دوماهنامه سلامت کار ایران دوره ۱۳، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۵

بحران آنالیز ریسک در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی–اجتماعی؛ مروری بر یافته‌های اخیر
بخش اول: وابستگی روش‌های واکاوی ریسک متداول به مدل‌های منسوخ شده‌ی حادثه

احمد دهقان‌نژاد[۱]، رضا غلام‌نیا[۲]، احمد علی‌بابایی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۲۴ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۷

چکیده

سازمان‌هایی که در زمینه‌های کاری پرخطر نظیر صنایع استخراج نفت و گاز، صنایع پتروشیمی، صنایع هسته‌ایی و صنایع هوافضا فعالیت دارند، علاوه بر استفاده از فناوری پیشرفته، از وجوه پیچیده‌ی اجتماعی نیز برخوردار هستند. مطالعات جدید نشان داده، از ترکیب فناوری پیشرفته و قواعد مبهم اجتماعی، سیستم‌های پیچیده‌ای شکل می‌گیرد که با نوع جدیدی از ریسک مواجه هستند؛ نوعی از ریسک که دور از دسترس روش‌های واکاوی ریسک متداول قرار دارد.

در این مقاله با مروری جامع بر نتایج پژوهش‌های اخیر، به اثبات ناکارآمدی روش‌های آنالیز ریسک مرسوم در تحلیل ریسک این‌گونه سیستم‌های پیچیده‌ی فنی–اجتماعی و ریشه‌یابی دلایل آن پرداخته شد.

ناکارآمدی روش‌های مرسوم واکاوی ریسک در تحلیل ریسک سیستم‌های پیچیده‌ی فنی–اجتماعی، ریشه در ناکارآمدی مدل‌های حادثه‌ی منسوخ شده‌ای دارد که زمینه‌های نظری این روش‌ها را شکل داده‌اند؛ چراکه شرایط درونی سیستم‌های پیچیده و مکانیسم شکل گرفتن حادثه در آنها، با آنچه مدل‌های مرسوم حادثه فرض می‌کنند بسیار متفاوت است.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های پیچیده‌ی فنی–اجتماعی، مدل‌های حادثه، آنالیز ریسک، ایمنی سیستم.

مقدمه

سیستم‌های مهندسی بزرگ و پیچیده، چیزی فراتر از مجموعه‌ای از مصنوعات تکنولوژیکی هستند. این سیستم‌ها بازتابی از ساختارها، روش‌های مدیریتی، رویه‌های کاری و فرهنگ سازمانی مجموعه‌ای است که آن را به وجود آورده‌اند. علاوه بر آن، این سیستم‌ها ویژگی‌های اجتماعی خاص جامعه‌ای که در آن شکل گرفته‌اند را نیز با خود به همراه دارند[۱]. جلوگیری از وقوع حادثه در این نوع سیستم‌ها با استفاده از همان ابزاری که برای حفظ ایمنی سیستم‌های به مراتب ساده‌تر طراحی شده بود چالش بزرگی را برای مهندسی ایمنی ایجاد کرده است. مطالعات گسترده‌ای که در خصوص مشکلات جدید ایمنی در عملیات کاری پیچیده انجام شده است، نشان داده تقریباً هیچ یک از حوادثی که در این نوع از عملیات –که سازمان‌های مختلفی به صورت هم‌زمان در اجرای آن شرکت دارند– رخ داده در سوابق آنالیز ریسک، به عنوان یک رخداد محتمل شناسایی نشده بودند [۲] و این نشان‌دهنده وجود نوعی بحران در روش‌های واکاوی (در این نوشته، به دلیل رعایت مسائل ادبی، عبارات واکاوی، تجزیه و تحلیل و آنالیز به جای هم به کار رفته است و همگی به یک معنا و معادل Analyze است) ریسکِ مرسوم است.

برای ریشه‌یابی و تشریح بحران نهفته در رویکردها و روش‌های آنالیز ریسک، این روش‌ها را از دو زاویه مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار خواهیم داد. از زاویه‌ی اول –که در این نوشتار پیگیری خواهد شد– بحران اشاره شده، از طریق واکاوی ارتباط بین روش‌های موصوف و مدل‌های منسوخ‌شده‌ی حادثه نشان داده می‌شود. در مقاله‌ی پیرو، از زاویه‌ی دوم به این بحران خواهیم پرداخت و نشان خواهیم داد چگونه عدم تناسب دیدگاه‌های سنتی مدیریت ریسک با

۱– دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی صنعتی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیطزیست، دانشگاه علوم‌پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲– (نویسنده مسئول) استادیار، دانشکده سلامت، ایمنی و محیطزیست، دانشگاه علوم‌پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. gholamnia@sbmu.ac.ir
۳–استادیار، دانشکده سلامت، ایمنی و محیطزیست، دانشگاه علوم‌پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

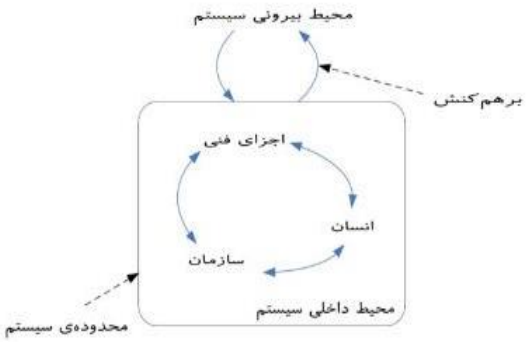
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

ریسک سیستم‌های پیچیده‌ی فنی- اجتماعی (Complex Socio-technical System)، سبب ناکارآمدی رویکردهای مدیریت ریسک در این سیستم‌ها می‌شود؛ و نهایتاً مدل‌ها و نظریه‌های جدیدی که برای حل این بحران‌ها در حال توسعه هستند نیز در مقاله‌ی پیرو مرور خواهد شد.

پس از مقدمه و در بخش دوم از این مقاله با تعریف سیستم‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی تلاش خواهد شد ابعاد مختلف این نوع سیستم‌ها تا حد امکان روشن شود. در بخش سوم با مروری بر علل ظهور نسل‌های مختلف حادثه و چرایی ناکارآمدی تدریجی آن‌ها، تلاش خواهیم کرد با واکاوی مهم‌ترین نظریه‌های موجود در هر نسل، علل ناکارآمدی روش‌های منتج از این مدل‌ها را در تحلیل ریسک سیستم‌های پیچیده فنی- اجتماعی مرور کنیم. در بخش چهارم از این نوشتار، با ارائه و تشریح یک تصویر مفهومی، به بررسی نقص ذاتی روش‌های واکاوی ریسک موجود و معمول در قبال سیستم‌های پیچیده‌ی امروزی و لزوم بازنگری در استفاده از این روش‌ها خواهیم پرداخت.

سیستم، سیستم‌های فنی-اجتماعی و سیستم‌های پیچیده‌ی فنی- اجتماعی: سیستم می‌تواند تعاریف مختلفی داشته باشد که صمدی به شش تعریف پایه‌ای آن از نگاه علوم و محققینی که پایه‌گذار نظریه‌ی سیستم بوده‌اند اشاره کرده است [۳]:

- سیستم یک کلیت سازمان‌دهی شده است که از اجزای وابسته به یکدیگر تشکیل شده، به گونه‌ای که این اجزا با توجه به جایگاه و موقعیت خود نسبت به کلیت، به صورت نسبی قابل تعریف هستند (Ferdinand de Saussure – زبان‌شناس سوئیسی)
- سیستم مجموعه‌ای از واحدها و ارتباطات متقابل آن‌هاست (Karl Ludwig von Bertalanffy – بیولوژیست اتریشی)
- سیستم مجموعه‌ای از عناصر مجزا است که به وسیله‌ی مجموعه‌ای از ارتباطات باهم مرتبط شده‌اند (Jacques Lesourne- اقتصاددان فرانسوی)
- سیستم مجموعه‌ای از عناصر با ارتباطات پویاست



شکل ۱- سیستم فنی-اجتماعی

که بر اساس هدف خاصی سازمان‌دهی شده است (Joël de Rosnay – بیولوژیست فرانسوی)

- سیستم یک واقعیت عینی پیچیده است؛ و از اجزاء جدا از هم که با روابط خاصی باهم مرتبط شده‌اند تشکیل شده است (Jean Ladrière – فیلسوف بلژیکی)
- سیستم یک واحد یکپارچه است که به وسیله‌ی برقراری ارتباطات بین اجزاء و عملکردها سازمان‌دهی می‌شود (Edgar Morin – فیلسوف و جامعه‌شناس فرانسوی)

بر اساس تعاریف بیان‌شده‌ی بالا، می‌توان سه ویژگی محوری «اجزای جدا از یکدیگر»، «ارتباط بین اجزا» و «کلیت سازمان‌دهی شده» را به عنوان مشخصه‌های سیستم شناخت.

سیستم‌های پیچیده: تعریف عمومی مشخصی ندارد [۴]؛ اما این سیستم‌ها توسط انجمن بین‌المللی مدیریت ریسک[1] به این صورت تعریف شده است:

سیستمی متشکل از اجزای فراوان که بر یکدیگر اثر متقابل داشته و در بستر زمان به سطحی از هماهنگی دست می‌یابند. در اغلب موارد رفتار این‌گونه سیستم‌ها تنها با مطالعه‌ی اجزای آن به درستی درک نمی‌شود چرا که رفتار چنین سیستم‌های برخاسته از برهم‌کنش پیچیده‌ی بین اجزای آن است [۳].

سیستم-اجتماعی: سیستمی است متشکل از اجزای فنی و مهندسی که در برهم‌کنش متقابل با

[1]. International Risk Governance Council (IRGC)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

قسمت‌های غیر فنی – یا به نوبه‌ای اجتماعی قرار دارند [۳]. با توجه به شکل (۱) اجزای سیستم‌های فنی–اجتماعی که عبارت‌اند از انسان‌ها (شامل کارکنان، مدیران و همه‌ی ذی‌نفعان داخلی و خارجی)، ساختار سازمانی و اجزای فنی و مهندسی (شامل تجهیزات، ابزارها و روش‌ها) [۵] با محیط پیرامونی سیستم به صورت همیشگی در ارتباط هستند [۶].

سیستم پیچیده‌ی فنی–اجتماعی: مجموعه‌ی پیچیده‌ای است متشکل از اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری که در بستری از قواعد پیچیده‌ی علمی–مهندسی، تعاملات انسانی و روابط سازمانی و فرا سازمانی باهم به سختی در ارتباط هستند [۴].

روابط علّت و معلولی پدیده‌ها در این مجموعه و همچنین ارتباطاتِ اجزای آن با یکدیگر، مبهم، غیرخطی و غیرقابل‌پیش‌بینی است [۷].

این نوع سیستم‌ها در بستری از ارتباطات گسترده‌ی پیرامونی شکل می‌گیرند از این رو برای نیل به اهداف خود مجبورند با شرایط متغیر و پویای دنیای بیرون انطباق یابند. سازوکار خودانطباقی غیر سازمان‌دهی شده [۴] رویکرد اصلی این نوع سیستم‌ها برای ایجادِ چنین انطباقی است و به دلیل وجود همین سازوکار، وضعیت سیستم دائماً و به طور غیرقابل‌شناسایی [۸] از موقعیتی به موقعیت دیگر در حال تغییر است.

پیچیدگی روابط اجزای این مجموعه از نوع پیچیدگی غیرقابل واکاوی بوده و از طریق تجزیه و تحلیل مهندسی و تجزیه‌ی مجموعه به اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن، قابل تحلیل و ساده‌سازی نیست [۹].

مروری بر مدل‌ها و نظریه‌های حادثه: بحران در کجاست؟

بسیاری از روش‌های معتبر واکاوی ریسک، ریشه در مدل‌ها و نظریه‌هایی منسوخ‌شده‌ای دارند که نتوانستند خود را با پیچیدگی‌های رو به فزونی سیستم‌های جدید هماهنگ کنند [۱۰] و از این رو مدت‌هاست از درجه‌ی اعتبار ساقط شده‌اند. در ادامه با مروری اجمالی بر مدل‌های حادثه، به دنبال یافتن علل و ریشه‌های ناکارآمدی روش‌های مرسوم واکاوی ریسک خواهیم بود.

خانزوده و همکارانش مدل‌ها و نظریه‌های حادثه را در چهار نسل طبقه‌بندی کردند که این نسل‌ها به ترتیب عبارت‌اند از: استعداد حادثه پذیری/ مدل‌های توالی حادثه/ مدل‌های اپیدمیولوژیکی حادثه/ مدل‌های سیستمی حادثه [۱۱]. سه نسل اول از این مدل‌ها که ریشه‌های نظری روش‌های آنالیز ریسک مرسوم هستند در این مقاله بررسی خواهند شد. نسل چهارم از مدل‌های حادثه که به مدل‌های حادثه‌ی سیستمی شهرت دارند، پایه‌های تئوریک لازم برای توسعه‌ی روش‌های آنالیز ریسکی که با پیچیدگی سیستم‌های فنی اجتماعی تناسب داشته باشد را ایجاد کرده است؛ اما از آن‌جا که از موضوع بحث این مقاله خارج است، در اینجا به آن پرداخته نخواهد شد.

استعداد حادثه پذیری[1]: نسل اول

تئوری‌های ارائه‌شده در این نسل، اولین نظریه‌ها در خصوص علل ایجاد حادثه بوده‌اند. این تئوری‌ها خصایص شخصی و رفتار غیر ایمن را مسئول ایجاد حوادث می‌دانستند و از دهه‌ی ۱۹۲۰ تا اواخر دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی دیدگاه‌های قالب در خصوص علل ایجاد سوانح به حساب می‌آمدند [۱۱].

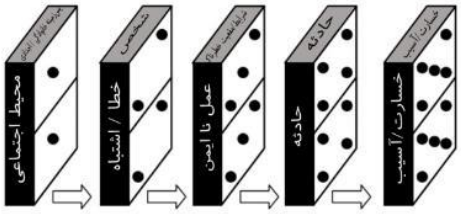
منطق حاکم بر این نظریه‌های حادثه، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر روش‌های مرسوم ارزیابی ریسک نداشته‌اند؛ چرا که سرعت رشد تکنولوژی در آن دوران آن‌قدر آهسته بود که یادگیری از تجربیات برای ارتقاء ایمنی کافی به نظر می‌رسید؛ از این رو روش‌های رسمی برای ارزیابی ریسک هنوز توسعه نیافته بودند [۹].

مدل‌های توالی حادثه[2]: نسل دوم

افزایش سریع رشد تکنولوژی و همچنین افزایش پیچیدگی محصولات تکنولوژیکی در دوران جنگ

[1]. Accident Proneness
[2]. Sequential Accident Model

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]



شکل ۲– مدل دومینو [۳]

جهانی دوم باعث افزایش قابل ملاحظه‌ی تعداد حوادث شد [۸]. تحولات پدید آمده در علم، تکنولوژی و صنعت، شرایط جدیدی را ایجاد کرده بود و قانون قدیمیِ یادگیری از تجربیات و تئوری‌هایی مانند استعداد حادثه‌پذیری دیگر نمی‌توانست علل حوادث را توجیه کند و روش مناسبی برای جلوگیری از سوانح باشد. از این رو نسل دوم از مدل‌های حادثه ظهور کردند.

این مدل‌ها بر پایه این فرضیه استوار شده‌اند که حادثه نتیجه‌ی زنجیره‌ای از رخدادهاست که با توالی به خصوصی اتفاق می‌افتد [۳]. در ضمن این گروه از مدل‌ها، این فرضیه را می‌پذیرند که روابط علت و معلولی تعریف‌شده و مشخصی بین اثرات رویدادها و حادثه‌ی به وقوع پیوسته در انتهای زنجیره‌ی رویدادها وجود دارد [۱۲]. مدل دومینو که طرح گرافیکی آن در شکل (۲) نشان داده شده است معروف‌ترین این مدل‌ها و احتمالاً اولین آن‌هاست که در سال ۱۹۳۱ ارائه شد.

بر خلاف نسل اول، این نسل از مدل‌های حادثه تأثیر بسیار گسترده‌ای بر مدل‌های واکاوی ریسک داشته‌اند؛ به گونه‌ای که اکثر روش‌های مرسوم که امروزه برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی احتمالی ریسک[1] مورد استفاده قرار می‌گیرند، ریشه در همین دوران دارند [۱]. در همین دوران، مهندسی قابلیت اطمینان با تلفیق نظریه احتمالات و نظریه‌های قابلیت اطمینان به عنوان یک رشته‌ی مهندسی جداگانه مطرح شد؛ و روش‌های معروف واکاوی ریسک مانند واکاوی درخت خطا[2]، حالت شکست و واکاوی اثرات آن[3] و مطالعه‌ی خطر و عملکرد[4] توسط محققین این رشته توسعه یافتند [۹]. این تکنیک‌ها که ریشه در مدل‌های خطی و ترتیبی حادثه دارند به عنوان تکنیک‌های خطی واکاوی ریسک شناخته می‌شوند [۳].

دو نسل اول از مدل‌ها و تئوری‌های حادثه که تا اینجا بیان شد مربوط به دورانی است که دوران تکنولوژی نام گرفته است [۳]. در این دوران، ایمنی به عنوان یک مسئله‌ی فنی در نظر گرفته می‌شد؛ از اینرو مدیریت ایمنی به دنبال افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های تکنیکال بود. در این دوران تکنیک‌های خطی واکاوی ریسک، برای آنالیز ایمنی سیستم‌ها کافی در نظر گرفته می‌شد [۸].

ناکارآمدی روش‌های خطی: ناکارآمدی روش‌های آنالیز ریسکِ منتج شده از مدل‌های حادثه‌ی رویداد محور، در تحلیلِ صحیح ریسک سیستم‌های پیچیده‌ی فنی–اجتماعی، ریشه در منطق ناکارآمد و به‌روز نشده‌ی این‌گونه مدل‌ها در تحلیل علل وقوع حوادث دارد. صمدی معتقد است این مدل‌ها تا اواسط قرن بیستم میلادی برای واکاوی حوادث در سیستم‌های فنی–اجتماعی مناسب بوده‌اند [۳]. شواهد و علل ناکارآمدی این ابزارها و روش‌ها را می‌توان در چهار عنوان زیر خلاصه کرد:

الف) حادثه بدون وقوع نقص: درحالی‌که همه‌ی مدل‌ها و روش‌های خطی بر این ایده استوارند که سیستم‌ها تا زمانی که دچار نقص نشوند به عملکرد صحیح خود ادامه خواهند داد اما این ایده تنها برای سیستم‌های تکنولوژی محور که تا حد امکان دقیق و قابل‌اطمینان هستند و تغییرات قابل پیش‌بینی و اندکی را در عملکرد خود تجربه می‌کنند، ایده‌ی معتبری است و نمی‌تواند برای سیستم‌های فنی–اجتماعی یا به عبارتی فرا تکنولوژیکیِ امروز، چندان رویکرد موثری

[1]. Probabilistic Risk Analysis (PRA)

[2]. Fault Tree Analysis (FTA)
[3]. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)
[4]. Hazard and OPerability study (HAZOP)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

باشد [۹]. وقوع سانحه بدون آنکه نقصی در سیستم وجود داشته باشد، پدیده‌ی دور از ذهنی نیست؛ بلکه در سیستم‌های فرا تکنولوژیکی به صورت معمول اتفاق می‌افتد. به عنوان نمونه حادثه می‌تواند نتیجه‌ی تعاملات معمول و البته ناکارآمد بین تصمیم‌گیرندگان، نقص منطقی در برنامه‌های کنترل کامپیوتری و یا نقص نهفته در طراحی سیستم باشد که به طور معمول در واکاوی‌های احتمالی ریسک منظور نمی‌شوند [۱۳]. از این رو برای شناسایی و کنترل خطرات و جلوگیری از حوادث، رویکردهایی برای واکاوی ریسک این‌گونه سیستم‌ها موثر خواهند بود که بر خلاف تکنیک‌های خطی، نگاهی فراتر از جستجوی احتمال شکستِ اجزا داشته باشند.

درحالی‌که رویکرد سنتی در مهندسی ایمنی در تلاش است با کمک روش‌های خطی واکاوی ریسک، ریسک سیستم را برآورد و کنترل کند اما به اعتقاد لوسون، ارزیابی احتمالی ریسک، ممکن است بهترین روش فهم ریسک و پیاده‌سازی اصول ایمنی در یک سیستم نباشد [۱۳].

ب) ابهام ذاتی و پیچیدگی غیرقابل واکاوی:

یکی دیگر از دلایل ناکارآمدی روش‌های خطی واکاوی ریسک در تجزیه و تحلیل ریسک سیستم‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی، پیچیدگی غیر قابل واکاوی این سیستم‌هاست؛ از آنجایی که روش‌های خطی و تکنولوژیکی واکاوی ریسک، بر این اساس پایه‌ریزی شده‌اند که سیستمِ هدف، به اندازه‌ی کافی ساده و با ثبات، تحلیل پذیر و قابل توصیف در اجزا باشد [۹] از این رو این روش‌ها تلاش می‌کنند با تحلیل سیستم و تجزیه‌ی آن به زیر سیستم‌ها، از ابهام و پیچیدگی این سیستم‌ها کاسته و آن‌ها را قابل‌فهم کنند.

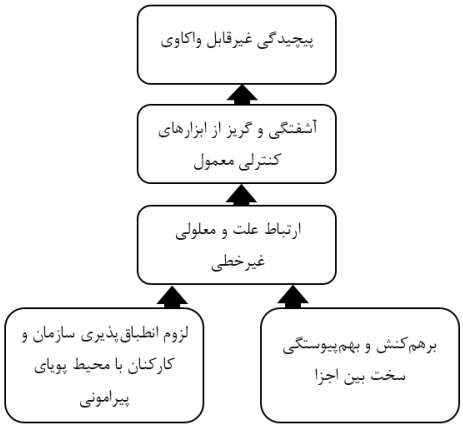
اما به اعتقاد گروتان سیستم‌ها با دو نوع پیچیدگی مواجه هستند. پیچیدگی نوع اول که با استفاده از روش‌های واکاوی مهندسی از سطح پیچیدگی و ابهام آن‌ها کاسته می‌شود. سیستم‌های پیچیده‌ی نوع اول، در بدترین و پیچیده‌ترین حالت نیز در تیررس نظریه‌های عدم قطعیت ریاضی قرار خواهند گرفت؛ اما او معتقد است نوع دومی از پیچیدگی نیز وجود دارد که از دامنه‌ی دسترسی هرگونه روش واکاوی می‌گریزد. او تاکید می‌کند که پیچیدگی سیستم‌های فنی-اجتماعی از نوع دوم است [۱۴]؛ لذا تلاش روش‌های آنالیز ریسک برای واکاوی صحیح این سیستم‌ها راه به جایی نخواهد برد.

به دو دلیلِ عمده پیچیدگی نهفته در سیستم‌های پیچیده فنی-اجتماعی از نوع دوم یا به عبارتی پیچیدگی غیرقابل واکاوی است. دلیل اول مسئله‌ی انطباق است. بر اساس شکل (۳) مسئله انطباق یکی از دلایل ریشه‌ای عدم ثبات و عدم سادگی و در نتیجه ظهور پیچیدگی غیرقابل واکاوی است. توضیح اینکه، در سیستم‌های فنی- اجتماعی و پیچیده، افراد و سازمان‌ها –که اجزای کلیدی سیستم هستند- مجبورند برای دستیابی به اهداف، دائماً عملکرد خود را با شرایط متغیر و پویای محیط اطراف انطباق دهند؛ که این به معنی حرکت مستمر، مخفی و غیرقابل‌پیش‌بینی سیستم از وضعیتی به وضعیت دیگر است. به دلیل همین تغییرات مداوم –که نتیجه‌ی تغییرات ناگزیر و ناهماهنگ اجزای هوشمند آن است، سیستم عملاً تعریف روشن و کاملی ندارد و روابط درونی آن نسبتاً نامشخص، مبهم و غیرقابل ردیابی است [۹].

دلیل دوم وجود پیچیدگی غیرقابل واکاوی در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی، به هم‌پیوستگی سخت[1] و غیرخطی اجزای این سیستم‌هاست. به هم‌پیوستگی سخت، یک مفهوم مکانیکی بوده و بدین مفهوم است که تغییر در یک جزء سیستم سریعاً باعث تغییر در اجزای دیگر سیستم خواهد شد [۱]؛ و البته در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی- اجتماعی این به هم‌پیوستگی سخت، غیرخطی و غیرقابل‌پیش‌بینی نیز هست؛ چرا که یک تغییر خاص در یک پارامتر ممکن است اثرات متفاوتی بر سایر پارامترها و اجزا داشته باشد؛ و از طرف دیگر، تغییرات متفاوت در یک پارامتر ممکن است اثر یکسان بر پارامترهای دیگر بگذارد؛ و

[1]. Tight coupling

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]



شکل ۳- ریشه‌های پیچیدگی غیرقابل واکاوی در سازمان‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی

علاوه بر آن یک تغییر کوچک ممکن است اثرات بزرگ و یا یک تغییر بزرگ ممکن است اثرات کوچکی از خود بر جای بگذارد [۴].

ج) واکنش به تغییرات محیطی: یکی دیگر از دلایل ناکارآمدی روش‌های خطی واکاوی ریسک در تجزیه و تحلیل ریس ک سیستم‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی، در نظر نگرفتن حرکت کلی و یا مهاجرت تدریجی سیستم در واکنش به تغییرات محیط پیرامون است؛ چراکه در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی، حادثه و شکست می‌تواند مبین عدم توانایی سیستم در حفظ یکپارچگی عملکردیِ خود در فرایند انطباق‌پذیری با تغییرات مستمر فضای پیرامونی باشد. نوعی خود-انطباقی غیر سازمان‌دهی شده [۴]؛ به عبارتی تغییرات ناهماهنگِ درونی که سیستم مجبور است ریسکِ آن را برای انطباق خود با تغییرات و پیچیدگی دنیای واقعی تحمل کند. در واقع انطباق سیستم با تغییرات محیطی از یک سو ضامن بقای این‌گونه سیستم‌های پیچیده است؛ اما از طرف دیگر منجر به مهاجرت تدریجی سیستم به موقعیت ناایمن می‌شود. باید اذعان کرد روش‌های آنالیز ریسک خطی و تکنولوژی‌محور برای تحلیل ریسک این تغییرِ حالت کلی سیستم و یا به عبارتی مهاجرت سیستم به وضعیت ناایمن، هیچ ابزار مناسبی در دست ندارند [۱۵].

د) جنبه‌های غیر تکنولوژیکی: یکی دیگر از حفره‌های بزرگ روش‌های خطی آنالیز ریسک، نادیده گرفتن جنبه‌های غیر تکنولوژیکی است. مطالعات نشان داده است بیش از ۹۰٪ از شکست‌های سیستمی در صنایع هسته‌ای [۱۶]، بیش از ۸۰٪ از شکست‌های سیستمی در صنایع نفت و پتروشیمی و صنایع شیمیایی [۱۷]، بیش از ۷۰٪ از سوانح هوایی [۱۸] و بیش از ۷۵٪ از حوادث دریایی [۱۹] ریشه در عملکرد انسانی[1] داشته است. برآورد شده که تأثیر عملکرد انسانی می‌تواند تا ۸۸٪ در بزرگی ریسکِ سیستم‌ها اثرگذار باشد [۲۰] درحالی‌که تکنیک‌های آنالیز کمی ایمنی[2] که از روش‌های خطی برای شناسایی و برآورد ریسک سیستم‌ها بهره می‌برند، تأثیرات این عاملِ تا این اندازه موثر را در نظر نگرفته بودند [۸].

باید اذعان کرد سیستم‌های مهندسی بزرگ و پیچیده چیزی فراتر از مجموعه‌ای از مصنوعات تکنولوژیکی هستند. این سیستم‌ها بازتابی از ساختارها، روش‌های مدیریتی، رویه‌های کاری و فرهنگ سازمانی مجموعه‌ای است که آن‌ها را به وجود آورده‌اند. علاوه بر آن، این سیستم‌ها ویژگی‌های اجتماعی خاص جامعه‌ای که در آن شکل‌گرفته‌اند را با خود به همراه دارند [۱]. جلوگیری از وقوع حادثه در این‌گونه سیستم‌ها به مدل‌های خاصی از حادثه نیاز دارد که علاوه بر در نظر گرفتن ویژگی‌های فنی این سیستم‌ها، به زیر لایه‌های علمی و ساختارهای اجتماعی آن نیز توجه کافی نماید.

البته آگاهی از اهمیت جنبه‌های اجتماعی و سازمانی در ایمنی، به دوران شکل‌گیری ایمنیِ سیستم برمی‌گردد؛ اما در عمل و در مدل‌ها و تکنیک‌های کاربردی، جنبه‌های غیر تکنیکال کاملاً فراموش شده‌اند [۱].

[1]. Human Performance
[2]. Probabilistic Safety Assessment (PSA)

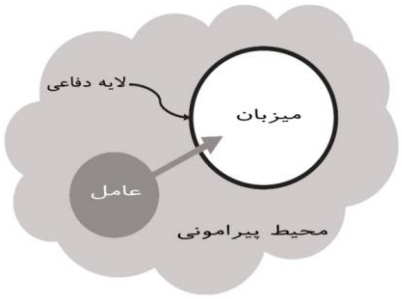
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

مدل‌های اپیدیمیولوژی و تمرکز بر سازمان: نسل سوم

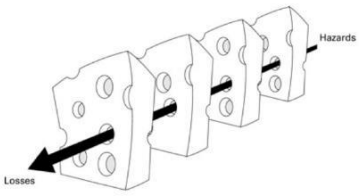
حادثه نیروگاه اتمی TMI که در ۲۸ مارس ۱۹۷۹ در جزیره تری‌مایل‌آیلند رخ داد، تأثیر بزرگی بر مسیر توسعه‌ی مهندسی ایمنی و مهندسی قابلیت اطمینان داشت. پس از این حادثه، دوران تمرکز نظریه‌های حادثه بر فاکتورهای تکنولوژیکی پایان یافت [۹] بطوری‌که این تمرکز ابتدا به سمت فاکتورهای انسانی و سپس به سمت فاکتورهای سازمانی متمایل شد. بعد از این حادثه محققین و مهندسین ایمنی و قابلیت اطمینان به این نتیجه رسیدند که نقص بزرگی در مدل‌های حادثه و روش‌های آنالیز ریسک وجود دارد [۸]؛ و به تدریج مشخص شد که نگاه صرفاً تکنولوژیکی به سیستم‌ها نمی‌تواند توجیه‌کننده‌ی رفتار سیستم باشد.

مهندسی قابلیت اطمینان با سرعت بیشتری به واقعیت‌های نهفته‌ای که پس از این حادثه آشکار شد واکنش نشان داد. هرچند از اوسط دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی اهمیت فاکتورهای انسانی در ایجاد سوانح درک شده بود و پژوهش‌های زیادی تحت عنوان مهندسی فاکتورهای انسانی در این زمینه انجام شد؛ اما حادثه TMI آغازی بود بر تلاش مهندسین قابلیت اطمینان برای مدل‌سازی و افزودن فاکتورهای انسانی به تکنیک‌های ارزیابی کمی ایمنی. پژوهش‌های این گروه از محققین سببِ پدیدار شدن رویکردی شد که امروزه به نام واکاوی قابلیت اطمینان انسانی[1] شناخته می‌شود و همچنان نیز حجم زیادی از مطالعات و پژوهش‌های علمی در زمینه‌ی ایمنی سیستم‌ها را به خود اختصاص می‌دهد.

در ابتدا تکنیک‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی (مانند تکنیک پیش‌بینی نرخ خطای انسانی[2]) در امتداد روش‌های ارزیابی احتمالی ریسک شکل گرفت اما به تدریج، این رویکرد جدید، به عنوان یک شاخه‌ی مجزا در مهندسی قابلیت اطمینان مطرح شد. نسل اول این



شکل ۴- مدل اپیدمیولوژیکی حادثه [۸]



شکل ۵- مدل پنیر سوئیسی [۳]

روش‌ها در تجزیه‌ی سیستم، انسان را هم به عنوان یک جزء و در سطح سایر اجزای فنی در نظر می‌گرفتند [۸] و توجه چندانی به اختلاف رفتار متغییر انسانی با رفتار اجزای تکنولوژیکی قائل نمی‌شدند؛ اما در نسل دوم از تکنیک‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی، تلاش شد تاثیر عوامل زمینه‌ایی (مانند خستگی، استرس، فرهنگ سازمانی و غیره) بر خطای انسانی مدنظر قرار گیرد [۲۱]؛ و در نسل سوم این مدل‌ها که هم‌اکنون درحال توسعه هستند شرایط پیچیده‌تری مانند پتانسیل رفتار یا پاسخ متغییر انسانی از زمان شروع زنجیره‌ی رویداد مدنظر قرار گرفتند [۸]؛ مرکز ایمنی و سلامت انگلستان در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۹ انجام داد، ۳۵ تکنیک مختلف برای ارزیابی قابلیت اطمینان عملکرد انسانی در حوزه های مرتبط با حوادث شناسایی کرد که در زمینه‌های کاری مختلفی اجرایی شده‌اند [۲۱].

از سوی دیگر و در پی توجه به فاکتورهای غیر تکنولوژیکی در ایمنی سیستم‌ها، مدل‌های اپیدمیولوژیکی حادثه در مهندسی ایمنی توسعه یافت. این مدل‌ها با تمرکز بر لایه‌های ایمنی به دنبال

[1]. Human Reliability Analysis (HRA)
[2]. Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

مدل‌سازی تاثیرات فاکتورهای غیر تکنولوژیکی در ایجاد سوانح هستند. بر اساس شکل (۴) در این مدل‌ها رخ‌دادن حادثه مانند مبتلا شدن به یک بیماری در نظر گرفته می‌شود که می تواند نتیجه‌ی ترکیب فاکتورهایی باشد که در یک زمان خاص و در یک موقعیت خاص وجود دارند [۴].

مدل معروف پنیر سوئیسی که طرح گرافیکی آن در شکل (۵) نشان داده شده است و تئوری فجایع انسان‌ساز[1] از این دسته مدل‌ها هستند.

پس از عمومیت یافتن این مدل‌ها، ابزارهای مدیریتی مانند SMS[2] که بر مبنای همین تئوری‌ها و بطور خاص مدل پنیر سوئیسی شکل گرفت [۲۲] تبدیل به ابزارهای رسمی در سازمان‌ها و صنایع پرخطری مانند صنایع هوایی شد.

برخی از ابزارهای آنالیز حاثه‌ی شناخته شده و متداول مانند تری‌پاد[3] و واکاوی فاکتورهای انسانی و سیستم طبقه‌بندی[4] که بر اعمال ناایمن و ریشه‌های سازمانی آن متمرکز شده‌اند، ریشه در این نسل از مدل‌های حادثه دارند. مزایایی که این نسل از مدل‌های حادثه و ابزارهای منتج شده از آن به همراه داشتند شامل بهبود در طراحی محیط کار، شرایط تصمیم‌گیری و توسعه‌ی مباحثی مانند فرهنگ ایمنی بود [۱۰].

در همین دوران، پیچیدگی به عنوان یک مسئله در ایمنی سیستم‌ها مطرح شد و نظریه‌هایی برای مواجهه با این مسئله‌ی تازه، توسعه یافت. تئوری منفی‌نگرانه‌ی حوادث معمول[5] توسط پرو در همین راستا ارائه شد [۱] و این ایده را مطرح کرد که در سیستم‌های بسیار پیچیده‌ای که اجزا با یکدیگر به سختی مرتبط هستند، وقوع نوع خاصی ازحوادث اجتناب ناپذیر است. او اینگونه حوادث را حوادث سیستمی نامید و اذعان داشت این حوادث قابل پیش‌بینی و یا جلوگیری نیستند [۱].

تئوری سازمان‌های قابل اطمینان[6] نظریه‌ی متفاوت دیگری است که در همین راستا و با تمرکز بر نقش سازمان بر ایمنی سیستم‌های پیچیده توسعه یافت. این تئوری که توسط روبرت ارائه شد و همچنان نیز حجم بزرگی از مقالات و مطالعات را به خود اختصاص می‌دهد بر محوریت این ایده شکل گرفته که بر خلاف آنچه پرو معتقد است، سیستم‌های پیچیده‌ی بسیاری وجود دارند که اجزای آن‌ها با یکدیگر به سختی مرتبطاند اما در مدت زمان‌های طولانی از عملکرد خود، حوادث بسیار ناچیزی را تجربه کردند [۲۳]. دنبال کنندگان این تئوری با مطالعه‌ی رفتار چنین سازمان‌هایی- که آن‌ها را سازمان‌های قابل اطمینان نامیدند – آن دسته از ویژگی‌های این سازمان‌ها که سبب عملکرد ایمن آن‌ها شده است را در چهار دسته و به شرح زیر طبقه‌بندی کردند [۱].

۱) اولویت یکسان به ایمنی و عملکرد و ایجاد یک وفاق عمومی در خصوص اهداف سازمانی.

۲) گسترش فرهنگ قابلیت اطمینان هم در فعالیت‌های متمرکز و تحت کنترل لایه‌ها و اجزای بالادستی سازمان و هم فعالیت‌های غیرمتمرکز و تفویض شده.

۳) استفاده از یادگیری سازمانی به گونه‌ای که یادگیری از حوادث و رویدادها را به حداکثر برساند.

۴) استفاده وسیع از افزونگی[7]

ناکارآمدی مدل‌های اپیدمیولوژیکی و سازمان محور

دالاس و هولناگل اعتقاد دارند که هرچند مدل‌های اپیدیمیولوژیکی با تاکید بر فاکتورهای سازمانی نقش مهمی را در ایمنی سیستم‌ها بازی کردند اما ایراد این مدل‌ها این بوده که ابعاد مهندسی و تکنیکال سیستم را ساده‌تر و کم‌اهمیت‌تر از آنچه هست در نظر گرفتند [۱ و ۴].

در حالی که ابزارها و تکنیک هایی که بر اساس این

[1]. Man-made disaster theory
[2]. Safety Management System
[3]. Tripod
[4]. Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)
[5]. Normal Accident Theory (NAT)
[6]. High Reliability Organization (HRO)
[7]. Redundancy

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

مدل‌ها توسعه پیدا کردند، تلاش موفقیت آمیزی برای شناسایی و کنترل نقص‌های نهفته داشتند اما ایراد عمومی که بر این نوع روش‌ها وارد است عدم امکان شناسایی ریشه‌های ایجاد این نقص‌های نهفته است. در واقع این روش‌ها نمی‌توانند فعل‌وانفعالاتی که سبب فرسودگی تدریجی لایه‌های ایمنی می شود را ریشه‌یابی کنند [۱].

در ادامه، از آنجایی که تئوری‌های سازمان‌های قابل اطمینان، حوادث معمول و تکنیک‌های متاخرتر واکاوی قابلیت اطمینان انسانی، مهم‌ترین تئوری‌ها و ابزارهای مرتبط با نسل سوم از مدل‌های حادثه بوده و همچنان کاربرد وسیعی در سازمان‌های پیچیده دارند؛ از اینرو به صورت مجزا، به دلایل ناکارآمدی آن‌ها در سیستم‌های فنی- اجتماعی اشاره خواهیم کرد.

الف) شواهد و علل ناکارآمدی روش‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی: فرنچ و همکارانش نقص‌های زیادی را برشمردند که با وجود ورود تکنیک‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی به نسل سوم، همچنان گریبان‌گیر این تکنیک‌ها هستند [۲۴]. در این قسمت بطور خلاصه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود:

۱. در حالی‌که نظریه‌های علمی و تجربی در خصوص فهم رفتار انسانی -که پایه‌های علمی تکنیک‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی هستند- هنوز به اندازه‌ی کافی کامل و جامع نیست، این تکنیک‌ها نیز به ندرت از همه‌ی این یافته‌های علمی در ساختار خود استفاده کرده‌اند و فاصله‌ی قابل توجه‌ایی با این یافته‌های هنوز به نوبه‌ی خود ناکامل دارند.

۲. مدل ریاضی ساده‌ای که برای تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان سیستم‌های فنی استفاده می‌شود، در مواجهه با ریسک عملکرد انسانی، درستی خود را از دست می‌دهد. وقتی یکی از لایه‌های کنترلی انسان باشد، مدل‌های ریاضی موصوف، که بر پیش‌فرض استقلال لایه‌های کنترلی بنا شده‌اند، نمی‌تواند درست عمل کنند؛ چراکه رفتار انسانی تمایل ذاتی در ایجاد ارتباط و وابستگی بین لایه‌های کنترلی و درنتیجه بهم ریختن این منطق ریاضی دارد. محققین این حوزه هنوز موفق نشده‌اند مدل‌های ریاضی مناسبی را برای تحلیل چنین رفتارهایی توسعه دهند.

۳. در حالی‌که تکنیک‌های مختلف واکاوی قابلیت اطمینان انسانی بر خطاهای منطقی[1] در تصمیم‌گیری‌ها متمرکز هستند، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تصمیم‌گیری‌ها – مخصوصاً در شرایط پرمخاطره – علاوه بر منطق، تحت تاثیر همزمان احساس نیز قرار دارند؛ در حالیکه نقش این تاثیرات فرا-منطقی بر خطاهای انسانی هنوز به خوبی در تکنیک‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی وارد نشده است.

۴. بر اساس مطالعه‌ی روان‌شناسان دو نوع سیستم مختلف فکری وجود دارد:

۱) سیستم تحلیل سطحی و عکس‌العملی (مانند رانندگی در شرایط عادی) که بر اساس نتیجه‌گیری غیرهوشیارانه از اطلاعات منتج از تجربیات گذشته به پیش می‌رود.

۲) سیستم تحلیل هوشیارانه (مانند طراحی یک سیستم و یا حل یک مسئله منطقی).

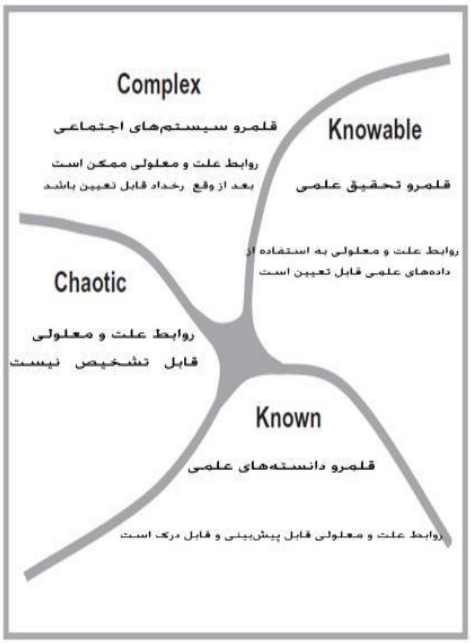
تکنیک‌های واکاوی قابلیت اطمینان انسانی بر این فرض استوار هستند که قالب رفتار انسانی در شرایط پرخطر، در سیستم دوم فکری انجام می‌شود؛ در حالی که عملاً عملکرد انسانی اپراتورها – حتی در شرایط پرخطر – در سیستم فکری اول و بر مبنای الگوهای تجربی گذشته صورت می‌گیرد [۲۵].

بر اساس الگوی سینفاین[2] که توسط اسنودن معرفی شده [۲۶] و تصویر گرافیکی آن نیز در شکل (۶) نشان داده شده است، تصمیم‌گیری می‌تواند در چهار بستر مختلف انجام شود.

در حالیکه همه‌ی روش‌های نسل اول واکاوی قابلیت اطمینان انسانی و اغلب روش‌های نسل دوم و سوم، برای شرایط تصمیم‌گیری در قلمروی شناخته‌شده (Known) و یا حداکثر، قلمروی قابل‌شناسایی (Knowable) طراحی شده‌اند اما عملاً شرایط واقعی

[1]. Cognitive Error
[2]. Cynfin

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]



شکل ۶- سینفاین [۲۴]

تصمیم‌گیری در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی و اجتماعی در محدوده‌های پیچیده (Complex) و آشفته (Chaotic) قراردارد.

ب) تئوری حوادث معمول: نقد رویکردها و شواهدی بر جامع نبودن تئوری

هرچند تئوری حوادث معمول به دلیل برجسته کردن مفهوم بهم‌پیوستگی سخت و پیچیدگی برهم‌کنشی[1] تاثیر مثبتی بر فهم چرایی افزایش ریسک سیستم‌های پیچیده داشت اما منفی‌نگری این تئوری در خصوص عدم امکان جلوگیری از حوادث در سیستم‌های پیچیده، توسط سایر محققین مورد نقد قرار گرفت.

دالاس این مسئله‌ی مطرح شده در تئوری حوادث معمول که افزایش افزونگی کمک چندانی به ارتقاء ایمنی سیستم نمی‌کند و حتی در موارد متعددی خود، عامل مستقیم وقوع حادثه بوده است را تایید می‌کند؛ اما بر خلاف آنچه در تئوری حوادث معمول مطرح است، معتقد است، ایجاد افزونگی بیشتر تنها راه‌حل مهندسی برای بهبود ایمنی سیستم نیست که با ناکارآمد بودن آن حکم به عدم امکان کنترل ریسک در سیستم‌های پیچیده بدهیم [۱]. لوسون با گذر از افزونگی، روش‌های کارآمدی را معرفی می‌کند که می‌تواند ریسک حادثه در سیستم‌های پیچیده را کاهش دهد [۲۷]. روش‌هایی مانند کاهش پیچیدگی غیرضروری، طراحی با تمرکز بر افزایش کنترل‌پذیری سیستم، کاهش بهم‌پیوستگی سیستم و طراحی با محوریت کاهش احتمال وقوع خطای عملکردی، موارد از این نوع هستند.

ج) تئوری سازمان‌های قابل اطمینان: نقد رویکردها و شواهدی بر جامع نبودن تئوری

هرچند این نظریه از مطالعه‌ی تجربیات و رفتار سازمان‌هایی که از نظر ایمنی در سطح اطمینان بالایی قرار دارند (مانند کنترل خطوط هوایی) تئوریزه شده است؛ اما ممکن است الگوبرداری از این تجربیات در بسیاری از سازمان‌های دیگر که از جنس سازمان‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی هستند امکان‌پذیر نباشد. دالاس ایراداتی را که محققین بر تئوری سازمان‌های قابل اطمینان وارد می‌کنند را در رساله‌ی دکتری خود گردآوری کرده [۱] که در اینجا به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود:

۱. یک محور برجسته در تئوری سازمان‌های قابل اطمینان این است که با تصمیم‌گیری و پاسخ‌دهی غیر متمرکز در شرایط پرخطر، می‌توان ریسک این‌گونه شرایط بحرانی را در مراحل اولیه تحت کنترل گرفت. به این مفهوم که همه‌ی کارکنان یک سازمان پرخطر باید آنقدر آموزش ببینند تا بتوانند در صورت مواجهه‌ی احتمالی با یک وضعیت پرخطر و بحرانی (از لحاظ زمان واکنش)، در همان لحظه و در همان موقعیت، مسئولیت کنترل آن شرایط را به عهده بگیرند یا اینکه مشکل را تا پذیرش مسئولیت آن توسط یک مقام مسئول پیگیری کنند، بدون اینکه لازم باشد زمان را صرف ارتباطات سلسله‌مراتبی نمایند؛ اما برخلاف این منطق، مطالعات نشان داده در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی و اجتماعی، تصمیم‌گیری‌های غیرمتمرکز با از بین بردن یکپارچگی سیستم و ایجاد تعاملات سازمانی معیوب،

[1]. Interactive complexity

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

خود می تواند عامل مهمی در وقوع حوادث بزرگ باشد.

۲. تئوری سازمان‌های قابل اطمینان بر یادگیری سازمانی و حداکثر کردن یادگیری از حوادث گذشته تاکید بسیاری دارد اما مطالعات مختلفی موثر بودن این نوع یادگیری را زیر سوال برده‌اند. برخی از محققین به این مسئله اشاره کرده‌اند که در سازمان‌های پرخطر، دفعات وقوع رخدادهای اشتباه آنقدر کم است که اثربخشی یادگیری سازمانی از این رویدادها را با چالش مواجه می‌کند. برخی دیگر از محققین یادگیری از اشتباهاتی که منجر به وقوع یک نتیجه‌ی نامناسب شده‌است را بسیار سخت و پرچالش توصیف می‌کنند که برای بسیاری از سازمان‌ها امکان‌پذیر نیست. درحالی‌که تئورسین‌های سازمان‌های قابل اطمینان معتقدند بجای آزمون و خطا و تمرکز بر تجربیات واقعی می‌توان با شبیه‌سازی و تعریف و توسعه‌ی رویدادهای فرضی، یادگیری سازمانی را گسترش داد اما منتقدین هزینه‌ی بسیار بالای این نوع شبیه‌سازی‌ها و کم‌اثر بودن آن بر تجربیات افراد و یادگیری سازمانی را دلیلی بر ناکارآمدی این روش می‌دانند.

۳. از سوی دیگر تئورسین‌ها و محققین سازمان‌های قابل اطمینان مطالعات خود را بر سازمان‌ها و زمینه‌هایی متمرکز کرده‌اند که سرعت تغییر تکنولوژی در آن‌ها بسیار پایین است؛ اما برخی سیستم‌های پرخطر بر لبه‌ی نوآوری‌های تکنولوژیکی در حال حرکت هستند (مانند صنایع نظامی فعال در زمینه هوافضا). در شرایط بحرانی، استفاده از تجربیات گذشته ممکن است نتواند به این‌گونه سازمان‌ها کمک موثری کند.

۴. یکی دیگر از شاخصه‌های تئوری سازمان‌های قابل اطمینان استفاده‌ی وسیع از افزونگی است؛ در واقع این‌گونه سازمان‌ها با استفاده از افزونگی و قابلیت انعطاف به دنبال دستیابی هم‌زمان به ایمنی و عملکرد بالا هستند. مطالعات محققین نشان داده سیستم‌هایی که ویژگی‌هایی از قبیل پیچیدگی کنش- واکنشی و بهم‌پیوستگی سخت دارند و علاوه بر آن در محیط‌هایی کار می‌کنند که کامل نبودن دانش، بستری از عدم قطعیت را در آن‌ها ایجاد کرده است، استفاده از افزونگی نه تنها باعث بهتر و ایمن‌تر شدن سیستم نمی‌شود بلکه ریسک سیستم را نیز افزایش خواهد داد.

۵. هرچند استفاده از افزونگی روش مناسبی برای کاهش حوادث ناشی از نقص اتفاقی یک یا چند جزء سیستم است، اما مطالعات نشان داده است در سیستم‌های پیچیده‌ی فنی-اجتماعی حادثه اغلب در اثر کنش و واکنش نامناسب بین اجزاء و یا بین تصمیم‌گیرندگان رخ می‌دهد؛ لذا در این‌گونه موارد افزونگی هیچ کمکی به افزایش ایمنی نخواهد کرد.

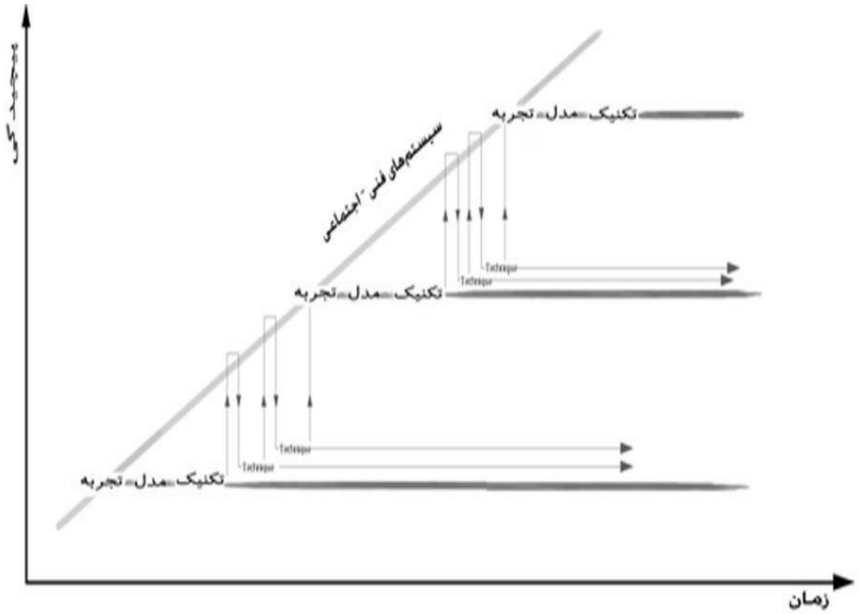
نتیجه‌گیری

ردیابی مسیر تحول در مدل‌ها و تئوری‌های حادثه، نشان داد که تئوری‌ها و مدل‌های حوادث در یک بستر زمانی نسبتاً طولانی دستخوش تغییرات قابل ملاحظه‌ایی شده است. تغییرات اشاره‌شده، از یک سو ریشه در دگرگونگی و افزایش پیچیدگی‌های تکنولوژیکی سیستم‌های مهندسی داشت و از سوی دیگر ثمره‌ی مثبتِ دانشی است که پیشرفت علوم انسان-محور در اختیار مهندسین قرار داده است.

با ظهور هر مدل و یا تئوری حادثه، به تدریج تکنیک‌ها و ابزارهای جدیدِ واکاوی ریسک در مهندسی ایمنی پدیدار می‌شوند. تکنیک‌هایی که بر بستر نسل بخصوصی از مدل‌های حادثه شکل گرفته، توسعه یافته و حتی تدریجاً و به اندازه‌ی ظرفیت خود با پیچیدگی‌های رو به فزونی دنیای مهندسی منطبق شدند (جهت‌نمای عمودی در شکل ۷).

همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است با گذشت زمان و افزایش پیچیدگی سیستم‌های مهندسی و افزایش درک مهندسین از این پیچیدگی‌ها، مدل‌ها و تئوری‌هایی قبلیِ حادثه، فاصله‌ی قابل ملاحظه‌ای با شرایط دنیای واقعی می‌گیرند و دیگر قادر به تحلیل علل رخدادها و حوادث در شرایط پیچیده‌ی جدید نیستند؛ و البته تکنیک‌های واکاوی ریسک منتج شده از این تئوری‌ها و مدل‌های منسوخ شده، علارغم تلاشی که برای انطباق آن‌ها با شرایط جدید صورت می‌گیرد کارآمدی خود را به تدریج از دست می‌دهند؛ چراکه،

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]



شکل ۷- پیچیدگی فزاینده‌ی سیستم های فنی–اجتماعی و نقص ذاتی تکنیک‌های واکاوی ریسک

بنیان‌های نظری آنها در مدل‌هایی قرار دارد که دیگر قادر به توجیه علل حوادث در سیستم‌های جدید نیستند؛ در این رابطه شیرالی و همکارانش تایید می‌کنند که ریشه داشتن روش‌های مرسوم آنالیز ریسک در مدل‌های منسوخ شده‌ی حادثه، مهمترین دلیل ناکارآمدی این تکنیک‌ها در آنالیز ریسک سیستم‌های فنی–اجتماعی است [۲۸]، در این شرایط است که مدل‌های جدید– و به تدریج تکنیک‌های جدید– ظهور می‌کنند.

در شرایط پویای بیان‌شده، توجه به این مسئله حائز اهمیت است که با ظهور تکنیک‌های جدیدِ آنالیز ریسک، تکنیک‌های سابق، نه تنها منسوخ نمی‌شوند بلکه به دلیل مطالعات و تجربیاتی که در سوابق کارکردی آن‌ها انباشته شده است، عمومیت و مطلوبیت بیشتری می‌یابند. به عنوان نمونه، اندرسون و آمنس در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۲ میلادی در صنایع نفت و گاز پتروشیمی نروژ انجام دادند، نشان داده‌اند که تکنیک‌های خطی مانند حالت شکست و واکاوی اثرات آن، حالت شکست و واکاوی اثرات و حساسیت[1]، مطالعه‌ی خطر و عملکرد، مطالعه شناسایی خطر، ارزیابی عددی ریسک و واکاوی ریسک فعالیت هنوز بیش‌ترین استفاده را در این صنایع دارد (بیش از ۸۰٪) [۲۹]. اردشیر و همکارانش تکنیک مرسومی مانند حالت شکست و واکاوی اثرات آن (FMEA) را به دلیل در نظرگرفتن احتمال شناسایی ریسک (Detection)، دقیق و قابل اعتماد می‌داند که به صورت وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۰]. همچنین کرمانی و همکارانش به موارد متعددی اشاره می‌کنند که در حال حاضر از تکنیک SHERPA[2] برای شناسایی خطاهای انسانی در سامانه‌های تشخیص و درمان استفاده می‌شود [۳۱].

همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است در یک برش زمانی (برش عمودی) و بدون توجه به ریشه‌های منسوخ‌شده‌ی رویکردهای واکاوی ریسک و حوادث، تکنیک‌های زیادی در مهندسی ایمنی و قابلیت اطمینان در دسترس هستند؛ هرچند در نگاه اول، ممکن است این تکنیک‌ها فقط در روش و زمینه واکاوی باهم

[1]. Failure mode, effects and criticality analysis (FMECA)

[2]. Systematic Human Error and Reduction Prediction Approach (SHERPA)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

متفاوت به نظر برسند اما باید توجه کرد که بسیاری از این مدل‌ها فاصله‌ی بزرگی با درک واقعیت پیچیده‌ی سیستم‌های امروزی دارند؛ لذا لازم است مهندسین سیستم به این مسئله توجه کنند که بسیاری از این ابزارها در ماهیت با سیستم‌های پیچیده‌ی امروزی هم‌سنخ نبوده و با به کار بردن این ابزارها–علارغم صرف منابع بسیار– حفره‌های بحرانی سیستم نمایان نخواهد شد؛ و ممکن است ریسک یک حادثه‌ی فاجعه‌بار، در جایی از هزارتوی سیستم و در انتظار روز فاجعه، همچنان مخفی و منتظر، باقی مانده باشد.

منابع

1. Dulac N. A Framework for Dynamic Safety and Risk Management Modeling in Complex Engineering Systems, Ph.D. dissertation, Dept. of Aeronautics and Astronautics Eng, MIT, Cambridge, MA. 2007
2. Skjerve A, Albrechtsen E, Teveiten C.K. Defined Situation of Hazard and Accident related to Integrated Operations on the Norwegian Continental Shelf. SINTEF report A9123. 2008
3. Samadi J. Development of a Systemic Risk Management Approach for CO2 Capture, Transport and Storage Projects. PhD dissertation, Centre for Research on Risk and Crises, MINES ParisTech. 2012.
4. Teng B. Assessing Risk and prevent Accident in Complex system. Master dissertation, Department production and quality engineering, Norwegian university of science and technology. 2010
5. Carayon P. Human factors of complex sociotechnical systems. Applied Ergonomics 2006 Jun; 37(4):525-535
6. Samadi J, Garbolino E. A new dynamic risk analysis framework for CO2 Capture, Transport and Storage chain, 29th International conference of system dynamics society. 2011
7. Le Coze J. Are organizations too complex to be integrated in technical risk assessment and current safety auditing. Safety Science 2005 Oct; 43(8):613-638.
8. Hollnagel E. Safer complex Industrial Environment. United States: Taylor & Francis Group; 2010. p. 37- 57.
9. Holnagle E. From failure to Emergence. SINTEF report A14732. 2010
10. Konotogiannis T, Malakis S. Recursive Modeling of Control in Human and Organizational Process: a systemic Model for Accident analysis. Accident Analysis and Prevention 2012 Sep; 48:303-316
11. Khanzode V, Maiti J, Ray PK. Occupational injury and accident research: A comprehensive review. Safety Science 2012 Feb;50(5):1355-1367.
12. Stroeve SH, Sharpanskykh A, Blom HAP. Literature survey of safety modelling and analysis of organizational processes. Eurocontrol CARE Innovative research III. National Aerospace Laboratory (NLR). Report CR-2007-156. 2007
13. Leveson NG. Engineering A SAFER World: Systems Thinking Applied to Safety. United States: MIT Press; 2011. p.35.
14. Grotan TO. How to address the complexity issue in IO Risk Governance. SINTEF report A14732. 2010
15. Leveson NG. Engineering a SAFER World: Systems Thinking Applied to Safety. United States: MIT Press; 2011. p. 231.
16. Reason J. The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 1990 Apr; 327(1241):475–484.
17. Kariuki SG, Lowe K. Integrating human factors into process analysis. Reliability Engineering and System Safety. 2007 Jan;92(12); 1764–1773.
18. Helmreich RL. On error management: lessons from aviation. British Medical Journal. 2000 Mar; 320(7237):781–785.
19. Ren J, Jenkinson I, Want J, Xu DL, Yang JB. A methodology to model causal relationships in offshore safety assessment focusing on human and organizational factors. Journal of Safety Research. 2008 Feb;39(1):87–100.
20. Pyy P. Human reliability analysis methods for probabilistic safety assessment. Ph.D. dissertation, Department of Energy Technology, Lappeenranta University of Technology. 2000.
21. Bell J, Holroyd J. Review of human reliability assessment methods. Health and Safety Executive (HSE). Research Report RR679. 2009
22. International Civil Aviation Organization (ICAO). Doc 9859, Safety Management Manual (SMM): Third edition. 2013.
23. Roberts KH. Managing high reliability organizations. California Management Review. 1990; 32(4):101–114.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

24. French F, Bedford T, Pollard S, Soane E. Human reliability analysis: A critique and review for managers. Safety Science. 2011 Jul;49(6);753–763.
25. Bazerman MH, Moore A. Judgment in Managerial Decision Making, 8th Edition. New York: Wiley and Sons; 2013.
26. Snowden D. Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness. Journal of Knowledge Management. 2002 May;6(2):100–111.
27. Leveson N. SafeWare: System Safety and Computers. United States: Addison-Wesley; 1995. p.433-437.
28. Shirali G, Ebrahipour V, Mohammad salahi L. Proactive Risk Assessment to Identify Emergent Risks using Functional Resonance Analysis Method (FRAM): A Case Study in an Oil Process Unit. Iran Occupational Health Journal. 2013;10 (6):33-46 [Persian]
29. Andersen S, Mostue BA. Risk analysis and risk management approaches applied to the petroleum industry and their applicability to IO concepts, Safety Science. 2012 Dec;50(10):2010–2019.
30. Ardeshir A, Amiri M, Mohajeri M. Safety Risk Assessment in Mass Housing Projects Using Combination of Fuzzy FMEA, Fuzzy FTA and AHP-DEA. Iran Occupational Health Journal. 2013;10(6):78-91 [Persian]
31. Kermani A, Mazloumi A, Kazemi Z. Using SHERPA technique to analyze errors of health care staff working in emergency ward of Amiralmomenin hospital, Semnan. Iran Occupational Health Journal. 2015;12(2):12-23. [Persian]

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]

The crisis of risk analysis in complex socio-technical systems; a literature review

Part A: Dependency between common risk analysis methods and obsolete accident models

Ahmad Dehghan Nejad[1], Reza Gholamnia[2], Ahmad Alibabaee[3]

Received: 2015/04/13 Revised: 2015/09/03 Accepted: 2015/11/18

Abstract

High risk organizations and industries such as oil and gas extraction, chemical and petrochemical industries, nuclear and aerospace industries and air traffic control organization, in addition to use of advanced technology, have complex social aspects as well. Recent studies have shown that the combination of advanced technology and social vague rules of such organizations are forming a complex system that encounter with a new type of risk which is inaccessible to conventional risk analysis approaches. Therefore, through a comprehensive review of recent studies, the ineffectiveness of traditional risk analysis methods in complex socio-technical systems and the roots of inefficiency will be discussed.

The ineffectiveness of traditional risk analysis methods in complex socio-technical systems rooted in the inefficiencies of out of date accident models and theories that have shaped the theoretical field of these method. Intrinsic conditions in such complex systems are completely different with that of accident formation mechanisms.

Keywords: Complex Socio-Technical Systems, Accident Models, Risk Analysis, System Safety.

1. MSc Student of Industrial Safety Engineering, Department of Health Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science (SBMU), Tehran, Iran

2. (**Corresponding author**) Assistant Professor, School of Health Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science (SBMU), Tehran, Iran. gholamnia@sbmu.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Health Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science (SBMU), Tehran, Iran

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-02-21]