دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد بخش مهندسی هسته ای گرایش راکتور

عنوان

بررسی کد دراگن در مسائل استاندارد مهندسی هسته ای و کاربرد آن درمحاسبات بحرانی راکتور VVER-1000

به کوشش :

محسن اکبرزاده

استاد راهنما :

دکترکمال حداد

اساتید مشاور:

دکتر فرشاد فقیهی

دکتر احمد پیروزمند

مهر ۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب محسن اکبرزاده (۸۸۰۷۵۸) دانشجوی رشته‌ی مهندسی هسته‌ای گرایش راکتور دانشکده‌ی مهندسی مکانیک اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن‌را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: محسن اکبرزاده

تاریخ و امضاء

به نام خدا

بررسی کد دراگن در مسائل استاندارد مهندسی هسته‌ای و کاربرد آن درمحاسبات بحرانی راکتور VVER-1000

به کوشش:

محسن اکبرزاده

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی هسته‌ای(راکتور)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

دکتر کمال حداد، استاد مهندسی هسته‌ای(رئیس کمیته).....

دکتر فرشاد فقیهی، دانشیار مهندسی هسته‌ای .....

دکتر احمد پیروزمند، استادیار مهندسی هسته‌ای .....

مهر ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

تشکر و قدردانی

اقتضای جان چون ای دل آگهی است هر که آگه تر بود جانش قوی است

سپاس ویژه استاد راهنمایم، جناب آقای **دکتر کمال حداد** که الگوی فروتنی و مهربانی توأم با دانش و آگاهی بوده و هرگز مرا از خوان بی دریغ اندوخته های خویش محروم نگذاشته و رهین محبّت های ایشان بوده و خواهم بود.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای **دکتر فرشاد فقیهی** و **دکتر احمد پیروزمند**، به خاطر کمک ها و پیشنهادات بی دریغ و ارزنده شان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم و سلامت و موفقیّت روز افزون ایشان را از خداوند متعال خواستارم.

همچنین از پرفسور مارلئو، به خاطر کمک‌های بسیار ارزنده ایشان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

بررسی کد دراگن در مسائل استاندارد مهندسی هسته ای و کاربرد آن درمحاسبات بحرانی راکتور VVER-1000

به کوشش

محسن اکبرزاده

در این تحقیق کد محاسباتی دراگن به منظور شبیه سازی محاسبات تهی شدن سوخت در راکتور VVER-1000 استفاده شده است. ابتدا کد دراگن برای اجرا، بر روی سیستم عامل ویندوز پیاده‌سازی گردید و کتابخانه‌های مورد نیاز آن، شامل IAEA وDRAGON تهیه شده و سپس صحت‌سنجی این کد با استفاده از مسائل استاندارد تحلیلی به عمل آمد. پس از آن مجتمع‌های مختلف سوخت راکتور VVER-1000 در کد دراگن پیاده‌سازی گشته و محاسبات تهی شدن بررسی گردیده است. نتایج صحت سنجی کد با نتایج قبلی حاصل از محاسبات با روشهای متفاوت مقایسه گردید و صحت مدلسازی کد تایید گردید. همچنین نتایج تهی شدن سوخت راکتور VVER-1000 با مقادیر موجود در FSAR مقایسه و دقت کد در محاسبات مصرف سوخت بررسی گردیده است.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱

۱.مقدمه ۲

۱-۱ کلیات ۲

۱-۲ آشنایی با کد دراگن ۳

۱-۳ هدف از اجرای تحقیق ۵

۱-۴ مروری بر کارهای انجام گرفته با کد دراگن ۶

فصل دوم ۸

۲.تئوری ۹

۲-۱ معادله ترابرد نوترون و المان های محاسبات شبکه ۹

۲-۱-۱ معادله ترابرد نوترون ۹

۲-۱-۲ توان چشمه ۱۳

۲-۱-۳ شرایط مرزی ۱۶

۲-۱-۴ روش چندگروهی ۱۷

۲-۱-۵ روش های حل در کد دراگن ۱۹

۲-۱-۵-۱ روش احتمال برخورد ۲۰

۲-۱-۵-۲ روش مشخصه ها ۲۶

۲-۱-۵-۳روش گسسته‌سازی معمولی(SN) ۲۹

۲-۱-۵-۴ روش المان محدود لاگرانژی ۳۰
۲-۱-۵-۵ روش PN ۳۱
۲-۱-۵-۶ روشهای آماری ۳۲
۲-۲ اجزای محاسبات شبکه ۳۳
۲-۲-۱ کتابخانه‌های داده‌های هسته‌ای ۳۶
۲-۲-۲ خودحفاظی ناحیه تشدید ۳۶
۲-۲-۳ مدل نشت نوترون ۳۸
۲-۲-۴ هم ارزی ،فشرده سازی و همگن نمودن ۴۱
۲-۲-۵ تهی شدن ایزوتوپی ۴۵
۲-۳ کد دراگن(نسخه چهارم) و ویژگی‌های آن ۴۸
۲-۳-۱ ساختار عمومی ورودی دراگن ۵۰
۲-۳-۱-۱ سازماندهی داده ها ۵۰
۲-۳-۲ بیان کردن ماژول و ساختار داده در دراگن ۵۳
۲-۳-۳ ماژول های دراگن ۵۵
۲-۳-۳-۱ ماژول های محاسباتی دراگن ۵۶
۲-۳-۳-۲ماژول های امکانات ۵۸
۲-۳-۴ ساختارهای داده‌ی دراگن ۵۹
فصل سوم ۶۳
۳.مدلسازی ۶۴
۳-۱ معادله ترابرد نوترون و المان های محاسبات شبکه ۶۴
۳-۲ نیروگاه آبی تحت فشار ۶۵
۳-۳ نگاه کلی به نیروگاه بوشهر ۶۷
۳-۳-۱ کلیات ۶۷

۳-۳-۲ راکتور ۷۰
۳-۳-۲-۱ قلب راکتور ۷۲
۳-۳-۲-۲ مجتمع سوخت ۷۳
۳-۳-۲-۳ سوخت ۷۷
۳-۳-۲-۴ میله های جاذب سوختنی ۸۱
۳-۳-۲-۵ میله های کنترل ۸۲
۳-۳-۲-۶ کانال هدایت کننده و کانال مرکزی ۸۳
۳-۳-۲-۷ کانال اندازه گیری ۸۴
۳-۴ کلیاتی در مورد مجتمع های سوخت VVER-1000 از نوع LEU و MOX ۸۴
۳-۵ مدلسازی و صحت سنجی دراگن با استفاده از مسائل استاندارد مهندسی هسته‌ای... ۸۵
۳-۵-۱ مسائل فلچر و ناستلسون ۸۵
۳-۵-۲ مجتمع سوخت VVER-1000 از نوع LEU و MOX ۸۸
۳-۵-۳ مجتمع های سوخت راکتور بوشهر ۹۲
۳-۵-۳-۱ بدست آوردن دانسیته اتمی ایزوتوپ ها ۹۴
۳-۵-۳-۱ -۱ محاسبات مربوط به میله های سوخت ۹۴
۳-۵-۳-۱ -۲ محاسبات مربوط به میله های جاذب سوختنی ۹۷
۳-۵-۳-۱-۳ محاسبات مربوط به کانال های مرکزی، اندازه گیری و هدایت کننده ۹۸
۳-۵-۳-۱-۴ محاسبات مربوط به میله های کنترل ۱۰۱
فصل چهارم ۱۰۳
۴.نتایج و پیشنهادات ۱۰۴
۴-۱ بحث در نتایج و پیشنهادات ۱۰۴
۴-۱-۱ مسائل ناستلسون و فلچر ۱۰۴

۴-۱-۲ مجتمع های سوخت LEU وMOX ۱۲۰
۴-۱-۲ مجتمع های سوخت بوشهر ۱۳۰
۴-۲ پیشنهادات ۱۴۰
فهرست منابع ۱۴۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ برخی کدهای مورد استفاده در صنعت هسته ای ۳
جدول ۳-۱ مشخصات قلب راکتور [۲۹] ۷۲
جدول ۳-۲ مشخصات کلی سوخت[۲۹] ۷۴
جدول ۳-۳ مشخصات مجتمع های سوخت [۲۹] ۷۵
۳-۴ مشخصات میله سوخت[۲۹] ۷۸
۳-۵ برخی ناخالصی های موجود در قرص سوخت [۲۹] ۷۹
۳-۶ برخی ناخالصی های موجود در غلاف سوخت [۲۹] ۸۰
۳-۷ عناصر اصلی موجود در قرص سوخت [۲۹] ۸۱
۳-۸ مشخصات میله جاذب سوختنی [۲۹] ۸۲
۳-۹ مشخصات سلول‌های تعریف شده[۳۱] ۹۰
۳-۱۰ ترکیبات تشکیل دهنده مجتمع های سوخت[۳۱] ۹۰
۳-۱۱ دانسیته اتمی اجزای تشکیل دهنده میله های سوخت[۲۹] ۹۵
۳-۱۲ دانسیته اتمی اجزا غلاف[۲۹] ۹۶
۳-۱۳ دانسیته اتمی اجزا میله جاذب سوختنی بر حسب غلظتBoron [۲۹] ۹۸
۳-۱۴ میزان غلظت تعادلی اسـید بوریک و دانسـیته جرمی آب خنک کننده در شرایط مختلف راکتور[۲۹] ۱۰۰
۳-۱۵ دانسیته اتمی اجزاء کربید بور[۲۹] ۱۰۲
۳-۱۶ دانسیته اتمی اجزاء $Dy_2O_3TiO_2$ [۲۹] ۱۰۲
۳-۱۷ دانسیته اتمی اجزاء غلاف میله کنترل [۲۵] ۱۰۲
۴-۱ نتایج حاصل از روش‌های مختلف کد دراگن برای مسئله فلچر ۱۱۴
۴-۲ نتایج حاصل از روش فلچر برای مسئله فلچر[۱۱] ۱۱۵

۳-۴ نتایج حاصل از روشCNN برای مسئله فلچر[۱۱] ۱۱۶
۴-۴ نتایج حاصل از روش‌های مختلف کد دراگن برای مسئله ناستلسون ۱۱۷
۵-۴ نتایج حاصل از روش کباياشی برای مسئله ناستلسون[۱۱] ۱۱۷
۶-۴ نتایج حاصل از روش CNN برای مسئله ناستلسون[۱۱] ۱۱۸
۷-۴ نتایج حاصل از روش‌های مختلف برای مسئله ناستلسون ۱۱۸
۸-۴ نتایج حاصل از روش‌های مختلف برای مسئله فلچر ۱۱۹

فهرست شکل ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل ۲-۱ چگالی نوترون $N(r,t)$ [۷] ۱۰
شکل ۲-۲ پارامترهای روش مشخصه ۲۷
شکل ۲-۳ نمودار مربوط به یک کد شبکه[۱۳] ۳۴
شکل ۲-۴ نمودار مربوط به کد دراگن[۲۱] ۳۵
شکل ۲-۵ ساختار عمومی دراگن[۱] ۵۴
شکل ۳-۱ طرح کلی نیروگاه ۶۸
شکل ۳-۲ شمای مدار اول ۶۹
شکل ۳-۳ نمای راکتورWWER-1000 [۳۱] ۷۱
شکل ۳-۴ الف- مجتمع سوخت ب- قلب[۲۹] ۷۳
شکل ۳-۵ قسمت های مختلف یک مجتمع سوخت[۲۹] ۷۶
شکل ۳-۶ مجتمع میله های کنترل[۳۰] ۸۳
شکل ۳-۷ مسئله ناستلسون ۸۷
شکل ۳-۸ مسئله فلچر ۸۷
شکل ۳-۹ مجتمع های سوخت LEU و MOX ۸۸
شکل ۳-۱۰ سلول‌های تعریف شده بوسیله کد دراگن ۸۹
شکل ۳-۱۱ تقارن 1/6مجتمع سوخت VVER-1000 ..... ۹۱
شکل ۳-۱۲ سلول‌های تعریف شده بوسیله کد دراگن ۹۳
شکل ۳-۱۳ تقارن 1/6مجتمع های سوخت VVER-1000 ..... ۹۳
شکل ۴-۱ شار اسکالر بدست آمده بوسیله روش P1 در $y=3.9$ cm برای مسئله‌ی فلچر ... ۱۰۵
شکل ۴-۲ شار اسکالر بدست آمده بوسیله روش P3 در $y=3.9$ cm برای مسئله‌ی فلچر .. ۱۰۵

شکل ۴-۳ شار اسکالر بدست آمده بوسیله روش P5 در y=3.9 cm برای مسئله‌ی فلچر..۱۰۶
شکل۴-۴ شار اسکالر بدست آمده بوسیله روشP7 درy=3.9 cm برای مسئله‌ی فلچر.....۱۰۶
شکل۴-۵ شار اسکالر بدست آمده بوسیله روشP1 در y=3cm برای مسئله‌ی ناستلسون.... ۱۰۷
شکل۴-۶ شار اسکالر بدستآمده بوسیله روشP3 درy=3cm برای مسئله‌ی ناستلسون..... ۱۰۷
شکل۴-۷ شار اسکالربدست آمده بوسیله روشP5 در y=3 cm برای مسئله‌ی ناستلسون..... ۱۰۸
شکل۴-۸ شار اسکالربدست آمده بوسیله روشP7 درy=3 cm برای مسئله‌ی ناستلسون..... ۱۰۸
شکل۴-۹مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف کد دراگن برای مسئله ناستلسون..... ۱۰۹
شکل ۴-۱۰مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلفکددراگن برای مسئله فلچر ۱۱۰
شکل۴-۱۱مقایسه نتایج حاصل از روش‌های S4، S2 با روش احتمال برخورد در کد دراگن برای مسئله ناستلسون ۱۱۱
شکل ۴-۱۲ توزیع دو بعدی شار برای مسئله ناستلسون ۱۱۲
شکل ۴-۱۳ توزیع سه بعدی شار برای مسئله ناستلسون ۱۱۲
شکل ۴-۱۴ توزیع دو بعدی شار برای مسئله فلچر ۱۱۳
شکل ۴-۱۵ توزیع سه بعدی شار برای مسئله فلچر ۱۱۳
شکل ۴-۱۶ تغییرات دانسیته اتمی Pu239 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۱
شکل ۴-۱۷ تغییرات دانسیته اتمی Pu240 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۲
شکل ۴-۱۸ تغییرات دانسیته اتمی Pu241 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۲
شکل ۴-۱۹ تغییرات دانسیته اتمی Pu242 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۳
شکل ۴-۲۰ تغییرات دانسیته اتمی U235 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۳
شکل ۴-۲۱ تغییرات دانسیته اتمی U236 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۴
شکل ۴-۲۲ تغییرات دانسیته اتمی U238 برحسب burnup در سلول شماره ۱ ..... ۱۲۴
شکل ۴-۲۳ تغییرات دانسیته اتمی Gd155 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ ..... ۱۲۵
شکل ۴-۲۴ تغییرات دانسیته اتمی Gd157 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ ..... ۱۲۵
شکل ۴-۲۵ تغییرات دانسیته اتمی Pu239 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ .....۱۲۶
شکل ۴-۲۶ تغییرات دانسیته اتمی Pu240 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴.....۱۲۶
شکل ۴-۲۷ تغییرات دانسیته اتمی Pu241 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ ..... ۱۲۷
شکل ۴-۲۸ تغییرات دانسیته اتمی Pu242 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴..... ۱۲۷
شکل ۴-۲۹ تغییرات دانسیته اتمی U235 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ ..... ۱۲۸

شکل ۴-۳۰ تغییرات دانسیته اتمی U236 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ ..... ۱۲۸
شکل ۴-۳۱ تغییرات دانسیته اتمی U238 برحسب burnup در سلول شماره ۲۴ ..... ۱۲۹
شکل ۴-۳۲ تغییرات k_{inf} برحسب burnup ۱۲۹
شکل ۴-۳۳ تغییرات Pu-239 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۱/۶٪ ۱۳۰
شکل ۴-۳۴ تغییرات Pu-240 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۱/۶٪ ۱۳۱
شکل ۴-۳۵ تغییرات Pu-241 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۱/۶٪ ۱۳۱
شکل ۴-۳۶ تغییرات Pu-242 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۱/۶٪ ۱۳۲
شکل ۴-۳۷ تغییرات U-235 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۱/۶٪ ۱۳۲
شکل ۴-۳۸ تغییرات U-238 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۱/۶٪ ۱۳۳
شکل ۴-۳۹ تغییرات U-235 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۲/۴٪ ۱۳۳
شکل ۴-۴۰ تغییرات U-238 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۲/۴٪ ۱۳۴
شکل ۴-۴۱ تغییرات Pu-242 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۲/۴٪ ۱۳۴
شکل ۴-۴۲ تغییرات Pu-241 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۲/۴٪ ۱۳۵
شکل ۴-۴۳ تغییرات Pu-240 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۲/۴٪ ۱۳۵
شکل ۴-۴۴ تغییرات Pu-239 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۲/۴٪ ۱۳۶
شکل ۴-۴۵ تغییرات U-238 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۳/۶۲٪ ۱۳۶
شکل ۴-۴۶ تغییرات U-235 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۳/۶۲٪ ۱۳۷
شکل ۴-۴۷ تغییرات Pu-242 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۳/۶۲٪ ۱۳۷
شکل ۴-۴۸ تغییرات Pu-241 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۳/۶۲٪ ۱۳۸
شکل ۴-۴۹ تغییرات Pu-240 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۳/۶۲٪ ۱۳۸
شکل ۴-۵۰ تغییرات Pu-239 برحسب burnup در مجتمع سوخت با غنای۳/۶۲٪ ۱۳۹

فصل اول

۱. مقدمه

۱-۱ کلیات

امروزه با پیشـــرفت علم و ورود رایانه به زندگی انســـان ها تحول عظیمی در علم به وجود آمده اســت. با توجه به پیچیده شــدن تحقیقات، افزایش حجم محاســبات و هزینه ســنگین تحقیقات آزمایشگاهی، استفاده از رایانه در علوم مهندسی امری اجتناب ناپذیر گردیده که از آن جمله می توان به نرم افزارهای طراحی و کدهای محاسباتی در زمینه های مختلف اشاره نمود. این کدها در بســیاری از رشــته ها مثلا مباحث انتقال حرارت و دینامیک سیالات در مهندسی مکانیک و شــیمی، محاسبات نوترونیک هسته ای و همچنین محاسبات مونت کارلو مورد استفاده قرار می گیرد. کدهای مورد اســتفاده در مهندســی هســته ای دارای چندین شــاخه هستند که از جمله شــامل محاســبات دز، محاســبات ترموهیدرولیک سیالات، محاسبات شار نوترون و ایمنی هسته ای می باشند.در جدول زیر به برخی از کدها و کاربردهایشان اشاره شده است:

جدول ۱-۱ برخی کدهای مورد استفاده در صنعت هسته ای

نام کد	کاربرد
MCNP	یک کد چند منظوره مستقل از زمان است که هر ترکیبی از ذرات نوترون، فوتون و الکترون را به روش مونت‌کارلو و در یک شکل هندسی دلخواه شبیه‌سازی می‌کند.
RELAP	شبیه سازی رفتار گذرای راکتورهای آبی تحت فشار [1]در گستره بسیار وسیعی از شرایط حوادث فرضی با استفاده از مدل های دو فازی
FLUKA	محاسبات ترابرد[2] ذرات و اندرکنش آنها با مواد مختلف
WIMS	محاسبات شار سلول شبکه [3]در راکتورهای گرمایی

۱-۲ آشنایی با کد دراگن

کد کامپیوتری دراگن مجموعه ای از مدل ها را شامل می شود که می توانند رفتار نوترونی یک سلول[4] واحد یا مجتمع سوخت[5] را در یک راکتور ، شبیه سازی نماید . این کد تمام توابعی که مشخص کننده ی یک کد شبکه هستند را شامل می شود. که از آن جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود[۱]:

- درون یابی سطح مقطع میکروسکوپیک که بوسیله‌ی کتابخانه های استاندارد فراهم می شود.
- محاسبات خودحفاظی در ناحیه تشدید[6] برای هندسه های چند بعدی .

[1]Pressurized Water Reactor
[2] Transport
[3] Lattice Cell
[4]cell
[5]Fuel assembly
[6]resonance self-shielding