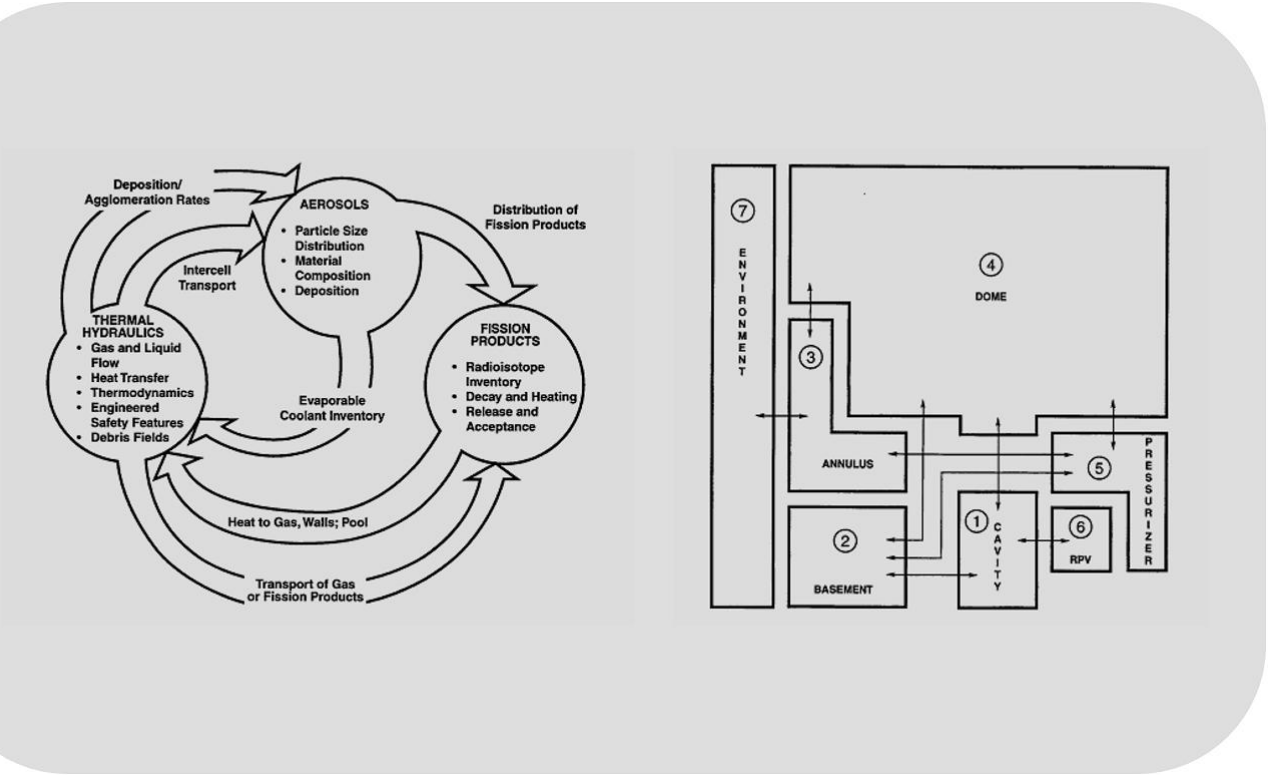
آشنایی با کد تحلیل حوادث

CONTAIN



تاریخ انتشار:	۱۳۹۹/۰۵/۲۶	شناسه مدرک:	ANC-PUB-HM-TN-02-00
شمار صفحات:	۱۵۵	شماره پروانه انتشار:	AAA-XX-YY-ZZ

info@ancc.ir

www.ancc.ir

© ۱۳۸۹ – ۱۳۹۹ | همه حقوق این اثر متعلق به مرکز محاسبات پیشرفته هسته‌ای بوده و رونوشت از مطالب آن تنها با یادکرد نام مدرک مجاز است.

«بسم الله الرحمن الرحیم»

درباره مرکز

مرکز محاسبات پیشرفته هسته‌ای (ANCC) در سال ۱۳۸۹ به دستور رییس محترم وقت سازمان انرژی اتمی ایران و با مسئولیت شهید بزرگوار دکتر مجید شهریاری آغاز به کار نمود. در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله مرکز، اهداف و مأموریت‌های زیر برای این نهاد در نظر گرفته شده است:

- توسعه و تأمین نرم‌افزارهای حرفه‌ای مورد نیاز برای صنعت هسته‌ای کشور؛
- پرورش نیروی انسانی مورد نیاز برای توسعه و کاربری نرم‌افزارهای هسته‌ای در کشور؛
- فراگیری روش‌های محاسباتی نوین و پیاده‌سازی آن‌ها در نرم‌افزارهای هسته‌ای؛
- آموزش کاربری نرم‌افزارهای هسته‌ای با برگزاری کارگاه‌های آموزشی؛
- ایجاد پایگاهی از نرم‌افزارها و داده‌های هسته‌ای و به‌روز نگهداشتن آن‌ها؛
- راستی‌آزمایی و اعتبارسنجی نرم‌افزارهای هسته‌ای و پیگیری دریافت پروانه بهره‌برداری از مراجع قانونی؛
- تبدیل شدن به یک مرجع ملی در زمینه کدهای هسته‌ای؛
- همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز صنعتی و پژوهشی؛

این مرکز امیدوار است که با توکل بر پروردگار متعال و با تکیه بر توان‌مندی کارشناسان و مدیران خود در سایه حمایت‌های سازمان انرژی اتمی ایران به اهداف یادشده دست‌یافته و کشور را به ترازی از دانش محاسبات پیشرفته هسته‌ای برساند که شایسته آن است.

آگهی سلب مسئولیت حقوقی

مرکز محاسبات پیشرفته هسته‌ای برای حفظ کیفیت محصولات خود، فرایند تولید بسته‌های نرم‌افزاری و تهیه مستندات علمی و مهندسی را برپایه آیین‌نامه‌های نظام ایمنی هسته‌ای کشور و استانداردهای ملی و فراملی پی‌ریزی نموده است. از این رو، چرخه‌های چندگانه تولید، بازبینی، ویرایش و بهبود پیش از انتشار هر گزارش محاسباتی یا بسته نرم‌افزاری پیش‌بینی شده است. با وجود این، نه مرکز و نه هیچ شخص حقیقی یا حقوقی دیگری به نمایندگی از مرکز:

۱. هیچ تضمینی (صریح یا ضمنی) برای درستی یا دقت تولیدات مرکز ارائه نمی‌دهد، و

۲. هیچ تعهدی را نسبت به زیان‌ها و آسیب‌های ناشی از به کارگیری محصولات مرکز برعهده نمی‌گیرد.

فهرست مطالب

چکیده ۹
کلیدواژه ۹
اختصارات ۹
۱- پیش‌گفتار ۱۰
۲- مروری بر تئوری کد CONTAIN ۱۱
۲-۱- مقدمه ۱۱
۲-۲- مدل‌های موجود در کد CONTAIN ۱۲
۲-۲-۱- جریان درون‌سلولی و ترمودینامیکی استخر و فضا ۱۲
۲-۲-۲- مدل‌های Lower cell و چاهک راکتور ۱۶
۲-۲-۳- گرمایش مستقیم محفظه ایمنی ۲۶
۲-۲-۴- ایروسل‌ها ۲۹
۲-۲-۵- رفتار محصولات شکافت ۳۰
۲-۲-۶- مدل احتراق ۳۲
۲-۲-۷- انتقال حرارت و جرم ۳۳
۲-۲-۸- سیستم‌های ایمنی مهندسی ۳۵
۲-۳- درخت‌های محاسباتی ۳۸
۳- مدل‌سازی حوادث با کد CONTAIN ۶۱
۳-۱- ساختار کلی ورودی ۶۱
۳-۲- حادثه LOCA ۶۳
۳-۲-۱- قالب کلی ورودی حادثه LOCA ۶۳
۳-۲-۲- ورودی Global حادثه LOCA ۶۴

۳-۲-۳- ورودی Cell حادثه LOCA ۷۱
۳-۳- حادثه ذوب قلب ۸۷
۳-۳-۱- قالب کلی ورودی حادثه ذوب قلب ۸۸
۳-۳-۲- ورودی Global level حادثه ذوب قلب ۸۸
۳-۳-۳- ورودی Cell حادثه ذوب قلب ۹۷
۳-۴- حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی (DCH) ۱۱۳
۳-۴-۱- قالب کلی ورودی حادثه DCH ۱۱۵
۳-۴-۲- ورودی Global level حادثه DCH ۱۱۶
۳-۴-۳- ورودی Cell حادثه DCH ۱۲۸
۳-۵- فایل‌های اجرایی کد ۱۴۰
۴- مراجع ۱۴۱
پیوست ۱: جدول‌های مورد نیاز برای تعریف مواد در کد CONTAIN ۱۴۲
پیوست ۲: زنجیره‌های واپاشی در کد CONTAIN ۱۴۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱: جریان درون‌سلولی و ترمودینامیکی استخر و فضای مدل‌شده در کد ۱۳
شکل ۲: مسیرهای جریان بین دو سلول ۱۴
شکل ۳: ساختار کلی Lower cell در کد CONTAIN ۱۷
شکل ۴: آرایش لایه‌های Lower cell بدون CORCON ۱۸
شکل ۵: آرایش لایه‌های Lower cell با CORCON ۱۹
شکل ۶: فرآیندهای گرمایش مستقیم محفظه ایمنی مدل‌شده در کد CONTAIN ۲۷
شکل ۷: فرآیندهای مرتبط با مدل ایروسل‌ها در کد ۳۰
شکل ۸: فرآیندهای مرتبط با رفتار محصولات شکافت در کد ۳۲
شکل ۹: فرآیندهای احتراق در کد CONTAIN ۳۳
شکل ۱۰: فرآیندهای انتقال حرارت و جرم مدل‌شده در کد ۳۴
شکل ۱۱: سیستم‌های ایمنی مدل‌شده در کد ۳۶
شکل ۱۲: نمای کلی سیستم اسپری ۳۷
شکل ۱۳: انواع مبدل حرارتی مورد استفاده در کد ۳۸
شکل ۱۴: درخت محاسباتی خواص مواد ۴۰
شکل ۱۵: درخت محاسباتی مدل جریان درون‌سلولی ۴۱
شکل ۱۶: درخت محاسباتی مدل Lower cell ۴۲
شکل ۱۷: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell ۴۳
شکل ۱۸: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell ۴۴
شکل ۱۹: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell ۴۵
شکل ۲۰: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell ۴۶
شکل ۲۱: درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی ۴۷
شکل ۲۲: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی ۴۸
شکل ۲۳: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی ۴۹
شکل ۲۴: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی ۵۰

شکل ۲۵: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی ۵۱
شکل ۲۶: درخت محاسباتی مدل ایروسل ۵۲
شکل ۲۷: درخت محاسباتی مدل محصولات شکافت ۵۳
شکل ۲۸: درخت محاسباتی مدل احتراق ۵۴
شکل ۲۹: درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم ۵۵
شکل ۳۰: ادامه درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم ۵۶
شکل ۳۱: ادامه درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم ۵۷
شکل ۳۲: ادامه درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم ۵۸
شکل ۳۳: درخت محاسباتی مدل سیستم‌های ایمنی ۵۹
شکل ۳۴: درخت محاسباتی مدل سیستم‌های ایمنی ۶۰
شکل ۳۵: ساختار کلی ورودی کد CONTAIN ۶۲
شکل ۳۶: بخشی از ورودی کد ۶۳
شکل ۳۷: درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی در حادثه LOCA ۶۴
شکل ۳۸: ارتفاع‌های مرتبط با مجرای بین دو سلول ۷۰
شکل ۳۹: درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی در حادثه ذوب قلب ۸۸
شکل ۴۰: سطح مقطع جریان در محاسبات مدل جریان بحرانی ۹۲
شکل ۴۱: برشی از شکل چاهک راکتور ۹۸
شکل ۴۲: شکل چاهک راکتور با هندسه استوانه و کف کروی [۲] ۱۰۶
شکل ۴۳: شکل چاهک راکتور با هندسه استوانه و کف مسطح [۲] ۱۰۷
شکل ۴۴: شکل چاهک راکتور با هندسه دلخواه [۲] ۱۰۸
شکل ۴۵: مراحل تزریق مواد مذاب فشاربالا به درون چاهک راکتور [۳] ۱۱۴
شکل ۴۶: درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی در حادثه DCH ۱۱۵
شکل ۴۷: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۴۹
شکل ۴۸: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۵۰
شکل ۴۹: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۵۱
شکل ۵۰: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۵۲

شکل ۵۱: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۵۳
شکل ۵۲: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۵۴
شکل ۵۳: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN ۱۵۵

فهرست جدول‌ها

جدول شماره ۱: فرآیندهای انتقال حرارت و جرم در فصل مشترک‌ها ۳۴
جدول شماره ۲: مواد استاندارد موجود در کد CONTAIN ۱۴۳
جدول شماره ۳: ترکیبات بتن موجود در کد CONTAIN ۱۴۴
جدول شماره ۴: نام عناصر فلزی و اکسیدی مدل CORCON ۱۴۵
جدول شماره ۵: ایروسل‌ها و محصولات شکافت در مدل VANESA ۱۴۵
جدول شماره ۶: نام ترکیبات مذاب در مدل VANESA ۱۴۶
جدول شماره ۷: مشخصات واپاشی محصولات شکافت ۱۴۷
جدول شماره ۸: دسته‌بندی محصولات شکافت در کد CONTAIN ۱۴۸

چکیده

شبیه‌سازی حادثه در نیروگاه‌های هسته‌ای و تحلیل پیامدهای حوادث یکی از مباحث بسیار مهم در حوزه ایمنی هسته‌ای به شمار می‌آید. به دلیل اهمیت موضوع تحلیل حوادث و بررسی پیامدهای آنها، کدهای بسیاری در زمینه تحلیل حوادث هسته‌ای در دنیا توسعه یافته است که از جمله آنها می‌توان به کدهای CONTAIN، MELCOR و SCDAP/RELAP اشاره نمود.

کد CONTAIN ابزاری تحلیلی به منظور پیش‌بینی شرایط فیزیکی، شیمیایی و رادیولوژیکی درون محفظه ایمنی و تجهیزات وابسته به راکتور هسته‌ای در اثر حادثه می‌باشد. محاسبات این کد اصولاً برای فرآیندهایی که درون محفظه ایمنی راکتور در شرایط حادثه رخ می‌دهد، انجام می‌شود. به دلیل گستردگی کاربرد این کد در زمینه تحلیل حوادث، در این نگارش سعی شده است تا ضمن ارائه خلاصه‌ای از مدل‌های کد، نحوه نوشتن ورودی کد برای حوادث مختلف شرح داده شود. علاوه براین، درخت‌های محاسباتی مرتبط با هر مدل و درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی به تفکیک هر حادثه نیز بیان شده‌اند.

کلیدواژه

تحلیل حوادث محفظهٔ ایمنی، کد CONTAIN.

اختصارات

عبارت اصلی	اختصار	عبارت اصلی	اختصار
Large Break- Loss Of Coolant Accident	LB-LOCA	Advanced Light Water Reactor	ALWR
Light Mixture	LMX	Bulk Spontaneous Recombination	BSR
Loss Of Coolant Accident	LOCA	Boiling Water Reactor	BWR
Light Oxide	LOX	Core Concrete Interaction	CCI
Metal	MET	Direct Containment Heating	DCH
Pressurized Water Reactor	PWR	Diffusion Flame Burning	DFB
Reactor Pressure Vessel	RPV	Engineering Safety Features	ESF
Small Break- Loss Of Coolant Accident	SB-LOCA	Heavy Mixture	HMX
UN Nuclear Regulatory Commission	USNRC	Heavy Oxide	HOX
-	-	High Pressure Melt Ejection	HPME

۱- پیش‌گفتار

شبیه‌سازی پیش‌روی حادثه در محفظه ایمنی[۱] نیروگاه‌های هسته‌ای و همچنین تحلیل پیامدهای حوادث از جمله موارد مهم در صنعت هسته‌ای به شمار می‌آید. با وجود اینکه تحلیل حوادث یکی از مباحث مهم و به‌روز در زمینه ایمنی هسته‌ای در دنیا به شمار می‌آید، اما به دلیل پاره‌ای از مسائل همچنان در داخل کشور مهجور مانده است. گرچه طی سال‌های اخیر، تعریف پایان‌نامه‌های دانشجویی در حوزه تحلیل حوادث روند روبه‌رشدی داشته است؛ اما گستردگی و اهمیت این حوزه، توجه هر چه بیشتر جامعه علمی و دانشگاهی کشور را می‌طلبد. در حوزه تحلیل حوادث کدهای مهمی از جمله CONTAIN، MELCOR و SCDAP/RELAP توسعه یافته است. با وجود اینکه راهنما[۲] و فایل‌های اجرایی این کدها در داخل کشور دردسترس می‌باشد، اما استقبال دانشجویان از این کدها چندان مورد توجه نیست. عدم آشنایی با کدها و همچنین عدم دسترسی به کاربر متخصص به منظور برطرف‌نمودن مشکلات در مسیر شبیه‌سازی‌ها از جمله دلایلی است که موجب شده تا دانشجویان تمایل کمتری به استفاده از این کدها نشان دهند.

با توجه به مقدمه ذکرشده در بالا، سعی بر آن شده که خلاصه‌ای از راهنمای کد CONTAIN تدوین شود. به دلیل اینکه هدف از تدوین این راهنما، ارائه دستورالعملی کاربردی برای استفاده سریع و بهینه دانشجویان است، لذا تنها به ذکر کلیات مدل‌های موجود در کد بسنده شده است. امید است که این گزارش، راه را برای استفاده هرچه مفیدتر جامعه دانشگاهی کشور از این کد هموار نماید.

این نگارش به شکل کلی زیر سامان‌دهی شده است:

بخش ۲ شامل مروری اجمالی بر مدل‌های کد و درخت‌های محاسباتی مدل‌های مختلف می‌باشد. در بخش ۳ نیز به فراخوانی بلوک‌های مختلف برای مدل‌سازی حوادث و همچنین نحوه نوشتن ورودی[۳] حوادث به تفکیک پرداخته شده است. جدول‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی و همچنین زنجیره‌های واپاشی محصولات شکافت نیز به ترتیب در پیوست‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

۱ Containment
۲ Manual
۳ Input

۲- مروری بر تئوری کد CONTAIN

۲-۱- مقدمه

کد CONTAIN ابزاری تحلیلی به منظور پیش‌بینی شرایط فیزیکی، شیمیایی و رادیولوژیکی درون محفظه ایمنی و تجهیزات وابسته به راکتور هسته‌ای در اثر حادثه می‌باشد. این کد در سال ۱۹۸۴ در آزمایشگاه بین‌المللی سندیا تحت حمایت کمیته هسته‌ای آمریکا[۱] برای تحلیل پدیده‌های درون محفظه ایمنی در شرایط حوادث مختلف توسعه یافته و به منظور پیش‌بینی پاسخ ترموهیدرولیکی درون محفظه ایمنی و انتشار هسته‌های پرتوزا[۲] به محیط در اثر شکست آن طراحی شده است. محاسبات این کد اصولاً برای فرآیندهایی که درون محفظه ایمنی راکتور رخ می‌دهد، انجام می‌شود. در واقع تحلیل کاملی از کلیه پدیده‌هایی که در سیستم محفظه ایمنی رخ می‌دهد، ارائه می‌شود. البته ذکر این نکته قابل توجه است که کد CONTAIN را نمی‌توان برای تحلیل فرآیند ذوب قلب در داخل مخزن فشار راکتور[۳] و همچنین برای فرآیندهایی که فراتر از محفظه ایمنی رخ می‌دهد، به کار برد.

در محاسبات کد، محفظه ایمنی به صورت شبکه‌ای از حجم‌های کنترل به هم‌پیوسته و یا سلول در نظر گرفته می‌شود. سلول‌ها از طریق ساختارهای انتقال جرم و یا ساختارهای انتقال حرارت به هم مرتبط هستند. فرآیندهای اصلی که در این کد مدل می‌شوند، عبارتند از [۱]:

- جریان درون‌سلولی،
- احتراق هیدروژن،
- فرآیندهای انتقال جرم و حرارت (مانند جابجایی، چگالش)،
- جریان سیال چگالیده،
- تابش حرارتی، هدایت و خروج گاز از محفظه،
- رفتار ایروسل‌ها[۴] (ذرات معلق در فضای محفظه ایمنی)،
- رفتار محصولات شکافت[۵] (مانند واپاشی، گرمایش و انتقال)،
- سیستم‌های ایمنی مهندسی[۶] (مانند اسپری، چگالنده‌های یخ و فن کولرها)،

[۱] UN Nuclear Regulatory Commission (USNRC)
[۲] Radionuclide
[۳] In-vessel
[۴] Aerosol
[۵] Fission products
[۶] Engineering Safety Features (ESF)

- فرآیندهای وابسته به راکتورهای آب‌جوشان[۱]،
- آوار[۲] قلب و برهم‌کنش‌های بین دیواره بتنی محفظه و قلب[۳]،
- گرمایش مستقیم محفظه ایمنی[۴].

این کد قابلیت تحلیل و مدل‌سازی محفظه‌های ایمنی زیر را دارد:

- محفظه ایمنی راکتور آب‌جوشان،
- محفظه ایمنی راکتور آب‌تحت‌فشار[۵]،
- محفظه ایمنی راکتور آب‌سبک پیشرفته[۶]،
- محفظه‌های ایمنی sub-atmosphere،
- محفظه‌های ایمنی با چگالنده یخ،
- محفظه‌های ایمنی با خشک‌کن[۷].

۲-۲- مدل‌های موجود در کد CONTAIN

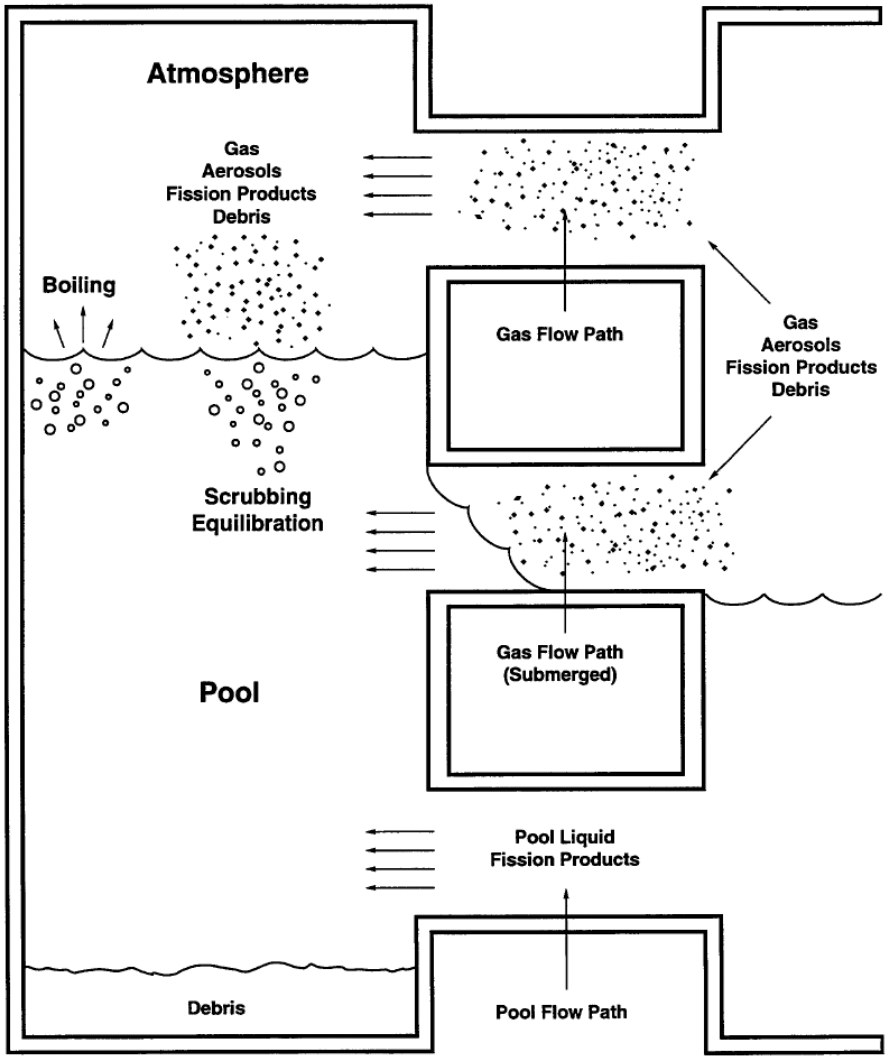
در این بخش به تشریح مدل‌های مختلف موجود در کد CONTAIN پرداخته می‌شود. مدل‌های کلی موجود در این کد عبارتند از: مدل جریان درون‌سلولی و ترمودینامیکی استخر[۸] و فضا[۹]، مدل‌های Lower cell و چاهک راکتور[۱۰]، مدل‌های گرمایش مستقیم محفظه ایمنی، مدل ایروسل‌ها و محصولات شکافت، فرآیندهای احتراق، فرآیندهای انتقال حرارت و جرم و همچنین سیستم‌های ایمنی مهندسی که در ادامه به اختصار شرح داده می‌شوند. در نهایت درخت‌های محاسباتی مربوط به هر مدل ذکر گردیده‌اند.

۲-۲-۱- جریان درون‌سلولی و ترمودینامیکی استخر و فضا

مدل جریان درون‌سلولی و ترمودینامیکی استخر و فضا با حالت ترمودینامیکی و سیال‌های حجمی درون سلول و جریان درون‌سلولی در حوزه‌های استخر و فضا سروکار دارد. فرض می‌شود که سیال درون سلول‌ها ساکن بوده و از طریق مسیرهایی

[۱] Boiling Water Reactor (BWR)
[۲] Debris
[۳] Core Concrete Interaction (CCI)
[۴] Direct Containment Heating (DCH)
[۵] Pressurized Water Reactor (PWR)
[۶] Advanced Light Water Reactor (ALWR)
[۷] Large-Dry
[۸] Pool
[۹] Atmosphere
[۱۰] Cavity

که اصطلاحاً مسیر جریان نام دارد، بین سلول‌ها جریان می‌یابد. این مسیرها می‌تواند شامل گاز و یا مایع باشد که به ترتیب مسیر گاز یا مسیر استخر نامیده می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱: جریان درون‌سلولی و ترمودینامیکی استخر و فضای مدل‌شده در کد

سیال‌های حجمی که در محاسبات کد به کار می‌روند، دو دسته‌اند: سیال حجمی فضا و سیال حجمی استخر.

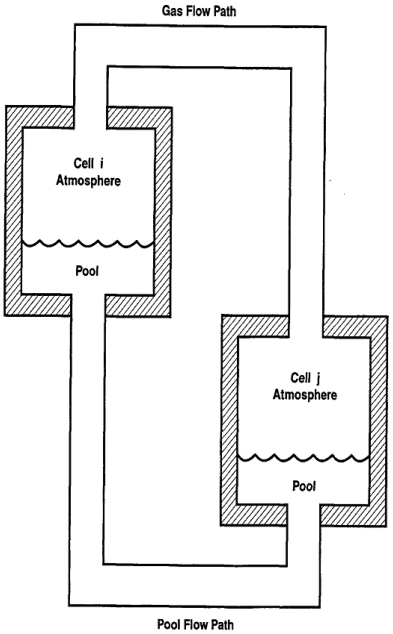
سیال‌های حجمی فضا شامل:

- گازهای غیرقابل‌تراکم، بخار خنک‌کننده و هر مایع خنک‌کننده‌ای که به طور همگن در فضای سلول پراکنده شده است،
- ایروسل‌ها،
- محصولات شکافت،
- آوارهای پراکنده‌شده قلب.

سیال‌های حجمی استخر شامل:

- خنک‌کننده درون استخر،
- ایروسل‌هایی که درون استخر ته‌نشین شده‌اند،
- محصولات شکافتی که درون استخر رسوب کرده‌اند.

انتخاب و تعیین مسیر جریان در کد محدودیتی ندارد و می‌توان هر تعداد مسیر جریان بین سلول‌ها تعریف نمود. مسیرهای جریان در کد CONTAIN با توجه به نقطه‌ای که به سلول وارد می‌شوند، تعریف می‌گردند. به طور پیش‌فرض مسیر گاز به بالای سلول و مسیر استخر به پایین سلول وارد می‌شود (شکل ۲). به دلیل ابهاماتی که به هدهای گرانشی وابسته است، نمی‌توان مسیرهای گاز را به انتهای سلول و مسیرهای مایع را به بالای سلول وارد نمود.



شکل ۲: مسیرهای جریان بین دو سلول

مدل‌های اساسی جریان درون‌سلولی در کد CONTAIN عبارتند از:

- مدل جریان لخت[۱]- لختی سیال در مسیر جریان و همچنین افت‌های جریان از جمله مواردی است که در محاسبات این مدل در نظر گرفته می‌شود. مدل جریان لخت از یک ضریب افت جریان برگشت‌ناپذیر (C_{FC}) استفاده نموده که توسط کاربر تعیین می‌شود. این ضریب باید افت‌های ویسکوزیته در جریان شامل افت‌های جریان ورودی و خروجی و فاکتورهای اصطکاک مودی را نشان دهد. به طور کلی در مدل جریان لخت، نرخ جریان جرمی لخت و نرخ جریان جرمی کلی با حل معادله مومنتوم محاسبه می‌شود.
- مدل جریان شبه پایا[۲]- مدل جریان شبه پایا در شرایط حل جریان به صورت ضمنی به ویژه برای مجراهای مهندسی که به صورت تغییرات مساحت نسبت به فشار تعریف می‌شوند و همچنین مجرای استخر مهار[۳] که در واقع مسیرهای غوطه‌ور هستند، به کار می‌رود. فرض اساسی مدل جریان شبه پایا این است که از لختی سیال صرف‌نظر می‌شود.
- مدل جریان بحرانی[۴]- جریان بحرانی یا شوک در مسیر جریان گاز هنگامی رخ می‌دهد که نرخ جریان جرمی به یک مقدار ثابت برسد. این مقدار ثابت به نسبت فشار در طول مسیر جریان وابسته است.
- نرخ‌های جریان تعیین‌شده توسط کاربر- در مدل نرخ‌های جریان تعیین‌شده توسط کاربر، کاربر به سادگی نرخ‌های جریان جرمی و حجمی را به طور مستقیم و به صورت تابعی از زمان تعیین می‌کند.

در مدل جریان درون‌سلولی علاوه بر موارد فوق، مدل‌سازی هدهای گرانشی مسیر جریان گاز و استخر، جوشش استخری در مدل Lower cell، تعادل استخر- گاز هنگامی که جریان از مسیر جریان غوطه‌ورشده زیر سطح استخر به درون سلول تزریق می‌شود و همچنین سرعت گاز در فصل مشترک استخر- فضا مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

- در مدل‌سازی هدهای گرانشی دو حالت در نظر گرفته می‌شود: هدهای گرانشی در مسیر گاز و مسیر استخر. در مسیر گاز محاسبه هدهای گرانشی با استفاده از چگالی گاز و حل معادله مومنتوم صورت می‌پذیرد. در مسیر استخر نیز محاسبات هدهای گرانشی با استفاده از چگالی مایع انجام می‌شود.
- جوشش استخری به صورت ضمنی[۵] در حل جریان ضمنی و به صورت صریح[۶] در مدل Lower cell قابل محاسبه است. جوشش صریح زمانی به کار می‌رود که باقی‌مانده استخر خنک‌کننده شروع به جوشیدن نماید (مدل Lower cell). در این حالت نرخ جوشش جرمی استخر و همچنین نرخ انتقال انرژی به صورت عبارت‌های صریح انتقال جرم و انرژی در معادلات بقاء در نظر گرفته می‌شود. هدف از این مدل، محاسبه نرخ جوشش جرمی استخر و همچنین

[۱] Inertial Flow Model
[۲] Quasi-Steady Flow Model
[۳] Suppression Pool Vent
[۴] Critical Flow Model
[۵] Implicit
[۶] Explicit

محاسبه نرخ انتقال انرژی از فضا به استخر می‌باشد. همان‌طور که قبلاً نیز عنوان شد جوشش ضمنی هنگامی رخ می‌دهد که حل جریان ضمنی به کار می‌رود. در این حالت نرخ جوشش جرمی از استخر به فضا و همچنین نرخ انتقال انرژی از استخر به فضا محاسبه می‌شود.

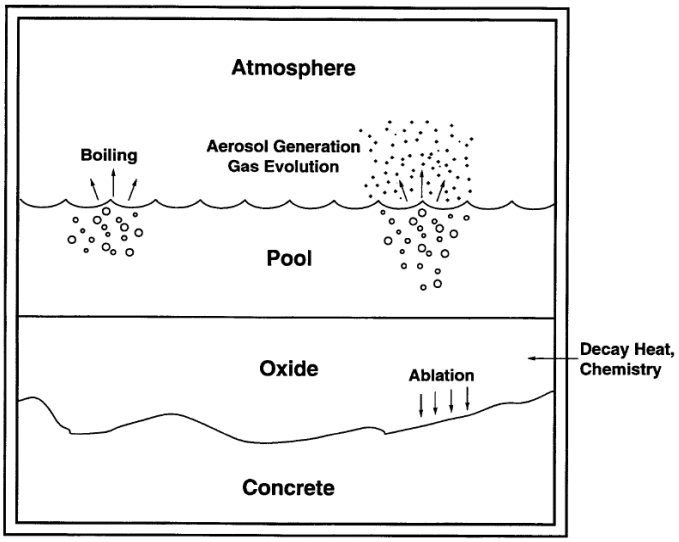
- مدل‌سازی تعادل استخر- گاز با توجه به جریان گاز و در شرایطی رخ می‌دهد که گاز از طریق مسیر جریان غوطه‌ور زیر سطح استخر، به سلول وارد شود. در این مدل نرخ افزایش انرژی و انتقال جرم به استخر در حالت تعادل محاسبه می‌شود.
- سرعت چرخش گاز نیز از دیگر مواردی است که در مدل جریان درون‌سلولی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سرعت چرخش گاز در فرآیندهای رسوب ایروسل در فصل مشترک استخر- فضا و همچنین محاسبه جابجایی اجباری در سطوح ساختارهای انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۲-۲- مدل‌های Lower cell و چاهک راکتور

در حادثه ذوب قلب که مخزن فشار راکتور می‌شکند، مایع خنک‌کننده، بستر و یا استخری از آوار قلب در انتهای چاهک[۱] راکتور که عمدتاً از جنس بتن است، گسترش می‌یابد. چنانچه آوار همچنان وجود داشته باشند، دمای بتن افزایش یافته به طوری که گرمای واپاشی از آوار به بتن انتقال می‌یابد. این امر موجب فرسایش بتن در شرایط حوادث شدید می‌گردد. فرسایش بتن تا زمانی که بخار آب، گازهای غیرقابل‌تراکم (شامل هیدروژن قابل احتراق و مونوکسیدکربن) و محصولات فرسایش تولید می‌شوند، تهدید جدی به شمار می‌آیند.

مدل Lower cell برای نشان‌دادن فرآیندهای پایین‌ترین ناحیه سلول به کار می‌رود. این ناحیه از یک لایه بتنی، لایه‌های میانی، لایه استخر و یک لایه فضا تشکیل شده است (شکل ۳). اساس استفاده از مدل Lower cell، مدل‌سازی استخر خنک‌کننده، زیرلایه‌ها و برهم‌کنش‌های قلب و دیواره بتنی است. این مدل به منظور بررسی رسانش حرارتی بین استخر و زیرلایه‌ها، برهم‌کنش‌های قلب و دیواره بتنی، گرمایش واپاشی هسته‌های پرتوزا، محاسبه توان واپاشی، انتقال حرارت تابشی بین فضای محفظه ایمنی و محیط اطراف، چشمه‌های جرم و انرژی در استخر و زیرلایه‌ها و همچنین تحلیل فرآیندهای درون لایه‌های استخر، بتن و لایه‌های میانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[۱] Cavity

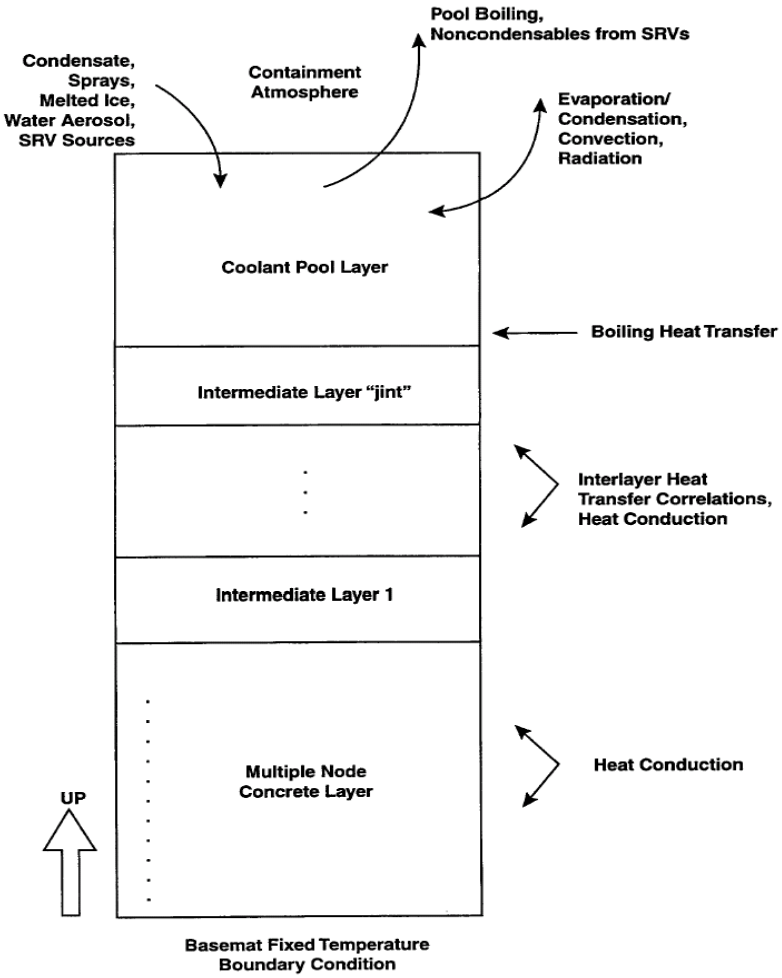


شکل ۳: ساختار کلی Lower cell در کد CONTAIN

در مدل‌سازی فرآیندهایی که درون لایه‌های Lower cell رخ می‌دهد، دو حالت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد: حالت اول تحلیل مسأله بدون فعال‌کردن گزینه CORCON و دیگری حالتی است که CORCON فعال می‌باشد. در حالتی‌که از مدل CORCON استفاده می‌شود، مدل VANESA نیز فعال می‌شود. مدل CORCON برای مدل‌سازی برهم‌کنش‌های بین قلب مذاب و دیواره بتنی محفظه ایمنی و مدل VANESA برای تحلیل ایروسل‌ها و محصولات شکافت و آوارهای قلب که به صورت فعال می‌باشند، به کار می‌روند.

هنگامی که مدل CORCON فعال نیست، نمی‌توان انتقال جرم بین لایه‌های میانی، تغییر فاز درون لایه‌ها و واکنش‌های شیمیایی را مدل‌سازی نمود. در این صورت تنها پدیده فیزیکی اصلی که تحلیل می‌شود، انتقال حرارت هدایت است. در این شرایط می‌توان هر تعداد ماده جامد و یا مایع را در لایه میانی در نظر گرفت. شکل ۴ آرایش لایه‌ها در Lower cell بدون مدل CORCON و فرآیندهایی را که بین لایه‌ها رخ می‌دهد، نشان می‌دهد. همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌شود، آرایش لایه‌ها از لایه بتنی، لایه‌های میانی و لایه استخر خنک‌کننده تشکیل شده است. اولین لایه بتن است که معمولاً به ۱۲ گره[1] مساوی تقسیم می‌شود. برای لایه بتن می‌توان تعداد ۵ گره یا بیشتر در نظر گرفت. هر لایه میانی تنها یک گره دارد و کاربر می‌تواند هر تعداد لایه میانی و هر نام اختیاری را تعیین کند. لایه استخر نیز می‌تواند مانند لایه میانی تنها یک گره داشته باشد.

[1] Node



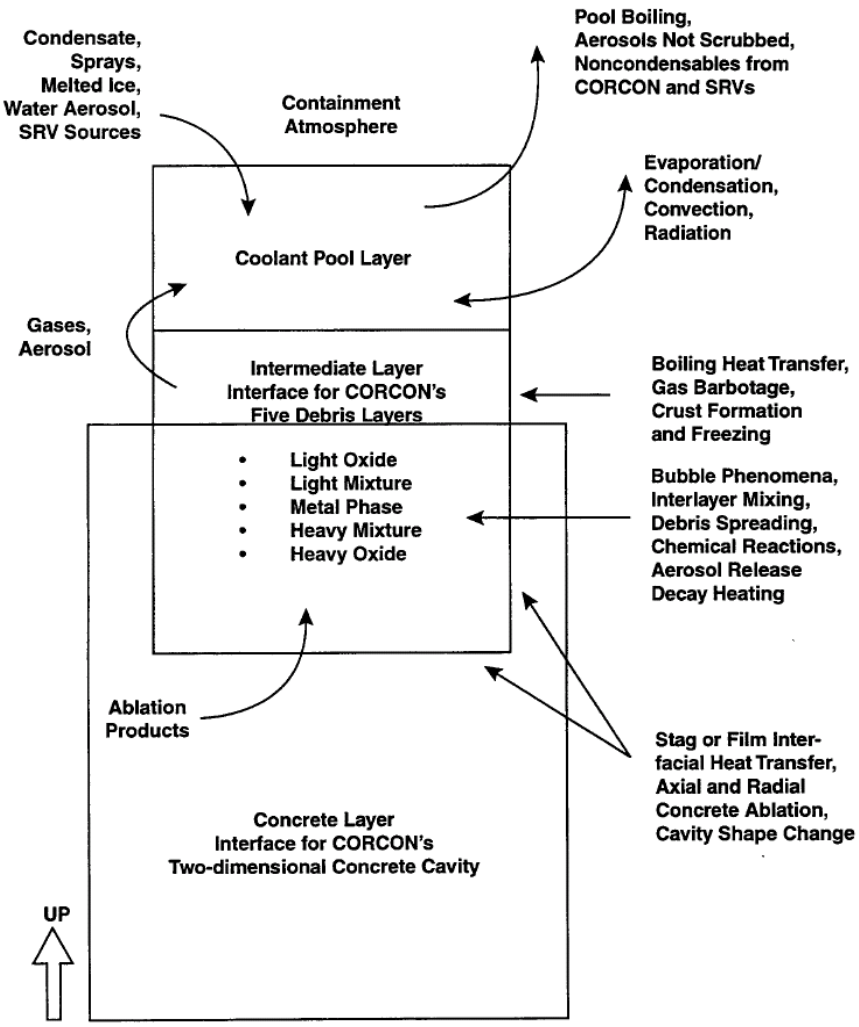
شکل ۴: آرایش لایه‌های Lower cell بدون CORCON

هنگامی که CORCON فعال است، تنها یک لایه میانی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۵). این لایه بعد از لایه بتن قرار داشته و CORCON نام دارد. فرض می‌شود که همه ترکیبات ایجادشده توسط برهم‌کنش قلب و بتن، به انتهای استخر خنک‌کننده تزریق می‌شوند. در غیر این صورت این ترکیبات به فضا راه می‌یابند. لایه میانی دارای ۵ لایه داخلی بوده و به ترتیب شماره از انتهای استخر مذاب عبارتند از:

۱. اکسیدهای سنگین[۱]،
۲. مخلوط ناهمگن اکسیدها و فلزات سنگین[۲]،
۳. فلزات[۳]،
۴. مخلوط ناهمگن اکسیدها و فلزات سبک[۴]،

[۱] Heavy Oxide (HOX)
[۲] Heavy Mixture (HMX)
[۳] Metal (MET)
[۴] Light Mixture (LMX)

۵. اکسیدهای سبک[۱].



شکل ۵: آرایش لایه‌های Lower cell با CORCON

چنانچه مدل CORCON فعال باشد، هدایت حرارت در بتن و لایه میانی درنظر گرفته نمی‌شود، ولی انتقال حرارت تابشی بین فضای محفظه ایمنی و محیط اطراف مدل‌سازی می‌شود. همچنین باید شکل چاهک راکتور و نوع بتن تعیین شود. چاهک راکتور شامل آوار قلب است که به طور متقارن محوری قرار گرفته‌اند. دو هندسه کلی برای توصیف شکل اولیه چاهک راکتور وجود دارد: استوانه‌ای با پایه تخت[۲] و استوانه‌ای با پایه کروی شکل[۳]. در محاسبات CORCON سه نوع بتن نیز برای تحلیل برهم‌کنش قلب و بتن وجود دارد:

- بتن basaltic،

[۱] Light Oxide (LOX)
[۲] FLATCYL
[۳] HEMICYL

- بتن limestone/common-sand،
- بتن limestone.

بعد از لایه بتن و لایه‌های میانی، لایه استخر خنک‌کننده از اهمیت ویژه‌ای در مدل Lower cell برخوردار است. این لایه به عنوان بالاترین لایه در Lower cell تعریف می‌شود. لایه استخر ممکن است شامل خنک‌کننده، ایروسل‌ها و یا محصولات شکافت ته‌نشین‌شده باشد. در مدل‌سازی لایه استخر اگر گزینه جوشش فعال نباشد، استخر مشابه سایر گره‌ها در مدل هدایت حرارت در نظر گرفته می‌شود و دمای آن به دمای غیرمنطقی می‌رسد. بنابراین گزینه جوشش همیشه باید فعال باشد.

بررسی انواع فرآیندهای انتقال حرارت در چاهک راکتور، تجزیه و فرسایش بتن، تغییر شکل چاهک و تولید و انتشار هسته‌های پرتوزا از جمله مواردی است که در محاسبات مدل Lower cell لحاظ می‌شود. همه این موارد از طریق مدل‌سازی فیزیکی مدل CORCON مورد بررسی قرار می‌گیرند. به دلیل فقدان مطالب کافی در راهنمای کد CONTAIN، توضیحات این مدل بر اساس راهنمای کد CORCON-Mod3 ذکر شده است [۲].

۲-۲-۲-۱- مدل‌سازی فیزیکی مدل CORCON

مدل CORCON یک مدل محاسباتی کلی است که برای محاسبات بین مواد مذاب قلب و بتن به کار می‌رود. فرض می‌شود که مواد مذاب در چاهک بتنی راکتور به صورت متقارن محوری قرار می‌گیرند. این مدل شامل انتقال حرارت بین قلب مذاب و بتن و همچنین بین قلب مذاب و فضاست. چنانچه خنک‌کننده موجود باشد، انتقال حرارت از قلب مذاب به خنک‌کننده و از خنک‌کننده به فضا نیز مدل می‌شود. به طور کلی در مدل‌سازی فیزیکی CORCON به موارد زیر پرداخته می‌شود [۲]:

- تولید انرژی،
- انتقال حرارت بتن- مواد مذاب،
- انتقال حرارت خنک‌کننده،
- تغییر شکل پوسته و انجماد،
- پدیده تولید حباب[۱]،
- اختلاط لایه میانی،
- انتقال حرارت سطح استخر (انتقال حرارت جابجایی به فضا و انتقال حرارت تابشی به محیط اطراف)،

[۱] Bubbling

- تجزیه بتن و فرسایش آن،
- واکنش‌های شیمیایی،
- انتقال جرم و انرژی،
- تغییر شکل چاهک راکتور،
- تولید ایروسل‌ها و انتشار هسته‌های پرتوزا با استفاده از مدل VANESA،
- برداشت ایروسل‌ها توسط استخر آب.

۲-۲-۲-۱-۱- انتقال حرارت بتن- مواد مذاب

انتقال حرارت بین آوار قلب و بتن چاهک راکتور، از طریق تولید حباب گازهای حاصل از تجزیه بتن در اثر تماس با مواد مذاب مدل می‌شود. این فرآیند مشابه جوشش هسته‌ای و یا تزریق گاز است، به جز در فصل مشترک بین آوار قلب و بتن که در این صورت گاز در تلاقی با سطح بتن مذاب شروع به انتشار می‌کند. در اثر تلاقی حباب گاز و بتن مذاب در فصل مشترک، آوار مذاب قلب در مجاورت سطح بتن مذاب شروع به جامدشدن و تشکیل پوسته می‌کند. این پوسته ممکن است با توجه به نرخ رشد، پایدار و یا ناپایدار باشد. اگر پوسته ناپایدار باشد، متلاشی می‌شود و در اثر بالارفتن حباب‌ها حرکت می‌کند. اگر پوسته پایدار باشد، ممکن است به رشد خود ادامه داده و در نهایت ایجاد مانع برای جریان گازها و سرباره بتن می‌کند. در این صورت جریان گاز و سرباره همسو و به سمت سطح بتن خواهد بود.

در کد CORCON مدل‌هایی به منظور مدل‌سازی انتقال حرارت مواد مذاب و بتن در نظر گرفته شده است که در ادامه به اختصار شرح داده می‌شوند.

الف) انتقال حرارت استخر آوار مذاب حجمی- حرارت در مرزهای استخر آوار مذاب (بالای سطح استخر آوار و در فصل مشترک با بتن) برداشت می‌شود. بنابراین دمای درونی استخر آوار به سرعت به تعادل رسیده و انتقال حرارت به حالت پایدار نزدیک می‌شود. در این صورت مدل‌های شبه پایدار برای انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کد CORCON-Mod3 یک مدل استخر آوار چندلایه به منظور در نظر گرفتن انتقال حرارت از لایه نسبت به زمان به کار می‌رود. تحلیل انتقال حرارت استخر آوار مذاب حجمی شامل اثرات عبور گازهای حاصل از تجزیه بتن از طریق مایع، تزریق گاز در انتهای سطح مواد مذاب و همچنین آشفتگی گاز در برابر مواد مذاب می‌باشد.

برای فصل مشترک انتهای استخر آوار مذاب که حباب‌های گاز از بتن ورودی تزریق می‌شوند، ضریب انتقال حرارت برای لایه مایع با استفاده از رابطه کوتاتلادز[۱] محاسبه می‌شود. در سرعت‌های پایین گاز، انتقال حرارت در آوار مذاب قلب از طریق جابجایی طبیعی محاسبه می‌شود. این فرآیند در کد CORCON-Mod3 با استفاده از روابط رایلی- ناسلت متداول مدل می‌شود.

ب) انتقال حرارت در فصل مشترک- انتشار گازهای حاصل از تجزیه بتن برای تشکیل یک فیلم گاز پایدار بین بتن و استخر آوار مذاب مناسب است. انتشار گاز معمولاً بسیار کمتر از مقداری است که برای تشکیل فیلم گاز پایدار مورد نیاز می‌باشد. در این صورت تماس متناوب بتن و آوار مذاب رخ می‌دهد. این تماس متناوب منجر به رشد پریودیک و برداشت سرباره از فصل مشترک (به دمای آوار مذاب وابسته است) و همچنین رشد پریودیک و برداشت از پوسته‌های آوار مذاب می‌گردد. در کد CORCON-Mod3 مدل‌های ساده‌ای برای بررسی شرایط فوق در نظر گرفته شده که عبارتند از مدل فیلم سرباره[۲] و مدل فیلم گاز پایدار[۳].

۱. مدل فیلم سرباره- همزمانی فرآیند انجماد آوار مذاب قلب و بتن مذاب را می‌توان مشابه با تحلیل‌هایی که از مدل اپستین[۴] برای مدل انجماد استفاده می‌کند، مدل‌سازی نمود. مدل اپستین چهار ناحیه در نظر می‌گیرد: فاز مذاب اولیه، زیرلایه جامد، پوسته فاز مذاب جامد شده و زیرلایه مذاب. در این مدل با استفاده از ضرایب انتقال حرارت جابجایی، دمای نواحی فوق محاسبه می‌شود.
۲. مدل فیلم گاز پایدار- در این حالت دو مدل انتقال حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد: یکی برای فیلم‌های تقریباً افقی (شرایطی که ذاتاً هیچ جریان گازی موازی با سطح بتن وجود ندارد) و دیگری برای فیلم‌های خمیده (جریان گاز همسو با سطح بتن). در این مدل با استفاده از ضخامت فیلم و ضریب انتقال حرارت، دمای سطح فیلم محاسبه می‌شود.

۲-۲-۲-۱-۲- انتقال حرارت خنک‌کننده

چنانچه لایه خنک‌کننده موجود باشد، کد CORCON-Mod3 انتقال حرارت جوشش را محاسبه می‌کند. مدل انتقال حرارت جوشش در کد شامل منحنی جوشش کامل مبتنی بر روابط جوشش استخری استانداردی است که توسط برگلی[۵] خلاصه شده است. این روابط به منظور بررسی اثرات تزریق گاز در فصل مشترک[۶] بتن- ماده مذاب و همچنین اثرات مادون سرمایش

[۱] Kutateladze
[۲] Slag Film
[۳] Stable Gas Film
[۴] Epstain
[۵] Beregle
[۶] Gas barbotage

خنک‌کننده در نظر گرفته شده است. محاسبات جوشش هسته‌ای با استفاده از رابطه روزنو[۱] برای افزایش دما و رابطه زوبر[۲] برای شار حرارتی بحرانی انجام می‌شود. اثر مادون سرمایش بر جوشش هسته‌ای نیز با استفاده از رابطه لیوی[۳] در نظر گرفته می‌شود. علاوه براین، جوشش فیلم از رابطه برنسون[۴] به منظور تعیین ضریب انتقال حرارت در جوشش فیلم و اختلاف دما در دمای نقطه لیدن فراست[۵] (حداقل نقطه جوشش فیلم) استفاده می‌نماید.

۲-۲-۲-۱-۳- تشکیل پوسته و انجماد

پس از سپری‌شدن مدت زمانی از برهم‌کنش‌ها، دمای آوار قلب به میزانی کاهش می‌یابد که فرآیند انجماد شروع می‌شود. در مراحل اولیه فرض می‌شود که پوسته‌ها در فصل مشترک‌ها (فصل مشترک با لایه‌هایی که به صورت مایع باقی مانده‌اند) تشکیل شود. بعد از گذشت مدت زمانی، فرآیند انجماد رخ می‌دهد. اگر بخشی از لایه و یا همه آن به حالت انجماد درآید، حرارت تنها به صورت هدایت برداشت می‌شود. در این مدل با استفاده از ضخامت پوسته، دمای متوسط سطح پوسته محاسبه می‌شود.

۲-۲-۲-۱-۴- پدیده تولید حباب

گازهایی که از میان استخر آوار مذاب به صورت حباب خارج می‌شوند بر انتقال حرارت در استخر تأثیر می‌گذارند. خواص و رفتار حباب نیز بر اختلاط بین لایه‌ها و انتشار ایروسل‌ها و محصولات شکافت تأثیر می‌گذارد. برای مدل‌سازی این پدیده، بالارفتن حباب با توجه به هندسه و اندازه حباب برای سه ناحیه در نظر گرفته می‌شود:

- ناحیه ۱ برای حباب‌های کروی کوچک با گردش درونی گاز،
- ناحیه ۲ برای حباب‌های بیضوی با گردش درونی گاز،
- ناحیه ۳ برای حباب‌های با کلاهک کروی.

۲-۲-۲-۱-۵- اختلاط لایه میانی

مدل اختلاط لایه میانی در کد CORCON-Mod3 مبتنی بر داده‌های تحلیلی و تجربی است که توسط گرین[۶] ارائه شده است. دو شکل مختلف از اختلاط لایه‌ها وجود دارد: یک لایه اکسید سبک با قطرات فلزات معلق و یک لایه فلزات با قطرات معلق اکسید سنگین. اختلاط لایه‌ها به دو روش صورت می‌گیرد:

[۱] Rohsenow
[۲] Zuber
[۳] Levy
[۴] Berenson
[۵] Leidenfrost
[۶] Greene

- اختلاط لایه از طریق ورود به درون یک لایه و متراکم کردن دو لایه در یکدیگر،
- اختلاط از طریق متراکم‌شدن لایه بالایی و سپس لایه زیرین.

در محاسبات ورود حباب‌های گاز به درون بتن[1] در مدل اختلاط لایه میانی، شار جرمی حباب با استفاده از حجم‌های حباب از رابطه گرین به دست می‌آید. در محاسبات عدم ورود حباب‌های گاز نیز شار جرمی رسوب قطرات با استفاده از ضریب درگ و سرعت ته‌نشینی قطره محاسبه می‌شود.

۲-۲-۲-۱-۶- تجزیه و فرسایش بتن

بتن یک ماده ناهمگن است که ترکیب آن در اثر حرارت تغییر می‌یابد. تغییرات مهم در ترکیب بتن عبارت است از:

- تبخیر درون شبکه‌ای و جذب آب در دمای حدود ۴۰۰ کلوین،
- تجزیه هیدروکسیدهای منیزیم و کلسیم در دمای ۷۰۰ کلوین،
- تجزیه کربنات‌های منیزیم و کلسیم در محدوده دمای بین ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ کلوین.

دی‌اکسیدکربن، بخار آب و آب مایع تولیدشده درون بتن جامد، از طریق منافذ ریز جریان می‌یابند. در نهایت فلزات اکسیدی در محدوده دمایی ۱۳۵۰ تا ۱۹۰۰ کلوین در بتن باقی می‌مانند. در مورد برهم‌کنش‌های بتن و قلب مذاب، مواد مذاب و شبه‌مذاب از سطح استخر به درون استخر برداشت می‌شوند. در کد CORCON-Mod3 مدل ساده‌ای برای پاسخ بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل مبتنی بر بالانس انرژی تک‌بعدی حالت پایدار است. در این مدل با استفاده از شار حرارتی در فصل مشترک، تغییرات سطح بتن محاسبه می‌شود.

۲-۲-۲-۱-۷- انتقال جرم و انرژی

فرآیند انتقال جرم اهمیت زیادی در مدل‌سازی برهم‌کنش‌های بین قلب مذاب و بتن دارد. انتقال جرم شامل تزریق محصولات تجزیه بتن (گازی و یا چگالیده) به درون استخر و افزودن مواد قلب، مواد ساختاری و یا خنک‌کننده ورودی از بالا می‌باشد. واکنش‌های شیمیایی نیز باید در فرآیند انتقال جرم در نظر گرفته شود، زیرا این واکنش‌ها بر انتقال جرم به صورت طبیعی تأثیر می‌گذارند. انتقال جرم و انتقال انرژی مربوط به آن در مورد جرم‌ها و انتاپی‌های همه لایه‌ها از طریق دو مسیر زیر صورت می‌پذیرد:

[1] Entrainment

۱. مسیر رو به بالا از میان استخر، در جهت بالارفتن گازها و مواد فاز چگالیده حاصل از تجزیه بتن و یا واکنش‌های گاز- مذاب- بتن،
۲. مسیر رو به پایین از میان استخر، ناشی از هر ماده ورودی به استخر از سمت بالا، محصولات واکنش استهلاک، محصولات فرسایش بتن و ته‌نشینی قطرات خروجی از اختلاط لایه‌ها.

در مدل انتقال جرم و انرژی کد CORCON-Mod3، انتقال حرارت چگالش در ساختارها و انتقال حرارت تابشی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲-۲-۱-۸- تولید ایروسل و انتشار هسته‌های پرتوزا

همان‌طورکه گازها از تجزیه بتن در اثر عبور مواد مذاب و استخر ایجاد می‌شوند، ایروسل‌ها نیز توسط مکانیزم‌هایی مانند تبخیر، چگالش و انفجار (ترکیدن) حباب‌ها تولید می‌شوند. مدل VANESA برای پیش‌بینی تولید ایروسل‌ها و انتشار هسته‌های پرتوزا در طول برهم‌کنش بتن و مواد مذاب قلب توسعه یافته است. الزامات این مدل عبارتند از:

- دما، ترکیب و خواص مواد آوار مذاب قلب،
- نرخ جریان و ترکیب گازهای در حال پخش از مواد مذاب،
- عمق و دمای هر لایه خنک‌کننده،
- فشار محیط.

مدل VANESA محاسبات زیر را در مورد انتشار هسته‌های پرتوزا و تولید ایروسل انجام می‌دهد:

- نرخ و جرم کلی تولید ایروسل،
- غلظت ایروسل‌ها در گازهای منتشرشده،
- ترکیب ایروسل شامل مواد غیر رادیواکتیو و همچنین هسته‌های پرتوزای آن،
- اندازه متوسط و توزیع اندازه ایروسل‌ها،
- چگالی ماده ایروسل،
- اثرات استخر خنک‌کننده بالای لایه آوار مذاب قلب بر تولید و ماهیت ایروسل.

مدل تولید ایروسل و انتشار هسته‌های پرتوزا در کد CORCON-Mod3 از دو مدل انتشار تبخیر و انتشار مکانیکی جهت انجام محاسبات ایروسل استفاده می‌نماید. در مدل انتشار تبخیر، نرخ تشکیل بخار محاسبه شده و در مدل انتشار مکانیکی نیز با استفاده از نرخ ورود حباب گاز به بتن، میزان تولید ایروسل از طریق انفجار حباب از رابطه ازبل[۱] تعیین می‌گردد.

۲-۲-۱-۹- برداشت ایروسل توسط لایه استخر آب

برای مدل‌سازی برداشت ایروسل توسط لایه استخر از مدل VANESA استفاده می‌شود که مبتنی بر مدل Fuch می‌باشد. در این مدل، نرخ برداشت ایروسل با استفاده از ضرایب برداشت محاسبه می‌شود. فرض می‌شود که برداشت ایروسل توسط مکانیزم‌های زیر صورت می‌گیرد:

۱. ته‌نشینی ذرات ایروسل درون حباب‌های گاز،
۲. متراکم‌شدن و چسبیدن ذرات ایروسل بر روی دیواره حباب،
۳. پخش ذرات ایروسل از دیواره حباب،
۴. متلاشی‌شدن حباب‌ها در اثر چگالش بخار در استخر مادون سرد (این حالت زمانی در نظر گرفته می‌شود که استخر آب مادون سرد وجود داشته باشد).

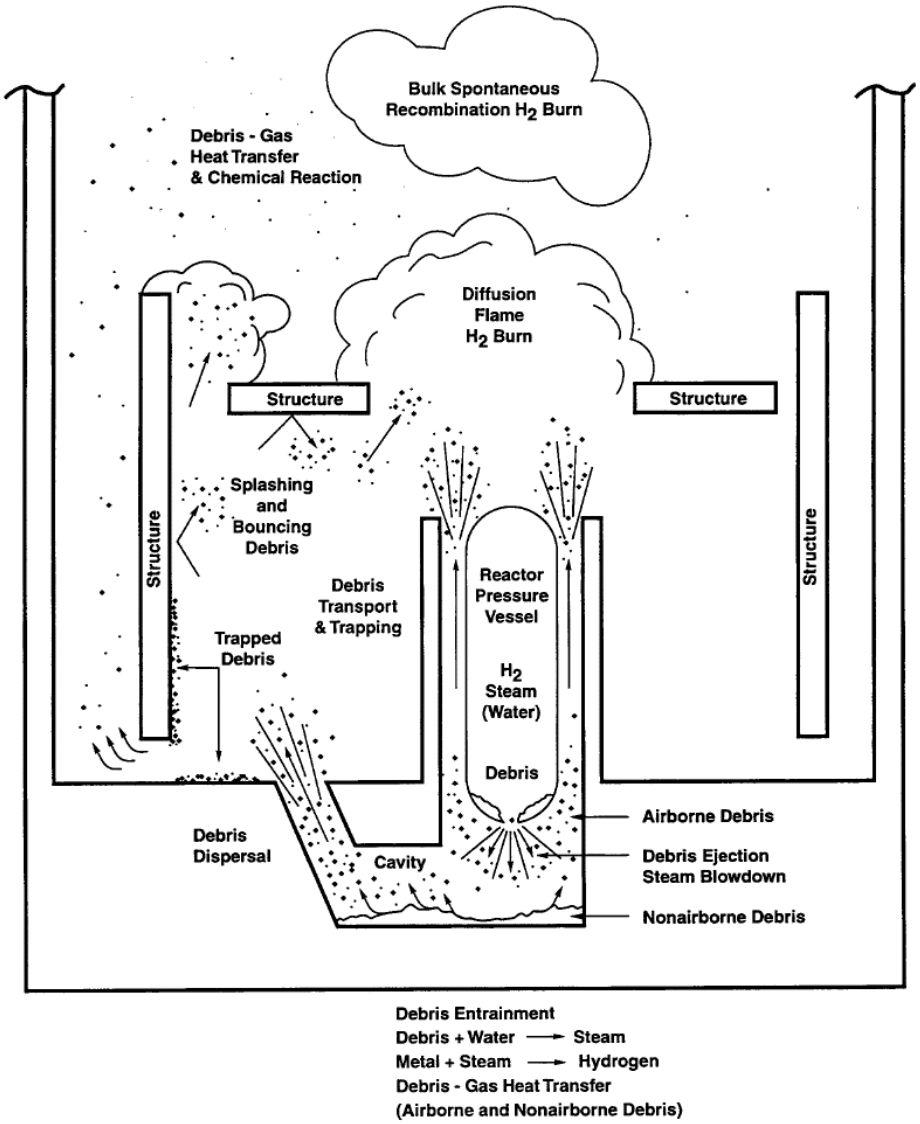
۲-۲-۳- گرمایش مستقیم محفظه ایمنی

پس‌از وقوع حادثه ذوب قلب، مواد مذاب (شامل فلزات و اکسیدها) به سمت کلگی پایین[۲] مخزن فشار جابجا می‌شود. چنانچه مخزن بشکند، مواد مذاب همراه با بخار به درون چاهک راکتور نشت پیدا می‌کند. مکانیزم‌های انتقال مواد مذاب در اثر شکست مخزن را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱. اگر هنگام شکست مخزن، فشار درون مخزن فشار تقریباً برابر با فشار محفظه ایمنی باشد، در این صورت بخشی از موجودی قلب مذاب از طریق نیروی گرانشی به چاهک راکتور منتقل می‌شوند. این امر ممکن است سبب برهم‌کنش بتن و مواد مذاب گردد.
۲. خروج مذاب فشاربالا[۳] در اثر شکست مخزن در فشاری بسیار بالاتر از فشار محفظه ایمنی. در این صورت مواد مذاب با شدت به سمت چاهک پرتاب شده و در نهایت به خارج از چاهک منتقل می‌شوند. در طی این فرآیند ممکن است بخشی از فلزات با بخار، اکسید شده و هیدروژن و حرارت اضافی تولید کنند. این فرآیند اصطلاحاً گرمایش مستقیم

[۱] Azbel
[۲] Lower head
[۳] High Pressure Melt Ejection (HPME)

محفظه ایمنی نامیده می‌شود. در واقع گرمایش مستقیم محفظه ایمنی شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای پیچیده شیمیایی، فیزیکی و حرارتی است که در نتیجه انتقال جرم و انرژی از آوار قلب به فضای محفظه ایمنی و محیط اطراف آن رخ می‌دهد (شکل ۶).



شکل ۶: فرآیندهای گرمایش مستقیم محفظه ایمنی مدل‌شده در کد CONTAIN

فرآیندهای گرمایش مستقیم محفظه ایمنی به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

- فرآیندهایی شامل پرتاب آوار تحت فشار از مخزن فشار راکتور (مدل RPV)،
- فرآیندهایی شامل انتقال و گیراندازی آوار در محفظه ایمنی و انتقال جرم و انرژی از آوار به فضای محفظه ایمنی و محیط اطراف آن (مدل چاهک راکتور).

مدل اول به مدل‌سازی فرسایش حفره مخزن فشار، تخلیه آوار تک‌فاز، خروج گازها با فشار و تخلیه گازها و آوار دوفاز می‌پردازد. مدل دوم نیز برای محاسبه نرخ انتقال ذرات آوار، محاسبه اندازه ذره آوار، مدل‌سازی فرآیند برداشت آوار در نتیجه برهم‌کنش با ساختارها و یا ریزش گرانشی (مدل گیراندازی)، محاسبات انتقال حرارت تابشی و جابجایی و همچنین واکنش‌های شیمیایی به کار می‌رود.

در طول حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی چنانچه فلزات فعال در آوار متفرق‌شده وجود داشته باشند و فضا نیز شامل اکسیژن و یا بخار باشد، باید واکنش‌های شیمیایی را مدل نمود و مدل شیمیایی گرمایش مستقیم محفظه ایمنی را در نظر گرفت. این واکنش‌ها عبارتند از:

$$\mathrm{Zr} + O_2 \rightarrow ZrO_2 \quad (۱-۲)$$

$$2\mathrm{Cr} + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Cr_2O_3 \quad (۲-۲)$$

$$\mathrm{Fe} + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow FeO \quad (۳-۲)$$

$$\mathrm{Zr} + 2H_2O \rightarrow ZrO_2 + 2H_2 \quad (۴-۲)$$

$$2\mathrm{Cr} + 3H_2O \rightarrow Cr_2O_3 + 3H_2 \quad (۵-۲)$$

$$\mathrm{Fe} + H_2O \rightarrow FeO + H_2 \quad (۶-۲)$$

$$2Al + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Al_2O_3 \quad (۷-۲)$$

$$2Al + \frac{3}{2}H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2 \quad (۸-۲)$$

مدل شیمیایی گرمایش مستقیم محفظه ایمنی شامل چهار بخش زیر است:

- مدل‌سازی انتقال گازها از سطح قطرات که به محاسبه نرخ انتقال اکسیژن و بخار با استفاده از ضرایب پخش و روابط انتقال جرم می‌پردازد.
- مدل‌سازی انتقال قطره مبتنی بر پخش ذرات اکسنده درون قطره.
- مدل‌سازی نرخ‌های واکنش گازها و قطرات. در این حالت نرخ‌های واکنش، جرم واکنش‌دهنده‌ها (فلزات)، مواد تولیدشده (اکسیژن و هیدروژن) و همچنین مواد مصرف‌شده (اکسیژن و بخار) محاسبه شده و در نهایت انرژی حاصل از واکنش به دست می‌آید.
- مدل‌سازی بازترکیب هیدروژن تولید شده توسط واکنش‌های شیمیایی.

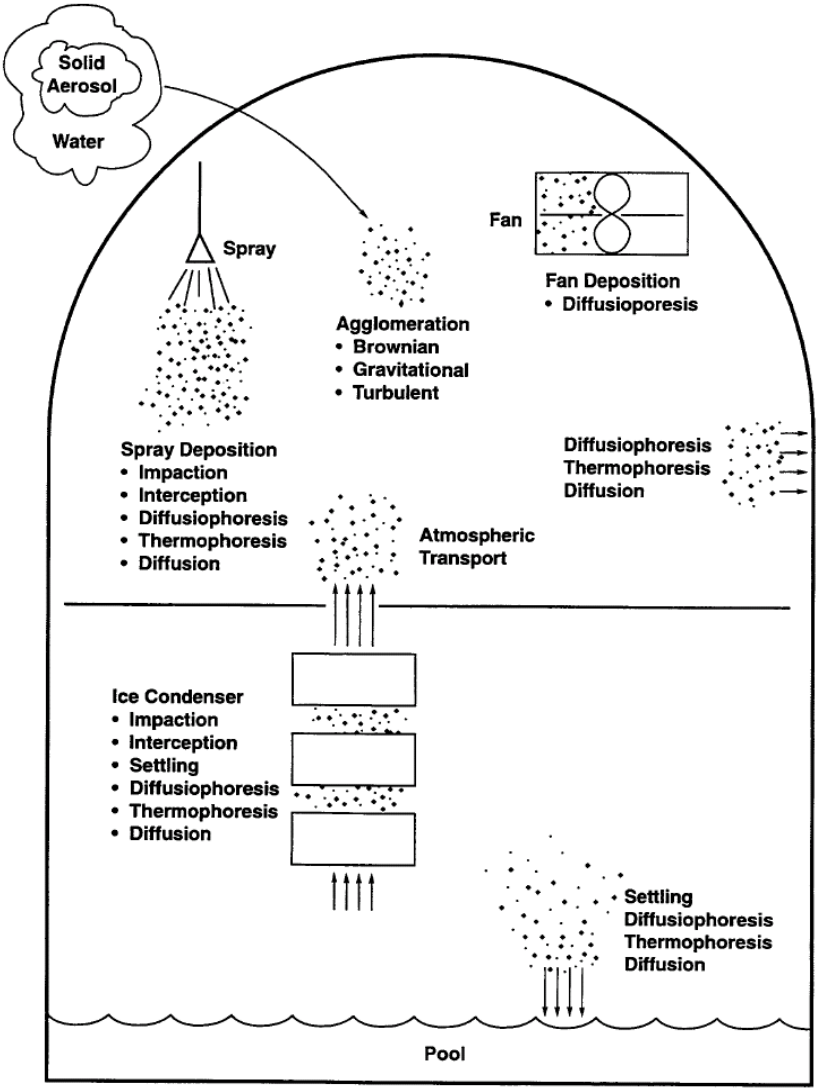
۲-۲-۴- ایروسل‌ها

حوادث اولیه‌ای که در راکتورهای آب سبک رخ می‌دهد، ممکن است موجب تولید محصولات شکافت و ایروسل‌هایی شده که در محفظه ایمنی پراکنده می‌شوند. سایر حوادثی که متعاقباً رخ می‌دهد، موجب ایجاد ایروسل‌ها از طریق برهم‌کنش‌های دیواره محفظه و آوار قلب می‌گردد. مدل‌های ایروسل در کد CONTAIN مبتنی بر کد MAEROS است و جرم، توزیع اندازه و موقعیت ایروسل‌های معلق و نیز موقعیت و شرایط جرم‌های ته‌نشین‌شده را تعیین می‌کند. هفت نوع فرآیند دینامیکی زیر در مدل ایروسل‌ها بررسی می‌شود (شکل ۷):

- انباشتگی که به موجب آن دو ذره به هم برخورد کرده و یک ذره بزرگ‌تر تشکیل می‌دهد،
- تغییر ترکیب و اندازه ذره که در نتیجه چگالش آب بر روی ذره و یا بخار آب از ذره رخ می‌دهد،
- رسوب ذره به درون ساختارهای انتقال حرارت و استخر خنک‌کننده Lower cell،
- چشمه‌های ایروسل شامل چشمه‌های تعریف‌شده توسط کاربر و چشمه‌های ناشی از برهم‌کنش‌های قلب و دیواره،
- برداشت ذره از گازها در طول عملکرد سیستم‌های ایمنی مهندسی،
- عملیات برداشت و یا شستشوی[۱] ذره از گازهای تخلیه‌شده به درون استخر خنک‌کننده،
- جریان درون‌سلولی ایروسل‌ها به واسطه شستشو و یا ته‌نشینی از طریق مسیرهای جریان.

در کد CONTAIN علاوه بر مدل‌های فوق، مدل‌هایی برای ته‌نشینی و رسوب ایروسل‌ها در سیستم‌های ایمنی نیز در نظر گرفته شده است.

[۱] Scrubbing



شکل ۷: فرآیندهای مرتبط با مدل ایروسل‌ها در کد

۲-۲-۵- رفتار محصولات شکافت

بررسی پیامدهای ناشی از انتشار هسته‌های پرتوزا از محفظه ایمنی به محیط اطراف، یکی از اصول مهم در حوادث راکتورهای هسته‌ای می‌باشد. به دلیل اینکه کد CONTAIN قادر به تحلیل پدیده‌های درون مخزن فشار نیست، کاربر باید شرایط اولیه و یا نرخ‌های تولید چشمه‌های پاره شکافت درون محفظه ایمنی را تعیین کند. در کد، کتابخانه‌ای از محصولات شکافت تعریف شده است که اطلاعات ۱۴۰ هسته‌ی پرتوزا را از طریق ۴۰ فرآیند واپاشی دربر می‌گیرد. اطلاعات موجود در کتابخانه کد شامل نام هسته‌های پرتوزا، نیمه‌عمر، وزن اتمی، توان ویژه واپاشی، توان ویژه گرمای واپاشی گاما، انرژی گامای احتمالی و فاکتورهای ذخیره به منظور شناسایی توزیع جرم یک هسته‌ی پرتوزا در زنجیره خطی است.

در کد CONTAIN سه جنبه از رفتار محصولات شکافت مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- نقل و انتقال که تعیین‌کننده موقعیت محصولات شکافت است،
- واپاشی که موجودی هر ایزوتوپ را تعیین می‌کند،
- گرمایش واپاشی که بر رفتار ترموهیدرولیکی اثر دارد.

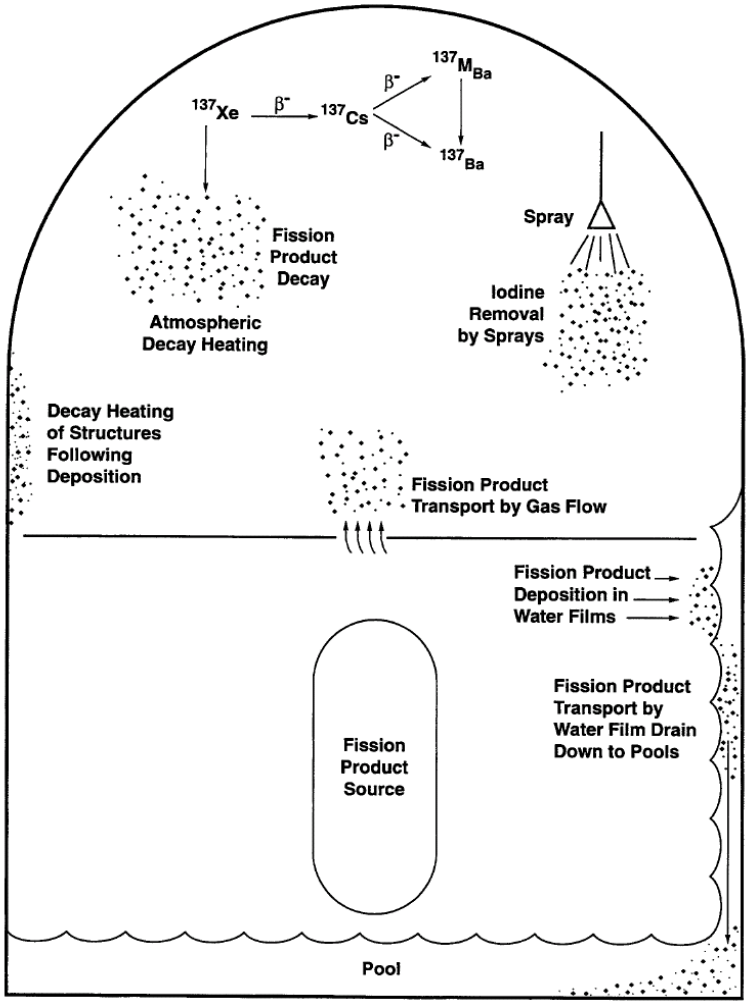
در کد، محصولات شکافت با توجه به وابستگی‌های شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی خود به میزبان‌های معینی که اصطلاحاً host نامیده می‌شوند، اختصاص می‌یابند. مثال‌هایی از این میزبان‌ها شامل گازهای موجود در فضای سلول، هر ترکیبی از ایروسل‌های معلق در فضای سلول، استخر خنک‌کننده یا سطح یک ساختار انتقال حرارت است. در ورودی کد CONTAIN این میزبان‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- GAS (برای فضای بالای سلول)،
- AEROSOL (برای ترکیبات ایروسل)،
- WALL (برای دیوارها و ساختارهای انتقال حرارت)،
- LAYER (برای لایه Lower cell شامل آوار قلب)،
- POOL (برای لایه استخر آب).

انتقال محصولات شکافت از موقعیت خود (به عنوان مثال ساختارها، ایروسل‌ها و یا لایه Lower cell) به سایر اهداف تعیین‌شده توسط کاربر و یا میزبان‌های دیگر (مانند فضای گازی شکل بالای سلول) که اصطلاحاً به مدل انتشار و پذیرش[1] مرسوم است، از جمله فرآیندهایی است که توسط کد مدل‌سازی می‌شود.

آزادسازی محصولات شکافت از میزبان‌ها، انتشار محصولات شکافت در طول برهم‌کنش‌های قلب و دیواره بتنی، واپاشی هسته‌های پرتوزا، گرمای واپاشی، انتقال محصولات شکافت گازی و یا مایع و همچنین برداشت ید توسط سیستم اسپری محفظه ایمنی از جمله رفتار محصولات شکافت هستند که در این کد مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. خلاصه فرآیندهای مرتبط با مدل محصولات شکافت کد CONTAIN در شکل ۸ نشان داده شده است.

[1] Release and Acceptance



شکل ۸: فرآیندهای مرتبط با رفتار محصولات شکافت در کد

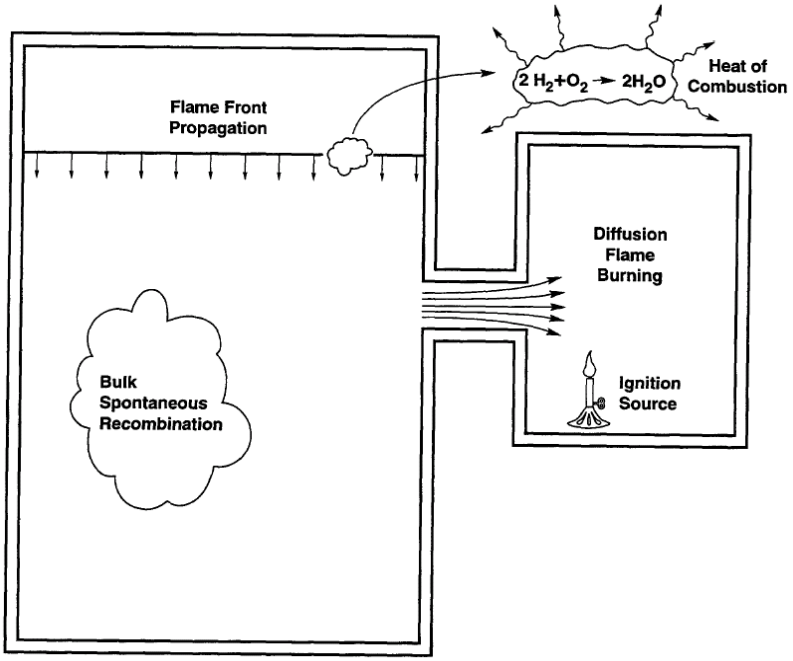
۲-۲-۶- مدل احتراق

در کد CONTAIN سه پدیده احتراق زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۹):

- اشتعال- فرآیند اشتعال هنگامی رخ می‌دهد که غلظت اکسیژن و گاز قابل احتراق از آستانه اشتعال تجاوز کند.
- سوختن شعله پخش[۱]- در این مدل، اثرات هیدروژن مشتعل در یک جت جریان و همچنین سوختن گازهای قابل اشتعال واردشده به درون جت از پایین‌دست سلول بررسی می‌شود.
- بازترکیب خودبه‌خودی حجمی[۲]- در حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی، دمای محفظه ایمنی به‌شدت افزایش یافته و ذرات داغ آوار مذاب شروع به پراکنده‌شدن در سراسر محفظه ایمنی می‌کند. این شرایط ممکن است به سوختن هیدروژن در غیاب هر سیستم احتراق و یا احتراق تصادفی منجر شود. مدل بازترکیب خودبه‌خودی یک

[۱] Diffusion Flame Burning (DFB)
[۲] Bulk Spontaneous Recombination (BSR)

مدل پارامتری ساده است که به اکسیژن و گازهای قابل احتراق اجازه می‌دهد تا در صورت وجود یکی از شرایط زیر به طور حجمی بازترکیب شوند: ۱- دمای حجمی گاز از حداقل دمای بازترکیب خودبه‌خودی تجاوز کند. ۲- دمای آوار مذاب و غلظت جرمی آنها به حد کافی بالا باشد.

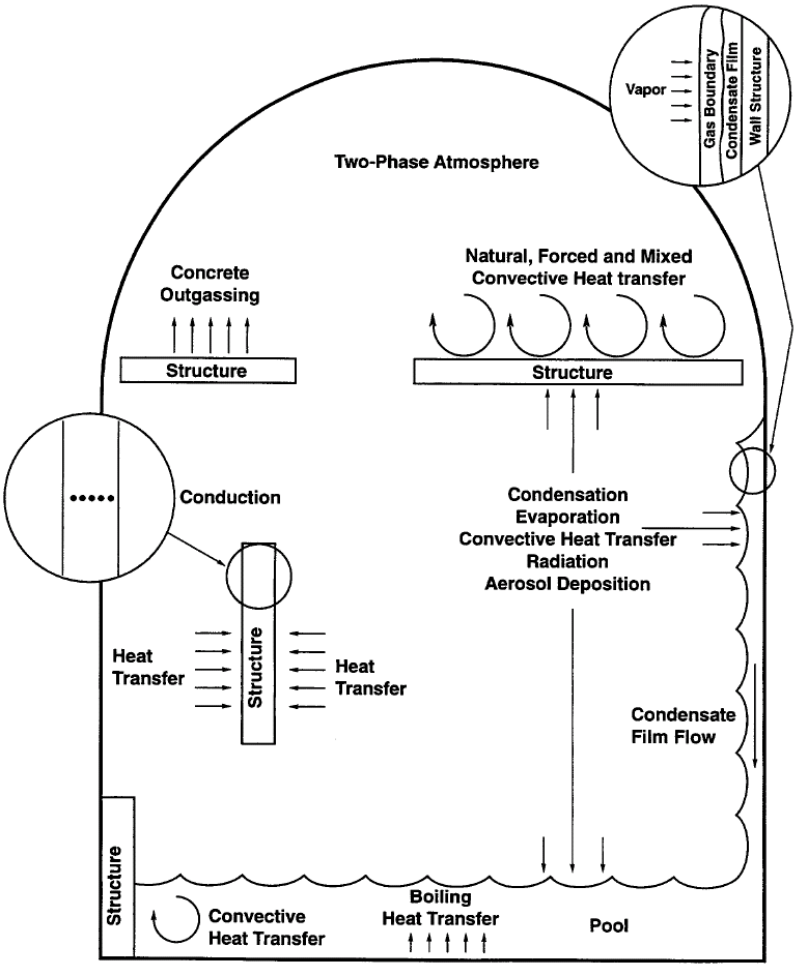


شکل ۹: فرآیندهای احتراق در کد CONTAIN

۲-۲-۷- انتقال حرارت و جرم

یکی از مواردی که می‌تواند اثر کاهشی بر بارهای وارده بر محفظه ایمنی داشته باشد، وجود چاه‌های حرارتی است. این چاه‌ها قادرند مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی حرارتی تولیدشده درون محفظه ایمنی (در طی وقوع حادثه) را جذب کنند. در این کد، چاه‌های حرارتی به دو نوع اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: ۱- ساختارهای انتقال حرارت، ۲- لایه‌های Lower cell. به طور کلی فرآیندهای انتقال حرارت و جرمی که در فصل مشترک چاه‌ها مدل می‌شوند، عبارتند از (شکل ۱۰):

- انتقال حرارت جابجایی طبیعی و اجباری،
- انتقال حرارت و جرم چگالش،
- انتقال جرم پوسته (لایه) چگالیده،
- انتقال حرارت تابشی،
- انتقال حرارت جوشش،
- انتقال حرارت هدایتی.



شکل ۱۰: فرآیندهای انتقال حرارت و جرم مدل‌شده در کد

خلاصه انواع فرآیندهای انتقال حرارت و یا جرمی که در فصل مشترک‌ها رخ می‌دهد، در جدول شماره ۱ ذکر شده است.

جدول شماره ۱: فرآیندهای انتقال حرارت و جرم در فصل مشترک‌ها

No.	Interface	Convection HT	Conduction HT	Radiation HT	Boiling HT	Aerosol MT	Film Inflow
1	Gas-Structure	C	C	C	-	C	C
2	Gas-Pool	C	C	C	-	M	M
3	Gas-Lower cell	C	C	C	-	M	-
4	Pool-Structure	C	-	-	-	-	-
5	Pool-Lower cell	C	-	-	M	-	-
6	Gas-Engineered System	C	C	-	-	M	-
HT=heat transfer, MT=mass transfer, C=modeled and coupled to interface temperature calculation, M=modeled but not coupled.							

هنگامی‌که دمای گاز در بخش‌های مختلف بالا می‌رود (به عنوان مثال در طی فرآیند احتراق)، تابش حرارتی به عنوان مکانیزم غالب انتقال حرارت محسوب می‌شود. انتقال حرارت از مقادیر زیاد بخار آبی که معمولاً در محفظه ایمنی وجود دارد، تأثیر می‌پذیرد. علاوه بر بخار، مونوکسیدکربن و دی‌اکسیدکربنی که در اثر برهم‌کنش‌های قلب و دیواره بتنی در فضا پخش می‌شوند و همچنین ایروسل‌ها و آوار مذاب متفرق‌شده در طول حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی نیز بر انتقال حرارت مؤثر است. در کد CONTAIN کاربر می‌تواند دو مدل انتقال حرارت تشعشعی زیر را به کار بگیرد:

۱. مدل تابش خالص محفظه[۱]: این مدل از طریق گزینه ENCLOS فعال می‌شود و به شبیه‌سازی محاسبات انتقال حرارت تشعشعی در فضای سلول که شامل آوار مذاب متفرق‌شده و یا ایروسل‌ها می‌شود، کلیه سطوح داخلی ساختارهای انتقال حرارت و بالاترین لایه Lower cell می‌پردازد. از طریق این مدل، انتقال حرارت تشعشعی بین سطوح و نیز تابش بین فضا و سطوح مدل‌سازی می‌شود. به دلیل اینکه هندسه محفظه ثابت است، این مدل را نمی‌توان برای حالتی که هندسه استخر خنک‌کننده سلول تغییر می‌کند، به کار برد.
۲. مدل انتقال حرارت تابشی مستقیم: این مدل از طریق کلیدواژه‌های GASWAL، GEOBL و یا VUFAC فعال می‌شود. گزینه VUFAC برای فعال‌کردن تبادل مستقیم تابش بین بالاترین لایه Lower cell و سطح درونی ساختار به کار می‌رود. با توجه به مدل مستقیم، کاربر می‌تواند انتقال حرارت تابشی بین فضا و سطح داخلی و خارجی ساختار را مدل کند.

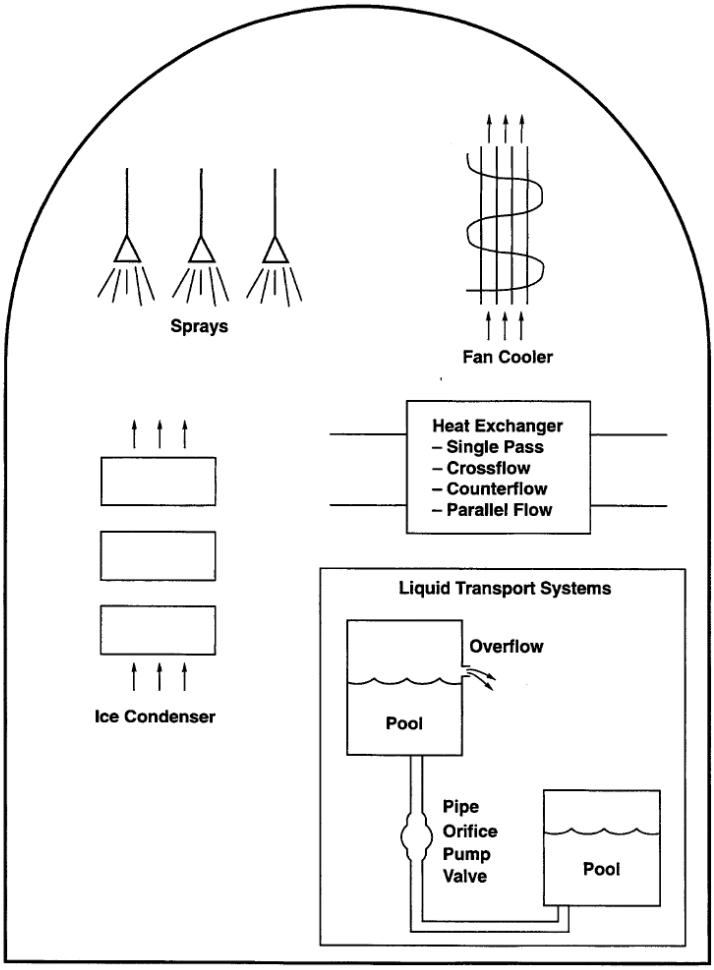
هر دو مدل به تعریف گسیلندگی و جذب‌پذیری مخلوط گاز در فضا نیاز دارند. این مقادیر تابعی از موقعیت گاز، فشار، دما و میانگین عمق ظاهری گاز هستند. برای محاسبه گسیلندگی مخلوط گاز دو مدل وجود دارد: ۱- مدل Modak که به طور پیش‌فرض، خواص تابشی را تعیین می‌کند. ۲- مدل Cess-Lian که زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که فقط بخار آب و یا ایروسل‌ها در فضا حضور داشته باشند. سه نوع گاز فعال در کد CONTAIN در نظر گرفته شده است که عبارتند از: بخار آب، دی‌اکسیدکربن و مونوکسیدکربن. اگر هر سه گاز در فضای سلول وجود داشته باشند استفاده از مدل Modak و اگر تنها بخار آب موجود باشد رابطه Cess-Lian پیشنهاد می‌شود.

۲-۲-۸- سیستم‌های ایمنی مهندسی

سیستم‌های ایمنی که در کد CONTAIN مدل می‌شوند عبارتند از اسپری‌های محفظه ایمنی، چگالنده‌های یخ و فن‌کولرها. مبدل حرارتی که معمولاً در سیستم اسپری محفظه ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تجهیزات سیستم انتقال مایع (شامل

[۱] Net Enclosure Radiation

تانک، پمپ، اوریفیس، لوله‌ها و شیرها) که به سیستم‌های ایمنی مهندسی وابسته است نیز از این طریق مدل می‌شوند. اجزای مهم سیستم‌های ایمنی که در کد CONTAIN مدل می‌شوند، در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

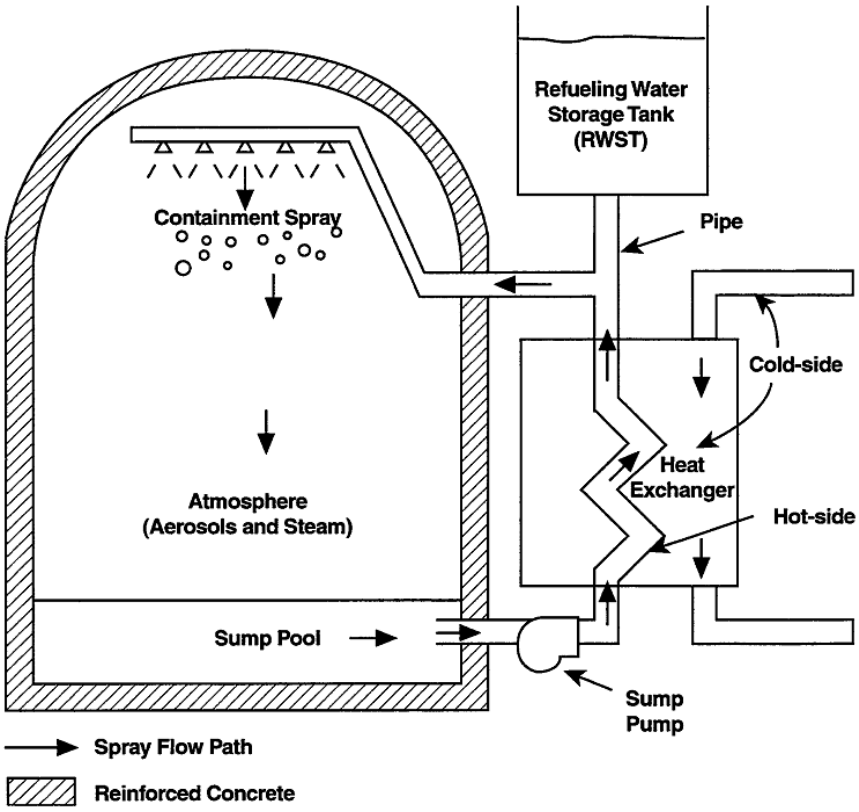


شکل ۱۱: سیستم‌های ایمنی مدل‌شده در کد

فن‌کولرها وظیفه خنک‌کردن غیراضطراری و افزایش قابلیت برداشت حرارت اضافی از آب سیستم اسپری را بر عهده دارند و برای خنک‌کردن محفظه ایمنی به کار می‌روند. برای مدل‌سازی فن‌کولرها در کد CONTAIN دو مدل در نظر گرفته شده است:

۱. مدل March- مدل ساده و سریعی است که از طریق گزینه MARCH فعال می‌شود. این مدل نمی‌تواند اثرات گازهای چگالش‌ناپذیر (غیر از هوا) و یا شرایط مافوق‌گرم را در نظر بگیرد. همچنین برداشت محصولات شکافت، چگالش و رسوب ایروسل‌ها نیز در این مدل بررسی نمی‌شود.
۲. مدل مکانیکی- این مدل مبتنی بر روابط انتقال حرارت جابجایی اجباری است و از طریق کلید واژه CONDENSE فعال می‌شود.

سیستم اسپری محفظه ایمنی برای تفکیک ایروسل‌های فضای محفظه ایمنی، محصولات شکافت، ترکیبات یدی ارگانیک با واکنش‌پذیری کم به کار می‌رود. این سیستم با استفاده از فشار زیاد، وظیفه اسپری آب به فضای محفظه ایمنی را بر عهده دارد. انتقال حرارت انجام‌شده توسط آب موجب کاهش سریع دما، فشار و غلظت محصولات شکافت و ایروسل‌ها می‌گردد (شکل ۱۲).



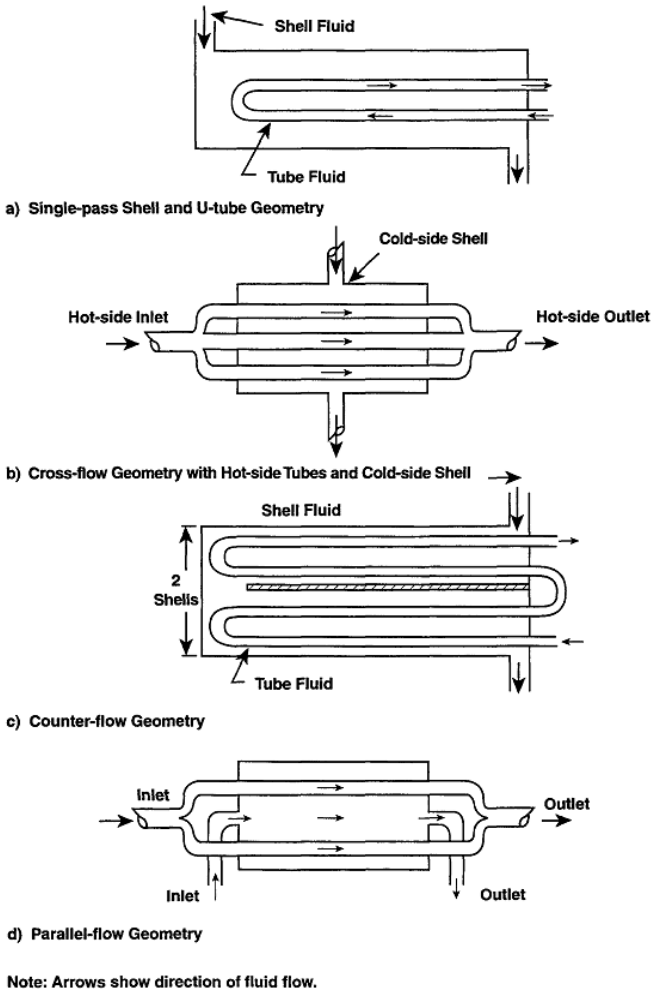
شکل ۱۲: نمای کلی سیستم اسپری

سیستم اسپری محفظه ایمنی معمولاً از یک مبدل حرارتی به منظور خنک‌کردن آب مایعی که از استخر ذخیره آب به نازل‌های اسپری منتقل می‌شود، استفاده می‌کند. در محاسبات کد می‌توان یکی از چهار نوع مدل مبدل حرارتی را به کار برد (شکل ۱۳):

- پوسته تک مسیر[۱] و هندسه لوله U شکل[۲]،
- هندسه جریان متقاطع[۳] با لوله‌های داغ و پوسته سرد،
- هندسه جریان مخالف[۴]،

[۱] Single-pass shell
[۲] U-tube
[۳] Cross-flow
[۴] Counterflow

- هندسه جریان موازی.



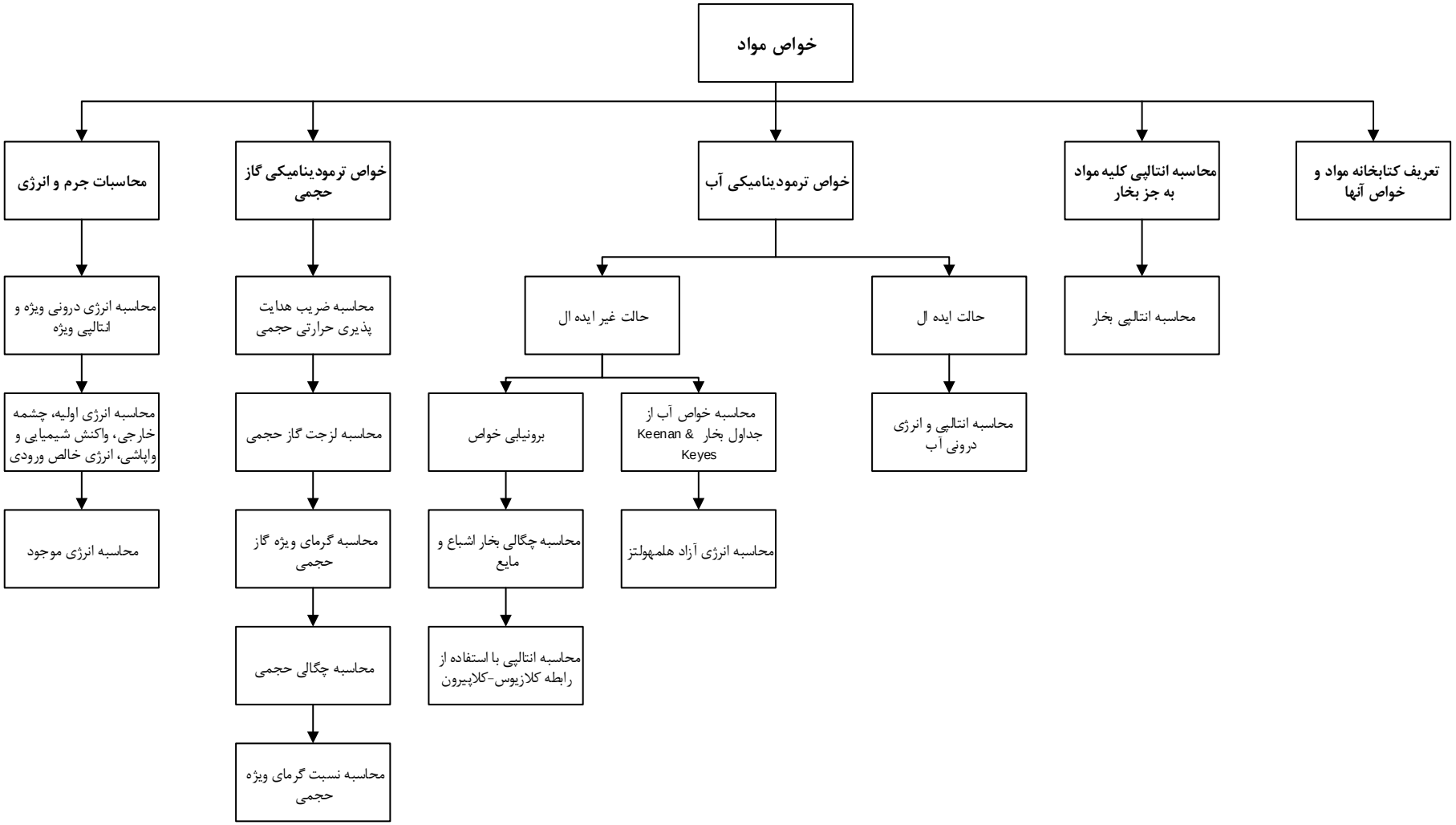
شکل ۱۳: انواع مبدل حرارتی مورد استفاده در کد

۲-۳- درخت‌های محاسباتی

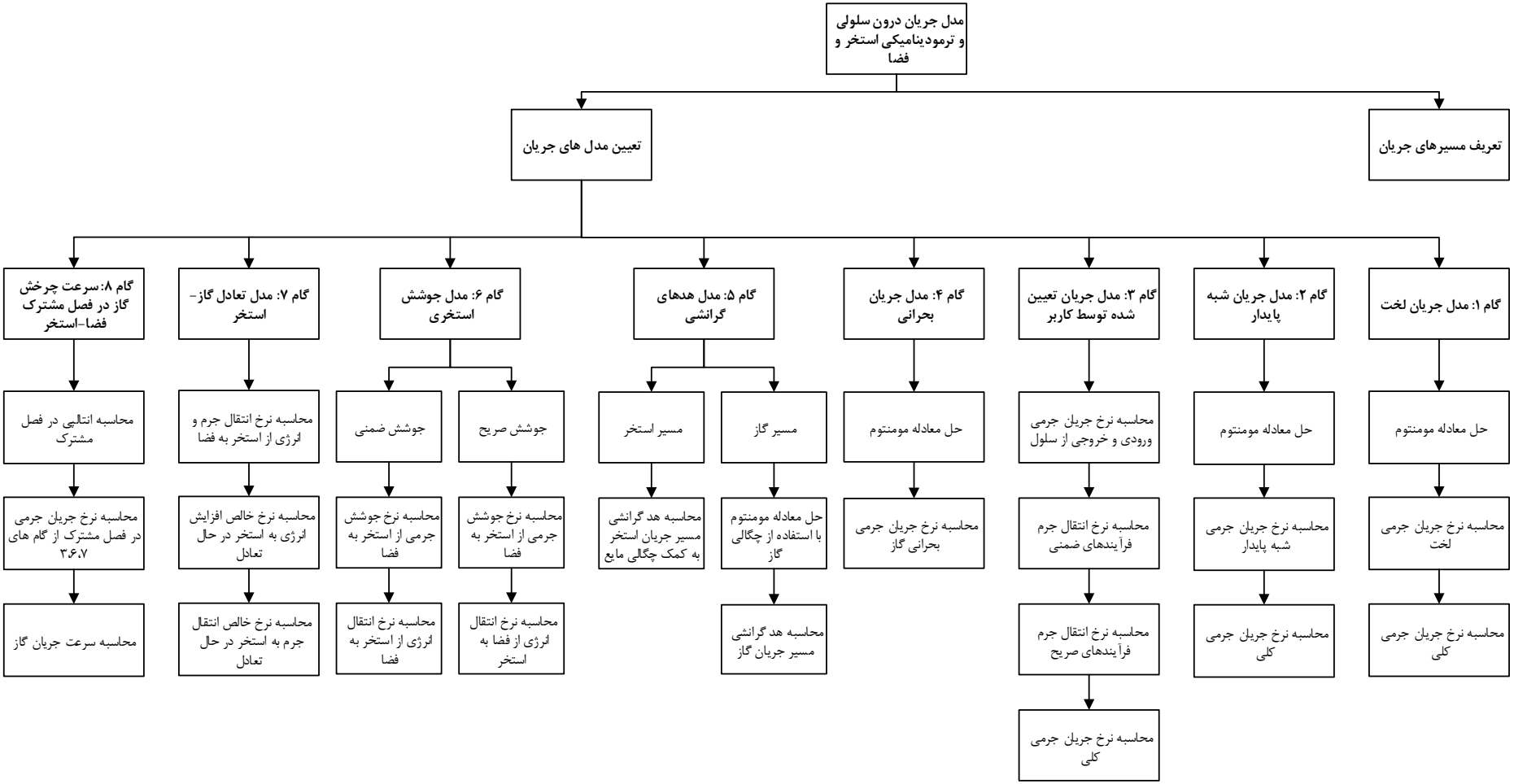
کد CONTAIN متشکل از مجموعه مدل‌ها و محاسبات پیچیده‌ای است که به منظور تحلیل حوادث مختلف در راکتورهای هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در راهنمای اصلی این کد که توسط مؤسسه NRC منتشر شده، مدل‌های مختلف کد به تفصیل شرح داده شده است. اما آنچه که به آن پرداخته نشده است، نمای کلی از محاسبات هر مدل و ارتباط بین مدل‌های مختلف می‌باشد. وجود چنین نمای کلی از مدل‌ها سبب می‌شود که علی‌رغم حجم زیاد و گستردگی مطالب، دید کلی نسبت به محاسبات مدل‌ها و ارتباط آنها با یکدیگر ارائه شود. از این‌رو در گزارش حاضر سعی بر آن شده تا نمای کلی از هر مدل تحت عنوان درخت محاسباتی آن مدل ارائه شود. درخت‌های محاسباتی به تفکیک برای هر مدل کلی کد

CONTAIN تهیه شده و هر کدام شامل زیرمدل‌ها، محاسبات مربوطه، پارامترها و معادلات مورد نیاز و همچنین ارتباط با سایر مدل‌ها می‌باشد.

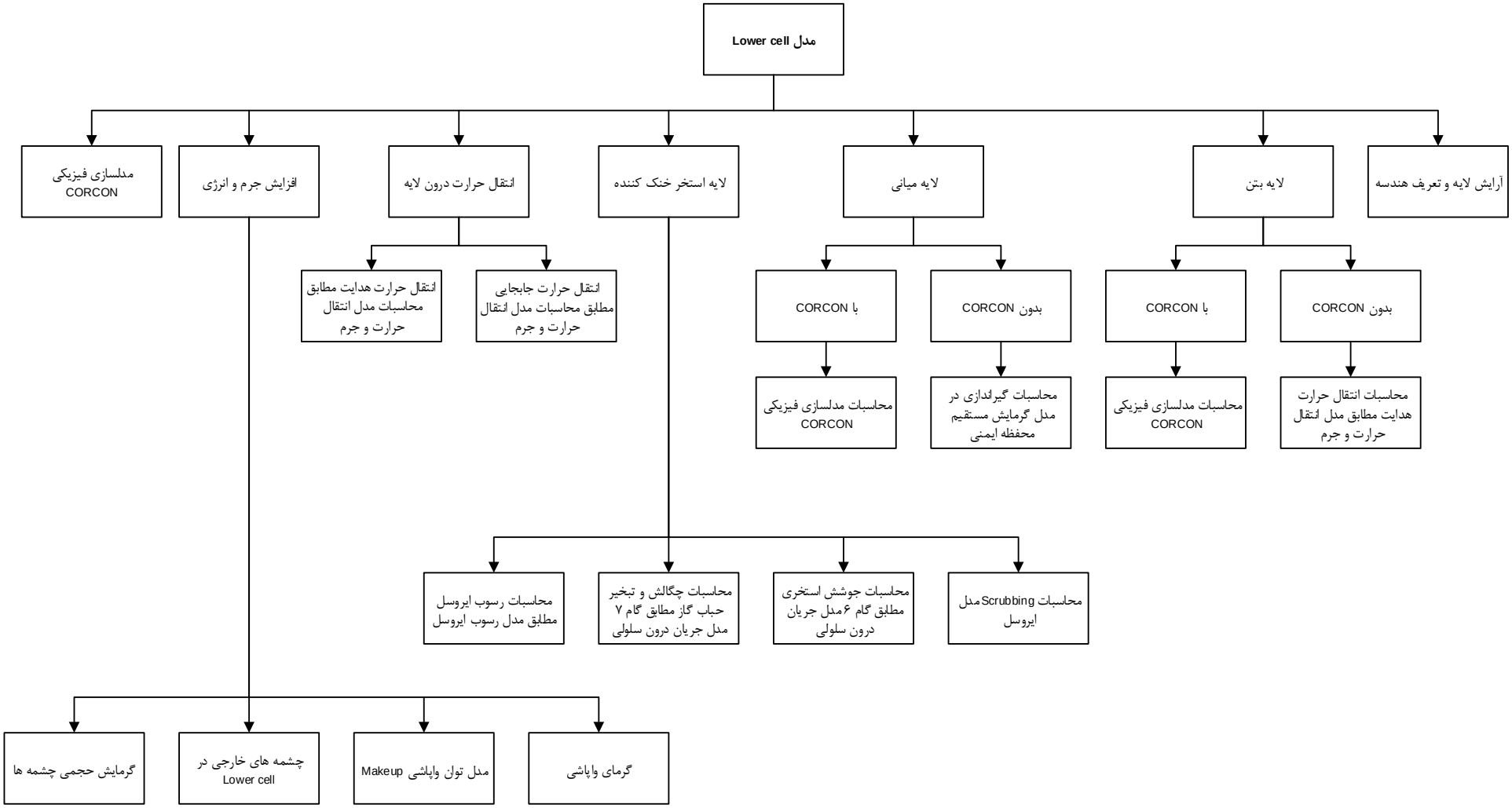
درخت محاسباتی خواص مواد در شکل ۱۴، درخت محاسباتی مدل جریان درون سلولی در شکل ۱۵، درخت‌های محاسباتی مدل Lower cell در شکل ۱۶ تاشکل ۲۰، درخت‌های محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی در شکل ۲۱ تاشکل ۲۵، درخت محاسباتی مدل ایروسل‌ها در شکل ۲۶، درخت محاسباتی مدل محصولات شکافت در شکل ۲۷، درخت محاسباتی مدل احتراق در شکل ۲۸، درخت‌های محاسباتی مدل انتقال حرارت در شکل ۲۹ تاشکل ۳۲ و درخت‌های محاسباتی مدل سیستم‌های ایمنی در شکل ۳۳ وشکل ۳۴ نشان داده شده است.



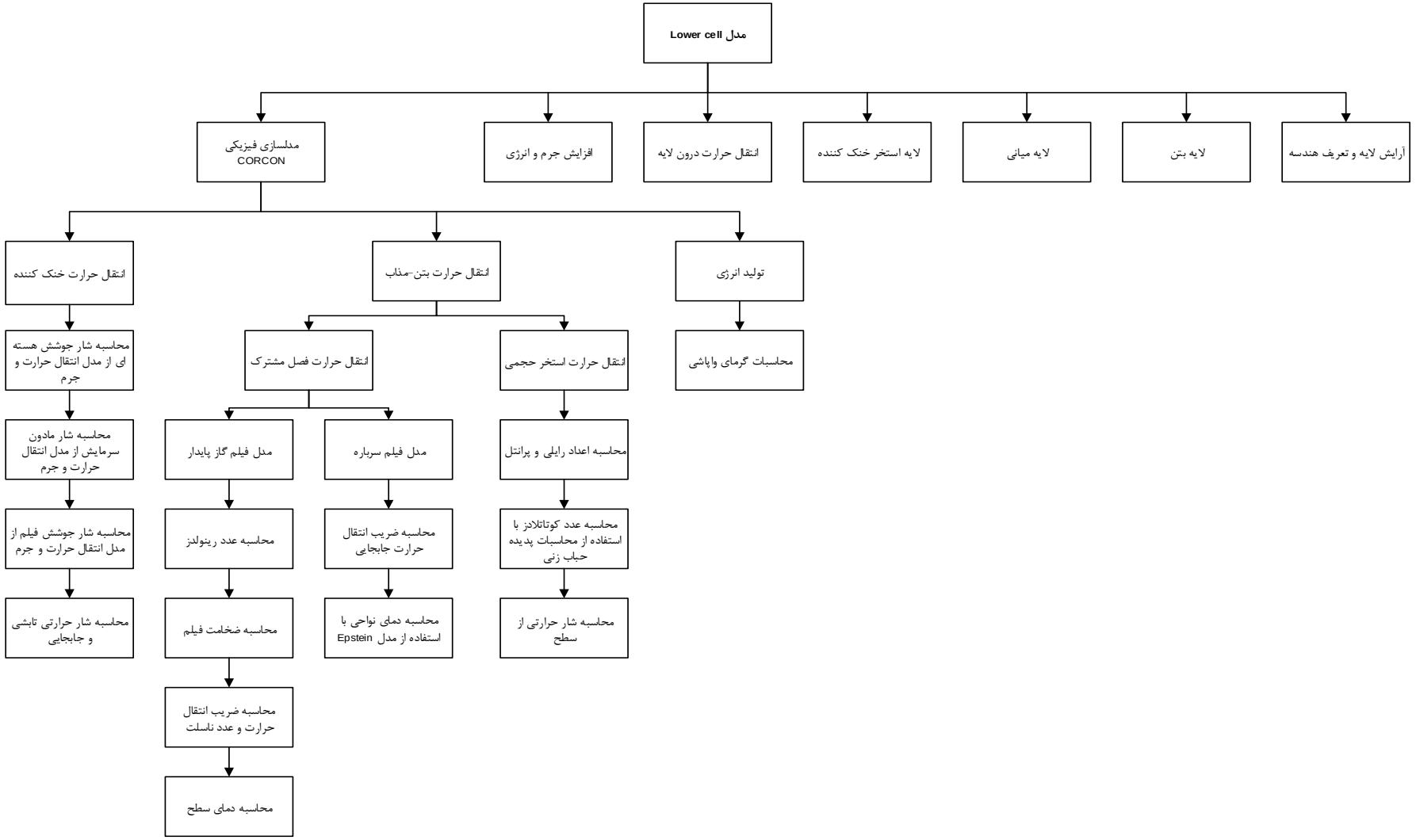
شکل ۱۴: درخت محاسباتی خواص مواد



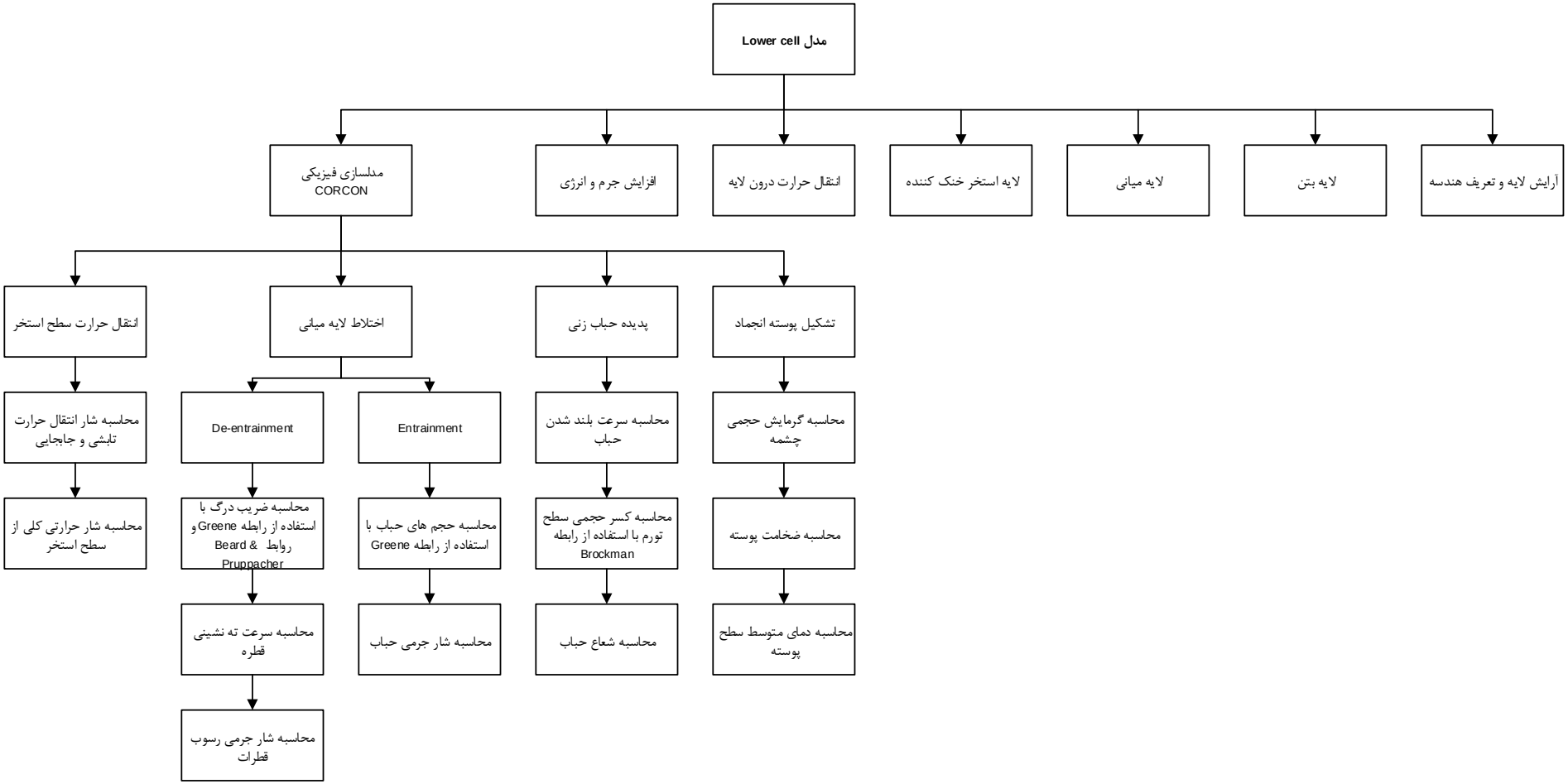
شکل ۱۵: درخت محاسباتی مدل جریان درون‌سلولی



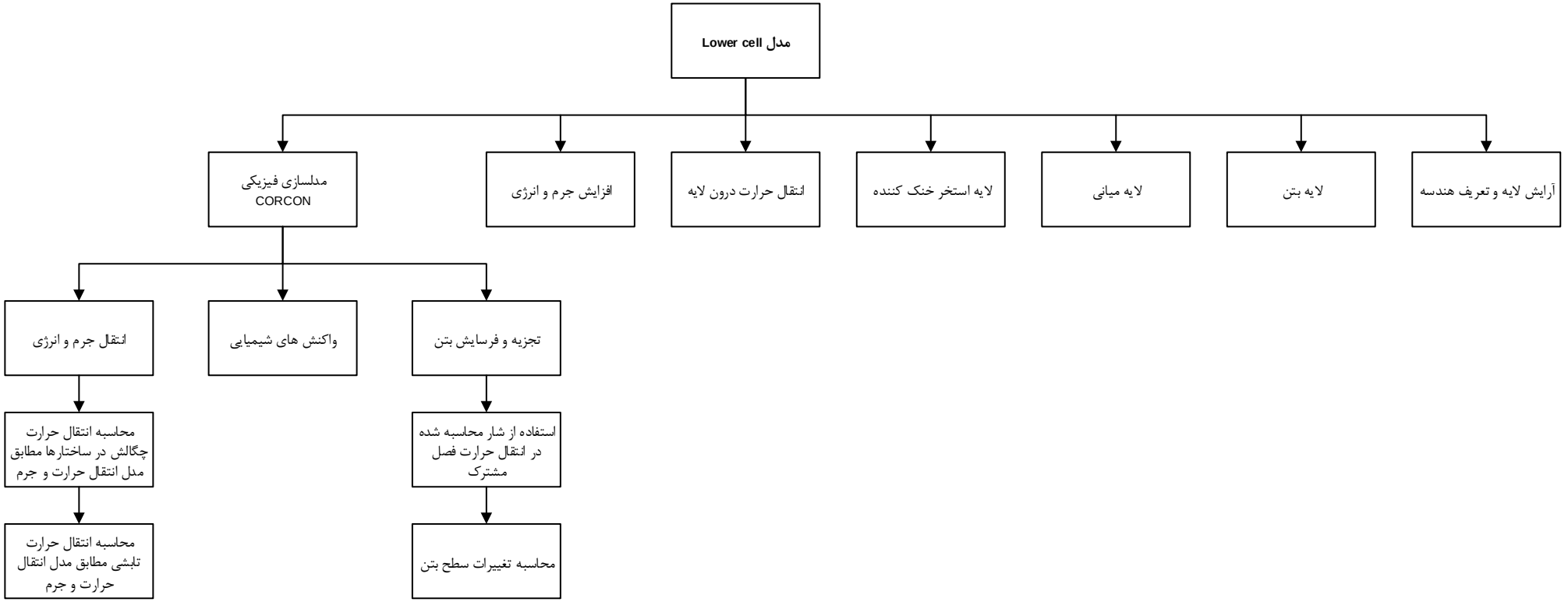
شکل ۱۶: درخت محاسباتی مدل Lower cell



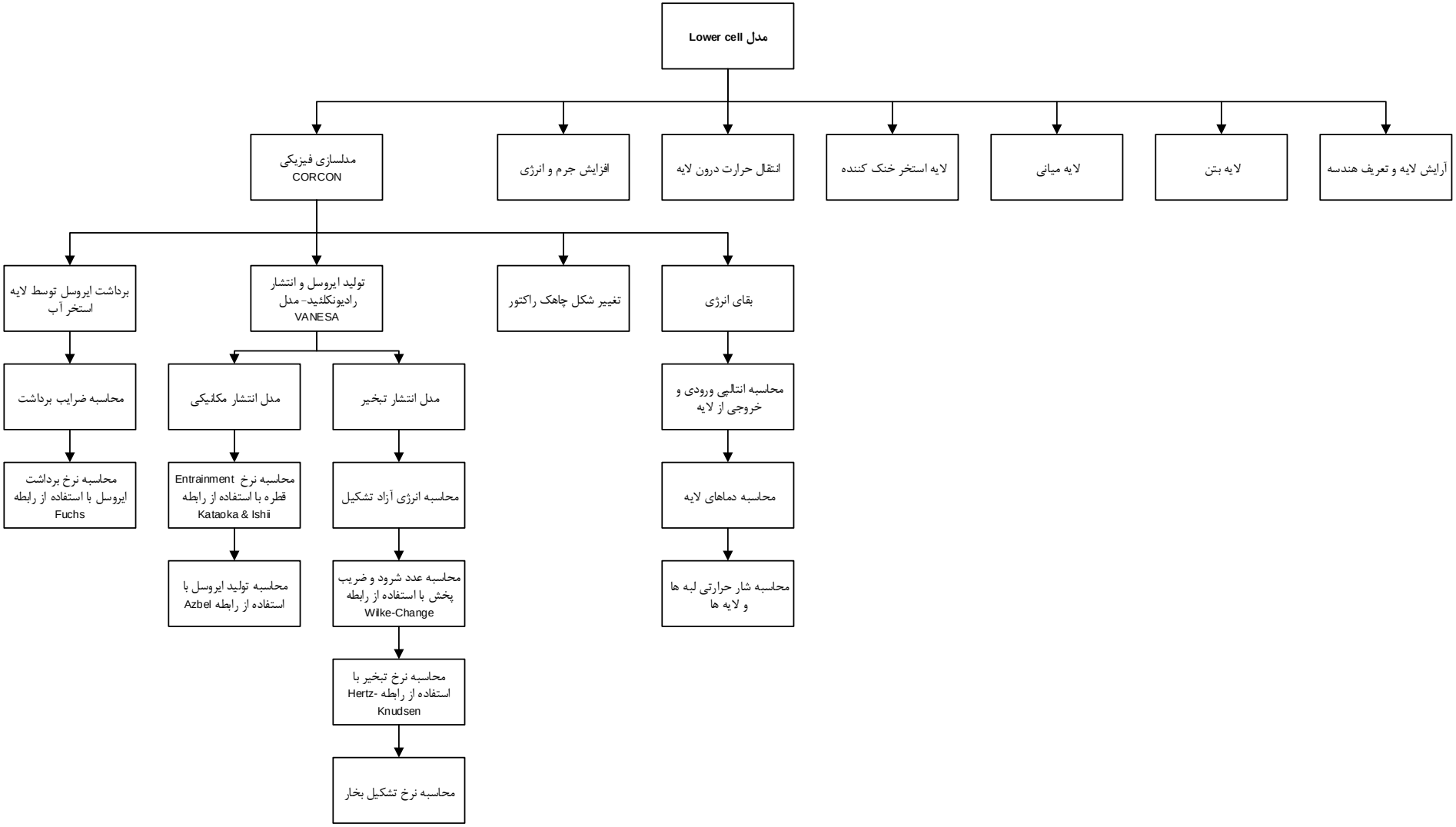
شکل ۱۷: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell



شکل ۱۸: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell

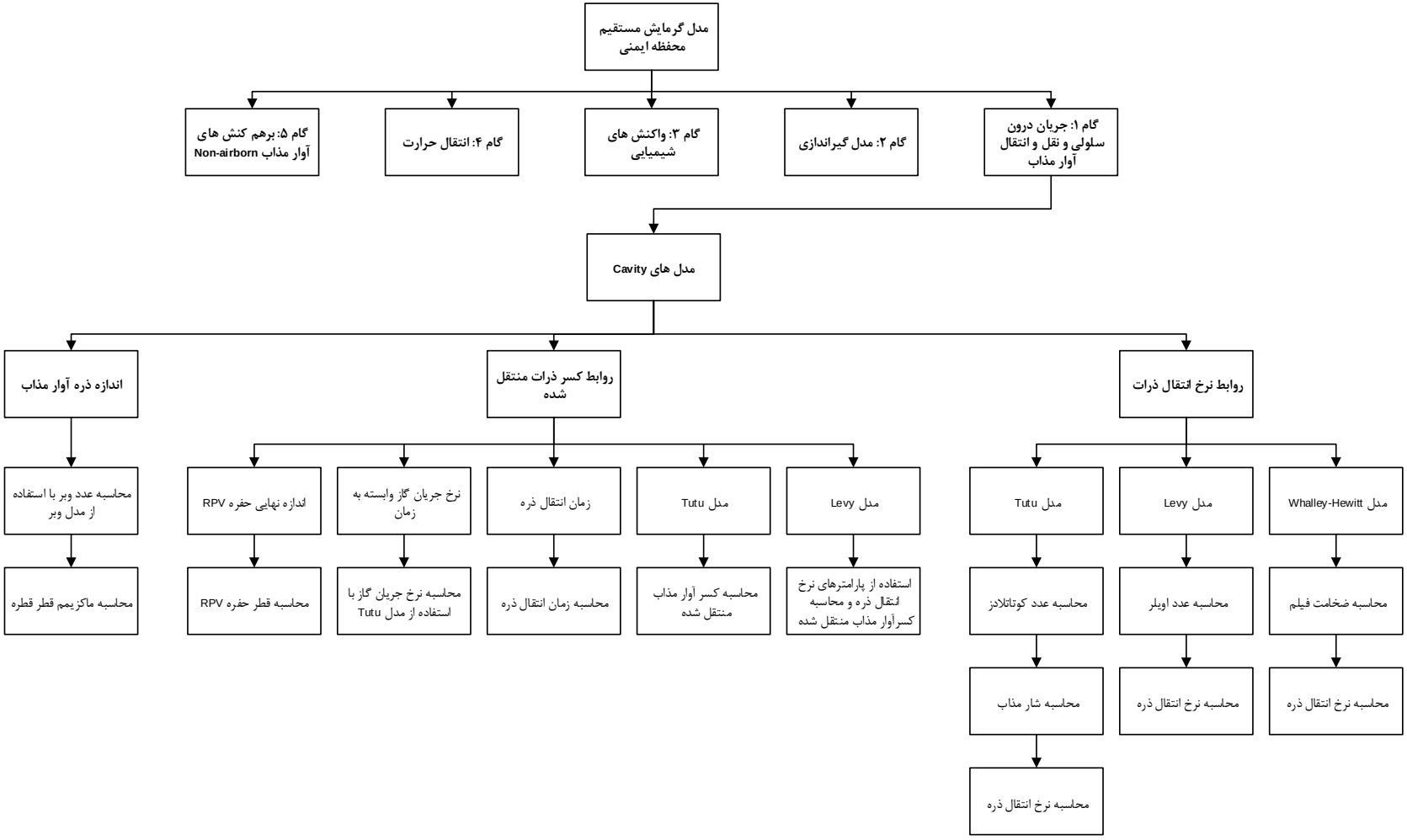


شکل ۱۹: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell

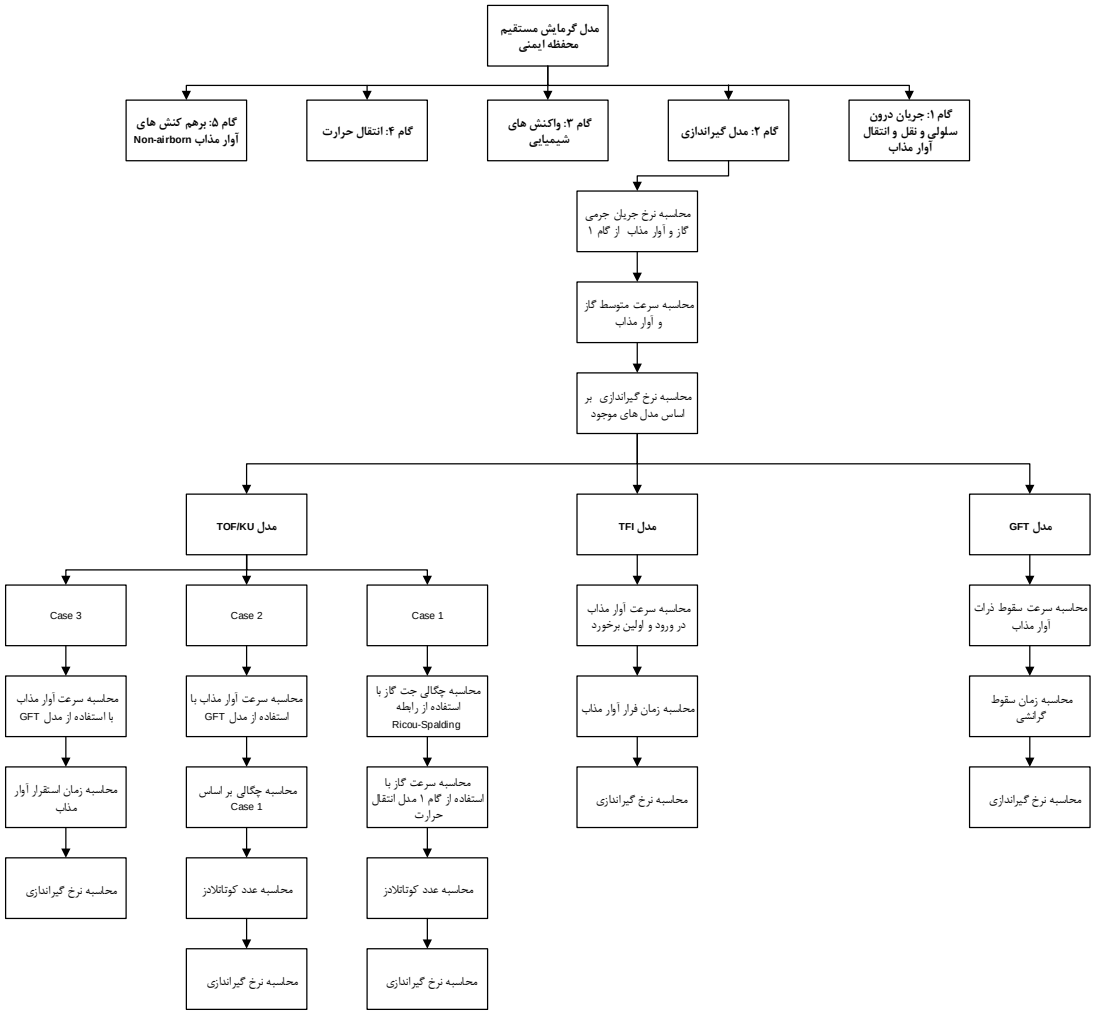


شکل ۲۰: ادامه درخت محاسباتی مدل Lower cell

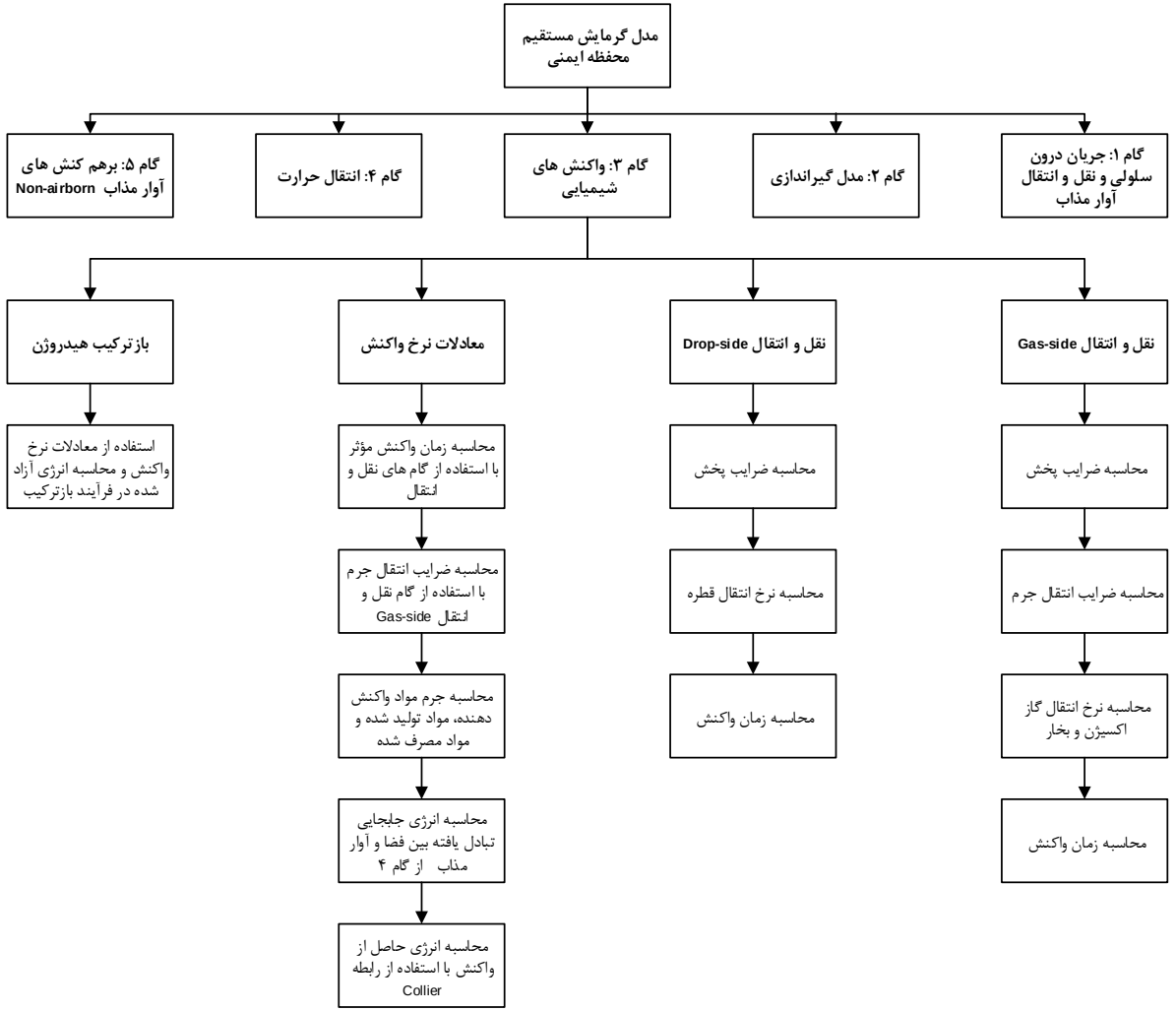
شکل ۲۱: درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی



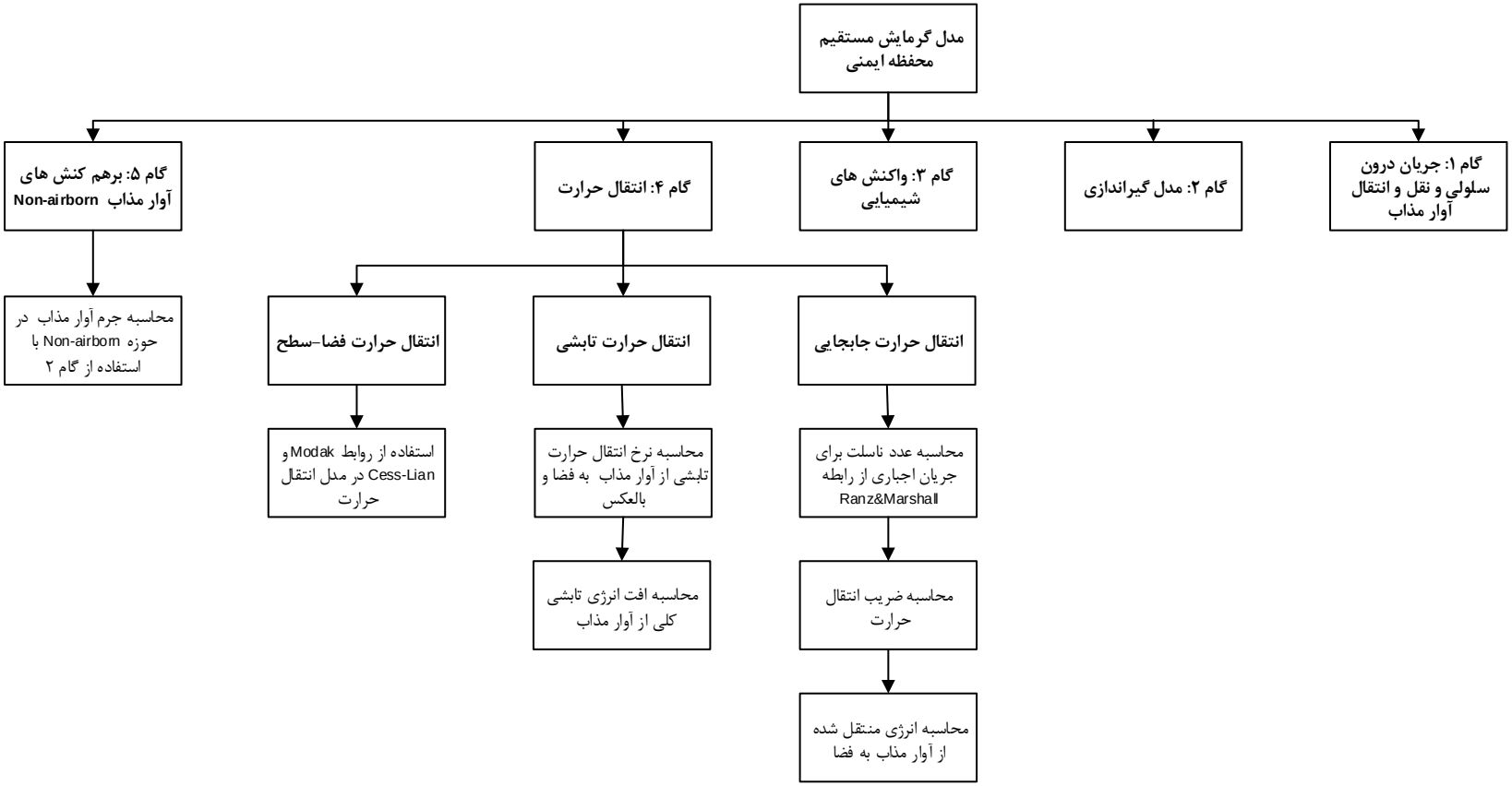
شکل ۲۲: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی



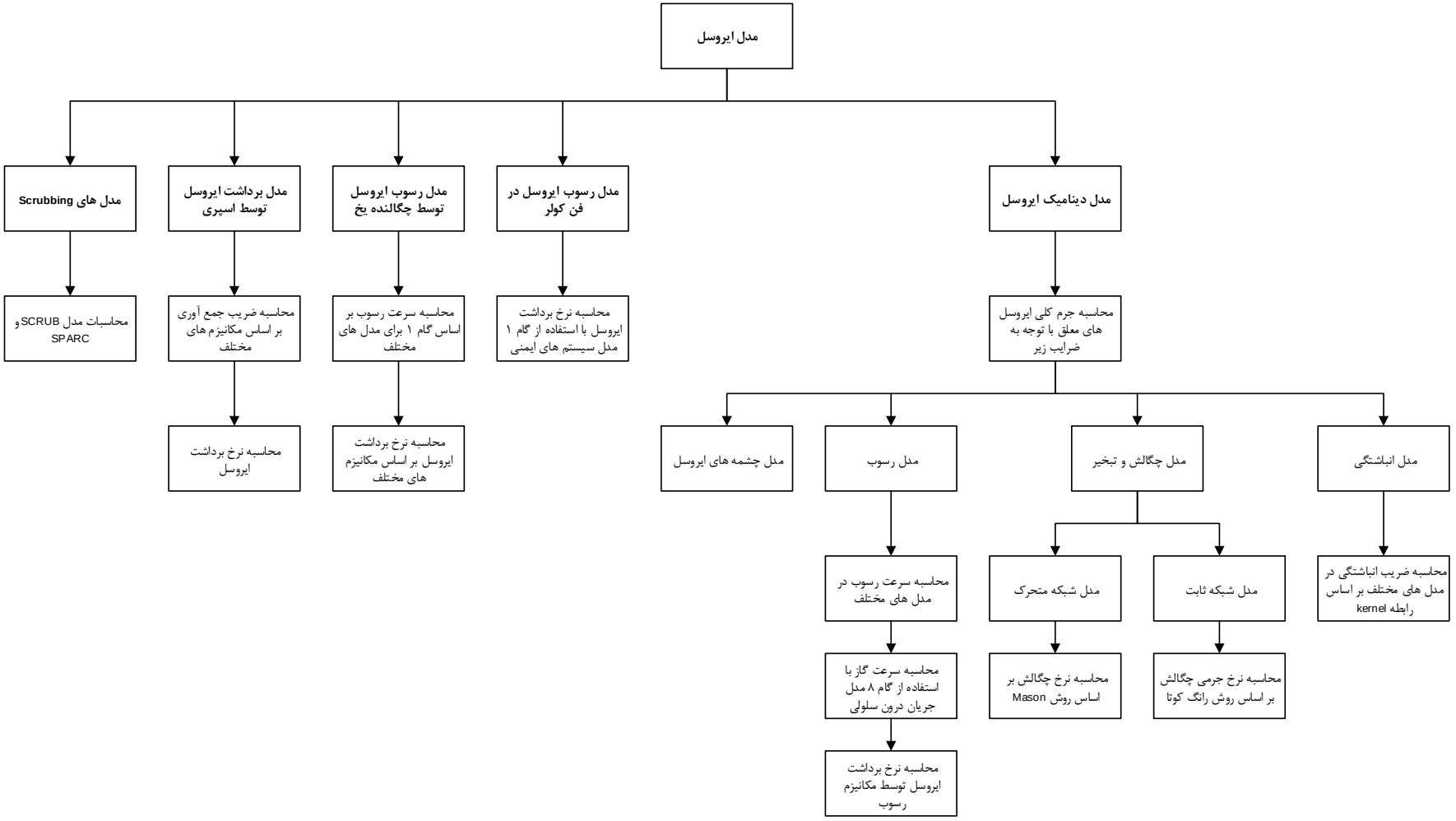
شکل ۲۳: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی



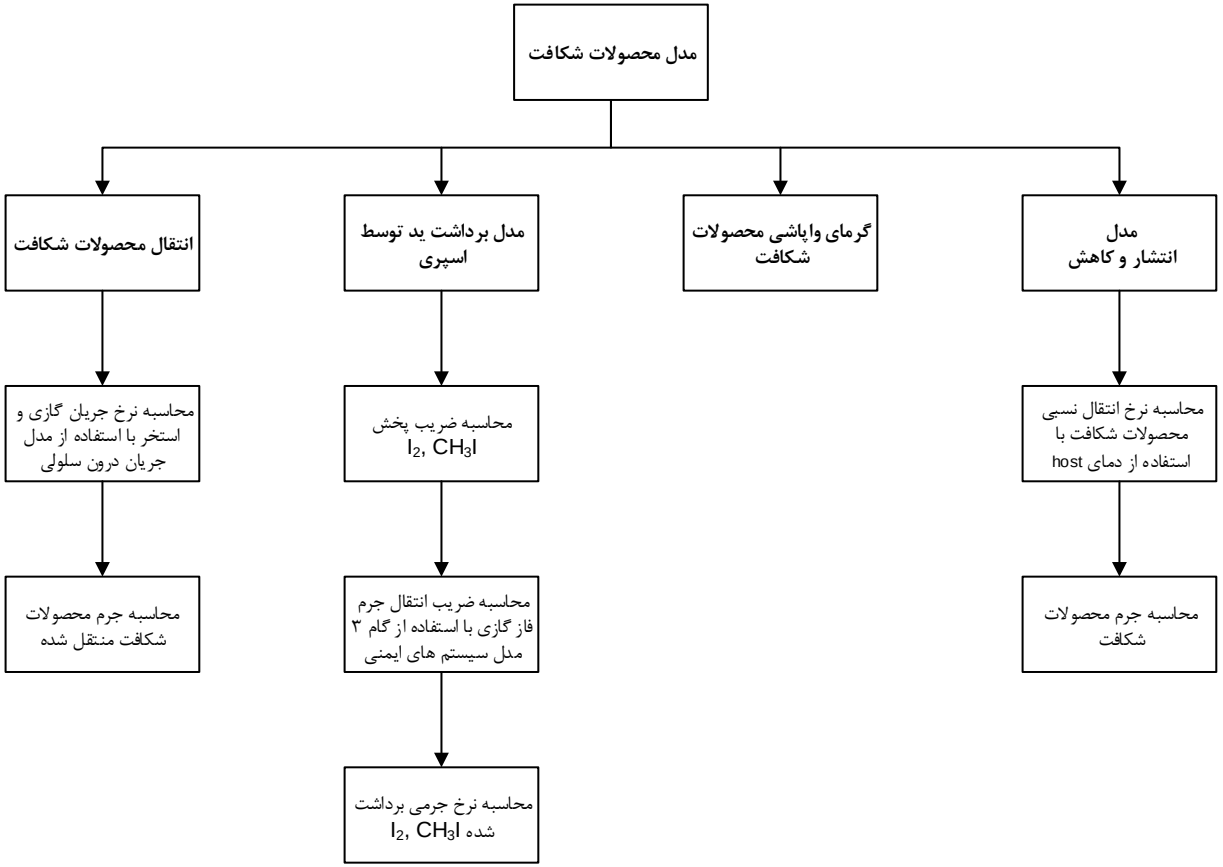
شکل ۲۴: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی



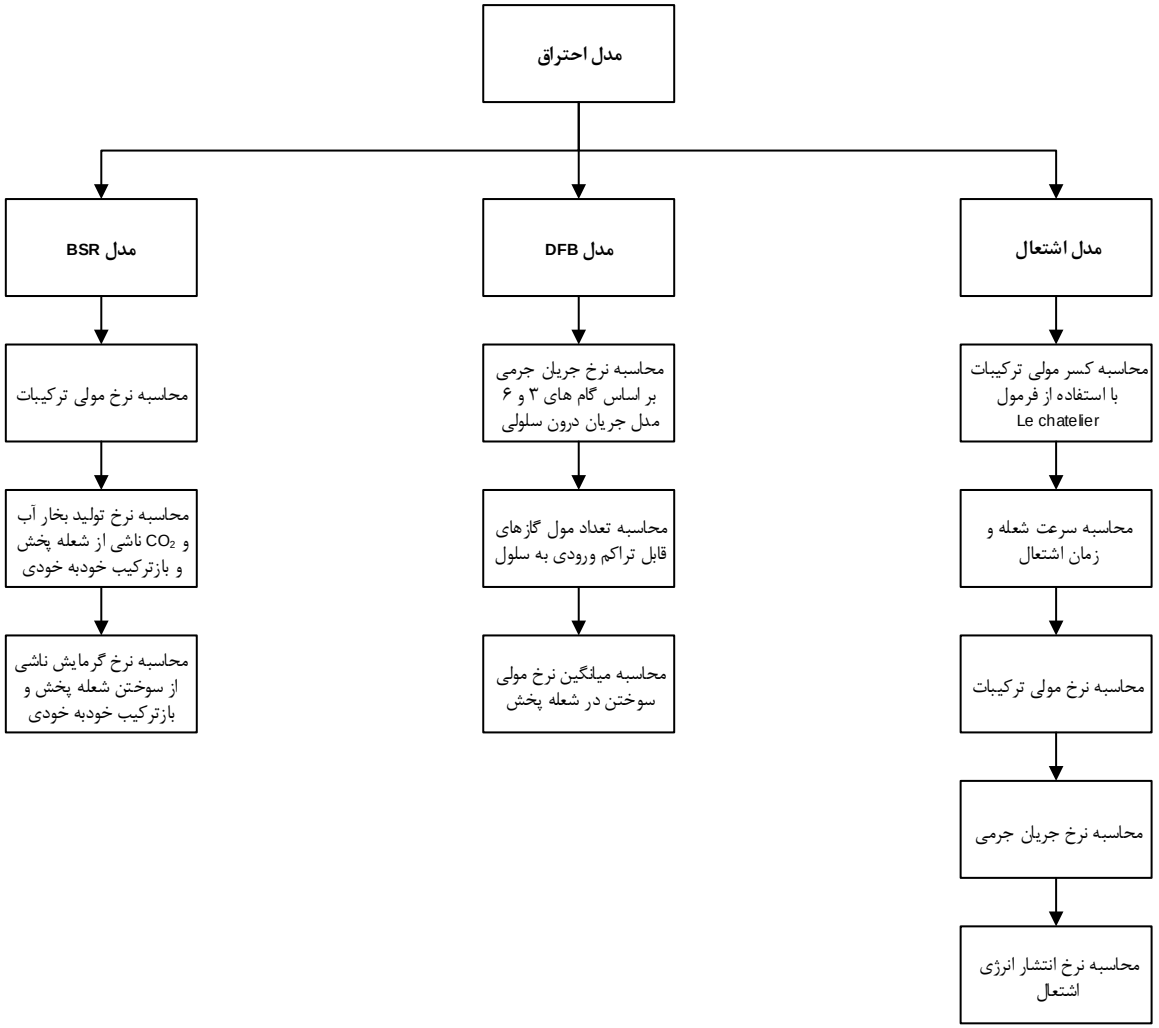
شکل ۲۵: ادامه درخت محاسباتی مدل گرمایش مستقیم محفظه ایمنی



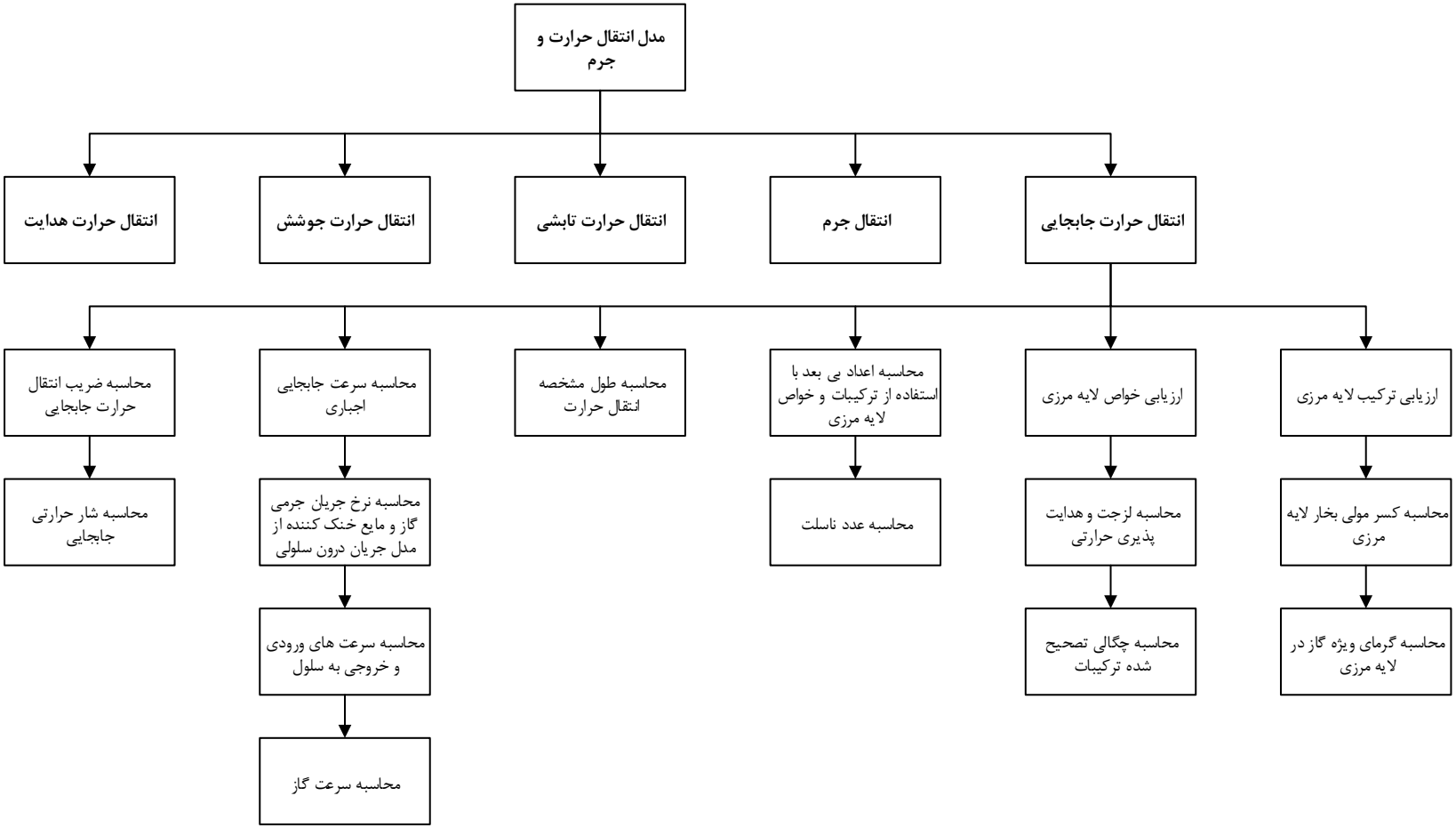
شکل ۲۶: درخت محاسباتی مدل ایروسل



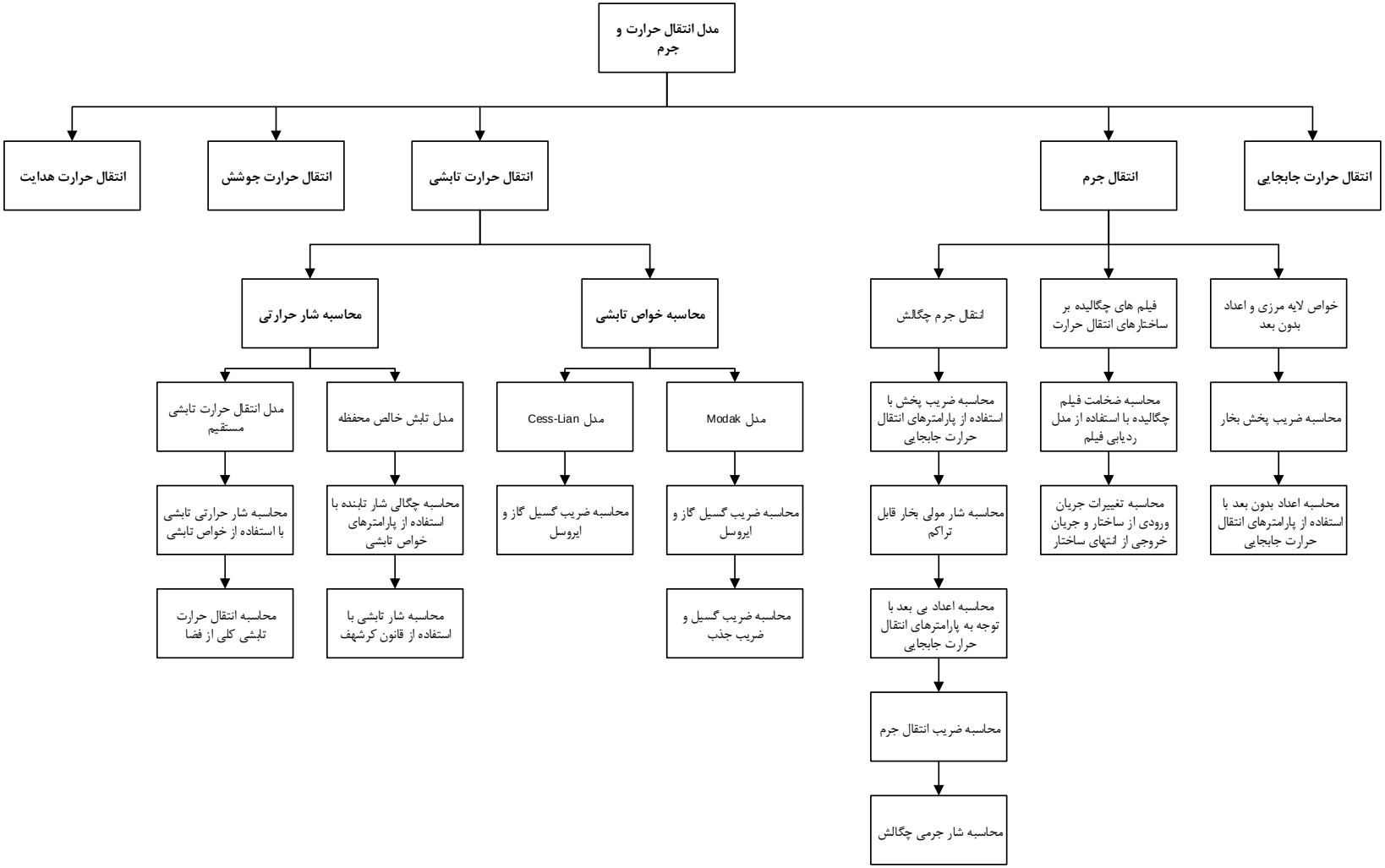
شکل ۲۷: درخت محاسباتی مدل محصولات شکافت



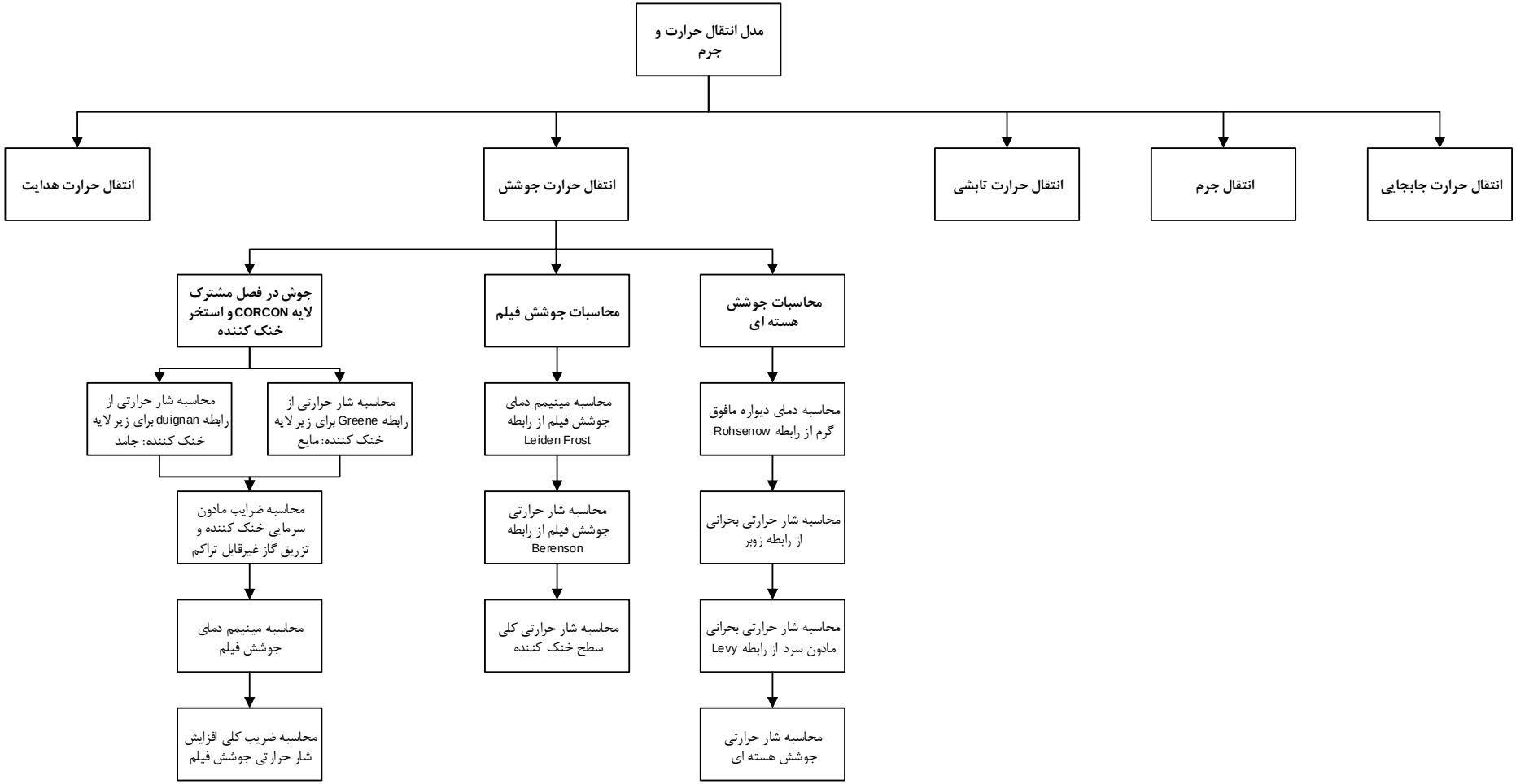
شکل ۲۸: درخت محاسباتی مدل احتراق



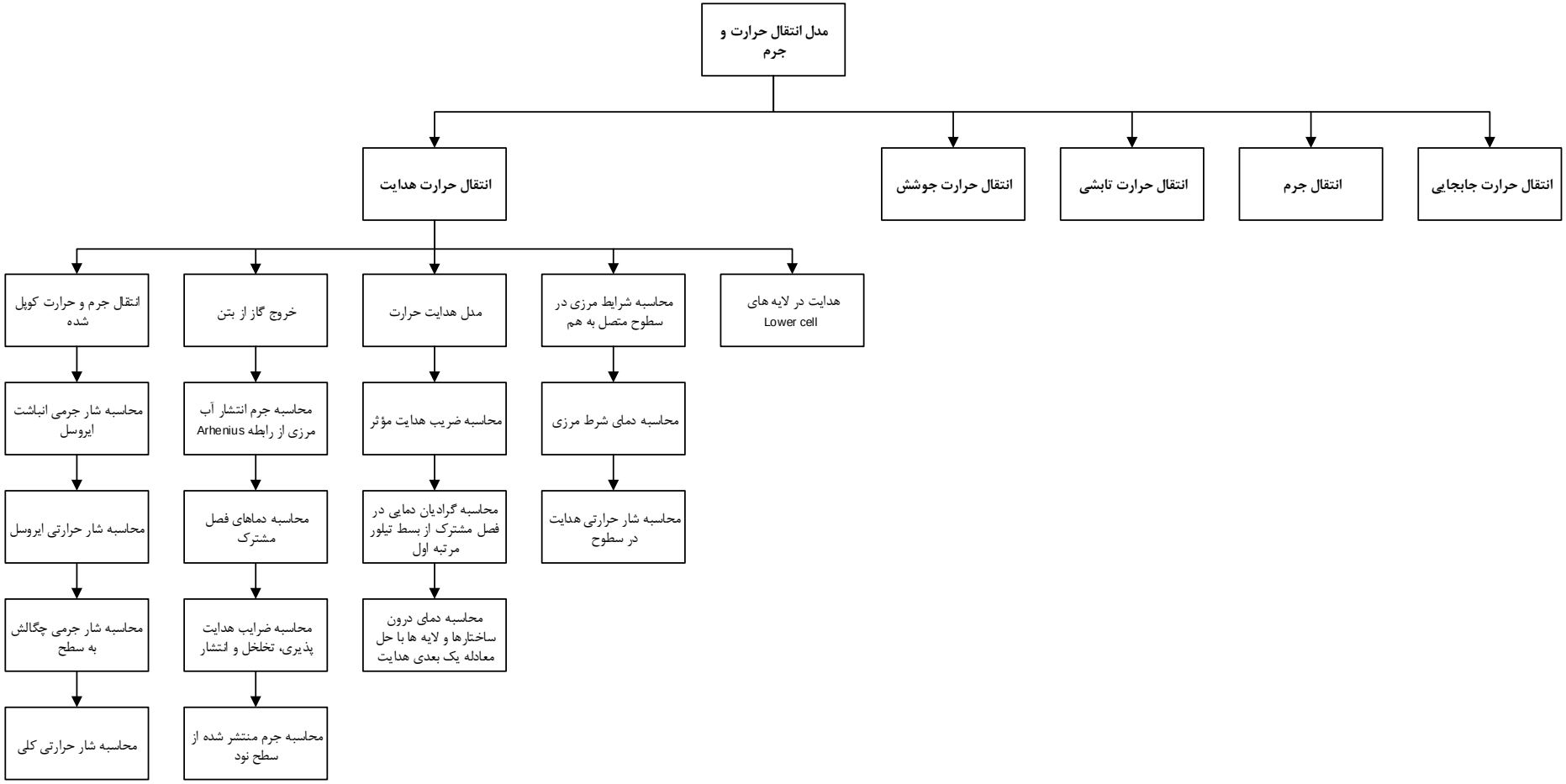
شکل ۲۹: درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم



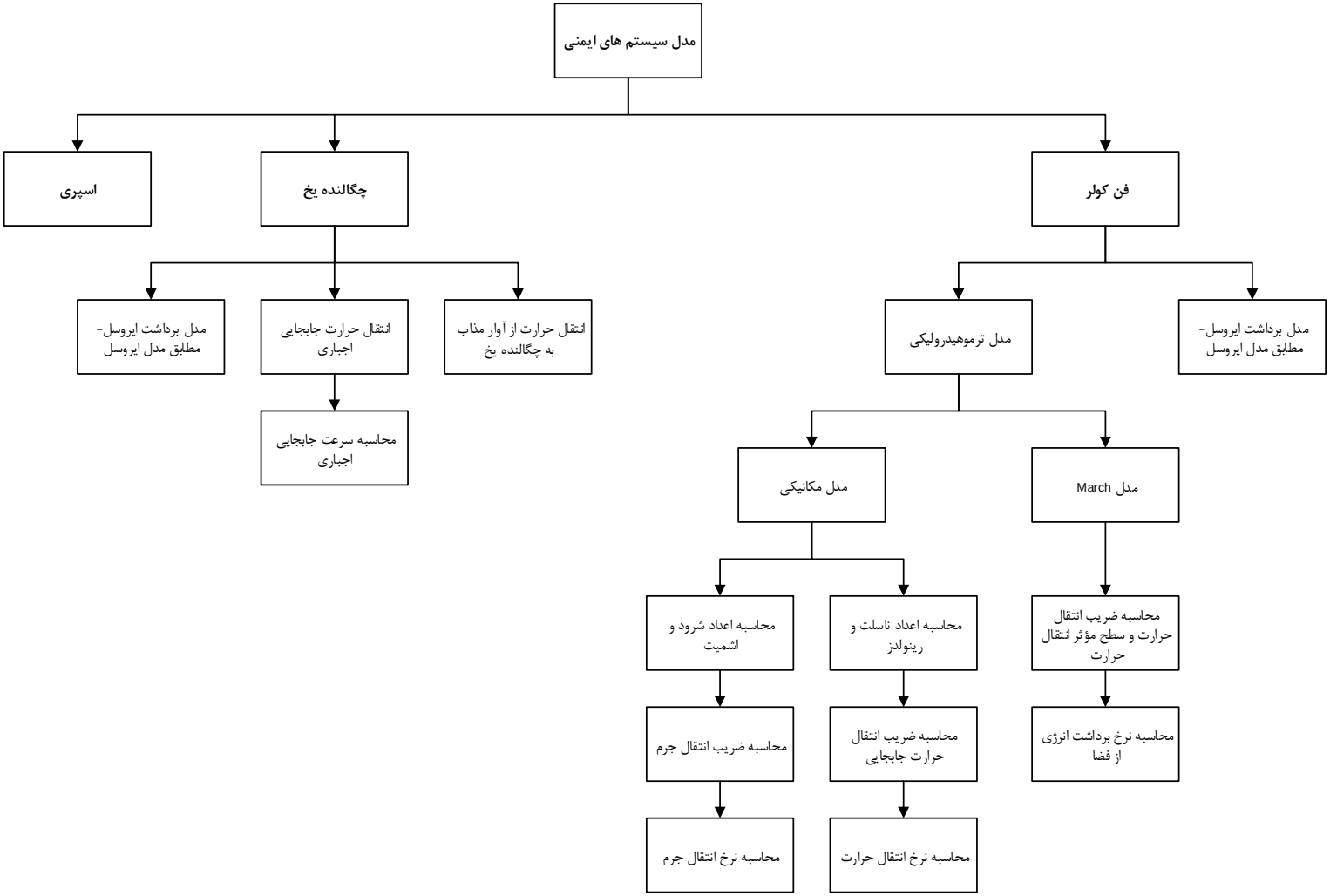
شکل ۳۰: ادامه درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم



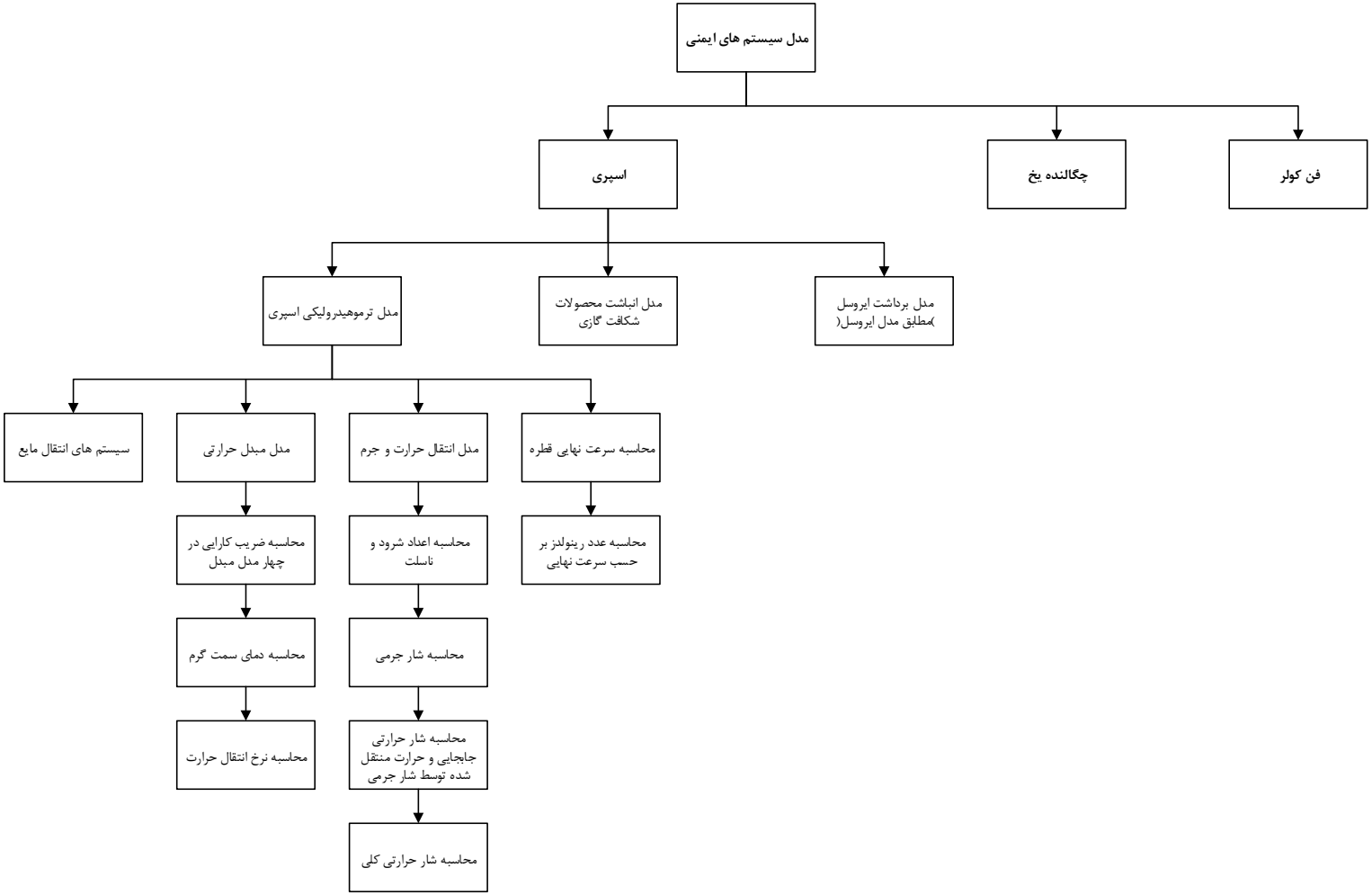
شکل ۳۱: ادامه درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم



شکل ۳۲: ادامه درخت محاسباتی مدل انتقال حرارت و جرم



شکل ۳۳: درخت محاسباتی مدل سیستم‌های ایمنی



شکل ۳۴: درخت محاسباتی مدل سیستم‌های ایمنی

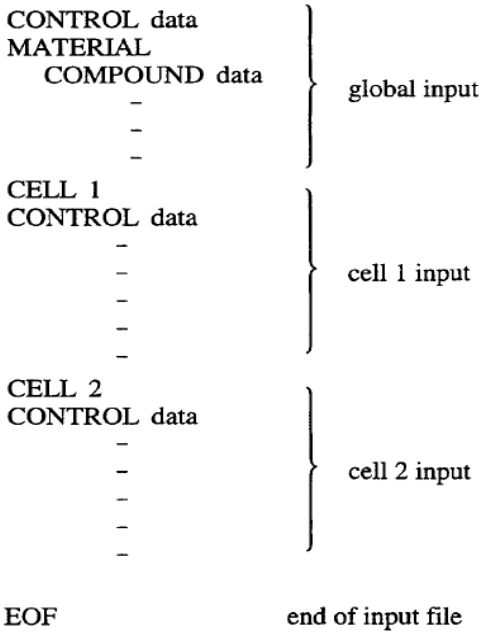
۳- مدل‌سازی حوادث با کد CONTAIN

در این قسمت به توصیف ورودی کد و مدل‌سازی حوادث مختلف با آن پرداخته می‌شود. ابتدا ساختار کلی و قواعد نوشتن ورودی توضیح داده می‌شود. در ادامه نیز مدل‌سازی حوادث LOCA، ذوب قلب و بررسی برهم‌کنش بتن و آوار مذاب (CCI) و همچنین حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی (DCH) به تفصیل شرح داده خواهد شد. درخت فراخوانی بلوک‌های ورودی، قالب کلی ورودی، تعریف کلیدواژه‌های ورودی از جمله مواردی است که به طور جداگانه برای هر حادثه بیان شده است.

۳-۱- ساختار کلی ورودی

ورودی کد CONTAIN از دو بخش کلی Global level و Cell level تشکیل شده است (شکل ۳۵). ورودی Global شامل اطلاعات کلی سلول‌ها، نام مواد، تعریف بازه‌های زمانی، فراخوانی مدل‌ها، اطلاعات محصولات شکافت و ایروسل‌ها و مشخصات مجراهای مهندسی می‌باشد. ورودی Cell نیز شامل مشخصات هندسی سلول‌ها و ساختارهای حرارتی، تعریف سیستم‌های ایمنی و سایر اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌های فیزیکی مختلفی است که در مدل‌سازی حادثه به کار می‌رود. هرکدام از این دو بخش کلی شامل بلوک‌های محاسباتی مختلفی می‌باشد که در قسمت مدل‌سازی حوادث شرح داده می‌شوند. فایل ورودی در نهایت با عبارت EOF خاتمه داده می‌شود. ترتیب نوشتاری فایل ورودی و بلوک‌های محاسباتی در کد CONTAIN حائز اهمیت است یعنی ابتدا ورودی Global و سپس ورودی Cell نوشته می‌شود.

رعایت برخی قراردادهای نوشتاری، از جمله الزامات نوشتن ورودی برای هر کد محاسباتی است. بنابراین در ادامه به کلیات دستورالعمل‌ها و قواعد نوشتاری کد CONTAIN پرداخته شده است. مقادیر متغیرها با حروف کوچک نشان داده می‌شود. کلیه کلیدواژه‌ها و نام‌ها باید شامل ۸ کاراکتر و یا کمتر باشند. جداکننده‌های مورد قبول برای کلیدواژه‌ها و مقادیر ورودی عبارتند از: فضای خالی، کاما، پرانتز باز، پرانتز بسته، تعویض سطر و یا یک علامت مساوی. کلیه کلیدواژه‌ها و مقادیر می‌توانند در یک خط و حداکثر تا ۸۰ کاراکتر در هر خط قرار گیرند. توضیحات مورد نیاز در یک خط را می‌توان بعد از دو کاراکتر && بیان نمود. بعد از کاراکتر دوم & باید یک فضای خالی قرار داده شود. استفاده از این جفت کاراکتر برای بیان خلاصه توضیحات مسأله مناسب است.



شکل ۳۵: ساختار کلی ورودی کد CONTAIN

در توصیف قالب کلی ورودی باید به موارد زیر توجه نمود:

- کلمه‌های با حروف بزرگ، ثوابت کاراکتری یا کلیدواژه‌هایی هستند که باید عیناً در ورودی ذکر شوند.
- کلمه‌های با حروف کوچک نشان‌دهنده مقادیر متغیرها هستند. این متغیرها به دو صورت رشته‌های کاراکتری و یا عددی بیان می‌شوند.
- پرانتزها بر مقادیر یا کمیت‌هایی دلالت دارند که می‌توانند در صورت لزوم تکرار شوند.
- علامت [] بر مقادیری دلالت دارند که همیشه مورد نیاز نیستند.
- علامت {} نشان‌دهنده گزینه‌هایی است که کاربر انتخاب می‌کند.

به عنوان مثال در شکل ۳۶ بخشی از ورودی کد مربوط به تعریف ساختارهای حرارتی نشان داده شده است. عبارت STRUC که با حروف بزرگ نشان داده شده است، باید عیناً در ورودی نوشته شود. بخشی که داخل پرانتز بوده و با NAME شروع می‌شود را می‌توان به دفعات مختلف تکرار کرد. حروف کوچک (به عنوان مثال) name و یا slarea مقادیر متغیرهایی هستند که به ترتیب به صورت کاراکتر و عدد نوشته می‌شوند. عبارات داخل براکت (به عنوان مثال VUFAC) مقادیری هستند که همیشه مورد نیاز نبوده و ممکن است از آنها صرف‌نظر شود. همچنین عبارات داخل آکولاد (مانند TUNIF) مقادیری هستند که توسط کاربر تعیین می‌شوند.

```
************************************************************
STRUC
        (NAME=name      TYPE=type       SHAPE=shape
        NSLAB=nslab     CHRLEN=chrlen
        [SLAREA=slarea] [CYLHITE=cylhite]
        [VUFAC=vufac]
        {TUNIF=tunif or TNODE=(tnode)}
        COMPOUND=(cname)
        X=(xvalue)
    EOI)
************************************************************
```

شکل ۳۶: بخشی از ورودی کد

۳-۲- حادثه LOCA[۱]

حادثه LOCA در اثر شکست و یا نشت در خط لوله سیستم مدار خنک‌کننده راکتور رخ می‌دهد و معمولاً به دو دسته حادثه از دست‌دادن خنک‌کننده در اثر شکست بزرگ[۲] و از دست‌دادن خنک‌کننده در اثر شکست کوچک[۳] طبقه‌بندی می‌شوند. وقوع حادثه از دست‌دادن خنک‌کننده معمولاً با شرایط زیر همراه است:

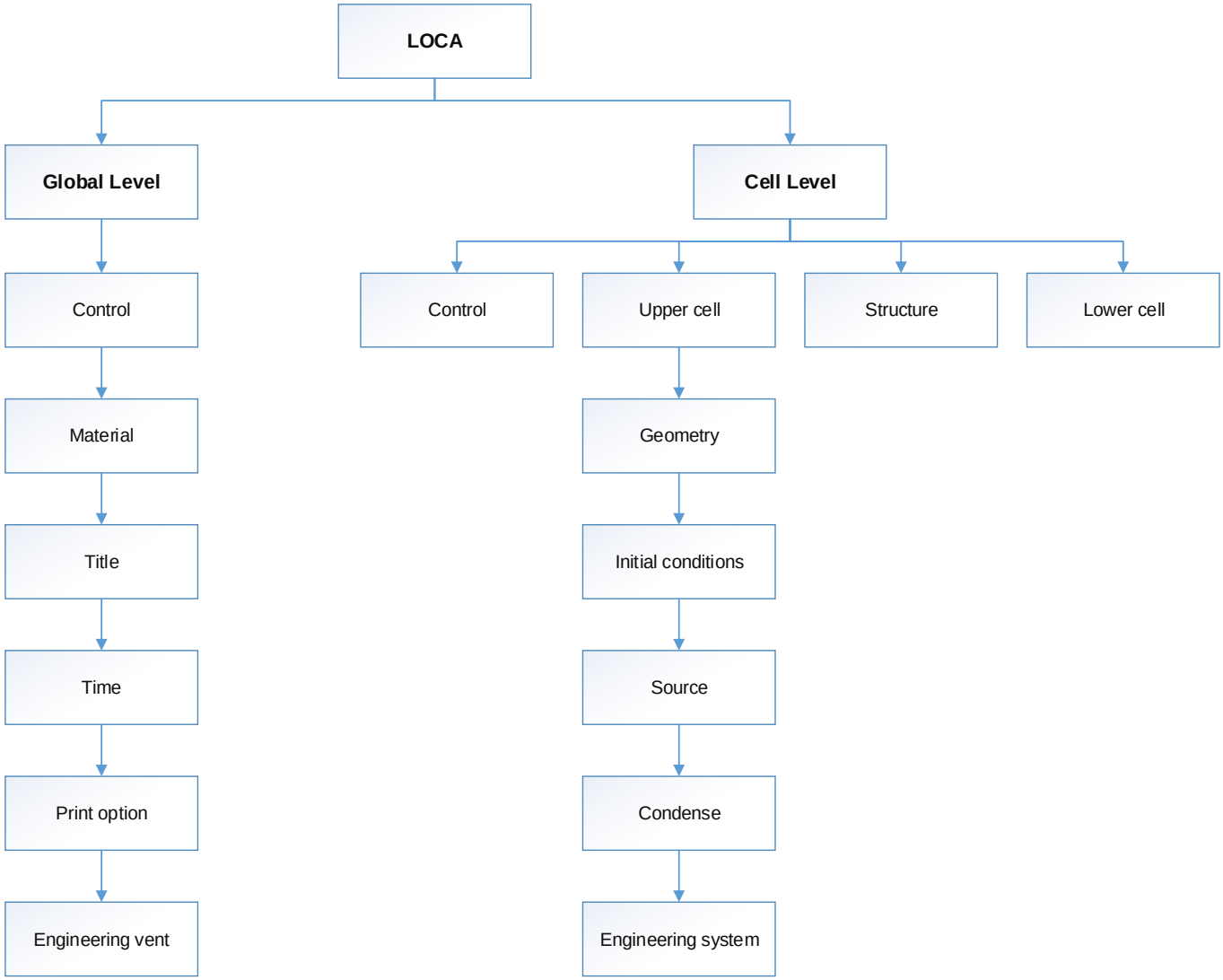
۱. در اثر شکست، آب با فشار و درجه حرارت بالا به درون محفظه ایمنی نشت پیدا می‌کند.
۲. سیستم خنک‌کننده اضطراری به‌کار افتاده و آب مورد نیاز برای خنک‌کردن قلب را فراهم می‌کند.
۳. مواد پرتوزای منتشرشده از قلب، به فضای محفظه ایمنی راه می‌یابند.
۴. عملکرد سیستم اسپری موجب خنک‌شدن محفظه ایمنی شده و مواد پرتوزا را از فضای محفظه ایمنی برداشت می‌کند.

در ادامه نحوه نوشتن ورودی این حادثه در کد CONTAIN به تفصیل شرح داده می‌شود.

۳-۲-۱- قالب کلی ورودی حادثه LOCA

به منظور مدل‌سازی هر حادثه، باید بلوک‌های مربوطه از طریق ورودی نوشته‌شده توسط کاربر فراخوانی شوند. بلوک‌هایی که جهت مدل‌سازی حادثه LOCA مورد نیاز می‌باشند، در شکل ۳۷ نشان داده شده است.

[۱] Loss Of Coolant Accident (LOCA)
[۲] Large Break-Loss Of Coolant Accident (LB-LOCA)
[۳] Small Break- Loss Of Coolant Accident (SB-LOCA)



شکل ۳۷: درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی در حادثه LOCA

۳-۲-۲- ورودی Global حادثه LOCA

ورودی Global level شامل اطلاعات کلی مسأله و همچنین اطلاعات کلیه سلول‌ها است. عنوان مسأله، اطلاعات مربوط به بازه‌های زمانی، فراخوانی مدل‌ها، روش‌های حل معادلات جرم و انرژی و همچنین مشخصات مسیرهای جریان از جمله مواردی است که از طریق ورودی Global level تعریف می‌شوند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ورودی Global باید به ترتیب با بلوک‌های CONTROL و MATERIAL آغاز شود. ترتیب سایر بلوک‌ها در Global level تفاوتی در حل مسأله ایجاد نمی‌کند.

۳-۲-۲-۱- بلوک CONTROL

قالب کلی بلوک CONTROL در ورودی Global level برای حادثه LOCA به صورت زیر است:

```
**********************************************************************************
CONTROL
        NCELLS=ncells
        NTZONE=ntzone
        [NTITL=ntitl]
        [NUMTBG=numtbg]
        [MAXTBG=maxtbg]
        [NENGV=nengv]
EOI
**********************************************************************************
```

CONTROL: کلیدواژه مورد نیاز برای شروع ورودی Global.

NCELLS: تعداد سلول‌ها.

NTZONE: تعداد بازه‌های زمانی تعیین‌شده در بلوک TIMES.

NTITL: تعداد خطوط عنوان در بلوک TITLE. هر خط می‌تواند شامل حداکثر ۸۰ کاراکتر باشد.

NUMTBG: تعداد جداول کلی که در مسأله مورد استفاده قرار گرفته است.

MAXTBG: حداکثر تعداد ورودی در جداول.

NENGV: تعداد مسیرهای جریان بین سلول‌ها.

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای پایان‌دادن به بلوک CONTROL.

تعداد سلول‌ها و بازه‌های زمانی از الزامات مسأله است، اما چهار پارامتر بعدی اختیاری بوده و تعریف آنها به شرایط مسأله بستگی دارد.

۳-۲-۲-۲- بلوک MATERIAL

موادی که در قسمت‌های مختلف مسأله مورد استفاده قرار می‌گیرند از طریق بلوک MATERIAL تعریف می‌شوند. به کمک این بلوک، چهار دسته از مواد تعریف می‌شوند:

- موادی که نام آنها در کتابخانه کد موجود است (از طریق کلیدواژه COMPOUND)،

- موادی که توسط کاربر تعریف می‌شوند (از طریق کلیدواژه USERDEF)،
- نام محصولات شکافت و ایروسل‌ها به ترتیب توسط کلیدواژه‌های FP-NAMES و AERNAMES.

کلیدواژه COMPOUND باید بلافاصله بعد از MATERIAL عنوان شود و سایر کلیدواژه‌ها بعد از COMPOUND قرار می‌گیرند. توجه شود که هر کلیدواژه تنها باید یک‌بار به کار گرفته شود. البته در حادثه LOCA معمولاً فقط از کلیدواژه COMPOUND استفاده می‌شود. باید توجه شود که بلوک MATERIAL با کلیدواژه EOI خاتمه نمی‌یابد و نیازی به آن نیست.

```
**********************************************************************************
MATERIAL
        COMPOUND   (names)
**********************************************************************************
```

MATERIAL: کلیدواژه تعریف بلوک ورودی مواد. این کلیدواژه باید بلافاصله بعد از بلوک CONTROL ذکر شود.

COMPOUND: کلیدواژه مورد نیاز برای تعریف نام مواد موجود در کتابخانه کد که باید بلافاصله بعد از عبارت MATERIAL ذکر شود.

(names): نام مواد. نام مواد استاندارد موجود در کتابخانه کد در جدول شماره ۲ پیوست ۱ ذکر شده است.

۳-۲-۲-۳- بلوک TITLE

این بلوک برای تعریف عنوان مسأله به کار می‌رود.

```
**********************************************************************************
TITLE
        (lines)
**********************************************************************************
```

TITLE: کلیدواژه‌ای برای تعریف عنوان مسأله.

(lines): خطوط حاوی عنوان مسأله. هر خط دارای حداکثر ۸۰ کاراکتر است و با علامت && آغاز می‌شود.

۳-۲-۲-۴- بلوک TIME

تعریف بازه‌های زمانی جهت انجام محاسبات، بازه زمانی ویرایش نتایج، زمان شروع مجدد محاسبات و ... از طریق این بلوک صورت می‌پذیرد.

****

TIMES cput tstart

(timinc edtdo tstop)

[{(ctmfr) **or** CTFRAC= (ctmfr)}]

EOI

****

TIMES: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی بازه‌های زمانی[1].

cput: حداکثر زمان CPU (ثانیه). چنانچه محاسبات کد به هر دلیلی در یک حلقه تکراری بیافتد، در حداکثر زمان CPU متوقف خواهد شد.

tstart: زمان شروع مسأله. توجه شود که مسأله می‌تواند در زمان‌های مثبت، صفر و یا منفی شروع شود (ثانیه).

در محاسبات کد می‌توان مدت زمان وقوع حادثه را به نواحی زمانی[2] مختلفی تقسیم نمود. برای هر ناحیه زمانی، تعریف سه پارامتر زیر الزامی است:

timinc: حداکثر مقدار بازه زمانی سیستم در هر ناحیه زمانی (ثانیه).

edtdto: حداکثر بازه زمانی ویرایش نتایج یا بازه‌های زمانی برای رسم نمودارها (ثانیه).

tstop: مقدار نهایی ناحیه زمانی (ثانیه).

ctmfr: نسبت حداکثر بازه زمانی سلول به بازه زمانی کل سیستم. این مقدار کمتر یا مساوی یک برای هر سلول است (پیش‌فرض= ۱). توجه شود که این پارامتر باید به تعداد سلول‌ها تعریف شود.

CTFRAC: گزینه‌ای اختیاری برای تعیین حداکثر بازه زمانی سلول.

EOI: پایان دهنده اختیاری بلوک.

۳-۲-۲-۵- بلوک PRINT OPTION

گزینه‌هایی که برای کنترل خروجی محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند، به صورت زیر است:

****

[1] Time step
[2] Time zone

SHORTEDT=kshort

LONGEDT=klong

****

SHORTEDT: تعداد بازه زمانی بین ویرایش‌های کوتاه. این مقدار نمی‌تواند صفر باشد (پیش‌فرض= ۱).

LONGEDT: تعداد بازه زمانی بین ویرایش‌های طولانی. این مقدار نمی‌تواند صفر باشد (پیش‌فرض= ۱).

توجه شود که این پارامترها برای تعریف فرکانس نوشتن اطلاعات در فایل رسم نمودار به کار می‌رود.

****

[PRFLOW]

[PRLOW-CL]

[PRHEAT]

[PRENGSYS]

[PRENACCT]

****

PRFLOW: فراخوانی مدل جریان درون‌سلولی.

PRLOW-CL: کلیدواژه‌ای برای فراخوانی مدل Lower cell.

PRHEAT: کلیدواژه‌ای برای اینکه مدل انتقال حرارت از ساختارها در محاسبات کد لحاظ شود.

PRENGSYS: کلیدواژه فراخوانی مدل سیستم‌های ایمنی مهندسی.

PRENACCT: با تعریف این کلیدواژه، اطلاعات محاسبات جرم و انرژی در خروجی کد نشان داده می‌شود.

علاوه بر پارامترهای بالا، دو پارامتر زیر نیز باید در ورودی کد در نظر گرفته شود.

****

FLOWS IMPLICIT

THERMAL

****

FLOWS: روش‌های حل معادلات جرم و انرژی از طریق این کلیدواژه تعریف می‌شود. روش انتگرالی مدل جریان در محاسبات، روش رانگ‌کوتا است مگر اینکه کاربر روش ضمنی را برای حل مسأله تعریف کند.

THERMAL: تعیین نوع راکتور (در اینجا منظور راکتور حرارتی است).

۳-۲-۲-۶- بلوک ENGVENT

در کد CONTAIN منظور از مجرای مهندسی، مسیر جریان مایع استخر یا گاز بین دو سلول است. تعداد مجراهایی که بین دو سلول در نظر گرفته می‌شود، نامحدود است. مشخصات مجراهای مهندسی از طریق این بلوک و به صورت زیر تعریف می‌شود:

```
**********************************************************************************
ENGVENT
      (FROM=cellfr    TO=cellto
            [VAREA=varea]   [VALV=vavl]   [VCFC=vcfc]
            [VSTATUS=ostat]   [VELEVB=velevb]   [VELEVF=velevf]
            [TYPE= {GAS   or   POOL}]
            [{AREA-T or IRAREA-P or MFLOW-T or RVAREA-P or VFLOW-T}
                  [FLAG=iflag]
                  X=n (x)
                  Y=n (y)
             EOI]
      EOI)
**********************************************************************************
```

ENGVENT: کلیدواژه فراخوانی بلوک ورودی مجرای مهندسی.

FROM: کلیدواژه‌ای برای تعیین سلول شروع‌کننده جریان.

cellfr: شماره سلولی که جریان از آن آغاز می‌شود.

TO: کلیدواژه‌ای برای تعیین سلول دریافت‌کننده جریان.

cellto: شماره سلولی که جریان به طور مستقیم به آن وارد می‌شود.

VEREA: سطح مقطع عرضی مجرا هنگامی که باز است (مترمربع).

VAVL: نسبت سطح مقطع مجرا به طول مجرا (متر).

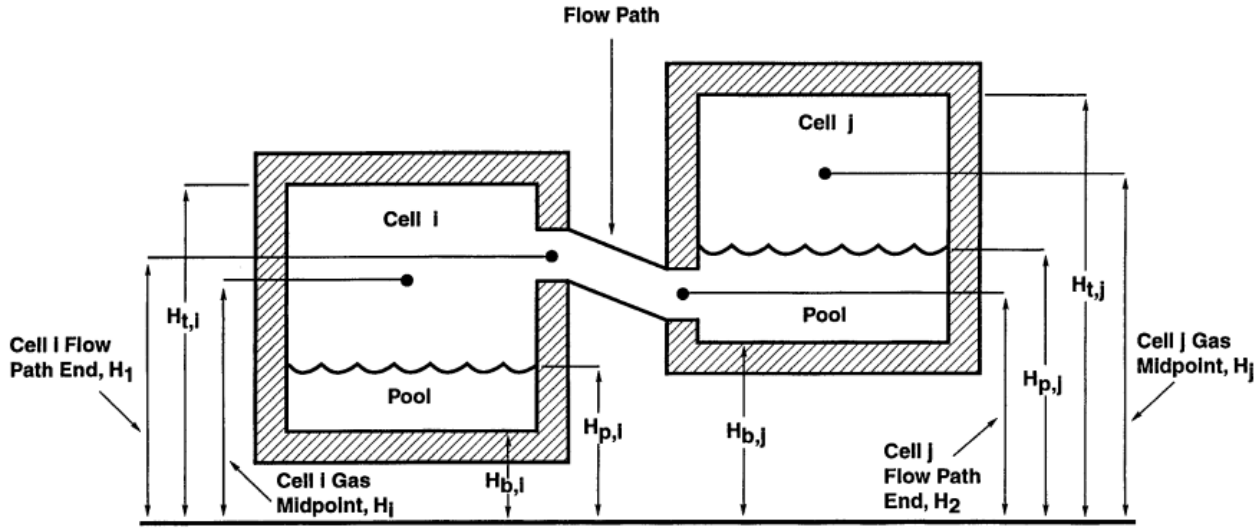
VCFC: ضریب اغتشاش جریان (CFC).

TYPE: کلیدواژه تعیین نوع جریان درون مجرا (جریان گاز و یا استخر).

دو پارامتر زیر با توجه به ارتفاع دو سلول (شکل ۳۸) و نوع مسیر جریان تعریف می‌شود.

VELEVB: ارتفاع عقب مجرا. این مقدار با توجه به سلول شروع‌کننده جریان تعیین می‌شود و به طور پیش‌فرض برابر است با ارتفاع بالای سلول i برای مسیر گاز (Ht,i) و ارتفاع پایین سلول i برای مسیر مایع (Hb,i).

VELEVF: ارتفاع مطلق جلوی مجرا. این ارتفاع با توجه به سلول دریافت‌کننده جریان تعیین شده و به طور پیش‌فرض برابر است با ارتفاع بالای سلول j برای مسیر گاز ($H_{t,j}$) و ارتفاع پایین سلول j برای مسیر مایع ($H_{b,j}$).



شکل ۳۸: ارتفاع‌های مرتبط با مجرای بین دو سلول

چنانچه مجرا از نوع دریچه و یا شیری باشد که در شرایط مختلفی باز و یا بسته می‌شود، باید حالت اولیه مجرا و همچنین جداولی برای تعیین شرایط مجرا به صورت زیر تعریف شود:

VSTATUS: کلیدواژه‌ای برای تعیین حالت اولیه مسیر جریان.

ostat: تعیین حالت اولیه مجرا (closed یا open). به طور پیش‌فرض مجرا بسته است.

AREA-T: کلیدواژه‌ای برای تعریف جدول مساحت نسبت به زمان.

IRAREA-P: کلیدواژه تعریف جدول مساحت نسبت به فشار (حالت برگشت‌ناپذیر).

RVAREA-P: کلیدواژه تعریف جدول مساحت نسبت به فشار (حالت برگشت‌پذیر).

MFLOW-T: کلیدواژه تعریف جدول جریان جرمی نسبت به زمان.

VFLOW-T: کلیدواژه تعریف جدول جریان حجمی نسبت به زمان.

FLAG: کلیدواژه‌ای برای تعیین روش درون‌یابی.

iflag: نوع درون‌یابی. مقدار ۱ به استفاده از تابع پله‌ای و مقدار ۲ به درون‌یابی خطی اشاره دارد.

X: کلیدواژه‌ای برای تعریف متغیر مستقل جدول.

n: تعداد متغیرهای جدول.

x: متغیر مستقل. این متغیر در جداول AREA-T, MFLOW-T, VFLOW-T، زمان بوده و در جداول IRAREA-P, RVAREA-P، اختلاف فشار است.

Y: کلیدواژه‌ای برای بیان متغیر وابسته جدول.

y: متغیر وابسته. این متغیر در جداول AREA-T, IRAREA-P, RVAREA-P، سطح جریان، در جدول MFLOW-T، نرخ جریان جرمی و در جدول VFLOW-T، نرخ جریان حجمی است.

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای پایان‌دادن پارامترهای مجراهای مهندسی و پایان بلوک Global.

۳-۲-۳- ورودی Cell حادثه LOCA

سلول به عنوان واحد محاسباتی اساسی در کد CONTAIN به کار می‌رود. هر سلول شامل دو بخش است: بخش بالایی سلول (upper cell) شامل فضای سلول و تعدادی از ساختارهای انتقال حرارت و بخش پایینی سلول (Lower cell) که ممکن است شامل استخر، آوار، دیواره بتنی و لایه‌های مختلف دیگری باشد. هندسه و ارتفاع سلول‌ها، حجم فضای سلول، مشخصات ساختارهای انتقال حرارت، شرایط اولیه فضای هر سلول از جمله مواردی است که باید در ورودی این بخش در

نظر گرفته شود. فضای سلول می‌تواند شامل چشمه‌های[1] خارجی باشد. این چشمه‌ها ممکن است در اثر عملکرد سیستم‌های ایمنی و یا از ناحیه شکست وارد فضای سلول شوند.

```
**********************************************************************************
CELL ncell
**********************************************************************************
```

CELL: کلیدواژه تعریف شماره سلول.

ncell: شماره سلول.

۳-۲-۳-۱- بلوک CONTROL

بعد از تعریف شماره سلول باید مشخصات کلی سلول از طریق بلوک Control تعریف شود. این بلوک شامل اطلاعات کلی هر سلول از جمله تعداد ساختارهای حرارتی و همچنین حداکثر تعداد گره‌ها در ساختارها، تعداد چشمه‌ها و سیستم‌های ایمنی و گزینه‌های مربوط به فعال‌سازی لایه‌های استخر و بتن می‌باشد.

```
**********************************************************************************
CONTROL
        [NHTM=nhtm]  [MXSLAB=mxslab]
        [NSOATM=nsoatm]  [NSPATM=nspatm]
        [NAENSY=naensy]  [NSOENG=nsoeng]  [NSPENG=nspeng]
        [JPOOL=jpool]
EOI
**********************************************************************************
```

CONTROL: کلیدواژه‌ای برای شروع مدل Cell level.

NHTM: تعداد ساختارهای انتقال حرارت.

MXSLAB: حداکثر تعداد گره‌ها در ساختارها.

NSOATM: تعداد چشمه‌های خارجی در فضای upper cell.

NSPATM: حداکثر تعداد ورودی در جداول چشمه.

[1] Sources

NAENSY: تعداد سیستم‌های ایمنی مجزا که در سلول تعریف شده است.

NSOENG: تعداد چشمه‌های مربوط به سیستم مهندسی.

NSPENG: حداکثر تعداد ورودی در جداول چشمه سیستم مهندسی.

JPOOL: گزینه‌ای که بر استفاده از لایه استخر در Lower cell دلالت دارد. اگر لایه استخر در نظر گرفته شود، برابر ۱ است.

EOI: گزینه‌ای برای پایان بلوک CONTROL سلول.

۳-۲-۳-۲- بلوک UPPER CELL

بلوک upper cell از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است. قسمت geometry آن برای توصیف حجم اولیه فضای گازی شکل، هندسه کلی سلول و ارتفاعات به کار می‌رود. در زیربلوک initial condition، شرایط اولیه فضا و از طریق زیربلوک source چشمه‌های موجود در فضای upper cell تعریف می‌شوند. تعریف مشخصات سیستم‌های ایمنی نیز از طریق زیربلوک engineering system صورت می‌پذیرد.

۳-۲-۳-۲-۱- بلوک GEOMETRY

قالب کلی این زیربلوک به صورت زیر است:

```
**********************************************************************************
GEOMETRY
        GASVOL= gasvol
        CELLHIST= n   h1   area1   h2 … hn   arean   hnp1
EOI
**********************************************************************************
```

GEOMETRY: کلیدواژه شروع ورودی هندسه سلول و حجم‌های اولیه گاز.

GASVOL: حجم اولیه گاز. چنانچه در سلول علاوه بر فضای گازی شکل، استخر نیز وجود داشته باشد حجم فضای سلول از تفاضل حجم استخر از حجم کلی به دست می‌آید.

CELLHIST: کلیدواژه‌ای برای تعیین سطوح مقاطع عرضی سلول به صورت تابعی از ارتفاع.

n: تعداد سطوح مقاطع عرضی که برای نشان‌دادن تغییر سطح مقطع سلول به صورت تابعی از ارتفاع به کار رفته است.

h1, area1, h2, …: مقادیر ارتفاع مطلق سلول و سطوح مقاطع عرضی که برای نشان‌دادن هندسه سلول به کار می‌رود. توجه شود که باید n+1 ارتفاع و n سطح مقطع تعریف شود.

۳-۲-۳-۲-۲- بلوک INITIAL CONDITION

این زیربلوک شرایط اولیه فضای سلول را به کمک دما و جرم و یا دما، فشار و جرم (یا کسر مولی) گاز تعریف می‌کند.

```
**********************************************************************************
ATMOS=nma
      TGAS=tgas   [PGAS=pgas]
      [{QUALITY= xqual   or   SATRAT= satrat   or   SATURATE}]
      [{MOLES (ogas=xmoles)   or   MOLEFRAC (ogas=yfrac)} or
      {MASSES (ogas=xmass)   or   MASSFRAC (ogas=xfrac)}]
EOI
**********************************************************************************
```

ATMOS: کلیدواژه شروع ورودی شرایط اولیه فضا.

nma: تعداد گازهای اولیه موجود در فضای سلول.

TGAS: دمای اولیه فضا که مقداری مثبت است (کلوین).

PGAS: فشار اولیه فضا (پاسکال). چنانچه گزینه‌های MASSES یا MOLES تعریف نشوند و یا شرایط اشباع در نظر گرفته نشود، تعریف این گزینه الزامی است.

QUALITY: کیفیت بخار برای فضایی که در شرایط اولیه به صورت اشباع است.

SATRAT: دمای اشباع.

SATURATE: این کلیدواژه معادل با گزینه SATRAT=1 می‌باشد.

MOLES: کلیدواژه‌ای برای تعریف مول‌های گاز.

ogas: نام ماده گازی اولیه که در فضای سلول موجود است.

xmoles: تعداد مول‌های اولیه موجود در فضا (کیلوگرم مول).

MOLEFRAC: کلیدواژه‌ای برای تعریف کسرهای مولی گاز.

yfrac: کسر مولی گاز.

MASSES: کلیدواژه تعریف جرم گازها.

xmass: جرم اولیه ترکیبات گازی فضا (کیلوگرم).

MASSFRAC: کلیدواژه‌ای برای تعریف کسر جرمی گاز.

xfrac: کسر جرمی گاز.

EOI: پایان‌دهنده زیربلوک شرایط اولیه.

۳-۲-۳-۲-۳- بلوک SOURCE

قالب کلی زیربلوک source به صورت زیر است:

```
**********************************************************************************
[SOURCE=nso
        (oname= n
        [IFLAG= {1 or 2}]
        T= (times)   MASS= (masses)   {TEMP= (temps)   or   ENTH= (enths)}
EOI]
**********************************************************************************
```

SOURCE: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی اطلاعات چشمه.

nso: تعداد کلی چشمه‌ها.

oname: نام ماده تشکیل‌دهنده چشمه.

n: تعداد داده‌های جدول چشمه.

IFLAG: کلیدواژه‌ای برای نشان‌دادن روش درون‌یابی جدول.

ival: روش درون‌یابی. مقدار ۱ به استفاده از تابع پله‌ای و مقدار ۲ به درون‌یابی خطی اشاره دارد.

T: کلیدواژه مورد نیاز برای تعریف مقادیر زمان.

times: تغییرات زمانی چشمه (ثانیه).

MASS: کلیدواژه‌ای برای تعیین مقادیر جرم.

masses: نرخ‌های جرمی چشمه (کیلوگرم بر ثانیه).

TEMP: کلیدواژه‌ای برای تعیین مقادیر دما.

temps: دماهای چشمه (کلوین).

ENTH: کلیدواژه‌ای برای تعیین مقادیر انتالپی ویژه.

enths: انتالپی‌های ویژه چشمه (ژول بر کیلوگرم).

EOI: کلیدواژه‌ای برای پایان‌دادن ورودی چشمه. توجه شود که هر جدول چشمه نیاز به یک EOI مجزا دارد.

۳-۲-۳-۲-۴- بلوک ENGINEERING SYSTEM

سیستم‌های ایمنی از طریق کلیدواژه ENGINEER تعریف می‌شوند. سه سیستم ایمنی موجود در کد عبارتند از: فن‌کولر، چگالنده یخ و اسپری. از آن‌جایی که در اغلب نیروگاه‌ها معمولاً از سیستم اسپری و فن‌کولر استفاده می‌شود، به ذکر ورودی مرتبط با این دو سیستم بسنده نموده و از توصیف ورودی مرتبط با سیستم چگالنده صرف‌نظر شده است.

****

```
ENGINEER  onmsys  numcom  iclin  iclout  delev
      [SOURCE]
      [FANCOOL]
      [SPRAY
      EOI]
      [VALVE
            {PRESSURE  valvar  valvkf  valopp
                  or
            TIMES  valvar  valkf  (valtim)}]
      [ORIFICE  orifid  orifdr]
      [PIPE  pipeid  pipel  pipekf]
```

[OVERFLOW iclfrm iclto flovht]

EOI

****

ENGINEER: کلیدواژه‌ای برای تعریف یک سیستم مهندسی.

به ازای هر سیستم مهندسی باید ۵ پارامتر زیر تعریف شود.

onmsys: نام سیستم مهندسی.

numcom: تعداد اجزاء سیستم مهندسی. برای فن‌کولر برابر ۱ و برای سیستم اسپری برابر ۴ است.

iclin: شماره سلولی که سیال از آن سرچشمه می‌گیرد.

iclout: شماره سلولی که سیال به آن وارد می‌شود.

delev: اختلاف ارتفاع در ورودی و خروجی سیستم مهندسی.

برای هر سیستم مهندسی باید چشمه خارجی تعریف نمود. تعریف چشمه خارجی ساده‌ترین روش برای تعیین دما و نرخ جریان جرمی وابسته به زمان برای اسپری و فن‌کولر است. تعریف چشمه خارجی از طریق زیربلوک source در بالا توضیح داده شده است. بعد از تعریف کلیات سیستم مهندسی و همچنین چشمه‌های خارجی، باید جزئیات مربوط به هر سیستم تعریف شود. سیستم فن‌کولر از طریق کلیدواژه FANCOOL و سیستم اسپری از طریق کلیدواژه SPRAY فعال می‌شوند و هرکدام شامل یک‌سری پارامترهایی است که در ادامه توضیح داده می‌شوند. قالب کلی ورودی فن‌کولر به صورت زیر است. در کد CONTAIN دو مدل انتقال حرارت برای مدل‌سازی فن‌کولر مورد استفاده قرار گرفته است: انتقال حرارت تراکمی مکانیکی از طریق کلیدواژه CONDENSE و انتقال حرارت ساده از طریق کلیدواژه MARCH.

****

[FANCOOL

{CONDENSE

[FCQR=fcqr] [FCWIN=fcwin] [FCTCLI=fctcli] [FCCLMD=fccmld] [FCCLOD=fcclod]

[NRWSFC=nrwsfc] [FCEFAR=fcefar] [FCFLAR=fcflar] [FCHNTR=fchntr]

or

MARCH

[FCQR=fcqr] [FCTCLI=fctcli] [FCCLMD=fccmld] [FCTPIR=fctpir]}

EOI

****

FANCOOL: کلیدواژه‌ای برای تعریف مدل فن‌کولر.

CONDENSE: کلیدواژه فعال‌سازی مدل انتقال حرارت تراکمی مکانیکی.

FCQR: نرخ برداشت حرارت از فن‌کولر (وات).

FCWIN: نرخ جریان حجمی مخلوط هوا و بخار در فن‌کولر (مترمکعب بر ثانیه).

FCTCLI: دمای ورودی آب خنک‌کننده (کلوین).

FCCLMD: نرخ جریان جرمی آب خنک‌کننده در کولر.

چنانچه یک چشمه خارجی برای فن‌کولر تعریف شود، از دو پارامتر بالا صرف‌نظر می‌شود.

FCCLOD: قطر خارجی لوله‌های خنک‌کن (متر).

NRWSFC: تعداد ردیف‌های کولر از جلو به عقب.

FCEFAR: سطح مؤثر انتقال حرارت در طول یک ردیف از لوله‌ها (مترمربع).

FCFLAR: سطح پیشانی فن‌کولر (مترمربع).

FCHNTR: ضریب انتقال حرارت بین سطح خارجی لوله و آب خنک‌کننده (وات بر مترمربع کلوین).

MARCH: کلیدواژه تعیین مدل انتقال حرارت ساده.

FCQR: توان مجاز کولر.

FCTCLI: دمای ورودی خنک‌کننده.

FCCLMD: نرخ جریان جرمی خنک‌کننده (کیلوگرم بر ثانیه).

FCTPIR: دمای هوا- بخار ورودی.

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای خاتمه مدل فن‌کولر.

اسپری یکی دیگر از سیستم‌های ایمنی است که معمولاً در مدل‌سازی‌ها لحاظ می‌شود. توجه شود هنگامی که سیستم اسپری فعال می‌شود باید یکی از دو حالت زیر در نظر گرفته شود:

۱. ترکیب چشمه خارجی و اسپری.
۲. ترکیبی از اسپری، تانک، پمپ و مبدل حرارتی.

در هر دو مورد می‌توان گزینه سرریز جریان (overflow) را نیز فعال نمود.

```
**********************************************************************************
SPRAY
        [SPDIAM=spdiam]  [SPHITE=sphite]  [SPPCI2=sppci2]
        [SPPCMI=sppcmi]  [SPSTPR=spstpr]  [SPSTTM=spsttm]
EOI
**********************************************************************************
```

SPRAY: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی مدل اسپری محفظه ایمنی.

SPDIAM: قطر قطرات (پیش‌فرض= ۰/۰۰۱ متر).

SPHITE: ارتفاع سقوط قطرات اسپری. (به طور پیش‌فرض برابر با ارتفاع سلول است که در بلوک geometry تعریف شده است).

SPPCI2: ضریب توزیع در مدل برداشت ید اصلی (پیش‌فرض= ۵۰۰۰).

SPPCMI: ضریب توزیع در مدل برداشت یدهای آلی (پیش‌فرض= صفر).

SPSTPR: فشار محفظه ایمنی که در آن سیستم اسپری شروع به کار می‌کند (پاسکال).

SPSTTM: دمای محفظه ایمنی که در آن سیستم اسپری شروع به کار می‌کند (کلوین).

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای خاتمه‌دادن به ورودی اسپری.

مبدل حرارتی یکی از زیرسیستم‌هایی که در سیستم اسپری در نظر گرفته می‌شود. در تعریف مبدل می‌توان دو حالت در نظر گرفت:

۱. تعیین نوع مبدل حرارتی و تعریف پارامترهای مربوطه.

۲. استفاده از گزینه USER و تعریف افت دما در سمت گرم.

****

HEX {otype hxticl hxclmd hxarea hxcoef

or

USER hxdelt}

****

HEX: کلیدواژه مورد نیاز برای تعریف ورودی مبدل حرارتی.

otype: نوع مبدل حرارتی. این نام باید یکی از گزینه‌های SHELL, CROSS, COUNTER, PARALLEL انتخاب شود. SHELL بر مبدل حرارتی تک‌عبوری، CROSS بر مبدل حرارتی جریان متقابل، COUNTER بر مبدل حرارتی نوع جریان مخالف و PARALLEL بر مبدل حرارتی جریان همسو دلالت دارد.

hxticl: دمای ورودی سمت سرد (کلوین).

hxclmd: نرخ جریان جرمی آب خنک‌کننده در سمت سرد (کیلوگرم بر ثانیه).

hxarea: سطح مؤثر انتقال حرارت مبدل (مترمربع).

hxcoef: ضریب انتقال حرارت کلی (وات بر مترمربع کلوین).

USER: کلیدواژه‌ای برای تعیین یک افت دمای ثابت در طول سمت گرم.

hxdelt: افت دما در طول سمت گرم (کلوین).

****

PUMP pmpmdt

****

PUMP: کلیدواژه فعال‌سازی پمپ.

pmpmdt: نرخ جریان جرمی (کیلوگرم بر ثانیه).

****

TANK tnkmas tnktem tnkflo

****

TANK: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌سازی مدل تانک.

tnkmas: جرم اولیه سیال درون تانک (کیلوگرم).

tnktem: دمای سیال درون تانک (کلوین).

tnkflo: نرخ جریان جرمی خروجی از تانک (کیلوگرم بر ثانیه).

```
**********************************************************************************
OVERFLOW  iclfrm  iclto  flovht
**********************************************************************************
```

OVERFLOW: کلیدواژه‌ای برای تعیین سرریز جریان در سیستم‌های مهندسی.

iclfrm: شماره سلولی که سرریز جریان از آن آغاز می‌شود.

iclto: شماره سلولی که جریان سرریزشده به سمت آن هدایت می‌شود.

flovht: ارتفاع بالای استخر در سلول.

علاوه بر موارد بالا، کاربر می‌تواند مدل‌های شیر، اوریفیس و یا لوله را نیز در محاسبات در نظربگیرد. کلیدواژه VALVE برای فعال‌کردن مدل شیر به کار می‌رود و از طریق دو گزینه PRESSURE و یا TIMES تعریف می‌شود. گزینه PRESSURE زمانی به کار می‌رود که شیر بر اثر اختلاف فشار باز شده و همچنان باز بماند. گزینه TIMES نیز برای تعریف باز و بسته‌شدن شیر با گذشت زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت کاربر باید پنج بار باز و بسته‌شدن شیر را تعریف کند. فرض می‌شود که شیر در حالت اولیه بسته است. حالت اولیه مطابق با زمان شروع مسأله خواهد بود.

```
**********************************************************************************
VALVE
      {PRESSURE  valvar  valvkf  valopp
            or
      TIMES  valvar  valvkf  (valtim)}
**********************************************************************************
```

VALVE: کلیدواژه فعال‌سازی مدل شیر.

PRESSURE: کلیدواژه‌ای که نشان می‌دهد شیر در اثر اختلاف فشار باز می‌شود.

valvar: سطح جریان (مترمربع).

valvkf: ضریب افت جریان که ممکن است شامل ضریب اصطکاک مودی، ضرایب افت ورودی و خروجی و ضریب افت شکل باشد.

valopp: مقدار مطلق اختلاف فشار در حالی‌که شیر باز است (پاسکال).

TIMES: کلیدواژه‌ای برای تعیین حالتی‌که شیر پنج بار باز و بسته می‌شود. دو پارامتر اولی که در مورد PRESSURE عنوان شد، عیناً در این حالت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

valtim: ماتریسی از پنج بار باز و بسته‌شدن متناوب که با اولین زمان بازشدن آغاز می‌شود (ثانیه).

جریان بین دو استخر در اثر نیروی فشار، از طریق اوریفیس صورت می‌گیرد. قالب کلی مدل اوریفیس کد CONTAIN به صورت زیر است.

```
**********************************************************************************
ORIFICE  orifid  orifdr
**********************************************************************************
```

ORIFICE: کلیدواژه تعیین اوریفیس.

orifid: قطر اوریفیس (متر).

orifdr: نسبت قطر اوریفیس به قطر جریان آزاد.

لوله نیز برای برقراری جریان بین دو استخر مبتنی‌بر ضریب افت جریان تعیین‌شده توسط کاربر به کار گرفته می‌شود.

```
**********************************************************************************
PIPE  pipeid  pipel  pipekf
**********************************************************************************
```

PIPE: کلیدواژه تعریف لوله.

pipeid: قطر درونی لوله (متر).

pipel: طول لوله (متر).

pipekf: ضریب افت جریان.

۳-۲-۳-۲-۵- بلوک CONDENSE

علاوه بر زیربلوک‌هایی که در بالا به آن اشاره شد، گزینه چگالش نیز برای در نظر گرفتن چگالش و تبخیر از همه سطوح (اعم از ساختارهای انتقال حرارت، لایه Lower cell و سیستم‌های ایمنی) به کار می‌رود.

```
**********************************************************************************
CONDENSE
**********************************************************************************
```

CONDENSE: کلیدواژه فعال‌کردن انتقال حرارت چگالش بر روی همه سطوح سلول.

۳-۲-۳-۳- بلوک STRUCTURE

مشخصات ساختارهای انتقال حرارت از طریق این بلوک تعریف می‌شود. سه شکل تیغه‌ای، استوانه‌ای و کروی برای ساختارهای انتقال حرارت پیشنهاد شده است.

```
**********************************************************************************
STRUC
    ([NAME=name]   TYPE=type   SHAPE=shape   NSLAB=nslab
    CHRLEN=chrlen   [SLAREA=slarea]   [SLHITE=slhite]   [SLELEV=slelev]
    [CYLHITE=cylhite]   [CYLELEV=cylelev]   [CYLTHETA=cylteta]
    {TUNIF=tunif   or   TCOND= (tcond)}
    COMPOUND= (cnames)
    X= (xvals)
        [BCINNER
            [HYDAREA=hdarea]
        EOI]
        [IOUTER]   [TOUTER]
        [BCOUTER
            [TSURF=tsurf]   [QSURF=qsurf]
            [ADIABAT]   [HCOEF=hcoef]   [STRNUM=istr,hgap]
            [{ICELL=icell   or   TGAS=tgas}]
        EOI]
    EOI)
**********************************************************************************
```

STRUC: کلیدواژه‌ای برای تعریف ساختارهای انتقال حرارت.

NAME: نام اختیاری ساختار که توسط کاربر تعیین می‌شود.

TYPE: نوع ساختار که ممکن است به صورت کف، دیوار و سقف (به ترتیب ROOF, WALL, FLOOR) تعریف شود.

SHAPE: شکل ساختار که به صورت کروی، استوانه‌ای و تیغه‌ای (به ترتیب SLAB, CYLINDER, SPHERE) تعریف می‌شود.

NSLAB: تعداد گره‌های ساختار. این تعداد باید کمتر یا مساوی mxslab در بلوک CONTROL ورودی Cell level باشد.

CHRLEN: طول مشخصه ساختار که در رابطه انتقال حرارت به کار می‌رود (متر).

SLAREA: مساحت ساختار تیغه‌ای (مترمربع).

SLHITE: ارتفاع ساختار تیغه‌ای از نوع WALL (متر).

SLELEV: ارتفاع مرکز حجم ساختار تیغه‌ای (متر).

CYLHITE: طول محوری ساختار استوانه‌ای (متر).

CYLELEV: ارتفاع مرکز حجم ساختار استوانه‌ای از نوع WALL (متر).

CYLTHETA: زاویه جهتی ساختار استوانه‌ای جزیی (مقیاس درجه). در صورتی‌که ساختار به صورت بخشی از یک استوانه باشد از این گزینه استفاده می‌شود.

کاربر می‌تواند شرایط اولیه دمای ساختار را از طریق دمای یکنواخت ساختار و یا دمای هر گره به صورت زیر تعریف کند:

TUNIF: دمای اولیه ساختار (کلوین).

TNODE: کلیدواژه تعریف دمای اولیه برای هر گره ساختار.

tnode: مقدار دمای اولیه هر گره (کلوین).

COMPOUND: کلیدواژه برای تعیین ترکیبات مواد در هر گره.

cname: نام ماده در یک گره.

X: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین موقعیت هر گره.

(xvals): تعداد این پارامتر برابر nslab+1 بوده و موقعیت گره‌های دمایی ساختار را نشان می‌دهد.

BCINNER: کلیدواژه‌ای برای تعیین شرایط مرزی سطح داخلی ساختار.

HYDAREA: سطح هیدرولیکی مورد نیاز برای محاسبه سرعت جابجایی در سطح ساختار (مترمربع). این مقدار برابر است با حجم فضای گاز سلول به توان ۰/۶۶.

برای تعیین شرایط مرزی در سطح خارجی ساختار دو حالت در نظر گرفته می‌شود: تعریف دمای گاز در سلول همجوار با سطح خارجی ساختار و یا استفاده از گزینه BCOUTER. در حالت اول کاربر باید دو گزینه IOUTER و TOUTER را تعریف کند. این دو گزینه به ترتیب بر شماره سلول مجاور با سطح خارجی ساختار و دمای گاز در سلول مجاور دلالت دارد. حالت دوم نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

BCOUTER: کلیدواژه‌ای برای تعیین شرایط مرزی سطح خارجی ساختار.

در این حالت باید یکی از ۵ پارامتر زیر برای تعیین شرط مرزی روی سطح خارجی به کار گرفته شود. اگر گزینه HCOEF فعال شود باید شرایط مرزی توسط TGAS و یا ICELL تعیین شود. چنانچه گزینه STRNUM فعال شود شرط مرزی از طریق ICELL تعریف می‌شود. باید توجه نمود که دو گزینه TGAS و ICELL و همچنین TSURF و HCOEF را نمی‌توان به طور هم‌زمان به کار برد.

TSURF: دمای ثابت سطح (کلوین).

QSURF: شار حرارتی ثابت سطح (وات بر مترمربع).

ADIABAT: تعیین شرط مرزی آدیاباتیک که با QSURF=0 معادل است.

HCOEF: ضریب انتقال حرارت ثابت (وات بر مترمربع کلوین).

STRNUM: این گزینه زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که سطح خارجی ساختار به سطح دیگری متصل بوده و با یکدیگر در تبادل حرارت باشند.

istr: شماره ساختاری که سطح خارجی با آن در تماس است.

hgap: ضریب رسانش بین دو ساختار (وات بر مترمربع کلوین).

ICELL: سلولی که سطح خارجی آن درمعرض گاز قرار دارد و یا به ساختار دیگری متصل است.

TGAS: دمای گاز در مجاورت سطح خارجی.

۳-۲-۳-۴- بلوک LOWER CELL

کلیدواژه LOW-CELL برای تعریف ورودی مدل‌های Lower cell مورد استفاده قرار می‌گیرد. Lower cell شامل لایه‌های مختلفی در انتهای سلول است که عبارتند از: لایه بتنی، لایه‌های میانی، لایه استخر و لایه فضا. مدل‌سازی فیزیکی از طریق این بلوک برای همه این لایه‌ها به جز لایه فضا صورت می‌پذیرد. شکل و جرم اولیه لایه‌ها از طریق این بلوک تعریف می‌شود. البته در مدل‌سازی حادثه LOCA تنها با لایه بتنی و لایه استخر سروکار داریم، که در ادامه ورودی مربوط به آن توضیح داده می‌شود.

```
**********************************************************************************
LOW-CELL
        GEOMETRY=carea     BC=txl
        [POOL
                [COMPOS=nma (omat   pmass)]  TEMP=ptemp
                [PHYSICS
                        [BOIL]
                EOI]
        EOI]
EOI
**********************************************************************************
```

LOW-CELL: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌نمودن مدل Lower cell.

GEOMETRY: مساحت لایه بتنی کف سلول (مترمربع).

BC: دمای اولیه لایه بتن (کلوین).

گزینه POOL برای مدل‌سازی استخر مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه سلولی شامل حجم قابل توجهی از آب باشد و یا در اثر حادثه شکست، خنک‌کننده‌ای به آن وارد شود، باید این گزینه فعال شود.

POOL: کلیدواژه‌ای برای تعریف لایه استخر.

COMPOS: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین ماده اولیه استخر.

nma: تعداد مواد اولیه موجود در لایه استخر.

omat: نام مواد اولیه موجود در لایه استخر. چنانچه حالت فیزیکی جوشش (BOIL) تعریف شود، باید ماده خنک‌کننده (NAL یا H2OL) در نظر گرفته شود.

pmass: جرم اولیه ماده omat در لایه استخر (کیلوگرم).

TEMP: دمای اولیه لایه (کلوین).

PHYSICS: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی حالت‌های فیزیکی لایه.

BOIL: فعال کردن مدل جوشش استخری.

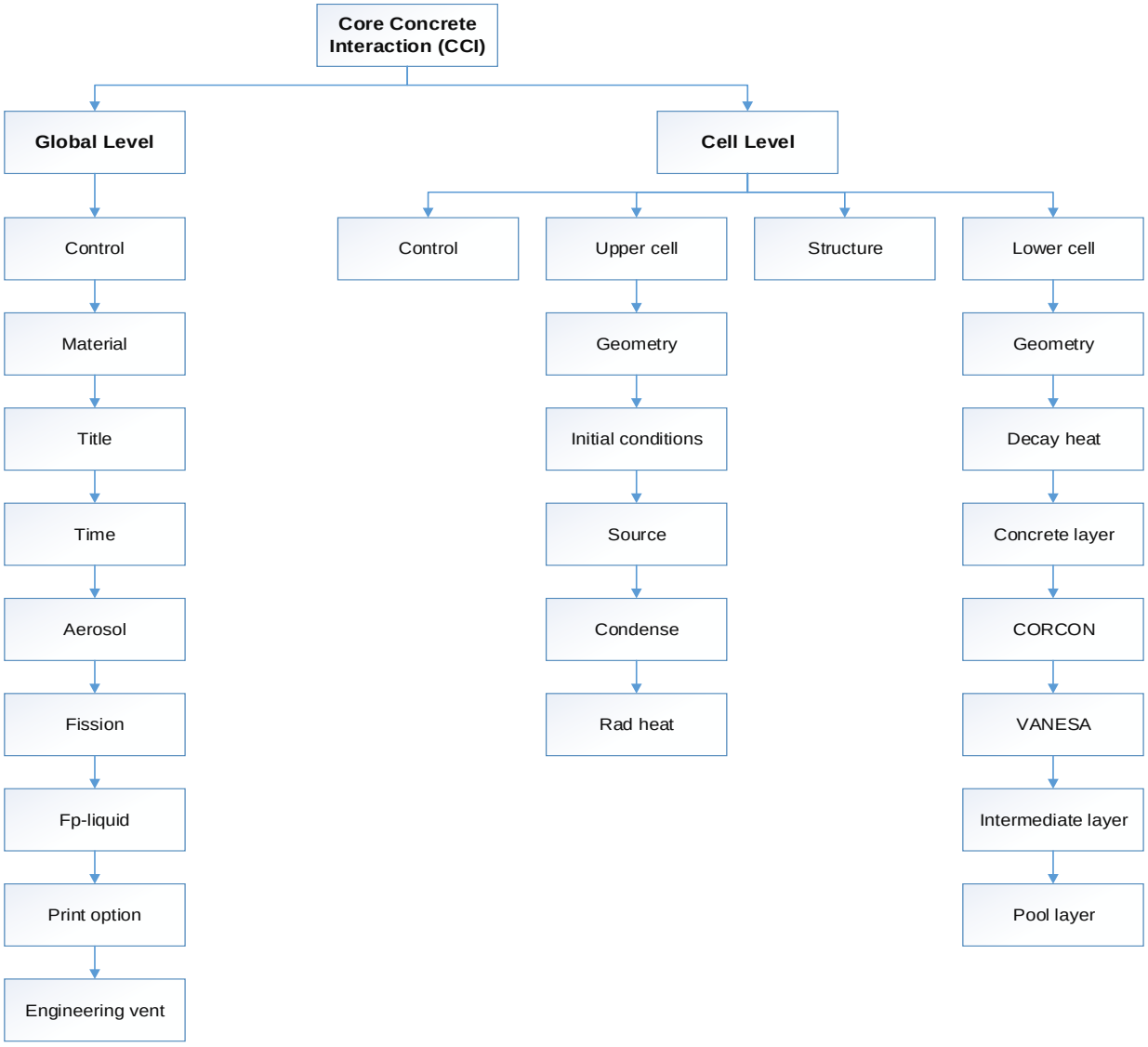
EOI: در پایان ورودی Lower cell این گزینه سه بار تکرار می‌شود. یکی مربوط به ورودی مدل فیزیکی، دیگری مربوط به مدل لایه استخر و سومی مربوط به مدل Lower cell می‌باشد.

۳-۳- حادثه ذوب قلب

در اثر وقوع حوادث وخیمی که منجر به شکست مخزن فشار راکتور می‌شود، آوار مذاب قلب به درون چاهک راکتور تخلیه می‌شود. تماس بین قلب مذاب و بتن چاهک منجر به وقوع پدیده‌ای به نام برهم‌کنش مواد مذاب و بتن می‌شود. برهم‌کنش حرارتی مواد مذاب تخلیه‌شده به چاهک و به ویژه اثر مواد مذاب بر ساختار بتنی چاهک که منجر به خوردگی بتن و تولید هیدروژن، مونوکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن و بخار می‌گردد، سبب افزایش فشار محفظه ایمنی شده و ممکن است به شکست آن بیانجامد. علاوه براین، تماس مواد مذاب با آب موجود در چاهک راکتور و یا فضاهای اطراف آن موجب افزایش فشار درون محفظه ایمنی و انفجار بخار می‌شود. گازهای ناشی از برهم‌کنش بین مذاب و بتن نیز در روند افزایش فشار درون محفظه ایمنی تأثیرگذار است.

۳-۳-۱- قالب کلی ورودی حادثه ذوب قلب

بلوک‌هایی که در مدل‌سازی حادثه ذوب قلب با استفاده از کد CONTAIN مورد نیاز می‌باشند، در شکل ۳۹ نشان داده شده است.



شکل ۳۹: درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی در حادثه ذوب قلب

۳-۳-۲- ورودی Global level حادثه ذوب قلب

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، ورودی Global level شامل اطلاعات کلی مسأله و همچنین اطلاعات کلیه سلول‌ها است. در این حالت نیز درست مانند ورودی حادثه LOCA، ورودی Global به ترتیب با بلوک‌های CONTROL و MATERIAL آغاز می‌شود. سایر بلوک‌های کلی در ورودی Global level نیز مشابه حادثه LOCA تعریف می‌شوند. با این تفاوت که

پارامترهای مربوط به حادثه ذوب قلب به آنها اضافه شده‌اند. اختلاف اساسی ورودی مذکور با ورودی حادثه LOCA در استفاده از بلوک‌های ایروسل و محصولات شکافت است. این دو بلوک در ورودی Global level حادثه ذوب قلب تعریف می‌شوند.

۳-۳-۲-۱- بلوک CONTROL

قالب کلی بلوک CONTROL در ورودی Global level برای حادثه ذوب قلب به صورت زیر است. توجه شود که تعریف بسیاری از کلیدواژه‌ها دقیقاً مشابه حادثه LOCA بوده و فقط به تعریف کلیدواژه‌های جدیدی که مختص مدل‌سازی این حادثه است، بسنده می‌شود. این کلیدواژه‌ها به صورت پر رنگ[1] نشان داده شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که به منظور شبیه‌سازی حادثه ذوب قلب، باید یک سلول به عنوان مخزن فشار راکتور و یک سلول با نام چاهک تعریف شود و یک مسیر جریان بین این دو سلول برقرار شود.

```
**********************************************************************************
CONTROL
        NCELLS=ncells
        NTZONE=ntzone
        [NTITL=ntitl]
        [NUMTBG=numtbg]
        [MAXTBG=maxtbg]
        [NENGV=nengv]
        [NFCE=nfce] [NCHAIN=nchain] [NSECTN=nsectn] [NAC=nac]
EOI
**********************************************************************************
```

NFCE: تعداد محصولات شکافتی که توسط کاربر تعیین می‌شود. محصولات شکافتی که از کتابخانه کد استخراج می‌شوند نباید در این زیربلوک قرار بگیرند.

NCHAIN: تعداد زنجیره‌های خطی واپاشی که توسط کاربر تعریف می‌شود. زنجیره‌های خطی استخراج‌شده از کتابخانه محصولات شکافت کد نباید در این زیر بلوک قرار بگیرد.

NSECTN: تعداد مقطع‌ها و یا اندازه ذرات ایروسل (معمولاً برابر ۲۰ در نظر گرفته می‌شود).

[1] Bold

NAC: تعداد ترکیبات ایروسلی که از طریق بلوک AEROSOL تعریف می‌شوند (حداکثر= ۸، پیش‌فرض= صفر).

۳-۳-۲-۲- بلوک MATERIAL

بلوک MATERIAL برای حادثه ذوب قلب شامل نام موادی که از کتابخانه کد استخراج شده است و همچنین نام ایروسل‌ها و محصولات شکافت تعیین‌شده توسط کاربر می‌باشد.

```
**********************************************************************************
MATERIAL
        COMPOUND (names)
        [FP-NAMES (fname)]
                [FPLIB
                        {ALL or (nchlib)}
                [EOI]
                [G-TARGET
                        [(gname=nfp (fpnarne))]
                EOI]
        [AERNAMES (aernames)]
**********************************************************************************
```

AERNAMES: کلیدواژه اختیاری برای تعریف نام ترکیبات ایروسلی که توسط کاربر تعیین شده‌اند.

(aernames): نام ترکیبات ایروسل تعیین‌شده توسط کاربر.

برای تعریف نام محصولات شکافت دو حالت وجود دارد: فراخوانی از کتابخانه کد و یا تعریف‌شده توسط کاربر. برای تعریف محصولات شکافت توسط کاربر دو گزینه زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

FP-NAMES: کلیدواژه‌ای برای تعریف نام محصولات شکافت.

(fname): نام محصولات شکافت تعیین‌شده توسط کاربر.

گزینه‌های زیر برای فراخوانی محصولات شکافت از کتابخانه کد به کار می‌رود:

FPLIB: کلیدواژه‌ای اختیاری برای دسترسی به کتابخانه محصولات شکافت. در این حالت یکی از دو گزینه زیر فعال می‌شود:

ALL: فراخوانی کلیه محصولات شکافت از کتابخانه کد.

nchlib: فراخوانی لیستی از فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد. در کتابخانه کد، به طور پیش‌فرض ۴۰ زنجیره واپاشی در نظر گرفته شده است (شکل ۴۷ تاشکل ۵۳ پیوست ۲).

G-TARGET: کلیدواژه‌ای برای فراخوانی مدل انتشار و پذیرش.

gname: نام دسته‌ای که محصولات شکافت در آن قرار می‌گیرند (جدول شماره ۸ پیوست ۱).

nfp: تعداد محصولات شکافتی که در دسته gname قرار می‌گیرند (جدول شماره ۸ پیوست ۱).

fpname: نام محصولات شکافتی که در دسته gname قرار گرفته‌اند (جدول شماره ۸ پیوست ۱).

۳-۳-۲-۳- بلوک‌های TITLE و TIME

این بلوک‌ها عیناً مشابه حادثه LOCA تعریف می‌شوند.

۳-۳-۲-۴- بلوک PRINT OPTION

```
**********************************************************************************
SHORTEDT=kshort
LPNGEDT=klong
[PRFLOW]
[PRLOW-CL]
[PRHEAT]
[PRAER]
[PRFISS]
[PRENACCT]
FLOWS   IMPLICIT
THERMAL
**********************************************************************************
```

PRFISS: کلیدواژه‌ای برای اینکه جرم و توان واپاشی محصولات شکافت در محاسبات در نظر گرفته شود.

PRAER: کلیدواژه‌ای برای در نظر گرفتن جزئیات موجودی ایروسل‌های معلق و رسوب ایروسل‌های کوچک در محاسبات.

۳-۳-۲-۵- بلوک ENGVENT

کلیدواژه‌های این بلوک نیز عیناً شبیه حادثه LOCA تعریف می‌شوند با این تفاوت که در حادثه ذوب قلب باید یک مسیر جریان از مخزن فشار به چاهک راکتور تعریف شود. این مسیر جریان به صورت جدول تغییرات سطح با زمان تعریف شده و

از محاسبات کدهایی نظیر MELCOR و یا SCDAP/RELAP به دست می‌آید. در واقع این جدول نشان‌دهنده تغییرات شکستگی مخزن فشار با گذشت زمان می‌باشد.

****

ENGVENT

(FROM=cellfr TO=cellto

[VAREA=varea] [VALV=vavl] [VCFC=vcfc]

[VSTATUS=ostat] [VELEVB=velevb] [VELEVF=velevf]

[TYPE= {GAS **or** POOL}]

[VCONTRA=vcontra]

[{AREA-T or IRAREA-P **or** MFLOW-T **or** RVAREA-P **r** VFLOW-T}

[FLAG=iflag]

X=n (x)

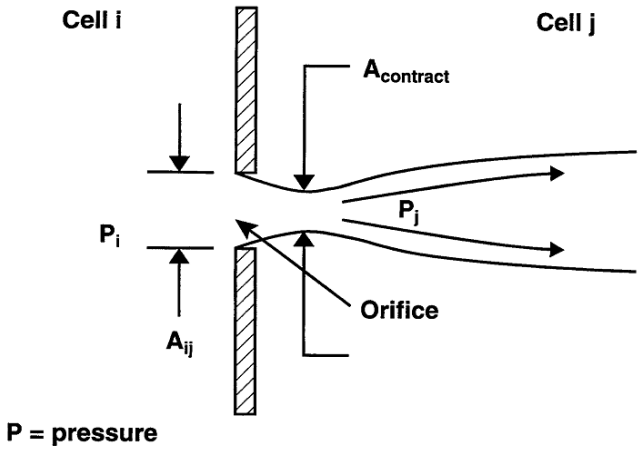
Y=n (y)

EOI]

EOI)

****

VCONTRA: ضریب کاهش سطح جریان هنگامی‌که شوک جریان داریم. این ضریب معمولاً کمتر از ۱ بوده و به صورت حداقل مساحتی که توسط خطوط جریان اشغال می‌شود نسبت به سطح مقطع هندسی مسیر جریان $(A_{contract}/A_{ij})$ تعریف می‌شود (شکل ۴۰).



شکل ۴۰: سطح مقطع جریان در محاسبات مدل جریان بحرانی

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد یک مسیر جریان از مخزن فشار به چاهک راکتور به صورت جدول تغییرات سطح نسبت به زمان در نظر گرفته می‌شود. متغیر X نشان‌دهنده زمان و متغیر Y بر سطح مقطع دلالت دارد. توجه شود اولین زمانی که تعریف می‌شود باید کمی کوچکتر از زمان شروع تخلیه مواد مذاب به درون چاهک باشد. به عنوان مثال اگر زمان شکست مخزن فشار و تخلیه مواد مذاب به چاهک حدود ثانیهٔ ۳۰۰۰ باشد، اولین زمان تعریف‌شده در متغیر X برابر ثانیهٔ ۲۹۹۹ در نظر گرفته می‌شود. سطح مقطع متناظر با این زمان نیز برابر صفر خواهد بود.

۳-۳-۲-۶- بلوک AEROSOL

خصوصیات کلی ایروسل‌ها مطابق بلوک زیر تعریف می‌شود. این بلوک با کلیدواژه AEROSOL آغاز شده و سایر کلیدواژه‌های ذکرشده در بلوک، اختیاری هستند.

```
**********************************************************************************
AEROSOL
      [NEWCOF=newcof]  [DIAM1=diam1]  [DIAM2=diam2]
      [TGAS1=tgas1]  [TGAS2=tgas2]  [PGAS1=pgas1]  [PGAS2=pgas2]
      [TRAPVOFL]  [TRAPUNFL]
      [AERTIM=ntb
            (NAME=aname
            [FLAG=iflag]
            X=n (x)
            VAR-Y=yname
            Y=n (y)
            EOI)]
(mapaer amean avar)
**********************************************************************************
```

AEROSOL: کلیدواژه شروع خصوصیات کلی ایروسل.

NEWCOF: تعریف نمایه مورد نیاز برای محاسبه مجموعه ضرایب ایروسل. ضرایب ایروسل به موقعیت و یا اندازه ذره بستگی دارد و محاسبات آن معمولاً بر مبنای درون‌یابی بین چهار نقطه دمایی و فشاری [(T_{gas1},P_{gas1}), (T_{gas1},P_{gas2}), (T_{gas2},P_{gas1}), (T_{gas2},P_{gas2})] انجام می‌شود. انتخاب ضرایب با توجه به یکی از حالت‌های زیر صورت می‌پذیرد:

- newcof=1، در نتیجه ضرایب بر اساس چهار نقطه دمایی و فشاری بالا صورت می‌گیرد. به طور پیش‌فرض این حالت در محاسبات در نظر گرفته می‌شود.

- newcof=2، ضرایب تنها برای (T_{gas1},P_{gas1}) به دست می‌آیند. این حالت تنها برای مسائلی با دما و فشار ثابت مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- newcof=3، ضرایب برای P_{gas1} در دمای T_{gas1} و T_{gas2} محاسبه می‌شود. این گزینه در شرایط فشار ثابت به کار می‌رود.
- newcof=4، ضرایب برای T_{gas1} در فشار P_{gas1} و P_{gas2} فراخوانی می‌شود. این حالت در شرایط دما ثابت به کار گرفته می‌شود.

DIAM1: حداقل قطر مجاز ایروسل‌ها (پیش‌فرض= $۱۰^{-۷}$ متر).

DIAM2: حداکثر قطر مجاز ایروسل‌ها (پیش‌فرض= $۱۰^{-۴}$ متر).

TGAS1: حداقل دما جهت درون‌یابی ضرایب (پیش‌فرض= ۲۷۳ کلوین).

TGAS2: حداکثر دما جهت درون‌یابی ضرایب (پیش‌فرض= ۶۷۳ کلوین).

PGAS1: حداقل فشار جهت درون‌یابی ضرایب (پیش‌فرض= $۱۰^{۵}$ پاسکال).

PGAS2: حداکثر فشار جهت درون‌یابی ضرایب (پیش‌فرض= $۱۰^{۵}\times$ ۷/۵ پاسکال).

TRAPOVFL: کلیدواژه‌ای برای گیراندازی ذرات ایروسلی که در حال بزرگ‌شدن بوده و جلوگیری از انتقال این ذرات به پسماندهای سلول.

TRAPUNFL: کلیدواژه‌ای برای گیراندازی ذرات ایروسلی که در حال کوچک‌شدن بوده و جلوگیری از انتقال این ذرات به پسماندهای سلول.

از طریق بلوک AERTIM کاربر می‌تواند توزیع پارامترهای اندازه ایروسل را به صورت تابعی از زمان تعریف نماید. توجه شود که کاربر باید مشخصات جداول AERTIM را در پارامترهای numtbg و maxtbg بلوک CONTROL ورودی Global level در نظر بگیرد.

AERTIM: کلیدواژه‌ای برای تعیین جداول کلی برای amean یا avar به صورت تابعی از زمان.

ntb: تعداد جداول به کار رفته.

NAME: نام ترکیبات ایروسل به کار رفته در جدول.

n: تعداد نقاط جدول.

x: متغیر مستقل جدول (زمان).

VAR-Y: نام متغیر وابسته در جدول.

y: متغیر وابسته جدول با توجه به amean (قطر متوسط ذره) و یا avar (لگاریت طبیعی اندازه ذره).

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای پایان‌دادن به جداول AERTIM.

mapaer: نام ترکیب ایروسل.

amean: قطر متوسط ذره که برای توزیع اولیه و چشمه ذرات جدید به کار می‌رود (پیش‌فرض= ۱×۱۰^{-۶} متر).

avar: لگاریتم طبیعی توزیع اندازه ذره که برای توزیع اولیه و چشمه‌های ذرات جدید به کار می‌رود (پیش‌فرض= ۰/۶۹۳).

EOI: کلیدواژه پایانی بلوک AREOSOL.

۳-۳-۲-۷- بلوک FISSION

خصوصیات کلی محصولات شکافت از جمله ساختار زنجیره‌های واپاشی، نیمه عمر و ضرایب توان واپاشی از طریق این بلوک تعریف می‌شود.

```
**********************************************************************************
FISSION
        (NFPCHN=nfpchn
                FPNAME= (fpname)
                HFLIFE= (hflife)
                [{FGPPWR=ndpcon     POWER= (fpq)}])
EOI
**********************************************************************************
```

FISSION: کلیدواژه شروع ورودی Global محصولات شکافت.

NFPCHN: کلیدواژه‌ای برای تعیین تعداد عناصر محصولات شکافت در یک زنجیره واپاشی. این پارامتر و گزینه‌هایی که در ادامه توصیف می‌شود، به تعداد زنجیره‌های واپاشی تکرار می‌شوند. زنجیره‌های واپاشی کد در شکل ۴۷ تاشکل ۵۳ پیوست ۲ نشان داده شده است.

nfpchn: تعداد عناصر قابل شکافت در یک زنجیره واپاشی.

FPNAME: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین نام عناصر زنجیره.

fpname: نام محصولات شکافت.

HFLIFE: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین نیمه عمر محصولات شکافت.

hflife: نیمه عمر عناصر زنجیره.

FGPPWR: تعداد ضرایب مورد نیاز برای محاسبه توان واپاشی هر عنصر زنجیره. حداقل ۱ و حداکثر ۴ ضریب برای محاسبه توان واپاشی تعریف می‌شود.

POWER: کلیدواژه‌ای برای تعیین ضرایب توان واپاشی.

fpq: مقدار ضریب توان واپاشی.

EOI: کلیدواژه‌ای برای پایان‌دادن به کل ورودی بلوک FISSION.

۳-۳-۲-۸- بلوک FPLIQUID

این بلوک برای تعریف فاکتورهای بازده انتقال محصولات شکافت در مسیرهای مایع به کار می‌رود. این فاکتورها نرخ انتقال محصولات شکافت را از طریق جریان سیال چگالیده از سطوح ساختار به یک استخر و همچنین انتقال خنک‌کننده از استخری به استخر دیگر (به وسیله اجزای سیستم‌های ایمنی) تعیین می‌کنند.

```
**********************************************************************************
FPLIQUID
        (fpname= fpliq)
EOI
**********************************************************************************
```

FPLIQUID : کلیدواژه تعیین فاکتورهای بازده انتقال محصولات شکافت در مسیرهای مایع.

fpname: نام محصولات شکافت. این نام‌ها باید در بلوک FISSION تعریف شده باشند.

fpliq: فاکتور بازده انتقال محصولات شکافت در مسیر مایع. این عدد باید یک مقدار حقیقی بین صفر و یک باشد که نسبت مقدار نسبی محصولات شکافت منتقل‌شده به مقدار نسبی آب منتقل‌شده را تعیین می‌کند.

EOI: کلیدواژه‌ای برای پایان بلوک FPLIQUID.

۳-۳-۳- ورودی Cell حادثه ذوب قلب

۳-۳-۳-۱- بلوک CONTROL

بلوک CONTROL ورودی CELL به صورت زیر نوشته می‌شود. اغلب پارامترهای این بلوک نیز مشابه حادثه LOCA بوده و به همین‌دلیل تنها به ذکر تمایزات این ورودی با حادثه LOCA پرداخته می‌شود (کلیدواژه‌هایی که به صورت پر رنگ نشان داده شده‌اند). توجه شود که قالب ارائه شده زیر تنها برای سلول چاهک راکتور صدق می‌کند و برای سایر سلول‌ها باید از همان قالب کلی حادثه LOCA استفاده نمود.

```
**********************************************************************************
CONTROL
        [NHTM=nhtm]   [MXSLAB=mxslab]
        [NSOATM=nsoatm]   [NSPATM=nspatm]
        [NAENSY=naensy]   [NSOENG=nsoeng]   [NSPENG=nspeng]
        [JPOOL=jpool]
        [JCONC=jconc]   [JINT=jint]
        [NSPOL=nspol]   [NSPPL=nsppl]
        [NRAYCC=nray]   [NVFPSM=nvfpsm]
EOI
**********************************************************************************
```

JCONC: گزینه‌ای که بر استفاده از یک لایه بتنی در Lower cell دلالت دارد.

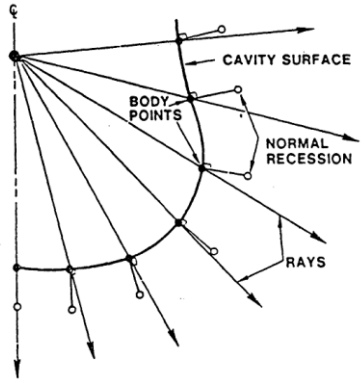
JINT: چنانچه مدل CORCON در نظر گرفته نشده باشد، این گزینه برابر است با تعداد لایه‌های میانی در Lower cell. اگر مدل CORCON در نظر گرفته شود، این مقدار برابر ۱ است.

NSPOL: تعداد چشمه‌های خارجی در لایه‌های Lower cell.

NSPPL: حداکثر تعداد ورودی در جداول چشمه‌های خارجی لایه Lower cell.

NVFPSM: تعداد ضرایب کلی (کسرهای جرمی) در مدل VANESA که برای توصیف ترکیبات محصولات شکافت به کار می‌رود (کلیدواژه FPTRACK در مدل VANESA).

NRAYCC: تعداد پرتوهای[1] CORCON که در مدل چاهک راکتور به کار می‌رود (شکل ۴۱).



شکل ۴۱: برشی از شکل چاهک راکتور

۳-۳-۲-۳- بلوک UPPER CELL

بسیاری از پارامترهای این بلوک نیز دقیقاً مشابه حادثه LOCA تعریف می‌شود. وجه تمایز تعریف بلوک UPPER CELL در حادثه ذوب قلب با LOCA در فراخوانی مدل انتقال حرارت تابشی از طریق بلوک RAD-HEAT می‌باشد.

۳-۳-۲-۳-۱- بلوک RAD-HEAT

پارامترهای مرتبط با مدل انتقال حرارت تابشی به صورت زیر تعریف می‌شود:

```
**********************************************************************************
RAD-HEAT
        [EMSVT (emsvt)
        [CESS]
        {ENCLOS
                VUFAC (vufacn) [BEAML (beaml)]
        EOI
                or
        GASWAL gaswal
```

[1] Ray

or

GEOBL (geobl)}

EOI

****

RAD-HEAT: کلیدواژه فعال‌سازی مدل تابش در سلول.

EMSVT: کلیدواژه‌ای برای تعیین ضرایب گسیلندگی سطح خشک.

emsvt: ضریب گسیلندگی سطح خشک. مقدار پیش‌فرض گسیلندگی سطوح خشک برابر ۰/۸ و برای Lower cell برابر ۰/۹۴ است. اگر Lower cell در نظر گرفته نشود، تعداد ضرایب گسیلندگی برابر تعداد ساختارهای حرارتی (nhtm) خواهد بود و اگر یک لایه Lower cell در سلول در نظر گرفته شود، این تعداد برابر nhtm+1 می‌باشد.

CESS: کلیدواژه‌ای جهت استفاده از رابطه Cess-Lian برای محاسبه گسیلندگی بخار. اگر این گزینه فعال نباشد، به طور پیش‌فرض مدل Modak برای محاسبه گسیلندگی گاز استفاده خواهد شد.

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، کد CONTAIN از دو مدل تابش خالص محفظه و تابش مستقیم به منظور مدل‌سازی انتقال حرارت تابشی استفاده می‌کند. کاربر می‌تواند مدل تابش خالص را از طریق کلیدواژه ENCLOS و مدل مستقیم را از طریق کلیدواژه GEOBL یا GASWAL فعال کند. توجه شود که تنها باید یکی از این سه گزینه انتخاب شود.

ENCLOS: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌کردن مدل تابش خالص محفظه. اگر هندسه سلولی که شامل استخر خنک‌کننده است با زمان تغییر کند، استفاده از این مدل مجاز نیست.

VUFAC: کلیدواژه شروع ورودی ماتریس بالا مثلثی ضرایب دید[۱].

vufcan: ضریب دید استاندارد یک سطح نسبت به سطح دیگر.

BEAML: گزینه‌ای اختیاری برای شروع ورودی ماتریس بالامثلثی طول باریکه[۲].

beam1: طول باریکه بین سطوح داخلی دو ساختار که به صورت زیر تعیین می‌شود:

beam1 =۳/۶×(حجم اولیه گاز درون سلول) / (مساحت کلی سطوح داخلی غوطه‌ور نشده و Lower cell)

[۱] View factor
[۲] Beam

EOI: گزینه‌ای برای پایان‌دادن به ورودی مدل تابش خالص.

GASWAL: میانگین طول هندسی باریکه. اگر این گزینه فعال شود، مدل تابش مستقیم فضا نسبت به ساختار در نظر گرفته می‌شود.

GEOBL: کلیدواژه‌ای برای فعال‌کردن مدل تابش مستقیم فضا نسبت به سطح استخر.

geobl: طول هندسی باریکه برای یک ساختار یا بالاترین لایه Lower cell. این گزینه به تعداد nhtm+1 تعریف می‌شود.

EOI: گزینه پایانی بلوک ورودی تابش.

۳-۳-۳-۳- بلوک STRUCTURE

مشخصات ساختارهای انتقال حرارت در حادثه ذوب قلب مشابه پارامترهای حادثه LOCA تعریف می‌شوند، با این تفاوت که در مدل‌سازی ذوب قلب باید مدل خروج گاز از ساختار بتنی از طریق کلیدواژه OUTGAS فراخوانی شود. این کلیدواژه بلافاصله بعد از STRUC قرار می‌گیرد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

```
**********************************************************************************
STRUC
    [OUTGAS
        [FH2OE= fh2oe]  [FH2OB= fh2ob]  [FCO2= fco2]
    EOI]
**********************************************************************************
```

OUTGAS: کلیدواژه مورد نیاز جهت فعال‌کردن خروج گاز از دیواره بتنی ساختارهای درون سلول.

FH2OE: کسر جرمی مواد بتن که به صورت آب قابل‌تبخیر[1] در نظر گرفته می‌شوند (محصول فرآیند فیزیکی).

FH2OB: کسر جرمی مواد بتن که با آب حاصل از تجزیه شیمیایی در نظر گرفته می‌شود (bound water). (توضیح: سهمی از بخار تولیدشده از آب حاصل از تجزیه شیمیایی بتن در طی فرآیندهای شیمیایی و یا دما بالا)

FCO2: کسر جرمی مواد بتن که به صورت CO_2 قابل انتشار در نظر گرفته می‌شوند.

EOI: گزینه خاتمه‌دادن به مدل خروج گاز از بتن.

[1] Evaporable water

۳-۳-۴- بلوک LOWER CELL

اساس مدل‌سازی حادثه ذوب قلب و برهم‌کنش بین مواد مذاب و بتن، از طریق بلوک LOWER CELL صورت می‌پذیرد. دو دسته کلی مسائل را می‌توان از طریق این بلوک مدل‌سازی نمود. دسته اول شامل مسائلی است که در آنها هیچ برهم‌کنشی بین مواد مذاب قلب و دیواره بتنی وجود نداشته و مدل CORCON غیرفعال است. در این حالت، مدل‌سازی تنها به اثرات انتقال حرارت محدود می‌شود. دسته دوم شامل مسائلی است که برهم‌کنش مواد مذاب قلب و دیواره بتنی را از طریق فعال‌شدن مدل CORCON مورد بررسی قرار می‌دهد. در این حالت مدل VANESA را نیز می‌توان فعال نمود. به دلیل پیچیدگی مسائل دسته دوم، پارامترهای مرتبط با ورودی این نوع مسائل توضیح داده می‌شود. ذکر این نکته قابل توجه است که در مدل Lower cell، لایه‌ها به ترتیب از آخرین لایه چاهک به بالا تعریف می‌شوند. این لایه‌ها به ترتیب با لایه بتنی، لایه‌های میانی و سپس لایه استخر تعریف می‌شوند.

```
**********************************************************************************
LOW-CELL
        GEOMETRY=carea    BC=txl
        [CRANK=crank]
DECAY-HT   rpwr
        DIST-PWR (dpwr)
        [ROPT=ropt]  [TOFSD=tofsd]  [TDHSTR=tdhstr]
EOI
**********************************************************************************
CONCRETE
        COMPOS=1  {CONCRETE= {BASALT or LIME or GENERIC or OTHER}
                [[TSOLID=tsolct]  [TLIQID=tliqct]  [TABLAT=tabl]
                [RHOCON=rhoc]  [REBAR=rbr]  [EMCONC=ew]
                [RBRCOMP
                        (ometl=fmfrac)
                EOI]
        EOI]
cmass
TEMP=ctemp
PHYSICS
        CORCON
```

TIMES tstart ndelt (dtmin dtmax dedit timdt)
GEOMETRY ro zo
{HEMICYL rs hc rw hbc **or**
FLATCYL zt rad hit radc rw hbb nbot ncorn **or**
ARBSHP nbot rtang rw htotl (ri zi)}
EMISIV
OXIDE oflag neo (torto eo)
METAL oflag nem (tortm emm)
[SURRND oflag ns (torts es)
EOI
EOI
[VANESA
[AERCONST=numaer [(aername ncnams (ovnam))] [aername-1]
[FPTRACK
{SIMPLE=nvanfp (ovnam) **or** DETAIL=nvcons (ovnam nfp (ofpnam wfrac {GAS **or** AEROSOL}))}]
[{MELTCOMP (cmelt) **or** (ovfp=vfpm)}]
[SCRUB
[BSIZI=bsizi]
EOI]
EOI]
EOI
EOI
****
INTERM
COMPOS=CORCON
[METALS=nmsi (onamen smm)]
[OXIDES=nosi (onameo smo)]
[TMETAL=tmi] [TOXIDE=toi] [LAYERS=ilyr]
EOI
[PHYSICS
{CORESTAT timeo xmtu xmwth num (fpl reti)
EOI}
EOI]

```
EOI
**********************************************************************************
POOL
        [COMPOS=nma (omat   pmass)]    TEMP=ptemp
        [PHYSICS
                [BOIL]
                        [SOURCE=nso   (data)]
                EOI]
         EOI]
EOI
**********************************************************************************
```

LOW-CELL: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌نمودن مدل Lower cell.

GEOMETRY: مساحت لایه‌های جامد کف سلول (مترمربع).

BC: دمای اولیه لایه بتن (کلوین).

CRANK: فاکتور انتگرالی زمان که برای رسانش حرارتی در Lower cell به کار می‌رود. این پارامتر مقداری بین صفر و یک دارد، ولی مقدار کمتر از ۰/۵ برای پایداری نتایج پیشنهاد نمی‌شود.

DECAY-HT: کلیدواژه تعیین پارامترهای مدل توان واپاشی.

rpwr: توان حرارتی راکتور (وات).

DIST-PWR: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی کسر توزیع توان واپاشی برای لایه‌های Lower cell و فضا.

dpwr: کسر توان واپاشی اختصاص داده شده به لایه‌های سلول و فضا. برای این گزینه چهار عدد برای لایه بتن، لایه‌های میانی، لایه استخر و فضا تعریف می‌شود. اگر لایه‌ای فاقد جرم باشد، عدد متناظر با آن صفر خواهد بود.

ROPT: زمان کارکرد راکتور قبل از زمان شروع مسأله (پیش‌فرض= $۱۰^{۷} \times ۵/۰۵$ ثانیه).

TOFSD: زمان خاموش‌شدن راکتور.

TDHSTR: زمانی‌که گرمای واپاشی شروع به اضافه‌شدن به لایه‌های Lower cell می‌کند.

EOI: گزینه‌ای برای پایان‌دادن به ورودی DECAY-HT.

بعد از تعریف مدل گرمای واپاشی باید به ترتیب بلوک‌های بتن، لایه میانی و لایه استخر تعریف شوند. هندسه چاهک، نوع بتن، مدل‌های CORCON و VANESA از طریق بلوک CONCRETE تعریف می‌شود.

CONCRETE: کلیدواژه مورد نیاز برای شروع ورودی لایه بتنی.

COMPOS=1: کلیدواژه مورد نیاز برای تعریف لایه بتن.

CONCRETE: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین نوع جداره بتنی هنگامی‌که مدل CORCON فعال است.

BASALT or LIME or GENERIC or OTHER: گزینه‌های قابل‌قبول برای نوع جداره بتنی. گزینه OTHER به کسرهای جرمی موجود در بتن مذاب که توسط کاربر تعیین می‌شود، اشاره دارد. مشخصات ترکیبات بتن در جدول شماره ۳ پیوست ۱ بیان شده است.

TSOLID: دمای جامدشدن بتن (کلوین).

TLIQID: دمای مایع‌شدن بتن (کلوین).

TABLAT: دمای فرسایش سطح بتن (کلوین).

RHOCON: چگالی بتن (کیلوگرم بر مترمکعب).

REBAR: نسبت جرمی فولاد مقاوم‌شده (آرماتور) به بتن.

EMCONC: گسیلندگی سطح بتن که در مدل‌سازی تابش بین سطح بتن و مواد مذاب به کار می‌رود (پیش‌فرض= ۰/۸).

RBRCOMP: کلیدواژه‌ای برای تعیین ترکیبات فلزی آرماتور در بتن.

ometl: نام ترکیبات فلزی مجاز در مدل CORCON.

fmfrac: کسر جرمی ترکیبات مذاب در آرماتور.

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای پایان‌دادن به مشخصات ترکیبات بتن.

cmass: جرم بتن.

TEMP: دمای اولیه لایه بتنی (کلوین).

PHYSICS: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی مشخصات مدل فیزیکی. اگر مدل‌های CORCON یا VANESA فعال باشند، این کلیدواژه مورد نیاز است.

CORCON: کلیدواژه‌ای برای فعال‌سازی مدل برهم‌کنش قلب و دیواره بتنی CORCON.

TIMES: کلیدواژه تعیین نواحی زمانی در مدل CORCON.

tstart: زمان آغاز محاسبات CORCON (ثانیه).

ndelt: تعداد نواحی زمانی که برای انجام محاسبات CORCON تعریف می‌شود (حداکثر ۱۰ ناحیه زمانی). برای هر ناحیه زمانی باید چهار پارامتر زیر تعریف شود:

dtmin: حداقل مرحله زمانی CORCON.

dtmax: حداکثر مرحله زمانی CORCON.

dedit: بازه زمانی ویرایش اطلاعات CORCON. این مقدار باید از مرحله زمانی سیستم که در بلوک CONTROL ورودی Global تعریف می‌شود، بزرگ‌تر باشد.

timdt: زمان پایانی هر ناحیه زمانی.

GEOMETRY: کلیدواژه انتخاب مدل هندسی چاهک.

ro: مختصه شعاعی مرکز مختصات سیستم شعاعی. این مقدار باید صفر باشد.

zo: مختصه محوری مرکز مختصات سیستم شعاعی (متر).

تعریف هندسه چاهک راکتور از جمله موارد مهم در مدل‌سازی حادثه ذوب قلب و بررسی اثرات مذاب بر بتن چاهک می‌باشد. سه هندسه کلی برای چاهک در نظر گرفته می‌شود: استوانه‌ای با کف کروی، استوانه‌ای با کف تخت، چاهک با شکل دلخواه. معمولاً هندسه‌های استوانه‌ای با کف تخت و کروی در محاسبات لحاظ می‌شود. در ادامه پارامترهای مربوط به هر هندسه تعریف شده است.

چاهک استوانه‌ای با کف کروی (شکل ۴۲) با عبارت HEMICYL تعریف می‌شود.

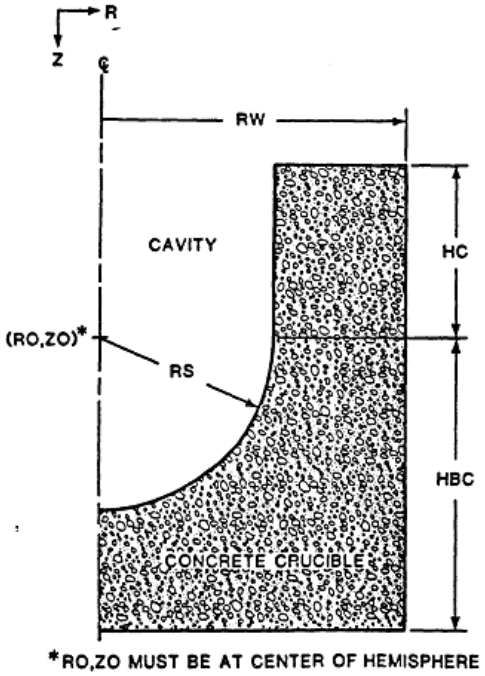
HEMICYL: کلیدواژه انتخاب چاهک استوانه‌ای با کف کروی. در این حالت باید چهار پارامتر زیر تعیین شود:

rs: شعاع کف کروی که از نقطه (ro,zo) اندازه‌گیری می‌شود.

hc: ارتفاع بخش استوانه‌ای.

rw: شعاع خارجی بخش استوانه‌ای.

hbc: ارتفاع سطح خارجی چاهک تا بالای ناحیه استوانه‌ای شکل.



شکل ۴۲: شکل چاهک راکتور با هندسه استوانه و کف کروی [۲]

مشخصات چاهک استوانه‌ای با کف مسطح (شکل ۴۳) با عبارت FLATCYL تعریف می‌شود.

FLATCYL: کلیدواژه انتخاب چاهک استوانه‌ای با کف مسطح. در این حالت باید هشت پارامتر زیر تعیین شود:

zt: مختصه z استوانه‌ای لبه بالایی استوانه.

rad: شعاع داخلی استوانه.

hit: ارتفاع استوانه از کف.

radc: شعاع داخلی گوشه.

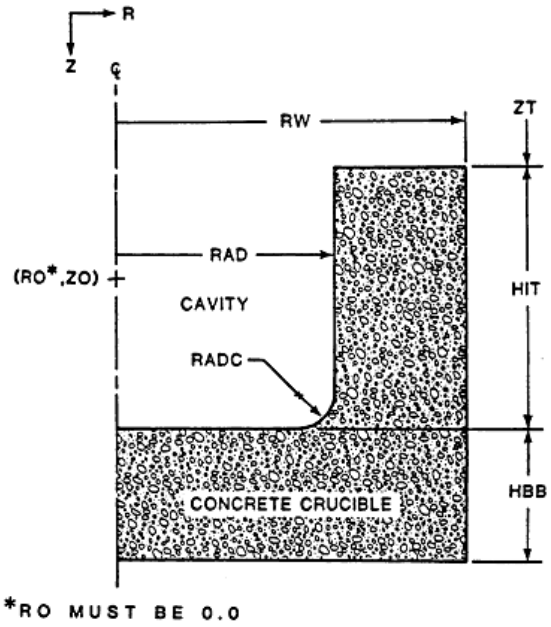
rw: شعاع خارجی استوانه.

hbc: ارتفاع سطح خارجی چاهک تا کف آن (ضخامت بتن کف چاهک).

nbot: تعداد نقاط برخورد پرتوها (در فواصل مساوی) در سرتاسر کف مسطح چاهک.

ncorn: تعداد نقاط برخورد پرتوها (در فواصل مساوی) در اطراف گوشه منحنی‌شکل چاهک.

توجه شود که مجموع نقاط برخورد پرتوها (nbot و ncorn) باید با تعداد پرتوهای CORCON در کلیدواژه NRAYCC برابر باشد.



شکل ۴۳: شکل چاهک راکتور با هندسه استوانه و کف مسطح [۲]

هندسه دلخواه چاهک (شکل ۴۴) نیز با کلیدواژه ARBSHP فعال می‌شود.

ARBSHP: کلیدواژه انتخاب شکل دلخواه چاهک. در این حالت باید پنج پارامتر زیر تعیین شود:

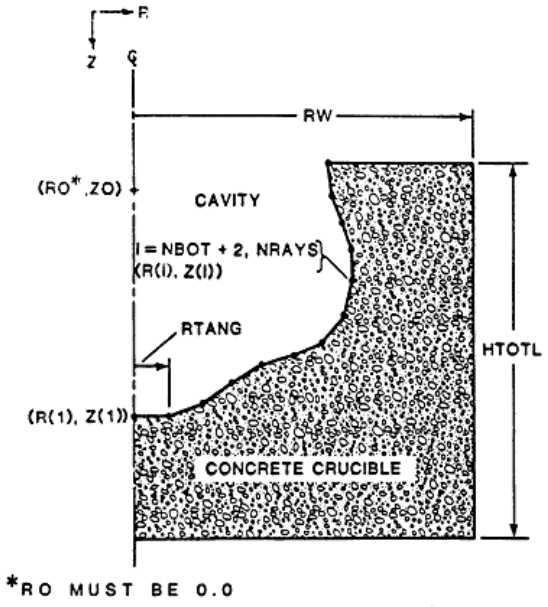
nbot: تعداد نقاط برخورد پرتوها (در فواصل مساوی) در سرتاسر کف مسطح چاهک.

rtang: مختصه شعاعی نقاطی که مسطح نیستند.

rw: شعاع خارجی چاهک استوانه‌ای.

htotl: ارتفاع سطح خارجی تا بالای چاهک.

ri,zi: مختصات محوری و شعاعی هر نقطه بدنه[1].



شکل ۴۴: شکل چاهک راکتور با هندسه دلخواه [۲]

بعد از تعریف هندسه چاهک راکتور، باید سایر پارامترهای مدل CORCON فعال شود.

EMISIVE: کلیدواژه تعیین ضرایب گسیلندگی سطوح اکسیدی، فلزی و محیط اطراف چاهک.

OXIDE: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین ضرایب گسیلندگی سطوح اکسیدی.

oflag: یک نمایه کاراکتری برای نشان‌دادن نوع تشخیص گسیلندگی. استفاده از TIME نشان‌دهنده تعریف گسیلندگی به صورت تابعی از زمان و TEMP نشان‌دهنده تعریف گسیلندگی به صورت تابعی از دمای سطح می‌باشد.

neo: تعداد ضرایب گسیلندگی اکسید.

torto: مقادیر زمان (ثانیه) یا دما (کلوین) برای ضرایب گسیلندگی.

eo: مقدار ضریب گسیلندگی اکسید.

[1] Body point

METAL: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین ضرایب گسیلندگی سطوح فلزی.

oflag: مطابق آنچه در مورد سطوح اکسیدی ذکر شد.

nem: تعداد ضرایب گسیلندگی فلزی.

tortm: مقادیر زمان (ثانیه) یا دما (کلوین) برای ضرایب گسیلندگی.

emm: مقدار ضریب گسیلندگی فلز.

SURRND: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین ضرایب گسیلندگی محیط اطراف چاهک راکتور.

oflag: مطابق آنچه در مورد سطوح اکسیدی ذکر شد.

ns: تعداد ضرایب گسیلندگی محیط اطراف.

torts: مقادیر زمان (ثانیه) یا دما (کلوین) برای ضرایب گسیل.

ea: مقدار ضریب گسیلندگی محیط اطراف.

EOI: کلیدواژه پایانی مدل CORCON.

VANESA: کلیدواژه شروع پارامترهای مورد نیاز برای مدل ایروسل‌ها و محصولات شکافت VANESA.

AERCONST: کلیدواژه‌ای برای تعریف ویژگی‌های نگاشت مواد VANESA به ترکیبات ایروسل CONTAIN.

numaer: تعداد ترکیبات ایروسلی که برای نگاشت مواد VANESA در نظر گرفته شده است.

aername: نام ترکیب ایروسل.

ncnams: تعداد مواد تشکیل‌دهنده VANESA که به ترکیب ایروسل منتقل می‌شوند.

ovname: فهرستی از نام‌های مواد تشکیل‌دهنده VANESA. نام ایروسل‌ها و محصولات شکافت در مدل VANESA در جدول شماره ۵ پیوست ۱ بیان شده است.

FPTRACK: کلیدواژه تعیین ویژگی‌های نگاشت مواد تشکیل‌دهنده VANESA به سیستم موجودی محصولات شکافت. برای ردیابی نگاشت مواد، کاربر باید یکی از دو گزینه SIMPLE و یا DETAIL را تعریف کند.

SIMPLE: کلیدواژه مورد نیاز برای استفاده از گزینه ردیابی ساده محصولات شکافت.

nvanfp: تعداد مواد تشکیل‌دهنده VANESA که به طور جداگانه به عنوان محصولات شکافت ردیابی می‌شوند. عدد این گزینه باید با nvfpsm در بلوک CONTROL برابر باشد.

ovname: فهرستی از مواد تشکیل‌دهنده VANESA.

DETAIL: کلیدواژه مورد نیاز برای انتخاب ردیابی محصولات شکافت با جزئیات بیشتر.

nvcons: تعداد مواد تشکیل‌دهنده VANESA که به طور جداگانه به عنوان محصولات شکافت ردیابی می‌شوند.

ovname: فهرستی از مواد تشکیل‌دهنده VANESA.

nfp: تعداد محصولات شکافت CONTAIN مرتبط با مواد تشکیل‌دهنده VANESA.

ofpnam: نام محصولات شکافت تعیین‌شده در بلوک FISSION.

wfrac: کسر جرمی مواد تشکیل‌دهنده VANESA.

GAS: کلیدواژه‌ای برای نشان‌دادن جرم محصولات شکافتی که باید به فضای گازی انتقال داده شوند.

AEROSOL: کلیدواژه مورد نیاز برای نشان‌دادن اینکه host، یک ترکیب ایروسل است.

MELTCOMP: کلیدواژه‌ای برای تعیین ترکیب محصولات شکافت در لایه مذاب (جدول شماره ۶ پیوست ۱).

cmelt: جرم ترکیبات مذاب.

SCRUB: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌کردن مدل scrubbing ایروسل در استخرها.

BSIZI: قطر اولیه حباب (پیش‌فرض= ۰/۰۱).

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای پایان‌دادن به ورودی مدل‌های CORCON و VANESA.

هنگامی‌که مدل CORCON در نظر گرفته شود، تنها یک لایه میانی تعریف می‌شود. این لایه میانی برای شناسایی لایه‌های مذاب CORCON به کار می‌رود. این لایه باید بعد از لایه بتن و قبل از لایه استخر تعریف شده و همیشه CORCON نام دارد.

INTERM: کلیدواژه مورد نیاز برای تعریف یک لایه میانی.

COMPOS: کلیدواژه اولیه تعیین شرایط اولیه لایه میانی.

CORCON: کلیدواژه ثانویه برای تعیین شرایط اولیه لایه میانی.

METALS: کلیدواژه‌ای برای تعیین ترکیبات اولیه لایه فلزی CORCON.

nmsi: تعداد ترکیبات فلزی به کاررفته در لایه فلزی CORCON. نام ترکیبات فلزی در مدل CORCON در جدول شماره ۴ پیوست ۱ ذکر شده است.

onamem: نام ترکیبات فلزی.

smm: جرم ترکیبات فلزی.

OXIDES: کلید واژه‌ای برای تعیین ترکیبات اولیه لایه اکسیدی CORCON. نام ترکیبات اکسیدی در مدل CORCON در جدول شماره ۴ پیوست ۱ ذکر شده است.

nosi: تعداد ترکیبات اکسیدی به کاررفته در لایه اکسیدی CORCON.

onameo: نام ترکیبات اکسیدی.

smo: جرم ترکیبات اکسیدی.

TMETAL: دمای اولیه لایه فلزی CORCON.

TOXIDE: دمای اولیه لایه اکسیدی CORCON.

LAYERS: اندیسی است که شکل اولیه لایه فلزی را در CORCON نشان می‌دهد. پنج دسته مختلف برای لایه میانی وجود دارد که عبارتند از:

- (HOX)- اکسید سنگین،
- (HMX)- اکسید مخلوط سنگین،
- (MET)- فلز،
- (LMX)- اکسید مخلوط سبک،
- (LOX)- اکسید سبک.

عدد صفر نشان می‌دهد که فلزات در دسته MET و اکسیدها در دسته HOX قرار دارند. عدد ۱ نشان می‌دهد که یک لایه فلزی که در ابتدا کاملاً فلزی و به صورت MET می‌باشد، به کار می‌رود. عدد ۲ اشاره به یک لایه کاملاً اکسیدی دارد که در ابتدا به صورت HOX می‌باشد و عدد ۳ برای یک مخلوط همگن به کار می‌رود که اکسید و فلز در ابتدا به صورت دسته HMX ترکیب شده اند.

PHYSICS: کلیدواژه تعیین مدل فیزیکی لایه میانی CORCON.

CORESTAT: کلیدواژه‌ای برای فعال‌کردن اولین مدل از دو مدل گرمای واپاشی لایه‌های CORCON. در این حالت جرم سوخت ناخالص و توان عملکردی برای محاسبه توان واپاشی، تعیین می‌شود.

timeo: عددی که باید برابر با زمان شروع CORCON باشد.

xmtu: جرم قلب (MTU).

xmwth: توان عملکرد قلب (MWt).

num: تعداد گونه‌های رادیواکتیو در موجودی قلب دست‌نخورده. این گزینه برای بهینه‌کردن فاکتور نگهداری[1] مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدار آن باید کمتر یا مساوی ۲۷ باشد.

fp1: نام گونه‌های رادیواکتیوی که فاکتور نگهداری آنها بهینه شده است.

reti: فاکتور نگهداری تعیین‌شده توسط کاربر (جدول شماره ۷ پیوست ۱).

[1] Retention factor

DKPOWER: کلیدواژه‌ای برای تعیین دومین مدل از دو مدل گرمای واپاشی لایه‌های CORCON. در این روش، کاربر می‌تواند توان بدست‌آمده از لایه‌های فلزی یا اکسیدی را به صورت تابعی از زمان تعیین کند.

OXIDEPWR: کلیدواژه تعیین جدول توان واپاشی فاز اکسیدی.

ndeco: تعداد نقاط جدول توان واپاشی فاز اکسیدی نسبت به زمان. این مقدار باید کمتر یا مساوی ۳۰ باشد.

tio: مقدار زمان در جدول توان واپاشی فاز اکسیدی (ثانیه).

pio: توان فاز اکسیدی (وات).

METALPWR: کلیدواژه‌ای برای تعیین جدول توان واپاشی فاز فلزی.

ndecm: تعداد نقاط جدول توان واپاشی فاز فلزی نسبت به زمان. این مقدار باید کمتر یا مساوی ۳۰ باشد.

tim: مقدار زمان در جدول توان واپاشی فاز فلزی (ثانیه).

pim: توان واپاشی فاز فلزی (وات).

EOI: کلیدواژه پایانی ورودی لایه میانی.

ورودی لایه استخر خنک‌کننده در حادثه ذوب قلب دقیقاً مشابه ورودی حادثه LOCA می‌باشد.

۳-۴- حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی (DCH)

پس‌از وقوع حادثه ذوب قلب در راکتورهای آب‌تحت‌فشار، مواد مذاب (شامل فلزات و اکسیدها) به سمت کلگی پایین مخزن فشار جابجا می‌شوند. چنانچه مخزن بشکند، مواد مذاب همراه با بخار به درون چاهک راکتور نشت پیدا می‌کند.

مکانیزم‌های انتقال مواد مذاب در اثر شکست مخزن را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

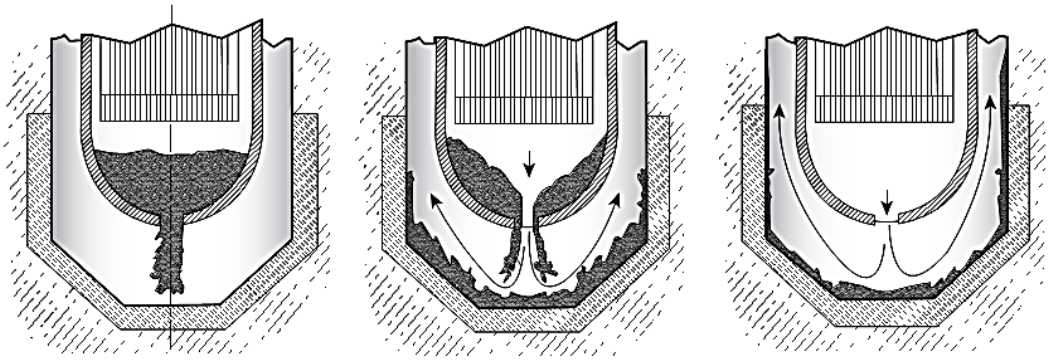
۱. اگر هنگام شکست مخزن، فشار درون مخزن فشار تقریباً برابر با فشار محفظه ایمنی باشد در این صورت بخشی از موجودی قلب مذاب از طریق نیروی گرانشی به چاهک راکتور منتقل می‌شوند. این امر ممکن است سبب برهم‌کنش بتن و مواد مذاب گردد.

۲. خروج مذاب فشاربالا در اثر شکست مخزن در فشاری بسیار بالاتر از فشار محفظه ایمنی. در این صورت مواد مذاب با شدت به سمت چاهک پرتاب شده و در نهایت به خارج از چاهک منتقل می‌شوند. در طی این فرآیند ممکن است بخشی از فلزات با بخار، اکسید شده و هیدروژن و حرارت اضافی تولید کنند. این فرآیند اصطلاحاً گرمایش مستقیم محفظه ایمنی نامیده می‌شود.

مواد مذاب فشاربالا در سه مرحله به درون چاهک راکتور تزریق می‌شود (شکل ۴۵):

- جریان مذاب مایع تک‌فاز (شکل سمت چپ)،
- جریان دوفاز بخار و مذاب (شکل وسط)،
- جریان گازی تک‌فاز (شکل سمت راست).

مدت‌زمان این مراحل به جرم مذاب جابجاشده به درون کلگی پایین، سطح مقطع و موقعیت شکست و همچنین فشار سیستم خنک‌کننده راکتور بستگی دارد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که برهم‌کنش مواد مذاب و بخار در مرحله دوفاز بیشترین اهمیت را در فرآیندهای حادثه گرمایش مستقیم محفظه ایمنی دارد.



شکل ۴۵: مراحل تزریق مواد مذاب فشاربالا به درون چاهک راکتور [۳]

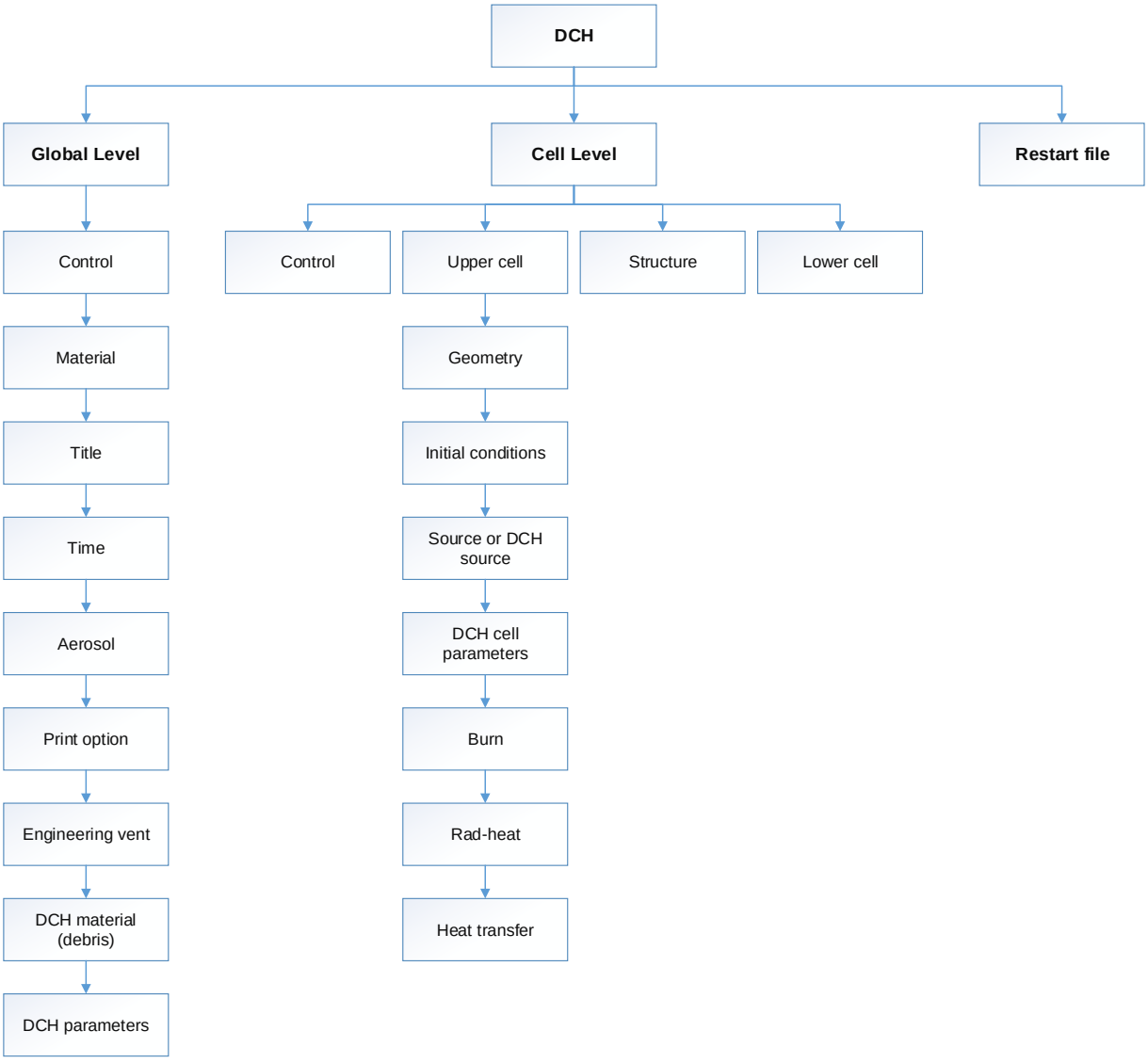
پدیده‌های مهمی که در اثر خروج مذاب فشاربالا رخ می‌دهد به دو دسته پدیده‌های درون چاهک و پدیده‌های مرتبط با فضای گنبدی[۱] محفظه ایمنی طبقه‌بندی می‌شوند. پرتاب مواد مذاب به سمت دیواره‌های چاهک و تشکیل فیلم مایع در طول دیواره‌ها، انتقال ذرات جامد[۲] از طریق جریان بخار، انتقال آوار، برهم‌کنش آوار با بخار و آب و همچنین برهم‌کنش با عایق مخزن فشار از جمله پدیده‌های درون چاهک راکتور در اثر خروج مذاب فشاربالا می‌باشند. ذکر این نکته حائز اهمیت

[۱] Dome
[۲] Entrainment

است که احتراق هیدروژن در چاهک رخ نمی‌دهد، زیرا مقدار هیدروژن در فضای چاهک بسیار کم است. پدیده‌های مهم مرتبط با فضای محفظه ایمنی نیز عبارتند از: انتقال حرارت، احتراق هیدروژن و افزایش فشار ناشی از آن.

۳-۴-۱- قالب کلی ورودی حادثه DCH

بلوک‌هایی که در مدل‌سازی حادثه DCH با استفاده از کد CONTAIN مورد نیاز می‌باشند، در شکل ۴۶ نشان داده شده است.



شکل ۴۶: درخت فراخوانی بلوک‌های محاسباتی در حادثه DCH

۳-۴-۲- ورودی Global level حادثه DCH

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، ورودی Global level شامل اطلاعات کلی مسأله و همچنین اطلاعات کلیه سلول‌ها است. در این حالت نیز درست مانند ورودی حوادث قبل، ورودی Global به ترتیب با بلوک‌های CONTROL و MATERIAL آغاز می‌شود. بیشتر کلیدواژه‌ها و بلوک‌های ورودی مشابه دو حادثه قبل بوده با این تفاوت که در ورودی حادثه DCH باید مشخصات مواد DCH توسط کاربر تعریف شود. همچنین پارامترهای مرتبط با مدل DCH از طریق بلوک DHEAT فعال شود.

۳-۴-۲-۱- بلوک CONTROL

قالب کلی بلوک CONTROL در ورودی Global level برای حادثه DCH به صورت زیر است. توجه شود که تعریف بسیاری از کلیدواژه‌ها دقیقاً مشابه حادثه LOCA بوده و فقط به تعریف کلیدواژه‌های جدیدی که مختص مدل‌سازی این حادثه است، بسنده می‌شود. این کلیدواژه‌ها به صورت پر رنگ نشان داده شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که به منظور شبیه‌سازی حادثه DCH نیز باید یک سلول به عنوان مخزن فشار راکتور و یک سلول با نام چاهک تعریف شود و یک مسیر جریان بین این دو سلول برقرار شود.

```
**********************************************************************************
CONTROL
        NCELLS=ncells
        NTZONE=ntzone
        [NTITL=ntitl]
        [NUMTBG=numtbg]
        [MAXTBG=maxtbg]
        [NENGV=nengv]
        [NSECTN=nsectn] [NAC=nac] [NWDUDM=nwdudm] [NDHBIN=ndhbin]
        [NDHSPC=ndhspc]
EOI
**********************************************************************************
```

NSECTN: تعداد مقطع‌ها و یا اندازه ذرات ایروسل (معمولاً برابر ۲۰ در نظر گرفته می‌شود).

NAC: تعداد ترکیبات ایروسلی که از طریق بلوک AEROSOL تعریف می‌شوند (حداقل= ۸، پیش‌فرض= صفر).

NWDUDM: تعداد آرایه‌هایی که برای جداول مواد DCH تعیین‌شده توسط کاربر در نظر گرفته می‌شود. در مدل DCH مقدار مناسب برابر ۵۰۰۰ است (پیش‌فرض= ۱۰۰۰).

NDHSPC: حداکثر تعداد ترکیباتی که می‌تواند در هر حوزه آوار وجود داشته باشد. این عدد با تعداد مواد DCH که از طریق گزینه USERDAT تعریف می‌شود، برابر است.

NDHBIN: تعداد حوزه‌های آوار. به طور پیش‌فرض تنها یک حوزه آوار مدل خواهد شد.

۳-۴-۲-۲- بلوک MATERIAL

بلوک MATERIAL برای حادثه DCH شامل نام موادی که از کتابخانه کد استخراج شده است و همچنین نام ایروسل‌ها و مواد DCH تعیین‌شده توسط کاربر می‌باشد.

****

MATERIAL

COMPOUND (names)

[USERDEF (unames)]

[AERNAMES (aernames)]

****

USERDEF: کلید واژه اختیاری برای تعریف نام مواد DCH که توسط کاربر تعیین می‌شوند.

(unames): نام مواد تعیین‌شده توسط کاربر. نام‌های موجود در این بلوک، اختیاری بوده و تنها به ۸ کاراکتر محدود هستند.

AERNAMES: کلیدواژه اختیاری برای تعریف نام ترکیبات ایروسلی که توسط کاربر تعیین شده‌اند.

(aernames): نام ترکیبات ایروسل تعیین‌شده توسط کاربر.

۳-۴-۲-۳- بلوک‌های TITLE و TIME

این بلوک‌ها عیناً مشابه حادثه LOCA تعریف می‌شوند.

۳-۴-۲-۴- بلوک PRINT OPTION

****

SHORTEDT=kshort

LPNGEDT=klong

[PRFLOW]

[PRLOW-CL]

[PRHEAT]

[PRAER]

[PRBURN]

[PRENACCT]

FLOWS IMPLICIT

THERMAL

****

PRAER: کلیدواژه‌ای برای در نظر گرفتن جزئیات موجودی ایروسل‌های معلق و رسوب ایروسل‌های کوچک در محاسبات.

PRBURN: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌کردن مدل‌های احتراق.

۳-۴-۲-۵- بلوک ENGVENT

کلیدواژه‌های این بلوک نیز عیناً شبیه حادثه ذوب قلب تعریف می‌شوند. به منظور مدل‌سازی مسیرهای جریان در حادثه DCH نیز باید یک مسیر جریان از مخزن فشار به چاهک راکتور تعریف شود. این مسیر جریان به صورت جدول تغییرات سطح با زمان تعریف شده و از محاسبات کدهایی نظیر MELCOR و یا SCDAP/RELAP به دست می‌آید. در واقع این جدول نشان‌دهنده تغییرات شکستگی مخزن فشار با گذشت زمان می‌باشد.

۳-۴-۲-۶- مشخصات مواد DCH تعیین‌شده توسط کاربر

محاسبات DCH نیازمند این است که کاربر، نام و خواص آوار مذابی را که موجود است، تعیین کند. اختلاف مهم بین مواد DCH تعیین‌شده توسط کاربر و سایر موادی که کاربر تعیین می‌کند در نوع فاز ماده DCH است. فاز مواد DCH اصطلاحاً DEBRIS نام دارد. این فاز در محاسبات کد بسیار مهم است، زیرا تنها با استفاده از این فاز، کد تشخیص می‌دهد که گونه‌های DCH باید به صورت حوزه‌های آوار در نظر گرفته شود. در مدل DCH مواد زیر که به صورت فلزات واکنش‌پذیر می‌باشند، به صورت پیش‌فرض وجود دارد. این مواد عبارتند از: ALD, ZRD, FED, CRD که به ترتیب از کرومیوم، آهن واکنش‌پذیر، زیرکونیوم و آلومینیوم تشکیل شده‌اند. ترکیبات اکسیدی فلزات فوق نیز ZRO2D, ALOXD, CROXD, FEOD نام دارند. علاوه براین چهار نوع ماده، کاربر می‌تواند مواد دیگری را تعیین نماید. هر یک از این مواد از لحاظ شیمیایی خنثی بوده و فرض می‌شود که در فاز اکسیدی باشند. توجه شود که حداقل یک ماده DCH تعریف‌شده توسط کاربر باید در مدل واکنش‌های شیمیایی آوار در نظر گرفته شود. همچنین اگر ماده‌ای در نظرگفته شد، باید اکسید آن نیز در بلوک USERDEF تعریف شود. چنانچه هر یک از این قوانین نقض شود، در روند محاسبات خطا ایجاد می‌شود.

نام مواد DCH تعریف‌شده توسط کاربر باید با نام موادی که در کتابخانه کد موجود است، متفاوت باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که این نام‌ها را با یک D در انتهای نام بیان نمود تا از تمایز این دو دسته مواد اطمینان حاصل شود.

برای تعیین خواص مواد به صورت تابعی از دما، قوانینی در کد فراهم شده است. خواصی که معمولاً در نظر گرفته می‌شوند عبارتند از: چگالی (به جز برای گازها)، ضریب رسانش، لزجت، انتالپی ویژه و گرمای ویژه. به دلیل اینکه چگالی گازها توسط معادله حالت سنجیده می‌شود، در این دسته از خواص قرار نمی‌گیرد. نام مواد تعیین‌شده توسط کاربر ممکن است در دسته مواد موجود در کتابخانه کد قرار بگیرد. صرف نظر از اینکه نام ماده تعیین‌شده توسط کاربر در کتابخانه کد موجود هست یا خیر، همه خواص باید برای آن ماده تعیین شود به استثنای:

- گرمای ویژه که از دیفرانسیل‌گیری مقادیر جداول انتالپی به دست می‌آید،
- چگالی یک ماده گازی،
- لزجت ماده جامد و یا آوار مذاب.

کلیدواژه برای شروع این بخش، USERDAT نام دارد و شکل ورودی آن به صورت زیر است:

```
**********************************************************************************
USERDAT
        (name phase
                MOLEW=molew
                TEMPS ntemp (temp)
                [RHOT=(density)]
                [CONDT=(conduct)]
                [ENTHT=(enthalpy)]
                [VISCT=(viscosity)]
                [SPHT=(spheat)]
        EOI)
EOI
**********************************************************************************
```

USERDAT: کلیدواژه‌ای که به منظور تعریف نام مواد مدل DCH توسط کاربر به کار می‌رود.

name: نام ماده تعریف‌شده توسط کاربر.

phase: نوع یا فاز ماده مورد نظر. فاز ماده باید یکی از کلمات زیر باشد: GAS, LOQUID, SOLID, DEBRIS. فاز DEBRIS برای مواد تعریف‌شده توسط کاربر در حوزه آوار قلب به کار می‌رود.

MOLEW: کلیدواژه مورد نیاز برای تعیین وزن مولکولی ماده.

molew: وزن مولکولی.

TEMPS: کلیدواژه جهت تعیین مقادیر دما. این گزینه باید بر RHOT, CONDT, SPHT, VISCT, ENTHT مقدم باشد.

ntemp: تعداد مقادیر دما که به صورت جدول نشان داده می‌شود.

temp: مقادیر دمایی.

RHOT: مقادیر چگالی که متناظر با مقادیر دمایی بعد از کلیدواژه TEMPS می‌باشد.

CONDT: مقادیر هدایت‌پذیری که متناظر با مقادیر دمایی بعد از کلیدواژه TEMPS می‌باشد.

ENTHT: مقادیر انتالپی ویژه که متناظر با مقادیر دمایی بعد از کلیدواژه TEMPS می‌باشد.

VISCT: مقادیر لزجت که متناظر با مقادیر دمایی بعد از کلیدواژه TEMPS می‌باشد.

SPHT: مقادیر گرمای ویژه که متناظر با مقادیر دمایی بعد از کلیدواژه TEMPS می‌باشد.

EOI: کلیدواژه مورد نیاز برای پایان‌دادن به ورودی هر ماده و همچنین ورودی کلی تعریف مواد در DCH.

۳-۴-۲-۷- بلوک پارامترهای DCH

بلوک DHEAT در ورودی Global level برای تعیین پارامترهای محاسبات DCH به کار می‌رود. مواد ایجادشده در حوزه‌های آوار باید مواد تعریف‌شده توسط کاربر از نوع DEBRIS باشد. هنگامی که مدل‌های چاهک راکتور و مخزن فشار راکتور (RPV) در نظر گرفته می‌شوند، کاربر باید توجه داشته باشد که دو سلول چاهک راکتور و مخزن فشار راکتور را در سلول‌بندی راکتور و محاسبات کد لحاظ نماید. این دو سلول باید از طریق یک مسیر جریان گاز به هم متصل شوند.

```
**********************************************************************************
DHEAT
      [STARTIME=strtim] [STOPTIME=stptim]
      [{DIADRP=diadrp or DIABIN=(diabin) or DIARANGE diamin diamax}]
```

```
[{FDISTR=(fdistr) or FDEVEN]
[GRPLIM=grplim] [IEQOPT=ieqopt]
[{SDSLIP=(sdslip) or SDEVEN=sdeven}]
[DENDRP=dendrp] [SURTEN=surten] [RADGAS=radgas] [RADMUL=radmul]
[GASSUR=gassur] [DIFO2=difo2] [DIFH2O=difh2o] [HTCMUL=htcmul]
[THRESH=thresh] [LIQSID dl1 el1 dl2 el2]
[RCOMH2=[{ON or OFF}]] [VELOCITY=velocity] [TRAPRATE=traprat]
    [RPVCAV
        CAVITY=nccav        RPV=ncrpv
        [USEVOUT=[{ON or OFF}]]
        DIARPV=diarpv       THKWAL=thkwal   TWALL=twall
        [AHOLE1=ahole1]     [ARMULT=armult] [CPWALL=cpwall]
        [CSUBD=csubd]       [HFWALL=hfwall] [IRPVGE=irpvge]
        [RHOWAL=rhowal]     [TMELT=tmelt]   IENRAT=ienrat
        AFILM=afilm         CCENR=ccenr     HYDDIA=hyddia
        DSUBS=dsubs         RHDEBS=rhdebs   RSUBS=rsubs
        SCALEF=scalef       SSCALF=sscalf   SURTES=surtes
        TSUBIS=tsubis       WETPER=wetper   [IENFRA=ienfra]
        [AFLOW=aflow]       [AHENF=ahenf]   [TDISP=tdisp]
        [TSTOP=tstop]       [VRPVU=vrpvu]   AMWCU=amwcu
        CAVLEN=cavlen       CCENF=ccenf     ENTER=enter
        GAMMAU=gammau       PCAVU=pcavu     PCONU=pconu
        RHOGU=rhogu         VISGU=visgu
        [WEBER=[{ON or OFF}]]
            [WECRIT=wecrit]
        EOI]
    EOI]
EOI
```

****

DHEAT: کلیدواژه مورد نیاز برای شروع بلوک پارامترهای DCH.

STARTIME: زمان شروع برهم‌کنش آوار قلب با گازها.

STOPTIME: زمان توقف برهم‌کنش آوار قلب با گازها.

DIADRP: قطر قطره‌ای که برای هر حوزه آوار مذاب به کار می‌رود. این گزینه زمانی که مدل WEBER فعال است، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (متر).

DIABIN: قطر ذره برای هر حوزه‌ای که به طور مجزا تعیین شده است. این گزینه زمانی که مدل WEBER فعال است، به کار نمی‌رود (متر).

DIARANGE: حداکثر و حداقل قطر ذره در حوزه‌های آوار منتشرشده در فضا[1] (متر).

FDISTR: ماتریسی است که توزیع جرم واردشده به سلول‌ها و یا چشمه‌های موجود در آوار منتشرشده در فضا را کنترل می‌کند. این گزینه و FDEVEN زمانی به کار می‌روند که مدل WEBER فعال نباشد.

FDEVEN: کلیدواژه‌ای برای تعیین توزیع یکنواخت چشمه‌های آوار منتشرشده در فضا.

GRPLIM: حداکثر جرم آواری که در هر دوره تولید، پراکنده می‌شود (پیش‌فرض= 10^{20} کیلوگرم).

IEQOPT: گزینه‌ای که رفتار تعادل بخار- آهن را تعیین می‌کند. برای این گزینه سه مقدار تعریف می‌شود:

صفر= هیچ تعادلی وجود ندارد و واکنش به صورت کامل انجام می‌شود.

یک= واکنش تعادل با فرض اینکه یک واحد کسر مولی FeO نسبت به اکسید داریم، انجام می‌شود.

دو= واکنش تعادل با استفاده از کسر مولی محاسبه‌شده FeO انجام می‌شود.

(پیش‌فرض= ۲)

SDSLIP: نسبت لغزش (نسبت سرعت گاز به آوار). این نسبت برای هر حوزه آوار منتشرشده در فضا برای جریان آوار خارج از یک سلول تعیین می‌شود. این مقدار باید بزرگ‌تر یا مساوی یک باشد (پیش‌فرض= ۱).

SDEVEN: نسبت لغزش (نسبت سرعت گاز به آوار) که برای جریان آوار خارج از سلول تعریف می‌شود. این مقدار باید بزرگ‌تر یا مساوی یک باشد. این گزینه ممکن است در بلوک DCH-CELL نیز تعریف شود (پیش‌فرض= ۱).

[1] Airborne

DENDRP: چگالی آوار منتشرشده در فضا که توسط کاربر تعیین می‌شود (کیلوگرم بر مترمکعب).

SURTEN: کشش سطحی رسوبات (پیش‌فرض= ۱ نیوتن بر متر).

RADGAS: ضریب افزایشی شدت تابش به منظور فعال‌سازی تبادل حرارت بین آوار و فضا در یک سلول (پیش‌فرض= ۱).

RADMUL: ضریب افزایشی شدت تابش جهت فعال‌سازی تبادل حرارت بین آوار و سطوح ساختار در یک سلول (پیش‌فرض= صفر).

GASSUR: مقدار گسیلندگی کلی گاز.

DIFO2: ضریب انتقال جرم به منظور مدل‌سازی انتقال اکسیژن از سطح قطرات (پیش‌فرض= ۱).

DIFH2O: ضریب انتقال جرم به منظور مدل‌سازی انتقال بخار از سطح قطرات (پیش‌فرض= ۱).

HTCMUL: ضریب انتقال حرارت هدایت به منظور مدل‌سازی انتقال حرارت هدایت بین قطرات و فضا (پیش‌فرض= ۱).

THRESH: آستانه دمایی برای انجام واکنش‌های شیمیایی در همه سلول‌ها. هنگامی‌که دمای آوار در سلول به کمتر از این آستانه دمایی برسد، واکنش شیمیایی بین آوار و فضا غیرفعال می‌شود (پیش‌فرض= ۲۷۳/۱۵ کلوین).

LIQSIDE: پارامترهایی برای تعیین ضریب پخش گازها. این ضریب در مدل پخش مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر پیش‌فرض این پارامترها به صورت زیر می‌باشد: dl1=۱۰$^{-۲۰}$ m^2/s، el1=۰ K^{-1}، dl2=۰ m^2/s، el2=۰ K^{-1}.

RCOMH2: کلیدواژه‌ای برای فعال‌سازی و یا جلوگیری از بازترکیب هیدروژن. با تعیین این گزینه همه هیدروژنی که توسط واکنش‌های بخار و آوار تولید می‌شود، بلافاصله با اکسیژن موجود در هوا ترکیب شده و انرژی آزادشده از آن به فضا منتشر می‌شود.

VELOCITY: سرعت نسبی بین گاز و آوار منتشرشده در فضا. این پارامتر برای محاسبات انتقال حرارت و جرم به کار می‌رود و مقدار آن توسط کاربر تعیین می‌شود.

TRAPRATE: نرخ ثابت گیراندازی آوار. اگر هیچ مقداری تعیین نشود، نرخ گیراندازی بر اساس مدل GFT محاسبه می‌شود (۱ بر ثانیه).

RPVCAV: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی مدل‌های چاهک راکتور و RPV در مدل‌سازی DCH.

CAVITY: شماره سلول چاهک راکتور. توجه شود که تنها یک سلول به عنوان چاهک راکتور انتخاب می‌شود.

RPV: شماره سلول RPV. توجه شود که تنها یک سلول به عنوان RPV انتخاب می‌شود.

USEVOUT: کلیدواژه مورد نیاز برای نحوه محاسبه سرعت گاز در چاهک جهت استفاده در مدل‌های Weber و entrainment. اگر این پارامتر تعیین شود، فرض می‌شود که سرعت گاز در چاهک برابر با سرعت خروج گاز از سلول چاهک می‌باشد. در غیر این صورت فرض می‌شود که سرعت گاز برابر با میانگین سرعت گاز در وروری و خروجی سلول چاهک باشد.

پارامترهای زیر برای بیان مشخصات مخزن فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند:

DIARPV: قطر مخزن فشار (متر).

THKWAL: ضخامت مخزن فشار (متر).

TWALL: دمای دیواره مخزن فشار (کلوین).

AHOLE1: اندازه اولیه حفره در مخزن فشار در آغاز فرآیند پرتاب آوار تک‌فاز (پیش‌فرض= ۰/۰۱ مترمربع).

ARMULT: ضریب نرخ فرسایش حفره مخزن فشار (پیش‌فرض= ۱).

CPWALL: گرمای ویژه دیواره مخزن فشار (ژول بر کیلوگرم کلوین).

CSUBD: ضریب تخلیه آوار در حفره مخزن فشار (پیش‌فرض= ۰/۶).

HFWALL: گرمای ویژه دیواره مخزن فشار (پیش‌فرض= $۲/۷\times۱۰^{۵}$ ژول بر کیلوگرم کلوین).

IRPVGE: عدد صحیحی که برای تعیین هندسه کلگی پایین مخزن فشار به کار می‌رود. عدد صفر بر هندسه کروی و عدد یک بر هندسه استوانه‌ای دلالت دارد.

RHOWAL: چگالی دیواره مخزن فشار (کیلوگرم بر مترمکعب).

TMELT: دمای ذوب دیواره مخزن فشار (پیش‌فرض= ۱۷۰۰ کلوین).

کاربر باید مدلی برای محاسبه نرخ انتقال ذرات جامد آوار در چاهک انتخاب کند. همچنین سطحی از چاهک که توسط آوار پوشانده می‌شود، ضرایب مورد نیاز برای مدل entrainment و نیز قطر هیدرولیکی چاهک از دیگر مواردی است که باید توسط کاربر تعریف شود.

IENRAT: عدد صحیحی است که برای انتخاب مدل entrainment در چاهک به کار می‌رود. اعداد ۱ تا ۳ برای معادلات مختلف مدل Whalley-Hewitt، عدد ۴ برای مدل Levy و عدد ۵ برای استفاده از مدل Tutu به کار می‌رود.

AFLIM: سطحی از چاهک که توسط آوار پوشانده شده است (مترمربع).

CCENR: ضریب نرخ انتقال ذرات جامد.

HYDDIA: قطر هیدرولیکی چاهک (متر).

DSUBS: قطر استاندارد حفره مخزن فشار. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عددهای ۲ و ۴ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود (متر).

RHDEBS: چگالی استاندارد آوار. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عددهای ۲ و ۴ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود.

RSUBS: ثابت استاندارد گاز. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عددهای ۲ و ۴ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود.

SCALEF: ضریب مقیاس چاهک به مقیاس واقعی. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عددهای ۲ و ۴ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود.

SSCALF: ضریب استاندارد مقیاس چاهک. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عددهای ۲ و ۴ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود.

SURTES: کشش سطحی آوار درون چاهک. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عدد ۳ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود (نیوتن بر متر).

TSUBIS: دمای استاندارد گاز در سلول مخزن فشار. این گزینه زمانی مورد نیاز است که عددهای ۲ و ۴ برای پارامتر IENRAT انتخاب شود (کلوین).

WATPER: محیط مرطوب‌شده درون چاهک. این گزینه زمانی مورد نیاز است که مدل Tutu برای پارامتر IENRAT انتخاب شود (متر).

اگر مدل کسر آوار منتقل‌شده فعال شود، باید پارامترهای زیر در نظر گرفته شود. همچنین کاربر باید تعدادی پارامتر دیگر برای کنترل جریان خارج از چاهک و بلودان مخزن فشار در محاسبات لحاظ کند.

IENFRA: عدد صحیحی که نشان‌دهنده مدل کسر آوار منتقل‌شده می‌باشد (پیش‌فرض= صفر).

صفر= هیچ مدلی در نظر گرفته نشود.

۱= پارامترهای تعریف‌شده توسط کاربر.

۲= مدل Levy.

۳= مدل Tutu- Ginsberg Surry، بدون ساختار.

۴= مدل Tutu- Ginsberg Surry، با محیط اطراف.

۵= مدل Tutu- Ginsberg Surry، با همه ساختارها.

۶= مدل Tutu- Ginsberg Zion.

۷= مدل Tutu- Ginsberg Watts- Bar.

AFLOW: سطح مقطع عرضی جریان در چاهک (پیش‌فرض= $(V_g)^{2/3}$ که V_g عبارت است از حجم گاز درون چاهک (مترمربع).

AHENF: مساحت حفره مخزن فشار.

TDISP: بازه زمانی پراکندگی آوار (ثانیه).

TSTOP: مدت زمان رشد خطی حفره مخزن فشار (ثانیه).

VRPVU: حجم مخزن فشار.

AMWCU: وزن مولکولی گاز درون چاهک. این پارامتر زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مدل کسر آوار منتقل‌شده در نظر گرفته شود.

CAVLEN: طول چاهک. این مقدار زمانی لحاظ می‌شود که مدل Tutu- Ginsberg در نظر گرفته شود.

CCENF: ثابت چاهک K_C که برای ارزیابی مدل‌های کسر آوار منتقل‌شده به کار می‌رود.

ENTER: کسر آوار منتقل‌شده. مقدار آن بین صفر و یک بوده و زمانی لحاظ می‌شود که IENFRA=1 باشد.

GAMMAU: نسبت گرمای ویژه گاز در چاهک. این پارامتر زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مدل کسر آوار منتقل‌شده در نظر گرفته شود.

PCAVU: میانگین فشار در چاهک. این پارامتر زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مدل کسر آوار منتقل‌شده در نظر گرفته شود (پاسکال).

PCONU: میانگین فشار در محفظه ایمنی. این مقدار در صورتی که مدل Tutu- Ginsberg در نظر گرفته شود، لحاظ می‌شود (پاسکال).

RHOGU: چگالی گاز در چاهک. این پارامتر زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مدلی برای کسر آوار منتقل‌شده در نظر گرفته شود (کیلوگرم بر مترمکعب).

VISGU: لزجت گاز در چاهک. این پارامتر زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مدلی برای کسر آوار منتقل‌شده در نظر گرفته شود (کیوگرم بر متر ثانیه).

مدل Weber به منظور محاسبه توزیع اندازه ذره برای آوار جامد منتقل‌شده به کار گرفته می‌شود. هنگامی‌که این مدل استفاده می‌شود، کاربر نباید گزینه‌های FDISTR و FDEVEN را که برای توزیع چشمه‌های جرم در حوزه آوار منتشرشده در فضا به کار می‌رود، تعریف کند.

WEBER: کلیدواژه مورد نیاز برای فعال‌سازی مدل Weber.

WECRIT: عدد بحرانی وبر (پیش‌فرض= ۱۲).

EOI: کلیدواژه‌ای برای پایان‌دادن به بلوک DHEAT.

۳-۴-۳- ورودی Cell حادثه DCH

۳-۴-۳-۱- بلوک CONTROL

بلوک CONTROL ورودی CELL به صورت زیر نوشته می‌شود. اغلب پارامترهای این بلوک نیز مشابه حادثه LOCA می‌باشد و فقط باید تعداد لایه‌های میانی و لایه بتن را تعریف نمود.

```
**********************************************************************************
CONTROL
        [NHTM=nhtm]  [MXSLAB=mxslab]  [NSOATM=nsoatm]  [NSPATM=nspatm]
        [NAENSY=naensy]  [NSOENG=nsoeng]  [NSPENG=nspeng]
        [JPOOL=jpool]
        [JCONC=jconc]  [JINT=jint]
EOI
**********************************************************************************
```

JCONC: گزینه‌ای که بر استفاده از یک لایه بتنی در Lower cell دلالت دارد.

JINT: چنانچه مدل CORCON در نظر گرفته نشده باشد، این گزینه برابر است با تعداد لایه‌های میانی در Lower cell. اگر مدل CORCON در نظر گرفته شود، این مقدار برابر ۱ است.

۳-۴-۳-۲- بلوک UPPER CELL

بسیاری از پارامترهای این بلوک نیز دقیقاً مشابه حادثه LOCA تعریف می‌شود. بلوک‌های GEOMETRY، INITIAL CONDITION و RAD-HEAT دقیقاً مشابه حوادث LOCA و ذوب قلب تعریف می‌شوند. وجه تمایز تعریف بلوک UPPER CELL در حادثه DCH با حادثه LOCA در تعریف چشمه‌های مواد DCH، تعریف پارامترهای DCH در Cell level و همچنین فعال‌سازی مدل‌های انتقال حرارت و مدل احتراق هیدروژن می‌باشد.

۳-۴-۳-۲-۱- بلوک SOURCE

کلیدواژه SOURCE ممکن است به منظور تولید مواد DCH به صورت چشمه در فضای بالای سلول به کار رود.

```
**********************************************************************************
[SOURCE=nso
(oname=n
        [DCHTYPE={ATMOSBIN or TRAPBIN or ENTRAIN}]
```

[DCHBIN=isrbin] [IFLAG={1 or 2}]

T=(times) MASS=(masses) {TEMP=(temps) or ENTH=(enths)}

EOI]

****

SOURCE: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی اطلاعات چشمه‌ها.

nso: تعداد کلی چشمه‌ها. این گزینه باید شامل انواع چشمه‌های آوار باشد. توجه شود که سایر چشمه‌های تعریف‌شده در بلوک‌های SOURCE از قبیل محصولات شکافت، ایروسل‌ها و چشمه‌های Lower cell در این تعریف گنجانده نمی‌شوند.

oname: نام ماده‌ای که به فضا افزوده می‌شود.

DCHTYPE: کلیدواژه‌ای که گزینه‌های TRAPBIN یا ENTRAIN را در محاسبات منظور می‌کند. اگر این گزینه به کار نرود، به طور پیش‌فرض گزینه ATMOSBIN به کار برده می‌شود.

ATMOSBIN: گزینه‌ای برای تعیین جدول چشمه DCH به صورت چشمه‌ای از آوار که به فضا افزوده می‌شود.

TRAPBIN: گزینه‌ای برای تعیین جدول چشمه DCH به صورت چشمه‌ای از آوار که در فضا گیراندازی شده است.

ENTRAIN: گزینه‌ای برای تعیین جدول چشمه DCH به صورت چشمه آواری خارج از مواد گیراندازی‌شده به فضا.

زمان، جرم، دما و یا انتالپی و همچنین روش درون‌یابی نیز باید به طور مجزا برای هر چشمه تعریف شود. نحوه تعریف این پارامترها در بلوک SOURCE حادثه LOCA شرح داده شده است.

۳-۴-۳-۲-۲- بلوک پارامترهای DCH در Cell level

بلوک DCH-CELL برای تعیین پارامترهای فرآیند DCH در یک سلول به کار می‌رود. قالب کلی ورودی این بلوک به صورت زیر می‌باشد. برخی از گزینه‌ها در قسمت بلوک پارامترهای DCH در ورودی Global level تعریف شده است، به همین‌دلیل از تکرار آن در این قسمت خودداری شده است.

****

DCH-CELL

[{SDSLIP=(sdslip) or SDEVEN=sdeven}]

[DENDRP=dendrp] [RADGAS=radgas] [RADMUL=radmul]

[GASSUR=gassur] [DIFO2=difo2] [DIFH2O=difh2o] [HTCMUL=htcmul]

[THRESH=thresh] [LIQSIDE dl1 el1 dl2 el2] [PRODSEP=[{ON or OFF}]]

```
        [RCOMH2=[{ON or OFF}]] [VELOCITY=velcty]
        [DIATRAP=diatrp] [VELTRAP=veltrp] [RADTRAP=radtrp]
        [{TRAPRATE=trprat or
        TRAPPING
        {GFT or TFI or TOFKU or USER=trprat}
                [{FROMCELL=icell or FROMVENT=ivent}] [ADFLOW=adflow]
                [LEN1=xlen1] [LEN2=xlen2] [LEN3=xlen3] [LENGFT=xleng]
                [KU1=xku1] [KU2=xku2] [SURTEN=surten]
                [RHODG={GAS or MIX}] [VNOST={GFT or CNVEL}]
                [TRAPMIN=trpmin] [TRAPMAX=trpmax] [TRAPMUL=trpmul]
                [COOLFRAC=(cfrac)]
        EOI}]
        [(VAR-PARM
                [FLAG=iflag]
                [NAME=oname]
                VAR-X=oxvar X=nx (xpts)
                VAR-Y=oyvar Y=ny (ypts)
        EOI)]
EOI
**********************************************************************************
```

DCH-CELL: کلیدواژه مورد نیاز برای شروع ورودی DCH در سلول موردنظر.

DIATRAP: قطر مؤثر آوار. این قطر برای محاسبه نرخ انتقال حرارت و جرم آواری که در فضا گیراندازی شده است، به کار می‌رود (پیش‌فرض= صفر (متر)).

VELTRAP: سرعت نسبی آوار-گاز. مقدار این پارامتر توسط کاربر تعیین می‌شود.

RADTRAP: ضریب کدری جسم برای انتقال حرارت تابشی از آوار به گاز. به طور پیش‌فرض برابر با مقدار پارامتر radgas است که در حوزه آوار منتقل‌شده به فضا تعریف می‌شود.

TRAPPING: کلیدواژه‌ای برای فعال‌سازی مدل گیراندازی آوار.

GFT: کلیدواژه مورد نیاز برای انتخاب مدل گیراندازی GFT.

TFI: کلیدواژه مورد نیاز برای انتخاب مدل گیراندازی TFI.

TOFKU: کلیدواژه مورد نیاز برای انتخاب مدل گیراندازی TOF/KU.

FROMCELL: نشان‌دهنده مسیر جریان که برای جریان اولیه آوار به درون سلول به کار می‌رود. مقدار این پارامتر به صورت شماره سلول تعریف می‌شود.

FROMVENT: مسیر جریان مجرای مهندسی که برای جریان اولیه آوار به درون سلول به کار می‌رود. مقدار این پارامتر به صورت شماره مجرای مهندسی تعریف می‌شود.

ADFLOW: سطح جریان. این پارامتر برای تعیین مسیر انتقال آواری که در حال ورود به سلول است، به کار می‌رود.

LEN1: فاصله تا اولین برخورد. این پارامتر برای مدل‌های گیراندازی TFI و TOF/KU به منظور محاسبه زمان جهش به کار می‌رود (پیش‌فرض= مجذور حجم اولیه گاز درون سلول (متر)).

LEN2: فاصله تا دومین برخورد. این پارامتر در مدل گیراندازی TOF/KU به منظور محاسبه زمان جهش به کار می‌رود (پیش‌فرض= برابر با مقداری که برای LEN1 در نظر گرفته شده است).

LEN3: سومین طول مورد استفاده در مدل گیراندازی TOF/KU که برای محاسبه زمان جهش به کار می‌رود (پیش‌فرض= برابر با مقداری که برای LEN1 در نظر گرفته شده است).

LENGFT: ارتفاع سقوط گرانشی که در مدل‌های گیراندازی GFT, TFI, TOF/KU به کار می‌رود (پیش‌فرض= برابر با مقداری که برای LEN1 در نظر گرفته شده است).

KU1: عدد کوتاتلادز برای اولین برخورد در مدل TOF/KU (پیش‌فرض= ۱۰).

KU2: عدد کوتاتلادز برای دومین برخورد در مدل TOF/KU (پیش‌فرض= ۱۰).

SURTEN: کشش سطحی آوار که در محاسبه عدد کوتاتلادز برای مدل‌های TFI و TOK/KU به کار می‌رود (پیش‌فرض= ۱ (نیوتن بر متر)).

RHODG {GAS or MIX}: نمایه‌ای برای تعیین اینکه آوار در چگالی‌های بالادست و یا پایین‌دست جریان گنجانده شود (پیش‌فرض= GAS).

{GFT or CNVEL} VNOST: نمایه‌ای برای استفاده و یا عدم استفاده از قوانین GFT بعد از دومین برخورد (پیش‌فرض= CNVEL).

TRAPMIN: کمترین مقدار نرخ مجاز گیراندازی (پیش‌فرض= صفر (یک بر ثانیه)).

TRAPMAX: بیشترین مقدار نرخ مجاز گیراندازی (پیش‌فرض= 10^{20} یک بر ثانیه).

TRAPMUL: ضریب افزایشی برای محاسبه نرخ گیراندازی (پیش‌فرض= ۱).

COOLFRAC: کسری از آوار گیراندازی‌شده که به فضا، سطوح ساختارها و بالاترین لایه میانی فرستاده می‌شود. تعداد nhtm+2 مقدار برای این پارامتر تعریف می‌شود. اولین مقدار برای فضا، مقدار دوم برای ساختارهای سلول و مقدار سوم برای بالاترین لایه میانی در Lower cell تعیین می‌شود (پیش‌فرض= صفر).

VAR-PARM: کلیدواژه‌ای برای شروع ورودی جدولی هر یک از پارامترهای گرمایش مستقیم که از طریق گزینه oyvar (متغیرهای وابسته) تعریف می‌شود. باید توجه شود که در پایان هر جدول گزینه EOI به کار برده شود.

FLAG: نمایه‌ای برای نشان‌دادن روش درون‌یابی پارامترهای جدول. عدد ۱ برای استفاده از تابع پله‌ای و عدد ۲ به روش درون‌یابی خطی اشاره دارد (پیش‌فرض= ۱).

NAME: نام اختیاری جدول.

VAR-X: متغیر مستقل. در اینجا به صورت زمان تعریف می‌شود.

X: تعداد مقادیر متغیر مستقل.

(xpts): مقادیر متغیر مستقل.

VAR-Y: متغیر وابسته. این متغیر می‌تواند یکی از گزینه‌های زیر باشد: DENDRP, RADGAS, DIFO2, RADMUL, DIFH2O, HTCMUL, THRESH, DL1, EL1, DL2, EL2, VELOCITY, SURTEN, LEN1, LEN2, LEN3, LENGFT, KU1, KU2, DIATRAP, VELTRAP, RADTRAP, TRAPRATE.

Y: تعداد مقادیر متغیر وابسته.

(ypts): مقادیر متغیر وابسته.

EOI: پایان‌دهنده بلوک DCH-CELL. یک گزینه EOI مجزا برای پایان‌دادن به بلوک TRAPPING و هر جدول VAR-PARM نیز مورد نیاز است.

۳-۴-۳-۲-۳- بلوک BURN

مدل‌های احتراق هیدروژن و مونوکسیدکربن از طریق این بلوک فعال می‌شوند. سه نوع فرآیند اشتعال، سوختن شعله پخش و بازترکیب حجمی خودبه‌خودی از این طریق توصیف می‌شوند. ورودی H-BURN برای فراهم‌نمودن مدل اشتعال مورد نیاز است. ورودی CONTBURN نیز برای مدل فرآیندهای سوختن شعله پخش و بازترکیب حجمی مورد نیاز است.

```
**********************************************************************************
H-BURN
    [BURNT=burnt] [CHRL=chrl] [FLAM=flam]
    [CFRMNG=cfrmng] [MORMNG=mormng]
    [ELEV=elev] [KPROP=kprop] [MFCIG=mfcig] [MFOIG=mfoig]
    [MFSIG=mfsig] [MFCDN=mfcdn] [MFODN=mfodn] [MFSDN=mfsdn]
    [MFCHZ=mfchz] [MFOHZ=mfohz] [MFSHZ=mfshz] [MFCUP=mfcup]
    [MFOUP=mfoup] [MFSUP=mfsup] [TACTIV=tactiv] [TDEACT=tdeact]
    [CONTBURN
        [SHRATIO=shratio] [CFRACB=cfracb]
        [ERTEMP=srtemp] [DEBCONC=debconc] [DEBTEMP=debtemp]
        [MFSCB=mfscb] [MFOCB=mfocb]
        [H2FLOW=h2flow] [DFTEMP=dftemp] [DFAUTO=dfauto]
        [SRRATE=srrate]
        [NOBURNEN]
    EOI]
EOI
**********************************************************************************
```

H-BURN: کلیدواژه‌ای برای فعال‌کردن مدل احتراق.

BURNT: زمان سوختن جزء گازی‌شکل (ثانیه).

CHRL: طول مشخصه جزء گازی‌شکل (پیش‌فرض= مجذور حجم اولیه گاز درون سلول) (متر).

FLAM: سرعت شعله (متر بر ثانیه).

CFRMING: کسری از مواد اولیه قابل‌احتراق که بعد از سوختن باقی می‌ماند.

MORMNG: کسر مولی اکسیژن باقی‌مانده بعد از سوختن (پیش‌فرض= ۰/۰۰۰۵).

ELEV: ارتفاع جزء گازی‌شکل. این پارامتر تنها در مدل اشتعال تعریف شده و برای تعیین موقعیت نسبی سلول‌ها جهت انتشار شعله به کار می‌رود (پیش‌فرض= صفر) (متر).

KPROP: ضریب تأخیر در انتشار. شعله می‌تواند پس از گذشت مدت زمانی (kprop×burnt)، از طریق یک مسیر جریان به سلول دیگری راه یابد. (پیش‌فرض= ۰/۵).

MFCIG: کسر مولی مواد قابل اشتعال مورد نیاز برای احتراق (پیش‌فرض= ۰/۰۷).

MFOIG: کسر مولی اکسیژن مورد نیاز برای احتراق (پیش‌فرض= ۰/۰۵).

MFSIG: مجموع کسر مولی بخار، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن اضافی برای نفوذ (تقابل) در برابر چشمه‌های قابل احتراق (پیش‌فرض= ۰/۵۵).

MFCDN: کسر مولی مواد قابل احتراقی که از طریق جریان روبه‌پایین درون سلول منتشر می‌شوند (پیش‌فرض= ۰/۰۹).

MFODN: کسر مولی اکسیژنی که از طریق جریان روبه‌پایین درون سلول منتشر می‌شوند (پیش‌فرض= ۰/۰۵).

MFSDN: مجموع کسر مولی بخار، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن اضافی در سلول برای نفوذ (تقابل) در برابر انتشار روبه‌پایین درون سلول (پیش‌فرض= ۰/۵۵).

MFCHZ: کسر مولی مواد قابل احتراقی که به طور افقی درون سلول منتشر می‌شوند (پیش‌فرض= ۰/۰۶).

MFOHZ: کسر مولی اکسیژنی که به طور افقی درون سلول منتشر می‌شوند (پیش‌فرض= ۰/۰۵).

MFSHZ: مجموع کسر مولی بخار، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن اضافی در سلول برای نفوذ (تقابل) در برابر موادی که به طور افقی به درون سلول راه می‌یابند (پیش‌فرض= ۰/۵۵).

MFCUP: کسر مولی مواد قابل احتراقی که از بالا به سلول وارد می‌شوند (پیش‌فرض= ۰/۰۴۱).

MFOUP: کسر مولی اکسیژنی که از بالا به سلول وارد می‌شود (پیش‌فرض= ۰/۰۵).

MFSUP: مجموع کسر مولی بخار، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن اضافی در سلول برای نفوذ (تقابل) در برابر موادی که از بالا به درون سلول راه می‌یابند (پیش‌فرض= ۰/۵۵).

TACTIV: زمان فعال‌شدن مواد محترق‌کننده و یا یک چشمه اشتعال (پیش‌فرض= 10^{30}- ثانیه).

TDEACT: زمان غیرفعال‌شدن مواد محترق‌کننده و یا یک چشمه اشتعال (پیش‌فرض= 10^{30} ثانیه).

CONTBURN: کلیدواژه‌ای برای فعال‌کردن مدل‌های شعله پخش و بازترکیب حجمی خودبه‌خودی.

SHRATIO: نسبت مولی رقیق‌کننده به گاز قابل احتراق در شرایطی که شعله‌های پخش رخ ندهد (پیش‌فرض= ۹).

CFRACB: کسری از گازهای قابل احتراق ورودی که در طی فرآیند شعله پخش می‌سوزند (پیش‌فرض= ۱).

SRTEMP: دمای فضای سلول در شرایطی که شعله‌های پخش و یا بازترکیب حجمی خودبه‌خودی رخ دهد (پیش‌فرض= ۷۷۳ کلوین).

DEBCONC: غلظت آوار در دمایی بالاتر از دمایی که ممکن است پدیده‌های شعله پخش یا بازترکیب حجمی خودبه‌خودی رخ دهد. این پارامتر زمانی به کار می‌رود که سلول موردنظر، سلول پایین‌دست در مورد شعله‌های پخش باشد (پیش‌فرض= ۱ کیلوگرم بر مترمکعب).

DEBTEMP: دمای آوار در شرایطی که ممکن است شعله‌های پخش یا بازترکیب حجمی خودبه‌خودی رخ دهد (پیش‌فرض= ۷۷۳ کلوین).

MFSCB: حداکثر کسر مولی مجاز رقیق‌کننده در سلول دریافت‌کننده برای اینکه پدیده شعله‌های پخش رخ دهد (پیش‌فرض= ۰/۵۵).

MFOCB: حداقل کسر مولی اکسیژن در سلول پایین‌دست جریان برای اینکه پدیده شعله‌های پخش رخ دهد (پیش‌فرض=۰/۰۵).

H2FLOW: حداقل نرخ جریان جرمی گاز قابل احتراق به منظور رخ‌دادن پدیده شعله‌های پخش (پیش‌فرض= صفر کیلوگرم بر ثانیه).

DFTEMP: حداقل دما برای سوختن شعله پخش. در واقع دمای گازهایی است که از طریق یک مسیر جریان گاز غوطه‌ورنشده در روزنه اشتعال[1]، به درون سلول راه می‌یابند (پیش‌فرض= صفر اگر CONTBUEN تعیین شود و بینهایت اگر CONTBUEN تعیین نشود).

DFAUTO: دمای اشتعال خودبه‌خودی برای سوختن شعله پخش گازهایی که خارج از روزنه اشتعال به سلول راه می‌یابند (پیش‌فرض= $۱۰^{۲۰}$ کلوین).

SRRATE: نرخ بازترکیب گاز قابل احتراق با اکسیژن برای وقوع پدیده بازترکیب حجمی خودبه‌خودی (پیش‌فرض= صفر شکافت بر ثانیه).

NOBURNEN: کلیدواژه‌ای برای جلوگیری از سوختن هیدروژنی که از فضای سلول دریافت‌کننده به درون شعله پخش منتقل می‌شود.

EOI: کلیدواژه‌ای برای پایان‌دادن به بلوک‌های H-BURN و CONTBURN.

۳-۴-۳-۲-۴- بلوک انتقال حرارت

از طریق این بلوک کاربر می‌تواند مکانیزم‌های انتقال حرارت را به کمک گزینه ON یا OFF فعال و یا غیرفعال کند.

****

HT-TRAN htflag1 htflag2 htflag3 htflag4 htflag5

****

HT-TRAN: کلیدواژه‌ای برای تعریف مدل‌های انتقال حرارت.

Htflag1: انتقال حرارت از فضا به ساختار.

Htflag2: انتقال حرارت از اولین لایه Lower cell نسبت به بتن یا از فضا بتن.

Htflag3: انتقال حرارت بین دو لایه مجاور در Lower cell. انتقال حرارت بین فضا و بتن از این طریق فعال نمی‌شود.

Htflag4: انتقال حرارت بین بالاترین لایه Lower cell و upper cell یا از بتن به upper cell.

Htflag5: انتقال حرارت تابشی از Lower cell به upper cell و از فضا به ساختار.

[1] Burn window

۳-۴-۳-۳- بلوک STRUCTURE

مشخصات ساختارهای انتقال حرارت در حادثه DCH مشابه پارامترهای حادثه LOCA تعریف می‌شوند.

۳-۴-۳-۴- بلوک LOWER CELL

مشخصات لایه Lower cell در حادثه DCH مشابه پارامترهای حادثه LOCA تعریف می‌شود.

۳-۴-۳-۵- ورودی RESTART

از طریق فایل restart در کد CONTAIN می‌توان محاسبات را مجدداً در زمان‌هایی انجام داد. محاسبات در restart فایل ورودی مشابه محاسبات اولیه انجام می‌شود. در شروع مجدد، کاربر می‌تواند پارامترهای فیزیکی و یا خروجی را تغییر دهد اما اجازه ندارد که تعداد گره‌ها، حوزه‌ها یا شرایط اولیه مدل‌های مختلف را تغییر دهد. الگوی ورودی restart در زیر نشان داده شده است.

```
**********************************************************************************
RESTART
TIMES cput tstart (timinc edtdto tstop)
        [{(ctfrac) or CTFRAC=(ctmfr)}]
        [TRESTART=n (tres)]     [TSFRAC=tsfrac]       [EDMULT=edmult]
[EOI]
        [LONGEDT=klong]   [SHORTEDT=kshort]
        [PRFLOW          [{ON or OFF}]]
        [PRAER           [{ON or OFF}]]
        [PRAER2          [{ON or OFF}]]
        [PRLOW-CL      [{ON or OFF}]]
        [PRHEAT          [{ON or OFF}]]
        [PRFISS          [{ON or OFF}]]
        [PRFISS2         [{ON or OFF}]]
        [PRFPGRP         [{ON or OFF}]]
        [PRBURN          [{ON or OFF}]]
        [PRENACCT      [{ON or OFF}]]
        [PRENGSYS      [{ON or OFF}]]
        [FLOWS           (data)]
        [ENGVENT       (data)]
```

```
        [SUPVENT      (data)]
EOI]
        [DHEAT        (data)    EOI]
(CELL=ncell
        [ATMOS
            SOURCE=nso     ((data)       EOI)]
        [FISSION
            SOURCE=nso     ((data)       EOI)]
        [AEROSOL
            SOURCE=nso     ((data)       EOI)]
        [H-BURN       (data)       [EOI]]
        [DCH-CELL     (data)       EOI]
        [(ENGINEER onmsys numcom iclin iclout delev
            (data)
        EOI)]
        [HT-TRAN (htflags)]
[LOW-CELL
            [CORCON
                TIMES tstart ndelt (dtmin dtmax dedit timdt)]
            [SOURCE=nso       ((data)          EOI)]
        EOI])
EOI
```

****

۳-۴-۳-۵-۱- ورودی Global level برای restart فایل

ورودی restart فایل باید با کلمه restart آغاز شود. در Global level تنها بلوک‌های TIMES، PRINT OPTION و پارامترهای DCH باید تعریف شوند.

- تعریف بلوک TIMES در restart و در اجرای اولیه برنامه کاملاً یکسان می‌باشد. تنها تمایز بین این دو ورودی تعریف زمان شروع مسأله است. در فایل اولیه ورودی، زمان شروع معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود اما در restart فایل، این زمان برابر با زمان خاتمه فایل اولیه ورودی و شروع مجدد مسأله است.

- بلوک PRINT OPTION برای restart فایل و اجرای اولیه برنامه یکسان است. توجه شود که فراخوانی هر مدل می‌تواند توسط ON یا OFF فعال و یا غیرفعال شود.
- پارامترهای ورودی DCH باید در ورودی Global level تعریف شوند. مقادیر این پارامترها با ورودی اولیه یکسان است.

۳-۴-۳-۵-۲- ورودی Cell level برای restart فایل

ممکن است برخی از پارامترهای یک سلول در اجرای restart فایل تغییر کند. در ادامه به این پارامترها اشاره شده است:

مدل‌های upper cell و پارامترهایی که ممکن است در restart فایل تغییر کند، در الگوی بالا بین دو کلیدواژه CELL و LOW-CELL نشان داده شده است.

- ATMOS: کلیدواژه‌ای برای تعیین مجدد همه چشمه‌ها در فضای سلول. توجه شود که تعداد جداول و مقادیر داده‌ها در جدول نباید بزرگ‌تر از مقادیر تعیین شده در ورودی اولیه باشد.
- FISSION: کلیدواژه‌ای برای تعیین مجدد همه چشمه‌های محصولات شکافت در سلول. توجه شود که تعداد جداول و مقادیر داده‌ها در جدول نباید بزرگ‌تر از مقادیر تعیین شده در ورودی اولیه باشد.
- AEROSOL: کلیدواژه‌ای برای تعیین مجموعه جدیدی از چشمه‌های ایروسل. توجه شود که تعداد جداول و مقادیر داده‌ها در جدول نباید بزرگ‌تر از مقادیر تعیین شده در ورودی اولیه باشد.
- HT-TRAN: کلیدواژه‌ای برای فعال‌کردن شیوه‌های مشخصی از انتقال حرارت در مسئله. این کلیدواژه توسط پنج گزینه ON یا OFF نشان داده شده است که حالت‌های مختلف انتقال حرارت را تعیین می‌کند. انتقال حرارت از فضا به استخر، انتقال حرارت از اولین لایه Lower cell به بتن، انتقال حرارت بین دو لایه مجاور در Lower cell، انتقال حرارت بین بالاترین لایه Lower cell و upper cell، انتقال حرارت تابشی از Lower cell به upper cell و از فضا به ساختار پنج نوع مدل انتقال حرارتی است که به ترتیب از طریق گزینه‌های این کلیدواژه فعال می‌شوند.

مدل‌های Lower cell و پارامترهایی که ممکن است در restart فایل تغییر کند، در الگوی بالا بعد از کلیدواژه LOW-CELL نشان داده شده است.

- LOW-CELL: کلیدواژه‌ای برای لحاظ تغییرات در مدل‌سازی Lower cell.
- CORCON: کلیدواژه‌ای برای شروع تغییرات در مرحله زمانی محاسبات CORCON. کلیدواژه tstart: زمان شروع محاسبات CORCON را نشان می‌دهد. اگر مدل CORCON در زمان restart فعال باشد، از این مقدار صرف‌نظر

می‌شود. ndelt: تعداد نواحی زمانی برای محاسبات CORCON، dtmin: حداقل مرحله زمانی و dtmax: حداکثر مرحله زمانی CORCON، dedit: بازه زمانی جهت ویرایش نتایج محاسبات و timdt: زمان پایان یک ناحیه زمانی می‌باشد.

- SOURCE: کلیدواژه‌ای برای تعیین مجدد چشمه‌های Lower cell در سلول. این چشمه‌ها به طور مستقل در هر لایه تعیین می‌شوند.

۳-۵- فایل‌های اجرایی کد

از طریق محاسبات کد CONTAIN، شش فایل خروجی ایجاد می‌شود: OUTPUT، PLTFIL، TAPE10، TAPE17، TAPE20 و TAPE21. برخی از این فایل‌ها به طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند و برخی دیگر برای نرم‌افزار POSTCON به کار می‌روند. این نرم‌افزار به صورت لینک با کد CONTAIN برای رسم نمودارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل دردسترس نبودن این نرم‌افزار در داخل کشور، تنها به ذکر فایل‌های کاربردی کد بسنده می‌شود.

INPUT: فایل ورودی کد شامل همه اطلاعات مورد نیاز برای محاسبات کد CONTAIN.

OUPUT: فایل خروجی شامل نتایج محاسبات که از سه بخش کلی تشکیل شده است:

- بخش اول: بازنویسی مجدد فایل ورودی،
- بخش دوم: پردازش فایل ورودی،
- بخش سوم: خروجی اصلی کد شامل نتایج محاسبات.

TAPE17: فایل اصلی خطاهای کد شامل پیغام‌های خطا[۱] و پیام‌های تشخیصی[۲] تولیدشده توسط کد.

[۱] Error
[۲] Diagnostic message

۴- مراجع

1. Murata, K.K., Williams, D.C., Tills, J., Griffith, R.O., Gido, R.G., Tadios, E.L., Davis, F.J. Martinez, G.M., Washington, K.E. “Code Manual for CONTAIN 2.0: A Computer Code for Nuclear Reactor Containment Analysis”, NUREG/CR-6553, 1997.
2. Bradley, D.R., Gardner, D.R., Brockmann, J.E., Griffith, R.O., “CORCON-Mod3: An Integrated Computer Model for Analysis of Molten Core-Concrete Interactions”, NUREG/CR-5843, 1993.
3. B. R. Sehgal, “Nuclear Safety in Light Water Reactors, Severe Accident Phenomenology”, ELSEVIER, ISBN: 978-0-12-388446-6, 2012.

پیوست ۱: جدول‌های مورد نیاز برای تعریف مواد در کد CONTAIN

جدول‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی حوادث با استفاده از کد CONTAIN شامل موارد زیر می‌باشد:

- مواد استاندارد تعریف‌شده در کتابخانه کد (جدول شماره ۲)،
- ترکیبات بتن (جدول شماره ۳)،
- عناصر فلزی و اکسیدی مدل CORCON (جدول شماره ۴)،
- ایروسل‌ها و محصولات شکافت در مدل VANESA (جدول شماره ۵)،
- نام ترکیبات فلزی در مدل VANESA (جدول شماره ۶)،
- مشخصات واپاشی حصولات شکافت (جدول شماره ۷)،
- دسته‌بندی محصولات شکافت (جدول شماره ۸).

جدول شماره ۲: مواد استاندارد موجود در کد CONTAIN

Material	Name used in CONTAIN	Material	Name used in CONTAIN
Aluminum oxide	AL_2O_3	Plutonium oxide vapor	PUO_2V
Argon	AR	Plutonium vapor	PUV
Boron carbide	B_4C	Potassium oxide	K_2O
Calcium oxide	CAO	Silicon dioxide	SIO_2
Carbon dioxide	CO_2	Silicon trioxide	SIO_3
Carbon monoxide	CO	Sodium carbonate	NA_2CO_3
Chromium sesquioxide	CR_2O_3	Sodium hydroxide	NAOH
Concrete	CONC	Sodium monoxide	NA_2O
Ferrous oxide	FEO	Sodium peroxide	NA_2O_2
Graphite	GRAPH	Sodium silicate	NA_2SIO_3
Helium	HE	Sodium vapor	NAV
Hydrogen	H_2	Solid iron	FE
Ice	H_2O	Solid plutonium	PU
Iron vapor	FEV	Solid plutonium oxide	PUO_2
Liquid iron	FEL	Solid sodium	NA
Liquid plutonium	PUL	Solid uranium	U
Liquid plutonium oxide	PUO_2L	Solid uranium oxide	UO_2
Liquid sodium	NAL	Stainless steel	SS
Liquid uranium	UL	Stainless steel oxide	SSOX
Liquid uranium oxide	UO_2L	Titanium dioxide	TIO_2
Liquid water	H_2OL	Titanium oxide vapor	UO_2V
Magnesium oxide	MGO	Uranium vapor	UV
Manganese oxide	MNO	Water vapor	H_2OV
Nitrogen	N_2	Zirconium	ZR
Oxygen	O_2	Zirconium oxide	ZRO_2

جدول شماره ۳: ترکیبات بتن موجود در کد CONTAIN

		Concrete Aggregate Type Name		
		Basaltic (BASALT)	Limestone/ Common Sand (LIME)	Limestone/ Limestone (GENERIC)
Species	**Variable**	**Mass Fraction**		
SiO_2	fsio2	0.5484	0.3580	0.0360
TiO_2	ftio2	0.0105	0.0018	0.0012
MnO	fmno	0.0	0.0003	0.0001
MgO	fmgo	0.0616	0.0048	0.0567
CaO	fcao	0.0882	0.3130	0.4540
Na_2O	fna2o	0.0180	0.00082	0.00078
K_2O	fk2o	0.0539	0.0122	0.0068
Fe_2O_3	ffe2o3	0.0626	0.0144	0.0120
Al_2O_3	fal2o3	0.0832	0.0360	0.0160
Cr_2O_3	fcr2o3	0.0	0.00014	0.00004
CO_2	fco2	0.0150	0.21154	0.35698
H_2O (evaporable water)	fh2oe	0.0386	0.0270	0.0394
H_2O (bound water)	fh2ob	0.0200	0.0200	0.0200
Ablation Temperature	tabl (K)	1550.0	1590.0	1810.0
Solidus Temperature	toslct (K)	1350.0	1420.0	1690.0
Liquidus Temperature	tliqct (K)	1650.0	1670.0	1875.0

جدول شماره ۴: نام عناصر فلزی و اکسیدی مدل CORCON

Oxides			Metals	
NIO	K_2O	CR_2O_3	FE	U
CAO	ZRO_2	FE_2O_3	CR	SI
FEO	NA_2O	AL_2O_3	NI	UAL_3
MNO	LI_2O	FE_3O_4	ZR	UAL_2
MGO	UO_2	MN_3O_4	MN	CA
SRO	UO_3	U_3O_8	NA	-
BAO	TIO_2	-	C	-
PUO_2	SIO_2	-	AL	-

جدول شماره ۵: ایروسل‌ها و محصولات شکافت در مدل VANESA

VANESA constituent	Chemical symbol	VANESA constituent	Chemical symbol
FE	Fe	ZRO_2	ZrO_2
CR_2O_3	Cr_2O_3	CS_2O	Cs_2O
NI	Ni	BAO	BaO
MO	Mo	SRO	SrO
RU	Ru	LA_2O_3	La_2O_3
SN	Sn	CEO_2	CeO_2
SB	Sb	NBO	NbO
TE	Te	CSI	CsI
AG	Ag	NA_2O	Na_2O
MN	Mn	K_2O	K_2O
CAO	CaO	SIO_2	SiO_2
AL_2O_3	Al_2O_3	UO_2	UO_2

جدول شماره ۶: نام ترکیبات مذاب در مدل VANESA

Keyword	Chemical symbol	Keyword	Chemical symbol
CES	Cs	PU	Pu
KRY	Kr	NI	Ni
SN	Sn	NB	Nb
ZR	Zr	ZRO_2	ZrO_2
FEO	FeO	MO	Mo
RB	Rb	XEN	Xe
RH	Rh	BA	Ba
CE	Ce	UO_2	UO_2
SM	Sm	FE	Fe
MN	Mn	SR	Sr
SB	Sb	TC	Tc
IOD	I	LA	La
TE	Te	ND	Nd
RU	Ru	CR	Cr
Y	Y	AG	Ag
PD	Pd	-	-
PR	Pr	-	-

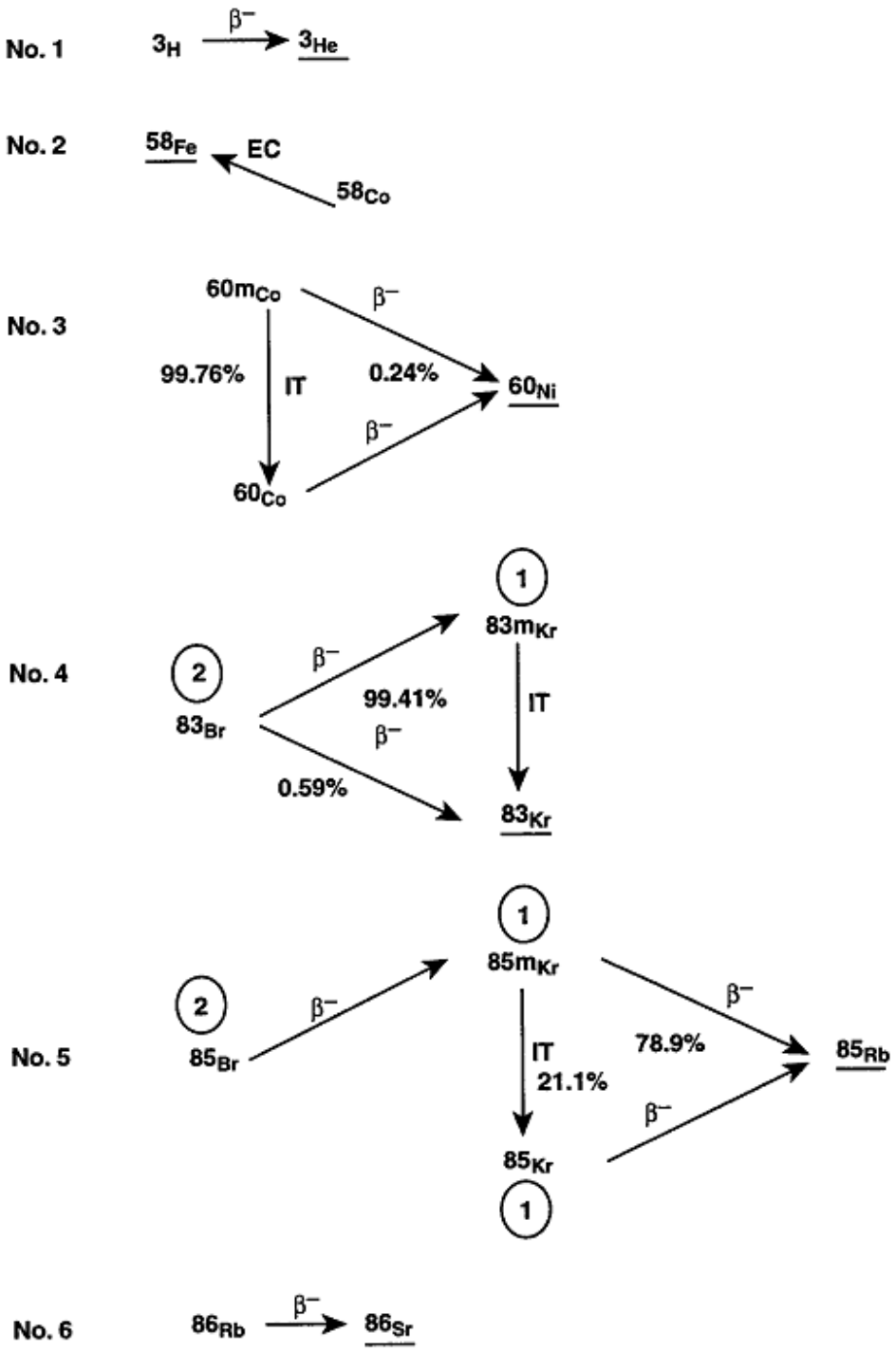
جدول شماره ۷: مشخصات واپاشی محصولات شکافت

Element Name (fpl)	Mass Concentration (g-atom/MWt)	Retention Factor (reti)	Element Name (fpl)	Mass Concentration (g-atom/MWt)	Retention Factor (reti)
MO	0.6053	0.97	PU	0.7921	0.99
TC	0.1545	0.97	AM	0.00593	0.99
RU	0.3885	0.97	Y	0.1099	0.99
RH	0.6090	0.97	LA	0.1662	0.99
SB	0.00244	0.85	PR	0.1446	0.99
TE	0.0627	0.85	ND	0.4638	0.99
SR	0.2155	0.90	SM	0.0539	0.99
BA	0.1915	0.90	EU	0.01705	0.99
ZR	0.7352	0.99	RB	0.0819	0.19
CE	0.3870	0.99	CS	0.3776	0.19
NP	0.0422	0.99	BR	0.0053	0.10
CM	0.00204	0.99	I	0.0320	0.10
NB	0.01139	0.99	-	-	-

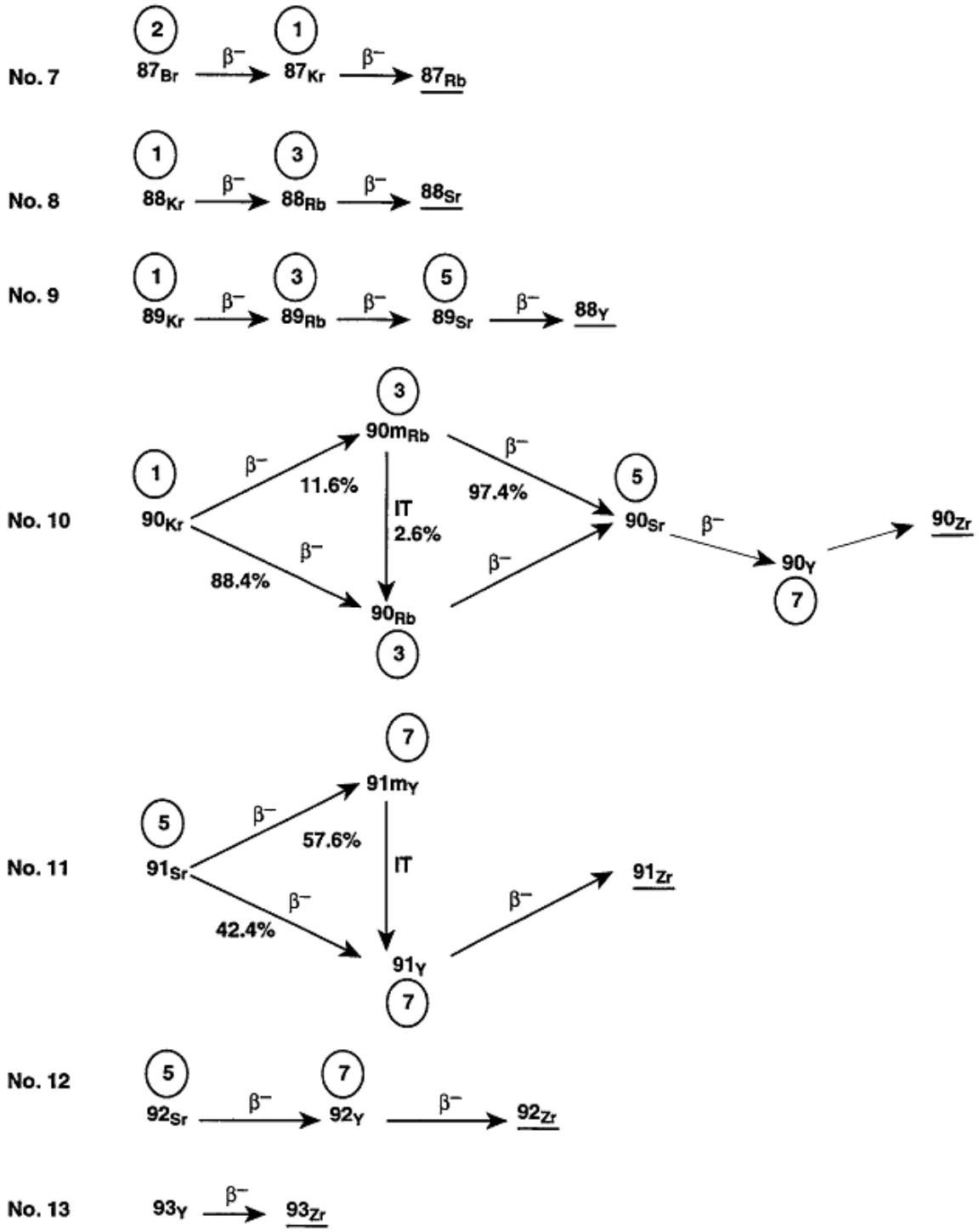
جدول شماره ۸: دسته‌بندی محصولات شکافت در کد CONTAIN

Group	Symbol
Group 1: Noble Gases (GROUP1)	HE3, KR83M, KR83, KR85M, KR85, KR87, KR88, KR89, KR90, XE131M, XE131, XE132, XE133M, XE133, XE134, XE135M, XE135, XE137, XE138, XE140
Group 2: Halogens (GROUP2)	BR83, BR85, BR87, I127, I129, I131, I132M, I132, I133M, I133, I134M, I134, I135
Group 3: Alkali Metals (GROUP3)	RB86, RB87, RB88, RB89, RB90M, RB90, CS133, CS134M, CS134, CS135, CS136, CS137, CS138M, CS138, CS140
Group 4: Tellurium Group (GROUP4)	SB125, SB127, SB129, SB131, TE125M, TE125, TE127M, TE127, TE129M, TE129, TE131M, TE131, TE132, TE133M, TE133, TE134
Group 5: Strontium Group (GROUP5)	SR86, SR88, SR89, SR90, SR91, SR92
Group 6: Noble Metals (GROUP6)	TE58, C058, C060M, C060, N160, M095, M097, M099, TC99M, TC99, RU99, RU103, RU105, RU106, RH103M, RH103, RH105M, RH105, PD105, RH106, PD106
Group 7: Rare Earth Metals (GROUP7)	Y89, Y90, Y91M, Y91, Y92, Y93,ZR90, ZR91, ZR92, ZR93, ZR95, ZR97, NB95M, NB95, NB97M, NB97, LA139, LA140, LA141, LA142, PR141, PR143, PR144M, PR144, PR147, ND143, ND144, ND147, PM147, SM147
Group 8: Rare Earth Metals (Actinides) (GROUP8)	CE140, CE141, CE142, CE143, CE144, PU239, PU241, NP239, AM241
Group 9: Barium Group (GROUP9)	BA134, BA136, BA137M, BA137, BA138, BA139, BA140, BA141
Group 10: Reactor Specific (GROUP10)	H3

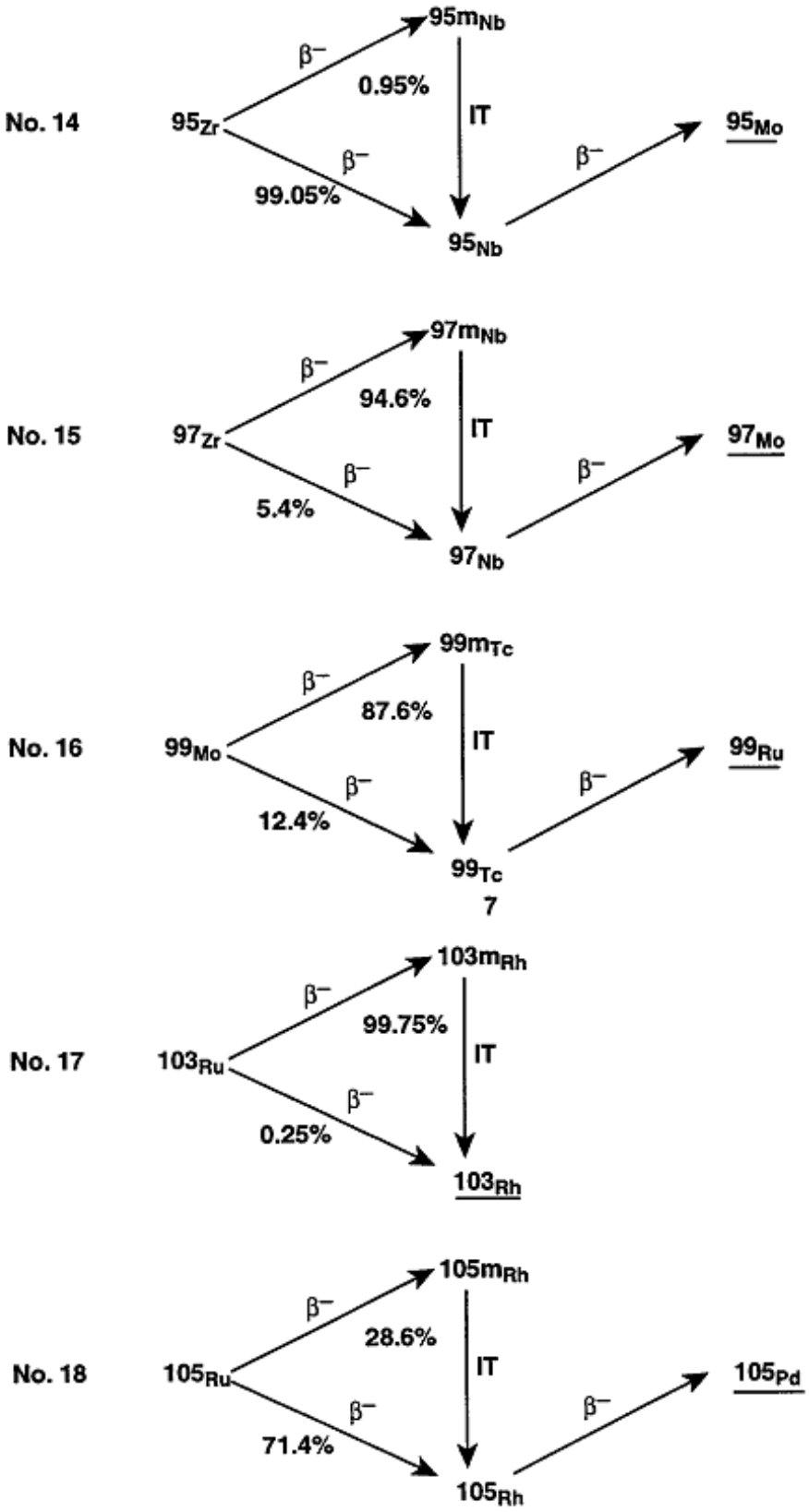
پیوست ۲: زنجیره‌های واپاشی در کد CONTAIN



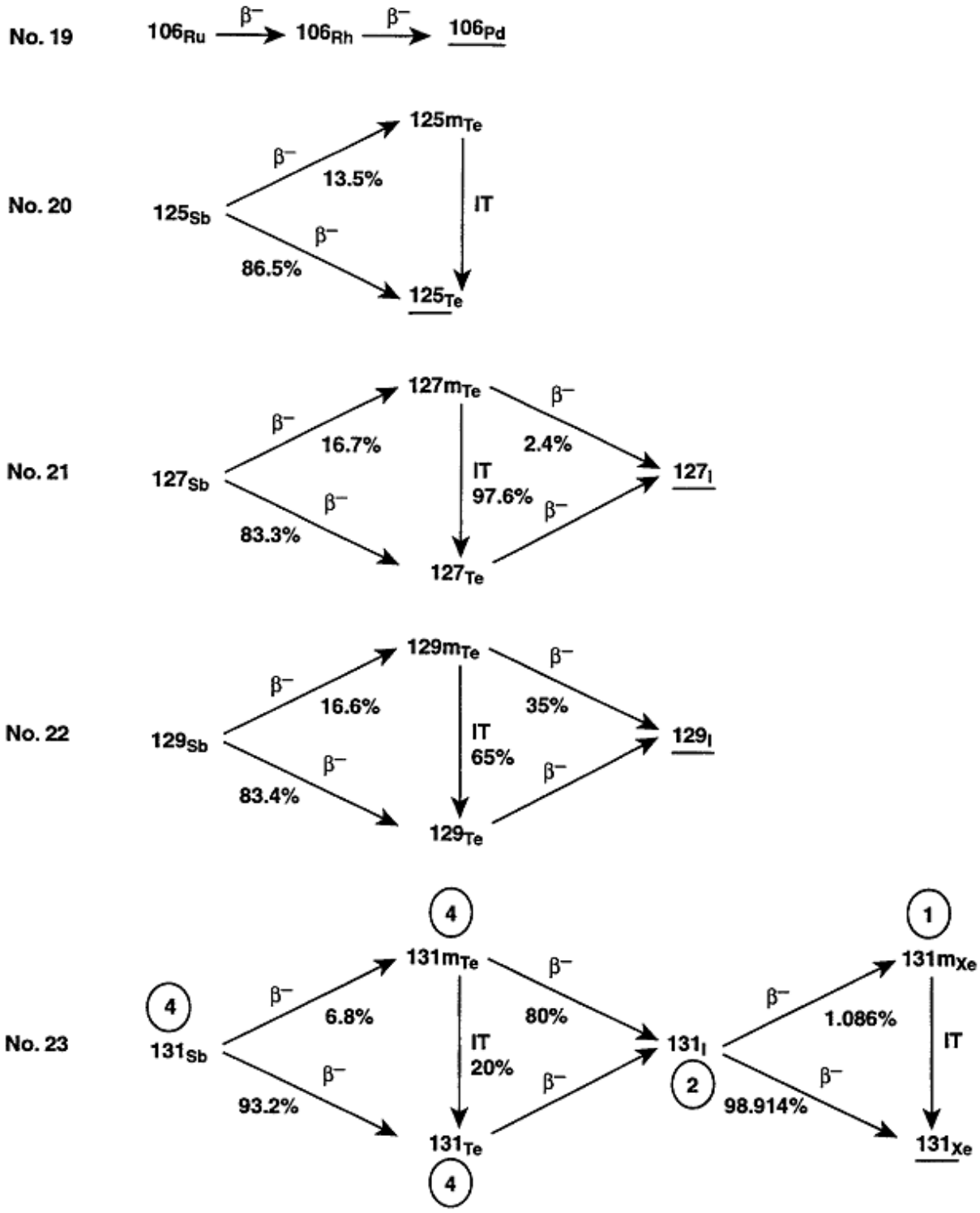
شکل ۴۷: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN



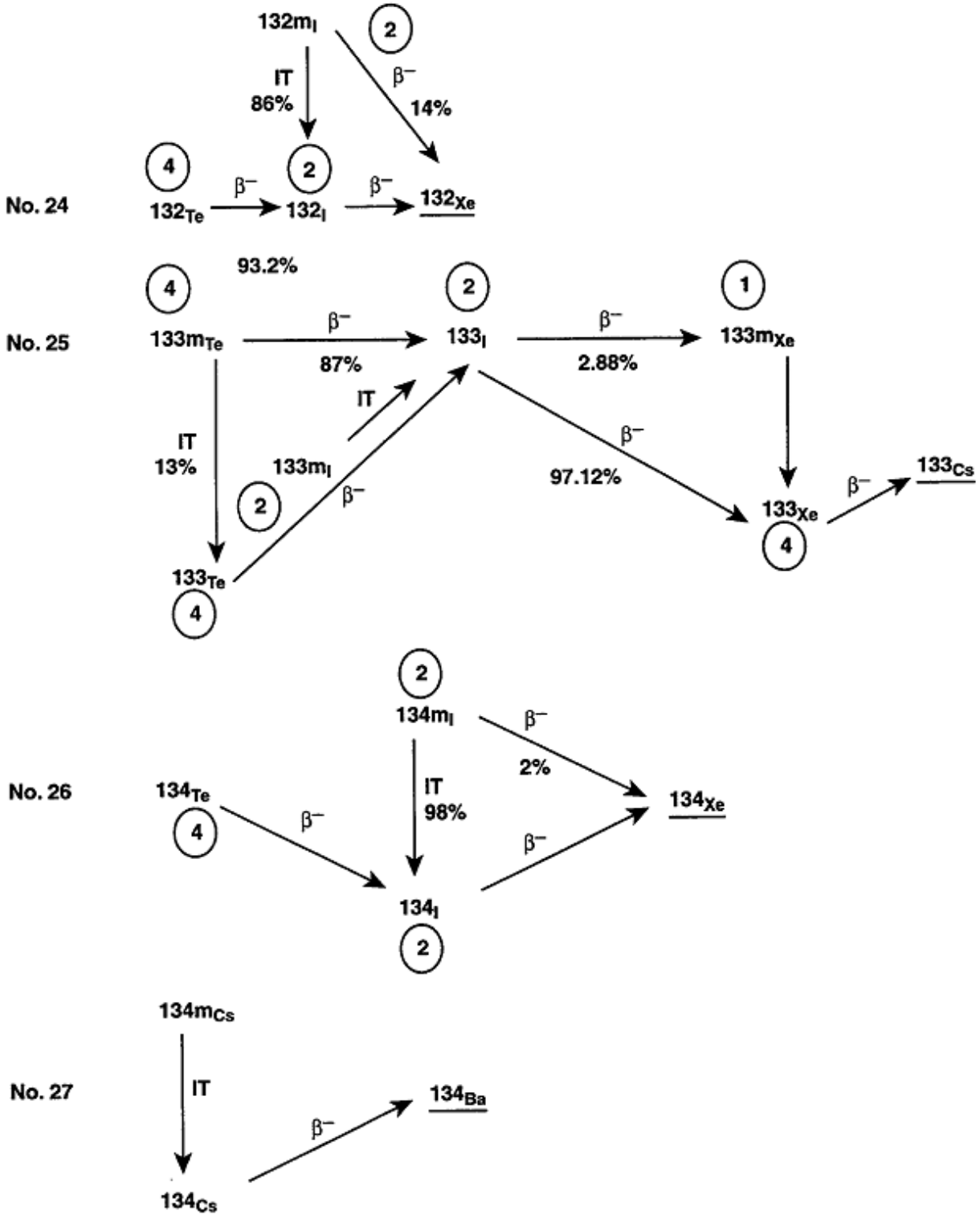
شکل ۴۸: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN



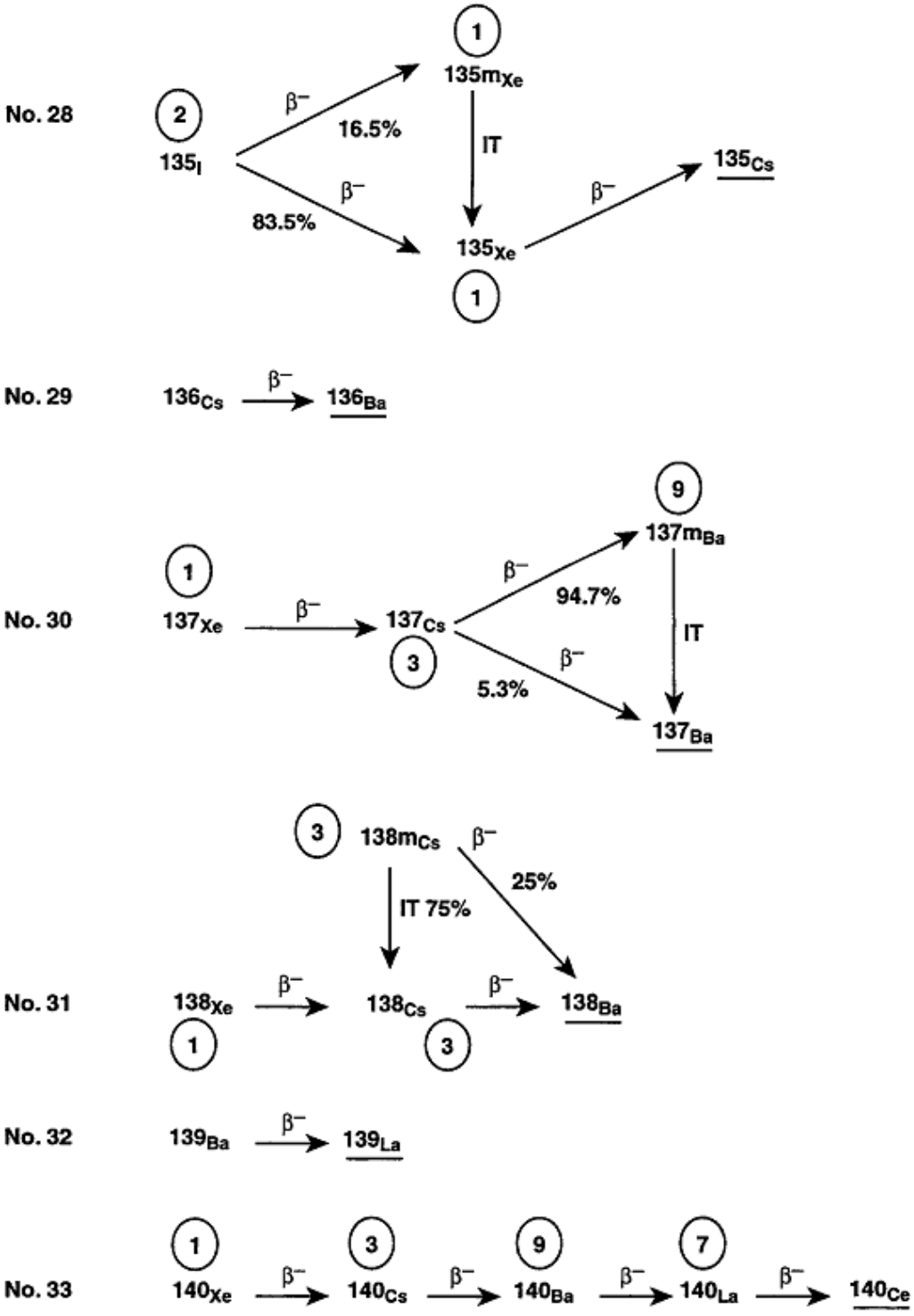
شکل ۴۹: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN



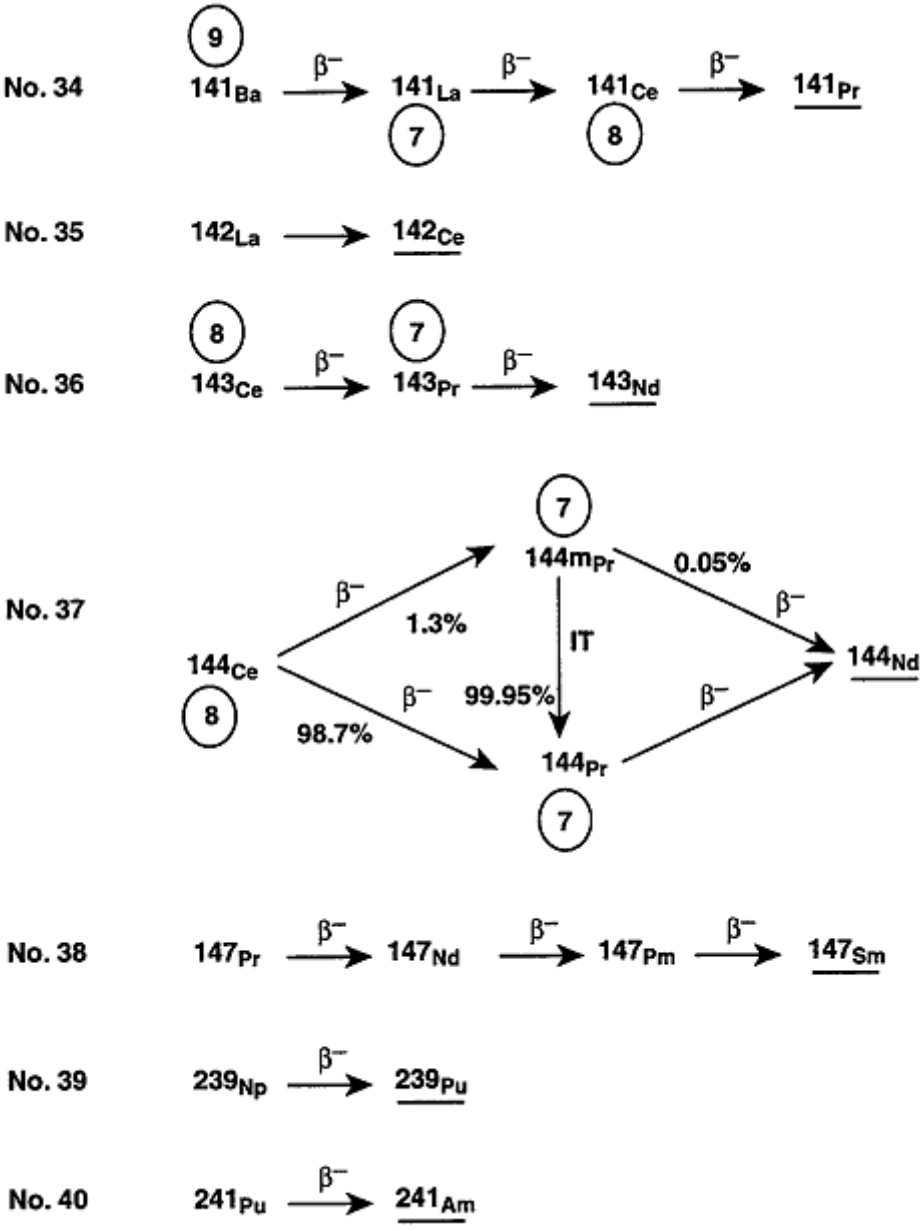
شکل ۵۰: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN



شکل ۵۱: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN



شکل ۵۲: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN



شکل ۵۳: فرآیندهای واپاشی موجود در کتابخانه کد CONTAIN