نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، (پیاپی ۴۲): صص ۷۱-۶۱

"علمی-ترویجی"

واکاوی علل استفاده از ساختارهای گنبدی شکل در ساختمان‌های صنعتی (نمونه موردی: ساختمان راکتور نیروگاه‌های هسته‌ای)

جواد گودینی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱

چکیده

این نوشتار مؤید آن بوده که نیروگاه‌های هسته‌ای یکی از مجموعه‌های صنعتی با خطرپذیری بالا است؛ بنابراین، ایمنی و امنیت، از مهم‌ترین دغدغه‌های طراحانه این مجموعه‌ها است. بررسی طرح این مراکز مؤید آن بوده که در بسیاری از نیروگاه‌های هسته‌ای از ساختارهای گنبدی شکل استفاده شده است. تأکید آیین‌نامه‌های هسته‌ای آژانس بین‌المللی بر ضرورت استفاده از تجربیات موفق پیشین به انضمام تکرار ساختارهای مذکور، این فرضیه را مطرح نموده که ساختارهای گنبدی شکل در افزایش امنیت و ایمنی نیروگاه‌ها مؤثر هستند. بنابراین نوشتار پیش‌رِو به دنبال آن بوده که ضمن شناسایی ساختارهای مختلف گنبدی شکل به واکاوی علل استفاده از آن‌ها نائل آید. این تحقیق، ماهیتی توصیفی - تحلیلی داشته و از استنتاج‌های عقلی به عمل آمده بر روی آیین‌نامه‌ها و بررسی تجربی طرح‌های نیروگاهی استفاده نموده است. یافته‌ها مؤید آن بوده که دربرگرفتن سامانه‌ها، ساختارها و تجهیزات حاوی مواد رادیواکتیو، ممانعت از انتشار آن‌ها، مقاومت در برابر حوادث داخلی و خارجی، کاهش فشار و دمای داخلی در هنگام از دست رفتن مدار خنک کننده اصلی، جا دادن به سامانه‌های فعال و غیر فعال ایمنی از مهم‌ترین نقش‌های ساختارهای گنبدی شکل تک‌لایه و دولایه‌ای است که به شکل نمایان و غیر نمایان در طرح ساختمان راکتور به‌کار رفته‌اند. با این حال، تنها برخی از این نقش‌ها به واسطه فرم گنبدی شکل محقق می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: طراحی معماری، نیروگاه‌های هسته‌ای، ساختارهای گنبدی شکل، ایمنی، امنیت

۱- استادیار گروه معماری دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران (j.goudini1980@yahoo.com) - نویسنده مسئول

۱. مقدمه

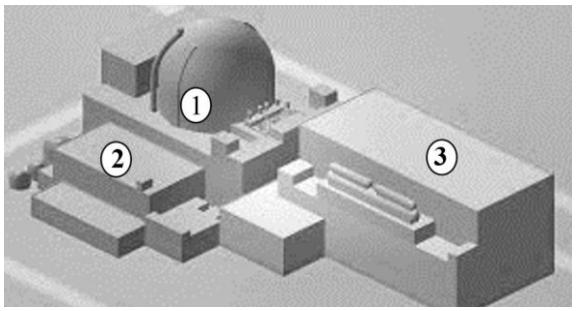
نیروگاه‌های هسته‌ای، یکی از مجموعه‌های صنعتی پیچیده در جهان است. جدا از مقیاس فضایی/کالبدی و حجم سرمایه‌های انباشته در این مجموعه‌ها، داشتن پتانسیل زیاد برای وقوع خطر، سبب می‌شود که این مجموعه‌ها به یکی از اهداف حملات هوایی، خرابکارانه و... بدل شوند. علاوه بر این، پیچیدگی‌های فنی و حساسیت‌های مرتبط با مواد رادیواکتیو باعث می‌شود که پیامدهای حوادث احتمالی آن‌ها افزایش یابد. حوادث هسته‌ای در نیروگاه‌های چرنوبیل، تری مایل آیلند[1] و فوکوشیما نمونه‌ای از مواردی است که می‌تواند به تنهایی گویای اهمیت ضریب ایمنی در این مجموعه‌های صنعتی باشد. نکته دیگر آنکه، نیروگاه‌ها در رده ساختمان‌های با خطرپذیری بالا قرار دارند [۱]. پس واکاوی چندوچون راه‌کارهای معمارانه امن و ایمن در این مجموعه‌ها می‌تواند اهمیت بسیاری داشته باشد.

۲. بیان مسئله

ساده‌سازی یکی از راه‌کارهای معمارانه‌ای است که در طرح ساختمان‌های نیروگاهی برای افزایش ضریب ایمنی/امنیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راه‌کار سعی می‌شود از فرم‌های ساده هندسی نظیر مکعب و استوانه استفاده شود [۲]. بررسی طرح‌های نیروگاهی نشان می‌دهد که بر خلاف نمونه‌های عمدتاً اولیه (شکل ۱)، در نمونه‌های بسیار زیادی از آن‌ها از جمله مدل آب تحت فشار پیشرفته[2]، مدل غیر فعال پیشرفته[3]، مدل تحت فشار تکامل یافته (اروپایی)[4]، ... و یا نسل‌های جدیدتر مدل تحت فشار روسی[5]، از گنبد برای پوشش فرم استوانه‌ای شکل ساختمان راکتور استفاده شده است (شکل ۲).

از سوی دیگر در طراحی ساختمان‌ها و مجموعه‌های نیروگاهی، بر استفاده از طرح‌ها و تجربه‌های موفق پیشین تأکید می‌شود [۵-۳]. به ویژه اینکه اصل چهارم از ضروریات ایمنی مندرج در مدارک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی آمده است که مزیت‌های این تأسیسات باید قابل توجه باشد. یعنی دراساس وجود یک مزیت هست که شکل‌گیری آن تأسیسات را موجه می‌سازد [۶]. پس تداوم ساختار گنبدی در طرح ساختمان‌های صنعتی این مجموعه‌ها دلیلی بر موفقیت آن‌هاست. در این صورت، واکاوی علل استفاده از این ساختار می‌تواند به شناسایی نکات مثبت و فوائد این طرح منجر شود.

شکل (۱): واحد ۱ نیروگاه نوورنژ[6] روسیه از اولین نیروگاه‌های تحت فشار روسی [۷]



شکل (۲): طرح شماتیک یک نیروگاه تحت فشار پیشرفته؛ ۱) ساختمان راکتور، ۲) ساختمان جانبی، ۳) ساختمان توربین [۸]

۳. سؤالات تحقیق

- ویژگی‌های کالبدی (اعم از مصالح، تعداد جداره و...) ساختارهای گنبدی شکل به‌کار رفته در ساختمان‌های صنعتی نیروگاه‌های هسته‌ای کدامند؟
- از منظر ایمنی و امنیت، علل استفاده از ساختارهای گنبدی شکل در طرح این ساختمان‌ها کدامند؟

۴. پیشینه تحقیق

پیشینه‌های مرتبط با تحقیق می‌تواند در دو دسته ملی و بین‌المللی طبقه‌بندی شوند. در دسته بین‌المللی، باید گفت که ایمنی و امنیت از مهم‌ترین دغدغه‌های تاریخ (در حدود هفتاد ساله) طراحی و ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای بوده و دائم از سوی نهادهایی همچون آژانس بین‌المللی انرژی اتمی مورد تحقیق و بازبینی قرار گرفته است. تغییرات حاصل آمده در طرح این مجموعه‌ها، از نیروگاه‌های نسل اول (نیروگاه‌های قبل از ۱۹۷۰)، تا نسل دوم (نیروگاه‌های حد

1- Three Mile Island
2- APWR, Advanced Pressurized Water Reactor
3- APR, Advanced Passive Reactor
4- EPR, Evolutionary (European) Pressurized Reactor
5- VVER or WWER, Water-water Energetic Reactor
6- Novovoronezh

فاصل سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۹۰)، و نسل سوم (بعد از ۱۹۹۰) [۹]، به انضمام تغییرات حاصل آمده در محتوای مدارک آژانس که به‌صورت ویرایش‌های دنباله‌دار استانداردهای ایمنی خودنمایی نموده است، همگی نتیجه پژوهش‌های مستمر در این زمینه است. علاوه‌بر آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، عمده کشورهای صاحب فناوری هسته‌ای نظیر آمریکا، کانادا، روسیه و... هم به‌نوبه خود تحقیقات وسیعی در زمینه ایمنی و امنیت این مراکز انجام داده‌اند که در آیین‌نامه‌ها و مقررات‌های ملی آن کشورها انتشار یافته‌اند. با این وجود در همه این مدارک، دغدغه‌های معمارانه، توأم با دغدغه‌های طراحانه دیگر رشته‌های مرتبط نیروگاهی مورد بحث قرار گرفته است. جدا از این تحقیقات سازمانی، که می‌توان همه آن‌ها را ذیل آیین‌نامه‌های هسته‌ای دسته‌بندی نمود، تحقیقات دیگری هم به‌صورت فردی در این زمینه به ویژه در زمینه ساختمان محفظه (یا ساختمان راکتور) به انجام رسیده است. با این وجود این تحقیقات عمدتاً مربوط به مهندسین سازه یا مهندسین هسته‌ای است و تحقیقات معمارانه در این خصوص جایگاهی ندارد. در دسته ملی، به علت دایر شدن رشته معماری مجموعه‌های نیروگاهی، زمینه مجزایی برای پژوهش‌های خاص معماری در این رابطه فراهم آمده است. اسدی ملک‌جهان [۱۰] اولین تحقیق از این دسته است که به مبحث ایمنی/امنیتی در نیروگاه‌های هسته‌ای آب سبک تحت فشار پرداخته و سعی نموده تا ضوابط و معیارهایی برای طراحی این مجموعه‌های صنعتی تدوین نماید. ضوابط ارائه شده توسط اسدی صرفاً به موضوع ایمنی و امنیت نیروگاه در برابر حوادث سیل، انفجار، حریق و سقوط هواپیما اختصاص یافته است. او در بخشی از تحقیق خود به ارزیابی ساختمان‌های هدف نیروگاه هسته‌ای تحت فشار با ده فرم هندسی و در برابر برخورد هواپیمای فانتوم پرداخته است. ابراهیمی [۱۱]، در ادامه این بحث، سعی نموده تا الزامات مورد نیاز برای چیدمان و طراحی ساختمان‌های راکتور تحقیقاتی ۲۰ مگاواتی را شناسایی نماید. کلیت فعالیت‌های تحقیقاتی او نیز مشابه ارزیابی‌های اسدی است. بهرامی‌پناه، هم به بررسی چیدمان و سازماندهی فضایی در ساختمان‌های اصلی یک نیروگاه آب تحت فشار پیشرفته از نوع تکامل یافته (اروپایی) پرداخته است. رسیدن به راه‌کارها و اصول مؤثر در طراحی معماری ساختمان‌های نیروگاه، به‌منظور جلوگیری از ایجاد حوادث و خطرات به انضمام محدود کردن پیامدهای آن‌ها، بخشی از تحقیقات بهرامی‌پناه محسوب می‌شود. تحقیقات او نشان می‌دهد که در عرصه طراحی این ساختمان‌ها، معماران می‌بایست راه‌کارهای مختلفی در مقیاس‌های کلان و خرد به‌کار گیرند. ساده‌سازی طرح نیروگاه با انتخاب هندسه درست، طراحی چیدمان فیزیکی مناسب، طراحی ساختارهای اضافی سازه‌ای، طراحی فضای حایل بین ساختمان‌ها، جداسازی فیزیکی ساختارها، استفاده از فرم‌های ساختمانی کارآمد در برابر خطرات، مهم‌ترین راه‌کارهایی هستند که طراحان ساختمان‌های نیروگاهی می‌بایست برای ارتقای شرایط ایمنی مورد توجه قرار دهند [۱۲ و ۱۳]. دقت نظر در پیشینه‌های فوق نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از آن‌ها به واکاوی علل استفاده از ساختارهای گنبدی شکل در طرح ساختمان‌های این نوع نیروگاه‌ها نپرداخته‌اند. پس نوآوری این تحقیق، شناسایی رابطه ساختارهای گنبدی شکل با ایمنی و امنیت است.

۵. روش تحقیق

این تحقیق، ماهیتی توصیفی - تحلیلی دارد و از استنتاج‌های عقلی به عمل آمده بر روی آیین‌نامه‌های هسته‌ای (به ویژه آیین‌نامه‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی) و تحلیل مستقیم طرح مجموعه‌های نیروگاهی استفاده می‌کند. برای این منظور، ابتدا بر اساس آیین‌نامه‌های هسته‌ای به تعریف مفاهیم ایمنی و امنیت در مجموعه‌های هسته‌ای می‌پردازد و سپس به شناسایی و دسته‌بندی ساختارهای گنبدی شکل و در پایان به بیان تأثیر این ساختارها بر ایمنی و امنیت طرح اقدام می‌کند.

۶. محدوده تحقیق

این تحقیق، فقط به بررسی ساختارهای گنبدی شکل در نیروگاه‌های هسته‌ای قدرت می‌پردازد. بنابراین ساختارهای گنبدی شکل در سایر مراکز هسته‌ای از جمله آن‌هایی که در نیروگاه‌های تحقیقاتی (نظیر ساختار گنبدی شکل راکتور تحقیقاتی دانشگاه تهران) و... به‌کار رفته‌اند، خارج از محدوده این تحقیق بوده و نیازمند بررسی جداگانه‌ای است.

۷. ایمنی و امنیت در نیروگاه‌های هسته‌ای

خطر یکی از ویژگی‌های مؤثر در تعریف ایمنی و امنیت مجموعه‌های صنعتی از جمله مراکز نیروگاهی بوده و با راه‌کارهای رسیدن به شرایط ایمن و امن، مرتبط است. چرا که ایمنی و امنیت هر دو به شرایط رهایی‌جستن از خطر اطلاق می‌شوند. پس ماهیت ایمنی و امنیت در مجموعه‌های نیروگاهی با ماهیت خطر تغییر می‌یابند. به‌عنوان مثال، حوادث مرتبط با حریق، انفجار مواد شیمیایی و ...، هر کدام ماهیت متفاوت داشته و الزاماً راه‌کارهای مختص به خود را می‌طلبند [۱۴]. بر اساس تعاریف آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، هدف بنیادین ایمنی در مجموعه‌های

هسته‌ای، محافظت افراد و زیست‌محیط در برابر اشعه‌های یونساز است [۶]. به عبارت دیگر سعی می‌شود با ایجاد و تداوم راه‌کارهای مؤثر، افراد، پرسنل و زیست‌محیط را در برابر خطرات رادیولوژیکی محافظت نمود. این هدف بنیادین یا کلی، با دو هدف مکمل زیر همراه است:

- محافظت در برابر تابش: اطمینان یافتن از اینکه در تمامی مراحل بهره‌برداری از تأسیسات مورد نظر، در معرض تابش قرار گرفتن افراد و محیط‌زیست، کمتر از اندازه‌های توصیه شده و تا حدی است که به لحاظ منطقی عملی بوده است.

- ایمنی فنی: اطمینان یافتن از اینکه تمامی اقداماتی که به لحاظ منطقی قابل اجرا بوده‌اند تا از بروز حوادث در این مجموعه‌ها جلوگیری نماید و پیامدهای حوادث احتمالی را به حداقل رساند، مدنظر بوده است [۴].

تعاریف فوق نشان می‌دهد که ایمنی در نیروگاه‌های هسته‌ای، در رابطه با خطر انتشار مواد رادیواکتیو معنا می‌یابد. به همین خاطر است که در کلیه مدارک آژانس، واژه هسته‌ای در غالب موارد در کنار ایمنی قرار گرفته است. از سوی دیگر، بررسی مدارک آژانس نشان می‌دهد که امنیت این مجموعه‌ها هم با موضوع هسته‌ای تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، امنیت این مجموعه‌ها به جلوگیری از اقدامات خرابکارانه، سرقت و... مرتبط با مواد و تأسیسات هسته‌ای اطلاق می‌شود [۱۵]. این مطلب مؤید آن است که مهم‌ترین خطری که در این نیروگاه باید از آن رهایی جست، خطر حوادث هسته‌ای است. در حقیقت، دیگر خطرها اعم از حریق، سیل، انفجار، برخورد هواپیما، زلزله و... می‌توانند در سایه خطرات هسته‌ای قرار گیرند.

یکی از ویژگی‌های ایمنی و امنیت در نیروگاه‌های هسته‌ای، ضرورت پیوستگی و توجه هم‌زمان به این دو مقوله در طراحی است؛ در حقیقت، رسیدن به شرایط ایمن در طراحی نباید به از دست رفتن امنیت منجر شود و برعکس [۶]. نکته دیگر آنکه در رسیدن به بالاترین استانداردهای ایمنی، همیشه سه اقدام کنترل نمودن، محدود کردن و به حداقل رساندن در ادامه یکدیگر مطرح می‌شوند [۶]. این اقدامات سه‌گانه سعی در عمیق نمودن لایه‌های مرتبط با ایمنی و امنیت دارد و در قالب ایده دفاع عمقی تبیین می‌شود. ایده دفاع عمقی، یک اصل پایه در طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای به شمار می‌آید. بر اساس این اصل همه فعالیت‌های ایمنی اعم از رفتاری، سازمانی و آن‌هایی که به تجهیزات مرتبط هستند باید مشمول سطوح مختلفی از تمهیدات هم‌پوشان گردند، به نحوی که اگر یکی از این سطوح دچار شکست شود، سطوح دیگر، آن را جبران نمایند بدون اینکه خطر عظیمی متوجه افراد و عموم مردم شود. این اصل بر سطوح مختلفی از محافظت اعم از لایه‌های فیزیکی چندگانه استوار است که مانع از انتشار مواد رادیواکتیو می‌شوند. مضاف بر اینکه، شامل محافظت از خود لایه‌ها هم هست. همچنین این اصل شامل اقداماتی است که با از دست رفتن لایه‌ها و برای محافظت از عموم به آن‌ها نیاز است [۵]. ایده دفاع عمقی در نیروگاه‌های هسته‌ای در قالب ۲ جنبه، ۵ سطح و ۴ لایه تنظیم می‌شود. جنبه‌های دوگانه این ایده عبارتند از ممانعت از ایجاد خطر و (در صورت ایجاد آن) به حداقل رساندن پیامدها. سطوح پنج‌گانه هم از همین دو جنبه مشتق شده‌اند که عبارتند از تلاش در جهت باقی ماندن نیروگاه در شرایط نرمال، کنترل شرایط غیر نرمال، کنترل نیروگاه بر مبنای حوادث پایه طرح، ممانعت از رفتن نیروگاه به شرایط وحشتناک و درنهایت تلاش برای تقلیل دادن پیامدها. چهار لایه یا مانع نیز به ترتیب عبارتند از لایه سرامیکی سوخت[1]، میله سوخت[2]، محفظه تحت فشار، ساختار فلزی/ بتنی ساختمان راکتور [۱۶]. با این تفاسیر، ساختار فلزی/ بتنی یکی از لایه‌هایی است که در تداوم لایه‌های قبلی و نیز اقدامات بعدی در تحقق ایمنی و امنیت مؤثر است.

۸. ساختارهای گنبدی شکل در نیروگاه‌های هسته‌ای

بررسی طرح‌های اجر اشده و در حال طراحی مجموعه‌های نیروگاهی نشان می‌دهد که ساختارهای گنبدی شکل عمدتاً در ساختمان راکتور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بررسی طرح این ساختمان‌ها نشان می‌دهد که برخی از آن‌ها فاقد ساختارهای گنبدی هستند. این نوع طرح‌ها در بسیاری از سامانه‌ها و مدل‌های نیروگاهی (هم قدیمی و هم پیشرفته) به‌کار رفته‌اند. از رده نیروگاه‌های آب سبک و در سامانه‌های تحت فشار باید به نسل‌های ابتدایی یعنی نسل‌های ۱ و ۲ واحدهای نیروگاهی مدل روسی اشاره کرد. واحدهای ۱-۴ نیروگاه نوورنژ و واحدهای ۱-۴ نیروگاه کولا[3] در کشور روسیه؛ واحدهای ۱و ۲ نیروگاه متسامور[4] ارمنستان؛ واحدهای ۱-۴ نیروگاه کوزلودی[5] بلغارستان؛ واحدهای ۱-۴ نیروگاه بوونیس[6] اسلواکی؛ واحدهای ۱-۵ نیروگاه گریفسوالد[7] آلمان؛ واحدهای ۱ و ۲ نیروگاه ریون[8] اکراین و... از این نوع هستند که در آن‌ها، ساختمان راکتور به شکل مکعبی ساخته شده است. از رده

1- Fuel Matrix
2- Fuel Cladding
3- Kola
4- Metsamor
5- Kozloduy
6- Bohunice
7- Greifswald
8- Rivne

نیروگاه‌های آب سبک و در سامانه آب جوشان[1] که فاقد ساختارهای گنبدی شکل هستند می‌توان به واحدهای سه‌گانه نیروگاه فورسمارک[2]، واحدهای دوگانه نیروگاه بارسباک[3]، واحدهای سه‌گانه نیروگاه اسکارس‌هامن[4] و یکی از واحدهای نیروگاهی رینگالس[5] در کشور سوئد اشاره نمود. در این طرح‌ها، ساختمان راکتور در قالب چند طبقه با حجمی مکعبی و سقفی مسطح ساخته شده و عملاً هیچ سقف گنبدی در آن وجود ندارد. تنها سطح گنبدی شکل در این طرح‌ها، درپوش چاله راکتور[6] است که مورد نظر این مقاله نیست (شکل ۳). نمونه دیگری از ساختمان‌های راکتور که فاقد ساختار گنبدی شکل هستند، در واحدهای هشت‌گانه نیروگاه بروس[7] در ایالت انتاریو کانادا است. در این نیروگاه که از نوع آب سنگین تحت فشار و با مدل کندو ساخته شده، ساختمان‌های راکتور مکعبی شکل، در یک آرایش خطی و در دو مجموعه نیروگاهی مکان‌یابی شده‌اند. علاوه بر این، در واحدهای نیروگاهی مدل RBMK هم ساختارهای گنبدی وجود ندارد. این واحدهای نیروگاهی بر خلاف نیروگاه‌های فوق از گرافیت به‌عنوان کند کننده استفاده می‌شود. از نمونه این ساختارهای مکعبی شکل می‌توان به واحدهای نیروگاهی کروسک[8]، چرنوبیل، لنینگراد و... اشاره نمود. دیگر واحدهای نیروگاهی فاقد ساختارهای گنبدی به سامانه‌های پیشرفته خنک کننده گازی[9] مربوط می‌شوند. در این واحدهای نیروگاهی نظیر دانگنس بی[10]، هینکلی پوینت بی[11] و غیره که همگی مربوط به کشور انگلستان می‌شوند، ساختمان راکتور با شکل‌های عمدتاً مکعبی ساخته شده‌اند.

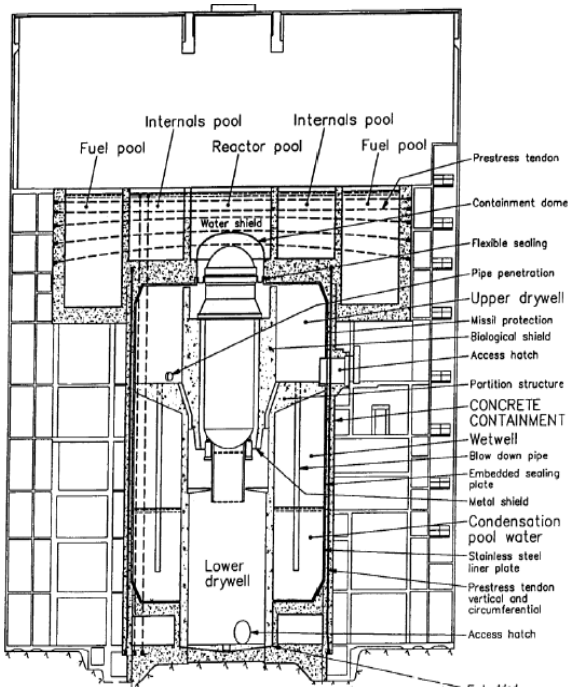
ساختارهای گنبدی نیروگاه‌های هسته‌ای را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد. در دسته اول، ساختار گنبدی نمودی بیرونی ندارد. یعنی این ساختار در ساختار دیگری که فرم گنبدی شکل ندارد، محصور شده و عملاً تشخیص فرم گنبدی از بیرون امکان‌پذیر نیست. این الگو در طرح‌های پیشرفته نیروگاهی به‌کار رفته است. مهم‌ترین نمونه این دسته را می‌توان در طرح ساختمان نیروگاه غیر فعال پیشرفته ۱۰۰۰ مگاواتی مشاهده کرد (شکل ۴). در این طرح، ساختار گنبدی که یک نیم‌کره فلزی است در درون یک مخروط و یک کلاهک استوانه‌ای شکل بتنی قرار گرفته است. بنابراین، عملاً نمی‌توان از بیرون متوجه فرم گنبدی شکل شد. واحدهای ۱ و ۲ نیروگاه سانمن[12]، واحدهای ۱ و ۲ نیروگاه هاییانگ[13] همگی در چین از جمله نیروگاه‌هایی هستند که برای اولین بار بر اساس این مدل ساخته و وارد شبکه شده‌اند. گفتنی است در طرح مدل قبلی این نیروگاه که قدرت ۶۰۰ مگاواتی داشت[14]، باز هم ساختار گنبدی شکل در زیر همین مخروط و استوانه فوقانی آن محصور شده بود. همچنین مدل جدیدتر این طرح که محصول همکاری شرکت وستینگهاوس و کشور چین بوده و با قدرت ۱۴۰۰ مگاوات طراحی شده است[15]، نیز در رده همین ساختارهای گنبدی شکل غیر نمایان قرار می‌گیرد. نمونه دیگری از این ساختار، طرح بومی‌شده نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی غیر فعال پیشرفته در کشور چین است[16].

در دسته دوم که ساختار گنبدی شکل نمود بیرونی دارد، باز هم جداره بیرونی از جنس بتن است. با این حال، ساختار گنبدی شکل تنوع بیشتری دارد. در یک مورد، ساختار گنبدی ترکیبی از یک جداره بتنی و یک لایه فلزی[17] در درون آن است که به یکدیگر الصاق شده‌اند (شکل ۵). این ساختار که به ساختارهای تک‌لایه[18] مصطلح است در بسیاری از نیروگاه‌های تحت فشار به ویژه در کشور آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است. گفتنی است جداره بتنی در این ساختارها، عمدتاً از نوع پیش‌تنیده[19] است. در گونه محدودتری از این ساختارهای تک‌لایه، جداره بتنی از نوع مسلح[20] است. در نوع دیگری از این دسته، ساختار گنبدی شکل، به‌صورت دولایه[21] اجرا شده‌اند. ایده اصلی استفاده از ساختارهای دولایه، مجزا ساختن رفتارهای دوگانه مورد نیاز در این ساختمان است: رفتارهای داخلی نظیر فشار، دما و... که بر روی لایه داخلی اعمال می‌شود و رفتارهای خارجی که شامل حوادث بیرونی نظیر پرتابه‌هایی است که بر قشر بیرونی ساختمان اعمال می‌شود [۱۷]. گونه نخست این نوع ترکیبی است از یک جداره فولادی به علاوه یک جداره بتنی که با یک فضای خالی از یکدیگر جدا شده‌اند. گنبد فولادی در این نوع گاه بر روی یک استوانه و گاه بر روی یک نیمکره سوار شده است. از نمونه‌های نوع اول می‌توان به نیروگاه بزنائو[22] و نیروگاه لیبستات[23] اشاره نمود که در آن‌ها از یک جداره

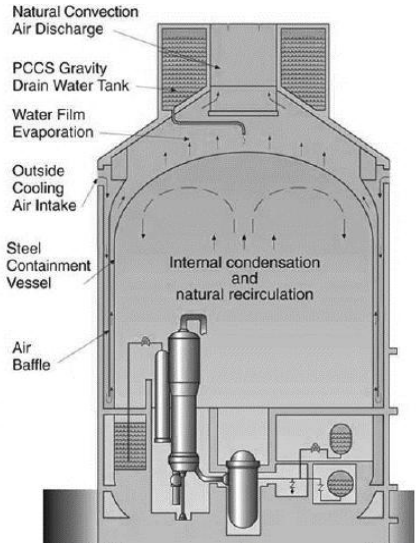
1- Boiling Water Reactor
2- Forsmark
3- Barseback
4- Oskarshamn
5- Ringhals
6- Reactor Pit
7- Bruce
8- Kursk
9- Advanced gas-cooled reactor
10- Dungeness B
11- Hinkley Point B
12- Sanmen
13- Haiyang
14- AP 600
15- CAP 1400
16- CAP 1000
17- Liner
18- Single-barrier
19- Pre-stressed
20- Reinforced
21- Double-wall or Multi-barrier
22- Beznau
23- Leibstadt

فلزی و یک جداره بتنی برای این ساختار استفاده شده است. نوع دوم که محصول طراحی کشور آلمان است در حقیقت، کره‌ای است که در درون یک استوانه محصور شده است (شکل ۶). نیروگاه گسگن[1] در کشور سوئیس، نیروگاه بیبلیس[2] در کشور آلمان از جمله واحدهایی هستند که ساختمان راکتور آن دارای یک کره فلزی محصور شده در جداره بتنی است. گونه دوم این دسته، ترکیبی از دو جداره بتنی با یک فاصله خالی در حد فاصل آن‌هاست (شکل ۷). جداره بتنی اول در برخی از طرح‌ها دارای پوشش فلزی و در برخی از طرح‌ها فاقد این پوشش است. در این ساختارها، جداره داخلی معمولاً از بتن پیش‌تنیده و جداره بیرونی از بتن مسلح ساخته شده است. این ساختار به‌طور ویژه در نیروگاه تحت فشار اروپایی دیده می‌شود. نمونه دیواره‌های دوجداره در ساختمان راکتور، نیروگاه‌های دوئل و تیهانگ در بلژیک است.

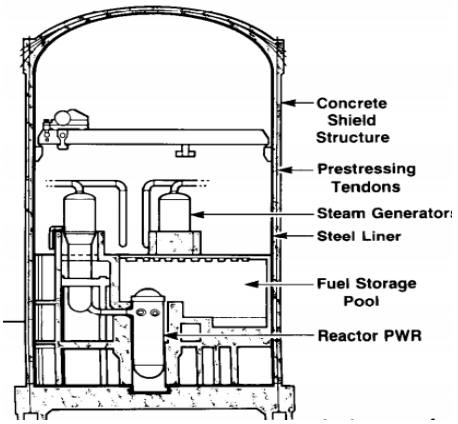
پس با این تفاسیر، ساختارهای گنبدی شکل در ساختمان راکتور به دو صورت نمایان و غیر نمایان اجرا می‌شوند و می‌توانند شامل ساختاری یک لایه یا چندلایه باشند. هر یک از این ساختارها نیز بر حسب کشور سازنده و سامانه به‌کار رفته در آن، شامل طرح‌ها و مدل‌های مختلفی است.



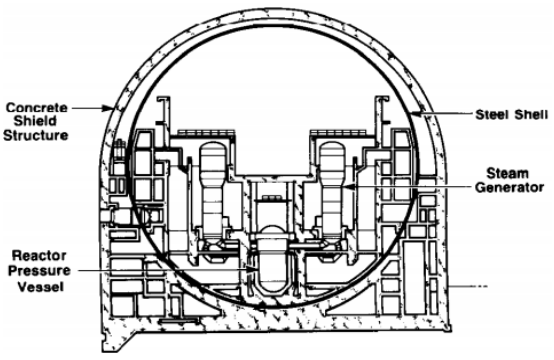
شکل (۳): مقطعی از یکی از ساختمان‌های راکتور آب جوشان سوئد که فاقد ساختار گنبدی شکل است [۱۸]



شکل (۴): ساختار گنبدی شکل بدون نمود بیرونی در نیروگاه غیر فعال پیشرفته ۱۰۰۰ [۱۹]

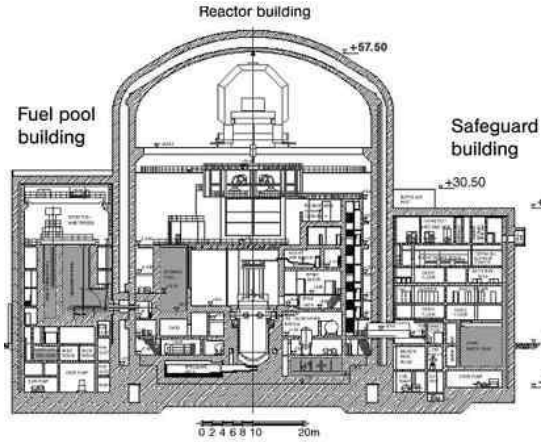


شکل (۵): ساختار گنبدی شکل با نمود بیرونی از نوع تک‌لایه در نیروگاه تحت فشار [۲۰]



شکل (۶): ساختار گنبدی شکل با نمود بیرونی از نوع دولایه (طرح آلمانی) در نیروگاه تحت فشار [۲۰]

1- Gosgen
2- Biblis



شکل (۷): ساختار گنبدی شکل با نمود بیرونی از نوع دولایه در نیروگاه تحت فشار اروپایی [۲۱]

۹. نقش‌های اصلی مصالح به‌کار رفته در ساختارهای گنبدی شکل نیروگاه‌های هسته‌ای

بر اساس تعاریف مندرج در مدارک آژانس اتمی، محفظه[1] به روش‌ها یا ساختارهای فیزیکی اطلاق می‌شود که از انتشار مواد رادیواکتیو به محیط جلوگیری می‌کنند [۱۵]. ساختمان راکتور یا همان ساختمان محفظه[2] یکی از این ساختارهای فیزیکی است که راکتور، مدار اول، پمپ‌های خنک کننده، مبدل‌های حرارتی و... را در خود محفوظ داشته است. این ساختمان دارای پوسته یا حفاظی بسته در برابر گاز بوده که محدودکننده انتشار مواد هسته‌ای در هنگام وقوع حادثه است و معمولاً از بتن (پیش‌تنیده یا مسلح) و فولاد ساخته می‌شود [۱۹]. بنابر مطالب پیشین، این ساختار آخرین لایه دفاعی در برابر انتشار مواد رادیواکتیو به محیط است. در مدارک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی آمده است که ملاحظات طراحی مربوط به مصالح ساختمان راکتور به ویژه بتن به این وابسته است که از چه ایده‌ای برای طراحی استفاده شود. اساساً محفظه‌های بتنی با کابل‌های تحت‌تنش هم تضمین‌کننده استحکام هستند و هم نشت‌ناپذیری. درحالیکه، محفظه‌های بتنی مسلح معمولاً نقش استحکام را بر عهده می‌گیرند و نقش نشت‌ناپذیری بر عهده یک جداره فلزی[3] قرار می‌گیرد [۳]. به لحاظ تاریخی هم مصالح به‌کاررفته در پوسته ساختمان راکتور همین دو نقش را بر عهده داشته‌اند. در حقیقت، اولین تکلیف آن‌ها ممانعت از نشت مواد بوده و دومین تکلیف، مقاومت در برابر حوادث است [۲۲]. وجود عباراتی همچون Airtight، Gastight و یا Leaktight که در آیین‌نامه‌های هسته‌ای تکرار می‌شود، دلیل دیگری است بر نقش نخست مصالح جداره بیرونی این ساختمان. هر دوی این نقش‌ها، ارتباط مستقیم با ایمنی و امنیت داشته و از افراد و محیط‌زیست در برابر انتشار مواد هسته‌ای محافظت می‌کند. گفتنی است از آنجا که ساختار بیرونی این ساختمان باید لایه‌ای پیوسته و ممتد[4] در برابر این خطرات ایجاد نماید، پس مصالح به‌کاررفته در گنبد نیز همین کارکردهای دوگانه را دارند.

۱۰. ساختارهای گنبدی شکل و شرایط ایمن/امن

۱۰-۱. کمک نمودن در جهت دربرگرفتن، احاطه و ایزوله نمودن سامانه‌ها، ساختارها و تجهیزات حاوی مواد رادیواکتیو

بر اساس الزامات آژانس بین‌المللی، سامانه‌های محفظه راکتور باید به نحوی طراحی شوند که مواد رادیواکتیو را در شرایط بهره‌برداری از نیروگاه و در زمان‌های رخداد حوادث محدود نمایند. به عبارت دیگر، یکی از مهم‌ترین الزام‌های عملکردی برای محفظه، جا دادن و ایزوله ساختن سامانه‌ها، ساختارها و قطعاتی است که خطای آن‌ها سبب انتشار مقادیر غیر قابل پذیرشی از رادیونوکلوئیدها می‌شود [۳]. گفتنی است، این هدف برای کلیت محفظه راکتور است که شامل سامانه‌ها، ساختارها و قطعات مختلف نظیر سامانه‌های خنک کننده، سامانه‌های تهویه، ساختارهای ساختمانی و منافذ آن، ولوها، دمپرها و... است. به عبارت دیگر، دیواره، سقف گنبدی شکل و پی به‌عنوان مهم‌ترین ساختارهای ساختمانی محفظه راکتور، تنها یکی از بخش‌هایی است که می‌بایست در تضمین هدف فوق ایفای نقش نماید. این ساختارهای ساختمانی با دربرگرفتن سامانه‌ها و تجهیزاتی که حاوی مواد رادیواکتیو هستند، از انتشار آن‌ها در شرایط مختلف نیروگاهی اعم از بهره‌برداری‌های عادی و... جلوگیری می‌کنند. این نقش معادل نام محفظه است که در مورد این ساختمان به‌کار می‌رود و در غالب متون قابل‌شناسایی است.

۱۰-۲. کمک نمودن در جهت ممانعت از انتشار مواد رادیواکتیو به محیط

الزام پنجم از مجموعه ملزومات طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای متذکر می‌شود که طراحی باید به گونه‌ای باشد که میزان تابش به افراد و عموم مردم کمتر از محدوده‌های تعیین شده باشد [۴]. در این راستا، مانعت از انتشار تابش در شرایط بهره‌برداری از نیروگاه و در زمان‌های رخداد حوادث از دیگر نقش‌هایی است که باید

1- Containment
2- Containment Building
3- Liner

4- Continuous

سامانه‌های محفظه تضمین کننده آن باشد [۳]. همان‌گونه که در مطالب پیشین هم اشاره شد، مصالح استفاده شده در جداره محفظه باید مانع از این انتشار شوند. یکی دیگر از الزامات مورد نیاز در طراحی محفظه راکتور، پیوستگی و انسجام سازه‌ای آن است تا میزان انتشار مواد در موقعیت‌های مختلف نیروگاهی از مقادیر مجاز کمتر باشد [۳]. در این راستا، ساختار بیرونی ساختمان راکتور از پی تا سقف تداوم یافته است. در حقیقت، گنبد (و پی) ادامه بلافصل دیواره‌ها هستند. ماهیت بتن و فلز به‌عنوان دو مصالح اصلی به‌کار رفته در ساختار بیرونی محفظه راکتور به گونه‌ای است که می‌تواند پیوستگی لازم را به وجود آورد. از سوی دیگر، هم بتن و هم فلز در جذب اشعه‌های تابش شده در محیط داخلی و ممانعت از انتشار آن‌ها به محیط بیرونی مؤثر هستند. در واقع، گنبد به مثابه امتداد دیواره، یک لایه محافظ در برابر سرایت خطرات هسته‌ای به افراد، پرسنل و زیست‌محیط ایجاد می‌کند. ممانعت از انتشار مواد هسته‌ای در برخی از طرح‌های نیروگاهی وابسته به ساختار دوگانه آن در دیواره و سقف گنبدی شکل است. در این طرح‌ها، با استفاده از ساختارهای دوگانه (دیوار، فضای خالی، دیوار) فرصتی برای جمع نمودن گازها و مایعات حاوی رادیونوکلوئیدها در جهت فیلتر نمودن آن‌ها فراهم می‌آید [۳]. در این طرح‌ها، ساختار دوگانه گنبد هم در راستای همین نقش ظاهر می‌شود. به عبارت دیگر، فضای خالی پدید آمده در حد فاصل دو گنبد، امکان جمع‌آوری و فیلتر نمودن را فراهم می‌آورد. لازم به ذکر است که بر اساس الزامات آژانس، فضای حد فاصل جداره‌ها می‌بایست در صورت امکان یکپارچه باشد تا مواد نشت یافته از جداره اول هر چه بیشتر ترکیب و رقیق گردد [۳].

۱۰-۳. کمک نمودن در جهت کاهش آسیب پرتابه‌ها و دیگر عوامل محیطی به فضاهای داخلی

محافظت از سامانه‌ها، ساختارها و تجهیزاتی که حاوی مواد رادیواکتیو هستند در برابر حوادث بیرونی که منشأ طبیعی یا انسانی دارند، دیگر وظیفه‌ای است که بر عهده سامانه‌های محفظه است [۴]. اساساً یکی از مواردی که در ارزیابی‌های ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد، بحث حوادث بیرونی است که عبارتند از: سونامی، سیل یا آب‌گرفتگی، زلزله، فوران آتشفشان، برخورد هواپیما، گردباد و تندباد، آتش‌گرفتگی‌های خارج از سایت، انفجار ناشی از مواد قابل اشتعال بیرونی و ... [۲۳]. این خطرات که منشأ آن‌ها بیرون از سایت نیروگاه هست، می‌تواند ایمنی و امنیت نیروگاه (در هنگام تعمدی بودن خطر به ویژه در خصوص پرتابه‌ها) را به مخاطره بکشاند، بنابراین، ساختار فیزیکی ساختمان محفظه باید در برابر این خطرات مقاومت لازم را دارا باشند. در طرح‌های نیروگاهی و به ویژه آن‌ها که ساختار گنبدی شکل دارند، این وظیفه بر عهده جداره بتنی قرار می‌گیرد. در ساختارهای تک‌لایه، این وظیفه بر عهده تک‌جداره بتنی و در ساختارهای دولایه، این وظیفه بر عهده جداره بیرونی گذاشته می‌شود.

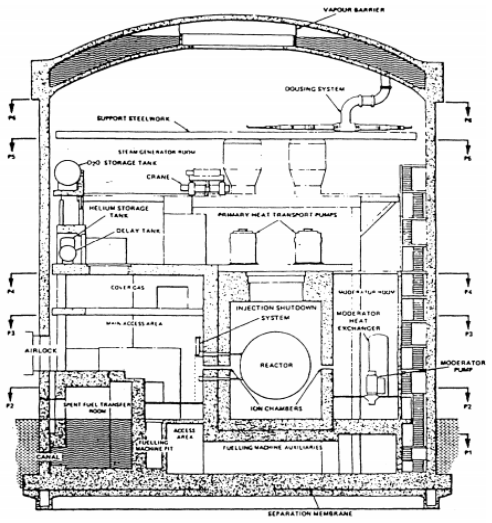
۱۰-۴. کمک نمودن در جهت کاهش آسیب‌های ناشی از حوادث داخلی

علاوه‌بر خطراتی که منشأ بیرونی دارند، برخی از حوادث داخل سایت و برخی از حوادثی که در درون خود ساختمان راکتور اتفاق می‌افتد نیز می‌توانند امنیت و ایمنی نیروگاهی را تحت تأثیر قرار دهند. از این دست حوادث می‌توان به حریق، انفجار مواد مشتعل، پرتاب‌های ناشی از انفجار، آب‌گرفتگی‌های ناشی از ترکیدن مدارها یا مخازن و... اشاره نمود [۲۳]. جداره بتنی ذکر شده در برابر این خطرات نیز می‌بایست مقاومت کند. این جداره از یک سو باید مانع از تسری خطرات یاد شده به ساختارها، سامانه‌ها و تجهیزات حاوی مواد رادیواکتیو شود و از سوی دیگر می‌بایست از تسری حوادث داخلی به بیرون از سایت جلوگیری نماید.

۱۰-۵. جا دادن به سامانه‌های فعال و غیر فعال ایمنی

امروزه، سامانه‌های ایمنی فعال و غیر فعال به بخش جدایی‌ناپذیر طرح‌های نیروگاهی پیشرفته بدل شده‌اند. این سامانه‌ها هم در طرح‌های پیشرفته نیروگاهی نظیر نیروگاه پیشرفته غیر فعال، نیروگاه تحت فشار اروپایی و... دیده می‌شود و هم در آیین‌نامه‌های هسته‌ای آژانس بر آن تأکید می‌شود. حضور برخی از این سامانه‌ها در ساختمان محفظه با ساختار گنبدی شکل آن رابطه دارد. بر اساس مدارک ایمنی آژانس اتمی می‌توان گفت که تضمین دادن اینکه در بخش بالایی ساختمان راکتور یک فضای منفرد خالی وجود دارد که می‌تواند کارایی اسپری نمودن ساختمان را در مواقع مورد نیاز افزایش دهد، یکی از الزامات چیدمان این ساختمان محسوب می‌شود. همچنین باید فضای خالی کافی و مسیرهای کافی برای سامانه‌های غیر فعال خنک نمودن راکتور وجود داشته باشد [۳]. در حقیقت، آیین‌نامه متذکر می‌شود که از بخش بالایی ساختمان یعنی فضای زیر گنبد برای استقرار سامانه اسپری استفاده شود. گفتنی است، استقرار این سامانه در فضای زیر گنبد فقط به طرح‌های پیشرفته نیروگاهی محدود نمی‌شود و در دیگر نیروگاه‌های تحت فشار نیز به‌کار رفته است. جدا از این مورد، در ساختمان راکتور مدل کندو ۶ از فضای پدید آمده در حد فاصل دو گنبد برای ذخیره نمودن آب و اسپری آن در مواقع حادثه استفاده می‌شود (شکل ۸). نمونه این طرح را می‌توان در نیروگاه‌های

امبالس آرژانتین، واحد ۲ نیروگاه گنتیلی در کبک کانادا، واحدهای ۱ و ۲ نیروگاه کرنـاودا[1] رومـانی، واحـدهای چهارگانـه نیروگـاه ولسآنگ[2] کره جنوبی، واحدهای دوگانـه فـاز ۳ نیروگـاه کینزهـان[3] چـین و... مشـاهده کـرد. گفتنـی اسـت ایـن وضـعیت بـه‌ویـژه در نیروگاه‌های تک واحدی مورد اسـتفاده قـرار گرفتـه اسـت. گـاه در نیروگاه‌های چند واحدی، این مخزن از ساختمان راکتور حذف و در بالای ساختمان وکیوم استقرار یافته است.



شکل (۸): طرح شماتیک نیروگاه مدل کندو ۶ [۱۷]

یکی دیگر از رابطه‌های ساختارهای گنبدی شـکل بـا سـامانه‌هـای فعال و غیر فعـال در سـاختارهای دولایـه رقـم مـی‌خـورد. در ایـن ساختارها همان‌گونه‌که قبلاً نیز اشـاره شـد، از فضـای خـالی پدیـد آمده در حد فاصل دو جداره بـرای جمـع نمـودن گازهـا و مایعـات نشت نموده استفاده می‌شود. در حقیقت، این سـاختارها بخشـی از سامانه جمع‌آوری و فیلتر محسوب می‌شـوند. اسـتفاده از ایـن فضـا برای خنک نمودن جداره فلزی به‌صورت غیر فعال هم یکی دیگر از مواردی است که می‌توان در نیروگاه‌هـای پیشـرفته نظیـر نیروگـاه پیشرفته غیر فعال ۶۰۰، ۱۰۰۰ و یا مدل‌هـای چینـی آن (۱۰۰۰ و ۱۴۰۰) مثال زده شود.

۱۰-۶. کاهش فشار و دما

ساختمان راکتور در سامانه تحت فشار (به ویژه در نوع تحـت فشـار خشک[4]) به گونه‌ای طراحی می‌شود که گنجایش انرژی تمام سـیال استفاده شده در مـدار خنـک کننـده اصـلی را داشـته باشـد. ایـن وضعیت نیازمند بزرگ بودن ساختمان راکتور اسـت. در گونـه‌هـای دیگری از این سامانه سعی می‌شود با استفاده از چگالنده‌های یخـی و فشار کمتر از اتمسفر، نیاز به حجم زیاد ساختمان را کاهش دهند [۱۷]. از آنجا که ساختار گنبدی شکل ساختمان راکتور از فضاهای زیرین آن مجزا نمی‌شود و در آیین‌نامه‌های هسته‌ای آژانس هـم بـر اطمینان یافتن از وجود فضـای خـالی کـافی در سـاختمان راکتـور تأکید می‌شود [۳]، پس فضای حاصل آمده در زیر ساختار گنبـدی شکل می‌تواند در کاهش فشار ناشی از حـوادثی همچـون از دسـت دادن خنک کننده مؤثر باشد. از آنجا که ایـن هـوای فشـرده شـده، دمای بسیار زیادی هم دارد، افزایش سطح و حجم سـقف بـه علـت استفاده از گنبـد مـی‌توانـد در کـاهش دمـا نیـز مـؤثر قـرار گیـرد. همچنـین هندسـه گنبـد از ایجـاد فشـارهای نـاموزون جلـوگیری می‌کند.

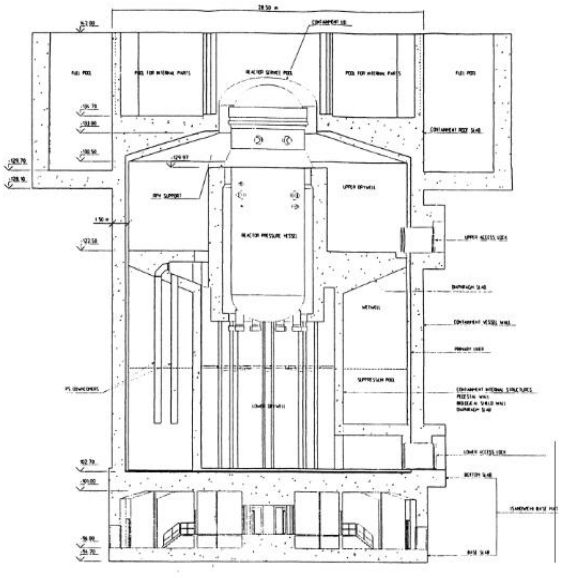
۱۱. بحث

یافته‌های تحقیق مؤید آن است که ساختارهای گنبدی شکل به‌کار رفته در ساختمان راکتور نیروگاه هسته‌ای، نقش به‌سزائی در ایمنی و امنیت دارند. با این حال، در برخی از موارد، نقش ایـن سـاختارها در ایمنی و امنیت به فرم گنبدی شکل ساختار وابسته نیست، بلکـه بیشتر به جـنس مصـالح و پیوسـتگی آن، ضـخامت جـداره، تعـداد لایه‌ها و... وابسته است. به‌عنوان مثـال، نقـش‌هـایی همچـون دربـر گرفتن، احاطه و ایزولـه نمـودن سـامانه‌هـا، سـاختارها و تجهیـرات حاوی مواد رادیواکتیو یا ممانعت از انتشار مواد رادیواکتیو به محیط، به فرم این ساختارها بستگی ندارد؛ کمااینکه در ساختمان‌های فاقد این ساختار هـم بـه‌نـوعی ایـن نقـش‌هـا ایفـا مـی‌گـردد. مـثلاً در نیروگاه‌های آب‌جوشان پیشرفته نظیر نیروگـاه‌هـای سـوئدی، فـرم گنبدی شکل وجود ندارد، اما یک ساختار فلزی/ بتنـی در گرداگـرد راکتور عهده‌دار همین نقش‌هاست. واحد ۳ نیروگاه اسـکارس‌هـامن سوئد نمونه‌ای از این طرح‌ها است که فاقد سـاختار گنبـدی شـکل بوده، اما نقش محفظه را به واسطه جداره بتنی و فلزی خـود انجـام می‌دهد. به عبارت دیگر، سقف‌هـای مسـطح هـم مـی‌تواننـد دربـر گیرنده سامانه‌های حاوی مواد رادیواکتیو باشـند و از انتشـار آن‌هـا جلوگیری کنند (شکل ۹).

از سـوی دیگـر، فـرم مـی‌توانـد در کـاهش یـا افـزایش مقاومـت ساختمان‌های نیروگاهی در برابر حوادث خارجی مؤثر باشد. مثلاً بر اساس یک تحقیق انجام شده، دیوارهایی که دارای انحناء بـه‌سـمت داخل هستند و نیز دیوارهـای پلـه‌ای، مقاومـت بیشـتری در برابـر برخورد هواپیما دارند [۲۴]. پس در بحث آسـیب ناشـی از حـوادث داخلی و خارجی، تحقق ایمنی و امنیت می‌تواند تا حدودی به فـرم

1- Cernavoda
2- Wolseong
3- Qinshan
4- Dry PWR

گنبدی شکل هم نسبت داده شود؛ هر چند این بحث نیازمند تحقیقات تجربی تکمیلی است. با این وجود بیشترین تأثیر فرم این ساختارها را باید به جا دادن سامانه‌های فعال و غیر فعال به انضمام کاهش فشار و دما نسبت داد. چرا که در این موارد، فرم گنبدی با فراهم آوردن سطح، حجم و جرم بیشتر (در مقایسه با سقف‌های مسطح)، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در رهایی از خطر داشته باشد. به‌عنوان مثال فرم گنبدی در مقایسه با فرم مسطح سقف باعث شکل‌گیری حجم بیشتر در زیر گنبد می‌شود و همین حجمِ بیشتر به رقیق شدن بیشتر هوای داخل ساختمان و کاهش فشار در زمان از دست رفتن مدار خنک کننده اصلی منجر می‌شود. همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره شد، این مورد به ویژه در نیروگاه‌های تحت فشار خشک یکی از الزامات مهم طراحی محسوب می‌شود. از دیگر مواردی که فرم گنبدی شکل به ایمنی کمک می‌کند، تقویت جریان‌های طبیعی انتقال هوا است که به ویژه در نیروگاه‌های پیشرفته غیر فعال به‌کار رفته است (شکل ۴). همچنین این فرم جریان و توزیع آب خنک کننده سامانه غیر فعال را بر روی گنبد فلزی این نیروگاه‌ها تسهیل می‌کند.



شکل (۹): طرح شماتیک واحد ۳ نیروگاه اسکارس‌هامن سوئد [۱۷]

۱۲. نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های تحقیق و در پاسخ به سؤال چیستی ساختارهای گنبدی شکل به‌کار رفته در نیروگاه‌های هسته‌ای، می‌توان گفت که این ساختارها در ساختمان راکتور به دو صورت نمایان و غیر نمایان به‌کار رفته‌اند. همچنین به لحاظ تعدد لایه‌ها هم می‌توان گفت که این ساختارها به دو صورت تک‌لایه یا دولایه و با استفاده از بتن (پیش‌تنیده یا مسلح) و فولاد ایجاد شده‌اند. همچنین در پاسخ به نقش آن‌ها در ایمنی و امنیت می‌توان گفت که این ساختارهای گنبدی شکل به سه شکل در فراهم آوردن شرایط امن و ایمن مؤثر هستند. در شکل اول، این ساختارها نه به واسطه فرم، بلکه به خاطر نوع مصالح و پیوستگی آن به انضمام ضخامت و ...، ضمن اینکه فضایی امن و ایمن برای سامانه‌ها، ساختارها و تجهیزات حاوی مواد رادیواکتیو فراهم می‌آورند، از انتشار این مواد هم جلوگیری می‌کنند. در حقیقت در این شکل، ساختارهای گنبدی بخشی از ساختار محفظه بوده و می‌توانند با فرم مسطح هم ایجاد شوند. در شکل دوم، این ساختارها بسته به نوع نیروهای وارده، هم به واسطه فرم و هم به واسطه مصالح و ضخامت آن در برابر آسیب‌های وارد مقاومت می‌کنند. به عبارت دیگر در این شکل، فرم در کنار ویژگی‌های دیگری از جمله ضخامت سقف به ایمنی و امنیت کمک می‌کند. در شکل سوم، فرم بیشترین تأثیر را دارد، به نحوی که می‌توان گفت عملاً فرم است که می‌تواند ازطریق افزایش سطح، حجم و جرم یا با تسهیل جریان سیالات، شرایط امن و ایمن را تحت تأثیر خود قرار دهد. در این حالت می‌توان گفت که اساسی‌ترین نقش فرمی این ساختارها در ایمنی و امنیت، کاهش فشار و دما به انضمام جا دادن به سامانه‌های فعال و غیر فعال مرتبط با این موضوع است. با این حال، نظر به ماهیت نظری بحث حاضر باید گفت که برای تقویت یافته‌ها و نتایج به‌دست آمده به پژوهش‌های تجربی و شبه تجربی دیگری نیاز است.

۱۳. منابع

۱. مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان، تهران: انتشارات وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.

۲. گودینی، جواد، وفامهر، محسن، راه‌کارهای مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی در طرح معماری مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی، *شهر/یمن*، دوره اول، شماره ۳، صص. ۱-۱۴، ۱۳۹۷.

3. IAEA Safety Series No. NS-G-1.10, “Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants,” IAEA, 2004.
4. IAEA Safety Series No. NS-R-1, “Safety of Nuclear Power Plant: 1- Design,” IAEA, 2016.
5. INSAG 12, “Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants,” IAEA, Vienna, 1999.
6. IAEA Safety Series No. SF-1, “Fundamental Safety Principle,” IAEA, 2006.
7. Rosatom, “The VVER today: Evolution, Design, Safety,” https://www.rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf, Accessed at 9/7/2019.
8. S. Suzuki, S. Shimizu, S. Terada, M. Kanda, K. Tanaka, and H. Kawahara, “Safe, Reliable, Economical Advanced Pressurized Water Reactor for European Market,” Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, vol. 46, no. 1, pp. 16-19, 2009.

9. P. Basu, P. Labbe, D. J. Naus, “Nuclear Power Plant Concrete Structures,” SMiRT 22 (22nd Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Tech.), San Francisco, 18-23 August 2013.
10. http://large.stanford.edu/courses/2017/ph241/katz1/docs/basu-smirt-22-aug13.pdf, [Accessed Sept. 20, 2019]

۱۱. اسدی ملک‌جهان، فرزانه، مدل‌سازی معماری نیروگاه‌های هسته‌ای آب سبک تحت فشار به‌منظور ارائه ضوابط و معیارهای طراحی با تأکید بر ملاحظات ایمنی و زینهاری، رساله دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۱۳۹۳.

۱۲. ابراهیمی، مهسا، چیدمان مجموعه و طراحی ساختمان‌های راکتور تحقیقاتی ۲۰ مگاواتی ازطریق تدوین الزامات، ضوابط و معیارهای معماری راکتورهای تحقیقاتی استخری، رساله دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۱۳۹۳.

۱۳. بهرامی‌پناه، امیر، طراحی چیدمان، سازماندهی فضایی و ارتباط مناسب بین ساختمان راکتور، ساختمان‌های سامانه ایمنی و ساختمان سوخت در یک نیروگاه APWR، رساله دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۱۳۹۴.

۱۴. بهرامی‌پناه، امیر، محمودزاده‌کنی، ایرج، یوسف‌پور، فرامرز، راه‌کارهای طراحی معماری به‌منظور افزایش ایمنی نیروگاه‌ها در برابر پدیده‌های طبیعی، محیطی و رخدادهای درونی، باغ نظر، شماره ۳۲، سال دوازدهم، صص. ۱۰۳-۱۱۶، ۱۳۹۴.

۱۵. گودینی، جواد، وفامهر، محسن، پاسخ‌گویی همزمان به ایمنی و امنیت در فرآیند طراحی معماری مجموعه‌های صنعتی با ایده دفاع عمقی، *پدافند غیرعامل*، شماره ۸، صص. ۹۵-۱۰۶، ۱۳۹۶.

16. IAEA Safety Glossary, “Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection,” IAEA, 2016.
17. INSAG 10, “Defense in-depth in Nuclear Safety,” IAEA, Vienna, 1996.
18. TGCS, Task Group Containment Structures, “Nuclear Containments,” Int. Federation for Structural Concrete (fib), 2001.
19. M. Ragheb “Containment Structures,” https://www.mragheb.com, Accessed at 9/7/2019.
20. NRC, united states nuclear regulatory commission, “Glossary,” Available on https://www.nrc.gov. [Accessed Sept. 20, 2019]
21. W. G. Morison, W. J. Penn, K. Hassmann, J. D. Stevenson, and K. Elisson, “Containment Systems Capability,” Nuclear Journal of Canada, vol. 1, no. 1, pp. 53-68, 1987.
22. industrial-electronics website, “Building structure for nuclear plants (Part 1),” Available on http://www.industrial-electronics.com., [Accessed Sept. 20, 2019]
23. J. D. Stevenson, “Practical Nuclear Power Plant Containment Designed to Resist Large Commercial Aircraft Crash and Postulated Reactor Core Melt,” SMiRT 19 (19th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Tech.), Toronto, 12-17 August, 2007. https://pdfs.semanticscholar.org/627e/d0cde778f3883ca6cbfd632987dd7b7be5b7.pdf, [Accessed Sept. 20, 2019]
24. IAEA Safety Series No. SSG-12, “Licensing Process for Nuclear Installations,” IAEA, 2010.
25. H. Ghafoorifard, S. R. Eghbali, and F. Asadi Malekjahan. “Evaluation of Different Geometric Shapes of the Target Buildings in PWR Nuclear Power Plant for Aircraft Impact,” Indian J. of Fundamental and Applied Life Sciences, vol. 4, pp. 1363-1370, 2014.

Reflection on the Reasons of Using Dome-Formed Structures in Industrial Buildings (case study: Reactor Building of Nuclear Power Plants)

J. Goudini*

Abstract

This article mentions that safety and security have been the most important concerns in the design process of nuclear power plants. Surveying the building form of these complexes shows that most of them have a dome-formed structure in their design. Therefore, the goal of this study is to specify why this form is prevailing in the design of nuclear power plants. The research method is based on the theoretical survey of the relevant standards and also the experimental survey of the existing power plant design. The results have indicated that confining the radioactive materials inside the building, preventing any leakage, avoiding the internal and external hazards, accommodating the active and passive safety systems, as well as reducing the pressure and temperature of internal air in LOCA events are the main intended safety/security functions of these one or two layered dome-formed structures, only some of which are actually realized.

Key Words: *Architecture Design, Nuclear Power Plants, Dome-Formed Structures, Safety, Security*

* Razi University (j.goudini1980@yahoo.com)- Writer-in-Charge