

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٠٦٨٢

۸۷/۱/۱۰۰۲۲۵  
۸۷/۱/۱۸۷



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هسته ای (پروتوزشکی)

بررسی کاربرد ژل دزیمتری در براکی تراپی به وسیله ی تعیین پارامترهای  
TG-43 چشمه سزیم ۱۳۷ دستگاه سلکترون

به وسیله ی

مهدی زه تابیان

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۴

اساتید راهنما

دکتر رضا فقیهی

دکتر محمد حسن زحمتکش

اطلاعات درک علمی براد  
شهریارک

شهریور ماه ۱۳۸۶

۱۰۸۶۸۲

به نام خدا

بررسی کاربرد ژل دزیمتری در براکی تراپی به وسیله ی تعیین پارامتر های TG-43 چشمه  
سزیم- ۱۳۷ دستگاه سلکترون

به وسیله ی  
مهدی زه تابیان

پایان نامه  
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ  
درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی  
مهندسی هسته ای - گرایش پرتوپزشکی

از دانشگاه شیراز  
شیراز  
جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته ی پایان نامه با درجه: عالی

دکتر رضا فقیهی، استادیار بخش مهندسی هسته ای (رئیس کمیته) .....

دکتر محمد حسن زحمتکش، استادیار انیستیتو پرتوپزشکی نوین تهران (رئیس کمیته) .....

دکتر علی سلیمانی میگونی، استاد فیزیک پزشکی، دانشگاه کنتاکی آمریکا .....

دکتر محمد امین مصلح شیرازی، استادیار فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز .....

مهندس سیمین مهدی زاده، مربی بخش مهندسی هسته ای .....

شهریور ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر و مادرم

## سپاسگزاری

با سپاس و تشکر فراوان از راهنمایی های ارزنده ی اساتید گرانقدر، آقایان دکتر رضا فقیهی و دکتر محمد حسن زحمتکش که مسئولیت راهنمایی این پروژه را به عهده داشتند و با تشکر فراوان از اساتید محترم، خصوصا و جناب آقای دکتر علی سلیمانی میگونی، دکتر محمد امین مصلح شیرازی و خانم مهندس سیمین مهدی زاده و که در طی انجام پروژه از مشاوره ی ارزنده ی ایشان برخوردار بوده ام.

## چکیده

### بررسی کاربرد ژل دزیمتری در براکی تراپی به وسیله ی تعیین پارامتر های TG-43 چشمه سزیم ۱۳۷ دستگاه سلکترون

به وسیله ی:

### مهدی زه تابیان

براکی تراپی یک روش درمانی است که در آن چشمه های رادیواکتیو برای پرتو دهی تومورهای بدخیم نواحی مختلف بدن از جمله پروستات، رحم، مغز، سر و گردن، از فاصله ی نزدیک به کار گمارده می شوند. چشمه ی سزیم ۱۳۷ سلکترون، یکی از چشمه های با نرخ دز کم است که در سیستم های بارگذاری از راه دور برای درمان سرطان های مختلف، از جمله سرطان های روده و رحم استفاده می شود. این سیستم متشکل از چشمه های فعال و غیر فعال کروی به قطر ۲,۵ میلی متر است که با چینش های متنوع آن ها درون اپلیکاتور، می توان توزیع های دز مختلفی را به وجود آورد. هدف از این تحقیق، بررسی کاربرد ژل دزیمتری پاکت در اندازه گیری نرخ دز در اطراف چشمه های براکی تراپی با نرخ دز کم به وسیله ی شبیه سازی و روش تجربی است. برای این منظور، دو فانتوم مکعبی مجزا از جنس پلکسی گلاس با ابعاد  $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm}$  جهت اندازه گیری پارامتر های  $g(r)$  و  $F(r, \theta)$  براساس پروتکل TG-43 طراحی گردید که در وسط این فانتوم ها حفره ای جهت ریختن ژل دزیمتر تعبیه گردید. دزیمتری یک تک چشمه ی کروی فعال به کمک ژل دزیمتری پاکت انجام گرفت. نتیجه ی این دزیمتری بیانگر این موضوع است که ژل دزیمتری به کمک ژل در نرخ های دز پائین پاسخ دهی مناسبی ندارد. در حالی که نتایج دزیمتری با شبیه سازی مونت کارلو برای این فانتوم ها با نتایج تجربی و شبیه سازی محققان پیشین کاملاً هم خوانی دارد.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه .....	۱
۱-۱- دزیمتری .....	۲
۲-۱- براکی تراپی .....	۳
۱-۲-۱- دزیمترهای مورد استفاده در دزیمتری چشمه های براکی تراپی .....	۴
۲-۲-۱- چشمه سزیم ۱۳۷ .....	۴
۳-۲-۱- چشمه سزیم سلکترون با سیستم بارگذاری از راه دور .....	۵
۳-۱- فرمالیسم کلی دوبعدی پروتکل TG-43 .....	۶
۴-۱- ژل دزیمتری .....	۶
فصل دوم تئوری .....	۸
۱-۲- انواع دزیمترها .....	۹
۱-۱-۲- کالریمترها (گروه اول) .....	۹
۲-۱-۲- دزیمترهای ترمولومینسانس (گروه سوم) .....	۹
۳-۱-۲- اتاقلک های یون ساز (گروه دوم) .....	۱۰
۴-۱-۲- دزیمترهای حالت جامد یا دیودها (گروه سوم) .....	۱۰
۵-۱-۲- دزیمترهای بیولوژیکی .....	۱۰
۶-۱-۲- دزیمترهای شیمیایی .....	۱۰
۶-۱-۲- الف - پلیمر ژل دزیمتری (گروه چهارم) .....	۱۱
۲-۲- محاسبات دز در براکی تراپی .....	۱۲
۱-۲-۲- محاسبه دز بر اساس نرخ تابش .....	۱۲
۱-۲-۲- الف- محاسبه ی دز جذب شده در هوا .....	۱۴
۱-۲-۲- ب- محاسبه ی دز جذب شده در ماده .....	۱۵
۲-۲-۲- دزیمتری بر اساس TG-43 (Modular Dose Calculation Method) .....	۱۶
فصل سوم مروری بر تحقیقات پیشین .....	۱۹
۱-۳- ژل دزیمتری .....	۲۰
۲-۳- پیشینه ی استفاده از ژل در دزیمتری پرتوهای یونیزان .....	۲۰
۳-۳- ژل های فریک .....	۲۰
۲-۲-۳- ژل های پلیمری .....	۲۱

۲۲	..... شبکه های پلی اکریل آمید
۲۳	..... الف-۱-۲-۲-۳-۳ خصوصیات مواد به کار رفته در ژل پاکت
۲۳	..... ۲-۲-۲-۳-۳ اساس دزیمتری ژل های پلیمری
۲۳	..... الف-۲-۲-۲-۳-۳ ساختار پلیمر القا شده توسط تابش
۲۴	..... ب-۲-۲-۲-۳-۳ تصویر برداری از ژل های پلیمری تابش دهی شده توسط روش MRI
۲۵	..... ج-۲-۲-۲-۳-۳ توسعه های اخیر (ژل دزیمترهای پلیمری نورموکسیک
۲۵	..... ۳-۳-۳ دزیمتری در براکی ترایی
۲۹	..... فصل چهارم مواد و روش ها
۳۰	..... ۱-۴-۱- کدهای محاسباتی مورد استفاده در براکی ترایی
۳۰	..... ۱-۴-۱- کد MCNP4C
۳۱	..... ۲-۴-۲- دزیمتری بر اساس پروتکل TG-43 U1
۳۱	..... ۱-۲-۴-۱- قدرت Air- Kerma
۳۳	..... ۲-۲-۴-۲- ثابت نرخ دز ( $\Lambda$ )
۳۴	..... ۳-۲-۴-۳- تابع هندسی ( $G(r, \theta)$ )
۳۵	..... ۴-۲-۴-۴- تابع دز شعاعی ( $g(r)$ )
۳۵	..... ۵-۲-۴-۵- تابع ناهمسانگردی دوبعدی
۳۶	..... ۶-۲-۴-۶- فرمالیسم کلی یک بعدی
۳۷	..... ۳-۴-۳- ژل دزیمتری
۳۷	..... ۴-۴-۴- مراحل عملی پروژه
۳۷	..... ۱-۴-۴-۱- طراحی و ساخت فانتوم ها
۳۹	..... ۵-۴-۵- ژل دزیمتری
۳۹	..... ۱-۵-۴-۱- تهیه و آماده سازی ژل PAGAT
۴۰	..... ۲-۵-۴-۲- کالیبراسیون توسط چشمه ی سزیم ۱۳۷
۴۱	..... ۳-۵-۴-۳- پرتو دهی توسط چشمه ی سزیم ۱۳۷
۴۲	..... ۴-۵-۴-۴- تصویر برداری MRI
۴۳	..... ۵-۵-۴-۵- تحلیل داده ها
۴۵	..... ۶-۴-۶- دزیمتری با استفاده از شبیه سازی توسط کد مونت کارلو
۴۶	..... ۱-۶-۴-۱- شبیه سازی یک چشمه سزیم درون اپلیکاتور
۴۶	..... الف-۱-۶-۴-۱- شبیه سازی تابع دز شعاعی و $\Lambda$
۴۷	..... ب-۱-۶-۴-۱- شبیه سازی تابع ناهمسانگردی $F(r, \theta)$
۴۹	..... فصل پنجم نتایج
۵۰	..... ۱-۵-۱- دزیمتری با استفاده از شبیه سازی توسط کد مونت کارلو
۵۶	..... ۲-۵-۲- کالیبراسیون و تعیین محدوده ی پاسخ دهی خطی ژل دزیمتری ها
۵۸	..... ۳-۵-۳- نتایج دزیمتری تجربی چشمه ی سزیم ۱۳۷ سلکترون به کمک ژل دزیمتری
۶۷	..... فصل ششم بحث و پیشنهادات
۶۸	..... ۱-۶-۱- بحث در نتایج
۷۲	..... ۲-۶-۲- حساسیت ژل های مختلف نسبت به نرخ دز



۷۲	.....	۳-۶- پیشنهادات
۷۴	.....	منابع و مأخذ

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۰	جدول ۴-۱- مواد لازم برای تهیه ی ۴۵۰ میلی لیتر ژل پاکات جهت به دست آوردن پارامتر $g(r)$ ...
۴۰	جدول ۴-۲- مواد لازم برای تهیه ی ۶۵۰ میلی لیتر ژل پاکات جهت به دست آوردن پارامتر $F(r, \theta)$ .....
۴۲	جدول ۴-۳- پروتکل تصویر برداری استفاده شده در تصویر برداری MRI .....
۴۲	جدول ۵-۱- تابع دز شعاعی شبیه سازی شده در فواصل مختلف بر اساس شبیه سازی مونت کارلو
۵۰	برای حالت بدون اپلیکاتور .....
۵۰	جدول ۵-۲- مقادیر شبیه سازی شده تابع دز شعاعی نقطه ای $g_p(r)$ بر حسب فاصله از مرکز چشمه .....
۵۱	.....
۵۲	جدول ۵-۳- مقادیر شبیه سازی شده تابع دز شعاعی خطی $g_L(r)$ بر حسب فاصله از مرکز چشمه
۵۲	جدول ۵-۴- مقادیر شبیه سازی شده تابع نا همسانگردی در فواصل مختلف از چشمه بر حسب زاویه نسبت به محور طولی اپلیکاتور .....
۵۴	جدول ۵-۵- مقایسه ی تابع نا همسانگردی شبیه سازی شده در فانتوم آب و فانتوم طراحی شده در این پروژه .....
۵۵	.....
۵۸	جدول ۵-۶- مقادیر پارامتر $R_2$ و قرائت TLD در دز های مختلف .....
۵۸	جدول ۵-۷- پرتو دهی ژل دزیمتر با چشمه سزیم ۱۳۷ تله تراپی به میزان ۲۰ گری در نرخ های مختلف دز .....
۶۶	.....
۶۶	جدول ۵-۸- پرتو دهی ژل دزیمتر با چشمه سزیم ۱۳۷ تله تراپی به میزان ۵ گری در نرخ های مختلف دز .....
۶۶	.....
۶۹	جدول ۶-۱- مقایسه ی مقادیر $R_2$ اندازه گیری شده با مقادیر $R_2$ مورد انتظار در فواصل مختلف از مرکز چشمه .....
۶۹	.....
۷۰	جدول ۶-۲- مقایسه ی مقادیر $R_2$ اندازه گیری شده با مقادیر $R_2$ مورد انتظار در زوایای مختلف در فاصله ی ۲ سانتی متری از مرکز چشمه .....
۷۰	.....
۷۱	جدول ۶-۳- مقایسه ی مقادیر $R_2$ اندازه گیری شده با مقادیر $R_2$ مورد انتظار در زوایای مختلف در فاصله ی ۳ سانتی متری از مرکز چشمه .....
۷۱	.....
۷۲	جدول ۶-۴- حساسیت دیمتر پاکات به نرخ دز های مختلف در مقایسه با سایر دزیمتر های زله ای .....

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱- ساختمان چشمه های کروی سزیم .....
۵	شکل ۲-۱- اپلیکاتور کروی مورد استفاده در بیماری های زنان توسط چشمه ی سزیم دستگاه سلکترون .....
۱۳	شکل ۱-۲- دیاگرامی جهت نشان دادن روابط هندسی استفاده شده برای به دست آوردن تابش ناشی از یک چشمه ی خطی در نقطه ی $p$ .....
۱۸	شکل ۲-۲- سیستم مختصات مورد استفاده در محاسبات دزیمتری براکی تراپی .....
۲۲	شکل ۱-۳- ساختار های شیمیائی آکریل آمید و بیس آکریل آمید .....
۳۱	شکل ۱-۴- هندسه ی استفاده شده در فرمالیسم TG-43 .....
۳۳	شکل ۲-۴- هندسه ی شماتیک برای تعیین قدرت چشمه ی براکی تراپی .....
۳۴	شکل ۳-۴- نحوه ی به دست آوردن طول فعال چشمه در صورتی که اکتیویته در قرص های کروی توزیع شده باشد .....
۳۵	شکل ۴-۴- نحوه ی به دست آوردن طول فعال چشمه در چشمه های با طول بیش از ۴,۵ میلی متر .....
۳۷	شکل ۵-۴- فانتوم طراحی شده برای به دست آوردن $g(r)$ .....
۳۸	شکل ۶-۴- قطعه ی مرکزی فانتوم طراحی شده برای به دست آوردن $g(r)$ به همراه استوانه ی پلکسی گلاس برای جلوگیری تماس اپلیکاتور با ژل .....
۳۸	شکل ۷-۴- فانتوم طراحی شده برای اندازه گیری $F(r, \theta)$ .....
۳۹	شکل ۸-۴- قطعه ی مرکزی فانتوم طراحی شده برای اندازه گیری $F(r, \theta)$ و استوانه های تو خالی برای جای دادن اپلیکاتور .....
۴۴	شکل ۹-۴- پرتو دهی لوله های کالیبراسیون در مقابل پرتو سزیم ۱۳۷ .....
۴۵	شکل ۱۰-۴- مراحل انجام دزیمتری با ژل پاگات .....
۴۷	شکل ۱۱-۴- مراحل ژل دزیمتری با ژل پاگات الف) ساخت ژل ب) کالیبراسیون ج) تابش دهی د) قرائت ه) تحلیل داده ها .....
۴۸	شکل ۱۲-۴- هندسه ی شبیه سازی جهت به دست آوردن $g(r)$ و SK .....
۴۴	شکل ۱۳-۴- هندسه ی شبیه سازی جهت به دست آوردن $F(r, \theta)$ .....
۵۱	شکل ۱-۵- تابع دز شعاعی نقطه ای و خطی برای یک تک چشمه ی سزیم بدون اپلیکاتور به دست آمده در تحقیقات پیشین .....
۵۲	شکل ۲-۵- تابع دز شعاعی نقطه ای بر حسب فاصله از مرکز چشمه برای فانتوم های مختلف .....
۵۲	شکل ۳-۵- تابع دز شعاعی خطی بر حسب فاصله از مرکز چشمه برای فانتوم های مختلف .....

۵۴	شکل ۴-۵- تابع نا همسانگردی در فواصل مختلف از چشمه بر حسب زاویه نسبت به محور طولی اپلیکاتور .....
۵۵	شکل ۵-۵- مقایسه ی تابع نا همسانگردی در فانتوم آب و فانتوم طراحی شده در این پروژه برای فاصله ی ۴ سانتی متری از چشمه .....
۵۶	شکل ۶-۵- مقایسه ی تابع نا همسانگردی در فانتوم آب و فانتوم طراحی شده در این پروژه برای فاصله ی ۳ سانتی متری از مرکز چشمه .....
۵۷	شکل ۷-۵- پارامتر $R_2$ به دست آمده از کالیبراسیون در دز های مختلف .....
۵۷	شکل ۸-۵- منحنی کالیبراسیون و محدوده ی خطی پاسخ دهی ژل دزیمتر .....
۵۸	شکل ۹-۵- پاسخ نسبی TLD و ژل دزیمتر پاکات در دز های مختلف در مرحله ی کالیبراسیون (پاسخ در هر دز نسبت به پاسخ در دز ۵ گری) .....
۶۰	شکل ۱۰-۵- مقادیر پارامتر $R_2$ به دست آمده در فواصل مختلف از مرکز چشمه بر روی محور عرضی چشمه .....
۶۱	شکل ۱۱-۵- مقایسه ی پارامتر $g_L(r)$ به دست آمده توسط شبیه سازی مونت کارلو و ژل دزیمتری .....
۶۱	شکل ۱۲-۵- مقایسه ی پارامتر $g_P(r)$ به دست آمده توسط شبیه سازی مونت کارلو و ژل دزیمتری .....
۶۲	شکل ۱۳-۵- مقادیر پارامتر $R_2$ به دست آمده در فواصل مختلف از مرکز چشمه بر روی محور عرضی چشمه .....
۶۲	شکل ۱۴-۵- مقایسه ی پارامتر $g_L(r)$ به دست آمده توسط شبیه سازی مونت کارلو و مرحله ی دوم ژل دزیمتری .....
۶۳	شکل ۱۵-۵- مقایسه ی پارامتر $g_P(r)$ به دست آمده توسط شبیه سازی مونت کارلو و مرحله ی دوم ژل دزیمتری .....
۶۳	شکل ۱۶-۵- مقایسه ی نتایج به دست آمده برای تابع نا همسانگردی دو بعدی در فاصله ۲ سانتی متری از مرکز چشمه توسط ژل دزیمتری، TLD و شبیه سازی مونت کارلو .....
۶۴	شکل ۱۷-۵- مقایسه ی نتایج به دست آمده برای تابع نا همسانگردی دو بعدی در فاصله ۳ سانتی متری از مرکز چشمه توسط ژل دزیمتری، TLD و شبیه سازی مونت کارلو .....
۶۴	شکل ۱۸-۵- مقایسه ی نتایج به دست آمده برای تابع نا همسانگردی دو بعدی در فاصله ۴ سانتی متری از مرکز چشمه توسط ژل دزیمتری و شبیه سازی مونت کارلو .....
۶۵	شکل ۱۹-۵- مقادیر پارامتر $R_2$ به دست آمده در فواصل مختلف از مرکز چشمه بر روی محور عرضی چشمه .....
۶۶	شکل ۲۰-۵- بررسی پاسخ دزیمتر ژله ای پاکات در نرخ های دز مختلف برای دز های ۵ و ۲۰ گری .....
۶۹	شکل ۱-۶- $R_2$ های مورد انتظار و اندازه گیری شده بر حسب فاصله از مرکز چشمه .....
۶۹	شکل ۲-۶- $R_2$ های مورد انتظار و اندازه گیری شده بر حسب نرخ دز .....
۷۰	شکل ۳-۶- $R_2$ های مورد انتظار و اندازه گیری شده بر حسب دز .....
۷۱	شکل ۴-۶- $R_2$ های مورد انتظار و اندازه گیری شده بر حسب زوایای مختلف در فاصله ی ۲ سانتی متری از مرکز چشمه .....

شکل ۶-۵ - R2 های مورد انتظار و اندازه گیری شده بر حسب زوایای مختلف در فاصله ی ۳  
سانتی متری از مرکز چشمه ..... ۷۱

## فهرست نشانه های اختصاری

<b>AAPM</b>	<i>American Associations of Physics in Medicine</i>	
<b><math>D'(r, \theta)</math></b>	<i>Dose rate at <math>(r, \theta)</math></i>	
<b><math>F(r, \theta)</math></b>	<i>anisotropy function,</i>	تابع ناهمسانگردی
<b><math>g(r)</math></b>	<i>Radial dose function,</i>	تابع دز شعاعی
<b><math>G(r, \theta)</math></b>	<i>Geometry function,</i>	تابع هندسی
<b>HDR</b>	<i>High Dose Rate</i>	
<b><math>\Lambda</math></b>	<i>Dose rate constant,</i>	ثابت نرخ دز
<b>LDR</b>	<i>Low Dose Rate</i>	
<b>MCNP</b>	<i>Monte Carlo N-Particle transport</i>	
<b>MDR</b>	<i>Medium Dose Rate</i>	
<b>PAGAT</b>	<i>PolyAcrylamide Gel And THPC</i>	
<b>SK</b>	<i>Strength of brachytherapy source, Air-Kerma Strength</i>	
<b>THPC</b>	<i>Tetrakis Hydroxymethyl Phosphonium Chloride</i>	

## فصل اول

### مقدمه

## ۱- مقدمه

### ۱-۱- دزیمتری

یک دزیمتر تابشی وسیله و یا سیستمی است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم مقادیر پرتودهی، کرما، دز جذبی و یا دز معادل یا نرخ این مقادیر ناشی از پرتوهای یونیزان را اندازه گیری می کند. یک سیستم دزیمتری متشکل از یک دزیمتر و یک دستگاه قرائت گر می باشد. انتخاب سیستم دزیمتری با احتساب شرایط و نیازها صورت می پذیرد. با توجه به اهمیت ویژه و استفاده های فراوان پرتوهای یونیزان در درمان سرطان ها، موضوع تعیین سه بعدی توزیع دز در اطراف چشمه های درمانی از اهمیت بسزائی برخوردار است، بنابراین در بخش بعد به بررسی اجمالی انواع دزیمتر ها و کاربرد آن ها می پردازیم. [1] دزیمتر های مرسوم برای اندازه گیری دز جذب شده به ۴ گروه تقسیم می شوند. [2]

#### ☐ گروه اول

این گروه، اساسی ترین گروه دزیمتر ها می باشند که در آن ها مستقیماً انرژی به جای گذاشته شده را اندازه می گیریم.

#### ☐ گروه دوم

این گروه شامل دزیمتر هائی می شود که مکانیزم تابش در آن کاملاً معلوم و مشخص است.

#### ☐ گروه سوم

این گروه دزیمتر هائی را شامل می شود که مکانیزم دزیمتری در آن به خوبی مشخص نیست. اما می توان با استفاده از تغییرات قابل مشاهده در آن ها، دز جذب شده ی مطلق را به دست آورد.

#### ☐ گروه چهارم

این گروه از دزیمتر ها، به طور نسبی استفاده می شوند. مثلاً فیلم ها معمولاً به این صورت استفاده می شوند که اتاقتک های یون ساز در ابتدا در چند نقطه دز را به دست می آورند و به کمک این قرائت ها می توان توزیع فیلم را به توزیع نسبی دز ربط داد. در حالی که در دزیمتر های گروه سوم، توزیع فیلم با استفاده از یک منحنی پاسخ به دز تبدیل می شود.

[2]



## ۲-۱- براکی تراپی

پرتودرمانی یکی از روش های متداول درمان تومورها و بافت های سرطانی می باشد که به دو نوع تله تراپی (درمان خارجی) با اشعه ی X و چشمه های رادیوایزوتوپی و براکی تراپی (درمان داخلی) تقسیم می شود. براکی تراپی یک روش درمانی است که در آن چشمه های رادیواکتیو آب بندی شده برای پرتودهی تومورهای بدخیم از فاصله ی نزدیک به کار گمارده می شود. این روش درمانی نقش مهمی در درمان سرطان های نواحی مختلف بدن از جمله مغز، سر، گردن، پروستات، رحم و ... دارد. [3] براکی تراپی دو روش اصلی متفاوت دارد. روش اول، پرتو دهی درون حفره ای می باشد که در آن، چشمه های رادیواکتیو درون حفره های بدن در جوار تومورها قرار می گیرد و آن را در معرض پرتوگیری قرار می دهد. روش دوم براکی تراپی درون بافتی است که در آن سیدهای رادیواکتیو مستقیماً در حجم تومور کاشته می شوند. [4]

در براکی تراپی دز بالائی به بافت تومور وارد می شود در صورتی که در بافت های سالم اطراف تومور پرتوگیری به شدت کاهش می یابد. در گذشته، درمان به روش براکی تراپی اغلب با چشمه های رادیم و رادن صورت می گرفت. امروزه، افزایش چشمه های رادیونوکلئیدی مصنوعی تولید شده از جمله Cs-137, Ir-192, Au-198, I-125, Pd-103 و ابزار های اتوماتیک با توانائی کنترل از راه دور جهت کاهش پرتوگیری تابش ناشی از چشمه های با اکتیویته ی بالا، تمایل به استفاده از این روش درمانی را افزایش داده است. [5]

این شاخه از پرتودرمانی، بر حسب میزان نرخ دزی که به بدن می دهد، به سه گروه زیر تقسیم می شود. منابع با نرخ دز پائین ( low dose rate [LDR] ) با نرخ دز ۰/۵ تا ۲ سانتی گری بردقیقه، منابع با نرخ دز متوسط متوسط ( medium dose rate [MDR] )، منابع با نرخ دز بالا ( High dose rate [HDR] ) با نرخ دز ۲۰ سانتی گری بر دقیقه [5]

مهمترین مسئله در حوزه ی درمان به روش براکی تراپی نحوه ی توزیع دز در بافت مورد نظر می باشد در واقع چشمه ها باید طوری در بدن قرار گیرند که بافت ناسالم تومور بیشترین میزان دز را دریافت کند و بافت های سالم اطراف آن، کمترین میزان دز را دریافت کنند. برای این منظور، به دست آوردن نحوه ی توزیع دز در اطراف چشمه در بدن بیمار قبل از انجام درمان، امری ضروری است که به این فرایند، طراحی درمان می گوئیم. از زمانی که براکی تراپی به صورت کلینیکی مورد استفاده قرار گرفته است، رادیوتراپیست ها همواره به دنبال روش هائی برای به دست آوردن منحنی های توزیع دز بوده اند. درابتدا، محاسبات توزیع دز در نقاط مختلف در اطراف چشمه، با استفاده از روش انتگرالی سیورت انجام می گرفت که این محاسبات مستلزم محاسبه ی پارامتر هائی بود که به دست آوردن این پارامتر ها امری پیچیده

و مشکل است. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، شبیه سازی سریع و دقیق منحنی های توزیع دز میسر گردیده است.

### ۱-۲-۱- دزیمترهای مورد استفاده در دزیمتری چشمه های براکی تراپی

در دزیمتری نسبی چشمه های براکی تراپی می توان از دزیمتر هائی چون دیود ها، آشکارساز های الماسی، اتاقک های یون ساز مینیاتوری، سنتیلاتورهای پلاستیکی، اتاقک های یون ساز مایع، ژل های پلیمری، فیلم های رادیوگرافیک و رادیوکروماتیک و دزیمتر های شیمیائی استفاده نمود، در حالی که صحت دزیمتری آن ها در دزیمتری مطلق در اطراف چشمه های براکی تراپی هنوز به اثبات نرسیده است. [6, 7, 8, 9, 10] آشکارساز هائی که برای دزیمتری چشمه های براکی تراپی استفاده می گردند، باید چندین خصوصیت کلی داشته باشند:

- حجم فعال آشکار ساز باید به قدری کوچک باشد که اثر میانگین گیری میدان های با گرادیان بالا حول این حجم قابل اغماض باشد یا بتوان آن ها را با اعمال ضرایب تصحیحی به حساب آورد.

- تابع پاسخ انرژی مناسبی داشته باشد طوری که تفاوت بین انرژی کالیبراسیون و انرژی اندازه گیری شده ی تجربی یا قابل صرف نظر کردن باشد یا بتواند به صورت کمی محاسبه گردد.

صحت و دقت کافی در اندازه گیری نرخ دز داشته باشد طوری که  $\sigma$  آماری کمتر از ۵٪ و  $\sigma$  سیستماتیک کمتر از ۷٪ داشته باشد.

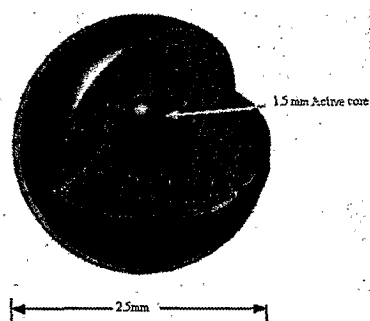
### ۱-۲-۲- چشمه سزیم ۱۳۷

هدف از این تحقیق، به دست آوردن نحوه ی توزیع دز در بدن در براکی تراپی با چشمه سزیم توسط ژل دزیمتری است. سزیم ۱۳۷، یک رادیوایزوتوپ گامااست که به عنوان جایگزینی برای چشمه های رادیم در هر دو نوع براکی تراپی درون حفره ای و *interstitial* استفاده می گردد و به فرم پودرهای غیر قابل حل و یا گوی های سرامیکی نشان دار با سزیم ۱۳۷ تولید می شوند و توسط دو لایه فولاد زنگ نزن به فرم سید ها یا سوزن هائی در می آیند. مزیت سزیم نسبت به رادیم، مسئله ی حفاظ گذاری است، از آنجا که ضخامت لایه ی نیم جذب (HVL) سزیم کمتر از رادیم است، پس به حفاظ کمتری نیاز دارد و خطر کمتری

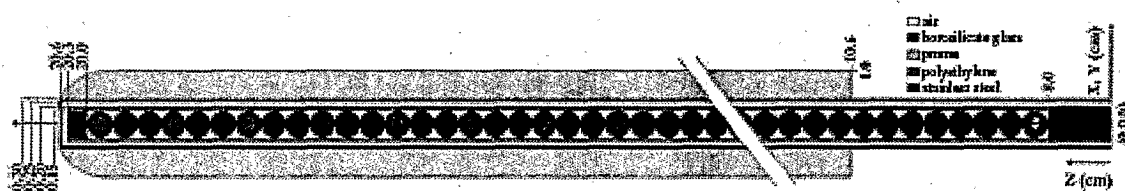
نیز به دنبال دارد. سزیم با نیمه عمر ۳۰ ساله می تواند بدون تعویض، به مدت ۷ سال به طور کلینیکی مورد استفاده قرار گیرد، گرچه زمان درمان باید برای واپاشی رادیو اکتیو، ۲٪ به ازای هر سال نیز تصحیح شود.

### ۱-۲-۳ - چشمه سزیم سلکترون با سیستم بارگذاری از راه دور

این چشمه، که شامل قرص های کروی ۲,۵ میلیمتری می باشند که قطر هسته های فعال آن، ۱,۵ میلیمتر است و با ۰,۵ میلیمتر فولاد پوشانده شده اند. (شکل ۱-۱) با کنار هم قرار دادن چشمه های کروی اکتیو و غیر اکتیو (dummy)، می توانیم توزیع های متفاوت دز را به دست آوریم. سپس چینش انتخاب شده ی چشمه، وارد اپلیکاتور می شود. نمونه ای از اپلیکاتور مورد استفاده در این نوع درمان را در شکل ۱-۲ مشاهده می کنیم.



شکل ۱-۱: ساختمان چشمه های کروی سزیم



شکل ۱-۲: اپلیکاتور استوانه ای مورد استفاده در درمان بیماری های زنان توسط چشمه ی سزیم دستگاه سلکترون

چنانچه ذکر شد، هدف از براکی تراپی این است که چشمه های رادیواکتیو را دقیقاً درون تومور یا کنار آن قرار داد، به طوری که بافت های ناسالم تومور بیشترین دز را ببینند و به بافت های سالم اطراف، کمترین میزان دز وارد شود. آگاهی از نحوه ی توزیع دز در اطراف هر چشمه براکی تراپی جهت انجام یک طراحی درمان بهینه امری ضروری است. در قدیم توزیع دز در اطراف یک چشمه براکی تراپی را توسط روابط انتگرالی سیورت به دست می آوردند. در

حالی که این فرمالیسم قدیمی نیازمند دانستن  $\mu$ ، ضریب تضعیف موثر فیلتر به عنوان تابعی از ضخامت و فاکتورهای تضعیف بافت می باشد، که به دست آوردن هر یک از این فاکتورها بسیار مشکل می باشد. به این منظور AAPM گزارش شماره ی ۴۳ را انتشار داد، که نیازی به اندازه گیری این پارامترها نداشت. به طوری که با اندازه گیری توزیع نرخ دز در اطراف یک چشمه براکی تراپی توسط دزیمترهایی چون تی ال دی و ژل دزیمترها و یا توسط کد مونت کارلو، می توان پارامترهای مربوطه را به دست آورد. با داشتن این پارامترها برای یک چشمه ویژه ی براکی تراپی مثل سزیم، به راحتی نرخ دز در نواحی با فواصل مختلف در اطراف چشمه به دست می آید. به نحوی که می توان برای هر بیمار، روش درمانی مناسب را به دست آورد.

### ۳-۱ - فرمالیسم کلی دو بعدی پروتکل TG-43

به طور کلی فرمالیسم محاسبه ی دز دو بعدی در پروتکل TG-43 به صورت زیر است

(۱-۱)

$$\dot{D}(r, \theta) = \frac{\Lambda \cdot S_K G(r, \theta)}{G(1\text{cm}, \pi/2)} \cdot g(r) F(r, \theta)$$

که  $r$  فاصله (cm) از مرکز چشمه اکتیو تا نقطه ی مورد نظر است،  $r_0$  بیانگر فاصله ی مرجع است که در این پروتکل 1cm تعیین گردیده است و  $\theta$  زاویه ی قطبی است که نقطه ی مورد نظر  $p(r, \theta)$  را نسبت به محور طولی جسم نشان می دهد. زاویه ی مرجع  $\theta_0$  بیانگر صفحه ی عرضی چشمه، ۹۰ درجه یا  $\pi/2$  رادیان است. بقیه ی فاکتورها در قسمت های بعدی توضیح داده خواهند شد.

### ۴-۱ - ژل دزیمتری

دزیمتری با ژله، یکی از انواع دزیمترهای شیمیائی است. وقتی تابش با یک محیط شیمیائی بر هم کنش می کند، مقداری از انرژی اش را از دست داده و باعث یونیزه یا برانگیخته شدن اتم ها می شود. این اتم ها ی یونزه یا برانگیخته می توانند به نوبه ی خود یونش بیشتری ایجاد نموده و در باعث القای یونیزاسیون های ثانویه و رادیکال های آزاد در محیط شوند. واکنش