



مدل‌های آتش سوزی با رویکرد ایمنی در نیروگاه‌های هسته‌ای

روح‌الله درویش^۱، دکترنعمت حسنی^۲ و دکتررضاراستی اردکانی^۳

۱. کارشناسی ارشد مدیریت در سوانح طبیعی دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده و مسئول) rd136121@yahoo.com

۲. عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده عمران، آب و محیط زیست nemathassani@yahoo.com

۳. عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده عمران، آب و محیط زیست r_rasti@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: امروزه با پیشرفت جوامع و مدرن شدن آنها نیاز به انرژی‌های نوین، بیشتر به چشم می‌خورد. یکی از صنایع مخاطره آمیز، صنعت هسته‌ای است. تجربیات بهره‌برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای نشان داده است که آتش سوزی در نیروگاه هسته‌ای می‌تواند آغازگر حوادثی باشد که پیامدهای ناشی از آن منجر به خارج شدن نیروگاه از حالت ایمن شود. برای این منظور یکی از روش‌های بکارگرفته شده در مرحله پیش از بحران، استفاده از مدل‌های حریق برای نیروگاه می‌باشد.

روش: این مطالعه مروری بر مدل‌های آتش سوزی در نیروگاه هسته‌ای و در راستای مقابله با آتش می‌باشد. که براساس جمع‌آوری و گردآوری مطالب صورت گرفته است. تحقیق در این زمینه از سازمان انرژی اتمی و کارشناسان سازمان آتش‌نشانی، و جمع‌آوری اطلاعات از کارشناسان سازمان انرژی اتمی و همچنین استفاده از تجربیات آنها گردآوری شده است.

یافته‌ها: شناخت سناریوهای حریق و مدل‌سازی مربوط به آن برای آتش‌نشانان، استفاده از شبکه آبرسانی آتش‌نشانی و اقدامات در بحرانیت هسته‌ای، اقدامات حفاظتی آتش‌نشانان در قبال مواد رادیو اکتیو می‌باشد. در این مطالعه مدل‌های آتش سوزی و نتایج حاصل از آن را مبنایی برای آتش‌نشانان کشور بخصوص شهر تهران که پیشرو در این حرفه‌اند و آشنایی آنان با فضای ایمنی نیروگاه قرار داده، و بیشتر المانهای فنی مربوط به تحلیل مدل‌سازی آتش را مانند انتخاب و تعریف سناریوهای آتش سوزی و تعیین و اجرای مقادیر ورودی، تحلیل حساسیت، کمی‌سازی، عدم قطعیت مورد بررسی قرار داده شد.

بحث و نتیجه‌گیری: برای نیروگاه‌های کشور با توجه به نیاز درون شبکه‌ای، می‌توان هر یک از مدل‌های آتش سوزی را بکار گرفت و همچنین آموزش پرسنل آتش‌نشانی و آشنایی با خطرات رادیولوژیکی و هسته‌ای، چگونگی نحوه مقابله با آن، آشنایی با دستورالعمل‌ها و راهنمایی‌های عملیاتی را در دستور کار قرار داد. آشنایی پرسنل سازمان آتش‌نشانی شهری مانند تهران، با توجه به موقعیت این شهر برای آموزش اقدامات حفاظتی در برابر مواد رادیو اکتیو را در دستور کار قرار داده و این امر با توجه به نیاز مبرم برای این سازمان و عدم آشنایی پرسنل با این قبیل حوادث الزامی می‌باشد.

کلیدواژه: نرخ آزاد سازی گرما، مدل‌سازی حریق، جت سقف، پرتو زایی، حفاظت آتش‌نشان، بحرانیت هسته‌ای، هدف

◀ **استناد فارسی (شیوه APA ویرایش ششم ۲۰۱۰):** درویش، روح‌الله؛ حسنی، نعمت؛ راستی اردکانی، رضا (تابستان ۱۳۹۴). مدل‌های آتش سوزی با رویکرد ایمنی در نیروگاه‌های هسته‌ای. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۵ (۲)، ۱۳۰-۱۴۳.

Models of fires with approach of safety in nuclear power plants

Rooholah Darvish, Nemat Hassani, Phd., & Reza Rasti Ardekani

Abstract

Background and objective: Nowadays, with the development and modernizing of societies, their need to new source of energies has been increased. The nuclear industry is one of the risky industries. Experiences of the utilization of nuclear power plants have shown that fire in nuclear plants can cause plants to get out of safety mode. For this purpose, one the methods used before the disaster is applying the fire models for the plants.

Method: This study is a review of the fire models according to fire-fighting in nuclear plants which is gathered based on researches of nuclear power organization, Fire organization and the experience of their experts.

Findings: Recognizing fire scenarios and modeling related to it for fire fighters, using a water supply network of fires, measures in nuclear disasters and protection measures of fire fighters against radioactive material are very important subjects. In this study fire model and their obtained results was taken into consideration in the basic agenda for the country fire fighters, especially Tehran and most technical elements of fire modeling were examined such as selection and definition of fire scenarios and determining and implementation of input values, analyzing sensitivity, quantification, uncertainty.

Conclusion: Due to the needs of the internal situation in our country plants, every kind of fire-models can be used; Also training of firefighters and becoming familiar with radioactive and nuclear risks and the way how to encounter it was placed on the agenda.

Keywords: The Rate of Heat Release, Fire Modeling, Jet Ceiling, Radiation, Fire-Fighter Protection, Critical Nuclear.

► **Citation (APA 6th ed.):** Darvish R., Hassani N., & Rasti Ardekani R. (2015, Summer). Models of fires with approach of safety in nuclear power plants. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 5(2), 130-143.

مقدمه

و اطفاء حریق مواد خطرناک را برعهده دارند، می‌باشد. این مطالعه محدوده مکانی خاصی را در بر نمی‌گیرد، در واقع هرجایی که بحث ایمنی در برابر حریق نیروگاه‌های اتمی مد نظر باشد، این پژوهش کارایی خواهد داشت.

یافته‌ها

قابلیت‌های استفاده مدل‌ها: این مدل‌ها به عنوان مکمل، و نه جایگزین، برای «دستورالعمل کاربر» در ابزارهای ویژه مدل سازی آتش، کتاب‌های دینامیک آتش، ارجاع‌های فنی، آموزش و تعلیم، به کار می‌رود. این راهنما فقط اطلاعات را مطرح کرده و آن را به صورت روندی برای کاربردهای NPP^۲ سازمان دهی می‌کند. هنگامی که سناریو آتش انتخاب شد، این راهنما به کاربر مدل آتش کمک می‌کند تا پارامترهای ضروری مدل سازی را تعریف کند، مدل مناسب را انتخاب کرده و نتایج مدل سازی آتش را به درستی تفسیر کند. از آنجا که همه مدل‌ها فقط تقریبی از واقعیت هستند، این راهنما همچنین دیدگاه‌های مفیدی برای تعبیر پیکربندی‌های واقعی در سناریو مدل سازی را فراهم می‌کند. با توجه به فنی بودن این راهنما، کاربران دارای تخصص‌های زیر می‌توانند از آن استفاده کنند:

۱. رفتارشناسی حریق در اتاقک کابین؛
۲. رفتار شناسی حریق اصول پایه مهندسی، به ویژه ترمودینامیک، انتقال گرما و مکانیک سیالات؛
۳. توانایی درک مبنای مدل‌های ریاضی شامل معادلات جبری و دیفرانسیل (نیورگ^۱، ۲۰۱۱، ۱۹۳۴).

پارامترها و تعاریف: این قسمت راهنمایی درباره توصیه‌های مدل سازی سناریو آتش در یک نیروگاه هسته‌ای ارائه می‌دهد. می‌توان آن را کاتولوگ سناریوهای عمومی آتش و اهداف متناظر مدل سازی در نظر گرفت که راهبرد مدل سازی برای آن بحث می‌شود، در آن المان‌های مدل سازی آتش مرتبط توضیح و توصیه‌های انتخاب مدل پیشنهاد می‌شوند.

اجرای مدل المان‌های سناریو آتش: توضیحی از المان‌های مدل

بی‌گمان حوادث هسته‌ای پدیده‌هایی بسیار مخرب و پیچیده‌ای هستند. این حوادث روندی پرشتاب و کاملاً غیر یکنواخت و بسیار مخرب را طی می‌کنند، بطوریکه موجب آسیب‌پذیری و ناامنی در منافع استراتژیک و حتی شهری خواهند شد. در یک نیروگاه هسته‌ای در هنگام طراحی تاسیسات، لازم است جوانب ایمنی از نظر آتش سوزی و انفجار، رعایت شده و برای پیشگیری در این امر در ساخت تاسیسات و ساختمان‌های محل استقرار، تجهیزات از مواد و ابزارهای ضدحریق استفاده شود.

یکی از دستورالعمل‌های انجمن ملی حفاظت از آتش (NFPA)^۱ استاندارد عملکرد محور، درباره حفاظت از آتش در نیروگاه هسته‌ای می‌باشد. در تاریخ حوادث هسته‌ای (چرنوبیل، فوکوشیما) اهمیت این موضوع کاملاً به چشم می‌خورد که ایمنی مرکز مهمی مانند نیروگاه بسیار حائز اهمیت بوده و همچنین باید خط مشی برای کارشناسان آتش نشان درون نیروگاه و خارج از آن باشد تا با پارامترهای ضروری و مدل سازی حریق آشنا شوند و نتایج مدل سازی آتش را به درستی بکار برند. از دیگر موارد ذکر شده در این مطالعه حفاظت فردی آتش نشانان در برابر خطرات رادیولوژیکی می‌باشد که به آن اشاره شده است.

روش

پژوهش حاضر مقدمه‌ای بر اهمیت ایمنی در نیروگاه به منظور تصمیم‌گیری برای انتخاب مدل حریق می‌باشد، لذا مرور متون تخصصی، تجارب و دستورالعمل‌ها حائز اهمیت می‌باشد. این مطالعه براساس جمع آوری و گردآوری مطالب انجام شده است. در این تحقیق، سازمان انرژی اتمی و کارشناسان سازمان آتش نشانی و جمع آوری اطلاعات از کارشناسان سازمان انرژی اتمی و همچنین استفاده از تجربیات آنها بکار گرفته شده است. هدف از انجام پژوهش آشنایی و شناخت با انواع مدل‌های حریق برای نیروگاه هسته‌ای می‌باشد و نیز آشنایی کارشناسان گروه HAZMAT^۲ در سازمان آتش نشانی بخصوص شهر تهران که وظیفه کار و شناخت

3. Nuclear Power Plant

4. Nureg

1. National Fire Protection Association

2. Hazard Material Management

بعضی کاربردها، سرعت جریان هوا نیز اهمیت خواهد داشت. این جریان‌های مکانیکی القا شده، پتانسیل تغییر جریان‌های القا شده توسط آتش را دارند. تهویه مکانیکی اغلب از منبع تامین (ورودی و خروجی) و منبع تخلیه تشکیل می‌شوند که برای دستیابی به سطح فشار مشخص، نگهداری می‌شوند (نیورگ، ۲۰۱۱، ۶۹۳۱).

۳. **اهداف:** اهداف به اشیاء مورد توجه گفته می‌شود که می‌توانند تحت شرایط ایجاد شده توسط آتش تحت تأثیر قرار گیرند و معمولاً از کابل‌های مدار، کابل‌های سیمرو یا تجهیزات نیروگاه تشکیل می‌شوند؛ در واقع موادی که بار حریق بالایی دارند.

الزامات اجرای تحلیل عملکرد محور مدل سازی آتش

اجرای عملکرد مدل‌های حریق درجامعه، حفاظت از آتش برای نیروگاه هسته ای از الزامات قطعی NFPA ۸۰۵ می‌باشند که فرایندهای آن به بخش‌های زیر تقسیم بندی می‌شوند:

شناسایی اهداف: در این بخش به توضیح الزامات اصلی و اهداف (برای مثال تجهیزات یا کابل‌ها) و یا مکان‌های هدف (برای مثال مکان‌های ویژه سیمرو / مجراهای حاوی کابل، پنل‌های الکتریکی یا تجهیزات) همراه با آن می‌پردازد.

ایجاد آستانه آسیب: برای تجهیزات و کابل‌های مورد نیاز جهت دستیابی به معیار عملکرد ایمنی هسته ای پرداخته و آستانه آسیب (برای مثال آسیب پذیری اهداف) برای کابل‌های در معرض آتش را بیشتر به شکل شار گرمایی واقع شده بر کابل‌ها یا دمای سطح کابل‌ها، دمای آسیب یا احتراق آن، آسیب در اثر شار گرمایی مورد بررسی قرار می‌دهد.

ایجاد سناریوی آتش سوزی:

سناریو آتش حداکثر (MEFS):^۱ موارد مورد انتظار، چالش برانگیز ترین آتش‌ها را معرفی می‌کند و می‌تواند به صورت منطقی در نوع محل متصرف و شرایط مکانی پیش بینی شود؛ و «می‌توانند بر اساس تجربه صنعت توان الکتریکی با ملاحظه شرایط ویژه نیروگاه و تجربه آتش سوزی» تعریف شود.

سناریو آتش محدود (LFS):^۲ در NFPA ۸۰۵ به صورت سناریویی تعریف می‌شود که در آن «یک یا چند ورودی در محاسبات

سازی آتش را ارائه می‌دهد که به صورت نوعی در سناریوهای نیروگاه هسته ای تجاری ارائه می‌شود؛ المان‌های مدل سازی آتش در زیر توضیح داده می‌شوند:

پیکربندی ناحیه نیروگاه، پارامترهای تهویه، اهداف، نرخ آزاد سازی گرما

۱. **پیکربندی ناحیه نیروگاه:** به طرح هندسی و ساختمان محوطه اشاره دارد؛ که به هر یک از این المان‌ها در ذیل توضیح داده شده است:

هندسه اتاقک: هندسه اتاقک به طرح فیزیکی حجمی اشاره دارد که آتش در آن فرض می‌شود. طول، پهنای و ارتفاع اتاق، ورودی‌های مورد نیاز مدل هستند. ساینز اتاقک، فاکتور مهمی در حجم است که برای حل معادلات اساسی استفاده می‌شود (نیورگ، ۲۰۱۱، ۶۹۳۱).

مواد مرزی اتاقک: مواد مرزی (برای مثال دیوار)، با ویژگی‌های ترموفیزیکی مشخص می‌شوند، که شامل چگالی، گرمای ویژه و رسانای گرمایی مواد است. در عمده کاربردهای نیروگاه هسته ای، مواد دیوار، بتن است. دیگر مواد می‌تواند شامل فولاد، تخته سنگ گچ و غیره باشد.

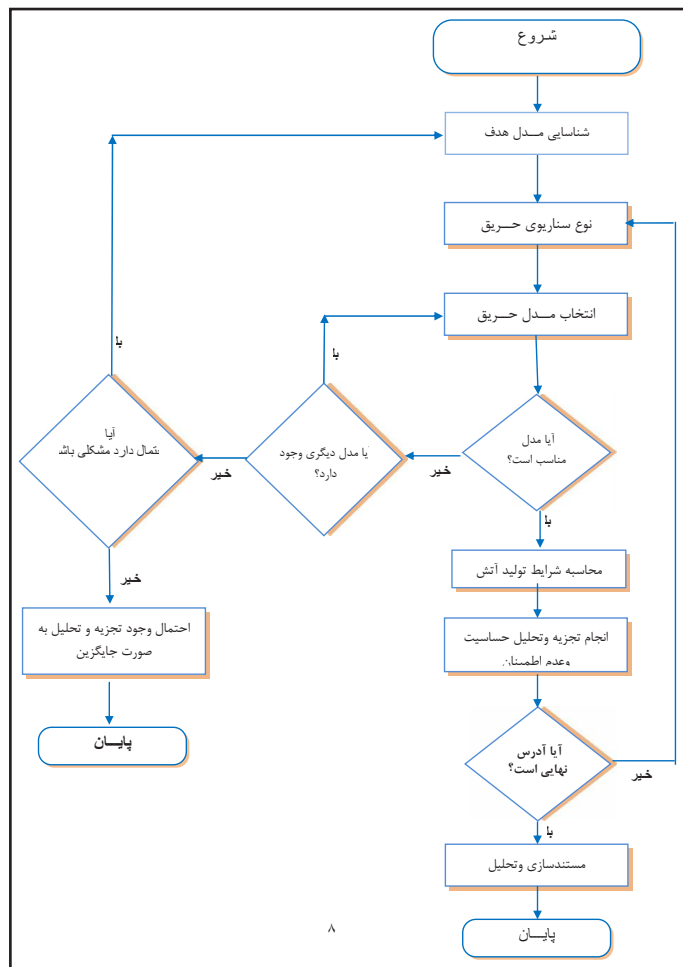
۲. **تأثیرات تهویه:** تأثیرات تهویه شامل تهویه طبیعی از طریق ورودی‌های عمودی یا افقی، تأثیرات مسیر نشت و یا تأثیرات تهویه مکانیکی است. با در نظر گرفتن درها (و دیگر ورودی‌های قابل باز شدن)، باید به درهایی که در طول آتش سوزی باز (یا بسته) می‌شوند، توجه کرد. برای مثال هنگامی که مأموران آتش نشانی از راه می‌رسند، درها را باز خواهند کرد تا به ناحیه آتش سوزی دسترسی یابند، که بر تهویه و احتمالاً نتیجه انتشار دود تأثیر می‌گذارد. ورودی‌های افقی از دریچه‌ها و پلکان‌های عمودی تشکیل شده است. برای مدل سازی اهداف، نواحی ورودی‌های افقی می‌تواند به سادگی افزوده شود. هر مدل منطقه باید پاسخ‌های مشابه برای ورودی‌های افقی مجزا یا چندگانه فراهم کند، چرا که ناحیه ورودی کلی، یکسان است. تهویه مکانیکی به هر هوای وارد یا خارج شده در اتاقک توسط ابزارهای مکانیکی گفته می‌شود. این مورد چند کاربرد عملی دارد، مانند استخراج دود از لایه گاز داغ (برای مثال سیستم پاکسازی دود). نرخ تهویه و موقعیت منفذ، دو پارامتر مهم تهویه مکانیکی هستند. برای

1. Maximum expected fire scenarios

2. Limiting fire scenarios

فرایند مدل سازی آتش: این یک فرایند عمومی مرحله به مرحله برای مدل سازی آتش در نیروگاه هسته‌ای را فراهم می‌کند. روش شناسی توصیه شده، از شش مرحله تشکیل می‌شود:

تعریف اهداف مدل سازی آتش، مشخص کردن سناریو، انتخاب مدل، محاسبه شرایط تولید آتش، انجام تحلیل‌های حساسیت و عدم اطمینان و مستند سازی تحلیل (نیورگ، ۲۰۰۷، ۶۹۳۱)



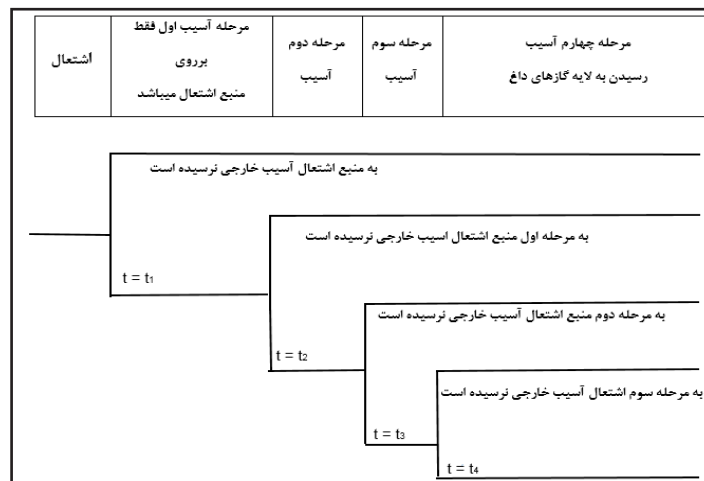
شکل ۲: فلوچارت فرایند مدل‌سازی حریق نیروگاه

مرحله اول: تعریف اهداف مدل سازی آتش

در این مرحله به هدفی که به خوبی تعریف شده، تمرکز می‌کند و برای انتخاب صحیح سناریوهای آتش ارزیابی خواهد شد و ابزار مدل سازی آتش مورد نظر، بر طبق آن استفاده می‌شود. هدف باید ویژه باشد و نتیجه نهایی را بر حسب مسائل مهندسی توضیح دهد. این مسئله درک بعضی شرایط را نشان می‌دهد که موفقیت یا شکست در شروع تحلیل با آن اندازه گیری می‌شود (برای مثال

مدل سازی آتش تغییر می‌کند که معیار عملکرد آن‌ها را محقق نمی‌کند». توسعه LFS ضرورتاً شامل تحلیل حساسیت است که مشخص می‌کند کدام ترکیبات پارامترهای ورودی یا متغیرها، برای تحلیل ضروری است. هدف از LFS، تعیین این مسئله است که آیا حاشیه منطقی بین حداکثر انتظار طرح آتش و نقطه خطا وجود دارد یا خیر. نقطه خطا محلی بین LFS و MEFS است که سناریوی محدود می‌تواند به سناریوی حداکثر تبدیل شود (نیورگ، ۲۰۰۷، ۶۹۳۱).

مدل سازی آتش برای حفاظت از نیروگاه: مدل سازی آتش ابتدا بوسیله ارزیابی ریسک احتمالی (PRA) در توسعه سناریو آتش به کار می‌رود که اغلب به پیشروی وضعیت‌های آسیب در طی زمان، مدل سازی می‌شود و توسط آتش فرض شده که شامل منبع احتراق است شروع می‌شود. وضعیت آسیب اول از آسیب به خود منبع احتراق تشکیل می‌شود. با توجه به پیکربندی سناریو، آخرین وضعیت آتش می‌تواند از شکل گیری HGL^۲ تشکیل شود که منجر به سوختن کامل اتاق می‌شود. وضعیت‌های آسیب، بین اولین و آخرین وضعیت، مجموعه اهدافی را دارد که با پیشروی آتش در موارد قابل اشتعال، در معرض خطر قرار می‌گیرند. شکل ۱ مثالی از سناریو پیشروی در پنج وضعیت آسیب را نشان می‌دهد.



شکل ۱: پیشرفت آسیب در اثر حریق در مدل سازی یک نیروگاه

بوسیله PRA

1. Probabilistic Risk Assessment
2. Hot Gas Layer

مجموعه (هدف-منبع) احتراق مجزا مورد نیاز است. هنگام تلاش برای مشخص کردن سناریو آتش، مسیرهای حرکت در نیروگاه باید وجه ضروری انتخاب سناریو باشد.

جزئیات محوطه: جزئیات محوطه شامل شناسایی محوطه هایی که به تحلیل مدل آتش تعلق دارند، ابعاد فیزیکی محوطه هایی شامل در مدل آتش سوزی و مواد مرزی هر محوطه می باشد. محوطه هایی که به مدل آتش تعلق دارند ممکن است وابسته به هدف مدل سازی آتش، پیچیدگی اتصال فضاها در ناحیه عمومی مورد توجه، نوع تحلیل انجام شده (قطعی یا احتمالی) و نوع مدل انتخاب شده آتش باشد. ابعاد فیزیکی محوطه و مواد مرزی، ورودی مدل هستند و باید هنگامی که مدل انتخاب می شود تعیین شوند، چرا که سطح جزئیات، میان مدل های آتش سوزی، تفاوت های قابل توجهی دارد. مدل های تک منطقه ای ممکن است فقط نیاز به حجم و ناحیه مرزی داشته باشند؛ مدل های دو منطقه ای معمولاً نیاز به طول، پهنا و ارتفاع دارند؛ و مدل های نوع CFD^۲ نیاز به جزئیات متناسب با راه حل شبکه مدل دارند (نیورگ، ۲۰۱۲، ۶۹۳۱).

مکان حریق اهداف: مکان آتش تا حد زیادی بستگی به هدف مدل سازی آتش، مکان هدف، و ابزار انتخابی مدل سازی آتش دارد. برای مثال، هنگام ارزیابی عملکرد سیستم مانع آتش، سناریوهای آتشی که موانع را به چالش می کشند، مورد توجه هستند. هنگام اجرای تحلیل ریسک، سناریوهایی که بر مدارهای مرتبط با ایمنی تأثیر دارند می توانند مورد نظر قرار گیرند. سناریوهای انتخابی برای این دو کاربرد، ممکن است یکسان نباشند. هنگام انتخاب مکان آتش، سناریو آتش باید شرایط تخمین زده شده را به چالش بکشد. برای مثال، اگر هدف سناریو ارزیابی تابش شعله به هدف (برای مثال کابل) است، ممکن است مکان یابی منبع احتراق نسبتاً دور از هدف باشد که بهترین معرفی خطرات آتش نمی باشد. اگر هدف سناریو تعیین این مسئله است که آیا آتش می تواند سبب خطای دو مدار در داکت های سیم مختلف شود یا خیر، ممکن است مکان یابی آتش بین دو داکت، مناسب باشد. اگر مکانیزم قرار گرفتن اولیه در معرض آتش، لایه گاز داغ (HGL) باشد، فرض اینکه آتش در گوشه یا نزدیک به مرزی که عمودی قرار گرفته، دمای بالاتر

معیار عملکرد). همچنین اهداف باید مشخص کند آیا نتایج تحلیل قرار است به حل یک مبحث مشخص کمک کند یا خیر یا به عنوان ورودی یک ارزیابی ریسک احتمالی (PRA)^۱ به کار می رود. این تمایز می تواند بر انواع سناریوهای آتش که ارزیابی خواهد شد، و عملکرد عدم اطمینان در تحلیل، تأثیر بگذارد. بنابراین هرهدف مدل سازی آتش می تواند به عنوان عبارتی دیده شود که تعریف می کند چه نیازهایی باید تکمیل شود، چه معیارهایی برای تعریف موفقیت یا شکست استفاده خواهد شد، و چه فرایند تحلیلی دنبال خواهد شد (برای مثال احتمالی یا قطعی). بعضی شرایط رایج مدل سازی آتش که در نیروگاه هسته ای بکار می رود در جدول ۱، نشان داده شده است (نیورگ، ۲۰۰۷، ۶۹۳۱).

جدول ۱: شرایط رایج مدل سازی آتش در نیروگاه

ارزیابی آسیب رسان بودن آتش به کابل یا جزء الکتریکی و زمان آن	ارزیابی آسیب رسان بودن آتش به کابل ها یا اجزای چندگانه الکتریکی و زمان آن
ارزیابی شرایط قابل سکنی بودن در حالت قرار گرفتن در معرض آتش	ارزیابی پتانسیل انتشار آتش در مانع آتش یا میان آن
ارزیابی فعال شدن آشکار ساز یا آب پاش	حداکثر دمای سطح قابل قبول برای یک کابل، جزء، ماده قابل اشتعال ثانویه، عنصر ساختاری
حداکثر شار گرمایی قابل قبول رویداد برای کابل، عنصر ساختاری یا مواد ثانویه قابل اشتعال	حداکثر دمای قابل قبول قرار گرفتن در معرض آتش حداکثر غلظت دود یا حداقل قابلیت دید
حداکثر یا حداقل غلظت یک یا چند جزء گاز، مانند مونوکسید کربن، اکسیژن، سیانید هیدروژن	

مرحله دوم: مشخص کردن سناریوها

این مرحله عناصر فنی مورد نیاز برای ارجاع به اهداف را در بر دارد. یک سناریو آتش سوزی، به عنوان مجموعه عناصر مورد نیاز برای توضیح رویداد آتش سوزی تعریف می شود. در این مرحله چند سناریو برای ارجاع به یک هدف ویژه مورد نیاز است و در هرکدام مشخصات ویژه رویداد آتش در هر سناریو باید در نظر گرفته شود (برای مثال کدام سناریوها مورد نیاز است). به صورت عمومی، حداقل یک سناریو آتش برای ارزیابی تأثیرات یک جفت

شرایطی است که در مواقع اضطراری توسط پرسنل و یا نیروهای امدادی ایجاد می‌شود.

مکان‌های هدف: مکان هدف، به ابعاد فیزیکی هدف نسبت به منبع آتش یا سیستم مختصات مدل آتش اشاره دارد. این مورد می‌تواند شامل فاصله افقی و عمودی از منبع احتراق یا آتش منبع یا موقعیت فضایی خود اتاق باشد. ممکن است مشخص کردن بیشتر مکان یک بخش آسیب پذیر هدف ضروری باشد، مانند جعبه تقسیم روی موتور پمپ آب. جهت گیری هدف با توجه به قرار گرفتن در معرض آتش نیز مورد توجه است. یک هدف که بالاتر قرار گرفته ممکن است بیشتر در معرض تابش گرمایی از HGL باشد (NEI ۰۰-۰۱، ۲۰۱۰).

مواد قابل اشتعال ثانویه: مواد قابل احتراق ثانویه شامل هر مواد قابل سوختن است و در صورتی که احتراق ایجاد کنند ممکن است شرایط در معرض قرار گیری هدف مربوطه در برابر آتش را تحت تأثیر قرار دهند. مواد قابل احتراق ثانویه همچنین شامل موادی هستند که بین آتش و هدف قرار ندارند اما در معرض تأثیرات آتش هستند. در این مورد، اگر این مواد آتش بگیرند، نرخ آزادسازی کلی گرما در محوطه افزایش خواهد یافت، که منجر به لایه گاز داغ تر می‌شود، و باعث تشدید و افزایش انرژی تابشی می‌شوند. این دسته شامل مواد ثابت و ناپایدار هستند. مواد قابل احتراق ثابت شامل پوشش‌های کابل یا عایق‌های کابل قرار گرفته در معرض آتش، عایق گرمایی قابل احتراق و مواد پوشش در دیوار که قابل احتراق هستند، می‌باشند که می‌توانند شامل محفظه‌های زیاله، انباشت زیاله، لوله خرطومی‌ها، ابزارهای دستی، تمیز کننده‌ها و حلال‌ها، لباس‌های حفاظت، محفظه‌های پلاستیک، و غیره باشند. محاسبه بار مواد قابل احتراق، فرایند حفاظت از آتش، و تحلیل خطرات آتش می‌تواند جزئیات بیشتری درباره بسته‌های سوخت ناپایدار و ثابت در ناحیه ویژه ای از نیروگاه فراهم کند. (NEI ۰۰-۰۱، ۲۰۱۰)

منبع احتراق: آتش سوزی منبع، تابع اجباری سناریو آتش سوزی است. از آنجا که همه تأثیرات آتش مستقیماً با مشخص کردن منبع حریق در ارتباط است، مراقبت زیادی باید درباره مشخص کردن آن انجام شود. آتش سوزی منبع اغلب به صورت «منبع احتراق» توضیح داده می‌شود که مفهوم داشتن بسته سوخت و یک مکانیزم احتراق

HGL تولید خواهد کرد. دیگر ویژگی‌هایی که بر مکان آتش تأثیر می‌گذارد، می‌تواند شامل مواد در سطح یا مقدار آن باشد، به ویژه هنگامی که یک پلاستیک در حال ذوب یا سوخت هیدروکربن مایع در نظر گرفته می‌شود و بسته‌های سوخت ناپایدار ممکن است در سطوح نیم طبقه، سکویی شکل و یاروی یکدیگر بر روی کف چیده شده باشند.

حفاظت در برابر آتش: ویژگی‌های حفاظت آتش که در یک تحلیل مدل سازی آتش اطمینان داده خواهد شد، معمولاً نیاز به ارزیابی مهندسی حفاظت درباره سودمندی سیستم‌ها در اجرای اهداف طراحی دارد. ارزیابی باید تعیین کند آیا آشکار سازی، سرکوبی و یا سیستم‌های غیر فعال کننده می‌توانند از هدف انتخاب شده در شرایطی که آتش ایجاد می‌کند، محافظت کنند یا خیر. هنگامی که تصمیم به معتبر سازی سیستم حفاظت آتش گرفته می‌شود، تحلیل گر باید نوع سیستم انتخابی برای سناریو را مشخص کند. چند ویژگی مشترک حفاظت آتش وجود دارد که ممکن است در یک ناحیه نیروگاه هسته‌ای نوعی از آن وجود داشته باشد: سیستم‌های آشکار سازی آتش، این موارد شامل سیستم‌های آشکار سازی دود، آشکار سازهای گرما، یا سیستم‌های دارای حساسیت بالا می‌باشد. سیستم‌های سرکوبی آتش، این موارد شامل سیستم‌های ثابت فعال شدن دستی یا خودکار، کپسول‌های آتش نشانی و مامورین آتش نشانی است. سیستم‌های حفاظت آتش غیر فعال، این موارد شامل آتش برها (موانع حریق)، درب‌های نسوز، ERFBS^۱ ها، پوشش‌های تابشی و مانع‌های آتش است. کنترل‌های اجرایی، شامل مناطق قابل احتراق یا آزاد-زودگذر، محدوده‌های با سوخت قابل احتراق و فرایندهای گاز داغ می‌باشد.

شرایط تهویه: شرایط تهویه به صورت کلی به سیستم تهویه مکانیکی و موقعیت دریاها یا دیگر ورودی‌ها در طول رویداد آتش سوزی اشاره دارد. به صورت نوعی، شرایط تهویه به صورت نرمال و غیر نرمال در نظر گرفته می‌شود. شرایط تهویه نرمال شامل فضاهایی که در آن معمولاً درها بسته است، ممکن است درهایی وجود داشته باشد که در طول آتش سوزی توسط پرسنل باز نگه داشته شود، یا در طول آتش آسیب ببینند؛ شرایط غیر نرمال شامل

1. Electrical Raceway Fire Barrier System

مرحله چهارم: محاسبه شرایط تولید شده در آتش

این مرحله شامل اجرای داده‌ها و تفسیر نتایج است. هنگام اجرای مدل کامپیوتری، گام‌های عمومی زیر توصیه می‌شود:

تعیین پارامترهای خروجی مورد نظر، آماده سازی فایل ورودی، اجرای مدل کامپیوتری، تفسیر نتایج مدل و داده‌های خروجی باید شکلی تنظیم شوند که برای هدف مربوط، مناسب باشند (نیورگ، ۲۰۱۲، ۶۹۳۱).

مرحله پنجم: اجرای تحلیل‌های حساسیت و عدم اطمینان

در این مرحله رفتار جامع تحلیل حساسیت و یا عدم قطعیت را به صورت بخشی از تحلیل مدل سازی آتش به علل زیر توصیه می‌کند: مدل‌ها بر اساس ایده آل سازی پدیده فیزیکی و ساده سازی فرضیات طراحی می‌شود، که به صورت اجتناب ناپذیر، مفهوم عدم اطمینان مدل را در تحلیل‌ها معرفی می‌کنند (برای مثال خطای مدل). تعداد پارامترهای ورودی بر اساس داده‌های عمومی در دسترس یا بر اساس قضاوت مهندسی حفاظت آتش هستند، که مفهوم عدم اطمینان پارامتر را در تحلیل معرفی می‌کند. عدم اطمینان در یک متغیر، عدم وجود دانش درباره آن متغیر را نشان می‌دهد، و اغلب با توزیع‌های احتمال نشان داده می‌شود. هدف آن، ارزیابی تغییر پذیری در خروجی مدل است، و خروجی با توجه به عدم اطمینان مربوط به ورودی‌ها و ساختار مدل، تا چه حد غیر مطمئن است. در مقابل، حساسیت متغیر در مدل، به صورت نرخ تغییر در خروجی مدل با توجه به تغییرات متغیر تعریف می‌شود.

مرحله ششم: مستند سازی تحلیل

انواع مدل‌ها:

۱- مدل منطقه‌ای (Zone Model): مدل‌های منطقه ای، الگوریتم‌های کامپیوتری هستند که معادلات حفاظتی را برای انرژی و جرم حل می‌کنند. این مدل متغیرهای محیط آتش سوزی را با استفاده از حجم‌ها، یا مناطق کنترل یک مکان محاسبه می‌کند. منطقه‌ها متناظر با لایه پایین تر خنک تر و HGL هستند که در شکل ۳ دیده می‌شود. ایده اصلی مدل منطقه این است که هر منطقه به خوبی ترکیب شده و بنابراین همه متغیرهای محیط آتش (درجه حرارت، غلظت دود و غیره)، در منطقه یکپارچه می‌شوند. متغیرهای

مطمئن را در بر دارد. مکانیزم‌های احتراق زیادی در یک نیروگاه هسته ای وجود دارد؛ در هر صورت، منابع احتراق معمولاً به پنل‌های الکتریکی، بسته‌های سوخت ناپایدار، سینی‌های کابل خود محترق، آتش‌های کابل کار داغ محترق شده، و موتورهای بیش از حد گرم شده دسته بندی می‌شوند. یک تحلیل قطعی به صورت نوعی فرض خواهد کرد که یک منبع احتراق وجود دارد و هر ماده قابل احتراقی را دارای قابلیت احتراق بالقوه در نظر می‌گیرد. محاسبه بار مواد قابل احتراق، فرایندهای حفاظت از آتش، تحلیل خطرات آتش، می‌تواند جزئیات بیشتری درباره بسته‌های سوخت ثابت و ناپدار در یک ناحیه صنعتی ویژه فراهم کند. میزان آزاد سازی گرما می‌تواند به عنوان تابع پیوسته ای از زمان در نظر گرفته شود یا ممکن است آرایه ای از میزان آزاد سازی گرما و مدت سوختن آن باشد. رفتارهای سوختن ممکن است نیاز به در نظر گرفتن این مسئله باشد که آیا مواد می‌توانند ذوب شوند و یک استخر مایع را تشکیل دهند و آیا با ریزش در همه جا منتشر می‌شوند یا خیر و مایع در کجا می‌تواند جمع شود.

مرحله سوم: انتخاب مدل‌های آتش

تعدادی از مدل‌ها برای اجرای شبیه سازی‌های آتش در دسترس است. این مدل‌ها از مدل‌های جبری تا کدهای کامپیوتری دینامیک سیال محاسباتی پیچیده (CFD) گسترده است که نیاز به چندین روز برای راه اندازی سناریو و اجرای محاسبات همراه آن دارد. با توجه به دسترسی پذیری مدل‌های مختلف، تحلیل گر، مسئول منافع و محدودیت‌های یک مدل ویژه در یک شرایط ویژه برای دستیابی به اهداف مطرح شده در آن می‌باشد. به صورت کلی، مدل‌های آتش می‌توانند به سه گروه تقسیم شوند: ۱- مدل‌های جبری ۲- مدل‌های منطقه ای ۳- مدل‌های CFD.

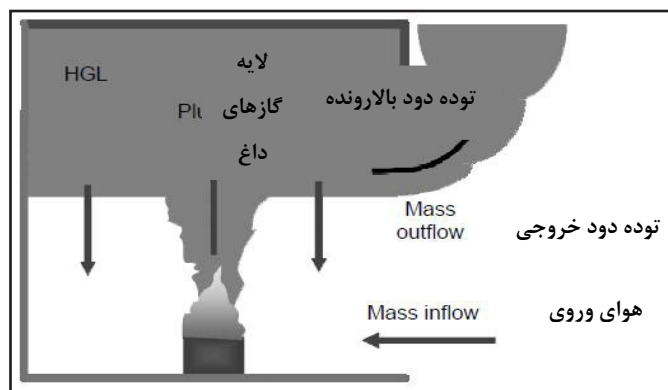
در کاربردهای مدل سازی آتش، احتمال دارد ترکیبی از هر سه گروه مدل‌ها برای تحلیل یک مسئله ویژه، مفید باشد گام نخست در انتخاب مدل تعیین این مسئله است که آیا سناریو می‌تواند با استفاده از مدل‌های جبری، مدل‌های منطقه یا مدل‌های CFD تحلیل شود یا خیر.

ارائه می‌شود.

۲- مدل CFD^۱: یک مدل CFD اغلب هنگامی مفید است که تلاش می‌شود متغیرهای آتش در مکانی ویژه تعیین شوند، یا هنگامی که ویژگی‌های هندسی وجود دارد که انتظار می‌رود نقش مهمی در نتایج داشته باشند که فراتر از چیزی است که در تقریب مدل منطقه ای محاسبه می‌شود. یک مدل نوعی CFD از پیش پردازنده، حلال و پس پردازنده تشکیل می‌شود. مدل CFD می‌تواند یک تحلیل جزئی در هندسه‌های ساده و پیچیده فراهم کند. مدل‌های CFD، درستی فضایی بهتری نسبت به مدل‌های منطقه دارند، که قادر به تمایز شرایط در یک بخش از فضا نسبت به بخش دیگر هستند. مدل CFD معمولاً زمانی به کار می‌رود که تفکیک فضایی اهمیت دارد، نسبت به مکان بسته‌های سوخت یا مواد هدف. اتاقک‌های بزرگ نسبت به اندازه آتش سوزی وجود دارد. اتاقک‌ها دارای هندسه پیچیده، اتصالات جریان یا موانع بی‌شمار در بخش بالایی اتاقک هستند. تعداد زیادی اتاقک در ناحیه مورد توجه وجود دارد و انتظار می‌رود هر اتاقک بر محیط آتش سوزی در مساحت مورد نظر تأثیر بگذارد.

مدل CFD جریان متلاطم گاز را نیز در نظر می‌گیرد. منفعت دیگر مدل‌های CFD توانایی آنها برای شبیه سازی شرایط آتش در هندسه ای به اندازه اتاقک‌های کف مستطیلی با سقف صاف است. بعضی مدل‌های CFD تلاش می‌کنند مقادیر HRR^۲ را نیز بر اساس ویژگی‌های اشتعال پذیری سوخت فراهم شده توسط تحلیل گر، تخمین بزنند. مدل CFD، زمان محاسباتی و سطح تلاش مورد نیاز برای ایجاد سناریو را محاسبه می‌کند، چرا که زمان محاسباتی آن معمولاً بر حسب روز است. زمان مورد نیاز برای راه اندازی مسئله معمولاً بستگی به پیچیدگی هندسه دارد. ملاحظه دیگر هنگام انتخاب مدل CFD این است که مقدار جزئیات فراهم شده در مدل، به میزان قابل توجهی بیشتر از میزان جزئیات در مدل‌های منطقه ای و مدل‌های تجربی ساده تر است. این جزئیات می‌تواند شامل کانال، داکت‌های کابل، پنل‌های الکتریکی و دیگر محتویات ثابت باشد که ممکن است اصلاح شود، دوباره مکان یابی شود یا برداشته

هر منطقه به عنوان تابعی از زمان تغییر می‌کنند و به شرایط اولیه مشخص شده توسط کاربر تکیه دارند. فرض می‌شود که یک مرز تعریف شده که دو منطقه را جدا می‌کند وجود دارد، اگرچه این مرز ممکن است در شبیه سازی به بالا یا پایین حرکت کند. این منطقه همگن فرض می‌شود و بنابراین فرض می‌شود چگالی و دمای یکپارچه داشته باشد. دما و عمق آن تحت تأثیر مقدار جرم و انرژی وارد شده یا خارج در حجم، در طول شبیه سازی است. لایه پائین تر، که می‌تواند افزایش دما را نیز تجربه کند، با هوای تازه خنک تر بین کف و بخش پایین HGL مشخص می‌شود. این لایه همچنین دارای چگالی و دمای یکپارچه فرض می‌شود. مدل‌های منطقه ای، قابل کاربرد ترین موارد در هندسه‌های ساده هستند یا در جایی که تفکیک فضا در یک اتاقک، اهمیتی ندارد. آماده سازی ورودی مدل منطقه، زمان محاسبه، مقدار داده‌های خروجی تولید شده تا حدی سخت تر از یک مدل جبری ساده است؛ در هر صورت، هزینه کلی زمان محاسباتی، همچنان پایین است (نیورگ ۲۰۱۲، ۶۹۳۱).



شکل ۳: دو منطقه آتش محوطه HGL بالا و یک لایه خنک در پایین

مدل‌های منطقه ای می‌توانند به سادگی شرایط ناشی از حریق‌هایی شامل اتاقک‌های مجزا یا اتاقک‌هایی با فضاهای مجاور را تحلیل کنند و اغلب برای محاسبه دمای HGL، ترکیب HGL، و شارهای گرمایی مواد هدف استفاده می‌شوند. آنها همچنین قادر به مدل سازی بعضی تأثیرات تهویه طبیعی و مکانیکی در مسیرهای افقی و عمودی هستند. تولید دود، دینامیک ابر دود آتش، مشخصات جت سقف، انتقال گرما، و جریان‌های تهویه، همگی مدل‌های جبری تعبیه شده در مدل‌های منطقه ای هستند. خروجی این مدل معمولاً به سادگی درک می‌شود و عموماً از طریق واسطه خودبه خودی کاربر

1. Computational Fluid Dynamics

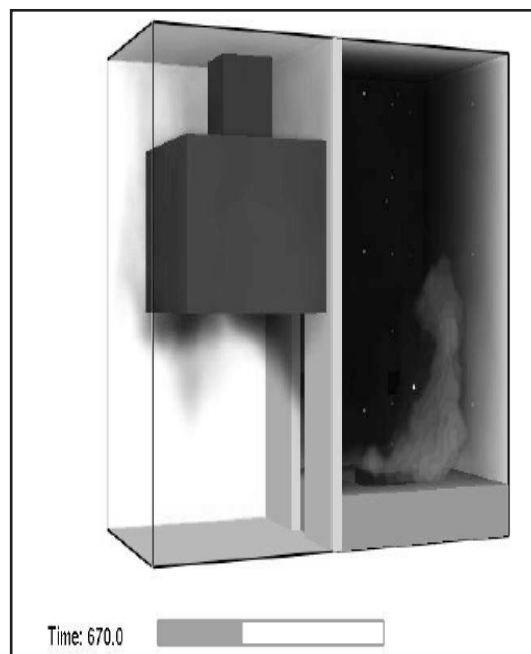
2. Heat Release Rate

برای محاسبه پارامترهای مختلف آتش تحت شرایط متفاوت استفاده شود. انجام معادلات و فرضیات برای FDT، به خوبی در جامعه علوم آتش مطرح می‌شود و در کتاب‌ها و انتشارات علمی مستند می‌شود، مانند کتاب راهنمای آتش NFPA، کتاب راهنمای SPFE در مهندسی حفاظت از آتش، و دیگر مقالات علمی آتش سوزی (NEI ۰۰-۰۱، ۲۰۱۰).

۴- مدل FIVE-REV^۲: مجموعه ای از معادلات از پیش برنامه نویسی شده که برای تخمین بعضی وجوه شرایط ایجاد شده توسط آتش استفاده می‌شود. این مجموعه مدل‌های جبری تحت عنوان مدل ارزیابی آسیب پذیری القا شده در آتش (FIVE-REV) شناخته می‌شوند. به صورت کلی، معادلات عبارات تحلیلی فرم بسته هستند که می‌تواند به صورت دستی نیز حل شوند. قابلیت‌های معادلات مختلف در برنامه، شامل پیش بینی دما و شار گرمایی همرفت در جت سقف (حرکت افقی دود در سقف) یا ستون دود، شار گرمایی تابشی، دمای لایه بالاتر، زمان آشکار سازی و گرم شدن هدف و دیگر موارد هستند. بعضی از معادلات این مدل همانند مدل FDT می‌باشد که فقط در نوع جزئیات محصولات حریق با یکدیگر تفاوت دارند.

۵- مدل CFAST^۳: مدل رشد یکپارچه آتش و انتقال دود یک مدل آتش کامپیوتری دو منطقه ای است که برای یک سناریو داده شده، یک اتاق را به دو حجم کنترل شده تقسیم می‌کند، که شامل یک لایه بالاتر نسبتاً داغ (برای مثال HGL) و لایه پایین تر نسبتاً خنک تر. به علاوه، جرم و انرژی بین لایه‌ها از طریق ستون دود و ترکیب در منفذ (محل خروجی ناخواسته)، منتقل می‌شوند. در مقابل محصولات اشتعال از طریق ستون دود در HGL^۴ انباشته می‌شوند. هر لایه، تعادل‌های جرم و انرژی خود را دارد. مهمترین فرضیه مدل این است که هر مدل، ویژگی‌های یکپارچه دارد، که عبارتند از اینکه دما و غلظت‌های گاز در سراسر منطقه ثابت است، و فقط به عنوان تابع زمان تغییر می‌کند. در این شرایط هر منطقه را با حل معادلاتی برای محافظت از اجسام، گونه‌ها و انرژی همراه با قانون گاز ایده ال، توضیح می‌دهد. برای بعضی مکان‌ها مثل راهروهای طولانی یا

شود. یک مثال از شبیه سازی آتش CFD در تجربه آتش سوزی در شکل ۴ نشان داده شده است. در آزمایش، یک تاوه آتش در اتاقکی نسبتاً کوچک قرار داده شد، و دما و شار گرمایی در مکان‌های مختلف اندازه گیری شد. شبیه ساز CFD می‌تواند تغییر رفتار آتش را هنگامی که به محیط اطراف می‌رسد، توضیح بدهد. درک دقیق دینامیک آتش در تهیه داده‌های ورودی که برای کاربرد مناسب باشد، اهمیت دارد. بیشتر مدل‌های CFD، مقادیر پیش فرض دارند که باید در صورت لزوم اگر شبیه سازی قرار است صحیح باشد، شناخته شده و تعدیل شود.



شکل ۴: مدل CFD تجسمی از آزمایش حریق در محفظه

۳- مدل FDT^۱: ابزارهای دینامیک آتش، که بصورت فرمت اکسل می‌باشند. هدف اولیه مدل FDT و مستند سازی همراه آن، فراهم کردن روش شناسی برای ناظران حفاظت آتش جهت استفاده در ارزیابی خطرات بالقوه آتش در واحدهای صنعتی هسته ای‌های با مجوز کمیسیون مقررات هسته ای آمریکا می‌باشد. روش شناسی آن از تکنیک‌های ساده شده کمی تحلیل خطر آتش برای ارزیابی پتانسیل خطر همراه با سناریوهای آتش قابل تأیید، استفاده می‌کند. در مدل FDT که شامل سلسله صفحات گسترده ای است و می‌تواند

2. Fire-Induced Vulnerability Evaluation, Revision 1

3. Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model

4. Heat Release Rate

1. Fire Dynamics Tools

جدول ۲ تمامی مدل‌های حریق و صفات مربوط به هریک آورده شده و دارا بودن یا نبودن هرصفت نیز نشان داده شده است.

جدول ۲- صفات آتش برای هریک از مدلها بطور خلاصه

مدل حریق					صفات مدل سازی آتش
FDS	MAGIC	CFAST	FIVE-REV ₁	FDT	
بله	بله	بله	بله	بله	دمای لایه گاز داغ
بله	بله	بله	خیر	خیر	ارتفاع لایه گاز داغ
بله	بله	بله	بله	خیر	دمای حرکت دود افقی در سقف
بله	بله	خیر	بله	بله	دمای ستون دود
بله	بله	بله	بله	بله	ارتفاع شعله
بله	بله	بله	بله	بله	شارحرارت تابیده شده به اهداف
بله	بله	بله	خیر	خیر	شار کلی دمای اهداف
بله	بله	بله	خیر	خیر	شار کلی دمای تابیده شده به دیوارها
بله	بله	بله	خیر	خیر	دمای دیوار
بله	بله	بله	خیر	خیر	دمای اهداف
بله	بله	بله	خیر	خیر	غلظت دود
بله	بله	بله	خیر	خیر	غلظت اکسیژن
بله	بله	بله	خیر	خیر	فشار اتاق

راه کارهای سازمانی جهت تامین ایمنی آتش نشانی: در تمام ساختمان‌های تولیدی (کارگاهی) اداری، انباری، جانبی نیروگاه هسته‌ای باید شماره تلفن آتش نشانی در محیط‌هایی در معرض دید باشد و باید متناسب با نوع خطرات آتش سوزی آن، نظام پیشگیری از حریق مقرر شده باشد؛ از جمله مکان‌هایی برای سیگار کشیدن، جهت قرار گرفتن یکبارہ مواد خام نیمه‌فرآوری شده و تولیدات آماده تعیین شده باشد. نحوه جمع‌آوری و خارج کردن پسماندهای سوخت قابل اشتعال غبارزدایی، نگهداری لباس کار روغن‌آلوده تعیین شده باشد، ترتیب قطع برق وسایل الکتریکی که احتمال آتش سوزی دارند در پایان روز کاری مشخص شده باشد، ترتیب انجام کارهای موقت آتش‌زا و دیگر کارهایی که خطر ایجاد آتش سوزی دارند، نحوه بازدید و بستن درب‌های ساختمان بعد از

حفره‌های بلند عمودی (مثل چاه اسانسور)، فرضیه دو منطقه ممکن است مناسب نباشد. CFAST همچنین شامل چندین مدل‌های فرعی می‌باشد که بر اساس داده‌های تجربی استفاده شده در محاسبه فرایندهای فیزیکی مختلف در طول سناریو آتش وجود دارند از قبیل: تولید دود، ستون دود، انتقال گرما در اثر تابش، همرفت، رسانش الکتریکی، جریان‌های طبیعی از طریق ورودی‌ها (عمودی و افقی)، تهویه اجباری یا طبیعی، رفتار گرمایی اشیاء هدف، آشکارسازهای گرمایی و اسپری آب از آب پاش‌ها. این مدل، جریان افقی در مجراهای عمودی (درها، پنجره‌ها، منفذهای دیوار و غیره)، جریان عمودی در مجراهای افقی (سوراخ‌های سقف، دریچه‌ها، منفذهای سقف، غیره) و تهویه مکانیکی از طریق فن‌ها و کانال‌ها را نیز مدل سازی می‌کند.

۶- مدل MAGIC: یک مدل آتش کامپیوتری دو منطقه‌ای است که به صورت ویژه برای استفاده در تحلیل نیروگاه هسته‌ای بکارگرفته می‌شود. MAGIC شامل سه قسمت اصلی می‌باشد، ۱) راهنمای فنی که توضیح ریاضیات مدل را ارائه می‌دهد؛ ۲) راهنمای دستی کاربر که جزئیات استفاده از واسطه گرافیکی را شرح می‌دهد ۳) مطالعات معتبر سازی، که نتایج MAGIC را با سنجش‌های تجربی مقایسه می‌کند. این مدل اساساً مدلی مشابه با CFAST است، که در مدل اشتعال و مدل‌های جریان منفذ نیز مشابه هستند. با این وجود، تفاوت این دو در این است که دارای مدل‌های راهرو یا ستون نیست و جت سقف (حرکت افقی دود در سقف) و حرکت عمودی دود در آن متفاوت در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که شبیه‌سازی تکمیل شد، MAGIC یک فایل خروجی با همه متغیرهای راه حل را تولید می‌کند. کاربر متغیرهای خروجی مرتبط برای تحلیل را انتخاب می‌کند و خروجی‌ها که شامل دماهای مناطق گرم و سرد، غلظت‌های اکسیژن و گازهای سوخته نشده، کم شدن دود در هر اتاقک، میزان جریان جرم هوا و دود از طریق ورودی‌ها و منفذها، فشار در سطح کف هر اتاقک، دماهای سطوح دیوارها و شار گرمایی (تابشی و کلی) مبادله شده توسط خود کاربر برای اهداف خواسته شده تعیین می‌شود (GEI ۰۰-۰۱، ۲۰۱۰).

تردد آزاد خودرهای آتش نشانی تأمین شود و در محل تقاطع با ریل‌ها باید راه‌های آن دارای روکش سرتاسری هم‌سطح با ریل باشند.

۴- در ورودی اتاق‌های تولیدی و انبار باید برچسب مواد داخل آن از نظر مقررات و پیاده سازی و نوع قطرات آن تهید شده باشد.

۵- سیستم‌ها و تجهیزات آتش نشانی (سیستم‌های حفاظت در برابر دود، سیستم‌های خودکار حریق، آبرسانی، درب‌های ضد آتش سوپاپ‌ها، گیوتین‌ها و دیگر وسایل حفاظتی مستقر در دیوارها و سقف‌های ضد آتش) باید همیشه در وضعیت سالم و آماده بکار باشند.

۶- در صورت تقاطع دیوارها و سقف‌ها ضد آتش با شبکه‌های مختلف مانند شبکه‌های لوله، کابل برق، لوله‌های تهویه هوا و بین این شبکه و مصالح مانع باید بصورت کور و غیر قابل نفوذی بوسیله مواد غیر سوختی با رعایت مواد پایدار در برابر آتش قرار گرفته باشد و درضمن مانع ورود گاز و دود باشد.

شناخت حریم ایمنی برای نیروگاه هسته ای: حریم نیروگاه هسته ای به سه منطقه تقسیم می‌شود.

۱- ناحیه انحصاری^۱

۲- ناحیه کم جمعیت (LPZ)^۲

۳- مرکز جمعیت^۳

۱- **ناحیه انحصاری:** دایره ای به شعاع ناحیه انحصاری و با مرکزیت نیروگاه که ویژه نیروگاه باشد، که به هنگام بدترین سانحه ممکن، هیچ فردی در این منطقه در مدت دو ساعت یا بیشتر از ۲۵م کل بدن و یا ۳۰۰م تیروئید پرتو جذب نکند (م: واحد اندازه گیری موردی سلول‌های زنده و ارگانیسم) شعاع ناحیه انحصاری برای نیروگاه‌های مختلف جهان از ۱۸۸ متر تا ۲ کیلومتر مشاهده شده است اما برای ۴۰ درصد نیروگاه‌های جهان شعاع ناحیه انحصاری کمتر از ۶۴۰ متر می‌باشد. بدیهی است که هرچه شعاع ناحیه انحصاری و یا سایر مناطق کمتر باشد تجهیزات ایمنی بیشتر (نظیر دیوارهای ضخیم تر و فیلترهای بیشتر برای کانال‌های خروجی هوا خنک کننده) لازم می‌آید، مثلاً برای نیروگاه بوشهر شعاع انحصاری ۱۲۹۰

1. extrusion area

2. low population zone

3. Population center

پایان کار و نحوه عمل کارکنان هنگام مشاهده آتش سوزی معین شده باشد.

وظایف مسئول ایمنی نیروگاه هسته ای:

۱- فهرست تأسیسات و مشاغلی که کارکنان آنها باید دوره آموزشی آتش نشانی را بگذرانند. ۲- فهرست مسئولانی که وظیفه طراحی، برنامه و دوره‌های آموزش آتش نشانی را به عهده دارند. ۳- فهرست مسئولانی که وظیفه اجرای دوره‌های آموزشی مبارزه با حریق را به عهده دارند. ۴- سازماندهی و آموزش جهت مقررات ایمنی و آتش نشانی جهت افراد پرسنل داخل نیروگاه. ۵- کروکی لازم برای مسیرها جهت تخلیه پرسنل از ساختمان‌های نیروگاه. ۶- بازدید متناوب از وضعیت ایمنی آتش نشانی در نیروگاه و کوشیدن در جهت تقویت آن. ۷- رعایت نظام مدون پیشگیری از حریق و اجرای راه کارهای لازم جهت بالا بردن ایمنی آتش نشانی در زمان مقرر. ۸- سالم بودن وسایل گرمایشی و تهدید دستگاه‌های الکتریکی و غیره و راه کارهای بی درنگ جهت رفع نواقص مشاهده شده که احتمال رخدادن حریق وجود دارد. ۹- افرادی را عنوان مسئول نگهداری وسایل و سیستم‌های آشکار کننده و اطفاء حریق در وضعیت سالم و آماده بکار داخلی انتخاب کنند و نیز جهت بازدید متناوب از آنها و رفع نواقص ترتیبی اتخاذ شود.

مقررات ایمنی آتش نشانی در نیروگاه هسته ای

۱- محوطه نیروگاه هسته ای باید از پسماندهای سوختی، ظروف، کارتون، برگهای ریخته شده و علفهای خشک و ... پاکسازی شده باشد و همچنین این محوطه باید همیشه آماده بکار و قابل تردد و دسترسی برای عبور ماشین‌ها و تجهیزات آتش نشانی باشد.

۲- برای نزدیک شدن به تمام ساختمان‌ها و تأسیسات باید گذرگاه‌هایی آزاد و بدون مانع وجود داشته باشند، کنار گذرگاه‌ها و مسیرهای منتهی به ساختمان‌ها، منابع آب آتش نشانی، شیرهای هیدرانت و نیز مسیرهای دسترسی به پله‌های ثابت و وسایل و تجهیزات آتش نشانی باید همواره بدون مانع و باز باشند.

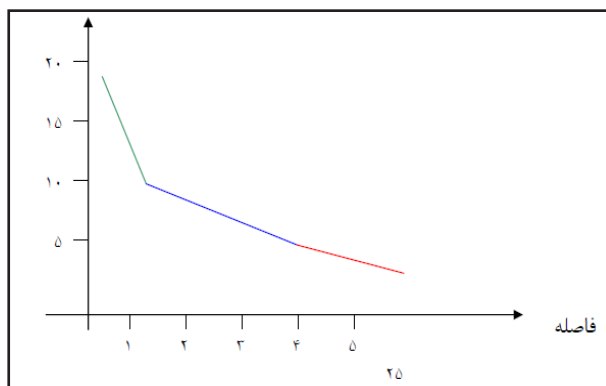
۳- همه راه‌ها و گذرگاه‌ها و مسیرهای دسترسی و راه‌های گذار از ریل‌های راه آهن باید در وضعیت سالم نگهداری شده و

عدم تماس بدن آتش نشانان با مواد رادیواکتیو ۵ - پرهیز از خوردن، آشامیدن و استعمال دخانیات در محل، تا خاتمه آلوده زایی کامل.



شکل ۵: نمونه ای از حریق در نیروگاه

اثر زمان و اثر فاصله: قرار گرفتن در مدت زمان طولانی در معرض گرمای ساطع شده بر شما آسیبی وارد نمی‌کند. بلکه ماندن بی حفاظ در معرض تشعشعات یونی بمدت طولانی بر شما اثر می‌گذارد. آتش نشانان بوسیله دوزی مترهایی که در دست دارند و از طریق خواندن آن می‌توانند آماده شوند که چه وقت باید صحنه عملیات را ترک کنند و خود را قرنطینه نمایند تا خشی یا بی اثر گردند. شدت تشعشعات در اثر افزایش فاصله کاهش می‌یابد و با مربع فاصله نسبت معکوس دارد، یعنی اگر فاصله دو برابر شود دوز دریافتی $1/4$ برابر می‌شود. که در نمودار ذیل نشان داده شده است.



نمودار ۱: اثر شدت و فاصله

یک آتش نشان از فاصله یک متری از منبع تشعشع کننده ای با قدرت انتشار Gbd 2000 در هر ساعت 10mSv دوز دریافت می‌کند. در حالیکه در فاصله ۱۰ متری، همان آتش نشان در هر

متر می‌باشد که با در نظر گرفتن ضریب ایمنی ۲ به عدد ۲۵۸۰ متر می‌رسیم بدیهی است که روستاهای اطراف آن بیش از شروع کار ملزم به تخلیه می‌باشند. (کاظمی، ۱۳۸۹، ص ۷۳)

۲- ناحیه کم جمعیت (LPZ): بلافاصله پس از ناحیه انحصاری قرار می‌گیرد و شعاع معمول آن بین ۹۴۰ متر الی ۹۴۰۰ متر می‌باشد که برای ۴۰ درصد نیروگاه‌های جهان کمتر از ۴۸۰۰ متر گزارش شده است در این ناحیه ایجاد مجتمع‌های آموزشی، پزشکی، صنعتی، نظامی و مسکونی به شرط فراهم آوردن امکان تخلیه اضطراری برای مواقع سانحه باصلاح دید سرپرست نیروگاه ممکن است و آن هم به شرطی که از نظر طبقه بندی جمعیتی امکان گسترش وجود داشته باشد. از لحاظ پرتوگیری برای افراد این ناحیه، جایی است که یک نفر در آن در تمام مدت عبور ابر رادیواکتیو حاصل از بدترین سانحه ممکن، دز جذب آن برای تمام بدن بیشتر از ۲۵رم و برای تیروئید بیش از ۳۰۰رم نباشد که برای نیروگاه بوشهر ۲۰ کیلومتر است.

۳- مرکز جمعیت: پس از ناحیه کم جمعیت با شعاع $1/3$ برابر ناحیه کم جمعیت قرار می‌گیرد که برای نیروگاه بوشهر شعاع این منطقه ۲۷ کیلومتر است. (کاظمی، ۱۳۸۹، ص ۷۴)

منطقه انحصاری: منطقه ای است غیر مسکونی که فقط افراد ذیصلاح اجازه ورود در آن را دارند و وسعت آن منطقه دایره ای به شعاع X از مرکز راکتور است. چنانچه فردی در هر منطقه روی محیط دایره قرار بگیرد در مدت ۲ ساعت بلافاصله پس از آزاد شدن پاره‌های شکافت در محیط دز دریافتی تیروئید ناشی از ایزوتوپهای ید در نتیجه استنشاق هوای آلوده، از ۲۰۰رم و نیز دز دریافتی کل بدن از پرتوگیری خارجی از ۲۰رم نباید تجاوز کند. (کاظمی، ۱۳۸۹، ص ۷۴)

اقدامات حفاظتی آتش نشانان در برابر مواد رادیواکتیو

اندازه و شدت صدمات وارده ناشی از دریافت پرتوهای مواد رادیواکتیو در حریق‌ها را با رعایت موارد ذیل می‌توان به حداقل رساند:

- ۱ - قرار گرفتن کمترین زمان ممکن در محیو آلوده و مواجه شدن با مواد رادیواکتیو ۲۰ - رعایت حداکثر فاصله ممکن جهت اطفاء. ۳ - ایجاد سپر مناسب بین منبع پرتو و آتش نشانان. ۴ -

در ایران که از موارد استراتژیکی کشور بشمار می‌رود و نگاه غربیان به این سازه‌ها نگاهی فرصت طلبانه و مغرضانه است، اهمیت ایمنی بالاخص ایمنی در برابر آتش سوزی را چند برابر کرده و توجه مسئولان ذیربط را به این مهم بیشتر می‌کند. برای نیروگاه‌های کشور با توجه به نیاز و شرایط درون نیروگاه از قبیل نوع نیروگاه، تعداد ژنراتورها، تعداد اتاق‌ها، محدوده کاربری و.... می‌توان هریک از مدل‌های آتش سوزی را بکارگرفت. به عنوان مثال برای سایت تحقیقاتی تهران از مدل FDT.CFD استفاده شده است. از این مدل‌ها برای آشنایی بیشتر آتش نشانان (افسران ایمنی مخصوص به این کار) جهت امداد رسانی هرچه بهتر پرسنل در مواقع ایجاد بحران استفاده می‌شود و نیز برپایی و استقرار ایستگاه‌هایی که مجهز به گروه HAZMAT^۱ در اطراف و نزدیکی سایت و یا نیروگاه و همچنین در سطح شهر می‌باشند را انجام داده، که دسترسی آسان را به محل داشته باشند و بتوانند در مواقع لازم با شناخت کافی امداد رسانی هر چه بهتر را برای اینگونه خطرات انجام بدهند. این گروه که جدیداً به ناوگان عملیات در سازمان آتش نشانی در آمده‌اند وظیفه شناخت و عملیات اطفاء حریق برای مواد خطرناک را برعهده دارند، به این منظور شناخت مواد رادیولوژیک با توجه به اهمیت آن برای این عزیزان امری مهم تلقی می‌شود، که می‌توانند با استفاده از کاربرد هر مدل حریق در نیروگاه، روش و ابزار اطفائیه لازم را برای آن قسمت به کار بگیرند. مسئولان سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی با توجه به مسئولیت قانونی که در این زمینه دارند باید آموزش پرسنل و آشنایی آنها با خطرات رادیولوژیک، هسته‌ای و چگونگی نحوه مقابله با آن و آشنایی با دستورالعمل‌ها و راهنمای عملیاتی را در دستور کار قرار داده و تیم‌های مخصوص به این امر را آماده به کار داشته باشند، که این تیم‌ها با اقدامات حفاظتی در برابر مواد رادیو اکتیو و خطرات رادیولوژیک آشنا شده باشند و باید خریداری وسایل و تجهیزات محافظ در برابر اشعه مانند لباس مخصوص و دستگاه‌های تعیین میزان دوز، توسط مسئولین سازمان آتش نشانی و رایزنی با کارشناسان انرژی اتمی جهت آموزش این تجهیزات را دربرنامه کاری خود داشته باشند.

ساعت فقط msv10 دریافت می‌کند. نتیجه اینکه، یک آتش نشانان در فاصله یک متری در طول ۳ دقیقه می‌تواند بماند اما در فاصله ۱۰ متری به مدت ۵ ساعت می‌تواند فعالیت اطفایی انجام دهد). (کشاورز، ۱۳۹۰، ص ۱۱۵)

عملیات ورود

■ ابتکار خلاف جهت باد (اگر خطر انتقال آلودگی از طریق هوا وجود دارد)

■ ارتباط با مدیر محل یا مشاور حفاظت از تشعشع

■ حفاظت درست و صحیح پرسنل

■ اعلام پیام مشکوک بودن تشعشع

■ ترتیب دادن یک زون یا ناحیه محصور (رعایت شعاع خطر)

■ مناطقی که قدرت تشعشع کمتر از ۳۷ Gbq باشد:

■ نیاز به بازدید ساختمان قبل از ورود نیست

■ دونفردستگاه تنفسی پوشیده و دوزیمتر همراه داشته باشند

■ لباس ضدحریق، دستگاه تنفسی، دستکش بلند بپوشند

■ مناطقی که قدرت تشعشع بیشتر از ۳۷ Gbq باشد:

■ بازدید ساختمان قبل از ورود

■ سه نفر دستگاه تنفسی پوشیده و دوزیمتر به همراه داشته باشند

■ لباس ضدحریق، دستگاه تنفسی، دستکش بلند بپوشند

■ عملیات بازدید و سنجش انجام گیرد. (کشاورز، ۱۳۹۰، ص ۱۱۶)

■ واحدهای اندازه گیری تشعشعات مواد رادیو اکتیو:

msv : میلی سیورت

Gbd : گیگا بکرل

نتیجه گیری

ایمنی در برابر آتش سوزی نیروگاه‌های هسته‌ای یکی از مهمترین عوامل پرداخته شده به آن می‌باشد. اهمیت موضوع آنقدر است که برای مصون بودن، مدل‌های کامپیوتری متفاوت، ابزار آلات تخصصی، ادوات اعلام و اطفاء حریق را با توجه به نوع کاربرد هر بخش نیروگاه استفاده کرده و از آن بهره برداری می‌کنند. با توجه به اهمیت نیروگاه‌های هسته‌ای و افزایش ساخت آن در سال‌های اخیر



U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC. <http://www.nrc.gov>.

NUREG-1824. (2012). Verification and Validation of Selected Fire Models for Applications, Volume 5: Consolidated Fire Growth and Plan Nuclear Power (CFAST), U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Smoke Transport Model Research (RES). <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1824>.

NEI 00-01. (2012). Guidance for Post Fire Safe Shutdown Circuit Analysis, Draft Revision 3, Nuclear Energy Institute. <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/fire-protection>.

NEI 00-01 (2010). GUIDANCE FOR POST FIRE SAFE SHUTDOWN CIRCUIT ANALYSIS

NUREG/CR-7010. (2011). Cable Heat Release, Ignition, and Spread In Tray Installations during Fire (CHRISTIFIRE), Volume 1: Horizontal Trays, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7010/v1>

NEI 00-01 (2011). GUIDANCE FOR POST FIRE SAFE SHUTDOWN CIRCUIT ANALYSIS. <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1129/ML112910147.pdf>

منابع

منابع فارسی:

کاظمی، علیرضا، (۱۳۸۹). مقررات ایمنی آتش‌نشانی در صنایع هسته‌ای. تهران: جهاد دانشگاهی. مقررات ایمنی آتش‌نشانی در فدراسیون روسیه. کشاورز، امیرحسین، (۱۳۹۰). دستورالعمل کلی عملیات در یک حادثه اضطراری رادیواکتیوی، انتشارات نشر شهر. محمدی، حسین، میربان‌ها، مهدی، (۱۳۹۳). اصول ایمنی بحرانیت هسته‌ای. تهران: نشر بهشت.

منابع انگلیسی:

Nuclear Power Plant Fire Modeling Application Guide, (NPP FIRE MAG). (2011). Second draft report for comment, Nureg1934. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1934/>
NUREG/CR-6931. (2007). Cable Response to Live Fire (CAROLFIRE), V(3) Thermally-Induced Electrical Failure (THIEF) Model, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC. <http://www.nrc.gov>.
NUREG/CR-6931. (2007). Cable Response to Live Fire (CAROLFIRE), V(1) Test Descriptions and Analysis of Circuit Response Data,