راهکارهای طراحی معماری به منظور افزایش ایمنی نیروگاه‌ها در برابر پدیده‌های طبیعی، محیطی و رخدادهای درونی*

امیر بهرامی پناه**
ایرج محمودزاده کنی***
فرامرز یوسف‌پور****

چکیده

از اصول مهم در طراحی نیروگاه‌های برق هسته‌ای اتخاذ تدابیر ایمنی و پیشگیرانه جهت حفاظت از کارکنان، جوامع انسانی نزدیک نیروگاه، محیطزیست و سیستم‌های نیروگاه در برابر حوادث ناشی از انتشار پرتوهای رادیواکتیو است. رشته‌های مهندسی متعددی با کار یکپارچه و هماهنگ در بالابردن استانداردهای ایمنی نیروگاه‌ها نقش دارند. طراحی معماری نیز یکی از عوامل تأثیرگذار در بالابردن ایمنی ساختمان‌های نیروگاه است. اما همواره این سؤال اساسی مطرح بوده که طراح معمار باید بر چه راهکارهایی در طراحی تمرکز کند که بتواند ایمنی نیروگاه را افزایش دهد. برای پاسخ این مقاله ابتدا به تعریفی از مقوله ایمنی در نیروگاه‌ها و بیان اهداف اساسی ایمنی می‌پردازد. سپس با بیان خطرات گوناگون تهدیدکننده نیروگاه ناشی از پدیده‌های طبیعی، محیطی و رخدادهای درونی، راهکار دفاع در عمق به منظور حفظ ایمنی را مورد بررسی قرار می‌دهد. در ادامه با بررسی و تجزیه و تحلیل طراحی ساختمان‌های اصلی نیروگاه در حال ساخت EPR به عنوان نمونه موردی با بالاترین استانداردهای ایمنی حال حاضر اروپا، به دنبال راهکارهای اصولی و اساسی طراحی معماری در جهت بالا بردن سطح ایمنی ساختمان‌ها در برابر خطرات مختلف می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که طراح می‌باید ترکیب اصول گوناگونی نظیر چیدمان و جانمایی فیزیکی مناسب فضاها، طراحی فضای حایل و ساختارهای اضافی و جداسازی فیزیکی فضاها را همواره در فرآیند طراحی مورد توجه قرار دهد تا بتواند حفاظت مناسبی از ساختمان‌های نیروگاه در برابر خطرات داخلی و خارجی صورت داده و بدین ترتیب منجر به افزایش ایمنی نیروگاه شود.

واژگان کلیدی

طراحی معماری، ایمنی، نیروگاه برق، چیدمان فیزیکی، ساختار اضافی، جداسازی فیزیکی.

*. این مقاله برگرفته از رساله دکتری امیر بهرامی‌پناه است که به راهنمایی آقایان دکتر ایرج محمودزاده کنی و دکتر فرامرز یوسف‌پور در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین (ره) به انجام رسیده است.

**. پژوهشگر دکتری معماری دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، نویسنده مسئول ۰۹۱۲۲۱۱۵۲۳۲
memari@vatanmail.ir
***. دکتری مهندسی عمران، استاد دانشگاه تهران. imkani@ut.ac.ir
****. دکتری مهندسی هسته‌ای، استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای. yousefpour@yahoo.com

مقدمه

در حال حاضر در کشورهای مختلف دنیا تمایل زیادی برای طراحی و ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای به دلایل گوناگونی نظیر عدم آلودگی‌های زیست‌محیطی، پیشرفت دانش و مسایل اقتصادی دیده می‌شود. ساختار نیروگاه‌های هسته‌ای از بدو پیدایش تا کنون یعنی در حدود شش دهه به مرور تغییر و تحول و بهبود یافته است. نیروگاه‌های هسته‌ای به عنوان ساختارها و سیستم‌های پیچیده و حساس همواره نیازمند تدابیر لازم جهت تأمین ایمنی هستند. تحقیقات فراوانی جهت تأمین ایمنی نیروگاه‌ها و بالا بردن اطمینان از عملکرد صحیح و ایمن آنها در کشورهای مختلف صورت پذیرفته است. این تحقیقات به خصوص بعد از حادثه‌های شدید هسته‌ای نظیر حوادث نیروگاه چرنوبیل در اکراین و نیروگاه Mile Island 3 در امریکا با حساسیت بالاتری ادامه یافته است(Gharib, A. G., 2006).

نیروگاه‌های هسته‌ای براساس نوع رآکتور و فرآیند تولید برق هسته‌ای به انواع گوناگونی تقسیم می‌شود. نیروگاه‌های هسته‌ای با رآکتور آب سبک تحت فشار (PWR)[1] از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین نیروگاه‌های هسته‌ای که در حدود ۶۴ درصد کل نیروگاه‌های هسته‌ای جهان را شامل می‌شوند و مسئولان بخش هسته‌ای کشورمان نیز صرفاً تصمیم به طراحی و ساخت این نوع نیروگاه‌ها دارند. طراحان رشته‌های گوناگون جهت اطمینان از عملکرد نیروگاه همواره بر روی افزایش ایمنی جهت پیشگیری از حوادث و محدود کردن اثرات آنها تمرکز دارند. در بین طراحان رشته‌های مختلف مهندسی، طراحان معمار می‌توانند نقش مؤثری در بالا بردن کیفیت طرح و عملکرد نیروگاه، ایمنی و اقتصاد آن و بسیاری دیگر از زمینه‌ها ایفا کنند. لذا هدف از این مقاله رسیدن به راهکارها و اصول مؤثر طراحی معماری ساختمان‌های نیروگاه است که به منظور جلوگیری از ایجاد حوادث و خطرات و محدود کردن پیامدهای آنها با هدف افزایش ایمنی صورت می‌پذیرد.

بیان مسئله

از اصول مهم در طراحی نیروگاه هسته‌ای اتخاذ تدابیر ایمنی و پیشگیرانه در برابر خطرات تهدیدکننده نیروگاه جهت حفاظت از کارکنان، سیستم‌ها و ساختمان‌های نیروگاه در برابر حوادث مختلف است. لذا تمامی‌گروه طراحی از جمله طراحان معمار باید با اتخاذ تدابیر پیشگیرانه در طراحی موجبات افزایش ایمنی نیروگاه را به وجود آورد. با توجه به اینکه دانش طراحی معماری نیروگاه‌های هسته‌ای صرفاً در دست چند شرکت بین‌المللی خاص قرار دارد و به واسطه تحریم‌ها این دانش به کشورمان منتقل نمی‌شود، فقدان دانش طراحی معماری نیروگاه‌ها وابستگی کشور را همواره افزایش و توسعه این صنعت را با کندی همراه کرده است. لذا بررسی و تحقیق بر روی اصول و راهکارهای طراحی نیروگاه به جهت چشم‌انداز طراحی بیست هزار مگاوات نیروگاه بومی جدید در کشور، بسیار ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند تولید دانش طراحی نیروگاه‌ها را در کشور به همراه آورد. طراحی معماری به عنوان یکی از رشته‌های طراحی نقش مؤثری در بالا بردن ایمنی ایفا می‌کند. موضوعی که طراحان معماری همواره با آن در چالش هستند، این است که طراح معمار چه اصول و یا راهکارهایی را در طراحی باید همواره مدنظر قرار دهد تا ایمنی نیروگاه افزایش یابد؟

اساساً نیروگاه‌های هسته‌ای با تهدیدات و خطرات گوناگونی مواجه هستند. این مقاله به بیان خطرات متعارف داخلی و خارجی تهدیدکننده نیروگاه به غیر از خطرات انسان‌ساز و برنامه‌ریزی‌شده انسانی نظیر برخورد عمدی هواپیما و حملات نظامی می‌پردازد که نیازمند بررسی وسیع در زمینه سناریوهای جنگی و تهدیدشناسی است. طراح معمار باید با شناخت کامل از هریک از این خطرات، به تمهیداتی بیندیشد که منجر به جلوگیری از وقوع حادثه و محدود کردن نتایج بالقوه آنها بیانجامد. فرضیه این مقاله بر این است که با بررسی و تجزیه و تحلیل معماری نیروگاه‌های هسته‌ای حال حاضر می‌توان به راهکارها و اصول مؤثر طراحی معماری ساختمان‌های نیروگاه به منظور جلوگیری از ایجاد حوادث و خطرات و محدود کردن پیامدهای آنها با هدف افزایش ایمنی دست یافت.

روش تحقیق

یکی از راه‌های تحقیق بر روی اصول طراحی معماری نیروگاه‌ها، تجزیه و تحلیل معماری نیروگاه‌های آب سبک تحت فشار پیشرفته معاصر است. در واقع پاسخ پرسش تحقیق را می‌توان در ایده‌های طراحی فاز یک معماری نیروگاه‌ها جستجو کرد. در این مقاله پیشرفته‌ترین نیروگاه آب سبک تحت فشار اروپایی یعنی نیروگاه EPR[2] که یک نیروگاه تکامل‌یافته براساس تجربیات بیش از صد نیروگاه ساخته شده، به عنوان نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بررسی با هدف دستیابی به اصول و راهکارهای طراحی معماری نیروگاه به منظور بالا بردن ایمنی با تجزیه و تحلیل معماری این نیروگاه صورت می‌گیرد که با بالاترین استانداردهای ایمنی حال حاضر اروپا طراحی و در حال ساخت است. با توجه به اینکه نقشه‌های معماری این نیروگاه‌ها به دلایل ملاحظات امنیتی در دنیا قابل دسترس نبوده و از طرف دیگر ایده‌ها و دانش‌های طراحی نیز انحصاراً در اختیار شرکت طراح و سازنده آن است. لذا در این تحقیق از عکس‌ها، فیلم‌ها، سایت‌های اینترنتی و مستندات عمومی این نیروگاه برای رسیدن به اصول طراحی به منظور جلوگیری از ایجاد حوادث و محدود کردن پیامدهای آنها، بهره گرفته شده است.

جهت بررسی معماری نیروگاه ابتدا لازم است مفهوم ایمنی در نیروگاه‌ها و اهداف اساسی آن تشریح شود و سپس خطرات گوناگون تهدیدکننده نیروگاه بیان شود. در این راستا ایده دفاع در

عمق نیز تبیین و راهکارهای آن به منظور حفظ ایمنی نیروگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به دلیل گستردگی و تنوع ساختمان‌های تشکیل دهنده این نیروگاه، به بررسی طرح مهم‌ترین و حساس‌ترین ساختمان‌های نیروگاه یعنی ساختمان‌های رآکتور، ایمنی و سوخت پرداخته می‌شود. در این بررسی راهکارهای معماری استخراج می‌شوند که منجر به جلوگیری از ایجاد حوادث و خطرات و محدود کردن پیامدهای آنهاست. این اصول و راهکارهای معمارانه به تولید دانش بومی طراحی معماری نیروگاه‌ها افزوده و موجبات افزایش ایمنی نیروگاه را به همراه می‌آورد. در نهایت با تجزیه و تحلیل راهکارها، اصول مؤثر طراحی معماری ساختمان‌های نیروگاه به منظور جلوگیری از ایجاد خطرات و محدود کردن پیامدهای آنها که همواره باید مدنظر طراح باشد ارایه می‌شود.

ایمنی و حوادث خطرناک

موضوع ایمنی نیروگاه هسته‌ای به علت احتمال وقوع حادثه‌هایی که در آن امکان پخش مواد پرتوزا در فضا و آسیب به انسان و محیط‌زیست وجود دارد، بسیار حایز اهمیت است. ایمنی در نیروگاه‌های هسته‌ای براساس تجربیات نیروگاه‌های ساخته شده بر پایه تأمین سه هدف اساسی یعنی اهداف عمومی‌ایمنی، اهداف حفاظت در برابر اشعه و اهداف ایمنی فنی تعریف می‌شود. اهداف عمومی ایمنی ماهیتی کاملاً عمومی دارند و دو هدف حفاظت در برابر اشعه و ایمنی فنی مشترکاً اهداف مکملی هستند. اهداف عمومی‌ایمنی شامل حفاظت از اشخاص، جامعه و محیط‌زیست در برابر پیامدهای خطرناک مواد هسته‌ای است که با به کارگیری روش‌های مؤثر دفاعی و حفاظت مستمر از آنها صورت می‌پذیرد. اهداف حفاظت در برابر اشعه به معنای برنامه‌ریزی جهت اطمینان از نگهداشتن میزان پرتوگیری هسته‌ای به کمتر از حدود پیش‌بینی شده در شرایط بهره‌برداری عادی نیروگاه و همچنین پیشگیری از گسترش پرتودهی رادیواکتیو ناشی از حوادث است (IAEA, 2000: 3-4). اهداف ایمنی فنی، استفاده از تمامی ویژگی‌های عملی و منطقی جهت پیشگیری و محدود کردن حوادث و رخدادها و محدود کردن نتایج آنها در نیروگاه‌هاست. لذا باید با یک ضریب اطمینان بالا از تمامی حوادثی که در طراحی نیروگاه پیش‌بینی شده، حتی مواردی که احتمال وقوع بسیار کمی دارند، پیشگیری کرد. همچنین اطمینان حاصل کرد که احتمال وقوع حوادث خطرناک با پرتوزای رادیولوژیکی جدی و شدید بسیار پایین است. اما نیروگاه‌ها با چه خطرات و حوادث جدی و خطرناکی روبرو هستند؟

حوادث خطرناک

خطرات گوناگونی نیروگاه‌های هسته‌ای را تهدید می‌کنند که می‌توان آنها را به دو دسته کلی خطرات داخلی و خارجی دسته‌بندی نمود. خطرات داخلی نظیر آتش‌سوزی، ایجاد سیل براثر شکستگی لوله‌های پرانرژی و انفجارات داخلی است. خطرات خارجی به سه گروه خطرات ناشی از پدیده‌های طبیعی خطرناک، رخدادهای درون سایت نیروگاه و حوادث ناشی از عملکرد انسان تقسیم‌بندی می‌شود. خطرات ناشی از پدیده‌های طبیعی مرتبط با محل نیروگاه مانند زلزله، سیل، امواج بزرگ دریا، حوادث شدید جوی نظیر طوفان، بادهای شدید است. رخدادهای درون سایت شامل آتش‌سوزی و انفجارات بیرونی است. خطرات ناشی از عملکرد انسان یا انسان‌ساز نظیر برخورد هواپیما با ساختمان‌های اصلی نیروگاه، تهدیدات نظامی و انفجارات بیرونی است. با توجه به اینکه تهدیدات برنامه‌ریزی‌شده انسانی مقوله مفصلی است و نیازمند مقدمات طولانی در زمینه سناریوهای جنگی و شناخت تهدیدهای جنگی است لذا مسایل مربوط به این تهدیدات در این مقاله گنجانده نشده است.

وظیفه طراحان معماری شناخت تمامی زوایای خطرات و حوادث تهدیدکننده نیروگاه و به کارگیری تمهیدات لازم در طراحی جهت جلوگیری از بروز حادثه و محدود کردن نتایج آن است. جهت جلوگیری از حوادث خطرناک در نیروگاه‌ها و محدود کردن نتایج آنها براساس تجربیات حاصل از نیروگاه‌های قبلی مؤثرترین راه پیشنهاد شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، به کارگیری ایده دفاع در عمق[۳] است (www.iaea.com Dec. 2013)؛ (جدول ۱).

دفاع در عمق

راهکار اساسی پیشنهاد شده توسط سازمان بین‌المللی انرژی اتمی جهت حفظ ایمنی در برابر حوادث و رخدادهای خطرناک استفاده از ایده دفاع در عمق است. دفاع در عمق به معنای پیشگیری از بروز حوادث و جلوگیری از گسترش آنها به منظور حفظ ایمنی نیروگاه در برابر حوادث و خطرات است. دفاع در عمق دارای اهداف گوناگون نظیر جبران خطاها و اشتباهات بالقوه انسانی و تجهیزات، حفظ کارآمدی موانع براساس جلوگیری از آسیب به نیروگاه و آسیب به خود موانع، حفاظت از جامعه و محیط‌زیست در مقابل آثار منفی حوادث است در زمانی که موانع پیش‌بینی شده کاملاً مؤثر نیستند. راهبردهای دفاع در عمق در دو زمینه مطرح است که عبارتند از (Seddigh, Y., 2007: 394) :

پیشگیری از بروز حوادث

در صورت عدم موفقیت در پیشگیری حوادث، محدودکردن پیامدهای بالقوه حوادث و جلوگیری از گسترش حادثه و تبدیل شدن به شرایط خطرناک البته پیشگیری از بروز حادثه در اولویت قرار دارد زیرا ایجاد تمهیدات لازم برای جلوگیری از انحراف یک نیروگاه در حال بهره‌برداری از شرایط عادی عمدتاً بسیار مؤثرتر و قابل پیش‌بینی‌تر از فعالیت‌هایی است که برای کاهش پیامدهای چنین انحرافی باید صورت پذیرد. طراحی ویژگی‌های معماری ساختمان‌های نیروگاه باید با در نظر گرفتن وقایع قابل پیش‌بینی و وقایع با قابلیت ایجاد شرایط خطرناک و محدود کردن پیامدهای بالقوه این حوادث صورت پذیرد. در ادامه به بررسی و ارزیابی نمونه

خطرات داخلی		آتش‌سوزی
		ایجاد سیل براثر شکستگی لوله‌های پرانرژی
		انفجارات داخلی
		خروج مواد رادیواکتیو
خطرات خارجی	پدیده‌های طبیعی خطرناک	زلزله
		سیل، امواج بزرگ دریا
		حوادث شدید جوی نظیر طوفان و بادهای شدید
	رخدادهای محیط نیروگاه	انفجارات بیرونی
		آتش‌سوزی

جدول۱. انواع خطرات گوناگون تهدیدکننده نیروگاه. مأخذ : نگارندگان.

Table 1. Different hazards threatening the power plant. Source: authors.

موردی از یک نیروگاه پیشرفته آب سبک تحت فشار به نام نیروگاه EPR به عنوان جدیدترین و تکامل‌یافته‌ترین نیروگاه طراحی و اجرا شده در اروپا با هدف به دست آوردن راهکارهای طراحی معماری جهت رسیدن به اهداف ایمنی و دفاع در عمق پرداخته می‌شود.

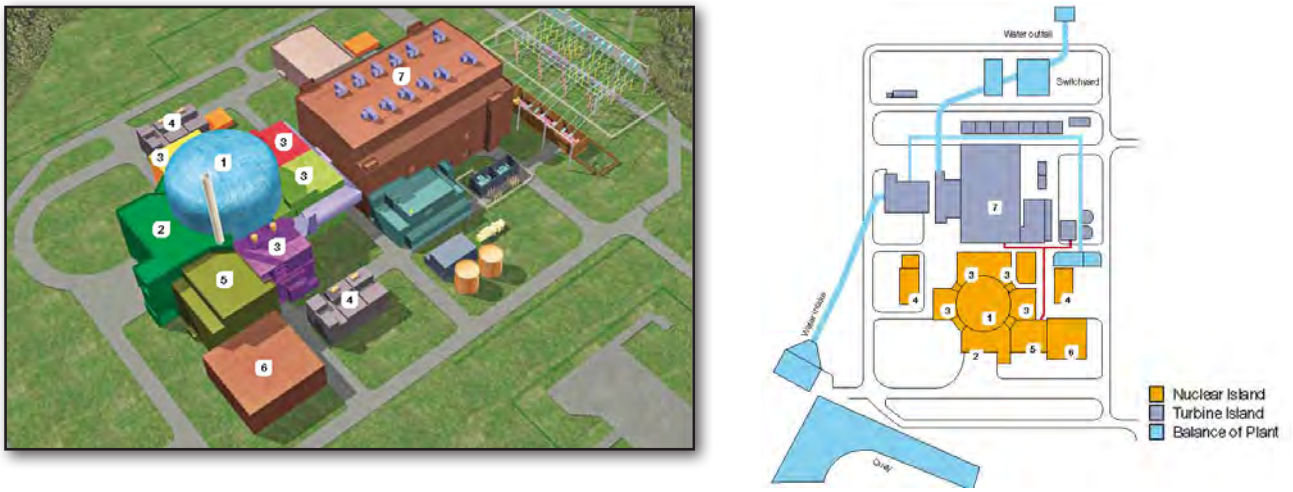
طرح نیروگاه EPR

نیروگاه EPR یک طرح تکامل‌یافته از نیروگاه‌های کشورهای فرانسه و آلمان با توان الکتریکی MWe1650 از نوع نیروگاه‌های آب سبک تحت فشار پیشرفته است. این نیروگاه متعلق به نسل آخر نیروگاه‌های هسته‌ای با سیستم‌های ایمنی قوی و بالاترین بازده تولید انرژی نسبت به سایر نیروگاه‌های مشابه است که هزینه برق تولیدی را به صورت محسوسی کاهش می‌دهد (AREVA, 2013: 81). از این نوع نیروگاه چهار واحد به نام‌های نیروگاه الیکوتو۳ در فنلاند از سال ۲۰۰۴، فلمنویله۳ در فرانسه از سال ۲۰۰۷ و تیشان ۱و ۲ در شرق چین از سال ۲۰۰۸ تا کنون در حال ساخت هستند.

طرح نیروگاه EPR شامل یک جزیره هسته‌ای (NI)[۴] جهت تولید بخار و یک جزیره جهت تولید برق (TI)[۵]است. جزیره هسته‌ای که در آن فرآیند تولید بخار از طریق واکنش هسته‌ای صورت گرفته و شامل ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی و ساختمان سوخت که بر روی یک شالوده مشترک قرار دارند و ساختمان‌های دیگر نظیر ساختمان کمکی، ساختمان پسمان رادیو اکتیو، دو ساختمان دیزل اضطراری و دو ساختمان آب سرویس‌دهنده اصلی، هر یک بر روی شالوده‌های جداگانه هستند. جزیره تولید برق که در آن فرآیند تولید برق به واسطه تبدیل انرژی حرارتی بخار آب به انرژی مکانیکی چرخشی در توربین‌ها و چرخش محور ژنراتور صورت می‌پذیرد و شامل ساختمان توربین، ترانسفورماتورها و ساختمان‌های مرتبط با تولید برق است. تصویر ۱ چیدمان جزیره هسته‌ای و جزیره تولید برق و سایت پلان نیروگاه را نشان می‌دهد. اصلی‌ترین ساختمان‌های جزیره هسته‌ای نیروگاه یعنی ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی و ساختمان سوخت در کنار یکدیگر، در مرکز جزیره هسته‌ای و بر روی یک شالوده مشترک قرار دارند (تصویر ۲). این ساختمان‌ها مواد خطرناک رادیواکتیو را در خود جای داده و براثر خطرات داخلی یا خارجی ممکن است مقدار زیادی از مواد رادیواکتیو را به محیط‌زیست منتقل کنند. لذا طراحی و ساخت این ساختمان‌ها با بالاترین الزامات ایمنی بسیار حایز اهمیت است. با توجه به متعدد بودن ساختمان‌های نیروگاهی و اهمیت بسیار بالای ساختمان‌های رآکتور، ساختمان‌های ایمنی، ساختمان سوخت از لحاظ ایمنی، این تحقیق به بررسی نحوه قرارگیری این ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر و طرح معماری هر یک از این ساختمان‌ها جهت به دست آوردن راهکارهای طراحی معماری به منظور بالا بردن ایمنی می‌پردازد.

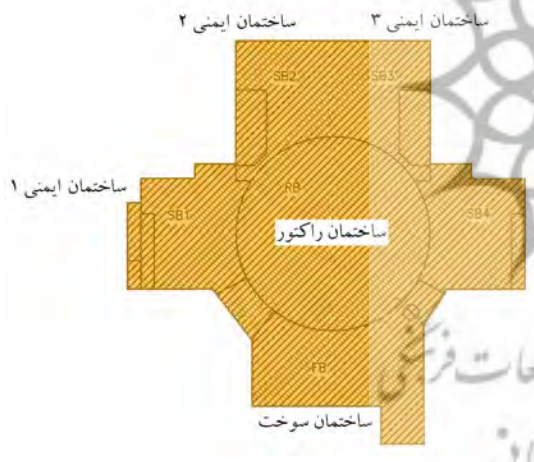
ساختمان رآکتور

ساختمان رآکتور به عنوان پوشش ایمنی جهت حفاظت از فرآیند شکافت هسته‌ای و تولید بخار عمل می‌کند. این ساختمان به عنوان اصلی‌ترین ساختمان هر نیروگاه شناخته شده و در برابر خطرات مختلف داخلی و خارجی باید به صورت مقاوم طراحی و ساخته شود. در واقع پوشش ایمنی ساختمان رآکتور در برگیرنده تمام روش‌ها، تمهیدات و سیستم‌ها برای جلوگیری از پخش مقادیر غیر قابل قبول مواد پرتوزا از مرزهای مشخص شده حتی در



تصویر ۱. راست : چیدمان کلی سایت پلان نیروگاه، جزیره هسته‌ای با رنگ نارنجی و جزیره تولید برق با رنگ آبی تیره مشخص شده است، چپ : چیدمان سه‌بعدی سایت پلان نیروگاه EPR. به شرح: ۱- ساختمان راکتور، ۲- ساختمان سوخت، ۳- ساختمان ایمنی، ۴- ساختمان دیزل اضطراری، ۵- ساختمان کمکی، ۶- ساختمان پسمان، ۷- ساختمان توربین. مأخذ : AREVA, ۲۰۰۹: ۱۰-۱۱و ۱۳ .

Fig. 1. The main arrangement of the whole power plant site: the nuclear island is shown by orange color and the electrical power generating island is shown by blue. Left: 3Dimensional arrangement of the power plant EPR: 1- Reactor building, 2- Fuel building, 3-Safegaurd building, 4- Emergency diesel building, 5- Auxiliary building, 6- Radioactive waste building, 7- Turbine building. Source: AREVA, 2009: 10-11, 13.

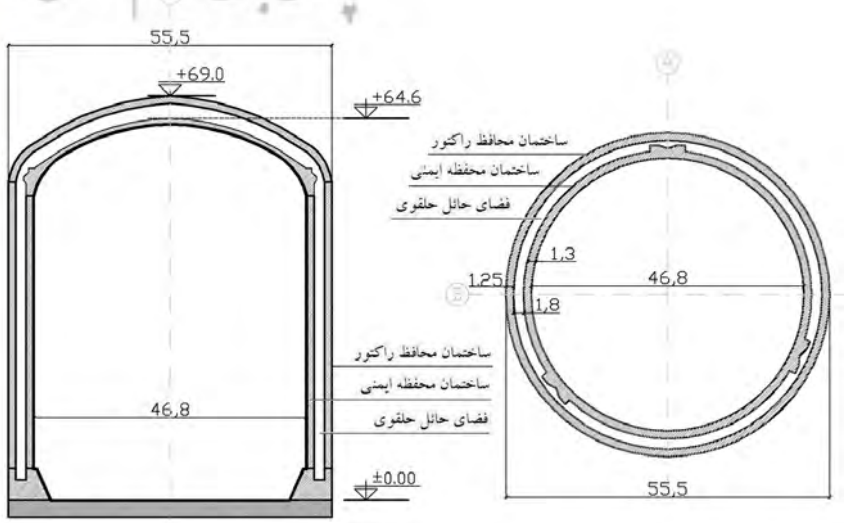


تصویر۲. ساختمان راکتور (RB)، ساختمان‌های ایمنی (SB)و ساختمان سوخت (FB) در جزیره هسته‌ای. مأخذ : http://www.areva-np.com :Dec. 2013

Fig. 2. Reactor building (RB), Safeguard building (SB), Fuel building (FB). Source: http://www.areva-np.com :Dec. 2013.

تصویر۳. راست و وسط : پلان و مقطع دیواره‌های ساختمان راکتور EPR (نگارندگان) و چپ : ساختمان راکتور نیروگاه الیکوتو ۳ فنلاند سال ۲۰۰۹ . مأخذ : http://www. areva.com : Nov. 2013

Fig. 3. Right and Middle: Plan and section of EPR reactor building walls. Source: Authors and Left: Reactor building of Olkiluoto 3 (OL3) power plant, Finland, 2009. Source: http://www.areva.com : Nov. 2013.



صورت بروز حادثه است (Dubrovsky, 1979: 134). ساختمان محفظه ایمنی یک حفاظ رادیولوژیکی برای قلب رآکتور و سیستم خنک‌کننده رآکتور مهیا می‌کند و نشت رادیواکتیویته را در حوادث مبنای طراحی کنترل می‌کند. ساختمان رآکتور به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که قدرت تحمل حوادث داخلی را به مانند حوادث خارجی دارا باشد. در رخداد و اتفاقات خطرناک داخلی نظیر ایجاد سیل بر اثر شکستگی لوله‌های پرانرژی، ساختمان محفظه ایمنی وظیفه نگهداری مواد رادیو اکتیو، تحمل فشارها و دماهای بسیار بالایی که براثر انباشت انرژی‌های ذخیره شده رخ می‌دهند را دارا است (U.S. EPR, 2009: 3,8-78).

ساختمان رآکتور نیروگاه EPR دارای ساختار استوانه‌ای گنبدی دو پوسته است که شامل یک استوانه با سقف گنبدی بتنی مسلح به عنوان پوسته و حفاظ بیرونی به نام ساختمان محافظ (RSB)[۹] و یک استوانه با سقف گنبدی بتنی پیش تنیده به عنوان پوسته و ساختار درونی به نام ساختمان محفظه ایمنی (RCB)[۱۰] با یک آستر فلزی به ضخامت ۶/۳۵ میلی‌متر است. بین این دو ساختمان استوانه‌ای شکل یک فضای حایل حلقوی شکل قرار دارد. در واقع ساختمان محفظه ایمنی، ساختمان محافظ و فضای حایل حلقوی‌شکل، ساختمان رآکتور را تشکیل می‌دهند و همگی بر روی یک شالوده مشترک قرار دارند. اندازه قطر داخلی ساختمان محفظه ایمنی تقریباً برابر ۴۶/۸ متر و اندازه قطر بیرونی ۴۹/۴ متر و ارتفاع آن ۶۴/۶ متر است. اندازه قطر داخلی ساختمان محافظ برابر ۵۳ متر و قطر خارجی ساختمان محافظ تقریباً برابر ۵۵/۵ متر و ارتفاع این ساختمان ۶۹ متر است که به صورت کامل ساختمان محفظه ایمنی را احاطه می‌کند. فضای حایل حلقوی نیز تقریباً دارای ۱۸۰ سانتیمتر عرض، بین دیواره‌های بتنی دو ساختمان محافظ و محفظه ایمنی است(Ibid). در داخل ساختمان محفظه ایمنی اصلی‌ترین سیستم نیروگاه یعنی سیستم خنک‌کننده رآکتور قرار دارد که وظیفه خنک‌سازی رآکتور و برداشت گرما و هدایت آن به سمت مولد بخار به منظور بخار کردن آب در مدار را به عهده دارد. این سیستم در این نیروگاه شامل چهار مدار سیستم خنک‌کننده رآکتور با چیدمان شعاعی نسبت به مخزن رآکتور و شامل یک مخزن کنترل فشار، چهار پمپ تغذیه (برای هر مدار یک پمپ)، چهار مولد بخار (برای هر حلقه یک مولد بخار)، لوله‌کشی‌های کمکی و سیستم‌های کنترلی و حفاظتی است (Hooshmand R., 2008: 266-275).

راهکارهای معماری در برابر خطرات

با تجزیه و تحلیل فرم معماری ساختمان رآکتور می‌توان دریافت که طراح براساس ایده دفاع در عمق یعنی جلوگیری از حوادث، رخدادهای خطرناک و در صورت عدم موفقیت در جلوگیری، محدود کردن پیامدهای بالقوه آنها و ممانعت از گسترش آنها ایده‌های معمارانه متعددی داشته و این ایده‌ها و راهکارهای معمارانه منجر به افزایش ایمنی نیروگاه شده است. خلاصه‌ای از راهکارهای کلی طراحی معماری ساختمان رآکتور در جدول ۲ بیان شده است. نتیجه مطالب ارایه شده در جدول نشان می‌دهد که طراح از راهکارهای نظیر طراحی فرم، هندسه و چیدمان فیزیکی مناسب، جداسازی فیزیکی، ایجاد فضای حایل و به وجود آوردن ساختارهای اضافی به منظور حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات داخلی و خارجی و بالا بردن سطح ایمنی بهره جسته است.

ساختمان ایمنی

ساختمان ایمنی فضای لازم جهت سیستم‌های تأمین کننده ایمنی نیروگاه را مهیا می‌سازد. این سیستم‌ها شامل تجهیزات مکانیکی و برقی، مخازن، پمپ‌ها و اجزای سیستم‌های ایمنی و اضطراری مدارهای نیروگاه است. همچنین این ساختمان اتاق کنترل و اتاق شیرفلکه‌های لوله‌های آب و بخار اصلی را در خود جای می‌دهد.

در نیروگاه‌ها سیستم‌های ایمنی در هر شرایطی باید کاربردی و در دسترس باشند. استفاده از سیستم‌های ذخیره در هر یک از سیستم‌های نیروگاه که لازم است در برابر از کار افتادگی محافظت شوند، بسیار اهمیت دارد. لذا با در نظر گرفتن سیستم‌های ذخیره جهت سیستم‌های مهم ایمنی، در صورت وجود عیب و نقص در یکی از آنها، سیستم‌های مشابه دیگری وظیفه و کار آن را انجام خواهند داد و احتمال از کار افتادگی عملکرد ایمنی کاهش پیدا می‌کند(Borlein Markus, 2009: 135-137).

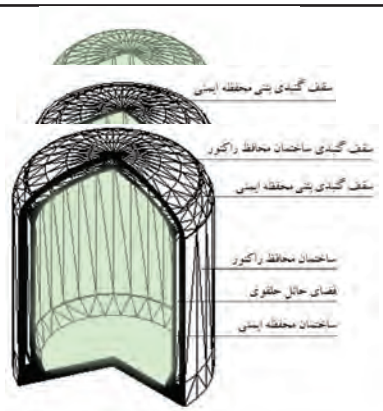
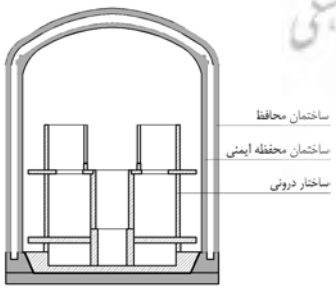
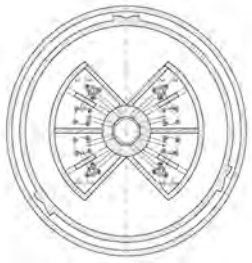
در این نیروگاه تعداد سیستم‌های ذخیره برای سیستم‌های ایمنی براساس ایده ایمنی N+۲ در نظر گرفته می‌شود. ایده N+۲ بدان معناست که جهت تأمین ایمنی کافی به ازای هر N سیستم، علاوه بر N سیستم ضروری دو سیستم ذخیره اضافی باید در نظر گرفت. این بدان منظور است که اگر یکی از سیستم‌های ایمنی اصلی جهت تعمیرات از مدار سرویس‌دهی خارج و دیگری هم‌زمان خراب شود،

تصویر۴. ساختمان‌های ایمنی (۱) ، ساختمان راکتور (۲) و ساختمان سوخت (۳) در جزیره هسته‌ای. مأخذ : http://www.de.areva.com : Dec. 2013

Fig. 4. Safeguard building (1), Reactor building (2) and Fuel Building (3) in Nuclear Island. Source: http://www.de.areva.com : Dec. 2013.

جدول ۲. راهکارهای معماری با هدف بالا بردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان راکتور در برابر خطرات. مأخذ : نگارندگان.

Table 2. Architectural strategies and protecting the reactor building against hazards. Source: authors.

راهکارهای معماری در ساختمان رآکتور (هدف بالا بردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات)	کاهش اثرات ناشی از: خطرات داخلی	کاهش اثرات ناشی از: خطرات خارجی	تصویر
فرم استوانه‌ای–کروی ساختمان راکتور مقاومت و ایستایی آن را در برابر خطرات مختلف نظیر زلزله، طوفان و موج انفجار بالا می‌برد.	موج انفجار	زلزله، طوفان، موج انفجار	
دو پوسته کردن ساختمان راکتور (**طراحی دو ساختار**) که شامل یک ساختمان محافظ به عنوان پوسته و ساختار بیرونی و یک پوسته و ساختار درونی به نام ساختمان محفظه ایمنی است، موجب افزایش مقاومت ساختمان راکتور در برابر خطرات داخلی و خارجی می‌شود.	آتش‌سوزی، موج انفجار، خروج‌مواد رادیواکتیو	موج انفجار	
طراحی **لایه‌های سازه‌ای** مختلف در اطراف راکتور و سیستم تولید بخار هسته‌ای با هدف حفاظت از آنها و کاهش اثرات خطرات بر پایه ایده دفاع در عمق است.	آتش‌سوزی، موج انفجار، خروج‌مواد رادیواکتیو	موج انفجار	
ساختمان محافظ به عنوان پوسته بیرونی ساختمان راکتور، **حفاظ مضاعفی** در برابر خطر خروج و پراکنده شدن مواد رادیواکتیو به محیط پیرامون به وجود می‌آورد. این **ساختار اضافی** (ساختمان محافظ) مقاومت ساختمان را در برابر خطراتی نظیر طوفان و بادهای شدید بالا می‌برد. **فضای حایل** ساختمان رآکتور با ایجاد یک فشار منفی ناچیز، عملکرد ثانویه ساختمان محافظ در برابر خروج آلودگی را تسهیل بخشد.	موج انفجار، خروج‌مواد رادیواکتیو	طوفان، بادهای شدید	
جهت جلوگیری از اثر متقابل سازه‌های مختلف درون ساختمان محفظه ایمنی، سازه‌های درون آن به صورت فیزیکی از ساختار پیرامونی مستقل شده‌اند و فقط در شالوده با هم مشترک هستند. این امر مقاومت بالاتری در برابر خطراتی نظیر زلزله به همراه دارد. فضای حایل بین ساختمان محافظ و محفظه ایمنی است، از اثر متقابل این دو ساختار بر روی هم براثر بارهای ناشی از زلزله و حوادث ماورای آن جلوگیری کند.	موج انفجار	زلزله، موج انفجار	
هندسه قرارگیری چهار مدار سیستم خنک‌کننده راکتور با چیدمان شعاعی توان ذاتی ایمنی را افزایش می‌دهد. چیدمان این چهار مدار و جداسازی فیزیکی آنها به منظور جلوگیری از گسترش صدمات وارده بر یک مدار بر مدارهای دیگر نظیر آتش‌سوزی است.	آتش‌سوزی، موج انفجار	موج انفجار	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

همواره دو سیستم دیگر وجود دارد تا جایگزین آنها شود و عملکرد ضروری ایمنی را انجام دهند. به عنوان مثال در نیروگاه EPR که دو سیستم ایمنی مورد نیاز است، دو سیستم ذخیره نیز براساس ایده ۲+N در نظر گرفته می‌شود و بدین ترتیب برای این نیروگاه چهار سیستم ایمنی به منظور بالا بردن اطمینان در نظر گرفته می‌شود. لذا سیستم‌های ایمنی نیروگاه EPR به چهار بخش براساس ایده ایمنی ۲+N تقسیم‌بندی و هر یک از این رشته‌های ایمنی در یکی از چهار ساختمان ایمنی در اطراف ساختمان رآکتور قرار می‌گیرند.

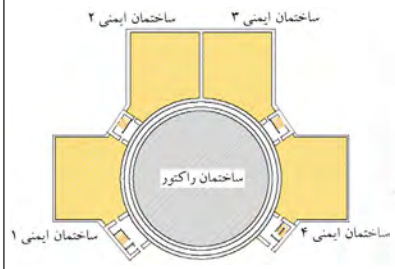
به عبارت دیگر هر یک از سیستم‌های ایمنی براساس ایده چندگانگی[11] در هر ساختمان ایمنی قرار دارد. این عمل به منظور جلوگیری از هم‌زمانی اشکالات در سیستم‌های ایمنی است. در ضمن هر یک از چهار رشته سیستم اصلی ایمنی به تنهایی توانایی انجام کامل عملکرد ایمنی را دارند (Apel Frank, 2006: 42).

راهکارهای معماری در برابر خطرات

چهار ساختمان مرتبط با ایمنی، فضای مناسبی جهت چهار سیستم

جدول ۳. راهکارهای معماری با هدف بالا بردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان های ایمنی در برابر خطرات. مأخذ : نگارندگان.

Table 3. Architectural strategies with the goal of increasing safety standards and protecting the safeguard buildings against hazards. Source: authors.

راهکارهای معماری در ساختمان‌های ایمنی (هدف بالابردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات)	کاهش اثرات ناشی از: خطرات داخلی	کاهش اثرات ناشی از: خطرات خارجی	تصویر
دو ساختمان ایمنی ۱ و ۴ به صورت فیزیکی از یکدیگر مجزا و در دو طرف ساختمان راکتور قرار دارند. همچنین ساختمان‌های ایمنی ۲ و ۳ با یک دیوار بتنی از یکدیگر جدا شده‌اند. بدین ترتیب چیدمان چهار ساختمان ایمنی به گونه‌ای است که یک جداسازی فیزیکی بین سیستم‌های ایمنی ایجاد شود و هر رشته سیستم‌های ایمنی در ساختمان‌های متفاوت بتنی قرار می‌گیرد. این عمل سیستم‌ها را در برابر انتشار صدمات ناشی از خطرهای گوناگون نظیر آتش‌سوزی و ... محافظت می‌کند.	آتش‌سوزی، موج انفجار، ایجاد سیل (شکستگی لوله‌های پرانرژی)	زلزله، طوفان، موج انفجار	
درون هر ساختمان ایمنی دو بخش مکانیکی و الکتریکی قراردارد. چیدمان فیزیکی این بخش‌ها به گونه‌ای است که بخش مکانیکی ایمنی و فضاهای مربوط نظیر مخازن آب، پمپ‌ها و لوله‌های آب در ترازها و طبقات پایین ساختمان ایمنی (سه طبقه پایینی) قرار دارد و فضاها و بخش الکتریکی ایمنی شامل اتاق کابل‌ها، سوییچ‌گیر و باطری‌ها در طبقات بالاتر بخش مکانیکی قرار دارند. لذا خطراتی نظیر ایجاد سیل بر اثر شکستگی لوله‌ها و مخازن به تجهیزات و کابل‌های برقی آسیبی نمی‌رساند.	ایجاد سیل (شکستگی لوله‌های پرانرژی)		
– اتاق کنترل اصلی به عنوان مهم‌ترین فضای کنترلی در نیروگاه درون ساختمان ایمنی ۲ قرار دارد و با چند لایه محافظ سازه‌ای در برابر خطرات داخلی و خارجی محافظت می‌شود. – ایستگاه خاموش‌سازی کنترلی به عنوان فضای پشتیبان اتاق کنترل اصلی نیز درون ساختمان‌های ایمنی ۳ که به مانند اتاق کنترل توسط چند لایه محافظ سازه‌ای در برابر خطرات محافظت می‌شود.	آتش‌سوزی، موج انفجار، ایجاد سیل (شکستگی لوله‌های پرانرژی)	طوفان، بادهای شدید، موج انفجار	

مجزای ایمنی مهیا می‌سازند که هر یک از سیستم‌ها، تجهیزات کامل و یکپارچه‌ای دارند. سیستم‌ها و تجهیزات درون ساختمان ایمنی در شرایط عادی و بحرانی همواره باید عملکرد ایمنی را حفظ کنند، لذا ساختمان‌های ایمنی باید به صورتی طراحی شوند تا در برابر حوادث درونی و بیرونی مقاوم باشند.

آرایش چهار ساختمان ایمنی به‌گونه‌ای است که یک جداسازی فیزیکی بین آنها وجود دارد و هر رشته سیستم‌های ایمنی در ساختمان‌های متفاوت بتنی از یکدیگر مجزا شده‌اند.

جداسازی فیزیکی هر یک از بخش‌های ایمنی، از آنها در برابر انتشار خطرهای داخلی گوناگون نظیر آتش‌سوزی، ایجاد سیل براثر شکستگی لوله‌های پرانرژی و انتقال آن به بخش دیگر و خطرات خارجی نظیر انفجارات درون سایت محافظت می‌کند. در جدول ۳ خلاصه‌ای از تجزیه و تحلیل راهکارهای کلی طراحی معماری ساختمان ایمنی جهت جلوگیری از حوادث و محدود کردن پیامدهای آنها که منجر به افزایش ایمنی نیروگاه می‌شود، بیان شده است.

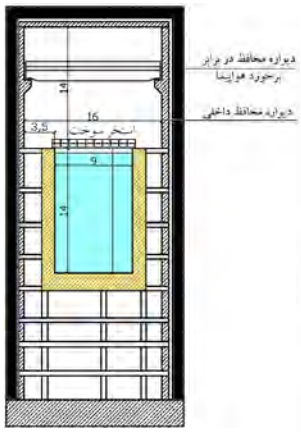
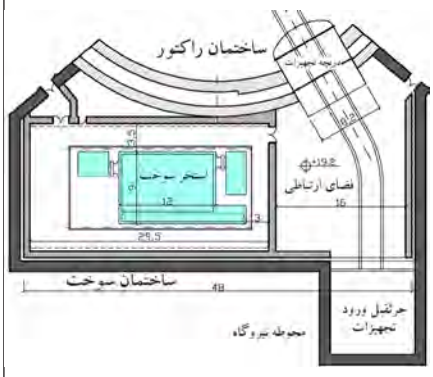
نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که طراح از راهکارهای نظیر چیدمان فیزیکی مناسب، جداسازی فیزیکی، ایجاد ساختارهای اضافی به منظور حفاظت از فضاها و ساختمان‌ها در برابر خطرات داخلی و خارجی و بالا بردن سطح ایمنی بهره گرفته است.

ساختمان سوخت

ساختمان سوخت فضای لازم جهت انبار سوخت‌های تازه و مصرف

جدول ۴. راهکارهای معماری با هدف بالا بردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان سوخت در برابر خطرات. مأخذ : نگارندگان.

Table 4. Architectural strategies with the goal of increasing safety standards and protecting the fuel building against hazards. Source: authors.

راهکارهای معماری در ساختمان‌های سوخت (هدف افزایش سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات)	کاهش اثرات ناشی از: خطرات داخلی	کاهش اثرات ناشی از: خطرات خارجی	تصویر
ساختمان سوخت توسط دو پوسته بیرونی (ساختار اضافی) در برابر خطرات داخلی و خارجی محافظت می‌شود.	آتش‌سوزی، موج انفجار	طوفان، موج انفجار	
استخر سوخت در ترازهای بالایی ساختمان سوخت قرار دارد و به گونه‌ای طراحی و چیدمان فیزیکی شده تا به صورت چند لایه (توسط چند لایه محافظ سازه‌ای) در برابر خطرات داخلی و خارجی براساس ایده دفاع در عمق محافظت می‌شود.	موج انفجار	موج انفجار	
در تراز بالایی فضای ساختمان سوخت به دو بخش مجزا تقسیم می‌شود. یک بخش بهره‌برداری از استخر سوخت و بخش دیگر فضای ارتباطی **(فضای حایل)** بین ساختمان راکتور و محوطه نیروگاه است که به عنوان فضای واسطی بین دریچه تجهیزات ساختمان راکتور و فضای ورودی تجهیزات است. این فضای ارتباطی، دریچه تجهیزات را که به عنوان اصلی‌ترین روزنه ارتباطی ساختمان راکتور با بیرون است، در برابر خطرات مختلف داخلی و خارجی حفاظت کرده و افزایش ایمنی را به همراه دارد.		طوفان، باد شدید، موج انفجار	

شده، استخر سوخت و تجهیزات جابجایی آن را مهیا می‌سازد. این ساختمان به عنوان یک بخش از جزیره هسته‌ای در کنار ساختمان رآکتور و ساختمان‌های ایمنی است. در بعضی از نیروگاه‌های قدیمی‌تر مانند نیروگاه بوشهر به طور معمول سیستم‌ها و تجهیزات مربوط به سوخت در داخل ساختمان رآکتور قرار دارند. اما در نیروگاه EPR سیستم‌های مرتبط با سوخت درون یک ساختمان مجزاست. این عمل موجب افزایش ایمنی ساختمان رآکتور می‌شود زیرا میله‌های سوخت مصرف شده که امکان ایجاد خطر را دارند به جای انبار شدن در ساختمان رآکتور به ساختمان سوخت منتقل می‌شوند. ساختمان سوخت بر طبق الگوهای ایمنی یکسان با ساختمان رآکتور ساخته می‌شود به طوری که وقوع رخدادهای خارجی در آن لحاظ شده است.

راهکارهای معماری در برابر خطرات

مهم‌ترین ویژگی‌های طراحی ساختمان سوخت، مواردی است که تضمین‌های لازم را برای دریافت، جابجایی، ذخیره‌سازی و بازیابی مجدد سوخت مصرف شده بدون ایجاد ریسک غیرمترقبه برای ایمنی و سلامت جامعه یا محیط‌زیست، ایجاد می‌کنند. خطرات گوناگون داخلی و خارجی ساختمان سوخت را تهدید می‌کنند. لذا طراح باید همواره تمهیدات لازم و کافی برای افزایش ایمنی این ساختمان را در نظر بگیرد. استفاده از سیستم‌های ذخیره و طراحی صحیح معماری دو عاملی هستند که می‌توانند ایمنی این ساختمان را بسیار بالا ببرند. مهم‌ترین فضای ساختمان سوخت تراز محل قرارگیری استخر سوخت است که توسط چند لایه محافظ سازه‌ای در برابر خطرات نظیر زلزله، طوفان، بادهای شدید و موج انفجار محافظت می‌شود. در جدول ۴ خلاصه‌ای از راهکارهای طراحی معماری ساختمان سوخت جهت جلوگیری از حوادث و محدود کردن پیامدهای آنها بیان شده است. نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که طراح از راهکارهای نظیر چیدمان فیزیکی مناسب، جداسازی فیزیکی، ایجاد ساختارهای اضافی به منظور حفاظت از ساختمان در برابر خطرات داخلی و خارجی و بالا بردن سطح ایمنی بهره گرفته است.

ارتباط فضایی ساختمان‌های رآکتور، ایمنی و سوخت

علاوه بر ارزیابی معماری هر یک از ساختمان‌های جزیره هسته‌ای، بررسی نحوه ارتباط و قرارگیری مجموعه ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر نیز جهت تأمین ایمنی بسیار اهمیت دارد. چیدمان اصولی و مناسب ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی و ساختمان سوخت در کنار یکدیگر، می‌تواند منجر به افزایش سطح ایمنی نیروگاه شود. به عنوان مثال یکی از راهکارهای افزایش مقاومت ساختمان رآکتور در برابر خطرات داخلی و خارجی توسط طراح معمار به واسطه چیدمان مناسب ساختمان‌های ایمنی و سوخت در اطراف آن حاصل شده است. در واقع چهار ساختمان ایمنی (ساختمان ایمنی ۱، ۲ و ۳، ۴) و ساختمان سوخت به‌گونه‌ای طراحی و چیدمان شده‌اند که در چهار طرف ساختمان رآکتور قرار گیرند. بدین ترتیب مقاومت و ایستایی ساختمان رآکتور در برابر خطرات داخلی و خارجی نظیر موج انفجار افزایش می‌یابد. از طرف دیگر ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی و سوخت بر روی یک شالوده مشترک و یکپارچه قرار داشته و بدین ترتیب مقاومت بالاتری در برابر زلزله دارند. طرح و ترکیب ۴ رشته سیستم ایمنی با ترتیب فضایی ۴ مدار اولیه سیستم خنک‌کننده در ساختمان رآکتور مطابق است که منجر به چیدمان هر یک از ساختمان‌های ایمنی در نزدیکی یک مدار سیستم خنک‌کننده می‌شود. این چیدمان مزایای زیر را به همراه دارد :

ایده طراحی و چیدمان ساختمان‌ها ساده شده و هر رشته سیستم ایمنی به یک مدار اولیه خنک‌کننده وصل است.

تکرارپذیری قابل انعطاف در این ۴ رشته ایمنی در طول مدت خاموش‌سازی نیروگاه مهیا است، یعنی زمانی که توان لازم برای دفع گرما و دیگر عملکردها کاهش پیدا کرده است.

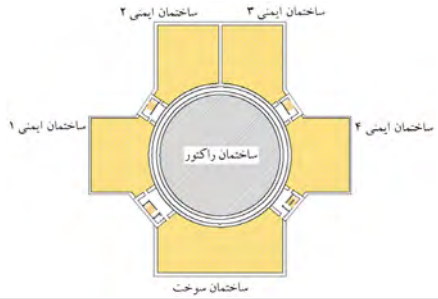
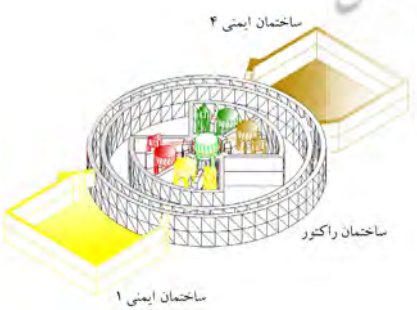
توانایی انجام تعمیرات پیشگیرانه در یک رشته سیستم ایمنی به واسطه تعدد رشته‌های ایمنی با عملکرد یکسان در طول بهره‌برداری وجود دارد. همچنین برای ساختمان‌های اصلی ایمنی (ساختمان ایمنی ۲ و۳، ساختمان رآکتور، ساختمان سوخت) یک حفاظ محکم در برابر خطرات خارجی طراحی شده است (U.S. EPR, 2008, 1,2-7). ایده ایمنی توسط ترکیبی از بالا بردن مقاومت سازه‌ها و جداسازی فضایی و آمیختن و ترکیب کردن ملاحظات ایمنی حاصل می‌شود. سازه درونی ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی ۲ و ۳ و ساختمان سوخت از دیواره حفاظتی بیرونی مجزا شده تا از نتایج برخورد دیواره حفاظتی با دیواره بیرونی در زلزله مصون بماند (AREVA, 2009: 10-11, 13). ساختمان‌های ایمنی ۱ و ۴ به صورت فیزیکی از هم مجزا شده و در دو طرف ساختمان رآکتور قرارگرفته‌اند تا پتانسیل خرابی و تخریب، صرفاً برای یک بخش ایمنی باشد و این جداسازی فیزیکی باعث می‌شود تا در اثر صدمه یک ساختار، ساختمان دیگر آسیب نبیند. لوله‌های تغذیه آب به مدار دوم و لوله‌های بخار اصلی به صورت دوتایی به‌گونه‌ای فیزیکی از هم مجزا شده و در ساختمان ایمنی ۱و ۴ قرارگرفته‌اند، تا ایمنی عملکردهای آنها در حوادث به خطر نیفتد. با تجزیه و تحلیل چیدمان و معماری ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی و سوخت می‌توان ایده‌های طراح جهت جلوگیری از حوادث خطرناک و محدود کردن پیامدهای بالقوه آنها را در جدول ۵ خلاصه کرد. این راهکارها عموماً براساس ایده‌هایی نظیر طراحی هندسه و چیدمان فیزیکی مناسب، جداسازی فیزیکی، ایجاد ساختارهای اضافی به منظور حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات داخلی و خارجی و بالا بردن سطح ایمنی شکل گرفته است.

طراحی معماری به منظور بالا بردن ایمنی

با مطالعات صورت پذیرفته طراحی معماری نقش به سزایی در

جدول ۵. راهکارهای معماری با هدف بالا بردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان راکتور، ایمنی و سوخت در برابر خطرات. مأخذ : نگارندگان و EPR, 2009: 5

Table 5. Architectural strategies with the goal of increasing safety standards and protecting the reactor building, the safeguard buildings and the fuel building against hazards. Source: authors and EPR, 2009: 5.

راهکارهای معماری در ساختمان رآکتور، ایمنی و سوخت (هدف بالا بردن سطح ایمنی و حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات)	کاهش اثرات ناشی از		تصویر
	خطرات داخلی	خطرات خارجی	
چهار ساختمان ایمنی (ساختمان ایمنی ۱، ۲ و ۳، ۴) و ساختمان سوخت در چهار طرف ساختمان رآکتور طراحی و چیدمان شده‌اند. این ساختمان‌ها به عنوان لایه‌های محافظتی ساختمان رآکتور در برابر خطرات مختلف خارجی عمل می‌کنند و از انتقال حوادث داخل رآکتور به محوطه بیرون براساس ایده دفاع در عمق جلوگیری می‌کنند.	موج انفجار	زلزله، طوفان، موج انفجار	
ساختمان رآکتور، ساختمان‌های ایمنی و سوخت بر روی یک شالوده مشترک و یکپارچه قرار داشته و بدین ترتیب مقاومت بالاتری در برابر خطراتی نظیر زلزله دارند.		زلزله	
تطابق طرح و ترکیب چهار رشته سیستم ایمنی در چهار ساختمان ایمنی(۱) و با ترتیب فضایی چهار مدار اولیه سیستم خنک کننده در ساختمان راکتور (۲)، منجر به ساده‌سازی ایده طراحی و چیدمان ساختمان‌ها شده و افزایش ایمنی نیروگاه را به همراه دارد.	آتش سوزی، موج انفجار	زلزله، موج انفجار	 (EPR, 2009: 5)
ساختمان‌های ایمنی ۱ و ۴ به صورت فیزیکی از هم مجزا شده و در دو طرف ساختمان رآکتور قرار گرفته‌اند تا پتانسیل خرابی و تخریب، صرفاً برای یک بخش ایمنی باشد و دیگری آسیب نبیند و ایمنی افزایش می‌یابد. لوله‌های تغذیه آب و لوله‌های بخار اصلی به صورت دوتایی در دو سمت مختلف ساختمان رآکتور و درون ساختمان ایمنی ۱و ۴ قرار گرفته‌اند تا براثر وقوع حادثه و تخریب یک سمت، قسمت دیگر آسیب نبیند و عملکرد ایمنی آن به خطر نیفتد.	آتش سوزی، موج انفجار	زلزله، موج انفجار	
چهار پلکان عمودی در اطراف ساختمان رآکتور قرار دارد که عملکرد ارتباطی بین ساختمان‌ها را مهیا و گزینه‌های قرار کارکنان در مواقع اضطرار و خطر را بیشتر می‌کند و بدین ترتیب ایمنی افزایش می‌یابد. خروجی اضطراری کارکنان از ساختمان رآکتور درون یکی از این پلکان‌ها باز می‌شود تا افراد به سرعت بتوانند خارج شوند. چیدمان مناسب چهار پلکان عمودی در بالا بردن مقاومت ساختمان رآکتور نقش دارد.	آتش سوزی، موج انفجار	زلزله	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بالا بردن سطح ایمنی نیروگاه، بهبود حفاظت از محیط‌زیست و رقابت‌پذیر کردن نیروگاه ایفا می‌کند. در واقع طراحی معماری به عنوان یکی از بخش‌های طراحی می‌تواند با هدف‌گذاری تأمین ایمنی صورت پذیرد و بدین ترتیب کمک شایانی به افزایش ایمنی نیروگاه کند. برای رسیدن به این هدف و با توجه به اهداف ایمنی تعریف شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در نیروگاه‌ها و ایده دفاع در عمق، اهداف مختلف زیر جهت طراحی معماری نیروگاه در نظر گرفته می‌شود.

بالا بردن سطح ایمنی نیروگاه توسط طراحی معماری جهت حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات داخلی و خارجی.

بالابردن سطح ایمنی نیروگاه توسط ایجاد ویژگی‌های معماری محدود کننده پیامدهای بالقوه حوادث و جلوگیری از گسترش آنها.

به منظور دستیابی به اهداف طراحی معماری، بخصوص افزایش ایمنی در ساختمان‌های نیروگاه، براساس بررسی‌های صورت گرفته پیشنهاد می‌شود طراح اصول اساسی نظیر چیدمان مناسب براساس هندسه درست، جداسازی ساختارها و ساختمان‌ها و اضافه کردن سازه‌های محافظ اضافی بر روی ساختمان‌های حساس و ایجاد فضای حایل بین آنها را در فرآیند طراحی پایه‌ای مدنظر قرار دهد. همچنین طراح راهکارهای دیگری نظیر استفاده از فرم‌های کارآمد در برابر خطرات نیز می‌تواند مورد استفاده قرار دهد. در کل می‌توان گفت که طراح در هنگام طراحی همواره باید راهکارهای زیر را مدنظر قرار دهد.

– 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

طراحی چیدمان فیزیکی در مقیاس‌ها و زمینه‌های مختلف نظیر طراحی چیدمان سایت نیروگاه، طراحی چیدمان مناسب فضاهای درون ساختمان‌ها، طراحی چیدمان مناسب جهت ساخت، تعمیرات و بهره‌برداری می‌تواند مدنظر طراح معمار باشد. طراح معمار با طراحی درست چیدمان فیزیکی و هندسه درست ساختمان‌ها می‌تواند حفاظت مناسبی در برابر خطرات داخلی و خارجی مهیا سازد. بررسی ساختمان‌های نیروگاه EPR و میزان استفاده طراح معمار از این ایده در طراحی و تأثیرگذاری آنها بر ایمنی، نقش مؤثر چیدمان فیزیکی ساختمان‌ها در بالا بردن ایمنی را اثبات می‌کند.

طراحی ساختارهای اضافی و ایجاد فضای حایل نیز می‌تواند حفاظت مناسبی در برابر خطرات داخلی و خارجی مهیا سازد. ساختارهای اضافی سازه‌ای برای ساختمان‌هایی که در هر شرایطی می‌باید مستحکم و پا برجا باشند، می‌توانند کمک شایانی در برآورده کردن ایده‌های ایمنی بکنند. طراح معمار می‌تواند از این ایده در طراحی ساختمان‌های مهم از نظر ایمنی در نیروگاه‌ها شامل ساختمان رآکتور، ایمنی، سوخت و اتاق‌های کنترل بهره گیرد. در ضمن طراح باید از فرم‌های مناسب جهت عملکرد سیستم‌های نیروگاه و مقاوم در برابر خطرات نظیر فرم‌های استوانه‌ای استفاده کند که هم با چیدمان شعاعی چهارسیستم خنک‌کننده سازگار است و هم مقاوم‌تر نسبت به حوادثی نظیر زلزله هستند.

جهت تضمین و بالا بردن ایمنی کارکرد سیستم‌های ذخیره نیروگاه، جداسازی ساختمان‌ها و فضاهای نصب سیستم‌ها نیز بسیار حایز اهمیت است. در واقع سیستم‌های ذخیره مختلف نیروگاهی به منظور حفظ ایمنی توصیه می‌شود در فضاها و ساختمان‌های جداگانه نصب شوند. این عمل به منظور جلوگیری از انتقال صدمات ناشی از خطرهای خارجی و داخلی گوناگون نظیر آتش‌سوزی، سیل و موج انفجار به ساختمان‌های دیگر صورت می‌پذیرد. همچنین ایجاد فضای حایل بین ساختارها، از اثر متقابل دو ساختار بر روی هم براثر بارهای ناشی از زلزله و حوادث ماورای آن جلوگیری می‌کند. طراح برای افزایش ایمنی با در نظر گرفتن تمامی ایده‌های ذکر شده و ترکیب آنها می‌تواند حفاظت مناسبی از نیروگاه در برابر خطرات داخلی و خارجی مهیا کند.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته حصول اطمینان از حفاظت کارکنان نیروگاه، جامعه و حفاظت از سیستم‌ها و ساختمان‌های نیروگاه در مقابل هر گونه آثار زیان‌بار ناشی از خطرات مختلف داخلی و خارجی به عنوان اصلی‌ترین اهداف ایمنی مطرح است. بدین ترتیب طراحی ساختمان‌های نیروگاه باید به‌گونه‌ای باشد که در برابر خطرات مختلف داخلی و خارجی براثر پدیده‌های طبیعی و محیطی و رخدادهای درون نیروگاه محافظت شوند. طراحان معمار می‌توانند در بین طراحان رشته‌های گوناگون مهندسی، نقش بسیار مهمی در افزایش ایمنی ساختمان‌های نیروگاه و اطمینان از کارکرد سیستم‌ها ایفا کنند. طراح معمار در طراحی باید همواره به حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات خارجی و داخلی با لحاظ کردن ابعاد مختلف خطرات و هم‌زمانی آنها توجه کند. طراحی معماری ساختمان‌ها باید بر مبنای ایده حفاظت از ساختمان‌ها در برابر حوادث و جلوگیری از گسترش آنها انجام گیرد. با توجه به تحقیق صورت گرفته به منظور حفاظت از ساختمان‌ها و بالا

بردن ایمنی، طراح معمار به هنگام طراحی باید راهکارهای مختلف زیر همواره مدنظر و توجه قرار دهد.
ساده‌سازی طرح نیروگاه با انتخاب هندسه درست و مناسب برای فضاها و ساختمان‌ها و ارتباط فضایی بین آنها چیدمان فیزیکی و جانمایی مناسب فضاها و ساختمان‌ها در مقیاس‌های مختلف طراحی با هدف افزایش ایمنی طراحی ساختارها و سازه‌های اضافی برای ساختمان‌های حساس از لحاظ ایمنی به منظور افزایش توانایی سازه طراحی فضای حایل بین ساختمان‌ها با هدف جلوگیری از گسترش خطرات و حوادث به ساختمان‌های مجاور طراحی ساختمان‌ها و ساختارهای متعدد و جداگانه برای سیستم‌های ذخیره مشابه و جداسازی فیزیکی آنها استفاده از فرم‌های ساختمانی کارآمد از نظر عملکردی و کارکردی و مقاوم در برابر خطرات و حوادث در کل به منظور رسیدن به اهداف طراحی معماری و ایده دفاع در عمق یعنی حفاظت از ساختمان‌ها در برابر خطرات داخلی و خارجی و ایجاد ویژگی‌های جلوگیری کننده از گسترش حوادث، مدنظر قرار دادن هم‌زمان راهکارهای بالا در تمام فرآیند طراحی معماری می‌تواند کمک شایانی در افزایش ایمنی ساختمان‌ها و ساختارهای نیروگاه‌ها و کاهش صدمات به عمل آورد. این اصول و راهکارها باید در مقیاس‌های مختلف طراحی از طرح چیدمان سایت نیروگاه تا طراحی ساختمان‌ها و ارتباط فضایی بین آنها، طراحی فضاهای درون هر ساختمان و طراحی داخلی اتاق‌ها، تهیه و انطباق نقشه‌های اجرایی و طراحی جزییات مدنظر طراح معمار باشد.

پی‌نوشت‌ها

۱. Pressurized Water Reactor نیروگاه‌های هسته‌ای با رآکتور آب سبک تحت فشار(PWR) رایج‌ترین نوع نیروگاه هسته‌ای در دنیا هستند که از آب سبک به عنوان خنک کننده و کند کننده رآکتور استفاده می‌کنند.
۲. Evolutionary pressurized reactor نیروگاهی است با رآکتور آب سبک تحت فشار تکامل یافته، که به عنوان پیشرفته‌ترین نیروگاه اروپایی محسوب می‌شود.
۳. Defense in depth
۴. Nuclear Island
۵. Turbine Island
۶. Reactor Building
۷. Safeguard Building
۸. Fuel Building
۹. Reactor Shield Building
۱۰. Reactor Containment Building
۱۱. Redundant

Reference list

- Gharib, A. G.(2006). *Creation and Applications of Nuclear Sciences and Technologies*. Tehran: Atomic Energy Organization of Iran.
- IAEA. (2000). *Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series, No.NS-R-1, Safety Requirements*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Seddigh Y., Emamjomeh A., Seydail. S. (2007). *Nuclear Energy Policy, Planning and Project Management.* Tehran: Atomic Energy Organization of Iran.
- AREVA. (2013). *AREVA General Inspectorate Annual Report 2012. Status of safety in nuclear facilities, Paris, 81*. Available from: http://www.areva.com/mediatheque/liblocal/docs/groupe/Etat-Surete/2014/RIGN2013_VA.pdf.
- ANDOLENKO, M. (2010). *EPR projects in the world: from OL3 to the next wave, CNEC may 19, p.7*. Available frm: http://www.areva.com/globaloffer/liblocal/docs/EnergyBusiness/EnergyBusiness_Issue10.pdf.
- AREVA. (2009). *The path of greatest certainty, EDF, Paris, France, 10-11*. 13. Available from: http://wenku.baidu.com/view/ccff9339376baf1ffc4fad31.html.
- Dubrovsky, V.B., Levdansky P. A., & Neshumov F. S. (1979). *Construction of Nuclear Power Plant.* Moscow: Mir Publishers.
- U.S. EPR Final safety analysis report. (2009). Chapter 3, Design of Structures, Components, Equipment and Systems, Revision 0, 3.8-78. Available from: http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1123/ML11231A237.pdf.
- Hooshmand, R. (2008). *Power Generation in Power Plants.* Ahwaz: Shahid Chamran University.
- Markus, B., Markus Zink. (2009). *Kerntechnik Grundlagen*. Translated By Biranvand, H. Tehran: Dayere Sanat.
- Apel, F. (2006). Nuclear Renaissance: The AREVA view, Najaarssymposium 2006, *Delft*, 42. Available from: http://www.paa.gov.pl/sites/default/files/Buletin3-final.pdf.
- EPR. (2009). *The 1600+ Mwe Reactor*, AREVA, Paris, France, 5. Available from: http://www.atomeromu.hu/download/1722/EPR%20reaktor1.pdf.
- U.S. EPR Final safety analysis report. (2008). *Chapter 1, Introduction and general description of the plant*, Tier 2, Revision 0, 1.2-5 _1.2-7. Available from: http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1420/ML14209A385.pdf.
- Per F. Peterson. (2009). *Nuclear Energy: Future Directions.* Berkeley: University of California.

Architectural Design's Strategies to Increase the Safety of Power Plants against Natural, Environmental Phenomena and Internal Occurrences *

Amir Bahramy Panah **
Iradj Mahmoudzadeh Kani***
Faramarz Yousefpour****

Abstract

One of the main principles in designing a nuclear power plant is generating safety and preventive tactics to achieve protection of individuals, society, the environment and the power plant systems against disasters and severe hazards resulted from nuclear radiation. Different engineering disciplines contribute in improvement of safety standards for power plants which leads to various design requirements to ensure that the safety of the plant is provided. Architectural design contributes in enhancing safety as well. The kinds of design principle requirements an architect must be concerned with during designing in order to increase the safety of the plant is the most challenging questions for architectural designers.

The goal of this research is to achieve tactics and effective principles in order to prevent accidents and dangers and decrease the side effects to improve the safety of the plant. One of the main methods on studying architectural design of the power plant is the analysis of the current advanced power plants. In other words, the research questions could be traced in design ideas, being expressed in preliminary phase of power plant design.

In order to analyze the architectural design of the power plant, it is essential to describe the concept of the safety and main resultant goals and the main threatening occurrences which the power plant would confront. Based on this proposal, firstly the idea of the defense in depth would be studied and the related tactics in order to protect the power plants would be analyzed in the following.

In this paper the EPR, an evolutionary pressurized water reactor in Europe which has been designed and constructed, is surveyed as a case study. Since the buildings and structures shaping the power plant are quite a lot, the study analyses the architectural design of the most important and sensitive buildings of this power plant in order to find all reasonably practicable architecture measures which prevent accidents in power plants to mitigate their consequences. The survey shows the architect-designer must always consider protection of power plant buildings against external and internal dangers and different aspects of danger and prevent the expansion of dangers. Regarding the research conducted, the architect-designer must consider the combination of reasonable measures and the following techniques in order to improve the safety of the plant:

1. Physical arrangement and proper positioning of spaces and building to improve the safety.
2. Designing multiple structures in order to protect the sensitive systems and equipments.
3. Designing annulus between buildings in order to prevent expansion of dangerous accident.
4. Physical separation of equipments, spaces and buildings in order to mitigate the consequences of danger.
5. Designing efficient building regarding functionality and resistance against danger.

Considering all those solutions, architectural designs could offer immense help in preventing accidents in power plants and mitigating their consequences as well as improving the safety of the buildings.

Keywords

Architectural design, Safety, Electrical Power plant, Physical Arrangement, Multiple Structures, Physical eparation.

*. This paper is derived from the studies of Amir Bahramy Panah's Ph. D. thesis under supervision of Dr. Iradj Mahmoudzadeh Kani and Dr. Faramarz Yousefpour at Imam Khomeini International University of Qazvin.

**. Ph. D. candidate in Architecture, Imam Khomeini International University. memari@vatanmail.ir
***. Ph. D. in Structural Engineering, Professor of Tehran University. imkani@ut.ac.ir.
****. Ph. D. in Nuclear Engineering, Assistance professor of Nuclear Science and Technology Research Institute. yousefpour@yahoo.com