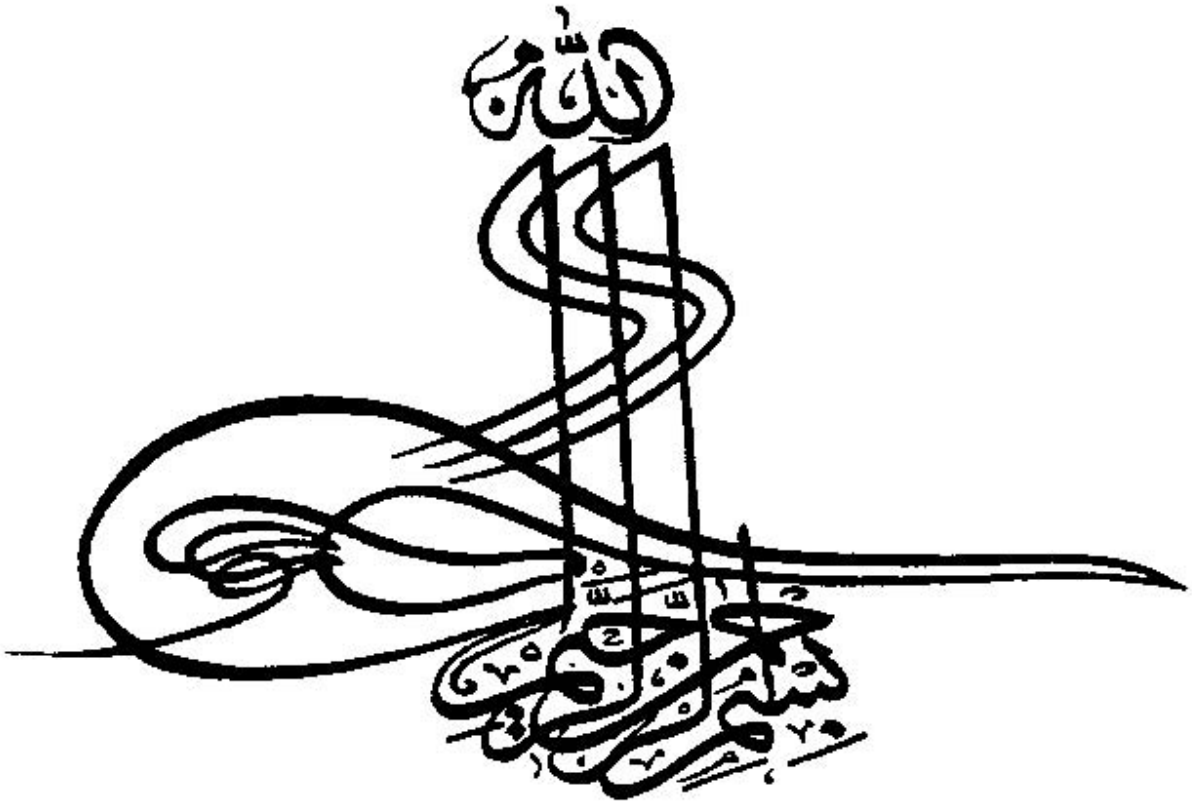

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
مهندسی هسته ای گرایش راکتور

# ارزیابی دز دریافتی ساکنان اطراف نیروگاه در زمان عملکرد عادی نیروگاه اتمی بوشهر

نگارش:
زینب پرسوزی آزاد شربیانی

اساتید راهنما:
دکتر رضا امراللهی ، دکتر مهدی سهرابی

استاد مشاور :
مهندس سیروس خاموشی

اسفند ماه ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

**بسمه تعالی**

**فرم اطلاعات پایان‌نامه**
**کارشناسی- ارشد و دکترا**

تاریخ: ۱۳۸۸/۲/۲۹
شماره:

**معاونت پژوهشی**
**فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷**

**مشخصات دانشجو:**

نام و نام خانوادگی: زینب پرسوزی آزاد شربیانی  دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۱۲۰۰۲  دانشکده: مهندسی هسته ای و فیزیک  رشته تحصیلی:مهندسی راکتور  گروه: مهندسی هسته ای

**مشخصات استاد راهنما:**

نام و نام خانوادگی: دکتر رضا امراللهی  درجه و رتبه: استاد و عضو هیئت علمی و رئیس دانشکده ه مهندسی هسته ای دانشگاه امیرکبیر

نام و نام خانوادگی: دکتر مهدی سهرابی  درجه و رتبه: استاد و عضو هیئت علمی سازمان انرژی اتمی ایران

**مشخصات استاد مشاور:**

نام و نام خانوادگی: مهندس سیروس خاموشی  درجه و رتبه: شرکت تولید و توسعه ی نیروگاه ها

نام و نام خانوادگی: -  درجه و رتبه: -

**عنوان پایان‌نامه به فارسی : ارزیابی دز دریافتی ساکنان اطراف نیروگاه در زمان عملکرد عادی نیروگاه اتمی بوشهر**

**عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:**

Public Exposure from Environmental Release of Radioactive Material under Normal Operation of Bushehr Nuclear Power Plant

نوع پروژه: کارشناسی ○ ارشد ● دکتر ا ○ سال تحصیلی:۸۸-۸۷

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 – دز فردی –دز جمعی – هسته های پرتوزا - ایمنی**

**واژه‌های کلیدی به انگلیسی:**

**Bushehr Nuclear Power Plant- Individual dose-Collective dose-Radioactive material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| مشخصات ظاهری | تعداد صفحات ۱۰۷ | تصویر ● جدول ● نمودار ● نقشه ● واژه‌نامه ○ | | تعداد مراجع ۲۷ | تعداد صفحات ضمائم ۲۴ |
| زبان متن | فارسی ● | انگلیسی ○ | چکیده | فارسی ● | انگلیسی ● |
| یادداشت - | | | | | |

**نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه**

استاد: -

دانشجو: بهتر است پایان نامه های دانشجویی تعریف شده کاربرد عملی داشته و از نظر تامین هزینه توسط دانشگاه حمایت شوند.

به نام خدا

# برگه ارزیابی پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
( پلی تکنیک تهران )

نام و نام‌خانوادگی: خانم زینب پرسوزی ازادشربیانی　　شماره دانشجویی: ۸۵۱۱۲۰۰۲

رشته: مهندسی‌هسته‌ای- مهندسی راکتور　　تاریخ دفاع: ۸۷/۱۱/۱۶

عنوان پایان‌نامه: ارزیابی دز دریافتی ساکنان اطراف نیروگاه در زمان عملکرد عادی نیروگاه اتمی بوشهر

| هیأت داوران | نام و نام‌خانوادگی | امضاء |
|---|---|---|
| اساتید راهنما | دکتررضا امراللهی | |
| | دکترمهدی سهرابی | |
| استاد مشاور | مهندس سیروس خاموشی | |
| داور داخلی | دکترشهیار سرآمد | |
| داور خارجی | دکتر مارکوس آواکیان | |
| 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: ۱۳۸۹/۲/۲۸

اینجانب زینب پرسوزی آزاد شربیانی 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.

زینب پرسوزی آزاد شربیانی

امضا

GF-55-2

تقدیم به

مهربان ترین و عزیزترین هدیه های الهی

پدر و مادر عزیزم.

و

**مردم شهر آفتاب و خلیج همیشگی فارس**

**بوشهر**

تقدیر و تشکر

**منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربتست و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو می رود ممد حیات است و چون باز می آید مفرح ذات.پس در هر نفس دو نعمت موجود است و هر نعمت شکری واجب.**

**از دست و زبان که برآید کز عهده ی شکرش به در آید**

**با سپاس از درگاه پروردگار جهانیان که الطاف بی کرانش بر همه ی موجودات ساری و جاری است.**

بر خود لازم می دانم که از زحمات پروفسور مهدی سهرابی و پروفسور رضا امراللهی که همواره در طول پروژه با راهنمایی های دلسوزانه و ارزشمند خود سبب انجام هر چه بهتر آن شدند تشکر و قدردانی کنم. همچنین از جناب آقای مهندس سیروس خاموشی برای مشاوره های ارزشمندشان سپاسگزارم. از آقایان مهندس مسعود فیضی نژاد از شرکت تولید و توسعه ی نیروگاه ها و مهندس علی فتاحی و سرکار خانم مهندس متین پیرحسینی از شرکت ساخت سوخت اصفهان که در تهیه و گرداوری داده ها نقش بسیار مؤثری داشتند تشکر می نمایم.

و در نهایت از تمامی اساتید و دوستانی که در طول پروژه از راهنمایی های ایشان بهره برده ام تشکر نموده و برای همه ی آن ها آرزوی موفقیت دارم.

## چکیده

راکتورهای هسته ای از مهمترین منابع پرتوزای مصنوعی هستند. مواد پرتوزا طی فرآیندهای شکافت و واکنش نوترون ها و گاما با عناصر ساختاری راکتور ایجاد می شوند. راکتورهای هسته ای قدرت به گونه ای طراحی شده اند که مواد پرتوزا را محصور کنند و مانع انتقال آن ها به محیط شوند. ولی با این وجود هنگام کار در وضعیت عادی نیروگاه ، مقداری مواد پرتوزا تولید می شود که پس از کنترل های لازم توسط کارگردان نیروگاه بخشی به عنوان پسمان گازی از طریق دودکش نیروگاه به اتمسفر و مقداری نیز به صورت پسمان مایع وارد آب رودخانه یا دریا می شود. راکتور نیروگاه هسته ای بوشهر از نوع آب سبک تحت فشار روسی با توان تولید 3000 MW(t) انرژی گرمایی و 1000 MWe انرژی الکتریکی است و انتظار می رود که بزودی مورد بهره برداری قرار بگیرد. هدف از انجام این پژوهش تحت عنوان " ارزیابی دز دریافتی ساکنان اطراف نیروگاه هسته ای بوشهر " بررسی مدل انتشار مواد پرتوزا در اتمسفر و دریا و محاسبه ی دز دریافتی مردم اطراف نیروگاه بوشهر به صورت فردی و جمعی و در نهایت ارزیابی این دز به عنوان نتیجه ای از ایمنی نیروگاه است. برای این منظور از کد کامپیوتری PC-CREAM استفاده شده که توسط کمیته‌ی ملی حفاظت در برابر پرتو(NRPB)[1] در انگلیس طراحی و مورد تایید آژانس بین المللی انرژی اتمی می باشد و تمام مسیرهای مختلف پرتوگیری انسان از مواد پرتوزا را شبیه سازی می کند که اساس پخش مواد پرتوزا در این کد مدل انتشار گؤسی است. دز جمعی در شعاع 100 km از دودکش نیروگاه و دز فردی برای سه گروه سنی نوزادان تا یک سال، کودکان تا ده سال و بزرگسالان در فواصل مختلف از نیروگاه محاسبه شده.براساس نتایج این پژوهش حداکثر دز فردی دریافتی بزرگسالان ناشی از گازهای پرتوزا در محاسبات ما در جهت SSE و $4.02\times10^{-5}$ میلی سیورت می باشد که در مقایسه با نتیجه ی ارائه شده در PSAR[2] و محاسبات مرکز مطالعات محیطی نیروگاه که به ترتیب حداکثر مقدار در جهت S و $7.7\times10^{-5}$ میلی و SE و $1.6\times10^{-4}$ سیورت می باشد از هماهنگی مناسبی برخوردار است و از حدود معین شده توسط نظام ایمنی هسته ای ایران[3] که دز سالیانه ی 0.1 mSv را برای مردم عادی اطراف نیروگاه مقرر کرده است پایین تر می باشد. همچنین دز فردی ناشی از رها شدن پسمان مایع به خلیج فارس در نتایج ما $5\times10^{-7}$ $(mSv)$ برای بزرگسال بدست آمده که با نتایج محاسبات ارائه شده توسط مرکز مطالعات محیطی نیروگاه $3.08\times10^{-6}$ $(mSv)$ مقایسه کردیم که از هماهنگی خوبی برخوردار است.


[1] . National Radiological Protection Board
[2] Preliminary Safety Analysis Report
[3] Iranian Nuclear Regulatory Authority

فهرست عناوین

مقدمه..... ۱

۱-نیروگاه هسته ای بوشهر و تکنولوژی نیروگاه هسته ای آب تحت فشار

۱-۱- نیروگاه هسته ای بوشهر..... ۸

۱-۲-تکنولوژی عمومی نیروگاه آب تحت فشار(PWR)..... ۱۱

۱-۲-۱-ساختار راکتور و پوشش ایمنی..... ۱۱

۱-۲-۲-قلب..... ۱۱

۱-۲-۳-سیستم اولیه ی خنک کننده ی راکتور-..... ۱۲

۱-۲-۳-۱- دیگ فشار راکتور..... ۱۲

۱-۲-۳-۲- میله های کنترل..... ۱۳

۱-۲-۳-۳- پمپ های اصلی خنک کننده..... ۱۳

۱-۲-۳-٤-مولدهای بخار..... ۱٤

۱-۲-۳-٥- فشارنده و سیستم انبساط..... ۱٤

۱-۲-۳-٦- لوله‌های اصلی مدار اولیه..... ۱٤

۱-۲-۳-۷- عایقبندی تجهیزات مدار اولیه..... ۱٥

۱-۲-٤- سیستم امدادی راکتور..... ۱٥

۱-۲-٤-۱- سیستم کنترل حجم و کیفیت شیمیایی آب..... ۱٦

۱-۲-٤-۲-سیستم تغذیه آب و بورون..... ۱٦

۱-۲-٤-۳- سیستم خنک کننده راکتور پس از خاموشی..... ۱٦

۱-۲-٤-٤-سیستم جابجایی و ذخیره سازی سوخت..... ۱٦

۱-۲-٥-سیستم های ایمنی راکتور..... ۱۷

۱-۲-٥-۱-سیستم تزریق آب در حالت اضطراری..... ۱۸

۱-۲-٥-۲-سیستم پخش آب از سقف ساختمان پوشش راکتور..... ۱۸

۱-۲-٥-۳-سیستم تغذیه آب امدادی..... ۱۸

۱-۲-٥-٤-سیستم جداسازی ساختمان پوشش راکتور..... ۱۸

۱-۳-تفاوت های اساسی تکنولوژی راکتورهای آب تحت فشار غربی (PWR)و روسی (VVER). ۱۸

۱-٤-سرچشمه ی مواد پرتوزا در نیروگاه..... ۲۰

۱-٤-۱-محصولات شکافت..... ۲۱

۱-٤-۲-محصولات پرتوزا شده..... ۲۱

۱-٥-انواع پسمان در نیروگاه هسته ای..... ۲۱

۱-۵-۱-پسمان مایع ..... ۲۱
۱-۵-۲-پسمان گازی ..... ۲۲
۱-۵-۳-پسمان جامد ..... ۲۳

۲-بررسی تئوری پخش مواد پرتوزا در اتمسفر و دریا

۲-۱-تغییرات دما با ارتفاع ..... ۲٤
۲-۲-حرکات ستون دود ..... ۲۵
۲-۲-۱-حرکت حلقه ای ..... ۲٦
۲-۲-۲-حرکت قیفی ..... ۲٦
۲-۲-۳-حرکت بادبزنی ..... ۲۷
۲-۲-٤-حرکت بالا رونده ..... ۲۷
۲-۲-۵-حرکت دودی ..... ۲۷
۲-۲-٦-حرکت محبوس ..... ۲۸
۲-۳-تئوری پخش مواد پرتوزا ..... ۲۹
۲-۳-۱-مدل پلوم گؤسی ..... ۲۹
۲-۳-۲-طرح هایی برای کلاس بندی پخش ..... ۳۵
۲-۳-۲-۱-کلاس‌های پایداری جوی ..... ۳۵
۲-۳-۲-۲-پارامترهای پخش ..... ۳٦
۲-٤-فرآیندهای رقیق شدن ستون دود ..... ۳٦
۲-٤-۱-واپاشی مواد پرتوزا ..... ۳۷
۲-٤-۲-نشست مرطوب ..... ۳۸
۲-٤-۳-نشست خشک ..... ۳۸
۲-٤-٤-نشست روی خاک وگیاهان ..... ۳۹
۲-٤-۵-تعلیق مواد پرتوزا از سطح زمین ..... ٤۱
۲-٤-٦-اثر ساختمان ها بر پخش اتمسفری ..... ٤۲
۲-۵-پخش مواد پرتوزا در آب ..... ٤۳
۲-٦-بررسی انتقال مواد پرتوزا به آب های سطحی ..... ٤٦
۲-٦-۱-رودخانه. ..... ٤٦
۲-٦-۲-مصیب یا خلیج کوچک ..... ٤۷

۲-٦-۳-دریاچه.. ..... ٤٨
۲-۷-اثر رسوبات ..... ٥٠
۲-۸-غلظت مواد پرتوزا ..... ٥٠
۲-۸-۱-غلظت مواد پرتوزا در آب ..... ٥٠
۲-۸-۲-غلظت هسته ی پرتوزا در رسوبات معلق ..... ٥١
۲-۸-۳-غلظت هسته ی پرتوزا در رسوبات کف دریا ..... ٥٢
۲-۸-٤-غلظت هسته ی پرتوزا در رسوبت ساحلی (شن زار) ..... ٥٢
۳-انتقال مواد پرتوزا به غذاهاو پرتوگیری داخلی و خارجی ناشی از مسیرهای مختلف
۳-۱-انتقال هسته های پرتوزا به زنجیره ی غذایی ..... ٥٣
۳-۱-۱-غلظت در سبزیجات ..... ٥٣
۳-۱-۲-غلظت مواد پرتوزا در علوفه ی حیوانات ..... ٥٥
۳-۱-۲-۱-غلظت در شیر ..... ٥٦
۳-۱-۲-۲-غلظت مواد پرتوزا درگوشت ..... ٥٦
۳-۱-۳-انتقال هسته های پرتوزا به غذاهای دریایی ..... ٥٧
۳-۲-ارزیابی دز فردی کل ناشی از یک منبع پرتوزا ..... ٥٨
۳-۲-۱-محاسبه ی دز خارجی ناشی از هسته های پرتوزای هوابرد ..... ٥٨
۳-۲-۲-محاسبه ی دز خارجی ناشی از هسته پرتوزای ته نشست شده روی زمین ..... ٥٩
۳-۲-۳-محاسبه دز داخلی ناشی از تنفس و بلع هسته های پرتوزا ..... ٦٠
۳-۲-۳-۱-محاسبه‌ی دز داخلی ناشی از هسته های پرتوزای تنفس شده ..... ٦٠
۳-۲-۳-۲-محاسبه دز داخلی ناشی از بلع مواد پرتوزا ..... ٦٠
۳-۲-٤-تنفس هسته های پرتوزای معلق شده در هوا ..... ٦١
۳-۳-محاسبه ی دز خارجی ناشی از رسوبات ..... ٦٢
۳-٤-ارزیابی دز مؤثر جمعی کل ..... ٦٣
٤-معرفی کد PC-CRAM و داده های ورودی مورد نیاز برای ارزیابی بوشهر
٤-۱-معرفی کد PC-CREAM ..... ٦٤
٤-۱-۱-زیر برنامه ی محاسبات پخش موادپرتوزا در اتمسفر PLUME ..... ٦٤
٤-۱-۱-۱-اطلاعات سایت ..... ٦٥
٤-۱-۱-۲-تعیین فواصل از نیروگاه ..... ٦٦

٤-١-١-٣-اطلاعات هواشناسی ..... ٦٧
٤-١-١-٤-طول ناهمواری‌های زمین ..... ٦٩
٤-١-١-٥-اطلاعات هسته های پرتوزا ..... ٦٩
٤-١-١-٦-خروجی برنامه‌یPLUME ..... ٧١
٤-١-٢-معرفی زیر برنامه ی محاسبات پرتوگیری خارجی از موادپرتوزای گسیلنده ی گاما GRANIS ..... ٧١
٤-١-٣-زیربرنامه ی محاسبات تعلیق مجدد مواد پرتوزا از زمین RESUS ..... ٧٢
٤-١-٤-زیر برنامه ی محاسبات پرتوزایی خوراکی ها در اثر انتقال هسته های پرتوزا از زمین....٧٢
٤-٢-بررسی وضعیت ساحلی نیروگاه اتمی بوشهر ..... ٨١
٤-٢-١-موقعیت جغرافیایی و اقیانوس شناسی خلیج فارس ..... ٨٢
٤-٢-٢-شرایط تخلیه ی پسمان به دریا ..... ٨٢
٤-٢-٣-زیر برنامه ی محاسبات پخش پسمان ریخته شده در دریا DORIS ..... ٨٣
٥-نتایج بدست آمده در محاسبات PC-CREAM و بحث و بررسی آن ها
٥-١-ارزیابی اثرات رادیولوژیکی مواد پرتوزا توسط ASSESSOR ..... ٨٥
٥-٢-نتایج محاسبات دز فردی برای اتمسفر ..... ٨٦
٥-٢-١-محاسبات دز برای نوزادان ..... ٨٦
٥-٢-٢-محاسبات دز کودک ..... ٨٩
٥-٢-٣-محاسبات دز بزرگسال ..... ٩١
٥-٢-٤-مقایسه ی نتایج دز بزرگسالان با نتایج گزارش تحلیل ایمنی اولیه و گزارش محیطی تولید وتوسعه ..... ٩٤
٥-٢-٥-مقایسه ی سهم هسته های پرتوزای مختلف در دز فردی سه گروه سنی ..... ٩٦
٥-٣- دز جمعی یکساله در شعاع ١٠٠ کیلومتری دودکش نیروگاه ..... ٩٨
٥-٤-نتایج محاسبات برای خلیج فارس ..... ٩٩
٥-٤-١-نتایج محاسبات دز فردی ..... ٩٩
٥-٤-٢-مقایسه ی نتایج دز دریا با نتایج محاسبات گزارس محیطی ..... ١٠١
نتیجه گیری و پیشنهاد ..... ١٠٢
مراجع ..... ١٠٥
پیوست ..... ١٠٨

**مقدمه**

مواد پرتوزای طبیعی از بدو تشکیل کره ی زمین در آن وجود داشته است. ولی با توسعه فن آوری و بهره برداری انسان از آن ، مواد پرتوزای مصنوعی که نتیجه ی فعالیت های بشری در رشته های گوناگون هسته ای می باشد به محیط زیست وارد شده. از جمله ی این گونه منابع می توان از تاسیسات هسته ای مربوط به صنعت تولید انرژی هسته ای، مراکز تهیه و تولید هسته های پرتوزا، مراکز کاربرد هسته های پرتوزا و نیز آزمایش های هسته ای نام برد.

راکتورهای هسته ای، از مهمترین موارد تولید کننده ی هسته های پرتوزای مصنوعی هستند. هسته های پرتوزا به طور مستقیم در فرآیندهای شکافت (محصولات شکافت) و به صورت غیر مستقیم در اثر واکنش نوترون و گاما با مواد ساختاری راکتور تولید می شوند.پسمان های پرتوزا در نیروگاه پس از کنترل های لازم و فقط در صورتی که میزان پرتوزایی آن ها به حد مجاز تعیین شده در نیروگاه برسند از دو طریق وارد محیط زیست می شوند : ۱. پسمان گازی که از طریق دودکش خارج می شود. ۲. پسمان مایع که از طریق کانال های خاصی از نیروگاه خارج شده و وارد رودخانه یا دریا می شوند. البته سوخت های مصرف شده در نیروگاه نیز به شدت پرتوزا هستند اما شیوه ی برخورد با آن ها متفاوت است و از بحث این پایان نامه خارج است.

عمده ی گازهای پرتوزای خارج شده از دودکش شامل تریتیم و ایزوتوپ های گازهای نادر مانند کریپتون، زنون و ید می باشند. پسمان مایع، شامل محصولات شکافت و مواد حاصل از خوردگی و سایش که به علت جذب نوترون در آب راکتور پرتوزا شده اند می باشد.

محدود کردن و کنترل مواد پرتوزا، برای تامین کارکرد ایمن نیروگاه برای کارکنان و عموم مردم است زیرا این مواد پرتوزا ممکن است از طریق پراکنده شدن در جو و محیط آب به گیاه، حیوان و در نهایت انسان منتقل شوند و به طور مستقیم یا غیر مستقیم به مردم برسند و باعث پرتوگیری شخص و افراد جامعه شوند.[1] پرتوگیری فردی بیش از حدود دز تعیین شده می تواند درکوتاه مدت اثرات حاد و در بلند مدت اثرات تاخیری داشته باشد. معمولا اثرات حاد در حوادث محتمل است و در ارزیابی کار عادی نیروگاه اثرات تاخیری مد نظر می باشد. اثرات تاخیری ناشی از پرتوگیری مداوم و در دراز مدت ظاهر می شود و می تواند باعث انواع سرطان ها مانند خون ، استخوان و ریه شده یا باعث ایجاد آب مروارید و گاهی کوتاهی عمر شخص و حتی اثرات ژنتیکی مانند جهش های ژنتیکی شود. به همین دلیل یکی از فاکتورهای مهم ارزیابی ایمنی نیروگاه هسته ای، بررسی محیطی و ارزیابی

دز دریافتی توده ی مردم در حالت بهره برداری عادی نیروگاه  برای کنترل مداوم این پرتوگیری هاست.[2]

همواره در تمام کشورهای دارنده ی نیروگاه اتمی مطالعات گسترده ای در زمینه ی ایمنی نیروگاه، دز دریافتی مردم و اثرات زیست محیطی نیروگاه انجام می شود وگزارش سالانه ی محیطی ارائه می دهند. هدف از گزارشات سالانه محیطی حفاظت پرسنل، عموم مردم و محیط زیست در برابر اثرات پرتوگیری خارجی و داخلی و کنترل بر روی موادپرتوزای پخش شده به محیط خارج و تایید انطباق آن با حد دزتعیین شده در استانداردها می باشد تا با توجه به آن و برنامه ی حفاظتی ، اثرات رادیولوژیکی این منابع پرتوزا تا هر چه کمتر موجه شدنی کاهش یابد(اصل ALARA[1]).

درایالات متحده و اتحادیه ی اروپا به طور متناوب اثرات رادیولوژیکی ناشی از کار نرمال نیروگاه ها و واحدهای فرآوری هسته ای ارزیابی می شود و به این ترتیب با بررسی محیطی، دورنمایی از آینده و قوانین را بررسی می کنند.

هدف از ارزیابی زیست محیطی، دستیابی به اطلاعاتی است که مشخص می کند اثرات پیش بینی شده ی ناشی از پروژه در محدوده ی قابل قبول زیست محیطی و ایمنی قرار دارد. همچنین این بررسی ها ممکن است اطلاعات هشدار دهنده ای از وضعیت نامناسب زیست محیطی وایمنی در اختیار بگذارد. بنابرین نتایج حاصل از این بررسی ها مفید بوده و امکان پیش بینی اثرات بعدی و پیامدهای احتمالی را فراهم می سازد و در صورت پیش بینی یا مشاهده ی اثرات غیر قابل قبول ، اطلاعاتی را برای تصمیم گیری های مدیریتی جهت اتخاذ اقدامات اصلاحی و کاهش اثرات زیان بار فراهم می کند. به طور کلی هدف از این پژوهش ها اطمینان یافتن از این موضوع است که فعالیت ها با معیارها و استانداردهای پیش بینی شده توسط سازمان نظام ایمنی کشور مطابقت دارند.

موضوع ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای مثل ایمنی کلیه تاسیسات صنعتی از موضوعات مهمی است که باید به آن توجه شود. در زمینه راکتورهای هسته ای، اهمیت مسایل ایمنی به علت امکان پخش مواد پرتوزا در فضا و آسیب به انسان و محیط زیست بیشتر است. به همین جهت در زمینه صنایع هسته‌ای مقرارت، استانداردها و روش‌های طراحی، ساخت و بهره برداری دقیق‌تر و مشکل‌تر بوده و با نظم بیشتری اعمال می‌شود. بنابرین در رابطه با ایمنی نیروگاه و جلوگیری از پخش مواد پرتوزا در محیط زیست سه اقدام مهم صورت می گیرد:

[1] As Low As Reasonably Achievable(ALARA)

### ۱. مباحث دفاع در عمق[1]، خطوط دفاعی[2] و جدارهای متوالی

معنی دفاع در عمق آن است که نه تنها در موضع خطر خط دفاعی ایجاد شود (مثلاً با پوشش دادن به میله‌های سوخت) بلکه دفاع در چند مرحله پشت سر هم انجام شود. در این صورت اگر خط دفاعی اول به عللی کار خود را انجام نداد در مراحل بعدی و به صورت پشت سر هم خطوط دفاعی از پیش روی خطر جلوگیری خواهند کرد. این خطوط دفاعی عبارتند از:

۱. غلاف میله‌های سوخت که مانع از نفوذ مواد پرتوزا به ماده خنک کننده می‌شود.

۲. جدار مدار اولیه که در صورت بروز آسیب به غلاف سوخت مانع از نفوذ مواد پرتوزا به محیط اطراف راکتور می‌شود.

۳. پوشش ایمنی راکتور که در حالتی که جدار مدار اولیه آسیب ببیند مانع از نفوذ مواد پرتوزا به محوطه اطراف نیروگاه می‌شود.

### ۲. اطمینان از کیفیت و کنترل کیفی[3]

برای افزایش سطح ایمنی و اطمینان از کیفیت در طراحی، ساخت، نصب و بهره برداری از تجهیزات نیروگاه‌های هسته‌ای کنترل کیفی دقیقی انجام می‌گیرد.

### ۳. گزارش تحلیل ایمنی مقدماتی و نهایی

برای شروع اجرای طرح نیروگاه‌های هسته‌ای (یا تاسیسات هسته‌ای به طور کلی) و بهره برداری از آن‌ها نیاز به صدور مجوز از مقامات ایمنی ذیصلاح که به موجب قانون در هر کشور وجود دارد می‌باشد. برای این منظور باید گزارشی تهیه و به این مقامات جهت بررسی ارائه شود که به آن گزارش تحلیل مقدماتی ایمنی نیروگاه[4](PSAR) می‌گویند.در این گزارش فرضیات مبنای طرح، جزئیات طرح با محاسبات، بررسی موضوعات ایمنی، حوادث ممکن و احتمال آن ها، تاثیر اجرای طرح روی محیط زیست، جمعیت محل و غیره شرح داده شده است. برای شروع بهره برداری از نیروگاه، این گزارش با جزئیات ساخت و نصب تجهیزات با رعایت کامل اطمینان از کیفیت تکمیل

[1] Deep defense
[2] Defense lines
[3] Quality assurance – quality
[4] Preliminary Safety Analysis Report

می‌شود و به صورت گزارش نهایی تحلیل ایمنی[1] (FSAR) در می‌آید.پس از تصویب گزارش نهایی از طرف مقامات ایمنی، بهره برداری آزمایشی از نیروگاه در مرحله اول و بهره برداری دائمی در مرحله بعد شروع می‌شود.[3] در این پایان نامه سعی داریم به بررسی و ارزیابی محیطی نیروگاه هسته ای بوشهر در حالت کار عادی و پرتوگیری فردی و جمعی ساکنان اطراف آن بپردازیم.

واحد اول نیروگاه هسته ای بوشهر از راکتور آب تحت فشار نوع VVER-1000 مدل V-446 تشکیل یافته که از نظر ساختاری و اساس کار، کاملا با نیروگاه هسته ای چرنوبیل متفاوت بوده و متناظر با نیروگاه های هسته ای غربی با راکتور PWR می باشد که دارای ایمنی ذاتی هستند. این نیروگاه توان تولید 1000 MWe انرژی الکتریکی و 3000MWt انرژی گرمایی را دارد. لازم به ذکر است که تمام گازها و مایعات پرتوزای خروجی از نیروگاه همواره از نقطه نظر پرتوزایی و شیمیایی کنترل می شوند و موظف به رعایت استانداردهای لازم می باشند و تا زمانی که پرتوزایی آن ها به حد مجاز نرسد، در محیط رهاسازی نمی شوند. با این وجود ارزیابی ایمنی و رادیولوژیکی نیروگاه قبل از راه اندازی و در طول کار عادی همواره امری لازم و ضروری است. [4]

فعالیت ها و مطالعات گسترده ای برای بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه بوشهر انجام شده که از جمله به گزارش اکو زیست سازمان انرژی اتمی که سالیان زیادی برای تهیه ی آن وقت صرف شده و همی‌ن طور پایان نامه های دانشجویی انجام شده در این زمینه می توان اشاره کرد.[5] [6][7]همچنین گزارش های تحلیل ایمنی اولیه و نهایی توسط شرکت روسی سازنده ی نیروگاه ارائه شده که در آن به بررسی جامع اثرات زیست محیطی نیروگاه و دز دریافتی مردم پرداخته شده است. آخرین پژوهش های انجام شده در این راستا ، بخش مطالعات محیطی شرکت تولید و توسعه ی نیروگاه های اتمی زیر نظر سازمان انرژی اتمی است که ارزیابی های محیطی خود را از سال ۱۳۷۸ آغاز کرده و محاسبات دز توسط نرم افزارهای تهیه شده در این بخش انجام شده و در سال ۱۳۸۲ نتایج آن را به صورت گزارش های مدون ، به طور رسمی به آژانس بین المللی انرژی اتمی ارائه شده است. [8]

در این پایان نامه دز دریافتی فرد و جامعه تا شعاع 100 km اطراف نیروگاه هسته ای بوشهر ناشی از ورود مواد پرتوزا به اتمسفر و دریا در حالت کار عادی نیروگاه محاسبه شده است. با توجه به گذشت چند سال از آخرین ارزیابی های انجام شده در شرکت تولید و توسعه ی نیروگاه ها ، در این پروژه از آخرین آمار و ارقام ارائه شده کشاورزی و جمعیتی سال ۱۳۸۵ استفاده کرده ایم. همچنین

[1] Final Safety Analysis Report

اطلاعات هواشناسی مورد استفاده مربوط به دوره ی یکساله ۲۰۰۶-۲۰۰۷ است.

برای این منظور و انجام محاسبات ، از کد کامپیوتری PC-CREAM استفاده شده است. این کد توسط کمیته‌ی ملی حفاظت در برابر پرتو(NRPB)[1] در انگلیس که در سال‌های اخیر بعنوان بخشی از آژانس حفاظت از سلامت (HPA)[2] در آمده است طراحی شده و سال ها در اروپا مورد استفاده قرار گرفته و مورد تایید آژانس میباشد.

در زمینه ی محاسبات پرتوگیری مردم اطراف نیروگاه در حالت کار عادی راکتور، نرم افزارهای مختلفی در دنیا وجود دارد اما اکثر آن ها برای بخشی از محاسبات به کار می روند ازجمله کدهای LSHINSE، AIRDIF،SHARDA که فقط برای محاسبه ی پخش مواد پرتوزا در اتمسفر، کد RADRISK که فقط مسیرهای بلع و تنفس را برای محاسبه دز لحاظ می کند. برخی نیز مانند LADTAP فقط توانایی محاسبه ی دز ناشی از پسمان مایع را دارند. البته باید به این نکته هم اشاره کرد که در سازمان انرژی اتمی نیز کدهای محاسباتی نظیر RESRAD، CAP-88، ISC ، ALAHO و CAMEO وجود دارد. در مقایسه با نرم افزارهای نام برده شده، کد CREAM نرم افزار جامعی است و تقریبا تمام مسیرهای پرتوگیری را چه در اتمسفر و چه از دریا به طور کامل محاسبه می کند.

اتحادیه ی اروپادر سال ۲۰۰۰ میلادی ۲۸ مورد از سایت های هسته ای ساحلی و ۴۴ سایت غیرساحلی خود را با استفاده از این کد مورد ارزیابی قرار داد و پس از ارزیابی های جامعی که انجام شد، مشخص شد دو سایت Cap La Hagueو Sellafield نشتی دارند و مقدار دز دریافتی به دلیل بالا بودن میزان برخی هسته های پرتوزا بالاست. بنابرین توانستند مشکل نیروگاه را شناسایی و با تمهیدات خاصی برطرف کنند. [9]بنابرین ارزیابی محیطی برای تعیین ایمنی کاری ضروری است. همچنین نرم افزار مورد استفاده یکی از معتبرترین و پرکاربردترین نرم افزارها در اروپاست.

با توجه به این نکته که نیروگاه اتمی بوشهر در ساحل خلیج فارس قرار دارد، دز دریافتی شخص از طریق مواد پرتوزای رها شده در اتمسفر و دریا بررسی شده.مسیرهای مختلف پرتوگیری محاسبه شده برای انسان به قرار زیر است:

۱. تنفس مواد پرتوزا موجود در پلوم۲ .پرتوگیری خارجی ناشی از تابش گاما و بتا از مواد پرتوزای

[1] . National Radiological Protection Board
[2] -Health Protection Agency

موجود در پلوم ۳.پرتوگیری گاما و بتا از مواد پرتوزای ته نشست کرده بر روی زمین ۴.مصرف غذاها از جمله گوشت و جگر و شیر گاو،گوشت و جگر گوسفند،سبزیجات، دانه ها و میوه که برای پخش اتمسفری محاسبات در فواصل 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 80, 100 کیلومتری از نیروگاه و در شانزده جهت انجام شده است که دز شخصی برای سه گروه سنی بزرگسالان، کودکان تا ۱۰ سال و نوزادان تا یک سالگی در مرکز هر سکتور محاسبه شده و برای دز جمعی از اطلاعات جمعیتی، کشاورزی و دامی استان بوشهر استفاده کرده ایم.[10]

برای دز شخصی حاصل از پسمان رها شده در دریا محاسبات را با اطلاعات موجود از خلیج فارس [11] و برای سه گروه سنی یاد شده انجام داده ایم. همچنین برای محاسبه ی دز دریافتی شخص از مواد پرتوزای رها شده در خلیج فارس مسیرهای زیر را در محاسبات وارد کرده ایم .۱.مصرف ماهی و میگو ۲.پرتوگیری ناشی از تابش گاما و بتا از هسته های پرتوزای جذب شده در رسوبات ۴.ابزار ماهی گیری

و در نهایت کلیه ی محاسبات اتمسفر با مقدار دز ارائه شده در گزارش PSAR شرکت روسی سازنده ی نیروگاه و محاسبات دریا با مقادیر گزارش محیطی پیمانکار ایرانی پروژه مقایسه شده است. طبق نتایج بدست آمده حداکثر دز دریافتی در محاسبات ما در جهت SSE و $4.02\times10^{-5}$ میلی سیورت می باشد که در مقایسه با نتیجه ارائه شده در PSAR[1] که حداکثر مقدار در جهت S و $7.7\times10^{-5}$ میلی سیورت می باشد [12] از هماهنگی مناسبی برخوردار است و از حدود معین شده توسط نظام ایمنی هسته ای ایران[2] که دز سالیانه ی 0.1 mSv را برای مردم عادی اطراف نیروگاه مقرر کرده است پایین تر می باشد. همچنین دز فردی حاصل از ورود موادپرتوزا به دریا $5\times10^{-7}$ $(mSv)$ برای بزرگسال بدست آمده که با نتایج محاسبات ارائه شده توسط مرکز مطالعات محیطی نیروگاه $3.08\times10^{-6}$ $(mSv)$ از هماهنگی خوبی برخوردار است.[8]

نتایج پژوهش ما هماهنگی مناسبی با PSAR و نتایج مطالعات محیطی نیروگاه دارد البته اختلاف اندکی مشاهده می شود. وجود چنین اختلافی در محاسبات طبیعی است و علت آن استفاده از نرم افزار مختلف در هر یک از محاسبات است. همچنین برخی پارامترها مانند هواشناسی منطقه، مربوط به سال های مختلفی بوده و همین امر باعث اندکی اختلاف در جهت و مقدار دز بیشینه شده است و احتمال می رود برخی ضرایب به کار رفته در کدها مثل ضریب تبدیل دز در انسان ،گیاه و حیوان ،

[1] Preliminary Safety Anlysis Report
[2] Iranian Nuclear Regulatory Authority

حجم هوای تنفس، مدت زمان قرار گرفتن در معرض پرتو و... از استانداردهای مختلف تهیه شده و در نتیجه ی محاسبات تاثیر گذاشته. همچنین فرضیات مربوط به سرانه مصرف مواد غذایی نیز در محاسبات گزارش محیطی شرکت تولید وتوسعه از آمار سال ۱۳۷۲ و در محاسبات ما از آمار سال ۱۳۸۲ استفاده شده که با توجه به اختلاف ده ساله مقدار آن در انجام محاسبات تغییر کرده است.

برای این منظور سیر مطالعاتی زیر را در پروژه انجام داده ایم:

در فصل اول، به معرفی کلی نیروگاه بوشهر و برخی ویژگی های آن ، تکنولوژی نیروگاه هسته ای آب تحت فشار مانند نیروگاه بوشهر و سرچشمه ی موادپرتوزا در سیستم های راکتور خواهیم پرداخت.

در فصل دوم، مدل انتشار پسمان گازی در جو و عوامل مؤثر در پخش آن که همان مدل استفاده شده در نرم افزار CREAM می باشد آمده است. در ادامه به بررسی مدل پخش پسمان مایع در انواع آب های سطحی پرداخته ایم که مدل های پخش ارائه شده همان مدل مورد استفاده در کد CREAM می باشد.

در فصل سوم، ابتدا میزان انتقال مواد پرتوزا به گیاه ، حیوان و انسان بررسی شده سپس محاسبات تئوری دز داخلی و خارجی از مسیرهای مختلف پرتوگیری مانند بلع ، ابر گاما ، ابر بتا، تعلیق مجدد، تنفس و... بحث شده است.

در فصل چهارم، ویژگی های کد PC-CREAM و اطلاعات ورودی مورد نیاز آن برای استان بوشهر آمده است. در این بخش اطلاعات جغرافیایی و توپوگرافی اطراف نیروگاه ، پراکندگی جمعیت در فواصل و جهت های مختلف ، سرانه ی مصرف غذاهای مختلف در استان برای سه گروه سنی، مقدار تولید محصولات کشاورزی و دامی در فواصل و جهت های مختلف تا 100 Km اطراف دودکش تهیه شده و همراه با اطلاعات هواشناسی جمع آوری شده از دکل موجود در نیروگاه به عنوان ورودی در محاسبات دز بوشهر آمده است.

در فصل پنجم نتایج حاصل از کد CREAM برای سه گروه سنی در فواصل و جهت های مختلف از دودکش نیروگاه بدست آمده و به طور مفصل برای سه گروه سنی بحث شده است و در نهایت با نتایج ارائه شده در گزارش تحلیل ایمنی اولیه نیروگاه و گزارش محیطی شرکت تولید و توسعه نیروگاه ها مقایسه شده است. فصل ششم ، نتیجه گیری و پیشنهادات.

# فصل ۱ : نیروگاه هسته ای بوشهر و تکنولوژی نیروگاه هسته ای آب تحت فشار