

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده علوم

پایان نامه برای اخذ درجه بی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فنریک کرایش هسته ای کاربردی

عنوان:

طراحی و بهینه سازی طیف حاصل از مولدهای نوترون D-T با استفاده از مواد شکافت پذیر جهت استفاده در BNCT

دانشجو:

فاطمه سادات رسولی

استاد راهنما:

دکتر سید فرهاد مسعودی

مشاور:

مهندس یاسر کاسه ساز

آذرماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به مادرم

به پاس عاطفه‌ی سرشار و کرمای امید، بخش وجودش

که بهترین پشتیبان است

و سرگردانی و ترس در پناهش به شجاعت می‌کراید

باسپاس بی پایان از استاد بزرگوارم

جناب آقای دکتر مسعودی

که راهنمایی‌های ارزشمندش، همواره چراغ راهم بود

ولذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتای این مسیر،

مدیون حضور سبز اوست.

و با تشکر و قدردانی از زحمات بی دریغ و راهنمایی‌های

جناب آقای مهندس کاسه‌ساز

که قدم به قدم در تمام مراحل این پژوهش مرایاری نمود

چکیده

BNCT روشی مؤثر برای درمان تومورهای مغزی است که اساس آن بر واکنش $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ استوار است. این روش شامل دو مرحله‌ی جانمایی حامل‌های بور در تومور و سپس بمباران ناحیه‌ی تومور بوسیله‌ی نوترون‌های با انرژی و شدت مناسب است. نوترون‌های مناسب برای درمان تومورهایی مثل گلیوبلاستوما مولتی‌فرم، که در قسمت‌های عمقی مغز رشد می‌کنند، نوترون‌هایی با انرژی فوق‌گرمایی و با شار $10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$ هستند.

در حال حاضر برای BNCT، از راکتورها به عنوان چشمه‌ی نوترون استفاده می‌شود. با این حال مولدهای نوترون D-T که نوترون‌هایی با انرژی 14.1 MeV را بر اساس واکنش همجوشی تولید می‌کنند، به دلیل مزایای زیادی که دارند، گزینه‌ی مناسبی برای استفاده در BNCT به شمار می‌آیند. برای کاهش انرژی نوترون‌های تولید شده از این چشمه‌ها تا ناحیه‌ی مطلوب فوق‌گرمایی، از مجموعه‌ی شکل‌دهنده‌ی طیف (BSA) استفاده می‌گردد و باید طوری طراحی شود که نوترون‌ها پس از عبور از آن دارای انرژی و شدت مناسب برای استفاده در BNCT باشند. عموماً پس از طراحی طیف و رسیدن به حالت بهینه، شار نوترون‌ها به شدت کاهش می‌یابد. لذا اتخاذ تدابیری جهت افزایش شار نوترون از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پروژه امکان استفاده از اورانیوم، که از طریق واکنش شکافت منجر به افزایش تعداد نوترون‌های گسیل شده از چشمه می‌گردد، به عنوان تکثیرکننده برای چشمه‌ی D-T مورد بررسی قرار گرفته و بهترین شرایط برای دستیابی به بیشترین افزایش شار مطالعه شده است. در ادامه تلاش شده است تا با انتخاب ترکیب و ضخامت‌های مختلفی از مواد به عنوان کندساز، فیلتر نوترون‌های سریع، فیلتر نوترون‌های گرمایی، فیلتر گاما، بازتابنده و موازی‌ساز، شار مناسبی از نوترون‌های فوق‌گرمایی با کمترین مقدار آلودگی پرتو را در دهانه‌ی خروجی BSA داشته باشیم. همچنین با محاسبه‌ی دوز ناشی از طیف‌های طراحی شده بر روی فانتوم سر شبیه‌سازی شده، کیفیت طیف مورد مطالعه قرار گرفته است.

کد محاسباتی MCNP برای طراحی و بهینه‌سازی سیستم و محاسبات دزیمتری مورد استفاده قرار گرفته است.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
فصل اول: روش‌های درمان تومورهای مغزی	۱.....
(۱-۱) آناتومی مغز.....	۲.....
(۱-۱-۱) مخ.....	۳.....
(۲-۱-۱) مخچه.....	۵.....
(۳-۱-۱) ساقه‌ی مغز.....	۵.....
(۲-۱) تومور.....	۶.....
(۳-۱) گلیوبلاستوما مولتی فرم.....	۹.....
(۴-۱) روش‌های درمانی.....	۱۰.....
(۱-۴-۱) عمل جراحی.....	۱۰.....
(۲-۴-۱) شیمی‌درمانی.....	۱۱.....
(۳-۴-۱) پرتودرمانی.....	۱۲.....
(۴-۴-۱) دارودرمانی هدف‌دار.....	۱۶.....
(۵-۴-۱) درمان‌های کمکی.....	۱۶.....
(۵-۱) روش BNCT.....	۱۷.....
(۱-۵-۱) اصول و تاریخچه.....	۱۷.....
(۲-۵-۱) انرژی نوترون‌های مورد استفاده در BNCT.....	۲۵.....
(۳-۵-۱) معیارهای مورد استفاده در BNCT برای ارزیابی طیف.....	۲۶.....
(۶-۱) GdNCT.....	۳۰.....
فصل دوم: چشمه‌های نوترون متداول مورد استفاده در BNCT	۳۱.....
(۱-۲) مقدمه.....	۳۲.....

- ۳۲..... راکتورهای هسته‌ای (۲-۲)
- ۴۱..... چشمه‌های شکافت خودبخودی (۳-۲)
- ۴۳..... چشمه‌های شتابدهنده (۴-۲)
- ۴۵..... مولدهای نوترون (۵-۲)

فصل سوم: طراحی و بهینه‌سازی مجموعه‌ی شکل‌دهنده‌ی طیف..... ۴۹

- ۵۰..... مقدمه‌ای بر طراحی طیف برای استفاده در BNCT (۱-۳)
- ۵۳..... طراحی و بهینه‌سازی BSA با استفاده از کد MCNP (۲-۳)
- ۵۳..... تکثیرکننده‌ی نوترون (۱-۲-۳)
- ۵۳..... واکنش شکافت (۲-۲-۳)
- ۵۵..... انتخاب تکثیرکننده‌ی مناسب (۳-۲-۳)
- ۶۰..... تعیین هندسه‌ی تکثیرکننده‌ی نوترون (۴-۲-۳)
- ۶۴..... تعیین مکان بهینه برای قرارگیری چشمه‌ی نوترون (۵-۲-۳)
- ۶۵..... کندساز (۶-۲-۳)
- ۸۷..... فیلتر نوترون‌های سریع (۷-۲-۳)
- ۹۰..... فیلتر نوترون‌های گرمایی (۸-۲-۳)
- ۹۲..... بازتابنده و موازی‌ساز (۹-۲-۳)
- ۹۳..... فیلتر گاما (۱۰-۲-۳)
- ۳-۳ بررسی اثر استفاده از فیلتر در طراحی BSA بر روی طیف نوترون و پارامترهای in-air..... ۹۸
- ۴-۳ اعمال تغییرات روی BSA نهایی و بررسی پارامترهای in-air..... ۱۰۰
- ۵-۳ طراحی جدید برای BSA و بررسی میزان واگرایی پرتو خروجی..... ۱۰۸
- فصل چهارم: محاسبه‌ی دوز با استفاده از فانتوم شبیه‌سازی شده..... ۱۱۴

۱۱۵.....	۱-۴) مقدمه
۱۱۵.....	۲-۴) مؤلفه‌های دوز در BNCT
۱۱۷.....	۳-۴) پارامترهای in-phantom
۱۱۸.....	۴-۴) فانتوم شبیه‌سازی شده
۱۱۹.....	۵-۴) محاسبه‌ی پارامترهای in-phantom برای BSA های طراحی شده
۱۱۹.....	۴-۵-۱) نمودارهای دوز و پارامترهای in-phantom برای پیکربندی (a)
۱۲۱.....	۴-۵-۲) نمودارهای دوز و پارامترهای in-phantom برای پیکربندی (b)
۱۲۳.....	۴-۵-۳) نمودارهای دوز و پارامترهای in-phantom برای پیکربندی (f)
۱۲۶.....	۴-۶) بررسی اثر فاصله‌ی قرارگیری فانتوم از دهانه‌ی خروجی BSA بر نمودارهای دوز
۱۲۸.....	۴-۷-۱) بررسی اثر همگرایی پرتو بر دوز رسیده به بافت سالم اطراف تومور
	۴-۷-۱) بررسی دوز کل رسیده به تومور و بافت سالم در طی زمان
۱۲۸.....	درمان برای طیف ناشی از پیکربندی‌های (e) و (f)
	۴-۷-۲) بررسی اثر فاصله‌ی قرارگیری فانتوم از دهانه‌ی خروجی
۱۲۹.....	BSA بر روی دوز عرضی برای طیف ناشی از دو پیکربندی (e) و (f)
	۴-۷-۳) نمایش سه‌بعدی از توزیع انرژی برای دو طیف حاصل
۱۳۱.....	از پیکربندی‌های (e) و (f)
۱۳۱.....	۴-۸) بررسی اثر مکان تومور بر روی دوز رسیده به فانتوم
۱۳۴.....	۴-۹) بررسی اثر غلظت‌های مختلف ¹⁰ B در تومور و بافت سالم بر روی دوز دریافتی
۱۳۵.....	بحث و نتیجه‌گیری
۱۳۷.....	پیشنهادهایی برای ادامه‌ی کار
۱۳۸.....	لیست مقالات چاپ شده مستخرج از پایان‌نامه
۱۳۹.....	پیوست الف: سطح مقطع مواد پیشنهاد شده به عنوان کندساز
۱۴۹.....	مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۱: ساختار مغز	۲
شکل ۲-۱: قسمت‌های اصلی مغز شامل مخ، مخچه و ساقه‌ی مغز	۳
شکل ۳-۱: ساختار نیمکره‌های مغز	۴
شکل ۴-۱: مخ، مخچه و ساقه‌ی مغز	۶
شکل ۵-۱: فرایند ایجاد تومور	۶
شکل ۶-۱: تشکیل تومور در اثر تقسیم خارج از کنترل سلول‌ها	۸
شکل ۷-۱: تصاویر MRI مربوط به بیمار مبتلا به گلیوبلاستوما مولتی‌فرم	۱۰
شکل ۸-۱: دستگاه پرتودرمانی	۱۴
شکل ۹-۱: واکنش $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ که اساس BNCT بر آن استوار است	۱۹
شکل ۱۰-۱: حضور بور-۱۰ در نزدیکی هسته‌ی سلول سرطانی و گیراندازی نوترون گرمایی، باعث شکسته شدن DNA و مرگ سلول می‌شود	۲۰
شکل ۱۱-۱: واکنش اساسی انجام شده در روش BNCT که منجر به تولید دو ذره‌ی پرنرژی ^7Li و آلفا می‌شود	۲۱
شکل ۱۲-۱: واکنش انجام شده در مغز برای درمان تومور به روش BNCT	۲۲
شکل ۱۳-۱: ترکیب شیمیایی داروهای حامل بور برای استفاده در BPA	۲۳
شکل ۱۴-۱: مقایسه‌ی توزیع شار نوترون‌های فوق گرمایی بر حسب عمق فانتوم شبیه‌سازی شده برای باریکه‌ی فرودی گرمایی، فوق گرمایی و سریع	۲۵
شکل ۱۵-۱: کره و تیغه‌ی ICRU	۲۹
شکل ۱۶-۱: نمونه‌ای از فانتوم‌های واقعی و شبیه‌سازی شده	۲۹
شکل ۱-۲: نمایی از راکتور تحقیقات پزشکی بروکهاون (BMRR)	۳۳
شکل ۲-۲: تجهیزات مربوط به BNCT در راکتور تحقیقاتی FiR 1	۳۴

- شکل ۳-۲: تجهیزات مربوط به BNCT در راکتور تحقیقاتی HFR..... ۳۵
- شکل ۴-۲: کندسازها و فیلترهای بکار رفته در تجهیزات BNCT در راکتور تحقیقاتی HFR..... ۳۵
- شکل ۵-۲: راکتور تحقیقاتی MIT و اتاق درمان BNCT..... ۳۷
- شکل ۶-۲: موقعیت بیمار در اتاق درمان BNCT مربوط به راکتور تحقیقاتی MIT، سر بیمار بوسیله‌ی ماسک در مکان مورد نظر ثابت نگه داشته می‌شود.
- (A) تابش عرضی. (B) تابش از بالا..... ۳۷
- شکل ۷-۲: تجهیزات مربوط به BNCT در راکتور JRR-4..... ۳۹
- شکل ۸-۲: نمودار روند تغییرات درمان‌های انجام شده به روش BNCT در راکتور JRR-4 طی سال‌های مختلف..... ۳۹
- شکل ۹-۲: دهانه‌ی خروجی راکتور WSU جهت استفاده در BNCT..... ۴۰
- شکل ۱۰-۲: مقایسه‌ی طیف نوترون جهت استفاده در BNCT برای ۸ راکتور: KURRI, BMRR, FiR 1 (B, Petten), MIT-FCB, RA-6, WSU, JAERI و..... ۴۲
- شکل ۱۱-۲: توزیع انرژی نوترون‌های گسیل شده از واکنش ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ ۴۴
- شکل ۱۲-۲: توزیع انرژی نوترون‌های گسیل شده از واکنش ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ ۴۴
- شکل ۱۳-۲: سطح مقطع واکنش‌های همجوشی D-D و D-T..... ۴۶
- شکل ۱۴-۲: طرح اساسی از یک چشمه‌ی یون..... ۴۷
- شکل ۱-۳: BSA طراحی شده برای راکتور MIT..... ۵۱
- شکل ۲-۳: BSA طراحی شده برای یک چشمه‌ی نوترون D-T..... ۵۲
- شکل ۳-۳: BSA طراحی شده برای چشمه‌ی ${}^{252}\text{Cf}$ ۵۲
- شکل ۴-۳: طرحی از یک واکنش شکافت..... ۵۴
- شکل ۵-۳: سطح مقطع شکافت برای اورانیوم-۲۳۸ و اورانیوم-۲۳۵..... ۵۵
- شکل ۶-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف کره‌ی اورانیوم طبیعی

- ۵۶..... به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون.....
 شکل ۷-۳: سطح مقطع جذب نوترون برای اورانیوم طبیعی که بوسیله‌ی
- ۵۶..... کد MCNP رسم شده است.....
 شکل ۸-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف برای اورانیوم طبیعی،
- ۵۷..... سرب و بیسموت به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون چشمه‌ی D-T.....
 شکل ۹-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف برای اورانیوم طبیعی
- ۵۸..... و ۱ تا ۵ درصد غنی شده به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون چشمه‌ی D-T.....
 شکل ۱۰-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف برای اورانیوم ۲۰ درصد
- ۵۸..... غنی شده به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون چشمه‌ی D-T.....
 شکل ۱۱-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف برای اورانیوم طبیعی
- ۵۹..... و ۱ تا ۵ درصد غنی شده به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون چشمه‌ی D-D.....
 شکل ۱۲-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف برای اورانیوم ۲۰ درصد
- ۶۰..... غنی شده به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون چشمه‌ی D-D.....
 شکل ۱۳-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌ها و طول‌های مختلف اورانیوم طبیعی
 برای سه هندسه‌ی کروی، هندسه‌ی استوانه‌ای با شعاع ثابت و هندسه‌ی
- ۶۱..... استوانه‌ای با طول ثابت به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون برای چشمه‌ی D-T.....
 شکل ۱۴-۳: تعداد نوترون‌های فوق‌گرمایی بر حسب شعاع‌ها و طول‌های مختلف
 اورانیوم طبیعی برای سه هندسه‌ی کروی، استوانه‌ای با شعاع ثابت و استوانه‌ای
- ۶۲..... با طول ثابت به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون برای چشمه‌ی D-T.....
 شکل ۱۵-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب طول‌های مختلف اورانیوم طبیعی برای هندسه‌ی
- ۶۳..... استوانه‌ای با طول ثابت به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون برای چشمه‌ی D-T.....
 شکل ۱۶-۳: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب مکان قرارگیری چشمه‌ی نوترون D-T
- ۶۴..... درون کره‌ی اورانیوم طبیعی.....
- ۶۷..... شکل ۱۷-۳: برخورد کشسان دو ذره با جرم‌های m_1 و m_2 در مختصات آزمایشگاهی.....

- شکل ۳-۱۸: برخورد کَشسان دو ذره با جرم‌های m_1 و m_2 در مختصات مرکز جرم.....۶۷
- شکل ۳-۱۹: برخورد کَشسان دو ذره با جرم‌های m_1 و m_2 در مختصات آزمایشگاهی.....۶۸
- شکل ۳-۲۰: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی بر حسب ضخامت‌های
- مختلف ۱۷ ماده‌ی پیشنهاد شده به عنوان کندساز.....۷۵
- شکل ۳-۲۱: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ بر حسب ضخامت‌های مختلف ۱۷ ماده‌ی پیشنهاد شده به عنوان کندساز.....۷۵
- شکل ۳-۲۲: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۸ سانتیمتر Fluental انتخاب شده است.....۷۷
- شکل ۳-۲۳: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۸ سانتیمتر Fluental انتخاب شده است.....۷۷
- شکل ۳-۲۴: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۸ سانتیمتر AIF₃ انتخاب شده است.....۷۸
- شکل ۳-۲۵: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۸ سانتیمتر AIF₃ انتخاب شده است.....۷۸
- شکل ۳-۲۶: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر Al₂O₃ انتخاب شده است.....۷۹
- شکل ۳-۲۷: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر Al₂O₃ انتخاب شده است.....۷۹
- شکل ۳-۲۸: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر MgF₂ انتخاب شده است.....۸۰
- شکل ۳-۲۹: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر MgF₂ انتخاب شده است.....۸۰
- شکل ۳-۳۰: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۱۴ سانتیمتر BeO انتخاب شده است.....۸۱

- شکل ۳-۳۱: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۱۴ سانتیمتر BeO انتخاب شده است ۸۱
- شکل ۳-۳۲: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۱۴ سانتیمتر H₂O انتخاب شده است ۸۲
- شکل ۳-۳۳: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۱۴ سانتیمتر H₂O انتخاب شده است ۸۲
- شکل ۳-۳۴: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر Teflon انتخاب شده است ۸۳
- شکل ۳-۳۵: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر Teflon انتخاب شده است ۸۳
- شکل ۳-۳۶: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر PbF₂ انتخاب شده است ۸۴
- شکل ۳-۳۷: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر PbF₂ انتخاب شده است ۸۴
- شکل ۳-۳۸: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر TiF₃ انتخاب شده است ۸۵
- شکل ۳-۳۹: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۳ سانتیمتر TiF₃ انتخاب شده است ۸۵
- شکل ۳-۴۰: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۸ سانتیمتر PbF₄ انتخاب شده است ۸۶
- شکل ۳-۴۱: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ۹ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز دوم در حالتی که کندساز اول ۲۸ سانتیمتر PbF₄ انتخاب شده است ۸۶
- شکل ۳-۴۲: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی و $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ضخامت‌های مختلف Fe به عنوان فیلتر نوترون‌های سریع برای ترکیب Al₂O₃ + Flualental ۸۸

- شکل ۳-۴۳: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی و $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ضخامت‌های مختلف Fe به عنوان فیلتر نوترون‌های سریع برای ترکیب $\text{BeO} + \text{MgF}_2$ ۸۸
- شکل ۳-۴۴: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی و $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ضخامت‌های مختلف Fe به عنوان فیلتر نوترون‌های سریع برای ترکیب $\text{Teflon} + \text{TiF}_3$ ۸۹
- شکل ۳-۴۵: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی و $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ضخامت‌های مختلف Fe به عنوان فیلتر نوترون‌های سریع برای ترکیب $\text{TiF}_3 + \text{Fluental}$ ۸۹
- شکل ۳-۴۶: سطح مقطع جذب نوترون برای ${}^6\text{Li}$ ۹۰
- شکل ۳-۴۷: $\varphi_{\text{epi}}/\varphi_{\text{fast}}$ برای ضخامت‌های مختلف ${}^6\text{Li}$ به عنوان فیلتر نوترون‌های گرمایی ۹۱
- شکل ۳-۴۸: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی بر حسب شعاع‌های مختلف Pb و Bi به عنوان بازتابنده و موازی‌ساز ۹۳
- شکل ۳-۴۹: $\dot{D}_\gamma/\varphi_{\text{epi}}$ بر حسب ضخامت‌های مختلف بیسموت به عنوان فیلتر گاما ۹۴
- شکل ۳-۵۰: BSA نهایی شبیه‌سازی شده (پیکربندی (a)) بوسیله‌ی کد MCNP ۹۵
- شکل ۳-۵۱: طیف نوترون خروجی مربوط به BSA نهایی طراحی شده (پیکربندی (a)) ۹۶
- شکل ۳-۵۲: BSA شبیه‌سازی شده بوسیله‌ی کد MCNP بدون استفاده از فیلتر (پیکربندی (b)) ۹۸
- شکل ۳-۵۳: طیف نوترون خروجی مربوط به BSA طراحی شده بدون استفاده از فیلتر (پیکربندی (b)) ۹۹
- شکل ۳-۵۴: مقدار $\frac{N}{N_0}$ برای شعاع‌های مختلف نیمکره‌ی اورانیومی به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون ۱۰۰
- شکل ۳-۵۵: هندسه‌ی BSA مربوط به پیکربندی 6-C ۱۰۴
- شکل ۳-۵۶: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب شعاع‌های مختلف بیسموت درحالتی که نیمکره‌ی اول حاوی اورانیوم طبیعی به شعاع ۱۰ سانتیمتر باشد ۱۰۶
- شکل ۳-۵۷: هندسه‌ی BSA طراحی شده (پیکربندی (d)) ۱۰۷

- شکل ۳-۵۸: طیف نوترون خروجی مربوط به BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (d))..... ۱۰۷
- شکل ۳-۵۹: مقدار $\frac{N}{N_0}$ بر حسب ضخامت ۸ ماده‌ی مختلف به عنوان کندساز..... ۱۰۹
- شکل ۳-۶۰: هندسه‌ی BSA طراحی شده (پیکربندی (e))..... ۱۰۹
- شکل ۳-۶۱: طیف نوترون خروجی مربوط به BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (e))..... ۱۱۰
- شکل ۳-۶۲: هندسه‌ی BSA طراحی شده (پیکربندی (f))..... ۱۱۱
- شکل ۳-۶۳: نمایش سه‌بعدی از BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (f))..... ۱۱۲
- شکل ۳-۶۴: طیف نوترون خروجی مربوط به BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (f))..... ۱۱۲
- شکل ۳-۶۵: شار کل نوترون‌های ناشی از BSA های طراحی شده
(پیکربندی‌های (e) و (f)) در فاصله‌ی یک سانتیمتری از دهانه‌ی خروجی
و برای فواصل مختلف عمود بر محور BSA..... ۱۱۳
- شکل ۴-۱: دوز کل رسیده به تومور و بافت سالم بر حسب عمق نفوذ در فانتوم
برای طیف ناشی از پیکربندی (a)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۲: مؤلفه‌های مختلف دوز رسیده به فانتوم سر شبیه‌سازی شده بر حسب
عمق نفوذ در فانتوم برای طیف ناشی از پیکربندی (a)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳: دوز کل رسیده به تومور و بافت سالم بر حسب عمق نفوذ در فانتوم
برای طیف ناشی از پیکربندی (b)..... ۱۲۲
- شکل ۴-۴: مؤلفه‌های مختلف دوز رسیده به فانتوم سر شبیه‌سازی شده بر حسب
عمق نفوذ در فانتوم برای طیف ناشی از پیکربندی (b)..... ۱۲۲
- شکل ۴-۵: دوز کل رسیده به تومور و بافت سالم بر حسب عمق نفوذ در فانتوم
برای طیف ناشی از پیکربندی (f)..... ۱۲۴
- شکل ۴-۶: مؤلفه‌های مختلف دوز رسیده به فانتوم سر شبیه‌سازی شده بر حسب
عمق نفوذ در فانتوم برای طیف ناشی از پیکربندی (f)..... ۱۲۵
- شکل ۴-۷: دوز کل رسیده به تومور و بافت سالم بر حسب عمق نفوذ در فانتوم
برای طیف ناشی از پیکربندی (f) و برای دو فاصله‌ی مختلف ۱ و ۸

- ۱۲۶.....سانتیمتری فانتوم از دهانه‌ی خروجی BSA
- شکل ۴-۸: دوز کل رسیده به فانتوم سر شبیه‌سازی شده بر حسب عمق نفوذ در فانتوم برای طیف ناشی از پیکربندی (f) برای دو فاصله‌ی مختلف ۱ و ۸
- ۱۲۷.....سانتیمتری فانتوم از دهانه‌ی خروجی BSA
- شکل ۴-۹: دوز کل در عرض فانتوم سر شبیه‌سازی شده برای طیف ناشی از پیکربندی‌های (e) و (f)
- ۱۲۸.....شکل ۴-۱۰: دوز کل در عرض فانتوم سر شبیه‌سازی شده برای طیف ناشی از پیکربندی (e) و برای دو فاصله‌ی مختلف قرارگیری فانتوم از دهانه‌ی خروجی این BSA
- شکل ۴-۱۱: دوز کل در عرض فانتوم سر شبیه‌سازی شده برای طیف ناشی از پیکربندی (f) و برای دو فاصله‌ی مختلف قرارگیری فانتوم از دهانه‌ی خروجی این BSA
- شکل ۴-۱۲: نمایش سه‌بعدی توزیع انرژی در فانتوم سر شبیه‌سازی شده که از دو مقطع برش داده شده است
- ۱۳۳.....شکل ۴-۱۳: دوز کل رسیده به فانتوم برای مکان‌های مختلف قرارگیری تومور در مغز
- شکل ۴-۱۴: دوز کل در عرض فانتوم سر شبیه‌سازی شده برای طیف ناشی از پیکربندی (f) و برای چهار نسبت مختلف غلظت بور در تومور به بافت سالم
- ۱۳۴.....

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۱: مقایسه‌ی ویژگی‌ها و عملکردهای سلول‌های سالم و سلول‌های سرطانی	۷
جدول ۲-۱: درجه‌بندی تومورهای مغزی و ویژگی‌های آنها	۹
جدول ۳-۱: برخی از مواد رادیواکتیو مورد استفاده در پرتودرمانی داخلی	۱۴
جدول ۴-۱: ضرایب کیفیت برای پرتوهای مختلف	۱۸
جدول ۵-۱: پارامترهای in-air و حدود انرژی وابسته به آنها	۲۷
جدول ۱-۲: شار نوترون‌های فوق‌گرمایی، گرمایی و سریع و مؤلفه‌های دوز وابسته به آنها برای ۸ راکتور مورد استفاده در BNCT	۴۰
جدول ۲-۲: نمونه‌هایی از درمان‌های انجام شده به روش BNCT در مراکز درمانی	۴۱
جدول ۳-۲: واکنش‌های هسته‌ای متداول برای تولید نوترون و ویژگی‌های آنها	۴۳
جدول ۱-۳: جرم سه هندسه‌ی طراحی شده در حالت بهینه به عنوان تکثیرکننده‌ی نوترون	۶۱
جدول ۲-۳: مشخصات پرتو نوترون خروجی از دهانه‌ی BSA پس از استفاده از بازتابنده و موازی‌ساز	۹۳
جدول ۳-۳: پارامترهای in-air برای پرتو نوترون خروجی از BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (a)) که هندسه‌ی آن در شکل ۳-۵۰ نمایش داده شده است	۹۵
جدول ۴-۳: مقایسه‌ی پارامترهای in-air برای BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (a)) و برخی از کارهای منتشر شده در این زمینه	۹۷
جدول ۵-۳: پارامترهای in-air برای BSA طراحی شده بدون استفاده از فیلتر (پیکربندی (b))	۹۸
جدول ۶-۳: پارامترهای in-air برای ۹ آرایش مختلف TiF_3 و Fludental به عنوان کندساز	۱۰۲

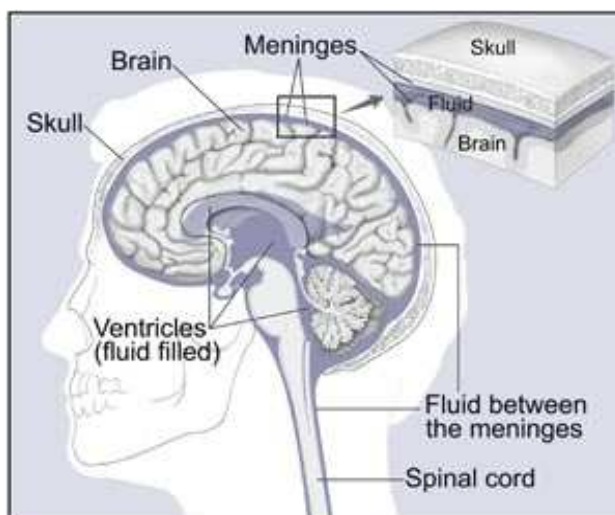
- جدول ۷-۳: پارامترهای in-air برحسب ضخامت‌های مختلف Bi به عنوان
 فیلتر گاما برای پیکربندی BSA شماره ۲..... ۱۰۵
- جدول ۸-۳: پارامترهای in-air برحسب ضخامت‌های مختلف Bi به عنوان
 فیلتر گاما برای پیکربندی BSA شماره ۶..... ۱۰۵
- جدول ۹-۳: پارامترهای in-air برای BSA شبیه‌سازی شده (پیکربندی (d))..... ۱۰۸
- جدول ۱۰-۳: پارامترهای in-air برای پرتو نوترون خروجی از BSA شبیه‌سازی شده
 (پیکربندی (e))..... ۱۰۹
- جدول ۱۱-۳: پارامترهای in-air برای پرتو نوترون خروجی از BSA شبیه‌سازی شده
 برای ضخامت‌های مختلف LiF ۱۱۱
- جدول ۱-۴: عناصر مورد استفاده در فانتوم شبیه‌سازی شده و درصد وزنی آنها..... ۱۱۹
- جدول ۲-۴: پارامترهای in-phantom محاسبه شده برای طیف ناشی از پیکربندی (a)..... ۱۲۱
- جدول ۳-۴: پارامترهای in-phantom محاسبه شده برای طیف ناشی پیکربندی (b)..... ۱۲۳
- جدول ۴-۴: پارامترهای in-phantom محاسبه شده برای طیف ناشی از پیکربندی (f)..... ۱۲۵
- جدول ۵-۴: پارامترهای in-phantom محاسبه شده برای طیف ناشی از
 پیکربندی (f) (فانتوم در فاصله ۸ سانتیمتری از دهانه‌ی خروجی BSA)..... ۱۲۷
- جدول ۶-۴: بیشینه‌ی دوز رسیده به تومور در طول زمان درمان برای مکان‌های
 مختلف قرارگیری تومور در فانتوم که در شکل ۴-۱۳ نمایش داده شده است..... ۱۳۳

فصل اول

روش‌های درمان تومورهای مغز

۱-۱) آناتومی مغز

مغز بافتی نرم و اسفنجی است که بوسیله‌ی مجموعه و سه غشاء نازک به نام مننژ^۱ محافظت می‌شود. سیال مایعی به نام مایع نخاعی مغزی^۲ در فضای بین مننژ و فضاهای خالی مغز که حفره‌ی مغزی^۳ (بطن) نامیده می‌شوند، جریان دارد. این مایع برای مغز به عنوان ضربه‌گیر عمل می‌کند. وظیفه‌ی انتقال پیام بین مغز و سایر اعضای بدن به عهده‌ی شبکه‌ی عصبی است. برخی از اعصاب مستقیماً از مغز به گوش، چشم و سایر قسمت‌های سر می‌روند؛ سایر اعصاب نیز از طریق نخاع^۴ به اعضای مختلف بدن می‌رسند. سلول‌های گلیال^۵ داخل مغز و نخاع، سلول‌های عصبی را احاطه کرده و آنها را در جای خود نگه می‌دارند. این قسمت‌ها در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۱ ساختار مغز

مغز افراد بزرگسال بطور متوسط حدود $1/5$ کیلوگرم است و حجم آن برای مردان 1260 cm^3 و برای زنان 1130 cm^3 است [۱]. مغز دارای سه بخش مهم است که هر کدام کنترل فعالیت‌هایی را بر عهده دارند. شکل ۱-۲ این سه بخش را نمایش می‌دهد.

-
- 1 Meninges
 - 2 Cerebrospinal Fluid
 - 3 Ventricles
 - 4 Spinal Cord
 - 5 Glial Cells