




Predictive Analysis of Cognitive Errors of Control Room Operators: a Case Study in a Petrochemical Industry

Maryam Mosavi ghafarokhi¹ , Davood Afshari¹ , Gholam abbas Shirali^{1*} 

1. Department of Safety and Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Article Info

Received: 2020/10/14;

Accepted: 2020/12/28;

ePublished: 2020/12/28

 [10.30699/jergon.8.4.31](https://doi.org/10.30699/jergon.8.4.31)

Use your device to scan
and read the article online



Corresponding Author

Gholam abbas Shirali

Department of Safety and Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Email: shirali@ajums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent decades, several major accidents have occurred in high-reliability industries such as petrochemical companies. Accident analysis shows that the occurrence of more than 90% of accidents in industries are due to human factor and only with technical-engineering measures and the establishment of safety rules and regulations can not be institutionalized safe behaviors in such industries. Therefore, despite a slight reduction in human presence in these industries, the potential for human error risks is still high. The aim of this study was to identify and assess human errors in a petrochemical plant using the technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors (TRACER).

Methods: The sample size was all the eight operators of control room working in four shifts. In the first step, all tasks were analyzed using the hierarchical task analysis in order to identify sub-tasks. Then, for all the subtasks, different error modes (external and internal), psychological error mechanism (PEM) and performance shaping factors (PSFs) were identified and recorded in TRACER sheet.

Results: The analysis of TRACER sheets indicated that of a total number of 1171 detected errors, the internal and external errors were 50.67% (n=593) and 49.33% (n=578), respectively. In this line, 'timing/sequence' errors with 35.36% and 'quality/selection' errors with 30.03% were identified as the highest and lowest external error modes, respectively. In classifying the internal error modes, action errors with 31.87% and decision making with 10.73% were identified as the highest and lowest external error modes, respectively. Within PEMs, 'distraction/preoccupation' (23.61%) was identified as the main causes of perception errors. The analysis of the PSFs shows that 'Organization' with 27.95% and 'task complexity' with 8.74% were two main factors affecting the task errors.

Conclusion: The current study could identify many of the errors and conditions that affect the performance of operators. Therefore, this study can be introduced as a basis for managers and stockholders of chemical industries with complexity and high risk in order to prioritize human error prevention programs.

Keywords: Cognitive error, TRACER, External error mode, Internal error mode, PSM, PSF

Copyright © 2021, This is an original open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute of the material just in noncommercial usages with proper citation.

How to Cite This Article:

Mosavi ghafarokhi M, Afshari D, Shirali GH. Predictive Analysis of Cognitive Errors of Control Room Operators: a Case Study in a Petrochemical Industry. Iran J Ergon. 2020; 8 (4) :31-49

Extended Abstract

Introduction

So far, many studies have been performed using various methods such as SHERPA [19-23] CREAM [23, 24] and HEART [25] in petrochemical control rooms; however, studies based on technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors (TRACEr) are very rare. Therefore, the aim of this study was to analyze human error in the control room using the TRACEr method. The reason for choosing this method in comparison with similar methods is related to the systematic nature of the error analysis process in this method, identifying the methodological mechanisms of error and the factors that shape the performance, which are considered as the strengths of this method; therefore, due to the supervisory and operational

nature of the control room operator of the petrochemical industry and also the high workload, complexity of this section and the extent of the shaping and psychological factors of error, this study was conducted to analyze the predictive cognitive errors of control room operators in southwestern Iran.

Methods

The sample size was all the eight operators of control room working in four shifts. In the first step, all tasks were analyzed using the hierarchical task analysis in order to identify sub-tasks. Then, for all the subtasks, different error modes (external and internal), psychological error mechanism (PEM) and performance shaping factors (PSFs) were identified and recorded in TRACEr sheet.

Table 1. External error mode (EEM)

Modes	Error description
Quality and selection	Deleting a task, too much action, too little action, too little action, wrong direction, wrong action on right goal, wrong action on wrong goal, wrong action on wrong goal, unnecessary action
Scheduling and sequencing	Too late, too early, too repetitive, too short, too long, too wrong
Exchange of information	Ambiguous transfer of information, ambiguous registration of information, lack of access to information, non-transfer of information, non-registration of information, incomplete transfer of information, incomplete registration of information, incorrect transfer of information, incorrect registration of information

Table 2. Classification of internal state and psychological mechanism of error

Internal error mode	The psychological mechanism of error
Perception	
Lack of visual recognition	Biased bias
Delayed hearing	Spatial confusion
Wrong reading	Perceptual confusion
Visual misunderstanding	Defects in perceptual prioritization
Misidentify	Perceptual tunneling *
Lack of identification	Saturation of stimuli
Delayed visualization	Lack of consciousness
Lack of auditory diagnosis	Attention / mental preoccupation

Internal error mode	The psychological mechanism of error
Auditory error	
Delayed auditory hearing	
Memory	
Forget the task	Similar intervention
Futuristic memory impairment	Memory capacity saturation
Forgetting previous actions	Negative transmission
Forget temporary information	Wrong learning
Wrong to recall temporary information	Insufficient learning
Incorrect recall of stored information	Memory freeze
	Attention / mental preoccupation
Judgment, planning, decision making	
Wrong prediction	False knowledge
Poor decision making	Lack of knowledge
Delayed decision	Deficiency in considering long-term or side effects
Make a decision	Misunderstanding
Poor planning	Cognitive stabilization
No program	Wrong assumption
	Prioritization defect
	Hesitant to make decisions
Execution of action	
Selection error	Spatial confusion
Position error	The predominance of habit
Time error	Perceptual confusion
Unclear information transmitted	Functional confusion
Unclear recorded information	Improper accent
Incorrectly registered information	Thoughts leading to action
Unreported information	Environmental interference
	Attention / mental preoccupation

Table 3. Performance shaping factors (PSF)

Factors	Description of the effect
Instructions	Are there any instructions? What is the clarity, complexity and number of instructions?

Training and experience	Do operators have the necessary training and experience to perform the task?
Interaction	Is the human-machine interaction defined in a clear and logical way?
Organization	Are there enough operators to do the job? Communication system? Accountability and teamwork?
Individual characteristics	Does the task require alertness, concentration and mental skills? Can the assigned task cause fatigue and anxiety?
Complexity of the task	Is the task entrusted with a lot of complexity?
Environment	Does the physical environment interfere with the performance of the assigned task? Ambient lighting? Stunned by screen displays? High ambient temperature?

Results

The analysis of TRACER sheets indicated that of a total number of 1171 detected errors, the internal and external errors were 50.67% (n=593) and 49.33% (n=578), respectively. In this line, 'timing/sequence' errors with 35.36% and 'quality/selection' errors with 30.03% were identified as the highest and lowest external error modes, respectively. In classifying the internal

error modes, action errors with 31.87% and decision making with 10.73% were identified as the highest and lowest external error modes, respectively. Within PEMs, distraction/**preoccupation (23.61%)** was identified as the main causes of perception errors. The analysis of the PSFs shows that "Organization" with 27.95% and "task complexity" with 8.74% were two main factors affecting the task errors.

Table 4. Results of external error mode

Modes	Frequency	%
Quality and selection	92	30.03
Scheduling and sequencing	111	36.35
Exchange of information	103	33.62

Table 5. Results of internal error mode

Modes	Frequency	%
Perception	89	89.29
Memory	82	51.27
Judgment, planning and decision making	32	73.10
Performance	95	87.31

Variable	Period	Frequency
Age	Less than 30 years	28
	Between 30 and 40 years	49
	Between 41 and 50 years	34
	More than 50 years	13
Gender	Male	79

	Female	45
Work history	Less than 10 years	36
	Between 10 and 20 years	53
	More than 20 years	35

Discussion

According to the results, the share of external error state and internal error state are 50.67 and 49.33%, respectively. Based on the results of external state error (Table 4), errors related to scheduling and sequencing with 36.35% were recognized as the most external state errors and information exchange error (33.62%) and quality and selection (30.03%) were in the next ranks.

The results of this study in the subsets of the internal error state showed that in the study, the most state errors in the field of quality and selection to eliminate a task (14.70%), in the timing and sequence of very late action (23.95%) and in the information exchange section, it is related to the wrong transfer of information (6.86%).

The results of Table 5 on the internal state of operator error showed that performance errors with 31.87%, perception with 29.86%, memory with 27.51% and judgment, planning and decision making with 10.73%, respectively, include the highest to lowest percentage of internal errors.

Based on a study by Corver and Aneziris, cognitive and memory errors were identified as the most important errors, respectively. These results are inconsistent with the results of the present study where they prioritize perception errors over performance and memory errors [33]. Halvani *et al.* in a study using the SHERPA technique and the risk of human error in the control room operators of the gas refining company, showed that the most obvious errors

were functional and regulatory errors; according to their results, the functional errors were due to forgetfulness in doing work. This finding is consistent with the present study where the most memory errors were due to forgetting to perform an action [34].

The results of this study on the factors that shape the performance of operators showed that organizational factors with 27.95%, task complexity with 26.88% and individual characteristics with 20.43% are the most important factors that shape the performance.

Conclusion

The current study could identify many of the errors and conditions that affect the performance of operators. Therefore, this study can be introduced as a basis for managers and stockholders of chemical industries with complexity and high risk in order to prioritize human error prevention programs.

Acknowledgement

This article is part of a research project with ethics code IR.AJUMS.REC.1399.504. The Honorable Vice Chancellor for Research and Technology of Jundishapur University of Medical Sciences is hereby thanked. Also, thanks to all participants in this study.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

تجزیه و تحلیل پیش‌بینانه خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل (مطالعه موردی در صنعت پتروشیمی)

مریم موسوی قهفرخی^۱، داود افشاری^۲، غلام عباس شیرالی^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی و بهداشت کار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۲. انشیار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

خلاصه

اطلاعات مقاله

زمینه و هدف: در دهه‌های اخیر، چندین حادثه ی بزرگ در صنایع با قابلیت اطمینان بالا مانند شرکت های پتروشیمی رخ داده است. بررسی حوادث نشان می دهد که وقوع بیش از ۹۰ درصد حوادث در صنایع به عامل انسانی وابسته است و فقط با اقدامات فنی - مهندسی و وضع قوانین و مقررات ایمنی نمی توان رفتارهای ایمن را در صنعت نهادینه کرد و علیرغم کاهش کمی حضور انسان در این صنایع، هنوز پتانسیل وقوع خطرات ناشی از خطاهای انسانی، بالا می باشد. مطالعه حاضر با هدف شناسایی و ارزیابی پیش‌بینانه خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل یکی از صنایع پتروشیمی انجام گرفت.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸
انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

نویسنده مسئول:

غلام عباس شیرالی

دانشیار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
پست الکترونیک:

shirali@ajums.ac.ir

روش کار: در این مطالعه که در سال ۱۳۹۶ انجام شد، تمام اپراتورهای اتاق کنترل یکی از صنایع پتروشیمی مناطق جنوبی کشور که هشت نفر بودند و در چهار شیفت کار می کردند، بررسی شدند. ابتدا وظایف با استفاده از آنالیز سلسله‌مراتبی به زیروظایف تفکیک شدند. سپس برای همه زیروظایف، حالت‌های مختلف خطا (بیرونی و درونی)، سازوکارهای روانشناختی خطا و عوامل شکل‌دهنده عملکرد شناسایی شد.

یافته‌ها: آنالیز وظایف و تجزیه و تحلیل خطاها نشان می‌دهد، از مجموع ۱۱۷۱ خطای شناسایی شده، سهم حالت بیرونی خطا و حالت درونی خطا به ترتیب ۵۰/۶۷ درصد (۵۹۳) و ۴۹/۳۳ درصد (۵۷۸) درصد خطا بود. براین اساس، خطاهای مربوط به «زمان‌بندی و توالی» با ۳۶/۳۵ درصد و خطاهای «کیفیت و انتخاب» با ۳۰/۰۳ درصد به ترتیب به عنوان بیشترین و کمترین خطاهای حالت بیرونی مشخص شدند. در دسته‌بندی خطاهای حالت درونی، خطاهای مربوط به «اجرا» با ۳۱/۸۷ درصد بیشترین و خطاهای «تصمیم‌گیری» با ۱۰/۷۳ درصد کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. در میان مکانیسم روانشناختی خطا، «حواس‌پرتی/ مشغولیت ذهنی» با ۲۳/۶۱ درصد بیشترین مقدار را داشتند. درباره فاکتورهای شکل‌دهنده عملکرد نیز بیشترین عامل مربوط به «عوامل سازمانی» با ۲۷/۹۵ درصد تعیین شد.

نتیجه گیری: در مطالعه حاضر، بسیاری از خطاها و شرایطی که بر عملکرد اپراتورها تأثیرگذار بود، شناسایی شد. در نتیجه، این مطالعه می‌تواند مبنایی برای مدیران و صاحبان صنایع با پیچیدگی و ریسک بالا مانند صنایع شیمیایی، به منظور اولویت‌بندی برنامه‌های پیشگیری از خطای انسانی معرفی شود.

کلیدواژه‌ها: خطای شناختی، TRACEr، حالت بیرونی خطا، حالت درونی خطا، مکانیسم روانشناختی و عوامل شکل‌دهنده خطا

برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.



مقدمه

[۱]؛ به طوری که در بیشتر فرایندها از فناوری‌های پیشرفته، مانند طراحی به کمک کامپیوتر، کاربرد ربات و کنترل عددی استفاده شده است. با افزایش سیستم اتوماسیون، بیشتر فرایندهای عملیاتی،

به دنبال انقلاب صنعتی و توسعه روزافزون دانش بشری، کارها و فرایندها به صورت اساسی دچار تغییر شده و پیچیدگی سیستم‌ها در صنایع و سازمان‌های مختلف افزایش یافته است

انسان در این صنایع، هنوز زمینه وقوع خطرات ناشی از خطاهای انسانی^۳، بسیار است [۳]. از سوی دیگر با گسترش صنایع پتروشیمی و افزایش حوادث در این صنایع، در سال‌های اخیر پرداختن به راه‌کارهایی برای شناسایی و کنترل خطاهای انسانی از اهمیت زیادی برخوردار شده است [۴، ۵].

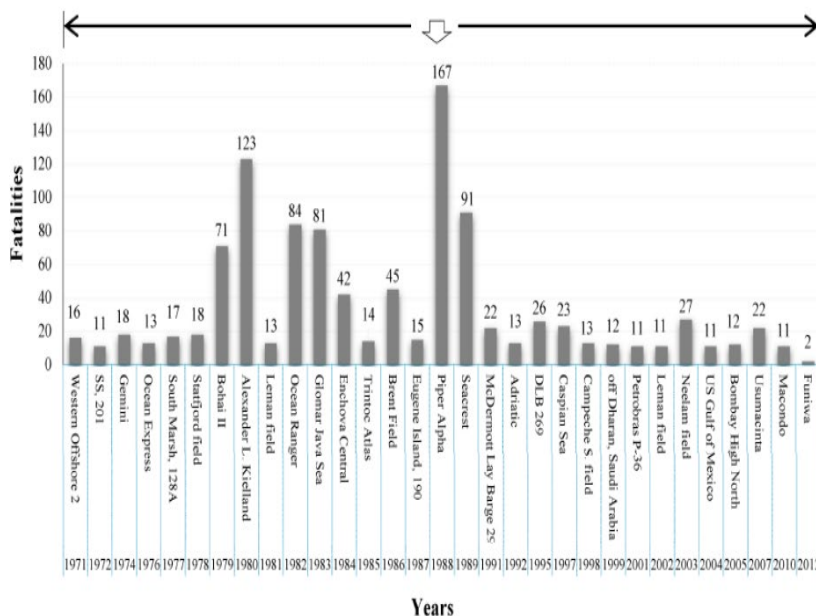
باتوجه به پیچیده‌تر شدن سیستم‌ها و فرایندهای صنعتی، پدید آمدن فناوری‌های خطرناک و همچنین ویژگی خطاپذیری و غیرقابل پیش‌بینی بودن انسان و اینکه پیامد ناشی از اعمال انسانی مهم‌ترین علت بروز حوادث صنعتی است، شناسایی^۴، پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی برای اتخاذ راهکارهای کنترلی مناسب به منظور حذف، کاهش یا پیشگیری از پیامدهای ناگوار ناشی از آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد [۶].

همان‌گونه که در بالا اشاره شد، عامل انسانی اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارد. براساس آمار حاصل از تحقیقات انجام‌شده درباره حوادث صنعتی، عامل انسانی دلیل بیش از ۹۰ درصد حوادث در صنایع هسته‌ای، بیش از ۸۰ درصد حوادث در صنایع فرایندی [۷-۸] بیش از ۷۵ درصد حوادث دریایی و بیش از ۷۰ درصد حوادث هوانوردی است [۹]. شکل ۱ روند وقوع حوادث در صنایع نفت و گاز را از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۲ به صورت جزئی نشان می‌دهد [۱۰].

مانند صنایع شیمیایی، پتروشیمی، هسته‌ای، پزشکی و نظامی توسط کامپیوترها به صورت خودکار پردازش می‌شوند. در بعضی از این سیستم‌ها به دلیل دریافت پیام‌های فراوان و پیچیدگی اطلاعات در سیستم‌های کامپیوتری، سبب ایجاد نیازهای شناختی و فعالیت‌های تشخیصی قابل توجه برای اپراتورها می‌شود که می‌تواند بار کاری بحرانی را در شرایط اضطراری برای آن‌ها به وجود آورد. بنابراین، این سیستم‌ها، سیستم‌هایی با ریسک بالا^۱ شناخته می‌شوند. براین اساس، در صورت ایجاد نقص در یکی از اجزای این سیستم‌ها، نه تنها کل سیستم دچار نقص^۲ می‌شود، بلکه به محیط پیرامون آسیب می‌رسد و سبب ایجاد فاجعه می‌شود [۲].

با وجود تلاش‌هایی که برای ارتقای ایمنی در صنایع و کاهش حوادث بر پایه نگرش سخت‌افزاری (بهبود محیط فیزیکی کار و حفاظت‌های فنی) و همچنین نگرش نرم‌افزاری (دستورالعمل‌ها، خط‌مشی‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و آموزش‌ها برای کاهش حوادث) صورت گرفت است، اهمیت عملکرد انسان در بروز پیامدهای فاجعه‌بار و گاهی جبران‌ناپذیر حوادث کاهش نیافته است.

بررسی حوادث نشان می‌دهد، وقوع بیش از ۹۰ درصد حوادث در صنعت به عامل انسانی وابسته است؛ از این رو تنها با اقدامات فنی - مهندسی و وضع قوانین و مقررات ایمنی نمی‌توان رفتارهای ایمن را در صنعت نهادینه کرد. همچنین با وجود کاهش کمی حضور



شکل ۱. روند ایجاد حوادث فرایندی در صنعت نفت و گاز از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۲

³ Humans errors
⁴ Identification

¹ High risk
² Fail

کمیاب است. بنابراین، هدف از این مطالعه، تجزیه و تحلیل خطای انسانی در اتاق کنترل با استفاده از روش TRACER است. دلیل انتخاب این روش در مقایسه با روش‌های مشابه، به نظام‌مند بودن فرایند تحلیل خطا در این روش، شناسایی سازوکارهای روش‌شناختی خطا و عوامل شکل‌دهنده عملکرد مربوط است که به‌عنوان آن‌ها را نقاط قوت این روش دانست؛ از این رو با توجه به ماهیت نظارتی عملیاتی اپراتور اتاق کنترل صنعت پتروشیمی و همچنین بار کاری زیاد، پیچیدگی این بخش و گستردگی عوامل شکل‌دهنده و روان‌شناختی خطا، این مطالعه به‌منظور تجزیه و تحلیل پیش‌بینانه خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل یکی از صنایع پتروشیمی جنوب غرب ایران انجام شد.

روش کار

مطالعه حاضر، مطالعه‌ای موردی مقطعی است که در سال ۱۳۹۶ در اتاق کنترل یکی از صنایع پتروشیمی مناطق جنوبی کشور اجرا شد. اتاق کنترل صنعت پتروشیمی یکی از بخش‌های کلیدی این صنعت است که همه اطلاعات مربوط به مشخصات مخازن، اطلاعات بارگیری و باردهی مخازن، شیرآلات و پمپ‌ها و فرمان‌های اجرایی لازم از این بخش صادر می‌شود. تعداد کارکنان در اتاق کنترل مورد مطالعه ۸ نفر بودند که در ۴ شیفت فعالیت می‌کردند. در هر شیفت یک نفر به‌عنوان سرشیفت و یک نفر نیز به‌عنوان بردمن کار می‌کنند. براساس شکل ۲، مراحل اجرای مطالعه به شرح زیر انجام شد. قبل از شروع کار، آیت‌های این روش، در یک تیم تخصصی با صنعت مدنظر تطبیق داده شد و بندهای اضافی که سختی با محیط جدید نداشتند از روش حذف شدند.

مرحله اول: شناسایی وظایف شغلی: در این مرحله، وظایف افراد در اتاق کنترل شناسایی و مشخص شد. برای این منظور، شرح وظایف اپراتور اتاق کنترل از واحد نیروی انسانی استعلام شد. از آنجاکه ممکن بود بین شرح وظایف مشخص‌شده در اسناد و آنچه اپراتور به‌صورت عملیاتی انجام می‌داد تفاوت باشد، برای رفع این مشکل احتمالی، علاوه بر مصاحبه با اپراتورها، نحوه انجام وظایف نیز به‌صورت دقیق پایش و بر آن نظارت شد. سپس وظایف شغلی بحرانی و حساس کارکنان اتاق کنترل برای مطالعه انتخاب شد.

برای شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک‌ها^۱ روش‌های مختلفی معرفی و از آن‌ها استفاده شده است، اما وقوع حوادث متعدد ناشی از خطاهای انسانی، نشان‌دهنده این است که استفاده از روش‌های کلاسیک ارزیابی خطا به دلیل نداشتن دید تخصصی به حوزه خطاهای انسانی، اثربخشی چندانی ندارد؛ بنابراین باید به دنبال روش‌هایی بود که در عین سرعت و دقت بالا، خطاهای انسانی را از دیدگاه کاملاً تخصصی شناسایی و ارزیابی کنند. از جمله این روش‌ها که در چند دهه اخیر گسترش بسیاری داشته‌اند، می‌توان به روش‌های ارزیابی خطای انسانی در مراحل اولیه سیستم (THEA)^۲، پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل خطای انسانی (PHEA)^۳، هازوپ انسانی (Human HAZOP)^۴، ارزیابی خطای انسانی و کاهش آن (HEART)^۵، ابزار شناسایی خطای انسانی در سیستم‌ها (HEIST)^۶ و روش‌های دیگر اشاره کرد که هر کدام محدودیت‌ها و مزایایی را در مقایسه با یکدیگر دارند [۱۳-۱۱]. یکی دیگر از روش‌های آنالیز خطای انسانی، تجزیه و تحلیل پیش‌بینانه خطاهای شناختی (TRACER)^۷ است که در سال ۲۰۰۲، Shorrock و Kirwan به‌طور اختصاصی، آن را برای شناسایی و ارزیابی خطاهای شناختی در مراکز کنترل ترافیک هوایی تدوین کردند؛ البته امروزه نیز این روش در حوزه‌های مختلف نیز استفاده می‌شود [۱۴]. این روش برای شناسایی نوع و دلایل به‌وجودآورنده خطا استفاده می‌شود. در این روش که مبتنی بر فاکتورهای انسانی است، پردازش اطلاعات به‌وسیله تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی (HTA)^۸ صورت می‌گیرد. بنابراین، از دامنه وسیعی از علل و عوامل به‌منظور تشخیص اینکه چه خطایی رخ می‌دهد و علت آن چیست، استفاده می‌کند.

در بسیاری از مطالعات که در کنترل ترافیک هوایی و صنایع هوایی انجام شده است، از روش TRACER به‌عنوان وسیله شناسایی خطا برای آنالیز پیش‌بینانه و گذشته‌نگر خطاهای شناختی استفاده شده است [۱۴-۱۶]. به‌تازگی این روش در مطالعاتی دیگر، به‌منظور شناسایی خطاهای حمل‌ونقل ریلی، نفت و گاز و غیره استفاده شده است [۱۷، ۱۸]. تاکنون مطالعات بسیاری با استفاده از روش‌های مختلف مانند SHERPA [۲۳-۱۹] CREAM [۲۴، ۲۳] و HEART [۲۵] در اتاق‌های کنترل پتروشیمی انجام شده است، اما مطالعه مبتنی بر این روش بسیار

⁶ Human Error Identification in Systems Tool

⁷ Technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors

⁸ Hierarchical Task Analysis

¹ Risk Assessment

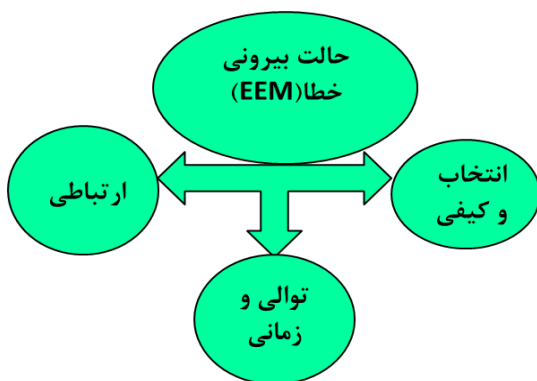
² Technique for Human Error Assessment

³ Predictive Human Error Analysis

⁴ Human Hazard and Operability Study

⁵ Human error assessment and reduction technique

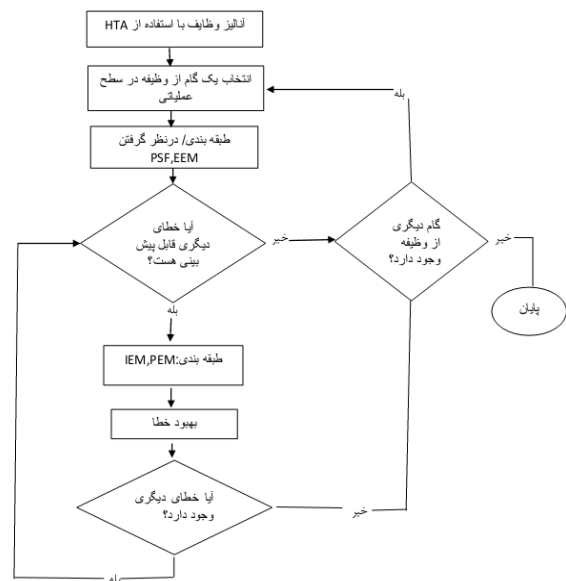
جدول ۱ تقسیم‌بندی حالت بیرونی خطا ارائه شده است. برای شناسایی خطاهای مربوط به این بخش، از سه منبع مختلف استفاده شد: مصاحبه با اپراتورها و سرپرستان. ضمن تشریح دقیق حالت بیرونی خطا برای افراد مذکور، از آن‌ها خواسته شد که تجربیات خود را در این باره در اختیار تیم مطالعاتی قرار دهند. در حین مصاحبه، تمام خطاها ثبت می‌شد. در مرحله بعد تمام برگه‌های عملیاتی ثبت وقایع (Operational Log) برای شناسایی خطا بررسی شد و در نهایت نیز بررسی و تحلیل گزارش‌های ثبت حوادث صورت گرفت.



شکل ۳. ارتباط میان حالت بیرونی خطا

حالت بیرونی خطا

مرحله چهارم: حالت درونی خطا (IEM): در این مرحله، اطلاعات ویژه‌ای درباره اینکه کدام عملکردهای شناختی و با چه روشی دارای نقص است ارائه شده است. بررسی حالت درونی خطا مشتمل بر چهار حالت درک، حافظه، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی و اجراست (جدول ۲). این مرحله در روش TRACER براساس یک مدل پردازش اطلاعات انسانی است که خطای انسانی در آن به‌عنوان یک نقص در پردازش اطلاعات انسانی دیده شده و با مدل Wickens (۱۹۹۲) سازگار است [۲۸، ۱۸]. در شکل ۴، ارتباط میان حالت درونی خطا و مدل پردازش اطلاعات انسانی نشان داده شده است. شناسایی این نوع خطا از خطاهای مرحله قبل مشکل‌تر است. برای این منظور یکی از راهکارهای مؤثر برای شناسایی این نوع خطاها مصاحبه با اپراتورهاست. با استفاده از روش توفان مغزی، از اپراتورهای اتاق کنترل خواسته شد، خطاهایی را که مرتکب شده‌اند یا احتمال دارد در حین کار مرتکب شوند، یادداشت کنند.



شکل ۲. فرایند اجرای تکنیک TRACER

مرحله دوم: تجزیه و تحلیل وظایف شغلی:

در این مرحله، وظایف بحرانی مشخص شده در مرحله اول به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (HTA) تجزیه و تحلیل شد و زیروظیفه‌های وظایف اصلی نیز تعیین شدند. به دلیل حساس بودن و پیچیدگی وظایف مورد مطالعه، از روش مشاهده و مصاحبه با کارشناسان مجرب، برای شناسایی انواع خطاها و علل بروز آن‌ها استفاده شد [۲۶].

مرحله سوم: حالت بیرونی خطا (EEM):

حالت بیرونی خطا در واقع نمود خارجی و قابل مشاهده از خطاهای بالقوه یا واقعی براساس نتایج منطقی از اعمال نادرست فرد است. انواع خطاها در این حالت، به سه دسته خطاهای کیفیت و انتخاب، خطاهای زمان‌بندی و توالی و خطاهای تبادل اطلاعات تقسیم می‌شوند (شکل ۳). این روش طبقه‌بندی براساس روش Swain و Guttman انجام شده است [۲۷]. همان‌گونه که اشاره شد، دسته سوم، خطاهای بیرونی مربوط به فعالیت‌های تبادل اطلاعات هستند. فعالیت‌های ارتباطی براساس تعریف Hollnagel عبارت است از: تبادل اطلاعات مورد نیاز بین افراد و سامانه به صورت کلامی، الکتریکی و یا مکانیکی [۲]. در اتاق کنترل مورد نظر پرکاربردترین سامانه ارتباطی استفاده شده بی‌سیم و سپس مکالمه کلامی و تلفنی بود. صداهای جانبی ناشی از مکالمات تلفنی و گفت‌وگویی میان افراد و همچنین کیفیت صدای بی‌سیم‌ها، روی درک پیام دریافتی و افزایش خطاهای بیرونی از نوع ارتباطی تأثیرگذار بوده است. در

² Internal Error Mode

¹ External Error Modes

هر خطای درونی بیان شده است. عوامل روانشناختی مانند گیج‌شدن ادراکی، نقص در اولویت‌بندی ادراکی، نقص هوشیاری، مشغولیت ذهنی، یادگیری ناکافی، یادگیری اشتباه و نداشتن دانش و لهجه نامناسب می‌توانند سبب بروز خطا شوند (جدول ۲). پس از شناسایی خطاها، با استفاده از مصاحبه و بررسی شرایط روحی روانی اپراتورها، سازوکارهای روانشناختی خطا شناسایی شد؛ برای مثال اگر اپراتور وظیفه یا فعالیتی را فراموش می‌کند، بررسی می‌شود که آیا دلیل آن اشباع حافظه به دلیل بارکاری زیاد و پیچیدگی وظایف بوده است؟

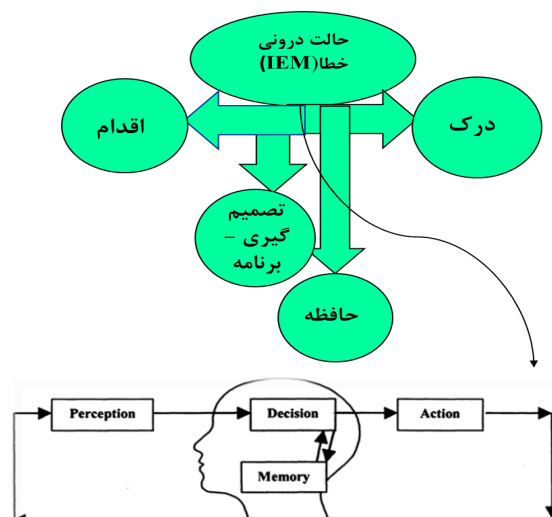
مرحله ششم: فاکتورهای شکل‌دهنده عملکرد (PSF)^۲:

در این مرحله، فاکتورهای شکل‌گیری عملکرد ارزیابی شدند. همچنین عواملی که بر تشدید رخداد خطا و کمک به بهبود خطا تأثیر داشته یا می‌توانند داشته باشند، شناسایی شدند (جدول ۳). برای تعیین عوامل شکل‌دهنده عملکرد، ضمن مصاحبه با اپراتورها از روش بررسی محیط عملیاتی اپراتورها و امکانات و تجهیزات ساخت‌افزایی و نرم‌افزاری آن‌ها استفاده شد.

مرحله هفتم: بازیابی و اصلاح خطاهای احتمالی: در این

مرحله با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده و تجربه مشارکت‌کنندگان در تحقیق، توصیه‌هایی کاربردی برای کاهش خطاها به صنعت مورد مطالعه ارائه شد.

این فرایند در چندین جلسه تکرار شد. سپس تیم تخصصی با توجه به ماهیت خطاها آن‌ها را در یکی از حالت‌های فوق (درک، حافظه، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی) دسته‌بندی کرد. همچنین برای شناسایی تکمیلی از بررسی گزارش‌های حوادث استفاده شد.



شکل ۴. ارتباط حالت درونی خطا و مدل پردازش اطلاعات انسانی

مرحله پنجم: مکانیسم روانشناختی خطا (PEM)^۱: در این

مرحله، مکانیسم روانشناختی خطا و دلایل روانشناختی برای وقوع

جدول ۱. حالت بیرونی خطا (EEM)

حالت‌ها	توصیف خطا
کیفیت و انتخاب	حذف یک وظیفه، اقدام بسیار زیاد، اقدام بسیار کم، اقدام در جهت اشتباه، اقدام اشتباه در هدف درست، اقدام درست در هدف اشتباه، اقدام اشتباه در هدف اشتباه، اقدام غیرضروری
زمان‌بندی و توالی	اقدام بسیار دیر، اقدام خیلی زود، اقدام تکراری، اقدام بسیار کوتاه، اقدام بسیار طولانی، اقدام در توالی اشتباه
تبادل اطلاعات	انتقال مبهم اطلاعات، ثبت مبهم اطلاعات، دسترسی نداشتن به اطلاعات، انتقال نیافتن اطلاعات، ثبت نشدن اطلاعات، انتقال ناقص اطلاعات، ثبت ناقص اطلاعات، انتقال اشتباه اطلاعات، ثبت اشتباه اطلاعات

جدول ۲. طبقه‌بندی حالت درونی و مکانیسم روانشناختی خطا

حالت خطای درونی	مکانیسم روانشناختی خطا
درک	
عدم تشخیص بصری	تعصب جانب‌دارانه
دیر تشخیص دادن شنیداری	گیج‌شدن فضایی
اشتباه خواندن	گیج‌شدن ادراکی
اشتباه درک کردن بصری	نقص در اولویت‌بندی ادراکی
اشتباه شناسایی کردن	تونل‌زنی ادراکی*

^۲ Performance Shaping Factor

^۱ Psychological error mechanism

مکانیسم روانشناختی خطا	حالت خطای درونی
اشباع شدن محرک‌ها	عدم شناسایی
نقص هوشیاری	دیرشناسایی کردن بصری
حواس پرتی / مشغولیت ذهنی	عدم تشخیص شنیداری
	اشتباه شنیداری
	دیرتشخیص دادن شنیداری
	حافظه
مداخله مشابه	فراموش کردن وظیفه
اشباع ظرفیت حافظه	نقص حافظه آینده‌نگر
انتقال منفی	فراموش کردن اعمال قبلی
یادگیری اشتباه	فراموش کردن اطلاعات موقت
یادگیری ناکافی	اشتباه به یاد آوردن اطلاعات موقت
مسدود شدن حافظه	اشتباه به یاد آوردن اطلاعات ذخیره‌شده
حواس پرتی / مشغولیت ذهنی	
قضاوت، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری	
دانش نادرست	پیش‌بینی اشتباه
نداشتن دانش	تصمیم‌گیری ضعیف
نقص در نظر گرفتن تأثیرات درازمدت یا جانبی	دیرتصمیم‌گرفتن
اشتباه فهمیدن	تصمیم‌نگرفتن
تثبیت شناختی	برنامه‌ریزی ضعیف
فرض اشتباه	نداشتن برنامه
نقص اولویت‌بندی	
مردد در تصمیم‌گیری	
	اجرای عمل
گیج شدن فضایی	خطای انتخاب
غلبه عادت	خطای موقعیت
گیج شدن ادراکی	خطای زمانی
گیج شدن کارکردی	اطلاعات غیرواضح انتقال داده‌شده
لهجه نامناسب	اطلاعات غیرواضح ثبت‌شده
افکار منتهی به عمل	اطلاعات نادرست ثبت‌شده
دخالت محیط	اطلاعات انتقال داده‌نشده
حواس پرتی / مشغولیت ذهنی	اطلاعات ثبت‌نشده

* تونل‌زنی ادراکی (Perception tunneling): در چنین حالتی اپراتور بر یک محرک، مانند چراغ چشم‌کزن هشداردهنده متمرکز می‌شود و وظایف یا اطلاعات دیگر را فراموش

می‌کند.

جدول ۳. فاکتورهای شکل‌گیری عملکرد (PSF)

عوامل	توصیف اثر
دستورالعمل	آیا دستورالعملی وجود دارد؟ وضوح، پیچیدگی و تعداد دستورالعمل‌ها چگونه است؟
آموزش و تجربه	آیا اپراتورها آموزش لازم و تجربه کافی برای انجام وظیفه را دارند؟
تعامل	آیا تعامل میان انسان-ماشین شفاف و منطقی تعریف شده است؟
سازمان	آیا اپراتور کافی برای انجام کار وجود دارد؟ سیستم ارتباطی؟ پاسخگویی و کار گروهی؟
ویژگی‌های فردی	آیا وظیفه، به هوشیاری، تمرکز و مهارت ذهنی نیاز دارد؟ وظیفه محول شده می‌تواند سبب خستگی و اضطراب شود؟
پیچیدگی وظیفه	آیا وظیفه محول شده، پیچیدگی بسیاری دارد؟
محیط	آیا محیط فیزیکی در اجرای وظیفه محول شده تداخل ایجاد می‌کند؟ روشنایی محیط؟ خیرگی ناشی از پایش صفحه‌نمایش‌ها؟ درجه حرارت بالای محیط؟

یافته‌ها

براساس تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی وظایف و نظرات اپراتورهای باتجربه، ۱۲ وظیفه اصلی و ۱۳۹ زیروظیفه برای بررسی، مهم تشخیص داده و انواع خطاهای مربوط به این وظایف و زیروظایف با استفاده از روش TRACER آنالیز شد. در مجموع تعداد خطاهای مربوط به حالت بیرونی، ۳۰۶ خطا بودند (جدول ۴) که از این تعداد خطا، خطاهای مربوط به «زمان‌بندی و توالی» با فراوانی ۱۱۱ (۳۶/۳۵ درصد) و خطاهای «کیفیت و انتخاب» با فراوانی ۹۲ (۳۰/۰۳ درصد) به ترتیب بیشترین و کمترین خطاهای حالت بیرونی شناخته شدند. با توجه به شکل ۵، در میان خطاهای انتخاب و کیفیت، «حذف» (۱۴/۷۰ درصد) و سپس «اقدام اشتباه در هدف درست» (۷/۵۱ درصد)، بیشترین تعداد خطاها را به خود اختصاص دادند. در میان خطاهای زمان‌بندی و توالی، بیشترین خطا مربوط به «اقدام خیلی دیر» با ۲۳/۹۵ درصد بود. در سومین طبقه‌بندی، یعنی خطاهای مربوط به «تبادل اطلاعات»، «انتقال اشتباه اطلاعات» (۶/۸۶ درصد) و سپس «ثبت اشتباه اطلاعات» (۵/۲۲ درصد) بیشترین تعداد خطاها را داشتند.

خطاهای حالت بیرونی که شامل خطاهای مربوط به درک، حافظه، قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اجرا می‌شود، در جدول ۵ نشان داده شده است. خطاهای مربوط به «اجرا» با ۳۱/۸۷ درصد و «قضاوت، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری» با (۱۰/۷۳ درصد) به ترتیب بیشترین و کمترین درصد خطاهای

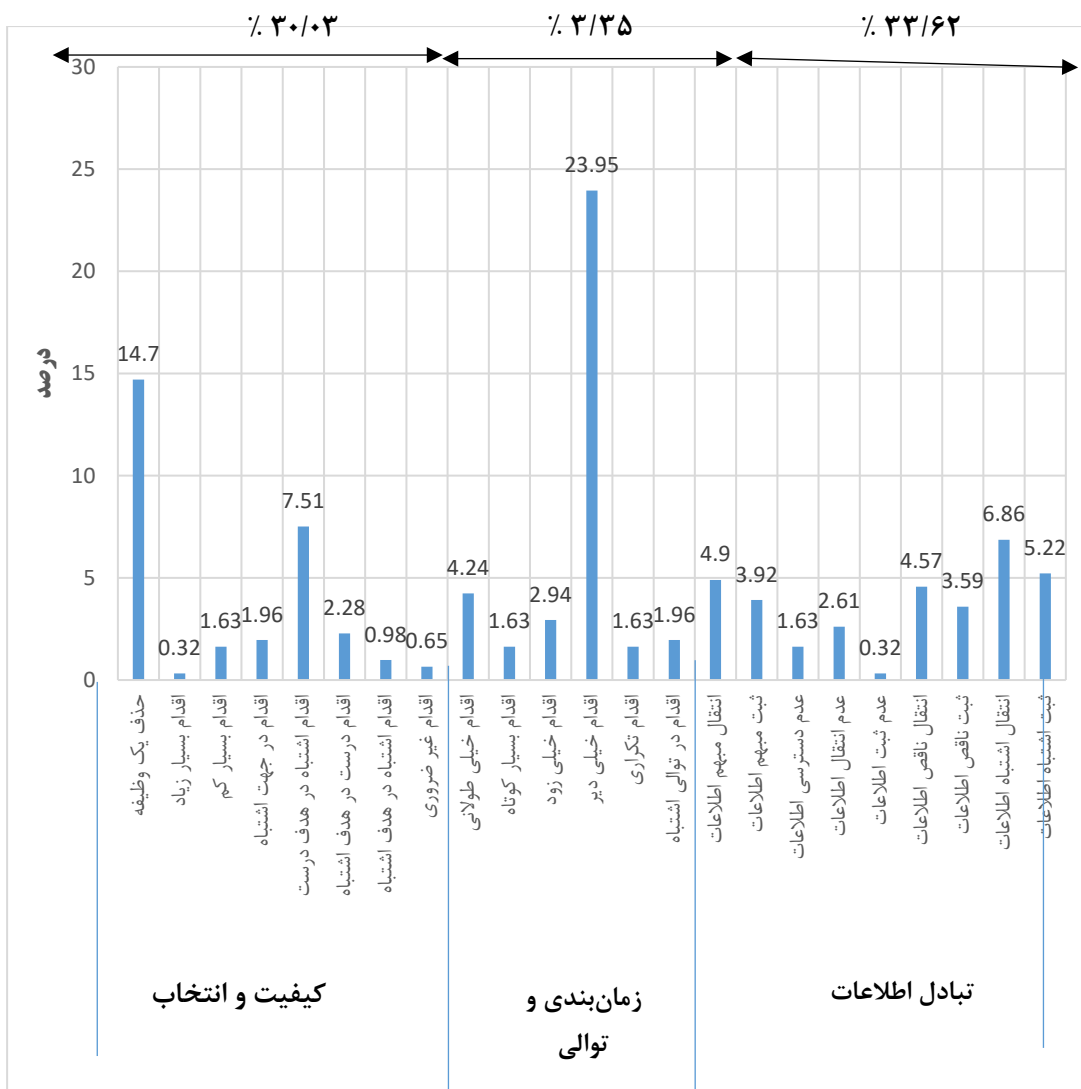
حالت درونی را دارند. در شکل ۶ درصد خطای مربوط به درک به ترتیب عبارت‌اند از: اشتباه درک کردن بصری (۴/۴۱ درصد)، عدم شناسایی (۴/۳۶ درصد) و دیر شناسایی کردن بصری (۴/۰۲ درصد). در بخش خطاهای مربوط به حافظه، بیشترین حالت خطا مربوط به فراموش کردن یک وظیفه با (۱۵/۷۹ درصد) تعیین شد. بیشترین حالت خطا در قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، به دیر تصمیم‌گرفتن با ۴/۰۲ درصد مربوط می‌شود. در نهایت نیز در بخش اجرا، خطای زمانی با ۸/۷۴ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

در میان مکانیسم روانشناختی خطا (شکل ۷)، «حواس‌پرتی» و «مشغولیت ذهنی» با ۲۵/۳۴ درصد و گیج‌شدن ادراکی با ۱۳/۸۸ درصد بیشترین مقدار را در ایجاد خطاهای مربوط به درک به خود اختصاص داده‌اند. در حالت خطاهای حافظه، بیشترین مقدار مربوط به اشباع ظرفیت حافظه (۷/۹۸ درصد) تشخیص داده شد. در حالت خطای قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، مهم‌ترین عامل روانشناختی دانش نادرست با ۳/۸۱ درصد است. در نهایت نیز در بخش اجرا، عوامل محیطی با ۱۰/۴۱ درصد و غلبه عادت با ۶/۹۴ درصد به‌عنوان مهم‌ترین عوامل روانشناختی وقوع خطا شناسایی شدند.

درباره فاکتورهای شکل‌دهنده عملکرد، که در شکل ۸ نشان داده شده است، بیشترین عامل مربوط به عوامل سازمانی با ۲۷/۹۵ درصد و پیچیدگی وظیفه با ۲۶/۸۸ درصد تعیین شد.

جدول ۴. نتایج حاصل از حالت بیرونی خطا

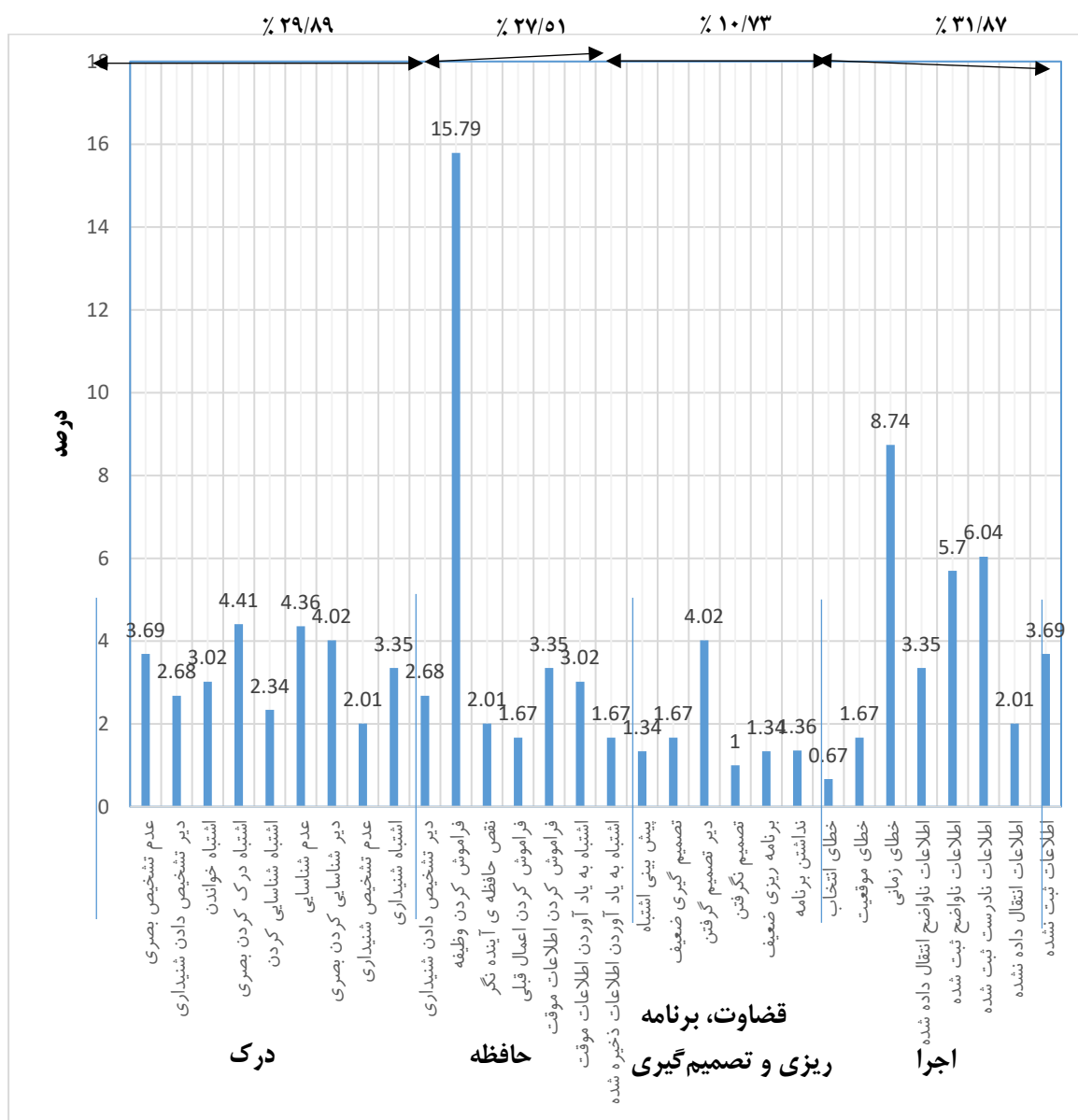
درصد	فراوانی	حالت‌ها
۳۰/۰۳	۹۲	کیفیت و انتخاب
۳۶/۳۵	۱۱۱	زمان بندی و توالی
۳۳/۶۲	۱۰۳	تبادل اطلاعات



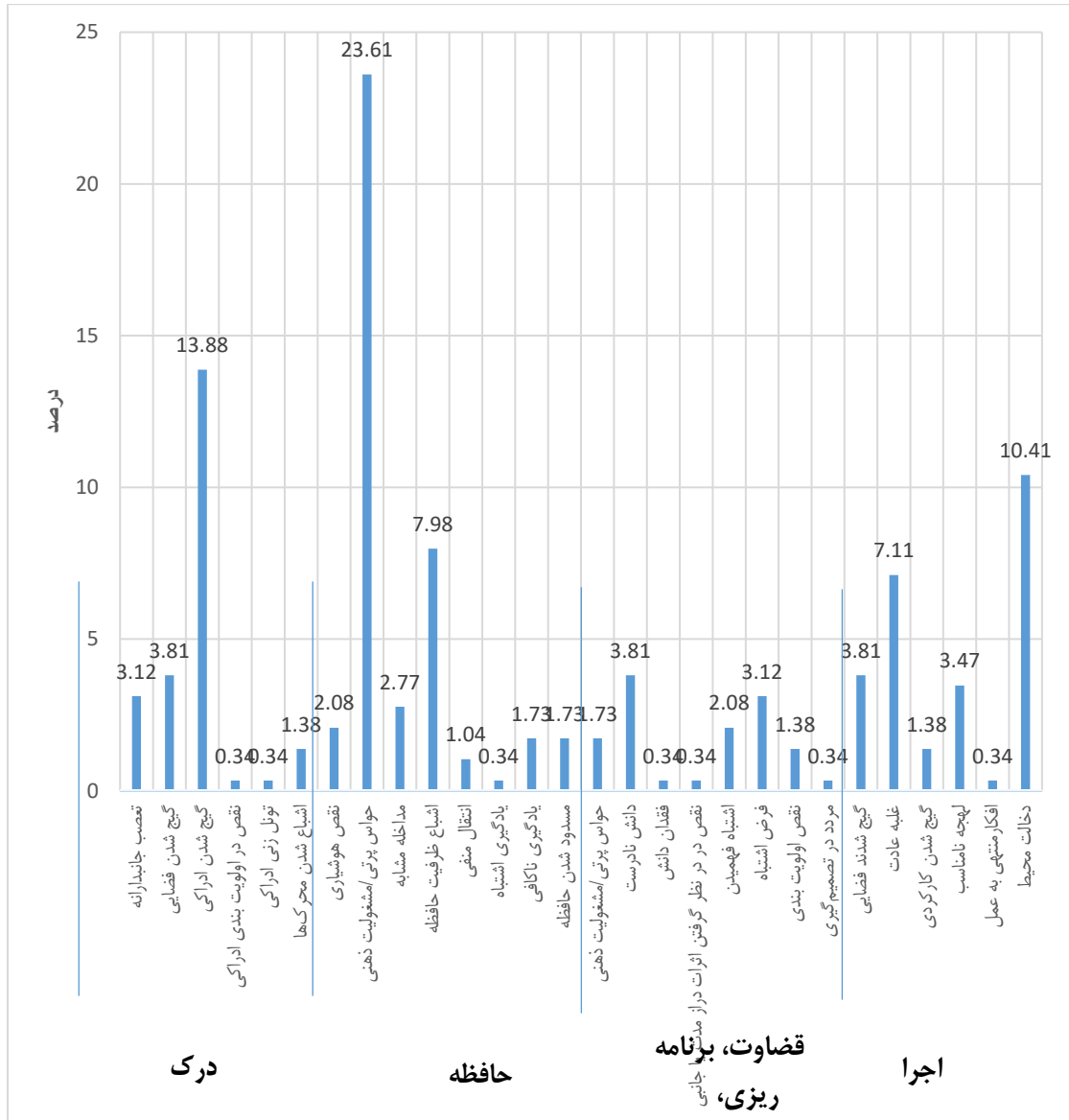
شکل ۵. درصد حالت بیرونی خطا و زیرمجموعه‌های آن

جدول ۵. نتایج حاصل از حالت درونی خطا

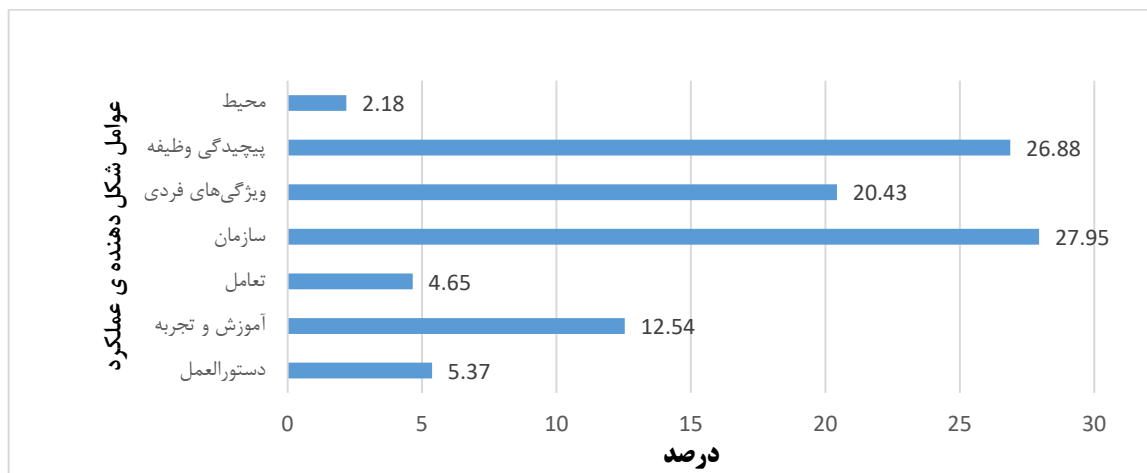
درصد	فراوانی	حالت‌ها
۲۹/۸۹	۸۹	درک
۲۷/۵۱	۸۲	حافظه
۱۰/۷۳	۳۲	فضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری
۳۱/۸۷	۹۵	اجرا



شکل ۶. درصد حالت درونی خطا و زیرمجموعه‌های آن



شکل ۷. درصد مکانیسم روانشناختی خطا



شکل ۸. عوامل شکل دهنده ی عملکرد

بحث

هدف از این تحقیق آنالیز پیش‌بینانه خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل مربوط به یک شرکت پتروشیمی بود. اگرچه این روش، روشی معمول برای شناسایی خطاهای انسانی در مدیریت ترافیک هوایی است، مطالعات مختلف نشان می‌دهد که این روش قابلیت استفاده در صنایع دیگر را نیز دارد [۲۹، ۱۸].

براساس نتایج، سهم حالت بیرونی خطا و حالت درونی خطا به ترتیب ۵۰/۶۷ و ۴۹/۳۳ درصد از کل درصد خطاست. براساس نتایج حالت بیرونی خطا (جدول ۴)، خطاهای مربوط به زمانبندی و توالی با (۳۶/۳۵ درصد) به عنوان بیشترین خطاهای حالت بیرونی و خطای تبادل اطلاعات (۳۳/۶۲ درصد) و کیفیت و انتخاب (۳۰/۰۳ درصد) در رتبه‌های بعدی شناخته شد. با توجه به مطالعه Shirali و همکاران، بیشترین تعداد خطاهای مربوط به کیفیت و انتخاب و سپس زمانبندی و توالی و در نهایت خطاهای ارتباطی بود که با این مطالعه مغایرت دارد. همچنین در مطالعه دیگر آن‌ها نیز نتایج مشابهی به دست آمد [۳۰]. شاید بتوان گفت دلیل این مغایرت به تفاوت در ماهیت فعالیت‌ها، محیط عملیاتی و پیچیدگی‌های مربوط به وظایف در این دو محیط مربوط است.

نتایج این مطالعه در زیرمجموعه‌های حالت درونی خطا که در شکل ۵ ارائه شد، نشان می‌دهد در مطالعه مذکور بیشترین حالت خطاها در حوزه کیفیت و انتخاب به حذف یک وظیفه (۱۴/۷۰ درصد)، در بخش زمانبندی و توالی به اقدام خیلی دیر (۲۳/۹۵ درصد) و در بخش تبادل اطلاعات به انتقال اشتباه اطلاعات (۶/۸۶ درصد) مربوط می‌شود. این نتایج با مطالعه Shirali و همکاران همخوانی دارد [۳۱]. همچنین، نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه Orosi مطابقت دارد که در آن خطاهای حذف، اقدام خیلی دیر را به عنوان مهم‌ترین خطاهای شناسایی کرده است، اما از این نظر که خطاهای حذف را بر خطاهای ناشی از اقدام دیر مقدم دانسته مغایرت دارد؛ به طوری که در مطالعه Orosi خطاهای حذف با ۳۷/۱۹ درصد بیشترین فراوانی خطا را دارند. این تفاوت می‌تواند به دلیل ماهیت متفاوت وظایفی باشد که کارکنان در کارخانه‌های کاغذسازی با اپراتور اتاق کنترل پتروشیمی انجام می‌دهند [۳۲].

نتایج جدول ۵ درباره حالت درونی خطای اپراتورها نشان می‌دهد، خطاهای اجرای عمل با ۳۱/۸۷ درصد، درک با ۲۹/۸۶ درصد، حافظه با ۲۷/۵۱ درصد و قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری با ۱۰/۷۳ درصد به ترتیب بیشترین تا کمترین درصد خطاهای درونی را شامل می‌شوند. براساس مطالعه Shirali بیشترین درصد خطا مربوط به حافظه و درک است و از این رو که خطاهای حافظه را بر خطاهای درک مقدم می‌داند،

با مطالعه حاضر همخوانی دارد [۳۱]. دلیل این موضوع این است که قسمت اعظم وظایف اپراتورهای اتاق کنترل، کار با نشانگرها و علائم هشداردهنده است؛ در نتیجه باید مشکلاتی که در سیستم یا هنگام حادثه رخ می‌دهد، در کمترین زمان ممکن شناسایی و درک شود و سپس برای برگشت سیستم به حالت نرمال تلاشی صورت بگیرد. این تصمیم‌گیری صحیح و به موقع به درک بالا و شناخت کافی اپراتورها از سیستم بستگی دارد. درباره خطاهای درک، خطاهای اشتباه درک کردن بصری و عدم شناسایی بیشتر مربوط به وظایف چک کردن مانیتوری سطح مخازن، فشار مخازن، دمای مخازن یا اتصالات و خطوط ارتباطی و مکالمات و... است. مورد دیگر درباره اپراتورها، دیرشناسایی کردن اختلالات ایجاد شده در سیستم به دلیل بار کاری زیاد، مشغولیت‌های فکری و پیچیدگی وظایف است.

براساس مطالعه Corver و Aneziris، خطاهای درک و حافظه به ترتیب مهم‌ترین خطاهای شناسایی شدند. این نتایج از این نظر که خطاهای درک را به خطاهای اجرای عمل و حافظه مقدم می‌داند، با نتایج مطالعه حاضر مغایرت دارد [۳۳]. خطاهای مربوط به اجرای عمل در رتبه دوم زیرگروه خطاهای بیرونی قرار دارد که از مهم‌ترین نوع آن نیز خطای زمانبندی است که بیشترین درصد (۸/۷۴ درصد) را به خود اختصاص داده است. خطای زمانبندی به دلیل لغزش‌های زمانی اتفاق می‌افتد. این نوع خطا می‌تواند شامل اقداماتی باشد که در زمان مشخص انجام نمی‌شوند یا خطاهایی که به صورت تصادفی در زمانی که تجهیزات خراب می‌شوند، یا در زمانی که اپراتور به جای وظیفه مشخص شده وظیفه دیگری را انجام دهد و از وظیفه مورد نظر غافل شود، اتفاق می‌افتد.

Halvani و همکاران طی مطالعه‌ای، با استفاده از تکنیک SHERPA و ریسک خطاهای انسانی در اپراتورهای اتاق کنترل شرکت پالایش گاز، نشان می‌دهد که مشهودترین خطاهای عملکردی و نظارتی بودند که خطاهای عملکردی را ناشی از فراموشی در انجام کار دانسته‌اند. این یافته از این نظر که بیشترین خطای حافظه ناشی از فراموش کردن انجام عمل بود، با مطالعه حاضر همخوانی دارد [۳۴]. کم‌توجهی اپراتور در اجرای برخی وظایف به دلیل مشغول شدن به سایر وظایف، سبب ایجاد زمینه خطا شده است. همچنین نتایجی مشابه در مطالعه Jones و Endsley به دست آمده است [۳۵]؛ به طوری که معمول‌ترین دلیل نقص اپراتور را در مشاهده یا پایش داده‌ها ذکر کرده است.

نتایج این مطالعه درباره عوامل شکل‌دهنده عملکرد اپراتورها نشان می‌دهد که عوامل سازمانی با ۲۷/۹۵ درصد، پیچیدگی وظیفه با

آموزش‌گیرنده در شرایط حساس را ارزیابی کرده و مهارت‌های عملکردی فرد را افزایش می‌دهد [۴۱].

نتیجه‌گیری

روش TRACer که در صنایع کنترل ترافیک هوایی برای طبقه‌بندی خطاهای انسانی توسعه یافته است و خطاهایی با ماهیت شناختی به‌آسانی را شناسایی می‌کند، برای طبقه‌بندی خطاهای اپراتور اتاق کنترل پتروشیمی و شرایطی که بر عملکرد اپراتور تأثیر دارد، مناسب است. بنابراین، این مطالعه می‌تواند اساس اولویت‌بندی برنامه‌های پیشگیری از خطای انسانی در صنایع با پیچیدگی و ریسک بالا، مانند صنایع شیمیایی معرفی شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با کد اخلاق IR.AJUMS.REC.1399.504 است. بدین‌وسیله از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از تمام شرکت‌کنندگان در این مطالعه نیز تقدیر و تشکر می‌شود.

تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تامین شده است.

۲۶/۸۸ درصد و ویژگی‌های فردی با ۲۰/۴۳ درصد، مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده عملکرد هستند (شکل ۸). پیچیدگی وظیفه به وسعت سیستم، تعداد و نوع وظایف اصلی و زیروظایف و تعداد عواملی که باید چک و بررسی شود، وابسته است. براساس مطالعاتی که در اتاق کنترل نیروگاه هسته‌ای و اتاق کنترل پتروشیمی صورت گرفت، مشخص شد که یکی از عوامل بحرانی، که بر عملکرد اپراتورها تأثیرگذار بود، تعداد نیروی انسانی است؛ به‌طوری‌که تقاضای نیروی کار با بار کاری، همبستگی معناداری نشان داده است [۳۶، ۳۷]. در مطالعه یانگ و همکاران مشخص شد که تعداد اپراتورها، عوامل محیطی و ویژگی‌های روانشناختی، از عوامل ایجاد خطای انسانی هستند که می‌توانند سبب بروز حادثه شوند [۳۸]. از عوامل شخصی که در بروز خطا مؤثر هستند، می‌توان به استرس، اضطراب و خستگی اشاره کرد. اپراتورها ساعت‌ها به‌طور مداوم در حال چک‌کردن کل سیستم هستند؛ از این‌رو ایجاد حس خستگی امری طبیعی است. همچنین استرس می‌تواند به‌دلیل حساس و بحرانی بودن وظایف و زیروظایف ایجاد شود. Kirwan، بازخورد ضعیف و بار کاری بالا را دو عامل اصلی به‌وجودآورنده خطا معرفی کرده است. از نظر وی، آموزش و ارائه دستورالعمل‌های درست برای تعدیل خطاها می‌تواند کارساز باشد [۳۹]. درباره اهمیت آموزش، Sikorski روش‌های شبیه‌سازی دیجیتالی را به‌منظور شناسایی خطای انسانی ناشی از عملکرد ضعیف اپراتور مطرح کرد و برای تقویت نقاط ضعف افراد نیز آموزش‌های لازم را ضروری دانست [۴۰]. از مزایای دیگر سیستم شبیه‌ساز این است که خطاهای شناسایی‌شده را وارد نرم‌افزار می‌کند و با اعمال آن‌ها در جریان آموزش، توانایی

References

- Macchi L, Hollnagel E, Leonhard J, editors. Resilience Engineering approach to safety assessment: an application of FRAM for the MSAW system. EUROCONTROL Safety R&D Seminar; 2009: EUROCONTROL.
- Hollnagel E. Human Reliability Analysis: Context and Control. 1993. London: Academic Press.
- Hoseini H. Human Error Engineering: Fanavaran; 2010.
- Azhdari M, Monazami Tehrani G, Alibabaei A. Investigating the causes of human error-induced incidents in the maintenance operations of petrochemical industry by using HFACS. J. Occup. Hyg. Eng. 2017 Mar 10;3(4):22-30. [DOI:10.21859/johc-03043]
- Maulana FI, Widyanti A. Adaptation of Tracer-Technique for The Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors-for Analyzing Indonesian Train Accident Involving Train Dispatcher. In Journal of Physics: Conference Series 2019 Mar 1 (Vol. 1175, No. 1, p. 012193). IOP Publishing. [DOI:10.1088/1742-6596/1175/1/012193]
- Khan FI, Abbasi SA. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. J Loss Prev Process Ind. 1998 Jul 1;11(4):261-77. [DOI:10.1016/S0950-4230(97)00051-X]
- Joschek HI. Risk assessment in the chemical industry. In: Proceeding of the international topical meeting on probabilistic risk assessmen. New York,

- NY: American Society of Chemical Engineers. 1981.
8. RG B. Human and organizational factors in safety of engineered systems. In: Conference proceedings for American Society of Safety Engineers Region III and Texas Safety Association. 1998.
 9. Jahangiri M, Hoboubi N, Rostamabadi A, Keshavarzi S, Hosseini AA. Human error analysis in a permit to work system: a case study in a chemical plant. *Saf Health Work*. 2016 Mar 1;7(1):6-11. [[DOI:10.1016/j.shaw.2015.06.002](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.06.002)] [[PMID](#)] [[PMCID](#)]
 10. International, Association, of, Oil, &, Gas, et al. Risk assessment data directory. In: International, Association, of, Oil, &, Gas, et al., editors. *Auderghem, Belgium*2010.
 11. Kirwan B. Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems-Part 1: review and evaluation of techniques. *Appl. Ergon*. 1998 Jun 1;29(3):157-77. [[DOI:10.1016/S0003-6870\(98\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00010-6)]
 12. Johan A, Stanton N. *Task Analysis (Hardcover)*.
 13. Said MH, Noor MFAM, editors. Technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors in maritime pilotage operations. 12th international UMT annual symposium" advancements in marine and freshwater sciences; 2013.
 14. Shorrock ST, Kirwan B. Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Appl. Ergon*. 2002 Jul 1;33(4):319-36. [[DOI:10.1016/S0003-6870\(02\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00010-8)]
 15. Shorrock ST. Errors of perception in air traffic control. *Saf. Sci*. 2007 Oct 1;45(8):890-904. [[DOI:10.1016/j.ssci.2006.08.018](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.08.018)]
 16. Shorrock ST. Errors of memory in air traffic control. *Saf. Sci*. 2005 Oct 1;43(8):571-88. [[DOI:10.1016/j.ssci.2005.04.001](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.001)]
 17. Theophilus SC, Ekpenyong IE, Ifelebuegu AO, Arewa AO, Agyekum-Mensah G, Ajare TO. A technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors for the oil and gas industry (TRACer-OGI). *Saf. Sci*. 2017 Dec; 3(4):23. [[DOI:10.3390/safety3040023](https://doi.org/10.3390/safety3040023)]
 18. Baysari MT, Caponecchia C, McIntosh AS. A reliability and usability study of TRACer-RAV: The technique for the retrospective analysis of cognitive errors-For rail, Australian version. *Appl. Ergon*. 2011 Nov 1;42(6):852-9. [[DOI:10.1016/j.apergo.2011.01.009](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.01.009)] [[PMID](#)]
 19. Shirali G, Hosseinzadeh T, Dibeh Khosravi A, Rasi H, Moradi MS, Karami E, Fathi A, Rezaei M, Barzegar L. Integration of human information processing model and SHERPA technique in the analysis of human errors: A Case Study in the control room for the petrochemical industry. *Iran Occup. Health*. 2017 Apr 10;14(1):1-1.
 20. Petrillo A, Falcone D, De Felice F, Zomparelli F. Development of a risk analysis model to evaluate human error in industrial plants and in critical infrastructures. *Int. J. Disaster Risk Reduct*. 2017 Aug 1;23:15-24. [[DOI:10.1016/j.ijdrr.2017.03.012](https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.03.012)]
 21. Ghasemi M, Nasleseraji J, Hoseinabadi S, Zare M. Application of SHERPA to identify and prevent human errors in control units of petrochemical industry. *Int J Occup Saf Ergon*. 2013 Jan 1;19(2):203-9. [[DOI:10.1080/10803548.2013.11076979](https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11076979)] [[PMID](#)]
 22. Ghasemi M, Saraji G, Zakerian A, Azhdari MR. Control of human errors and comparison of risk levels after correction action with the SHERPA method in a control room of petrochemical industry. *Iran Occup. Health*. 2011 Oct 1;8(3).
 23. Shokria S. A Cognitive Human Error Analysis with CREAM in Control Room of Petrochemical Industry. *Biotech. Health. Sci*. 2017(1):13-21. [[DOI:10.5812/bhs-38592](https://doi.org/10.5812/bhs-38592)]
 24. Maddah S, Ghasemi M. Estimating the human error probability using the fuzzy logic approach of CREAM (The case of a control room in a petrochemical industry). *Organization*.;4:0-100.
 25. Ghalenoei M, Asilian H, Mortazavi S, Varmazyar S. Human error analysis among petrochemical plant control room operators with human error assessment and reduction technique. *Iran Occup. Health*. 2009 Jul 25;6(2):38-50.
 26. Sandom C, Harvey RS, editors. *Human factors for engineers*. Iet; 2004 Aug 13. [[DOI:10.1049/PBNS032E](https://doi.org/10.1049/PBNS032E)]
 27. Swain AD, Guttman HE. *Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications*. Final report. Sandia National Labs.; 1983. [[DOI:10.2172/5752058](https://doi.org/10.2172/5752058)]
 28. Isaac A, Shorrock ST, Kirwan B. Human error in European air traffic management: the HERA project. *Reliab. Eng. Syst. Saf*. 2002 Feb 1;75(2):257-72. [[DOI:10.1016/S0951-8320\(01\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00099-0)]
 29. Cheng CM, Hwang SL. Applications of integrated human error identification techniques on the chemical cylinder change task. *Appl. Ergon*. 2015

- Mar 1;47:274-84. [\[DOI:10.1016/j.apergo.2014.10.008\]](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.10.008) [\[PMID\]](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25111111/)
30. Abbas Shirali G, Malekzadeh M. Classification and quantification of human error in air traffic control: a case study in an airport control tower. *Int J Occup Saf Ergon.* 2020 Aug 27;1-3. [\[DOI:10.1080/10803548.2020.1760526\]](https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1760526) [\[PMID\]](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32811111/)
31. Shirali GA, Malekzadeh M. Predictive Analysis of Controllers' Cognitive Errors Using the TRACER Technique: A Case Study in an Airport Control Tower. *Jundishapur. J. Health. Sci.* 2016;8(2). [\[DOI:10.17795/jjhs-34268\]](https://doi.org/10.17795/jjhs-34268)
32. Orosi M, Mombeni B. Assessment of human errors in paper machines of pars paper industrial group by Predictive Human Error Analysis (PHEA). *Jundishapur. J. Health. Sci.* 2012 Dec 31;4(4).
33. Corver SC, Aneziris ON. The impact of controller support tools in enroute air traffic control on cognitive error modes: A comparative analysis in two operational environments. *Saf. Sci.* 2015 Jan 1;71:2-15. [\[DOI:10.1016/j.ssci.2014.07.018\]](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.07.018)
34. Halvani G, Mehrparvar AH, Shamsi F, Rafieenia R, Khani Mouseloo B, Ebrahimi G. Risk assessment of human error among Mohr City, Parsian Gas refinery company control room operators using systematic human error reduction and prediction approach SHERPA in 2016. *Occup Med (Lond).* 2017 Jul 10;9(3):32-44.
35. Jones DG, Endsley MR. Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation, space, and environmental medicine.* 1996 Jun.
36. Lin CJ, Yenn TC, Jou YT, Hsieh TL, Yang CW. Analyzing the staffing and workload in the main control room of the advanced nuclear power plant from the human information processing perspective. *Saf. Sci.* 2013 Aug 1;57:161-8. [\[DOI:10.1016/j.ssci.2013.02.004\]](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.02.004)
37. Shirali G, Dibeh Khosravi A, Hosseinzadeh T, Fathi A, Hame Rezaee M, Hamzeiyan Ziariyani M. Using the human information-processing model and workload to predict staffing demand: A case study in a petrochemical control room. *Iran J Ergon.* 2014 Dec 10;2(3):70-6.
38. Lane R, Stanton NA, Harrison D. Applying hierarchical task analysis to medication administration errors. *Applied ergonomics.* 2006 Sep 1;37(5):669-79. [\[DOI:10.1016/j.apergo.2005.08.001\]](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.08.001) [\[PMID\]](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16111111/)
39. Kirwan B, Scannali S, Robinson L. A case study of a human reliability assessment for an existing nuclear power plant. *Appl. Ergon.* 1996 Oct 1;27(5):289-302. [\[DOI:10.1016/0003-6870\(96\)00014-2\]](https://doi.org/10.1016/0003-6870(96)00014-2)
40. Sikorski M. Use of digital simulation in reliability analysis for the design of industrial process control systems. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 1991 Jan 1;31(3):281-95. [\[DOI:10.1016/0951-8320\(91\)90072-F\]](https://doi.org/10.1016/0951-8320(91)90072-F)
41. Grozdanović M, Stojiljković E. Framework for human error quantification. *FU Phil Soc Psy Hist.* 2006;5(1):131-44.