بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

دانشکده علوم

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک گرایش هسته ای کاربردی

با عنوان

طراحی اتاق درمان BNCT برای چشمه مولد نوترون D-T

دانشجو :

مهدی پوریاوی

استاد راهنما :

دکتر سید فرهاد مسعودی

استاد مشاور :

دکتر فائزه رحمانی

بهمن ۱۳۹۱

تقدیم به

شهدای راه حق که پرچم دار طریق توحیدند،

و شهریار شهر عشق

شهید دکتر مجید شهریاری

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمّد و خاندان پاک او، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است، و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجلّ از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّوجلّ" ،

از **پدر و مادر** عزیزم؛ این دو معلم بزرگوارم، که در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد محترم و شایسته؛ جناب آقای **دکتر سید فرهاد مسعودی** که از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد محترم و فرزانه؛ سرکار خانم **دکتر فائزه رحمانی**، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه نمی رسید؛

از اساتید محترم؛ آقای دکتر مهدی هرزچی و آقای دکتر حسین صادقی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم و برایشان آرزوی سلامتی و موفقیت می نمایم .

همچنین از **همسر بزرگوارم** که با صبر و بردباری، مشکلات دوران تحصیل را تحمل کرده و سهم بزرگی در موفقیت من داشته، صمیمانه سپاسگزاری می کنم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

در این پایان نامه، به طراحی اتاق درمان BNCT، بر اساس چشمه نوترونی D-T، پرداخته شده است که در مطالعات اخیر به عنوان چشمه مناسبی برای درمان تومورهای عمقی مغز معرفی شده است. بر این اساس، محاسبات حفاظ سازی با استفاده از کد MCNP برای طراحی اتاق درمان این چشمه، انجام شده است که شامل بهینه سازی و تعیین ضخامت دیوار اصلی و فرعی، پنجره، راهرو و درب ورودی است، به گونه ای که آهنگ دز معادل در بیرون اتاق به کمتر از حد تعیین شده µSv/h ۱ برسد.

نتایج شبیه سازیها نشان داد که ضخامت ۹۰ سانتیمتر بتن معمولی برای حفاظ اصلی، ۶۰ سانتیمتر به عنوان حفاظ فرعی، پنجره پلکانی شکل برای مشاهده موقعیت بیمار از جنس شیشه ساده به ضخامت ۶۰ سانتیمتر و یک راهروی پیچ در پیچ به همراه یک درب ورودی با ضخامت ۲ سانتیمتر سرب در انتهای راهرو، می تواند آهنگ دز معادل را در بیرون اتاق درمان به کمتر از مقدار تعیین شده برساند.

کلید واژه: روش درمانی BNCT، چشمه نوترونی D-T، آهنگ دز معادل، حفاظ، اتاق درمان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه..... ۱

فصل ۱- روش درمانی BNCT

۱-۱- تاریخچه..... ۴

۱-۲- داروی حامل بور ۱۰..... ۶

۱-۳- انرژی و شدت نوترون های مورد استفاده در BNCT ۷

۱-۴- مجموعه شکل دهنده طیف ۸

۱-۵- چشمه های نوترون متداول مورد استفاده در BNCT..... ۱۰

۱-۵-۱- راکتورهای هسته ای..... ۱۱

۱-۵-۲- چشمه های شتابدهنده..... ۱۳

۱-۵-۳- چشمه های شکافت خودبخودی..... ۱۴

۱-۵-۴- مولدهای نوترون..... ۱۶

۱-۶- اتاق درمان..... ۱۷

فصل ۲- مفاهیم دزیمتری

۲-۱- انتقال انرژی خطی (LET)..... ۲۵

۲-۲- دز جذبی..... ۲۵

۲-۳- آهنگ دز ۲۶

۲-۴- تأثیر نسبی زیست شناختی (RBE)..... ۲۷

۲-۵- فاکتورهای توزین پرتوها (w_R) و ضریب کیفیت (QF)..... ۲۸

۲-۶- معادل دز یک عضو یا بافت..... ۲۹

۲-۸- آهنگ معادل دز..... ۳۱

۲-۸- ضرایب توزین بافت(w_T) ۳۱
۲-۹- دز مؤثر ۳۲
۲-۱۰- لزوم حفاظت در برابر پرتوهای یونساز ۳۳
۲-۱۰-۱- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای نوترون ۳۶
۲-۱۰-۲- حفاظ گذاری در برابر پرتوهای گاما ۳۷
۲-۱۰-۳- مواد حفاظ سازی ۳۹
۲-۱۱- اثرات بیولوژیکی پرتو ۴۳

فصل ۳- روشهای کاهش واریانس

۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- مراحل محاسبات مونت کارلو ۴۸
۳-۲-۱- اندرکنش های نوترون ۴۹
۳-۲-۲- اندرکنش های فوتون ۵۰
۳-۳- برآورد خطا در محاسبات مونت کارلو ۵۲
۳-۴- روشهای کاهش واریانس ۵۳
۳-۴-۱- قطع بر اساس انرژی ۵۴
۳-۴-۲- قطع بر اساس زمان ۵۵
۳-۴-۳- تقسیم توأم با رولت روسی بر اساس هندسه ۵۵
۳-۴-۴- تقسیم و رولت روسی بر اساس انرژی ۵۷
۳-۴-۵- قطع بر اساس وزن ذره ۵۷
۳-۴-۶- پنجره وزن ۵۸
۳-۴-۷- کاهش وزن به جای جذب ۵۸
۳-۴-۸- برخورد واداشته ۵۹
۳-۴-۹- اعمال تغییرات مجازی در متغیرهای چشمه ۶۰

فصل ٤- طراحی اتاق درمان

۴-۱- مقدمه..... ۶۳
۴-۲- ابعاد اتاق..... ۶۴
۴-۳- طراحی حفاظ..... ۶۴
۴-۳-۱- حفاظ اصلی..... ۶۴
۴-۳-۲- حفاظ فرعی..... ۷۳
۴-۴- پنجره اتاق..... ۷۶
۴-۴-۱- مواد پنجره..... ۷۷
۴-۵- طراحی راهرو..... ۷۹
۴-۶- درب ورودی اتاق درمان..... ۸۲
۴-۷- بررسی اتاق درمان بیمارستان شهدای تجریش..... ۸۴
۴-۷-۱- شبیه سازی اتاق درمان..... ۸۴
۴-۷-۲- آهنگ دز در حفاظ اصلی..... ۸۵
۴-۷-۳- آهنگ دز در راهرو و پشت درب ورودی..... ۸۷
نتیجه گیری..... ۸۹
فهرست مراجع..... ۹۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱. تابش نوترون های حرارتی به منطقه تومور و ایجاد ذرات آلفا و لیتیم ۴
شکل ۱-۲. واکنش بنیادی BNCT در نزدیکی سلول سرطانی ۶
شکل ۱-۳. ساختار مولکولی داروهای مورد استفاده در BNCT : 1) BSH، 2) BPA ۷
شکل ۱-۴ . گستره طیف انرژی نوترون های تولیدی در راکتور ۱۱
شکل ۱-۵. طیف انرژی نوترون حاصل از چشمه کالیفرنیوم ۲۵۲ ..... ۱۵
شکل ۱-۶. سطح مقطع واکنش های D-T و D-D ۱۷
شکل ۱-۷. اتاق درمان راکتورMIT ۱۹
شکل ۱-۸. موقعیت بیمار در اتاق درمان BNCT در راکتور MIT ۲۰
شکل ۱-۹. موقعیت بیمار دراتاق درمان راکتور LVR با تخت مخصوص ۲۱
شکل ۱-۱۰. اتاق درمان BNCT در راکتور LVR ۲۱
شکل ۱-۱۱. هندسه ی BSA طراحی شده برای چشمه نوترون D-T ۲۲
شکل ۱-۱۲. طیف نوترون خروجی از BSA ۲۳
شکل ۱-۱۳. طیف گامای خروجی از BSA ۲۳
شکل ۲-۱. میزان تغییرات نیم ضخامت مواد مختلف بر حسب انرژی پرتو گاما ۳۸
شکل ۳-۱. تاریخچه تصادفی نوترون برخوردی به تیغه ای حاوی مواد شکافت پذیر ۴۶
شکل ۴-۱. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با در نظر گرفتن واگرایی چشمه ۶۸
شکل ۴-۲. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با چشمه بدون واگرایی ۶۸
شکل ۴-۳. آهنگ دز معادل با در نظر گرفتن واگرایی چشمه در پشت حفاظ اصلی. موقعیت چشمه (x,y)=(0,0) ۶۹

شکل ۴-۴. حفاظ اصلی اتاق درمان با ضخامت ۱۷۰ cm برای چشمه مستقیم و ۹۰ cm برای چشمه دارای واگرایی ۷۰
شکل ۴-۵. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با در نظر گرفتن ۱۰ cm سرب و ۱۰ cm پلی اتیلن در ابتدای حفاظ ۷۱
شکل ۴-۶. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با در نظر گرفتن ۲۰ cm سرب و ۲۰ cm پلی اتیلن در ابتدای حفاظ ۷۱
شکل ۴-۷. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با در نظر گرفتن ۳۰ cm پلی اتیلن بوردار و ۱۰ cm سرب در ابتدای حفاظ ۷۲
شکل ۴-۸. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی با در نظر گرفتن ۴۰ cm پلی اتیلن بوردار و ۲۰ cm سرب در ابتدای حفاظ ۷۲
شکل ۴-۹. الف) ضخامت ۱۷۰ cm بتن در برابر چشمه مستقیم. ب) ترکیب ۴۰ cm پلی اتیلن بوردار و cm ۲۰ سرب، معادل ۸۰ cm بتن ۷۳
شکل ۴-۱۰. آهنگ دز معادل در حفاظ فرعی با در نظر گرفتن واگرایی چشمه ۷۴
شکل ۴-۱۱. آهنگ دز معادل در حفاظ فرعی با چشمه بدون واگرایی ۷۴
شکل ۴-۱۲. آهنگ دز معادل با در نظرگرفتن واگرایی چشمه در پشت حفاظ فرعی. موقعیت چشمه (x,y)=(0,0) ۷۵
شکل ۴-۱۳. آهنگ دز معادل در پشت حفاظ فرعی با چشمه بدون واگرایی. موقعیت چشمه (x,y)=(0,0) ۷۶
شکل ۴-۱۴. هندسه مربوط به پنجره اتاق ۷۷
شکل ۴-۱۵. آهنگ دز معادل در امتداد و پشت پنجره شیشه ای ساده ۷۹
شکل ۴-۱۶. اتاق درمان با در نظر گرفتن راهروی مستقیم ۸۰
شکل ۴-۱۷. آهنگ دز معادل در امتداد راهروی مستقیم ۸۰
شکل ۴-۱۸. اتاق درمان با در نظر گرفتن راهروی پیچ در پیچ ۸۱
شکل ۴-۱۹. آهنگ دز معادل در امتداد راهروی پیچ در پیچ ۸۱
شکل ۴-۲۰. تغییر ارزش ذرات با استفاده از روش تقسیم و رولت روسی در امتداد راهرو ۸۲

شکل ۴-۲۱. طرح کلی اتاق درمان با راهروی پیچ در پیچ..... ۸۳
شکل ۴-۲۲. آهنگ دز معادل در امتداد راهرو و پشت درب ورودی با ضخامت ۲ cm سرب ۸۳
شکل ۴-۲۳. طرح کلی اتاق درمان بیمارستان شهدای تجریش..... ۸۵
شکل ۴-۲۴. آهنگ دز معادل در حفاظ اصلی بیمارستان ۸۶
شکل ۴-۲۵. آهنگ دز معادل در پشت حفاظ اصلی بیمارستان (دزیمتر شماره ۶ در راستای چشمه)..... ۸۶
شکل ۴-۲۶. آهنگ دز معادل در امتداد راهرو و پشت درب ورودی بیمارستان ۸۷
شکل ۴-۲۷. آهنگ دز معادل در امتداد راهرو و پشت درب ورودی با ضخامت ۲ cm سرب ۸۸

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱. پارامترهای in-air در BNCT ۹
جدول ۱-۲. فهرست راکتورهای فعال در زمینه BNCT ۱۲
جدول ۱-۳. نمونه واکنش های تولید نوترون بوسیله شتابدهنده ها ۱۳
جدول ۱-۴. پارامترهای در- هوا برای پرتو نوترون خروجی از BSA شبیه سازی شده ۲۲
جدول ۲-۱. ضرایب توزین پرتو ۲۹
جدول ۲-۲. ضرایب توزین بافت ۳۲
جدول ۳-۱. نتایج محاسبات مونت کارلو آنالوگ و مونت کارلو غیر واقعی با استفاده از روش تقسیم و رولت روسی بر اساس هندسه. محاسبات مربوط به چشمه نوترون نقطه ای ۲ MeV در مرکز کره ای از آب به شعاع ۳۰ cm ۵۶
جدول ۴-۱. ساختار بتن معمولی ۶۵
جدول ۴-۲. ضرایب تبدیل شار به دز برای نوترون ۶۶
جدول ۴-۳. ضرایب تبدیل شار به دز برای فوتون ۶۷
جدول ۴-۴. ساختار پلی اتیلن و پلی اتیلن بوردار ۵٪ ۷۰
جدول ۴-۵. اجزاء تشکیل دهنده شیشه ساده و نسبت وزنی آنها ۷۷
جدول ۴-۶. اجزاء تشکیل دهنده شیشه سربی و نسبت وزنی آنها ۷۸
جدول ۴-۷. آهنگ دز معادل در پشت پنجره ۷۸

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
دز جذبی	$\mathbf{D}$
آهنگ دز	$\dot{\mathbf{D}}$
فاکتور توزین پرتو	w_R
دزمعادل	$\mathbf{H}$
آهنگ دز معادل	$\dot{H}$
دز مؤثر	E

مقدمه

نوترون تراپی با بور (BNCT) یک روش مؤثر در درمان تومورهای مغزی است. در این روش ابتدا داروی حامل بور ۱۰ (با جذب بالا در تومور و جذب کم در بافت سالم) به بیمار تزریق می شود، سپس ناحیه تومور بوسیله نوترون های با شدت و انرژی مناسب بمباران می شود. نوترون با عبور از جمجمه و نفوذ در عمق مغز حرارتی شده، به ناحیه تومور رسیده و با بور موجود در بافت واکنش $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ می دهد. ذرات α و Li حاصل از واکنش انرژی خود را در ناحیه ای قابل مقایسه با ابعاد سلولی به جا گذاشته و باعث نابودی سلول سرطانی می شوند. از این روش علاوه بر درمان تومورهای مغزی برای درمان انواع دیگر از تومورها از جمله تومورهای پوستی، تیروئید، سر و گردن و ... نیز استفاده شده است.

چشمه های نوترونی مختلفی در روش BNCT مورد مطالعه قرار گرفته اند که یکی از آنها چشمه D-T است که در آن نوترون های با انرژی MeV ۱۴/۱ و شار تقریبی n/cm^2s ۱۰^۱۴ تولید می گردند.

یکی از جنبه های مختلف BNCT، طراحی اتاق درمان است. به دلیل قدرت نفوذ بالای نوترون و نیز گامای تولیدی ناشی از آلودگی و نیز اندرکنش های نوترونی، امکان نشت پرتوها به بیرون از سیستم، زیاد است. به جهت مصون نگاه داشتن افرادی که در محدوده اتاق درمان رفت و آمد دارند و نیز جلوگیری از دریافت دز اضافی پرسنلی که وضعیت بیمار را بررسی می کنند، طراحی اتاق درمان و حفاظ مناسب حول سیستم امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. این طراحی شامل انتخاب مواد حفاظ و تعیین ضخامت آنها، تعیین جنس و ضخامت پنجره و نیز ورودی اتاق است.

در فصل اول، مروری کلی بر روش درمانی نوترون تراپی با بور (BNCT)، شامل چشمه های مورد استفاده در این روش، مجموعه شکل دهنده طیف، داروهای حامل بور، انرژی و شدت نوترون های استفاده شده در این روش، اتاق درمان و ... انجام گرفته است.

فصل دوم، کلیاتی درباره مفاهیم و تعاریفی که در دزیمتری و مباحث حفاظ گذاری مورد استفاده است، بیان گردیده اند.

در فصل سوم روش محاسبات مونت کارلو بیان گردیده و برخی روشهای کاهش واریانس با تأکید بر قابلیت هایی که در کد MCNP انجام می شود، مطرح شده اند که در این روش ها ذرات نامؤثر بر پاسخ نهایی تا حد امکان حذف و یا ارزش ذرات مؤثر بر پارامتر موردنظر افزایش می یابند، لذا زمان محاسبات کاهش یافته و در مدت زمان کمتری، میانگین پارامتر مورد نظر با واریانس کمتر تعیین می شود.

در فصل چهارم، طراحی اتاق درمان برای چشمه نوترون D-T انجام شده است. به این منظور با استفاده از کد MCNP-4c، ماده و ضخامت بهینه دیوار اصلی و فرعی اتاق به گونه ای تعیین شده است که آهنگ دز معادل دریافتی در پشت دیوار به کمتر از مقدار تعیین شده ۱μSv/h در استانداردهای مربوطه برسد، سپس تعیین پنجره اتاق از نظر جنس و ضخامت به منظور پایش موقعیت بیمار بررسی شده و به انتخاب جنس و ضخامت درب ورودی و محاسبات مربوط به راهروی اتاق پرداخته شده است. در نهایت، امکان سنجی استفاده از اتاق درمان بیمارستان شهدای تجریش، به منظور استفاده در روش درمانی BNCT با استفاده از چشمه D-T مورد بررسی قرار گرفته است.

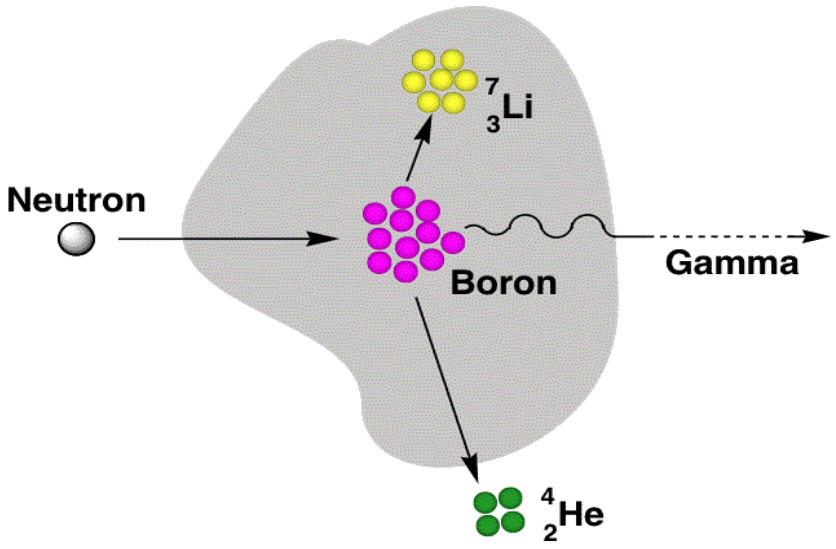
فصل۱- روش درمانی BNCT

۱-۱- تاریخچه

نوترون تراپی با بور[1] (BNCT) روشی مؤثر برای درمان تومورهای مغزی بدون عمل جراحی است که در آن از ذراتی که انتقال انرژی بیشتری در واحد طول (LET) در محدوده ی تومور دارند، برای از بین بردن سلول های سرطانی استفاده می شود.

دو سال پس از کشف نوترون در سال ۱۹۳۲ توسط چادویک[2] ، شخصی به نام گلدهابر[3] ، سطح مقطع بالای ایزوتوپ ^{10}B برای گیراندازی نوترون های گرمایی را تعیین کرد و بر این اساس در سال ۱۹۳۶ روش درمانی BNCT تحت عنوان نوترون تراپی با بور، توسط شخصی به نام گوردون لاچر[4] پیشنهاد گردید.

بر اساس این پیشنهاد چون ^{10}B سطح مقطع بالایی برای جذب نوترون های گرمایی دارد اگر در منطقه ی تومور جانشانی شود، پس از گیراندازی این نوترون ها، ^{10}B سریعاً به دو ذره پرانرژی آلفا و لیتیم تبدیل شده (شکل ۱-۱) و ذرات حاصل با تخلیه انرژی خود در ابعاد سلولی، باعث نابودی سلول های سرطانی می گردند.



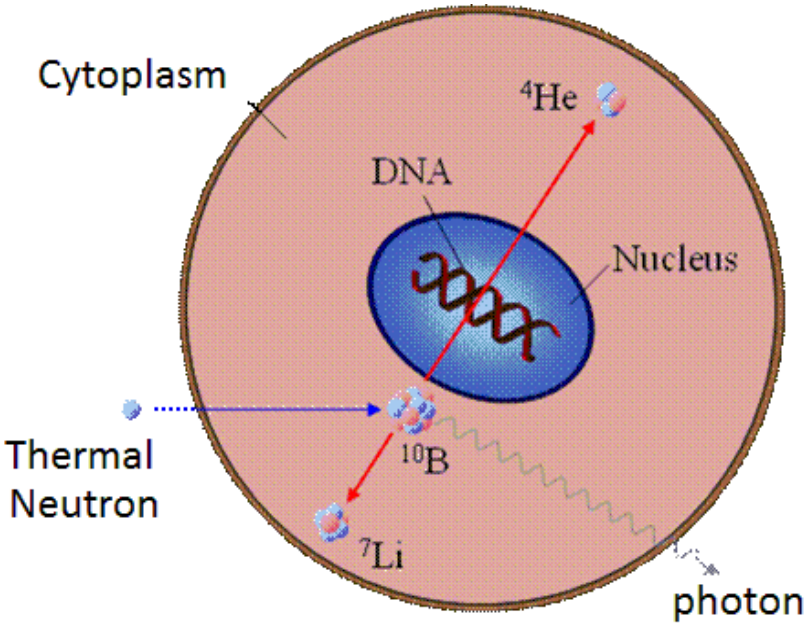
شکل ۱-۱. تابش نوترون های حرارتی به منطقه تومور و ایجاد ذرات آلفا و لیتیم

1. Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)
2. Chadwik
3. Gholdhaber
4. Gordon lacher

برای موفقیت در فرایند درمان دو نکته مهم باید در نظر گرفته شود : نکته اول استفاده از دارویی است که با ^{10}B غنی شده باشد و طوری درون مغز متمرکز شود که غلظت آن در تومور بیشتر از غلظت بافت سالم مغز باشد، چنین دارویی در اصطلاح Tumor-Seeking نامیده می شود.
نکته دوم طراحی و استفاده از سیستمی است که نوترون های تولید شده از یک چشمه نوترونی، پس از عبور از آن دارای انرژی و شدت مناسب برای از بین بردن تومور باشند.

بنابراین در روش BNCT، ابتدا داروی غنی شده با ^{10}B را به بدن بیمار تزریق می کنند. با توجه به اینکه بخش عمده ای از موفقیت در این روش درمانی به تمرکز بالای ^{10}B در تومور بستگی دارد، بنابراین باید از دارویی استفاده شود که مقدار مناسبی از ^{10}B را طوری درون سلول های سرطانی متمرکز کند که ترجیحاً در نزدیکی هسته ی سلول قرار بگیرند. انجام واکنش بنیادی BNCT در نزدیکی هسته ی سلول باعث می شود که احتمال شکسته شدن DNA افزایش یابد که در ۹۵٪ موارد منجر به مرگ سلول می شود (شکل ۱-۲).
در مرحله بعد، منطقه تومور تحت تابش نوترون قرار می گیرد. سطح مقطع جذب بالای ^{10}B برای نوترون های گرمایی (۳۸۳۸ بارن) باعث می شود که پس از گیراندازی نوترون ها توسط ^{10}B، هسته برانگیخته ^{11}B طی واکنش (۱-۱) بلافاصله به دو ذره پرانرژی آلفا و لیتیم تبدیل شود [۱].

$$\begin{cases} {}^{10}B + n_{th} \rightarrow {}^{4}He\ (1.47MeV) + {}^{7}Li\ (0.84MeV) + gamma\ (0.48MeV) \quad 93.7\% \\ {}^{10}B + n_{th} \rightarrow {}^{4}He\ (1.78MeV) + {}^{7}Li\ (1.01MeV) \quad 6.3\% \end{cases} \qquad (۱-۱)$$



شکل ۱-۲. واکنش بنیادی BNCT در نزدیکی سلول سرطانی

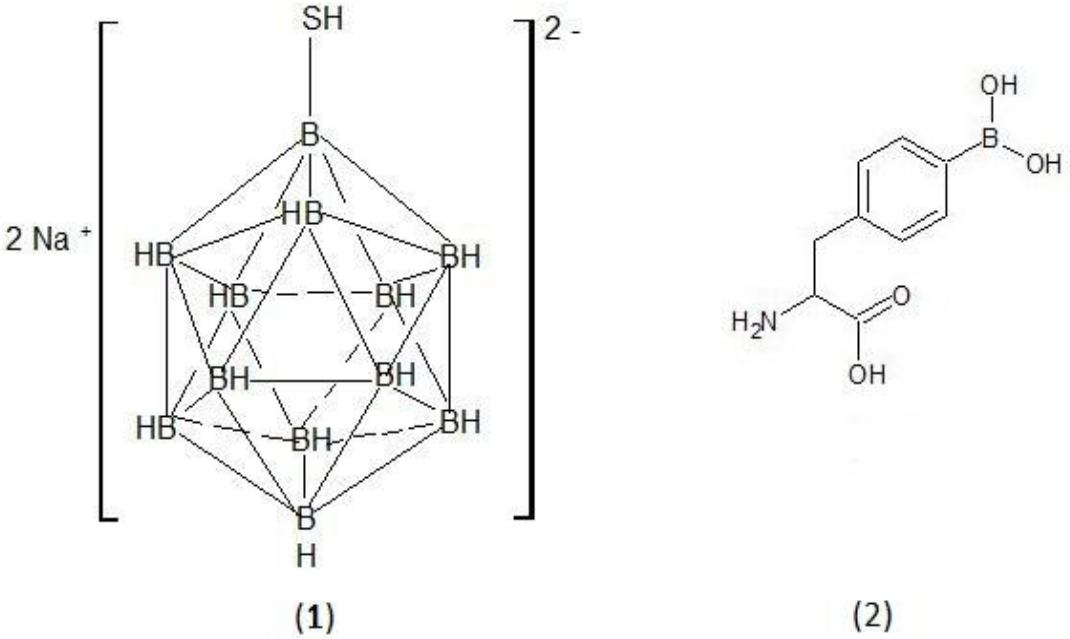
ذرات آلفا و لیتیم تولید شده در جریان این واکنش هسته ای، دارای LET بالایی هستند و انرژی خود را در ناحیه ای قابل مقایسه با ابعاد سلول (< 10 µm) تخلیه می کنند [۲-۳].

در این فرآیند با کمترین آسیب به بافت سالم، سلول های سرطانی در محدوده اندرکنش نابود می شوند.

۱-۲- داروی حامل بور ۱۰

با توجه به اینکه بخش عمده ای از موفقیت در BNCT به جانشانی مناسب بور در تومور و استفاده از دارویی با تمرکز بور در حدود ۲۰–۳۰ µg به ازای هر گرم از تومور و بطور همزمان تمرکز پایین آن در بافت سالم بستگی دارد، شیمیدان ها ترکیبات جدیدی را به عنوان حامل بور پیشنهاد کرده اند. امروزه دو داروی رایج BPA[1] و BSH[2] برای انجام درمان به روش BNCT مورد استفاده قرار گرفته و به عنوان حامل بور به صورت وریدی به بدن بیمار تزریق می شوند [۴-۵-۶]. شکل ۱-۳ ساختار مولکولی این دو دارو را نشان می دهد.

1. Borono Phenyl Alanine
2. Borocaptate Sodium ($Na_2B_{12}H_{11}SH$)



شکل ۱-۳. ساختار مولکولی داروهای مورد استفاده در BNCT : 1) BSH، 2) BPA

اخیراً نیز تحقیق در مورد ساخت نانوداروهای حامل بور با قابلیت بالای جذب در تومور انجام شده است. در این روش تعداد زیادی از ساختارهای مولکولی داروی حامل بور را به یک نانو ذره متصل می کنند. باتوجه به آنتی بادی های متصل به این نانو ذره، قابلیت هدایت هدفمند دارو امکان پذیر می باشد. در نتیجه دز بالایی از دارو در محل تومور تجمع کرده و موفقیت درمان به روش BNCT را افزایش می دهد.

۱-۳- انرژی و شدت نوترون های مورد استفاده در BNCT

برای درمان به روش BNCT از دو نوع باریکه نوترون استفاده می شود :

باریکه نوترون های گرمایی با انرژی E_n <1 eV که برای درمان تومورهای سطحی مثل سرطان ملانومای[1] پوست مناسب اند و باریکه نوترون های فوق گرمایی با انرژی حدود 1eV<E_n<10 KeV که به علت انرژی بالاتر، نفوذ بیشتری در بافت دارند و برای درمان تومورهای عمقی تر مانند گلیوبلاستومامولتی فرم[2] مورد

1. Melanoma
2. Glioblastoma Multiforme (GBM)