هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

اهمیت ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی به روش ارزیابی عملکرد تیم (PET) در یک نیروگاه هسته‌ای

معصومه ملکی‌ریزی[1]، غلامرضا جهانفرنیا[2]، کامران سپانلو[3] و احسان ظریفی[4]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی، گروه مهندسی هسته‌ای، تهران، ایران، masoum_maleki67@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی، گروه مهندسی هسته‌ای، تهران، ایران، rezajahan@yahoo.com

۳- دانشیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، تهران، ایران، ksepanloo@aeoi.org.ir

۴- استادیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، تهران، ایران، ezarifi@aeoi.org.ir

چکیده

تجزیه و تحلیل ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی نقش مهمی در تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان کل یک سیستم بازی می‌کند. بررسی حوادث در صنایع حساس خصوصاً نیروگاه‌های هسته‌ای، نشانگر این است که خطای انسان دلیل اصلی بسیاری از حوادث به شمار می‌رود. ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی برای ارزیابی ایمنی احتمالی کل و تحلیل ریسک بسیار مهم است. در ارزیابی ایمنی احتمالی، که معمولاً شامل مدل‌سازی تعامل سیستم‌های ایمنی در طول یک توالی حادثه است، خطاهای انسانی همراه با خرابی‌های سخت‌افزاری مدل‌سازی می‌شوند. روش‌های مدل‌سازی خطاهای انسانی و ارزیابی احتمال وقوع چنین خطاهایی، در مقایسه با روش‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی و تخمین احتمال خرابی تجهیزات، متفاوت است. روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی مختلفی برای این منظور توسعه داده شده‌اند. در این روش‌ها اغلب خطای یک فرد که منجر به رخداد رویدادهای خطرناک می‌شود در ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی مدنظر قرار می‌گیرد. با بررسی دلایل ریشه‌ای وقوع خطای انسانی، توجه به رفتار تیم‌های انسانی بسیار حائز اهمیت است و امروزه حتی روش‌های خاصی توسعه داده شده‌اند که به صورت کمی و کیفی به بررسی میزان احتمال وقوع و تاثیر خطاهای تیم‌های انسانی در قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها می‌پردازند که یکی از این روش‌ها به روش ارزیابی عملکرد تیم (PET) معروف است. در این تحقیق ضمن مرور روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، به بررسی روش ارزیابی عملکرد تیم و مقایسه آن با سایر روش‌ها در یک حادثه نوعی پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خطای انسانی، قابلیت اطمینان انسان، ارزیابی ایمنی، عملکرد تیم، نیروگاه‌های هسته‌ای

مقدمه

امروزه با پیشرفت جوامع و مدرن شدن آنها، نیاز به انرژی‌های نوین نظیر نیروگاه‌های هسته‌ای، بیشتر به چشم می‌خورد. در نیروگاه‌های هسته‌ای به سبب پیچیده بودن سیستم‌های مهندسی و پیچیدگی کار با آنها و همچنین وجود سیستم‌هایی که خرابی یا عملکرد بد آنها تاثیرات غیرقابل پیش‌بینی، خواهند داشت، به عنوان یکی از صنایع مخاطره‌آمیز، محسوب می شوند. به منظور بررسی ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای، بایستی دید عمیقی نسبت به تاثیرات حوادث گوناگون برروی پارامترهای آن‌ها داشت. قابلیت اطمینان انسان یک موضوع محوری برای تخمین عواملی که است بر روی ایمنی و قابلیت اطمینان تاثیر گذار می‌باشد. پیرو مطالعات تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث، مشخص شده است بخش عمده‌ای از حوادث در نیروگاه‌های هسته‌ای ناشی از خطاهای انسانی می‌باشد. حوادثی مانند تری‌مایل‌آیلند و

[1] PET: Performance Evaluation of Team

چرنوبیل نمونه‌هایی از خطاهای انسانی هستند که نشان دادند که عواقب آنها چقدر فاجعه‌بار است.

ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی فرآیندی است که عملکردهای انسان را در پاسخ به حوادث، ارزیابی کرده و سهم آنها را در ریسک عملیات و بهره‌برداری یک نیروگاه هسته‌ای یا سایر سیستم‌های فنی پرخطر، پیش بینی می‌کند. فرآیند ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، اطلاعات مربوط به نیروگاه، کارکنان و فرآیندهای عملیاتی آن را به عنوان ورودی دریافت نموده و قابلیت اطمینان انسان‌هایی که در نیروگاه مشغول انجام عملیات هستند را حین حوادث خاص، پیش‌بینی می‌نماید. به سبب تنوع در عکس‌العمل کارکنان به حادثه، در کل، نتایج حاصل از یک مطالعه ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، دارای عدم‌قطعیت می‌باشد. این عدم قطعیت شامل متغیرهایی در عملکرد کارکنان و اثرات متنوع در پارامترهای تاثیر گذار یا فاکتورهای شکل‌دهی عملکرد[1] بر روی میزان احتمال خطای انسانی[2] می‌باشد.

ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی یک علم کاربردی در مرز بین آنالیز ایمنی احتمالی[3] (PSA)، نظریه قابلیت اطمینان، تجزیه و تحلیل ایمنی قطعی[4] (DSA)، شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده، فاکتورهای انسانی[5] (HF)، مهندسی سیستم‌های شناختی[6] (CSE)، روانشناسی و علوم اعصاب می‌باشد و در تلاش است با بکارگیری آنچه از این علوم بدست آمده است، اثر دخالت‌های انسان و احتمال رویدادهای شکست انسانی (HFE)[7] در سیستم اجتماعی فنی[8] (STS) را نشان دهد. با افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات در سیستم‌های فنی، انسان‌هایی که آنها را طراحی، مدیریت و نگهداری می‌کنند به یک عنصر مهم و کلیدی تبدیل می‌شوند.

تاریخچه قابلیت اطمینان و خطا به بعد از سال ۱۹۵۰ برمی‌گردد، یعنی هنگامی که دانشمندان مدعی شدند که قابلیت اطمینان عناصر انسانی باید شامل پیش‌بینی و محاسبه قابلیت اطمینان سیستم باشد. ازطرفی، قابلیت اطمینان محاسبه شده سیستم‌ها، تصویر واقعی را مجسم نمی‌کرد [۱]. دیهیلون [۲] دلایل متفاوتی را برای علت وقوع خطای انسانی در نگهداری و مسائل اساسی نیروی انسانی ارائه کرد که عبارتند از پیچیده بودن وظایف نگهداری، ابزار کاری ناکافی و معیوب، طراحی ضعیف تجهیزات، رویه نگهداری با محتوای ضعیف، طرح‌بندی ضعیف کاری، دستورالعمل نگهداری منسوخ و قدیمی، خستگی پرسنل، محیط کار نامناسب (مانند روشنایی، رطوبت، دما و ...)، تمرین و آموزش ناکافی.

ژرتمن و همکاران [۳] یک روش ساده تحلیل قابلیت اطمینان انسانی را برای تخمین احتمالات خطای انسانی مرتبط با اقدامات و تصمیمات اپراتور و پرسنل در پاسخ به شروع رویدادها در نیروگاه‌های هسته‌ای ایالات متحده ارائه نمودند. این رویکرد شامل مشارکت‌های ناشی از شکست‌های تشخیصی و شکست‌های عملی بود، که زمینه مرتبط با رویدادهای شکست انسانی را با استفاده از عوامل شکل‌دهنده عملکرد و نقش وابستگی برای تنظیم احتمال خطای انسانی مورد بررسی قرار می‌داد.

مصلح و همکاران [۴] محدودیت‌های عمده روش‌های مرسوم برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی، به‌ویژه آن‌هایی که برای تحلیل پاسخ اپراتور در ارزیابی‌های ایمنی احتمالی نیروگاه‌های هسته‌ای توسعه یافته بودند را به عنوان انگیزه‌ای برای نیاز و مبنایی برای توسعه الزامات برای آینده عنوان کردند.

یونگ و همکاران [۵] به تجزیه و تحلیل زمان عملکرد یک اپراتورها و کاربرد آن در تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی در نیروگاه‌های هسته‌ای پرداختند. این مطالعه یک چارچوب تحلیل کیفی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان پرسنل واکنش اضطراری تحت شرایط حوادث شدید ارائه می‌کرد. این چارچوب با استفاده از روش HRA Phoenix همراه با تجزیه و تحلیل ویژگی‌های پاسخ اضطراری پرسنل و مسائل مربوط به انسان از حوادث قبلی، بررسی‌های متون، مشاهدات تجربی و مصاحبه‌ها، و همچنین ارزیابی کاربرد روش‌های ارزیابی قابلین اطمینان انسانی موجود توسعه داده شده بود. چارچوب تجزیه و تحلیل شامل ایجاد یک درخت پاسخ اضطراری پرسنل و یک درخت خطای شکست انسانی و همچنین شناسایی و جمع‌آوری عملکردهای شناختی اضطراری پرسنل، حالت‌های خطای انسانی، عوامل مؤثر بر عملکرد و ساخت شبکه‌های باور بیزی، برای ارائه راهنمایی روش شناختی برای پیشگیری از خطاهای انسانی در شرایط حادثه شدید بود.

چنگ [۶] و همکاران در مقاله‌ای به بررسی ارزیابی قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم، با تمرکز بر خطرات ناشی از خطای انسانی پرداختند. در ارزیابی سنتی ریسک شکست انسانی به دلیل عدم قطعیت و عدم دقت در احتمال خطای انسانی، احتمال اثر خطا و شدت پیامد خطا، دارای عدم قطعیت می‌باشد. در حالی که در منطق فازی عدم قطعیت و عدم دقت می‌توانند با یکدیگر تقابل نمایند. این یک ابزار کارآمد برای حل مشکلاتی است که در آن عدم قطعیت دانش، ممکن است رخ دهد.

ورونوف و همکاران [۷]، در یک تحقیق مدل سازی اقداماتی را که قرار بود توسط اپراتورهای نیروگاه هسته‌ای ایگنالینا[9] در طول یک توالی حادثه انجام شود، را بررسی نمودند. این مدل‌سازی برای ارزیابی ایمنی احتمالاتی از نیروگاه ایگنالینا اعمال شد. ترکیبی از رویه ارزیابی توالی حادثه[10] (ASEP) و روش پیش‌بینی میزان خطای انسانی (THERP)

[1] PSF: Performance Shaping Factor
[2] HEP: Human Error Probability
[3] PSA: Probabilistic Safety Assessment
[4] DSA: Deterministic Safety Assessment
[5] HF: Human Factor
[6] CSE: Cognitive System Engineering
[7] HFE: Human Failure Events
[8] STS: Socio-Technical System
[9] Ignalina
[10] ASEP: Accident Sequence Evaluating Procedure

استفاده شد. چنین روشی امکان ارزیابی احتمال خطای اپراتورها در مراحل مختلف عمل (شناسایی، تصمیم‌گیری و اجرا) را فراهم می‌نمود و امکان محاسبه مناسب را فراهم می‌کرد. عوامل مختلفی که بر عملکرد انسان تأثیر می‌گذارد (رابط، زنگ هشدار، نشان‌ها، روش‌ها، آموزش، استرس، زمان و غیره). تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی ارائه شده در این تحقیق امکان اصلاح مدل ارزیابی ایمنی احتمالاتی در نیروگاه ایگنالینا را فراهم می‌کند [۷].

فرنچ و همکاران [۸] در یک تحقیق به این موضوع پرداختند که در اجرای سیستم‌های پیچیده‌تر، تحلیل‌های ریسک و روش‌های مدیریت ریسک به بخش مهم‌تری برای مدیران تبدیل می شود، آن هم تمامی مدیران، نه فقط کسانی که مسئولیت مدیریت ریسک را بر عهده دارند. همچنین روشن می شود که رفتار انسان اغلب یکی از دلایل اصلی یا مؤثر در شکست سیستم است. در این تحقیق، روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی مورد بحث و بررسی قرار گرفت و استدلال شد که قبل از برآورده کردن الزامات تحلیل‌های ریسک و قابلیت اطمینان مدرن، نیاز به تحقیق و توسعه قابل‌توجهی وجود دارد و قادر به ارائه راهنمایی‌های لازم برای مدیریت سیستم‌های پیچیده به صورت ایمن می‌باشد. پیشنهاداتی برای چگونگی پیشرفت کار نیز در این زمینه ارائه شده است.

کاترینا و همکاران [۹]، در تحقیق خود به سه مشکل مرتبط با استفاده از عوامل شکل‌دهی عملکرد در تحلیل قابلیت اطمینان انسانی پرداختند. این مشکلات عبارتند از: (۱) بیش از دوازده روش تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی وجود دارد که از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد یا عوامل شکل‌دهی عملکرد برای مدل سازی عملکرد انسانی استفاده می‌کنند، اما مجموعه استانداردی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد در بین روش‌ها استفاده نمی‌شود، همچنین چارچوبی برای مقایسه عوامل تأثیرگذار بر عملکردهای مورد استفاده در روش‌های مختلف وجود ندارد؛ (۲) عوامل تأثیرگذار بر عملکردهایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طور خاص به اندازه کافی برای اطمینان از تفسیر سازگار عوامل موثر بر عملکردهای مشابه در بین روش‌ها تعریف نشده‌اند و (۳) قوانین کمی بر ایجاد، تعریف و استفاده از مجموعه‌های عوامل تأثیرگذار بر عملکرد حاکم است. این تحقیق مجموعه‌ای سلسله مراتبی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد را معرفی می‌کند که می‌توان برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی کیفی و کمی استفاده نمود. مجموعه عوامل تأثیرگذار بر عملکرد پیشنهادی در سلسله مراتبی مرتب شده است که می‌تواند برای رسیدن به اهداف متعدد تجمیع شود یا گسترش یابد.

آلوارنگا و همکاران [۱۰] در بررسی‌های خود به ارائه یک ارزیابی انتقادی از کاستی‌های مربوط به عوامل انسانی پرداختند و پتانسیل روش‌های کمی را که در دهه‌های گذشته پیشنهاد شده بودند، مانند روش پیش‌بینی میزان خطای انسانی (THERP)، روش تحلیل خطا و قابلیت اطمینان شناختی (CREAM) و تکنیکی برای تجزیه و تحلیل رویدادهای انسانی(ATHEANA)[1]، برای مدل سازی عوامل سازمانی، از جمله فرآیندهای شناختی در انسان و تعاملات بین انسان‌ها و گروه ها را ارائه نمودند. دو مدل مهم در این زمینه مورد بحث قرار گرفت: مدل و فرآیند سیستم‌ها-تئوری حادثه (STAMP)[2] و مدل مبتنی بر نظریه سیستم و روش تحلیل تشدید عملکردی(FRAM)[3]، که هدف آن مدل سازی غیرخطی‌های سیستم‌های فنی-اجتماعی بود [۱۰].

کاترینا و همکاران [۱۱] در تحقیق دیگری به تجزیه و تحلیل قابلیت انسانی با استفاده از استخراج داده با استفاده از شبکه بیزی پرداختند. در جامعه ارزیابی ریسک احتمالی، به طور گسترده‌ای نیاز به بهبود پایه علمی تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی وجود دارد. این کار منجر به تعدادی تلاش تحقیقاتی مستقل برای جمع‌آوری داده‌های تجربی برای تأیید روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی و تعدادی تلاش تحقیقاتی مستقل برای بهبود مدل‌های نظری عملکرد انسانی مورد استفاده در ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی می شود. این تحقیق روشی را برای ترکیب دقیق منابع چندگانه داده‌های تجربی با مدل‌های نظری معتبر برای افزایش کاربردهای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی کیفی و کمی معرفی نموده است. این روش از مجموعه‌ای جامع از عوامل موثر بر عملکرد برای ترکیب داده‌ها از منابع مختلف استفاده می‌کند. علاوه بر این، این مقاله نحوه استفاده از داده‌ها را برای جمع‌آوری بینش در مورد روابط بین عوامل مؤثر بر عملکرد و ایجاد یک مدل علّی ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی کمی توضیح می‌دهد.

تیان و همکاران [۱۲]، در بررسی‌های خود به مطالعه وضعیت تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی در مطالعات ارزیابی ایمنی احتمالی نیروگاه هسته‌ای چین پرداختند. آنان همچنین روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی اعمال شده در نیروگاه‌های هسته‌ای چین را توصیف نمودند. در نهایت، تلاش‌های آینده در زمینه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در چین پیشنهاد شده است.

جنگ و همکاران [۱۳] در مقاله خود به بررسی اینکه اکثر روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی با در نظر گرفتن نوع معمولی اتاق‌های کنترل اصلی توسعه داده شده‌اند، پرداختند. با این حال، محیط عملیاتی اتاق کنترل اصلی در نیروگاه‌های هسته‌ای با پذیرش رابط‌های جدید سیستم انسانی که مبتنی بر فناوری‌های رایانه ای هستند، تغییر نموده است. اتاق کنترل اصلی که شامل این فناوری‌های دیجیتالی هستند، مانند پانل‌های نمایشگر بزرگ، فرآیندهای رایانه‌ای و کنترل‌های نرم، اتاق کنترل اصلی پیشرفته نامیده می‌شوند. در میان بسیاری از

[1] ATHEANA: A Technique for Human Error Analysis
[2] STAMP: System Theoretic Accident Model and Process
[3] FRAM: Functional Resonance Analysis Method

ویژگی‌های اتاق کنترل اصلی پیشرفته، کنترل‌های نرم ویژگی مهمی هستند زیرا اقدامات عملیاتی در اتاق کنترل اصلی پیشرفته نیروگاه توسط کنترل نرم انجام می شود. با توجه به تفاوت در رابط بین کنترل نرم و کنترل نوع معمولی، احتمال خطاهای انسانی مختلف و یک چارچوب جدید ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی باید برای اتاق کنترل اصلی پیشرفته در نظر گرفته شده است. در نهایت، احتمال خطاهای انسانی نهایی در اتاق کنترل اصلی پیشرفته با ادغام چارچوب ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی پیشنهادی، و یک پایگاه داده احتمال خطای انسانی اسمی و بازیابی که از مطالعات تجربی ایجاد شده است، برآورد گردیده است.

کیم و همکاران [۱۴]، در مقاله ای به مطالعه اقدامات انسان در حین عملکرد در توان کم و خاموشی (LPSD) به عنوان عوامل مهم در عملکرد ایمن نیروگاه‌های هسته‌ای شناخته شده است، پرداختند. ویژگی‌های اقدامات انسان بین عملیات LPSD و عملکرد توان کامل متفاوت است، زیرا کنترل خودکار ممکن است غیرفعال باشد، اکثر اعلان‌های اتاق کنترل وضعیت هشدار را نشان می‌دهند و رویه‌ها با کمتر از حد کافی آماده شده‌اند. هدف این مطالعه کمی‌سازی وزن عوامل شکل‌دهنده عملکرد هنگام انجام ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در طول عملیات LPSD است. در ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، عوامل شکل‌دهی عملکرد، شرایطی هستند که تحت آن یک اپراتور وظایفی را انجام می‌دهد و عوامل شکل‌دهی عملکرد می‌تواند احتمال خطای انسانی را افزایش یا کاهش دهد. در این بررسی داده‌های خطای انسانی از تجربه عملیاتی نیروگاه جمع‌آوری شد و عوامل شکل‌دهی عملکرد برای توصیف هر داده خطای انسانی با استفاده از روش تحلیل علت ریشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، احتمال خطاهای انسانی ارائه شد و وزن چندین عوامل شکل‌دهی عملکرد منفرد و عوامل شکل‌دهی عملکرد ترکیبی که بر احتمال خطاهای انسانی تأثیر می‌گذارند هنگام اجرای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در طول عملیات LPSD اندازه‌گیری شد [۱۴].

چتری و همکاران [۱۵]، مطالعه‌ای را برای ارزیابی نقاط قوت و محدودیت‌های روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی رویدادهای خارجی، به منظور شناسایی مناطقی برای بهبود احتمالی، آغاز کردند. این مطالعه توصیفی از روش‌های مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی را برای ارزیابی ایمنی احتمالاتی در زلزله، آتش سوزی و سیل ارائه می‌کند. علاوه بر این، چالش‌ها و محدودیت‌های خاص این روش‌ها و همچنین تأثیر بر نتایج کلی ارزیابی ایمنی احتمالاتی را ارائه نموده است.

پارک و همکاران [۱۶] در مقاله خود عنوان نمودند که تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی روشی برای ارزیابی خطاهای انسانی و ارائه احتمالات خطای انسانی برای کاربرد در ارزیابی ایمنی احتمالی است. تا به امروز، روش عمومی پذیرفته شده ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی برای تخمین احتمالات خطای انسانی وجود نداشته است، زیرا چنین پذیرشی هنوز دارای چندین چالش می‌باشد، از جمله ۱) کمبود داده برای پیش بینی احتمالات خطای انسانی، ۲) نمایش محدود جنبه‌های شناختی عملکرد انسانی و ۳) تفاوت‌های قابل توجه. همچنین این مطالعه جنبه‌های کمی روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی را مقایسه نموده است.

پارک و همکاران [۱۷] در مقاله‌ای دیگر به بررسی ارتباط بین عوامل شکل‌دهی عملکرد برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان نیروگاه‌های هسته‌ای پرداختند. عوامل شکل‌دهنده عملکرد در تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی یکی از عواملی می‌باشد که ممکن است بر عملکرد انسان در یک کار تأثیرگذار باشد. اکثر روش‌های کاربردی ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در حال حاضر برای نیروگاه‌های هسته‌ای از عوامل شکل‌دهنده عملکرد برای برجسته کردن عوامل خطای انسانی و تنظیم احتمالات اولیه خطای انسانی که شرایط اسمی نیروگاه‌ها را فرض می‌کنند، استفاده می‌نمایند. بسیاری از مطالعات در زمینه‌های روانشناسی و عوامل انسانی نشان داد که ممکن است بین عوامل شکل‌دهنده عملکرد ارتباطی وجود داشته باشد. بنابراین، روابط متقابل بین عوامل شکل‌دهنده عملکرد باید مورد مطالعه قرار گیرد تا اثرات آنها بر خطاهای اپراتور بهتر منعکس شود. این مطالعه این روابط متقابل را با استفاده از دو منبع داده بررسی نموده است و همچنین یک رویکرد مبتنی بر پیش‌زمینه را برای بهبود روابط متقابل بین عوامل شکل‌دهنده عملکرد پیشنهاد می‌کند.

زارعی و همکاران [۱۸]، در پژوهشی به مطالعه صنایع فرآیند شیمیایی که با انواع مواد خطرناک در مقادیری کار می‌کنند و دارای پتانسیل تأثیرات بهداشتی، زیست محیطی و مالی زیادی بوده و به همین ترتیب در معرض خطر حوادث بزرگ هستند، پرداختند. تجربه حوادث در این حوزه موارد بسیاری را نشان می‌دهد که شامل تعاملات پیچیده انسان و ماشین است. تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی به عنوان یک رویکرد پیشگیرانه برای شناسایی، مدل سازی و تعیین کمیت خطای انسانی که به عنوان عامل اصلی حوادث برجسته شده است، استفاده شده است. این تحلیل بر عوامل انسانی در سه عنصر حیاتی صنایع فرآیند شیمیایی متمرکز است: عملیات تعمیر و نگهداری، عملیات اضطراری و عملیات اتاق کنترل. مقایسه ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در صنایع فرآیند شیمیایی نسبت به نیروگاه‌های هسته‌ای برای درک بهتر در مرحله بعدی پژوهش و چالش‌ها و فرصت‌ها انجام شده است.

[1] LPSD: Low Power and Shutdown

جمشیدی [۱۹] و همکارش در مقاله‌ای به بررسی تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان مبتنی بر شبکه عصبی در سیستم‌ها پرداختند. به دلیل احتمال خطاهای انسانی بسیاری از حوادث، خرابی‌ها و نقص‌های کیفی در سیستم‌های تولیدی، رخ می‌دهد. روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان انسانی برای اندازه‌گیری احتمال خطاهای انسانی بر اساس عوامل شکل‌دهی عملکرد پیشنهاد شده‌اند، اما این روش‌ها روشی برای انتخاب احتمال خطاهای انسانی مؤثر و در نظر گرفتن وابستگی به احتمال خطاهای انسانی ندارند. در این مقاله، یک تحلیل قابلیت اطمینان انسانی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی همراه با روش سطح پاسخ پیشنهاد شده است. این چارچوب از مزیت روش کاهش و پیش‌بینی خطای انسانی سیستماتیک برای تعیین کمیت عوامل شکل‌دهی عملکرد و برای در نظر گرفتن وابستگی به عوامل شکل‌دهی عملکرد و انتخاب مؤثرترین عوامل شکل‌دهی عملکرد استفاده می‌کند.

پارک و همکاران [۲۰] در بررسی‌های خود عنوان کردند که خطای انسانی یکی از خطرات بالقوه است و روش‌های تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی متنوعی برای ارائه روشی سیستماتیک برای تخمین احتمال خطاهای در زمینه‌های کاری خاص پیشنهاد داده‌اند. در این زمینه کیفیت نتایج تحلیل قابلیت اطمینان انسانی به شدت به اعتبار برآوردهای احتمال خطاهای انسانی بستگی دارد. این نشان می‌دهد که از نظر افزایش این اعتبار، جمع‌آوری اطلاعات ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی که برای درک زمان و چرایی خطاهای انسانی مفید است، موضوعی حیاتی است. به منظور پرداختن به این موضوع، در این مطالعه، امکان‌سنجی چارچوبی برای ادغام داده‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی به دست آمده از منابع مختلف بر اساس پیچیدگی وظایف فرآیندی بررسی شده است.

پارک و همکاران [۲۱]، همچنین در سال ۲۰۲۲ در مطالعه‌ای روش بررسی مبتنی بر فرآیند ارزیابی ریسک تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی را پیشنهاد نمودند. یک رویکرد ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی دینامیکی بر اساس ارزیابی ریسک مدل‌سازی رویداد با استفاده از نرم‌افزار نمودار پیوندی که توسط آزمایشگاه ملی آیداهو توسعه یافته بود مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نشان داد که چگونه می‌توان از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی اعمال انسان و ارزیابی احتمالات خطا استفاده نمود.

جائو و همکارانش [۲۲] در مقاله خود عنوان کردند که اکثر روش‌ها در ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی مبتنی بر نظرات متخصصانی است که ذهنی و نامطمئن می‌باشند. همچنین، عوامل مؤثر بر وابستگی معمولاً ثابت در نظر گرفته می شوند که غیرواقعی است. در این مقاله، یک مدل جدید مبتنی بر نظریه شواهد و فرضیه فازی برای بررسی وابستگی بین دو وظیفه در ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در شرایط نامشخص و دینامیکی پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی می‌توانست با عدم‌قطعیت‌ها در قضاوت‌ها و عوامل دینامیکی مؤثر بر وابستگی مقابله کند. یک مطالعه موردی برای نشان دادن اثربخشی و انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی نشان داده شده است.

پتکوف و همکارانش [۲۷-۲۳] در مطالعات خود به بررسی عملکرد تیم پرداختند و رویکردی تحت عنوان ارزیابی عملکرد تیم (PET) را مطرح نمودند. پس از آن، آنان رویکرد ارزیابی عملکرد تیم را برخی از حوادث هسته‌ای از جمله حادثه فوکوشیما و همچنین حوادث شدید یک نیروگاه هسته‌ای در حادثه گذرای بدون سقوط میله کنترل ارزیابی نمودند و بررسی عملکرد تیم در آن شرایط خاص پرداختند.

دراین مقاله، با توجه به اهمیت خطا و نقش انسان در بروز آن، ضمن بیان انواع خطاهای انسانی در یک دسته‌بندی مشخص، به بررسی عملکرد تیم در بروز خطاها و مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی عملکرد انسانی پرداخته شده است. قابل ذکر است با در نظرگرفتن علل بروز خطاها می‌توان با شناسایی نقاط ضعف، برای کاهش خطا و یا اصلاح آن برنامه‌ریزی و اقدام نمود.

روش انجام کار

خطای انسانی و قابلیت اطمینان انسان

خطای انسانی به معنای عدم انجام صحیح وظیفه مقرر در یک محدوده زمانی معین و یا انجام برخی اعمال اضافی که قابلیت اطمینان سیستم را کاهش دهد، تعریف می‌گردد. احتمال خطای انسانی به طور ایده‌آل برابر است با نسبت تعداد خطاهای انجام شده به تعداد کل دفعاتی که امکان انجام آن خطا وجود دارد. به طور کلی خطاهای انسانی، نتیجه طبیعی یک ترکیب نامطلوب از انسان و شرایط کاری او می‌باشد.

قابلیت اطمینان یا اطمینان‌پذیری درصد کامیابی در انجام دستورکار است، یا درصد اینکه سیستمی بی آنکه دچار نارسایی شود به دستورکار برگزیده با مرزهای گزینش شده در برنامه‌ریزی (مانند مرزهای زمانی و مکانی) و در بستر عملکردی ویژه کار کند. در واقع تعریف قابلیت اطمینان بر تعریف وقوع خرابی و عیب بنا شده‌است.

اقدامات انسانی پس از رویداد آغازگر، اقداماتی هستند که توسط یک اپراتور پس از یک رویداد آغازگر، یعنی زمانی که یک موقعیت اضطراری رخ می‌دهد، انجام می‌شود. پس از شروع رویداد، اپراتورهای نیروگاه باید اقداماتی را برای فعال‌سازی دستی و کنترل سیستم‌های نیروگاه انجام دهند که برای اطمینان از ایمنی نیروگاه و جلوگیری از حادثه ضروری است. این وظایف بخشی جدایی‌ناپذیر از پاسخ نیروگاه به رویدادهای آغازگر هستند. آنها به خوبی در روش‌های اضطراری نیروگاه تعریف و توصیف شده‌اند. در بیشتر موارد، سیستم‌های ایمنی نیروگاهی به طور خودکار پس از یک رویداد آغازین فعال می‌شوند و نقش اپراتورها همسوسازی و کنترل این سیستم‌ها می‌باشد. اگر توالی اضطراری رویدادها با سناریوی مورد انتظار مطابقت نداشته باشد، اهمیت

اقدامات اپراتورها بسیار بیشتر می‌شود. در عمل، اقدامات اپراتورها تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که مهمترین آنها عبارتند از:

- زمان؛
- استرس؛
- تجربه و آموزش؛
- در دسترس بودن رویه‌ها و دستورالعمل‌ها؛
- شناخت رویداد و وضعیت نیروگاه.

در ارزیابی ایمنی احتمالی، اقدامات پس از رویداد آغازگر را می‌توان به سه نوع مختلف تقسیم نمود:

- نوع ۱- اقدامات ایمنی رویه‌ای: این اقدامات شامل موفقیت یا شکست در رویه‌ها یا قوانین بعدی در پاسخ به یک توالی حادثه است.
- نوع ۲- اقدامات/خطاهای تشدیدکننده: این اقدامات مجموعه خاصی از خطاهایی است که به طور قابل توجهی پیشرفت حادثه را تشدید می‌کنند. چنین خطاهایی زمانی رخ می‌دهند که تصویر ذهنی اپراتور از نیروگاه با حالت واقعی آن متفاوت باشد، در این صورت تشخیص نادرست موقعیت منجر به انجام اقدامات درست به یک رویداد اشتباه می‌شود. شکل دیگری از چنین خطاهایی زمانی رخ می‌دهد که تشخیص درست انجام شود، اما یک استراتژی غیراصولی برای مقابله با رویداد انتخاب شود.
- نوع ۳- اقدامات بازیابی/تعمیرات بداهه: این اقدامات غیراستاندارد بوده و شامل بازیابی تجهیزات غیرقابل دسترس یا استفاده از روش‌های غیراستاندارد است.

انواع خطاهای انسانی

به طور کلی خطاهای انسانی به سه دسته خطاهای فردی، خطاهای تیمی و خطاهای محیطی تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود

خطاهای فردی

به طور کلی عواملی نظیر طراحی، نگهداری تجهیزات، بازرسی، جابجایی و اپراتور نقش اصلی در ایجاد خطاهای فردی را دارند. در شکل ۱ انواع خطاهای فردی نشان شده است. در ادامه، هر کدام از این خطاها با بررسی علل بوجود آورنده ارائه می‌شوند.

شکل ۱: انواع خطاهای فردی

۱) خطای طراحی: این خطا درنتیجه طراحی ناقص رخ می‌دهد. از عوامل بوجود آورنده آن می توان به انتساب وظیفه نامناسب به فرد، خطا درهنگام پیاده‌سازی برنامه‌ها توسط فرد و خطا در اطمینان از اثربخشی تعامل انسان و ماشین که به عوامل انسانی مشابهت دارند، اشاره نمود.

۲) خطای نگهداری تجهیزات: اینگونه خطاها به طور معمول به علت تعمیر و نگهداری نادرست، خطا در نصب و راه‌اندازی تجهیزات و اشتباه در نگهداری و تعمیرات مانند برنامه‌ریزی زمانی نادرست رخ می‌دهد.

۳) خطای بازرسی: این خطا به پذیرش خارج از تحمل اقلام و موارد یا رد تحمل آن مربوط است. از علل بروز آن می توان به اشتباه درکنترل کیفیت و اشتباه در نمونه‌گیری برای پذیرش، به بیان دیگر رد اقلام استاندارد و یا پذیرش اقلام غیراستاندارد اشاره نمود. باتوجه به مطالعات مختلف، خطای بازرسی به طور متوسط حدود ۸۵ درصد بوده است.

۴) خطای جابجایی: این خطا درنتیجه حمل‌ونقل نامناسب یا ذخیره‌سازی نامناسب تجهیزات می‌باشد. ازعلل آن می‌توان به عدم به کارگیری صحیح اصول و نحوه حمل‌ونقل (انسان یا دستگاه) اشاره نمود.

۵) خطای اپراتور: این خطا به طور معمول در زمینه استفاده از تجهیزات محیط رخ می‌دهد که مرتبط با پرسنل عملیاتی می‌باشد. از علل آن می‌توان به بی‌دقتی اپراتور در تولید، ضعف در آموزش دستورالعمل مناسب به اپراتور، سهل‌انگاری اپراتور در به‌کارگیری دستورالعمل‌های عملیاتی صحیح، انگیختگی هیجانی، فشارها و احساسات و ادراک و ارزیابی‌ها اشاره نمود.

خطاهای تیمی

در مجموعه‌هایی که عملکرد آن وابسته به تیم‌های کاری تخصصی مختلف می‌باشند نظیر نیروگاه‌های هسته‌ای، ممکن است دسته مهمی از خطاهای انسانی در مجموعه خطای تیمی رخ دهد. بطور کلی خطای تیمی به ۶ دسته زیر تقسیم می‌شود:

۱) پیوستگی و انسجام: مهم‌ترین و اولین عاملی که می‌تواند در یک تیم موفقیت به همراه داشته باشد پیوستگی و انسجام است. منظور از انسجام یعنی میزان تعهد و تمایل اعضا برای افزایش برتری تیم، همدلی اعضا، احترام به یکدیگر و نظرات‌شان، در نظر گرفتن توانایی هر

فرد و غیره که اگر این موارد در تیم رعایت شود قطعاً تیم می‌تواند رشد کند. مدیران برای داشتن تیم موفق باید این ویژگی‌ها را در گروه مدنظر داشته باشند و ارزیابی کنند. مدیران باید با دقت بررسی کنندکه:

- آیا اعضای تیم همکاری لازم را با یکدیگر دارند یا نه؟
- آیا اعضای تیم در فعالیت ها و بحث ها شرکت می کنند یا نه؟
- آیا اعضا با یکدیگر رابطه خوبی دارند یا نه؟

تمام این ارزیابی ها باعث می‌شود تا برای چالش‌های ارتباطی در گروه راه‌حل ایجاد شود و باعث منسجم‌تر شدن تیم شود. مولن وکوپر [۳۱]، سه جنبه از انسجام را تشخیص دادند که عبارتند از: جاذبه‌های میان فردی از اعضای تیم، تعهد به تیم کاری و غرور تیم و روحیه تیمی.

۲) هماهنگی تیم: اشاره به اثربخشی یک تیم سازمانی به عنوان واحدی برای انجام کار در هر دو بعد زمان و فضا دارد. به عبارتی دیگر، این مفهوم تقسیم مسئولیت‌ها و فرماندهی و کنترل آنها می‌باشد. همچنین مرتبط است با درجه‌ای از هماهنگ‌سازی سهم فردی درکار تیمی [۳۲]. دربعضی مطالعات به این مورد، هنجارگروه نیز گفته می‌شود که یک ایده و فکر در ارضای گروه می‌باشد. یک ایده زمانی می‌تواند به شکل بیانیه مشخص باشد که اعضا یا افراد دیگر باید آن را انجام دهند و انتظار می‌رود افراد تحت شرایط خاص به آن اقدام کنند [۱]. درتعریفی دیگر، یک انتظارمشترک از محدوده‌ی قابل قبول رفتار و رابطه با بعضی ارزش ها می باشد [۳۳]. هماهنگی تیم، انتظارات مشترک گروه است که با داشتن یک اساس ارزیابی اخلاقی، استاندارد شده و تعمیم یافته است و طیف وسیعی از رفتارهای غیرقابل قبول، تحت شرایط مقرر شده را تجویز می‌کند [۳۴]. عامل مهم و موثر بر هنجار گروه، آموزش خدمه در تیم است.

۳) در دسترس بودن ارتباطات: به در دسترس بودن ابزار، وسایل و ساز وکارها برای تبادل اطلاعات به اعضای تیم اشاره دارد، به ویژه وقتی خدمه در نقاط مختلف فیزیکی پراکنده‌اند. هماهنگی کار معمولا به شدت بر وسایل ارتباطی متکی است. ارتباط به خدمه اجازه می‌دهد تا دانش در مورد یک وضعیت را به اشتراک گذارند [۳۵].

۴) کیفیت ارتباطات: ارتباطات مناسب یکی از مهمترین عوامل موثر در موفقیت کار تیمی است. مکانیسم‌های ارتباطی موثر برای رشد تیم‌های موفق حیاتی است. برای درک عمق یک هدف و توافق بر سر راه رسیدن به این هدف، اعضای تیم باید روش موثر ارتباطی با یکدیگر را پیدا کنند. شاخص‌های ارتباطات تیمی موثر عبارتند از: لحن مکالمه ملایم، تمایل به در نظر گرفته همه ایده‌ها، تمایل به افزایش تناوب روابط، تعارضات کارآمد و فرآیند تصمیم گیری موثر. علاوه بر این، سازمان باید برای تقویت انسجام تیم، رضایت کارمندان و انگیزه، در جایی که تیم قادر به حل تعارضات نیست، یک فرآیند تصمیم گیری کارآمد را به کار گیرد. برخی از علل کیفیت ارتباطات ضعیف، درست عمل نکردن و اختلال مکانیسم‌های ارتباطی است.

۵) ترکیب تیم مربوط به اندازه و همگن بودن: ناهمگونی و عدم تکمیل و افزونگی دانش مورد نیاز و مهارت‌های لازم برای تکمیل کار را فراهم می‌کند [۳۶]. ارزیابی اندازه یک تیم، مدیران قادر به بهینه سازی عملکرد گروه خواهند بود. تعداد بیشتر اعضا در یک تیم، منابع بیشتری نیز برای رسیدن به هدف طلب می‌کند. با این حال، با افزایش اعضا احتمالا عملکرد گروه و مهارت گروه نیز افزایش می‌یابد و البته در این صورت حفظ انسجام گروه و همگنی آن کار سخت‌تری خواهد بود. برای ارزیابی اندازه مناسب یک گروه، مدیران باید هماهنگی گروه را تحت نظر بگیرند و ببینند که آیا همه‌ی وظایف به طور همگن میان اعضا تقسیم شده یا خیر. به طور معمول اندازه تیم با توجه به ماهیت ماموریت تیم تعیین می‌شود. اندازه بیش ازحد کوچک، حجم کار بیش از حد بالایی برای اعضای تیم ایجاد می‌کند. نیروی کار بطورکلی شامل اجرایی، نظارت و تدارکات پشتیبانی است. اطمینان از همگنی و ناهمگنی نشان می‌دهد که تیم اطلاع کافی دارد و قادر است وظایف را بدرستی در دست گیرد.

۶) رهبری: گرین و پاجلیس [۳۷] رهبری را به عنوان فرآیند تشخیص برای گروهی که در آن مجموعه کار می‌کند و جایی که نیاز دارد تا در آینده در آن جایگاه باشد و تدوین راهبرد برای آن وجود دارد، تعریف می‌کنند. رهبری همچنین شامل اجرای تغییر و پیشرفت پایه تحت تاثیر با همکاری رهروان، انگیزه آنها برای سخت کارکردن در تعقیب اهداف تغییر و کار با آن ها برای غلبه بر موانع برای تغییر می‌باشد. براساس این تعریف، اثربخشی رهبری می‌تواند با آنچه رهبری با آن جهتی را برای گروه تعیین می‌کند، اندازه‌گیری شود. رابطه ایجاد روابط با رهروان به منظور به دست آوردن تعهد دیگران برای تغییر اهداف و کار با آنهاست تا بر موانع غلبه کنند و تغییر را انجام دهند. در شکل ۲ انواع خطاهای تیمی ارائه شده است.

شکل ۲: انواع خطاهای تیمی [۳۸]

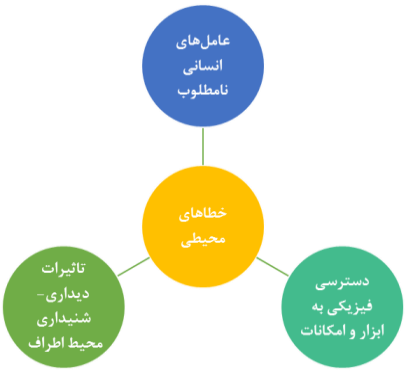
خطاهای محیطی

دسته دیگری از خطاهای انسانی، خطای محیطی می‌باشد. عوامل محیطی به‌تدریج و با سرعت بالا تحت تاثیر تغییرات محیطی موثر بر عملکرد انسان قرار می‌گیرند. برای مثال در بعضی اتاق‌های کنترل نیروگاه‌های هسته‌ای تعداد زیادی از قطعه ها با نشانه‌های رنگی

کدبندی شده است تا اهمیت موارد را نشان دهد. حالت یک نشان می-تواند در نور روشن ثابت، خاموشی ثابت و یاچشمک‌زن باشد. فعال‌سازی آن ممکن است با صدای زنگ اعلام هشدار همراه باشد. جلوه‌های بصری و صوتی ازجمله تغییرات اطراف می‌تواند عملکرد اپراتور را تحت تاثیر قراردهد [۳۸]. موارد دیگر محیطی شرایط محیطی نظیر نورضعیف، درجه حرارت بیش ازحد، سرو صدای بیش ازحد و ... می‌باشد. پس ازبررسی، خطاهای محیطی به سه دسته اصلی تقسیم و به صورت زیر دسته‌بندی شدند:

۱) عامل‌های انسانی نامطلوب
۲) دسترسی فیزیکی به ابزار و امکانات
۳) تاثیرات دیداری- شنیداری محیط اطراف

در شکل ۳ انواع خطاهای محیطی ارائه شده است.



شکل ۳: انواع خطاهای محیطی [۳۸]

روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی

روش‌های مورد استفاده، هر ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی باید حداقل ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

- عوامل مهم شکل‌دهنده عملکرد که بر اعمال انسان تأثیر می‌گذارند، به وضوح و به اندازه کافی برای درک و مستندسازی بیان شوند؛
- شناسایی و محاسبه وابستگی‌ها؛
- احتمال خطاهای انسانی در داخل مجموعه و با تجربه نیروگاهی و سایر شواهد سازگار باشد؛
- عدم‌قطعیت‌ها شناسایی، کمی‌سازی و نمایش داده شوند؛
- کل تجزیه و تحلیل‌ها به خوبی مستند شده است.

در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی به‌منظور بررسی قابلیت اطمینان انسانی توسعه داده شده‌اند. به طور کلی این روش‌ها در دسته-های نسل اول، دوم و سوم و روش‌های قضاوت کارشناسی تخصصی طبقه‌بندی می‌شوند. در جدول ۱ روش‌های مختلف بررسی قابلیت اطمینان انسانی مربوط به نسل‌های مختلف ارائه شده است.

روش‌های نسل اول: این ابزارها اولین ابزارهایی بودند که برای کمک به ارزیابان ریسک در پیش‌بینی و کمیت احتمال خطای انسانی توسعه داده شدند. آنها شامل ابزارهای از پیش پردازش شده مانند THERP[۱] و همچنین رویکردهای قضاوت تخصصی مانند APJ[۲] بودند. رویکردهای نسل اول ماهیت اتمیستی[۳] داشتند. آنها ارزیاب‌ها را تشویق می‌کردند تا یک کار را به اجزای سازنده تقسیم نموده و سپس تأثیر بالقوه عوامل اصلاحی مانند فشار زمان، طراحی تجهیزات و استرس را در نظر بگیرند. با ترکیب این عناصر، ارزیاب می توانست پتانسیل خطای انسانی اسمی را تعیین کند.

روش‌های نسل دوم: توسعه ابزارهای نسل دوم در دهه ۱۹۹۰ آغاز شد و در حال توسعه می‌باشد. این روش‌ها تلاشی برای در نظر گرفتن زمینه و خطاهای ارتباطی در پیش‌بینی خطای انسانی هستند. قابل‌توجه‌ترین ابزارهای نسل دوم ATHEANA[۴]، CREAM[۵]، MERMOS[۶] و CAHR[۷] می‌باشند. روش‌های این نسل هنوز در حال توسعه هستند، اما در شکل فعلی‌شان می‌توانند بینش مفیدی را در مورد مسائل قابلیت اطمینان انسانی ارائه دهند. ابزارهای جدید اکنون بر اساس ابزارهای نسل اول قبلی مانند HEART[۸] در حال توسعه و از آنها به عنوان روش‌های "نسل سوم" یاد می‌شود.

روش های مبتنی بر قضاوت تخصصی: روش‌های قضاوت تخصصی در اواسط دهه ۱۹۸۰ رایج شدند و همچنان به ویژه در محیط‌های با ایمنی بحرانی کمتر نسبت به صنایع بزرگ در حال استفاده می‌باشند. این ابزارها روشی ساختاریافته برای کارشناسان فراهم می‌کنند تا احتمال وقوع خطا در یک سناریوی خاص را در نظر بگیرند.

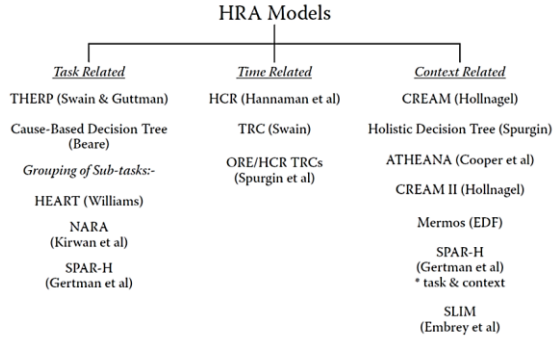
جدول ۱: روش‌های مختلف بررسی قابلیت اطمینان انسانی [۳۹]

Generation	Tool	Note	Domain
1st generation	THERP	A comprehensive HRA approach developed for the USNRC	Nuclear with wider application
	ASEP	A shortened version of THERP developed for the USNRC	Nuclear
	HEART	Relatively quick to apply and understood by engineers and human factors	Generic

[1] THERP: Technique for Human Error Rate Prediction
[2] APJ: Absolute Probability Judgement
[3] Atomistic
[۴] ATHEANA: A Technique for Human Error Analysis
[۵] CREAM: Cognitive Reliability and Error Analysis Method
[6] MERMOS: Method 'Evaluation de la Realisation des Missions Operateur pour la Surete
[7] CAHR: Connectionism Assessment of Human Reliability
[8] HEART: Human Error Assessment and Reduction Technique

		specialists. The method is available via published research papers.	
	SPAR-H	Useful approach for situations where a detailed assessment is not necessary. Developed for the USNRC. Based on HEART.	Nuclear with wider application
	HRMS	Comprehensive computerised tool. A proprietary method	Nuclear
	JHEDI	Faster screening technique than HRMS, its parent tool. A proprietary method	Nuclear
	INTENT	Narrow focus on errors of intention. Little evidence of use but potentially useful. Available by contacting the authors.	Nuclear
2nd generation	ATHEANA	Resource intensive and would benefit from further development. Developed by the USNRC	Nuclear with wider application
	CREAM	Requires further development. Available in a number of published references.	Nuclear with wider application
	CAHR	A database method that is potentially useful. Available by contacting the authors (CAHR website).	Generic
	CESA	Potentially useful. Available by contacting the authors.	Nuclear
	CODA	Requires further development and CAHR or CESA may be more useful. Available by contacting the authors.	Nuclear
	MERMOS	Developed and used by EdF, its development is ongoing. A proprietary tool.	Nuclear
3rd generation	NARA	A nuclear specific version of HEART (different author to the original). A proprietary tool.	Nuclear
Expert judgement	APJ	Requires tight controls to minimise bias, otherwise validity may be questionable. Viewed by some as more valid that PC and SLIM.	Generic
	PC	Requires tight controls to minimise bias, otherwise validity may be questionable	Generic
	SLIMMAUD	Requires tight controls to minimise bias of the SLIM element, otherwise validity can be questionable. The SLIM element is publicly available.	Nuclear with wider application

هر کدام از روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی مزایا و معایب خاص خود را دارند و در سطوح جزئیات متفاوت بوده و جنبه‌های مختلف اعمال انسان را برجسته می‌کنند. روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در ویژگی‌های‌شان دارای تفاوت می‌باشند. این ویژگی‌ها به سه دسته قابل تقسیم هستند: وابسته به وظیفه، وابسته به زمان و وابسته به محتوا.



شکل ۴: مدل‌های مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی که براساس ویژگی-هایشان گروه‌بندی شده‌اند.

برخی از این روش‌ها مانند THERP، HEART و CREAM از عوامل شکل‌دهنده عملکرد انتخاب شده در تنظیم احتمال خطای انسانی پایه استفاده می‌کنند. برخی دیگر مانند SLIM[1]، IDA[2] و غیره، احتمال خطای انسانی را با دست‌کاری عوامل موثر عملکرد، تولید می-کنند [۲۸].

گروه سوم این روش‌ها زمان را به عنوان یکی از عوامل موثر عملکرد کاهش می‌دهد که استفاده از آنها را برای تجزیه و تحلیل حوادث وابسته به زمان و اندازه‌گیری می‌کاهد. مطالعه رفتار انسان در شرایط اضطراری عمدتاً با انتصاب احتمال خطای انسانی در ارتباط است. معمولاً عملکرد اپراتور با توجه به ارائه آن‌ها در مدل‌های احتمالی درخت رویداد و درخت خطا به صورت جداگانه عمل می‌کند. با این وجود، می‌توان رویکرد واقع گرایانه‌تری را مبتنی بر توصیف محتوای شرایط اضطراری عمومی به‌کار برد.

در ارزیابی ریسک احتمالی سنتی و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، حالات سیستم ناایمن از طریق ترکیبی از خرابی‌های سخت افزاری و یا خطاهای غفلت (EOO[3]) حاصل می‌شود. با این حال، اپراتورها ممکن است اشتباهی عملی را انجام دهند که سناریو را در هر نقطه از توسعه سناریو بدتر کنند. این اقدامات به اصطلاح خطاهای راه‌اندازی (EOC[4]) نامیده می‌شوند. بنابراین، تلاش‌های متداول در تجزیه و تحلیل توالی رویداد ارزیابی ریسک احتمالی به مشارکت‌های قبلی بدون تجزیه و تحلیل ناشی از EOC می‌پردازد [۲۹]. متأسفانه، یک روش اثبات شده برای شناسایی سیستماتیک و تجزیه و تحلیل EOC بالقوه در دسترس نمی‌باشد و ارزیابی ریسک احتمالی معمول با آنها به طور جامع رفتار نمی‌کند. برای غلبه بر مشکل ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در شناسایی و رفتار EOCهای قابل‌توجه و EOC مهم، فرآیند ارزیابی عملکرد روش کار گروهی بین سه مفهوم اساسی که تعیین کننده قابلیت اطمینان عملکرد انسان است: نقض[5]، شناخت[6] و اقدامات نادرست اجرایی[7]، تمایز قائل می‌شود. یک جنبه مهم از روش ارزیابی عملکرد تیم برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی، اندازه‌گیری محتوا است.

دو رویکرد برای خطاهای انسانی وجود دارد، رویکرد شخص و رویکرد سیستم.

- اولین رویکرد "سهم خطاهای انسانی در سیستم ، توجیه روان‌شناختی خود ، اتهامات فراموشی، بی توجهی یا ضعف اخلاقی" متمرکز است [۳۰]؛
- رویکرد دوم تمرکز بر شرایط، موقعیت‌ها و زمینه‌هایی است که در آن یک فرد به طور عمدی و وجدانی اقدامات خود را به طور موثر مدیریت می‌کند و عواقب خطر عملکرد آن محدود می‌شود. که بیانیه افراطی به این صورت بیان می-شود"خطای انسانی هرگز علت اصلی نیست".
- رویکرد سیستم برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسان مبتنی بر محتوای ارجح و عملی است.
  - مهم نیست "چه کسی اشتباه کرده است، اما چطور و چرا دفاع شکست خورده است"؛

عملکرد انسان باید به عنوان یک تغییر در کل سیستم اجتماعی فنی (STS) در نظر گرفته شود که در آن انسان با فناوری، سایر انسان-ها، سازمان‌ها و محیط ارتباط برقرار می‌کند (Human error ≡ STS error).

پتکوف و فوروتا [۲۳] در سال ۱۹۹۸یک مفهوم ابتکاری از عوامل و شرایط محتوا (CFC[8]) را به عنوان عوامل کمی برای نشان دادن "چگونگی تأثیر علائم (CFC) بر محتوا" برای ارائه اثرات آنها بر عملکرد انسان پیشنهاد کرده اند، "چگونه محتوا بر اعمال در طول حادثه تأثیر می‌گذارد."

تجزیه و تحلیل حوادث مستلزم توسعه و بهبود مفاهیم، روش‌ها و ابزارهای پشتیبانی از عملکرد انسان، ایجاد فناوری انعطاف‌پذیر و اقدامات سازمانی قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری و مدیریت اثربخش است. تصمیم‌گیرنده در هر شرایطی یک انسان است و اقدامات موفقیت-آمیز یا اشتباه او همیشه بخشی قابل توجه از تحقیقات حوادث است.

مراحل اصلی تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان عبارتند از:

۱. شناسایی اقدامات اپراتورها: به عنوان نمونه، اقدامات کلیدی مهمی که برای ایمنی نیروگاه در ارزیابی ایمنی احتمالی شناسایی شده است با استفاده از روش‌های عملیاتی و اضطراری، مصاحبه با اپراتورها تأیید می‌شود.

[1] SLIM: Success Likelihood Index Model
[2] IDA: Information Decision and Action
[3] EOO: Errors of Omission
[4] EOC: Errors of Commission
[5] Violated
[6] Cognitive
[7] Executive
[8] CFC: Context Factors and Conditions

۲. برای هر اقدام برای شناسایی:

- معیارهای موفقیت- چه اقدامی باید انجام شود، چند اپراتور برای انجام عمل مورد نیاز است، چه سطحی از مهارت یا آموزش اپراتور مورد نیاز است، جایی که اقدام باید انجام شود؛
- شرایط مرزی- رویداد آغازگر چیست، چه نوع خرابی تجهیزات یا خطاهای انسانی قبل از اقدام انجام شده است؛
- زمان‌بندی- زمانی که عمل باید انجام شود، چه نشان‌ها و سیگنالی برای شروع کار هستند، چه مقدار زمان در اختیار اپراتور برای انجام عمل است. چه مقدار زمان برای انجام عمل لازم است؛
- وابستگی‌ها- چه روابطی بین اقدامات بر همان عملکرد تأثیر می‌گذارد، گزینه‌های ممکن چیست و کدام گزینه اولویت دارد.

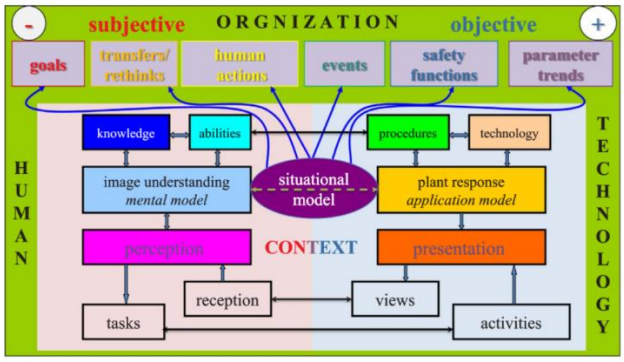
منابع مختلفی اطلاعات در این مرحله تجزیه و تحلیل می‌شوند عبارتند از: رویه‌های عملیاتی و اضطراری نیروگاه، گزارش‌های ایمنی، مدل و مدارک ارزیابی ایمنی احتمالی، چک لیست‌های مصاحبه با اپراتورها و غیره.

۳. انجام تجزیه و تحلیل کمی از خطاهای اپراتور.

تقریباً ۷۵٪ از کار تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی برای شناسایی اقدامات و گنجاندن آنها در ارزیابی ایمنی احتمالی و ۲۵٪ برای تخمین احتمالات خطای انسانی انجام می‌شود.

روش ارزیابی عملکرد تیم (PET)

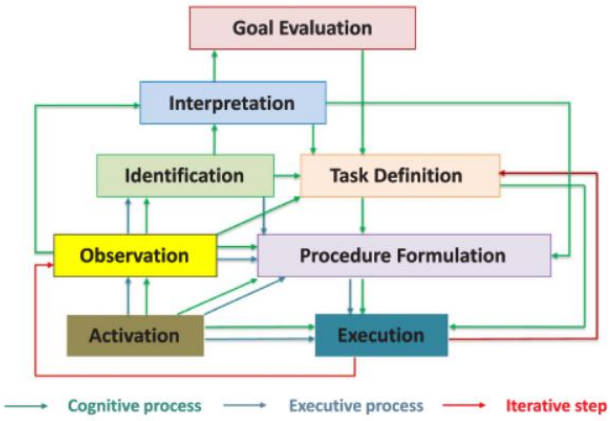
روش PET شامل دو مدل قابلیت اطمینان است که به صورت شبکه‌ای نمایش داده شده و با روش تحلیل قابلیت اطمینان توپولوژیکی نمودارها (ATRD[1]) حل می‌شود. در این روش قابلیت اطمینان عملکرد تیم با سه عامل تعیین می‌شود: شناخت فردی، ارتباطات تیمی و رهبری. آنها بر اساس کمی کردن احتمال محتوا و احتمال محتوای ارتباطی اعضای تیم با استفاده توالی روش نقض محدودیت‌های هدف (VOK[2]) در مدل محتوای ترکیبی مشخص می‌شوند. برای بدست آوردن نتایج کمی‌سازی برای به دست آوردن احتمال خطای شناختی (CEP[3]) افراد و تیم، از مدل‌های ATRD شناخت فردی و فرآیندهای ارتباطی تیمی، استفاده می‌شود [۴۱]. در واقع روش ارزیابی عملکرد تیم (PET) به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار محتوا، از فاکتورها و شرایط متناسب با فن‌آوری شناختی و مرتبط مانند اهداف، نقل و انتقالات، عملکردهای ایمنی، روند پارامترها، رویدادهای سناریو و اقدامات انسانی استفاده می‌کند (شکل ۵).



شکل ۵: تصویر محتوا از ارزیابی عملکرد تیم [۲۶]

به طور کلی، روانشناسان محتوا را به عنوان "یک وضعیت ذهنی" یا "مجموعه‌ای از نمایش‌ها و عملکردهای درونی یا ذهنی به جای مجموعه‌ای از عناصر محیطی" تعریف می‌کنند. محتوا تابعی از زمان "به صورت ثانیه به ثانیه" و نوع فرآیندهای ذهنی، سازمانی یا فیزیکی سیستم‌های شناختی است. روش ارزیابی عملکرد کار تیمی فرصتی برای ارزیابی احتمال خطا (شناختی CEP و اجرایی[4] EEP) عملکردهای فردی و گروهی فراهم می‌کند. مدل پله‌ای راسموسن از شناخت فردی که روش PET از آن استفاده می‌کند در شکل ۶ نشان داده شده است. برای بیشتر روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی که از عوامل شکل‌دهی عملکرد استفاده می‌کنند، وقتی تعدادی از عوامل شکل‌دهی عملکرد از قبل در مدل منطقی ارزیابی ایمنی احتمالی وجود داشته باشد، تأثیر وابستگی باید در نظر گرفته شود. آنها در درختان مختلف در همان مجموعه‌ها ظاهر می‌شوند. بسته به مسیرها، وابستگی‌ها کامل، زیاد، متوسط و کم یا صفر هستند. بین وزن‌دهی عوامل شکل‌دهی عملکرد و CFCها تفاوت اساسی وجود دارد. عوامل شکل‌دهی عملکرد عوامل وزنی در تأثیر عملکرد اپراتورها هستند، در حالی که CFCها پارامترهای وزنی یا گروهی از پارامترها هستند که مشخصه‌ی سناریوی معین است. وزن‌دهی علائم CFC می‌تواند براساس مجموعه‌ای از مهمترین پارامترهای مشخص شده برای حوادث مختلف در شبیه‌سازی باشد. چنین لیستی از قبل در سیستم اطلاعات واحد و شبیه سازهای مقیاس کامل وجود دارد. عملاً، پارامترهای مهمی که برای تفسیر و توضیح سناریوها استفاده می‌شود، ثابت بوده و محاسبه محتوا امکان‌پذیر است.

[1] ATRD: Analysis of Topological Reliability of Digraphs
[2] VOK: Violation of Objective Kerbs
[3] CEP: Cognitive Error Probability
[4] EEP: Executive Error Probability



شکل ۶: روش PET براساس مدل پله‌ای راسموسن از شناخت فردی [۲۶]

محاسبه محتوا مبتنی بر علائم، چشم انداز خوبی برای تجزیه و تحلیل دینامیکی حوادث، داده کاوی و جستجوی اقدامات پیش‌گیرانه ارائه می‌دهد که می‌توان برای موارد زیر استفاده نمود:

- توسعه لیستی از وقایع آغازگر فرضی، تشخیص ترکیبات احتمالی و احتمالی وقایع آغازگر، گنجاندن یا در نظر نگرفتن مواردی که دارای اثر احتمالی کم و شدید یا مطلوب می‌باشند؛
- اعتبار سنجی و تأیید فرآیند عملیات اضطراری (EOP)[1] و راهنمای مدیریت حوادث شدید (SAMG)[2]؛
- ارزیابی اقدامات فنی یا راهکارهای مدیریتی طرح شده یا پیشنهادی برای مدیریت حوادث شدید؛
- تدوین استراتژی برای مدیریت حوادث شدید بر اساس استفاده همزمان از کدهای یقینی و احتمالی برای سناریوهای حوادث؛
- تدوین سناریوها برای آموزش در خصوص حوادث (شدید).

- روش سنجش محتوای PET به عنوان بخشی از روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی PET برای حوادث مبنای طرح، تجزیه و تحلیل حوادث ماورای مبنای طراحی و مبتنی بر داده‌های حاصل از تحقیقات واقعی، محاسبات ترموهیدرولیکی، مبتنی بر برنامه نویسی رایانه‌ای و شبیه‌سازهای تمام دامنه، قابل اعمال است.

مقایسه روش PET با سایر روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در حوادث هسته‌ای

به طور کلی الگوریتم PET برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در حوادث هسته‌ای شامل مراحل زیر است [۴۱]:

۱. شرح دقیق زمانی (ثانیه به ثانیه) حادثه با امکان ردیابی براساس یک جدول زمانی دقیق؛
۲. تعیین پارامترهای ماکروسکوپی سیستم انسان–ماشین (HMS)[3]؛
۳. تعیین شرایط اولیه و مرزی؛
۴. محاسبه محتوای شناخت و انحراف محتوای ارتباطی؛
۵. شمارش شرایط قابل دسترسی سیستم انسان–ماشین؛
۶. محاسبه احتمالات شناختی و محتوای ارتباطی؛
۷. محاسبه احتمال خطای شناختی فردی؛
۸. محاسبه احتمال خطای شناختی تیمی.

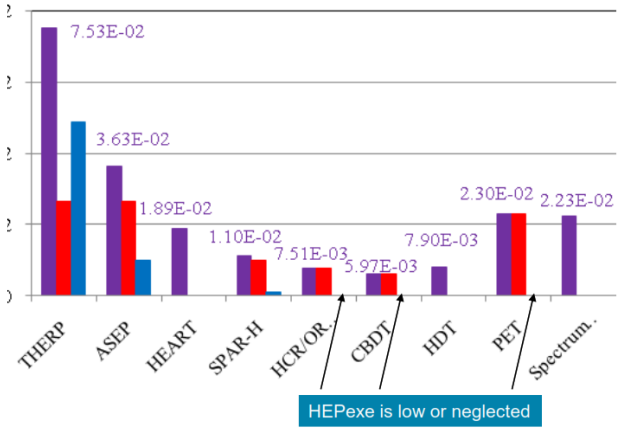
در خصوص ارزیابی و بازنگری قابلیت اطمینان انسانی، داشتن بازخورد از خروجی به هر مرحله از الگوریتم ضروری‌تر از داشتن یک قانون توقف[4] است. با این رویکرد تکراری می‌توان هر وضعیتی را بررسی کرد و اطمینان حاصل نمود که نتیجه می‌تواند منعکس کننده تمامی عوامل متأثر باشد. در واقع روش PET مجموعه‌ای از علل ماکروسکوپی قابل قبول را تعیین می‌کند. از یک کمی‌سازی ماکروسکوپیک یک مرحله‌ای از محتوا و ارتباطات تیمی بر اساس پارامترهای ماکروسکوپی سیستم انسان–ماشین (HMS) و سیستم انسان–انسان (HHS)[5] استفاده می‌کند.

جهت مقایسه روش PET با سایر روش‌ها، ارزیابی قابلیت انسانی در حادثه "بسته نشدن دریچه تخلیه بخار به جو در نیروگاه هسته‌ای کوزلودای[6] به شرح زیر، مورد بررسی قرار گرفته است [۴۰]:

- این حادثه در واحد ۶ نیروگاه هسته‌ای کوزلودای در تاریخ ۲۱ مارس ۲۰۱۰ در ۲۳: ۰۵ رخ داده است و پس از مدتی با عملیات موفقیت آمیز، به راه اندازی مجدد راکتور و سیستم‌های ایمنی منجر شد.
- با بسته نشدن سیستم تخلیه مولد بخار شماره سوم در ۵ دقیقه اول، هیچ آسیبی به قلب راکتور و نیروگاه وارد نشد.
- تست، ارزیابی و مقایسه احتمال خطای انسانی برای بخش شناخت عملکرد پس از حادثه با هشت روش THERP، ASEP، HEART، SPAR-H، HCR / ORE +، THERP، CBDT، HDT و PET انجام شد.
- استفاده از روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی برای عملکرد پرسنل عملیاتی نیروگاه بر اساس فرضیات استاندارد ارزیابی ایمنی احتمالاتی برای موارد واقعی و شبیه‌سازی شده با شرایط مرزی دقیق آنها در نظر گرفته شد.
- تفاوت‌های قابل توجهی در محدوده، رویکرد و مدل‌های پایه این روش‌ها را نشان می‌دهد.

[1] EOP: Emergency Operating Procedure
[2] SAMG: Severe Accident Management Guidelines
[3] HMS: Human-Machine System
[4] Stop Rule
[5] Human-Human System
[6] Kozloduy

- درک درستی از عملکرد ، نقاط قوت و ضعف روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، همراه با روش‌های بهبود آنها ارائه شد.



شکل ۷: مقایسه روش THERP، ASEP، HEART، SPAR-H، HCR / ORE + THERP، CBDT، HDT و PET در حادثه بسته نشدن دریچه تخلیه بخار به جو در نیروگاه هسته‌ای کوزلودای

مقایسه نتایج بدست آمده با هشت روش به شرح زیر می‌باشد:

۱) بالاترین احتمال خطای انسانی E -۰۲ ۷,۵۳ می‌باشد که با روش THERP بدست آمده است. این مقدار ۳ برابر بیشتر از متوسط احتمال خطای انسانی طیف برای مجموعه بررسی شده از روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی است، که به دلیل مقدار بالای احتمال خطای انسانی E -۰۲ ۴,۸۷ =Exe HEPاست. آن را می‌توان به عنوان یک عدم تعادل آشکار در روش یا بهتر بگوییم به عنوان یک خطا در نسخه ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی کد محاسباتی در نظر گرفت، زیرا همان Exe HEP، با همان روش THERP ارزیابی می‌شود ، اما به عنوان بخشی از روش HCR / ORE + THERP، E -۰۶ ۱ می‌باشد؛

۲) با استفاده از روش ASEP همان E-۰۲ ۲,۶۶ Cog HEP = بدست می‌آید که در روش THERP بدست آمده است. Exe HEP = ۹,۷۳E -۰۳ بدست آمده با روش ASEP، ۵ برابر کمتر از روش بدست آمده توسط THERP و تقریباً ۱۰ برابر بیشتر از نمونه بدست آمده با روش SPAR-H است.

۳) روش‌های HEART و HDT فقط احتمال خطای انسانی را تولید می‌کنند که از بخش‌های شناختی و اجرایی جدا نمی‌باشند. مقدار HEART به میانگین احتمال خطای انسانی بدست آمده برای روش‌های HRA spectrumنزدیکتر است و احتمال خطای انسانی HDT به دست آمده در شرایط مطلوب حدود ۳ برابر کمتر از HEP طیف متوسط است. لازم به ذکر است که احتمال خطای انسانی HDT برای میانگین محتوا (برای کل درخت تصمیم) E -۰۲ ۲,۱۷ است. این مقدار به احتمال خطای انسانی طیف متوسط نزدیکتر است. نتایج بدست آمده با روش HDTبیشترین وابستگی را به احتمال خطای انسانی دارد و تنظیم صحیح آن به نظر متخصص بستگی دارد.

۴) روش SPAR-H و همچنین روش HCR / ORE + THERPتعادل مناسبی را بین قسمت‌های شناختی و اجرایی احتمال خطای انسانی نشان می‌دهند، جایی که ارزش آن دو برابر پایین‌تر از احتمال خطای انسانی طیف متوسط است. با این حال، این روش بالاترین EF = ۳۴ را دارد. Exe احتمال خطای انسانی در روش‌های HCR / ORE ، CBDT و PET کم یا نادیده گرفته شده است، که با توجه به عمل بی اهمیت و اغلب " valve electrical power supply" توسط ACSO قابل اجرا است. مقدار E -۰۶ ۱,۰ = THERP Exe HEP بدست آمده در روش HCR / ORE + THERP به رغم استفاده مناسب تر از قوانین ارزش حد مجاز عملکرد انسانی یعنی E -۰۵ ۱,۰ / E -۰۴ ۱,۰ = Exe HEP به عنوان تناسب مناسب است [۲۸].

۵) روش PET به کمی‌سازی محتوا اجرایی اقدام نیاز دارد، اما در اینجا انجام نمی‌شود زیرا در مقایسه با قسمت شناختی اقدام قابل چشم‌پوشی است. با تمایز سایر روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، روش PET اطلاعاتی را در مورد سودمندترین لحظه زمانی برای انجام اقدام می‌دهد. اگر این محتوا بهینه انتخاب شود، احتمال خطای انسانی برابر E-۳ ۴,۲ است، در غیر این صورت مقدار محتوا متوسط تقریباً برابر با متوسط طیف احتمال خطای انسانی خواهد بود (E- ۰۲ ۲,۳ در مقابل E- ۰۲ ۲,۲۳). در روشPET، EF = ۱۳ است و فاصله احتمال خطای انسانی بدست آمده توسط سایر روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی را پوشش می‌دهد.

۶) بالاترین نسبت بین احتمال خطاهای انسانی بدست آمده با دو روش مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در طیف HEP_{THERP} / HEP_{CBDT} = ۱۲,۶ است. اکثر روش‌ها در سناریوی حادثه به مرزهای پایین تری برای ارزیابی این عمل قرار می‌گیرند (CBDT، THERP، ASEP، SPAR-H).

۷) همه روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی بررسی شده ، به جز PET، می‌توانند نتایج یک مورد واقعی و شبیه‌سازی شده را با تغییر در نظر گرفته شده و دست‌کاری شده از هر عامل تأثیر متمایز نمایند. می‌توان حدس زد که مورد واقعی به دلیل فشار واقعی اپراتورها شدیدتر از مورد شبیه‌سازی شده است. با این حال، این یک درک ذهنی از پیش‌زمینه توسط

یک متخصص ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی است و ممکن است با واقعیت مطابقت نداشته باشد.

۸) مقایسه عملکرد اپراتورها در سناریوی واقعی و شبیه‌سازی شده PET در حادثه بسته شدن دریچه تخلیه بخار به جو در نیروگاه هسته‌ای WWER-1000 با روش PET این واقعیت را نشان می‌دهد که سناریوی واقعی همیشه شدیدتر نمی‌باشد و استرس برای پرسنل نیز بیشتر است.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

انسان نقش اساسی در قابلیت اطمینان سیستم‌ها ایفا می‌کند و با بررسی دلایل اساسی وقوع خطای انسان، توجه به عواملی انسانی اهمیت یافته است. با توجه به عوامل بیان شده دراین بررسی، می‌توان بیان داشت علت‌های بروز خطاهای انسانی، تنها از جنبه فردی برخوردار نبوده و نمی‌توان تنها فرد را مقصر بروز حادثه دانست، بلکه فرد جزء کوچکی از مجموعه به حساب می‌آید و عوامل متعددی از جمله "عملکرد تیمی" در کنار هم قرار می‌گیرند و باعث بروز خطا و حوادث می‌شوند. در این تحقیق، خطاهای انسانی روش ارزیابی عملکرد تیم (PET)، ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است. روش ارزیابی عملکرد تیم، به عنوان یک روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، یک روش واقع‌گرایانه را برای ارزیابی محتوا شناختی و ارتباطی مبتنی بر علائم و مدل‌های مختلف شناخت، ارتباط و تصمیم‌گیری حساس به محتوا اعمال می‌کند. این مدل می‌تواند با استفاده از داده‌های کمی برای محاسبه قابلبت اطمینان انسانی تیمی استفاده شود. همچنین در این مدل می‌توان با مشخص نمودن علل بوجودآورنده خطا باعث افزایش قابلیت اطمینان گردد و از طرفی نیز بروز خطا را کاهش دهد. همچنین ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی به روش PET با روش سنجش محتوا مبتنی بر علائم جامع و مدل‌های قابلیت اطمینان محتوا می‌تواند رویکردهای مهندسی را برای ساده‌سازی تفسیر عملکرد انسانی، شناسایی انعطاف‌پذیری، کنترل انعطاف‌پذیری سازمانی، تجزیه و تحلیل حوادث و مدیریت ایمنی سیستم‌های پیچیده اجتماعی – فنی تکمیل کند.

مراجع

[1] Homans GC. “The human group”, *New York: Harcourt, Brace*, Jovanovich, Inc, 1950.

[2] Dhillon B.S, “Human Reliability: With Human Factors”. Pergamon Press, New York, 1986.

[3] David I Gertman, Harold S. Blackman, Julie L. Marble, Curtis Smith, & Ronald L. Boring. “THE SPAR-H HUMAN RELIABILITY ANALYSIS METHOD, Fourth American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls and Human-Machine Interface Technologies ” (NPIC&HMIT 2004), Columbus, Ohio, September , 2004.

[4] A. Mosleh, Y.H. Chang. “Model-based human reliability analysis: prospects and requirements”, Reliability Engineering and System Safety 83, 241–253, 2004.

[5] Wondea Jung, Jinkyun Park, Jaewhan Kim, and Jaejoo Ha. “Analysis of an Operators’ Performance Time and Its Application to a Human Reliability Analysis in Nuclear Power Plants”, IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 54, NO. 5, 2007.

[6] Li Peng-cheng, Chen Guo-hua, Dai Li-cao, Zhang Li. “Fuzzy logic-based approach for identifying the risk importance of human error”, Safety Science 48, 902–913, 2010.

[7] Roman Voronov, Robertas Alzbutas. “Human reliability analysis for probabilistic safety assessment of a nuclear power plant”, ENERGETIKA. t. 56.nr. 3–4. P. 178–185, 2010.

[8] Simon French, Tim Bedford, Simon J.T. Pollard, Emma Soane. “Human reliability analysis: A critique and review for managers”, Safety Science 49, 753–763, 2011.

[9] Katrina M. Groth, Ali Mosleh. “A data-informed PIF hierarchy for model-based Human Reliability Analysis”, Reliability Engineering and System Safety, 108, 154–174, 2012.

[10] M.A.B. Alvarenga, P.F. Frutuoso e Melo, R.A. Fonseca. “A critical review of methods and models for evaluating organizational factors in Human Reliability Analysis”, Progress in Nuclear Energy 75, 25-41, 2014.

[11] Katrina M Groth, Ali Mosleh. “Deriving causal Bayesian networks from human reliability analysis data: A methodology and example model”, J Risk and Reliability 226(4), 2015.

[12] Xiufeng TIAN, Jinggong LIU, Xuhong HE. “APPROACHES AND APPLICATIONS OF HUMAN RELIABILITY ANALYSIS IN NUCLEAR POWER PLANTS IN CHINA”, 13th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 13) 2-7 October, Sheraton Grande Walkerhill, Seoul, Korea, 2016.

[13] Inseok Jang, Ar Ryum Kim, Wondea Jung, Poong Hyun Seong. “Study on a new framework of Human Reliability Analysis to evaluate soft control execution error in advanced MCRs of NPPs”, Annals of Nuclear Energy 91, 92–104, 2016.

[14] Ar Ryum Kim, Jinkyun Park, Yochan Kim, Jaewhan Kim, Poong Hyun Seong. “Quantification of performance shaping factors (PSFs)’ weightings for human reliability analysis (HRA) of low power and shutdown (LPSD) operations”, Annals of Nuclear Energy 101, 375–382, 2017.

[15] Hayat Chatri, Smain Yalaoui, and Yolande Akl. “Human Reliability Analysis (HRA) methodologies used in the Canadian Probabilistic Safety Assessment (PSA) for external events”, in: Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 14, September, Los Angeles, CA, 2018.

[16] Jooyoung Park, Awwal Mohammed Arigi, Jonghyun Kim. “A comparison of the quantification aspects of human reliability analysis methods in nuclear power plants”, Annals of Nuclear Energy 133, 297–312, 2019.

[17] Jooyoung Park, Wondea Jung, Jonghyun Kim. “Inter-relationships between performance shaping factors for human reliability analysis of nuclear power plants”, Korean Nuclear Society, 2019.

[18] Esmaeil Zarei, Faisal Khan, Rouzbeh Abbassi. “Importance of human reliability in process operation: A critical analysis”, *Reliability Engineering and System Safety* 211, 2021.

[19] Rasoul Jamshidi, Mohammad Ebrahim Sadeghi. "Neural Network Based Human Reliability Analysis Method in Production Systems", J. Appl. Res. Ind. Eng. Vol. 8, No. 3, 236–250, 2021.
[20] Jinkyun Park, Inseok Jang, Jooyoung Park, Ronald L. Boring, Thomas A. Ulrich. "A Framework to Integrate Human Reliability Data Obtained from Different Sources Based on the Complexity Scores of Proceduralized Tasks", Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 16, June 26-July 1, Honolulu, Hawaii, 2022.
[21] Jooyoung Park, Ronald Boring, Thomas Ulrich. "An Approach to Dynamic Human Reliability Analysis Using the EMRALD Dynamic Risk Assessment Tool", Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 16, June 26-July 1, Honolulu, Hawaii, 2022.
[22] Xianghao Gao, Xiaoyan Su, Hong Qian, Xiaolei Pan. "Dependence assessment in human reliability analysis under uncertain and dynamic situations", Nuclear Engineering and Technology 54, 948-958, 2022.
[23] Petkov, G., Furuta, K. "Application of PN-based method for identification and classification of human actions in NPP TLRS". In: Proceedings of PSAM4 Conference, New York City, USA, vol. 2, pp. 1136–1141, 1998.
[24] Petkov, G., Petkov, S. "Towards defence-in-depth of human-machine interaction". In: Proceedings of the PSAM5 Conference, Osaka, Japan, November 27 – December 1, Universal Academy Press, 2000.
[25] Petkov, G., Kostov, E. "Fukushima Daiichi nuclear accident context research-in- depth". In: Proceedings of IAEA-CN-212, Vienna, 2013.
[26] Petkov, G. "Team performance comparison in core-melt units of Fukushima Daiichi NPS based on dynamic context quantification of accident", PSAM Topical Conference, Munich, Germany, June 7-9, GRS, 2017.
[27] Petkov, G. "Enhancing time-dependent criteria for design-basis and design extension conditions based on human performance context evaluation in ATWS events", ASME J of Nuclear Rad Sci, 2018.
[28] J. Kim, W. Jung. "Proposal of performance influencing factors for the assessment of human error under accident management situations" , in: Proceedings of the PSA'99, ANS, La Grange Park, IL, USA, pp. 1119–1124, 1999.
[29] N. Siu, S. Malik, D. Bessete, H. Woods. "Treating aleatory and epistemic uncertainties in analyses of pressurised thermal shock", in :Proceedings of the PSAM5, Osaka, Japan, 27 November–1 December, 2000.
[30] Reason J. "Human error: models and management", BMJ. Mar 18; 320(7237): 768–770, 2000.
[31] Mullen B, Copper C. "The relation between group cohesiveness and performance", an integration. Psychological Bulletin, 115(2), pp 210–27, 1994.
[32] Hoegl M, Gemuenden HG. "Teamwork quality and the success of innovative projects: a theoretical concept and empirical evidence". Organization Science, 12(4), pp 435–49, 2001.
[33] Crosbie PV. "Interactions in small group". New York: Macmillan Publishing Co, 1975.
[34] Nixon HL. "The small group. Prentice-Hall Series". In: Smelser NJ, editor. Sociology. 1 ed. Englewood, NJ: Prentice -Hall, Inc, 1979.
[35] Rognin .L, Blanquart J-P. "Human communication, mutual awareness and system dependability, Lesson learnt from air-traffic control field studies". Reliability Engineering and System Safety, 71, 327–36, 2001.
[36] Paris CR, Salas E, Cannon Bowers JA. "Teamwork in multi-person systems", a review and analysis. Ergonomics, 43(8), pp 1052–75, 2000.
[37] Paglis L.L, Green SG. "Leadership self-efficacy and managers' motivation for leading change", Journal of Organizational Behavior, 23(2), pp 215–35, 2002.
[38] Chang Y.H.J., Mosleh. A. "Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. Part 2: IDAC performance influencing factors model", Reliability Engineering and System Safety 92, pp 1014–1040, 2007.
[39] Bell J., Holroyd J. "Review of human reliability assessment methods", Health and Safety Laboratory, 2009.
[40] Petkov G. and Kostov E. "Human Reliability Limits of Nuclear Power Plant Control", Proceedings of EMF'2011 Conference, Vol. 1, pp. 35-40, Sozopol, September 17th–20th, ISSN 1310-9405 (in Bulgarian) , 2011.
[41] Petkov G. "Retrospective HRA by PET Method", PSAM 6At: San Juan, Puerto Rico, USA, 2020.