

Increase Human Reliability by Identifying and Evaluating Potential and Actual Roots of Maintenance Team Errors in the Power Transmission Grids

Mehdi Tavakoli, *PhD Student*, Mehdi Nafar, *Assistant Professor*

Department of Electrical Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran
mehditavakoli@miau.ac.ir, mnafar@miau.ac.ir

Abstract:

Human life and the economy of a country are becoming more and more dependent on electricity. However, events that occur due to various factors in the power grids, affect the quality of electrical energy delivered to subscribers. The human error of maintenance teams is one of the most important causes of automatic outputs of electrical equipment. Human error, in addition to the economic consequences of not transiting electrical energy due to equipment outages, may also cause health damage to personnel. The purpose of this study is to propose a method for analyzing the human reliability of maintenance teams in power transmission grids, which has been implemented as a case study on power transmission grids teams in Fars. The first step is to identify the roots of human error. So far, no comprehensive studies have been conducted on the root causes of human error in power transmission grids. Therefore, in this article, the actual and potential roots of various aspects such as organization, individual moods, supervision, etc. are identified and predicted in the framework of the method of human factors analysis and classification system. Then, a method is proposed to estimate the probability of the root event to use its results to prioritize the necessary control and corrective measures to reduce human error.

Keywords: Power transmission, maintenance groups, human error, human factors analysis and classification system (HFACS) method.

Received: 6 December 2020

Revised: 2 January 2021

Accepted: 28 January 2021

Corresponding Author: Dr. Mehdi Nafar

Citation: M. Tavakoli, M. Nafar, "Increase human reliability by identifying and evaluating potential and actual roots of maintenance team errors in the power transmission grids", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 12, no. 46, pp. 69-83, Summer 2021 (in Persian).

افزایش قابلیت اطمینان انسانی از طریق شناسایی و ارزیابی احتمالی ریشه‌های بالفعل و بالقوه خطاهای گروه‌های نگهداری شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق

مهدی توکلی، دانشجوی دکتری، مهدی نفر، استادیار

گروه مهندسی برق- واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
mehditavakoli@miau.ac.ir, mnafar@miau.ac.ir

چکیده: زندگی انسان‌ها و اقتصاد یک کشور هر روزه به انرژی الکتریکی وابسته‌تر می‌شود. ولیکن حوادث یا خطاهای رخ داده به علت عوامل مختلف در شبکه‌های برق می‌تواند تأمین این انرژی را با وقفه همراه سازد. یکی از این عوامل، خطای انسانی در حین عملیات نگهداری است. نتایج مطالعه موردی انجام شده در شرکت تعمیر و نگهداری نشان داده است که خطای انسانی حداقل حدود ۲۶ میلیارد ریال هزینه نگهداری برنامه‌ریزی نشده را افزایش داده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی گروه‌های نگهداری و تعمیرات در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق جهت جلوگیری از تأثیر مخرب خطاهای انسانی است. در گام نخست، شناسایی عوامل به‌وجود آورنده خطای انسانی به‌طور کامل و جامع است که مطالعات محدودی در این زمینه تاکنون انجام شده است. لذا در این مقاله، ریشه‌های بالفعل و بالقوه از جنبه‌های مختلف نظیر سازمان، حالت‌های روحی فرد، نظارت و غیره در چارچوب روش تجزیه و تحلیل عوامل انسانی و طبقه‌بندی سیستم شناسایی و پیش‌بینی می‌شوند. سپس، روشی برای تخمین احتمال تأثیر ریشه‌ها بر روی پرسنل ارائه می‌گردد که با استفاده از نتایج آن، اولویت‌بندی اقدامات کنترلی و اصلاحی لازم جهت کاهش خطاهای انسانی انجام می‌شود. درنهایت، مطالعه موردی روش پیشنهادی بر روی گروه‌های نگهداری انتقال و فوق توزیع فارس انجام شده است.

کلمات کلیدی: خطاهای انسانی، گروه‌های نگهداری و تعمیرات، احتمال خطا، صنعت انتقال برق و روش سیستم تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی عوامل انسانی.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۶ آذر ۱۳۹۹

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۳ دی ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹ بهمن ۱۳۹۹

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مهدی نفر

نشانی نویسنده‌ی مسئول: مرودشت- کیلومتر ۳ بولوار مرودشت- تخت جمشید- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۱- مقدمه

گسترش مصرف انرژی الکتریکی در سال‌های اخیر لزوم توجه به پایداری و کیفیت عرضه این انرژی را بیش از پیش آشکار می‌سازد چرا که کوچک‌ترین نوسان یا وقفه در تأمین انرژی یک کارخانه تولیدی، باعث تحمیل خسارت‌های مالی و همچنین وقفه‌های طولانی مدت در تولید به دلیل خراب شدن مواد اولیه بر روی خط تولید می‌گردد.

در مقاله [۱]، ۶۶ مورد خاموشی عمده سیستم‌های قدرت در بعضی از مناطق جهان از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، مورد بررسی قرار گرفته است. علت خاموشی عمده حوادث در حدود ۲۱ حادثه، خطای انسانی یا نقض تجهیزات بیان شده است. مقاله [۲] خطاهای انسانی را در سه گروه دسته‌بندی می‌کند که عبارتند از:

- ۱) گروه "A": اقدامات حین نگهداری که خطا می‌تواند باعث اشکال در عملکرد تجهیزات شوند. حادثه بزرگ کلمبیا در سال ۲۰۰۷ که منجر به بدون انرژی شدن حدود ۴۱ میلیون نفر برای ۴/۵ ساعت شد. علت این حادثه، خطای انسانی در حین نگهداری یک دستگاه حفاظتی در یک پست ۲۳۰ کیلوولت بوده است [۳].
- ۲) گروه "B": خطاهایی که در شروع رویدادها موثر هستند. در ۱۴ آگوست ۲۰۰۳ خطاهای فردی زیادی منجر به حادثه گسترده شد که منجر به خاموشی ۵۰ میلیون خانوار گردید. شروع این واقعه با اشتباه یک اپراتور نیروگاه آغاز و خطاهای فردی بعدی منجر به گسترش حادثه شد.
- ۳) گروه "C": خطاهایی که مربوط به پاسخ اپراتور به یک حادثه است.

وقوع حادثه آریزونا جنوبی-کالیفرنیا در سال ۲۰۱۱، منجر به قطع ناگهانی برق شد که تقریباً ۷ میلیون نفر را بدون برق نمود. خروج یک خط انتقال ۵۰۰ کیلوولت، این رویداد را آغاز کرد. در این زمان برخی از خطوط و ترانس‌ها پربار شدند و تغییرات ولتاژ رخ داد که به دلیل عدم دستورالعمل خاص و عدم آموزش مناسب اپراتورها در نتیجه منجر به عدم تصمیم‌گیری به موقع و رخداد آبخار حوادث گردید [۴].

همان‌طور که داده‌های خاموشی تاریخی و همچنین مصاحبه‌های اپراتورهای سیستم قدرت نشان می‌دهد رفتار انسان می‌تواند به شدت بر خرابی‌های آبخار در شبکه‌های برق تأثیر بگذارد [۴]. بنابراین خطای انسانی به عنوان یک عامل مهم بر روی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت تأثیر می‌گذارد. در مقاله [۵] این تأثیر بر روی دو شاخص قابلیت اطمینان سیستم قدرت، احتمال قطعی بار و انرژی توزیع نشده نشان داده شده است.

احتمال عملکرد صحیح فعالیت‌های مورد نیاز سیستم در طی مدت زمانی معین و شرایط کاری مشخص شده توسط شخص، قابلیت اطمینان انسانی نامیده می‌شود. تقریباً از دهه ۱۹۵۰، تحقیقات در مورد تحلیل قابلیت اطمینان انسانی به‌طور جدی و گسترده در نیروگاه‌های هسته‌ای، هوا فضا و سایر صنایع با نیازهای ایمنی بالا آغاز و توسعه یافته است. با این حال، اگر چه تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان بسیار مهم است، ولیکن تحقیقات قابلیت اطمینان انسانی در سیستم قدرت هنوز در دوران ابتدایی است [۶].

عوامل مختلفی می‌توانند عملکرد اپراتورهای انسانی را در تصمیم‌گیری‌های حیاتی با تأثیرات بالقوه مخرب یا منفی بر سیستم تحت تأثیر قرار دهد. نمونه‌هایی از این عوامل شامل وضعیت روانی اپراتورها در زمان وقوع رویداد، میزان استرس، خستگی، سطح تجربه، مدت زمان پاسخ‌گویی به یک موقعیت، دانش و آگاهی از وضعیت و غیره است [۴]. در مقاله [۷] میزان تأثیرگذاری عوامل انگیزه و شایستگی را به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور بر عملکرد انسانی در نگهداری صنعت انتقال برق بررسی می‌کند. مقاله [۸] معتقد است که وقوع خطا فقط به نگرش فردی کارگر ارتباط ندارد بلکه شرایط کار ارائه شده توسط کارفرما (مانند تجهیزات و مواد، زیرساخت‌ها، سازماندهی روندکار، حقوق، ساعت کار، اندازه کارکنان، رضایت شغلی، ثبات شغلی و غیره) نیز بر عملکرد کار تأثیر می‌گذارد. مقاله [۹] نشان می‌دهد که افزایش رضایت کارکنان می‌تواند منجر به کاهش حوادث شغلی شود. رضایت شغلی به عوامل مختلفی از جمله حقوق، مزایا، ارتقا و پاداش بستگی دارد. در مقاله [۱۰] بار نامناسب کار دیسپاچرها به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین دلایل خطای انسانی معرفی می‌کنند. تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان در مقاله [۱۱] برای مانورهای مختلف سوئیچینگ سیستم قدرت انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که احتمال بروز خطای انسانی زمانی افزایش می‌یابد که زمان کار به بیش از ده ساعت در روز افزایش یابد. در حین عملکرد مانور، "تجربه" و "زمان کافی" بر

عملکرد اپراتور تأثیر می‌گذارد. در همه این مطالعات و تحقیقات به موارد زیر پرداخته نشده است که هدف این مقاله پرداختن به این موارد است:

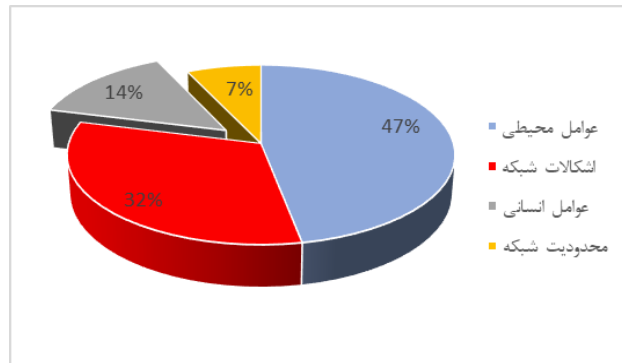
- اگرچه تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان بسیار مهم است، اما بیشتر تحقیقات در سیستم برق تنها خطاهای فنی را مورد بررسی قرار داده و از تأثیر عوامل انسانی در این مفهوم غفلت می‌کند [۵].
 - بیشتر تحقیقات در مورد تحلیل قابلیت اطمینان انسانی در سایر صنایع انجام شده است که کاملاً سازگار با سیستم برق نیستند [۱۱]. در مقاله‌های [۵] و [۱۲] توضیح می‌دهند که روش‌های موجود برای استفاده در سیستم قدرت دارای اشکال‌هایی هستند.
 - تمام مطالعات تحلیل قابلیت اطمینان انسانی از تجزیه و تحلیل فاکتورهای رفتاری انسان شروع شده‌اند [۱۳]. در تحقیقات قبلی، بر یافتن عوامل انسانی مؤثر در بروز تصادفات متمرکز شده‌اند. بنابراین علت اشتباه‌های انسانی بالفعل تاکنون به صورت محدود و کلی در یک یا چند جنبه برای شرکت‌های انتقال برق شناسایی شده‌اند (عمدتاً متمرکز بر عملکرد انسان مانند استرس، شرایط کار و ... [۵]) و به علت‌های بالقوه کمتر توجه شده است.
 - در اکثر تحقیقات، خطای اپراتورهای بهره‌بردار شبکه قدرت مورد مطالعه قرار گرفته است. در صورتی که خطای گروه‌های نگهداری شبکه برق بیشتر است [۳، ۱۴]. به طوری که تجزیه و تحلیل وقایع سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ در فارس نشان داد که خطاهای پرسنل نگهداری ۴ برابر بیشتر از اپراتورها بوده است.
 - همواره جهت بالا بردن کیفیت عملیات نگهداری و تعمیرات، گروه‌هایی در زمان عملیات نگهداری و تعمیرات وظیفه نظارت بر انجام صحیح و کامل نگهداری و تعمیرات دارند. عملکرد این گروه و نحوه ارتباطات‌شان می‌تواند بر روی عملکرد پرسنل اجرایی نگهداری تأثیر بگذارد که در مطالعات و تحقیقات گذشته، عوامل تأثیر گذار ناظر بر روی عملکرد پرسنل اجرایی نت به صورت محدود بررسی شده‌اند [۱۵، ۱۶].
- در این مقاله در بخش اول اهمیت مطالعه و بررسی خطای انسانی در شبکه‌های برق تحلیل می‌گردد. در بخش دوم درباره روش تحقیق مورد استفاده در این مقاله توضیحاتی داده می‌شود. در بخش سوم نحوه شناسایی و طبقه‌بندی ریشه‌های خطای انسانی بیان می‌گردد. در بخش چهارم احتمال رخداد این ریشه‌ها از دیدگاه خبرگان تخمین زده می‌شود و در نهایت در بخش پنجم به تجزیه و تحلیل و ارائه راه‌کارهای رفع ریشه‌های خطا با احتمال بالا پرداخته می‌شود.

۲- تأثیر خطای انسانی بر روی شبکه‌های برق

برای کاهش حوادث در شبکه‌های انتقال برق باید همواره خطاهای محتمل و بالقوه آن شناسایی، ریشه‌یابی و تحت کنترل قرار گیرند. با بررسی‌های انجام شده، عوامل ایجاد کننده حادثه در شبکه‌های انتقال برق به چهار گروه عمده (عوامل محیطی، اشکال‌های شبکه، عوامل انسانی و محدودیت شبکه) تقسیم‌بندی می‌شوند. درصد خروج خودکار تجهیزات ناشی از عوامل انسانی در شرکت برق منطقه‌ای فارس طبق شکل (۱) تقریباً ۱۳/۶ درصد است [۱۴]. هم‌چنین تحلیل ۱۴ حادثه بزرگ رخ داده در طی سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۵ میلادی در سرتاسر جهان نشان می‌دهد که شروع ۱۴ درصد از خروج‌های گسترده شبکه‌های الکتریکی به‌طور مستقیم به دلیل خطای انسانی بوده است [۳].

خطاهای انسانی بر روی شبکه‌های قدرت از سه جنبه قابلیت اطمینان شبکه، کسب درآمد و ایمنی تأثیر می‌گذارند.

۱. کاهش قابلیت اطمینان شبکه: خطاهای انسانی موجب خروج بی‌مورد تجهیزات الکتریکی شده که به تبع سطح دسترسی به شبکه کاهش می‌یابد. در بررسی‌های انجام شده بر روی حوادث شبکه برق فارس مشخص گردید که خطای انسانی میانگین شاخص در دسترس بودن شبکه طی یک دوره ۵ ساله بین ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ به میزان ۰/۰۴ درصد به علت خطای انسانی کاهش یافته است.

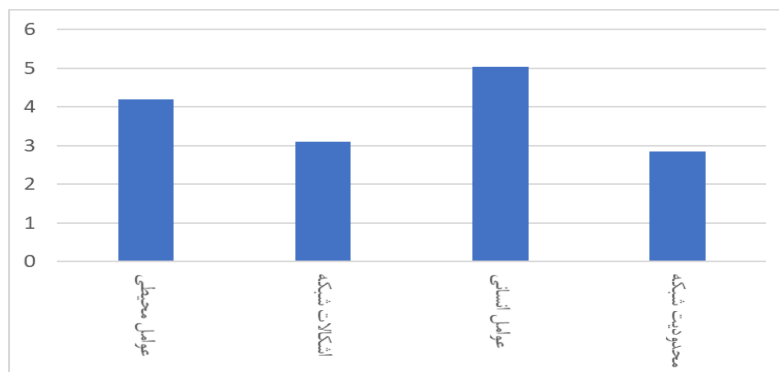


شکل (۱): درصد خروج خودکار تجهیزات در بازه پنج ساله از ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

Figure (1): The automatic outage of equipment in the five-year period from 2013 to 2017

۲. کاهش درآمد عبور برق: در سال‌های اخیر با تغییر در نحوه فروش انرژی از طریق بازار برق، خروج برنامه‌ریزی نشده خطوط و ترانسفورماتورها موجب کاهش درآمد شرکت‌های انتقال برق می‌شود. کاهش درآمد بستگی به زمان تعمیر تجهیزات دارد. شکل (۲) نشان می‌دهد که شاخص میانگین زمان برای تعمیر (MTTR) تجهیزات به دلیل عوامل انسانی بالاتر از سایر عوامل قطع است [۱۴] زیرا یافتن و ترمیم علت قطعی ناشی از خطاهای انسانی به دلیل نهفته بودن و رفع آن زمان‌بر است.

۳. کاهش ایمنی تجهیزات و پرسنل: فعالیت‌هایی که منجر به خطا می‌شوند، می‌توانند به دو دسته خطرناک و غیر خطرناک تقسیم شوند. فعالیت‌های خطرناک عبارتند از برق‌دار کردن تجهیزات بی‌برق و زمین شده یا بالعکس هستند. در این حالت ممکن است پرسنل و تجهیزات آسیب ببینند. فعالیت غیر خطرناک مربوط به آزمایش نادرست، تنظیم اشتباه رله‌های حفاظتی، عدم سرویس کامل و ... می‌شود. در این حالت ممکن است تجهیز دچار آسیب شود ولیکن احتمال آن نسبت به حالت قبل کمتر است.



شکل (۲): متوسط زمان تعمیر تجهیزات در بازه پنج ساله ۱۳۹۶-۱۳۹۲

Figure (2): MTTR of equipment in the five-year period 2013-2017

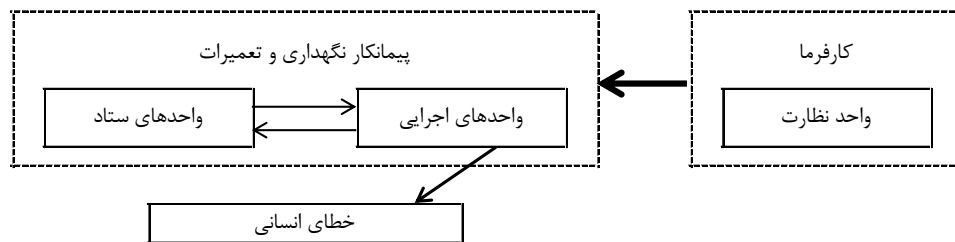
بنابراین خطاهای انسانی به دلیل پیامدهای بیشتر در زمینه آسیب‌های انسانی از اهمیت افزون‌تری برخوردار هستند. با مطالعات و ارزیابی ریسک خطرات عوامل انسانی مشغول در صنعت انتقال برق مشخص گردید که ضریب اولویت ریسک گروه-های تعمیرات در بین همه گروه‌های کاری بیشترین است. بنابراین در این مقاله به کمک نظر خبرگان و اطلاعات حوادث موجود، علل خطاهای انسانی گروه‌های نگهداری و تعمیرات شناسایی و احتمال آنها تعیین می‌شوند.

۳- روش تحقیق

نگهداری و تعمیرات به مجموعه‌ای از فعالیت‌های برنامه‌ریزی، تامین قطعات، اجرا، نظارت و مدیریتی به‌منظور حفظ یا بازسازی سیستم به حالتی که عملکرد مورد انتظار را انجام دهد، در طول چرخه عمر سیستم گفته می‌شود. خطا در برنامه‌ریزی، اجرا یا نظارت بر عملیات نگهداری و تعمیرات می‌تواند موجب خرابی سیستم و به تبع ایجاد وقفه در تامین انرژی مشترکین یا وقوع

حادثه‌ای گردد. مدیریت مناسب عملیات نگهداری و تعمیرات به افزایش پایداری شبکه‌های برق و کاهش خرابی‌ها کمک می‌کند.

پژوهش حاضر یک مطالعه موردی است که در بخش‌های زیر مجموعه تعمیر و نگهداری شبکه‌های انتقال و فوق توزیع انجام شده است. تمامی گروه‌های کاری در بخش تعمیر و نگهداری از نظر وظایف و فعالیت‌ها بررسی شده و گروه‌هایی که فعالیت‌های آنها می‌تواند موجب خرابی یا حادثه در شبکه شوند، شناسایی و تعیین گردیدند. شکل (۳) ساختار تعمیر و نگهداری در صنعت برق از این دیدگاه را نشان می‌دهد.



شکل (۳): ساختار تعمیر و نگهداری در صنعت برق

Figure (3): Maintenance structure in the power transmission industry

گروه‌های اجرایی به گروه‌هایی گفته می‌شود که در ایستگاه‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع از رده ۶۳ کیلو ولت به بالا مشغول به انجام عملیات نگهداری و تعمیرات تجهیزات در چارچوب بازبینی‌ها و برکه آزمایش‌ها هستند. تعداد این گروه‌ها با توجه به وسعت شبکه‌های انتقال و فوق توزیع فارس در حدود ۱۵۰۰۰ کیلومتر مدار خط و ۲۵۰ ایستگاه انتقال و فوق توزیع در یک روز در حدود ۷۵ گروه اغلب ۳ نفره است.

گروه‌های ستاد در واقع پشتیبان گروه‌های اجرایی از نظر علمی، مالی و اداری هستند. در این گروه دو واحد به صورت مستقیم بر روی خروج بی‌برنامه تجهیزات تأثیر می‌گذارند. یکی پرسنل محاسبه کننده تنظیم رله‌های حفاظتی و دیگری واحد تهیه کننده لوازم یدکی است که اگر این دو واحد کار خود را به خوبی انجام ندهند، ممکن است به دلیل تنظیم‌های اشتباه رله‌ها یا خرید تجهیزات ضعیف و نامرغوب موجب خروج ناخواسته شبکه برق می‌شوند. بقیه واحدها در گروه ستاد به صورت غیر مستقیم بر روی عملکرد گروه‌های اجرایی تأثیر می‌گذارند. به طور مثال اگر واحد مالی وظیفه تأمین منابع مالی را انجام ندهد موجب نارضایتی پرسنل و عملکرد اشتباه آنها می‌شود و به همین ترتیب بقیه واحدها.

در این پژوهش برای شناسایی و پیش‌بینی علل احتمالی حوادث ناشی از خطاهای انسانی در عملیات های تعمیر و نگهداری در صنعت برق فارس نخست با روش مطالعه و نظرسنجی از خبرگان این صنعت، ریشه خطاهای انسانی به طور کلی شناسایی می‌شوند. سپس برای جمع بندی و طبقه‌بندی کردن این ریشه‌ها از مدل تجزیه و تحلیل عوامل انسانی و طبقه‌بندی سیستم^۲ (HFACS) استفاده شده است.

برای کنترل عامل انسانی باید به شناختی صحیح از خطاهای بالقوه آنها دست یافت. در سال‌های اخیر از مدل‌های مختلفی (THEA^۴، PHEA^۵، HAZOP^۶، HFACS، STAMP^۶ و ...) برای شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی استفاده شده است. هر کدام از این روش‌ها دارای محدودیتها و مزیت‌هایی هستند که در مقالات مختلف با یکدیگر مقایسه می‌گردند [۱۷، ۱۸]. در میان این روش‌ها، تجزیه و تحلیل عوامل انسانی و طبقه‌بندی سیستم (HFACS) شامل رویه‌های سیستماتیک و درک جامعی از دلایل احتمالی مانند خطاهای تصمیم‌گیری، نظارت و ... است. بنابراین این روش برای تجزیه و تحلیل خطای انسانی در قطعی‌های سیستم قدرت سازگار است. مزیت عمده این روش، تقسیم‌بندی عوامل مختلف خطای انسانی در چارچوب جامعی از اشتباه‌های افراد دخیل در بخش‌های مختلف عملیات نگهداری و تعمیرات (سرویس‌کننده، ناظر، مدیر و سازمان) است.

مدل HFACS یک چهارچوب سازمانی برای آنالیز حوادث است که در ابتدا برای تعمیر و نگهداری حمل و نقل هوایی مورد استفاده قرار می‌گرفته است [۱۹]. ریزن در سال ۱۹۹۰، مدلی برای شناسایی خطای انسانی در سوانح هوایی ارائه داد اما هیچ راه حل اصلاحی در آن پیشنهاد نکرد [۲۰]. در همین راستا ویگمن و شاپل، مدل توسعه یافته‌ای تحت عنوان HFACS معرفی

کردند که براساس مدل ریزن برای شناسایی خطای انسانی بود [۲۱]. مدل HFACS در سال ۲۰۰۲ توسط دکر به عنوان یکی از قوی‌ترین ابزارها برای بررسی انواع مختلف حوادث عنوان شد [۲۲]. روش HFACS با آنالیز حوادث گذشته و نظرات خبرگان می‌تواند چهارچوب جامعی از خطاهای انسانی در چهار سطح اعمال نایمن، پیش شرط برای اقدامات نایمن، نظارت نایمن و تأثیرات سازمانی ارائه دهد. این روش در حوزه‌های مختلفی از جمله شناسایی خطای انسانی در سیستم هوپیمایی [۱۸]، خطاهای مربوط به حمل و نقل و فوریت‌های پزشکی [۲۳]، تجزیه و تحلیل عامل انسانی در بهداشت و درمان [۲۰] مورد استفاده قرار گرفته است.

- سطح "اعمال نایمن" نماینده اکثر تحقیقات حوادث بوده و نشان دهنده رفتارهای متصدی است که به‌طور مستقیم باعث ایجاد حادثه شده و فرمی از خطاهای فعال در حادثه است. این سطح به دو زیرگروه شامل: خطاها و تخطی‌ها (موارد بی توجهی عمدی به قوانینی که منجر به حادثه می‌شوند) تقسیم‌بندی می‌گردد.
- سطح "پیش شرایط برای اعمال نایمن" دربرگیرنده پیش شرط‌های روانی خطای فعال در سطح "اعمال نایمن" است که به‌صورت خطای نهفته در حوادث است. این سطح به سه زیر گروه تقسیم‌بندی می‌شود که عبارت هستند از: فاکتورهای محیطی، وضعیت متصدی و فاکتورهای کارکنان.
- سطح "نظارت نایمن" عوامل بیرونی است که از جانب ناظرها بر روی عملکرد پرسنل اجرایی نگهداری تأثیر می‌گذارند.
- سطح "تأثیرات سازمانی" عواملی است که به دلیل عملکرد ضعیف بخش‌های مختلف سازمان تأثیر غیر مستقیم بر روی عملکرد پرسنل اجرایی نگهداری دارد.

الگوی تحقیقاتی شامل مراحل شناسایی، اولویت‌بندی و رفع ریشه‌های خطای انسانی در شکل (۴) پیشنهاد شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدا از تمام منابع جهت شناسایی ریشه‌های خطا استفاده شده است. سپس نظرات و اطلاعات جمع‌آوری شده جمع‌بندی با کمک یک پرسشنامه مجدداً بر اساس رابطه کوکران با خطای ۵ درصد از تقریباً ۳۲ نفر نظرخواهی می‌گردد. نتیجه نهایی این نظرخواهی تحت عنوان ریشه‌های نهایی خطای انسانی گروه‌های نگهداری و تعمیرات تشخیص داده می‌شوند. با توجه به محدودیت منابع جهت کاهش تأثیر ریشه‌های خطا مدیران راغب به اولویت‌بندی ریشه‌ها هستند. در این مقاله، روش تخمین احتمال تأثیرگذاری ریشه بر روی پرسنل برای اولویت‌بندی ریشه‌ها پیشنهاد گردید. در نهایت با پیشنهاد و اجرای راهکارهای کاهش تأثیر ریشه‌های موثرتر می‌توان خطاهای انسانی را کاهش داد.

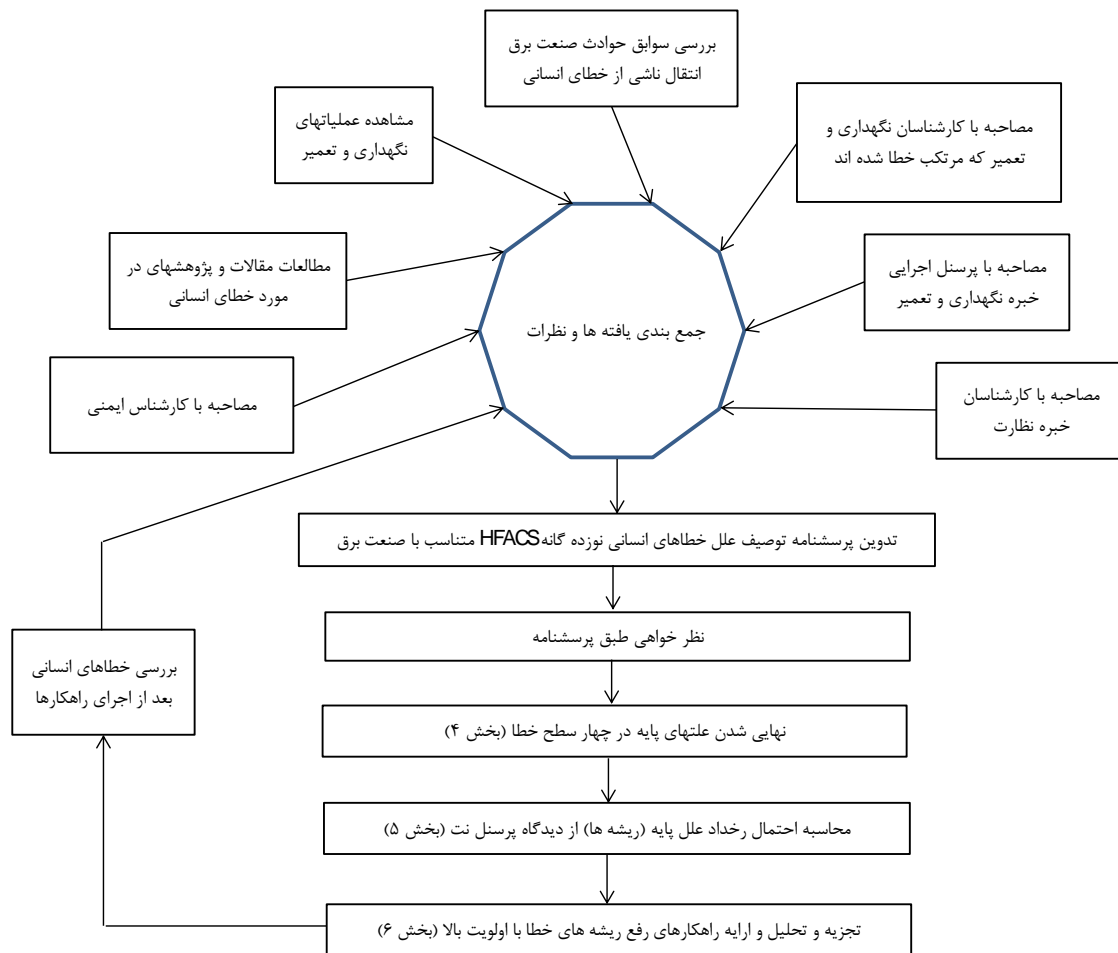
۴- ریشه‌های خطاهای انسانی گروه‌های تعمیرات

ریشه‌های شناسایی شده بر اساس مطالعه پژوهش‌های قبلی و نظرات خبرگان و کارشناسان نگهداری و تعمیرات شبکه‌های انتقال و فوق توزیع فارس به شرح زیر در چهار سطح مدل HFACS طبقه‌بندی شده‌اند.

۴-۱- سطح خطای اعمال نایمن

یک گروه اجرایی تعمیر و نگهداری از دو یا سه نفر متشکل شده که در هر گروه، یک نفر به عنوان سرپرست گروه است. به‌طور معمول، سرپرست گروه دارای تجربه، تخصص و مهارت بهتر و بیشتری نسبت به بقیه اعضاء گروه است. ولیکن در بررسی حوادث شرکت برق منطقه‌ای فارس سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ مشخص می‌شود که بیشترین حوادث نیروی انسانی توسط همین افراد با تجربه اتفاق افتاده است. همچنین همین موضوع در مقاله [۲۴] بیان می‌گردد که افراد بی تجربه دارای خطای بالایی هستند و بعد از مدتی با کسب تجربه، خطا کاهش یافته ولیکن مجدداً با افزایش تجربه به دلیل واگذاری کارهای سخت و پیچیده احتمال خطا افزایش می‌یابد. علت اصلی خطا در این افراد با ریشه‌یابی و مصاحبه با آنها، تکراری بودن کارها بیان نمودند که در طی سال‌های متمادی با تغییرات اندک، وظیفه روزمره‌شان تکرار می‌شود. همچنین عدم آگاهی کامل از علت وجودی یا کاربردی هر مورد دستورالعمل و برگه آزمایش به دلیل انجام نشدن برخی از این موارد یا عدم دقت کافی در انجام

صحیح آنها می‌تواند منجر به خطای انسانی شود. ۱۲ علت پایه‌ای در دو زیر سطح (خطا و تخلفات) برای این سطح خطا شناسایی شدند که در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل (۴): الگوی مراحل شناسایی، اولویت بندی و رفع ریشه‌های خطای انسانی
Figure (4): Pattern of steps to identify, prioritize and reduce the roots of human error.

جدول (۱): ریشه‌های خطای انسانی در سطح خطای اعمال ناایمن

Table (1): The roots of human error at the error level of unsafe actions

کد ریشه	علت خطا	علت خطای میانی	علت خطای پایه
۱	تخلفات	تخلفات استثنایی	پرسنل در بعضی مواقع برای عملیات نگهداری و تعمیرات به هر دلیلی آماده نیستند
۲			عدم استفاده از نقشه‌ها
۳			عدم استفاده از دستورالعمل‌ها
۴			پاسخ‌گویی به موبایل در حین کار
۵			تعجیل در انجام کار
۶			نقض دستورالعمل نگهداری و تعمیرات پیشنهادی
۷	خطاها	خطاهای تصمیم‌گیری	اشکالات موجود در دستورالعمل‌ها، تنظیم‌ها و ... بدون رفع عیب در زمان انجام عملیات نگهداری و تعمیرات به دلیل عدم توجه به اشکالات گفته شده در قبل، اجرا می‌شود
۸			برداشت اشتباه که برخی از موارد مهم هستند و باید چک شوند و بقیه لازم نیست.
۹			در مورد دلیل هر بخش از بازبینی یا تنظیم‌ها و عملکرد آنها اطلاعات کافی وجود ندارد
۱۰			کار بیش از توانایی فرد است
۱۱			انتخاب روش نامناسب جهت سرویس و تعمیر
۱۲			خطاهای مهارتی

۴-۲- سطح خطای پیش شرایط برای اقدامات نایمن

از آنجایی که ایستگاه‌ها و خطوط شبکه‌های انتقال و فوق توزیع انرژی الکتریکی در بیرون شهرها احداث می‌شوند. لذا گروه‌های اجرایی عملیات نگهداری و تعمیرات به‌طور متوسط ۶۰۰۰ کیلومتر مربع را تحت نظارت خود دارند. این عامل باعث شده گروه‌های تعمیر و نگهداری شبکه‌های الکتریکی انتقال همواره در مأموریت از خارج محل استقرار خود باشند. از طرف دیگر حجم زیاد کار موجب عدم استراحت کافی پرسنل و نبودن زمان مناسب با خانواده شده که به مرور خستگی فیزیکی و روحی پرسنل را به همراه داشته است.

کمبود نیروهای متخصص پشتیبان یکی از دلایل خطای انسانی به دلیل تشدید فعالیت‌های گروه‌های اجرایی است. علاوه بر این وضعیت آب و هوایی متنوع در مناطق جغرافیای مختلف نظیر گرما و شرجی بودن هوا در فصل گرما در مناطق جنوبی و نزدیک به دریا یا سرما و یخبندان در فصل سرما در مناطق شمالی و کوهستانی بر رفتار، شرایط و اقدامات فرد تأثیر می‌گذارند. ۱۰ ریشه خطاهای انسانی در سطح پیش شرایط برای اقدامات نایمن تشخیص داده شده است. این ریشه‌ها در جدول (۲) شرح داده شده‌اند.

جدول (۲): ریشه‌های خطای انسانی در سطح پیش شرایط برای اقدامات نایمن

Table 2: The roots of human error at the level of preconditions for unsafe actions

کد ریشه	علت خطا	علت خطای میانی	علت خطای پایه
۱۳	شرایط اپراتور	حالت‌های ذهنی نامطلوب	تکبر به دلایل مختلف از جمله تجربه، سن، تخصص و...
۱۴			خستگی روانی
۱۵			عدم توجه به خانواده و وقت نگذاشتن با آنها که می‌تواند به مرور موجب ناراحتی و خستگی پرسنل شود
۱۶			حجم کار
۱۷	عوامل فردی	حالت‌های فیزیولوژیک نامطلوب	خستگی فیزیکی
۱۸			نبود نیروی متخصص پشتیبان
۱۹	عوامل محیطی	مدیریت غلط منابع انسانی	داشتن کاری دوم در کنار کار موجود
۲۰			مأموریت‌های مستمر و زیاد خارج از محل استقرار به مرور موجب خستگی فرد می‌شود
۲۱			عدم توجه به اشکالات بیان شده در عملیات‌های قبل و اصلاح آنها از طرف واحدهای مربوطه
۲۲	عوامل محیطی	محیط فیزیکی	مناسب نبودن شرایط محیط (گرما/انور / آب و هوا و ...) که می‌تواند بر روی عملکرد شخص تأثیر بگذارد.

۴-۳- سطح خطای نظارت نایمن

عملیات نگهداری و تعمیرات شبکه‌های الکتریکی در ایران توسط پیمانکار خصوصی انجام می‌شود و نظارت بر انجام صحیح این عملیات بوسیله گروه‌های ناظر در شرکت‌های برق منطقه‌ای است. بنابراین گروه‌های ناظر کارفرما و ستاد پیمانکار به‌صورت غیر مستقیم بر روی عملکرد گروه‌های اجرایی تأثیر می‌گذارند. ریشه‌های خطاهای گروه‌های ناظر کارفرما در سه سطح سرپرستی و نظارت ناکافی، تخلفات نظارتی و عدم اصلاح مشکل شناخته شده تعریف می‌گردند که ۷ علت برای این زیر سطح‌ها طبق جدول (۳) شناسایی شده است.

دانش و تجربه ناکافی ناظر موجب نارضایتی و ناراحتی گروه‌های اجرایی پیمانکار با تجربه و با سابقه شده است. چرا که در بعضی وقتها با اظهار نظرهای غیر منطقی و غیر اصولی، فعالیت تعمیر و نگهداری را مختل می‌کنند. همچنین در بعضی وقتها تخلفات آشکار نظارتی به درخواست ناظر رخ می‌دهد، نظیر نادیده گرفتن بعضی از دستورالعمل‌های سازنده‌ها برای جلوگیری از اعمال خاموشی به مشترکین است. واحد تنظیم برنامه زمان‌بندی عملیات نگهداری و تعمیرات و هماهنگ‌کننده اجرای برنامه‌ها

در بخش ستاد شرکت پیمانکار نیز در سطح برنامه‌ریزی نامناسب عملیات، با ۷ علت تشخیص داده شده در جدول (۳) موجب خطاهای انسانی می‌گردند.

جدول (۳): ریشه‌های خطای انسانی در سطح نظارت نایمن

Table (3): The roots of human error at the level of unsafe supervision

کد ریشه	علت خطا	علت خطای پایه
۲۳	سرپرستی و نظارت ناکافی	پیگیری مناسب جهت تکمیل کمبود نقشه‌ها نشده است
۲۴		آگاهی نامناسب از وضعیت تجهیز به دلیل عدم انتقال مناسب تجربیات قبل و راهنمایی‌های ناموفق
۲۵		دانش و تجربه ناکافی ناظر
۲۶		ناظر بر اجرای کامل عملیات نگهداری بدون اولویت بندی وظایف تأکید دارد.
۲۷		از نظر کارفرما یا ناظر، ظاهر و تمیزی اهمیت دارد تا عملکرد تجهیز
۲۸	عدم اصلاح مشکل شناخته شده	عدم پیگیری جهت رفع اشکالات تجهیز توسط ناظر
۲۹	تخلفات نظارتی	ابلاغ کاری خارج از دستور کار برنامه نگهداری و تعمیرات تعریف شده در زمان عملیات نگهداری و تعمیرات از طرف ناظر
۳۰		احترام و ارزش گذاری نامناسب از طرف ناظر
۳۱	برنامه ریزی نامناسب عملیات	پرسنل تعمیر و نگهداری جهت استراحت یا بروز کردن اطلاعات خود فرصت مناسب ندارند
۳۲		تنظیم زمان نامناسب برای عملیات نگهداری و تعمیرات (از ۱۲ شب تا ۶ صبح/روزهای تعطیل)
۳۳		در نظر نگرفتن شرایط محیط و شبکه برق در تنظیم برنامه نگهداری و تعمیرات
۳۴		زیاد، تکراری و بعضی مواقع بی فایده بودن برخی موارد عملیات نگهداری و تعمیرات
۳۵		پیگیری برای رفع اشتباه‌های مربوط به داده‌های موجود، تنظیم‌ها، قطعات یدکی و غیره توسط تیم‌های اجرایی در زمان اجرا
۳۶		طولانی شدن عملیات تعمیر بعد از ساعت کار
۳۷		درخواست انجام نگهداری و تعمیرات برخلاف قوانین برای کاهش خاموشی‌ها توسط کارفرما
۳۸		همزمانی انجام پروژه‌های اصلاحی یا رفع خرابی با عملیات نگهداری و تعمیرات
۳۹		انتخاب نامناسب فرد برای انجام کار حساس

۴-۴- سطح خطای تأثیرات سازمانی

رفتارها و تصمیمات سطح مدیریتی به طور مستقیم بر روی شرایط روحی و فعالیت‌های گروه‌های اجرایی تأثیر می‌گذارد. به-طوری‌که در بعضی وقت‌ها با کوچک‌ترین تصمیم اشتباه می‌تواند موجب نارضایتی و بی‌اعتمادی گسترده در کل سازمان گردد. این سطح خطا با ۲۲ علت شناسایی شده دارای بیشترین علل پایه خطای انسانی از دید پرسنل و ریشه‌یابی حوادث است. در جدول (۴) این علت‌ها نشان داده شده است.

منابع انسانی از جمله مهمترین و اصلی ترین سرمایه‌های سازمان‌های تعمیر و نگهداری هستند. بنابراین راه‌کارهای انگیزشی قوی می‌تواند نیروهای متخصص و با تجربه را در سازمان نگه داشته و یا نیروهای جدید خیره را جذب کند. چرا که کاهش نیروهای خیره می‌تواند عملیات سرویس و نگهداری تجهیزات الکتریکی بخصوص واحد حفاظت را که هر روز با پیشرفت تکنولوژی، تخصصی‌تر و پیچیده‌تر می‌شوند، را با مشکل مواجه نماید.

دو منبع مالی و تجهیزات آزمایش در کنار منابع انسانی به بهبود فعالیت‌ها کمک می‌کنند. با داشتن منابع مالی قوی می‌توان حقوق مناسب و متناسب با کار انجام شده به پرسنل پرداخت نمود و تجهیزات آزمایش نیز متناسب به پیشرفت تجهیزات الکتریکی به روز گردد.

جو سازمانی به دلیل نبود ارتباط مستمر بین سطح مدیریتی و کارکنان و سطوح مختلف شرکت مناسب نبوده و موجب نارضایتی در بین کارکنان شده است که در صورت برقراری این ارتباط، مشکلات دیدگاهی کارکنان با مدیریت و بین خودشان، حل شده و فضای کاری درون سازمان بهتر و لذت بخش‌تر می‌گردد.

۵- تعیین احتمال وقوع علت های پایه خطاها

از آنجایی که اطلاعات مستندی از سوابق حوادث گذشته بخصوص در مورد علل پایه خطاها وجود ندارد، لذا محاسبه احتمال وقوع این علل پایه امکان پذیر نیست. بنابراین به کمک نظرسنجی از کارشناسان بوسیله پرسشنامه، احتمال وقوع رویداد محاسبه می گردد. احتمال وقوع خطا به پنج دسته مکرر، محتمل، گاه به گاه، خیلی کم و غیر محتمل طبقه بندی می شود. نتایج نظرسنجی از کارشناسان به صورت کیفی و زبانی دریافت می گردند. ولیکن جهت محاسبات بعدی به امتیازهای عددی به ترتیب ۵ تا ۱ تبدیل می شوند.

جدول (۴): ریشه های خطای انسانی در سطح خطای تأثیرات سازمانی
Table (4): The roots of human error at the level of organizational influences

کد ریشه	علت خطا	علت خطای میانی	علت خطای پایه
۴۰	مدیریت منابع	منابع انسانی	انگیزه مناسب وجود ندارد
۴۱			عدم آموزش تخصصی و کاربردی مناسب
۴۲			حقوق نا مناسب
۴۳	منابع مالی	منابع مالی	نبود تفاوت معنی دار در حقوق بین افراد با مسئولیت و بدون مسئولیت
۴۴			عدم تخصیص منابع مالی جهت تامین تجهیزات جدید و بروز
۴۵			طراحی ضعیف شبکه های برق
۴۶	تجهیزات/امکانات	منابع	کمبود تجهیزات تست کافی و به روز
۴۷	ساختار	ساختار	انتقال ضعیف اطلاعات، دستورالعمل ها، نتایج جلسات و ... از مدیران یا روسای گروه ها به پرسنل
۴۸			دستورالعمل ترفیع و رشد افراد به طور شفاف و کارا وجود ندارد
۴۹			نبود ارتباط مناسب بین واحدها و بازخورد از آنها
۵۰	جو سازمانی	فرهنگ	انتقال استرس ها و برخوردهای کاری از بالادست به پایین دست
۵۱			عدم توجه معنوی و مادی سازمان به افراد با مسئولیت
۵۲			نگرش اشتباه مبنی بر اینکه پرسنل مدام باید سرکار باشند
۵۳	سیاست	سیاست	سیاست مشخص جهت تفویض اختیار اعتماد به پرسنل با سابقه کم و مسئولیت پذیر نمودن آنها وجود ندارد.
۵۴			جذب نیروی جدید به کندی انجام می شود
۵۵			استخدامها بر اساس شایستگی و صلاحیت حرفه ای نیست
۵۶	روش ها	روش ها	انجام نشدن بررسی دقیق و ریشه ای حوادث نیروی انسانی و تلاش جهت رفع آنها
۵۷			نبود دستورالعمل تست و سرویس
۵۸			مشخص یا کامل نبودن شرح وظایف و ساختار سازمانی که در بعضی مواقع کارها افزایش می یابد
۵۹	عملیات	عملیات	نبود دستورالعمل شفاف تنبیه و تشویق
۶۰			برنامه ریزی نامناسب جهت استفاده از تمام پرسنل و امکانات

۵-۱- تعیین خبرگان و ارزیابی وزنی خبرگان

تعداد ۳۰ نفر از خبرگان تعمیر و نگهداری صنعت برق در سطوح رئیس واحد، سرپرست گروه، کارشناس یا کارگر در ساختار سازمانی فعالیت دارند، مطابق جدول (۵) جهت اظهار نظر انتخاب شده اند.

از آنجایی که خبرگان دارای معیارهای مختلفی نظیر: تحصیلات، تجربه کاری، سن و عنوان سازمانی هستند، لذا یک فاکتور وزنی نسبی با استفاده از این معیارها طبق جدول (۵) [۲۵] جهت اعمال در نقطه نظرات خبرگان تعریف می گردد. فاکتور وزنی نسبی از رابطه (۱) به دست می آید:

$$W_k = \frac{\sum_{i=1}^4 S_{ki}}{\sum_{j=1}^{30} \sum_{i=1}^4 S_{ji}} \quad (1)$$

که در آن W_k : وزن نسبی خبره k ام، S_{ki} : امتیاز خبره k ام در معیارهای ۴ گانه و S_{ji} : امتیاز خبره j ام در معیارهای ۴ گانه است.

۵-۲- جمع بندی نظرات خبرگان

نظرات جمع‌آوری شده خبرگان در خصوص احتمال وقوع علل خطاها را با استفاده از رابطه (۲) به صورت اجماع نظر برای هر علت خطا محاسبه و ارائه می‌گردد.

$$M_n = \frac{\sum_{k=1}^{30} W_k A_{nk}}{P * W_m} \quad (2)$$

M_n : اجماع نظر خبرگان در مورد احتمال رخداد خطای n ام، W_k : وزن نسبی خبره k ام، A_{nk} : نظر خبره k ام در مورد احتمال رخداد خطای n ام، W_m : متوسط وزن نسبی خبره‌های هر بخش و P : تعداد نفراتی که در مورد احتمال رخداد خطای n ام نظر داده‌اند.

جدول (۵): معیارهای چهارگانه خبرگان

Table (5): Four scoring criteria for experts

رتبه بندی معیار	امتیاز	تعداد نفرات تعیین شده	معیار خبرگان	ردیف
مدیر عامل	۶	--	عنوان سازمانی	۱
مدیر	۵	--		
رئیس واحد	۴	۳		
سرپرست گروه	۳	۱۴		
کارشناس	۲	۹		
کارگر	۱	۴		
بیش از ۲۰ سال	۵	--	میزان تجربه کاری (بر حسب سال)	۲
بین ۱۵ تا ۲۰ سال	۴	۱۴		
بین ۱۰ تا ۱۵ سال	۳	۵		
بین ۵ تا ۱۰ سال	۲	۷		
زیر ۵ سال	۱	۴		
دکتر	۵	--	میزان تحصیلات	۳
کارشناسی ارشد	۴	۵		
کارشناسی	۳	۱۸		
کاردانی	۲	۷		
زیر دیپلم	۱	--		
بیش از ۴۵ سال	۴	۱	سن (بر حسب سال)	۴
بین ۳۵ تا ۴۵ سال	۳	۱۳		
بین ۲۵ تا ۳۵ سال	۲	۱۶		
بین ۲۰ تا ۲۵ سال	۱	--		

۶- تجزیه و تحلیل و ارائه راه کار

بررسی‌های انجام شده در این مقاله نشان می‌دهد که ۷۰ درصد حوادث ناشی از خطای انسانی همزمان با عملیات سرویس نیست. به عبارتی یعنی در حین عملیات نگهداری و تعمیرات، اشکالات پنهان در تجهیزات به خوبی شناسایی نشده یا اشکالاتی

به وجود آمده که از چشم‌ها مخفی مانده است. به‌طور مثال در واحد حفاظت، ورود اشتباه تنظیم به رله یا پیکربندی نامناسب آن، امکان عملکرد کاذب رله با تغییر بار وجود دارد. یا در واحد پست، به نفوذ آب در رله‌های مکانیکی و تجهیزات کنترلی ترانس (بوخه‌لتس یا حرارت سنچ) می‌توان اشاره نمود که در زمان سرویس به‌طور مناسب آب بندی نشده‌اند و در زمان شرحی بودن هوا یا بارش باران، با نفوذ آب به داخل آنها، باعث عملکرد ناخواسته ترانس می‌گردند. در خطوط انتقال انرژی به مرور جمپرها شل می‌شوند که نیاز است در سرویس‌ها، آچارکشی شوند ولیکن خطای واضح گروه‌های عملیاتی خط، عدم دقت در انجام بازدید خطوط است که در زمان بالا رفتن بار عبوری از خطوط، این جمپرها داغ و ذوب شده، منجر به خروج خط می‌گردند. البته تجزیه و تحلیل حوادث نیروی انسانی در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که در بین گروه‌های اجرایی نگهداری، واحد حفاظت با ۶۲ درصد خطا بیشترین حوادث نیروی انسانی را به وجود آورده‌اند.

نتایج این پژوهش نشان داده است که خطاها علل متفاوتی از جمله فردی، وابسته به فعالیت، موقعیت و سازمان دارند که از دیدگاه گروه‌های اجرایی نگهداری شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق طبق جدول (۶) تأثیرات سازمانی به خصوص مدیریت منابع مالی دارای بیشترین نقش در بروز خطاهای انسانی دارد و نقش تخلفات نظارتی و تخلفات استثنایی نسبت به بقیه کمتر هستند. همچنین قابل ذکر است که برای برخی علت‌های خطای میانی طبق جدول (۶) ریشه‌ای طبق نظر کارشناسان مشخص نشده است.

جدول (۶): جمع‌بندی احتمال تاثیر ریشه‌های منجر به خطای انسانی با توجه به دیدگاه‌های متخصص در چارچوب روش HFACS
Table (6) Summarizes the probability of the impact of the roots leading to human error according to expert views in the framework of the HFACS method

سطح خطا	علت خطا	علت خطای میانی	جمع تخمین احتمال تاثیر ریشه بروی کارشناسان
اعمال نایمن	خطاها	خطاهای مهارتی	گاه به گاه
		خطاهای تصمیم‌گیری	گاه به گاه
		خطاهای ادراکی	
تخلفات	تخلفات	تخلفات روتین	گاه به گاه
		تخلفات استثنایی	خیلی کم
پیش شرط برای اقدامات نایمن	شرایط اپراتور	حالت‌های ذهنی نامطلوب	گاه به گاه
		حالت‌های فیزیولوژیک نامطلوب	گاه به گاه
	عوامل فردی	محدودیت جسمانی / ذهنی	
		مدیریت غلط منابع انسانی	گاه به گاه
عوامل محیطی	عوامل محیطی	آمادگی فردی	
		محیط فیزیکی	گاه به گاه
نظارت و سرپرستی نایمن	سرپرستی و نظارت ناکافی	برنامه ریزی نامناسب عملیات	گاه به گاه
		عدم اصلاح مشکل شناخته شده	گاه به گاه
	تخلفات نظارتی		خیلی کم
تأثیرات سازمانی	مدیریت منابع	منابع انسانی	گاه به گاه
		منابع مالی	محتمل
	جو سازمانی	منابع تجهیزات / امکانات	گاه به گاه
ساختار		گاه به گاه	

جدول (۷) جمع‌بندی نظرات خبرگان در مورد احتمال رخ دادن ۶۰ علت پایه (ریشه) برای گروه‌های اجرایی نگهداری شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق که در نهایت منجر به خطای انسانی می‌شود را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید طبق نظر هیچ گروهی احتمال عوامل خطا در بدترین وضعیت یعنی مکرر وجود ندارد. همچنین بهترین وضعیت یعنی غیر محتمل بودن عامل خطا نیز در گروه‌ها وجود ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همه این عامل‌ها به نوعی می‌توانند بر روی عملکرد گروه‌ها تأثیر بگذارند. چهار عامل پایه با احتمال "محتمل" در جدول (۸) با اولویت نشان داده شده است. با تجزیه و تحلیل این علل، موارد زیر قابل توجه هستند.

➤ توجه به مسائل مالی پرسنل از قبیل اصلاح سیستم دستمزد و حقوق بر اساس رتبه و جایگاه می‌تواند روحیه پرسنل را افزایش دهد.

➤ عدم توجه به تسریع در جذب نیروی جدید و متخصص موجب شده است که گروه‌های اجرایی تحت فشار کاری، زمانی برای استراحت و به روز کردن خود نداشته باشند. همچنین در معرض عوامل محیطی و جوی بودن، خستگی فیزیکی زیادی را در آنها به وجود آورده است. بنابراین اشتباهات کاری در آنان بیشتر می‌شود. در نظر سنجی‌ها نیز این موضوع برای گروه‌ها دارای اولویت بود.

جدول (۷): جمع بندی نظرات خبرگان در مورد ۶۰ خطای پایه در ۵ دسته احتمال

Table (7): Summarize the opinions of experts about 60 basic errors in 5 categories of probability

مکرر	محتمل	گاه به گاه	خیلی کم	غیر محتمل
۰	۴	۴۵	۱۱	۰

جدول (۸): علل پایه با احتمال محتمل بین گروه‌های اجرایی

Table (8): Basic causes with "probable" probability between executive groups

علت خطا	علت خطای میانی	علت خطای پایه
مدیریت منابع	منابع مالی	نبود تفاوت معنی دار در حقوق بین افراد با مسئولیت و بدون مسئولیت
جو سازمانی	سیاست	جذب نیروی جدید به کندی انجام می‌شود
برنامه ریزی نامناسب عملیات		پرسنل تعمیر و نگهداری جهت استراحت یا بروز کردن اطلاعات خود فرصت مناسب ندارند.
شرایط اپراتور	حالت‌های ذهنی نامطلوب	با توجه به حجم کار، احتمال خطا برای افراد وجود دارد.

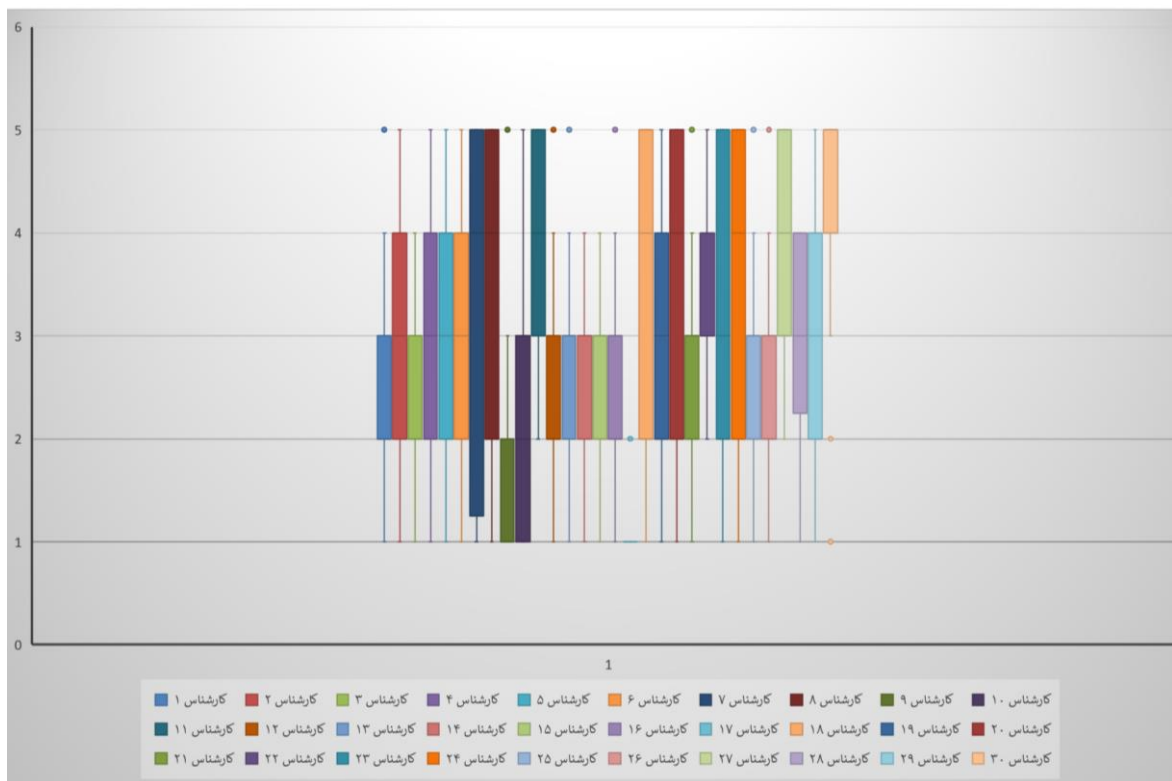
شکل (۵) سطح برآورد احتمال رخداد ریشه‌ها را بر روی گروه ۳۰ نفره کارشناسان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود سطح برآورد احتمال ریشه‌های کارشناس سی‌ام از همه بالاتر است. بنابراین پتانسیل خطا در این کارشناس بیشتر از بقیه است که لازمه تحت کنترل باشد تا از بروز خطای انسانی و در نهایت افزایش هزینه‌های سرویس و نگهداری توسط این شخص جلوگیری نمود. همچنین کارشناس هفدهم سطح برآورد احتمال ریشه‌های پایین تری دارد. البته بیش از یک سوم کارشناسان دارای قابلیت اطمینان بالای هستند چراکه احتمال تأثیرگذاری ریشه‌ها بر روی آنها کم هستند.

برای حذف یا کاهش خطاهای شناسایی شده نیاز به برنامه ریزی و مدیریت دقیق است. این کاهش خطا از طریق بهبود در آموزش، ارتقای فرهنگ ایمنی و اصلاح باورهای ایمنی نادرست مانند اجتناب ناپذیر بودن وقوع حوادث، بهبود در سامانه‌های مدیریتی و تجهیزات، افزایش دانش افراد و غیره دست یافتنی است. بعضی از راهکارهای پیشنهادی از دیدگاه سه گروه که می‌تواند به کاهش تأثیر عوامل پایه خطا کمک کند در جدول (۹) آورده شده است.

۷- نتیجه‌گیری

امروزه چالش اساسی مسئولین نگهداری و تعمیرات، خدمات برق‌رسانی بدون وقفه و با کیفیت به مشتریان است چرا که کیفیت پایین و وقفه‌های طولانی مدت موجب نارضایتی مشتریان می‌شوند. بنابراین کارکنان تعمیر و نگهداری اغلب تحت فشار کار می‌کنند تا کارها را در سریع‌ترین زمان ممکن به پایان برسانند. آنها برای دستیابی به موفقیت به‌طور مداوم خود را با منابع،

زمان، دانش و شرایط سازگار می‌کنند. این سازگاری‌ها ممکن است منجر به نتایج مثبت و همچنین نتایج منفی یا به عبارتی حوادث شوند.



شکل (۵): سطح برآورد احتمال رخداد ریشه‌ها در یک گروه ۳۰ نفری کارشناسان نگهداری و تعمیرات

Figure (5): Estimation range of the occurrence of roots by a group of 30 maintenance experts

جدول (۹): راه‌کارهای پیشنهادی با میزان تاثیر آنها

Table (9): Proposed solutions to reduce human error by estimating their impact

میزان تاثیر	راه‌کار
خیلی زیاد	از نظر معنوی احترام به افراد گذاشته شود.
خیلی زیاد	اضافه کردن بهره‌وری در حقوق
خیلی زیاد	ارزیابی پرسنل و رتبه بندی آنها
زیاد	تشویق همانند تنبیه دیده شود و همه پرسنل در جریان قرار گیرند تا ایجاد انگیزه شود
زیاد	تقویت پرسنل نواحی
زیاد	چک لیست‌ها اولویت بندی شوند.
زیاد	متفاوت شدن روند تست‌ها و کارها
متوسط	عدم پاسخگویی به تلفن همراه در حین کار

این مقاله به شناسایی ریشه‌های خطای انسانی در نگهداری و تعمیرات صنعت انتقال برق و بررسی تاثیرات آنها بر روی افراد با توجه به افزایش آمار حوادث بزرگ جهان ناشی از نیروی انسانی می‌پردازد. در این مطالعه، در گام نخست ۶۰ ریشه در ۴ سطح خطای اعمال نایمن، پیش شرایط برای اعمال نایمن، نظارت نایمن و تاثیرات سازمانی شناسایی و تقسیم‌بندی گردیده‌اند. در نظرسنجی از گروه‌های اجرای تعمیر و نگهداری از بین ۶۰ علت پایه شناسایی شده، ۴ علت دارای نقش زیادی در بروز خطای انسانی دارند. به‌طوریکه طبق نتایج به‌دست آمده، سیستم حقوق، کمبود نفرت و خستگی پرسنل نشأت گرفته از حجم کار و عدم استراحت مناسب از اصلی‌ترین علل پایه تأثیرگذار بر روی رفتار پرسنل اجرایی هستند. تجزیه و تحلیل این ریشه‌ها بر روی

عملکرد پرسنل نشان می‌دهد که ریشه‌های سطح خطای تاثیرات سازمانی به خصوص منابع مالی بیشترین تاثیرگذاری را بر روی کارشناسان دارند. به همین دلیل ریشه‌های این سطح خطا به عنوان یک عامل بیرونی نهفته ولی با تاثیرگذاری بالا بر روی شخص دارای اهمیت هستند.

References

مراجع

- [1] H.H. Alhelou, M.E. Hamedani-Golshan, T.C. Njenda, P. Siano, "A survey on power system blackout and cascading events: Research motivations and challenges", *Energies*, vol. 12, no. 4, pp. 682, 2019 (doi: /10.33-90/en12040682).
- [2] M. Prasad, A.J. Gaikwad, "Human error probability estimation by coupling simulator data and deterministic analysis", *Progress in Nuclear Energy*, vol. 8, pp. 22-29, May 2015 (doi: 10.1016/j.pnucene.2015.01.008).
- [3] O.P. Veloza, F. Santamaria, "Analysis of major blackouts from 2003 to 2015: Classification of incidents and review of main causes", *The Electricity Journal*, vol. 29, no. 7, pp. 42-49, Sept. 2016 (doi: 10.1016/j.tej.20-16.08.006).
- [4] Z. Wang, M. Rahnamay-Naeini, J.M. Abreu, R.A. Shuvro, P. Das, A.A. Mammoli, N. Ghani, M.M. Hayat, "Impacts of operators' behavior on reliability of power grids during cascading failures", *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 33, no. 6, pp. 6013-6024, Nov. 2018 (doi: 10.1109/TPWRS.2018.2825348).
- [5] Y. Bao, J. Guo, J. Tang, Z. Li, S. Pang, C. Guo, "Analysis of power system operation reliability incorporating human errors", *Proceeding of the IEEE/ICEMS*, pp. 1052-1056, Hangzhou, China, Oct. 2014 (doi: 10.11-09/ICEMS.2014.7013625).
- [6] J. Tang, Y. Bao, L. Wang, H. Lu, Y. Wang, C. Guo, J. Liu, B. Zhou, "A Bayesian network approach for human reliability analysis of power system", *Proceeding of the IEEE/APPEEC*, pp. 1-6, Kowloon, China, Dec. 2013 (doi: 10.1109/APPEEC.2013.6837128).
- [7] R. Peach, H. Ellisl, J.K. Visserl, "A maintenance performance measurement framework that includes maintenance human factors: a case study from the electricity transmission industry", *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 177-189, Aug. 2016 (doi: 10.7166/27-2-1492).
- [8] H. Silva-Santos, T. Araújo-dos-Santos, A.S. Alves, M.N. Silva, H.O.G. Costa, C.M.M. Melo, "Error-producing conditions in nursing staff work", *Rev Bras Enferm.*, vol. 71, no. 4, pp. 1858-1864, Jul-Aug. 2018 (doi:10.1590/0034-7167-2017-0192).
- [9] H. Akbari, M. Motalebi-Kashani, Z. Asadi, M. Kaveh, H. Saberi, "The relationship between job satisfaction and the incidence of unsafe acts in metal smelting industry workers in 2017", *International Archives of Health Sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 127-13, Jan. 2019 (doi: 10.4103/iahs.iahs_40_19).
- [10] B. Song, Z. Wang, Y. Lu, X. Teng, X. Chen, Y. Zhou, H. Ye, S. Fu, "A multidimensional workload assessment method for power grid dispatcher", *Proceeding of the EPCE*, pp: 55-68, Las Vegas, USA, July 2018 (doi: 10.1007/978-3-319-91122-9_5).
- [11] Y. Bao, C. Guo, J. Zhang, J. Wu, S. Pang, Z. Zhang, "Impact analysis of human factors on power system operation reliability", *Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 27-39, Jan. 2018 (doi: 10.1007/s40565-016-0231-6).
- [12] L. Peng-cheng, Ch. Guo-hua, D. Li-cao, Z. Li, "A fuzzy Bayesian network approach to improve the quantification of organizational influences in HRA frameworks", *Safety Science*, vol. 50, no. 7, pp. 1569-1583, Aug. 2012 (doi: 10.1016/j.ssci.2012.03.017).
- [13] X. Pan, Y. Lin, C. He, "A review of cognitive models in human reliability analysis", *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 33, no. 7, pp. 1299-1316, Nov. 2017 (doi: 10.1002/qre.2111).
- [14] "Fars power transmission network events analysis report-2018", *FREC annual report*, 2018 (in Persian).
- [15] V.N. Aju kumar, M.S. Gandhib, O.P. Gandhic, "Identification and assessment of factors influencing human reliability in maintenance using fuzzy cognitive maps", *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 31, no. 2, pp. 169-181, Mar. 2015 (doi: 10.1002/qre.1569).
- [16] V.N. Aju kumar, O.P. Gandhi, "Quantification of human error in maintenance using graph theory and matrix approach", *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 27, no. 8, pp. 1145-1172, Dec. 2011 (doi: 10.1002/qre.1202).
- [17] P.M. Salmon, M. Cornelissen, M.J. Trotter, "Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS and STAMP", *Safety Science*, vol. 50, no. 4, pp. 1158-1170, Apr. 2012 (doi: 10.1016/j.-ssci.2011.11.009).
- [18] M.T. Baysari, C. Caponecchia, A.S. McIntosh, J.R. Wilson, "Classification of errors contributing to rail incidents and accidents: A comparison of two human error identification techniques", *Safety Science*, vol. 47, no. 7, pp. 948-957, Aug. 2009 (doi: 10.1016/j.ssci.2008.09.012).

- [19] A.Y. Daramola, "An investigation of air accidents in Nigeria using the Human Factor Analysis and Classification System framework", *Journal of Air Transport Management*, vol. 35, pp. 39-50, Mar. 2014 (doi: 10.1016/j.jairtraman.2013.11.004).
- [20] T. Diller, G. Helmrich, S. Dunning, S. Cox, A. Buchanan, S. Shappell, "The Human Factors Analysis Classification System (HFACS) applied to health care", *Am J Med Qual.*, vol. 29, no. 3, pp. 181-190, May-June 2014 (doi: 10.1177/1062860613491623).
- [21] S.A. Shappell, D.A. Wiegmann, "Applying reason: the human factors analysis and classification system (HFACS)", *Human Factors and Aerospace Safety*, vol. 1, no. 1, pp. 59-86, Jan. 2001.
- [22] S.W.A. Dekker, "Reconstructing human contributions to accidents: the new view on error and performance", *Safety Research*, vol. 33, no. 3, pp. 371-385, Oct. 2002 (doi: 10.1016/S0022-4375(02)00032-4).
- [23] A. Boquet, C. Detwiler, S. Shappell, "A human factors analysis of U.S. emergency medical transport accidents", *Air medical journal*, vol. 23, no. 5 pp. 34-44, Sept. 2004 (doi: 10.1016/j.amj.2004.08.014).
- [24] G. Grigoraş, C. Bărbulescu, "Human errors monitoring in electrical transmission networks based on a partitioning algorithm", *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 49, pp. 128-136, Jul. 2013 (doi: 10.1016/j.ijepes.2012.12.016).
- [25] V.R. Renjith, G. Madhu, V.L.G. Nayagam, A.B. Bhasi, "Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 183, no. 1-3, pp. 103-110, Nov. 2010 (doi:10.1016/j.jhazmat.2010.06.116).

زیر نویس ها:

- ¹ Mean time to repair
- ² Human Factors Analysis and Classification System
- ³ Technique for Human Error Assessment
- ⁴ Predictive Human Error Analysis
- ⁵ Hazard and Operability Analysis
- ⁶ System Theoretic Accident Model and Processes