دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای

بررسی و ارزیابی دز دریافتی مردم در نتیجه‌ی وقوع حوادث احتمالی در نیروگاه های هسته‌ای(بوشهر)

نگارش:
مریم سادات قاسمی

اساتید راهنما:
دکتر رضا امراللهی – دکتر مهدی سهرابی

استاد مشاور:
مهندس سیروس خاموشی

بهمن ماه ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی:مریم سادات قاسمی دانشجوی آزاد ◉ بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی:۸۵۱۱۲۰۰۷ دانشکده:مهندسی هسته ای و فیزیک رشته تحصیلی:مهندسی هسته ای گروه:مهندسی هسته ای

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر رضا امراللهی درجه و رتبه:استاد

نام و نام خانوادگی:دکتر مهدی سهرابی درجه و رتبه:استاد

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی:مهندس سیروس خاموشی درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : بررسی و ارزیابی دز دریافتی مردم در نتیجه‌ی وقوع حوادث احتمالی در نیروگاه های هسته‌ای(بوشهر)

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Assessment of Public Exposure From A Probable Nuclear Accident for Bushehr Nuclear Power Plant

نوع پروژه: کارشناسی○ ارشد◉ دکتر ا ○ سال تحصیلی:۸۷-۸۶

کاربردی◉ بنیادی○ توسعه‌ای ○ نظری○

تاریخ شروع :۸۶/۹/۳۰ تاریخ خاتمه :۸۷/۱۱/۱۶ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی:نیروگاه هسته ای بوشهر، کدpc- cosyma ، ایمنی،

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Bushehr Nuclear Power Plant,pc- cosyma code,safety

مشخصات ظاهری	تعدادصفحات ۱۰۹	تصویر○	جدول◉	نمودار◉	نقشه ○	واژه‌نامه ○	تعداد مراجع ۲۰	تعداد صفحات ضمائم -
زبان متن	فارسی◉	انگلیسی ○		چکیده	فارسی◉	انگلیسی◉		
یادداشت								

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما **تاریخ:۸۸/۲/۲۹**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

به نام خدا

برگه ارزیابی پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

نام و نام‌خانوادگی: خانم مریم السادات قاسمی

شماره دانشجویی: ۸۵۱۱۲۰۰۷

رشته: مهندسی هسته‌ای- مهندسی راکتور

تاریخ دفاع: ۸۷/۱۱/۱۶

عنوان پایان‌نامه: بررسی و ارزیابی دز دریافتی مردم در نتیجه‌ی وقوع حوادث احتمالی در نیروگاه‌های اتمی(بوشهر)

هیأت داوران	نام و نام‌خانوادگی	امضاء
اساتید راهنما	دکتررضا امراللهی	
	دکترمهدی سهرابی	
استاد مشاور	مهندس سیروس خاموشی	
داور داخلی	دکترمحمدحسین‌استکی	
داور خارجی	دکتر شروین گودرزی	
نمره نهایی	۲۰ (بیست)	

مدیرتحصیلات تکمیلی دانشکده
حسین آفریده

رییس دانشکده
رضا امراللهی

دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ:

اینجانب مریم سادات قاسمی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

مریم سادات قاسمی

امضا

GF-55-3

چکیده

نیروگاه هسته‌ای بوشهر یک نیروگاه آب سبک، با طراحی روسی می‌باشد که به منظور تولید 1000MW برق در هجده کیلومتری جنوب بندربوشهر و در ساحل دریای خلیج‌فارس ساخته شده‌است. این نیروگاه مشمول ضوابط و مقررات ویژه‌ی ایمنی هسته‌ای در کلیه‌ی زمینه‌ها می‌باشد. از این رو تأمین ایمنی این نیروگاه نه تنها از رسیدن آسیب‌های‌جانی وخسارات‌مالی به جامعه جلوگیری می‌کند، بلکه سبب جلب رضایت افکار عمومی شده و ادامه‌ی روند استفاده از این منبع انرژی را در کشور هموارتر می‌سازد. یکی از مهمترین عوامل در تأمین ایمنی، ارزیابی میزان پرتوگیری افراد جامعه می‌باشد. به همین دلیل این پایان نامه جهت ارزیابی دز دریافتی مردم، در صورت بروز حادثه‌ی از دست رفتن خنک کننده (LOCA) در نیروگاه هسته‌ای بوشهر تدوین شده‌است. در صورت وقوع این حادثه بیشترین مقدار ماده‌ی پرتوزا نسبت به هر حادثه‌ی دیگری وارد محیط خواهدشد. کدی که به منظور بررسی و ارزیابی اثرات حادثه در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته کد PC-COSYMA می‌باشد. این کد، یک برنامه‌ی کامپیوتری است که به منظور ارزیابی اثرات رهاشدن مواد پرتوزا به جو، درحالت حادثه، در اطراف تجهیزات هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این پایان نامه دز معادل مؤثر فردی، میزان پرتوگیری تیروئید ، میزان تأثیر هر یک از هسته‌های پرتوزا ومسیرهای پرتوگیری تامدت یک‌روز ویک‌سال پس ازوقوع حادثه درمسافت‌های 60,40,30,20,10,5و80 کیلومتری از نیروگاه، محاسبه شده‌است. همچنین کلیه‌ی موارد مذکور بعلاوه‌ی دز جمعی با درنظر گرفتن تأثیر بلع تامدت پنجاه سال پس از وقوع حادثه بدست آمده است. به‌منظور محاسبه‌ی دزجمعی، اطلاعات مربوط به توزیع جمعیت ومحصولات دامی و کشاورزی در فواصل اشاره شده، به ترتیب از مرکز آمار ایران و وزارت جهاد کشاورزی جمع آوری گردیده است.

میزان دز دریافتی افراد جامعه به چگونگی رخ دادن حادثه و مدت زمان آن، ارتفاع نشت مواد پرتوزا به محیط، شرایط هواشناسی در هنگام وقوع و فرضیات دیگر در نظر گرفته‌شده بستگی دارد. در صورت وقوع حادثه‌ی ازدست رفتن خنک کننده بدون عملکرد سیستم ایمنی، احتمال اینکه میزان دز دریافتی افرادجامعه در فاصله‌ی پانزده کیلومتری ودر نزدیکی شهر بوشهر برابر ویا بیش از 6.46E-00mSv باشد 5% به دست آمده‌است. البته در محاسبات انجام شده با فرضیات گوناگون نتایج مختلفی به دست آمده و در نتیجه، مسافت‌ها و جهت‌هایی که در هنگام وقوع حادثه باید برای آنها تدابیری همچون پناهگیری، تخلیه، وتوزیع قرص یدید پتاسیم در نظرگرفته شود، متفاوت به دست آمده است.

فهرست

مقدمه ۱

نیروگاه هسته‌ای بوشهر و نواحی اطراف آن

۱-۱- نیروگاه هسته‌ای بوشهر ٦

۱-۲- بررسی نواحی اطراف نیروگاه ۹

۱-۲-۱- مکان شناسی ۱۰

۱-۲-۲- منابع آب ۱۱

۱-۲-۳-رطوبت ۱۱

۱-۲-٤- پوشش گیاهی ۱۱

۱-۲-٥-اقلیم ۱۲

۱-۲-٦- بارندگی ۱۲

۱-۲-۷- جریانات جوی ۱۲

۱-۲-۸- دمای هوا ۱۲

بررسی کلی رخدادها و توصیف حادثه‌ی مورد مطالعه

۲-۱- رخدادها ۱٤

۲-۱-۱- تقسیم بندی ۱٥

۲-۱-۲- پیامدها ۱٦

۲-۱-۳- بررسی های لازم به منظور کنترل ۱٦

۲-۱-٤- توصیف حادثه‌ی مورد مطالعه ۱۷

۲-۲- منابع پرتوساز ۱۹

۲-۳- چگونگی حفاظت مردم جامعه ۲۰

۲-۳-۱- سیستم های حفاظتی ۲۰

۲-۳-۲- اقدامات حفاظتی ۲۱

چگونگی پخش مواد پرتوزا در اتمسفر

۳-۱- بررسی برخی پارامترهای هواشناسی ۲٤

۳-۱-۱- باد ۲٤

۳-۱-۲-پروفایل عمودی دما ۲٥

۳-۱-۳-کلاسهای پایداری جوی ۲۷

۳-۲- ستون دود ۲۸

۳-۲-۱-خیزش ستون دود ۲۹

۳-۲-۲- رفتار ستون دود ۳۱

۳-۳- مدل سازی پخش ۳۳
۳-۳-۱-مفاهیم ریاضی ۳۳
۳-۳-۲-پارامترهای پخش ۳۸
۳-۳-۳-عوامل تأثیرگذار بر ستون دود ٤۰
۳-۳-۳-۱- نشست خشک ٤۰
۳-۳-۳-۲- نشست مرطوب ٤۱
۳-۳-۳-۳- واپاشی پرتوزا ٤۲
۳-۳-۳-٤- تعلیق مواد پرتوزا از سطح زمین ٤۲
۳-۳-۳-۵- ناهمواری سطح ٤۳

بررسی مسیرهای پرتوگیری انسان

٤-۱- دزپرتوگیری خارجی ٤۵
٤-۱-۱- پرتوگیری ناشی از ابر حاوی مواد پرتوزا ٤۵
٤-۱-۲- پرتوگیری ناشی از موادپرتوزای نشست کرده بر روی زمین ٤٦
٤-۲- دز پرتوگیری داخلی ٤۷
٤-۲-۱- پرتوگیری ناشی از مواد پرتوزای تنفس شده ٤۸
٤-۲-۲- پرتوگیری ناشی از تنفس موادپرتوزای تصعید شده در هوا ٤۹
٤-۲-۳- پرتوگیری ناشی از بلع مواد پرتوزا ٤۹
٤-۲-۳-۱- غلظت در گیاهان ۵۰
٤-۲-۳-۲- غلظت در غذای حیوانات و انتقال آن به شیر وگوشت ۵۱
٤-۳- ارزیابی دز موثر جمعی کل ۵۳

توصیف کد و داده‌های ورودی

۵-۱- توصیف کدPC-COSYMA ۵٤
۵-۲- روش‌های به‌کار رفته در انجام محاسبات ۵٦
۵-۳- اطلاعات مورد نیاز مرتبط با نواحی اطراف نیروگاه ۵۷
۵-۳-۱-جمع آوری اطلاعات هواشناسی ۵۸
۵-۳-۲-جمع آوری اطلاعات جمعیتی ۵۸
۵-۳-۳-جمع آوری اطلاعات کشاورزی ۵۸
۵-۳-٤-نرخ مصرف مواد غذایی ٦۳
۵-٤- منابع پرتوساز ناشی از حادثه‌ی مورد مطالعه ٦٤

انجام محاسبات و تحلیل نتایج

٦-١- بررسی‌حادثه‌ی ازدست‌رفتن خنک‌کننده درنتیجه‌ی نشت خنک‌کننده ازچرخه‌ی خنک سازی اولیه به ثانویه(PRISE) ٦٧
٦-٢- بررسی‌حادثه‌ی ازدست‌رفتن‌خنک‌کننده درنتیجه‌ی شکستگی بزرگ(LBLOCA) ٨٤
٦-٣- - بررسی‌حادثه‌ی‌ازدست‌رفتن‌خنک‌کننده‌بدون‌عملکرد مناسب سیستم‌های ایمنی ٨٩
بررسی کلی نتایج و ارائه ی پیشنهادات ١٠٥
مراجع ١٠٩

مقدمه

بشر در کلیه‌ی زمینه‌های فعالیت خویش همواره در معرض حوادث قرارداشته و همیشه درپی یافتن راهکارهایی در جهت کاهش خطرات ناشی از حوادث احتمالی بوده‌است.

در نیروگاه‌های هسته‌ای احتمال وقوع حادثه به مراتب کمتر از سایر زمینه‌های فعالیت انسان به نظر می‌رسد اما وقوع این حوادث، به دلیل برخی از ویژگی‌های نیروگاه‌های هسته‌ای از جمله تولید موادپرتوزا، پیامدهای ناگواری درپی خواهد داشت، که از نظر اجتماعی، اقتصادی، سیاسی وبیولوژیکی جهان را تحت‌تأثیر قرار خواهد داد. ازاین‌رو مسئله‌ی ایمنی در این صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات هسته‌ای در هر کشوری که عضو آژانس بین‌المللی انرژی اتمی است، مشمول ضوابط و مقررات ویژه‌ی ایمنی‌هسته‌ای و نظارت مستمر قانونی بر کلیه‌ی فعالیت‌ها در مراحل انتخاب محل، طراحی، ساخت قطعات و تجهیزات، احداث، راه‌اندازی، بهره‌برداری و ازکاراندازی تجهیزات فوق‌الذکر است. تا جایی که دز دریافتی ازمواد پرتوزا و اثرات بیولوژیکی حوادث، تا جای ممکن کم باشد[1] (ALARA).

کوشش‌های وسیعی در سطح جهانی برای افزایش هرچه بیشتر ایمنی راکتورها صورت گرفته است و همچنان درحال انجام است. کوشش‌هایی که لازمه‌ی آن انجام پژوهش‌های گسترده در این زمینه می‌باشد.

ازجمله عوامل مؤثر در تأمین ایمنی، ارزیابی دز دریافتی افراد جامعه می‌باشد. دز، مقدار انرژی دریافت شده توسط هر واحد جرم می‌باشد و دز معادل مؤثر، سنجشی از پرتو به بافت است که در آن اثر نسبی زیستی متفاوت پرتوهای یون‌ساز مختلف و همچنین ضریب‌وزنی بافت‌های گوناگون درنظر گرفته شده‌اند.

راکتور نیروگاه هسته‌ای بوشهر یک راکتور آب‌سبک تحت فشار با طراحی روسی و توان 1000MW می‌باشد که در 28 درجه و51 دقیقه‌ی عرض‌شمالی و 50 درجه و 53 دقیقه طول‌شرقی در حاشیه‌ی دریای خلیج‌فارس و هجده کیلومتری جنوب بندربوشهر واقع‌است. این نیروگاه مشمول ضوابط و مقررات ویژه‌ی ایمنی‌هسته‌ای در کلیه‌ی زمینه‌ها است. تأمین ایمنی این نیروگاه نه تنها از رسیدن آسیب‌های‌جانی وخسارات‌مالی به جامعه جلوگیری می‌کند، بلکه سبب جلب رضایت افکار عمومی شده و ادامه‌ی روند استفاده از این منبع انرژی را در کشور هموارتر می‌سازد.

مطالعات محیطی گوناگونی توسط موسسات مختلف و همچنین چندین پروژه‌ی دانشجویی در زمینه‌ی تأثیرات محیطی نیروگاه بوشهر تاکنون انجام شده که در تعداد معدودی از آنها به بررسی دز

[1]-As Low As is Reasonably Achievable

دریافتی مردم درنتیجه‌ی وقوع حادثه پرداخته شده است. از جمله‌ی مطالعات انجام‌شده که در آنها میزان پرتوگیری مردم در نتیجه‌ی حادثه موردتوجه قرارگرفته است می‌توان به گزارشات‌اولیه[۱](PSAR) و نهایی[۲](FSAR) ایمنی روسیه که به ترتیب در سال‌های 2001 و 2007 منتشرشده‌اند و همچنین اولین گزارش مطالعات محیطی[۳](ER) که توسط سازمان انرژی اتمی (شرکت تولید و توسعه‌ی نیروگاه‌های کشور) در سال 2003 صورت‌گرفته و به تأیید آژانس بین‌المللی انرژی اتمی رسیده است، اشاره کرد. دراین مطالعات انواع گوناگون حوادث در نیروگاه هسته‌ای بوشهر مورد بررسی قرار گرفته، و پس از تخمین میزان مواد پرتوزای ورودی به جو درنتیجه‌ی این حوادث، دز دریافتی مردم جامعه محاسبه شده است. این محاسبات با در نظر گرفتن فرضیاتی خاص و استفاده از برنامه‌های کامپیوتری گوناگون صورت‌گرفته است.

هریک از بررسی‌های انجام‌شده در این زمینه، با در نظر گرفتن فرضیات خاص و استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری بوده و در حقیقت نتایج به دست آمده، تخمینی از میزان حقیقی می‌باشند. ازاین‌رو انجام مطالعات بیشتر با استفاده از نرم‌افزارهای متفاوت و فرضیات یکسان و در نهایت مقایسه‌ی نتایج و همچنین بررسی فرضیات جدید و تحلیل و ارائه‌ی نتایج، می‌تواند راهکاری در جهت تأمین بیش از پیش ایمنی وزمینه ساز تدابیر لازم در این زمینه باشد. گفتن مجدد این نکته ضروری است که وقوع یک حادثه، هر چقدر هم که دور از ذهن باشد محتمل بوده وپیامدهای آن به‌حدی ناگوار است که باید مطالعه و پژوهش‌های گوناگونی در این زمینه به طور مستمر و وسیع صورت‌گیرد.

این پایان‌نامه جهت ارزیابی دز دریافتی توسط مردم اطراف نیروگاه هسته‌ای بوشهر در صورت بروز حادثه‌ی احتمالی تدوین شده است.

حادثه‌ی ازدست رفتن خنک کننده درصورت عدم عملکرد مناسب ویکپارچه‌ی اجزای سیستم خنک کننده‌ی راکتور به‌وقوع می‌پیوندد و مهمترین حادثه از نظر وارد شدن مواد پرتوزا به جو می‌باشد. در بین حوادث، حادثه‌ی ازدست رفتن خنک کننده در نتیجه‌ی دو رویداد آغازگر، یکی شکستگی بزرگ (LB-LOCAs)[۴] و دیگری نشت ازچرخه‌ی خنک سازی اولیه به ثانویه(PRISE)[۵] مورد بررسی قرارگرفته‌است. محاسبات برای این حادثه بدون عملکرد مناسب سیستم های ایمنی نیز صورت گرفته است.

---

[۱]-PSAR,Primary Safety Report
[۲]-FSAR,Final Safety Report
[۳]-ER-1,Environmental Report-BNPP
[۴]-Large Break LOCA
[5]-Primary to Secondary System Leakage

بررسی رادیولوژیکی حوادث در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله‌ی اول رویدادهای ترموهیدرولیکی ناشی از حادثه مورد ارزیابی قرارگرفته و چگونگی، میزان و نوع مواد پرتوزای وارد شده به محیط تخمین زده می‌شود. در مرحله‌ی دوم چگونگی انتشار آنها در محیط و تأثیراین مواد بر روی افراد جامعه بررسی می‌گردد. هدف ما در این مطالعه، قسمت دوم یعنی بررسی تأثیر این مواد بر روی افراد جامعه می‌باشد. در نتیجه به منظور انجام محاسبات، سعی شده است ازمقادیر مواد پرتوزایی که در منابع معتبر تخمین زده شده، استفاده شود.

به این منظور میزان مواد پرتوزای وارد شده به جو در هر یک از این شرایط ازگزارشات اولیه و نهایی ایمنی روسیه و همچنین گزارش مطالعات محیطی که توسط سازمان انرژی اتمی (شرکت تولید وتوسعه‌ی نیروگاه‌های کشور) انجام شده استخراج شده است.

کدی که به منظور بررسی و ارزیابی اثرات حادثه در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است کد PC-COSYMA[1] (نسخه‌ی 2.1)می‌باشد. کد کامپیوتری COSYMA به منظور ارزیابی اثرات رها شدن مواد پرتوزا به جو درحالت حادثه در اطراف تجهیزات هسته ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کد توسط کمیته‌ی ملی حفاظت در مقابل پرتو[2](NRPB) در انگلیس که در سال‌های اخیر بعنوان بخشی از آژانس حفاظت از سلامتی[3] (HPA) در آمده است و انستیتو تحقیقات کارسلو[4](KIT) در آلمان، به عنوان قسمتی از پروژه‌ی بررسی روش‌های ارزیابی اثرات رادیولوژیکی ایجاد شده درنتیجه‌ی حوادث[5](MARYA) در سال 1990 ساخته شد و از جمله کدهای معتبری است که به طور وسیع، در اروپا مورد استفاده قرار گرفته است. نسخه‌ای از این کد درسال 1993با عنوان PC-COSYMA منتشر شد که قابلیت استفاده بر روی کامپیوترهای PC را دارا می باشد[1] .

ازدیگر کدهای موجود در زمینه‌ی ارزیابی میزان پرتوگیری می‌توان به[6] RASCAL ، Hotspot، AIREM، PAVAN ، ARAC[7] ، RODOS[8] ، RESRAD [9] ، ISC [10] ، HAVA ، CAP-88[11] و کدهایی از این قبیل اشاره کرد. در زمان انجام این پایان نامه فقط تعداد معدودی از این کدها در دسترس بودند که یا برای ارزیابی دز در حالت عادی به کار می‌رفتند وقابلیت استفاده برای محاسبات مربوط به حادثه را نداشتند و یا در مقایسه با کد PC-COSYMA از کارایی کمتری برخوردار بودند.

---

[1]-Code System from MAria
[2]-National Radiological Protection Board
[3]-Health Protection Agency
[4]-Health Protection Agency
[5]-Methods for Assessing the Radiological Impact of Accident
[6]-Radiological Assessment System for Consequence Analysis
[7]-Atmospheric Release Advisory Capability
[8]-Real-time On-line Decision Support system for nuclear emergencies
[9]-RESidual RADiation
[10]-Industrial Source Code
[11]-Clean Air Act Assessment Package

مقایسه دقیق این کدها با کد PC-COSYMA نیازمند در دسترس بودن و بررسی دقیق آنها می‌باشد. ولی با یک بررسی کلی می‌توان گفت کد PC-CODYMA از اکثر کدهای ذکر شده جامع‌تر بوده و در مقایسه با آنها در جایگاه خوبی قرار دارد. این کد از جمله کدهای معتبر اروپایی می‌باشد و همان طور که گفته شدبه طور وسیع در اروپا مورد استفاده قرار گرفته است.

در این پایان نامه دز معادل مؤثر فردی، میزان پرتوگیری تیروئید ، میزان تأثیر هر یک از هسته‌های پرتوزا ومسیرهای پرتوگیری تامدت یک‌روز ویک‌سال پس ازوقوع حادثه درمسافت‌های 80و60,40,30,20,10,5 کیلومتری از نیروگاه، محاسبه شده است. همچنین کلیه‌ی موارد ذکر شده بعلاوه‌ی دزجمعی با در نظر گرفتن تأثیر بلع تا مدت پنجاه سال پس از وقوع حادثه بدست آمده است. به‌منظور محاسبه‌ی دزجمعی، اطلاعات مربوط به توزیع جمعیت ومحصولات دامی و کشاورزی در فواصل اشاره شده، به ترتیب از مرکز آمار ایران و وزارت جهاد کشاورزی جمع آوری گردیده است. اطلاعات جمع آوری شده از نتایج آخرین سرشماری های انجام شده می‌باشد.

به دلیل اهمیت میزان پرتوگیری در فواصل نزدیک به نیروگاه، محاسبات دز معادل مؤثر فردی در صورت عدم عملکرد مناسب سیستم خنک کننده برای مسافت های نیم و یک کیلومتری ، در طول یک سال پس از وقوع حادثه نیز محاسبه شده است.

از طرفی نزدیکترین فاصله‌ی نیروگاه تا کشورهای حاشیه‌ی خلیج‌فارس 190 کیلومتر می‌باشد لذا محاسبات یک ساله‌ی دز مؤثر فردی در همین شرایط برای این فاصله نیز صورت گرفته‌است.

برای حادثه‌ی از دست رفتن خنک کننده در نتیجه‌ی دو رویداد آغازگر یکی شکستگی بزرگ (LB-LOCAs) و دیگری نشت ازچرخه‌ی خنک سازی اولیه به ثانویه (PRISE)، در ابتدا تا حد امکان فرضیات به کار رفته در منابع معتبری که در بالا به آنها اشاره شد ،در محاسبات بکار رفته و در نهایت نتایج با هم مقایسه شده‌اند. درادامه، محاسبات با فرضیات جدید نیز انجام شده‌است.

بجز حادثه‌ی نشت ازچرخه‌ی خنک سازی اولیه به ثانویه (PRISE) که در آن برای یکسان کردن فرضیات خود با موارد کارهای انجام شده، شرایط هواشناسی را ثابت و مشخص در نظر گرفتیم در بقیه‌ی موارد از اطلاعات هواشناسی یک ساله‌ی مناطق اطراف نیروگاه، که از دکل هواشناسی نیروگاه گرفته و به صورت ساعت به ساعت به کد داده شده استفاده گردیده است.

مطالب آورده شده در این پایان نامه به شکل زیر فصل بندی شده‌است.

در فصل اول اطلاعاتی در ارتباط با نیروگاه اتمی بوشهر و نواحی اطراف آن آورده شده است. در فصل دوم انواع رخدادهای ممکن ومنابع پرتوساز در نیروگاه‌ها، چگونگی حفاظت مردم جامعه و اقدامات پیشگیرانه در صورت بروز حادثه آورده شده وسپس حادثه‌ی در نظر گرفته شده برای مطالعه، بررسی شده است. در فصل سوم چگونگی پراکندگی مواد پرتوزا در جو توضیح داده شده و

به دنبال آن در فصل چهارم مسیرهای گوناگون پرتوگیری انسان مورد توجه قرار گرفته‌است. در فصل پنجم سعی شده‌است تا به توصیف کد PC-COSYMA وروش‌های به کار رفته در انجام محاسبات پرداخته شود. به‌علاوه برخی داده های ورودی به کداز جمله اطلاعات مرتبط با نواحی اطراف نیروگاه و میزان مواد پرتوزای وارد شده به محیط در نتیجه‌ی حوادث مورد بررسی، در این قسمت ارائه شده است. نتایج به دست آمده از انجام محاسبات و بررسی آنها در فصل ششم آورده شده‌است. و در نهایت نتایجی که قبلا به بررسی آنها پرداخته‌ایم به طور کلی جمع بندی شده است.

فصل اول

نیروگاه هسته ای بوشهر و نواحی اطراف آن

در این فصل اطلاعات کلی در ارتباط با نیروگاه هسته‌ای بوشهر و نواحی اطراف نیروگاه ارائه گردیده است.

۱-۱- نیروگاه هسته‌ای بوشهر

راکتورنیروگاه‌هسته‌ای‌بوشهریک‌راکتورآب‌سبک‌تحت‌فشارباطراحی روسی وتوان1000MWeمی‌باشد. اولین راکتورتحت فشار با طراحی روسی در حدود سال 1963 توسط اتحاد جماهیر شوروی سابق به‌کار گرفته شد. پس از آن درسیرتکاملی این راکتورها، برخی تغییرات در قدرت، تکنولوژی، سیستم های ایمنی و موارد دیگر مورد توجه قرار گرفت. نوع VVER-1000 از این راکتورها اولین بار در سال 1980 شروع به کار کرد. راکتور نیروگاه اتمی بوشهر از این نوع می‌باشد.[2]

در این راکتورمنبع تولید گرما، سوخت هسته ای از نوع دی‌اکسید اورانیوم غنی شده با غنای1.6، 2.4 3.62 و 4.02 درصد می‌باشد. سوخت هسته‌ای به صورت قرص‌های استوانه‌ای به قطر 57.7 و ارتفاع 12 میلی متر ساخته شده که درون میله‌های سوخت قرار دارند. تعداد 311 میله سوخت با آرایش شش ضلعی، یک مجتمع سوخت را می‌سازند و تعداد 163 مجتمع سوخت در کنار هم قلب راکتور را تشکیل می‌دهند. مکانیزم تولید گرما، واکنش هسته‌ای شکافت اورانیوم و تبدیل آن به پاره های شکافت سبک تر است که همراه با آزاد شدن انرژی و تولید نوترون برای ادامه این زنجیره می‌باشد.

آب که به عنوان کند کننده‌ی نوترون و خنک کننده استفاده می‌شود، توسط پمپ‌های مدار اول با فشارbar 157 و حرارت 291ºC از طریق 4 نازل خط لوله‌ی سرد وارد راکتور می‌شود و پس از برداشت حرارت از قلب راکتور با حرارت 321ºC از طریق 4 نازل خط لوله‌ی گرم به سمت

مولدهای بخار هدایت شده، و در آنجا با تبادل حرارت با آب چرخه‌ی خنک سازی دوم، بخار تولید می‌شود.

بخار تولید شده در مولدهای بخار به ساختمان توربین هدایت می‌شود. نیروگاه اتمی بوشهر شامل چهار توربین از جمله یک توربین فشار بالا و سه توربین فشار پایین می‌باشد. مجموعه‌ی توربین‌های مذکور تک محوری و هر چهار توربین از نوع دو طرفه‌ی متقارن است که در هر طرف دارای پنج ردیف پره می‌باشند. روتور توربین‌های فشار پایین و فشار بالا به روش آهنگری و به صورت یکپارچه و بدون سوراخ مرکزی ساخته می‌شود که این کار باعث کاهش تمرکز تنش در روتور خواهد شد. بخار با حداکثر رطوبت صفرو فشار 8.85 bar وارد توربین فشار قوی شده و پس از انجام کار به علت کاهش فشار و حرارت اولیه، مرطوب می‌شود. برای این که این رطوبت به پره های توربین فشار ضعیف آسیب نرساند، بخار خشک و مجدداً گرم می‌شود تا به پارامترهای مطلوب دست یابد و پس از آن با فشار8.6 bar به توربین فشار ضعیف هدایت می‌شود و به دنبال آن در کندانسور تغییر حالت می‌دهد.

برای چگالش بخار خروجی از توربین، آب دریا به عنوان خنک کننده، در یک مدارکاملاً مجزا از مدار دوم توسط پمپ های سیرکولاسیون به کندانسور هدایت می‌شود و پس از برداشت گرما، از طریق یک کانال روباز به طول 400 متر و به دنبال آن چهار تونل 1200 متری در زیر بستر دریا، در عمق 7 متری به دریا باز می‌گردد.

مایع خروجی ازکندانسورطی مراحلی احیا شده، پیش گرم و گاز زدایی گردیده و تا 222 ºC گرم می‌شود. واحد توربین نیروگاه اتمی بوشهر دارای مدار پیشرفته‌ی احیاء می‌باشد. خنک کننده سرانجام مجدداً به ژنراتور بخار باز می‌گردد.

کنترل واکنش هسته‌ای و در نتیجه کنترل راکتور به کمک اسیدبوریک محلول درآب، به همراه میله‌های کنترل که به محرک‌های سیستم کنترل و حفاظت متصل است، انجام می‌شود.

در صورت بروز احتمالی حادثه، قدرت راکتور تا سطح لازم کاهش داده شده یا اساساً خاموش می‌گردد تا ایمنی راکتور به سطح مورد نظر رسانده شود. سیستم‌های چهارکاناله‌ی ایمنی، وظیفه خاموش کردن راکتور و برداشت انرژی حرارتی باقی مانده را از قلب راکتور به عهده دارند. وجود یک کانال و عملکرد درست آن در هنگام بروز حادثه کاملاً کفایت می‌کند و وجود سه کانال دیگر جهت بالا بردن ضریب اطمینان عمل سیستم در نظر گرفته شده است. این کانال ها کاملاً از همدیگر جدا بوده و مستقل عمل می‌کنند. این سیستم‌ها مجهز به دیزل ژنراتورهای خاص خود بوده که در صورت قطعی کامل برق در نیروگاه، می‌توانند به کار خود ادامه دهند.

ساختمان راکتور در مقابل برخورد مستقیم هواپیما، هواپیماهای جنگی و زلزله‌ای به شدت 8 ریشتر مقاوم طراحی شده و در صورت بروز چنین سوانحی پیش‌بینی می‌شود، هیچ صدمه‌ای به تأسیسات راکتور و قلب آن وارد نشود و سیستم کنترل و حفاظت خودکار نیروگاه به راحتی آن را خاموش و به وضعیت ایمن برساند.[3]

راکتورهای باطراحی روسی، در بسیاری از پارامترهای اساسی طراحی، از قبیل روش کلی تولید انرژی، اصول نوترونیک و ترموهیدرولیک، مانند راکتورهای تحت فشار با طراحی غربی می‌باشند. با وجود این شباهت ها، اختلافاتی نیز درشرایط صنعتی و تکنولوژی، استانداردهای طراحی و قوانین اساسی در ساخت، طراحی و عملیات این دو نوع راکتور وجود دارد، که موجب تفاوت‌هایی در بین آنها می‌شود. در زیر به طور مختصر به برخی از این تفاوت‌ها اشاره می‌کنیم:

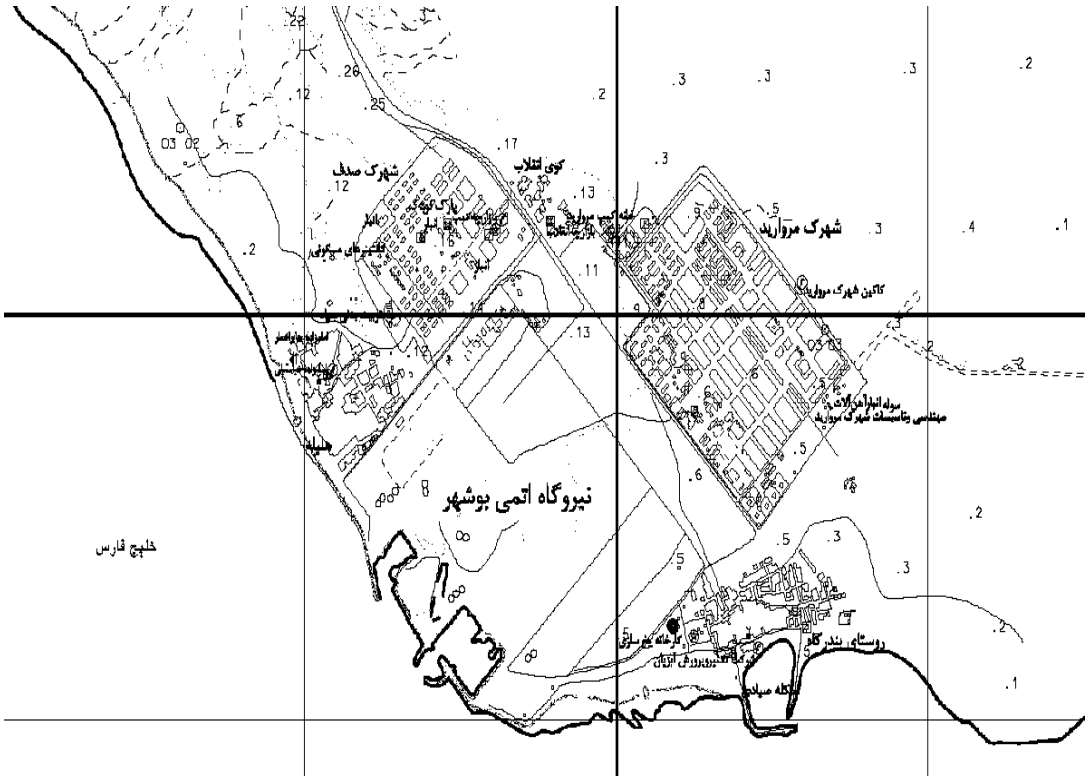
- استفاده از ژنراتورهای بخار افقی در راکتورهای نوع روسی به جای ژنراتورهای عمودی موجود در راکتورهای نوع غربی یکی از تفاوت‌های بین این دو نوع راکتور است. ژنراتورهای عمودی به دلیل پایین بودن مرکز ثقل، این مزیت را دارند که پایداری آنها در برابر حوادث لرزشی زیاد می‌باشد ولی در این نوع ژنراتورها احتمال نشت آب از چرخه‌ی خنک سازی اولیه به ثانویه بیشتر است.
- قرص های سوخت در مرکز خود دارای حفره می‌باشند. این عامل سبب بهبود انتقال حرارت و محدود شدن آن در قرص سوخت می‌گردد. در نتیجه خروج گازهای حاصل از شکافت سوخت کاهش یافته و این گازها در شبکه‌ی کریستالی و منافذ موجود در ساختار سوخت باقی می‌مانند.
- مجتمع های سوخت راکتورهای نوع روسی شش ضلعی و غربی چهار ضلعی هستند.
- قلب راکتور نوع روسی از نوع غربی کوچکتر است. این عامل سبب کاهش تغییرات نوسانی توزیع داخلی قلب راکتور شده و سبب می‌شود که رفتار آن به آسانی قابل پیش بینی وکنترل باشد. همچنین فشار حرارتی از سوخت به خنک کننده پایین بوده ودر بحران انتقال حرارت حاشیه‌ی ایمنی گسترده‌تری خواهد داشت.
- حجم آب در گردش در چرخه خنک سازی اولیه در راکتور نوع روسی دو برابرراکتور نوع غربی با قدرت مشابه است. در نتیجه در موقع بروز عدم توازن بین تولید حرارت و انتقال حرارت به چاه حرارتی فرصت کافی برای عکس العمل های صحیح وجود دارد.
- درراکتورهای نوع روسی، شدت بمباران محفظه‌ی فشارتوسط نوترون ها بیشترازنوع غربی است. این مسئله به علت کوچک بودن قلب این نوع راکتورها و کم بودن فاصله‌ی بین لبه‌ی خارجی قلب و محفظه‌ی تحت فشار می‌باشد. در اثر بمباران شدید محفظه‌ی فشار توسط نوترون، عیوب

زیادی ایجاد می‌شود. به منظور کاهش این اثرات، در خارجی‌ترین لایه، مجموعه‌های سوخت خالی جایگذاری می‌شود. ازطرفی جوشکاری ها دقیق انجام گرفته و پس از آن مناطق جوشکاری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۲- بررسی نواحی اطراف نیروگاه

این نیروگاه در 28 درجه و51 دقیقه‌ی عرض شمالی و 50 درجه و 53 دقیقه طول شرقی در حاشیه‌ی دریای خلیج فارس و هجده کیلومتری جنوب بندر بوشهر واقع است.

مساحت جایگاه تجهیزات نیروگاه حدود 200 هکتار بوده که با توجه به مناطق مسکونی و کمپ‌های متعلق به نیروگاه مساحت آن به 650 هکتار می‌رسد. همان طور که در شکل(۱-۱) نشان داده شده‌است، در نزدیکی نیروگاه دو روستای هلیله و بندرگاه قرار دارند.



شکل(۱-۱): سایت نیروگاه هسته‌ای بوشهروحوالی آن

نیروگاه از شمال، شمال‌شرق و مشرق به مناطقی خشک و از سمت جنوب ،جنوب‌غرب و غرب به خلیج فارس محدود می‌شود. زمین‌های اطراف نیروگاه تا چندین کیلومتر غیرقابل کشت می‌باشند. [3]

استان بوشهرکه محل قرارگیری نیروگاه می‌باشد با مساحتی در حدود 27653 کیلومترمربع بین27 درجه و14 دقیقه تا 30 درجه و16 دقیقه‌ی عرض شمالی و50 درجه و6 دقیقه‌ی طول شرقی در جنوب ایران و درحاشیه‌ی خلیج‌فارس قراردارد. .

این استان از شمال به استان خوزستان و قسمتی از کهکیلویه و بویراحمر، از جنوب به خلیج‌فارس وقسمتی از استان هرمزگان، از شرق به استان فارس و از غرب و جنوب به خلیج‌فارس محدود است. استان بوشهر با خلیج‌فارس بیش از600 کیلومتر مرز دریایی دارد و از اهمیت سوق‌الجیشی و اقتصادی قابل توجهی برخوردار است.[4]

مساحت این استان 1.6 درصد مساحت کل کشور بوده و از این لحاظ هجدهمین استان کشور محسوب می‌شود بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی کشور، استان بوشهر مشتمل بر9 شهرستان،17 بخش،13 شهر،36 دهستان و706 آبادی دارای سکنه است.شهرستانهای استان بوشهرعبارتند از:بوشهر، تنگستان، دشتستان، دشتی، دیر، دیلم، کنگان، جم و گناوه. شهرستان بندربوشهر در غرب این استان واقع شده ومرکز آن شهر بوشهر می‌باشد.[5]

۱-۲-۱- مکان شناسی[۱]

به طور کلی می‌توان گفت که استان بوشهر تقریبا به صورت یک نوار ساحلی بین خلیج فارس و کوه‌پایه‌های زاگرس قرارگرفته است.

این استان از نظر پستی و بلندی به دو قسمت جلگه‌ای وکوهستانی تقسیم می‌شود. بخش جلگه‌ای که قسمت وسیعی از آن را تشکیل می‌دهد در حقیقت ادامه‌ی جلگه‌ی خوزستان است که در امتداد خلیج‌فارس قرارگرفته وهرچه از شمال و شمال‌غربی به‌طرف جنوب وجنوب‌شرقی پیش رویم، تا دره‌ی مند عرض آن به حداکثر خود (140 کیلومتر) می رسد وپس از آن باریک و کم عرض می‌شود. جلگه مزبور از رسوبات رودخانه‌ای شکل گرفته ودر بین آن شهرها و مراکز جمعیتی استان بوشهر قرار دارد. قسمت کوهستانی از دو رشته کوه عمده تشکیل می‌شود که به موازات هم سرتاسر طول استان را طی می‌کنند. رشته‌ی اصلی آن تقریباً بیشتر محدوده‌ی شمالی و شرقی استان بوشهر را در برگرفته و در حقیقت دنباله‌ی رشته کوه های زاگرس است و رشته‌ی دیگر به موازات رشته کوه اول در حاشیه خلیج فارس قرار گرفته که هر چه به طرف جنوب پیش رود به دریا نزدیکتر شده تا جایی که به داخل دریا نیز کشیده می‌شود.

به طور کلی می‌توان گفت استان بوشهر دارای ارتفاعات قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشد.

---

[۱]-Topology

جدول(۱-۱):برخی پارامترهای هواشناسی استان بوشهردرطول ماه درفاصله‌ی سال های1951 تا 2005 میلادی برای ماه های گوناگون سال[6]

ماه / پارامترهای هواشناسی	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
میانگین رطوبت نسبی	75	72	66	60	56	57	61	64	65	65	67	74
میانگین ماکزیمم رطوبت نسبی	89	87	83	79	74	75	79	82	84	84	84	88
میانگین حداقل رطوبت نسبی	59	54	48	41	38	40	43	47	45	45	48	56
ماکزیمم بارندگی (mm/day)	150	107	57	48	70	0.4	1	19	0	40	150	111
میانگین تعداد روزهای بارانی	8.1	5.7	6.1	3.8	1.3	0	0.1	0	0	0.7	4.1	7.2
جهت غالب(از شمال)	315	315	315	315	315	315	270	270	270	315	315	315
سرعت غالب(m/s)	4.2	4.7	4.8	4.7	4.9	5.2	8.9	4.5	4.1	3.9	4.4	4.1
حداقل دما°C	-1	2.5	5	8	14	18	21	22	17	12	5	2
حداکثردما °C	30	32	38	42.5	47	48.6	50	47	46	41	34	32
میانگین متوسط دمای روزانه°C	14.4	16	19	24.2	28.9	31.3	33.1	33.2	30.7	26.8	21.2	16.5
میانگین دمای حداقل °C	10.2	11	14.3	18.8	23.4	26.2	28.3	28.2	24.9	20.6	15.8	11.9
میانگین دمای حداکثر °C	8.5	8.9	9.8	10.8	11.1	10.2	9.6	9.9	11.6	12.3	10.7	9.1
میانگین ساعت های آفتابی	199	198	217	236.2	293.6	332.5	317	324.8	295.4	279.5	226.2	191

۱-۲-۲- منابع آب

منابع آب استان از سه بخش‌آب‌های جاری، آب‌های زیرزمینی و پهنه آب‌های خلیج‌فارس تشکیل شده است. آب‌های جاری استان شامل رودخانه‌های دائمی وفصلی است و تنها رودخانه‌های دائمی استان رودخانه‌های مند ،شاپو و دالکی می‌باشند. بیشتر چشمه‌های استان شور وبرخی نیز دارای آب شیرین می‌باشند. آبهای زیر زمینی استان نیز بخشی شور و بخشی شیرین است. منبع عظیم آب خلیج فارس نیز مهمترین ازمنابع آب استان را تشکیل می‌دهد.

۱-۲-۳-رطوبت

خلیج فارس منبع گسترده‌ی رطوبت این منطقه می‌باشد. درجدول (۱-۱) میانگین رطوبت نسبی، میانگین حداکثررطوبت نسبی و میانگین حداقل رطوبت نسبی در فاصله‌ی سال های 1951 تا 2005 برای ماه‌های گوناگون سال آورده شده است. این مقادیرنشان دهنده‌ی رطوبت بالای این منطقه است.

۱-۲-۴- پوشش گیاهی

کمی ارتفاع کوههای استان و جهت گسترش آنها سبب گردیده است که ریزش‌های جوی کم در آنها در تلفیق نامناسب با جنس خاک‌های این ارتفاعات، گسترش پوشش گیاهی را در این ارتفاعات و کوه‌پایه‌ها در حد ناچیزی قرار دهد. به این جهت اغلب کوهستان‌های استان تقریبا به صورت لخت و یا با پوشش گیاهی ناچیز مشاهده می‌شوند. از طرفی شوری آب و خاک در بخش‌های وسیعی از استان بوشهر، زمین‌های این استان را در گستره‌ای وسیع غیر قابل کشت نموده است و درنتیجه زمین‌های قابل کشت به صورت محدوده‌های پراکنده در سطح استان مشاهده می‌شوند. دراین استان