نشریه‌ی علمی-پژوهشی شهر ایمن
JOURNAL OF SECURE CITY
(JSC)

راهکارهای مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی در طرح معماری مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی

جواد گودینی[1*]؛محسن وفامهر[2]؛

۱- استادیار گروه معماری، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- دکتری تخصصی معماری با گرایش فناوری؛ استاد دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران

دریافت مقاله:۱۳۹۷/۱۲/۱۰ ؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۰

واژگان کلیدی

طراحی معماری، مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی، راهکارهای طراحانه معماری، ایمنی، امنیت

چکیده

رسیدن به ایمنی و امنیت، از مهمترین دغدغه‌هایی است که طراحان در فرآیند طراحی مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی با آن مواجه هستند. تعدد خطرات محتمل در این مجموعه‌ها بانضمام سنگین‌بودن تلفات مالی و جانی ایجاب می‌کند که تلاش‌های طراحان معطوف به افزایش ضریب ایمنی/امنیتی گردد. بااین‌وجود، نوشتار حاضر مؤید آن بوده که ادبیات نظری منسجمی درخصوص طراحی معماری مجموعه‌های صنعتی بالاخص مجموعه‌های نیروگاهی وجود ندارد. لذا نوشتار حاضر به استخراج راهکارهای ایمنی/امنیتی موردنیاز در طراحی معماری این مجموعه‌ها پرداخته است. این تحقیق، ماهیتی توصیفی-تحلیلی داشته و سعی نموده تا ازیک‌سو به‌واسطه استنتاج‌های عقلی به‌عمل آمده بر روی آئین‌نامه‌ها و ازسوی‌دیگر با بررسی تجربی راهکارهای به‌کاررفته در طرح مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی بتواند به شناسایی راهکارهای طراحانه مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی نائل آید. یافته‌ها مؤید آن بوده که ساده‌سازی، جداسازی، کوچک‌سازی، تنوع و تعدد، پراکندگی، یکپارچگی، تأکید بر طرح‌ها و تجربه‌های موفق پیشین و دفاع عمقی مهمترین راهکارهایی هستند که هم در طرح معماری مجموعه‌های نیروگاهی موجود و هم در آئین‌نامه‌های مرتبط با آنها به‌منظور افزایش ضریب ایمنی/امنیتی مورد تأکید قرار گرفته‌اند.

۱-۱-بیان مسأله

اصطلاح «معماری صنعتی»[1] علیرغم اینکه در ادبیات معماری ایران جایگاه چندانی ندارد و یکی از زمینه‌های پژوهشی بکر محسوب می‌شود، اما درعین‌حال براساس دو دیدگاه کاملاً متفاوت تبیین شده است. در دیدگاه نخست، این عبارت بر فناوری‌های پیشرفته ساختمانی و در دیدگاه دوم، بر کاربری صنعتی دلالت دارد (گودینی و وفامهر، ۱۳۹۶: ۹۶). در تحقیق حاضر، دیدگاه دوم مدنظر بوده و برای جلوگیری از مطرح‌شدن این چالش، از عبارت «معماری مجموعه‌های صنعتی» استفاده می‌شود. اساساً صنعت هم‌خانواده تصنع، صناعت و مصنوع بوده و در فرهنگ‌لغات فارسی[2] بر هنر، پیشه و ساخت دلالت دارد. این واژه به عملکرد هر یک از مراکز یا رشته‌های تولیدی اعم‌از کارخانه‌ها و کارگاه‌ها نیز اطلاق شده است. صنعت در فرهنگ‌لغات انگلیسی[3] معادل *Industry* بوده و عمدتاً به ساخت محصولات جدید با استفاده از ماشین، در کارخانه‌ها یا محل‌های مشخص اشاره دارد. مقایسه این تعاریف مؤید آن

[1] Industrial Architecture

[2] دهخدا، معین و عمید

[3] کمبریج، آکسفورد و مریام-وبستر

* نویسنده مسئول؛ آدرس: کرمانشاه، دانشگاه رازی کرمانشاه، گروه معماری؛ تلفن ۰۹۱۲۵۵۰۹۵۲۱؛ ایمیل *j.goudini1980@yahoo.com*

است که صنعت به‌لحاظ معنایی معادل تولید است. ازسوی‌دیگر، تولید در لغت[۴] به پرورش‌دادن، ایجادکردن، استخراج، خلق‌کردن و غیره اشاره دارد. این مفهوم بر جریانی دلالت دارد که دروندادها را ازطریقِ فرآیندهای تولیدی به بروندادها یعنی کالاها و خدمات تبدیل می‌کند (لیندبک، ۱۳۷۶: ۵؛ *Kumar& Suresh, 2009: 3*). بنابراین مجموعه‌های صنعتی به مراکزی اطلاق می‌شود که کارکردی تولیدی داشته و برونداد آنها کالا یا خدمات است. در این حالت، «معماری مجموعه‌های صنعتی» به نوعی از معماری اطلاق می‌شود که در خدمت نیازمندی‌های فضایی/کالبدی تولید است. این تعریف، گستره وسیعی از واحدهای صنعتی (کارخانجات، مراکز کارگاهی/تولیدی، پتروشیمی‌ها، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها و...)، مجتمع‌ها، شهرک‌ها و نواحی، خوشه‌ها، قطب‌ها ،... و محورهای صنعتی را ذیل خود قرار می‌دهد. فارغ از گونه‌ها و مقیاس‌های مختلف تولیدی بانضمام پراکنش جغرافیایی زیاد این مجموعه‌های صنعتی، حوادث و خطرات احتمالی در آنها نیز متعدد بوده و درصورت رخداد حادثه با تلفات مالی یا جانی زیادی همراه است.[۵]لذا ایمنی و امنیت از مهمترین دغدغه‌های طراحان در فرآیند طراحی مجموعه‌های صنعتی است. نیروگاه‌ها به‌مثابه یکی از این مجموعه‌های صنعتی، گونه‌های مختلفی داشته[۶] و از تعدد زیادی برخوردار است. مضاف‌براینکه مقیاس فضایی/کالبدی و طبیعتاً حجم سرمایه‌های انباشته در آنها قابل‌توجه است. همین انباشت سرمایه است که نیروگاه‌ها را به یکی از اهداف حملات هوایی، خرابکارانه و... بدل می‌سازد.[۷] علاوه‌براین، پیچیدگی‌های فنی و حساسیت‌های مرتبط با نیروگاه سبب می‌شود که پیامدهای حوادث احتمالی آنها افزایش یابد. حوادث هسته‌ای در نیروگاه چرنوبیل اکراین و تری مایل آیلند[۸] در آمریکا نمونه‌ای از مواردی است که می‌تواند به‌تنهایی گویای اهمیت ضریب ایمنی/امنیتی در این مجموعه‌های صنعتی باشد. نکته دیگر آنکه، نیروگاه‌ها درزمره ساختمان‌ها و تأسیسات بااهمیت قرار می‌گیرند؛ بدین معنا که، وقفه در بهره‌برداری از آنها (به‌علت وقوع خطرات احتمالی)، می‌تواند به‌طور غیرمستقیم هم به افزایش تلفات منجر شود. به همین خاطر است که در آئین‌نامه‌های مختلف ساختمانی، نیروگاه‌ها را در رده ساختمان‌های با خطرپذیری بالا قرار می‌دهند (مقرارت ملی ساختمان ایران، م۶، ۱۳۹۲: ۹). ازسوی‌دیگر، طراحی معماری به‌عنوان یکی از بخش‌های درگیر در طراحی نیروگاه‌ها می‌تواند در کاهش یا افزایش ضریب ایمنی/امنیتی این مجموعه‌ها مؤثر باشد.[۹]بااینحال، کم‌بودن و عدم انسجام تولیدات نظری ایران درخصوص معماری این مجموعه‌ها، شناسایی راهکارهای معمارانه مؤثر در افزایش ضریب ایمنی/امنیتی نیروگاه‌ها را دشوار می‌سازد.

۱-۲-سوال تحقیق

راهکارهای طراحانه به‌کاررفته در معماری مجموعه‌های نیروگاهی و راهکارهای تأکیدشده در آئین‌نامه‌های نیروگاهی که بر افزایش ضریب ایمنی/امنیت آنها مؤثر هستند، کدامند؟

۱-۳-پیشینه تحقیق

مهمترین پیشینه‌هایی که به بحث ایمنی و امنیت در معماری مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی معطوف شده‌اند رساله‌های دکتری است که از سال ۱۳۹۳ در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) تدوین شده‌اند و با موضوعاتی همچون ایمنی، امنیت و پدافند غیرعامل درارتباط‌اند. اسدی ملک‌جهان اولین تحقیق از این دسته است که به مبحث ایمنی/امنیتی در نیروگاه‌های هسته‌ای آب سبک تحت‌فشار پرداخته و سعی نموده تا ضوابط و معیارهایی برای

---

[۴] دهخدا، معین، عمید، حییم، لانگمن، کمبریج و مریام-وبستر.

[۵] به‌عنوان‌مثال و در ایران، آتش‌سوزی ساختمان پلاسکو به‌مثابه یکی از مجموعه‌های تولیدی، با تلفات مالی و جانی قابل‌توجهی همراه بوده است.

[۶] نیروگاه‌های هسته‌ای، حرارتی (سیکل بخار، سیکل گاز و سیکل ترکیبی)، برقابی، بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی، زیست‌توده و... از مهمترین گونه‌های نیروگاهی محسوب می‌شوند

[۷] به‌عنوان‌مثال، نیروگاه‌های ایران یکی از اهداف حملات هوایی عراق درطولِ جنگ تحمیلی بوده است. بنابر آمار وزارت نیرو غالب تأسیسات این صنعت مورد حمله قرار گرفته و در مجموع چیزی نزدیک به ۲۲۰۰ مگاوات از ظرفیت نیروگاهی، خطوط و پست‌ها آسیب دیده‌اند (شرکت مادر تخصصی توانیر، ۱۳۹۱: ۴).

[۸] Three Mile Island

[۹] به‌عنوان‌مثال، فرم یکی از اجزاء معماری است که می‌تواند در کاهش یا افزایش مقاومت دربرابر حوادث ناشی از انفجار مؤثر باشد. این نکته در بخش پیشینه تحقیق با جزئیات بیشتری ارائه شده است.

طراحی این مجموعه‌های صنعتی تدوین نماید. ضوابط ارائه‌شده توسط اسدی صرفاً به موضوع ایمنی و امنیت نیروگاه دربرابر حوادث سیل، انفجار، حریق و سقوط هواپیما اختصاص یافته است. او در بخشی از تحقیق خود به ارزیابی ساختمان‌های هدف نیروگاه هسته‌ای تحت‌فشار با ده فرم هندسی و در برابر برخورد هواپیمای فانتون پرداخته است. ارزیابی او که بر روی دیوارهای بیرونی این ساختمان‌ها صورت گرفته، مؤید آن است که دیوارهای پلکانی و دیوارهایی که به‌سمت داخل انحناء یافته‌اند، دارای مقاومت بیشتری در برابر خطرات یادشده هستند (اسدی ملک‌جهان، ۱۳۹۳؛ *Ghafoorifard et al, 2014*). ابراهیمی (۱۳۹۳)، در ادامه این بحث، سعی نموده تا الزامات موردنیاز برای چیدمان و طراحی ساختمان‌های راکتور تحقیقاتی ۲۰مگاواتی را شناسایی نماید. کلیت فعالیت‌های تحقیقاتی او نیز مشابه ارزیابی‌های اسدی است. بهرامی‌پناه، هم به بررسی چیدمان و سازماندهی فضایی سه ساختمان اصلی نیروگاه آب تحت‌فشار پیشرفته[۱۰] یعنی ساختمان راکتور، ساختمان‌های ایمنی و ساختمان سوخت پرداخته است. رسیدن به راهکارها و اصول مؤثر در طراحی معماری ساختمان‌های نیروگاه، به‌منظور جلوگیری از ایجاد حوادث و خطرات بانضمام محدودکردن پیامدهای آنها، بخشی از تحقیقات بهرامی‌پناه محسوب می‌شود. بهرامی‌پناه، اتخاذ تدابیر ایمنی و پیشگیرانه در مقابل خطرات تهدیدکننده نیروگاه را یکی از اصول مهم طراحی بیان نموده است. او، با تقسیم‌بندی حوادث به دو حوزه حوادث خارجی (نظیر زلزله، سیل، آتش‌سوزی و...) و حوادث داخلی (نظیر انفجارهای داخلی، سیل‌گرفتگی در داخل ساختمان‌ها و...)، به بررسی راهکارهای معماری به‌کاررفته در ساختمان‌های مذکور پرداخته است. 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 (بهرامی‌پناه، ۱۳۹۴؛ بهرامی‌پناه و دیگران، ۱۳۹۴). فرهمندیان نیز در رساله دکتری خود (۱۳۹۴) به کشف اصول پدافند غیرعامل در طراحی ساختمان‌های صنعتی نیروگاهی پرداخته و پیشنهاداتی برای بهبود آن در نیروگاه‌های حرارتی سیکل ترکیبی ارائه کرده است. دقت‌نظر در پیشینه‌های فوق نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از آنها به استخراج همزمان راهکارهای طراحانه مؤثر بر ضریب ایمنی/امنیتی مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی نپرداخته‌اند. به‌عبارت‌دیگر، محدوده بررسی‌های پیشینه‌های تحقیق ساختمان‌های مشخصی است که در مقایسه با تحقیق حاضر جزئی تلقی می‌گردد.

۱-۴-روش تحقیق

این تحقیق، ماهیتی توصیفی-تحلیلی دارد و سعی می‌کند ازیک‌سو به‌واسطه استنتاج‌های عقلی به‌عمل آمده بر روی آئین‌نامه‌ها و ازسوی‌دیگر با بررسی تجربی راهکارهای به‌کاررفته در طرح مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی بتواند به شناسایی راهکارهای طراحانه مؤثر بر ایمنی و امنیت نائل آید. برای این منظور، ابتدا به تعریف و مقایسه ویژگی‌های مستتر در مفاهیم ایمنی و امنیت می‌پردازد و سپس به شناسایی و دسته‌بندی راهکارهای طراحانه‌ای می‌پردازد که در طرح مجموعه‌های نیروگاهی به‌کاررفته و بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی مجموعه مؤثر هستند.

۲-ایمنی و امنیت در مجموعه‌های صنعتی

ایمنی در لغت[۱۱] به مصونیت؛ ایمن‌بودن؛ سلامت، حفاظت، حمایت، کامرانی و سعادت معنا شده است. در فرهنگ‌لغت‌های انگلیسی[۱۲] این واژه معادل *Safety* بوده و به شرایط عاری از خطر، صدمه یا آسیب اطلاق شده است. دقت‌نظر در تعاریف زیر که برگرفته از آئین‌نامه‌های سازمان‌های مختلف است نشان می‌دهد که آنها نیز بر همین «شرایط عاری از خطر» تأکید نموده‌اند:

- در مقررات ملی ساختمان ایران، تعریف ایمنی عبارت است از "الف: مصون و محفوظ‌بودن، سلامت و بهداشت کلیه کارگران و افرادی که به‌نحوی در محیط کارگاه با عملیات

[۱] APWR, Advanced pressurized Water Reactor

[۱۱] فرهنگ‌لغت دهخدا

[۱۲] آکسفورد و وبستر

ساختمانی ارتباط دارند.

ب: مصون و محفوظ‌بودن، سلامت و بهداشت کلیه افرادی که در مجاورت یا نزدیکی کارگاه ساختمانی، عبورومرور، فعالیت یا زندگی می‌کنند.

ج: حفاظت و مراقبت از ابنیه، خودروها، تاسیسات، تجهیزات، و نظایر آن در داخل یا مجاورت کارگاه ساختمانی.

د: حفاظت از محیط‌زیست در داخل و مجاور کارگاه ساختمانی" (مقررات ملی ساختمان ایران، ۱۳۸۸، م۱۲: ۳).

- مؤسسه استاندارد بین‌المللی، ایمنی را یک معیار کیفی ارزیابی می‌نماید که در آن احتمال وقوع خطر یا صدمه تا حد قابل قبولی کاهش می‌یابد (*ISO 8402, 1994: 27*).

- ایمنی به‌صورت ضمنی دلالت دارد بر ثبات، تداوم و اطمینان خاطر از فعالیت‌های درحال‌انجام و ساختارهای فیزیکی موجود. بدین‌سان ایمنی، متضمن حصول شرایط یادشده است (*Oakes, 2014*).

امنیت نیز در لغت به بی‌بیمی و بی‌خوفی اشاره دارد. به‌عبارت‌دیگر امنیت به شرایط امن اطلاق شده است. این لغت در زبان انگلیسی عمدتاً با واژه *Security* معادل دانسته می‌شود. در این زبان،[۱۳] امنیت به حفاظت از اشخاص، ساختمان‌ها، سازمان‌ها و کشورها در برابر تهدیداتی نظیر جرم و یا حمله گفته شده است. در حوزه فناوری اطلاعات، امنیت به مجموعه‌ای از تدابیر، روش‌ها و ابزارها برای جلوگیری از دسترسی و تغییرات غیرمجاز در نظام‌های رایانه‌ای و ارتباطی اطلاق می‌شود (هاتف، ۱۳۸۸: ۹۹).

مقایسه معنایی ایمنی و امنیت نشان می‌دهد که هر دوی آنها بر «شرایط عاری از خطر» تأکید دارند. این شرایط در مجموعه‌های مختلف من‌جمله مجموعه‌های صنعتی با پنج ویژگیِ کلیت شرایط، تدابیر، ماهیت خطر، تداوم یا ثبات بانضمام عوامل محافظت‌شونده، تعریف می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، ایمنی در مجموعه‌های صنعتی بر شکل‌گیری شرایطی پایدار دلالت دارد که ازطریقِ تدابیر ویژه صورت می‌پذیرد و سعی دارد تا متغیرهای پرسنل، مجموعه صنعتی، محیط طبیعی، مردم و مجموعه‌های همجوار متحمل خسارت نشده یا میزان این خسارت کاهش یابد (گودینی و وفامهر، ۱۳۹۶: ۹۸-۹۹). علیرغم شباهت‌های ذکرشده برای ایمنی و امنیت، تحقق شرایط ایمن و امن در مجموعه‌های صنعتی با یکدیگر تفاوت‌هایی هم دارد. در اسناد صنایع حمل‌ونقل ریلی، مرز امنیت از ایمنی تعمدی بودن خطراتِ ایجادشده است (عدالت حقی و نادرپور، ۱۳۸۵: ۱۳۰). انجمن امنیت صنعتی آمریکا نیز تفاوت این دو واژه را به عامل ایجادکننده خطر نسبت می‌دهد و معتقد است که تحقق امنیت مستلزم رهایی‌یافتن از خطراتی است که منشأ یا منبعی بیرونی دارند (*www.asisonline.org*). پس امنیت در مجموعه‌های صنعتی، به حفاظت در برابر خطرهایی اطلاق می‌شود که ازیک‌سو منشاء انسانی دارند و ازسوی‌دیگر تعمدی هستند.

۳-ایمنی و امنیت در مجموعه‌های نیروگاهی

ازآنجاکه خطر یکی از ویژگی‌های مرتبط با ایمنی و امنیت است، پس دغدغه‌ها یا راهکارهای ایمنی/امنیتی در مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی با ماهیت خطر تغییر می‌یابد. به‌عنوان‌مثال، حوادث مرتبط با حریق، انفجار مواد شیمیایی و ...، هرکدام ماهیت متفاوت داشته و الزاماً راهکارهای مختص به خود را طلب می‌کنند. ازسوی‌دیگر میزان خطر نیز می‌تواند بر چندوچون دغدغه‌های ایمنی/امنیتی تأثیرگذار باشد. به‌عنوان‌مثال، ایمنی یا امنیت هسته‌ای که امری مرتبط با نیروگاه‌های هسته‌ای است، دغدغه‌ای به‌مراتب شدیدتر از ایمنی طرح[۱۴] یا ایمنی بهره‌برداری[۱۵] نیروگاه‌های حرارتی در برابر زلزله است؛ چراکه براساس تعاریف مندرج در مدارک آژانس هسته‌ای، ایمنی مجموعه اقداماتی است که برای محافظت پرسنل، عموم مردم و زیست‌محیط در برابر اشعه‌های یونساز به‌عمل می‌آید. این مجموعه اقدامات شامل کنترل افراد در برابر تابش، پایین‌آوردن احتمال حوادث و محدودنمودن عواقب آن می‌شود (*IAEA, 2016a: 4; 2006: 5*). پس از آنجاکه این اشعه‌های یونساز فرامرزی بوده و آثار آنها گاهاً فرازمانی هم هستند؛ پس پیامدهای ناشی از خطر می‌تواند بسیار مهلک باشد. ازسوی‌دیگر امنیت هسته‌ای هم که به

---

[۱۳] فرهنگ لغت کمبریج

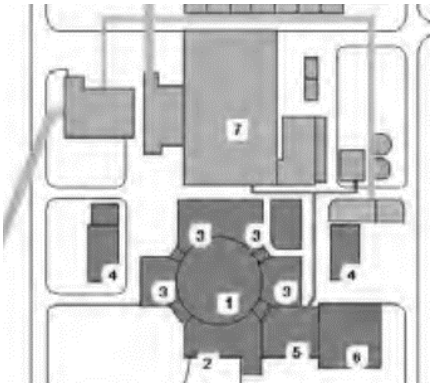
[۱۴] خرابی محدود در ساختمان‌ها بدون وقوع انهدام و آوار و ناپایداری پس از وقوع زلزله، به‌طوریکه جراحات و صدمات جانی و تخریب تجهیزات به حداقل ممکن برسد (دفتر نظام فنی اجرایی، ۱۳۸۸: تعاریف).

[۱۵] سالم‌ماندن تجهیزات، بروز وقفه محدود در عملکرد سامانه‌ها و بازگشت به مدار با وقفه‌ای قابل قبول پس از وقوع زلزله (همان).

جلوگیری از اقدامات خرابکارانه مرتبط با مواد و تأسیسات هسته‌ای اطلاق می‌شود (*IAEA, 2016b: 116*) عواقب بسیار خطرناکی دارد. پس امنیت این نیروگاه‌ها هم دغدغه‌ای پیچیده‌تر از دیگر نیروگاه‌هاست. به شیوه دیگر می‌توان استدلال نمود که بررسی آئین‌نامه‌های مرتبط با نیروگاه‌های هسته‌ای نشان می‌دهد که در همه آنها واژه‌های ایمنی و امنیت در ارتباط با اشعه‌های یونساز مطرح شده است. این مطلب مؤید آن است که مهمترین خطری که در این نیروگاه باید از آن رهایی جست تا به شرایط ایمن و امن رسید، موضوع هسته‌ای است. درحقیقت، دیگر خطرها اعماز حریق، سیل، انفجار، برخورد هواپیما، زلزله و... می‌توانند در سایه خطرات هسته‌ای قرار گیرند. برخلاف این نیروگاه‌ها، در نیروگاه‌های حرارتی، بادی، زمین‌گرمایی و...، مهمترین خطرات احتمالی، زلزله، حریق، سیل، انفجار، برق‌گرفتگی و... است. فارغ از ماهیت متفاوت خطرات موجود در نیروگاه‌های مختلف، دقت‌نظر در طرح‌ها و آئین‌نامه‌های نیروگاهی مؤید آن است که راهکارهای معمارانه‌ای وجود دارد که تاحدود زیادی در غالب نیروگاه‌ها مشترک بوده و در افزایش ضریب ایمنی/امنیتی این مجموعه‌های صنعتی مؤثر هستند.

۴-راهکارهای طراحانه مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی

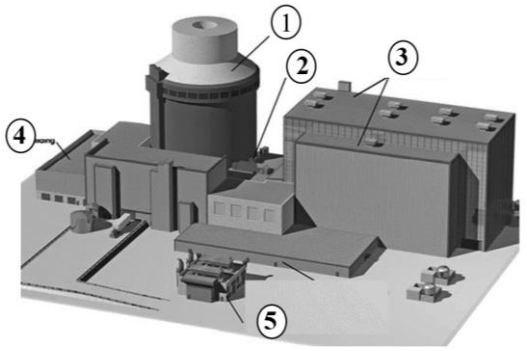
۴-۱-ساده‌سازی: استفاده از فرم‌های ساده هندسی نظیر مکعب و استوانه برای ساختمان‌های مجموعه‌های نیروگاهی یکی از اقداماتی است که در ذیل این راهکار قرار می‌گیرد. بررسی فرمی طرح‌های نیروگاهی نشان می‌دهد که در بسیاری از ساختمان‌ها نظیر ساختمان سوخت، ساختمان ایمنی یا پادمان، ساختمان کمکی، ساختمان کنترل، ساختمان پسماند، تلمبه‌خانه، کلیدخانه و... (در نیروگاه‌های هسته‌ای مدل آب تحت‌فشار پیشرفته، مدل غیرفعال پیشرفته[۱۶]مدل تحت‌فشار اروپایی[۱۷]مدل روسی با خنک‌کننده و کندکننده آبی[۱۸]و...)؛ ساختمان کنترل مرکزی، ساختمان رانش سوخت و...، (در نیروگاه‌های حرارتی سیکل بخار، گاز و ترکیبی)؛ ساختمان کنترل پست، ساختمان توربین، ساختمان برق اضطراری و... (در غالب نیروگاه‌ها) از فرم مکعب مربع یا مستطیل استفاده شده است (تصاویر ۱ تا ۴). همچنین مقایسه طرح‌های نیروگاه‌های هسته‌ای نشان می‌دهد که ساختمان راکتور در بسیاری از آنها (بالاخص در طرح‌های جدیدتر) دارای فرم استوانه‌ای با پوشش گنبدی است. این ساده‌سازی در طرح معابر نیز قابل‌مشاهده است. شریان‌های مستقیم و با حداقل پیچ‌وتاب، سبب می‌شود که کنترل مسیرها ساده شود. سادگی گاه با فروبردن بخش یا تمام ساختمان‌های مهم در زمین ایجاد شده است (اسدی ملک‌جهان، ۱۳۹۳: ۶). بدین‌ترتیب، کنترل بر ساختمان و محوطه آن بیشتر می‌شود؛ چراکه محوطه نیروگاهی، فضاهای باز بیشتری دارد و نیاز به پایش فیزیکی و مجازی کمتر می‌شود. بررسی آئین‌نامه‌ها نیز نشان می‌دهد که در طرح‌های نیروگاهی بالاخص در سایت‌های هسته‌ای، چیدمان باید به‌گونه‌ای انجام شود که همه تجهیزات بتوانند به‌آسانی و به‌شکل ایمن بهره‌برداری، بازرسی و تعمیر شوند (*EUR, 2001: 11*). همچنین در این آئین‌نامه‌ها قید شده که از اشکال غیرمنظم که به تجهیزات و تمهیدات اضافی برای پایش نیازمند است اجتناب گردد. درحقیقت چیدمان و طرح ساختمان‌ها باید به‌نحوی باشد که ضمن تسهیل‌نمودن کنترل افراد و جابجایی مواد و...، پایش آنها نیازمند کمترین نقاط کنترلی باشد (*ibid: 70*).



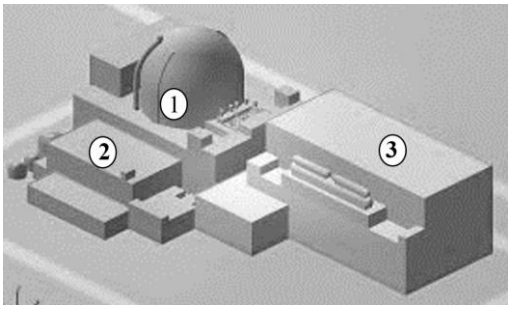
تصویر ۱: طرح شماتیک نیروگاه تحت‌فشار اروپایی؛ ۱) ساختمان راکتور، ۲) ساختمان جانبی، ۳) ساختمان‌های چهارگانه ایمنی، ۴) ساختمان‌های برق اضطراری، ۵) ساختستمان کمکی، ۶) ساختمان پسماند، ۷) ساختمان توربین؛ مأخذ: بهرامی‌پناه، ۱۳۹۴: ۱۰۷

[۱] APR, Advanced Passive Reactor
[۱] EPR, European Pressurized Reactor

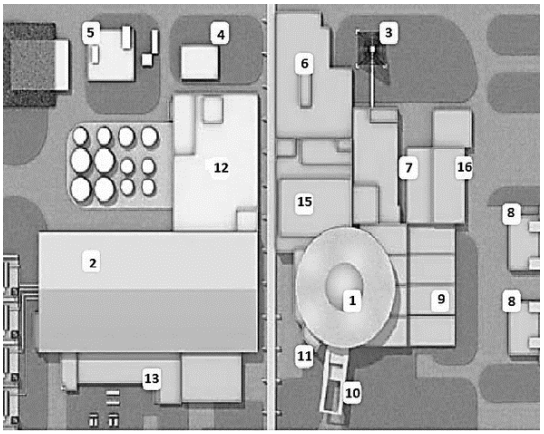
[۱۸] VVER or WWER, Water-water Energetic Reactor



تصویر ۲: طرح شماتیک نیروگاه غیرفعال پیشرفته؛ ۱) ساختمان راکتور، ۲) ساختمان جانبی، ۳) ساختمان توربین، ۴) ساختمان سوخت مصرف‌شده، ۵) ساختمان برق اضطراری؛ مأخذ: *https://www.nrc.gov*



تصویر ۳: طرح شماتیک نیروگاه تحت‌فشار پیشرفته؛ ۱) ساختمان راکتور، ۲) ساختمان جانبی، ۳) ساختمان توربین؛ مأخذ: (*Suzuki et al. 2009: 18*)



تصویر ۴: طرح شماتیک نیروگاه روسی با خنک‌کننده و کندکننده آب؛ ۱) ساختمان راکتور، ۲) ساختمان توربین، ۳) دودکش، ۴) سایت تصفیه، ۵) ساختستمان برق اضطراری واحد، ۶) ساختمان خدمات هسته‌ای، ۷) ساختمان کمکی، ۸) ساختمان‌های دوگانه برق اضطراری، ۹) ساختمان ایمنی، ۱۰) دریچه حمل‌ونقل، ۱۱) سلول بخار، ۱۲) ساختمان تصفیه آب، ۱۳) منبع برق، ۱۴) ترانسفورماتورهای واحد، ۱۵) انبار سوخت؛ مأخذ: (*Rosatom, 2018: 21*).

۴-۲-جداسازی[۱۹] این راهکار به جدانمودن بخش‌های موردنیاز با استفاده از لایه‌های جداکننده، فاصله، هندسه، ابعاد، جهات و غیره اشاره دارد (*IAEA, 2016b: 125; EUR, 2001: 19*). انتخاب ابزار و ترفندهای جداسازی خواه در سایت، خواه در ساختمان‌ها بستگی به حوادث احتمالی اعم‌از سیل، آتش و... دارد (*EUR, 2001: 9& 22*). لایه‌های جداکننده، ساده‌ترین ابزار جداسازی است که به اشکال مختلفی در طرح‌ها و آئین‌نامه‌های نیروگاهی مورد تأکید قرار گرفته است. دیوار یا فنس‌های پیرامونی مجموعه‌های نیروگاهی نمونه‌ای از لایه‌های متعارفی هستند که در ذیل راهکار جداسازی قرار می‌گیرند. این لایه که در بسیاری از موارد جزء لاینفک معماری است از ورود خطرات به محوطه‌های نیروگاهی جلوگیری می‌کند. میزان و اهمیت استفاده از این لایه در نیروگاه‌های مختلف با یکدیگر برابر نیست. مثلاً در نیروگاه‌های هسته‌ای میزان اهمیت این لایه به‌مراتب بیشتر از نیروگاه‌های حرارتی (سیکل گاز، سیکل بخار و سیکل ترکیبی) است. ازسوی‌دیگر میزان تحقق‌پذیری استفاده از این لایه نیز در نیروگاه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و تابع مقیاس فضایی، شرایط مکانی و... است. به‌عنوان‌مثال، این لایه در نیروگاه‌های هسته‌ای، حرارتی و تاحدود زیادی در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی و خورشیدی به‌علت متمرکزبودن مجموعه قابل استفاده است، اما در اکثر مجموعه‌های نیروگاهی بادی با توجه به گستردگی محوطه قابل استفاده نیست. همچنین برخی از نیروگاه‌های بادی در داخل دریا ایجاد می‌شوند، بدیهی است در این حالت نیز استفاده از لایه متعارف دیوار امری تحقق‌پذیر نخواهد بود. از دیگر لایه‌های جداکننده می‌توان به دیواره‌ها، سقف‌ها و یا کف‌هایی اشاره کرد که برای جداسازی احتمالی حوادث و جلوگیری از تسری آنها به بخش‌های همجوار مورداستفاده قرار می‌گیرد. دیوارهای بتنی در حدفاصل ترانسفورماتورها (نظیر دیوارهای بتنی میان ترانسفورماتورهای اصلی، واحد و راه‌اندازی در نیروگاه‌های بخار و سیکل ترکیبی)، دیوارهای

[۱۹] Separation

بتنی در حدفاصل پمپ‌ها (نظیر دیوارهای بتنی جداکننده در پمپ‌خانه نیروگاه‌های هسته‌ای)، دیوارهای بتنی در پیرامون مخازن سوخت (نظیر دیوارهای بتنی در جزیره‌های سوخت نیروگاه‌های حرارتی)، درهای ضدحریق، دیوارهای ضدانفجار برخی از ساختمانها و... نمونه‌ای از این جداکننده‌ها به‌شمار می‌آیند که با جداکردن بخش‌ها به افزایش ضریب ایمنی/امنیتی معماری کمک می‌کنند و در طرح‌های نیروگاهی به‌وفور یافت می‌شوند. مضاف‌براینکه موارد بالا را در لابه‌لای آئین‌نامه‌های نیروگاهی نیز می‌توان یافت. برای‌مثال می‌توان به ضرورت جداسازی ترانسفورماتورهای همجوار یکدیگر با استفاده از دیوار محافظ در برابر انفجار و آتش در آئین‌نامه‌های نیروگاه‌های هسته‌ای اشاره نمود (*ibid: 52*).

ایجاد فاصله میان بخش‌ها از دیگر ترفندهای جداسازی است. فاصله‌داشتن ساختمان کنترل پست از محوطه روباز آن که محل قرارگیری ترانسفورماتورهاست، نمونه دیگری از این فاصله‌هاست که در همه پست‌ها و در همه نیروگاه‌ها قابل مشاهده است. در آئین‌نامه‌های طراحی این پست‌ها نیز آمده است که ساختمان و سالن کنترل می‌بایست فاصله مناسب از منابع سروصدا، هادی‌ها و تجهیزات فشار قوی داشته باشد (مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷: ۵). از دیگر موارد مرتبط با این مبحث که در طرح‌های نیروگاهی قابل‌مشاهده است، دورنگهداشتن برج‌های خنک‌کننده از جزیره هسته‌ای است.

جداسازی می‌تواند با دورنگهداشتن ساختمان‌ها یا محوطه‌های مهم نیروگاهی از منابعی که باعث حادثه می‌شوند صورت گیرد. مثلاً در نیروگاه‌های هسته‌ای و برای جلوگیری از سیل سعی می‌شود به کمک مکان‌یابی سایت خارج از رودخانه‌ها، ساخت سیل‌بند، آب‌بند، بند، سنگ‌چین، موج‌شکن و... به این هدف نائل آمد (اسدی ملک‌جهان، ۱۳۹۳: ۵۰-۶۳). بررسی طرح‌های نیروگاهی نشان می‌دهد که در سایت‌های مجاور دریاها و...، استفاده از سیل‌بند، امری رایج است.

در طرح‌های نیروگاهی، گاه جداسازی ازطریقِ حوزه‌بندی و تفکیک بخش‌ها از همدیگر صورت پذیرفته است. جداسازی بخش‌های اداری، مهمانسرا، غذاخوری و... از بخش‌های صنعتی و مخاطره‌آمیز ساده‌ترین مورد در این زمینه است که در همه نیروگاه‌ها رعایت می‌شود. در نیروگاه‌های هسته‌ای این تفکیک در راستای جزیره‌های هسته‌ای و غیرهسته‌ای (متعارف یا توربین) تعریف می‌شود. به‌عنوان‌مثال در طرح نیروگاه‌های هسته‌ای مدل تحت‌فشار اروپایی، جزیره هسته‌ای به‌لحاظ کالبدی از جزیره متعارف تفکیک شده است (تصویر ۱). در نیروگاه‌های حرارتی تفکیک و جداسازی محوطه سوخت، محوطه پست و... از یکدیگر نمونه بارز این راهکار طراحانه است. این تفکیک در برخی از موارد با اضافه‌شدن فنس مورد تأکید قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به محدودنمودن محوطه ترانسفورماتورها، محوطه پست، ایستگاه تقلیل فشار گاز و... اشاره نمود (تصویر ۵). همچنین، این جداسازی‌ها می‌تواند براساس اهمیت عملکرد سیستم‌ها یا ساختمان‌ها و با استفاده از شاخص دسته‌بندی ایمنی[۲] صورت گیرد (*IAEA, 2016b, 156*). حوزه‌بندی بخش‌های خطر نمونه‌ای از این جداسازی است که براساس میزان پتانسیل خطر تعریف می‌شود. حوزه‌بندی آتش، حوزه‌بندی تابش مواد رادیواکتیو، حوزه‌بندی آلودگی و... نمونه‌های عملی از حوزه‌بندی‌های مورداستفاده در نیروگاه‌های هسته‌ای است. حوزه‌بندی بخش‌های خطر در طرح دیگر نیروگاه‌ها هم به‌کار رفته است. مثلاً در یک محوطه تخلیه سوخت که جزء لاینفک نیروگاه‌های حرارتی است، محدوده‌های خطر براساس احتمال وقوع خطر، بزرگی آن، آثار تخریبی و... تعریف می‌گردد. در این موقعیت مخزن سوخت از محل تخلیه جدا می‌شود. این جداسازی مشابه رویکردی است که در طراحی و اجزای تمامی جایگاه‌های عرضه سوخت درون و برون‌شهری حاکم شده است. با این اقدام نزدیک‌شدن به محل ذخیره محدود می‌شود.

تصویر ۵: جداسازی کالبدی ترانسفورماتورها از دیگر بخش‌های همجوار با فنس و دیوار بتنی؛ مأخذ: نگارنده

[۲] Safety Classification

جهت‌گیری یکی دیگر از راه‌هایی است که به‌وسیله آن سعی شده محدوده‌های خطر را در مجموعه‌های نیروگاهی از همدیگر جدا سازند. نمونه این راهکار در نیروگاه‌های هسته‌ای پیشرفته قابل‌مشاهده است. در این نوع طراحی برخلاف نمونه‌ها و نسل‌های پیشین (برای‌مثال، تصویر ۶ که یک نمونه قبلی است را با تصاویر ۱ تا ۴ مقایسه کنید)، ساختمان توربین با هندسه مستطیل‌شکل از ساختمان استوانه‌ای‌شکل مجزا شده است. علاوه‌براین محور یا کشیدگی ساختمان توربین به‌صورت عمود بر ساختمان راکتور طراحی می‌شود، تا محدوده احتمالی پرتاب پره‌های توربین خارج از محدوده قرارگیری ساختمان راکتور باشد. لازم‌بذکر است که جهت‌گیری مناسب ساختمان توربین برای حذف پیامدهای حاصل از پرتاب بر روی جزیره هسته‌ای در آئین‌نامه‌های مرتبط با فعالیت‌های هسته‌ای نیز قید شده است (*EUR, 2001: 10*). از دیگر مواردی که در طرح مجموعه‌های نیروگاهی به کمک جهت‌گیری، به ضریب ایمنی محیط افزوده شده است، چیدمان بخش‌ها براساس باد غالب، محدوده‌های پیرامونی و... است. در این حالت سعی شده انتشار آلاینده‌ها یا مسیر احتمالی خطر کانالیزه شود.

جداسازی گاه با حذف دسترسی و ارتباط فیزیکی میان فضاها محقق شده است. مثلاً در آئین‌نامه‌های مرتبط با پست‌های نیروگاهی از طراح خواسته می‌شود که با توجه به اتمسفر اسیدی یا بازی اتاق‌های باتری، ارتباط این فضا با سایر فضاهای سرپوشیده حذف گردد (مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷: ۷).

تصویر ۶: سایت پلان طرح نیروگاه هسته‌ای پری در آمریکا؛ ۱) ساختمان راکتور، ۲) ساختمان توربین، ۳) برج خنک‌کننده؛ مأخذ: (*www.google.com/maps*).

۴-۳-کوچک‌سازی: کوچک‌سازی از دیگر راهکارهای طراحانه‌ای است که برای ارتقاء ضریب ایمنی/امنیتی مجموعه‌های نیروگاهی به‌کار رفته و بر آن تأکید شده است (اسدی ملک‌جهان، ۱۳۹۳: ۶). به‌عنوان‌مثال در مقررات و آئین‌نامه‌های نیروگاه‌های هسته‌ای آمده است که چیدمان تجهیزات، ساختمان‌ها و... می‌بایستی به‌صورتی باشد که حداقل زمین برای ملزومات ساخت‌وساز، بهره‌برداری، دسترسی و ایمنی اشغال شود. یک مثال دیگر آنکه، چیدمان مسیر لوله‌ها و کابل‌ها باید به‌نحوی باشد که طول آنها حداقل گردد (*EUR, 2001: 10*). کوچک‌سازی در مورد میزان پرتوگیری هم صادق است. به‌عبارت دقیق‌تر، طراح می‌بایست تجهیزات و چیدمان آنها را به‌نحوی طرح‌ریزی نماید که میزان پرتوگیری پرسنل حداقل باشد (*ibid: 34*). کم‌نمودن تعداد دسترسی‌ها به مراکز حساس، کم‌نمودن تعداد افرادی که به این مراکز وارد می‌شوند، کاهش دسترسی وسائط نقلیه به مراکز مهم، کاهش زمان جابجایی مواد هسته‌ای و یا کم‌نمودن حجم مواد آتش‌زا در سایت با استفاده از مواد غیرآتش‌زا از دیگر مواردی است که در ذیل این راهکار قرار می‌گیرد و در آئین‌نامه‌های نیروگاه‌های هسته‌ای مورد تأکید قرار گرفته است (*IAEA, 2011: 23, 25& 39; 1992: 12 & 14*).

۴-۴-تنوع و تعدد:[۲۱] تنوع و تعدد یک راهکار کلیدی در افزایش ضریب ایمنی/امنیتی مجموعه‌های نیروگاهی است. منظور از تعدد، چندگانگی عددی و منظور از تنوع، چندگانگی ماهیتی است. تعدد و تنوع در لایه‌ها، سیستم‌ها، برهه‌های زمانی، قطعات، استانداردها، سازندگان و راهکارها، احتمال خطاهای انسانی و ماشینی در مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی را کاهش می‌دهد. استفاده از تنوع و تعدد موجب می‌شود که لایه‌های دفاعی/امنیتی در مواجهه با یک خطر مشابه دچار شکست نشوند. به‌عبارت‌دیگر این راهکار از شکست‌هایی که منشأ یکسانی دارند[۲۲] جلوگیری می‌کنند. برای‌مثال، تنوع سیستم‌های اعلان حریق از احتمال خرابی همزمان آنها در مواجهه با یک مشکل جلوگیری می‌کند و یا با تنوع‌بخشیدن به منابع تأمین‌کننده برق اعماز برق شبکه‌ای، دیزل‌های اضطراری و باتری‌ها می‌توان ضریب ایمنی یک مجموعه نیروگاهی را ارتقاء داد. تعدد و تنوع مسیرهای تخلیه، نمونه دیگری از افزون‌شدن ضریب ایمنی/امنیتی است که به سهولت

[۲۱] Diversity and Redundancy

[۲۲] Common Cause Failure

و سرعتِ تخلیه افراد منجر می‌شود. تنوع سوخت‌های مصرفی در نیروگاه‌های حرارتی و بالطبع تنوع ساختمان‌ها و محوطه‌های مرتبط با آنها از دیگر مواردی است که کارایی مجموعه را افزایش می‌دهد. تنوع و تعدد شیوه‌های کنترل افراد از دیگر نمونه‌های این دسته است. نکته مهم آنکه تجهیزات و سیستم‌های ایمنی متعدد باید حتماً از یکدیگر جداسازی شوند (*EUR, 2001: 19*). در بررسی طرح‌های نیروگاهی من‌جمله طرح‌های تحت‌فشار اروپایی یا مدل روسی ۱۲۰۰ می‌توان دریافت که در آنها از دو ساختمان برق اضطراری استفاده شده است. این ساختمان‌ها که بخشی از سیستم ایمنی نیروگاه هستند کاملاً از یکدیگر جدا بوده و هر یک به‌تنهایی می‌تواند تمام وظایف خود را به‌انجام رسانند. کانال‌های سیستم ایمنی چندگانه و یا پمپ‌خانه دوگانه نمونه‌های دیگری از راهکار تعدد است که در این طرح‌ها به‌کار رفته است (تصاویر ۱ و ۴).

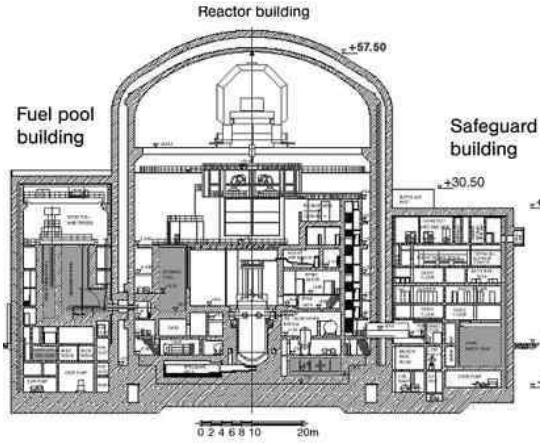
۴-۵-پراکندگی: این راهکار در دید نخست مشابه و در امتداد جداسازی کالبدی است اما در عمل به‌جای جدانمودن بخش‌ها، سعی در پراکندن آنها در سایت نیروگاه دارد. نمونه عملیاتی‌شده این راهکار در دودکش‌های نیروگاه‌های هسته‌ای و حرارتی به‌شکل توزیع موارد انتشاریافته در یک محیط وسیع‌تر رخ می‌دهد تا میزان آلاینده‌ها در واحد سطح یا حجم کاهش یافته و ضریب ایمنی افزایش یابد (تصویر ۷).

تصویر ۷: پراکنده‌نمودن مواد انتشاریافته در محیط وسیع‌تر با استفاده از ارتفاع دودکش‌های نیروگاهی؛ مأخذ: نگارنده

در طرح معماری مجموعه‌های صنعتی نیروگاه‌های هسته‌ای ازجمله تحت‌فشار اروپایی قابل‌مشاهده است. در این طرح، ساختمان برق اضطراری که برای افزایش ضریب ایمنی به دو ساختمان تفکیک شده، در دو سوی سایت جانمایی شده است. این پراکندگی درمورد ساختمان‌های ایمنی چندگانه این نیروگاه نیز حائز اهمیت است. کاربرد این

۴-۶-یکپارچگی: این راهکار برخلاف جداسازی کالبدی سعی در متحدنمودن اجزاء، فضاها و رفتارها دارد. نمونه جالب‌توجه آن را می‌توان در نیروگاه‌های هسته‌ای مدل تحت‌فشار اروپایی دید. در این طرح ساختمان‌های راکتور، ایمنی و سوخت بر روی یک فونداسیون مشترک ساخته شده‌اند تا از رفتارهای مجزای ساختمان‌ها دربرابر بارهای زلزله و... ممانعت به‌عمل آید (تصویر ۸). در آئین‌نامه‌های هسته‌ای نیز مطلبی قید شده که می‌تواند با این راهکار همخوان باشد و آن اینکه طرح می‌بایست به‌نحوی باشد که تأثیر و تأثر میان ساختمان‌های مرتبط با ایمنی در برابر حوادث کاهش یابد (*IAEA, 2016a: 22*). کنارهم‌قرارگرفتن ساختمان‌های هسته‌ای تحت عنوان جزیره هسته‌ای، نمونه دیگری از این یکپارچگی است که در همین طرح استفاده شده است (تصویر ۱). یکپارچگی کالبدی ساختمان راکتور در کف، دیوار و سقف نمونه دیگری از این راهکار است که در نیروگاه‌های هسته‌ای قابل‌مشاهده بوده و آئین‌نامه‌های نیروگاهی نیز بر آن تأکید نموده‌اند. این یکپارچگی مانع از نفوذ خطر به داخل و یا انتشار آلاینده‌ها به بیرون می‌شود. لذا به‌حداقل‌رساندن تعداد منافذ موجب افزایش یکپارچگی در این ساختمان‌ها می‌شود. فضای یکپارچه داخل ساختمان راکتور که دارای فشار منفی است، نمونه دیگری از یکپارچگی فضایی به‌کاررفته در طرح این نیروگاه‌هاست. در استانداردهای ایمنی آژانس اتمی قید شده که در طرح این ساختمان باید جداسازی‌های فضایی به‌حداقل برسد تا از جمع‌شدن گاز هیدروژن در یک قسمت و یا از تفاوت‌های فشار هوا در داخل جلوگیری به‌عمل آید (*IAEA,* ۱۵ & ۲۰۰۴: ۴). در اتاق‌های باتری نیز، آئین‌نامه‌ها متذکر شده‌اند که فرم سقف باید به‌گونه‌ای باشد که از جمع‌شدن و تمرکز گاز هیدروژن در یک مکان ممانعت به‌عمل آید (*EUR,* ۲۰۰۱: ۵۳). یکپارچگی فنس پیرامونی نیروگاه‌های هسته‌ای نمونه دیگری از به‌کارگیری این راهکار است که در هیچ بخشی قطع نمی‌شود. مضاف‌براینکه در فنس‌های دولایه این نیروگاه‌ها (دو لایه فنس با یک فضای خالی در حدفاصل آنها)،

میزان فاصله در نقاط مختلف یکسان است. یکپارچگی در طرح پله‌های فرار نیز قابل ملاحظه است. در آئین‌نامه‌های مرتبط با نیروگاه‌های هسته‌ای آمده است که همه جعبه‌پله‌های فرار می‌بایست تا تراز خروج از ساختمان ادامه داشته باشند (*ibid:* ۱۶). یک نمونه جالب‌توجه از یکپارچگی که در پست‌های همه نیروگاه‌ها من‌جمله نیروگاه‌های حرارتی قابل‌مشاهده است، تأکید بر یکپارچگی بصری میان ساختمان کنترل پست و محوطه روباز آن است. در این حالت، پرسنل داخل ساختمان می‌توانند کنترل و احاطه کاملی بر محوطه مذکور داشته باشند. این نکته هم در طرح‌های موجود دیده می‌شود و هم در آئین‌نامه‌های مرتبط با آن مورد تأکید قرار گرفته است (مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷: ۴). این یکپارچگی بصری در فضای داخلی سالن کنترل این ساختمان برای احاطه اپراتور بر تابلوها مورد نیاز است. به‌نحوی که آئین‌نامه‌های مرتبط با طراحی پست، از طراح خواسته‌اند که مکان قرارگیری ستونها را در داخل دیوار قرار دهند. درحقیقت مکان قرارگیری ستونها باید به‌نحوی فراهم گردد که مانعی در کنترل تابلوها ایجاد نکند (همان: ۵). لازم بذکر است که این موارد در اتاق کنترل نیروگاه‌های هسته‌ای هم به‌شدت رعایت می‌شود.



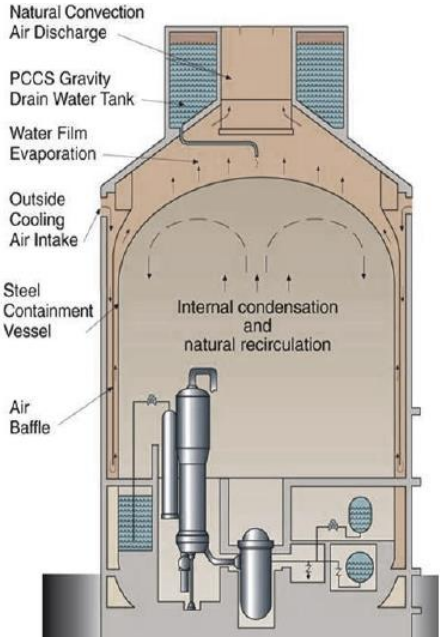
تصویر ۸: طرح شماتیک نیروگاه تحت‌فشار اروپایی و پیوستگی ساختمان‌های راکتور، سوخت و ایمنی در پی؛ مأخذ: (*http://www.industrial-electronics.com*).

۴-۷-تأکید بر طرح‌ها و تجربه‌های موفق پیشین: استفاده از طرح‌های پیشین بالاخص آنها که در عمل موفقیت خود را به اثبات رسانیده‌اند، یکی دیگر از راهکارهای معمارانه مؤثر بر افزایش ضریب ایمنی/امنیتی نیروگاه‌ها من‌جمله نیروگاه‌های هسته‌ای است. در این نیروگاه‌ها موضوعات مرتبط با ایمنی و امنیت باید کارایی خود را در طرح‌های پیشین به‌اثبات رسانده باشند و یا براساس کدها، استانداردها و معیارهای مقتضی آزمایش گردند (*IAEA, 2016a: 16*). بازبینی‌ها و اصلاحیه‌های مداومی که بر روی استانداردهای ایمنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی صورت می‌گیرد، در تداوم همین نکته است. در این مدارک به‌وضوح می‌توان پاراگراف‌هایی را یافت که در آن قید شده مبانی، الزامات و یا راهنمایی‌های موجود در سند مذکور براساس تجربه‌هایی است که از طرح‌های موجود اخذ شده است (*IAEA, 2004: 2*). اساساً بحث ایمنی و امنیت نیروگاه می‌بایست مرتباً با استفاده از تجربه‌های قبلی و تحقیقات معتبر، به‌روز گردد (*IAEA,* ۲۰۱۶: ۱۲). تأکید بر به‌کارگیری پرسنل مجرب بهره‌بردار در فرآیند طراحی مجموعه‌های نیروگاهی در ادامه همین نکته است (*ibid: 31*). در مدارک نیروگاه‌های هسته‌ای از طرح‌های پیشین تحت عنوان طرح مرجع[۲۳] یاد شده و آمده است که طراح باید یک سایت پلان مرجع برای جزیره‌های هسته‌ای و غیرهسته‌ای فراهم آورد و تنها در مورد دیگر قسمت‌ها است که می‌تواند براساس مشخصات خاص بستر عمل نماید (*EUR, 2001: 7*). تداوم طرح‌ها از یک پروژه به پروژه دیگر که ازطریقِ مشابهت‌های طراحانه آنها قابل اثبات است و یا عنوان‌بندی طرح‌های نیروگاهی براساس نسل‌ها، مدل‌ها یا دسته‌های پیشین دلیل دیگری بر استفاده از این راهکار است. مثلاً طرح نیروگاه روسی با خنک‌کننده و کندکننده آب از مدل‌های *V-210* و *V-365* که به مدل‌های نسل اول این نوع نیروگاه معروف هستند، در محدوده سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۸۰ جای خود را به نیروگاه‌های نسل دوم با تیپ *VVER-440* می‌دهند، سپس این نیروگاه‌ها نیز جای خود را به تیپ *VVER-1000* نسل سوم داده و اخیراً نیز این نیروگاه‌ها به‌سمت تیپ *VVER-1200* تغییر جهت داده‌اند (*Rosatom,* ۲۰۱۸: ۱۳). گفتنی است در تیپ اخیر این نیروگاه، استفاده از فناوری‌هایی که موفقیت خود را به اثبات رسانیده‌اند بیشینه شده است (*ibid: 19*). بررسی طرح‌های نیروگاه‌های حرارتی من‌جمله سیکل ترکیبی نیز نشان می‌دهد که طرح آنها تاحدود زیادی مشابه یکدیگر است و تنها برخی از ویژگی‌های

[۲۳] Reference plan

بستر است که باعث تفاوت‌های جزئی در آنها شده است. بدیهی است در این شرایط نیز راهکارهای طراحانه ایمنی/امنیتی به‌کاررفته در آنها نیز همچنان تداوم می‌یابد. علاوه‌براین، در آئین‌نامه‌های این نیروگاه‌ها نیز می‌توان به مواردی اشاره کرد که در تدوین آنها از نیروهای مجرب نیروگاهی بهره گرفته‌اند (مرکز تحقیقات نیرو، ۱۳۷۸: پیشگفتار).

۴-۸-دفاع عمقی:[۲۴] راهکار دفاع عمقی با لایه‌بندی سطوح مختلف، موانع بازدارنده در مقابل خطرات احتمالی را بیشتر می‌سازد. به‌عبارت‌دیگر طراح سعی می‌کند ازطریقِ لایه‌ها و مرزهای پی‌درپی، ضریب ایمنی/امنیتی مجموعه را افزایش دهد. نکته کلیدی در این راهکار آن است که لایه‌های دفاعی می‌بایست به‌صورت هماهنگ و موازی یکدیگر مطرح شوند تا تأثیرگذاری آنها بیشتر شود (عرفانی، ۱۳۹۱: ۳۷؛ *NIST*, ۲۰۱۱: ۵-۱۰). در دفاع عمقی اعتقاد بر این است که زمان، عامل بازدارنده تسرّی خطر می‌باشد و با افزایش زمان، سیستم‌ها یا مجموعه‌های مختلف (من‌جمله مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی)، توانایی پاسخگویی بهتری درمقابل خطرات خواهند داشت (*TISN, 2008: 6*). در مجموعه‌های صنعتی عموماً از سه سناریو برای عملیاتی‌نمودن راهکار دفاع عمقی استفاده می‌شود. شکل اول آن سناریو چرخه حیات است که در آن، از بدو حیات پروژه صنعتی به تنیدن لایه‌های دفاعی اقدام می‌شود. درحقیقت، این سناریو سعی می‌کند تا لایه‌های دفاعی را در طول چرخه حیات پروژه تنظیم نماید. هر یک از لایه‌ها با اعمال ضوابط مختص به خود، افزایش ایمنی و امنیت را نوید می‌دهد. شکل دوم عمق‌بخشیدن به دفاع در مقابل خطرات استفاده از سناریو حادثه است که در آن، لایه‌های دفاعی در طول حیات حادثه تنظیم می‌شود. در این حالت تشخیص انواع حوادث احتمالی و برنامه‌ریزی در خصوص مقابله با آنها نظامی لایه‌لایه شکل می‌دهد که شامل لایه‌های قبل، حین و بعد از وقوع حادثه می‌شود. شکل سوم عمق‌بخشیدن به لایه‌های دفاعی، استفاده چندگانه از سیستم‌های ایمنی/امنیتی است (گودینی و وفامهر، ۱۳۹۶: ۱۰۱-۱۰۰). بررسی طرح‌های نیروگاهی نشان می‌دهد که در مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی معمولاً از هر سه سناریو برای عمق‌دادن به راهکارهای ایمنی/امنیتی استفاده می‌شود. مثلاً در طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای و در سناریو چرخه حیات، مقررات خاصی برای برهه‌های مختلف چرخه حیات تدوین می‌شود. برنامه‌ریزی و اخذ مجوزهای قانونی، مکان‌یابی، تهیه طرح، اجرا، راه‌اندازی، بهره‌برداری، متوقف‌کردن و برچیدن یک نیروگاه هسته‌ای ملزومات خاصی دارد. در هر یک از این برهه‌ها، نظارت‌های عدیده‌ای درخصوص ایمنی و امنیت نیروگاه وجود داشته و مسئولیت‌های سخت‌گیرانه‌ای متوجه کارفرما، مشاور، دولت و... است. در سناریو حادثه سعی شده که لایه‌های متعددی در برابر حوادث احتمالی ایجاد شود. این لایه‌ها در ساختمان راکتور که مهمترین ساختمان نیروگاهی است، معمولاً با چهار لایه یا مانع تعریف می‌شود که به‌ترتیب عبارتند از لایه سرامیکی سوخت، میله سوخت، محفظه تحت‌فشار، محفظه فلزی/بتنی ساختمان راکتور (*INSAG*, ۱۹۹۶: ۸). در سناریو استفاده از سیستم‌های ایمنی/امنیتی چندگانه می‌توان به تلاقی سیستم‌های فعال و غیرفعال به‌کاررفته در طرح نیروگاه‌های پیشرفته هسته‌ای اشاره نمود. درحقیقت در طراحی ساختمان‌های این نیروگاه سعی شده که سهم سیستم‌های غیرفعال در ایمنی افزایش یابد. به‌عنوان‌مثال، در این طرح پیشرفته سعی شده که از تهویه طبیعی برای کاهش گرما و فشار ناشی از حوادث در محفظه فلزی ساختمان راکتور استفاده شود (تصویر ۹).



[۲۴] Defense in-depth

تصویر ۹: طرح شماتیک ساختمان راکتور در نیروگاه غیرفعال پیشرفته؛ مأخذ: *https://www.nrc.gov*

۵-جمع‌بندی و نتایج:

یافته‌های تحقیق مؤید آن است که ایمنی و امنیت در مجموعه‌های صنعتی نیروگاهی، با پنج ویژگیِ شرایط، تدابیر، خطرات، تداوم یا ثبات بانضمام عوامل محافظت‌شونده تعریف می‌شوند. این مفاهیم ضامن حفاظت از پنج متغیر پرسنل، مجموعه صنعتی، محیط طبیعی، مردم و مجموعه‌های همجوار است و در پناه تدابیر یا راهکارهای طراحانه محقق می‌شود. علاوه‌براین مرز مهمی که میان ایمنی و امنیت می‌توان ترسیم نمود وجه تعمدی خطرات در مفهوم امنیت است. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که با توجه به ماهیت خطرات متفاوتی که ممکن است در یک نیروگاه رخ دهد، راهکارهای مرتبط با ایمنی و امنیت تغییر می‌یابد. بااینحال، یافته‌ها مؤید آن است که تحقق شرایط امن و ایمن، در طرح‌های مجموعه‌های صنعتی/نیروگاهی موجود ازطریقِ راهکارهای مختلف ساده‌سازی، جداسازی، کوچک‌سازی، تنوع و تعدد، پراکندگی، یکپارچگی، تأکید بر طرح‌ها و تجربه‌های موفق پیشین، و دفاع عمقی حاصل شده است. دقت‌نظر در آئین‌نامه‌های نیروگاهی نیز نشان می‌دهد که این راهکارها می‌بایست در طرح‌های نیروگاهی به‌کار گرفته شوند.

مراجع

۱- ابراهیمی، مهسا (۱۳۹۳)، 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)

۲- اسدی ملک‌جهان، فرزانه (۱۳۹۳)، مدل‌سازی معماری نیروگاه‌های هسته‌ای آب سبک تحت‌فشار 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)

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

۴- بهرامی‌پناه، امیر و دیگران (۱۳۹۴)، راهکارهای طراحی معماری به منظور افزایش ایمنی نیروگاه‌ها در برابر پدیده‌های طبیعی، محیطی و رخدادهای درونی، باغ نظر، شماره ۳۲، سال دوازدهم، صص ۱۰۳-۱۱۶

۵- دفتر نظام فنی اجرایی (۱۳۸۸)، دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای تأسیسات نیروگاه، نشریه شماره ۵۱۲: تهران: دفتر نظام فنی و اجرایی

۶- شرکت مادر تخصصی توانیر (۱۳۹۱)، ۴۵ سال صنعت برق در آیینه آمار (۱۳۴۶-۱۳۹۰)، تهران: دفتر فناوری اطلاعات و آمار

۷- عدالت حقی، میرنصر و محسن نادرپور (۱۳۸۵)، راهنمای سیستم مدیریت ایمنی در صنعت حمل‌ونقل ریلی، تهران: پژوهشکده حمل‌ونقل

۸- فرهمندیان، مجتبی (۱۳۹۴)، تدوین و تطبیق اصول دفاع غیر عامل در طراحی معماری ساختمان‌های صنعتی (مطالعه موردی: نیروگاه سیکل ترکیبی)، رساله دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

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

۱۰- لیندبک، جان رابرت (۱۳۷۶)، تکنولوژی تولید، ت علی حائریان اردکانی و فرشید فرشچی خبره، تهران: فرهنگیان

۱۱- مرکز تحقیقات نیرو (۱۳۷۸)، استاندارد معیارهای طراحی و مهندسی دودکش نیروگاه‌های بخاری و سیکل ترکیبی، تهران: مرکز تحقیقات نیرو

۱۲- مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۸۸)، مبحث دوازدهم، ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا، تهران: انتشارات وزارت مسکن و شهرسازی

۱۳- مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۹۲)، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان، تهران: انتشارات وزارت مسکن و شهرسازی

۱۴- مهندسین مشاور نیرو (۱۳۷۷)، استاندارد طراحی بهینه پست‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۱۰۳، معیارها و عوامل مرتبط با طرح‌های ساختمانی، تهران: معاونت تحقیقات و تکنولوژی

۱۵- هاتف، مهدی (۱۳۸۸)، چالش‌ها و چشم‌اندازهای امنیت در فضای مجازی، دوماهنامه توسعه انسانی پلیس، شماره ۲۲

۱- EUR, European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants, (2001), Layout Rules, Chapter 2.11, EUR

۲- Ghafoorifard, Hasan et al. (2014), Evaluation of Different Geometric Shapes of the Target Buildings in PWR Nuclear Power Plant for Aircraft Impact, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, Vol. 4 (S3), pp. 1363-1370

۳- http://www.industrial-electronics.com

۴- https://www.asisonline.org/Pages/default.aspx

۵- https://www.nrc.gov

۶- IAEA Nuclear Security Series No. 13 (2011), Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA

۷- IAEA Safety Glossary, (2016b), Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, IAEA

۸- IAEA Safety Series No. 50-SG-D2 (1992), Fire Protection in Nuclear Power Plants, IAEA

IAEA Safety Series No. NS-G-1.10 (2004), Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, IAEA

۹- IAEA Safety Series No. NS-R-1, (2016a), Safety of Nuclear Power plant: 1- design, IAEA

۱۰- IAEA Safety Series No. SF-1,(۲۰۰۶), Fundamental Safety Principle, IAEA

۱۱- INSAG (1996), Defense in-depth in Nuclear Safety, No 10, IAEA, Vienna

۱۲- ISO 8402, (1994), Definitions, http://www.scribd.com/doc/40047151/ISO-8402-1994-ISO-Definitions

۱۳- Kumar, S. & Suresh, N. (2009), Operation Management, New Age International, Electronic book

۱۴- NIST (National Institute of Standards and Technology), (2011), Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security, Special Publication 800-82, U.S. Department of Commerce, http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-82/SP800-82-final.pdf

۱۵- Oakes, Charles G. (2014), Safety versus Security in Fire Protection Planning, www.AIA.org

۱۶- Rosatom (2018), The VVER today: Evolution, Design, Safety,

۱۷- Suzuki Shigemitsu et al. (2009), Safe, Reliable, Economical Advanced Pressurized Water Reactor for European Market, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 46, No. 1, pp. 16-19

۱۸- TISN (Trusted Information Sharing Network), (2008), Defense in depth, http://www.tisn.gov

۱۹- www.google.com/maps