فناوری و انرژی هسته ای

Journal home page: http://Nucte.sbu.ac.ir

فصلنامه فناوری و انرژی هسته ای، دوره اول، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ۱۰-۱۴

شبیه سازی آتش سوزی اتاق کنترل اصلی نیروگاه اتمی بوشهر با استفاده از کد CFAST

سحر مجاب[1*]، غلامرضا جهانفرنیا[1]، احسان ظریفی[2]، مسعود منصوری[1]

[1] دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکدهٔ مهندسی هسته‌ای، تهران، ایران

[2] پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکدهٔ رآکتور و ایمنی هسته‌ای، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

چکیده

اتاق کنترل یکی از بخش‌های نیروگاه هسته‌ای می‌باشد که اغلب با ریسک بالای آتش در ارزیابی‌های ریسک آتش شناخته می‌شود. با توجه به اهمیت مسئلهٔ آتش‌سوزی در اتاق کنترل اصلی نیروگاه اتمی بوشهر در این مقاله با استفاده از کد CFAST که از ابزارهای آنالیز ایمنی با روش‌های قطعیتی حوادث به شمار می‌رود، حریق در بُرد اصلی اتاق کنترل واحد یکم نیروگاه بوشهر شبیه سازی شده و نتایج حاصل ارزیابی شد. داده‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی با کد CFAST از گزارش‌های تحلیل ایمنی و مدارک بهره‌برداری واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر و گزارش NUREG6850 استخراج شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین درجه حرارت ثبت شده، در بخش بالایی کابینت ایستاده حدود ۱۰۱۳ درجه بوده که حاصل از شعله‌های آتش و همچنین انتقال حرارت از طریق دود بوده است. بالاترین درجه حرارت ثبت شدهٔ دیگر مربوط به دیوارهٔ پایینی کابینت ایستاده بود که حدود ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد محاسبه شد؛ این مقدار دما حاصل از حریق بر اثر شعله‌های آتش و حریق بر اثر انتقال حرارت تابشی بود. لازم به ذکر است سیستم تهویهٔ اول حدود ۳۵۰ ثانیه و سیستم تهویهٔ دوم حدود ۸۶۰ ثانیه پس از آغاز حریق تغییر حالت داده و مسدود شدند.

واژه های کلیدی: آتش سوزی، اتاق کنترل اصلی، واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر، آنالیز ایمنی یقینی، کد CFAST.

۱- مقدمه

از حوادث وخیم در نیروگاه‌های هسته‌ای می‌توان به حادثهٔ آتش‌سوزی اشاره نمود. آتش‌سوزی در اتاق کنترل یک نیروگاه هسته‌ای می‌تواند موجب آسیب به ابزارها و مدارهای کنترل‌کنندهٔ راکتور شده و می‌تواند آن را از کنترل خارج نماید. با توجه به اهمیت مسئلهٔ آتش‌سوزی در اتاق کنترل اصلی واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر با استفاده از کد CFAST، یکی از ابزارهای آنالیز ایمنی با روش‌های قطعیتی حوادث، حریق در بُرد اصلی اتاق کنترل نیروگاه اتمی بوشهر شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل ارزیابی گردید. داده‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی با کد CFAST (Walter W.Jones.et.al.,2008) از گزارش‌های تحلیل ایمنی و مدارک بهره‌برداری نیروگاه اتمی بوشهر (FSAR of BNPP-1,2003) و گزارش NUREG6850 (EPRI/NRC-RES,1989) استخراج شده است. صفایی عرشی و همکاران طی مقاله ای در مجلهٔ Reliability Engineering and System Safety، با کوپل کردن کد یقینی CFAST و کد احتمالاتی SAPHIRE به ارزیابی ایمنی ساختمان راکتور در برابر خطرات بالقوهٔ آتش پرداخته‌اند. (Safaei Arshi, S.et.al.,2010)

* Corresponding Author E-mail: Ssmojab@gmail.com

مک گراتان و همکاران طی مقاله‌ای در مجلهٔ Fire Technology، مدل‌های به‌کاربرده‌شده برای ایمنی آتش‌سوزی نیروگاه هسته‌ای را اعتبارسنجی کرده‌اند. (Kevin McGrattan.et.al.,2016)

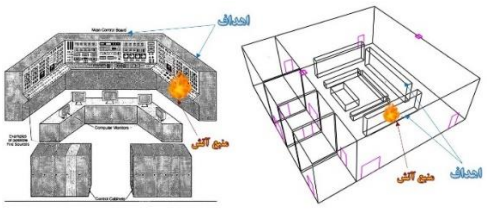
حسنیان و همکاران طی مقاله‌ای در هفدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران با کمک کد قطعیتی CFAST، به ارزیابی حادثهٔ آتش‌سوزی در اتاق‌پمپ نیروگاه هسته‌ای پرداخته‌اند. درویش و همکاران طی مقاله‌ای در فصل‌نامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، مدل‌های آتش‌سوزی با رویکرد ایمنی را برای نیروگاه‌های هسته‌ای کشور امکان‌سنجی کرده‌اند. گالوچی و همکاران طی مقاله‌ای در مجلهٔ Fire Technology، به بررسی خصوصیات آماری نرخ انتشار حرارت ناشی از آتش در محفظه‌های برق برای نیروگاه‌های هسته‌ای پرداخته‌اند. (V. Gallucci.et.al.,2016)

یویو و همکاران ریسک آتش‌سوزی را بر اساس مدلی یک‌بعدی در نیروگاه هسته‌ای ارزیابی و آنالیز کردند و در مقالهٔ Annals of Nuclear Energy منتشر کردند. (Yu Yu.et.al.,2016)

در این تحقیق با مدل‌سازی آتش در اتاق کنترل اصلی نتایجی حاصل شد که آنالیز شده و مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج عبارت‌اند از: زمان فعال‌شدن سیستم اطفای حریق، زمان مسدود شدن سیستم‌های تهویه، دمای لایه‌های بالایی و پایینی، دمای دیوارها و کف و سقف اتاق کنترل، دمای کابینت‌های هدف، مقدار پیرولیز تولیدی حاصل از آتش و مقدار اکسیژن مصرف شده.

۲- روش انجام تحقیق

شبیه‌سازی آتش‌سوزی در اتاق کنترل با کد مدل-سازی تلفیقی انتقال آتش و دود (CFAST) صورت گرفته است که در آن از روش‌های قطعیتی برای آنالیز ایمنی استفاده می‌شود. مدل‌سازی در کد CFAST به این صورت است که محیط اتاق کنترل را به دو لایهٔ فرضی بالایی و پایینی تقسیم شده و اطلاعات ترمودینامیکی در هر دو لایه محاسبه می‌شود. شایان ذکر است در این بررسی برای مدل‌سازی آتش‌سوزی در اتاق کنترل اصلی دو سناریو تعریف شد. در سناریوی اول، هدف درون منبع آتش و در سناریوی دوم، هدف بیرون از منطقهٔ تابشی آتش در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی، داده‌هایی می‌باشد که وضعیت دو هدف در مواجهه با آتش بررسی می‌شود. این اهداف در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر اهداف مورد مطالعه و منبع آتش در اتاق کنترل اصلی

برای مدل‌سازی آتش در اتاق کنترل اصلی براساس گزارش‌های تحلیل ایمنی واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر (FSAR of BNPP-1,2003) داده‌هایی به‌عنوان اطلاعات ورودی به کد CFAST داده شد. این اطلاعات شامل ابعاد محفظه (اتاق کنترل اصلی)، جنس دیواره‌های اتاق کنترل، مقدار اولیهٔ دما و فشار درون و بیرون از کمپارتمنت، مشخصات و موقعیت اشتعال، جنس کابینت‌ها، موقعیت درها و سیستم‌های تهویه و سیستم‌های تشخیص و اطفای حریق، موقعیت اهداف و مشخصات فنی سیستم‌های تشخیص و اطفای حریق است. این اطلاعات در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: داده‌های ورودی مورد نیاز کد *CFAST*

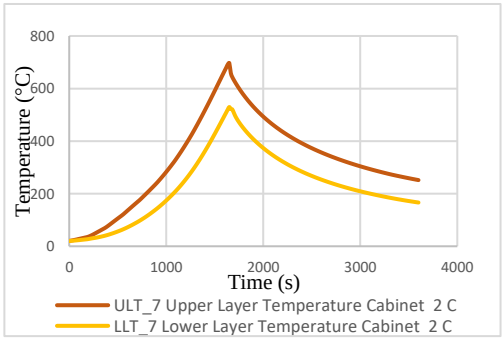
(FSAR of BNPP-1,2003)

عنوان داده	مقدار داده
شرایط اولیهٔ محفظه (درون اتاق کنترل)	دمای محیط: ۲۵°C فشار: یک اتمسفر
مشخصات محفظه	۵.۲ × ۱۸.۴۵ × ۱۸.۵ متر جنس دیواره‌ها و سقف و کف:

	بتن
مشخصات چشمه آتش	۱۳.۹۷ × ۱۱.۲۷۵ قدرت حرارتی: ۵۰.۰۰۰ $\frac{kj}{kg}$
مشخصات سیستم آبپاش	۱۳.۷۵ × ۱۸.۴۵ × ۵.۲ دمای فعال‌سازی: ۵۷°C

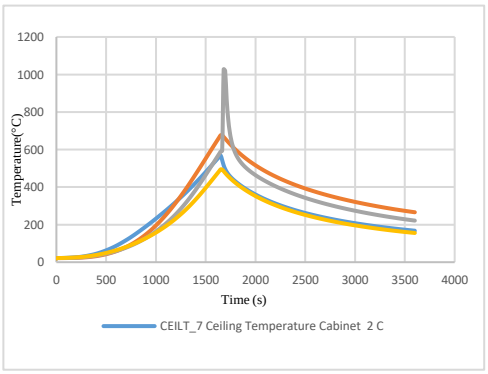
۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در شکل‌های ۲ تا ۶ ارائه شده است. در شکل ۲ دمای لایه بالایی و لایه پایینی هدف اول در مواجهه با آتش ارائه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



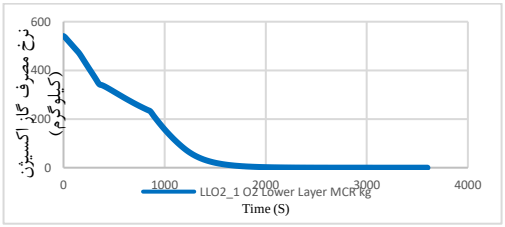
شکل ۲: مقایسه میان دمای لایه بالایی و پایینی هدف اول (کابینت ایستاده)

در شکل ۳ مقایسه‌ای میان دمای کف، سقف، بالای دیواره و پایین دیوارهٔ هدف اول در مواجه با آتش صورت گرفته است.



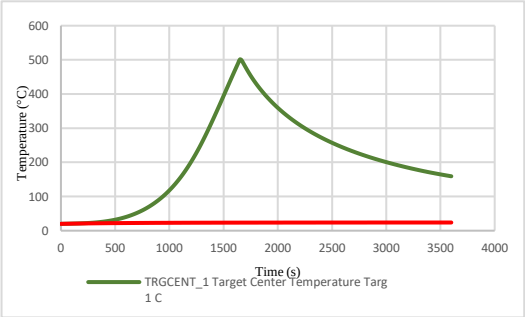
شکل ۳: مقایسه میان دمای کف، سقف، بالای دیواره و پایین دیوارهٔ هدف اول (کابینت ایستاده)

در شکل ۴ نرخ مصرف گاز اکسیژن در لایهٔ پایینی اتاق کنترل اصلی ارائه شده است.



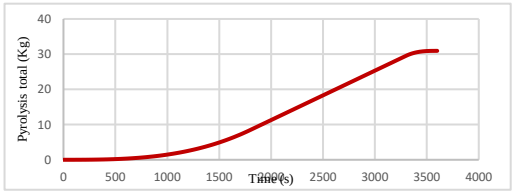
شکل ۴: نرخ مصرفی گاز اکسیژن در لایهٔ پایینی اتاق کنترل اصلی

در شکل ۵ دما در مرکز هدف اول (کابینت ایستاده) و مرکز هدف دوم (کابینتی خارج از منطقهٔ تابشی آتش) ارائه شده است.



شکل ۵: مقایسه میان دمای مرکز هدف اول (سبز رنگ) و دمای مرکز هدف دوم (قرمز رنگ)

در شکل ۶ نمودار تغییرات پیرولیز تولید شده کل در اثر آتش‌سوزی ارائه گردیده است.



شکل ۶: مقدار مجموع پیرولیز تولید شده در اثر حریق

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق رفتار دو هدف در اتاق کنترل اصلی واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر در مواجهه با آتش بررسی شد. هدف اول در مرکز آتش واقع و هدف دوم خارج از منطقه تابش حرارتی آتش در نظر گرفته شد. با توجه به ویژگی‌های سیستم اطفای حریق، سیستم‌های تهویه و ویژگی‌های اتاق کنترل نیروگاه اتمی بوشهر و همچنین نرخ انتشار حرارت و رفتار آتش، گازپاش ۲۱ ثانیه پس از شروع آتش فعال گردید. سیستم تهویهٔ اول حدود ۳۵۰ ثانیه و سیستم تهویهٔ دوم حدود ۸۶۰ ثانیه پس از آغاز

حریق تغییر حالت داده و مسدود شدند. بیشترین درجه حرارت ثبت شده، در بخش بالایی کابینت ایستاده حدود ۱۰۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد که حاصل از شعله‌های آتش و همچنین انتقال حرارت از طریق دود بوده است. بالاترین درجه حرارت ثبت شدهٔ دیگر مربوط به دیوارهٔ پایینی کابینت ایستاده بود که حدود ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد؛ این مقدار دما حاصل از حریق بر اثر شعله‌های آتش و حریق بر اثر تابش هدایتی بود (شکل۳). نتایج نشان دادند تغییرات دمایی در هدف دوم محسوس نبوده و مقادیر فقط در ارتباط با تغییرات دمایی هدف اول مقایسه شده است. قابل ذکر است که طبق نمودار شکل ۴ می‌توان به اهمیت وجود اکسیژن اشاره و خاطر نشان نمود که بسته شدن سیستم‌های تهویه نقش به‌سزایی در خاموشی آتش و ایمنی نیروگاه دارند.

مراجع

[1] Walter W. Jones, Pual A.Reneke, Glenn P. Forney Richard D. Peacock. (2008). CFAST (Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (user guide)). version 6. Normal Institute of Standard and Technology.

[2] FSAR of BNPP-1. (2003). Final Safety Analysis Report of Bushehr Nuclear Power Plant, Ministry of Russian Federation of Atomic Energy (Atomenergoproekt), Moscow.

[3] EPRI/NRC-RES. (1989). Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities, Final Report, (NUREG/CR-6850, EPRI 1011989).

[4] Safaei Arshi, S., Sepanloo, K., Nematollahi, M. (2010). Coupling CFAST fire modeling and SAPHIRE probabilistic assessment software for internal fire safety evaluation of a typical TRIGA research reactor. *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, 95, 166–172.

[5] Kevin McGrattan, Richard Peacock and Kristopher Overholt. Validation of Fire Models Applied to Nuclear Power Plant Safety. *Fire Technology*, 52, pp 5–24, 2016.

[8] Raymond H. V. Gallucci, Brian Metzger. Statistical Characterization of Heat Release Rates from Electrical Enclosure Fires for Nuclear Power Plant Applications. *Fire Technology*, 53, pp 1–23, 2016.

[9] Yu Yu, Nan Ma, Yuan Peng, Xuefeng Lv, Fenglei Niu, Xiaochao Du. Fire risk analysis based on one-dimensional model in nuclear power plant. *Annals of Nuclear Energy*, 94, pp 409–414, 2016.

Nuclear Technology and Energy

Journal home page: http://Nucte.sbu.ac.ir

Nuclear Technology and Energy, Vol. 1, No. 4, Winter 2023, 10-14

Fire simulation in the control room of Bushehr nuclear power plant by CFAST software

[a]Sahar Mojab, [a]Gholamreza Jahanfarnia, [b]Ehsan Zarifi, [a]Masoud Mansouri
[a]Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran
[b]Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

Received: 08 - 05 - 2021
Accepted: 05 - 09 - 2021

Abstract

The main control room (MCR) of a nuclear power plant (NPP) is often identified as a part of the high fire risk in fire risk assessments. Due to the importance of fire in the main control room of Bushehr Nuclear Power Plant-Unit 1 (BNPP-1), in this study, by using the CFAST code which is one of the deterministic safety analysis code, the fire in the main board of BNPP-1 is simulated and the results are evaluated. Required data has been extracted from safety analysis reports, and operating documents of BNPP-1 and NUREG6850 report to simulate fire. The highest recorded temperature was measured in the upper layer of the standing cabinet, about 1013 C, which was because of flames and heat transfer through the smoke (convection). Another highest recorded temperature was at the lower wall of the standing cabinet, measured about 700 C; this temperature was due to flames of fire and also because of radiation heat transfer. The first ventilation system was blocked in 350 seconds after the start of the fire, and the second ventilation system was blocked in 860 seconds after the start of the fire.

Keywords: Fire, Main control room, BNPP-1, Deterministic Safety Assessment, CFAST code, DSA