

## ارزیابی کمی پایداری حساسیت در دزیمترهای (LiF: Mg, Ti) (TLD-100) فریدون میانجی<sup>۱</sup> - سمانه برادران<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشگر راکتور و ایمنی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> امور حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

### چکیده:

حساسیت یکی از پارامترهای مهم در دزیمتری به ویژه در دزیمتری فردی است. در دزیمتری فردی به روش ترمولومینسانس (TLD) فرض می‌شود که عمر کریستال‌های ترمولومینسانس اثر ناچیزی بر پاسخ دزیمترها دارند اما در اندازه‌گیری پرتوگیری شغلی که دز دریافتی پرتوکاران اغلب بسیار کم تا متوسط است، چنین پیش فرضی نیاز به راستی آزمائی دارد. در این تحقیق سه گروه از دزیمترهای TLD با عمرهای کاری مختلف که از آنها تنها به منظور دزیمتری فردی استفاده شده انتخاب شده‌اند. هر گروه از TLD ها با دزهای مختلف پرتودهی و پاسخ TL آنها اندازه گیری و مقایسه شده است. با تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از TLD ها با عمرهای مختلف، نشان داده شده که حساسیت دزیمترها با افزایش عمر کاری‌شان در طول زمان کاهش یافته است و در این تحقیق مقدار کاهش حساسیت اندازه گیری شده است. انحراف معیار قرائت دزیمترها برای دزهای پایین با افزایش عمر افزایش یافته اما به نظر می‌رسد در دوزهای متوسط و بالا افزایش سن TLD ها اثر زیادی در انحراف معیار حساسیت آنها ندارد.

کلمات کلیدی: عمر کاری دزیمتر، LiF(Mg:Ti)، دزیمتری فردی، حساسیت، TLD-100

### مقدمه:

از دزیمترهای ترمولومینسانس (TLD) اکثراً برای اهدافی چون دزیمتری فردی و محیطی غیر فعال استفاده می‌شود [۱]. به عنوان بخش مهمی از یک سیستم دزیمتری در تاسیسات هسته‌ای یا فعالیت‌های پرتوی، قابلیت اطمینان این دزیمترها در ثبت دزهای بسیار پایین (تا حدود 0.05 mGy)، در بازه گسترده ثبت دز (تا 10 Gy)، وابستگی کم به انرژی و غیره ثابت شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های یک دزیمتر غیرفعال چند بار مصرف، رفتار آن در طول عمر کاری‌اش، به عنوان مثال، پایداری حساسیت در گذر زمان می‌باشد. برای TLD ها، با توجه به ISO 21909 که استاندارد الزامات ارزیابی عملکرد و آزمون‌های مورد نیاز برای دزیمتری فردی غیر فعال نوترون است، بحث سالخورده‌گی در TLD ها مورد توجه نیست [۱، ۲]. اما با این حال، با توجه به RS-G-1.3، یکی از معیارهای مورد ارزیابی به عنوان بخشی از آزمون‌های نوعی TLD، پایداری پاسخ آن در گذر زمان می‌باشد [۳].

بیشترین ماده‌ای که در ساخت TLD ها استفاده می‌شود LiF به همراه منیزیم و تیتانیوم است که منیزیم منجر به افزایش تعداد تله در شبکه، و تیتانیوم منجر به افزایش تعداد مراکز لومینسانس می‌گردد. LiF(Mg,Ti) با متوسط

عدد اتمی  $8/2$  شامل  $7/92/5$  از  ${}^7\text{Li}$  و  $7/7/5$  از  ${}^6\text{Li}$  است و به عنوان TLD-100 شناخته شده است. این ترکیب با توجه به عدد اتمی مشابه بافت بدن انسان ( $7/4$ )، بیشترین کاربرد را در دزیمتری فردی دارد.

TLD100 در اشکال مختلف مانند پولک، تک بلور، پودری و حتی ژله‌ای موجود است اما اغلب در شکل کریستال های  $\text{LiF}$  با ترکیب ناخالصی‌های منیزیم و تیتانیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. قله تابش گرمایی TLD-100 در  $400\text{nm}$  است که با پاسخ فوتوکاتد لوله فتومولتی پلایر (PMT) همخوانی دارد [۴، ۵]. مطالعات تجربی روی اثرات دز خودالقائی ذاتی دزیمترهای TLD-100 نشان داده است که دز خودالقائی ذاتی این دزیمترها اندک است [۶]. همچنین نشان داده شده که اثر محو شدگی مشکل مهمی برای TLD-100 محسوب نمی‌شود. مقاومت مناسب این دزیمتر در برابر 'دمای نگهداری پس از پرتوگیری' با هر دو اشعه گاما و نوترون‌های حرارتی نیز گزارش شده است [۶ و ۷].

وقتی مرکزی، به عنوان مثال یک بیمارستان، از دزیمترهایی مانند TLD-100 و یک قرائتگر مناسب برای خوانش TLDها استفاده می‌کند، می‌تواند با کالیبراسیون دوره‌ای تغییر حساسیت در دزیمترهایی که چندین دوره در معرض پرتوگیری قرار گرفته‌اند را جبران کند. در این مورد باید به این واقعیت نیز توجه داشت که تعداد دزیمترهای انتخاب شده در یک گروه خیلی بزرگ نباشد و عمر همه آنها نیز نزدیک به هم باشد. در این صورت انحراف استاندارد میانگین (ضریب تنوع) آنها خیلی بزرگ نخواهد بود و یک کالیبراسیون مجدد کافی است. این مساله منطقی مانع از تخمین کمتر یا بیشتر دز در اقدامات پزشکی یا شغلی می‌شود. با این حال، برای تاسیسات بزرگتر و ارائه دهندگان خدمات که در طول زمان TLDهای جدید به موجودی آنها اضافه می‌شود، نمی‌توان اطمینانی به ثابت ماندن حساسیت فرض شده دزیمترها داشت. کاهش قابل توجه در حساسیت TLD به معنی کاهش حداقل دز قابل آشکارسازی است. بنابراین، مخلوط کردن TLDهای قدیمی با دزیمترهای جدید فرآیند درستی به نظر نمی‌رسد و محدوده وسیع حساسیت دزیمترها می‌تواند منجر به ضریب تغییراتی که از نظر آماری مطلوب نیست گردد. در این تحقیق، چندین آزمایش بر روی دزیمترهایی با عمر کاری زیاد، متوسط و دزیمترهای تازه برای بررسی اثرات عمر در کیفیت عملکردشان انجام شده است. نتایج نشان داده که افزایش عمر کاری دارای اثراتی بر روی عملکرد دزیمترها است حتی اگر آنها در معرض دوزهای بالا قرار نگرفته باشند. در ادامه به توضیح مواد و روش‌های مورد استفاده و همچنین ارائه نتایج و یافته‌های بدست آمده می‌پردازیم.

## روش کار:

مهمترین ویژگی TLD که ممکن است حساسیتش را پس از بارها استفاده کاهش دهد پارامتر 'تعداد مراکز به تله انداختن الکترون-حفره' است. به عنوان مثال، منحنی درخشش TLD-100 حداقل دارای ۱۳ قله می‌باشد. این تعداد

قله به خاطر تله‌های متعدد در عمق‌های مختلف (با درجه حرارت‌های مختلف) موجود در ساختار TLD-100 می باشد.

هر تله نشان دهنده یک انرژی بالقوه قابل مشاهده در منحنی درخشندگی است. پیک اصلی در دزیمتری فوتون‌ها معمولاً در دمای بیشینه حدود ۲۱۰ سانتی گراد رخ می‌دهد. مراکز تله در TLD-100 پایدار است و قابل دسترس بودن، توزیع و فراوانی آنها از عوامل مختلف تاثیرپذیر می‌باشد. علاوه بر این، برخی از مراکز تله نسبت به دما مستقل نیستند. این واقعیت ممکن است منجر به تخلیه آنی انرژی تله و افزایش تله‌های دیگر به علت گذار میان تله‌ها شود. بنابراین، تاریخچه حرارت‌دهی TLD ها مهم است.

دیگر عوامل موثر بر حساسیت TLD ها شامل سطح دز، آسیب‌های فیزیکی و مدت زمان استفاده از آنها می باشد. ممکن است ساختار بلورین TLD ها وقتی در معرض دزهای بسیار بالا ( $< 100$  گری) قرار می‌گیرد آسیب ببیند. هرچند محدودیت زمان برای استفاده از TLD ها توصیه نشده است، برخی کاربران ۵۰ بار استفاده را پیشنهاد کرده اند، اگرچه به نظر می‌رسد که این مساله کاملاً به مواردی چون عدم قطعیت دز، دزهایی که اندازه‌گیری شده (نوع کاربرد)، فرآیند کامل حرارت‌دهی، آسیب‌های فیزیکی TLD ها (که می‌تواند فرآیندهایی چون میزان ذخیره سازی و پاکسازی را کاهش دهد) و ... بستگی دارد. حتی TLD های تازه تولید شده توسط کارخانه هم با توجه به تغییرات ساختاری جزئی، ممکن است پاسخ‌های متفاوتی داشته باشند. مثلاً ممکن است (از این پس، منظور از TL اشاره به منحنی درخشندگی TL است)، بازده TL تعدادی TLD که به طور همزمان با یک میزان دز و با یک چشمه در شرایط مشابه پرتودهی شده و سپس با یک سیستم قرائتگر خوانش شده اند متفاوت باشد. این مورد حتی برای TLDهایی که از یک گروه تولید می‌شوند نیز ممکن است اتفاق بیفتد. بازدهی TL به عنوان نور گسیل شده ناشی از پدیده ترمولومینسانس بر واحد دز جذبی تعریف می‌شود. همیشه یک انحراف استاندارد حساسیت هم برای گروهی از TLDها تعیین می‌شود که به طور معمول انتظار می‌رود بیشتر از ۱۰-۱۵٪ نباشد. این انحراف استاندارد می‌تواند تا حد زیادی با کالیبراسیون گروهی (Batch calibration) کاهش یابد (مثلاً به ۱-۲٪). برای محدود کردن این خطا که بیشتر ناشی از خاصیت ذاتی TLD است تا خطای ناشی از قرائتگر، ضریب تصحیح دزیمتر (Element Correction Coefficient) تعریف شده است. ECC برابر است با نسبت TL میانگین گروه دزیمترها به قرائت TL هر دزیمتر در فرآیند کالیبراسیون گروهی.

روش دقیق تعیین ECC بدین ترتیب است که در مرحله اول، همه TLDهای گروه انتخاب شده در شرایط هندسی یکسان مورد پرتودهی قرار می‌گیرند (مرحله کالیبراسیون گروهی). سپس دزیمترهایی که ECC آنها بین ۹۵/۰ تا ۱/۰۵ است بعنوان دزیمترهای کالیبراسیون (Calibration Dosimeters (CD)) برای محاسبه ضریب کالیبراسیون انتخاب می‌شوند. متوسط بازدهی بدست آمده از CDها با ضریب بازدهی هر دزیمتر که دزیمتر میدانی (Field Dosimeters (FD)) نام دارد مقایسه شده و ECC برای هر FD محاسبه می‌شود. محاسبه ECC از فرمول زیر می‌باشد:

$$ECC_i = TLE_{av} / TLE_i \quad (1)$$

وقتی دزیمترهای تازه تولید شده به مجموعه دزیمترهای در حال استفاده اضافه می‌شوند، ECC ها با هدف نرمال کردن بازدهی آنها با دزیمترهای موجود دوباره مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. برای رسیدن به این هدف، باید حساسیت دزیمترهای کالیبراسیون ثابت بماند [۷]. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که اضافه کردن TLD های تازه به آنهایی که قبلا استفاده شده‌اند، مخصوصا اگر CD ها هم به روز نشده باشند، بطور قابل توجهی منجر به کاهش اثر ECC در اصلاح پاسخ TLD ها خواهد شد. شایان ذکر است که به روز کردن CD ها کاری پر هزینه و دشوار برای ارائه دهندگان خدمات دزیمتری که دارای صدها یا هزاران کارت TLD هستند می‌باشد.

هدف از این پژوهش، بررسی کمی اثر سن دزیمترهای TLD-100 بر روی حساسیت آنها می‌باشد. برای این منظور، TLD هایی با عمرهای کاری گوناگون، اما با شرایط بازپخت (annealing)، پرتودهی و شرایط فیزیکی مشابه، انتخاب شده و در چند مورد پرتودهی قرار گرفته‌اند. سپس، سیگنال‌های منحنی درخشش TL آنها با یک سیستم قرائتگر یکسان خوانده شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

### انتخاب نمونه ها

مرکز نظام ایمنی هسته‌ای (INRA)، بین سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ ارائه دهنده اصلی خدمات TLD (با دوره زمانی دو ماهه) برای تقریبا تمام تاسیسات و مراکز کار با پرتو در ایران بوده است. تمام کارت های TLD استفاده در این پژوهش از آزمایشگاه دزیمتری TLD مرکز نظام ایمنی هسته‌ای بوده است. علاوه بر این، همه کارت‌های TLD استفاده شده از یک نوع و نام تجاری در زمان های مختلف خریداری شده‌اند. TLD ها دو کریستاله و مارک هارشا می‌باشند. هر کارت دارای دو کریستال کوچک TLD-100 بوده و در قاب آلومینیومی بسته‌بندی شده و توسط یک روکش پلاستیکی مقاوم در برابر گرما و سایش محافظت شده است. سه گروه از TLD ها برای این آزمایش انتخاب شدند.

گروه اول شامل ۸ کارت TLD که به طور تصادفی از TLD هایی که برای ۱۰-۱۲ سال در ارائه خدمات دزیمتری استفاده شده بودند، انتخاب شد. به این گروه در متن با عنوان G10 اشاره شده است. گروه بعدی (۸ کارت) از TLD هایی که برای ۵-۶ سال (G5) در ارائه خدمات از آنها استفاده شده بود انتخاب گردید. گروه آخر از TLD هایی که هنوز از آنها استفاده نشده بود (G0) انتخاب شدند. این اطمینان نیز حاصل شد که تمام دزیمترهای انتخاب شده به طور پیوسته در خدمات استفاده شده و هیچ کدام آسیب فیزیکی نداشته باشند. همچنین هیچ کدام از آنها در پرتوگیری با دزهای خیلی بالا نیز استفاده نشده بود.

### بازپخت

استفاده طولانی مدت از TLD ها در خدمات و تکرار چرخه‌های بازپخت ممکن است منجر به بروز تغییرات در حساسیت دزیمترها شود. روش بازپخت ایده‌آل برای  $LiF(Mg,Ti)$  دمای  $400^{\circ}C$  به مدت یک ساعت می‌باشد و سپس به دنبال آن حرارت‌دهی دیگر در دمای پایین‌تر، به عنوان مثال دو ساعت در دمای  $100^{\circ}C$  مناسب است. روشن

است که این فرآیند، به ویژه زمانی که تعداد TLD ها زیاد باشد، زمان بر و پرهزینه است. علاوه بر این، استفاده از درجه حرارت های بالا برای بازپخت عملا برای کارت های TLD ساخته شده از آلومینیوم و پلاستیک قابل اجرا نیست. از این رو بیشتر ارائه دهندگان خدمات دزیمتری فردی با TLD از همان چرخه خوانش دزیمترها برای بازپخت یا به اصطلاح صفر کردن آنها بهره می برند (آن را دو یا سه بار تکرار می کنند). این رویکرد نه کامل است و نه ضامن حفظ حساسیت TLD ها در دراز مدت می باشد. دیگر عوامل مهم در فرآیند بازپخت عبارتند از دوره زمانی سرد کردن (سرد کردن آهسته تر آسیب کمتر در شبکه کریستالی و ایجاد مراکز تله کمتری را به دنبال دارد). همچنین و دمای حرارت دهی بازپخت در معرض هوا و دمای بالا باعث اکسید شدن سطح TLD ها می شود. همه اینها می تواند به تدریج منجر به کاهش حساسیت به ویژه برای اندازه گیری پرتوهای کم نفوذ گردد. در این آزمایش ها برای بازپخت نمونه های انتخاب شده، همان روش معمول مورد استفاده در طول زمان سرویس دهی به کار گرفته شد بدین ترتیب که TLD ها سه بار در دمای  $250^{\circ}\text{C}$ ، برای تهی شدن از انرژی باقی مانده (قبل از هر پرتو دهی جدید) قرائت شدند.

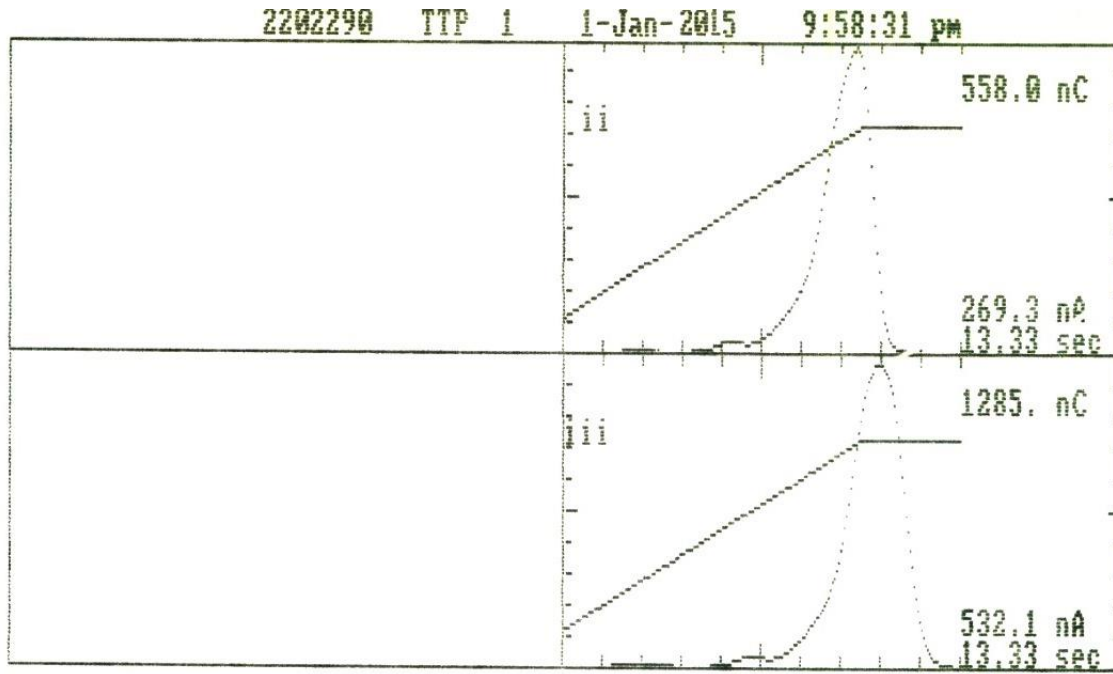
## پرتو دهی

برای هر آزمایش، بعد از حرارت دهی کارت های TLD از هر گروه، آنها در یک نگهدارنده مسطح و نازک، بسیار نزدیک به یکدیگر قرار داده شدند. همه گروه ها توسط چشمه استاندارد Cs-137 با دزهای مختلف ۱، ۲۵، ۱۰۰، ۵۰۰ میلی گری در فاصله ۵۰ سانتی متر (برای از بین بردن اثر زاویه) مورد پرتو دهی قرار گرفتند. کارت ها پس از آن بلافاصله برای خوانش و بازپخت به آزمایشگاه دزیمتری TLD منتقل شدند.

## قرائت نمونه ها

منحنی درخشش TLD-100 دارای ۶ قله مهم در دماهای مختلف است [۹]. قله اصلی مورد استفاده برای اندازه گیری دز، در پیک پنجم می باشد که در دمای حدود  $210^{\circ}\text{C}$  رخ می دهد. خوانش TLD ها از طریق یک سیستم قرائتگر مشابه و تحت شرایط یکسان انجام شده است. قرائتگر هارشا مدل ۶۶۰۰ برای خواندن کارت ها مورد استفاده قرار گرفت. کارت های TLD ابتدا در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  در داخل کوره به مدت ۲۰ دقیقه برای آزاد کردن پیک های زمینه (پیک های شماره ۱ تا ۴) پیش گرمایش شدند. پس از آن تا رسیدن به دمای اتاق سرد شده و بعد در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  خوانش انجام شد.

منحنی درخشندگی (پس از پیش گرمایش) قرائتگر استفاده شده و کارت ها در شکل ۱ نشان داده شده است. انحراف معیار هر گروه محاسبه و با دیگر گروه ها و همچنین با انحراف معیار کلی (همه گروه ها در یک مجموعه کلی) مقایسه شده است. همچنین، میانگین حساسیت گروه های TLD با هم مقایسه شده است تا رابطه بین حساسیت TLD-100 و مدت زمان استفاده از آن مشخص گردد.



شکل (۱) منحنی درخشندگی برای TLD های استفاده شده بعد از پیش حرارت

### نتایج:

نتایج برای هر سه گروه که با دز 1 mGy پرتو دهی شده‌اند در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. برای دز mGy، میانگین TL برای G10 و G5 کمتر از G0 است. میانگین TL برای G10 بالاتر از G5 بدست آمده و نسبت انحراف معیار استاندارد به میانگین حدود ۸۳ درصد است که عددی بسیار نامناسب می‌باشد.

نتایج برای دز 25mGy در جدول‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. برای دز 25mGy، حساسیت متوسط گروه TLD های تازه بیشتر بوده است. گروه G0 دارای ۲۳٪ و ۴۳٪ حساسیت بیشتر از G5 و G10 است. بر مبنای انحراف معیار استاندارد، تمام گروه‌ها با نسبت انحراف معیار استاندارد به میانگین به ترتیب ۸/۶٪، ۱۰/۴٪ و ۸/۶٪ برای G10، G5 و G0، تقریباً مشابه با هم هستند. انحراف معیار استاندارد همه TLD ها با هم (شامل هر سه گروه) برابر با ۴۲/۸ است که حدوداً ۲/۵ برابر بیشتر از G10 و نزدیک ۱/۸ برابر G5 و G0 است. نتایج برای دز 100 mGy در جدول‌های ۷ تا ۹ ارائه شده است. برای دز نسبتاً بالایی مانند 100 mGy، رابطه بین پاسخ گروه‌های TLD مشابه دز ۲۵ mGy است. گروه G0 حساسیتی ۳۰٪ و ۴۵٪ بالاتر از G5 و G10 را نشان می‌دهد. از نظر انحراف معیار استاندارد، همه گروه‌ها در این سطح دز نیز مشابه می‌باشند. نسبت انحراف معیار استاندارد به میانگین برای TL های سه دسته G10، G5 و G0، به ترتیب ۱۰/۷٪، ۱۰/۹٪ و ۸/۸٪ بوده است. انحراف معیار استاندارد همه TLD ها با هم (شامل هر سه گروه) ۲۰/۱/۶ است که در حدود ۲/۹ برابر گروه G10 و نزدیک ۱/۹

برای گروه‌های G0 و G5 می‌باشد. نتایج برای پرتودهی 500 mGy در جدول‌های ۱۰ تا ۱۲ ارائه شده است. وضعیت در پرتودهی با دز 500 mGy مشابه دزهای 25 و 100mGy است. میانگین TL برای G0 ۲۵٪ و ۴۷٪ بالاتر از G5 و G10 می‌باشد. نسبت انحراف معیار استاندارد به میانگین برای TL‌های سه گروه G5، G10 و G0 به ترتیب ۹/۵٪، ۱۱٪ و ۹/۶٪ است، که دوباره مشابه و قابل مقایسه هستند. انحراف معیار استاندارد همه TLDها با هم (شامل هر سه گروه) ۸۹۹/۳ است که در حدود ۲/۵ برابر G10 و نزدیک به ۱/۷ برابر G5 و G0 می‌باشد. شکل ۲ روند میانگین پاسخ TL‌های G0، G5 و G10 را بر حسب دز نشان می‌دهد.

جدول (۱) TL‌های خوانش شده برای گروه G10 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 1mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	2.41	2.96	20.03	3.33	14.68	2.7	3.20	4.62
TLD 2	3.73	3.40	8.38	7.71	13.08	6.15	4.81	4.72
Mean TL	6							
Std	5							

جدول (۲) TL‌های خوانش شده برای گروه G5 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 1mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	2.14	2.21	3.55	1.86	2.71	1.89	2.73	1.85
TLD 2	2.22	2.58	3.09	1.56	2.42	1.81	4.69	1.84
Mean TL	2.4							
Std	0.8							

جدول (۳) TL‌های خوانش شده برای گروه G0 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 1mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	10.11	5.21	6.67	5.10	7.87	3.25	3.65	9.02
TLD 2	13.7	4.50	4.80	4.00	5.00	7.50	6.10	11.90
Mean TL	6.8							
Std	3.1							

جدول (۴) TL‌های خوانش شده برای گروه G10 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 25mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	202.8	216.1	212.5	191.5	217.5	177.8	181.7	193
TLD 2	206.5	194.4	245.6	213.5	209.6	192.8	215.1	178.4
Mean TL	203.3							
Std	17.6							

جدول ۵) TLهای خوانش شده برای گروه G5 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 25mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	223.3	233.8	231.8	206.9	225	241.4	228.9	269.5
TLD 2	209.7	258.6	223.4	211.2	262.4	227.1	295	215.8
Mean TL	235.2							
Std	24.5							

جدول ۶) TLهای خوانش شده برای گروه G0 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 25mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	297.9	300.9	251.2	261.5	306.8	281.8	298.1	261.7
TLD 2	286	329.2	320.	336.8	299.7	272.8	291.5	256.5
Mean TL	290.8							
Std	25.6							

جدول ۷) TLهای قرائت شده برای گروه G10 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 100mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	962	936.3	856.6	849.2	888.6	761.6	812.9	883.4
TLD 2	981	916.1	1031.9	973.6	907.9	838	988.4	883.2
Mean TL	904.4							
Std	72.2							

جدول ۸) TLهای خوانش شده برای گروه G5 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 100mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	934.6	974.3	967.1	855.9	987.3	1081	982.9	1145
TLD 2	909.5	1086.2	961.3	922.7	1144.5	1031.9	1285.8	919.4
Mean TL	1011.8							
Std	111.3							

جدول ۹) TLهای خوانش شده برای گروه G0 (۸ کارت) در پرتودهی با دز 100mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	1311	1387	1173	1170	1301	1273	1296	1208
TLD 2	1221.7	1533.1	1504.3	1485.5	1349.9	1298.9	1335.9	1177.4



Mean TL	1314.1
Std	116.1

جدول (۱۰) TL های خوانش شده برای گروه G10 (۸ کارت) در پرتو دهی با دز 500mGy

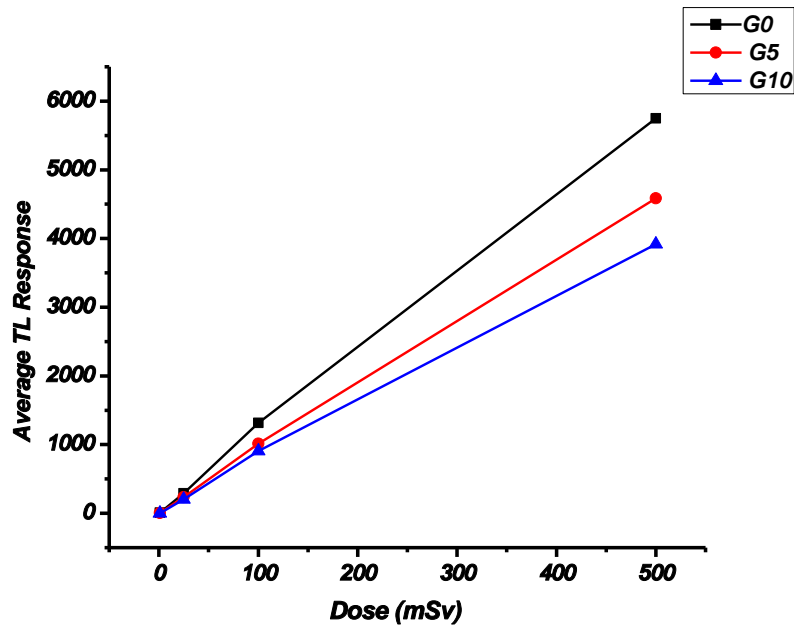
Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	3924	3803	3882	3724	3910	3209	3621	3816
TLD 2	4143.5	3797.6	4789.1	4326	3896.4	3677.9	4484.3	3685.4
Mean TL	3918.1							
Std	372.1							

جدول (۱۱) TL های خوانش شده برای گروه G5 (۸ کارت) در پرتو دهی با دز 500mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	4175	4525	4396	3884	4254	4585	4396	5166
TLD 2	4181.1	4939.8	4390.5	4206.3	5285.7	4810.9	5829.1	4307.6
Mean TL	4583.2							
Std	504.6							

جدول (۱۲) TL های خوانش شده برای گروه G0 (۸ کارت) در پرتو دهی با دز 500mGy

Card ID	1	2	3	4	5	6	7	8
TLD 1	5603	6049	5194	4978	5680	5560	5553	5168
TLD 2	5606.4	6862.5	6610.4	6633	5952.2	5614.8	5744.6	5203.6
Mean TL	5750.8							
Std	552							



شکل ۲) رابطه متوسط حساسیت بر مبنای دز برای هر سه گروه از TLD ها

## بحث و نتیجه گیری:

در این پژوهش وابستگی حساسیت دزیمترهای غیر فعال TLD-100، که غالباً در دزیمتری فردی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی شده است. برای این تحقیق، کارت‌های تازه TLD-100 هارشا و آنهایی که ۵ و ۱۰ سال در سیستم ارائه خدمات دزیمتری بوده‌اند انتخاب شده و در دزهای ۱، ۲۵، ۱۰۰ و ۵۰۰ mGy پرتودهی شدند. نتایج خوانش TLD ها نشان داد که حساسیت کارت‌های تازه حدود ۵۰٪ بیشتر از کارت‌های استفاده شده طی ۱۰ سال و ۲۵ تا ۳۰٪ بیشتر از کارت‌های استفاده شده طی ۵ سال می‌باشد. با توجه به این یافته، وقتی که TLD های تازه به گروهی از TLD هایی که از پیش در خدمات دزیمتری فردی مورد استفاده بوده‌اند اضافه می‌شوند، ارزیابی اولیه برای مقایسه حساسیت این دو گروه از TLD ها توصیه می‌شود.

در پرتوگیری‌های شغلی دز ثبت شده در هر دوره دزیمتری معمولاً پائین بوده و بیش از چند میلی سیورت نیست. نتایج نشان داد که انحراف استاندارد TLD هایی که برای مدت طولانی از آنها بهره‌برداری شده است زیاد و غیر قابل قبول است. این مساله قاعدتاً با توجه به انرژی باقی مانده در کریستال‌های TLD ها است که در فرآیند معمول بازیخت تخلیه نشده است. بنابراین، بکارگیری فرآیندهای بازیخت کارآمدتر برای دزیمتری فردی TLD توصیه می‌شود. در افزودن دزیمترهای تازه به گروه دزیمترهای موجود (که طولانی مدت استفاده شده‌اند) مقایسه حساسیت

دو گروه دزیمترهای می‌تواند اطمینان کافی از امکان پذیر بودن و درست بودن اینکار را فراهم آورد. در صورت مشاهده اختلاف قابل توجه در حساسیت گروه دزیمترهای تازه و کارکرده، باید نسبت به بروزرسانی فاکتورهای کالیبراسیون اقدام گردد.

## مراجع:

1. Hosseini Aliabadi SJ, Hosseini Pooya SM, Afarideh H, Mianji F. Improvement of Accuracy in Environmental Dosimetry by TLD Cards Using Threedimensional Calibration Method. *J Biomed Phys Eng.* **5**:49-52, 2015.
2. In: ISO: International Organisation for Standardisation. Passive personal neutron dosimeters – Performance and test requirements. 2005.
3. Guide IS. Assessment of occupational exposure due to external sources of radiation. IAEA Safety Guides, No. RS-G-1.3, 18, 1999.
4. Freire L, Calado A, Cardoso J, Santos L, Alves J. Comparison of LiF (TLD-100 and TLD-100H) detectors for extremity monitoring. *Radiation Measurements.* **43**:646-50, 2008.
5. Moor D, Horspool B, Stokes R. Performance of the Harshaw DXT-RAD (TLD-100) dosimeter. *Radiation Measurements.* **43**:533-7, 2008.
6. Delgado A, Vergara JS, Ros JG, Romero A. Intrinsic Self-Dosing and Long Term Stability of LiF TLD-100 and GR-200 TL Detectors. *Radiation protection dosimetry.* **58**:211-6, 1995.
7. Bilski P, Berger T, Hajek M, Twardak A, Koerner C, Reitz G. Thermoluminescence fading studies: Implications for long-duration space measurements in Low Earth Orbit. *Radiation Measurements.* **56**:303-6, 2013.
8. Gilvin PJ, Burkett RA, Baker ST, Garratt NJ. Long-term stability of Harshaw LiF:Mg,Cu,P TLDS. *Radiat Prot Dosimetry.* **144**:192-4, 2011.
9. Luo LZ, Velbeck KJ, Rotunda JE. Evaluating two extremity dosimeters based on LiF:Mg,Ti or LiF:Mg,Cu,P. *Radiat Prot Dosimetry* ;**101**:211-6, 2002.
10. Savva A. Personnel TLD monitors, their calibration and response: University of Surrey; 2010.