مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۳، شمارهٔ ۳، تابستان ۱۳۹٤

مقایسهٔ ساختار نظارتی و روش‌های نیل به ایمنی در صنایع هسته‌ای و هوایی

بهروز رکرک*، امیر موافقی، نورالدین محمدزاده و نعیم الدین متاجی کجوری

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

* تهران، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، گروه پژوهشی ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتوی، کد پستی: ۱٤۳۹۹٥۱۱۱۳

پست الکترونیکی: brokrok@aeoi.org.ir

چکیده

ایمنی مهم‌ترین اصل مورد توجه در صنایع حساس با تاثیرات و زمینه‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی گسترده بویژه در صنایع هوایی و هسته‌ای است. قابلیت اطمینان بالا و حصول ایمنی در سیستم‌های حساس، یک هدف بسیار مهم و مقدم بر بسیاری از دیگر اهداف از جمله اهداف اقتصادی می‌باشد. در این بررسی ضمن مرور روش‌ها و متدولوژی‌های بکار گرفته شده در صنایع هسته‌ای و هوایی برای کاهش ریسک و نیل به ایمنی بیشتر، نقاط مشترک که قابل استفاده در دو صنعت هستند بیان شده و ضمن مرور مفاهیمی نظیر فرهنگ ایمنی، سیستم‌های مدیریت، خطاهای انسانی، ارزیابی ریسک و اصل دفاع در عمق، نقش کلیدی هر یک از آنها در ایجاد و ارتقاء ایمنی سیستم‌ها بیان می‌شود. همچنین چارچوب‌های قانونی و نظارتی ملی و بین‌المللی و نقش نظام‌های ایمنی (رگولاتوری) برای ایجاد و ارتقاء ایمنی در دو صنعت مزبور معرفی می‌شوند. چارچوب نظارتی در سطح ملی در کشور ما بر عهدهٔ مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور و سازمان هواپیمایی کشوری است.

کلیدواژگان: ایمنی، مدیریت ریسک، صنایع هوایی، صنایع هسته‌ای، فرهنگ ایمنی، رگولاتوری

۱. مقدمه

ایمنی و قابلیت اطمینان در دو صنعت هسته‌ای و حمل و نقل هوایی نقاط مشترک زیادی دارند. این دو صنعت در رژیم‌های جهانی و بسیار کنترل شده عمل می‌کنند و یک هدف کلی از عالی‌ترین سطح در ایمنی و قابلیت اطمینان را به اشتراک می‌گذارند. حصول ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم‌های حساس، یک هدف بسیار مهم و مقدم بربسیاری از دیگر اهداف از جمله اهداف اقتصادی است. این رویکرد اگرچه بر هزینه‌های طراحی و ساخت می‌افزاید لیکن با کاهش ریسک خرابی و به دنبال آن کاهش چشم‌گیر خسارت‌ها و تبعات آن می‌تواند در مجموع حتی از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه‌تر ارزیابی شود. صنایع هسته‌ای و هوایی برای کاهش ریسک و نیل به ایمنی بیشتر، نقاط مشترک فراوان و در برخی زمینه ها نیز تفاوت هایی با یکدیگر دارند و تجربه‌های هر کدام می‌تواند برای افزایش سطح ایمنی دیگری مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه روش‌های نیل به ایمنی در دو صنعت و مشترکات و اختلافات آنها به طور مختصر بررسی می‌شوند. این بررسی به خصوص از دیدگاه ساختارهای نظارتی و سازمان‌های قانون‌گذار و ناظر ایمنی (رگولاتورهای هوایی و هسته‌ای) مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲. چارچوب‌های نظارتی و قانونی

دو صنعت هوایی و هسته ای در رژیم‌های جهانی و بسیار کنترل شده فعالیت می‌کنند و یک هدف کلی از عالی‌ترین سطح در ایمنی و قابلیت اطمینان را دنبال می‌کنند. چارچوب

مقررات بین‌المللی در حمل و نقل هوایی متاثر از این واقعیت است که هواپیماها به طور مکرر از مرزهای ملی عبور می‌کنند. نیروگاه‌های هسته‌ای به طور طبیعی اثرات برون مرزی ندارد، لیکن در شرایط وقوع حادثه می‌توانند عواقب رادیولوژیک و سیاسی/اجتماعی داشته باشند.

۱.۲. سازمان‌های بین‌المللی

سازمان بین‌المللی هواپیمایی کشوری(ICAO)[1] و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی(IAEA)[2] دو ارگان بین‌المللی هستند که به فاصلهٔ کمتر از ۱۰ سال از یکدیگر (۱۹٤۷ و ۱۹٥٦) تاسیس شده‌اند و وظیفهٔ نظارت عالیه بین‌المللی را بر این دو صنعت بر عهده دارند، هر چند که از نظر حقوقی تفاوت‌هایی نیز با یکدیگر دارند. مقر ایکائو در مونترال کانادا و آژانس در وین قرار دارد. علاوه بر این دو ارگان، سازمانهای دیگری نیز در دستیابی به ایمنی در این دو صنعت نقش مهمی ایفا می‌کنند که به عنوان مثال می‌توان به IATA[3] و ACI[4] در صنعت هوایی و WANO[5] و WNA[6] در صنعت هسته‌ای اشاره کرد. این سازمانها در کنار سازندگان تجهیزات (هواپیما و نیروگاه اتمی) و بهره‌برداران از این دو صنعت در افزایش هر چه بیشتر ایمنی وبهره‌وری اقتصادی در این دو صنعت نقش‌آفرین هستند.

۲.۲. نظام‌های ایمنی ملی

برای بهره‌برداری ایمن از دو صنعت کلیدی هواپیمایی و هسته‌ای، علاوه بر نقش ارگانهای بین‌المللی، در سطح ملی نیز باید سازمان‌های تنظیم مقررات و نظارت ایمنی (نظام‌های ایمنی یا رگولاتوری) بر اساس قوانین ملی برای بهره‌برداری ایمن و همچنین نظارت عالیه تاسیس شوند. کشور ایران در سال ۱۹٤۸(۱۳۲۷) به عضویت ایکائو درآمد و قانون هواپیمایی کشوری مصوب مجلس به سال ۱۳۲۸ است که به دنبال آن سازمان هواپیمایی کشوری تاسیس شده است. سازمان هواپیمایی کشوری به صورت مستقل از اپراتورها (شرکت‌های هواپیمایی) زیر نظر وزارت راه و شهرسازی فعالیت می‌کند. همچنین ایران از همان ابتدای تاسیس آژانس در سال ۱۹٥٦ (۱۳۳٥) به عضویت آن درآمده است و فعالیت‌های مرتبط، ابتدا با تاسیس مرکز اتمی دانشگاه تهران در سال ۱۳۳٥ شروع شد و سپس در سال ۱۳٥۳ و با تصویب قانون سازمان انرژی اتمی توسط مجلس، سازمان انرژی اتمی ایران رسماً تاسیس شده و فعالیت‌های هسته‌ای به این سازمان منتقل گردید. مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور به عنوان بخشی از سازمان انرژی اتمی ایران فعالیت های رگولاتوری در این حوزه را انجام می‌دهد.

۳.۲. چارچوب نظارتی

در سطح بین المللی، چارچوب نظارتی برای ایمنی در حمل و نقل هوایی توسط کنوانسیون شیکاگو (۱۹٤٤) که شمول جهانی دارد، بنا نهاده شده است. این کنوانسیون، سازمان بین‌المللی هواپیمایی کشوری (ICAO) را ایجاد کرده است که وابسته به سازمان ملل است. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نیز به عنوان یک نهاد مستقل بین المللی توسط سازمان ملل متحد تأسیس شده است. پیشنهاد تأسیس این سازمان را آیزنهاور، رییس‌جمهور وقت آمریکا، در سخنرانی خود در مجمع عمومی سازمان ملل متحد در سال ۱۹٥۳ (که به سخنرانی اتم برای صلح معروف شد) مطرح کرد.

سازمان‌های فوق فقط چارچوب‌ها را برای انجام وظایف واحدهای قانونی تعیین می‌کنند و درگیر در انتقال مسئولیت نیستند [۱-۲].

ایکائو دارای قدرت اتخاذ و اصلاح استانداردها و توصیه‌ها می‌باشد. استانداردها و توصیه‌های این نهاد در مورد ایمنی طراحی هواپیما، استانداردهای حداقلی را پایه گذاری می‌کنند که در ضمیمه شماره ۸ کنوانسیون جمع‌آوری شده‌اند. آنها برای کشورهای عضو الزام‌آور هستند [۱].

1. International Civil Aviation Organization
2. International Atomic Energy Agency
3. International Air Transport Association
4. Airports Council International
5. World Association of Nuclear Operators
6. World Nuclear Association

همچنین شایان ذکر است که ایکائو یک ابزار ممیزی اجباری، تحت عنوان برنامه حسابرسی نظارت جهانی ایمنی (USOAP) [۷] دارد. ممیزی USOAP بر توانایی دولت‌ها برای نظارت بر ایمنی جهت ارزیابی اینکه آیا عناصر مهم یک سیستم نظارت ایمنی به طور موثر اجرا می‌شوند یا نه تمرکز دارد.

دو جنبه زیر از سیستم نظارتی در حمل و نقل هوایی سزاوار توجه ویژه است:

- یک چارچوب بین‌المللی برای ایمنی که باعث تداخل و یا تضعیف اقتدار کشورها و سازمان های نظارتی ملی نمی‌شود.
- یک سیستم مدیریت طراحی هواپیما شامل تبادل تجارب بهره‌برداری، واکنش مشترک به یافته‌ها و سوانح، رویکرد سیستماتیک برای تغییرات طراحی و ایجاد مرزهای روشن برای مسئولیت‌ها در میان طراحان، تولیدکنندگان و اپراتورها.

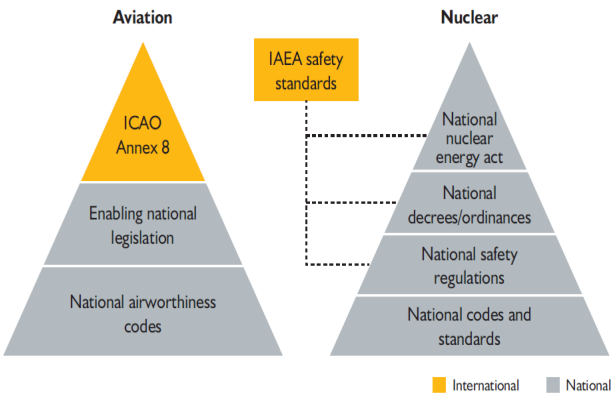
در صنعت حمل و نقل هوایی، برای بهره‌برداری ایمن و همچنین نظارت عالیه، هر کشور دارای واحد قانونی (سازمان هواپیمایی کشوری) و قوانین و مقررات خاص خود است. رگولاتورهای ملی حمل و نقل هوایی همان درجه از قدرت و مسئولیت را دارند که همتایان آن‌ها در صنعت هسته‌ای دارند.

در صنعت هسته‌ای نیز یک سیستم نظارتی کامل در هر کشور به علاوه یک چارچوب بین المللی فراگیر شکل یافته توسط مجامع و موسسات وجود دارد. در این صنعت یک کنوانسیون تنها با دامنه گسترده مانند کنوانسیون شیکاگو وجود ندارد بلکه چندین کنوانسیون از جمله کنوانسیون ایمنی هسته‌ای، کنوانسیون اطلاع رسانی سریع رخدادهای هسته‌ای و پرتوی، کنوانسیون مدیریت ایمن سوخت مصرف شده و پسمان رادیواکتیو و ... ایجاد شده است. کنوانسیون ایمنی هسته‌ای یک مفهوم تشویقی و بدون ساز و کار واقعی اعمال قانون را دنبال می‌کند. علاوه بر آن، این کنوانسیون الزامات ایمنی را تعیین نمی‌کند ولی کشورهای عضو را به پیاده‌سازی سیستم‌های نظارتی که به رعایت مسائل ایمنی منجر می‌شوند ملزم می‌کند. آژانس بین المللی انرژی اتمی نقش گسترده‌ای شبیه به ایکائو در صنعت هسته‌ای دارد و همچنین استانداردها و توصیه‌ها را در سطح بالایی از جزئیات ایجاد می‌کند. با این حال، بر خلاف استانداردهای پیوست ۸ ایکائو، استانداردهای IAEA در کشورهای عضو الزام‌آور نیستند. این امر ممکن است به این دلیل باشد که به لحاظ تاریخی هدف از ایکائو کاهش سوانح هوایی و مرگ و میر تعیین شده بود، در حالی که هدف اصلی از IAEA ترویج استفاده صلح آمیز از انرژی اتمی، بدون پیشبرد اهداف نظامی بوده است. همچنین باید توجه داشت که موضوع حمل و تقل هوایی به نوعی یک تجارت بین‌المللی است و و در هر پرواز بین‌المللی کشورهای مختلفی با هم به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم وارد کنش می‌شوند لیکن در صنعت هسته‌ای در هر عملکردی کنش‌گرهای بین‌المللی دخالتی ندارند و این موضوع نیز می‌تواند بر تفاوت عملکرد ایکائو و IAEA تاثیرگذار باشد. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی همکاری‌های داوطلبانه برای ارزیابی سیستم‌های نظارتی مانند (IRRS) [۸] و نیز همکاری‌های داوطلبانه برای ارزیابی اجرای استانداردها در کشورهای عضو ارائه می‌دهد، لکن از نظر الزام قانونی قابل مقایسه با ممیزی‌های اجباری USOAP نیست.

شکل ۱ مقایسه سلسله مراتب سیستم مقررات ایمنی ("هرم نظارتی") در صنعت حمل و نقل هوایی و صنعت هسته‌ای را نشان می‌دهد [۱]. در حالی که استقرار استانداردهای ایمنی یکی از فعالیت‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی است، ولی سطح اقتدار آژانس در ایمنی هسته‌ای در مقایسه با ایکائو به یک اندازه نیست.

7. Universal Safety Oversight Audit Programme

8. Integrated Regulatory Review Service



شکل(۱): سلسله مراتب سیستم مقررات ایمنی در صنایع هوایی و هسته‌ای.

همچنین نهادهای بین المللی دیگری، از جمله آژانس انرژی هسته‌ای وابسته به OECD-NEA[9]، گروه‌هایی از واحدهای قانونی مانند انجمن واحدهای قانونی کشورهای اروپای غربی (WENRA)[10] و برنامه ارزیابی طراحی چند ملیتی (MDEP)[11] برای توسعه ایمنی تشکیل شده‌اند که تفاوت آنها با ایکائو در عدم الزام‌آور بودن (ماهیت داوطلبانه) مقررات آنهاست.

۳. نیل به حداکثر ایمنی در صنایع هوایی و هسته‌ای

نیل به ایمنی فرآیندی است که متاثر از گستره وسیع و کاملی از فعالیت ها شامل صدور مجوز، طراحی، ساخت، بهره برداری، سیستم های مدیریتی و عوامل انسانی و ... است. این موارد در صنایع هسته‌ای و هوایی دارای اشتراکات زیاد و در پاره‌ای موارد نیز تفاوت هایی هستند.

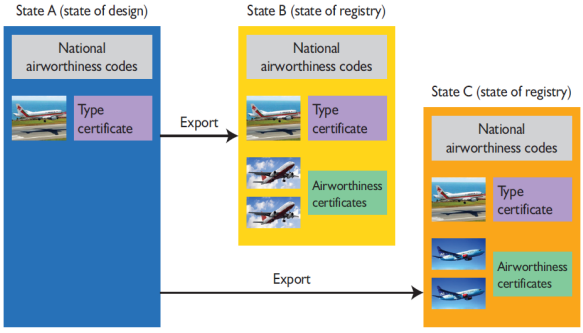
۱.۳. مجوزها

صدور مجوز طراحی هواپیما بر اساس مجموعه‌ای از استانداردهای حداقلی بین‌المللی اجباری تعریف شده در ضمیمه ۸ کنوانسیون شیکاگو ۱۹٤٤ و پیروی از مقررات قابلیت پروازی[12] است. یک "گواهی تیپ" توسط دولت مبدا برای طراحی هواپیما صادر می‌شود. گواهی‌های تیپی نیز به طور جداگانه در کشورهایی که طراحی در آنها ثبت می‌گردد صادر می‌شود. علاوه بر گواهی تیپ برای هر هواپیما(که مربوط به طراحی است)، در کشوری که هواپیما در آن فعالیت خواهد کرد یک گواهینامه ثبت[13] و یک گواهینامه قابلیت پرواز[14] پرواز[14] ملی بر اساس پیوست شماره ۸ مقررات ایکائو نیز صادر می‌شود. سیستم بین‌المللی گواهی‌های تیپ و گواهی قابلیت پرواز در صنعت هواپیمایی مشابه شکل ۲ است. در طول حیات یک طراحی هواپیما، طراح اصلی همیشه در پاسخ به حوادث و یافته‌های مربوط به ایمنی درگیراست. برای حوادث جدی، سازمان هواپیمایی کشور طراح ممکن است یک دستور مقررات قابلیت پروازی بر اساس راه حل‌های پیشنهاد شده توسط طراح اصلی صادر نماید. این دستور مقررات قابلیت پروازی نیاز به حمایت دیگر واحدهای قانونی ملی برای اجرای اقدامات اعلان شده در نهادهای تحت نظر خود دارد تا اطمینان حاصل شود که تغییرات به شکلی سازگار در کل ناوگان هواپیمایی با طراحی مشابه اعمال می شود [۱،۳]. از این منظر، در صنعت حمل و نقل هوایی سیستم متعادلی از همکاری در زمینه ایمنی بین واحدهای قانونی، اپراتورها، طراحان و تامین کنندگان در دو سطح سطح ملی و بین المللی وجود دارد.

"پاسپورت" برای یک هواپیما که آن را قادر به پرواز در مرزهای بین‌المللی می‌کند، گواهی‌نامه های ثبت و قابلیت پروازی ملی هستند، که برای هر دوی آنها یک سیستم موازی در صنعت هسته‌ای وجود ندارد. گواهینامه‌ای که در صنعت هسته‌ای مطرح است مشابه "گواهینامه تیپ" است که به طراح هواپیما اعطا می‌شود و تایید می کند که طراحی مطابق با الزامات ایمنی مربوطه است. این گواهینامه در طول عمر طرح و توسعه آن تکامل می‌یابد و توسط یک سیستم نظارتی موثر شدیداً تحت کنترل است. این نوع گواهینامه نقاط مشترک

9. Organization for Economic Co-operation and Development- Nuclear Energy Agency
10. Western European Nuclear Regulators Association
11. Multinational Design Evaluation Programme
12. Airworthiness
13. Certificate of registration
14. Certificate of airworthiness

زیادی با گواهینامه طراحی و یا بخش طراحی مجوز ساخت در صنعت هسته‌ای دارد.



شکل (۲): سیستم بین‌المللی گواهی‌ها در صنعت هواپیمایی.

در صنعت هسته‌ای، سیستم معادلی برای مجوزها معادل صنعت حمل و نقل هوایی وجود ندارد. دامنه جهانی ارزیابی ایمنی برای یک نیروگاه هسته‌ای، تمامی مراحل مربوط به مکان یابی، طراحی، ساخت، راه‌اندازی و عملیات از کار اندازی را پوشش می‌دهد و کشورها در تعریف دامنه کاربرد مجوزها آزاد هستند. به عنوان مثال، برخی از کشورها دارای یک مجوز واحد هستند که کل مراحل چرخه عمر تاسیسات را پوشش می‌دهد. در حالی که برخی از کشورها دارای یک سیستم صدور مجوز چند مرحله‌ای با مجوزهای جداگانه برای مراحل مختلف هستند. همچنین برخی از کشورها دارای رویه تایید طراحی مستقل هستند، در حالی که برخی دیگر به طراحی در محدوده مجوز ساخت رسیدگی می‌کنند. بنابراین در صنعت هسته‌ای انواع زیادی از فرمت های صدور مجوز وجود دارد که باعث می شود مقایسهٔ بین المللی بسیار دشوار گردد. در صنعت هواپیمایی، خدمه پرواز باید گواهینامه مربوطه را اخذ نمایند که به طور مشابه در مورد نیروگاه‌های هسته‌ای پرسنل اتاق کنترل و دیگر افرادی که کارکردشان بر ایمنی موثر است می‌بایست پروانه دریافت نمایند.

با توجه به جنبه های بین المللی صنعت هسته‌ای، به نظر می‌رسد وجود یک رویه یکسان در سطح بین المللی همچون صنعت هواپیمایی، می تواند گامی مثبت و رو به جلو در جهت یکسان سازی فعالیت ها و نیل به ایمنی بیشتر در این صنعت باشد.

۲.۳. پیوست‌های ICAO و استانداردهای IAEA

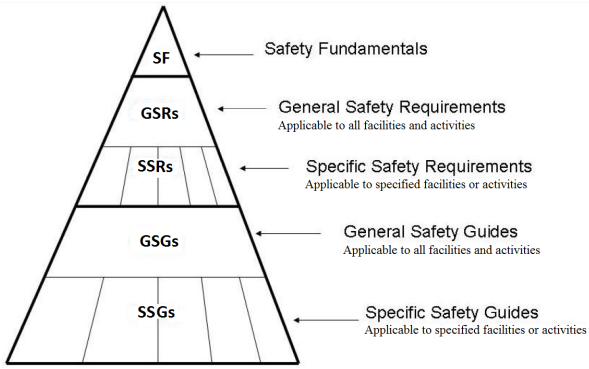
پیوست‌های ایکائو که بعد از پیمان شیکاگو ۱۹٤٤ منتشر شده‌اند و با ایمنی مرتبط هستند عبارتند از [۲]:

Annex 1 - Personnel Licensing;
Annex 6 - Operation of Aircraft
Annex 8 - Airworthiness of Aircraft;
Annex 11 - Air Traffic Services;
Annex 13 - Aircraft Accident and Incident Investigation;
Annex 14 -Aerodromes, and
Annex 19 - Safety Management

در بررسی‌های سالهای اخیر و بویژه پس از کنفرانس سال ۲۰۱۰، با توجه به گسترش صنعت هوایی و لزوم مدیریت بهتر سیستم‌های ایمنی، ایکائو انتشار یک دستورالعمل ویژه مدیریت ایمنی را مورد توجه قرار داد و در سال ۲۰۱۳ پیوست ۱۹ ایکائو منتشر گردید که در دو مرحله ابتدا به ارتقاء سیستم‌های مدیریت ایمنی فعلی می‌پردازد و پس از آن در مرحلهٔ دوم توسعهٔ روش‌های جدید را برای نیازهای آینده مد نظر قرار خواهد داد.

لازم به یادآوری است که در کنار ضمائم ایکائو، برخی دستورالعمل‌های کلیدی دیگری نیز در زمینه ایمنی از سوی ارگانهای دیگر منتشر شده‌اند، که از جملهٔ آنها می‌توان به کتاب ایمنی باند پرواز اشاره کرد [٤].

آژانس بین المللی انرژی اتمی دارای هرمی از استانداردها به صورت نشان داده شده در شکل ۳ است. در راس این هرم اصول بنیادی ایمنی قرار دارد. در سطح دوم هرم الزامات (عمومی و خاص) و در سطح سوم راهنماها (عمومی و خاص) قرار دارند. همانطور که عنوان شد استانداردهای IAEA الزامی نیستند لیکن در صورتی‌که کشورهای عضو تقاضای ارزیابی یا همکاری از آژانس داشته باشند، همکاری‌ها بر اساس این استانداردها انجام می‌شوند.



شکل (۳): هرم استانداردهای IAEA.

در کنار استانداردهای آژانس، ضوابط US-NRC[۱۵] و اتحادیه اروپا نیز در راستای حصول ایمنی مورد استفاده قرار می گیرند.

۳.۳. روش‌های طراحی و اصول فیزیکی برای دستیابی به ایمنی

نیروگاه و هواپیما جزء سیستمهای دینامیکی به شمار می‌روند، با این تفاوت که در هواپیما تغییرات دینامیکی بسیار سریعتر اتفاق می‌افتند و در هنگام بروز حوادث فرصت مقابله بسیار اندک است در حالی‌که در یک نیروگاه هسته‌ای فرصت پاسخگویی بیشتر می‌باشد. همچنین در یک هواپیمای در حال پرواز منابع در دسترس خلبانان برای مقابله با حادثه بسیار کمتر از منابع در دسترس اپراتورهای نیروگاه اتمی است.

نیروگاه هسته‌ای را می‌توان به طور کلی به صورت ایمن ذاتی[۱۶] طراحی کرد، یعنی طراحی سیستم راکتور به گونه‌ای باشد که در صورت بروز حادثه یا افزایش ناخواسته یا کنترل نشده قدرت سیستم، به صورت ذاتی با اعمال فیدبک منفی در وضعیت ایمن قرار گیرد. از دیگر اصول طراحی در نیروگاه‌های هسته‌ای اصل ایمن در مقابل بروز خرابی است[۱۷]. این اصل در طراحی هواپیما هم برای سیستمهای مختلف مورد نظر است اما با توجه به ماهیت کلی عملکردی هواپیما خارج از شمول می‌باشد.

برای رسیدن به ایمنی مطلوب، نیروگاه‌های هسته‌ای بر اساس رویکرد "دفاع در عمق" طراحی و ساخته می‌شوند. دفاع در عمق از طریق ترکیبی متوالی از سطوح مستقل حفاظتی اجرا می شود به گونه ای که فقط در صورتی که تمام آنها دچار نقص یا خرابی شوند، امکان خرابی نهایی سیستم وآسیب به مردم و محیط زیست وجود خواهد داشت. دفاع اولیه برای پیشگیری از حادثه در یک نیروگاه هسته‌ای، انتخاب مناسب سایت و کیفیت بالای طراحی، ساخت و بهره برداری است (پیشگیری از خطا). خط بعدی دفاع، سیستم های تشخیص و حفاظت به منظور تشخیص وضعیت غیر نرمال، پیش از رسیدن به شرایطی با پیامد قابل ملاحظه و ممانعت از توسعه آنها هستند. خط بعدی دفاع، سیستم های مهندسی ایمنی هستند که برای کنترل حوادث مبنای طراحی پیش بینی می شوند. خط چهارم دفاعی سیستم کنترل حوادث وخیم (مانند محفظه ایمنی) که برای محصور کردن حادثه و پیامدهای آن استفاده می شود. خط پنجم دفاعی نیز که برای محدود کردن دامنه آسیب پس از نشت مواد پرتوزا در نتیجه عدم کارایی همه سدهای حفاظتی قبلی است، در قالب برنامه مقابله با شرایط اورژانس[۱۸] اجرا می شود.

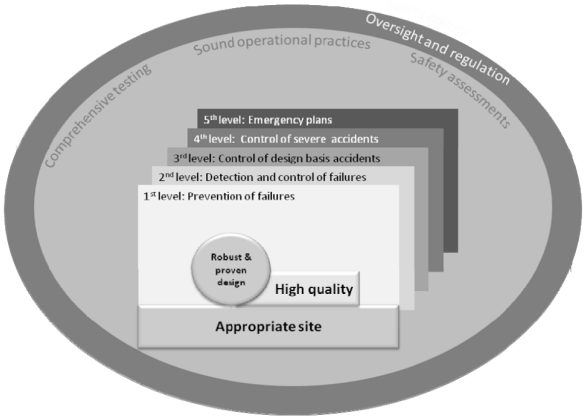
در طراحی راکتورها، سدهای حفاظتی متعددی برای محصور کردن مواد رادیواکتیو در نظر گرفته می شود. این سدها (برای یک راکتور آب سبک) شامل خود قرص سوخت، غلاف سوخت، مدار اول خنک کننده و محفظه ایمنی (فولادی و بتنی) است. از دیگر رویکردهایی که در طراحی سیستم‌های ایمنی در نظر گرفته می‌شوند می توان به مواردی مانند استفاده از سیستم‌های چندگانه[۱۹] و متنوع[۲۰]، جداسازی فیزیکی[۲۱]،

15. United States-Nuclear Regulatory Commission
16. Inherently safe
17. Fail safe

18. Off-Site emergency plan
19. Redundancy
20. Diversity
21. Physical separation

افزونگی سیستم‌های ایمنی و اصل ایمن در برابر خرابی اشاره کرد.

به عنوان یک پوش برای لایه های دفاعی، می بایست یک سیستم مدیریت ایمنی کارآمد و متعهد به ایمنی، یک فرهنگ ایمنی قوی، مقررات و نظارت موثر، بهره‌برداری بر اساس بهترین تجارب، تست های جامع و ارزیابی های ایمنی وجود داشته باشد. شکل ٤ مفهوم اصل دفاع در عمق و لایه‌های مختلف آن را نمایش می دهد [٥].



شکل (٤): مفهوم دفاع در عمق.

علاوه بر این، ویژگی‌هایی مانند ایمنی ذاتی قلب راکتور نیز به افزایش ایمنی کمک می‌کند.ایمنی ذاتی اصلی‌ترین ویژگی اکثر راکتورهای هسته‌ای است که عامل آن ضریب حرارتی منفی و ضریب حباب منفی است. عامل اول بدان معنی است که فراتر از یک حد مطلوب، با افزایش درجه حرارت بهره واکنش شکافت کاهش می‌یابد و عامل دوم به این معنی است که به وجود آمدن بخار در آب خنک‌کننده باعث کاهش اثر کندکنندگی می‌شود به طوری نوترون‌های کمتری قادر به انجام واکنش شکافت شده و نرخ واکنش به طور خودکار افت می کند.

برخی از سیستم های ایمنی راکتور پسیو هستند به این معنی که بدون نیاز به فرمان الکتریکی یا مکانیکی در جهت محافظت از راکتور عمل می‌کنند مانند شیرهای فشارشکن. وجود این نوع سیستم‌ها نیز به افزایش ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای کمک می‌کند.

٤.٣. سیستم های مدیریت ایمنی

در طی سالیان گذشته، مباحث و روش‌های زیادی برای نیل به حداکثر ایمنی قابل حصول در دو صنعت هسته‌ای و هوایی طرح شده است. در صنعت هواپیمایی کشوری، آنگونه که کاهش قابل توجه در نرخ سوانح منجر به مرگ نشان می‌دهد، ایمنی تا حد زیادی در دهه های اخیر افزایش یافته است. یک عامل عمده در رسیدن به این نقطه استانداردسازی و هماهنگ سازی بین‌المللی در رویه‌های تایید طراحی و مدیریت تغییرات بوده است. پس از بررسیهای مختلف، هم‌اکنون اکثر کارشناسان حوزهٔ ایمنی معتقدند که سیستم مدیریت ایمنی یکپارچه بهترین روش برای تحقق ایمنی به شمار می‌رود. این مبحث در صنعت هوایی تحت عنوان سیستم مدیریت ایمنی (SMS)[22] [٦] و در صنعت هسته‌ای تحت عنوان سیستم مدیریت یکپارچه (IMS)[23] مطرح می‌شوند [٧-٩]. در ارتباط با مدیریت ایمنی دو تفکر نسبتاً جدید مورد توجه قرار دارد. یکی مدیریت ایمنی پیش فعال[24] و دیگری مدیریت ایمنی انعطاف پذیر[25]. در بحث اول مدیریت ایمنی، قبل از اینکه حادثه‌ای رخ دهد سیستم ایمنی آن را پیش‌بینی می‌کند. در مبحث دوم، سیستمهای ایمنی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در مقابله با شرائط خاص به صورت انعطاف پذیر بتوانند عمل نمایند.

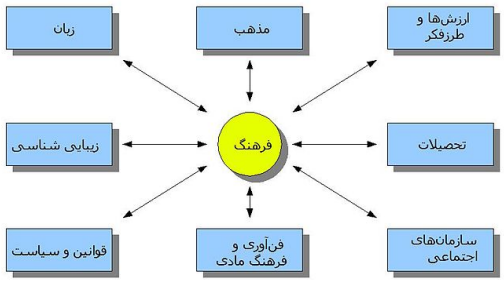
٥.٣. عوامل انسانی و فرهنگ ایمنی

در اکثر صنایع بیش از ۷۰ درصد از تمام حوادث ریشه در خطای انسانی دارد. در برخی از صنایع، این رقم نزدیک به ۹۰ درصد است. براساس مطالعات سازمان ملی هوا و فضای آمریکا (ناسا)، ۷۰ درصد از حوادث هوایی (از زمان ورود توربوجت‌ها در اواخر دهه۱۹۵۰) به نوعی ناشی از درجه‌ای از

22. Safety Management System
23. Integrated Management System
24. Pro-active safety management
25. Resilience safety management

خطای انسانی بوده است [۱۰]. خطاهای انسانی در تعمیر و نگهداری هواپیما نه تنها یک تهدید برای ایمنی پرواز محسوب می شود، بلکه به دلیل تأخیر، لغو شدن پرواز و یا برهم زدن برنامه زمانی، هزینه های زیادی را به ویژه به خطوط هوایی تحمیل می‌کند [۱۱]. واضح است که تمرکز تلاش بر روی کاهش خطای انسانی احتمال وقوع حوادث را کاهش می‌دهد. در صنعت نیروگاه‌های هسته‌ای، اصول، مفاهیم و شیوه‌هایی اتخاذ گردیده‌اند تا باعث کاهش خطای انسانی و تقویت سیستم دفاعی به منظور کاهش حوادث و سوانح ناگوار گردند. که از جملهٔ مهمترین آنها بحث فرهنگ ایمنی است.

تایلور، فرهنگ را مجموعه پیچیده‌ای از دانش‌ها، باورها، هنرها، قوانین، اخلاقیات، سنت‌ها، عادات و هر چه که فرد به عنوان عضوی از جامعهٔ خویش فرامی‌گیرد، تعریف می‌کند (شکل ۵) [۱۲–۱۳]. در پیدایش فرهنگ‌ها محیط جغرافیایی آن فرهنگ، بنیاد اقتصادیش، ساخت اجتماعی و سیاسی مردمی که پدیدآوران آن فرهنگ بوده‌اند، و پاره‌ای از سهم های مهمی که آن فرهنگ در تمدن داشته است نقش دارند. فرهنگ از طریق آموزش به نسل‌های بعدی منتقل می‌شود.



شکل (۵): فرهنگ و عوامل تاثیرگذار بر آن.

فرهنگ یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی‌های صنعتی و به ویژه سیستم‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال در طراحی گذرگاه‌های شهری، فرهنگ ترافیکی رانندگان یکی از عوامل مهم و تاثیرگزار می‌باشد. خطاهای انسانی[۲۶] کارکنان در هر سیستمی، در ارتباط نزدیک با فرهنگ کارکنان آن سیستم می‌باشند. اصطلاح فرهنگ ایمنی، چند سال پس از حادثهٔ چرنوبیل در سال ۱۹۸٦ در صنعت هسته‌ای بکار گرفته شد و پس از آن به سرعت در سایر صنایع حساس از جمله صنعت هوایی فراگیر گردید.

فرهنگ ایمنی به صورت مجموعه‌ای از ارزشها و رفتارها برای مدیران و کارکنان در جهت تاکید و تعهد بر ایمنی تعریف می‌شود. این ایمنی در صنعت هسته‌ای برای حفاظت مردم، نسل‌های آینده و محیط زیست تعریف شده است. فرهنگ ایمنی و عوامل انسانی سیستم‌های ایمنی در ارتباط نزدیک با هم هستند [۱٤–۱۵].

همانند سایر موارد موثر بر فرهنگ، فرهنگ ایمنی هم یک مسئلهٔ پیچیده و دارای لایه‌های درونی است و معمولا توسط کوه یخ مدل می‌گردد چرا که فقط بخش کوچکی از آن قابل مشاهده است و لایه‌های درونی آن دیده نمی‌شوند (شکل ٦). این لایه‌های درونی در مواجهه با شرائط مختلف، می‌توانند منجر به بروز رفتارهای غیر قابل پیش‌بینی کارکنان گردند. این موضوع در طراحی سیستم‌های ایمنی باید مورد توجه قرار گیرد.

شکل (٦): مدل کوه یخ برای توصیف لایه‌های پنهان فرهنگ ایمنی.

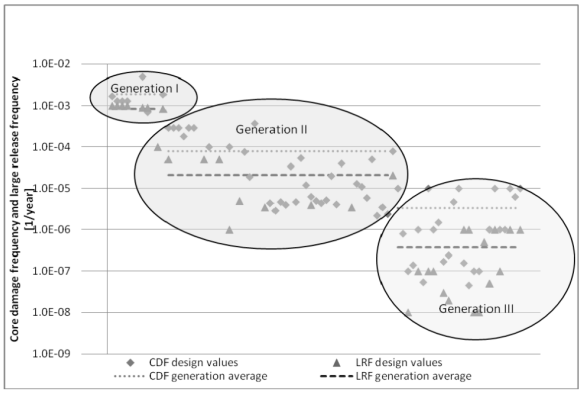
26. Human error

برخی سرفصل‌های مهم در ارتباط با فرهنگ ایمنی عبارتند از: – مدیریت ایمنی – تجربیات کاربردی – بهبود رفتاری و عملکرد – خودارزیابی – شاخص‌های ایمنی – خطاهای انسانی – درس‌های برگرفته از حوادث و انتقال آن به دیگران[۲۷] – بحث اولویت‌بندی فعالیت‌های مرتبط با ایمنی[۲۸] – ارزیابی ریسک و نظارت بر پیمانکاران.

وجود یک فرهنگ ایمنی قوی برای اطمینان از حفظ یکپارچگی و کارآمدی لایه های حفاظتی چندگانه (شکل ٤) ضروری است.

٦.٣. ارزیابی ریسک و قابلیت اطمینان

در سیستم های پیچیده مانند نیروگاه‌های هسته‌ای و هواپیماها به منظور تعیین قابلیت اطمینان و ریسک معمولاً از روش‌های ارزیابی احتمالاتی ایمنی (PSA)[۲۹] استفاده می‌شود. PSA اولین بار در سال ۱۹۷۵ در صنعت هسته‌ای استفاده شد (WASH 1400) که به عنوان گزارش راسموسن که مسئولیت کمیته اجرای این ارزیابی‌ها را بر عهده داشت نیز شناخته می‌شود [١٦]. در این مطالعه احتمال تعدادی از حوادث که می‌توانستند منجر به آسیب به قلب راکتور شوند، محاسبه شد. امروزه PSA هم در مرحله طراحی و هم در مرحله بهره‌برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای به طور گسترده‌ای برای تعیین و آنالیز خرابی و پیامدهای احتمالی آن استفاده می‌شود. این مطالعات به صورت عددی احتمال و پیامدهای یک خرابی قابل پیش بینی و ریسک هر خرابی (حاصلضرب احتمال حادثه در پیامدهای آن) را تعیین می‌کنند. با انجام مطالعات PSA می‌توان نقاط ضعیف سیستم‌ها را شناسایی و برای اصلاح آنها اقدام نمود و همچنین می‌توان احتمال رخداد حوادث وخیم (آسیب به قلب[۳۰] و فراوانی نشت گسترده مواد رادیواکتیو[۳۱] در نیروگاه هسته‌ای و از دست رفتن کامل کنترل یا سقوط در مورد هواپیما) را تعیین نمود. شکل ۷ به عنوان نمونه‌ای از ارزیابی‌های PSA، سیر نزولی احتمال آسیب به قلب و فراوانی نشت گسترده را از نسل اول تا نسل سوم راکتورها نشان می‌دهد [۵].



شکل (۷): ارزیابی PSA – سیر نزولی احتمال حوادث وخیم.

۷.۳. رده‌بندی حوادث هسته‌ای و هوایی

در صنعت هوایی حوادث بر مبنای آسیب به هواپیما و آسیب انسانی رده‌بندی می‌شوند. در مورد آسیب به هواپیما نیز به طور کلی حوادث در چهار سطح آسیب ندیده، آسیب جزئی، آسیب شدید و غیر قابل تعمیر رده‌بندی می‌شوند. در صنعت هسته‌ای، یک مقیاس بین‌المللی رویدادهای هسته‌ای (INES)[۳۲] ، توسط IAEA و OECD در سال ۱۹۹۰ برای برقراری ارتباط و استاندارد کردن گزارش‌دهی حوادث هسته‌ای به مردم توسعه داده شد. این مقیاس از صفر برای یک رویداد بدون اهمیت ایمنی تا ۷ برای یک "حادثه بزرگ" مانند چرنوبیل می‌باشد. تری مایل آیلند، به عنوان یک "حادثه با خطر خارج از سایت" هر چند هیچ آسیبی برای کسی در پی نداشت در رده ۵ این مقیاس قرار می‌گیرد و حادثه فوکوشیما نیز در رده ۷ قرار دارد.تعدادی حوادث دیگر با رده‌های پایینتر از این مقیاس نیز رخ داده است. یک تفاوت اساسی بین دو صنعت در زمینه رده‌بندی حوادث از آنجا ناشی می‌شود که حوادث هسته‌ای بزرگ معمولا با تبعات زیست محیطی وسیع همراه هستند و این اثرات باید در ارزیابی حادثه مورد توجه قرار گیرد، در

27. Lessons learned
28. Graded approach
29. Probabilistic Safety Assessment
30. Core Damage Frequency
31. Large Release Frequency
32. International Nuclear Event Scale

حالیکه حوادث هوایی معمولا اثرات بسیار محدود زیست محیطی دارند.

٤. نتیجه‌گیری

صنایع هوایی و هسته‌ای از نظر مفاهیم ایمنی مشترکات فراوانی دارند. در این مقاله مروری اجمالی به روش‌های نیل به ایمنی، از جمله تمهیدات ساختاری و فنی نظیر مجوزها، چارچوب نظارتی و قانونی و اعمال تغییرات در طراحی در صنایع حمل و نقل هوایی و صنعت هسته‌ای انجام گرفت. صنعت حمل و نقل هوایی یک سیستم همکاری‌های بین‌المللی، پذیرش متقابل و مکانیزم‌های بسیار موثر از به اشتراک گذاری اطلاعات طراحی و همچنین واکنش مشترک و یکسان به یافته‌ها و اتفاقات را ایجاد کرده است.

در چنین زمان حساسی در صنعت هسته‌ای، به ویژه بعد از حادثهٔ فوکوشیما، ضروری است که ایمنی همچنان ارتقاء یابد. این امر می‌تواند با پیروی از یک سیستم همکاری نزدیک بین‌المللی مشابه آنچه در صنعت حمل و نقل هوایی توسعه یافته است به دست آید. تفاوت عمده دیگر در دو صنعت این است که استانداردهای IAEA بر خلاف استانداردهای ایکائو در کشورهای عضو الزام آور نیستند و نیز اینکه ایکائو یک برنامه ممیزی اجباری به نام USOAP دارد در حالی که IAEA دارای سرویس‌های ارزیابی اختیاری نظیر IRRS است. اجباری شدن استانداردهای IAEA و سرویس های نظارتی آن (طی یک برنامه چند مرحله‌ای) می‌تواند به یکسان‌سازی و ارتقاء سطح ایمنی در کشورهای عضو منجر شود. مدیریت ایمنی یکپارچه، طراحی‌های نوینِ متضمن کاهش ریسک مخاطرات و ارتقاء فرهنگ ایمنی نیز فاکتورهایی هستند که می‌توانند موجب دستیابی به حداکثر ایمنی قابل حصول گردند. یکپارچه شدن مجوزها در صنعت هسته‌ای در سطح بین‌المللی و تعیین الزامات مشترک و موثر در این زمینه نیز می‌تواند در نیل به ایمنی بیشتر در این صنعت تاثیرگذار باشد. صنعت هسته‌ای در زمینه مفاهیم دفاع عمقی به عنوان اساسی‌ترین اصل در نیل به حداکثر ایمنی و نیز در زمینه ارزیابی‌های PSA به عنوان یک ابزار قدرتمند در افزایش قابلیت اطمینان و کاهش ریسک، صنعت پیشرو محسوب می‌شود. این ابزار و مفاهیم می‌توانند به منظور نیل به حداکثر ایمنی در صنعت هواپیمایی نیز بیش از پیش مورد توجه و استفاده واقع شوند.

۵. مراجع

[1] WNA. Aviation licensing and life time management: what can nuclear learn. World Nuclear Association, (2013).

[2] ICAO. Annex 19 to the convention on international civil aviation: safety management. ICAO, (2013).

[3] ENCO. Organization of study and a workshop on learning from cross-cutting cooperation with other industries to improve and maintain nuclear safety in the EU. summary report , FR-(12)-70, (2013).

[4] ACI World Safety & Technical Standing Committee. Runway safety handbook. First edition, (2014).

[5] NEA. Comparing nuclear energy risk with those from other energy sources. OECD, (2010).

[6] A. J. Bayuk. Aviation safety management systems. Creative Ventures International, LLC, (2014).

[7] IAEA. Management system for facilities and activities. IAEA, Safety Requirements No. GS-R-3 Vienna, (2006).

[8] IAEA. Application of the management system for facilities and activities. IAEA, Safety Guide No. GS-G-3.1, Vienna, (2006).

[9] IAEA. The Management system for nuclear installations. IAEA, Safety Guide No. GS-G-3.5, Vienna, (2009).

[10] R. L. Helmreich. Managing human error in aviation. Scientific American, (1997) 62 –67.

[11] A. Hobbs. An overview of human factors in aviation maintenance. Australian transport safety bureau, (2008).

[12] www.wikipedia.org/wiki/culture, accessed March (2014).

[13] M. Blevins. Safety culture in the nuclear industry. Luminant Co, (2013).

[14] IAEA. Safety culture. IAEA, INSAG-4, Vienna, (1991).

[15] IAEA. Key practical issues in strengthening safety culture. IAEA, INSAG-15, Vienna, (2002).

[16] USNRC. Reactor safety study: An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants. USNRC, NUREG-75/014 (1975).