



اهمیت تلفیق رویکردهای قطعی و احتمالاتی در چارچوب تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی در راکتورهای هسته‌ای

اسفندیاری، محسن^(۱) - سپانلو، کامران^(۲) - جهانفرنیا، غلامرضا^(۱) ظریفی، احسان^(۲)

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی هسته‌ای - راکتور سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

چکیده:

آنالیز حوادث هسته‌ای و حوادث گذرا برای پیش‌بینی شرایط اضطراری بسیار ضروری است. بررسی حوادث هسته‌ای و تجزیه و تحلیل ایمنی با روش‌های احتمالی یا قطعی صورت گرفته است. در این مقاله، اهمیت رویکردهای ترکیبی برای تصمیم‌گیری جامع و کامل آگاهانه بر مبنای ریسک ارائه می‌شود. با ترکیب هر دو روش و با استفاده از تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی، تحلیل حوادث هسته‌ای می‌تواند بیشتر واقع‌گرایانه باشد، و مقابله با حوادث مبنای طراحی و ماورای مبنای طراحی با دقت بالا امکان‌پذیر است. به طور کلی، رویکرد تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی می‌تواند با اطمینان در تضمین ایمنی هر نوع راکتور هسته‌ای مورد استفاده قرار گیرد. **کلمات کلیدی:** تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی، رویکرد قطعی، رویکرد احتمالاتی.

The importance of integration of deterministic and probabilistic approaches in the framework of integrated risk informed decision making in nuclear reactors

Mohsen Esfandiari¹, Kamran Sepanloo², Gholamreza Jahanfarnia¹, Ehsan Zarifi²

1 Department of Nuclear Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2 Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran.

Abstract

Analysis of nuclear reactor accidents and transients are very necessary for prediction of emergency conditions, being used to control and respond to extreme conditions. The nuclear accident investigation and safety analysis have been performed by either probabilistic or deterministic approaches. In this paper, the importance of the combined approaches for more



comprehensive integrated risk informed decisions making are presented. By combination of both approaches and using integrated risk informed decision-making, the analysis of nuclear accident can be more realistic and, contrasting design basis accidents (DBAs) and beyond design basis accidents (BDBAs) with high accuracy is possible. Generally, the integrated risk informed decision-making approach can confidently be used in assurance of safety of any type of nuclear reactors.

Key word: integrated risk informed decision-making, deterministic approach, probabilistic approach

مقدمه :

برای سال‌های بسیاری، تصمیم‌گیری در مورد مسائل ایمنی یا بر اساس ارزیابی ایمنی قطعی (deterministic safety assessment (DSA)) یا ارزیابی احتمالی ایمنی (probabilistic safety assessment (PSA)) صورت گرفته است. هدف رویکرد تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی ملاحظات کمی و کیفی (قطعی و احتمالاتی) ایمنی برای دستیابی به تصمیم متعادل می‌باشد. تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی و بررسی ترکیبی از رویکردهای قطعی و احتمالاتی مسائل مهمی هستند که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. کمیسیون تنظیم مقررات هسته‌ای ایالات متحده (USNRC) گزارش‌هایی را درباره تصمیمات تجمیعی بر مبنای ریسک آگاهانه و کاربرد رویکردهای قطعی و احتمالاتی از زمان ۱۹۹۸ ارائه داده است [۸]. آنها با استفاده از مفهوم تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی معیارهای سطح بالا برای دفاع در عمق و تمام حاشیه ایمنی را در نظر گرفتند. کالینز [۱] تصمیم‌گیری ایمنی ریسک و تصمیم‌گیری قانونی بر اساس دیدگاه (USNRC) را مورد بررسی قرار داد. هان و همکاران، موانع استفاده از تصمیم‌گیری تجمیعی بر مبنای ریسک آگاهانه در ایمنی هسته‌ای را بررسی نمودند [۴]. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، آیین‌نامه ریسک آگاهانه از تاسیسات هسته‌ای را مرور کرده است [۶]. تصمیم‌گیری با ریسک‌پذیری در زمینه مدیریت ریسک NASA توسط دیزفولی و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته است [۲]. همچنین گروه بین‌المللی ایمنی هسته‌ای (INSAG) یک چارچوب برای یک فرآیند تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک یکپارچه منتشر کرده است [۵]. فلمینگ و سیلیدی، یک چارچوب دفاع در عمق بر مبنای ریسک آگاهانه را برای راکتورهای موجود و پیشرفته بررسی کرده‌اند [۳]. محمد مدرس مفاهیم چارچوب نظارتی بسیار وسیع را با استفاده از روش بهترین برآوردها، روش مبتنی بر هدف، روش مبتنی بر ریسک و روش عملکردی ارائه داد [۷].

روش کار :



رویکرد ایمنی قطعی (DSA) مجموعه‌ای از قوانین و الزامات محافظه‌کارانه را برای طراحی و بهره برداری یک موسسه هسته‌ای اعمال می‌کند. به این ترتیب، راهی برای رفع عدم اطمینان در عملکرد تجهیزات و انسان‌ها فراهم می‌شود. این رویکرد فلسفه دفاع در عمق را فراهم می‌کند که اطمینان از عملکرد موفق سدها برای جلوگیری از حوادث را در بردارد. مزیت اصلی رویکرد قطعی این است که به خوبی برای اعمال به همه انواع موسسات هسته‌ای توسعه یافته است. علاوه بر مزایای آن، نقص‌هایی مانند نشان دادن خطای نادر به جای نقص‌های کوچکی که بیشتر اتفاق می‌افتد، ناتوانایی برای تعادل طراحی و کاهش سطح ریسک را دارد.

در روش احتمالاتی برای تحلیل ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای استفاده می‌شود. این روش دارای سه سطح ایمنی است. با استفاده از این روش آنالیز تمام حوادث و گذراها، فرکانس ذوب قلب و فرکانس رهاشدن زود هنگام مواد رادیواکتیو، امکان پذیر است. همچنین در این روش می‌توان تمام منابع مواد رادیواکتیو، خطاهای انسانی و سطوح ریسک را بررسی کرد. نقص رویکرد احتمالاتی این است که مدل PSA نمی‌تواند تمام رویدادهای اولیه و توالی‌های خطا را که می‌تواند بر ریسک تاثیر بگذارد، تعیین کند.

رویکردهای قطعی و احتمالاتی باید برای کنترل سطح ریسک موسسات هسته‌ای جهت برآورد ایمنی اپراتورها استفاده شوند. بین رویکردهای قطعی و احتمالاتی در روش‌های ارزیابی و شرایط مرزی اختلاف زیادی وجود دارد. رویکرد قطعی محافظه‌کارانه است، اما رویکرد احتمالی واقع‌گرایانه‌تر است و از رویکرد بهترین برآورد استفاده می‌کند. رویکرد قطعی معمولاً از برخی رویدادهای اولیه و توالی‌های خطا استفاده می‌کند، در حالی که رویکرد احتمالاتی از یک مجموعه جامع‌تر از رویدادهای اولیه و خطرات برای تجزیه و تحلیل استفاده می‌کند. در رویکرد قطعی، شرایط حادثه به طور جداگانه در نظر گرفته شده است، به طوری که PSA تقریباً تمام رویدادهای اولیه و سیستم‌های ایمنی را در همان مدل تجمیع می‌کند. روش DSA از روش تقریبی برای محاسبه فرکانس‌های رویداد اولیه و احتمال سیستم‌ها و اجزاء استفاده می‌کند، در حالی که PSA از روش‌های صریح برای این اهداف استفاده می‌کند. در مدل قطعی عدم قطعیت‌ها با فرض‌های محافظه‌کارانه مشخص می‌شوند و در احتمالاتی با استفاده از روش‌های صریح قابل اندازه‌گیری می‌باشند.

به طور کلی، با توجه به رویدادهای اولیه، DSA تنها حوادث مبنای طراحی را در نظر می‌گیرد، در حالی که PSA هم حوادث مبنای طراحی و هم حوادث ماورای مبنای طراحی را بررسی می‌کند. با در نظر گرفتن سیستم‌های ایمنی، DSA تنها معیار نقص منفرد را نشان می‌دهد، اما PSA نشان دهنده معیار

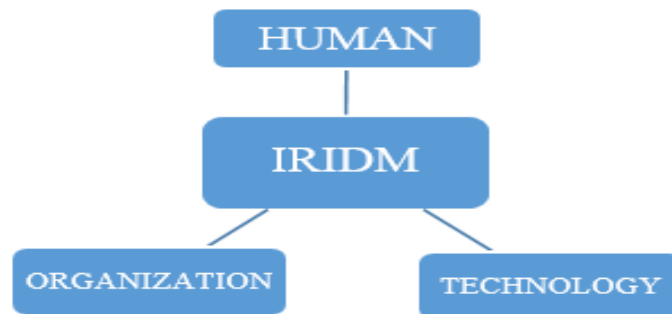


نقص منفرد و مرکب است. در رویکرد قطعی، با توجه به دستورالعمل بهره بردار، هیچ کاری در ۳۰ دقیقه ابتدایی توسط بهره بردار انجام نمی‌شود، اما بعداً دستورالعمل‌ها باید به طور کامل اجرا شوند. در مقابل در PSA اقدامات بهره بردار بیشتر واقع‌گرایانه است. به عبارت دیگر، اساس DSA محافظه-کارانه تر است، در حالی که PSA تا حد ممکن واقعی است.

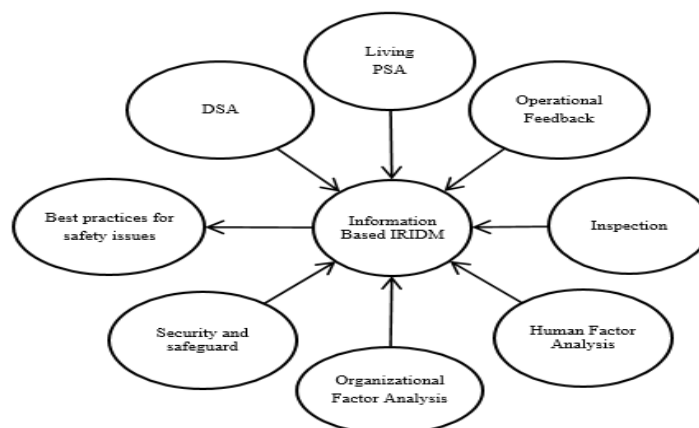
روش احتمالاتی می‌تواند روش‌های قطعی را تکمیل کند، زیرا در تحلیل PSA هزاران عامل موثر در توالی حوادث به جای چند حادثه مبنای طرح در نظر گرفته می‌شود. در این رویکرد مدهای نقص بیشتری تحلیل می‌گردد. روش احتمالاتی تعیین‌کننده دیگر عوامل ناایمن در ریسک می‌باشد. همچنین این رویکرد مشخص‌کننده عوامل غیرمحافظه‌کارانه (واقعی‌تر) و بیش از حد محافظه‌کارانه در طراحی می‌باشد. و نیز تعیین‌کننده بخشی از عدم قطعیت نتایج سهم در درک موضوعات می‌باشد.

رویکرد تجمیعی تعیین می‌کند که طراحی در برابر رویداد اولیه متعادل است. همچنین اهمیت ساختارها، سیستم‌ها و اجزاها را مشخص می‌کند. در همه موارد، ترکیب رویکرد قطعی و احتمالاتی برای دستیابی به سطح ایمنی قابل قبول ایجاد می‌شود. هر رویکرد دیدگاه جداگانه‌ای دارد، امکان استفاده از نتیجه هر رویکرد برای دیگری به جای فرضیه‌های کاربردی در آنها وجود دارد. به این ترتیب، معیارهای موفقیت قطعی، که در رویکرد قطعی به دست می‌آید، می‌توانند در رویکرد احتمالاتی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، رویدادهای مبنای طراحی جدید و کلاس بندی مجدد ساختارها، سیستم‌ها و مولفه‌ها از رویکرد احتمالاتی را می‌توان در رویکرد قطعی استفاده کرد. سپس نتایج قطعی و احتمالاتی به ترتیب با مقررات و معیارهای ارزیابی ریسک مقایسه می‌شود. در نهایت، سطح ایمنی قابل قبول را می‌توان با استفاده از تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی بدست آورد. اگر سطح ایمنی مورد رضایت نباشد، به منظور افزایش سطح ایمنی اقدامات باید دوباره انجام شود.

در ابتدا مدیریت ایمنی در درجه اول بر ایمنی کارخانه و تجهیزات (تکنولوژی) متمرکز بود، در حالی که اقدامات بعدی نیز عوامل متعددی مانند: بهره بردارها، سازمان‌ها و غیره را در نظر گرفتند. رویکرد تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی (integrated risk informed decision making (IRDM)) برای مدیریت ایمنی به روز شده توسط بسیاری از اپراتورهای سراسر جهان، تمام جنبه‌ها و تعامل پیچیده بین آنها را مشخص می‌کند، شکل ۱.



شکل ۱. پارامترهای مهم برای تصمیم‌گیری آگاهانه بر مبنای ریسک تجمیعی (IRIDM) یک فرآیند مشورتی است که مجموعه‌ای از اقدامات عملکردی را همراه با ملاحظات دیگر به منظور اتخاذ تصمیم آگاهانه بکار می‌برد. IRIDM برای تصمیم‌گیری‌های کلیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که به طور معمول نیازمند تنظیم شرایط است. این در بسیاری از زمینه‌های مختلف، ارزیابی ریسک، تصمیم‌گیری در مورد طراحی مهندسی و فرآیندهای مدیریت ساختاری و غیره کاربرد دارد. با استفاده از IRIDM، موفقیت پروژه و بهترین تصمیم‌گیری برای ارزیابی ریسک و غیره، تضمین می‌شود. هدف اصلی مدل IRIDM توسعه بانک اطلاعاتی یکپارچه برای تصمیم‌گیری آگاهانه در موارد ضروری است. بانک اطلاعاتی یکپارچه شامل: بازخورد عملیاتی، تجزیه و تحلیل عامل سازمانی، عامل انسانی، بازرسی، تجزیه و تحلیل ایمنی قطعی (DSA)، تجزیه و تحلیل ایمنی احتمالاتی (PSA)، امنیت و حفاظت و غیره می‌باشد. طرح این مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. الزامات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری تجمیعی بر مبنای ریسک آگاهانه. مجموعه‌ای از الزامات و معیارها شامل مراحل مختلف برای فرآیند IRIDM مورد نیاز است. اولین گام تعریف هر گونه موضوعی است که می‌تواند در تجزیه و تحلیل ایمنی در نظر گرفته شود. گام دوم شناسایی الزامات و معیارهای مربوط به موضوع خاص است. در این مرحله الزامات اجباری، دیدگاه‌های قطعی و احتمالی و سایر الزامات باید برای اجرای روند IRIDM تعیین شود. در مرحله



سوم، وزن ورودی تعیین می‌شود. وزن خاصی به هر پارامتر بر اساس اهمیت آن برای مسائل مختلف نسبت داده می‌شود. سپس روش‌های ارزیابی مسائل ایمنی را می‌توان با استفاده از این وزن‌ها شناخت. مرحله چهارم تصمیم‌گیری است. هدف از این مرحله تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا باید در طراحی یا بهره‌برداری نیروگاه، تنظیم مقررات مورد بررسی و غیره تغییراتی انجام گیرد، صورت می‌پذیرد. فرایند تصمیم‌گیری خوب نیاز به انجام مراحل قبلی دارد. زیرا که تصمیم‌گیری نامناسب، ضرورت بازنگری تمام مراحل را منجر خواهد شد. پس از تصمیم‌گیری خوب، باید آن را اجرا کرد. بهره‌بردارها باید آموزش مناسب دریافت کنند و تغییرات لازم در ابزارهای مرتبط باید اعمال شود. مرحله نهایی نظارت بر روند اجرای فرایند است. به منظور اجرای مناسب موضوع مذکور، باید آیین نامه کامل اجرا شود. چنانچه، بازدهی کافی در مراحل انجام شده به دست نیامده باشد، این روش باید تجدید نظر یا دوباره برنامه ریزی شود.

مزایای رویکرد IRIDM عبارتند از: ۱- شفافیت در وزن دهی عناصر و راه حل به دست آمده واضح است؛ ۲- ایجاد تعادل، اگر همه عناصر به درستی وزن دهی شده باشند؛ ۳- منطقی بودن، اگر به صورت ساختاری انجام شود؛ ۴- دارا بودن انطباق، اگر وزن مناسب توسعه یابد؛ ۵- پاسخگویی، اگر به درستی مستند شده باشد، بنابراین فرایند می‌تواند بازسازی شود؛ و... لازم به ذکر است که در این روش پیچیدگی ادغام اطلاعات کمی و کیفی بسیار زیاد است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، هنگامی که تجزیه و تحلیل حوادث هسته‌ای به طور جداگانه با روش‌های قطعی و احتمالات انجام می‌شود، با کاستی‌ها و نقایص مواجه می‌شوند. رویکرد تجمیعی ریسک، پتانسیل بالایی برای بهبود سطح ایمنی با استفاده از رویکردهای احتمالی و یقینی دارد. با استفاده از رویکرد IRIDM، تعیین وقایع شروع، نقص مرکب و توالی رویداد امکان پذیر است. تصویب مدل IRIDM راهی برای جلوگیری از این سوانح و حوادث و همچنین مزایای دیگری از قبیل: ۱- عملیات‌های ایمن‌تر و امن‌تر بواسطه درک جامع‌تر از ریسک عملیاتی، ریسک مجموعه را کاهش داده‌اند. ۲- انعطاف پذیری بیشتر، از جمله توانایی برای مقابله با تهدیدات پیش‌بینی نشده و رویدادهای ناخواسته؛ ۳- ادغام بهتر سیستم‌های عملیاتی و فنی، با مدیریت منابع مالی و انسانی؛ ۴- بهره‌وری بیشتر، از جمله عملیات تولیدی بیشتر، روحیه کارکنان بالاتر، گردش کارکنان پایین‌تر، اقدامات بهتر و موثرتر کنترل؛ ۵- توانایی بیشتر برای شناسایی نقاط ضعف، به طوری که آنها می‌توانند به صورت فعالانه تصحیح شوند تا از فرصت‌های حوادث جلوگیری شود، و غیره می‌باشد.



مراجع:

1. **Collins** S. J., Risk informed safety and regulatory decision making: an NRC perspective, In Proceedings of the 2001 IAEA international conference on Topical issues in nuclear safety, Vienna, IAEA, 2001.
2. **Dezfuli** H., Stamatelatos M., Maggio G., and Everett C., Risk-informed decision making in the context of NASA risk management, In Proceedings of the PSAM 10 Conference, Seattle, W.A., 2010.
3. **Fleming** K. N., Silady F. A., A risk informed defense-in-depth framework for existing and advanced reactors, Reliability Engineering and System Safety, San Diego, CA 92121-2767, USA, 2002.
4. Hahn L., **Impediments** for the application of risk-informed decision making in nuclear safety (IAEA-CN-82/49), In International Conference on Topical Issues in Nuclear Safety, Vienna, 2002.
5. IAEA, A **framework** for an integrated risk informed decision making process / a report by the International Nuclear Safety Group, Vienna, INSAG series, ISSN 1025-2169, no. 25, 2011.
6. **IAEA, Risk**-informed regulation of nuclear facilities: overview of the current status (IAEA/TECDOC-1436), Technical report, IAEA, Vienna, 2005.
7. **Modarres M., Advanced nuclear power plant regulation using risk-informed and performance-based methods**, Reliability Engineering and System Safety, College Park, MD 20874, USA, 2009.
8. **USNRC, An approach** for plant-specific, risk-informed decision-making: Graded quality assurance, Regulatory guide 1.176, Technical report, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 1998a.