

# طراحی و ساخت پایلوت آزمایشگاهی سیستم دزیمتری فضایی OSL

عاطفه آقایی<sup>۱</sup>، حسین صادقی<sup>۲\*</sup>، حسین جهانبخش<sup>۳</sup>، رضا طاهری<sup>۴</sup>، آسیه موسوی<sup>۵</sup> و علی محمد نیکو<sup>۶</sup>

۱-۶ - دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

\*اصفهان، شاهین شهر، انتهای بلوار فردوسی

hsadeghi@mut-es.ac.ir

سیستم دزیمتری OSL اولین بار در سال ۱۹۶۳ معرفی و از سال ۲۰۰۵ به عنوان یکی از سیستم‌های دزیمتری فضایی در مأموریت‌های مختلف فضایی استفاده شده است. در این پژوهش سعی شده تا برای اولین بار در ایران این سیستم دزیمتری در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شود. اساس این تکنیک، پدیده کوانتومی گسیل لومینسانسی است که از طریق تحریک، توسط چشمه نوری حاصل می‌شود. این سیستم شامل یک ماده دزیمتر OSL، بخش اپتیکی و سیستم آشکارسازی و خوانش دزیمتر است. در این پژوهش، پس از بررسی مبانی نظری تکنیک OSL، مزیت‌های این دزیمتر در مقایسه با دزیمترهای فضایی دیگر بیان می‌شود. سپس چیدمان آزمایشگاهی این سیستم برپاشده و برخی ویژگی‌ها و همچنین کالیبراسیون اولیه آن، با استفاده از یک چشمه کبالت-۶۰ و در میزان دزهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، این سیستم تابع پاسخ خطی در محدوده دز ۱۰-۱ گری است.

واژه‌های کلیدی: سیستم دزیمتری OSL، لومینسانس، کالیبراسیون، ماده OSL، ترمولومینسانس

## علائم اختصارات

n	تعداد الکترون‌های گیراندازی شده در دام‌ها
P	احتمال گذار بر واحد زمان برای الکترون‌های گیراندازی شده
$n_0$	تراکم اولیه بارهای گیراندازی شده

## مقدمه

در طول یک پرواز فضایی، یکی از مهم‌ترین مسائل انجام دزیمتری ذرات اولیه و ثانویه در محدوده وسیعی از انرژی است. لزوم انجام دزیمتری در هر پرواز فضایی به دلیل حفاظت ابزارهای الکترونیکی و

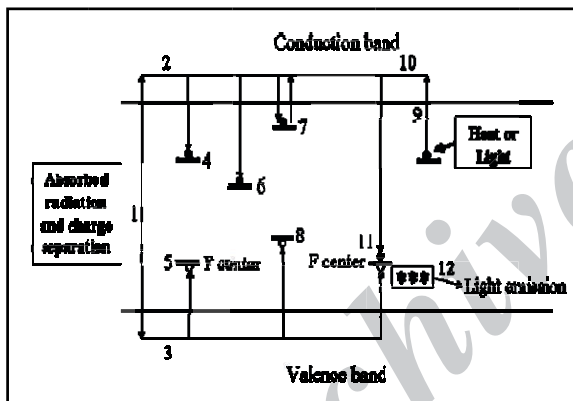
یا پرسنل موجود در فضاپیما از آسیب‌های ناشی از محیط تشعشعی فضاست [۱].

تکنیک OSL<sup>y</sup> در سال‌های اخیر یکی از بهترین تکنیک‌های مورد استفاده برای دزیمتری در دنیا معرفی شده است. این تکنیک شبیه تکنیک ترمولومینسانس است، با این تفاوت که خوانش دزیمتر در تکنیک OSL به جای گرما بر اساس تحریک نوری و پدیده لومینسانس استوار است.

برای انجام دزیمتری با تکنیک OSL، نیاز به ماده‌ای نیمه‌رسانا یا عایق به‌عنوان ماده دزیمتر است که معمولاً دارای ساختار بلورین بوده، (مانند  $MgO$ ،  $BeO$ ،  $Al_2O_3:C$  و ...) و به‌عنوان ماده حساس، وظیفه ثبت انرژی تخلیه شده حاصل از عبور پروتوهای مختلف مانند گاما، الکترون، پروتون و حتی یون‌های سنگین را بر عهده دارد. این انرژی باعث گیراندازی الکترون‌های لایه ظرفیت بلورهای فوق، در دام‌های انرژی خاصی معروف به مراکز رنگی F می‌شوند. هنگامی که این ماده در معرض تابش یونیزان قرار

۱. کارشناس ارشد
۲. استادیار (نویسنده مخاطب)
۳. کارشناس ارشد
۴. کارشناس ارشد
۵. دانشجوی دکتری
۶. کارشناس ارشد

دام‌هایی، برای الکترون‌ها یا حفره‌ها عمل می‌کنند. شکل (۱) نمایی شماتیک از گاف نوار ماده عایق مورد استفاده در دزیمتری را نشان می‌دهد که بر اساس آن جزئیات مدل نظری تکنیک OSL در ادامه شرح داده می‌شود. مرحله اول، پرتودهی ماده دزیمتر است که جذب این تابش، موجب جداسدن بارهای مثبت و منفی از یکدیگر شده، به طوری که الکترون‌ها از نوار ظرفیت جدا و به نوار رسانش منتقل می‌شوند. جای خالی الکترون‌ها در نوار ظرفیت، باعث ایجاد حفره می‌شود. این مرحله در قسمت ۱ از شکل (۱) نمایش داده شده است. قسمت ۲ نشان‌دهنده حرکت آزادانه الکترون‌ها در نوار رسانش است تا در شرایط مناسب، در دام‌های الکترون گیراندازی شوند. حفره‌ها نیز می‌توانند آزادانه در نوار ظرفیت حرکت کرده تا در دام‌های حفره گیراندازی شوند که این حالت در قسمت ۳ به تصویر کشیده شده است. قسمت‌های ۴ تا ۱۱، انواع مختلف دام‌های موجود در گاف نوار ماده را نشان می‌دهد که در واقع مکان‌هایی برای گیراندازی الکترون و حفره هستند.



شکل ۱- نمایی شماتیک از فرآیند OSL در گاف نوار یک ماده عایق دزیمتر

مهم‌ترین دامی که فرآیند OSL از آن حاصل می‌شود، دام شماره ۹ است که دام اصلی دزیمتری نامیده می‌شود. اولین مرحله خوانش دزیمتر در تکنیک OSL تحریک نوری ماده دزیمتر است. این مرحله به این صورت است که الکترون‌ها بر اثر تحریک توسط یک چشمه نوری می‌توانند از دام‌هایی که در آن‌ها گیراندازی شده‌اند خارج شده و در نوار رسانش سرگردان بمانند. از طرفی حفره‌های تولید شده بر اثر تابش نیز می‌توانند در مراکز بازترکیب، گیراندازی و مراکز  $F^+$  را ایجاد کنند. مطابق شکل (۱)، دام‌های ۵ و ۱۱ مراکز نسبتاً عمیق حفره هستند که می‌توانند نقش مراکز بازترکیب را به عهده بگیرند. الکترون‌های موجود در قسمت ۱۰ می‌توانند در مراکز  $F^+$  با حفره‌ها بازترکیب شده و یک مرکز برانگیخته F به وجود آورند. به علت ناپایداری این مراکز برانگیخته که با  $F^*$  بیان می‌شوند، الکترون‌ها از تراز برانگیخته  $^3P_0$  به حالت

می‌گیرد، موجب برانگیختگی آن شده و انرژی حاصل از این برانگیختگی را در خود ذخیره می‌کند، سپس با تحریک توسط یک چشمه نوری مناسب مانند لیزرها یا LEDهای مختلف با طول‌موج‌هایی در ناحیه نور مرئی مادون قرمز (IR) یا اشعه ماورای بنفش (UV) یا لومینسانس موقتی در طول این فرآیند ایجاد می‌شود. طول‌موج تحریک و گسیل ماده OSL کاملاً به نوع و ساختار ماده مورد استفاده وابسته است. برخی از بلورهای مورد استفاده، قابلیت ثبت و نگهداری اطلاعات تا مدت زمان زیادی (مثلاً حدود ۵-۳ درصد محوشدگی در سال برای  $Al_2O_3:C$ ) را دارند. ماده حساس مورد استفاده در آزمایش‌های این مقاله  $Al_2O_3:C$  و دارای گاف نوار انرژی در حدود ۹/۱ الکترون ولت و طول‌موج تحریک در حدود ۵۳۲ نانومتر است. نحوه خوانش این سیستم دزیمتری  $CW^A$  است. قابلیت‌هایی از قبیل خطی بودن پاسخ سیستم در محدوده وسیعی از دز (۱۰۰ گری - ۱ میکروگری)، نیاز به توان الکتریکی بسیار پایین برای خوانش، کوچک بودن حجم سیستم دزیمتری، قابلیت آنبیل کردن نوری بلور برای استفاده مجدد آن و حساسیت بالا به تمام پرتوهای محدوده  $LET < 5$  کیلو الکترون‌ولت بر میکرومتر است که بخش عمده تشعشعات فضایی را شامل می‌شود، از مزایایی است که این دزیمتر را در ۱۰ سال گذشته به عنوان انتخاب اول سیستم‌های دزیمتری به کار گرفته شده توسط ناسا و اسا (آژانس فضایی اروپا) قرار داده است.

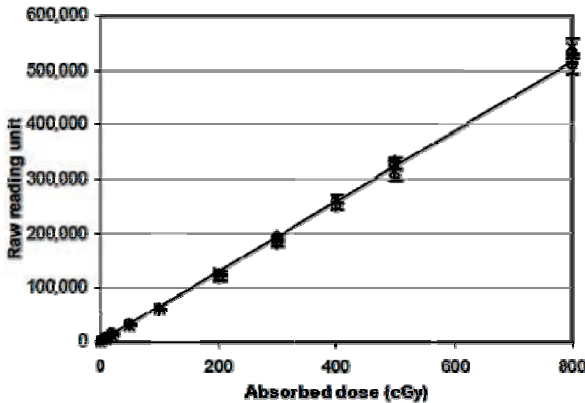
## مبانی نظری و کوانتومی تکنیک OSL

مبانی نظری دزیمتری با تکنیک OSL بر اساس پدیده لومینسانس و قانون آنتی‌استوکس توجیه‌پذیر است. به طور کلی، اگر ماده‌ای در معرض یک میدان خارجی قرار گیرد و نتیجه این تحریک، گسیل نور از آن ماده باشد، این پدیده، لومینسانس نامیده می‌شود. هنگامی که ماده‌ای در معرض تابش قرار گیرد ممکن است قسمتی از انرژی تابش فرودی را جذب کرده و با فراهم شدن شرایطی، طول‌موجی کوچک‌تر از طول‌موج تابش فرودی گسیل کند که همان قانون آنتی‌استوکس است. شایان ذکر است که طول‌موج نور گسیل شده، ناشی از ویژگی‌های ماده است و به تابش فرودی مربوط نمی‌شود.

برای ایجاد یک تصویر درست از تکنیک OSL، یک مدل نظری از مراحل انجام این فرآیند ارائه و در نهایت مدل ریاضی این تکنیک به دست می‌آید.

مواد عایق یا نیمه‌رسانای بلورین مورد استفاده، شامل تعدادی از نقص‌های شبکه بلورین هستند که در طول فرآیند رشد بلور و بر اثر ایجاد دوپنت در آن، حاصل شده‌اند. این نقص‌ها به صورت

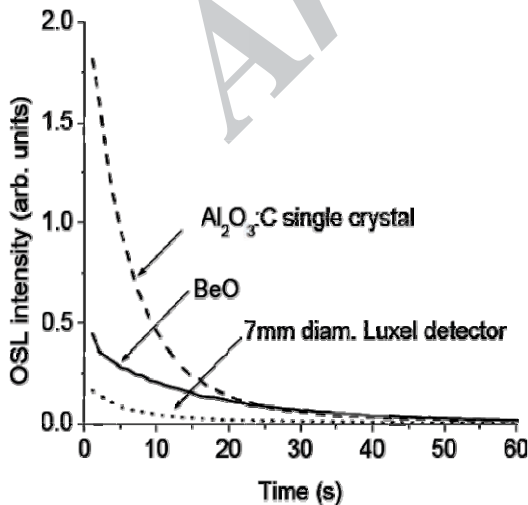
به منظور انجام دزیمتری فردی نیاز است تا دزیمتر مورد استفاده در یک بازه قابل قبول، خطی باشد. محدوده خطی بودن پاسخ سیستم دزیمتری OSL وابسته به نوع ماده OSL مورد استفاده است. شکل (۲) نمودار کالیبراسیون سیستم دزیمتری OSL بر مبنای استفاده از بلور  $Al_2O_3:C$  را نشان می‌دهد.



شکل ۲- منحنی کالیبراسیون سیستم OSL بر مبنای بلور  $Al_2O_3:C$  (چهار دزیمتر) [۵]

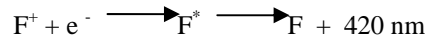
همچنین در سیستم دزیمتری OSL می‌توان بدون استفاده از منبع گرمایی و با استفاده از سیستم خوانشگر، دز ته‌نشست شده داخل بلور را تقریباً به‌طور کامل تخلیه کرد. این موضوع امکان کاهش توان الکتریکی مورد نیاز برای عملکرد سیستم دزیمتری را فراهم می‌آورد. شکل (۳) نمونه‌ای از منحنی کاهش سیگنال OSL در حین خوانش را نشان می‌دهد.

با توجه به این موضوع، سیستم دزیمتری OSL را در طول یک مأموریت فضایی بارها می‌توان آنبیل کرده و مجدداً مورد استفاده قرار داد. بنابراین مشکل اشباع شدن دزیمتر مرتفع خواهد بود.



شکل ۳- کاهش منحنی OSL مربوط به چند ماده OSL مختلف.

زمینه  $^{10}S$  منتقل شده و لومینسانس گسیل می‌شود که در قسمت ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.



اگر این آشکار بازترکیب در قسمت ۱۲ توسط گرما آغاز شود این فرآیند ترمولومینسانس نامیده می‌شود و اگر این فرآیند توسط نور آغاز شود به آن لومینسانس تحریک شده به واسطه نور یا همان OSL گویند [۳].

اکنون می‌توان بر اساس این تصویر، مدلی ریاضی برای فرآیند OSL ارائه کرد. در ساده‌ترین مدلی که برای فرآیند OSL بیان می‌شود می‌توان نشان داد که شدت OSL در طول تحریک به صورت نمایی تنزل پیدا می‌کند.

در این مدل تعداد الکترون‌های گیراندازی شده در دام‌ها را با  $n$  و احتمال گذار بر واحد زمان برای الکترون‌های گیراندازی شده که تحت تحریک نوری قرار گرفته‌اند با  $p$  نشان داده می‌شوند. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\frac{dn}{dt} = -np \quad (1)$$

با در نظر گرفتن  $n_0 = n(0)$  که تراکم اولیه بارهای گیراندازی شده است، پاسخ معادله فوق برابر می‌شود با:

$$n(t) = n_0 e^{-pt} \quad (2)$$

این پاسخ نشان‌دهنده این است که تراکم الکترون‌های گیراندازی شده به صورت نمایی با زمان تحریک، کاهش می‌یابد که عبارت است از:

$$I_{OSL}(t) \propto \left| \frac{dn}{dt} \right| = n_0 p e^{-pt} \quad (3)$$

در این‌جا ساده‌ترین حالت ممکن، مورد بررسی قرار گرفته و می‌توان به همین ترتیب این مدل ریاضی را به حالت‌های دیگر تعمیم داد [۴].

## سیستم دزیمتری OSL برای کاربردهای فضایی

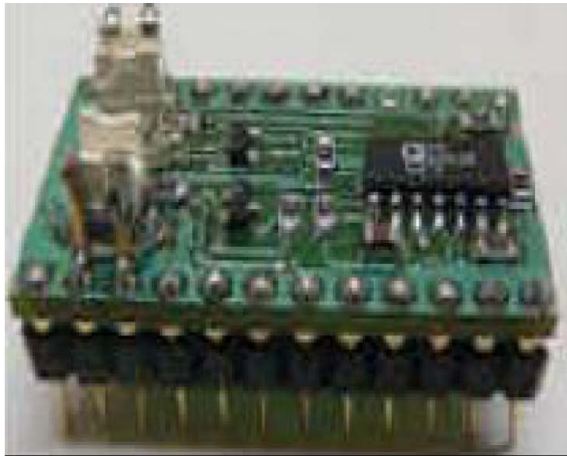
سیستم دزیمتری OSL به دلیل خصوصیات منحصر به فرد خود می‌تواند به عنوان سیستم دزیمتری فردی فضایی و دزیمتری محیطی فضایی مورد استفاده قرار گیرد.

## دزیمتری فردی فضایی

در مأموریت‌های فضایی سرنشین‌دار، دزیمتری فردی فضایی برای حفاظت از سرنشینان و محموله‌های زیستی یکی از موضوعات اساسی است.

به‌عنوان جزء ثابت محموله‌های تشعشعی ماهواره‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

شکل (۶) یک سیستم دزیمتری OSL را نشان می‌دهد که به‌صورت On line در مأموریت‌های فضایی از جمله مأموریت پرواز کارمن ۱ روی ماهواره آرژانتینی SAC-D، در سال ۲۰۱۱ (۶۵۷ کیلومتر، ۹۸) استفاده شده است [۶].

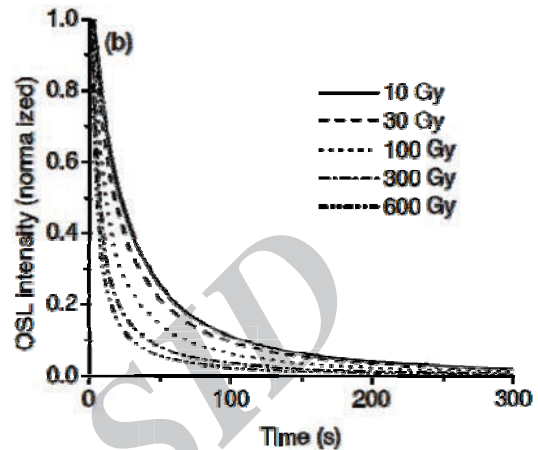


شکل ۶- دزیمتر OSL استفاده شده در مأموریت CARMEN

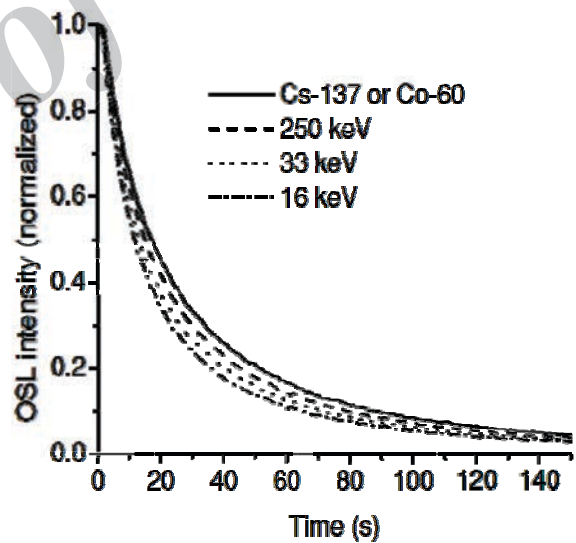
### مقایسه سیستم دزیمتری OSL با سایر سیستم‌های دزیمتری

سه خاصیت اصلی سیستم دزیمتری OSL باعث شده است تا این سیستم دزیمتری نسبت به دزیمترهای دیگر از جمله ترمولومینسانس و RADFETها در کاربردهای فضایی، مورد توجه بیشتری قرار گیرد. ویژگی اول عبارت است از نیاز به منبع تغذیه کم‌توان که به علت جایگزینی منبع نوری به جای منبع گرمایی در دزیمتر OSL است. ویژگی‌های بعدی، قابلیت ثبت نرخ دز و همچنین قابلیت دزیمتری از راه دور، به دلیل به‌کارگیری فیبرنوری در این تکنیک است. در ضمن همان‌طور که در شکل (۳) نیز مشاهده می‌شود، هم‌زمان با خوانش دزیمتر، دز موجود درون آن تخلیه شده و موجب عدم اشباع دزیمتر در هنگام استفاده طولانی مدت در فضا (به‌دلیل امکان آنبیل نوری توسط خوانشگر) می‌شود که این موضوع و عدم وابستگی زاویه‌ای در این نوع دزیمتر از جمله مزیت‌های استفاده از آن در مقایسه با دزیمترهای MOSFET است. شایان ذکر است امکان آنبیل نوری (به‌جای آنبیل گرمایی مورد استفاده در ترمولومینسانس) در این دزیمتر موجب عدم ایجاد هرگونه نقص و از بین رفتن ساختار بلور استفاده شده و طولانی‌شدن عمر استفاده مجدد از آن می‌شود [۲].

همچنین مطالعات نشان داده است که منحنی کاهش دزیمتر حتی به نرخ دز و دز تجمعی تابشی و نوع تابش برخورد کرده به دزیمتر نیز بستگی دارد. این موضوع در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل ۴- وابستگی منحنی کاهش OSL به میزان دز دریافتی



شکل ۵- وابستگی منحنی کاهش OSL به نوع تابش فرودی

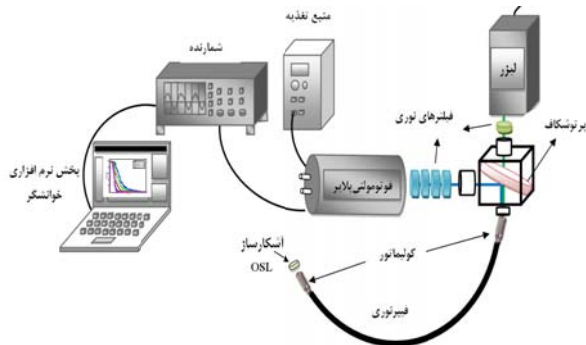
از این موضع می‌توان به‌عنوان پتانسیلی برای تشخیص دز مربوط به انواع پروتوهای برخورد کرده به دزیمتر در یک میدان تابشی آمیخته استفاده کرد. البته این کاربرد هنوز عملیاتی نیست.

### دزیمتری محیطی

با در نظر گرفتن پروتوهای زمانی مناسب برای پرتوگیری و خوانش یک بلور OSL می‌توان سیستم دزیمتری OSL را به صورت یک سیستم دزیمتری On line مورد استفاده قرار داد. چنین سیستم‌های دزیمتری در یک دهه گذشته توسط سازمان‌های فضایی دنیا

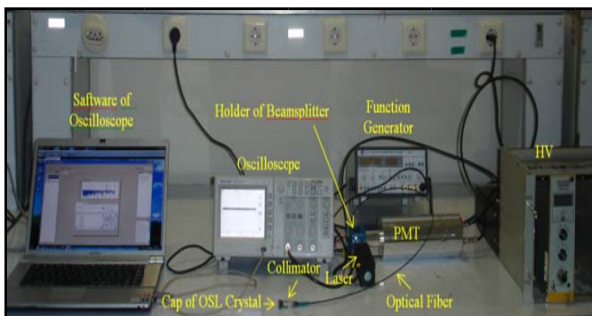
## چیدمان آزمایشگاهی سیستم دزیمتری ساخته شده با تکنیک OSL

بلافاصله بعد از این تحریک نوری، ماده  $Al_2O_3:C$  مورد استفاده، لومینسانسی با طول موج آبی ( $\sim 420$  نانومتر) از خود گسیل می کند که از طریق همان فیبر نوری و به کمک جداکننده نور به سمت فوتومولتی پلایر هدایت شده و پاسخ OSL توسط شمارشگر و نرم افزار خوانشگر شمارش و ثبت می شود. این فرآیند در شکل (۷) کاملاً قابل مشاهده است.



شکل ۷- نمایی از پیکربندی سیستم دزیمتری OSL

در ضمن، مطابق آنچه بیان شد در سیستم دزیمتری OSL، فیبرنوری مسئول حمل نور، از منبع نوری تحریک کننده به آشکارساز OSL و همچنین رساندن نور گسیل شده از آشکارساز، به فوتومولتی پلایر است و برای موازی کردن پرتوهای ورودی و خروجی برای بالابردن شدت و دوری از پراکندگی در دو سر فیبرنوری از بسته متمرکز کننده و موازی ساز نور استفاده شده است. برای جداسازی نور تحریک کننده و نور گسیل شده از ماده OSL نیز، از یک جداکننده نوری در مسیر بین لیزر، فیبرنوری و فوتومولتی پلایر استفاده شده و همچنین چندین فیلتر اپتیکی در برابر فوتومولتی پلایر و لیزر به کار برده می شود که این فیلترها بنا به نیاز، قسمتی از طیف نوری را عبور داده و قسمت دیگر را جذب یا بازتاب می کنند. شکل (۸) چینش آزمایشگاهی سیستم OSL ساخته شده در این پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۸- نمایی از سیستم دزیمتری آزمایشگاهی OSL ساخته شده در دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

در این بخش به شرح طراحی و پیکربندی سیستم دزیمتری OSL پرداخته می شود. به طور کلی می توان سیستم مورد نظر را به سه بخش اصلی ماده دزیمتر OSL، بخش الکترواپتیکی سیستم دزیمتر و خوانشگر سیستم دزیمتری OSL تقسیم کرد.

همان طور که در بالا اشاره شد، بخش اول این سیستم، که مهم ترین بخش آن نیز محسوب می شود ماده دزیمتر OSL است. فرآیند OSL می تواند از هر ماده عایق یا نیمه رسانایی مشاهده شود ولی بهترین و بیشترین مواد مورد استفاده در تکنیک OSL را بلورها تشکیل می دهند. به همین دلیل از کلمه بلور برای ماده دزیمتر OSL استفاده می شود. از خصوصیات یک ماده لومینسانس مناسب برای انجام این نوع دزیمتری می توان به حساسیت بالا در برابر تابش، بازده تحریک نوری بالا، عدد اتمی مؤثر پایین و عدم محوشدگی زیاد (یک سیگنال لومینسانس پایدار در دمای اتاق) اشاره کرد. در این مقاله از بلور  $Al_2O_3:C$  به عنوان ماده دزیمتر استفاده شده است. این ماده آستانه پاسخ OSL بسیار پایین در حدود ۱۰ میکروگری دارد که موجب آشکارسازی سطوح دز بسیار پایین می شود. از خصوصیات دیگر این ماده می توان به محدوده خطی دز تا ۱۰۰ گری و عدد اتمی پایین آن (۱۱/۳) اشاره کرد.

بخش دوم، المان های اپتیکی مورد نیاز برای سیستم دزیمتری OSL است که شامل، جداکننده نور، فیلترهای اپتیکی، بسته متمرکز کننده و موازی ساز نور، فیبرنوری و همچنین لیزر Nd:YAG به عنوان چشمه تحریک است که کاربرد هر کدام از المان ها در ادامه توضیح داده می شود.

آخرین بخش سیستم را خوانشگر تشکیل می دهد که شامل منبع تغذیه، فوتومولتی پلایر، شمارشگر و بخش نرم افزاری مربوط به شمارشگر می شود.

در شکل (۷) نمایی از پیکربندی سیستم دزیمتری OSL نشان داده شده است. در این جا چگونگی عملکرد این سیستم شرح داده می شود. ابتدا ماده دزیمتر OSL که قبلاً در یک میدان تابشی مورد پرتو دهی قرار گرفته است، درون نگهدارنده خود یعنی در انتهای فیبرنوری قرار می گیرد، سپس سیستم خوانشگر OSL روشن و شروع به دریافت و شمارش خروجی فوتومولتی پلایر می کند، هم زمان با آن لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر روشن شده و نور آن از طریق فیبرنوری به ماده دزیمتر می رسد و

9. Beam Splitter
10. Focus collimation package

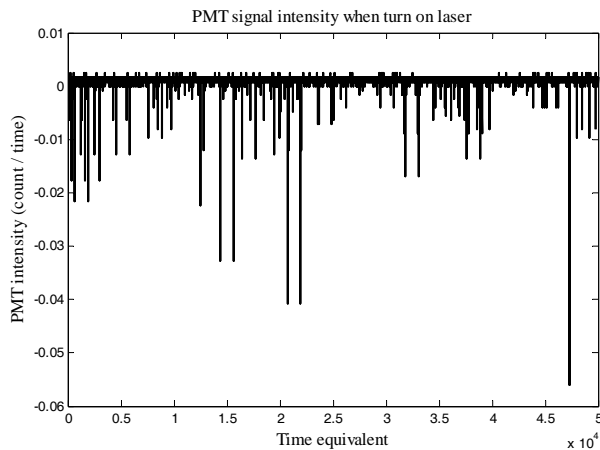


## کالیبراسیون سیستم دزیمتری با تکنیک OSL

به منظور استفاده از سیستم دزیمتری در یک میدان تابشی نامشخص، نیاز به انجام فرآیند کالیبراسیون است. این فرآیند در دو مرحله صورت گرفته است. مرحله اول، کالیبراسیون اولیه است که هدف از انجام آن اطمینان از درستی عملکرد سیستم دزیمتری است و مرحله بعد، کالیبراسیون سیستم به ازای محدوده دز متوسط (تقریباً بین ۱۰-۱ گری) و رسیدن به منحنی کالیبراسیون در میدان تابشی گاما برای این سیستم است. البته محدوده دز انتخاب شده برای ارزیابی اولیه سیستم است و در مراحل بعدی باید محدوده‌های بالاتر و پایین‌تر دز مورد توجه قرار بگیرند.

در مرحله اول کالیبراسیون، دو آزمایش اولیه انجام می‌شود. آزمایش اول مربوط به جریان تاریک فوتومولتی‌پلایر است که در این حالت سیگنال حاصل از فوتومولتی‌پلایر در حالتی که لیزر خاموش است اندازه‌گیری و ثبت می‌شود که مقدار به دست آمده از آن نباید از میزان مجاز بیان شده برای فوتومولتی‌پلایر بیشتر باشد.

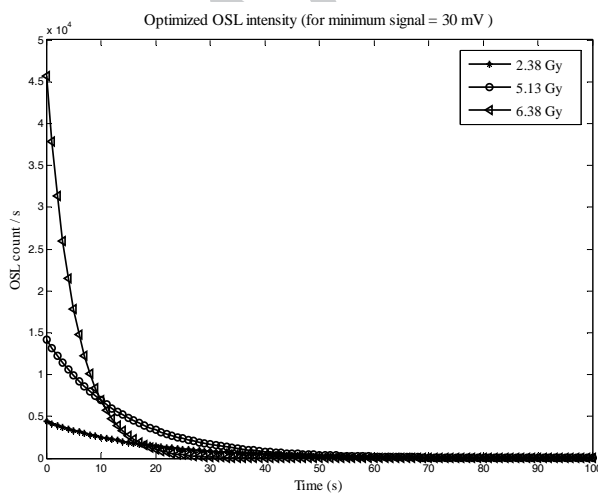
آزمایش دوم مربوط به ثبت سیگنال حاصل از فوتومولتی‌پلایر در زمانی است که لیزر روشن است. از طریق مقایسه نتیجه این آزمایش با آزمایش قبل می‌توان از پایین بودن نویزهای داخلی سیستم، نویزهای محیطی وارد شده به سیستم در هنگام آزمون و همچنین نویزهای مربوط به نور لیزر که ممکن است از فیلترها عبور کرده و داخل فوتومولتی‌پلایر شوند اطمینان حاصل کرد. هر چه میزان سیگنال‌های حاصل از این آزمایش به سیگنال‌های حاصل از آزمایش قبل نزدیک‌تر باشد می‌توان نتیجه گرفت که نور لیزری که وارد فوتومولتی‌پلایر شده قابل چشم‌پوشی است و روی شمارش سیگنال‌های OSL تأثیر نمی‌گذارد. در ضمن پایین بودن میزان این آزمایش باعث بهبود نسبت سیگنال به نویز در اندازه‌گیری‌ها و در نتیجه بهبود پاسخ سیستم و کاهش میزان خطا می‌شود. نتایج آزمایش اول و دوم به ترتیب در شکل‌های (۹) و (۱۰) قابل مشاهده هستند.



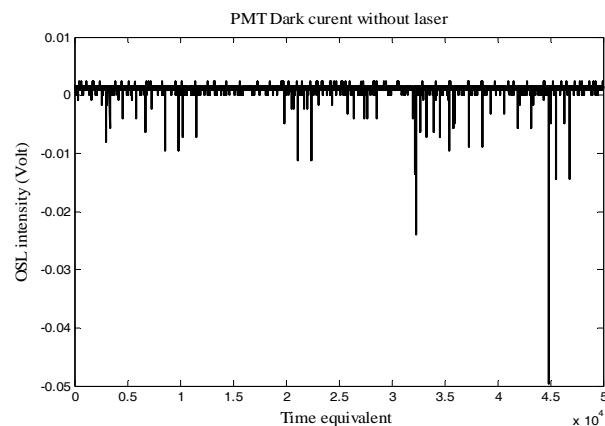
شکل ۱۰- سیگنال حاصل از فوتومولتی‌پلایر با لیزر روشن

مرحله دوم کالیبراسیون توسط سه ماده دزیمتر مشابه (TLD-500) از جنس اکسید آلومینیوم با دوپنت کربن و در سه سطح دز متفاوت انجام شده است. هر سه ماده مورد آزمایش در این جا توسط چشمه کبالت-۶۰ موجود در بیمارستان سیدالشهدای اصفهان مورد تابش‌دهی قرار گرفته‌اند. بلورهای دزیمتر OSL در فاصله ۸۰ سانتی‌متری چشمه قرار گرفته‌اند. دهانه چشمه، در هنگام پرتودهی‌ها ۱۰×۱۰ سانتی‌متر مربع است و قدرت چشمه نیز ۱۰۸ سانتی‌گری دقیقه است. میزان پرتودهی‌ها برای بلورهای شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲/۳۸۶، ۵/۱۳ و ۶/۳۹۴ گری است.

همه اندازه‌گیری‌ها در شرایط اندازه‌گیری و محیطی یکسان، با یک ولتاژ آستانه یکسان (۳۰ میلی‌ولت) و در مدت ۱۰۰ ثانیه خوانش شده‌اند، در ضمن مقدار ولتاژ منبع تغذیه در ۸۷۰- ولت تنظیم شده است. در نهایت حاصل این اندازه‌گیری‌ها سه منحنی کاهش OSL مشاهده شده در شکل (۱۱) است.



شکل ۱۱- منحنی‌های کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه ۳۰ میلی‌ولت در مدت ۱۰۰ ثانیه اول اندازه‌گیری



شکل ۹- سیگنال حاصل از شمارش تاریک فوتومولتی‌پلایر بدون استفاده از لیزر

## نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد سیستم دزیمتری OSL می‌توان گفت این سیستم دزیمتری انتخابی مناسب برای کاربردهای فضایی برای دزیمتری فردی و محیطی فضا خواهد بود.

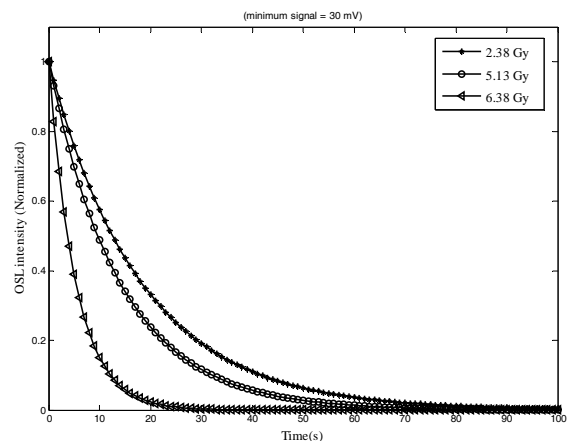
هر چند مشخصه‌یابی و کالیبراسیون سیستم دزیمتری OSL ساخته شده در مراحل ابتدایی است اما با توجه به نتایج به دست آمده از سه آزمایش اولیه‌ای که بر خوانش‌گر صورت گرفت، می‌توان از درستی عملکرد قسمت‌های مختلف سیستم خوانش‌گر، به خصوص قطعات اپتیکی به‌کاربرده شده و حفاظ<sup>۱۱</sup> نوری سیستم خوانش‌گر ساخته شده اطمینان حاصل کرد. همچنین منحنی‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد که این سیستم دزیمتری نیز رفتاری شبیه نمونه‌های استاندارد این دزیمتر دارد.

شکل (۱۲) تغییر شکل کاهش شدت سیگنال OSL را تابعی از دز کل دریافتی نشان می‌دهد و شکل (۱۳) خطی بودن سیستم دزیمتر OSL را در بازه دزیمتری ۱ الی ۶ گری تأیید می‌کند.

## مراجع

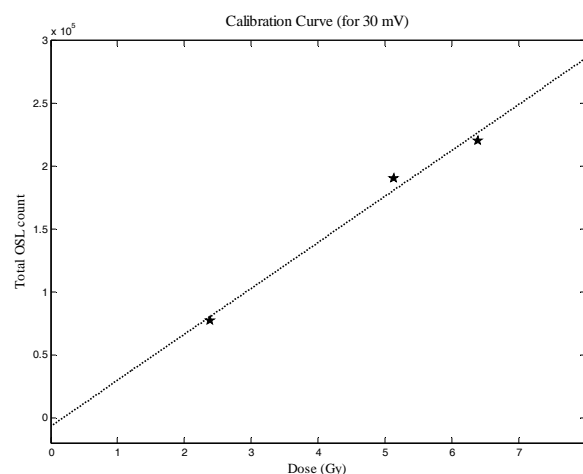
- [1] Yukihara, E. G., Sawakuchia, G. O, et al., "Application of the Optically Stimulated Luminescence (OSL) Technique in Space Dosimetry," *Radiation Measurements*, Vol 41, Issues 9-10, 2006, pp. 1126 – 1135.
- [2] Yukihara, E. G. and McKeever S. W. S, *Stimulated Luminescence Fundamentals and Applications*, 1<sup>st</sup> Edition, Wiley, 2011.
- [3] Jursinic, P. A., "Characterization of Optically Stimulated Luminescent Dosimeters (OSLDs), for Clinical Dosimetric Measurements," *American Association of Physicists in Medicine*, Vol. 34, No.12, 2007, pp. 4594-604.
- [4] McKeever, S. W. S., "Optically Stimulated Luminescence Dosimetry," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, Vol. 184, Issues 1-2, 2001, pp. 29-54.
- [5] Hu, B., "Optically Stimulated Luminescence and its Applications in Radiation Therapy Dosimetry," (PhD. Thesis), University of Wollongong, 2010.
- [6] Bezerra, F., et al., "CARMEN2/MEX: an In-Flight Laboratory for the Observation of Radiation Effects on Electronic Devices," *Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)*, 12<sup>th</sup> European Conference, 2011, pp. 607-614.

با مقایسه شکل‌های (۴) و (۱۱) همان‌طور که انتظار می‌رفت نمودارهای کاهش OSL به‌دست آمده از سیستم دزیمتری ساخته شده، به‌صورت نمایی بوده و با افزایش میزان دز ماده OSL، تخلیه دام‌های دزیمتری در لحظات اولیه اندازه‌گیری با شدت بیشتری انجام می‌شود و همچنین سرعت افت نمودارها نیز با افزایش میزان دز، بیشتر شده و سطح زیر نمودار که با دز کل دریافتی متناسب است افزایش می‌یابد. برای مقایسه بهتر رفتار منحنی‌ها با افزایش میزان دریافت دز، هر سه منحنی در شکل (۱۲) به مقدار یک نرمالیزه شده تا مشاهده این رفتار نمایان‌تر شود.



شکل ۱۲- منحنی‌های نرمالیزه شده کاهش OSL با سطوح دز مختلف در ولتاژ آستانه ۳۰ میلی‌ولت در مدت ۱۰۰ ثانیه اول اندازه‌گیری

در انتها نیز آخرین و مهم‌ترین قسمت کالیبراسیون انجام می‌شود که رسم منحنی کالیبراسیون از طریق انتگرال‌گیری مساحت زیر منحنی‌های کاهش OSL بر حسب دز دریافت شده است. این منحنی در شکل (۱۳) آورده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، نمودار به‌دست آمده با دقت خوبی خطی است.



شکل ۱۳- منحنی کالیبراسیون حاصل از اندازه‌گیری‌های شدت OSL سه آشکارساز