



گروه فیزیک

عنوان پایان نامه

محاسبه ی مشخصه های دوزیمتری سیستم های پرتودهی
گامای مدل ظرفی (Tote-box) بر اساس روش کرنل نقطه ای

توسط :

معصومه حیدری

اساتید راهنما :

دکتر غلامرضا رئیس علی

دکتر سعید حمیدی

استاد مشاور :

مهندس منیره شریف زاده

دانشگاه اراک

بهمن 1388

تقدیم به

مادرم

که مهر را به من آموخت؛

و

پدرم

که همه خوبی ها را برای او می خواهم...

تقدیر و تشکر

سپاس بی پایان پروردگاری را که شایسته ی پرستش است و بی نیاز از آن.

از زحمات بی دریغ استاد بزرگوار و عزیزم جناب آقای دکتر غلامرضا رئیس علی که در تمامی مراحل انجام این تحقیق با راهنمایی ها و دلگرمی هایشان همراه و پشتیبان من بوده اند، صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری می نمایم. همچنین از ایشان به خاطر فراهم نمودن امکانات و شرایط مناسب جهت پیشبرد این تحقیق کمال تشکر را دارم.

از حمایت ها و راهنمایی های استاد ارجمند و عزیزم جناب آقای دکتر سعید حمیدی در طول انجام این تحقیق نهایت سپاسگزاری و تشکر را دارم.

از دوست بسیار عزیزم خانم مهندس وحیده عطائی نیا که در بسیاری از مراحل انجام این تحقیق مرا راهنمایی کردند، سپاسگزارم.

از همکاران محترم آزمایشگاه محیط زیست پژوهشکده ی کاربرد پرتوها در سازمان انرژی اتمی، آقای مهندس فتحی وند و آقای بطحایی و دوستان عزیزم خانم صدیقه کاشیان و خانم سولماز تقوی کنی به خاطر راهنمایی ها و تشویق هایشان متشکرم.

از دوستان خوبم خانم مهندس پریسا فرید کیا و آقای ماجدی به خاطر همکاری و راهنمایی هایشان سپاسگزارم.

از جناب آقای مهندس آذرباد و کلیه ی همکاران محترم در پژوهشکده کاربرد پرتوهای سازمان انرژی اتمی که به فراهم شدن امکانات و شرایط مناسب جهت پیشرفت این تحقیق، کمک کرده اند، متشکرم.

همچنین از تمامی معلمانی که درسی به من آموختند، کمال امتنان و تواضع را دارم.

و در نهایت قدردان زحمات بی دریغ خواهر مهربانم و همسر بزرگوار ایشان، می باشم.

چکیده

محاسبه ی مشخصه های دوزیمتری سیستم های پرتودهی گامای مدل ظرفی (Tote-box) بر اساس روش کرنل نقطه ای

توسط:

معصومه حیدری

در حال حاضر سیستم پرتودهی IR-136 مدل قفسه ای در پژوهشکده کاربرد پرتوهای سازمان انرژی اتمی ایران، در حال بهره برداری در زمینه پرتو فرآوری انواع محصولات مورد نیاز کشور می باشد و اخیراً طراحی و ساخت سیستم های مشابه جهت توسعه این صنعت در کشور مد نظر قرار گرفته است.

با توجه به دسترسی به کامپیوترهای پر سرعت و کدهای کامپیوتری از جمله کد MCNP، از روش مونت کارلو به منظور شبیه سازی ترابرد پرتوها در سیستم های پرتودهی استفاده می شود. معهداً با توجه به زمان بر بودن روش مونت کارلو، انجام محاسبات مکرر مورد نیاز در طراحی سیستم های پرتودهی عملاً با مشکل مواجه است. از اینرو دسترسی به برنامه های کامپیوتری که محاسبات را با سرعت بیشتری انجام دهند، اجتناب ناپذیر می باشد.

در این پروژه، محاسبات توزیع دوز و تعیین مشخصه های سیستم های پرتودهی گامای مدل ظرفی (Tote-box)، در قالب تدوین و به کارگیری یک برنامه کامپیوتری جامع با روش کرنل نقطه ای انجام شده است. در این روش میله های چشمه سیستم پرتودهی به اجزای کوچکتری تقسیم می شوند و با برهم نهی سهم دوز ناشی از هر یک از این اجزاء که به عنوان چشمه نقطه ای در نظر گرفته می شوند، توزیع دوز در سیستم پرتودهی و در نهایت دوز جمعی و مشخصات سیستم پرتودهی، شامل نرخ تولید، کارایی و نسبت یکنواختی محاسبه می شوند. به منظور ارزیابی اعتبار عملکرد برنامه تدوین شده، نتایج حاصل از آن با نتایج کد MCNP برای یک سیستم پرتودهی مدل ظرفی در حال طراحی و نتایج اندازه گیری تجربی و محاسباتی در سیستم IR-136 مقایسه شده است. با توجه به توافق بسیار خوب نتایج، می توان برنامه ی تدوین شده را قابل اطمینان دانست و از آن در طراحی سیستم های پرتودهی مدل ظرفی و نوع قفسه ای استفاده کرد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
الف	فهرست جدول ها.....
ب	فهرست شکل ها.....
1	فصل اول: مقدمه.....
2	1-1- تابش.....
5	2-1- پرتو فرآوری.....
7	3-1- سیستم های پرتودهی گاما.....
8	1-3-1- منابع تابش گاما.....
11	2-3-1- مشخصه های دوزیمتری سیستم های پرتودهی.....
14	3-3-1- طبقه بندی سیستم های پرتودهی گاما.....
23	4-3-1- مروری بر سیستم های پرتودهی گاما در دنیا.....
27	4-1- بیان موضوع و اهداف تحقیق.....
29	فصل دوم: روش های محاسبه دوز جذبی در کاربردهای پرتو فرآوری.....
30	1-2- معرفی روش های موجود و انتخاب روش مناسب.....
31	1-1-2- روش مونت کارلو.....
32	2-1-2- روش قطعی.....
33	3-1-2- روش تجربی.....
34	4-1-2- روش نیمه تجربی.....
35	2-2- بررسی سوابق استفاده از روش های ریاضی در کاربردهای پرتو فرآوری.....
36	1-2-2- سوابق استفاده از روش مونت کارلو.....
37	2-2-2- سوابق استفاده از روش قطعی (کرنل نقطه ای).....
41	فصل سوم: تدوین برنامه کامپیوتری TOTGID.....
42	1-3- معرفی برنامه ی کامپیوتری TOTGID.....
44	2-3- محاسبه ی آهنگ دوز جذبی بر اساس روش کرنل نقطه ای.....
47	3-3- محاسبه ی آهنگ دوز جذبی توسط برنامه ی TOTGID.....

48	..... 1-3-3 محاسبه ی طول مسیر طی شده توسط پرتو.....
52	..... 2-3-3 محاسبه ی ضرایب انباشت ناشی از یک چشمه ی نقطه ای همسانگرد در محیط بینهایت آب.....
60	..... 3-3-3 محاسبه ی ضریب تضعیف موثر آلومینیوم.....
64	..... 4-3-3 محاسبه ی ضریب خودجذبی چشمه.....
70	..... 5-3-3 محاسبه ی دوز جذبی جمعی در محصول مورد پرتودهی.....
71	..... 4-3-3 بررسی اثر دیوار حفاظ بتونی پرتو در میزان دوز جذبی.....
77	فصل چهارم: ارزیابی مقایسه ای و اعتبار سنجی برنامه TOTGID
	..... 1-4-1 مقایسه ی نتایج حاصل از برنامه ی TOTGID با نتایج کد MCNP برای یک
78	..... سیستم پرتودهی گاما- مدل ظرفی.....
	..... 2-4-2 بررسی تأثیر خودجذبی در چشمه و تأثیر دیواره های آلومینیومی بر مشخصه های
99	..... دوزیمتری سیستم پرتودهی مدل ظرفی.....
	..... 3-4-3 مقایسه ی نتایج حاصل از برنامه ی TOTGID با نتایج برنامه ی DOSMAP و
101	..... گزارش شرکت سازنده ی سیستم پرتودهی IR-136.....
	..... 4-4-4 بررسی توزیع دوز در محصولاتی که تمام فضای جعبه را پر نمی کنند با استفاده از
104	..... برنامه ی کامپیوتری TOTGID.....
107	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
107	..... 1-5-1 نتیجه گیری.....
109	..... 2-5-2 پیشنهادات.....
111	پیوست ها
113	..... پیوست الف: مقاله ی ارائه شده به شانزدهمین کنفرانس هسته ای ایران.....
	..... پیوست ب: نمونه ی برنامه ی نوشته شده با کد MCNP جهت محاسبه ی ضریب تضعیف موثر
120	..... آلومینیوم.....
	..... پیوست ج: نمونه ی برنامه ی نوشته شده با کد MCNP جهت محاسبه ی ضریب خودجذبی
122	..... چشمه.....
	..... پیوست د: برنامه ی نوشته شده با کد MCNP برای بررسی اثر دیوار حفاظ پرتو در میزان دوز
129	..... جذبی.....
131	..... پیوست ه: برنامه ی کامپیوتری TOTGID.....
145	مراجع

فهرست جدول ها

صفحه

جدول

فصل سوم

48	جدول 1-3- مقادیر درون یابی شده ی ضرایب جذب انرژی جرمی و ضرایب تضعیف جرمی آب برای انرژی های 1/17 و 1/33 مگا الکترون ولت.....
54	جدول 2-3- مقادیر درون یابی شده ضرایب انباشت برای انرژی های 1/17 و 1/33 مگا الکترون ولت...
60	جدول 3-3- پارامترهای برازش برای محاسبه ی ضرایب انباشت به ازای انرژی های 1/17 و 1/33 مگا الکترون ولت.....
62	جدول 4-3- اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ی ضریب تضعیف موثر آلومینیوم به دست آمده از کد MCNP.....
64	جدول 5-3- ضریب تضعیف جرمی موثر آلومینیوم برای انرژی های 1/17 و 1/33 مگا الکترون ولت.....
67	جدول 6-3- مواد تشکیل دهنده زیرکالوی 4 و فولاد ضد زنگ بر حسب در صد وزنی.....
68	جدول 7-3- میزان دوز جذبی در سلول های مختلف، در دو حالتی که چشمه پر و یا خالی از ماده باشد.....
70	جدول 8-3- ضریب خود جذبی چشمه مدل C-188 برای انرژی های 1/17 و 1/33 مگا الکترون ولت..
74	جدول 9-3- مقادیر دوز غیر برخورداری و دوز کلی در سلول های مختلف برای بررسی اثر دیوار حفاظ پرتو.....

فصل چهارم

86	جدول 1-4- مقایسه نتایج به دست آمده از برنامه ی TOTGID و کد MCNP برای سیستم پرتودهی مورد طراحی
99	جدول 2-4- مقایسه مشخصه های دوزیمتری سیستم پرتودهی مدل ظرفی برای بررسی تأثیر خودجذبی چشمه و دیواره های آلومینیومی بر میزان مشخصه های دوزیمتری.....
103	جدول 3-4- مقایسه مشخصه های عملکردی سیستم پرتودهی IR136 به دست آمده از برنامه ی TOTGID، برنامه ی DOSMAP و گزارش شرکت سازنده آن.....

فهرست شکل ها

صفحه

شکل

فصل اول

- شکل 1-1-1-1 منحنی عبور نمایی پرتوهای گاما تحت شرایط هندسی خوب..... 4
- شکل 1-2-1 شمایی از سازوکار واپاشی رادیو ایزوتوپ های: الف) سزیم ب) کبالت..... 9
- شکل 1-3-1 شمایی از یک چشمه ی کبالت-60..... 10
- شکل 1-4-1 منحنی های همدوز در صفحه ای عمود بر صفحه چشمه یک سیستم پرتودهی نمونه..... 12
- شکل 1-5-1 سیستم پرتودهی درون کار گاماسل-220 در حال بهره برداری در پژوهشکده ی کاربرد پرتوها در سازمان انرژی اتمی ایران..... 15
- شکل 1-6-1 انواع سیستم های پرتودهی پانوراما..... 17
- شکل 1-7-1 منحنی های عمق- دوز در یک محصول که از دو طرف پرتودهی شده است..... 19
- شکل 1-8-1 حرکت پیوسته کارتن های محصول در یک سیستم پانوراما..... 20
- شکل 1-9-1 طرحی از یک سیستم پرتودهی یکجا..... 21
- شکل 1-10-1 سیستم های پرتودهی: الف) محصول پوشاننده چشمه، ب) چشمه پوشاننده محصول..... 23
- شکل 1-11-1 چیدمان سیستم پرتودهی Mega Gamma I..... 26

فصل دوم

- شکل 1-2-1 چیدمان اساسی پرتودهنده هایی که کد FUGI می تواند مدل سازی کند..... 39

فصل سوم

- شکل 1-3-1 مراحل انجام محاسبات در برنامه ی کامپیوتری TOTGID..... 43
- شکل 2-3-2 نمایش برخورد یک خط با صفحات مکعب مستطیل..... 50
- شکل 3-3-3 شمایی از عبور پرتو از دیواره های آلومینیومی یک ظرف..... 51
- شکل 3-4-4 منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه ی $0 \leq \mu t \leq 1$ برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 55
- شکل 3-5-5 منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه ی $0 \leq \mu t \leq 1$ برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 55
- شکل 3-6-6 منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه ی $1 < \mu t \leq 4$ برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 56
- شکل 3-7-7 منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه ی $1 < \mu t \leq 4$ برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 56

- شکل 3-8- منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه $4 < \mu t \leq 7$ برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 57
- شکل 3-9- منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه $4 < \mu t \leq 7$ برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 57
- شکل 3-10- منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه $7 < \mu t \leq 15$ برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 58
- شکل 3-11- منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه $7 < \mu t \leq 15$ برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 58
- شکل 3-12- منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه $15 < \mu t \leq 40$ برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 59
- شکل 3-13- منحنی برازش شده به ضرایب انباشت در بازه $15 < \mu t \leq 40$ برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 59
- شکل 3-14- نمایی از پوسته های کروی خلأ (دایره های سفید) درون کره ای از جنس آلومینیوم..... 61
- شکل 3-15- منحنی برازش شده جهت محاسبه ی ضریب تضعیف آلومینیوم برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 63
- شکل 3-16- منحنی برازش شده جهت محاسبه ی ضریب تضعیف آلومینیوم برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 63
- شکل 3-17- قسمتهای مختلف میله چشمه مدل C-188 به کار رفته در سیستم پرتودهی IR-136..... 65
- شکل 3-18- نمایش زاویه ی بین نقطه ی دوزیمتری و محور چشمه در یک زیر چشمه ی فرضی..... 66
- شکل 3-19- موقعیت زیر چشمه در مرکز پوسته ی استوانه ای..... 67
- شکل 3-20- منحنی برازش شده جهت محاسبه ی $\mu_{\text{eff-self}}$ برای انرژی 1/17 مگا الکترون ولت..... 69
- شکل 3-21- منحنی برازش شده جهت محاسبه ی $\mu_{\text{eff-self}}$ برای انرژی 1/33 مگا الکترون ولت..... 69
- شکل 3-22- نمایی از الف) هندسه کلی مسئله، ب) دو پوسته ی نازک دوزیمتری..... 73

فصل چهارم

- شکل 4-1- نمایی از ظرف های محصول در طبقه الف) بالایی و ب) زیرین سیستم پرتودهی با پیکربندی $NX=6, NY=11, NZ=2$ 79
- شکل 4-2- چشمه ی کبالت 60 شبیه سازی شده با برنامه TOTGID تشکیل شده از دو مودول که هر کدام حاوی 28 میله چشمه فعال از نوع C-188 می باشند..... 80
- شکل 4-3- الف) مکان دوزیمترها در صفحه میانی جعبه ی محصول، ب) موقعیت مرکز چشمه نسبت به ظرف ها در راستای قائم..... 81
- شکل 4-4- منحنی های همدوز مربوط به الف) صفحه میانی و ب) صفحات جانبی یک جعبه با ابعاد $44/5 \times 44/5 \times 89 \text{cm}^3$ و با چگالی $0/05 \text{ g/cm}^3$ به دست آمده از برنامه ی TOTGID..... 82

- شکل 4-5- منحنی های همدوز مربوط به الف) صفحه میانی و ب) صفحات جانبی یک جعبه با ابعاد $44/5 \times 44/5 \times 89 \text{ cm}^3$ و با چگالی $0/1 \text{ g/cm}^3$ به دست آمده از برنامه ی TOTGID 83
- شکل 4-6- منحنی های هم دوز مربوط به الف) صفحه میانی و ب) صفحات جانبی یک جعبه با ابعاد $44/5 \times 44/5 \times 89 \text{ cm}^3$ و با چگالی $0/2 \text{ g/cm}^3$ به دست آمده از برنامه ی TOTGID 84
- شکل 4-7- منحنی های هم دوز مربوط به الف) صفحه میانی و ب) صفحات جانبی یک جعبه با ابعاد $44/5 \times 44/5 \times 89 \text{ cm}^3$ و با چگالی $0/3 \text{ g/cm}^3$ به دست آمده از برنامه ی TOTGID 85
- شکل 4-8- مقایسه ی نسبت یکنواختی به ازای چگالی محصولات، محاسبه شده توسط برنامه ی TOTGID و کد MCNP 87
- شکل 4-9- مقایسه دوز کمینه به ازای چگالی محصولات، محاسبه شده توسط برنامه TOTGID و کد MCNP 88
- شکل 4-10- توزیع دوز جذبی در مرکز هر جعبه در امتداد مسیرهای 1، 5 و 9 برای چگالی $0/05 \text{ g/cm}^3$ 89
- شکل 4-11- توزیع دوز جذبی در مرکز هر جعبه در امتداد مسیرهای 1، 5 و 9 برای چگالی $0/3 \text{ g/cm}^3$ 91
- شکل 4-12- مقایسه ی توزیع دوز جذبی در مرکز هر جعبه در امتداد مسیر 1 برای چگالی های $0/05 \text{ g/cm}^3$ و $0/3 \text{ g/cm}^3$ 91
- شکل 4-13- مقایسه ی توزیع دوز جذبی در مرکز هر جعبه در امتداد مسیر 5 برای چگالی های $0/05 \text{ g/cm}^3$ و $0/3 \text{ g/cm}^3$ 93
- شکل 4-14- مقایسه ی توزیع دوز جذبی در مرکز هر جعبه در امتداد مسیر 9 برای چگالی های $0/05 \text{ g/cm}^3$ و $0/3 \text{ g/cm}^3$ 93
- شکل 4-15- سهم مسیرهای مختلف در میزان دوز جمعی در مرکز جعبه ی محصول با چگالی $0/05 \text{ g/cm}^3$ 94
- شکل 4-16- سهم مسیرهای مختلف در میزان دوز جمعی در مرکز جعبه ی محصول با چگالی $0/3 \text{ g/cm}^3$ 94
- شکل 4-17- دوز جمعی بر حسب $\text{Gy}/100\text{kCi}/\text{min}$ در امتداد مسیرهای مختلف سیستم پرتودهی مدل ظرفی در مرکز جعبه ها، برای چگالی $0/05 \text{ g/cm}^3$ 95
- شکل 4-18- دوز جمعی بر حسب $\text{Gy}/100\text{kCi}/\text{min}$ در امتداد مسیرهای مختلف سیستم پرتودهی مدل ظرفی در مرکز جعبه ها، برای چگالی $0/1 \text{ g/cm}^3$ 96
- شکل 4-19- دوز جمعی بر حسب $\text{Gy}/100\text{kCi}/\text{min}$ در امتداد مسیرهای مختلف سیستم پرتودهی مدل ظرفی در مرکز جعبه ها، برای چگالی $0/2 \text{ g/cm}^3$ 98
- شکل 4-20- دوز جمعی بر حسب $\text{Gy}/100\text{kCi}/\text{min}$ در امتداد مسیرهای مختلف سیستم پرتودهی مدل ظرفی در مرکز جعبه ها، برای چگالی $0/3 \text{ g/cm}^3$ 98
- شکل 4-21- مقایسه میزان دوز جذبی جمعی در مرکز جعبه در انتهای طبقات و ردیف های برای بررسی میزان خود جذبی در چشمه 100
- شکل 4-22- مقایسه میزان دوز جذبی جمعی در مرکز جعبه در انتهای مسیرهای مختلف برای بررسی تأثیر دیواره های آلومینیومی بر میزان دوز جذبی 100

- شکل 4-23- الف) نمایی از موقعیت قفسه های آلومینیومی در مسیرهای مختلف سیستم پرتودهی IR-136 (ب) موقعیت جعبه های محصول در طبقات مختلف قفسه های آلومینیومی سیستم پرتودهی IR-136..... 102
- شکل 4-24- منحنی های همدوز به دست آمده از برنامه ی کامپیوتری TOTGID برای بررسی اثر نایکنواختی چگالی محصولات در سیستم پرتودهی IR-136..... 105
- شکل 4-25- منحنی های همدوز به دست آمده از الف) کد MCNP ، ب) دوزیمتری تجربی با استفاده از دوزیمترهای پرسپکس شفاف؛ برای بررسی اثر نایکنواختی چگالی محصولات در سیستم پرتودهی IR-136..... 106

فصل اول

مقدمه

شروع کاربرد پرتوها به اواخر قرن 19 میلادی، پس از کشف اشعه ی ایکس توسط رونتگن بر می گردد. کاربرد پرتوها به طور گسترده و موفقیت آمیزی در پزشکی، صنعت، کشاورزی و بخش های تحقیقاتی دیده می شود. به طور مثال در پزشکی برای درمان تومورهای سرطانی از نوترون و اشعه ی گاما و در رادیولوژی از اشعه ی ایکس استفاده می شود. یکی دیگر از کاربردهای پرتوها در زمینه ی پرتو فرآوری است. پرتو فرآوری (Radiation Processing) به منظور فرآوری و اصلاح مواد، کاهش ضایعات مخرب صنعتی و باز فرآوری پساب ها و ... استفاده می شود، که در ادامه ی این فصل با تفصیل بیشتری معرفی شده است. در این فصل، در ابتدا، مقدمه ای در مورد تابش و انواع آن آورده شده و در ادامه نیز به معرفی انواع مختلف

سیستم های پرتو دهی گاما و همچنین بررسی برخی از پرتو دهنده های موجود در دنیا پرداخته شده است.

1-1- تابش

تابش (Radiation)، یک لغت عمومی است که به انتقال انرژی در فضا اطلاق می شود و شامل امواج صوتی و طیف امواج الکترومغناطیسی می باشد. همه ی ذرات اتمی و زیر اتمی، به ویژه الکترون ها و نوترون ها نیز در خانواده ی وسیع انواع مختلف تابش لحاظ شده اند. تابش به دو دسته ی یونیزان و غیر یونیزان تقسیم می گردد. عبارت "تابش یونیزان" به اشعه ی ایکس، اشعه ی گاما و ذرات اتمی و زیر اتمی مانند الکترون، پوزیترون، پروتون، نوترون، آلفا و ... اطلاق می شود که قادرند الکترون ها را از اتم ها و مولکول های ماده جدا نموده و تولید یون کنند [Fairand, B., P., 2002]. تابش غیر یونیزان، تابش الکترومغناطیسی با طول موجی حدود 10 نانومتر یا بیشتر است. این بخش از طیف الکترومغناطیسی شامل امواج رادیویی، میکرو موج ها، نور مرئی و نور فرابنفش می باشد [Tsoulfanidis, N., 1995].

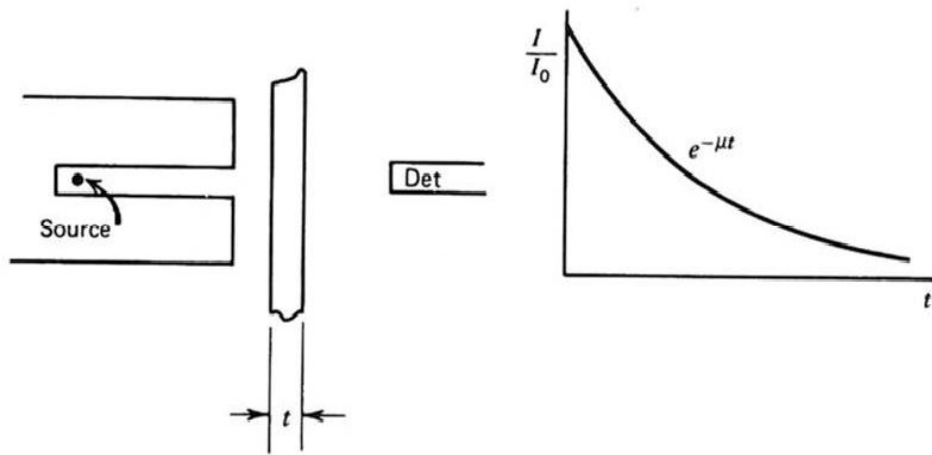
پرتوهای یونیزان به دو دسته ی کلی پرتوهای یونیزان مستقیم مانند ذرات باردار (الکترون و ذره آلفا) و یونیزان غیر مستقیم مانند ذرات بدون بار (فوتون و نوترون)، تقسیم می شوند. این پرتوها در برخورد با محیط های مادی سبب ایجاد یونیزاسیون و یا برانگیختگی اتم های محیط می شوند. پرتوهای یونیزان غیرمستقیم، سبب آزاد شدن الکترون ها و یا هسته های پس زده شده (Recolied) و ذرات باردار دیگری می شوند که این ذرات به نوبه ی خود، اتم های محیط مادی را یونیزه می کنند. عبارت برخورد برای پرتوهای یونیزان غیر مستقیم به فرآیندهایی اطلاق می شود که در آن انرژی و یا جهت پرتو و یا هر دو تغییر می یابد، در حالیکه در

پرتوهای یونیزان مستقیم، هر گونه اثر متقابل بین ذره ی باردار تابشی با الکترون و یا هسته ی اتم های محیط، به عنوان برخورد شناخته می شود.

پرتوهای یونیزان هنگام عبور از محیط مادی، با اتم ها و مولکول های آن محیط اندرکنش می کنند. یک ذره ی باردار به هنگام عبور از ماده، از طریق اندرکنش های کولنی با اتم های آن ماده، به طور پیوسته انرژی خود را از دست می دهد و سرانجام پس از طی فاصله معینی موسوم به "برد" می ایستد و انرژی آن جذب می شود. برد ذرات باردار به نوع و انرژی ذره و نیز ماده ای که ذره در آن حرکت می کند، بستگی دارد. احتمال اینکه ذره ی بارداری از یک ماده عبور کند و برهم کنشی انجام ندهد، عملاً صفر است. ذرات بدون باری مانند فوتون و نوترون نیز با محیط مادی اندرکنش دارند، اما احتمال غیر صفری وجود دارد که یک نوترون یا یک فوتون بدون هیچگونه برهمکنشی از هر ضخامت ماده ای عبور کند. بنابراین هیچ برد محدودی را نمی توان برای نوترون یا فوتون تعریف کرد [Tsoulfanidis, N., 1995]. در مورد فوتون ها (پرتوهای گاما)، با افزایش ضخامت جاذب فقط از شدت پرتو کاسته می شود و جذب کامل صورت نمی گیرد. اگر اندازه گیری تضعیف پرتو گاما در شرایط هندسی خوب (شکل 1-1)، یعنی با استفاده از یک باریکه ی تابشی باریک و کاملاً موازی انجام شود، در صورتی که پرتوی گاما تک انرژی باشد، یک منحنی نمایی حاصل خواهد شد که از قانون مشهور لامبرت-بیر (Beer-Lambert law) تبعیت می کند:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu t} \quad (1-1)$$

در رابطه (1-1)، t ضخامت ماده جاذب، I_0 شدت اولیه پرتو گاما و I شدت پرتو (بدون برخورد) بعد از عبور از ضخامت t است [Cember, H., 1983]. همچنین μ ضریب تضعیف خطی می باشد که به صورت احتمال اندرکنش در واحد طول تعریف می شود و واحد آن در SI، m^{-1} است.



شکل 1-1- منحنی عبور نمایی پرتوهای گاما تحت شرایط هندسی خوب [Knoll, G. F., 1980].

در ادامه، به منظور آشنایی با برخی مفاهیم و کمیات مورد استفاده در فصل های آتی این پایان نامه، به معرفی آن ها پرداخته می شود.

دوز جذبی: پرتوهای یونیزان در حین اندرکنش با اتم ها و مولکول های محیط مادی، تمام و یا بخشی از انرژی خود را از دست می دهند. میزان انرژی جذب شده در واحد جرم یک ماده مشخص (در یک حجم بسیار کوچک از آن ماده)، به عنوان دوز جذبی تعریف می شود.

$$D_a = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (2-1)$$

در رابطه ی (2-1) متوسط انرژی داده شده به جرم dm می باشد. در مورد دوز جذبی، ذرات باردار یا بدون باری که انرژی خود را در جرم dm به جا می گذارند، لزوماً در همان محل تولید نشده اند. واحد بین المللی دوز جذبی که امروزه به کار می رود گری است که برابر با 1 J/kg می باشد. واحد قدیمی دوز جذبی راد است که برابر با 100 erg/g می باشد. یک گری برابر با 100 راد است.

آهنگ دوز جذبی: میزان انرژی جذب شده در واحد جرم یک ماده مشخص (در یک حجم بسیار کوچک از آن ماده)، در واحد زمان، آهنگ دوز جذبی است. واحد آهنگ دوز جذبی گری بر ثانیه است و از رابطه ی (3-1) محاسبه می شود:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (3-1)$$

شار (ϕ): تعداد ذراتی که از واحد سطح در واحد زمان عبور می کنند شار نامیده می شود. واحد شار $m^{-2}s^{-1}$ است.

2-1- پرتو فرآوری

صنعت پرتو فرآوری در اوایل دهه ی 1960 میلادی معرفی گردید. در پرتو فرآوری، یک ماده یا محصول را برای محافظت، اصلاح و بهبود خواص آن مورد پرتو دهی قرار می دهند، به این صورت که محصول در بازه ی زمانی معینی در مجاورت یک منبع پرتو دهی، در معرض پرتوهای گسیل شده از چشمه قرار می گیرد. کسری از انرژی تابشی که به محصول می رسد، به وسیله آن جذب می شود. این مقدار به جرم، ترکیب ماده و همچنین مدت زمان پرتو دهی بستگی دارد. پرتوهای یونیزان می توانند خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مواد مورد تابش را اصلاح کنند و یا تغییر دهند. برای هر نوع خاصی از محصول، مقدار معینی از انرژی تابشی مورد نیاز است تا تأثیر دلخواه در آن ایجاد شود. در حال حاضر، کاربرد مهم صنعت پرتو فرآوری، شامل سترون سازی محصولات یکبار مصرف پزشکی، پرتو دهی مواد غذایی و محصولات کشاورزی، میکروب زدایی پساب ها و فاضلاب ها، بهبود مواد پلیمری و ... می باشد [IAEA, 2005, IAEA, 2002].

تمامی پرتو فرآوری ها به وسیله ی پرتوهای یونیزان انجام می شود که شامل پرتوهای گاما، الکترون های پر انرژی (عموماً بیشتر از 80 کیلو الکترون ولت) و پرتوهای ایکس تولید

شده از الکترون های پر انرژی (10-5 مگا الکترون ولت) می باشد [IAEA, 2005]. تمایز روشنی بین پرتوهای ایکس و گاما وجود ندارد و تنها از طریق منبع تولیدشان قابل شناسایی می باشند. پرتوهای گاما در گذارهای هسته ای و واپاشی عناصر رادیواکتیو گسیل می شوند، درحالیکه پرتوهای ایکس در پرتو فرآوری، از فرآیند تابش ترمزی در شتابدهنده های الکترونی تولید می شوند. اختلاف اصلی پرتوهای گاما و الکترون در قدرت نفوذ آن ها می باشد. الکترون ها برای محصولات با ضخامت کم کاربرد داشته و برای محصولات ضخیم (بیش از 4cm معادل آب) مناسب نیستند [IAEA, 2002]. بنابراین در مواردی که نفوذ کم پرتو و سرعت بالای نقاله مورد نیاز است، از باریکه های الکترونی استفاده می شود. در حالیکه، پرتوهای گاما و ایکس به دلیل قدرت نفوذ بالاتر، برای فرآیند پرتودهی محصولات ضخیم و چگال مورد استفاده قرار می گیرند.

گاما فرآوری، مزایای بسیاری نسبت به دیگر روش های فرآوری دارد. برای مثال، به برخی از مزایای استفاده از آن در پرتو فرآوری محصولات پزشکی اشاره می شود [IAEA, 2005]:

- 1) محصولات بلافاصله بعد از پرتودهی قابل استفاده هستند.
- 2) کمترین افزایش دما در محصولات در طول فرآیند پرتودهی صورت می گیرد.
- 3) به دلیل نفوذپذیری بالای پرتوهای گاما، محصولات به طور بسته بندی شده می توانند تحت عمل پرتودهی قرار بگیرند.
- 4) فرآیند بسیار دقیق و تجدید پذیر است.
- 5) کنترل فرآیند پرتودهی آسان است (فقط دوز کنترل می شود).

1-3- سیستم های پرتو دهی گاما

پرتوهای گاما در انتهای طیف امواج الکترومغناطیسی قرار گرفته اند. نامگذاری اشعه ی گاما ریشه ی هسته ای بودن آن را می رساند وگرنه هیچ اختلاف دیگری با سایر پرتوهای الکترومغناطیسی ندارد. این پرتوها، تابش های الکترومغناطیسی تک انرژی هستند که از هسته های برانگیخته ی حاصل از تبدیل پرتوزا گسیل می شوند. گسیل این پرتوها خود ساز و کاری است که توسط آن انرژی برانگیختگی هسته ها آزاد می شود [Cember, H, 1983]. انرژی پرتوهای گاما، به اندازه کافی بالا هست که بتواند پیوندهای مولکولی را بشکند و اتم ها را یونیزه کند، ولی نه آنقدر که بر ساختار هسته ی اتم ها تأثیر بگذارد. بنابراین تابش گاما می تواند خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مواد را بهبود بخشد، در حالیکه محصولات مورد پرتو دهی رادیواکتیو نمی شوند [IAEA, 2005].

نفوذ خیلی بیشتر اشعه ی گاما در مقابل الکترون ها و سادگی و اعتبار و موفقیت سیستم های پرتو دهی گاما نسبت به شتابدهنده های الکترونی، مشخصه ی جالب توجه این تکنولوژی است. از طرفی، تنها عامل مهم در تعیین میزان دوز جذب شده در محصول تحت تابش، زمان پرتو دهی است که همین امر استفاده و کارگردانی این نوع سیستم ها را آسان کرده است. اگر چه، استفاده از شتابدهنده های الکترونی صنعتی نیز افزایش یافته است و امروزه شتابدهنده های الکترونی می توانند به عنوان منابع تابش مؤثر، مشابه سیستم های پرتو دهی گاما، استفاده شوند، با این حال اکثر پرتو دهنده های موجود در دنیا از نوع پرتو دهنده های گاما می باشند که معمولاً از یک چشمه ی رادیواکتیو، محل نگهداری چشمه، سیستم حمل و نقل محصولات، حفاظ بیولوژیکی و انبارهای ورود و خروج کالا تشکیل شده اند [Fairand, B. P., 2002].