

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش هسته‌ای

### موضوع:

بررسی بیوفیزیکی ناهنجاری‌های سیتوژنتیکی القا شده توسط پرتوهای بتا در سلول‌های سرطانی رده K562

### اساتید راهنما:

پروفسور رسول خدابخش      دکتر مهدی محمدزاده

### استاد مشاور:

دکتر یعقوب پازنگ

### تنظیم و نگارش:

زینب علیزاده قلناچی

شهریور ۹۳

حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ می‌باشد.

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم

به آمان که مهر آسمانشان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم...

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان پر عشق مادرم...

که هرچه آموختم در کتب عشق شما آموختم و هرچه بگو شتم قطره ای از دریای بی کران مهربانیان را سپاس توانم بگویم.

امروز، هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم به رضای شما..

ره آوردی کران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم کوزه غبار محسکیتان را بزداید.

و تقدیم می کنم به خواهرانم که در کودکی بهم بازی ام بودند و اکنون سنگ صبورم....

و به تمام آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه می راهم بود.

الها به من کمک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته ی آنان جامه ی عمل پوشانم.

پروردگارا حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما.

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسوا علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کنسالی عنایت بفرما.

”من لم يشكر المخلوق، لم يشكر الخالق“

باشکر و پاس بی حد به درگاه باری تعالی که تحتین و بزرگترین یاریگر بندگان در آغاز و پایان هر کاریست.

و بالتقدیر و بشکر از استاد بزرگوارم جناب آقای پروفور خدابخش که به حق مراد طول دوره تحصیل به ویژه در طی مراحل مختلف این

پایان نامه، صورانه و مشفقانه راهنمایی کرده و از محضر علمیشان مستفیض گردانند.

همچنین باشکر از استاد محترم جناب آقای دکتر محمدزاده که در طی این تحقیق از بیچ لکی دریغ نکردند و جناب آقای دکتر پازشنگ که با

قبول زحمت مشاوره این پایان نامه مراد انجام این کاریاری داده اند.

و همچنین باشکر از جناب آقایان دکتر گلزان و دکتر محمدی که زحمت داوری این پایان نامه را قبول کرده و بزرگوارانه برای این

کار وقت گذاشتند.

## چکیده:

در سال های اخیر تابش های یونیزان نقش عمده ای را در زمینه پزشکی دارند و از آن ها به طور گسترده در درمان سرطان استفاده می شود. دانستن پاسخ سلول های سرطانی به تابش می تواند نقش عمده ای در پروسه درمان داشته باشد. به همین منظور در مطالعات حاضر پاسخ سلول های K562 به تابش بتای ساطع شده از چشمه استرانسیوم ۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این تحقیق ابتدا سلول های K562 تهیه شده و با محیط کشت RPMI و ۱۰٪ FBS در انکیباتور با دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و ۵٪ کربن دی اکسید کشت داده شدند و سپس طی ۳ روز متوالی (به صورت روزانه ۳۰ دقیقه، ۱ ساعت و ۲ ساعت) تحت تابش بتا قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تابش دهی به وسیله آزمون MTT و الکتروفورز DNA بررسی گردید. نتایج آزمون MTT برای هر سه نمونه نشان دهنده ی مرگ سلولی بر اثر تابش می باشد، به ویژه برای نمونه ی با بیشترین دز دریافتی (روزانه ۲ ساعت) ۴۰٪ سلول کشی مشاهده می شود. همین طور نتایج الکتروفورز DNA برای هر سه نمونه شکستگی DNA را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: تابش بتا- استرانسیوم ۹۰- سرطان- سلول K562

## فهرست:

- ۱ ..... مقدمه:
- ۱-۱-۱ مبانی فیزیک هسته‌ای: ..... ۳
- ۱-۱-۱-۱ هسته: ..... ۳
- ۱-۱-۲-۱ رادیواکتیویته: ..... ۴
- ۱-۱-۳-۱ واپاشی آلفا: ..... ۵
- ۱-۱-۴-۱ واپاشی بتا: ..... ۷
- ۱-۱-۴-۱-۱ واپاشی  $\beta$  (استرانسیوم-۹۰): ..... ۱۰
- ۱-۱-۴-۲-۱ واپاشی  $\beta +$ : ..... ۱۴
- ۱-۱-۵-۱ واپاشی گاما: ..... ۱۵
- ۱-۱-۶-۱ واحدهای رادیواکتیویته: ..... ۱۶
- ۱-۲-۱ سرطان: ..... ۱۸
- ۱-۲-۱-۱ سرطان چیست؟ ..... ۱۸
- ۱-۲-۲-۱ انواع سرطان‌زا: ..... ۱۹
- ۱-۲-۳-۱ انواع تومور: ..... ۱۹
- ۱-۲-۳-۱-۱ تومورهای خوش‌خیم: ..... ۲۰
- ۱-۲-۳-۲-۱ تومورهای بدخیم: ..... ۲۰
- ۱-۳-۱ سرطان خون: ..... ۲۱

- ۱-۳-۱ - خون : ..... ۲۱
- ۱-۳-۲ - سرطان خون (لوسمی): ..... ۲۲
- ۱-۳-۳ - سلول‌های **K562** : ..... ۲۴
- ۱-۳-۴ - علائم هشداردهنده سرطان خون (لوسمی) : ..... ۲۶
- ۱-۳-۵ - الگوهای غربالگری لوسمی: ..... ۲۶
- ۱-۳-۶ - الگوهای درمان لوسمی: ..... ۲۸
- ۱-۴-۱ - پرتودرمانی : ..... ۲۸
- ۱-۴-۱ - روشهای پرتودرمانی : ..... ۳۰
- ۱-۴-۱-۱ - رادیوتراپی خارجی : ..... ۳۰
- ۱-۴-۱-۲ - رادیوتراپی حین جراحی : ..... ۳۱
- ۱-۴-۱-۳ - رادیوتراپی داخلی: ..... ۳۱
- ۱-۴-۱-۴ - رادیوتراپی سیستمیک : ..... ۳۱
- ۱-۴-۲ - انواع پرتوها در پرتودرمانی : ..... ۳۲
- ۱-۴-۳ - تاثیرات بیولوژیکی تابش: ..... ۳۳
- ۱-۴-۴ - حساسیت پرتویی و چرخه سلولی: ..... ۳۳
- ۲-۱-۱ - تهیه سلول‌های سرطانی **K562** و کشت آن‌ها: ..... ۳۶
- ۲-۱-۱-۱ - طرز تهیه محیط کشت RPMI ویژه سلول‌های **K562**: ..... ۳۶
- ۲-۱-۲ - کشت سلول‌های سرطانی **K562** (اریترولوکمایا): ..... ۳۸
- ۲-۱-۳ - فریز کردن سلول‌ها و ذخیره‌سازی آن‌ها در تانک ازت (۱۹۶- درجه سانتیگراد): ... ۴۱

- ۴۲-۱-۲- دفریز کردن سلول‌ها و استفاده مجدد از آن‌ها:.....
- ۴۴-۱-۲- شمارش تعداد سلول‌ها و میزان زنده بودن آن‌ها با تریپان بلو (Viability):.....
- ۴۵-۱-۲- آماده‌سازی و وارد کردن سلول‌ها در پلیت‌ها:.....
- ۴۷-۲- پرتودهی سلول‌های **K562** با چشمه استرانسیوم ۹۰:.....
- ۴۹-۳-۲- سنجش **MTT**:.....
- ۵۰-۴-۲- استخراج **DNA** :.....
- ۵۲-۵-۲- الکتروفورز :.....
- ۵۳-۱-۵-۲- الکتروفورز با ژل آگارز:.....
- ۵۷-۱-۳- تغییرات مورفولوژیک:.....
- ۶۲-۲-۳- آزمون **MTT** :.....
- ۶۴-۳-۳- نتایج الکتروفورز:.....
- ۶۶-۱-۴- تابش‌های یونیزان و سرطان:.....
- ۶۶-۲-۴- بحث و نتیجه‌گیری:.....
- ۶۸-۳-۴- پیشنهادات:.....
- ۶۹- منابع و مآخذ:.....



## فهرست جداول، نمودارها و شکل‌ها:

- جدول ۱-۱ مشخصات پرتوهای هسته‌ای ..... ۴
- شکل ۱-۱ نمونه بیناب پیوسته انرژی برای یک گسیلنده بتا ..... ۷
- شکل ۲-۱ منحنی جذب برای یک ذره بتای منفرد ..... ۹
- شکل ۳-۱ شمای واپاشی استرانسیوم-۹۰ ..... ۱۲
- جدول ۲-۱ ضرایب کیفی برای انواع مختلف تابش‌ها بر اساس گزارش NCRP- 39 ..... ۱۷
- شکل ۴-۱ سلول‌های خونی ..... ۲۱
- شکل ۵-۱ ساختار درونی سلول ..... ۲۴
- شکل ۱-۲ سلول‌های K562 ..... ۳۶
- شکل ۲-۲ قیف هولدر ..... ۳۸
- شکل ۳-۲ الف. میکروسکوپ معکوس Invert ..... ۴۱
- شکل ۳-۲ ب. میکروسکوپ معمولی ..... ۴۰
- شکل ۳-۲ ج. سانتریفیوژ ..... ۴۰
- شکل ۴-۲ الف. لام نئوبار ..... ۴۵
- شکل ۵-۲ پلیت ۲۴ خانه حاوی نمونه های سلولی ..... ۴۷
- شکل ۶-۲ چشمه استرانسیوم ۹۰ ..... ۴۸
- شکل ۷-۲ دستگاه الیزای ریدر ..... ۵۰

- شکل ۸-۲ دستگاه الکتروفورز..... ۵۲
- شکل ۹-۲ شمای حرکت مولکول های DNA درون ژل حین الکتروفورز..... ۵۳
- شکل ۱-۳ سلول های k562 قبل از تابش دهی..... ۵۷
- شکل ۲-۳ تغییرات مورفولوژیک سلول ها مربوط به نمونه تابش دهی شده به صورت روزانه ۳۰ دقیقه.... ۵۸
- شکل ۳-۳ تغییرات مورفولوژیک سلول ها مربوط به نمونه تابش دهی شده به صورت روزانه ۱ ساعت. ۵۸
- شکل ۴-۳ تغییرات مورفولوژیک سلول ها مربوط به نمونه تابش دهی شده به صورت روزانه ۲ ساعت.... ۵۹
- شکل ۵-۳ تغییرات مورفولوژیک سلول های K562 ۲۴ ساعت بعد از هر بار تابش دهی. .... ۶۰
- شکل ۶-۳ تغییرات مورفولوژیک سلول های K562 قبل و بعد از تابش دهی. .... ۶۱
- نمودار ۱-۳ نمودار استوانه ای مربوط به نتایج آزمون MTT..... ۶۲
- نمودار ۲-۳ منحنی زنده مانی سلول ها بر حسب مدت زمان تابش دهی از روی نتایج حاصل از آزمون MTT..... ۶۳
- شکل ۷-۳ عکس الکتروفورز DNA..... ۶۴

فصل اول

**مقدمه و کلیات**

**(Introduction and Literature)**

**مقدمه:**

تقریباً یک قرن است که مواد رادیواکتیو در انواع مختلف فیزیکی و شیمیایی قابل دسترس هستند. طی این مدت و در حد وسیعی، در کلیه شاخه‌های علوم محض و کاربردی مورد استفاده قرار گرفته و جایگاه خود را به عنوان ابزار ضروری تحقیقات، تشخیص و درمان طبی، آنالیز و فناوری پیدا کرده‌اند. استفاده از فن آوری هسته‌ای در تولید انرژی و رادیوایزوتوپ‌ها، در پزشکی، صنعت و کشاورزی در چند دهه اخیر آنچنان زندگی انسان‌ها را در جوامع مختلف متحول نموده که بدون آنها ادامه زندگی در هزاره سوم امکان‌پذیر نخواهد بود. تشخیص و درمان بسیاری از بیماری‌ها، بهینه‌سازی و بالا بردن محصولات کشاورزی از نظر کمی و کیفی و نیز افزایش کیفیت صنایع مختلف در هر شکلی وابسته به استفاده صحیح از رادیوایزوتوپ‌هاست. مواد رادیواکتیو براساس نوع تابش‌هایی که از خود ساطع می‌کنند به این صورت تقسیم می‌شوند: گسیلنده آلفا، گسیلنده گاما، گسیلنده بتا و یا گسیلنده پروتون و نوترون. یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین حوزه‌های کاربرد دانش هسته‌ای و مواد رادیواکتیو، در زمینه پزشکی به خصوص در تشخیص و درمان سرطان می‌باشد.

پس از بیماری‌های قلبی و عروقی که سالانه باعث مرگ و میر افراد زیادی می‌شود، سرطان دومین علت مرگ و میر می‌باشد. سرطان طی چندین مرحله و با عوامل متعددی در بدن به وجود می‌آید که از جمله این عوامل، عامل ژنتیک، مواد شیمیایی و سمی، مواد رادیواکتیو و... می‌باشد. برای ایجاد سرطان درون بدن سلول‌ها چندین مرحله را طی می‌کنند که می‌توانیم این مراحل را به صورت زیر بیان کنیم :

مرحله اول: قرار گرفتن سلول‌های طبیعی در معرض عوامل سرطان‌زای شیمیایی، فیزیکی و یا میکروبی.

مرحله دوم: به خاطر تغییراتی که در سلول‌های طبیعی ایجاد شده تکثیر سلولی سریع‌تر می‌شود و همین‌طور

عمر سلول‌ها نسبت به سلول‌های اولیه طولانی‌تر می‌شود یعنی تعادل بین تقسیم سلولی، مرگ طبیعی

سلول‌ها و تمایز سلولی بر هم می‌خورد.

مرحله سوم: به خاطر تکثیر سلولی سریع و انباشت سلول‌ها، حجم تومور افزایش می‌یابد. به این مرحله،

مرحله پیشرفت توموری می‌گویند، در این مرحله ممکن است متاستاز هم اتفاق بیفتد [1].

امروزه بیش از صد نوع مختلف سرطان در دنیا شناخته شده است که از میان آنها، لوسمی یا سرطان خون یکی از انواع شایع و مهلک می‌باشد. لوسمی، سرطان بافت‌های خون‌ساز بدن، شامل مغز استخوان و دستگاه لنفاوی بوده و توسط سلول‌های سفید خون و لنف به وجود می‌آید. گلبول‌های سفید خون معمولاً در صورت نیاز بدن، به طریقی منظم و کنترل شده رشد می‌کنند و تقسیم می‌شوند، اما در بیماری لوسمی، در این روند اختلال ایجاد شده و رشد سلول‌های خونی از کنترل خارج می‌شود.

سرطان بافت‌های خون‌ساز بدن از شایع‌ترین بدخیمی‌های بدن محسوب می‌گردد که با توجه به منشأ سلولی به میلوئید و لنفوئید و با توجه به سیر بیماری به مزمن و حاد تقسیم می‌شود. بر این اساس سرطان خون به چهار گروه طبقه‌بندی می‌گردد، که شامل لوسمی لنفوبلاستیک حاد، لوسمی لنفوبلاستیک مزمن، لوسمی میلوپلاستیک حاد و لوسمی میلوپلاستیک مزمن است [2]. رده سلول‌های سرطانی K562 جزء سلول‌های سرطانی خون با منشأ میلوئیدی هستند که برای اولین بار از یک خانم ۵۳ ساله مبتلا به سرطان خون مزمن جداسازی شده است [3].

پرتودرمانی<sup>۱</sup> یکی از راه‌های کنترل و درمان انواع سرطان‌ها می‌باشد که تقریباً نیمی از مبتلایان به سرطان از این شیوه درمانی استفاده می‌کنند. در این روش درمانی از پرتوهای یونساز برای از بین بردن یا کوچک کردن بافت‌های سرطانی استفاده می‌شود و این پرتوها در اثر آسیب DNA، سلول‌های ناحیه درمان (بافت هدف) را تخریب کرده و ادامه رشد و تقسیم سلولی را غیرممکن می‌کنند. اگرچه پرتو علاوه بر سلول‌های سرطانی به سلول‌های سالم نیز آسیب می‌رساند ولی اکثر سلول‌های سالم می‌توانند دوباره بهبودی خود را به دست بیاورند. هدف از پرتودرمانی از بین بردن حداکثر سلول‌های سرطانی با حد اقل آسیب به بافت‌های سالم می‌باشد.

<sup>۱</sup>. Radiotherapy

## ۱-۱- مبانی فیزیک هسته‌ای:

## ۱-۱-۱- هسته:

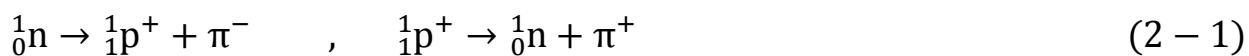
قطر یک اتم در حدود  $10^{-10}$  متر است، در صورتیکه قطر هسته برابر  $10^{-15}$  متر می‌باشد. از آنجایی که هسته دارای پروتون‌ها و نوترون‌ها بوده و هر یک تقریباً دارای جرمی معادل  $1.67 \times 10^{-24}$  gr می‌باشند ولی جرم الکترون در حدود  $9.11 \times 10^{-31}$  gr می‌باشد، در نتیجه می‌توان گفت که جرم اتم در هسته آن متمرکز است. تعداد پروتون‌های درون هسته را با  $Z$  و تعداد نوترون‌ها را با  $N$  نشان می‌دهند. هسته را میتوان کره‌ای در نظر گرفت که شعاع آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = 1.25 \times 10^{-13} A^{1/3} \quad (1 - 1)$$

که در این رابطه  $A$  عدد جرمی و  $R$  شعاع هسته بر حسب سانتیمتر می‌باشد [4].

سوالی که اینجا مطرح می‌شود این است که چگونه بارهای مثبت در هسته می‌توانند گرد هم آیند و چگونه پایداری هسته را باید توضیح داد؟ اولین فردی که این مدل را به خوبی توضیح داد یوکاوا<sup>۱</sup> بود. وی در سال ۱۹۳۵ نظریه‌ای به شرح زیر مطرح کرد:

تبدیل شدن پروتون و نوترون در هسته دائمی است و در زمان کوتاهی حدود  $10^{-24}$  ثانیه صورت می‌گیرد. در هسته این ذرات را نمی‌توان تمییز داد، فقط هنگام خروج از هسته می‌توان به آن‌ها نام پروتون یا نوترون نسبت داد. یوکاوا می‌گوید در این تبدیل باید ذره دیگری نقش داشته باشد که این ذره را مزون پی<sup>۲</sup> یا پیون<sup>۳</sup> ( $\pi$ ) نامید که جرمش ۲۷۶ برابر جرم الکترون است. مزون پی ناپایدار بوده و نیمه عمرش  $10^{-9}$  ثانیه می‌باشد و می‌تواند به اشکال مختلف  $\pi^+$ ،  $\pi^-$  و  $\pi^0$  موجود باشد. نوترون و پروتون طی واکنش‌های زیر به یکدیگر قابل تبدیل‌اند.



<sup>۱</sup>. Hideki Ukawa

<sup>۲</sup>. Pi-Meson

<sup>۳</sup>. Pion

### ۱-۱-۲- رادیواکتیویته:

رادیواکتیویته پدیده‌ای است که از طریق آن یک هسته ناپایدار، که در حالت پایه یا در حالت کمی برانگیخته قرار دارد، به صورت خودبخودی یک ذره یا تابش گاما گسیل کرده و یا یک الکترون اتمی را گیر می‌اندازد. فرایندهای رادیواکتیو بسیاری وجود دارند، به عنوان مثال واپاشی  $\alpha$  که در آن یک ذره آلفا (یک ذره سبک با جرم  $4u$  و  $2$  بار مثبت که همان هسته فراوان‌ترین ایزوتوپ  $He$  یعنی  ${}^4He$  می‌باشد) گسیل می‌شود و یا واپاشی  $\beta$  که در آن یا گسیل الکترون داریم (واپاشی  $\beta^-$ ) و یا گسیل پوزیترون یا گیراندازی یک الکترون اتمی (واپاشی  $\beta^+$ ) و یا واپاشی  $\gamma$  که به صورت گسیل امواج الکترومغناطیسی می‌باشد.

ذره	علامت اختصاری	بار	عدد جرمی	جرم (بر حسب واحد جرم اتمی $u$ )
آلفا	$\alpha$	+۲	۴	۴/۰۰۲۶۰۴
پروتون	P	+۱	۱	۱/۰۰۷۸۲۵
نوترون	N	۰	۱	۱/۰۰۸۶۶۵
الکترون (بتا)	$e^-, \beta^-$	-۱	۱/۱۸۴۰	۰/۰۰۰۵۴۹
پوزیترون	$e^+, \beta^+$	+۱	۱/۱۸۴۰	۰/۰۰۰۵۴۹
پرتو گاما	$\gamma$	۰	۰	۰

جدول ۱-۱ مشخصات پرتوهای هسته‌ای

اکتیویته یک ماده رادیواکتیو عبارتست از تعداد واپاشی‌ها در واحد زمان که اندازه‌گیری آن با استفاده از جریان یونشی است که تابش‌های گسیل شده در گاز ایجاد می‌کنند و یا از طریق شمارش ذرات منفردی است که توسط ماده گسیل می‌شوند رادرفورد و سادی دریافتند که می‌توان یک احتمال واپاشی ثابت در واحد زمان یا آهنگ واپاشی  $\lambda$  را برای اتم‌های یک ماده رادیواکتیو تعریف کرد که مشخصه آن ماده می‌باشد

و بستگی به حالت شیمیایی یا فیزیکی مثل دما، فشار، غلظت یا سن و هر شرایط خارجی ندارد طوری که برای تعداد بسیار زیادی از اتم‌های رادیواکتیو، پس از یک زمان  $T_{1/2}$  که به آن نیمه‌عمر می‌گوییم، این تعداد اتم‌ها تقریباً نصف می‌شوند و این نیز مشخصه ماده رادیواکتیو مورد نظر است.

اگر  $N(t)$  تعداد اتم‌های رادیواکتیو در زمان  $t$  باشد، میزان کاهش این تعداد در بازه زمانی  $dt$ ، یا  $-dN(t)$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$-dN(t) = \lambda N(t)dt \quad (3-1)$$

با انتگرال‌گیری داریم :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (4-1)$$

که در رابطه فوق  $N_0$  تعداد اتم‌های رادیواکتیو در زمان دلخواه  $T_0$  است که این زمان برای سادگی معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود. مشخصه زمانی ماده رادیواکتیو، عمر میانگین آن ماده می‌باشد که با رابطه زیر داده می‌شود :

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \lambda N(t) dt}{N_0} = \frac{1}{\lambda} \quad (5-1)$$

از رابطه (۳-۱) داریم :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (6-1)$$

نیمه عمر به ثابت واپاشی  $\lambda$  و یا عمر میانگین  $T$  مرتبط می‌شود. داریم :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 \quad (7-1)$$

### ۱-۱-۳- واپاشی آلفا:

در واپاشی آلفا یک ذره آلفا به وسیله یک هسته مادر  ${}^A_Z X$  گسیل می‌شود و هسته مادر، خود به یک هسته دختر  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$  تبدیل می‌شود.

<sup>1</sup>.Alpha decay





هسته دختر، اغلب در حالت برانگیخته تولید می‌شود و در این مورد چشمه رادیواکتیو تنها ذرات آلفا با انرژی مشخص گسیل می‌کند. این هسته‌های دختر تولید شده در حالت برانگیخته ممکن است با گسیل اشعه گاما به حالت پایه بازگردند، در این مورد یک چشمه رادیواکتیو، ذرات آلفا را با یک طیف گسسته گسیل می‌دارد.

وپاشی آلفا تنها زمانی به وقوع می‌پیوندد که از نقطه نظر انرژی مجاز به شمار آید (اگر از اختلاف‌های ناچیز در انرژی‌های بستگی الکترون‌ها در اتم مادر، اتم دختر و در  ${}^4_2\text{He}$  چشم‌پوشی کنیم) تنها اگر جرم اتم مادر  $M(Z,A)$  بزرگتر از مجموع جرم‌های اتم دختر،  $M(Z-2, A-4)$  و اتم  ${}^4_2\text{He}$ ،  $M({}^4_2\text{He})$  باشد و یا به بیان دیگر مقدار  $Q$  واکنش مثبت بوده و واکنش انرژی‌زا باشد.

$$Q_\alpha = [M(Z,A) - M(Z-2, A-4) - M({}^4_2\text{He})]C^2 > 0 \quad (9-1)$$

که در رابطه فوق  $C$  سرعت نور در خلاء است.

گرچه مقدار  $Q$  برای گسیل  $\alpha$  برای هسته‌های با  $A \geq 104$  مثبت است، برای سال‌های متمادی سبک‌ترین گسیلنده طبیعی  $\alpha$  را  ${}^{210}\text{Po}$  می‌دانستند که نیمه‌عمر آن  $T_{1/2} = 138 \text{ day}$  می‌باشد و مقدار  $Q$  برای وپاشی  $\alpha$  حدود  $5.4 \text{ Mev}$  است. این امر به خاطر این است که برای گسیل  $\alpha$ ، این ذره باید از سد پتانسیل بگذرد و در مورد هسته‌های سنگین، این ذره  $\alpha$  می‌تواند با احتمال غیرقابل چشم‌پوشی از سد عبور کند، تنها اگر ذره آلفا حداقل چند  $\text{Mev}$  انرژی داشته باشد.

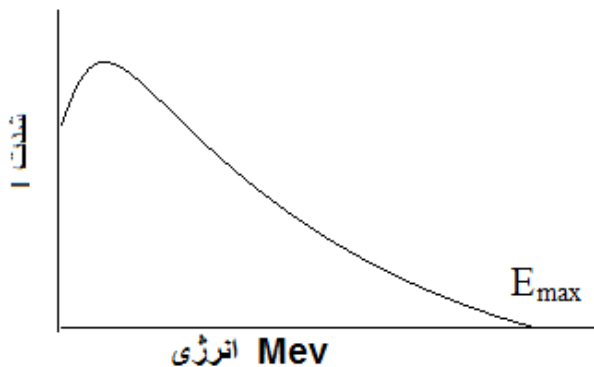
انرژی ذرات آلفا بین  $4-10 \text{ Mev}$  تغییر می‌کند و سرعت اولیه آن‌ها هنگام خروج از هسته  $10^9 \times 1/4 - 10^9 \times 2/2$  سانتیمتر بر ثانیه است. برد آن‌ها در هوای صفر درجه و فشار یک جو  $0.3 - 8/6$  سانتیمتر می‌باشد و برد آن در بافت بدن در حدود چند میکرون است بنابراین پرتو آلفا توسط طبقه شاخی پوست (ضخامت چند میکرون) جذب می‌شود. در نتیجه از لحاظ حفاظت پرتو آلفا به عنوان یک چشمه خارجی خطری در بر ندارد یعنی از پوست سالم نمی‌تواند به بدن نفوذ کند. یونسازی مخصوص پرتو آلفا در ابتدای مسیر به علت زیاد بودن سرعت ذره، کم بوده و به تدریج که سرعت ذره آلفا کم شود یونسازی مخصوص آن افزایش می‌یابد و در آخر مسیر ذره آلفا ابتدا با گرفتن یک الکترون و سپس با گرفتن الکترون دیگر به هسته

هلیوم تبدیل شده و اتم خنثی می‌شود. در آخر مسیر یونسازی مخصوص ذرات آلفا به صفر تنزل پیدا می‌کند. منحنی یونسازی مخصوص ذرات آلفا در هوا به منحنی براگ<sup>۱</sup> معروف است. نظر به جرم و بار زیاد این ذرات برد آن‌ها کوتاه است لذا یک ورقه نازک از کاغذ هم قادر است تمام پرتو آلفا حاصل از یک منبع را جذب کند.

### ۱-۱-۴- واپاشی بتا<sup>۲</sup>:

چنانچه هسته در حالت تحریک انرژی کافی برای گسیل ذره آلفا با انرژی ۴-۱۰ Mev را نداشته باشد از طریق واپاشی بتا به پایداری می‌رسد و نتیجه آن تبدیل یکی از پروتون‌ها به نوترون و یا یکی از نوترون‌ها به پروتون است. واپاشی بتا دارای مشخصاتی است که آن را از واپاشی آلفا متمایز می‌کند. از جمله اینکه:

- ذرات بتا دارای طیف انرژی پیوسته‌ای هستند که از صفر تا مقدار ماکزیمم تغییر می‌کند. (نمودار ۱-۱)
- حدود انرژی‌هایی که در ذرات بتا دیده می‌شود از ۰/۰۲ - ۳ Mev متغیر است بنابراین پراثری ترین ذرات بتا انرژی بسیار کمتری از کم‌انرژی ترین ذرات آلفا دارند.
- ذره‌های بتا از اجزای سازنده هسته اتم نمی‌باشند. بنابراین گسیل آن‌ها خود نتیجه یک تغییر و تحول نوکلئونی است که در داخل هسته انجام می‌گیرد.



شکل ۱-۱ نمونه بیناب پیوسته انرژی برای یک گسیلنده بتا

<sup>۱</sup>. Bragg curve

<sup>۲</sup>. Beta Decay

برد ذرات بتا در هوا در حدود چندین سانتی‌متر تا حدود متر می‌باشد ولی در آب یا بافت در حدود چند میلی‌متر است. از نظر حفاظت پرتو یک خطر خارجی محسوب می‌شود زیرا در برخورد با ماده می‌تواند اشعه ایکس به وجود آورد که این پرتو به راحتی از طبقات خارجی پوست می‌گذرد و اندام‌های حساس به پرتو را تحت تابش قرار می‌دهد. خاصیت یونسازی پرتو بتا به مراتب کمتر از آلفاست یعنی به طور متوسط در حدود ۱۰۰ مرتبه کمتر از پرتو آلفا می‌باشد. بالعکس برد یا قدرت نفوذ آن به طور متوسط ۱۰۰ برابر بیشتر از پرتو آلفا است. یک ورقه آلومینیوم به ضخامت یک میلی‌متر به خوبی می‌تواند پرتو بتا را متوقف سازد.

### برد ذرات بتا

از آنجا که ذرات بتا هنگام از دست دادن انرژی دچار انحرافات فراوان می‌شوند، تعیین یک برد مشخص برای بتای با انرژی خاص مشکل است. در شکل ۱-۲ تغییرات تعداد ذرات بتا بر حسب برد آن‌ها ( $\text{gr/cm}^2$ ) ترسیم شده است. به دلیل وجود پرتوهای زمینه این مقدار صفر نمی‌شود، می‌توان به جای برد واقعی ذرات بتا از برد برون‌یابی شده استفاده کرد. اگر برد مانند شکل ۱-۲ برون‌یابی شود برای محتمل‌ترین انرژی بتا:

$$E_p = \frac{1}{3} E_{\max} \quad (10 - 1)$$

شدت تابش، تابع منحنی نمایی است:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (11 - 1)$$

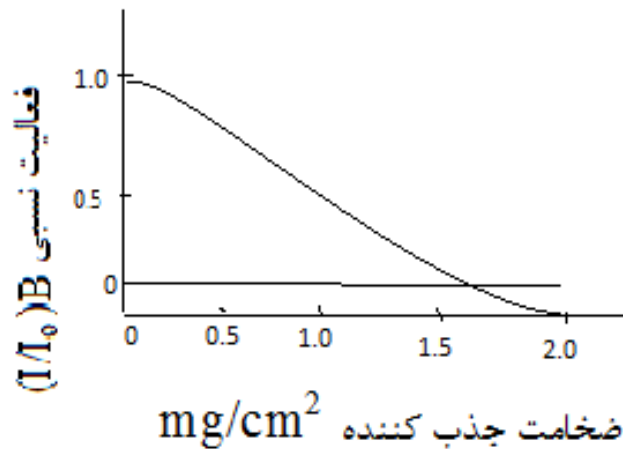
که در آن  $\mu$  ضریب جذب خطی است و دارای بعد عکس سانتی‌متر می‌باشد. ضریب جذب جرمی را می‌توان چنین تعریف کرد:

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (12 - 1)$$

در این صورت معادله مربوط به شدت تابش به صورت زیر در می‌آید:

$$I = I_0 e^{-\mu_m d} \quad (13 - 1)$$

که در آن  $d$  ضخامت جذب کننده بر حسب  $\text{mg/cm}^2$  است.



شکل ۱-۲ منحنی جذب برای یک ذره بتای منفرد

به مقدار ضخامتی از ماده جذب که بتواند نیمی از ذرات چشمه را متوقف کند، نیم ضخامت جذب کننده می‌گویند.

$$d_{1/2} = 45E^{1/5} \quad (14 - 1)$$

که در این رابطه  $E$  مربوط به انرژی بیشینه‌ی بتا بر حسب Mev بوده و  $d_{1/2}$  نیم ضخامت بر حسب  $(\text{mg}/\text{cm}^2)$  می‌باشد.

برد ذرات بتا با انرژی کمتر از  $2.5\text{Mev}$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$R = 412E^{(1.265 - 0.0954\text{Ln}E)} \quad (15 - 1)$$

در این رابطه  $E$  انرژی بر حسب Mev و  $R$  برد بر حسب  $(\text{mg}/\text{cm}^2)$  می‌باشد.

فرایندهایی که ذره بتا به وسیله آنها با ماده برهمکنش انجام می‌دهد عبارتند از:

- برخورد الاستیک (اثر پس پراکندگی)
- تبدیل انرژی. جرم به صورت یک الکترون و پوزیترون تبدیل به تابش می‌شود، در نتیجه دو فوتون در جهات مخالف گسیل می‌شوند.
- برخورد غیر الاستیک (یونش و برانگیختگی). این فرایند معمولاً در بتاهایی با انرژی 1 Mev یا کمتر فرایند غالب است.