

بررسی حادثه آتش سوزی در اطاق پمپ نیروگاه هسته ای به کمک کد CFAST

امیر حسینیان، محمد باقر غفرانی*، فرامرزیوسف پور، کاوه کریمی

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته ای

چکیده

با توجه به اینکه حادثه آتش سوزی در نیروگاه های هسته ای می تواند به سیستم های ایمنی و همچنین کابل های مرتبط به آن آسیب برساند، بنابراین بررسی و تحلیل این حادثه به کمک کدهای شبیه سازی آتش از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. امروزه با استفاده از این کدها، تجهیزات و کابلهایی را که در اثر حادثه آتش سوزی آسیب خواهند دید شناسایی می کنند تا اقدامات پیشگیرانه در مورد آنها انجام شود. در این مقاله حادثه آتش سوزی در اطاق پمپ^۱ نیروگاه هسته ای به کمک کد CFAST^۲ شبیه سازی شده و سپس اثرات ناشی از این حادثه روی کابلهای درون اطاق بررسی می شود. همچنین زمان فعال شدن سیستم های آبیاش^۳ و آژیر دود^۴ برای دو حالت باز و بسته بودن کامل در اطاق محاسبه می شود.

کلید واژه : حادثه آتش سوزی، کد CFAST، اطاق پمپ، سیستم آبیاش و آژیر دود.

مقدمه

در گذشته بدلیل عدم وجود کدهای شبیه سازی آتش و با توجه به نگرش محافظه کارانه برای ارزیابی احتمالاتی ایمنی، تمامی تجهیزات و کابلهایی را که در معرض آتش قرار می گرفتند آسیب دیده فرض می کردند[۱]. به عنوان مثال برای نیروگاه بوشهر نیز از هیچ کد شبیه سازی آتشی استفاده نشده است و محاسبات

¹ Pump room

² Consolidated model of Fire growth And Smoke Transport

³ Sprinkler system

⁴ Smoke alarm



شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران

۴ و ۵ اسفند ماه ۱۳۸۹
منطقه هسته ای اصفهان



شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران (فاتسا)

17th Iranian Nuclear Conference

ایمنی برای حادثه آتش سوزی با فرض آسیب دیدن کلیه تجهیزات و کابلهای در معرض آتش انجام شده است [۲]. اما امروزه با استفاده از کدهای کامپیوتری و تحلیل نتایج حاصل از آن، می توان مشخص کرد که کدام یک از تجهیزات و کابل ها در اثر حادثه آتش سوزی آسیب دیده اند. بنابراین با استفاده از این کدها تحلیل دقیقتری درباره عواقب حادثه آتش سوزی در قسمت های مختلف نیروگاه خواهیم داشت [۳]. در این مقاله از کد CFAST برای شبیه سازی آتش استفاده شده است که یک کد مدل ناحیه ای^۵ می باشد. در این کد اطاق مورد نظر به دو لایه بالا و پایین تقسیم شده و معادلات بقای انرژی، ناویر استوکس و... برای این دو لایه حل می شود و در خروجی کد نیز برای هر یک از این دو لایه دما، فشار و سایر پارامترها مشاهده خواهد شد. لازم به ذکر است که در این کد لایه بالایی متشکل از گازهای داغ حاصل از احتراق و لایه پایینی متشکل از هوای خنک می باشد.

از آنجایی که این مقاله نتایج بخشی از یک پروژه مطالعاتی در زمینه ارزیابی احتمالاتی ایمنی نیروگاههای PWR می باشد، بنابراین در اینجا فقط به بررسی اثر حادثه آتش سوزی بر روی تجهیزات و کابلها به کمک کد CFAST پرداخته و بخش ارزیابی احتمالاتی ایمنی در حادثه آتش سوزی متعاقبا^۱ انجام خواهد گرفت.

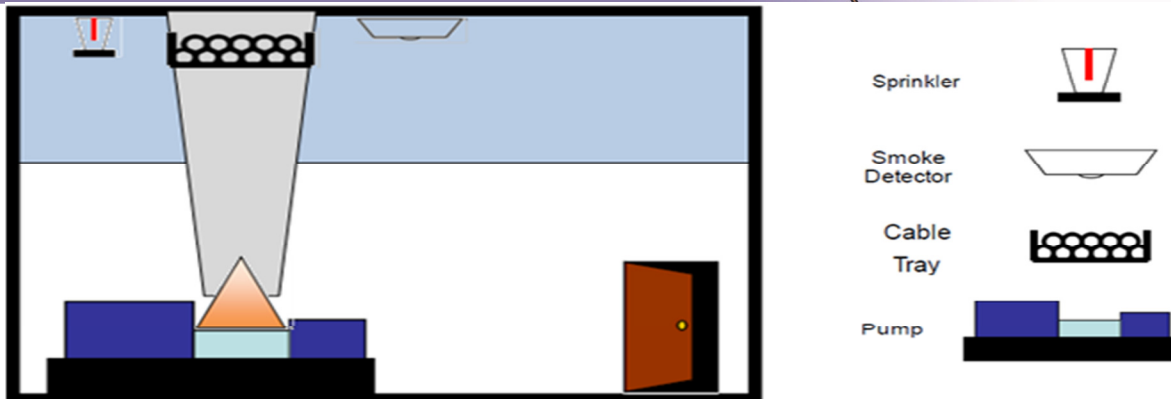
شبیه سازی آتش

در ابتدا باید یک سناریو برای حادثه آتش سوزی تعریف شود. در اینجا سناریو بدین صورت می باشد که روغن روانکاری پمپ به بیرون نشت پیدا کرده، بر روی کف اطاق پخش شده و در اثر تماس با سطح داغ شعله ور می شود. آتش سوزی صورت گرفته کل تجهیزات و کابل های درون اطاق پمپ را تهدید می کند [۴]. در این مقاله برای سادگی مساله فقط کابلی که در قسمت بالای اطاق قرار گرفته به عنوان هدف آتش در نظر گرفته می شود که با استفاده از کد CFAST، احتمال آسیب دیدن آن در حالت های مختلف بررسی می شود. و همچنین زمان فعال شدن سیستم های آژیر دود و آبیاش نیز محاسبه می شود (شکل ۱).

برای شبیه سازی حادثه آتش سوزی در کد CFAST ابتدا باید یک سری اطلاعات به عنوان ورودی به کد

داده

⁵Zone model



شکل (۱) - شمای کلی از حادثه آتش سوزی در اتاق پمپ

شود. که این اطلاعات شامل ابعاد اتاق، جنس دیوار، سقف و کف، شرایط اولیه دما و فشار، نوع و مقدار ماده قابل اشتعال و همچنین اطلاعاتی در مورد سیستم های تشخیص و اطفاء حریق از جمله سیستم آبیاش و آژیر دود و.. می باشند (جدول ۱) [۵].

شرایط اولیه	دما: 25°C ، فشار: 1 atm
مشخصات اتاق	ابعاد: $9.4 \times 5.8 \times 4.9$ ، جنس دیوار، سقف و کف: بتن
مشخصات در	ابعاد: 2.1×1.1 ، جنس: فولاد
مشخصات چشمه آتش	نوع: روغن روانکاری ، مقدار: 190 لیتر ، چگالی: $760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ، قدرت حرارتی: $46400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ، نرخ از دست رفتن سوخت: $0.039 \frac{\text{kg}}{\text{s.m}^2}$
مشخصات سیستم آژیر دود	مختصات: $2 \times 5.8 \times 4$ ، دمای تحریک: 50°C
مشخصات سیستم آبیاش	مختصات: $4 \times 2.9 \times 4.9$ ، دمای تحریک: 100°C
مشخصات کابل	مختصات: $4 \times 5.8 \times 4$ ، دمای بحرانی: 200°C ، جنس روکش: فولاد

جدول (۱) - اطلاعات ورودی مورد نیاز کد CFAST

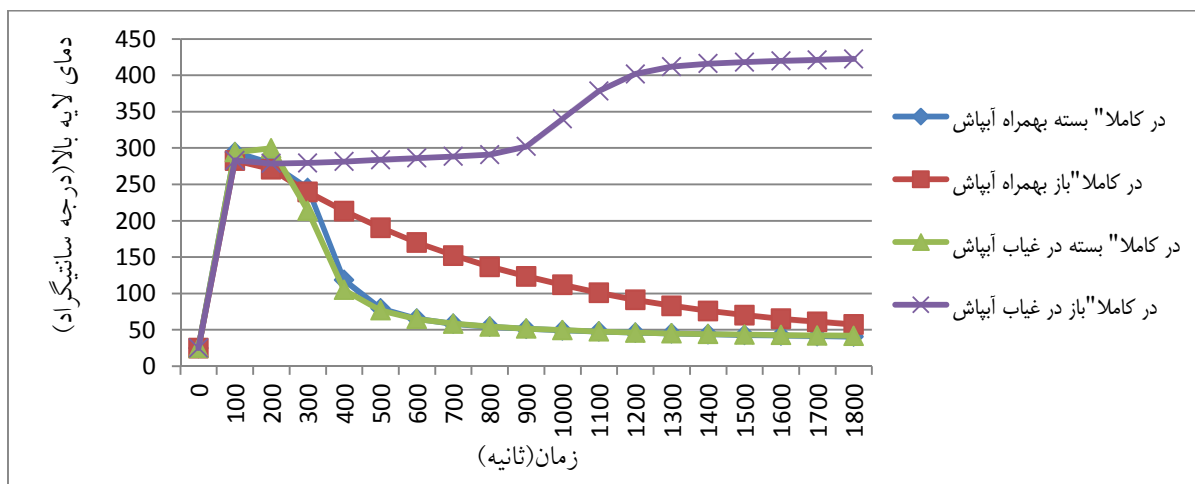
با توجه به اطلاعات ورودی که در جدول ۱ آورده شده است شبیه سازی را بکمک کد CFAST برای حالت های مختلف از جمله باز و بسته بودن کامل در و همچنین با وجود سیستم آبیاش و یا در نبود سیستم آبیاش انجام داده

و نتایج آنها را با هم مقایسه خواهیم کرد. لازم به ذکر است که منظور از حالتی که سیستم آبپاش نداریم این است که این سیستم در موقع حادثه آتش سوزی به هر دلیلی نتواند وظیفه خود را که پاشاندن آب است انجام دهد و یا اینکه این سیستم در اطاق پمپ تعبیه نشده است.

نتایج

پس از شبیه سازی آتش در اطاق پمپ توسط کد CFAST و بررسی نتایج حاصل از آن برای چهار حالت مختلف

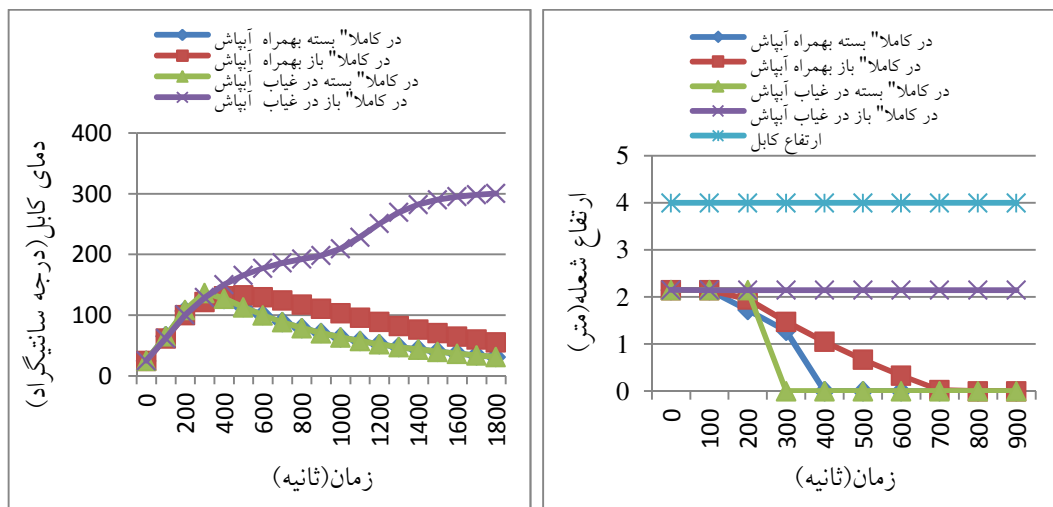
(در اطاق کاملاً بسته به همراه سیستم آبپاش، در اطاق کاملاً باز به همراه سیستم آبپاش، در اطاق کاملاً بسته در غیاب سیستم آبپاش و در اطاق کاملاً باز در غیاب سیستم آبپاش) نمودارهای پایین بدست می آیند که از روی آنها می توان فهمید بدترین حالت ممکن برای این حادثه حالتی است که سیستم آبپاش نداشته باشیم و در اطاق نیز کاملاً باز باشد. در صورتی که به نظر می رسد حالتی که در اطاق کاملاً بسته باشد و سیستم آبپاش نداشته باشیم بدترین حالت ممکن است. این وضعیت بدین دلیل است که در حالتی که در اطاق کاملاً بسته می باشد هرچند انتقال حرارت کمتری به بیرون صورت می گیرد ولی بدلیل اینکه در این حالت با کمبود اکسیژن مواجه می شویم بعد مدتی آتش کاهش یافته و خاموش خواهد شد ولی در حالتی که در کاملاً باز است هیچ وقت این مشکل پیش نمی آید [۶] (نمودار ۳) و تمام سوخت تا به پایان می سوزد و همانطور که از روی نمودار مشخص است دمای اطاق در این حالت به 422°C نیز خواهد رسید.



شکل (۲) - دمای لایه بالای اطاق پمپ برای چهار حالت مختلف

دو نکته مهم که از روی نمودارهای زیر می توان فهمید این است که اولاً "مقدار اکسیژن موجود در اطاق برای ادامه آتش سوزی بسیار مهم است و در صورتی که مثلاً" بدلیل بسته بودن در اکسیژن کم باشد، حجم آتش کاهش خواهد یافت و ثانیاً" وجود سیستم آبپاش برای اطفاء آتش بسیار مهم است زیرا همانطور که مشاهده می شود دمای اطاق پمپ با وجود سیستم آبپاش حداکثر به 300°C می رسد در صورتی که در غیاب آن به 422°C خواهد رسید.

همانطور که از نمودار ۲ نمایان است کابلی که بعنوان هدف در این اطاق معرفی شده در تماس مستقیم با آتش قرار نمی گیرد. ولی چون دمای حد آستانه آسیب دیدن این کابل 200°C می باشد مطابق نمودار ۲ فقط در حالت ۴ (در کاملاً" باز و در غیاب سیستم آبپاش) که دمای آن به 300°C رسیده است کابل آسیب خواهد دید و در بقیه حالاتها هیچ آسیب جدی به کابل نمی رسد.



شکل (۴) - دمای کابل برای چهار حالت مختلف

شکل (۳) - ارتفاع شعله برای چهار حالت مختلف

یکی دیگر از کاربردهای کد CFAST این است که می توان بکمک آن زمان فعال شدن سیستم های تشخیص و اطفاء آتش را بدست آورد که در جدول ۲ این مقادیر آورده شده است.

در کاملاً"باز در	در کاملاً"بسته در	در کاملاً"باز بهمراه	در کاملاً"بسته	حالت سیستم
غیاب سیستم آبپاش	غیاب سیستم آبپاش	سیستم آبپاش	بهمراه سیستم آبپاش	
۱۰ ثانیه	۱۰ ثانیه	۱۰ ثانیه	۱۰ ثانیه	سیستم آژیر دود
-	-	۱۷۰ ثانیه	۱۶۰ ثانیه	سیستم آبپاش

بحث و نتیجه گیری

با استفاده از کدهای شبیه سازی آتش مثل کد CFAST براحتی می توان کابلها و تجهیزاتی که در حادثه آتش سوزی آسیب می بینند را مشخص کرد و به عبارتی نقاط آسیب پذیر را شناسایی کرده ، تا اقدامات موثرتری برای کاهش آسیب دیدن این نقاط انجام داد. در مثال اطاق پمپ نیز براحتی مشاهده می شود که کابلی که به عنوان هدف مشخص شده است فقط در غیاب سیستم اسپری و باز بودن کامل در آسیب می بیند که می توان مثلاً" با تعبیه یک سیستم اسپری اضافی و یا با بالا بردن قابلیت اعتماد این سیستم احتمال آسیب دیدن کابل مورد نظر را کاهش داد که در نتیجه احتمال آسیب دیدن قلب راکتور نیز کاهش می یابد.

مراجع

- [1] Yoon-Hwan Lee, Jong-HoonKim, Joon-EonYang, Application of the CFAST zone model to the Fire PSA, Nuclear Engineering and Design, xxx, xxx-xxx , 2010.
- [2] Federal State Unitary Enterprise "Research, design and engineering survey institute "Atomenergoproekt", probabilistic safety assessment on the project of reconstruction and completion of unit 1 npp "bushehr" probabilistic safety assessment for fires, Russia Ministry of the Russian federation for atomic energy, Moscow, 220-248, 2004.
- [3] International Atomic Energy Agency, treatment of internal fires in probabilistic safety assessment for nuclear power plants, IAEA , Vienna, 30, 1998.
- [4] NUREG/CR-6850, EPRI/NRC-RES, Fire PRA methodology for nuclear power facilities volume 2: detailed methodology, USA, 625-638, 2005.
- [5] Richard D. Peacock, Walter W. Jones, Paul A. Reneke, Glenn P. Forney, CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User's Guide, National Institute of Standards and Technology, USA, 30-100, 2008.
- [6] Gopika Vinod, R.K. Saraf, A.K. Ghosh, H.S. Kushwaha, P.K. Sharma, Insights from fire PSA for enhancing NPP safety, Nuclear Engineering and Design, 238, 2359-2368 , 2008.