International Conference ON MANAGEMENT ECONOMICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING 2015 June 16
کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع ۲۶ خرداد ۱۳۹۴

آموخته های مدیریتی حادثه فوکوشیما دایچی ژاپن در مدیریت ریسک نیروگاه های هسته ای جهان

سجاد بهربر[۱]*، سیما رستایش[۲]، کامران سپانلو[۳]

[۱]* کارشناس ارشد مهندسی هسته ای، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
s.bahrebar@srbiau.ac.ir

[۲] کارشناس ارشد مهندسی هسته ای، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۳] دکترای مهندسی هسته ای، هیات علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

بکارگیری درس های ایمنی، مدیریتی و ریشه یابی حادثه فوکوشیما نه تنها بایستی وقوع یک حادثه فوکوشیمای دیگر را مانع شود بلکه بایستی مانع وقوع هرحادثه دیگر در نیروگاه های هسته ای در جهان گردد. چرا که در دنیای بهم پیوسته کنونی وقوع یک حادثه در هر نقطه از جهان همه جهان را تحت تاثیر قرار می دهد و لذا ایمنی هسته ای و مدیریت ریسک رویدادها و حوادث بالقوه مخاطره زا هسته ای، فراتر از محدوده مرزهای کشورها رفته و به یک امر جهانی تبدیل شده است. مدیریت ریسک، یک امر مهم و ضروری است که تصمیم گیری ها را بر اساس میزان خطرهای احتمالی انجام می دهد. این سیستم مدیریت به شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک اطلاق می شود که شامل بکار گیری روش های ارزیابی احتمالاتی ایمنی در کنار روش های متداول غیر احتمالاتی در شناسایی مخاطرات و تعیین پی آمدها می باشد. لذا با توجه به ارزیابی توالی رویداد های منجر به حادثه و عملکرد مدیریت بحران انجام شده حین آن در حادثه فوکوشیما، تجربیات و درس های فراوانی از جهت مدیریت ریسک نیروگاه های هسته ای برای بهره برداران و نظام های ایمنی هسته ای در سطح بین المللی حاصل شده است که در این مقاله به آموخته های مهم مدیریتی ریسک از لزوم جستجوی اطلاعات جدید راجع به مخاطرات تا لزوم بکارگیری مفاهیم جدید ریسک در ضوابط و مقررات ایمنی هسته ای با تحلیل کلیه شرایط حادثه فوکوشیما به صورت بیان توصیه ها و یافته های کاربردی در این حیطه حساس پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: مدیریت ریسک، نیروگاه های هسته ای، حادثه فوکوشیما دایچی ژاپن.

Archive of SID

www.SID.ir

۱-مقدمه

حادثه فوکوشیما در مارس ۲۰۱۱ در ژاپن که با وقوع یک رخداد طبیعی زلزله در نزدیکی سواحل شمال غربی ژاپن و در پی آن برخورد امواج بلند سونامی به سواحل ژاپن همراه بود موجب تلفات جانی و مالی گسترده ای در ژاپن شد ولی آنچه ژاپن و جامعه بین المللی را به شدت نگران کرد وقوع شرایط اضطراری و حادثه در واحدهای نیروگاه فوکوشیما دایچی بود. این حادثه یک شوک شدید بر پیکر صنعت برق هسته ای وارد کرد و به میزان اعتماد مردم به ایمنی این تاسیسات آسیب جدی زد. اگرچه هزاران سال چنین سونامی در سواحل ژاپن رخ نداده بود و مهندسین طراح نیروگاه نیز به هیچ روی وقوع این شدت از آنرا محتمل و معقول نمی دانستند ولی افکار عمومی ژاپن و نیز جامعه بین المللی توجیهات ذکر شده را نپذیرفتند و خواستار بازبینی در سطح ایمنی تاسیسات موجود و آتی نیروگاه های هسته ای در سراسر جهان شدند، بویژه در کنار الزام برای جلوگیری از تکرار این گونه حوادث در نیروگاه های هسته ای خواست عمومی ارتقاء هشیاری صنعت هسته ای نسبت به تکرار وقوع حوادث و ارتقاء آمادگی برای شرایط اضطراری و بهبود دستورالعمل های مدیریت ریسک و حادثه شدند.

در پی وقوع زلزله و سونامی زنجیره رویدادهای به هم پیوسته کلی زیر در نیروگاه فوکوشیما دایچی که شامل شش واحد راکتور بود، منجربه شدت حادثه و افزایش وخامت اوضاع گردید؛

۱- قطع تمامی منابع برق AC/DC در نیروگاه برای واحد های ۱ تا ۴ نیروگاه که گزینه های موجود برای مقابله با حادثه را به حداقل رساند.
۲- عدم وجود مدیریت، منابع کافی، دستورالعمل ها و آموزش لازم برای بازگرداندن سریع فرآیند خنک کردن راکتورها و تخلیه فشار زیر محفظه های ایمنی در شرایط قطع کامل منابع برق AC/DC توسط اپراتوران
۳- اشکالات ارتباطاتی و تاثیر راکتورهای سایت نیروگاه بر همدیگر
۴- تعداد کم پرسنل مورد نیاز و نیز ابهامات راجع به نقش و مسئولیت های پرسنل شرایط اضطراری در برخی موارد مانع مقابله موثر با حادثه شده بود.

طبق برآوردهای انجام شده زلزله ۹ ریشتری و سونامی که در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ در شمال شرق کشور ژاپن اتفاق افتاد علاوه بر اثرات و صدمات انفجار اتمی نیروگاه های هسته ای فوکوشیما، بیش از ۱۸۰ میلیارد دلار خسارت بر جای گذاشت. این فاجعه در حدود ۱۵۸۳۹ نفر کشته، ۳۶۴۲ نفر مفقود و ۵۹۵۰ نفر زخمی را به مردم ژاپن تحمیل کرد. [۲, ۳]

مبانی و اصول طراحی ایمنی در تاسیسات تکنولوژیک بالقوه مخاطره زا همانند نیروگاه های هسته ای بر اساس اصل دفاع در عمق است. تمامی تلاش های مهندسین ایمنی تاسیسات بزرگ تکنولوژیکی و پیچیده نظیر نیروگاه های هسته ای در مرحله اول شناسایی ریسک (مخاطرات) محتمل و در عین حال معقول برای آن تاسیسات و در مرحله بعد بکارگیری اصول ایمنی پیشگیری جهت جلوگیری از وقوع شرایط غیرنرمال است. علیرغم پیش بینی و پیش گیری های انجام شده، شرایط غیر عادی به دلیل خرابی های پیش بینی نشده سخت افزاری و یا خطاهای انسانی محتمل هستند و رخ می دهند. سیستم های حفاظتی پیش بینی شده در تاسیسات با آشکار شدن شرایط ورای شرایط نرمال وارد عمل شده و شاخص های عملکردی تاسیسات را به مقادیر عادی هدایت می کنند. اگر سیستم های حفاظتی نتوانند روند وخامت شرایط را کنترل کنند و متغیر های حیاتی تاسیسات نظیر دما، فشار، سطح توان تولیدی و غیره از حدود ایمنی عبورکنند آنگاه سیستم های ایمنی بطور خودکار در جهت کنترل روند و بازگرداندن شرایط و شاخص های حیاتی ایمنی به فضای ایمن وارد عمل می گردند. عدم موفقیت سیستم های ایمنی، تاسیسات را در شرایط حادثه قرار می دهد، در این شرایط با بکار گیری دستورالعمل های خاص مدیریت حادثه تلاش می شود روند وخامت حادثه متوقف و ابعاد آسیب محتمل وارده به تاسیسات به حداقل برسد. به ویژه تلاش می شود تا با حفظ کنترل روی روند شرایط از تبدیل حادثه به یک فاجعه با ابعاد وسیع و آسیب به سلامت انسان ها و محیط زیست جلوگیری گردد.

نیروگاه‌های هسته‌ای الزاماً طوری طراحی و ساخته می‌شوند تا در برابر حوادث مختلف، از جمله حوادث طبیعی، تاب آورند. به این دست از حوادث که طراحی بر مبنای آنها صورت می‌گیرد، حوادث مبنای طرح[۱] می‌گویند و معمولاً زلزله نیز جزء این دسته از حوادث است. نیروگاه‌های ژاپنی نیز طوری طراحی شده بودند تا در برابر زلزله مقاومت کنند. اما زلزله ۹ ریشتری که بزرگترین زلزله ثبت شده در تاریخ کشور زلزله‌خیز ژاپن بود، بسیار بیشتر از زلزله‌های مبنای طرح در راکتورهای مختلف نیروگاه‌های ژاپنی بود. به طور مثال واحد شماره ۱ نیروگاه فوکوشیما دایچی برای مقابله با زلزله‌ای با بزرگی حداکثر ۸/۲ ریشتر طراحی شده بود. زلزله ۹ ریشتری ۸ برابر بزرگ‌تر از زلزله ۸/۲ ریشتری است. با این وجود راکتورهای ژاپنی عملکرد بسیار خوبی در برابر حادثه زلزله داشتند که نشانگر حاشیه‌های ایمنی بالا در طراحی نیروگاه ها بود، اما این پایان کار نبود. زلزله بزرگ در پس خود امواج مهیب

[۱]- Design Basis Accidents (DBA)

www.SID.ir
Archive of SID

سونامی را به همراه داشت. امواج سهمگین سونامی ویرانگر ۱۱ مارس در ژاپن به ارتفاع ۲۳/۶ متر نیز رسیدند و تا عمق ۱۰ کیلومتری خشکی نیز نفوذ کردند.

۲-ریسک

امروزه هر چند از کلمه ریسک استفاده زیادی می شود، و مردم نیز در عمل با آن سروکار زیادی دارند، اما کمتر افرادی یافت می شوند که با مفهوم دقیق ریسک آشنا باشند. برای درک صحیح مفهوم ریسک و تفاوت آن با احتمال وقوع، دو رویداد خرابی را در نظر بگیرید که رویداد اول دارای احتمال وقوع P_1=۰/۶ و رویداد دوم دارای احتمال وقوع P_2=۰/۳ باشند. حال اگر از شما سئوال شود که «کدام یک از این رویدادها ناگوارتر است؟»، شاید اولین پاسخ این باشد که «رویداد اول، زیرا احتمال وقوع آن بیشتر است». حال اگر بدانید رخداد رویداد اول تنها منجر به ایجاد خسارات جزیی می شود، اما رخداد رویداد دوم ممکن است منجر به مرگ یک یا چند نفر شود، و مجدداً سئوال فوق را از شما بپرسند، شاید این بار جواب شما کاملاً بر عکس باشد!

بنابراین از آن جایی که اثر رویدادها به هیچ عنوان تاثیری در اندازه احتمال وقوع آن ها ندارد، نتیجه می گیریم که فقط احتمال رخداد یک رویداد، شاخص مناسبی جهت ارزیابی درجه ناگواری یا اهمیت یک رویداد نمی باشد. بنابراین در این زمینه از شاخص دیگری به نام ریسک استفاده می کنیم. ریسک مفهومی کامل تر از احتمال وقوع یک خطا بوده و علاوه بر احتمال رخداد دربرگیرنده شدت اثر آن نیز می باشد.

ریسک عبارت است از میزان درصد پذیرش هم زمان احتمال و اثرات وقوع یک خطا. بنابراین ریسک تابعی از احتمال وقوع و اثرات ناشی از وقوع یک اتفاق خطرناک است. تفسیر دیگری از ریسک، شانس آسیب ناشی از رخداد خطا می باشد. یکی از عوامل مهم دیگر تأثیرگذار در ریسک، پیش بینی و آشکار سازی رویداد، به معنای کشف و پیشگیری از وقوع یک رویداد ناگوار قبل از رخداد و تبدیل شدن آن به حادثه می باشد. [۱]

۳-محدوده پذیرش ریسک

با توجه به این حقیقت که ریسک همه خطرات و خرابی ها را نمی توان به طور کامل از بین برد، لذا پذیرش ریسک امری ناگریز می باشد. بنابراین پس از شناخت و ارزیابی ریسک، مسئله پذیرش ریسک مطرح می شود، که یک تصمیم گیری مدیریتی است. در این زمینه ابتدا باید محدوده ها یا سطوح قابل پذیرش ریسک تعریف شوند.

ریسک قابل قبول[۱] ریسکی است که میزان آن، با در نظر گرفتن الزامات قانونی و خط مشی موجود، تا حد قابل قبول برای هر سیستم یا سازمان کاهش یافته باشد. پس از مشخص شدن لیست خطراتی که ریسک آن ها غیرقابل پذیرش است، باید اقدامات اصلاحی با هدف حذف یا کاهش ریسک آن ها انجام شود. اقدامات اصلاحی با هدف بهبود ایمنی و کاهش ریسک، باید با اولویت زیر انجام شوند:

- اصلاح طرح : با به کارگیری تکنولوژی های نوآورانه مناسب برای بهبود شرایط.
- استفاده از وسایل ایمنی[۲] : برای خطراتی که نمی توان آن ها را با اصلاح طرح کنترل نمود.
- استفاده از وسایل هشدار دهنده[۳] : برای خطراتی که نمی توان از رخداد آن ها جلوگیری کرد.
- تعریف رویه های ویژه و برنامه های آموزش و یادگیری : وقتی که هیچ یک از موارد فوق میسر یا کارساز نباشد از رویه های ویژه استفاده می شود. رویه های ویژه ممکن است شامل رویه های اضطراری، رویه های غیرمترقبه، الزامات کاری ارتقائی و یا نگهداری برنامه ریزی شده باشند. [۱]

۴-روش های آنالیز ریسک

جهت انجام آنالیز ریسک تکنیک های متعددی توسعه یافته اند. این تکنیک ها عمدتاً مبتنی بر تکنیک های آمار و احتمالات می باشند. اولین اقدامی که انجام آن در همه تکنیک های آنالیز ریسک ضروری است، شناسایی و تهیه لیستی از خطرات و خرابی های پایه، میانی و نهایی بالقوه سیستم است.

تکنیک های ارزیابی ریسک عمدتاً به دو دسته عمده به شرح زیر تقسیم بندی می شوند:

- تکنیک های استنتاجی(منطقی)
- تکنیک های استقرائی

---

[۱]- Tolerable Risk
[۲]- Safety Devices
[۳]- Warning Devices

www.SID.ir
Archive of SID

روش های استنتاجی روش های استدلالی رسیدن از کل به جزء و یا بالا به پایین هستند که تعیین می کنند که چگونه یک حالت مشخص سیستم مانند حالت خرابی می تواند رخ دهد. در حالی که روش های استقرائی، روش های استدلالی رسیدن از جزء به کل یا پایین به بالا هستند و برای تعیین این که سیستم می تواند دارای چه حالات خرابی باشد، به کار می روند. [۴]

۵-ارزیابی ریسک

در گذشته، رویکردهای یقینی به عنوان اساس تصمیم گیری درباره مسائل ایمنی انتخاب می شد که روند این رویکردها به این ترتیب بود:

۱. شناسایی گروهی از توالی پیشامدهای خرابی و منتهی به سناریوهای محتمل بدترین حالت حادثه[۱] که حوادث مبنای طرح نامیده می شوند
۲. پیش بینی عواقب آنها
۳. طراحی حصارهای ایمنی[۲] مناسب که از چنین سناریوهایی پیشگیری کرده و از نتایج متعاقب آنها محافظت کرده و آنها را کاهش دهد.[۵]

در این رویکرد (که اغلب به عنوان یک رویکرد ساختارگرایانه دفاع در عمق[۳] به آن ارجاع داده می شود) حاشیه های ایمنی در مقابل این سناریوها از طریق قوانین محافظه کارانه از طراحی و عملکرد سیستم اجرا می شوند. این قوانین بر اساس این فرض هستند که چالش ها و استرس های ایجاد شده روی سیستم و حفاظت های آن از طریق هرگونه حادثه محتمل، کمتر از چالش های ایجاد شده در بدترین حالت حوادث محتمل هستند. اصل اساسی این است که اگر یک سیستم برای مقاومت در برابر بدترین حالت حوادث محتمل طراحی شده، پس در تعریف، در برابر هرگونه حادثه محتمل، محافظت شده است.[۶]

در سال های اخیر، یک رویکرد احتمالاتی برای آنالیز ریسک (ارزیابی احتمالاتی ایمنی) به عنوان روشی مفید برای آنالیز ایمنی سیستم ایجاد شده است، که تنها محدود به مد نظر قرار دادن سناریوهای حادثه در بدترین حالت نمی شود، بلکه به آزمودن همه سناریوهای امکان پذیر و نتایج مرتبط با آنها نیز گسترده می شود. این رویکرد با احتمال وقوع چنین سناریوهایی به یک جنبه کلیدی مکمل تبدیل می شود که به منظور کنترل منطقی[۴] و کمّی عدم قطعیت، مورد اندازه گیری قرار می گیرد. به خصوص که این روند به سمت نوعی رویکرد یکپارچه[۵] صورت گرفته که بینش های مهیا شده توسط رویکرد یقینی و بینش های رویکرد احتمالاتی را با هر تقاضای دیگری در امر تصمیم گیری درباره یک مسأله ایمنی درهم می آمیزد، در حرکت است. [۷, ۸]

در تکنیک ارزیابی احتمالی ریسک (PRA)، توالی رویدادها تا رسیدن به یک وضعیت نهایی مدل می شود. این توالی رویدادها اغلب یک رشته حادثه نامیده می شوند. برای کمی سازی این توالی رویدادها، نیاز به تعیین مقادیر احتمالی رویداد آغازین و رویداد های میانی به استثنای وضعیت نهایی داریم. البته رویداد ها اغلب به هم وابسته اند، بدین معنی که مثلاً احتمال عدم ایجاد حادثه در سیستم ۱ مشروط به موفقیت سیستم حفاظتی آن و وقوع رویداد آغازین مورد بحث و یا چیز هایی از این دست دارد. برای رویداد هایی که مستقل هستند می توان به طور مستقیم داده های احتمال را از سوابق و جداول مربوطه بدست آورد.[۹]

۶-ریسک در ارزیابی احتمالاتی ایمنی

در چارچوب ارزیابی احتمالاتی ایمنی، ریسک در عمل به مثابه دسته ای سه گانه تعریف می شود:[۱۰]

۱. سناریوهای منتهی به عملکرد تخریب شده[۶] با لحاظ کردن یک یا بیش از یک مقدار عملکرد (مثلاً سناریوهای منتهی به صدمه، تلفات، خرابی دارایی های کلیدی)
۲. احتمالات (کیفی یا کمی) از آن سناریوها
۳. عواقب (شدت کیفی یا کمی مخرب عملکرد) که در صورت رخ دادن آن سناریوها، به وجود خواهد آمد.

که عدم قطعیت ها در ارزشیابی احتمالات و عواقب وارد شده اند. تعریف ریسک به این طریق، مدیریت ریسک را پشتیبانی می کند زیرا: [۱۱]

- نتایج با احتمال بالا و با عواقب اندک را از نتایج با احتمال کم و با عواقب بالا متمایز می سازد.

---

[۱] -Credible Worst-Case Accident Scenarios
[۲] -Safety Barriers
[۳] -Structuralist Defense-in-Depth
[۴] -Rationally
[۵] -Integrated
[۶] Degraded Performance-

Archive of SID
www.SID.ir

- روش های پیشگیرانه کنترل مدیریت ریسک را نشان می دهد مثلاً حمایت از شناسایی محرک های خطر و نشان دادن نتایج با احتمال کم و عواقب اندک.
- می تواند راه رسیدن به پهنه هایی را نشان دهد که در آنها سرمایه گذاری، به قطع، به کاهش عدم قطعیت می انجامد.

۷-مدیریت ریسک

مدیریت ریسک، یک امر مهم و ضروری است که تصمیم گیری ها را بر اساس میزان خطرهای احتمالی انجام می دهد. این سیستم مدیریت به شناسایی، ارزیابی، تجزیه و تحلیل و کنترل ریسک اطلاق می شود. اهداف کلی در مدیریت ریسک شامل: افزایش احتمال دوام سیستم، کاهش ضرر و زیان، عدم توقف فعالیت های جاری و یا به حداقل رساندن تاخیرات و واکنش سریع به شرایط اضطراری می باشد. مراحل مدیریت ریسک را نیز می توان: آنالیز شرایط، ارزیابی عوامل خطرزا و ارائه راهکار های کاهشی ریسک بیان کرد.

در واقع مدیریت ریسک شامل بکار گیری روش های ارزیابی احتمالاتی ایمنی در کنار روش های متداول غیر احتمالاتی در شناسائی مخاطرات و تعیین پی آمدها می باشد. منظور از مدیریت ایمنی هسته ای نیز، یک سیستم نظام مند با هدف جلوگیری از بروز شرایط ناایمن (بحران هسته ای) و به حداقل رساندن آسیب به پرسنل، جامعه، محیط زیست و نسل آینده است که بر دو اصل پیشگیری از وقوع و تخفیف پی آمدها متکی است. اصل پیشگیری از وقوع حوادث شامل موارد زیر است:

- بکار گیری اصول مدیریت کیفیت در کلیه مراحل
- استفاده از تجهیزات و سیستم های قابل اطمینان
- شناسایی و آنالیز عوامل ریسک پذیر
- بکار گیری طراحی ایمن
- رعایت اصول، ضوابط و مقررات ایمنی

بحران در صنایع هسته ای، وضعیتی است که به واسطه رها شدن حجم زیادی از مواد رادیواکتیو باعث اختلال شدید در نظم و تعادل سیستم ها و ایجاد آثار سوء گسترده مالی، انسانی و زیست محیطی در محل و محیط پیرامون می گردد. بحران های هسته ای همچون فوکوشیما رخ می دهند زیرا: همه عوامل طبیعی قابل کنترل و مدیریت نیستند. تمهیدات مهندسی و مدیریت ریسک پیش بینی شده در خود اشکالات نهان دارند که در ترکیب با خطاهای انسانی در هنگام حوادث ناکارامد می گردند. اثرات خطاهای انسانی، ضعف های مدیریتی و خرابی های سخت افزاری در تاسیسات پنهان می شوند و همه سناریوهای منجر به بحران در ارزیابی و مدیریت ریسک نیروگاه های هسته ای شناخته شده نیستند. احتمال وقوع بحران ها کمتر می شود اگر:

- کلیه اقدامات در همه مراحل نظام مند شوند.
- روش های هوشمند شناسائی روند وخامت سطح ایمنی تاسیسات تدوین و بکار روند.
- از نتایج مطالعات ریسک بطور مستمر در کنار سایر منابع در ارتقاء ایمنی بهره گرفته شود.
- کلیه حوادث و شبه حوادث رخ داده در تاسیسات دائما و بطور دقیق ریشه یابی شوند و تاثیر عوامل انسانی، مدیریتی و سخت افزاری در آنها شناسائی و برنامه ریزی اصلاحی اجرا شود.
- سطح ایمنی تاسیسات بطور پیوسته ارزیابی شود و ارتقاء سطح فرهنگ ایمنی در الویت قرارگیرد.
- فاکتور ها و معیار های یادگیری در انواع و سطوح مختلف تثبیت شود.[۴]

۸-آموخته های مدیریتی ریسک نیروگاه های هسته ای از حادثه فوکوشیما دایچی

پس از آنالیز شرایط، ارزیابی عوامل و رویدادهای منجربه حادثه و ارائه راهکار های کاهشی ریسک توسط نهاد های بین المللی، به طور کلی درس های آموخته شده از حادثه فوکوشیما جهت مدیریت ریسک مخاطرات هسته ای برای عموم بهره برداران و نظام های ایمنی هسته ای جهت افزایش احتمال پایداری، کاهش آسیب، به حداقل رساندن تاخیرات و زیان ها و واکنش سریع به شرایط و رویدادهای بالقوه مخاطره زا و اضطراری در نیروگاه های هسته ای را می توان به شرح زیر بیان داشت که بر حسب مورد به توصیه های کلیدی مربوط به هر یک نیز پرداخته شده است تا جنبه های کاربردی و عملی آن بیشتر آشکار گردد:

Archive of SID

www.SID.ir

۱) لزوم مدیریت جستجوی اطلاعات بروز راجع به انواع ریسک و اقدام بر مبنای آن ها

درس اصلی آموخته شده از حادثه فوکوشیما دایچی این است که بهره برداران و واحدهای نظارت قانونی (نظام های ایمنی هسته ای) می باید فعالانه اطلاعات راجع به مخاطراتی که بالقوه می توانند بر ایمنی نیروگاه های هسته ای اثر بگذرند را کاوش کنند و بر مبنای آن اقدام نمایند. بویژه می باید اقدامات زیر انجام گیرد:

الف- بهره برداران و نظام های ایمنی هسته ای بایستی بطور پیوسته اطلاعات تازه علمی راجع به مخاطرات نیروگاه های هسته ای و روش های تخمین شدت و فرکانس وقوع و پی آمدهای بالقوه آنها را جستجو کنند.

ب- ارزیابی ریسک نیروگاه های هسته ای می باید برای این اطلاعات جدید بکار گرفته شده و بر اساس آن اطلاعات روش های جدید ارزیابی، ایجاد گردند.

ج- بهره برداران و نظام های ایمنی هسته ای هنگامی که اطلاعات جدیدی که در مقدار ریسک نیروگاه های هسته ای تغییرات فاحشی ایجاد می شود، دریافت می کنند، می باید اقدامات بهنگام در اعمال تمهیدات مقابله با آن مخاطرات را انجام دهند.

۲) لزوم مدیریت بهبود شرایط سیستم ها، منابع و آموزش در نیروگاه های هسته ای

در پی وقوع حادثه فوکوشیما دایچی بسیاری کشورها و سازمان های بین المللی به بازبینی ایمنی نیروگاه های هسته ای پرداختند. به عنوان نمونه در ایالات متحده امریکا یک بررسی توسط نظام ایمنی هسته ای آمریکا[۱] و دیگری توسط صنعت هسته ای آمریکا به انجام رسید. نتایج این بررسی ها موجب ایجاد تغییرات در طراحی سیستم های نیروگاه های هسته ای، دستورالعمل های بهره برداری و ضوابط و مقررات ایمنی هسته ای شده است. در اینجا به برخی از این تغییرات اشاره می گردد، به عنوان نمونه بهره برداران نظام ایمنی هسته ای در آمریکا و دیگر کشورها نواقصی را در طراحی سیستم ها، شیوه نامه های بهره برداری و آموزش اپراتورها در مقابله با حادثه فوکوشیما دایچی شناسایی کرده اند و در جهت رفع آنها اقدام کرده اند. در آمریکا برخی از این اقدامات شامل تدوین برنامه های راهبردی منعطف و متنوع[۲] توسط صنعت هسته ای آمریکا و همچنین تغییرات در ضوابط و مقررات ایمنی هسته ای توسط نظام ایمنی هسته ای آمریکا می باشد.

توصیه الف: همزمان با انجام تغییرات فوق توسط صنعت هسته ای و نظام ایمنی آنها بایستی توجه ویژه ای به بهبود سیستم های نیروگاه به منظور امکان مقابله موثر با رویدادهای ورای مبنای طرح معطوف گردد. این توجه به ویژه در صورت ضرورت، بایستی شامل تدوین و اعمال برنامه های موردی (فی البداعه) مقابله با شرایط اضطراری به منظور حل معضلات و پیچیدگی های پیش بینی نشده باشد.

توجه به در دسترس بودن[۳]، قابلیت اعتماد، افزونگی[۴] و متنوع بودن[۵] سیستم ها و تجهیزات نیروگاه بویژه در موارد زیر ضرورت دارد:

- تامین برق DC برای ابزار دقیق و کنترل سیستم های ایمنی
- وجود ابزارهایی برای تخمین وضعیت لحظه ای پارامترهای نیروگاه حین قطع برق
- وجود سیستم ها و شیوه نامه های انتقال حرارت باقیمانده، کاهش فشار قلب راکتور و تخلیه هوای زیر محفظه ایمنی
- وجود ابزار دقیق مورد نیاز برای پایش[۶] پارامترهای حیاتی ترموهیدرولیک در قلب راکتور محفظه ایمنی و استخر نگهداری سوخت مصرف شده
- پایش مقدار هیدروژن (شامل پایش میزان هیدروژن در ساختمان راکتور) و کاهش آن
- ابزار دقیق برای پایش سطح پرتو و امنیت درون و بیرون سایت
- سیستم های ارتباطی و اطلاع رسانی بهنگام [۷] جهت فراهم شدن ارتباط و هماهنگی بین اتاق های کنترل و مراکز پشتیبانی فنی[۸]، همین طور بین اتاق های کنترل و محوطه سایت[۹] و بین فعالیت های پشتیبانی داخل و بیرون سایت.

۱- US Nuclear Regulatory Commission
۲- Flexible and Diverse Coping Strategies
۳- Availability
۴- Redundancy
۵- Diversity
۶- Monitoring
۷- Real Time
۸- Technical Support Centers
۹- Field

Archive of SID
www.SID.ir

توصیه ب: صنعت هسته ای و نظام ایمنی بایستی توجه ویژه خود را معطوف بهبود منابع (مالی/ فنی) در دسترس، آموزش اپراتورها برای کسب آمادگی مقابله موثر با رویدادهای ورای مبنای طرح دارند و به تدوین و اعمال برنامه های موردی مقابله با شرایط پیچیده پیش بینی نشده اقدام کنند. بویژه موارد زیر بایستی مورد توجه قرار گیرند:

۱- تعداد پرسنل مورد نیاز برای مقابله با شرایط اضطراری وقوع یافته در سایت های دارای چند راکتور که به مدت طولانی ادامه می یابد و نیروگاه در شرایط غیرعادی قطع تامین مواد و پرسنل از بیرون سایت داشته باشد.

۲- تقویت و بهبود شیوه نامه ها، مدارک راهنمای[۱] تخفیف آسیب شدید به راکتور، مدارک راهنمای مدیریت حوادث سخت بویژه به منظور:

- مقابله با قطع کامل برق DC و AC به مدت طولانی
- افت فشار محفظه تحت فشار راکتور و تخلیه فشار زیر محفظه ایمنی هنگامی که برق DC و تجهیزات تامین هوای راکتور (تامین هوای فشرده) در دسترس نیستند.
- تزریق آب در فشار پایین به منظور حفظ سطح آب داخل راکتور برای جلوگیری از آسیب دیدن قلب راکتور
- جلوگیری و کاهش تبعات ناشی از انفجار هیدروژن بر سیستم های خنک کننده و محفظه ایمنی
- حفظ راکتور در شرایط خاموشی سرد[۲] در راکتورهایی که سیستم های حیاتی ایمنی آنها غیر فعال شده اند.

۳- آموزش اپراتورها و سازمان هایی که وظیفه مقابله با شرایط اضطراری را دارند، بویژه:

- آموزش ویژه مقابله موردی (پیش بینی نشده) با شرایط اضطراری جهت بردن راکتور به شرایط خاموشی سرد حین وقوع رویدادهای ورای مبنای طرح
- آموزش عام تقویت درک از طراحی و بهره برداری سیستم های نیروگاه و ارتقاء توانمندی ها در مدیریت شرایط اضطراری

۳) لزوم تقویت توانمندی ها در زمینه مدیریت ریسک رویدادهای ورای مبنای طرح

یک " رویداد مبنای طرح " رویدادی است که سیستم های طراحی شده نیروگاه شامل سازه ها و تجهیزات، توان تحمل آن را بدون اینکه سلامت و ایمنی مردم به خطر افتد دارد. رویدادی " ورای مبنای طرح " نامیده می شود که بتواند طراحی سازه ها و تجهیزات نیروگاه را به چالش بیفکند و منجر به از دست رفتن فعالیت های حیاتی ایمنی شود. زلزله عظیم شرق ژاپن و سونامی متعاقب آن یک رویداد ورای مبنای طرح محسوب می شود. رویدادهای ورای مبنای طرح بویژه رویدادهای با فرکانس کم ولی پی آمدهای بزرگ (رویدادهای حدی[۳]) نظیر زلزله های با شدت خیلی زیاد یا سیل های عظیم که هر چند قرن یکبار رخ می دهند، می توانند موجب حوادث سخت شوند که نیاز به شناخت بهتر ریسک ناشی از این رویدادها و اتخاذ تمهیدات جهت کاهش آن می باشد. توصیه الف- بهره برداران نیروگاه های هسته ای و نظام های ایمنی هسته ای بایستی توانمندی خود را در شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک ناشی از رویدادهای ورای مبنای طرح تقویت کنند. بویژه بایستی زمینه هایی از قبیل: شناسایی چنین رویدادها، ملحوظ کردن بهتر تعامل و عملکرد اپراتورها و دیگر پرسنل کلیدی در مقابله با چنین رویدادهایی، تخمین بهتر پی آمدهای این رویدادها بر سلامتی مردم، محیط زیست و زندگی اجتماعی مردم بهبود یابند.

توصیه ب- نظام های ایمنی هسته ای بایستی با تدوین مدارک راهنمای رویکردها و نیز اعمال نظارت و ارزیابی های مستقل تلاش های بهره برداران هسته ای را پشتیبانی کنند.

توصیه ج- بهره برداران هسته ای و نیز نظام های ایمنی هسته ای می باید توجه ویژه به ریسک ناشی از رویدادهای ورای مبنای طرح که بالقوه می توانند بر نواحی جغرافیایی وسیع و چندین نیروگاه اثر بگذارند داشته باشند. این رویدادها شامل زلزله، سونامی و سیل های شدید می باشد.

۴) لزوم بکارگیری مفاهیم جدید مدیریت ریسک در ضوابط و مقررات ایمنی هسته ای

یک حادثه مبنای طرح، برای مثال حادثه فقدان آب خنک کننده یا حادثه افزایش ناگهانی توان راکتور مطابق الزامات نظام ایمنی در طراحی سیستم های یک نیروگاه هسته ای ملحوظ می شوند. حادثه نیروگاه فوکوشیما دایچی یک حادثه ورای مبنای طرح بود. دیگر حوادث عظیم هسته ای (حادثه TMI در سال ۱۹۷۹ و حادثه چرنوبیل در سال ۱۹۸۶) نیز در طبقه بندی حوادث ورای مبنای طرح محسوب می شوند. تجربه چهار دهه بهره برداری از نیروگاه های هسته ای نشان داده است که حوادث ورای

[۱]- Guidelines
[۲]- Cold Shut Down
[۳]- Extreme Events

www.SID.ir
Archive of SID

مبنای طرح دارای سهم غالب در ریسک آسیب به قلب نیروگاه های هسته ای هستند. چنین حوادثی، برای مثال می توانند ناشی از خرابی های متعدد تجهیزات و خطاهای انسانی، نقض شیوه نامه های بهره برداری و وقوع رویدادهای حدی بیرونی[۱] باشند. رویکردهای فعلی نظارت قانونی (نظام های ایمنی هسته ای) بر ایمنی نیروگاه های هسته ای بطور سنتی بر مبنای مفاهیم یقینی[۲] نظیر حوادث مبنای طرح قرار دارد که به وضوح برای جلوگیری از وقوع حوادث منجر به ذوب قلب راکتور و کاهش تبعات آنها ناکافی هستند. به تدریج اصول ارزیابی های مدیریت ریسک مدرن به فرآیند صدور مجوز و ضوابط و مقررات نیروگاه های هسته ای وارد می شوند. اعمال کامل این اصول در فرآیند صدور مجوز ضوابط و مقررات می تواند ریسک ذوب قلب راکتورهای هسته ای را کاهش دهد و سطح ایمنی کلی تمامی نیروگاه های هسته ای در حال کار را ارتقاء دهد.

توصیه: نظام های ایمنی هسته ای بایستی از مفاهیم مدرن ریسک در ضوابط و مقررات نیروگاه های هسته ای و بکارگیری سه سوال اصلی ریسک که چه می تواند رخ دهد؟ احتمال رخداد آن چقدر است ؟ و پی آمدهای آن در صورت وقوع چه می باشد؟ دائماً استفاده نماید.

۵) لزوم مدیریت توانمندی های مقابله با شرایط اضطراری در بیرون سایت و انجام بهبودهای مورد نیاز

اجرای اقدامات مقابله با شرایط اضطراری حادثه فوکوشیما دایچی به دلیل وسعت تخریب های شدید وارد شده ناشی از زلزله و سونامی ۱۱ مارس ۲۰۱۱ با مشکلات زیادی روبرو شد. ژاپن کشوری است که به داشتن آمادگی برای مخاطرات طبیعی شدت عادت دارد، اما تخریب ناشی از زلزله و سونامی در ابعادی رخ داد که فراتر از انتظار و سطح آمادگی کشور بود به طوری که بیست منطقه[۳] از سه جزیره اصلی ژاپن (هوکایدو، هونشو و شیکوکو) تحت تاثیر زلزله و سونامی قرار گرفتند. حادثه فوکوشیما دایچی وجود آسیب پذیری های دولت ژاپن را در مدیریت شرایط اضطراری در بیرون سایت آشکار ساخت. نیازهای شدید پس از وقوع زلزله و سونامی همه ظرفیت موجود مقابله با حوادث را بلعید. اعمال مدیریت و برنامه های از قبل تدوین شده شرایط اضطراری هسته ای، تحت الشعاع رویدادهای طبیعی که به بخش بزرگی از نواحی آسیب زده بود، قرار داشت و موجب قطع وسیع ارتباطات، برق و دیگر زیرساخت های حیاتی برای مدت طولانی گردید. بعلاوه:

- برنامه مدیریت شرایط اضطراری در ژاپن در زمان وقوع حادثه فوکوشیما برای مقابله با حادثه ای به ابعاد آن حادثه نامناسب بود و افراد ناچار به اقدامات من درآوردی شده بودند.
- فرآیندهای تصمیم گیری دولت و بهره بردار نیروگاه تحت تاثیر فقدان اطلاعات قابل اعتماد و بهنگام در خصوص وضعیت نیروگاه، میزان آزاد شدن مواد رادیواکتیو به بیرون سایت، چگونگی پیشرفت حادثه و میزان در معرض قرار گرفتن ساکنین اطراف سایت قرار داشت.
- مدیریت هماهنگی بین مقامات مرکزی و محلی دولت بدلیل محدودیت و ضعف امکانات ارتباطی با مانع مواجه شده بود.
- مدیریت اقدامات حفاظتی بویژه به هنگام تخلیه افراد آسیب پذیر (مثلاً افراد مسن و مریض) و رساندن یدور پتاسیم فی البدایع و ناهماهنگ بود.
- استانداردهای متفاوت حفاظت پرتوی و تغییر در سیاست ها و معیارهای رفع آلودگی موجب سردرگمی و بی اعتمادی مردم به دولت ژاپن شدند.
- رفع آلودگی نواحی آلوده به مواد رادیواکتیو و بررسی امکان بازگشت ساکنین هنوز پس از سه سال در کانون فعالیت های ژاپن قرار دارد در حالی که عدم یقین زیادی در زمانبندی انجام شده وجود دارد.
- ناتوانی در ایجاد آمادگی و اعمال یک استراتژی موثر برای برقراری ارتباطات حین وقوع شرایط اضطراری موجب سلب اعتماد مردم نسبت به دولت ژاپن و نظام ایمنی هسته ای آن کشور و بهره بردار نیروگاه هسته ای گردید.

در نتیجه این حادثه این سوال مطرح شده است که آیا اگر حادثه ای با توجه به مدت، شدت خرابی و وسعت فاجعه طبیعی در منطقه ای شبیه حادثه فوکوشیما برای سایر نیروگاه های هسته ای رخ دهد، توانمندی های کافی برای مقابله با شرایط اضطراری و مدیریت وضعیت ناشی از آن وجود دارد؟ آیا مدیریت ریسک نیروگاه های امروزی برای به حداقل رساندن ریسک رویدادهای منجربه

[۱]- Extreme External Events
[۲]- Deterministic
[۳]- Prefecture

Archive of SID
www.SID.ir

حوادث این چنینی کافی است؟ (با توجه به این مهم که فاجعه طبیعی رخداده به زیرساخت های حیاتی آسیب وارد کرده و منابع موجود برای مقابله با شرایط اضطراری را بسیار محدود کرده بود.)

توصیه الف- بهره برداران نیروگاه های هسته ای به همراه مسئولین در مدیریت مخاطرات و شرایط اضطراری می باید میزان آمادگی خود برای مقابله با حوادث سخت ناشی از وقوع یک فاجعه طبیعی (شامل برنامه های ارتباط با مردم آسیب دیده) را ارزیابی کنند. برنامه های مقابله با شرایط اضطراری بایستی هر چندی مورد بازبینی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که استراتژی های موثر و متناسب با مخاطرات محتمل پیش بینی شده است و افراد آموزش کافی دیده اند، منابع کافی برای مقابله با سناریوهای از نظر زمانی طویل فراهم می باشد. از جمله این سناریو ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قطع گسترده برق بیرون از سایت و آسیب شدید به دیگر زیرساخت های بیرون از سایت، از جمله امکانات ارتباطی، حمل و نقل و زیرساخت های مقابله با شرایط اضطراری
- فقدان اطلاعات بهنگام در مورد شرایط نیروگاه های هسته ای، بویژه اطلاع از مقدار آزاد شدن مواد رادیو اکتیو از قلب راکتور و یا استخرهای سوخت مصرف شده
- پخش مواد رادیواکتیو به ورای شعاع ده مایلی (نواحی اجرای برنامه اضطراری) از قلب راکتور که می تواند پرتوگیری را ایجاد کند که اجرای حداقل یکی از اقدامات حفاظت پرتوی را لازم بدارد.

توصیه ب- تمامی کشورها می باید توازن بین اقدامات حفاظتی (نظیر تامین سرپناه در محل، تخلیه، امکان در محل جدید، توزیع یدورپتاسیم) را برای سکنه آسیب دیده بیرون از سایت نیروگاه حادثه دیده مورد بررسی قرار دهند و مدارک راهنمای مناسب را تدوین کنند. در این کار بایستی توجه ویژه به موارد زیر انجام شود:

- اقدامات حفاظتی برای افراد خاص (کودکان، افراد مریض، افراد مسن) و مراقبین آنها
- اثرات دراز مدت تامین سرپناه در محل، تخلیه و یا اسکان در محل جدید بر شرایط روانی و اقتصادی مردم
- تصمیم گیری در مورد بازگرداندن افراد تخلیه شده در نواحی آلوده به مواد رادیواکتیو پس از وقوع حوادث هسته ای.

۶) بهبود فرهنگ و مدیریت ایمنی هسته ای

واژه فرهنگ ایمنی عموماً به معنی مجموعه گرایشات و رفتارهایی که بر ایمنی به عنوان یک هدف در کنار اهداف دیگر نظیر تولید یا هزینه ها تاکید می کند، اطلاق می شود. در سطح جهان این پذیرش وجود دارد که عملکردهای فرهنگ ایمنی می باید توسط نظام های ایمنی و دیگر سازمان هایی که سیاست گذاری های صنعت هسته ای را انجام می دهند، توسط مدیران ارشد سازمان های بهره بردار و افرادی که در نیروگاه های هسته ای کار می کنند، بکار گرفته و مدیریت شوند. در حالی که قبل از وقوع حادثه فوکوشیما دایچی دولت ژاپن بر نیاز به وجود یک فرهنگ ایمنی قوی تاکید کرده بود، شرکت بهره بردار نیروگاه و نظام ایمنی هسته ای در ایجاد، اعمال و حفظ چنین فرهنگی ناتوان بودند. بررسی های بعمل آمده روی سیستم نظام ایمنی هسته ای ژاپن به این نتیجه رسید که نظام ایمنی هسته ای ژاپن مستقل نبوده و تصمیم های آن تحت تاثیر بهره بردار قرار داشته است که در هر کشور دارای نیروگاه هسته ای ایجاد، اعمال، حفظ و نشر فرهنگی ایمنی می باید از اولویت برخوردار باشد و به بهترین نحوی مدیریت شود.

توصیه الف- نظام ایمنی هسته ای و بهره برداران نیروگاه های هسته ای موظف به ایجاد، حفظ و پایش پیوسته یک فرهنگ ایمنی قوی در تمامی فعالیت های خود که مرتبط با ایمنی است می باشند بعلاوه، نظام ایمنی می باید دارای استقلال در مدیریت و تصمیم گیری ها باشد. بایستی اطمینان حاصل شود که عوامل بیرونی تاثیر منفی بر فرهنگ ایمنی ندارند.

توصیه ب– نظام ایمنی هسته ای و بهره برداران نیروگاه می باید به بررسی فرصت های ممکن برای افزایش شفافیت و اطلاع رسانی راجع به تلاش هایشان در زمینه ارزیابی و ارتقاء فرهنگ ایمنی خود به مردم بپردازند.

۹-نتیجه گیری

در کل حادثه در نیروگاه هسته ای فوکوشیما دایچی، هشدار مجددی به جوامع بشری بود که هرگز نباید علیرغم تمامی تمهیدات ایمنی ملحوظ شده، ریسک مدیریتی وقوع حوادث را در صنایع بزرگ تکنولوژیک و پیچیده نظیر نیروگاه های هسته ای نادیده گرفت. یک نتیجه از این حادثه این است که بایستی تلاش های انجام شده در جهت ارتقاء طراحی ایمنی و نیز شناسائی مخاطرات به چالش کشاننده سیستم های ایمنی این گونه تاسیسات تداوم یابد. بویژه می باید رخداد های طبیعی سهمگین که انتظار وقوع

Archive of SID

www.SID.ir

آنها بسیار اندک است در فهرست مخاطرات محتمل و ارزیابی های مدیریت ریسک نیروگاه ها ملحوظ و پیش بینی لازم برای مقابله با شرایط کاملاً غیرعادی حاصل از آنها به عمل آید.

نتیجه دیگر این حادثه اهمیت حیاتی استقلال کاری، مدیریتی و ساختار قوی و دانایی نظام ایمنی هسته ای (به عنوان ناظر قانونی) و بهره بردار تاسیسات هسته ای است. ناظر قانونی به عنوان نماینده مردم بایستی داری منابع و توانمندی فنی کافی، استقلال تصمیم گیری، شفافیت و هشیاری دائمی باشد. تحول اساسی و تجدید ساختاری و عملکردی مدیریت نظام ایمنی هسته ای ژاپن واکنش ژاپن به این درس تلخ بود.

یک نتیجه گیری مهم دیگر از حادثه فوکوشیما، اهمیت مدیریت آموزش جهت تقویت نوآوری و خلاقیت در پرسنل بهره بردار نیروگاه و کاهش ریسک بویژه در شرایطی که به دلیل عدم پیش بینی طراح، ایمنی نیروگاه به دلیل یک واقعه پیش بینی نشده به مخاطره افتاده بود. زنجیره رویدادهای حادثه فوکوشیما در دستورالعمل شرایط اضطراری پیش بینی نشده بود و طراح هرگز تصور نکرده بود که در شرایط اضطراری هیچ منبع الکتریکی برای کارانداختن تجهیزات ایمنی، هیچ منبع اضافی آب برای خنک کردن قلب راکتور (در صورت در دسترس نبودن منابع موجود)، هیچ ابزار مخابراتی برای ارتباط (در صورت از کار افتادن امکانات شبکه) در اختیار تیم مدیریت حادثه و مقابله با شرایط اضطراری نباشد. آنچه اپراتورهای ژاپنی در مواجهه با شرایط پیش بینی نشده در حادثه فوکوشیما انجام دادند ابداع سریع راه حل ها براساس تفکر خلاقانه و نوآورانه خودشان برای مدیریت حادثه و تقلیل پی آمدهای آن بود. این امرلزوم توجه بیشتر به پرورش رویکرد بکارگیری راه حل های خلاقانه در اپراتورهای نیروگاه های هسته ای و آمادگی آنها برای مقابله موثر با شرایط پیش بینی نشده در دستورالعمل ها با وجود مدیریت ریسک را نشان می دهد.

نتیجه مهم دیگری که می توان از حادثه فوکوشیما آموخت لزوم آمادگی و برنامه ریزی و مدیریت ریسک جامع و پیشگویانه برای شرایط اضطراری است. اصلاح دستورالعمل های مدیریت حادثه و مقابله با شرایط اضطراری، پیش بینی امکان انتقال سریع منابع برق، آب به سایت و فراهم کردن یک سیستم ارتباطی مخابراتی اضطراری مستقل از شبکه های موجود برای ارتباط افراد کلیدی در شرایط اضطرار ی با یکدیگر و با مراکز تصمیم گیری از جمله موارد مهم و حیاتی می باشند.

در مجموع با توجه به پی آمدهای سهمگین سیاسی، اقتصادی، محیطی و بهداشتی حوادث، هرکشوری که دارای صنایع بزرگ تکنولوژیک پیچیده بالقوه مخاطره زا نظیر نیروگاه های هسته ای هستند بایستی برای بدترین شرایط محتمل دارای ارزیابی ها و دستورالعمل های مدیریتی جامع ریسک و بحران باشند. حوادث در نیروگاه های هسته ای دارای این ویژگی اضافی نیز هست که دیگر کشورهای جهان را نیز متاثر می سازد و در دهکده جهانی امروز ایمنی هسته ای و مدیریت ریسک نیروگاه های هسته ای محدود به مرزهای یک کشور نمی شود و یک مقوله بین المللی است. در دنیای امروز عاقل جامعه ای است که از اشتباهات خود درس بگیرد و عاقلتر جامعه ایست که از اشتباهات دیگران متنبه شود و خود را اصلاح کند.

۱۰-منابع و مراجع

[۱] بهربر، سجاد. (۱۳۹۲). تدوین الگوریتم پیش بینی خرابی سیستم خنک کننده راکتور تحقیقاتی تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای. دانشکده فنی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

[۲] Lessons Learned From the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants. The National Academy of Sciences. The National Academies Press. July ۲۰۱۴.

[۳] IAEA, Mission Report The Great East Japan Earthquake Expert Mission, IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-ichi NPP Accident following the Great East Japan Earthquake and Tsunami, IAEA, Vienna (۲۰۱۱).

[۴] Bahrebar S. Sepanloo K. Rastayesh S. Management of the Risk of Human Error on Critical Accidents in Tehran Research Reactor, International Journal of Current LifeSciences - Vol.۴, Issue, ۹, pp.۹۵۵۶-۹۵۵۹, September, ۲۰۱۴.

[۵] Zio, E. (۲۰۰۹). Reliability engineering: Old problems and new challenges. Reliability Engineering & System Safety, ۹۴(۲):۱۲۵–۱۴۱. DOI: ۱۰,۱۰۱۶/j.ress.۲۰۰۸,۰۶,۰۰۲.

[۶] Apostolakis, G. E. (۲۰۰۶). PRA/QRA: an historical perspective. In ۲۰۰۶ Probabilistic/quantitative risk assessment workshop, Taiwan.

Archive of SID

www.SID.ir

[۷] NASA (۲۰۰۲). Probabilistic risk assessment procedures guide for NASA managers and practitioners. Technical report, NASA. Available at http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/praguide.pdf.

[۸] Henley, E. J. and Kumamoto, H. (۱۹۹۲). Probabilistic risk assessment: Reliability Engineering, Design, and Analysis. IEEE Press, New York. ISBN: ۹۷۸-۰۸۷۹۴۲۲۹۰۵, ۵۶۸ pages.

[۹] USNRC (۱۹۸۳). PRA procedures guide: A guide to the performance of probabilistic risk assessments for nuclear power plants (NUREG/CR-۲۳۰۰). Technical report, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. Available at http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr۲۳۰۰/.

[۱۰] USNRC (۱۹۷۵). NUREG-۷۵/۰۱۴ (WASH-۱۴۰۰) Reactor safety study, an assessment of accident risks. Technical report, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. a.k.a. “the Rasmussen Report” (superseded by NUREG-۱۱۵۰).

[۱۱] NASA (۲۰۱۰). Risk-informed decision making handbook (NASA/SP-۲۰۱۰-۵۷۶). Technical report, NASA. Available at http://standards.nasa.gov/documents/viewdoc/۳۳۱۵۷۶۳/۳۳۱۵۷۶۳.

Archive of SID

www.SID.ir