بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تفرش

گروه فیزیک

(با همکاری دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر)

پایان نامه کارشناسی ارشد

آماده سازی سیستم خوانشگر دزیمتر OSL و ارائه طرح کالیبراسیون سیستم دزیمتری OSL

استاد راهنمای اول :

دکتر حسین صادقی

استاد راهنمای دوم :

دکتر حمیدرضا دهقان پور

استاد مشاور :

مهندس حسین جهانبخش

دانشجو:

عاطفه آقایی

اسفند ۱۳۹۰

همّتم بدرقه ی راه کن ای طائر قدس

که دراز است ره مقصد و من، نو سفرم . . .

"خواجه شمس الدین محمّد، حافظ شیرازی"

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

به خاطر صبوری و مهربانی همیشگی شان

و تقدیم به:

همه ی کسانی که بر دینی که خداوند بر آنان قرار داد، گردن نهاده و عاشقانه رهسپار رمزگشایی این جهان با عظمت شدند

تا هر یک، جلوه ای از زیبایی های بی کرانش را با روح و جان آموخته

و صادقانه میان دیگران قسمت نمایند.

بایاد خداوندی که اوج محبّت دیگران، حضیض مهربانی های اوست . . .

سپاس می گویم پروردگارم را، که با علم بی منتهاودستان توانایش، نعمت زیبای "وجود" را، کریمانه به من هدیه نمودو در تک تک لحظه های بودنم، هربار به بهانه ای و با نشانه ای، راه های هدایتش را پیش رویم گشود، به امید این که روزی، این "وجود"، تجلّی گاه صفات عظیم و زیبایش گردد و در طول این مسیر دشوار، هیچ گاه مراقبت های مهربانانه و رحمت بیکرانش را از من دریغ ننمود، اگر چه گاهی نافرمان و ناسپاس بودم. و او را بسیار شاکرم که این بار بهانه ی زیبای هدایتش را برایم، کسب مرتبه ای از دانش، در علم عظیم فیزیک قرار داد تا عظمت وجودش را از این دریچه، نظاره گر باشم.

از خانواده ی عزیزم به خصوص پدر و مادر صبور و مهربانم سپاسگزارم که این بار نیز ماندند همیشه، با حمایت ها و محبّت های بی انتهایشان به من آرامش بخشیدند تا بتوانم این مسیر پرپیچ و خم را با قدم های محکم و مطمئن به پایان رسانم. هرچند وجود من برای آنان، همه رنج بوده ولی عاشقانه دوستشان دارم و امید دارم که دعای خیرشان همواره پشتوانه ام باشد.

در این جا بر خود لازم می دانم که از اساتید گرانقدر، جناب آقای دکتر حسین صادقی و جناب آقای دکتر حمیدرضا دهقان پور به خاطر حمایت ها و کمک های دلسوزانه و بی دریغشان سپاسگزاری نمایم چنان که با استفاده و کسب دانش در محضر این دو بزرگوار و بکارگیری رهنمودهایشان، پیمودن این مسیر دشوار، برایم آسان گشت.

همچنین سپاسگزار زحمت های بیشمار مشاور محترمم، جناب آقای مهندس حسین جهانبخش می باشم که با صبر و تحمّل فراوانشان از ابتدای این مسیر، قدم به قدم مرا همراهی نمودند و در تمام این مدت، هر آن چه را نمی دانستم صادقانه به من آموختند که اگر راهنمایی های ارزشمند ایشان نبود، بی شک رسیدن به این مقصود، برایم حاصل نمی شد.

هرچند قدردانی حقیقی از این اساتید برایم میسّر نیست ولی دوست دارم بدانند که یادشان تا همیشه در اندیشه هایم جاودانه خواهد ماند و راهی را که پیش رویم گشودند با جدیّت ادامه خواهم داد.

در انتها نیز از همکاری و همراهی آقای مهندس رضا طاهری در انجام این پروژه و همه ی دوستان عزیزی که مرا در این مدت یاری نمودند صمیمانه تشکر می نمایم.

چکیده

با توجه به کاربرد روزافزون پرتوهای هسته‌ای در بخش‌های مختلف پزشکی، کشاورزی، صنعت و هم‌چنین با توجه به دستیابی بشر به فضا، دزیمتری انواع پرتوها (گاما، نوترون، الکترون و یون‌های مثبت باردار) از جمله رکن‌های اساسی این‌گونه مباحث به شمار می‌رود. در هرکدام از زمینه‌های مذکور لازم است تا دزیمتری پرتوهای هسته‌ای به‌صورت پَسیو(تجمعی) یا آنلاین[1] انجام شود. سیستم دزیمتری OSL[2]، یکی از انواع دزیمترهایی می‌باشدکه با توجه به خواص منحصر به فرد خود در دو دهه‌ی گذشته در زمینه‌های مختلف توسعه یافته است.

در سیستم دزیمتری OSL ، دز ته‌نشست شده در یک کریستال (به‌عنوان نمونه $Al_2O_3:C$) که حاصل از تابش‌دهی توسط انواع پرتوها می‌باشد، به‌وسیله تحریک نوری توسط یک منبع نوری (مانند لیزر سبز) خوانده می‌شود.

سیستم دزیمتری OSL به منبع تغذیه با توان پایین (مناسب برای کاربردهای فضایی) نیاز داشته و می‌تواند علاوه بر تعیین دز تجمعی (در مد CW-OSL) ، نرخ دز لحظه‌ای (در مد P-OSL) را نیز مشخص کند. هم‌چنین در این دزیمتر، با توجه به این‌که امکان اتصال سیستم خوانش‌گر آن به کریستال دزیمتری با استفاده از فیبرنوری وجود دارد، امکان خوانش دز لحظه ای از راه دور[3] (مناسب برای کاربردهای رادیوتراپی) را نیز داراست.

دراین تحقیق، یک پایلوت آزمایشگاهی از یک سیستم دزیمتری OSL به منظور استفاده در دزیمتری رادیوتراپی از راه دور طراحی و ساخته شده است. در طراحی وساخت این دزیمتر، ملاحظات اپتیکی و الکترونیکی حذف نویز در نظر گرفته شده است.

با توجه به این‌که هر سیستم دزیمتری به‌منظور داشتن توانایی تعیین مقدار دز به‌صورت مطلق، احتیاج به طی مراحل کالیبراسیون دارد، طرح کالیبراسیون سیستم دزیمتری OSL بر مبنای طرح‌های کالیبراسیون موجود برای دزیمترهای ترمولومینسانس[4] ارائه شده است.

در گام نهایی با توجه به امکانات محدود موجود، از جمله کم بودن تعداد کریستال‌های مورد نیاز برای دزیمتری و هم-چنین بهینه نبودن سیستم شمارش‌گر سیگنال موجود، کالیبراسیون اولیه این سیستم دزیمتری برای دز درمانی بزرگتر از ۱Gy انجام شد. در نهایت مشخص شد سیستم دزیمتری OSL ساخته شده در ناحیه دزهای درمانی بزرگتر از ۱Gy کاملاً خطی می‌باشد.

[1] on-line
[2] Optically Stimulated Luminescence, OSL
[3] Remote
[4] Thermoluminescence, (TL)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱. بیان موضوع و اهداف اساسی ۱

۱-۲. تاریخچه‌ی کوتاهی از دزیمتری با تکنیک OSL ۱

فصل دوم: مبانی نظری تکنیک ایجاد لومینسانس از طریق تحریک، توسط چشمه‌ی نوری (OSL)

۲-۱. مقدمه ۳

۲-۲. ترازهای انرژی در یک بلور کامل ۳

۲-۳. آشنایی با برخی از نقص‌های موجود در بلور ۵

۲-۴. معرفی ترازهای انرژی موجود در گاف نوار بلور ۸

۲-۵. پدیده‌ی لومینسانس ۱۰

۲-۶. نقش فرآیند لومینسانس در دزیمتری ۱۱

۲-۷. شرح تکنیک OSL، مزایا و معایب آن ۱۲

۲-۸. پدیده‌های نوری متداول ۱۷

۲-۹. مشخصات ماده‌ی مناسب، برای دزیمتری OSL ۱۸

۲-۱۰. مدل نظری برای تکنیک OSL ۲۲

۲-۱۱. مدل ریاضی برای تکنیک OSL ۲۳

۲-۱۲. مشخصات سیستم دزیمتری با تکنیک OSL ۲۴

۲-۱۲-۱. چشمه‌ی نوری جهت تحریک بلور OSL ۲۴

۲-۱۲-۲. روش‌های تحریک قابل دسترس در سیستم دزیمتری OSL ۲۶

۲-۱۲-۲-۱. مدل ریاضی برای روش تحریک CW-OSL ۲۷

۲-۱۲-۳. آشکارساز نوری ۲۹

۲-۱۲-۴. فیلترهای نوری ۳۰

۲-۱۲-۵. پرتوشکاف ۳۱

۲-۱۲-۶. جمع‌کننده‌های نوری ۳۱

۲-۱۲-۷. فیبرنوری ۳۱

فصل سوم: شرح کالیبراسیون و ارزیابی عملکرد سیستم دزیمتری OSL

۳-۱. معرفی کمیت‌های دزیمتری ۳۳

۳-۱-۱. کمیت‌های فیزیکی ۳۴

۳-۱-۲. کمیت‌های حفاظتی ۳۵

۳-۱-۳. کمیت‌های عملیاتی ۳۷

۳-۲. ملاحظات دزیمتری ۳۸

۳-۳. الگوریتم محاسبه دز ۴۰

۳-۴. کالیبراسیون خوانش‌گر ۴۲

۳-۴-۱. مقدمه ۴۲

۳-۴-۲. ارزیابی یک خط مبنای استاندارد برای عملکرد خوانش‌گر ۴۲

۳-۴-۳. اثرات قرار گرفتن خوانش‌گر در برابر نور ۴۴

۳-۴-۴. پایداری یا تکرارپذیری خوانش‌گر ۴۴

۳-۴-۵. نوسانات تصادفی خوانش‌های تکرارشده ۴۵

۳-۴-۶. خطای مربوط به جهت بلور در دزیمتر ۴۸

۳-۵. تجهیزات مورد نیاز جهت کالیبراسیون ۴۹

۳-۵-۱. سیستم دزیمتری ۴۹

۳-۵-۲. فانتوم‌ها ۴۹

۳-۵-۳. چیدمان تابش‌دهی ۵۰

۳-۶ کالیبراسیون سیستم دزیمتری ۵۱

۳-۶-۱. ضرایب تصحیح المان ۵۲

۳-۶-۲. حساسیت دزیمترها، خطی بودن منحنی پاسخ–دز و محدوده‌ی دینامیکی ۵۴

۳-۶-۳. تکرارپذیری بازخوانی‌ها ۵۹

۳-۶-۴. وابستگی زمانی خوانش‌ها، در پایان تابش‌دهی ۶۲

۳-۶-۴-۱. به‌دست آوردن زمان انتظار ۶۲

۳-۶-۴-۲. تصحیح محوشدگی سیگنال ۶۴

۳-۶-۵. وابستگی پاسخ دزیمتر به کیفیت پرتو (تصحیح پاسخ انرژی) ۶۵

۳-۶-۵-۱. تعیین انرژی متوسط فوتون ۶۶

۳-۶-۵-۲. پاسخ انرژی فوتون ۶۷
۳-۶-۶. همگنی ۷۲
۳-۶-۷. ویژگی‌های تابش‌دهی تجمعی (تعیین حد دز تجمعی) ۷۳
۳-۶-۸. وابستگی زاویه‌ای یا سمتی ۷۴
۳-۷. آزمون های مربوط به آنیل کردن سیستم دزیمتری ۷۶
۳-۸. تعیین دزهای عمیق و کم‌عمق ۷۸
۳-۹. میدان‌های کالیبراسیون مرجع برای دزیمتری فردی و محیطی ۷۸
۳-۱۰. بیان عدم قطعیت‌ها ۷۹

فصل چهارم: ارزیابی عملکرد سیستم دزیمتری OSL در کاربردهای فضایی و پزشکی

۴-۱. کاربردهای فضایی ۸۱
۴-۱-۱. مقدمه ۸۱
۴-۱-۲. منابع تابشی فضایی ۸۲
۴-۱-۳. کمیت‌های مورد نیاز در انجام دزیمتری فضایی ۸۴
۴-۱-۳-۱. دز جذب شده، D ۸۵
۴-۱-۳-۲. معادل دز ۸۵
۴-۱-۳-۳. دز معادل ۸۶
۴-۱-۳-۴. دز مؤثر ۸۶
۴-۱-۳-۵ معادل گری، G_T ۸۷
۴-۱-۴. ارزیابی دز در میدان‌های تابش فضایی با بکارگیری دزیمترهای OSL ۸۷
۴-۱-۴-۱. کالیبراسیون در میدان‌های تابشی فضایی ۸۷
۴-۱-۴-۲. بازده OSL ۹۰
۴-۱-۴-۳. نمودارهای پاسخ دزیمتر بر حسب شارش ۹۳
۴-۱-۵. پاسخ OSL در میدان‌های آمیخته ۹۴
۴-۲. کاربردهای پزشکی ۱۰۰
۴-۲-۱. مقدمه ۱۰۰
۴-۲-۲. میدان‌های تابشی در دزیمتری پزشکی ۱۰۰
۴-۲-۳. سیستم دزیمتری فیبر نوری OSL ۱۰۲

۴-۲-۴. خوانش آشکارساز OSL سیستم فیبر نوری به صورت Real time ۱۰۴

فصل پنجم: راه‌اندازی و کالیبراسیون اولیه‌ی سیستم دزیمتری OSL

۵-۱. معرفی سیستم دزیمتری OSL ساخته شده ۱۰۵

۵-۲. معرفی خوانش‌گر سیستم دزیمتری OSL ۱۰۸

۵-۲-۱. چشمه‌ی نوری تحریک‌کننده ۱۰۸

۵-۲-۲. سیستم اپتیکی تفکیک‌کننده‌ی نور ۱۰۹

۵-۲-۳. آشکارکننده‌ی نور ۱۱۵

۵-۲-۴. شمارش‌گر و ثبت‌کننده‌ی داده‌های سیگنال ۱۱۷

۵-۲-۵. نرم‌افزار تبدیل‌کننده‌ی سیگنال به شمارش..... ۱۲۰

۵-۳. اجرای کالیبراسیون اولیه‌ی سیستم ۱۲۱

۵-۳-۱. برپایی چیدمان آزمایشگاهی و تست اولیه برای بررسی عملکرد اجزا مختلف سیستم. ۱۲۱

۵-۳-۲. پرتودهی آشکارسازها ۱۲۴

۵-۳-۳. خوانش آشکارسازها و ثبت سیگنال خام OSL برای سه سطح دز مختلف ۱۲۴

۵-۳-۵ به‌دست آوردن نمودارهای کاهشی OSL برای ولتاژهای آستانه‌ی مختلف ۱۲۶

۵-۳-۶. به‌دست آوردن نمودارهای کاهش OSL برای دزهای مختلف ۱۲۹

۵-۳-۷. به‌دست آوردن منحنی‌های کاهش OSL بهینه برای دزهای مختلف ۱۳۲

۵-۳-۸. رسم منحنی‌های کالیبراسیون در ولتاژهای آستانه‌ی متفاوت و مقایسه‌ی آن‌ها ۱۳۶

۵-۴. نتیجه‌گیری ۱۳۸

۵-۵. پیشنهادات ۱۳۸

فهرست مراجع ۱۳۹

پیوست ۱ ..... ۱۴۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. اشکال مختلف ترازهای انرژی ۴

شکل ۲-۲. ترازهای انرژی برای عایق‌ها، نیمه‌رساناها، فلزات ۴

شکل ۲-۳. طرحی ساده از نقص تهی‌جای کاتیونی ۵

شکل ۲-۴. طرحی ساده از نقص تهی‌جای آنیونی ۵

شکل ۲-۵. طرحی ساده از بین نشینی اتم‌های خودی ۶

شکل ۲-۶. طرحی ساده از بین نشینی اتم‌های غریبه ۶

شکل ۲-۷. طرحی ساده از جانشینی اتم خارجی به جای اتم شبکه..... ۶

شکل ۲-۸. طرحی ساده از نقص شاتکی ۶

شکل ۲-۹. طرحی ساده از نقص فرنکل ۷

شکل ۲-۱۰. طرحی ساده از مرکز F ۸

شکل ۲-۱۱. نمایش ترازهای انرژی در گاف‌نوار نارسانا ۸

شکل ۲-۱۲. تعدادی از گذارهای امکان‌پذیر در بلور ۹

شکل ۲-۱۳. تصویری از پدیده‌ی فلورسانس ۱۱

شکل ۲-۱۴. تصویری از پدیده‌ی فسفرسانس ۱۱

شکل ۲-۱۵. تحریک آشکارساز OSL توسط تابش یونیزان و تشکیل جفت الکترون و حفره..... ۱۳

شکل ۲-۱۶. الگوی یونیزاسیون و تشکیل الکترون‌های ثانویه برای عبور اتم هلیم با انرژی ۲۰۰ MeV/u در آب..... ۱۳

شکل ۲-۱۷. اثر فوتوالکتریک ۱۴

شکل ۲-۱۸. اثر کامپتون ۱۴

شکل ۲-۱۹. تولید جفت الکترون-پوزیترون ۱۴

شکل ۲-۲۰. نمودارتغییر ضریب تضعیف جرمی تابعی از انرژی..... ۱۴

شکل ۲-۲۱. مرحله‌ی ذخیره‌سازی اطلاعات در آشکارساز..... ۱۵

شکل ۲-۲۲. مرحله‌ی تحریک نوری آشکارساز و بازترکیب جفت الکترون-حفره..... ۱۵

شکل ۲-۲۳. پروفایل زمانی تابش‌دهی با پرتو x ، نوردهی و گرمادهی و شدت لگاریتمی نور آشکارشده توسط فوتومولتی‌پلایر..... ۱۷

شکل ۲-۲۴. گذارهای نوری امکان‌پذیر موجود در ماده‌ی عایق یا نیمه‌رسانا..... ۱۸
شکل ۲-۲۵. پاسخ بلور رشد یافته‌ی $Al_2O_3:C$ نسبت به دز گاما..... ۲۰
شکل ۲-۲۶. طرحی از ترازهای مختلف انرژی در ماده بلورین OSL ۲۳
شکل ۲-۲۷. تصاویری از پیکربندی سیستم دزیمتری OSL ۲۴
شکل ۲-۲۸. تصویری از تکنیک خوانش پالسی OSL ۲۷
شکل ۲-۲۹. مدلی ساده برای تکنیک CW-OSL ۲۸
شکل ۲-۳۰. نحوه تکثیر الکترون در فوتومولتی‌پلایر ۳۰
شکل ۲-۳۱. تصویری از فیلترهای نوری ۳۰
شکل ۲-۳۲. دیاگرام یکی از تکنیک‌های خوانش‌گرOSL ۳۲
شکل ۲-۳۳. تصویری از یک فیبر نوری ۳۲
شکل ۳-۱. ارتباط بین کمیت‌های فیزیکی، حفاظتی و عملیاتی..... ۳۴
شکل ۳-۲. فاکتورهای وزن گذاری تابشی برای نوترون به صورت تابعی از انرژی نوترون ۳۶
شکل ۳-۳. معادل دز محیطی در عمق ۱۰ میلی متری کره معادل بافت ICRU به قطر ۳۰ سانتی‌متر..... ۳۷
شکل ۳-۴. معادل دز محیطی در عمق ۱۰ میلی متری و زاویه Ω رویکره معادل بافت ICRU به قطر ۳۰ سانتیمتر..... ۳۸
شکل ۳-۵. ارتباط بین اطلاعات دز ذخیره شده در آشکارساز دزیمتر، کمیت نمایش داده شده توسط دزیمتر و کمیت خاص مورد اندازه گیری ۳۹
شکل ۳-۶. نتایج ۱۵ اندازه‌گیری برای حساسیت فوتومولتی‌پلایر، پرتوهای ضعیف و قوی و شمارش تاریک ۴۳
شکل ۳-۷. تصویر شماتیک از فانتوم استاندارد تخت آب جامد با اندازه $۳۰ \times ۳۰\ cm^2$..... ۴۹
شکل ۳-۸. تصویر شماتیک از فانتوم استاندارد کروی با قطر ۲۴ cm ۵۰
شکل ۳-۹. چیدمان تابشی SSD **برای** دزیمترهای قرارگرفته در فانتوم تخت آب جامد ۵۰
شکل ۳-۱۰. چیدمان تابشی SAD برای دزیمترهای قرارگرفته در فانتوم تخت آب جامد ۵۰
شکل ۳-۱۱. چیدمان تابشی برای دزیمترهای قرارگرفته در فانتوم کروی آب جامد ۵۱
شکل ۳-۱۲. سیگنال OSL و فاکتور بالاتر از حالت خطی بودن، برای اکسیدآلومینیم با آلائیدگی کربن، در دزهای مختلف، برای دو حالت انتخاب سیگنال..... ۵۵
شکل ۳-۱۳. نحوه کاهش سیگنال OSL، وابسته به دز دریافتی بر حسب زمان، هر پاسخ در نمودار از متوسط‌گیری پاسخ سه دزیمتر به‌دست آمده است ۵۵
شکل ۳-۱۴. جداشدگی دو باند گسیل مرکز F و UV در پاسخ دز مربوط به دزیمتر اکسیدآلومینیم با آلائیدگی کربن ۵۶

شکل ۳-۱۵. منحنی کاهش سیگنال OSL وابسته به تابش‌دهی انجام شده با پرتوهایی با انرژی‌های مختلف ۵۷
شکل ۳-۱۶. بررسی خطی بودن پاسخ دز و تعیین محدوده‌ی دینامیکی دز ۵۷
شکل ۳-۱۷. منحنی کالیبراسیون حاصل از دزیمترهای تابش‌دهی شده با شتاب‌دهنده خطی ۶ MV ۵۸
شکل ۳-۱۸. منحنی کالیبراسیون حاصل از دزیمترهای تابش‌دهی شده با شتاب‌دهنده خطی ۱۰ MV ۵۸
شکل ۳-۱۹. فیت منحنی کالیبراسیون حاصل از دزیمترهای تابش دهی شده با شتاب‌دهنده خطی ۶ MV در محدوده‌های کوچک‌تر ۵۸
شکل ۳-۲۰. مقدار محاسبه شده T برای دزیمترهای مختلف ۶۰
شکل ۳-۲۱. نتایج مربوط به ده بار خوانش متوالی ۶۰
شکل ۳-۲۲. افت مقدار سیگنال OSL وابسته به تکرار مجدد خوانش یک دزیمتر تابش‌دهی شده به‌مقدار ۱۰۰ cGy، ۶ MV ۶۱
شکل ۳-۲۳. کاهش مقدار سیگنال OSL وابسته به گذشت زمان‌های مختلف پس از تابش‌دهی ۶۲
شکل ۳-۲۴. مقدار تغییرات سیگنال OSL درخوانش‌های پس از تابش‌دهی، با گذشت زمان در مقایسه با دومین ساعت از زمان خوانش ۶۴
شکل ۳-۲۵. **نتایج** مربوط به خوانش دزیمترهایی که تا مقدار ۱۰ mGy تابش‌دهی شده ۶۵
شکل ۳-۲۶. (a) نسبت سیگنال TL حاصل از تابش‌دهی دو آشکارساز از جنس‌های مختلف (b) نسبت سیگنال TL حاصل از تابش‌دهی دو آشکارساز در حالت‌های بااستفاده از فیلتر و بدون استفاده از فیلتر ۶۶
شکل ۳-۲۷. تغییرات ضریب تضعیف جرمی براساس (a) تغییر انرژی (b) عدد اتمی ۶۷
شکل ۳-۲۸. نسبت ضریب تضعیف جرمی بلورهای مختلف در انرژی‌های مختلف نسبت به بافت ۶۸
شکل ۳-۲۹. پاسخ انرژی فوتون مربوط به اشعه گامای ^{137}Cs برای چند ماده آشکارساز TL ۷۰
شکل ۳-۳۰. تعیین وابستگی کیفیت پرتوهای فوتونی و الکترونی به انرژی، داده‌ها به مقدار پاسخ برای پرتوهای فوتون ۶ MeV نرمالیزه شده ۷۱
شکل ۳-۳۱. هیستوگرام اندازه‌گیری دز عمیق، برای دزیمترهای تابش‌دهی شده با میزان دز ۱۰ mGy و ۲ .....۷۳
شکل ۳-۳۲. پاسخ دزیمترهای OSL تحت تابش‌دهی یک سری دز افزایشی تا ۸۰۰ cGy که توسط یک شتاب-دهنده‌ی خطی ۶ MV تابش‌دهی شده، برای اندازه‌گیری در هر میزان دز از چهار آشکارساز استفاده می‌شود ۷۳
شکل ۳-۳۳. پاسخ دزیمترهای OSL تحت تابش‌دهی یک سری دز افزایشی تا ۵۰ cGy که توسط یک شتاب‌دهنده‌ی خطی ۶ MV تابش‌دهی شده، برای اندازه‌گیری در هر میزان دز از چهار آشکارساز استفاده می‌شود ۷۴
شکل ۳-۳۴. پاسخ دزیمترهای OSL تحت تابش‌دهی یک سری دز افزایشی تا ۴۰۰ cGy که توسط یک شتاب-دهنده‌ی خطی ۶ MV تابش‌دهی شده، برای اندازه‌گیری در هر میزان دز از چهار آشکارساز استفاده می‌شود ۷۴
شکل ۳-۳۵. تصویری از یک فانتوم کروی ۷۵

شکل ۳-۳۶. اندازه‌گیری سیگنال دزیمتر OSL، در مقابل لامپ هالوژن تنگستن ۱۵۰ واتی، نور اتاق روشن و نور اتاق کم نور ۷۶

شکل ۳-۳۷. بازده‌ی آنیل شدن نوری با استفاده از ۶ آشکارساز، در ۸ ساعت اول فرآیند هر نیم ساعت انجام شده و بعد از آن هر ۳ ساعت یک بار ۷۷

شکل ۳-۳۸. به‌دست آوردن منحنی و معادله آنیل شدن نوری کل، از چهار دزیمتر شکل (۳-۳۷) ۷۷

شکل ۴-۱. سیگنال OSL حاصل از یک تک بلور $Al_2O_3:C$ با دز جذب شده ۱/۹۱ mGy ۸۲

شکل ۴-۲. سه منبع تابشی فضایی؛ پرتوهای کیهانی، پرتوهای خورشیدی و کمربند تابشی زمین ۸۳

شکل ۴-۳. طرحی از کمربند تابشی درونی و کمربند تابشی بیرونی کره‌ی زمین ۸۴

شکل ۴-۴. طرحی از میدان‌های تابشی که فضانوردان در داخل و خارج فضاپیما ممکن است در معرض آن‌ها قرار گیرند. داخل فضاپیما علاوه بر ذرات اولیه پرانرژی که در ساختار فضاپیما نفوذ می‌کند، ذرات ثانویه حاصل از برهم-کنش‌های هسته‌ای با اتم‌های فضاپیما و دیگر تجهیزات نیز مشاهده می‌شود ۸۵

شکل ۴-۵. قسمت a شبیه‌سازی مسیر ذره هلیم در عبور از آب و قسمت b شبیه‌سازی مسیر ذره آهن در عبور از آب به روش مونت کارلو با استفاده از GEANT 4 ..... ۸۸

شکل ۴-۶. منحنی‌های پاسخ دز OSL با آشکارساز $Al_2O_3:C$. (a وb) برای باند گسیل مرکز F و مرکز UV. (c و d) تنها برای باند گسیل مرکز F ۹۱

شکل ۴-۷. طرحی از یک توزیع دز شعاعی اطراف مسیر یک ذره باردار در یک ماده OSL ۹۲

شکل ۴-۸. منحنی‌های کاهش OSL مربوط به انواع مختلف ذرات باردار و همچنین ذرات بتا ۹۲

شکل ۴-۹. توزیع دز مشخص شده توسط واپیچش داده‌ها، همانند آن‌چه برای شکل (۴-۸) و (۳-۱۳) نشان داده شد. پارامتر g یک فاکتور وزن‌گذاری شده‌ای است که بیانگر قدرت نسبی سیگنال OSL می‌باشد ۹۳

شکل ۴-۱۰. مقایسه‌ی بازده‌ی OSL تجربی و تئوری ۹۳

شکل ۴-۱۱. سیگنال OSL بر حسب شارش a) باند گسیل UV و مرکز F b) باند گسیل مرکز F ۹۴

شکل ۴-۱۲. نسبت شدت پیک CW-OSL اولیه به کل ناحیه زیر منحنی OSL در آشکارساز $Al_2O_3:C$ برای ذرات باردار با LET های مختلف ۹۶

شکل ۴-۱۳. نسبت سیگنال گسیل شده OSL در طول موج‌های UV به سیگنال گسیل شده از طول موج‌های مرکز F در آشکارساز $Al_2O_3:C$ برای ذرات باردار با LET های مختلف ۹۶

شکل ۴-۱۴. وابستگی ثابت‌های زمانی حاصل از فیت منحنی CW-OS ۹۷

شکل ۴-۱۵. بررسی میزان دز جذب شده در آشکارسازهای مختلف OSL با بازده‌ی لومینسانس اصلاح شده و بدون آن ۱۰۰

شکل ۴-۱۶. طرحی از سیستم دزیمتری فیبر نوری OSL ۱۰۲

شکل ۴-۱۷. شکل سیگنال یک پروب OSL در طول تابش‌دهی و بعد از آن ۱۰۳
شکل ۴-۱۸. روش خوانش Real time ۱۰۴
شکل ۵-۱. بلورهای اکسیدآلومینیم با آلاییدگی کربن و قطر ۵ mm و ضخامت ۰/۹ mm ۱۰۶
شکل ۵-۲. نمایی کلی از چیدمان سیستم دزیمتری OSL از راه دور ۱۰۷
شکل ۵-۳. طرحی از بخش‌های مختلف سیستم خوانش‌گر OSL ۱۰۸
شکل ۵-۴. تصویر لیزر Nd:YAG با طول‌موج ۵۳۲ nm (نور سبز) ۱۰۹
شکل ۵-۵. تصویری از لایه‌های یک فیبرنوری ۱۱۰
شکل ۵-۶. مسیر برگشت‌پذیر نور ۱۱۰
شکل ۵-۷. تضعیف نور در فیبر نوری ۱۱۱
شکل ۵-۸. پراکندگی نور در تمام جهات ۱۱۱
شکل ۵-۹. رابطه خمش و میزان تضعیف ۱۱۲
شکل ۵-۱۰. پهن شدن پالس‌ها به‌علت اختلاف مسیر دو پرتو ۱۱۲
شکل ۵-۱۱. تصویری از هسته، پوسته و لایه محافظ پوسته در فیبرنوری ۱۱۲
شکل ۵-۱۲. موازی‌ساز فیبرنوری ۱۱۳
شکل ۵-۱۳. نمونه‌ای از فیلترهای بَندپس و نمودار طیف آن ۱۱۳
شکل ۵-۱۴. مشخصه‌های عبوری فیلتر آبی دی‌الکتریک ۱۱۴
شکل ۵-۱۵. بازتاب و عبور برای طول موج‌های گوناگون در پرتوشکاف ۱۱۴
شکل ۵-۱۶. نمونه‌هایی از پرتوشکاف و نگه‌دارنده‌ی آن‌ها ۱۱۵
شکل ۵-۱۷. ابعاد فوتومولتی‌پلایر، مدل 9235B ۱۱۵
شکل ۵-۱۸. درصد بازده‌ی کوانتومی فوتومولتی‌پلایر 9235B برحسب طول‌موج ۱۱۵
شکل ۵-۱۹. گذردهی طول‌موج مواد اپتیکی مختلف ۱۱۶
شکل ۵-۲۰. نمودار بازده‌ی دستگاه فوتومولتی‌پلایر ۱۱۶
شکل ۵-۲۱. صفحه‌ی نمایش اسیلوسکوپ ۱۱۷
شکل ۵-۲۲. نمایش چگونگی انتخاب مدل اسیلوسکوپ مورد استفاده در نرم‌افزار مربوطه ۱۱۸
شکل ۵-۲۳. نمایش صفحه‌ی تنظیمات مربوط به اسیلوسکوپ در نرم‌افزار مربوطه ۱۱۸
شکل ۵-۲۴. نمایش چگونگی انتخاب صفحه‌ی تنظیمات برای نرم‌افزار ۱۱۹
شکل ۵-۲۵. نمایش سیگنال به‌دست آمده بر روی صفحه‌ی نمایش نرم‌افزار ۱۱۹

شکل ۵-۲۶. نقشه‌ی مکانیکی بخش مرتبط کننده‌ی فوتومولتی‌پلایر، لیزر و فیبرنوری ۱۲۱
شکل ۵-۲۷. سیگنال حاصل از شمارش تاریک فوتومولتی‌پلایر بدون استفاده از لیزر ۱۲۲
شکل ۵-۲۸. سیگنال حاصل از فوتومولتی‌پلایر با لیزر روشن ۱۲۳
شکل ۵-۲۹. نمودار سیگنال خام OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۱ با میزان دز ۲/۳۸۶ Gy ۱۲۵
شکل ۵-۳۰. نمودار سیگنال خام OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۲ با میزان دز ۵/۱۳ Gy ۱۲۵
شکل ۵-۳۱. نمودار سیگنال خام OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۳ با میزان دز ۶/۳۹۳۶ Gy ۱۲۶
شکل ۵-۳۲. نمودار کاهشی OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۱ با میزان دز ۲/۳۸۶ Gy و ولتاژهای آستانه‌ی متفاوت ۱۲۷
شکل ۵-۳۳. نمودار کاهشی OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۲ با میزان دز ۵/۱۳ Gy و ولتاژهای آستانه‌ی متفاوت ۱۲۷
شکل ۵-۳۴. نمودار کاهشی OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۳ با میزان دز ۶/۳۹۴ Gy و ولتاژهای آستانه‌ی متفاوت ۱۲۸
شکل ۵-۳۵. نمودار کاهشی OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۲ در ۳۵ ثانیه‌ی اول با میزان دز ۵/۱۳ Gy و ولتاژهای آستانه‌ی متفاوت ۱۲۸
شکل ۵-۳۶. نمودار کاهشی OSL برای آشکارساز شماره‌ی ۳ در۲۰ ثانیه‌ی اول با میزان دز ۶/۳۹۴ Gy و ولتاژهای آستانه‌ی متفاوت ۱۲۹
شکل ۵-۳۷. نمودار شدت OSL بر حسب زمان برای سه سطح از دز و ولتاژ آستانه‌ی ۲۰ mV ۱۳۰
شکل ۵-۳۸. نمودار شدت OSL بر حسب زمان برای سه سطح از دز و ولتاژ آستانه‌ی ۳۰ mV ۱۳۰
شکل ۵-۳۹. نمودار شدت OSL بر حسب زمان برای سه سطح از دز و ولتاژ آستانه‌ی ۴۰ mV ۱۳۱
شکل ۵-۴۰. نمودار شدت OSL بر حسب زمان برای سه سطح از دز و ولتاژ آستانه‌ی ۵۰ mV ۱۳۱
شکل ۵-۴۱. نمایی از ۱۰۰ ثانیه‌ی اول نمودار شمارش OSL در واحد زمان در سه سطح دز مختلف با مینیموم ولتاژ ۳۰mV ۱۳۲
شکل ۵-۴۲. منحنی‌های بهینه شده‌ی کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه‌ی ۳۰ mV در مدت ۱۰۰ ثانیه‌ی اول اندازه‌گیری ۱۳۳
شکل ۵-۴۳. منحنی‌های نرمالیزه‌شده‌ی کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه‌ی ۳۰ mV در مدت ۱۰۰ ثانیه‌ی اول اندازه‌گیری ۱۳۳
شکل ۵-۴۴. منحنی‌های بهینه شده‌ی کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه‌ی ۴۰ mV در مدت ۱۰۰ ثانیه‌ی اول اندازه‌گیری ۱۳۴

شکل ۵-۴۵. منحنی‌های نرمالیزه‌شده‌ی کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه‌ی ۴۰ mV در مدت ۱۰۰ ثانیه‌ی اول اندازه‌گیری ۱۳۴

شکل ۵-۴۶. منحنی‌های بهینه شده‌ی کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه‌ی ۵۰ mV در مدت ۱۰۰ ثانیه‌ی اول اندازه‌گیری ۱۳۵

شکل ۵-۴۷. منحنی‌های نرمالیزه‌شده‌ی کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه‌ی ۵۰ mV در مدت ۱۰۰ ثانیه‌ی اول اندازه‌گیری ۱۳۵

شکل ۵-۴۸. منحنی کالیبراسیون برای ولتاژ آستانه‌ی ۳۰ mV با استفاده از اندازه‌گیری‌های شدت OSL حاصل از سه آشکارساز ۱۳۶

شکل ۵-۴۹. منحنی کالیبراسیون برای ولتاژ آستانه‌ی ۴۰ mV با استفاده از اندازه‌گیری‌های شدت OSL حاصل از سه آشکارساز ۱۳۷

شکل ۵-۵۰. منحنی کالیبراسیون برای ولتاژ آستانه‌ی ۵۰ mV با استفاده از اندازه‌گیری‌های شدت OSL حاصل از سه آشکارساز ۱۳۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱. لومینسانس‌های متفاوت ناشی از منابع تابشی مختلف ۱۰
جدول ۲-۲. خلاصه ای از ویژگی‌های مواد مورد استفاده در دزیمتری OSL ۲۱
جدول ۲-۳. ترکیباب مناسب فیلترها در OSL ۳۱
جدول ۳-۱. فاکتورهای وزن‌گذاری تابشی برای محاسبه‌ی دز معادل H_T ۳۶
جدول ۳-۲. فاکتورهای وزن گذاری بافت برای محاسبه دز مؤثرE ۳۷
جدول ۳-۳. شرایط مرجع و شرایط آزمون استاندارد برای به‌دست آوردن فاکتور کالیبراسیون مرجع ۴۱
جدول ۳-۴. بررسی تکرارپذیری دستگاه خوانش‌گر با استفاده از دزیمترهای استاندارد تک المانی از پیش تابش‌دهی شده توسط پرتو X، ۸۰ KVP ۴۵
جدول ۳-۵. بررسی تکرارپذیری دستگاه خوانش‌گر با استفاده از دزیمترهای استاندارد چهار المانی از قبل تابش‌دهی شده توسط پرتو **X**، ۸۰ KVP ۴۶
جدول ۳-۶. بررسی تکرارپذیری سیستم خوانش‌گر با استفاده از دزیمترهای چهار المانی استاندارد از قبل تابش‌دهی شده توسط شتاب‌دهنده خطی ۶MV در محل آزمون ۴۷
جدول ۳-۷. **بررسی** تکرارپذیری سیستم خوانش‌گر با استفاده از دزیمترهای تابش‌دهی‌شده توسط شتاب‌دهنده خطی ۶MV در محل آزمون ۴۸
جدول ۳-۸. نتایج مربوط به خوانش یک آشکارساز تک المانی تابش‌دهی شده توسط خوانش‌گر، در دو جهت مختلف ۴۸
جدول ۳-۹. خوانش‌های خام OSL و فاکتور حساسیت برای ۲۰ دزیمتر بدون پوشش OSL ، داده‌ها بر روی ۵ خوانش متوالی از آشکارسازها متوسط‌گیری شده‌اند ۵۳
جدول ۳-۱۰. خوانش‌های خام OSL و فاکتور حساسیت برای ۷ دزیمتر OSL با پوشش، داده‌ها بر روی ۵ خوانش متوالی از آشکارسازها متوسط‌گیری شده‌اند ۵۳
جدول ۳-۱۱. نتایج خوانش دزیمترها در حالت پرتودهی توسط شتاب‌دهنده خطی ۶ MV ۵۹
جدول ۳-۱۲. آنالیز نمودار شکل (۳-۲۲) ۶۱
جدول ۳-۱۳. محاسبه‌ی ثابت‌های تجربی مورد نیاز در معادله (۳-۳۱) ۶۳
جدول ۳-۱۴. نتایج مربوط به تغییرات سیگنال OSL وابسته به زمان انتظار بعد از تابش‌دهی ۶۳
جدول ۳-۱۵. پاسخ انرژی آشکارساز OSL با خوانش‌گرهای مختلف ۷۰
جدول ۳-۱۶. تعیین وابستگی کیفیت پرتو برای فوتون‌های با انرژی مختلف، پاسخ OSL به مقدار میانگین پاسخ نرمالیزه شده است ۷۱
جدول ۳-۱۷. داده‌های پاسخ - دز برای پرتوهای فوتون با انرژی ۶ MeV ۷۲
جدول ۳-۱۸. **داده‌های پاسخ – دز برای پرتوهای الکترون با انرژی‌های مختلف** ۷۲
جدول ۳-۱۹. پاسخ‌های چهار نوع دزیمتر در زوایای تابشی مختلف ۷۵

جدول ۳-۲۰. مقایسه‌ی نسبت آنیل کردن دزیمتر با دو چشمه‌ی نوری زرد و سفید بعد از دو ساعت آنیل کردن ...۷۸

جدول ۴-۱. . احتمال مبتلا شدن فضانورد به سرطان، چنانچه میزان دز مؤثری که در مدت ده سال دریافت می‌کند مطابق این جدول باشد ٪۳ خواهد بود.....۸۶

جدول ۴-۲. اثربخشی بیولوژیکی تابش‌های ذرات مهم فضایی ۸۷

جدول ۴-۳. داده‌های دو آزمایش 4- وICCHIBAN-2 .....۹۹

جدول ۴-۴. مقایسه‌ای بین دز جذب شده، معادل دز و دز واقعی ۹۹

جدول ۴-۵. مشخصات میدان‌های تابشی برای کاربردهای پزشکی ۱۰۱

جدول ۵-۱. محدوده‌ی عبوردهی فیلتر آبی دی‌الکتریک ۱۱۴

جدول ۵-۲. مشخصات پرتوشکاف مورد استفاده ۱۱۵