Iranian Journal of Ergonomics | ISSN: 2345-5365

Original Research

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

**Maryam Mosavi ghafarokhi[1], Davood Afshari[1], Gholam abbas Shirali[1*]**

1. Departmenr 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

**Use your device to scan and read the article online**

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

مجله ارگونومی | سال ۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹ | E-ISSN: 2345-5365

مقالهٔ پژوهشی

# تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینانهٔ خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل (مطالعهٔ 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، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۲. انشیار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

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

**نویسندهٔ مسئول:**
**غلام عباس شیرالی**
دانشیار، گروه مهندسی ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
**پست الکترونیک:**
shirali@ajums.ac.ir

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

خلاصه

**زمینه و هدف:** در دهه‌های اخیر، چندین حادثه ی بزرگ در صنایع با قابلیت اطمینان بالا مانند شرکت های پتروشمی 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 نمی‌توان 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. مطالعهٔ حاضر با هدف شناسایی و ارزیابی پیش‌بینانهٔ خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل یکی از صنایع پتروشیمی انجام گرفت.

**روش‌کار:** 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 می‌کردند، بررسی شدند. ابتدا وظایف با استفاده از آنالیز سلسله‌مراتبی به زیروظایف تفکیک شدند. سپس برای همهٔ زیروظایف، حالت‌های مختلف خطا (بیرونی و درونی)، سازوکارهای روانشناختی خطا و عوامل شکل‌دهندهٔ عملکرد شناسایی شد.

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

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

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

## مقدمه

به‌دنبال انقلاب صنعتی و توسعهٔ روزافزون دانش بشری، کارها و فرایندها به‌صورت اساسی دچار تغییر شده و پیچیدگی سیستم‌ها در صنایع و سازمان‌های مختلف افزایش یافته است [۱]؛ به‌طوری‌که در بیشتر فرایندها از فناوری‌های پیشرفته، مانند طراحی به‌کمک کامپیوتر، کاربرد ربات و کنترل عددی استفاده شده است. با افزایش سیستم اتوماسیون، بیشتر فرایندهای عملیاتی،

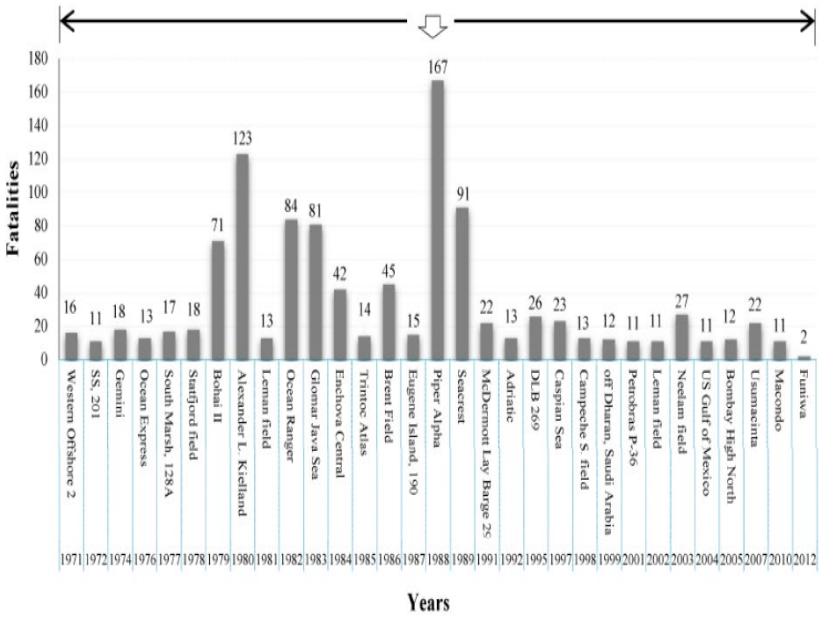
مانند صنایع شیمیایی، پتروشیمی، هسته‌ای، پزشکی و نظامی توسط کامپیوترها به‌صورت خودکار پردازش می‌شوند. در بعضی از این سیستم‌ها به‌دلیل دریافت پیام‌های فراوان و پیچیدگی اطلاعات در سیستم‌های کامپیوتری، سبب ایجاد نیازهای شناختی و فعالیت‌های تشخیصی قابل‌توجه برای اپراتورها می‌شود که می‌تواند بار کاری بحرانی را در شرایط اضطراری برای آن‌ها به‌وجود آورد. بنابراین، این سیستم‌ها، سیستم‌هایی با ریسک بالا[1] شناخته می‌شوند. براین‌اساس، درصورت ایجاد نقص در یکی از اجزای این سیستم‌ها، نه‌تنها کل سیستم دچار نقص[2] می‌شود، بلکه به محیط پیرامون آسیب می‌رسد و سبب ایجاد فاجعه می‌شود [۲].

باوجود تلاش‌هایی که برای ارتقای ایمنی در صنایع و کاهش حوادث بر پایهٔ نگرش سخت‌افزاری (بهبود محیط فیزیکی کار و حفاظ‌های 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؛ ازاین‌رو تنها با اقدامات فنی-مهندسی و وضع قوانین و مقررات ایمنی نمی‌توان رفتارهای ایمن را در صنعت نهادینه کرد. همچنین باوجود کاهش کمی حضور انسان در این صنایع، هنوز زمینهٔ وقوع خطرات ناشی از خطاهای انسانی[3]، 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].

باتوجه‌به پیچیده‌ترشدن سیستم‌ها و فرایندهای صنعتی، پدیدآمدن فناوری‌های خطرناک و همچنین ویژگی خطاپذیری و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن انسان و اینکه پیامد ناشی از اعمال انسانی مهم‌ترین علت بروز حوادث صنعتی است، شناسایی[4]، پیش‌بینی و تجزیه‌وتحلیل خطاهای انسانی برای اتخاذ راهکارهای کنترلی مناسب به‌منظور 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 دربارهٔ حوادث صنعتی، عامل انسانی دلیل بیش از ۹۰درصد حوادث در صنایع هسته‌ای، بیش از ۸۰درصد حوادث در صنایع فرایندی [۷-۸] بیش از ۷۵درصد حوادث دریایی و بیش از ۷۰درصد حوادث هوانوردی است [۹]. شکل ۱ روند وقوع حوادث در صنایع نفت و گاز را از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۲ به‌صورت جزئی نشان می‌دهد [۱۰].




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

[1] High risk
[2] Fail
[3] Humans errors
[4] Identification

برای شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک‌ها[1] روش‌های مختلفی معرفی و از آن‌ها استفاده شده است، اما وقوع حوادث متعدد ناشی از خطاهای انسانی، نشان‌دهندهٔ این است که استفاده از روش‌های کلاسیک ارزیابی خطا به‌دلیل نداشتن دید تخصصی به حوزهٔ خطاهای انسانی، اثربخشی چندانی ندارد؛ بنابراین باید به‌دنبال روش‌هایی بود که در عین سرعت و دقت بالا، خطاهای انسانی را از دیدگاه کاملاً تخصصی شناسایی و ارزیابی کنند. ازجمله این روش‌ها که در چند دههٔ اخیر گسترش بسیاری داشته‌اند، می‌توان به روش‌های ارزیابی خطای انسانی در مراحل اولیهٔ سیستم (THEA)[2]، پیش‌بینی و تجزیه‌وتحلیل خطای انسانی (PHEA)[3]، هازوپ انسانی (Human HAZOP)[4]، ارزیابی خطای انسانی و کاهش آن (HEART)[5]، ابزار شناسایی خطای انسانی در سیستم‌ها (HEIST)[6] و روش‌های دیگر اشاره کرد که هرکدام محدودیت‌ها و مزایایی را در مقایسه با یکدیگر دارند [۱۳-۱۱]. یکی دیگر از روش‌های آنالیز خطای انسانی، تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینانهٔ خطاهای شناختی (TRACEr)[7] 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 به‌وجودآورندهٔ خطا استفاده می‌شود. در این روش که مبتنی بر فاکتورهای انسانی است، پردازش اطلاعات به‌وسیلهٔ تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی (HTA)[8] صورت می‌گیرد. بنابراین، از دامنهٔ وسیعی از علل و عوامل به‌منظور تشخیص اینکه چه خطایی رخ می‌دهد و علت آن چیست، استفاده می‌کند.

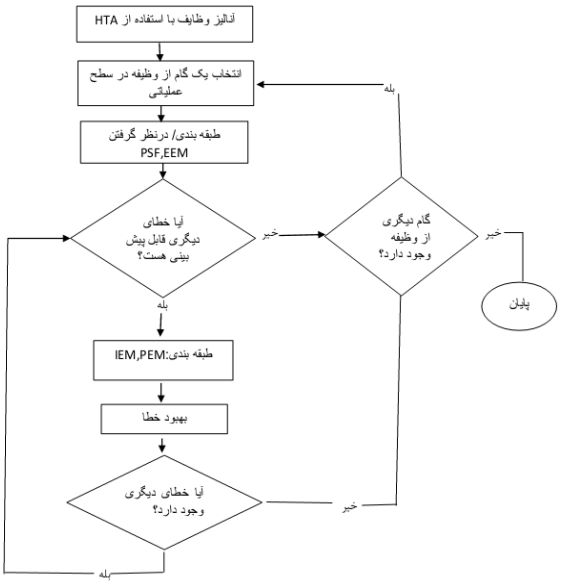
در بسیاری از مطالعات که در کنترل ترافیک هوایی و صنایع هوایی انجام شده است، از روش TRACEr به‌عنوان وسیلهٔ شناسایی خطا برای آنالیز پیش‌بینانه و گذشته‌نگر خطاهای شناختی استفاده شده است [۱۶-۱۴]. به‌تازگی این روش در مطالعاتی دیگر، به‌منظور شناسایی خطاهای حمل‌ونقل ریلی، نفت و گاز و غیره استفاده شده است [۱۸، ۱۷]. 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 مطالعهٔ مبتنی بر این روش بسیار کمیاب است. بنابراین، هدف از این مطالعه، تجزیه‌وتحلیل خطای انسانی در اتاق کنترل با استفاده از روش TRACEr است. دلیل انتخاب این روش در مقایسه با روش‌های مشابه، به نظام‌مندبودن فرایند تحلیل خطا در این روش، شناسایی سازوکارهای روش‌شناختی خطا و عوامل شکل‌دهندهٔ عملکرد مربوط است که به‌عنوان آن‌ها را نقاط قوت این روش دانست؛ ازاین‌رو با توجه به ماهیت نظارتی‌عملیاتی اپراتور اتاق کنترل صنعت پتروشیمی و همچنین بار کاری زیاد، پیچیدگی این بخش و گستردگی عوامل شکل‌دهنده و روانشناختی خطا، این مطالعه به‌منظور تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینانهٔ خطاهای شناختی اپراتورهای اتاق کنترل یکی از صنایع پتروشیمی جنوب غرب ایران انجام شد.

## روش‌کار

مطالعهٔ حاضر، مطالعه‌ای موردی‌مقطعی 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 همهٔ 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 موردمطالعه 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، آیتم‌های این روش، در یک تیم تخصصی با صنعت مدنظر تطبیق داده شد و بندهای اضافی که سنخیتی با محیط جدید نداشتند از روش حذف شدند.

**مرحلهٔ 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. ازآنجاکه ممکن بود بین شرح وظایف مشخص‌شده در اسناد و آنچه اپراتور به‌صورت عملیاتی انجام می‌داد تفاوت باشد، برای رفع این مشکل احتمالی، علاوه‌بر مصاحبه با اپراتورها، نحوهٔ انجام وظایف نیز به‌صورت دقیق پایش و بر آن نظارت شد. سپس وظایف شغلی بحرانی و حساس کارکنان اتاق کنترل برای مطالعه انتخاب شد.

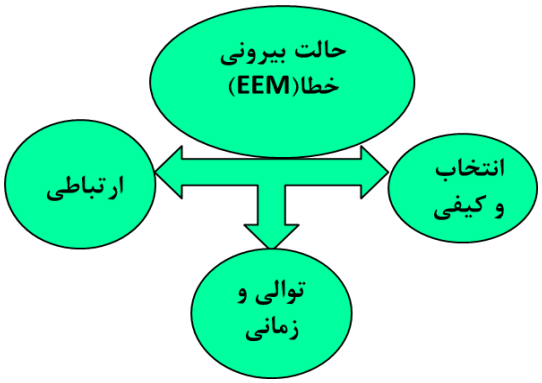
[1] Risk Assessment
[2] Technique for Human Error Assessment
[3] Predictive Human Error Analysis
[4] Human Hazard and Operability Study
[5] Human error assessment and reduction technique
[6] Human Error Identification in Systems Tool
[7] Technique for the retrospective and predictive analysis of cognitive errors
[8] Hierarchical Task Analysis




شکل ۲. فرایند اجرای تکنیک TRACEr

**مرحلهٔ دوم: تجزیه‌وتحلیل وظایف شغلی**: در این مرحله، وظایف بحرانی مشخص‌شده در مرحلهٔ اول به روش تحلیل سلسه‌مراتبی (**HTA**) تجزیه‌وتحلیل شد و زیروظیفه‌های وظایف اصلی نیز تعیین شدند. به‌دلیل حساس‌بودن و پیچیدگی وظایف موردمطالعه، از روش مشاهده و مصاحبه با کارشناسان مجرب، برای شناسایی انواع خطاها و علل بروز آن‌ها استفاده شد [۲۶].

**مرحلهٔ سوم: حالت بیرونی خطا (EEM)**[1]: حالت بیرونی خطا درواقع نمود خارجی و قابل‌مشاهده از خطاهای بالقوه یا واقعی براساس نتایج منطقی از اعمال نادرست فرد است. انواع خطاها در این حالت، به سه دستهٔ خطاهای کیفیت و انتخاب، خطاهای زمان‌بندی و توالی و خطاهای تبادل اطلاعات تقسیم می‌شوند (شکل ۳). این روش طبقه‌بندی براساس روش **Swain** و **Guttmann** انجام شده است [۲۷]. همان‌گونه که اشاره شد، دستهٔ سوم، خطاهای بیرونی مربوط به فعالیت‌های تبادل اطلاعات هستند. فعالیت‌های ارتباطی براساس تعریف **Hollnagel** عبارت است از: تبادل اطلاعات موردنیاز بین افراد و سامانه به‌صورت کلامی، الکتریکی و یا مکانیکی [۲]. در اتاق کنترل موردنظر پرکاربردترین سامانهٔ ارتباطی استفاده‌شده بی‌سیم و سپس مکالمهٔ کلامی و تلفنی بود. صداهای جانبی ناشی از مکالمات تلفنی و گفت‌وگوی میان افراد و همچنین کیفیت صدای بی‌سیم‌ها، روی درک پیام دریافتی و افزایش خطاهای بیرونی از نوع ارتباطی تأثیرگذار بوده است. در 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 دراین‌باره در اختیار تیم مطالعاتی قرار دهند. در حین مصاحبه، تمام خطاها ثبت می‌شد. در مرحلهٔ بعد تمام برگه‌های عملیاتی ثبت وقایع (**Operational Log**) برای شناسایی خطا بررسی شد و درنهایت نیز بررسی و تحلیل گزارش‌های ثبت حوادث صورت گرفت.




شکل ۳. ارتباط میان حالت بیرونی خطا

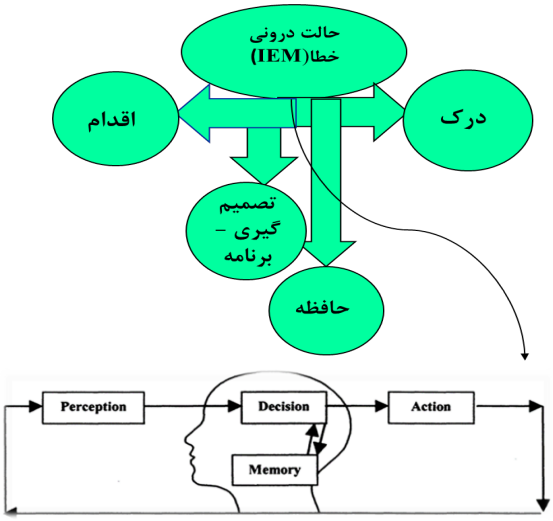
## حالت بیرونی خطا

**مرحلهٔ چهارم: حالت درونی خطا (IEM)**[2]: در این مرحله، اطلاعات ویژه‌ای دربارهٔ 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 مرحلهٔ 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.

[1] External Error Modes

[2] Internal Error Mode

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

**مرحلهٔ پنجم: مکانیسم روانشناختی خطا (PEM)**[1]: در این مرحله، مکانیسم روانشناختی خطا و دلایل روانشناختی برای وقوع 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 لهجهٔ نامناسب می‌توانند سبب بروز خطا شوند (جدول ۲). پس از شناسایی خطاها، با استفاده از مصاحبه و بررسی شرایط روحی‌روانی اپراتورها، سازوکارهای روانشناختی خطا شناسایی شد؛ برای مثال اگر اپراتور وظیفه یا فعالیتی را فراموش می‌کرد، بررسی می‌شد که آیا دلیل آن اشباع حافظه به‌دلیل بارکاری زیاد و پیچیدگی وظایف بوده است؟

**مرحلهٔ ششم: فاکتورهای شکل‌دهندهٔ عملکرد (PSF)**[2]: 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 شکل‌دهندهٔ عملکرد، ضمن مصاحبه با اپراتورها از روش بررسی محیط عملیاتی اپراتورها و امکانات و تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن‌ها استفاده شد.

**مرحلهٔ هفتم: بازیابی و اصلاح خطاهای احتمالی**: در این مرحله با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده و تجربهٔ مشارکت‌کنندگان در تحقیق، توصیه‌هایی کاربردی برای کاهش خطاها به صنعت موردمطالعه ارائه شد.

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، دسترسی‌نداشتن به اطلاعات، انتقال‌نیافتن اطلاعات، ثبت‌نشدن 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** | |
| عدم‌تشخیص بصری | تعصب جانب‌دارانه |
| دیرتشخیص‌دادن شنیداری | گیج‌شدن فضایی |
| اشتباه‌خواندن | گیج‌شدن ادراکی |
| اشتباه درک‌کردن بصری | نقص در اولویت‌بندی ادراکی |
| اشتباه شناسایی‌کردن | تونل‌زنی ادراکی* |

[1] Psychological error mechanism

[2] Performance Shaping Factor

| حالت خطای درونی | مکانیسم روانشناختی خطا |
|---|---|
| عدم شناسایی | اشباع شدن محرک‌ها |
| دیرشناسایی‌کردن بصری | نقص هوشیاری |
| عدم‌تشخیص شنیداری | حواس‌پرتی/ مشغولیت ذهنی |
| اشتباه شنیداری | |
| دیرتشخیص‌دادن شنیداری | |
| حافظه | |
| فراموش‌کردن وظیفه | مداخلهٔ مشابه |
| نقص حافظهٔ آینده‌نگر | اشباع ظرفیت حافظه |
| فراموش‌کردن اعمال قبلی | انتقال منفی |
| فراموش‌کردن اطلاعات موقت | یادگیری اشتباه |
| اشتباه به‌یادآوردن اطلاعات موقت | یادگیری ناکافی |
| اشتباه به‌یادآوردن اطلاعات ذخیره‌شده | مسدودشدن حافظه |
| | حواس‌پرتی/ مشغولیت ذهنی |
| **قضاوت، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری** | |
| پیش‌بینی اشتباه | دانش نادرست |
| تصمیم‌گیری ضعیف | نداشتن دانش |
| دیرتصمیم‌گرفتن | نقص درنظرگرفتن تأثیرات درازمدت یا جانبی |
| تصمیم‌نگرفتن | اشتباه‌فهمیدن |
| برنامه‌ریزی ضعیف | تثبیت شناختی |
| نداشتن برنامه | فرض اشتباه |
| | نقص اولویت‌بندی |
| | مردد در تصمیم‌گیری |
| اجرای عمل | |
| خطای انتخاب | گیج‌شدن فضایی |
| خطای موقعیت | غلبهٔ عادت |
| خطای زمانی | گیج‌شدن ادراکی |
| اطلاعات غیرواضح انتقال داده‌شده | گیج‌شدن کارکردی |
| اطلاعات غیرواضح ثبت‌شده | لهجهٔ نامناسب |
| اطلاعات نادرست ثبت‌شده | افکار منتهی به عمل |
| اطلاعات انتقال داده‌نشده | دخالت محیط |
| اطلاعات ثبت‌نشده | حواس‌پرتی/ مشغولیت ذهنی |

* 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 تجربهٔ کافی برای انجام‌وظیفه 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؟ وظیفهٔ محول‌شده می‌تواند سبب خستگی و اضطراب شود؟ |
| **پیچیدگی وظیفه** | آیا وظیفهٔ محول‌شده، پیچیدگی بسیاری دارد؟ |
| **محیط** | آیا محیط فیزیکی در اجرای وظیفهٔ محول‌شده تداخل ایجاد می‌کند؟ روشنایی محیط؟ خیرگی ناشی از پایش صفحه‌نمایش‌ها؟ درجه حرارت بالای محیط؟ |

## یافته‌ها

براساس تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی وظایف و نظرات اپراتورهای باتجربه، ۱۲ وظیفهٔ 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. درمجموع 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 (۳۶/۳۵درصد) و خطاهای «کیفیت و انتخاب» با فراوانی ۹۲ و (۳۰/۰۳درصد) به‌ترتیب بیشترین و کمترین خطاهای حالت بیرونی شناخته شدند. باتوجه‌به شکل ۵، در میان خطاهای انتخاب و کیفیت، «حذف» (۱۴/۷۰درصد) و سپس «اقدام اشتباه در هدف درست» (۷/۵۱درصد)، بیشترین تعداد خطاها را به خود اختصاص دادند. در میان خطاهای زمان‌بندی و توالی، بیشترین خطا مربوط به «اقدام خیلی دیر» با ۲۳/۹۵درصد بود. در سومین طبقه‌بندی، یعنی خطاهای مربوط به «تبادل اطلاعات»، «انتقال اشتباه اطلاعات» (۶/۸۶درصد) و سپس «ثبت اشتباه اطلاعات» (۵/۲۲درصد) بیشترین تعداد خطاها را داشتند.

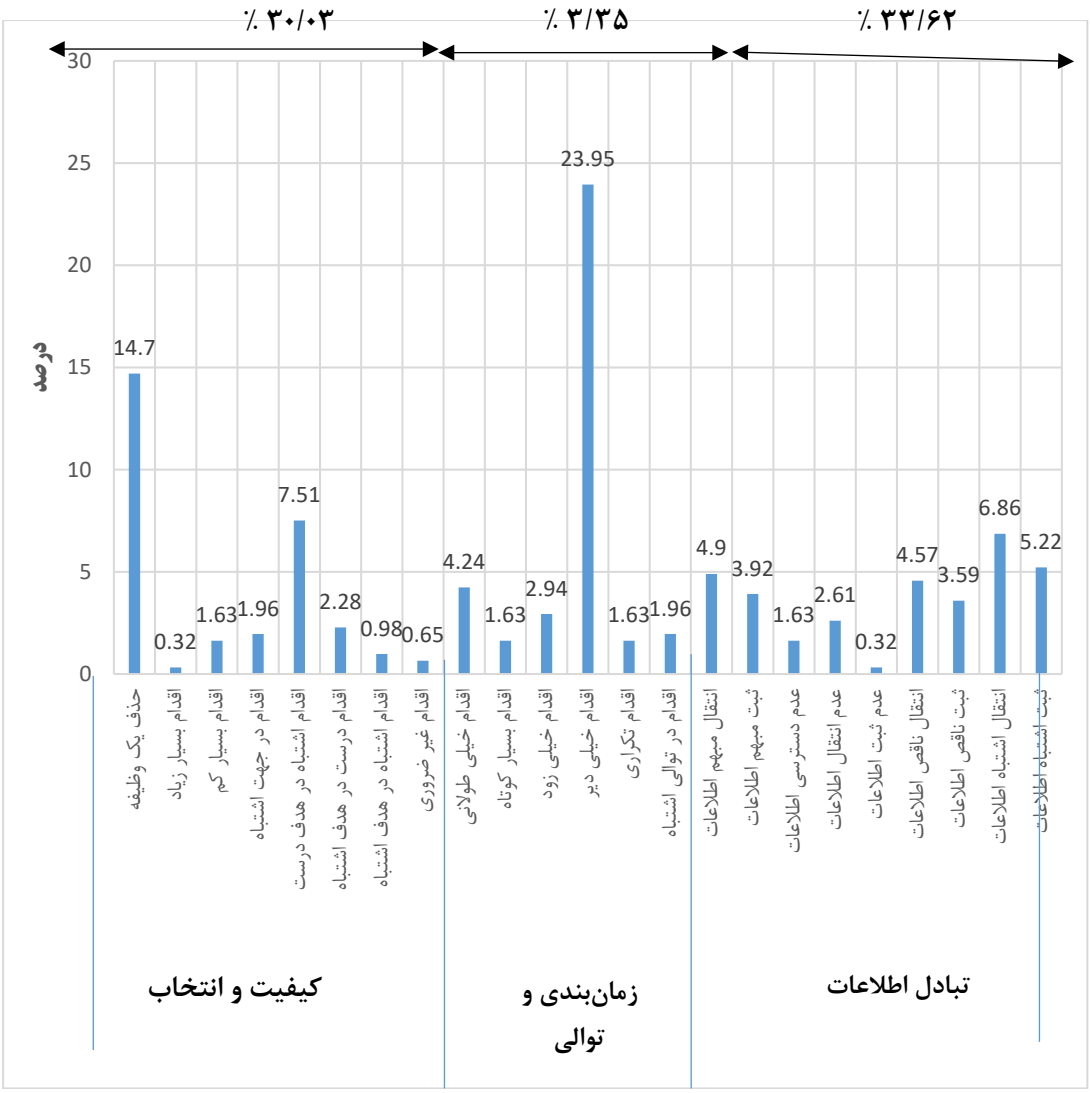
خطاهای حالت بیرونی که شامل خطاهای مربوط به درک، حافظه، قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اجرا می‌شود، در جدول ۵ نشان داده شده است. خطاهای مربوط به «اجرا» با ۳۱/۸۷درصد و «قضاوت، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری» با (۱۰/۷۳درصد) به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد خطاهای حالت درونی را دارند. در شکل ۶ درصد خطای مربوط به درک به‌ترتیب عبارت‌اند از: اشتباه درک‌کردن بصری (۴/۴۱درصد)، عدم شناسایی (۴/۳۶درصد) و دیر شناسایی‌کردن بصری (۴/۰۲درصد). در بخش خطاهای مربوط به حافظه، بیشترین حالت خطا مربوط به فراموش‌کردن یک وظیفه با (۱۵/۷۹درصد) تعیین شد. بیشترین حالت خطا در قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، به دیر تصمیم‌گرفتن با ۴/۰۲درصد مربوط می‌شود. درنهایت نیز در بخش اجرا، خطای زمانی با ۸/۷۴درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

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

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

جدول ۴. نتایج حاصل از حالت بیرونی خطا

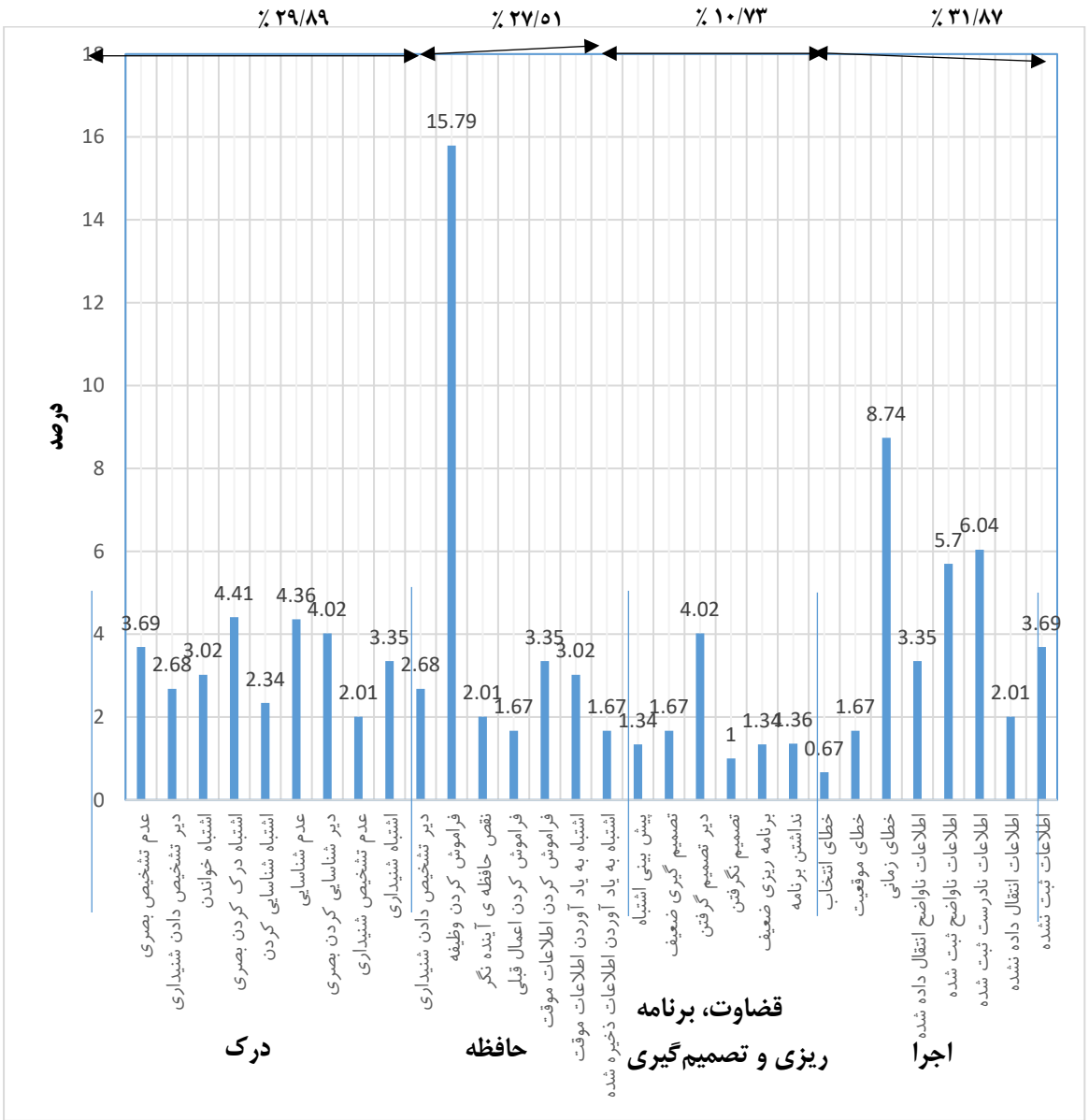
| حالت‌ها | فراوانی | درصد |
|---|---|---|
| کیفیت و انتخاب | ۹۲ | ۳۰/۰۳ |
| زمان‌بندی و توالی | ۱۱۱ | ۳۶/۳۵ |
| تبادل اطلاعات | ۱۰۳ | ۳۳/۶۲ |



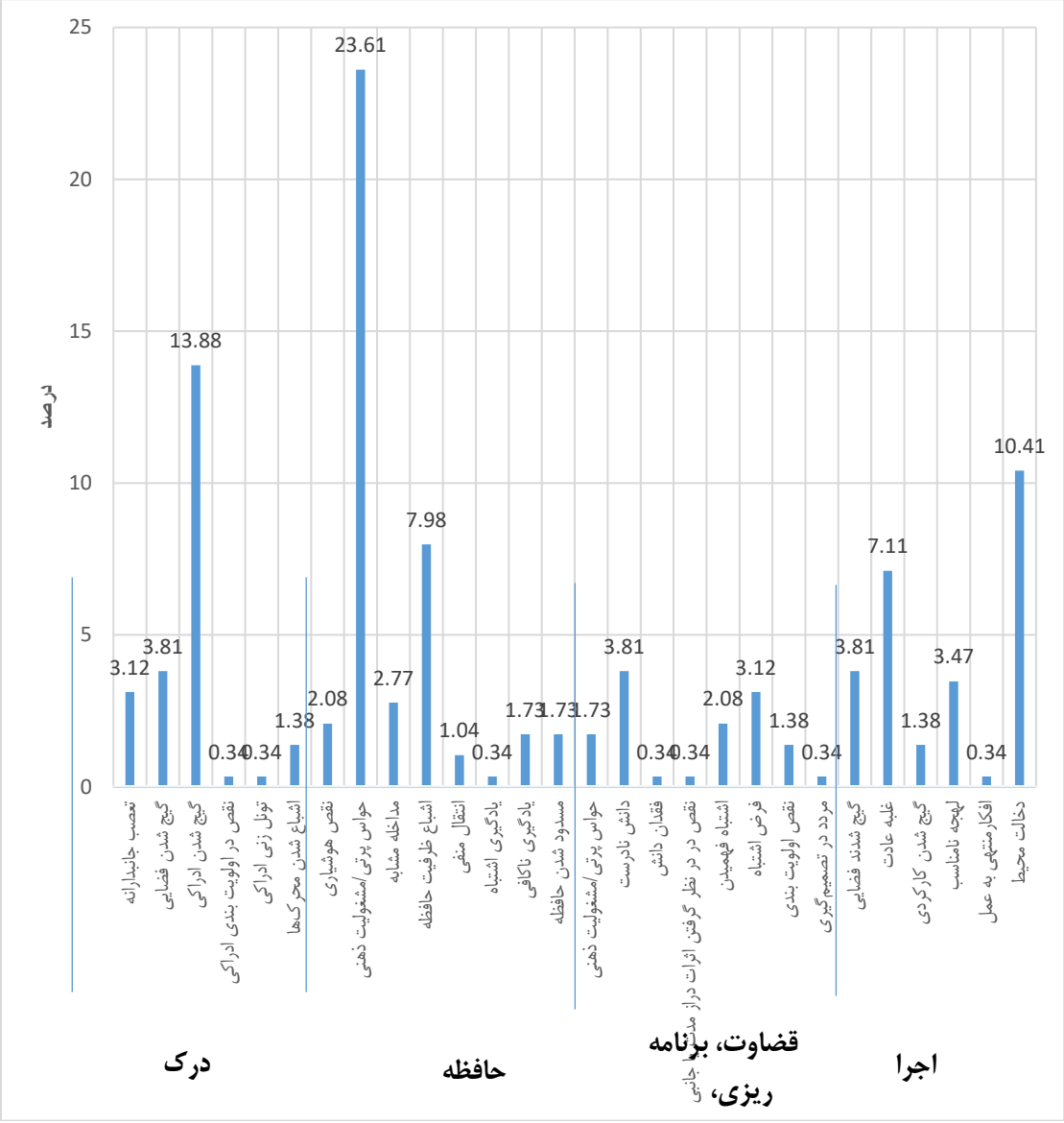

شکل ۵. درصد حالت بیرونی خطا و زیرمجموعه‌های آن

جدول ۵. نتایج حاصل از حالت درونی خطا

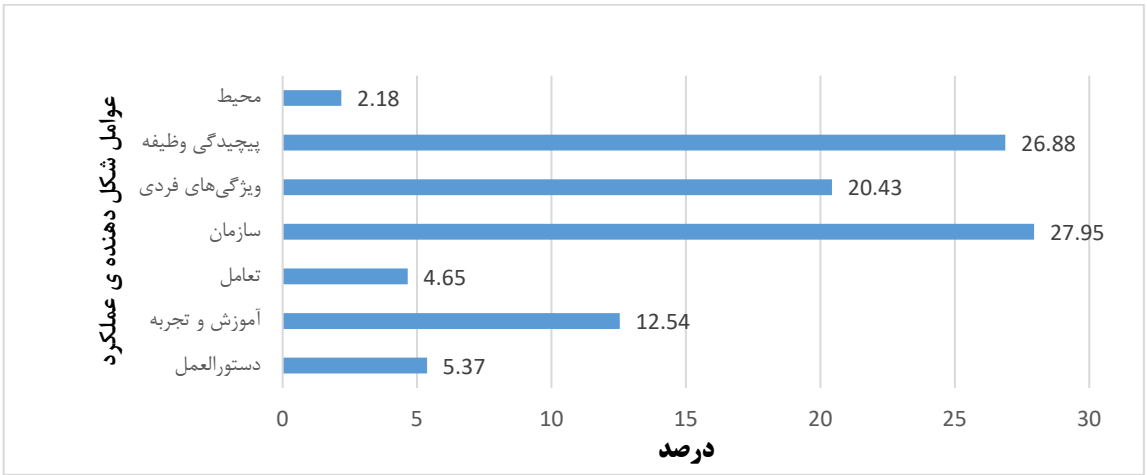
| حالت‌ها | فراوانی | درصد |
|---|---|---|
| درک | ۸۹ | ۲۹/۸۹ |
| حافظه | ۸۲ | ۲۷/۵۱ |
| قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری | ۳۲ | ۱۰/۷۳ |
| اجرا | ۹۵ | ۳۱/۸۷ |




شکل ۶. درصد حالت درونی خطا و زیرمجموعه‌های آن




شکل ۷. درصد مکانیسم روانشناختی خطا




شکل ۸. عوامل شکل‌دهندهٔ عملکرد

## بحث

هدف از این تحقیق آنالیز پیش‌بینانهٔ 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 به‌ترتیب ۵۰/۶۷ و ۴۹/۳۳درصد از کل درصد خطاست. براساس نتایج حالت بیرونی خطا (جدول ۴)، خطاهای مربوط به زمانبندی و توالی با (۳۶/۳۵درصد) به‌عنوان بیشترین خطاهای حالت بیرونی و خطای تبادل اطلاعات (۳۳/۶۲درصد) و کیفیت و انتخاب (۳۰/۰۳درصد) در رتبه‌های بعدی شناخته شد. باتوجه‌به مطالعهٔ Shirali و همکاران، بیشترین تعداد خطاها مربوط به کیفیت و انتخاب و سپس زمان‌بندی و توالی و درنهایت خطاهای ارتباطی بود که با این مطالعه مغایرت دارد. همچنین در مطالعهٔ دیگر آن‌ها نیز نتایج مشابهی به‌دست 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 مطالعهٔ مذکور بیشترین حالت خطاها در حوزهٔ کیفیت و انتخاب به حذف یک وظیفه (۱۴/۷۰درصد)، در بخش زمان‌بندی و توالی به اقدام خیلی دیر (۲۳/۹۵درصد) و در بخش تبادل اطلاعات به انتقال اشتباه اطلاعات (۶/۸۶درصد) مربوط می‌شود. این نتایج با مطالعهٔ Shirali و همکاران همخوانی دارد [۳۱]. همچنین، نتایج این مطالعه با نتایج مطالعهٔ Orosi مطابقت دارد که در آن خطاهای حذف، اقدام خیلی دیر را به‌عنوان مهم‌ترین خطاها شناسایی کرده است، اما از این نظر که خطاهای حذف را بر خطاهای ناشی از اقدام دیر مقدم دانسته مغایرت دارد؛ به‌طوری‌که در مطالعهٔ Orosiخطاهای حذف با ۳۷/۱۹درصد بیشترین فراوانی خطا را دارند. این تفاوت می‌تواند به‌دلیل ماهیت متفاوت وظایفی باشد که کارکنان در کارخانه‌های کاغذسازی با اپراتور اتاق کنترل پتروشیمی انجام می‌دهند [۳۲].

نتایج جدول ۵ دربارهٔ حالت درونی خطای اپراتورها نشان می‌دهد، خطاهای اجرای عمل با ۳۱/۸۷درصد، درک با ۲۹/۸۶درصد، حافظه با ۲۷/۵۱درصد و قضاوت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری با ۱۰/۷۳درصد به‌ترتیب بیشترین تا کمترین درصد خطاهای درونی را شامل می‌شوند. براساس مطالعهٔShirali بیشترین درصد خطا مربوط به حافظه و درک است و ازاین‌رو که خطاهای حافظه را بر خطاهای درک مقدم می‌داند، با مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد [۳۱]. دلیل این موضوع این است که قسمت اعظم وظایف اپراتورهای اتاق کنترل، کار با نشانگرها و علائم هشداردهنده است؛ درنتیجه 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 به‌موقع به درک بالا و شناخت کافی اپراتورها از سیستم بستگی دارد. دربارهٔ خطاهای درک، خطاهای اشتباه درک‌کردن بصری و عدم شناسایی بیشتر مربوط به وظایف چک‌کردن مانیتوری سطح مخازن، فشار مخازن، دمای مخازن یا اتصالات و خطوط ارتباطی و مکالمات و... است. مورد دیگر دربارهٔ اپراتورها، دیرشناسایی‌کردن اختلالات ایجادشده در سیستم به‌دلیل بار کاری زیاد، مشغولیت‌های فکری و پیچیدگی وظایف است.

براساس مطالعهٔ Corver و Aneziris، خطاهای درک و حافظه به ترتیب مهم‌ترین خطاها شناسایی شدند. این نتایج ازاین‌نظر که خطاهای درک را به خطاهای اجرای عمل و حافظه مقدم می‌داند، با نتایج مطالعهٔ حاضر مغایرت دارد [۳۳]. خطاهای مربوط به اجرای عمل در رتبهٔ دوم زیرگروه خطاهای بیرونی قرار دارد که از مهم‌ترین نوع آن نیز خطای زمان‌بندی است که بیشترین درصد (۸/۷۴درصد) را به خود اختصاص داده است. خطای زمان‌بندی به‌دلیل لغزش‌های زمانی اتفاق می‌افتد. این نوع خطا می‌تواند شامل اقداماتی باشد که در زمان مشخص انجام نمی‌شوند یا خطاهایی که به‌صورت تصادفی در زمانی که تجهیزات خراب می‌شوند، یا در زمانی که اپراتور به‌جای وظیفهٔ مشخص‌شده وظیفهٔ دیگری را انجام دهد و از وظیفه موردنظر 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 خطاها، خطاهای عملکردی و نظارتی بودند که خطاهای عملکردی را ناشی از فراموشی در انجام کار دانسته‌اند. این یافته ازاین‌نظر که بیشترین خطای حافظه ناشی از فراموش‌کردن انجام عمل بود، با مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد [۳۴]. کم‌توجهی اپراتور در اجرای برخی وظایف به‌دلیل مشغول‌شدن به سایر وظایف، سبب ایجاد زمینهٔ خطا شده است. همچنین نتایجی مشابه در مطالعهٔ Jones و Endsley به‌دست‌آمده است [۳۵]؛ به‌طوری‌که معمول‌ترین دلیل نقص اپراتور را در مشاهده یا پایش داده‌ها ذکر کرده است.

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

۲۶/۸۸درصد و ویژگی‌های فردی با ۲۰/۴۳درصد، مهم‌ترین عوامل شکل‌دهندهٔ 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 [۳۷، ۳۶]. در مطالعهٔ 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؛ ازاین‌رو ایجاد حس خستگی امری طبیعی است. همچنین استرس می‌تواند به‌دلیل حساس و بحرانی‌بودن وظایف و زیروظایف ایجاد شود. Kirwan، بازخورد ضعیف و بار کاری بالا را دو عامل اصلی به‌وجودآورندهٔ خطا معرفی کرده است. ازنظر وی، آموزش و ارائهٔ دستورالعمل‌های درست برای تعدیل خطاها می‌تواند کارساز باشد [۳۹]. دربارهٔ اهمیت آموزش، Sikorskiروش‌های 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 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.

## References

1. 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.
2. Hollnagel E. Human Reliability Analysis: Context and Control. 1993. London: Academic Press.
3. Hoseini H. Human Error Engineering: Fanavaran; 2010.
4. 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/johe-03043]
5. 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. InJournal of Physics: Conference Series 2019 Mar 1 (Vol. 1175, No. 1, p. 012193). IOP Publishing. [DOI:10.1088/1742-6596/1175/1/012193]
6. 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]
7. 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] [PMID] [PMCID]
10. International, Association, of, Oil, &, Gas, et al. Risk assessment data directory. In: International, Association, of, Oil, &, Gas, et al., editors. Auderghem, Belgium2010.
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]
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]
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]
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]
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]
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] [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]
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] [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]
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]
27. Swain AD, Guttmann HE. Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Final report. Sandia National Labs.; 1983. [DOI: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]
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] [PMID]

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] [PMID]

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]

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]

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. 35Jones 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]

37. Shirali G, Dibeh Khosravi A, Hosseinzadeh T, Fathi A, Hame Rezaee M, Hamzeiyan Ziariani 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] [PMID]

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]

40. 40Sikorski 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]

41. Grozdanović M, Stojiljković E. Framework for human error quantification. FU Phil Soc Psy Hist. 2006;5(1):131-44.