اولویت بندی ریسک ایمنی در تاسیسات هسته ای با استفاده از ماتریس تحلیل ریسک و روش ANP (مطالعه موردی: تاسیسات غنی‌سازی اورانیوم)

حبیب دهقان[۱]، مهدی درویشی[۲*]

۱- دانشجوی گروه مدیریت محیط زیست- ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد ، ایران

۲- استادیار گروه مدیریت محیط زیست- ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد ، ایران

*نویسنده مسئول: مهدی درویشیmehdi.darvishi472@gmail.com شماره موبایل نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۸۲۰۰۸۹۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹

چکیده

هـدف از پژوهش حاضر اولویت‌بندی ریسک ایمنی در تاسیسات هسته‌ای با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای می‌باشد. با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای به اولویت‌بندی شاخص‌های مرتبط با ریسک ایمنی در تاسیسات هسته‌ای پرداخته شد. شاخص‌های مربوطه عبارتد از: برخورد ماشین‌آلات و تجهیزات در حین استخراج و گودبرداری، تغییرات دما در قلب تاسیسات، برخورد ماشین آلات و تجهیزات با تاسیسات زیر زمینی حین گودبرداری، تزریق مواد اسیدی و شیمیایی، پرتوگیری هنگام رادیوگرافی، تماس با مواد پرتوزا، تماس با پرتو ماوراء بنفش حین جوشکاری، نشست مواد هنگام فلاشینگ، ورود رنگ به محیط زیست هنگام رنگ آمیزی، پرتاب جرقه‌های جوشکاری. بر اساس یافته‌های مطالعه مشخص شد که روش‌های موجود تصمیم‌گیری چندمعیاره قادر به اولویت بندی دقیق خطرات نمی‌باشد. در حالی که روش ANP مورد استفاده در این پژوهش علاوه بر اینکه قادر است خطرات را با دقت بیشتری از هم تفکیک نماید بلکه می تواند اهمیت آنها را نسبت به همدیگر بر اساس درجه ریسک آنها بیان کند. مشخص شد که روش‌های موجود قادر به اولویت‌بندی دقیق خطرات نمی‌باشد. به عبارت دیگر مدیریت هیچ ایده‌ای برای اختصاص منابع محدود در دسترس خود برای حذف یا کنترل خطرات هم طبقه ندارد. در حالی که روش پیشنهادی در این پژوهش علاوه بر اینکه قادر است خطرات را با دقت بیشتری از هم تفکیک نماید بلکه می‌تواند اهمیت آنها را نسبت به همدیگر بر اساس درجه ریسک آنها بیان کند.

واژگان کلیدی:

"ایمنی"، "تاسیسات هسته‌ای"، "تحلیل ریسک"، "آژانس بین المللی هسته‌ای".

Ranking Safety Risk in nuclear facilities Using ANP Method (Case Study: Uranium Enrichment Facilities)

Habibalah Dehghan[1], Mahdi Darvishi [2*]

[*]Email Address: mehdi.darvishi472@gmail.com [*] Mobile Phone: +989128200899

Abstract

The purpose of the present study is to prioritize safety risk in nuclear installations using network analysis method. Evaluation of safety risk indices in nuclear installations was done using network analysis method. Related indicators are: machinery and equipment collision during extraction and excavation, temperature changes at the heart of the facility, collision of machinery and equipment with underground facility during excavation, acid and chemical injection, radiographic exposure, and exposure to radionuclides. , UV contact during welding, material deposition during flushing, environmental dyeing during painting, throwing welding sparks. The findings of the study showed that existing multi-criteria decision-making methods cannot accurately prioritize the risks. While the ANP method used in this study is not only capable of separating hazards more accurately, it can also express their importance to each other based on their degree of risk. It was found that the existing methods cannot accurately prioritize the hazards. In other words, management has no idea of the limited resources available to eliminate or control the same risks. While the proposed method in this study is not only capable of separating the hazards more accurately but also can express their importance to each other based on their degree of risk.

Keywords:

"Risk of Safety"; "Nuclear Facilities"; "Risk Analysis"; "International Nuclear Agency"

۱. مقدمه

ایمنی[1] در لغت به معنای مصونیت، بیخطری و سلامتی است (فرهنگ دهخدا). منظور از ایمنی هسته ای دستیابی به شرایط بهره برداری صحیح، پیشگیری از حوادث پرتویی یا کاهش پیامدهای آنها است که به حفاظت کارکنان در محل تأسیسات، عموم مردم و محیط زیست انجامد» (۱). هدف از برقراری یا ایجاد ایمنی در تأسیسات یا فعالیت‌های هسته‌ای پیشگیری و یا به حداقل ممکن رسانیدن خطرات و مضرات احتمالی ناشی از این تأسیسات یا فعالیتها می باشد. وجود ایمنی در یک صنعت یا فعالیت، از جمله صنایع و یا فعالیت‌های هسته‌ای، پیش شرط و لازمهٔ بهره مندی از این صنایع می باشد. و مادامی که ایمنی در یک صنعت یا فعالیت وجود نداشته باشد، استفاده و برخورداری از آن صنعت عقلاً و عملاً ناممکن می‌شود (۲). اساسا تاسیسات هسته‌ای با تهدیدات و خطرات گوناگونی مواجه هستند. از اصول مهم در طراحی تاسیسات هسته ای اتخاذ تدابیر ایمنی و پیشگیرانه جهت حفاظت از کارکنان، جوامع انسانی نزدیک نیروگاه، محیط زیست و سیستمهای نیروگاه در برابر حوادث ناشی از انتشار پرتوهای رادیواکتیو است. رشته‌های مهندسی متعددی با کار یکپارچه و هماهنگ در بالابردن استانداردهای ایمنی نیروگاهها نقش دارند. طراحی تاسیسات نیز یکی از عوامل تأثیرگذار در بالابردن ایمنی ساختمانهای تاسیسات است (۵) اما همواره این سؤال اساسی مطرح بوده که طراح باید بر چه راهکارهایی در طراحی تمرکز کند که بتواند ایمنی تاسیسات را افزایش دهد. برای پاسخ ابتدا به تعریفی از مقوله ایمنی در تاسیسات و بیان اهداف اساسی ایمنی می پردازد. سپس با بیان تحلیل ریسک و روش ANP خطرات گوناگون تهدیدکننده تاسیسات ناشی از پدیده های طبیعی، محیطی و رخدادهای درونی، راهکار دفاع در عمق به منظور حفظ ایمنی را مورد بررسی قرار می دهد (۵). حفاظت از سلامت انسان، محیط زیست و نسل‌های آینده در برابر اثرات بیولوژیکی و زیان بار مواد و دستگاه‌های پرتوزا از طریق وضع قوانین و مقرارت مربوطه و رعایت جوانب ایمنی و به کارگیری استانداردهای خاص در طراحی، ساخت، نصب، راه اندازی و بهره برداری درازمدت تجهیزات و تاسیسات هسته ای و همچنین کنترل و نظارت بر رعایت این معیار ها و قوانین در کلیه مراحل از طراحی گرفته تا بهره برداری و جمع آوری تاسیسات میسر و ممکن می گردد (۶). از اصول مهم در طراحی تاسیسات هسته‌ای اتخاذ تدابیر ایمنی و پیشگیرانه جهت حفاظت از کارکنان، جوامع انسانی نزدیک نیروگاه، محیط زیست و سیستمهای نیروگاه در برابر حوادث ناشی از انتشار پرتوهای رادیواکتیو است دهد (۵). امروزه ارزیابی ایمنی و مخاطرات سیستمهای پیچیده و پر مخاطره، از مطالعات سخت افزاری، نرم افزاری و انسان فراتر رفته و در سطح سازمان مورد تحلیل قرار می گیرد. در این مطالعات، عوامل سازمانی و تاثیر آنها روی ایمنی و مخاطرات سیستمهای پیچیده در یک رویکرد جامع، در سه سطح سازمان، گروهها، و افراد ، مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این تحقیق این سؤال اساسی مطرح میگردد که طراح باید بر چه راهکارهایی در طراحی تمرکز کند که بتواند ایمنی تاسیسات را افزایش دهد. برای پاسخ ابتدا به تعریفی از مقوله ایمنی در تاسیسات و بیان اهداف اساسی ایمنی می‌پردازد. سپس با بیان تحلیل ریسک و روش ANP خطرات گوناگون تهدیدکننده تاسیسات ناشی از پدیده‌های طبیعی، محیطی و رخدادهای درونی، راهکار دفاع در عمق به منظور حفظ ایمنی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۲. پیشینه تحقیق

گودرزی و همکاران (۱۳۹۵) به شناسایی مولفه‌های مؤثر بر فرهنگ ایمنی در نیروگاههای حرارتی تولید برق ایران پرداختند. نتایج نشان داد که برای دستیابی به یک فرهنگ عالیه ایمنی می بایست با بهبود وضعیت در هر یک از مولفه‌های شناسایی شده، متناسب با شرایط هر سازمان در بازه‌های زمانی تعیین شده نسبت به ارزیابی وضعیت فرهنگ ایمنی و بهبود آن و دسترسی به اهداف از پیش تعیین شده اقدام نمود. خامه و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل عدم قطعیت و آنالیزحساسیت در سیستم ایمنی راکتورهای هسته ای درطی یک حادثه مبنای طرح پرداختند. از آنجایی بررسی حوادث هسته‌ای و تجزیه و تحلیل ایمنی تا کنون با دو روش رویکرد قطعی و رویکرد احتمالاتی بصورت جداگانه مورد بررسی قرار میگرفت. در این مقاله اهمیت تلفیق دو رویکرد جهت آنالیز بهتر و جامعتر حوادث مورد بررسی قرار گرفته است. کامران و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل ایمنی حادثه LOFA در راکتور VVER-1000با استفاده از کدRELAP5 پرداختند. . هدف از اجرای این تحقیق، بررسی رفتار ترموهیدرولیکی قلب رآکتور در طی حادثه LOFA بوده که نتایج استخراج شده در این خصوص با مقادیر گزارشات FSAR مقایسه شده است. نتایج حاصل از مدلسازی با مقادیر FSAR تقریباً انطباق دارد و تفاوتها را میتوان مربوط به خطاهای مدلسازی دانست. ملاحظه می گردد که در طی زمان بروز حادثه به دلیل کاهش دبی ورودی به قلب رآکتور، دمای

[1].Safety

خنک کننده افزایش می یابد. همچنین افزایش دمای قلب منجر به افزایش فشار خروجی از قلب رآکتور میگردد. اما پس از گذشت ۲ ثانیه از شروع حادثه همزمان با سقوط میله‌های کنترل، توان حرارتی رآکتور کاهش می‌یابد. . بنابراین عملکرد سیستم حفاظتی در شروع حادثه منجر می گردد که رآکتور همچنان حاشیه ایمنی خود را حفظ نماید. بهربر و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی عملکرد مدیریت بحران در حادثه فوکوشیما ودرس‌های حاصل از تحلیل ایمنی حادثه پرداختند. در مقاله حاضر ضمن ارائهارزیابی عملکرد مدیریتی بحران حادثه، نتایج تحلیل ایمنی انجام شده توسط نهاد های معتبر بین المللی شرح، دلایل و ریشه های وقوع حادثه فوکوشیما و درس‌هایی که دنیا بایستی از این حادثه بگیرد ارائه شده است. فضل الله و همکاران (۱۳۹۳) به ارایه روشی برای ارزیابی ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و محیط زیست [۲] با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با مطالعه موردی در ساخت نیروگاه پرداخت. در حالی‌که ده خطر اصلی شناسایی شده در روش موجود در ۴ طبقه کلی قرار گرفتند، روش پیشنهادی توانست آنها را در ۷ طبقه اولویت بندی کند. به‌دلیل در نظر گرفتن پنج شاخص کیفی برای رتبه بندی ریسک‌ها، نسبت به روش های فعلی رتبه بندی دقیق تر خطرات را ممکن می کند. این امر امکان اختصاص مناسب تر منابع سازمانی برای کنترل خطرات را امکان پذیر می کند. رضایی پیش رباط (۱۳۹۲) به تأملی بر جنبه های قانونی ایمنی تأسیسات هسته ای در ایران پرداخت. . مقالهٔ حاضر با بررسی قوانین و مقررات موجود ایران در زمینهٔ ایمنی تأسیسات هسته‌ای و مقایسهٔ آن با ضوابط و مقررات بین‌المللی، سعی کرده است ضمن روشن ساختن وضعیت حقوقی فعلی کشور در خصوص ایمنی تأسیسات هسته‌ای، میزان مطابقت و هم سویی آن با معیارهای بین المللی شناخته شده را مشخص کند. جوزی و علیدوستی (۱۳۹۰) به ارزیابی ریسک ایمنی فعالیت واحد سیکل ترکیبی- بویلر نیروگاه برق منتظر القائم به روش FMEAپرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که عدد اولویت ریسک (RPN) در واحد بویلر مربوط به محل قرار گیری تجهیزاتی مانند اکونومایزر- هیتر بین ۸تا ۱۰ و عدد اولویت ریسک دستگاه بریکر بین ۶ تا ۱۰ پیش بینی میگردد. مستهلک بودن تجهیزات و قرارگیری آنها در ارتفاعات بسیار بالا و ایمن نبودن مسیر دسترسی به آنها باعث بالا رفتن عدد اولویت ریسک در اولویت نخست و بروز خطای انسانی عامل اصلی بروز مخاطرات ایمنی در این واحد صنعتی شناخته می‌شود. یوشیدا و هایاشی[۳] (۲۰۱۰) به تحقیق در مورد روش تجزیه و تحلیل و ارزیابی ایمنی احتمالی امکانات سوخت هسته‌ای پرداختند. نتایج تحقیق در این گزارش فنی بر داده‌های آزمایشی اولیه مربوط به پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی کلیدی که در یک رویداد جوش یک مخزن ذخیره سازی رادیواکتیو اتفاق می افتد و ناشی از از دست دادن عملکرد خنک کننده می‌باشد، تمرکز دارد.

۳. فرآیند تحقیق

فرآیند این پژوهش از زمستان ۱۳۹۶ بر اساس مسئله‌ای که پیرامون موضوع ارزیابی ایمنی در تاسیسات هسته‌ای با استفاده از ماتریس تحلیل ریسک و روش ANP مطالعه موردی تاسیسات غنی سازی اورانیوم وجود داشت، آغاز گردید که شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱) بررسی و مطالعه کتابهایی پیرامون مدلهای فرآیندی و مفهومی بررسی ایمنی در تاسیسات هسته ای و چگونگی انجام آنها در تاسیسات غنی سازی اورانیوم.

۲) بهره‌گیری از مقالات داخلی و خارجی و همچنین پایان‌نامه‌هایی که مرتبط با موضوع پژوهش هستند.

۳) بررسی پرسش‌نامه‌های متعدد در زمینه ارزیابی ایمنی در تاسیسات هسته‌ای و نهایتاً انتخاب یک پرسش‌نامه جهت دستیابی به مؤلفه‌های زمینه ارزیابی ایمنی در تاسیسات هسته‌ای.

۴) توزیع پرسش‌نامه در تاسیسات غنی سازی اورانیوم.

۵) جمع‌آوری داده‌های ناشی از مشاهدات میدانی و پرسش‌نامه .

۶) استفاده از رویکردهای ماتریس تحلیل ریسک و روشANP

۷) تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از پرسش‌نامه.

۸) نگارش سناریو جهت اجرای روش پیشنهادی برای تاسیسات غنی سازی اورانیوم.

[2] HSE

[3] Yoshida & Hayashi

جامعه آماری در این تحقیق تاسیسات غنی سازی اورانیوم می باشد. با استفاده از فرمول کوکران به تعیین حجم نمونه پرداخته شد، لذا تعداد حجم نمونه ۲۵ نفر می باشد که پرسشنامه در بین آنها توزیع گردید. در این پژوهش جمع‌آوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای بوده و با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه با خبرگان به تکمیل اطلاعات پرداخته شد. مبنای پرسشنامه مورد استفاده در این پژوهش، پرسشنامه محقق ساخته می‌باشد. روایی صوری و محتوایی پرسشنامه با استفاده از نظرات اساتید و اعضای نمونه آماری تایید گردید. همچنین برای مشخص شدن پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ که یکی از روش‌های همسانی درونی است، استفاده گردیده که مقدار آن ۰،۸۷۴ و قابل قبول می باشد.

٤. تکنیک ANP

در مطالعه حاضر برای مدل‌سازی مساله تصمیم‌گیری در زمینه اولویت بندی خطرات شناسایی شده از روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) استفاده شد. از آنجایی که یک مدل ANP متشکل از «هدف»، «شبکه معیارها و زیرمعیارها»، «گزینه‌ها»، «روابط میان عناصر» و «مقایسات زوجی میان عناصر» است، که در شکل (۱) نمایی از الگوریتم روش پیشنهادی ارائه شده است. برای مدل سازی مساله، ابتدا هدف، ساختار کلی مدل و روابط میان عناصر مشخص و هر دو عنصر نسبت به عنصر سومی که با هر دوی آن ها ارتباط دارد مقایسه زوجی گردیدند. سپس برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، مدل رتبه‌بندی ایجاد و گزینه‌ها به آن وارد شدند. مراحل یاد شده در بخش زیر تشریح شده است.

٤-١. تعیین هدف روش ANP پیشنهادی

هدف این روش عبارت است از: «رتبه‌بندی خطرات بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی در فرآیند ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی» که با G نمایش داده شده است .ساختار کلی روش ANP پیشنهادی شامل معیارها و زیرمعیارها ساختار کلی روش ANP پیشنهادی با بهره جویی از نظر بیست و پنج تن از خبرگان HSE صنعت نیروگاه هسته ای تعیین شده است. اولین خوشه روش ANPپیشنهادی بعد از هدف، خوشه ای به نام «سطح ریسک» است که از دو معیار «احتمال» و «شدت» تشکیل شده است به ترتیب (P و S) و هر یک از این دو معیار خود دارای زیرمعیارهایی است که در شکل (۲) به همراه تمامی روابط خارجی و داخلی میان خوشه‌ها بیان می‌شوند.

معیار خوشه «احتمال»: این خوشه شامل یک معیار به نام «تواتر وقوع» است که با F نمایش داده شده است.

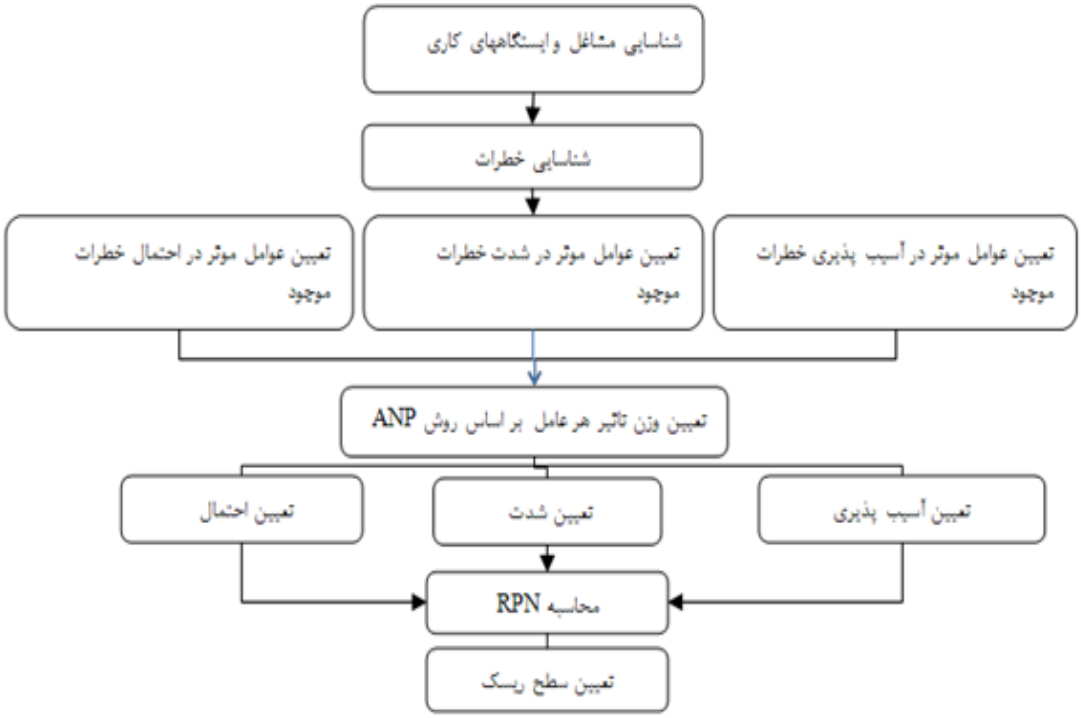
معیارهای خوشه «شدت»: این خوشه شامل چهار معیار بوده که هر کدام از آن ها خود دارای زیرمعیارهایی هستند. تمامی هزینه های مربوط به این خوشه براساس نظر خبرگان HSE صنعت نیروگاه و با استفاده از هزینه‌های برآورد شده در واحد HSE شرکت مورد مطالعه تعیین شده اند. بعضی از معیارهای خوشه «شدت» عبارتند از:

الف: (C1) هزینه‌های ناشی از آسیب به انسان

۱. (C1,1) هزینه‌های بیمه‌ای مربوط به انسان
۲. (C1, 2) هزینه‌های آسیب به تولید ناشی از آسیب به انسان در صورت بالفعل شدن خطرات و آسیب به انسان، ممکن است تولید آسیب دیده و هزینه‌هایی به شرکت تحمیل شود. این معیار دارای سه زیرمعیار بود.
۳. (C1, 3) هزینه ناشی از ادعای غرامت فرد آسیب دیده در صورتی که کارفرما او را بیمه نکرده باشد.
۴. دیگر هزینه‌های ناشی از آسیب به انسان

ب: (C2) هزینه های ناشی از آسیب به سرمایه ها

۱. (C2, 1) هزینه‌های بیمه‌ای مربوط به سرمایه‌ها.
۲. (C2, 2) هزینه‌های ناشی از آسیب به تسهیلات، در این قسمت منظور از واژه «تسهیلات»، کلیه سرمایه های فیزیکی شرکت چه در بخش تولید و چه در بخش خدمات شامل سازه‌ها و ساختمان ها، تاسیسات، ماشین آلات و تجهیزات و مواد اولیه می باشد که این معیار خود دارای چهار زیرمعیار بود.
۳. (C2, 4) هزینه جایگزینی تجهیزات اضطراری.
۴. دیگر هزینه‌های ناشی از آسیب به سرمایه‌ها .



شکل (۱): الگوریتم مدل ریسک

پ: (C3) هزینه‌های ناشی از آسیب به محیط زیست

این معیار دارای دو زیر معیار است که به شرح زیر می‌باشند :

۱. (C3,1)جریمه های زیست محیطی
- جریمه آلودگی آب (C3,1,1)
- جریمه آلودگی هوا (C3,1,2)
- جریمه آلودگی صوتی (C3,1,3)
- جریمه آلودگی و تخریب خاک (C3,1,4)

۲. هزینه جبران خسارت به محیط و پاکسازی (C3,2)

ج: (C4) هزینه های ناشی از تاثیر بر اعتبار

۱) (C4, 1) هزینه های ناشی از آسیب به اعتبار شرکت نزد دولت شامل وزارت کار و امور اجتماعی، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان حفاظت از محیط زیست.

۲) (C4, 2) هزینه‌های ناشی از آسیب به اعتبار شرکت نزد شرکت مادر.

۳) (C4, 3) هزینه های ناشی از آسیب به اعتبار شرکت نزد کارفرما.

۴) (C4, 4) دیگر هزینه های ناشی از تاثیر بر اعتبار.

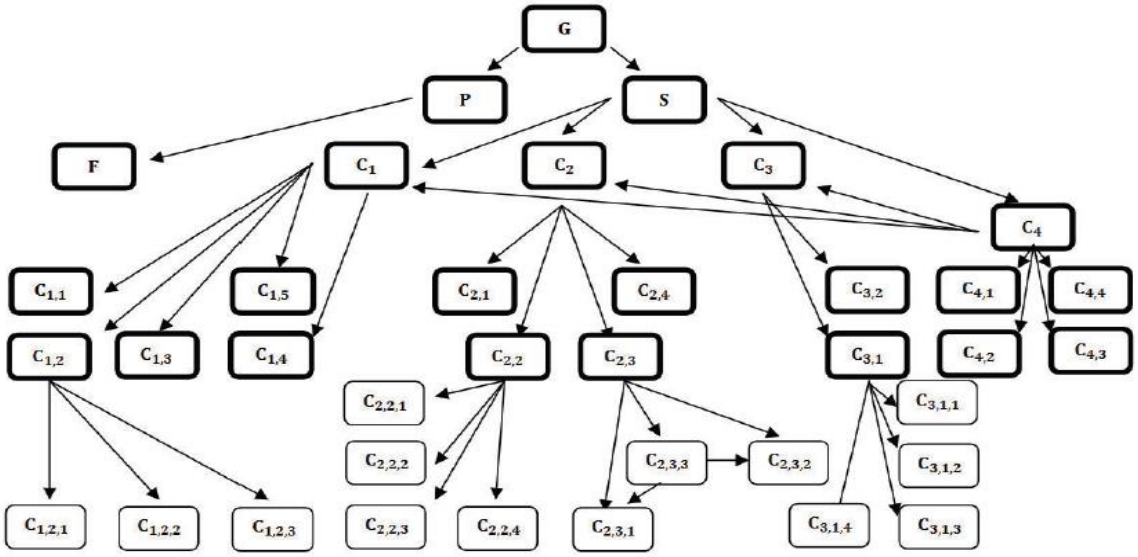
تعیین روابط میان عناصر در شکل (۲) شبکه روابط میان عناصر مشخص شده است.

٤-۲. رتبه‌بندی معیارها

قضاوت ها منعکس کننده اثر نسبی یک عنصر بر عنصر دیگر در یک فرآیند مقایسه زوجی نسبت به یک عنصر سوم است (ساتی[۴]، ۲۰۰۵). این کار با پر کردن فرم های پرسشنامه مقایسات زوجی توسط ۲۵ تن از خبرگان حوزه HSE نیروگاه هسته ای و دستیابی به یک مقایسه زوجی واحد از نظرات آن ها، کار مقایسات زوجی انجام گردید. رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم[۵] این مرحله در فازهای زیر انجام گردید. ساخت مدل رتبه‌بندی برای ورود گزینه-های تصمیم (خطرات) HSE مراحل ساخت مدل رتبه‌بندی مربوط به پژوهش حاضر به صورت زیر می‌باشد:

[4] Saaty

[5] Alternatives



شکل (۲): شبکه روابط میان عناصر

گام اول: تعیین معیارهای مدل رتبه بندی و مقیاس های مربوط به هر معیار

در این پژوهش، ۵ معیار «تواتر وقوع» ، «هزینه های ناشی از آسیب به انسان»، «هزینه‌های ناشی از آسیب به سرمایه‌ها»، «هزینه‌های ناشی از آسیب به محیط زیست» و «هزینه های ناشی از آسیب به اعتبار» به عنوان معیارهای مدل رتبه بندی در نظر گرفته شده و برای هر یک از این پنج معیار، مقیاس هایی برای سنجش گزینه ها (خطراتHSE) به صورت زیر تعیین شده است.

۱) مقیاس های معیار «تواتر وقوع»: این مقیاس‌ها عبارتند از «رویداد مکرر»، «رویداد محتمل»، «رویداد گاه به گاه»، «رویداد غیرمحتمل« و «رویداد بعید».

۲) مقیاس های دو معیار «هزینه های ناشی از آسیب به انسان» و «هزینه‌های ناشی از آسیب به سرمایه‌ها»: مقیاس های این دو معیار عبارتند از «شدید/ فاجعه آفرین»، «جدی»، «متوسط»، «خفیف» و «ناچیز» .

۳) مقیاس های معیار «هزینه های ناشی از آسیب به محیط زیست»: برای تعیین مقیاس های این معیاراز ترکیب مقیاس های دو مفهوم «گستره آلودگی» و «شدت آلودگی» که هر کدام دارای پنج مقیاس هستند استفاده می شود و به همین دلیل لازم است ابتدا هر کدام از این مقیاس ها به طور جداگانه وزن دهی شود. این کار با استفاده از روش وزن دهی میانگین حسابی انجام و سپس با هم ترکیب شده و وزن هایی که به هم نزدیکند در یک دسته بندی قرار می گیرند. در نهایت پنج مقیاس برای معیار «هزینه های ناشی از آسیب به محیط زیست» تعریف می شوند.

۴) مقیاس های معیار «هزینه های ناشی از آسیب به اعتبار»: این مقیاس‌ها توسط «انجمن بین المللی تولیدکنندگان نفت و گاز»[۶] تعاریف و هر یک از این مقیاس ها نیز توسط «اداره کل ایمنی، بهداشت و محیط زیست وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران»[۷] بیان گردیده است.

گام دوم: انجام مقایسات زوجی میان مقیاس های تعیین شده برای هر معیار

در مدل رتبه بندی برای تعیین ارزش هر یک از مقیاس ها نسبت به دیگری، از مقایسه زوجی استفاده شد.

[6] International Association of Oil & Gas Producers (IOGP

[7] Directorate General of Health, Safety and Environment of Iran Oil Ministry

گام سوم: رتبه بندی گزینه های تصمیم (خطراتHSE)

در این قسمت ابتدا ۶۰ خطر عمده HSE مربوط به فرآیند ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی شناسایی شدند و برای گرفتن خروجی از روش ANP پیشنهادی، خطرات یاد شده به عنوان ورودی روش به نرم افزار Decisions Super وارد گردیدند. روش اختصاصی این نرم افزار برای استفاده از مقایسه های دو دویی و تنظیم ارجحیت ها ، محققین را قادرمی سازد که نظرات خود را نسبت به دیگر روش های تصمیم‌گیری با دقت بالاتری منعکس و نتایج دقیق تری را نمایند حاصل در مرحله نهایی اولویت های تعیین شده برای ۶۰ خطر شناسایی شده با روش معمول و روش پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفتند.

۵. نتایج

یافته ها نتایج به دست آمده از رتبه بندی خطرات HSE با روش پیشنهادی و روش فعلی برای ۱۰ خطر از میان ۶۰ خطر انتخابی در این مطالعه بر اساس رتبه خطرات در جدول شماره (۱) آورده شده است .در جدول شماره (۲) نتایج به دست آمده از رتبه بندی ۱۰ خطر (از میان ۶۰ خطر شناسایی شده) با استفاده از روش پیشنهادی و روش فعلی مقایسه و رتبه هر یک مشخص شده است. همان گونه که از جداول فوق بر می آید علاوه بر اینکه اولویت تعدادی از خطرات در دو روش مورد اشاره متفاوت از هم هستند روش پیشنهادی قادر است که خطرات را به طور دقیق تر طبقه بندی کند به طوریکه ۱۰ خطر مورد بحث در روش موجود در چهار طبقه کلی (۱ تا ۴) ولی در روش پیشنهادی در هفت طبقه (۱تا ۷) جای گرفته‌اند. بدیهی است این امر مدیران را قادر می سازد که منابع محدود در اختیار خود را با دقت بیشتری به کنترل خطرات اولویت دار اختصاص دهند.

این توانمندی در رتبه بندی واقعی که در آنها تعداد خطرات شناسایی شده از صدها عدد تجاوز می کند از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

جدول (۱): عدد اولویت خطرات HSE در روش ANP پیشنهادی

شماره خطر	خطر HSE	عدد اولویت در روش ANP	عدد اولویت در روش فعلی
۱	برخورد ماشین آلات و تجهیزات در حین استخراج و گودبرداری	۰/۴۲۴۴۹۷	۴۰
۳	تغییرات دما در قلب تاسیسات	۰/۳۷۲۷۶۰	۴۰
۲	برخورد ماشین آلات و تجهیزات با تاسیسات زیر زمینی حین گودبرداری	۰/۳۵۴۲۸۰	۴۰
۸	تزریق مواد اسیدی و شیمیایی	۰/۲۷۷۰۱۷	۳۲
۶	پرتوگیری هنگام رادیوگرافی	۰/۱۸۶۹۴۱	۱۶
۴	تماس با مواد پرتوزا	۰/۱۸۴۳۲۷	۱۶
۷	تماس با پرتو ماوراء بنفش حین جوشکاری	۰/۱۸۴۳۲۷	۱۶
۹	نشست مواد هنگام فلاشینگ	۰/۱۵۲۷۷۹	۹
۱۰	ورود رنگ به محیط زیست هنگام رنگ آمیزی	۰/۱۵۲۷۷۹	۹
۵	پرتاب جرقه های جوشکاری	۰/۱۰۸۲۸۶	۱۶

بر اساس یافته‌های مطالعه مشخص شد که روش فعلی قادر به اولویت بندی دقیق خطرات نمی باشد. برای مثال روش فعلی از نظر درجه ریسک تفاوتی بین خطرات شماره ۱ تا ۳ ،خطرات ۴ تا ۷ و ۹ و ۱۰ قائل نیست. به عبارت دیگر مدیریت هیچ ایده ای برای اختصاص منابع محدود در دسترس خود برای حذف یا کنترل خطرات هم طبقه ندارد. در حالی که روش پیشنهادی علاوه بر اینکه قادر است خطرات را با دقت بیشتری از هم تفکیک نماید بلکه می تواند اهمیت آنها را نسبت به همدیگر بر اساس درجه ریسک آنها بیان کند .برای نمونه در روش پیشنهادی علاوه بر اینکه مشخص می شود که خطر شماره ۱ نسبت به خطر شماره ۲ در اولویت قرار دارد معلوم می کند که درجه خطر شماره ۱ شش درصد بزرگ تر از خطر شماره ۲ می باشد.

جدول (۲): مقایسه نتایج رتبه بندی خطرات HSE انجام شده با روش پیشنهادی و روش فعلی

شماره خطر	عدد اولویت در روشANP	عدد اولویت در روش فعلی
۱	۱	۱
۲	۳	۱
۳	۲	۱
۴	۶	۳
۵	۸	۳
۶	۵	۳
۷	۶	۳
۸	۴	۲
۹	۷	۴
۱۰	۷	۴

٦. نتیجه گیری

یکی از محدودیت هایی روش فعلی این است که اگر خطری از نظر مقیاس های ارایه شده در جدول شدت، از نظر آسیب به انسان در یک مقیاس (مثلا جراحت همراه با درمان سرپایی و کمک های اولیه) و از نظر آسیب به سرمایه ها در مقیاسی دیگر (مثلا خسارات مالی بیش از ۵۰ میلیون تومان یا حدودا بیش از ۱۵۰۰۰ دلار) قرار گیرد، ارزیاب ریسک ناچار به انتخاب تنها یکی از این مقیاس ها برای ارزیابی آن خطر خواهد بود در حالی که در روش ANP پیشنهادی با توجه به استفاده از مدل رتبه بندی در آن، امکان انتخاب هر ترکیبی از مقیاس ها وجود داشته و در نتیجه ارزیاب ریسک می تواند تمامی جوانب یک خطر را در نظر گرفته و این سبب افزایش دقت نتایج می شود. همچنین در روش فعلی خطرات یا از جنبه ایمنی و بهداشتی و یا از جنبه زیست محیطی رتبه بندی می شوند. این در حالی است که یک خطر HSE ممکن است هم زمان دارای پیامدهای ایمنی و بهداشتی و زیست محیطی باشد .

در شرایطی که ارزیاب ریسک قصد صرف نظر کردن از پیامدهای بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی یک خطر را داشته باشد و بخواهد آن خطر را به صورت کلی مورد بررسی و رتبه بندی قرار دهد، روش فعلی این امکان را به وی نمی دهد در صورتی که در روش پیشنهادی امکان انتخاب هر ترکیبی از مقیاس ها اعم از بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی وجود دارد. محدودیت دیگر روش فعلی این است که امکان در نظر گرفتن آسیب هایی که یک خطر می تواند به اعتبار شرکت وارد نماید وجود ندارد که روش پیشنهادی این محدودیت را پوشش می دهد. علاوه بر این در روش فعلی برای رتبه بندی خطرات تنها چند معیار احتمال، شدت، میزان مواجهه با خطر و ضریب کشف در نظر گرفته می شود در صورتی که برای هر کدام از این معیارها زیرمعیارهای فراوانی وجود دارد که روش فعلی آن ها را در محاسبات دخالت نمی‌دهد که این امر به دقت رتبه بندی با روش فعلی خدشه وارد می کند.

روش پیشنهادی، این زیرمعیارها را در قالب یک مدل ANP و با در نظر گرفتن تمامی روابط ممکن میان آن ها در نظر می گیرد. در خصوص مقایسه روش ANP پیشنهادی با مدل ارایه شده توسط «پانگران» و «پریبادی» [8] می‌توان گفت این دو مدل به دلیل طراحی برای دو کاربرد متفاوت، از لحاظ ساختار کلی با یکدیگر قابل مقایسه نمی باشند، اما از لحاظ نحوه دریافت و رتبه بندی گزینه های تصمیم، مدل «پانگران» و «پریبادی «براساس مقایسه زوجی مستقیم گزینه ها، کار رتبه بندی را انجام می دهد. این امر سبب شده در مواقعی که تعداد گزینه ها زیاد هستند، تعداد مقایسات زوجی به شدت افزایش یافته و کار رتبه‌بندی زمان بر و دشوار گردد. همچنین مقایسات زوجی تا حد زیادی وابسته به نظر شخص ارزیاب است زیرا اعداد ۱ تا ۹ که در مقایسه زوجی استفاده می‌شوند، تعاریف دقیقی نداشته و ممکن است نتیجه انجام مقایسات زوجی توسط دو فرد ارزیاب مختلف کاملا متفاوت باشند. اما در روش ANPپیشنهادی این تحقیق به جای استفاده از

[8] Pangeran et al.

مقایسه زوجی مستقیم گزینه ها از مقایسه زوجی غیرمستقیم آن ها استفاده شده است و این کار با استفاده از یک مدل ضمیمه مدل ANP به نام مدل رتبه بندی انجام شده است و بنا به توصیه «ساعتی» در مواقعی که تعداد گزینه ها بیشتر از ۹ عدد باشد، استفاده از این مدل پیشنهاد می گردد. استفاده از مدل رتبه بندی دارای مزایایی است که معایب ذکر شده در مدل «پانگران» و «پریبادی» را حذف می نماید.

این مزایا عبارتند از حذف مرحله انجام مقایسات زوجی گزینه‌ها که منجر به سرعت و سهولت در استفاده از روش ANP پیشنهادی می شود. این افزایش سرعت و سهولت به خصوص در مواقعی که تعداد خطرات زیاد باشند، چشمگیر است و همچنین وابستگی نتایج رتبه بندی به نظر شخص ارزیاب تا حد زیادی کاهش می یابد. زیرا در این مدل به جای استفاده از اعداد ۱ تا ۹ مقیاس هایی به کار می روند که هر کدام دارای تعاریف دقیقی هستند.

۷. منابع

– فرهنگنامه علوم و تکنولوژی هسته ای. ایران, سازمان انرژی اتمی. ۱۳۷۶.

– Handbook on nuclear law", IAEA Vienna .Al, Stoiber. C. ET.۲۰۱۳ .

–پروتکل الحاقی به معاهده مانع گسترش سلاح های هسته ای. کاظم, قریب،. مکان نشر نامشخص : مجله اطلاعات سیاسی و اقتصادی،, ۱۳۸۸, جلد ۸۱–۷۵.

- "EPR projects in the world "from OL3 to the next wave, CNEC may 19 .Tonhuser, M.۲۰۱۰ .

-. موارد ایمنی در نیروگاههای هسته ای با بهره گیری از تحلیل ریسک. ۲۹–۱۸.، بهرامی پناه، محمد، سیدی، شیرین و فرخی، حسن، (۱۳۹۴)، " موارد ایمنی در نیروگاههای هسته ای با بهره گیری از تحلیل ریسک"، مجله فناوری هسته ای، شماره ۱۴، صص. ۲۹–۸, مکان نشر نامشخص : مجله فناوری هسته ای،, ۱۳۹۴, جلد ۱۴.

- Hazards and hazard combinations relevant for the safety of nuclear power plants۱۹ ,"th EGU General Assembly .K, Decker. H, Brinkman و .E., Raymond**۲۰۱۷ .**

- شناسایی مولفه‌های مؤثر بر فرهنگ ایمنی در نیروگاههای حرارتی تولید برق ایران،. پویاکیان،, گودرزی، رحیم ، شیرازه ارقامی، مصطفی. ۱۳۹۵, جلد دوره ۳، شماره ۲ – جلد ۳ شماره ۲ صفحات ۱۲–۲۰.

- تحلیل عدم قطعیت و آنالیزحساسیت درسیستم ایمنی راکتورهای هسته ای درطی یک حادثه مبنای طرح، اولین همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه های هسته ای، بوشهر، همکاری شرکت بهره برداری نیروگاه اتمی بوشهر، دانشگاه آزاد اسلام . خامه, حسین؛ کامران سپانلو و احسان ظریفی،. ۱۳۹۵.

-تحلیل ایمنی حادثه LOFA در راکتور VVER-۱۰۰۰ با استفاده از کد RELAP5، اولین همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه های هسته ای، بوشهر، همکاری شرکت بهره برداری نیروگاه اتمی بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر. تشکر, کامران، سپانلو؛ احسان ظریفی و سامان. ۱۳۹۵.

–"ارزیابی عملکرد مدیریت بحران در حادثه فوکوشیما ودرس های حاصل از تحلیل ایمنی حادثه"، ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران،. ر،, بهربر، س، سپانلو، ک، رستایش،. ۱۳۹۳, جلد مشهد، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران.

– ارایه روشی برای ارزیابی ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و محیط زیست (HSE) با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مطالعه موردی: ساخت نیروگاه. جلد ۴ شماره ۱ ، ۵۵–۶۴. امیدواری, فضل‌الله، آریا ، محمدفام، ایرج، محمدجواد حاجی‌پروانه منوچهر. ۱۳۹۳.

– تأملی بر جنبه های قانونی ایمنی تأسیسات هسته ای در ایران"، مجله سنجش و ایمنی پرتو، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران، ایران، مجله سنجش و ایمنی پرتو، . رباط،, رضایی پیش. مکان نشر نامشخص : جلد ۱، شمارهٔ ۲, ۱۳۹۲.

– ارزیابی ریسک ایمنی فعالیت واحد سیکل ترکیبی– بویلر نیروگاه برق منتظر القائم به روش FMEA"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست. جوزی, ع ، علیدوستی،. ۱۳۹۰.

– .Research on Consequence Analysis Method for Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Fuel Facilities (II) Basic Experimental Data Aerosol Release Fraction and Trial Analysis in Boiling Event of Radioactive Solu .Yoshida, Kazuo & ,Hayashi, Kazuya.۲۰۱۰ .