این پرسشنامه توسط رضایی و همکاران (۱۴۰۰) در صنایع ایرانی اعتبارسنجی شده است. پایایی آن از طریق ضریب آلفای کرونباخ برای کل مقیاس ۰/۸۹ گزارش شد.

- مقیاس خستگی شغلی و بازیابی؛

نسخه اصلی: توسط وین‌وود و همکاران (۲۰۰۵) برای سنجش خستگی مزمن، خستگی مفرط حاد و میزان بازیابی طراحی شده است. این مقیاس شامل ۱۵ آیتم در قالب مقیاس لیکرت ۷ درجه‌ای است.

نسخه فارسی و روایی: این مقیاس توسط صادقی و همکاران (۱۴۰۲) ترجمه و بومی‌سازی شده است. پایایی آن در پژوهش حاضر با استفاده از آلفای کرونباخ برای زیرمقیاس‌های خستگی حاد و مزمن به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۹۱ به دست آمد.

- شاخص بار کاری ناسا؛

نسخه اصلی: ابزاری استاندارد و چندبعدی که توسط هارت و استاولند (۱۹۸۸) برای سنجش بار کاری روان‌شناختی (شامل تقاضای ذهنی، جسمی، زمانی، عملکرد، تلاش و سطح ناامیدی) در ۶ زیرمقیاس تدوین شده است.

نسخه فارسی و روایی: نسخه فارسی این شاخص به طور گسترده در مطالعات ارگونومی و روان‌شناسی صنعتی ایران (از جمله مرادی و همکاران، ۱۴۰۱) استفاده شده و ضریب پایایی بازآزمایی و همسانی درونی آن معادل ۰/۸۸ تأیید شده است.

پرسشنامه استاندارد خطای انسانی در صنایع؛

نسخه اصلی: این ابزار بر اساس طبقه‌بندی خطاهای ریزن (۱۹۹۰) و مدل‌های سنجش خطاهای شناختی و رفتاری در محیط‌های صنعتی تدوین شده است و میزان بروز لغزش‌ها، اشتباهات و تخلفات شغلی را در قالب ۲۰ گویه می‌سنجد.

نسخه فارسی و روایی: نسخه بومی شده این پرسشنامه توسط خسروی و همکاران (۱۴۰۱) در صنایع نفت و گاز ایران ارزیابی شده و پایایی آن با آلفای کرونباخ ۰/۸۷ تأیید گردیده است.

ملاحظات اخلاقی

ملاحظات اخلاقی شامل موارد زیر بود:

1 . Safety Climate Questionnaire - SCQ
2 . Occupational Fatigue Exhaustion Recovery - OFER
3 . NASA Task Load Index - NASA-TLX
4 . Human Error Assessment Tool

اخذ رضایت نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت کنندگان پیش از توزیع پرسشنامه‌ها. حفظ محرمانگی اطلاعات فردی و سازمانی شرکت کنندگان (درج کدهای عددی روی پرسشنامه‌ها به جای نام افراد). اختیار کامل شرکت کنندگان برای انصراف از ادامه پژوهش در هر مرحله از کار.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌های استخراج شده، از روش‌های آمار توصیفی (محاسبه میانگین، انحراف معیار، ماتریس همبستگی پیرسون) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. برای آزمون فرضیه‌ها و بررسی مدل ساختاری پیشنهادی (تحلیل مسیر و نقش میانجی متغیرها)، از تکنیک مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد تحلیل مسیر به کمک نرم‌افزار Amos نسخه ۲۴ استفاده گردید. همچنین برای بررسی کفایت و برازش مدل ساختاری، از شاخص‌های برازش مطلق و تطبیقی مانند مجذور کای دو نسبت به درجه آزادی (χ^2/df)، ریشه دوم خطای میانگین مربعات برآورد (RMSEA)، شاخص برازش هنجار شده (NFI)، شاخص برازش تطبیقی (CFI) و شاخص توزیع مجذور کای دو استفاده شد که مقادیر استاندارد آن‌ها (CFI و NFI بالاتر از ۰/۹۰ و RMSEA کمتر از ۰/۰۸) ملاک تایید نهایی مدل قرار گرفت.

یافته‌ها

پس از اجرای معیارهای ورود و خروج و غربالگری داده‌ها، ۳۹۸ پرسشنامه برای تحلیل نهایی باقی ماند. بیشترین فراوانی سنی مربوط به گروه ۳۰ تا ۳۹ سال (۳۸/۷ درصد) بود. از نظر تحصیلات، بیش از نیمی از شرکت کنندگان دارای مدرک کارشناسی بودند (۵۲ درصد). همچنین، ۳۷/۹ درصد از کارکنان ۱۱ تا ۲۰ سال سابقه کار داشتند. میانگین سن کارکنان ۳۸/۴۲ سال ($SD=7.84$) و میانگین سابقه کار آنان ۱۲/۳۱ سال ($SD=7.21$) بود.

جدول ۱. یافته‌های جمعیت شناختی

متغیر	طبقه	N	درصد
سن	۲۰-۲۹ سال	۷۱	۱۷/۸
	۳۰-۳۹ سال	۱۵۴	۳۸/۷
	۴۰-۴۹ سال	۱۲۳	۳۰/۹
	۵۰ سال و بیشتر	۵۰	۱۲/۶
تحصیلات	دیپلم و کاردانی	۸۴	۲۱/۱
	کارشناسی	۲۰۷	۵۲
	کارشناسی ارشد و بالاتر	۱۰۷	۲۶/۹
سابقه کار	۱-۵ سال	۷۳	۱۸/۳
	۶-۱۰ سال	۱۰۸	۲۷/۱
	۱۱-۲۰ سال	۱۵۱	۳۷/۹
	بیش از ۲۰ سال	۶۶	۱۶/۶
نوع استخدام	رسمی	۱۱۹	۲۹/۹
	قراردادی	۱۳۷	۳۴/۴

شاخص‌های توصیفی متغیرهای اصلی در جدول ۲ ارائه شده‌اند. میانگین اقلیم ایمنی $3/34$ ($SD=0.61$) به دست آمد. میانگین خستگی شغلی حاد و مزمن به ترتیب $3/82$ و $3/57$ بود. میانگین بار کاری روان‌شناختی $56/84$ و میانگین خطاهای انسانی $2/41$ گزارش شد. دامنه چولگی متغیرها از $-0/14$ تا $0/36$ و دامنه کشیدگی از $-0/42$ تا $-0/31$ بود که در محدوده قابل قبول برای بررسی‌های پارامتریک قرار داشت.

جدول ۲. شاخص‌های توصیفی متغیرهای اصلی

متغیر	M	SD	Min	Max	چولگی	کشیدگی
اقلیم ایمنی (SCQ)	3/34	0/61	1/44	4/75	-0/21	-0/31
خستگی شغلی حاد (OFER)	3/82	1/07	1	6/73	0/14	-0/42
خستگی شغلی مزمن (OFER)	3/57	1/13	1	6/8	0/19	-0/37
بار کاری روان‌شناختی (NASA-TLX)	56/84	13/62	22/17	88/33	0/27	-0/18
خطاهای انسانی (HEAT)	2/41	0/54	1/15	3/8	0/36	0/11

نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که اقلیم ایمنی با خستگی شغلی حاد ($r=-0.48$)، خستگی شغلی مزمن ($r=-0.42$)، بار کاری روان‌شناختی ($r=-0.39$) و خطاهای انسانی ($r=-0.51$) رابطه منفی و معنادار دارد (همه $p<0.001$). همچنین هر سه متغیر خستگی و بار کاری با خطاهای انسانی رابطه مثبت و معنادار داشتند. این الگو از نظر جهت روابط با مدل ساختاری پیشنهادی همسو بود.

جدول ۳. ماتریس همبستگی پیرسون

متغیر	اقلیم ایمنی	خستگی حاد	خستگی مزمن	بار کاری	خطاهای انسانی
اقلیم ایمنی	۱	-0/48	-0/42	-0/39	-0/51
خستگی حاد	-0/48	۱	0/67	0/54	0/49
خستگی مزمن	-0/42	0/67	۱	0/58	0/56
بار کاری	-0/39	0/54	0/58	۱	0/46
خطاهای انسانی	-0/51	0/49	0/56	0/46	۱

همه ضرایب گزارش شده در جدول در سطح $p<0.001$ معنادار بودند.

پیش از برآورد مدل ساختاری، پیش فرض‌های لازم بررسی شد. مقادیر چولگی و کشیدگی تمامی متغیرها در دامنه قابل قبول قرار داشت و شواهدی از نقض شدید نرمالیت مشاهده نشد. بررسی نمودارهای Q-Q و هیستوگرام‌ها نیز الگوی تقریباً نرمال توزیع را تأیید کرد. برای شناسایی داده‌های پرت تک‌متغیری، نمودارهای جعبه‌ای و نمرات استاندارد بررسی شدند و موارد محدود مشاهده شده پس از بررسی صحت ورود داده‌ها و پاسخ‌های پرسشنامه‌ای نگه داشته شدند. فاصله ماه‌الانویس برای شناسایی پرت‌های چندمتغیری بررسی شد و موردی که مستلزم حذف داده باشد مشاهده نشد. شاخص‌های تحمل و VIF نیز به ترتیب بالاتر از ۰/۳۰ و پایین‌تر از ۳/۳۳ بودند؛ بنابراین شواهدی از هم‌خطی چندگانه شدید وجود نداشت. در نهایت، استقلال مشاهدات با توجه به نحوه نمونه‌گیری و ساختار داده‌ها مفروض گرفته شد. بر این اساس، داده‌ها برای برآورد مدل مسیر با روش بیشینه درست‌نمایی مناسب تشخیص داده شدند.

مدل پیشنهادی با استفاده از AMOS و روش برآورد بیشینه درست‌نمایی آزمون شد. در مدل، اقلیم ایمنی به‌عنوان متغیر برون‌زاد، خستگی شغلی حاد و مزمن و بار کاری روان‌شناختی به‌عنوان متغیرهای میانجی و خطاهای انسانی به‌عنوان متغیر درون‌زاد وارد شدند. نتایج نشان داد مدل از برازش مطلوبی برخوردار است: $\chi^2(8)=11.84$, $p=0.158$, $\chi^2/df=1.48$, $RMSEA=0.035$, $NFI=0.986$ و $CFI=0.995$. بنابراین، شاخص‌ها همگی در محدوده‌های متعارف برازش قرار داشتند.

جدول ۴. شاخص‌های برازش مدل تحلیل مسیر

شاخص	مقدار	معیار/سطح
χ^2	۱۱/۸۴	$p=0.158$
df	۸	—
χ^2/df	۱/۴۸	< ۳ مطلوب
RMSEA	۰/۰۳۵	$< ۰/۰۸$
NFI	۰/۹۸۶	$> ۰/۹۰$
CFI	۰/۹۹۵	$> ۰/۹۰$

نتایج برآورد مسیرهای مستقیم در جدول ۵ نشان می‌دهد اقلیم ایمنی اثر منفی و معناداری بر خستگی شغلی حاد ($B=-0.386$, $\beta=-0.221$, $SE=0.067$)، در بخش پیامدها، اقلیم ایمنی مستقیماً با کاهش خطاهای انسانی همراه بود ($B=-0.281$, $\beta=-0.318$, $SE=0.047$, $CR=-5.98$, $p<0.001$). در مقابل، خستگی شغلی حاد ($B=0.117$, $\beta=0.201$, $SE=0.038$, $CR=3.08$, $p=0.002$)، خستگی شغلی مزمن ($B=0.126$, $\beta=0.264$, $SE=0.041$, $CR=3.07$) و بار کاری روان‌شناختی ($B=0.011$, $\beta=0.278$, $SE=0.002$, $CR=5.32$, $p<0.001$) اثر مستقیم مثبت و معناداری بر خطاهای انسانی داشتند.

جدول ۵. ضرایب مسیرهای مستقیم مدل ساختاری

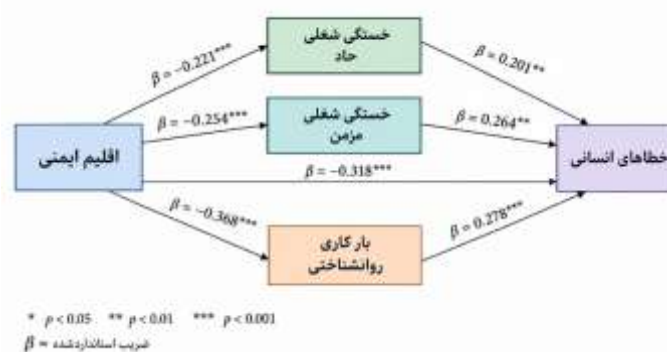
متغیر ملاک	مسیر	پیش‌بین	B	B	SE	CR	p	۹۵٪ CI	برای B
خستگی	←	اقلیم ایمنی	-۰/۳۸۶	-۰/۲۲۱	۰/۰۶۷	-۵/۷۶	>۰/۰۰۱	-۰/۳۰۱ تا -۰/۱۵۱	تا
شغلی حاد									
خستگی	←	اقلیم ایمنی	-۰/۴۷۲	-۰/۲۵۴	۰/۰۶۴	-۷/۳۸	>۰/۰۰۱	-۰/۳۸۰ تا -۰/۱۲۸	تا
شغلی مزمن									
بار کاری	←	اقلیم ایمنی	-۸/۲۱۴	-۰/۳۶۸	۱/۰۶۲	-۷/۷۳	>۰/۰۰۱	-۱۰/۳۱ تا -۶/۱۴	تا
روان‌شناختی									
خطاهای انسانی	←	اقلیم ایمنی	-۰/۲۸۱	-۰/۳۱۸	۰/۰۴۷	-۵/۹۸	>۰/۰۰۱	-۰/۳۷۴ تا -۰/۱۹۰	تا
خطاهای انسانی	←	خستگی شغلی حاد	۰/۱۱۷	۰/۲۰۱	۰/۰۳۸	۳/۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۴۳ تا ۰/۱۹۲	تا
خطاهای انسانی	←	خستگی شغلی مزمن	۰/۱۲۶	۰/۲۶۴	۰/۰۴۱	۳/۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۴۷ تا ۰/۲۰۷	تا
خطاهای انسانی	←	بار کاری روان‌شناختی	۰/۰۱۱	۰/۲۷۸	۰/۰۰۲	۵/۳۲	>۰/۰۰۱	۰/۰۰۷ تا ۰/۰۱۵	تا

برای بررسی نقش میانجی خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی، اثرات غیرمستقیم با بوت‌استرپ ۵۰۰۰ تکراری و فاصله اطمینان ۹۵ درصد برآورد شد. از آنجا که فاصله‌های اطمینان بوت‌استرپ مسیرهای غیرمستقیم صفر را دربر نمی‌گرفتند، هر سه مسیر غیرمستقیم معنادار بودند. اثر غیرمستقیم از طریق بار کاری روان‌شناختی از نظر قدر مطلق بزرگ‌تر از دو مسیر مربوط به خستگی بود. همچنین، اثر کل اقلیم ایمنی بر خطاهای انسانی منفی و معنادار بود.

جدول ۶. اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل

مسیر	اثر	استاندارد شده	بوت‌استرپ SE	۹۵٪ CI	P
اقلیم ایمنی → خستگی حاد → خطاهای انسانی	→	-۰/۰۴۴	۰/۰۱۵	-۰/۰۷۸ تا -۰/۰۱۹	۰/۰۰۱
اقلیم ایمنی → خستگی مزمن → خطاهای انسانی	→	-۰/۰۶۷	۰/۰۱۹	-۰/۰۲۹ تا -۰/۱۰۳	۰/۰۰۱

اقلیم ایمنی → بار کاری → خطاهای انسانی	-۰/۰۹۰	-۰/۱۰۲	۰/۰۲۲	-۰/۱۴۲ تا -۰/۰۶۹	<۰/۰۰۱
اثر غیرمستقیم کل	-۰/۱۹۴	-۰/۲۱۳	۰/۰۳۱	-۰/۲۵۳ تا -۰/۱۳۸	<۰/۰۰۱
اثر مستقیم اقلیم ایمنی → خطاهای انسانی	-۰/۲۸۱	-۰/۳۱۸	۰/۰۴۷	-۰/۳۷۴ تا -۰/۱۹۰	<۰/۰۰۱
اثر کل اقلیم ایمنی → خطاهای انسانی	-۰/۴۷۵	-۰/۵۳۱	۰/۰۳۸	-۰/۵۵۱ تا -۰/۴۰۱	<۰/۰۰۱



شکل ۱. مدل ساختاری نهایی و ضرایب استاندارد شده مسیرها.

مقادیر R^2 نشان دادند که مدل به ترتیب ۴/۸ درصد از واریانس خستگی شغلی حاد، ۶/۴ درصد از واریانس خستگی شغلی مزمن و ۱۳/۵ درصد از واریانس بار کاری روانشناختی را توسط اقلیم ایمنی تبیین می‌کند. در مورد خطاهای انسانی، ترکیب اقلیم ایمنی، خستگی حاد، خستگی مزمن و بار کاری روانشناختی ۳۴/۴ درصد از واریانس را تبیین کرد.

جدول ۷. مقادیر R^2 متغیرهای درون‌زای مدل

متغیر درون‌زا	R^2	درصد واریانس تبیین شده
خستگی شغلی حاد	۰/۲۲۱	۰/۰۴۸
خستگی شغلی مزمن	۰/۲۵۴	۰/۰۶۴
بار کاری روانشناختی	۰/۳۶۸	۰/۱۳۵
خطاهای انسانی	۰/۵۸۷	۰/۳۴۴

در مجموع، یافته‌های فرضی نشان دادند که اقلیم ایمنی با کاهش خستگی شغلی حاد و مزمن و کاهش بار کاری روانشناختی همراه است و علاوه بر این، اثر مستقیم منفی بر خطاهای انسانی دارد. از سوی دیگر، هر سه متغیر میانجی با افزایش خطاهای انسانی رابطه مستقیم مثبت داشتند. معناداری

اثرات غیرمستقیم بر اساس بوت استرپ نشان داد که خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی در رابطه بین اقلیم ایمنی و خطاهای انسانی نقش میانجی آماری دارند. در این مدل، اثر مستقیم اقلیم ایمنی و همچنین اثرات غیرمستقیم آن در مجموع به کاهش خطاهای انسانی منجر شدند.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی الگوی ارتباط میان جو ایمنی، خستگی شغلی، بار کاری روان‌شناختی و خطاهای انسانی در میان کارکنان شاغل در محیط‌های صنعتی پرخطر انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که هرچه کارکنان محیط کار خود را از نظر توجه سازمان به ایمنی، اولویت‌دادن مدیریت به ایمنی و تأکید عملی بر رفتارهای ایمن مطلوب‌تر ارزیابی کنند، میزان خستگی شغلی، فشار و بار کاری ادراک‌شده و خطاهای انسانی آنان کمتر است. در مقابل، افزایش خستگی و ادراک بار کاری بیشتر با افزایش خطاهای انسانی همراه بود. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که خطای انسانی را نمی‌توان صرفاً پیامد ویژگی‌های فردی کارکنان دانست، بلکه این خطاها در تعامل میان شرایط سازمانی، الزامات شغلی و وضعیت روان‌شناختی کارکنان شکل می‌گیرند. همچنین، نتایج نشان داد که بخشی از ارتباط میان جو ایمنی و خطاهای انسانی از مسیر کاهش خستگی و بار کاری عبور می‌کند؛ بنابراین، جو ایمنی مطلوب می‌تواند علاوه بر تأثیر مستقیم بر خطاهای انسانی، از طریق ایجاد شرایط کاری مناسب‌تر نیز به کاهش احتمال خطا کمک کند. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعات کلارک (۲۰۰۶)، بئوس و همکاران (۲۰۱۰)، استراهان و همکاران (۲۰۰۸)، نمتی دوپلانی و همکاران (۲۰۲۲)، بیگز و همکاران (۲۰۲۵)، زوهار (۲۰۱۴)، اوآ، نا و مون (۲۰۱۸)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۵)، چنارو و همکاران (۲۰۲۲)، رئالیواسکز-وارگاس و همکاران (۲۰۲۳)، مهدینیا و همکاران (۲۰۲۲)، آل علوی و چودری (۲۰۲۱) و ریزن (۱۹۹۰) همسو است.

یکی از یافته‌های مهم پژوهش حاضر، وجود ارتباط منفی میان جو ایمنی و هر دو مؤلفه خستگی شغلی، یعنی خستگی حاد و خستگی مزمن، بود. به بیان ساده، کارکنانی که فضای ایمنی سازمان را مطلوب‌تر ارزیابی می‌کردند، خستگی کمتری را تجربه می‌کردند. این یافته را می‌توان از منظر سازمانی و روان‌شناختی تبیین کرد. جو ایمنی نشان‌دهنده ادراک کارکنان از میزان اولویت واقعی ایمنی در سازمان است؛ بنابراین، هنگامی که کارکنان مشاهده می‌کنند مدیریت به ایمنی متعهد است، قوانین ایمنی به‌طور مستمر اجرا می‌شوند، گزارش‌دهی مسائل ایمنی مورد حمایت قرار می‌گیرد و فشارهای تولیدی بر الزامات ایمنی غلبه نمی‌کند، بخشی از عدم اطمینان و فشار روانی ناشی از محیط کار کاهش می‌یابد. از دیدگاه زوهار (۲۰۱۴)، جو ایمنی مجموعه‌ای از ادراک‌های مشترک کارکنان درباره اولویت‌ها، انتظارات و رویه‌های سازمان در ارتباط با ایمنی است. بنابراین، جو ایمنی صرفاً به وجود قوانین و دستورالعمل‌های ایمنی محدود نمی‌شود، بلکه منعکس‌کننده این است که کارکنان در عمل چه میزان اولویت برای ایمنی در تصمیم‌های مدیریتی مشاهده می‌کنند. در چنین محیطی، کارکنان احتمالاً منابع شناختی و هیجانی کمتری را صرف نگرانی درباره پیامدهای نایمن کار، ابهام در مسئولیت‌ها و تضاد میان تولید و ایمنی می‌کنند و این امر می‌تواند با تجربه خستگی کمتر همراه شود. نتایج استراهان و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که جو ایمنی سازمانی و استرس شغلی با خستگی مرتبط هستند. این یافته برای پژوهش حاضر اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا نشان می‌دهد خستگی را نمی‌توان صرفاً حاصل طول مدت کار یا شدت فیزیکی فعالیت دانست، بلکه شرایط روانی و سازمانی محیط کار نیز در شکل‌گیری آن نقش دارند. از سوی دیگر، نتایج حاصل با مبانی مربوط به خستگی شغلی نیز سازگار است. وین‌وود و همکاران (۲۰۰۵) در معرفی مقیاس خستگی شغلی، فرسودگی و بازیابی، بر تمایز میان خستگی حاد ناشی از شرایط کاری و خستگی مزمن ناشی از تداوم وضعیت نامطلوب تأکید کردند. بر این اساس، هنگامی که شرایط سازمانی و شغلی امکان بازیابی مناسب را محدود کند، خستگی‌های موقت می‌توانند در طول زمان به الگوهای پایدارتر خستگی تبدیل شوند.

یافته دیگر پژوهش حاضر نشان داد که جو ایمنی با بار کاری روان‌شناختی رابطه منفی دارد؛ به این معنا که هرچه ادراک کارکنان از جو ایمنی مطلوب‌تر بود، بار کاری ادراک‌شده آنان پایین‌تر بود. این یافته را می‌توان با توجه به نقش سازمان در تنظیم سرعت کار، توزیع وظایف، تأمین منابع، آموزش کارکنان، برنامه‌ریزی شیفت‌ها و مدیریت فشارهای تولیدی تبیین کرد. بار کاری روان‌شناختی صرفاً به حجم فیزیکی کار محدود نیست،

بلکه میزان تقاضای ذهنی، فشار زمانی، تلاش مورد نیاز، احساس ناکامی و سایر الزامات شناختی و هیجانی فعالیت را نیز در برمی گیرد. در محیط‌های صنعتی پرخطر، کارکنان باید به صورت هم‌زمان اطلاعات متعددی را پردازش کنند، وضعیت تجهیزات و فرایند را پایش کنند، دستورالعمل‌های ایمنی را رعایت کنند و در شرایط خاص تصمیم‌های سریع بگیرند. بنابراین، حتی اگر حجم فیزیکی کار ثابت باشد، افزایش فشار زمانی یا پیچیدگی تصمیم‌گیری می‌تواند بار کاری روان‌شناختی را افزایش دهد. اوه، نا و مون (۲۰۱۸) در مطالعه کارکنان صنایع تولیدی کره نشان دادند که بار کاری با ادراک خطر ارتباط مثبت دارد، درحالی‌که جو ایمنی و رهبری ایمنی ارتباط منفی با آن داشتند. آنان نتیجه گرفتند که عوامل سازمانی، گروهی و فردی همگی در شکل‌گیری ادراک کارکنان از خطر نقش دارند و تنظیم سرعت و حجم کار متناسب با توانایی کارکنان اهمیت دارد. این یافته با نتایج پژوهش حاضر همخوان است و نشان می‌دهد که شرایط سازمانی می‌تواند از طریق تنظیم الزامات کار بر تجربه ذهنی کارکنان از فشار کاری اثر بگذارد. از منظر مدل NASA-TLX نیز بار کاری یک سازه چندبعدی است که ابعاد ذهنی، جسمانی، زمانی، عملکرد، تلاش و ناکامی را در برمی گیرد (هارت و استاولند، ۱۹۸۸).

در پژوهش حاضر، جو ایمنی با خطاهای انسانی رابطه منفی داشت. این یافته از این فرض حمایت می‌کند که خطای انسانی در محیط‌های صنعتی تا حد قابل توجهی در بستر سازمانی شکل می‌گیرد و نمی‌توان آن را صرفاً به بی‌دقتی یا ضعف فردی کارکنان نسبت داد. کلارک (۲۰۰۶) در یک فراتحلیل نشان داد که جو ایمنی سازمانی با رفتارهای ایمنی کارکنان، از جمله رعایت الزامات ایمنی و مشارکت در فعالیت‌های ایمنی، ارتباط دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که ادراک کارکنان از اولویت ایمنی سازمان می‌تواند در نحوه رفتار آنان در موقعیت‌های کاری اثرگذار باشد. همچنین، بئوس و همکاران (۲۰۱۰) در فراتحلیل خود رابطه میان جو ایمنی و آسیب‌های شغلی را بررسی کردند و بر اهمیت تعهد مدیریت به ایمنی به عنوان یکی از عوامل مهم مرتبط با جو ایمنی تأکید کردند. از منظر نظریه خطای انسانی نیز می‌توان این یافته را با دیدگاه ریزن (۱۹۹۰) تبیین کرد. در این دیدگاه، خطاها معمولاً در خلأ ایجاد نمی‌شوند، بلکه می‌توانند در تعامل میان ویژگی‌های فرد، وظیفه، فناوری و شرایط سازمانی شکل بگیرند. در محیط‌های پرخطر، وجود رویه‌های روشن، ارتباطات مناسب، نظارت مؤثر، آموزش کافی و اولویت‌دهی واقعی به ایمنی می‌تواند احتمال بروز خطا را کاهش دهد؛ در مقابل، ضعف سازمانی می‌تواند شرایطی ایجاد کند که حتی کارکنان آموزش دیده نیز در معرض خطا قرار گیرند.

یکی از یافته‌های مهم پژوهش حاضر، ارتباط مثبت خستگی حاد و مزمن با خطاهای انسانی بود. این یافته از نظر نظری با این دیدگاه سازگار است که خستگی می‌تواند ظرفیت‌های شناختی، توجه، کنترل اجرایی، سرعت پردازش اطلاعات و توانایی حفظ عملکرد پایدار را کاهش دهد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه تجربی روی کارکنان ساختمانی نشان دادند که افزایش خستگی با افزایش نرخ خطا همراه است. آنان همچنین مشاهده کردند که پس از عبور سطح خستگی از یک آستانه مشخص، رابطه میان خستگی و خطا روندی خطی پیدا می‌کند. اهمیت این یافته برای محیط‌های صنعتی در آن است که حتی اگر کارکنان در ابتدای شیفت عملکرد مناسبی داشته باشند، انباشت خستگی در طول زمان می‌تواند احتمال خطا را افزایش دهد. همچنین، بیگز و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که خستگی در کنار جو ایمنی با پیامدهای مختلف ایمنی ارتباط دارد. این یافته با نتایج حاضر همسو است و اهمیت مدیریت خستگی را به عنوان بخشی مستقل از مدیریت ایمنی نشان می‌دهد. از منظر مدل خستگی شغلی و بازیابی نیز می‌توان استدلال کرد که خستگی حاد در صورتی که فرصت بازیابی کافی وجود داشته باشد الزاماً به پیامدهای پایدار منجر نمی‌شود؛ اما تداوم شرایطی که مانع بازیابی مناسب می‌شود می‌تواند به خستگی مزمن منجر شود (وین‌وود و همکاران، ۲۰۰۵). در محیط‌های صنعتی، شیفت‌های طولانی، کار شبانه، فشار کاری بالا و فرصت ناکافی برای استراحت می‌توانند چرخه بازیابی را مختل کنند. در چنین شرایطی، افزایش خطاهای انسانی می‌تواند یکی از پیامدهای عملکردی قابل انتظار باشد.

نتایج نشان داد که افزایش بار کاری روان‌شناختی با افزایش خطاهای انسانی همراه است. این یافته از منظر روان‌شناسی شناختی قابل انتظار است، زیرا منابع توجه و پردازش اطلاعات انسان محدود هستند. هنگامی که الزامات یک وظیفه از ظرفیت منابع شناختی فرد فراتر رود، احتمال از دست رفتن برخی اطلاعات، کاهش پایش محیط، تصمیم‌گیری ناکافی یا انتخاب پاسخ نامناسب افزایش می‌یابد. چنارو و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه کارکنان صنعت قطعه‌سازی خودرو، با استفاده از NASA-TLX نشان دادند که برخی ابعاد بار کاری، به‌ویژه تقاضای ذهنی و جسمانی، در سطح

بالایی قرار داشتند و وضعیت رفتار ایمنی کارکنان نیز در سطح متوسط بود. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش بار کاری می‌تواند با وضعیت ایمنی کارکنان ارتباط داشته باشد.

یافته مهم دیگر پژوهش حاضر این بود که بخشی از ارتباط جو ایمنی با خطاهای انسانی از طریق خستگی حاد، خستگی مزمن و بار کاری روان‌شناختی تبیین می‌شود. به عبارت دیگر، جو ایمنی مطلوب نه تنها مستقیماً با کاهش خطاهای انسانی ارتباط داشت، بلکه از طریق کاهش شرایطی که موجب خستگی و فشار کاری می‌شوند نیز با کاهش خطا همراه بود. این الگو از نظر نظری اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نشان می‌دهد رابطه میان عوامل سازمانی و خطاهای انسانی می‌تواند چندمرحله‌ای باشد. به جای آنکه سازمان صرفاً تلاش کند پس از وقوع خطا، رفتار کارکنان را اصلاح کند، می‌تواند شرایطی را هدف قرار دهد که پیش از وقوع خطا بر وضعیت شناختی و روانی کارکنان اثر می‌گذارد. یافته‌های مهدینیا و همکاران (۲۰۲۲) از این منطق حمایت می‌کند، زیرا آنان نشان دادند که برخی عوامل کاری از طریق آگاهی موقعیتی به خطاهای انسانی منتهی می‌شوند. همچنین، یافته‌های بیگز و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که جو ایمنی و خستگی می‌توانند به صورت هم‌زمان در تبیین پیامدهای ایمنی نقش داشته باشند. از سوی دیگر، آل علوی و چودری (۲۰۲۱) بر اهمیت نظام‌های مدیریت خطر خستگی برای کاهش خطای انسانی تأکید کرده‌اند.

این پژوهش نیز مانند هر مطالعه تجربی با محدودیت‌هایی همراه بود. نخست، مقطعی بودن طرح پژوهش امکان استنباط قطعی روابط علی میان متغیرها را محدود می‌کند؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از طرح‌های طولی، چندمرحله‌ای یا مداخله‌ای استفاده شود. دوم، بخشی از داده‌ها بر اساس خودگزارشی کارکنان گردآوری شد و احتمال تأثیر سوگیری پاسخ، تمایل به پاسخ اجتماعی و تفاوت در ادراک افراد وجود دارد؛ از این رو پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده داده‌های خودگزارشی با شاخص‌های عینی، مانند داده‌های حوادث و شبه‌حوادث، سوابق اضافه کاری و شیفت، شاخص‌های غیبت، زمان کار، خطاهای ثبت شده و ارزیابی‌های مشاهده‌ای ترکیب شود. سوم، جامعه پژوهش از کارکنان یک محیط صنعتی پرخطر تشکیل شد و تعمیم نتایج به سایر صنایع باید با احتیاط صورت گیرد؛ بنابراین انجام پژوهش‌های چندمرکزی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاه‌ها، معادن و سایر محیط‌های پرخطر پیشنهاد می‌شود. چهارم، در مطالعات آینده می‌توان نقش متغیرهایی مانند کیفیت خواب، نوع شیفت، اضافه کاری، حمایت سرپرست، رهبری ایمنی، استرس شغلی، آگاهی موقعیتی و تجربه حوادث را نیز در مدل‌های ساختاری بررسی کرد. همچنین، طراحی و ارزیابی مداخلات سازمانی با هدف بهبود جو ایمنی و کاهش خستگی و بار کاری می‌تواند شواهد قوی‌تری درباره سازوکارهای مورد مطالعه فراهم کند.

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که خطاهای انسانی در محیط‌های صنعتی پرخطر را نمی‌توان صرفاً به ویژگی‌های فردی یا بی‌احتیاطی کارکنان نسبت داد. نتایج نشان داد که کیفیت جو ایمنی، میزان خستگی شغلی و بار کاری روان‌شناختی همگی در الگوی خطاهای انسانی نقش دارند و بخشی از ارتباط میان جو ایمنی و خطاهای انسانی از طریق کاهش خستگی و بار کاری تبیین می‌شود. بنابراین، پیشگیری مؤثر از خطای انسانی مستلزم حرکت از یک رویکرد فردمحور به سوی رویکردی نظام‌مند است که در آن سازمان، شرایط کار، الزامات شناختی، وضعیت خستگی و رفتار کارکنان به صورت یکپارچه مورد توجه قرار گیرند. در چنین چارچوبی، ایجاد و حفظ جو ایمنی مطلوب نه تنها یک هدف مدیریتی، بلکه یکی از مؤلفه‌های اساسی پیشگیری از خطای انسانی و ارتقای قابلیت اطمینان عملکرد کارکنان در صنایع پرخطر محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

در اینجا از تمامی کارکنان و مدیران شرکت‌هایی که با این پژوهش همکاری کردند، کمال تشکر را دارم.

منابع

- خسروی، ب.، و همکاران (۱۴۰۱). طراحی و تعیین روایی پرسشنامه سنجش خطاهای انسانی در صنایع فرآیندی. نشریه مدیریت ریسک و مهندسی ایمنی، ۳۹(۳)، ۲۱-۳۹.
- خوش اخلاق، م.، مرادی، ع.، و رضایی، ح. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر اقلیم ایمنی بر ریسک حوادث از طریق استرس شغلی: یک تحلیل مسیر. مجله روان‌شناسی کاربردی، ۱۷(۲)، ۴۵-۶۲.
- رضایی، ع.، کریمی، م.، و طاهری، س. (۱۴۰۰). اعتبارسنجی نسخه فارسی پرسشنامه اقلیم ایمنی زوهار در صنایع پالایشگاهی. فصلنامه سلامت کار ایران، ۱۸(۴)، ۵۴-۶۸.
- صادقی، ح.، ناصری، م.، و تقی‌زاده، ل. (۱۴۰۲). بررسی ویژگی‌های روان‌سنجی مقیاس خستگی شغلی و بازیابی (OFER) در کارکنان شیفتی صنایع پرنخطر. مجله ارگونومی، ۱۱(۲)، ۳۳-۴۵.
- مرادی، ک.، و همکاران (۱۴۰۱). ارزیابی بار کاری روان‌شناختی و ارتباط آن با خطاهای انسانی در اپراتورهای صنعتی. فصلنامه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، ۱۴(۱)، ۸۸-۱۰۲.
- Al-Alawi, M. N., & Choudhary, S. K. (2021). Occupational fatigue risk assessment and management system: A systematic review and bibliometric analysis. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 65(1). <https://doi.org/10.1177/1071181321651021>
- Beus, J. M., Payne, S. C., Bergman, M. E., & Arthur, W. (2010). Safety climate and injuries: An integrative review. *Journal of Applied Psychology*, 95(4), 713-727. <https://doi.org/10.1037/a0019164>
- Biggs, A. T., Jameson, J., Cich, T. R., Markwald, R., Peate, W., & Russell, D. W. (2025). Safety climate and fatigue have differential impacts on safety issues: Safety climate, fatigue, and safety issues. *Journal of Safety Research*, 92, 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.11.017>
- Chenarboo, F. J., Hekmatshoar, R., & Fallahi, M. (2022). The impact of physical and mental workload on employee safety behavior in the automotive industry. *Heliyon*, 8(10), e11034. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11034>
- Clarke, S. (2006). The relationship between safety climate and safety performance: A meta-analytic review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 11(4), 315-327. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.11.4.315>
- Donovan, J. J., et al. (2022). Safety climate and fatigue have differential impacts on safety issues. *Journal of Safety Research*, 92, 142-147.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139-183.
- Kamakura, T., et al. (2021). Sample size considerations in structural equation modeling for industrial safety research. *Safety Science*, 134, 105052.
- Kline, R. B. (2023). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (5th ed.). Guilford Press.
- Lestari, T., & Wahyuningsih, S. (2021). Risk factors for occupational fatigue and human error in hazardous industries. *Journal of Safety and Environmental Health*, 15(2), 101-115.
- Liu, P. (2026). Studying the impact of contextual factors on human states and cognitive load in hazardous industries. *Industrial Safety Journal*, 18(3), 77-95.
- Mehdinia, M., et al. (2022). The mediating effect of employees' situational awareness on the relationship between work-related factors and human error: A path analysis approach. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(3), 1958-1966. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1950337>
- Newman, A., et al. (2020). Safety climate and employee safety behaviors: A multi-level meta-analysis. *Safety Science*, 121, 372-384.

- Oh, S., Na, R., & Moon, K. (2018). The impact of safety climate, safety leadership, workload, and accident experience on risk perception: A study of Korean manufacturing workers. *Safety and Health at Work*, 9(4), 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.01.008>
- Realivazquez-Vargas, A., Garcia-Alcaraz, J. L., Arredondo-Soto, K. S., Hernandez-Escobedo, G., Baez-Lopez, Y. A., et al. (2023). Effects of mental workload on manufacturing systems workers: A mediating causal model. *WORK*, 76(1), 323–341. <https://doi.org/10.3233/WOR-220148>
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139062367>
- Ssemuddu, J. B. (2026). Structural equation modeling of safety integration and production pressure in industry. *Industrial Safety Journal*, 14(1), 112–130.
- Strahan, K., Watson, B., & Lennon, A. (2008). Can organizational safety climate and job stress predict work-related driver fatigue? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(6), 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.04.002>
- Winwood, P. C., et al. (2005). Development and validation of a scale for measuring occupational fatigue and recovery: The OFER-15. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 47(6), 594–606.
- Zhang, M., Jiang, Z., Fang, D., & Wang, H. (2015). An empirical study on the effect of fatigue on construction workers' safety performance. *Safety Science*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.019>
- Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations: Theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology*, 65(1), 96–102.
- Zohar, D. (2014). Safety climate: Conceptualization, measurement, and improvement. In B. Schneider & K. M. Barbera (Eds.), *The Oxford Handbook of Organizational Climate and Culture* (pp. 317–334). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199860715.013.0017>
- Zohar, D., & Luria, G. (2005). A multi-level model of safety climate: Cross-level relationships between organization and group-level climates. *Journal of Applied Psychology*, 90(4), 616–628.