فرایند مدلسازی و مدلهای آنالیز آتش سوزی درنیروگاه های هسته ای آب سبک

کشاورز، امیرحسین [۱]

۱ -مدیرگروه اطفای حریق دانشگاه آتش نشانی شهرداری تهران،دانشجوی دکتری مهندسی انرژی هسته ای

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان –تهران – ایران

خلاصه:

درهنگام طراحی تا سیسات دریک نیروگاه هسته ای ، لازم است جوانب ایمنی ازنظرآتش سوزی وانفجاررعایت شده وبرای پیشگیری دراین امردر ساخت تا سیسات و ساختمانهای محل استقرارراکتور، تجهیزات ازمواد وابزارهای ضد حریق استفاده گردد.یکی ازد ستورالعملهای انجمن ملی حفاظت از حریق امریکا[۱](NFPA)که یکی ازکمیته های کمیسیون مقررات هسته ای امریکا[۲](NRC) و اداره مقررات راکتور هسته ای[۳] ،استاندارد عملکرد محور حفاظت ازآتش درنیروگاههای هسته ای می باشد. دراین مقاله به شیوه عملکرد محوربرای تخمین خطرآتش بااستفاده ازمدلهای حریق نیروگاهی پرداخته شده است. این مدلها و نتایج حاصل از آن، می توانند دستورالعمل مبنا، برای آشنایی بیشتر ونتیجتا ارزیابی احتمالاتی ایمنی حریق(FPRA)[۴] دقیقترفضای نیروگاه با شند، و بیشتر المانهای فنی مربوط به تحلیل مدل سازی آتش مانند انتخاب وتعریف سناریوهای آتش سوزی وتعیین واجرای مقادیر ورودی، تحلیل حساسیت، کمی سازی عدم قطعیت ومستند سازی رامورد بررسی قرار می دهد. . به صورت کلی، مدل های آتش میتوانند به سه گروه تقسیم شوند:مدل های جبری،مدل های منطقه ای ومدل های دینامیک سیال محاسباتی[۵]CFD بسته به کاربرد و پارامترهای مورد نظر می توان از مدلهای مختلف استفاده نمود.بهینه ترین مدل در نیروگاه های هسته ای مدل MAGIC است. فرایند عمومی مرحله به مرحله برای مدلسازی آتش در نیروگاه هسته ای از شش مرحله تشکیل میشود:۱-تعریف اهداف مدل سازی آتش۲-مشخص کردن سناریو های آتش۳-انتخاب مدل های آتش٤-محاسبه شرایط ایجاد آتش٥-اجرای تحلیل های حساسیت و عدم اطمینان٦-مستند سازی تحلیل.مدلها خط مشی را به کارشناسان ایمنی نیروگاه ارائه می دهد تا پارامترهای ضروری مدل سازی راتعریف کرده ومدل مناسب راانتخاب کنند وتنایج مدل سازی آتش رابه درستی تفسیرکرده وراهبردهای مناسب را بمنظور آمادگی لازم و شناخت هرچه بیشترو بهترقبلی برای مواجه احتمالی دراینگونه حوادث داشته باشند [7,8]

[1] National Fire Protection Association
[2] U.S. Nuclear Regulatory Commission
[3] Office of Nuclear Reactor Regulation
[4] Fire probabilistic risk assessment
[5] Computational Fluid Dynamics

کلمات کلیدی: نیروگاه هسته ای , مدلسازی حریق نیروگاهی, ایمنی هسته ای, مدلهای حریق, انرژی هسته ای

۱- مقدمه

نسخه اولیه استاندارد عملکرد محور[1](RI/PB)حفاظت از حریق در نیروگاههای با راکتور آب سبک با عنوان NFPA 805 در سال ۲۰۰۱ منتشر شده است.مدلهای پیشنهادی به عنوان مکمل مدلسازی حریق ، کتاب دینامیک حریق (FDT)[2] ، ارجاعات فنی، آموزش و مهارت افزایی،به کار می رود. [8]در نظریه مدلسازی آتش توسعه آتش در اتاقک ها اغلب به فازهایی تقسیم میشود که بستگی به فرایندهای غالب در هر مرحله توسعه دارد. احتراق توسط مشخصات سوخت (برای مثال دمای احتراق، هندسه، جهت، و ویژگی های ترموفیزیکی) و قدرت منبع احتراق تعیین میشود. هنگامی که شعله روی یک ماده وجود دارد، و ستون دود توسعه می یابد؛ انتقال دوده و گرما به صورت عمودی در نتیجه نیروی بالابر دود حرکت میکند.ستون دود هنگام بالا رفتن هوا را به دنبال میکشد و به این وسیله سبب میشود دود خنک شده و رقیق گردد؛ در نتیجه، مقدار دود منتقل شده، با افزایش ارتفاع، بیشتر میشود. پس از اینکه ستون دود به سقف برخوردکرد، به صورت افقی در زیر سقف در لایه ای نسبتا نازک حرکت میکند، که به اصطلاح جت سقف(حرکت افقی دود) گفته میشود.

هنگامی که جت سقف حرکت میکند، با افزایش فاصله از نقطه برخورد ستون دود، دود خنک میشود، که تا حدی به دلیل به دنبال کشیدن هوا واتلاف گرما به طرفین حرکت میکند. در وضعیت ایده آل، هنگامی که جت سقف به دیوارهای پیرامون میرسد، یک لایه گاز داغ[3](HGL) شکل میگیرد. در نتیجه تامین پیوسته توده دود و گرما از طریق ابر دود و HGL عمیقترشده، دمای آن افزایش می یابد. ویژگی های دیگر دود در HGL نیز افزایش می یابد (شامل غلظت گونه های گاز و ریز ذرات جامد). [8] چند وجه از رفتار آتش میتواند هنگام کار با مدل ها مورد توجه قرار گیرد، که بستگی به هدف کاربرد مدل سازی دارد.وجود رفتار آتش که میتواند در چنین تحلیل هایی مورد توجه باشد شامل: میزان تولید دود ، میزان پر شدن دود ،ویژگی های جت سقف،ویژگی های لایه گاز داغ(HGL) و واکنش مواد هدف به شار گرمایی واقع شده از طریق تابش گرمایی یا همرفت (جابه جایی) است.المان های مدل سازی آتش به صورت موردی برای

[1] Risk-Informed, Performance-Based
[2] Fire Dynamics Tools
3- Hot Gas Layer

یک نیروگاه قدرت هسته ای ارائه می شود. مهمترین المان های مدل سازی حریق شامل: .نرخ آزاد سازی گرما[1] ، پیکربندی نیروگاه ،پارامترهای تهویه ،جسم یا وسیله هدف ونرخ اشتعال است. [8،7].مدلهایی برای شبیه سازی آتش در دسترس است. این مدل ها از مدل های جبری تا کدهای کامپیوتری دینامیک سیال محاسباتی پیچیده (CFD) است که نیاز به چندین روز برای راه اندازی سناریو و اجرای محاسبات همراه آن دارد. با توجه به دسترسی پذیری مدل های مختلف، تحلیل گر، مسئول منافع و محدودیت های یک مدل ویژه در یک شرایط ویژه برای دستیابی به اهداف مطرح شده درآن میباشد. به صورت کلی، مدل های آتش میتوانند به سه گروه تقسیم شوند:

۱- مدل های جبری
۲- مدل های منطقه ای
۳- مدل های CFD.

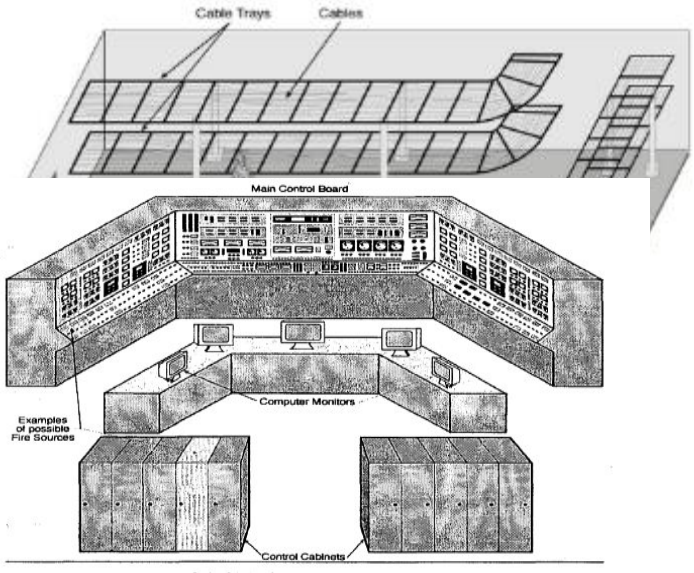
سطح تلاش مورد نیاز برای توضیح سناریو و زمان محاسباتی صرف شده در هر گروه، با توجه به ترتیب ذکر شده، افزایش می یابد. در کاربردهای مدل سازی آتش ، احتمال دارد ترکیبی از هر سه گروه مدل ها برای تحلیل یک مسئله ویژه، مفید باشد. برای مثال مدل های جبری میتوانند برای تخمین شار تابشی به هدف در تعیین یک منطقه، تاثیرآن یا حداقل فاصله جدا سازی، استفاده شود. گام نخست در انتخاب مدل تعیین این مسئله است که آیا سناریو میتواند با استفاده از مدل های جبری، مدل های منطقه یا مدل های CFD تحلیل شود یا خیر. مدلهای FDT, FIVE-REV1[2][3] مجموعه مدل های جبری نسبتا ساده ای هستند که به شکل الکترونیکی کد بندی میشوند(برنامه اکسل). CFAST[4] و MAGIC، ازگروه مدل های آتش که معمولا مدل های منطقه ای نامیده میشوند که به اتاقکها مورد توجه در دو منطقه، افزایش دمای لایه بالایی و لایه پایین تر خنک تقسیم میشود. FDS[5]، مثالی از مدل CFD است، که هر اتاقک را به هزاران یا میلیون ها سلول تقسیم میکند. که دماها و دیگر مقادیر مورد توجه برای هر سلول محاسبه میشود.

۱-۱.پیکربندی نیروگاه

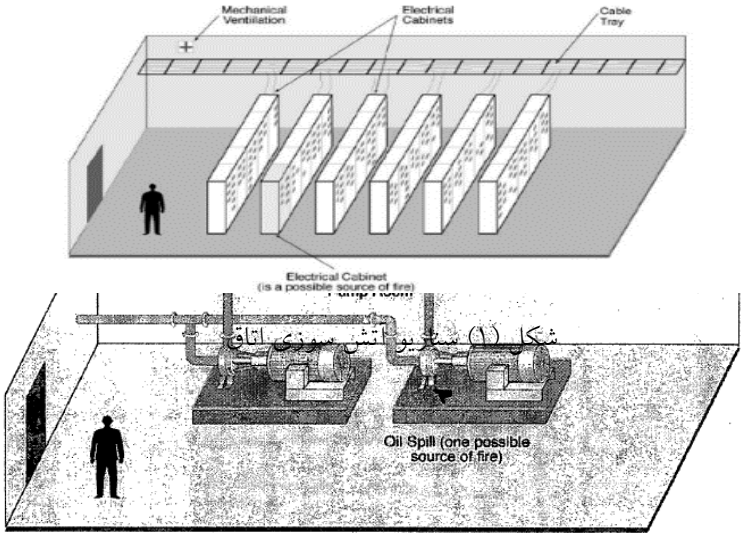
[1] Heat Release Rate
[2] Fire Dynamics Tools
[3] Fire-Induced Vulnerability Evaluation, Revision 1
[4] Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model
[5] Fire Dynamics Simulator

پیکربندی نیروگاه به طرح هندسی و ساختمان کل فضا اشاره دارد. هندسه اتاقک به طرح فیزیکی حجمی اشاره دارد که آتش در آن فرض می شود. طول، عرض و ارتفاع اتاقک، ورودی های مورد نیاز مدل هستند. سایز اتاقک، فاکتور مهمی در حجم است که برای حل معادلات اساسی استفاده میشود. [8] انواع فضا ها در نیروگاه در زیر بیان می شوند.

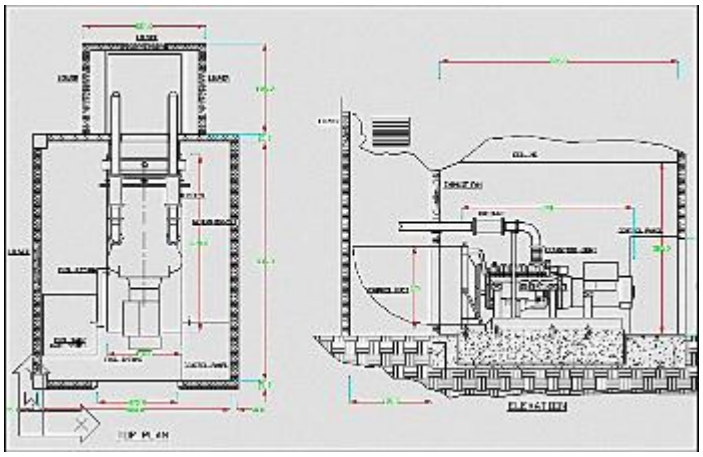
۱. سوییچ کلید Switch gear Room
۲. اتاقک توزیع کابل Cable Spreading Room
۳. اتاق کنترل اصلی Main Control Room
٤. اتاق پمپ Pump Room
۵. ساختمان توربین Turbine Building
٦. راهرو چندکابینه Multi-Compartment Corridor
۷. ساختمان چند سطحی Multi-Level Building
۸. اتاق باطری Battery Room
۹. اتاق دیزل ژنراتور Diesel Generator Room
۱۰. اتاق کامپیوتر یا رله Computer or Relay Room
۱۱. ساختمان محفظه ایمنی (containment building (PWR))



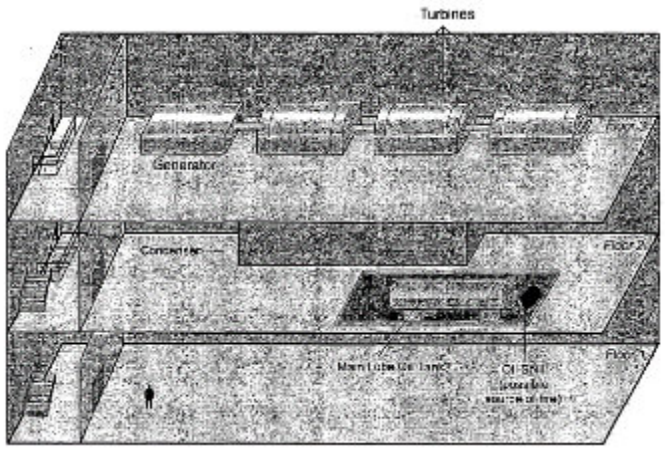
شکل(۳) سناریو آتش سوزی اتاق کنترل



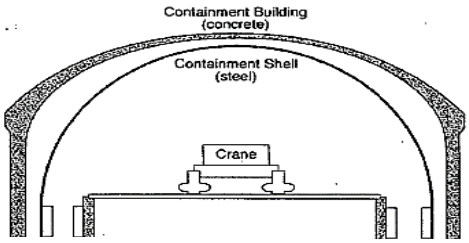
شکل(٤) سناریو آتش سوزی اتاق

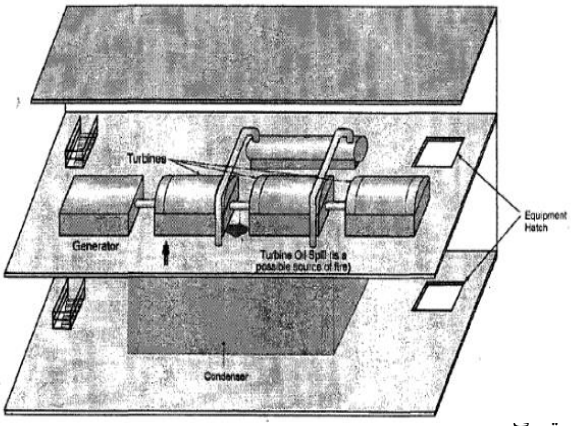


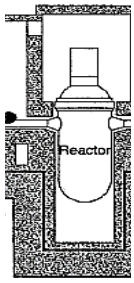
شکل(۸) سناریو آتش اتاق دیزل ژنراتور

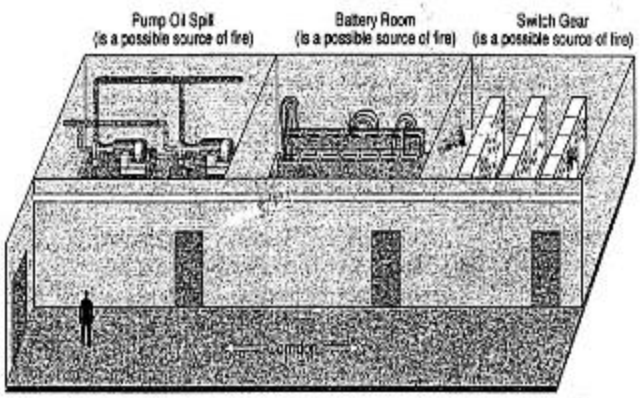


شکل(۷) سناریو آتش سوزی ساختمان طبقاتی









شکل(٦) سناریو آتش سوزی راهرو کوریدور

شکل(۵) سناریو آتش

۱-۲.تاثیر تهویه برحریق در نیروگاه های هسته ای

تاثیرات تهویه شامل تهویه طبیعی[1] از طریق ورودی های عمودی یا افقی، تاثیرات مسیر نشت، و یا تاثیرات تهویه مکانیکی است. ورودی های عمودی در بیشتر مواقع به درها گفته میشود، اگرچه میتواند از ورودی های دیگر در دیوارها، مانند پنجره ها نیز تشکیل شود.[7,8,9] 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 بعضی کاربردها، سرعت جریان هوا نیز اهمیت خواهد داشت. [7,8]

۱-۲-۱.تهویه طبیعی (پرشدگی دود):

یامانا و تاناکا (1985) رابطه تجربی زیر را برای ارتفاع رابط لایه دود، Z،از نظر زمان، مانند زیر شرح داده اند :

$$Z = \left(\frac{2k\dot{Q}^{\frac{1}{3}}t}{3A_C} + \frac{1}{h_c^{\frac{2}{3}}} \right)^{-\frac{3}{2}} \quad (۱)$$

$$K = \frac{0.21}{\rho_g}\left(\frac{\rho_a^2 g}{C_P T_a}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (۲)$$

$$K = \frac{0.076}{\rho_g} \quad (۳)$$

$$\rho_g = \frac{353}{T_g} \quad (٤)$$

Z = ارتفاع (متر) از رابط لایه دود که بالاتر از کف

T = زمان بعد از احتراق (ثانیه)

A_c= مساحت کف محفظه (مترمربع)

h_c = ارتفاع محفظه (متر)

$\dot{Q}$= سرعت انتشار حرارت آتش (کیلو وات)

و K = عدد ثابت ارائه شده از طریق معادله زیر:

ρ_g =چگالی گاز داغ km/m^3

ρ_a = چگالی محیط ۱,۲۰ kg/m^3

g= شتاب گرانش = ۹,۸۱ m/sec^2

C_p = گرمای ویژه هوا = ۱,۰ KJ/Kg-K

T_a= دمای هوا محیط = ۲۹۸°K

T_g = دمای لایه گاز داغ (K)

۱-۲-۱.تهویه طبیعی (محفظه بسته):

[1] Natural circularion

بیلر در سال ۱۹۹۱ ، همچنین والتون و توماس در سال ۲۰۰۲ به توسعه یک رابطه بر اساس تعادل انرژی ناپایدار در محفظه بسته پرداختند.بر اساس ارتباط تعادل انرژی درمحفظه بسته، با این فرض که محفظه نشت کافی برای جلوگیری از ایجاد فشاررا داشته باشد.برای HRR (نرخ حرارت آزاد) ثابت ، افزایش درجه حرارت لایه داغ محفظه گاز GAA، ΔT_g بالاتر از محیط است که در معادله ی زیر نشان داده شده است: [7,8,11]

$$\Delta T_g = T_g - T_a = \frac{2K_2}{K_1^2}\left(K_1\sqrt{t} - 1 + e^{-K/\sqrt{t}}\right) \qquad (۵)$$

$$K_1 = \frac{2\left(0.4\sqrt{k\rho c}\right)}{mC_p} \qquad (۶)$$

$$K_2 = \frac{\dot{Q}}{mC_P} \qquad (۷)$$

ΔT_g=لایه فوقانی گاز افزایش درجه حرارت بالاتر از محیط ($T_g - T_a$) (درجه کلوین)

K= هدایت حرارتی از پوشش داخلی (کیلو وات / MK)

ρ = چگالی پوشش داخلی (کیلوگرم / متر)

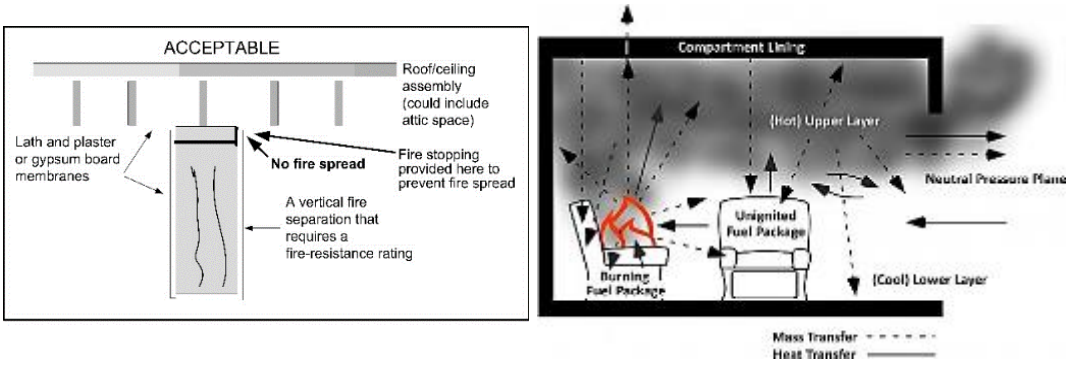
C = ظرفیت حرارتی پوشش داخلی (کیلوژول / K-KG)

$\dot{Q}$= سرعت انتشار حرارت (کیلو وات)

m = جرم گاز در محفظه (کیلوگرم)

C_p = گرمای ویژه هوا (کیلوژول / کیلوگرم-کلوین)

T=زمان (ثانیه)



شکل (۱۰) ساختار گسترش لایه سرد و لایه داغ

۳-۲-۱. تهویه اجباری:

فوت، پاگنی، و آلوارس (FPA)در سال ۱۹۸۵ و والتون و توماس،در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۰۲) روش دیگری بر اساس درجه حرارت از یک سری از آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور (LLNL) به دست آمد رابطه ی درجه حرارت همبستگی به شرح زیر است: [7,8,11]

ΔT_g = لایه فوقانی گاز افزایش درجه حرارت بالاتر از محیط ($T_g - T_a$) (کلوین)

T = دمای هوای محیط (K)

رابطه فوق برای آتش سوزی تهویه اجباری می تواند برای مصالح ساختمانی مختلف استفاده می شود

T با جمع مقادیر مختلف دیوار، سقف، و عناصر طبقه.

$$\frac{\Delta T_g}{T_a} = 0.63 \left(\frac{\dot{Q}}{\dot{m} T_a C_P}\right)^{0.72} \left(\frac{h_k A_T}{\dot{m} C_P}\right)^{-0.36} \qquad (۸)$$

$\dot{m}$ = نرخ جرم جریان تهویه محفظه (کیلوگرم / ثانیه)

C_p = گرمای خاص از هوا (کیلوژول / کیلوگرم-K)

h = ضریب انتقال حرارت (کیلو وات / مترمربع-K)

A_t = مساحت کل سطوح محفظه (مترمربع)

$\dot{Q}$ = درجه HRR حریق (کیلو وات)

A_T با جمع مقادیر مختلف دیوار، سقف، و عناصر طبقه.

٤-۲-۱. تهویه اجباری:

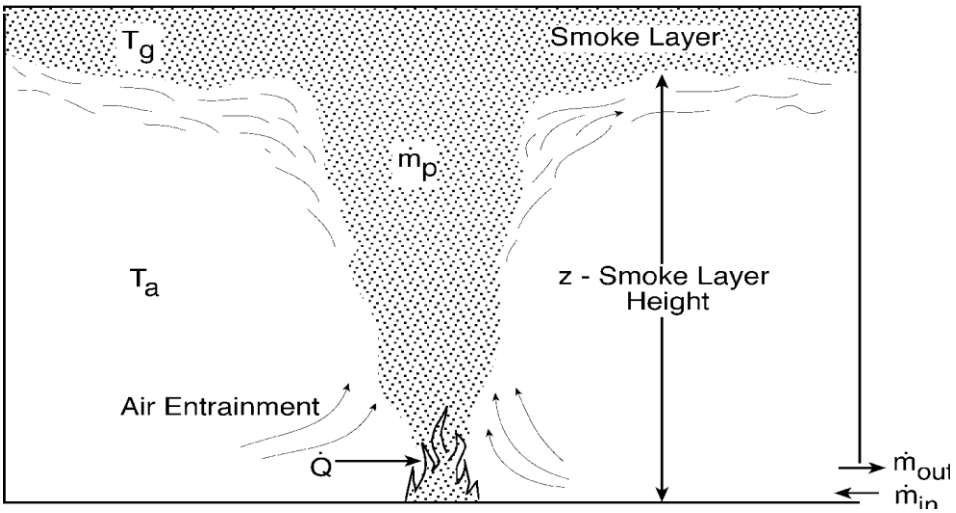
مدل یک معادله ساده انرژی شبه پایدار و از د ست دادن حرارت ا ست .مدل فقط تا ۲۰۰۰ ثانیه معتبر ا ست. محفظه تقریبی گرم با افزایش دما لایه گازشکل میگیرد. [7,8,11]

$$\Delta T_g = T_g - T_a = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} C_P + h_K A_T} \qquad (۸)$$

$$h_K = 0.4\, max\left(\sqrt{\frac{k\rho c}{t}}\,, \frac{k}{\delta}\right) \qquad (۹)$$

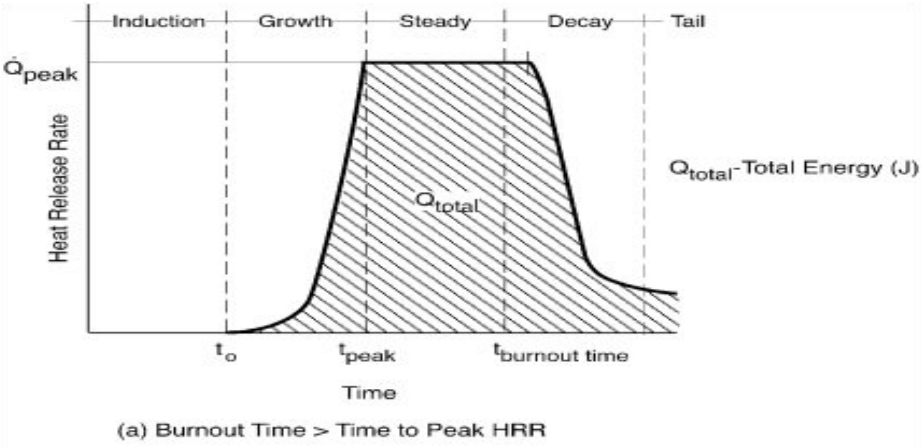
۳-۱. برآورد ارتفاع لایه دود در سلولهای مختلف نیروگاه

مدلهای موجود در مجموعه‌های (کتابخانه‌های) FDT،Revl – FIVE ، ارتفاع شعله را با استفاده از یک همبستگی نیمه تجربی با فرم بسته پیش بینی می‌کنند. مدلهای MAGICو Revl – FIVEهمچنین ارتفاع شعله را به شیوه مشابهی پیش بینی می‌نمایند. مدل احتراق FDSدارای قابلیت محاسبه ارتفاع شعله می‌باشد. [13,7,8,]



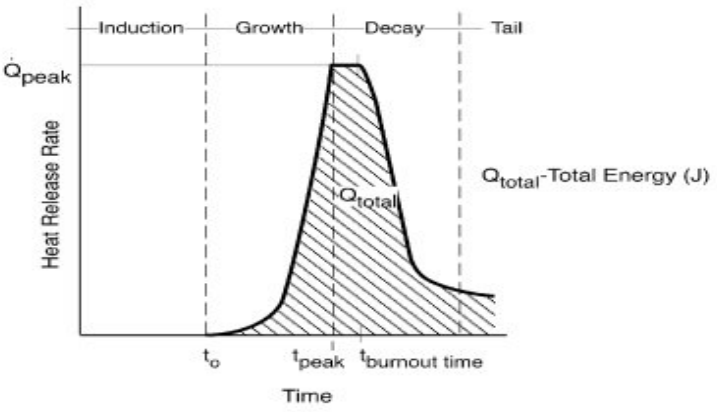
شکل(۱۱) ارتفاع و دبی جرمی دود در محفظه آتش

موادی که قبل از آن که سطح سوخت به طور کامل درگیر شود (اوج HRR) شروع به سوختن نمی کنند دوره سوختن نسبتا پایداری را نشان می دهند. موادی که قبل از رسیدن به اوج HRR شروع به سوختن می کنند توسط منحنی های انتشار حرارتی با قله های متمایز توصیف می شوند . [9]



(a) Burnout Time > Time to Peak HRR

شکل (۱۲)موادی که قبل از آن که سطح سوخت به طور کامل درگیر شود (اوج HRR) شروع به سوختن نمی کنند دوره سوختن نسبتا پایداری را نشان می دهند



(b) Burnout Time < Time to Peak HRR

شکل (۱۳) موادی که قبل از رسیدن به اوج HRR شروع به سوختن می کنند دارای منحنی های انتشار حرارتی با قله های متمایز هستند.

مدلهای MAGIC و FIVE –Rev دمای جت سقف را با استفاده از همبستگی نیمه تجربی محاسبه می‌کند و دمای جهش سقف را می‌توان از مدل FDS با بررسی پروفایل دمایی در شبکه از پیش تعیین شده‌ای محاسبه نمود. مجموعه FDT شامل مدلی برای محاسبه دمای جهشی سقف نیست و مدل CFAST دمای جهش مستقیم را به عنوان یک بازده مستقیم ارائه نمی‌کند.مدلهای موجود در مجموعه‌های FDT و FIVE –Rev و دماهای دود آتش را با استفاده از هم

بستگی‌های نیمه تجربی با فرم بسته پیش بینی می‌کند و مدل MAGIC، دماهای دود را به روش مشابه پیش بینی می‌نماید. دمای دود را می‌توان از مدل FDS با بررسی پروفایل دمایی در شبکه ای از پیش تعیین شده بدست آورد. مدل انتقال دود و رشد آتش یکپارچه CFAST، دماهای دود را به عنوان یک خروجی ارائه نمی‌کند.دیگر موارد مهمی که توسط مدلها قابل محاسبه وپیش بینی می باشند شامل موارد زیر است:

- شار گرمایی تابشی به اهداف: Radiated heat flux to targets:
- کل شار گرمایی به اهداف: Total heat flux to targets:
- کل شار گرمایی به دیواره‌ها: Total heat flux to walls:
- دمای دیوار: Wall temperature
- دمای هدف: Target temperature:
- تراکم دود: Smoke concentration:
- تراکم اکسیژن: Oxygen concentration
- فشار اتاق: Room pressure

۱-٤. الزامات اجرای تحلیل عملکرد محور مدل سازی آتش

اجرای عملکرد مدل های حریق درجامعه حفاظت از آتش نیروگاه هسته ای ازالزامات قطعی NFPA 805 میبا شد که فرایندهای آن به بخشهای زیرتقسیم بندی میشود: [7,8]

- **شناسایی ساختارها**:
- **تعریف آستانه آسیب**:
- **تعریف سناریوی آتش سوزی :**
  - ✓ **سناریو ماکزیمم حریق مورد انتظار(MEFS)**: Maximum expected fire scenarios
  - ✓ **سناریو حریق محدود**: Limiting fire scenarios

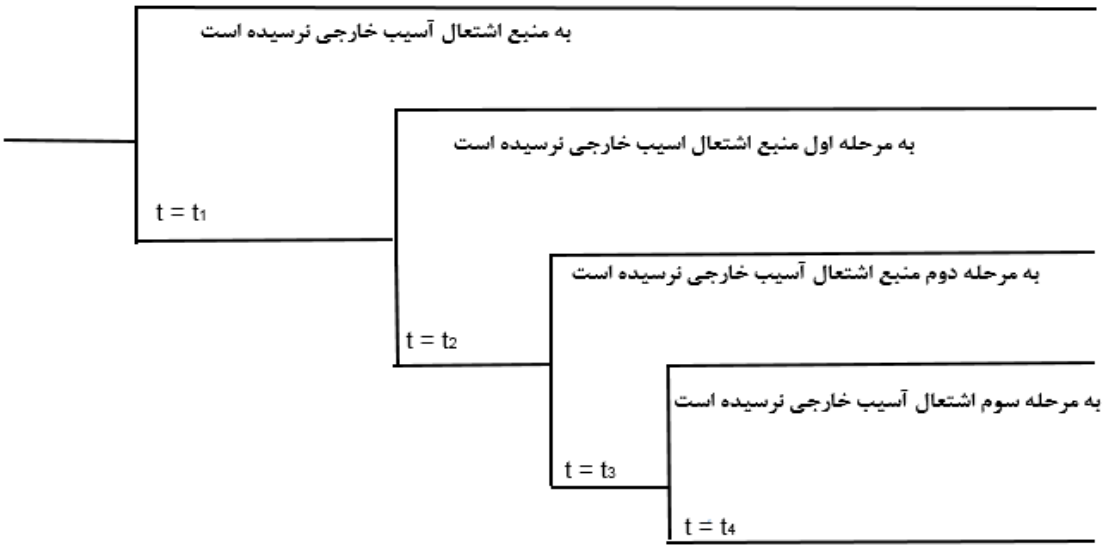
۲- فرایند مدل سازی آتش نیروگاه هسته ای

مدل سازی آتش ابتدا بوسیله ارزیابی احتمالاتی ریسک (PRA[1])در توسعه سناریو آتش و فرایند تحلیل به کارمیرودکه اغلب به صورت پیشروی وضعیت های آسیب در طی زمان مدل سازی میشود،و توسط آتش فرض شده

[1] - *Probabilistic Risk Assessment*

که شامل منبع احتراق است شروع میشود. وضعیت آسیب اول معمولا از آسیب به خود منبع احتراق تشکیل میشود. با توجه به مشخصات و پیکربندی سناریو، آخرین وضعیت آتش میتواند از شکل گیری HGL تشکیل شود که منجر به

مرحله چهارم آسیب رسیدن به لایه گازهای داغ	مرحله سوم آسیب	مرحله دوم آسیب	مرحله آسیب اول فقط برروی منبع اشتعال میباشد	اشتعال



سوختن کامل اتاق شود. وضعیت های آسیب بین اولین و آخرین وضعیت، مجموعه ساختارهایی است که با پیشروی آتش در موارد قابل اشتعال، در معرض خطر قرار میگیرند. شکل زیر مثالی از سناریو پیشروی در پنج وضعیت آسیب را نشان میدهد. [7,8]

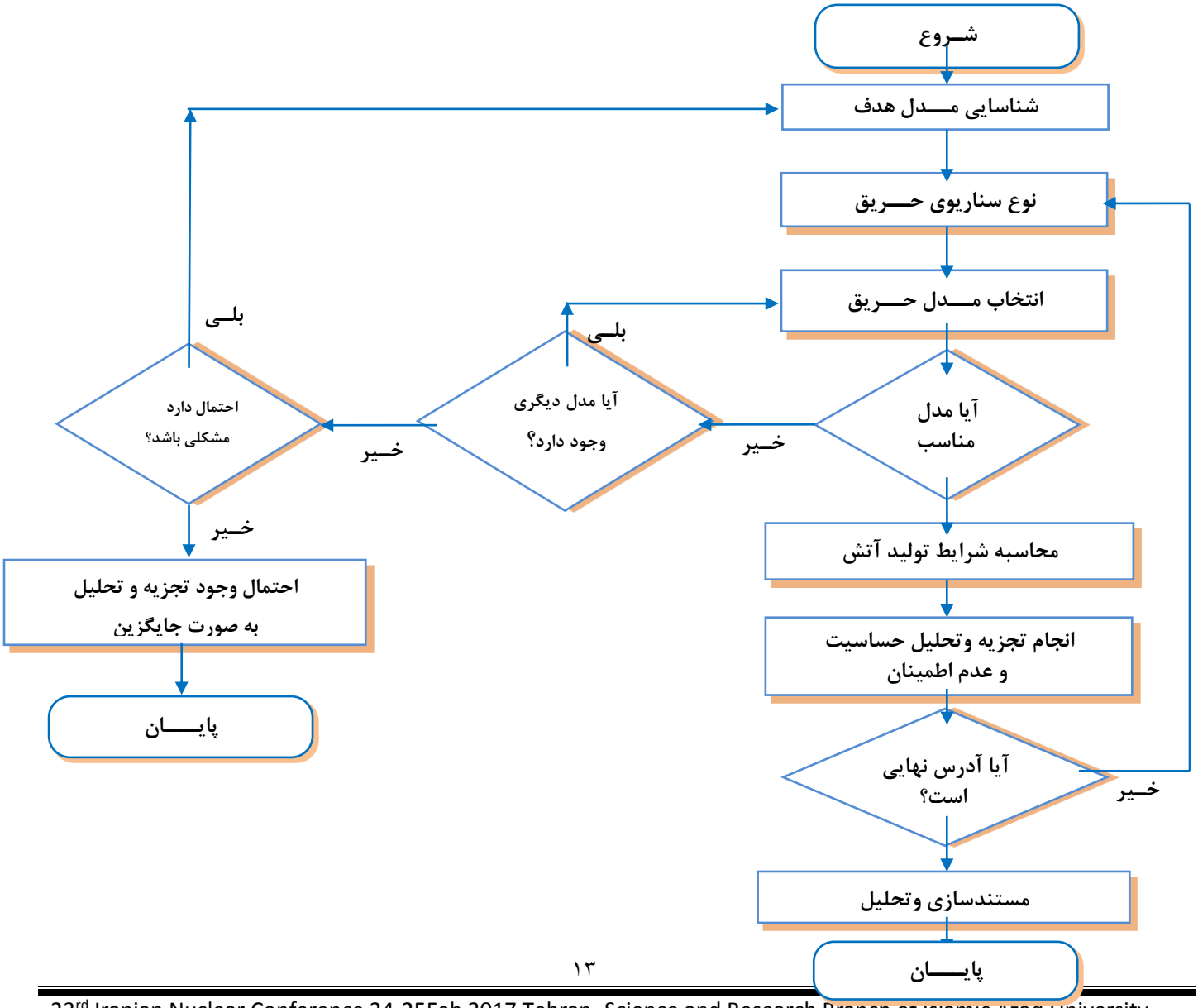
شکل (١٤) پیشرفت آسیب دراثرحریق درمدل سازی یک نیروگاه هسته ای بوسیلهPRA

۳- فرایند مدل سازی آتش

این بخش یک فرایند عمومی مرحله به مرحله برای مدلسازی آتش در نیروگاه هسته ای را فراهم میکند. و از شش مرحله تشکیل میشود:

۱. تعریف اهداف مدل سازی آتش
۲. مشخص کردن سناریو های آتش

۳. انتخاب مدل های آتش
٤. محاسبه شرایط ایجاد آتش
٥. اجرای تحلیل های حساسیت و عدم اطمینان
٦. مستند سازی تحلیل



شکل (۱۵) فلوچارت فرایند مدلسازی حریق نیروگاه هسته ای

۳-۱. مرحله اول: تعریف اهداف مدل سازی آتش

مرحله اول در تحلیل مدل آتش، شناسایی و تعریف اهداف مدل سازی آتش است. بعضی شرایط رایج مدل سازی آتش که در نیروگاه هسته ای بکارمیرود شامل موارد زیر باشد:

- ارزیابی آسیب رسان بودن آتش به یک 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 سطحی قابل قبول برای کابل، اجزاء، ماده قابل ا شتعال ثانویه، عنصر ساختاری، یا ساختمان آتش اسمی
- 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

۳-۲. مرحله دوم: مشخص کردن سناریوها

مرحله دوم در فرایند مدل سازی آتش، مشخص کردن سناریوهای مرتبط آتش سوزی است که عناصر فنی مورد نیاز برای ارجاع به اهداف را در بر دارد. **عناصر فنی مورد نیاز برای سناریو آتش سوزی شامل موارد زیر است:**

- جزییات محوطه (برای مثال اتاقک)
- مکان آتش در محوطه
- سیستم های حفاظت از حریق
- مواد قابل اشتعال ثانویه
- جزییات فضا:
- شرایط و نوع سیستم تهویه

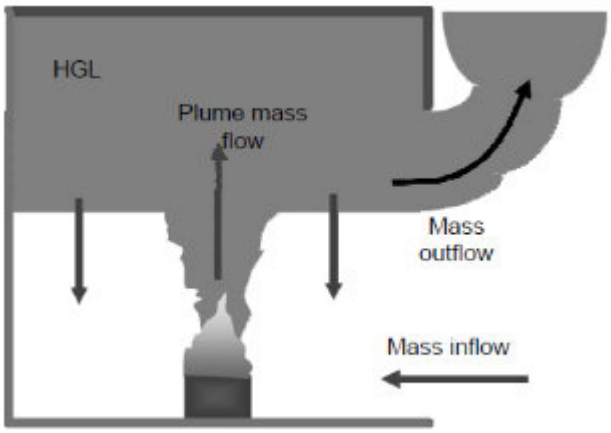
- مکانهای هدف
- مواد قابل اشتعال ثانویه
- منبع احتراق

۳-۳. مرحله سوم : انتخاب مدل آتش

خلاصه ای از سه گروه مدل، مزایاومعایب آنها، و کاربردهای نوعی شان درعناوین بعدی توضیح داده میشود.

۳-۳-۱. مدل منطقه ای[1]

الگوریتم های کامپیوتری هستند که معادلات حفاظتی را برای انرژی و جرم حل میکنند. این مدل مانند مدل انتقال دود و آتش یکپارچه CFAST یا MAGIC، متغیرهای محیط آتش سوزی را با استفاده از حجم ها، یا مناطق کنترل یک مکان محا سبه میکند. منطقه ها متناظر با لایه پایین تر خنک تر و HGLهستند که در شکل زیردیده میشود. ایده اصلی مدل منطقه این است که هر منطقه به خوبی ترکیب شده است و بنابراین همه متغیرهای محیط آتش (درجه حرارت، غلظت دود و غیره)، در منطقه یکپارچه میشوند. متغیرهای هر منطقه به عنوان تابعی از زمان تغییر میکنند و به شرایط اولیه م شخص شده تو سط کاربرتکیه دارند. فرض می شود که یک مرز تعریف شده که دو منطقه را جدا میکند وجود دارد.**این منطقه همگن فرض میشود**



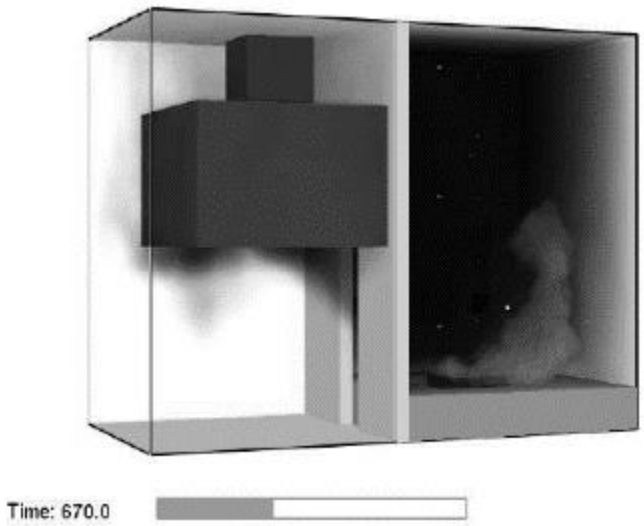
شکل(۱۶)دو منطقه آتش محوطه با HGL بالا و یک لایه خنک پایین

۳-۳-۲. مدل CFD[2]

[1] Zone Model
[2] Computational Fluid Dynamics

مدل CFD معمولا زمانی به کار میروند که:

- تفکیک فضایی اهمیت دارد، نسبت به مکان های بسته های سوخت یا مواد هدف
- اتاقک های بزرگ نسبت به اندازه آتش سوزی وجود دارد
- اتاقک ها 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 تاثیر بگذارد.
- توزیع های دما، شبکه، شار گرما، میزان سوختندر سراسر هندسه محوطه باید به تعداد بیشتری حجم های کنترل تقسیم شود (احتمالا چندین میلیون)
- مدل CFD جریان متلاطم گاز را نیز در نظر میگیرد. منفعت دیگر مدل CFD توانایی آنها برای شبیه سازی شرایط آتش در هندسه ای به اندازه اتاقک های کف مستطیلی با سقف صاف است.
- هنگام انتخاب مدل CFD این است که مقدار جزییات فراهم شده در مدل، به میزان قابل توجهی بیشتر از میزان جزییات در مدل های منطقه ای و مدل های تجربی ساده تر است

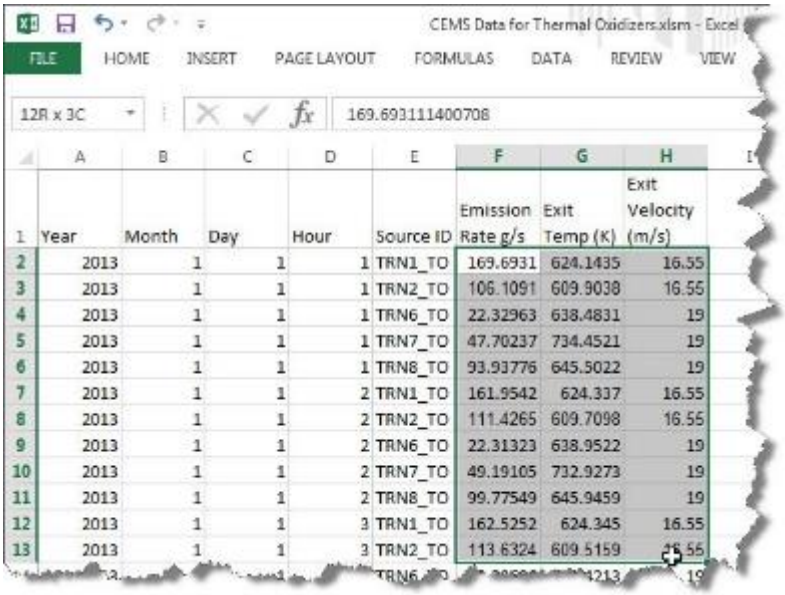


شکل(۱۷)مدلCFD تجسمی از آزمایش حریق درمحفظه

۳-۳-۳. مدل FDT[۱]

[۱] - Fire Dynamics Tools

مجموعه مدل های جبری از پیش برنامه نویسی شده که به صورت فرمت اکسل میباشند. هدف اولیه مدل FDT و مستند سازی همراه آن، فراهم کردن روش شناسی برای ناظران حفاظت از حریق جهت استفاده در ارزیابی خطرات بالقوه آتش در واحدصنعتی نیروگاه میباشد. این مدل مرجع کتاب راهنمای حریق NFPA، و کتاب راهنمای SPFE در مهندسی حفاظت از حریق است.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Year	Month	Day	Hour	Source ID	Emission Rate g/s	Exit Temp (K)	Exit Velocity (m/s)
2	2013	1	1	1	TRN1_TO	169.6931	624.1435	16.55
3	2013	1	1	1	TRN2_TO	106.1091	609.9038	16.55
4	2013	1	1	1	TRN6_TO	22.32963	638.4831	19
5	2013	1	1	1	TRN7_TO	47.70237	734.4521	19
6	2013	1	1	1	TRN8_TO	93.93776	645.5022	19
7	2013	1	1	2	TRN1_TO	161.9542	624.337	16.55
8	2013	1	1	2	TRN2_TO	111.4265	609.7098	16.55
9	2013	1	1	2	TRN6_TO	22.31323	638.9522	19
10	2013	1	1	2	TRN7_TO	49.19105	732.9273	19
11	2013	1	1	2	TRN8_TO	99.77549	645.9459	19
12	2013	1	1	3	TRN1_TO	162.5252	624.345	16.55
13	2013	1	1	3	TRN2_TO	113.6324	609.5159	16.55

شکل(۱۸)مدل جبریFDT درمحفظه

۳-۳-٤. مدل FIVE-REV1

مجموعه ای از معادلات از پیش برنامه نویسی شده که برای تخمین شرایط آتش است.مدل های جبری تحت عنوان مدل ارزیابی آسیب پذیری القا شده در آتش FIVE-REV1 شناخته میشوند. قابلیت های معادلات مختلف در کتابخانه، 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 میباشد. بعضی از معادلات این مدل همانند مدل FDTمیباشد که فقط درنوع جزئیات محصولات حریق بایکدیگر تفاوت دارند

۳-۳-۵. مدل[۱] CFAST

مدل رشد یکپارچه آتش و انتقال دود یک مدل آتش کامپیوتری دو منطقه ای است که برای یک سناریو داده شده، یک اتاقک را به دو حجم کنترل شده تقسیم میکند، که شامل یک لایه بالاتر نسبتا داغ (برای مثال HGL) و لایه پایین

[۱] - Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model

تر نسبتا خنکتر. به علاوه، جرم و انرژی بین لایه ها از طریق ستون دود و ترکیب در منفذ(محل خروجی ناخواسته)، منتقل میشوند. مهمترین فرضیه مدل این است که هر مدل، ویژگی های یکپارچه دارد، که عبارتند از اینکه دما و غلظت های گاز در سراسر منطقه ثابت است، و فقط به عنوان تابع زمان تغییر میکند

۳-۳-٦. مدل MAGIC

MAGIC یک مدل آتش کامپیوتری دو منطقه ای است که به صورت ویژه برای استفاده در تحلیل نیروگاه هسته ای بکارگرفته می شود. MAGIC شامل سه قسمت اصلی میبا شد، ۱)راهنمای فنی که توضیح ریاضیات مدل را ارائه میدهد؛ ۲) راهنمای دستی کاربر که جزییات استفاده از واسطه گرافیکی را شرح میدهد و ۳) مطالعات معتبر سازی، که نتایج MAGIC را با سنجش های تجربی مقایسه میکند. MAGIC اساسا مدلی مشابه با CFAST است،که در مدل اشتعال و مدل های جریان منفذ نیز مشابه هستند. با این وجود، تفاوت این دودراین است که دارای مدل های راهرو یا ستون نیست، و جت سقف (حرکت افقی دود در سقف)و حرکت عمودی دود در آن متفاوت در نظر گرفته میشود. کاربر برای تکمیل توضیح مدل های فرعی MAGIC باید به راهنمای فنی مراجعه کند. هنگامی که شبیه سازی داده شده تکمیل شد، MAGICیک فایل خروجی با همه متغیرهای راه حل را تولید میکند. کاربر متغیرهای خروجی مرتبط برای تحلیل را انتخاب میکند وخروجی ها که شامل دماهای مناطق گرم و سرد، غلظت های اکسیژن و گازهای سوخته نشده، کم شدن دود در هر اتاقک، میزان جریان جرم هوا و دود از طریق ورودی ها 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.

۳-٤. مرحله چهارم: محاسبه شرایط تولید شده درآتش

این مرحله شامل اجرای مدل ها و تفسیر نتایج است. هنگام اجرای مدل کامپیوتری، گام های عمومی زیر توصیه میشود:

- تعیین پارامترهای خروجی مورد نظر.
- آماده سازی فایل ورودی.
- اجرای مدل کامپیوتری.
- تفسیر نتایج مدل.

داده های خروجی را به شکلی تنظیم کنید که برای هدف مربوط، مناسب باشد. در کاربردهای مدل سازی آتش ، احتمال دارد ترکیبی از هر سه گروه مدل ها برای تحلیل یک مسئله ویژه، مفید باشد. برای مثال مدل های جبری میتوانند برای

تخمین شار تابشی به هدف در تعیین یک منطقه، تاثیرآن یا حداقل فاصله جدا سازی، استفاده شود. گام نخست در انتخاب مدل تعیین این مسئله است که آیا سناریو میتواند با استفاده از مدل های جبری، مدل های منطقه یا مدل های CFD تحلیل شود یا خیر. مدلهای FDT, FIVE-REV1 مجموعه مدل های جبری نسبتا ساده ای هستند که به شکل الکترونیکی کد بندی میشوند(برنامه اکسل). CFAST و MAGIC، ازگروه مدل های آتش که معمولا مدل های منطقه ای نامیده میشوند که به اتاقکها مورد توجه در دو منطقه، افزایش دمای لایه بالایی و لایه پایین تر خنک تقسیم میشود. FDS، مثالی از مدل CFD است، که هر اتاقک را به هزاران یا میلیون ها سلول تقسیم میکند. که دماها و دیگر مقادیر مورد توجه برای هر سلول محاسبه میشود.

۳-۵. مرحله پنجم: اجرای تحلیل های حساسیت و عدم اطمینان

خطای مدل, تعداد پارامترهای ورودی بر اساس داده های عمومی/ در دسترس یا بر اساس قضاوت مهندسی حفاظت آتش هستند، که مفهوم عدم اطمینان پارامتر را در تحلیل معرفی میکند.مفهوم عدم اطمینان پارامتر و مدل، از گذشته در مدل سازی آتش با استفاده از تحلیل حساسیت و یا عدم اطمینان، مورد نظر بوده است. عدم اطمینان در یک متغیر، عدم وجود دانش درباره آن متغیر را نشان میدهد، و اغلب با توزیع های احتمال نشان داده میشود. هدف آن، ارزیابی تغییر پذیری در خروجی مدل است، و خروجی با توجه به عدم اطمینان مربوط به ورودی ها و ساختار مدل، تا چه حد غیر مطمئن است.

۳-٦. مرحله ششم: مستند سازی تحلیل و استخراج ضوابط و دستورهای ایمنی

به طور کلی ضوابط و استانداردهای ایمنی و برای تضمین عملکرد آنها توجه به چند نکته را لازم دانسته است. کیفیت بالا، وجود افزونگی سیستم و تجهیزات پشتوانه و جدایی مکانی تجهیزات و کانالهای ارتباطی به صورتی که عدم عملکرد یکی مانع از کار دیگری نشود.

بحث و نتیجه گیری :

مدل سازی آتش ابتدا بوسیله ارزیابی احتمالاتی ریسک (PRA[۳])در توسعه سناریو آتش و فرایند تحلیل به کارمیرودکه اغلب به صورت پیشروی وضعیت های آسیب وابسته به زمان مدل سازی میشود،و توسط آتش فرضی شامل منبع احتراق شروع میشود. وضعیت آسیب اول معمولا از آسیب به خود منبع احتراق تشکیل میشود. با توجه به مشخصات

[۳] - *Probabilistic Risk Assessment*

و پیکربندی سناریو، آخرین وضعیت آتش میتواند از شکل گیری HGL تشکیل شود که منجر به سوختن کامل اتاق شود. وضعیت های آسیب بین اولین و آخرین وضعیت، مجموعه ساختارهایی است که با پیشروی آتش در موارد قابل اشتعال، در معرض خطر قرار میگیرند. مدلهایی برای شبیه سازی آتش در دسترس است. این مدل ها از مدل های جبری تا کدهای کامپیوتری دینامیک سیال محاسباتی پیچیده (CFD) است که نیاز به چندین روز برای راه اندازی سناریو و اجرای محاسبات همراه آن دارد. با توجه به دسترسی پذیری مدل های مختلف، تحلیل گر، مسئول منافع و محدودیت های یک مدل ویژه در یک شرایط ویژه برای دستیابی به اهداف مطرح شده درآن میباشد.در تحلیل مدل آتش، شناسایی و تعریف اهداف مدل سازی آتش دارای اهمیت است. بعضی شرایط رایج مدل سازی آتش که در نیروگاه هسته ای بکارمیرود شامل موارد زیر باشد:[7,8,11,13]

- ارزیابی آسیب رسان بودن آتش به یک 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 سطحی قابل قبول برای یک کابل، اجزاء، ماده قابل اشتعال ثانویه، عنصر ساختاری، یا ساختمان آتش اسمی
- 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

به صورت کلی، مدل های آتش میتوانند به سه گروه تقسیم شوند:

۱- مدل های جبری
۲- مدل های منطقه ای
۳- مدل های CFD.

جدول (۱) مشخصه های آتش در هرمدل	
مشخصه مدل آتش	مدل حریق

	FDT	FIVE-REV1	CFAST	MAGIC	FDS
دمای لایه گاز داغ	بله	بله	بله	بله	بله
ارتفاع لایه گاز داغ	خیر	خیر	بله	بله	بله
دمای حرکت دود افقی درسقف	خیر	بله	بله	بله	بله
دمای ستون دود	بله	بله	خیر	بله	بله
ارتفاع شعله	بله	بله	بله	بله	بله
شارحرارت تابیده شده به اهداف	بله	بله	بله	بله	بله
شارکلی دمای اهداف	خیر	خیر	بله	بله	بله
شار کلی دمای تابیده شده به دیوارها	خیر	خیر	بله	بله	بله
دمای دیوار	خیر	خیر	بله	بله	بله
دمای اهداف	خیر	خیر	بله	بله	بله
غلظت دود	خیر	خیر	بله	بله	بله
غلظت اکسیژن	خیر	خیر	بله	بله	بله
فشار اتاق	خیر	خیر	بله	بله	بله

فرایند عمومی مرحله به مرحله برای مدلسازی آتش در نیروگاه هسته ای از شش مرحله تشکیل میشود:

۱. تعریف اهداف مدل سازی آتش
۲. مشخص کردن سناریو های آتش
۳. انتخاب مدل های آتش
٤. محاسبه شرایط ایجاد آتش
۵. اجرای تحلیل های حساسیت و عدم اطمینان
٦. مستند سازی تحلیل

جدول(۲) مزایاومعایب سه گروه مدل				
طبقه بندی مدل حریق	مثال	برنامه های معمول	مزایا	معایب
مدلهای جبری	FDT FIVE-REV1	غربالگری محاسبات. منطقه قابل نفوذ. هدف قراردادن آسیبهای ناشی از تابشهای حرارتی،لایه های گاز داغ،حرارت ستون دود درگوشه ها.	کاربری آسان. حداقل ورودی. بازدهی سریع. توانایی انجام مطالعه چندین پارامترحساس.	محدوده کاربری محدود. عملکرد روی مواد ایزوله. قابل استفاده درحالتهای پایداروآتش سوزی های ضعیف.
مدل منطقه ای	CFAST MAGIC	برای آتش مدل سازی گسترده درمساحت کم. اغلب مورد استفاده برای حرارت گازهای داغ وشارحرارتی.	کاربری آسان. لایه های گاز داغ چندگانه واثرات موضعی آن.	افزایش خطا باخروج ازمحوطه مستطیلی شکل. ضعف دربررسی مسیر های بزرگ افقی.
مدل دینامیک سیال محاسباتی	FDS[1]	مدل سازی برای آتش گسترده درمساحتهای بزرگ وپیچیده. کاربرد درزمان محاسبات به منظور هدف قرار دادن خسارت.	توانایی آتش سوزی های گسترده درمساحتهای بزرگ وپیچیده بادریچه های بزرگ.	محاسبه زیاددرایجادفایلهای ورودی بعد از نتایج فرایندها شبیه سازی طولانی مدت. سختی کاربرد درهندسه های گسترده،عملکرد آشکارسازهای دودی،وشرایط پس از عمل نازلهای آبفشان

هنگام اجرای مدل کامپیوتری، گام های عمومی زیر توصیه میشود: ۱-تعیین پارامترهای خروجی مورد نظر۲-آماده سازی فایل ورودی۳-اجرای مدل کامپیوتری٤-تفسیر نتایج مدل.

1- Fire Dynamics Simulator

داده های خروجی را به شکلی تنظیم کنید که برای هدف مربوط، مناسب باشد. در کاربردهای مدل سازی آتش ، احتمال دارد ترکیبی از هر سه گروه مدل ها برای تحلیل یک مسئله ویژه، مفید باشد. برای مثال مدل های جبری میتوانند برای تخمین شار تابشی به هدف در تعیین یک منطقه، تاثیرآن یا حداقل فاصله جدا سازی، استفاده شود. گام نخست در انتخاب مدل تعیین این مسئله است که آیا سناریو میتواند با استفاده از مدل های جبری، مدل های منطقه یا مدل های CFD تحلیل شود یا خیر. مدلهای FDT, FIVE-REV1 مجموعه مدل های جبری نسبتا ساده ای هستند که به شکل الکترونیکی کد بندی میشوند(برنامه اکسل). CFAST و MAGIC، ازگروه مدل های آتش که معمولا مدل های منطقه ای نامیده میشوند که به اتاقکها مورد توجه در دو منطقه، افزایش دمای لایه بالایی و لایه پایین تر خنک تقسیم میشود. FDS، مثالی از مدل CFD است، که هر اتاقک را به هزاران یا میلیون ها سلول تقسیم میکند. که دماها و دیگر مقادیر مورد توجه برای هر سلول محاسبه میشود.با بررسی تمامی مدلهای مختلف بسته به پارامترهای مد نظر می توان از مدل مخصوص استفاده نمود.خصوصیات مدلهای مختلف در جدول ۲ آمده است.

منابع

[1] – Manual for First Responders to a Radiological Emergency,IAEA2006

[2]-Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Standards Series No. GS-R-2, Safety Requirements, IAEA, Vienna(2008)

[3]- International Atomic Energy Agency, Method for developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-METHOD 2003, IAEA, Vienna (2003).

[4]- International Atomic Energy Agency, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2006).

[5]- International Atomic Energy Agency, Planning and Preparing for Emergency Response to Transport Accidents Involving Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.2 (ST-3), IAEA, Vienna (2008).

[6]-Radioactive Material (D-Values), EPR-D-Values, IAEA, Vienna (2006).

[7]- International Atomic Energy Agency,Dangerous Quantities of Nuclear Power Plant Fire Modeling Application Guide(NPP FIRE MAG)

[8]-Second draft report for comment - Nureg-1934_July 2011

[9]-NUREG/CR-6931, Cable Response to Live Fire (CAROLFIRE), Volume 3: Thermally- Induced Electrical Failure (THIEF) Model, U.S. Nuclear Regulatory Commission,Washington, DC, 2007

[10] NUREG/CR-6931, Cable Response to Live Fire (CAROLFIRE), Volume 1:Test Descriptions and Analysis of Circuit Response Data, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2007.

[11]-NUREG-1824, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 5: Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model (CFAST), U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research (RES), Washington, DC, 2010

[12]-NEI 00-01 (2010), Guidance for Post Fire Safe Shutdown Circuit Analysis, Draft Revision 3, Nuclear Energy Institute, Washington, D.C., 2010
[13]-NUREG/CR-7010, Cable Heat Release, Ignition, and Spread In Tray Installations during Fire (CHRISTIFIRE), Volume 1: Horizontal Trays, National Institute of Standards
and Technology, Gaithersburg, MD, 2011