



## نتایج آزمون‌های نوعی دزیمتری بر روی نمونه دزیمتر ترمولومینسانس LiF:Mg,Ti ساخته شده در ایران

منصور جعفری زاده<sup>۱</sup>، سیدمهدی حسینی پویا\*<sup>۱،۲</sup>، بهنام فیروزی<sup>۱</sup>، علیرضا کامالی شروودانی<sup>۱</sup>، خیراله محمدی<sup>۴</sup>

- ۱- بخش دزیمتری، امور حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران-ایران
- ۲- پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج-ایران
- ۳- پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران-ایران
- ۴- دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۳۳۱۳، تهران-ایران

**چکیده:** این پژوهش مبتنی بر برخی از آزمون‌های نوعی بوده است که بر روی نمونه دزیمتر چند بلوری LiF:Mg,Ti (polycrystal) ساخته شده در ایران انجام شده است. این آزمون‌ها شامل آزمون‌های حساسیت، یکنواختی نمونه‌ها، خطی بودن، تکرارپذیری، کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری (MMD)، دز ذاتی و دز باقی‌مانده بودند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نمونه‌های تحت آزمون از نظر کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری، دز ذاتی و دز باقی‌مانده معیارهای استانداردهای IEC 61066 و ASTM E 668 را کاملاً برآورده می‌نمایند اما در خصوص یکنواختی، خطی بودن و تکرارپذیری اندکی از این معیارها فاصله دارند. همچنین میزان حساسیت آن‌ها ۰٫۹۲ نمونه‌ی استاندارد دزیمتر LiF:Mg,Ti هارشا با نام تجاری TLD-100 می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نمونه‌ی ساخته شده برای دزیمتری فردی و محیطی معمول، و همچنین در دزیمتری پزشکی با در نظر گرفتن دقت مورد نظر مناسب می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دزیمتری، فلورید لیتیوم، ترمولومینسانس، استاندارد IEC 61066 آزمون‌های نوعی

## The Results of Dosimetric Type Tests on the Sample of LiF:Mg,Ti Thermoluminescence (TLD) Dosimeters Produced in Iran

M. Jafarizadeh<sup>1,2</sup>, S.M. Hosseini Pooya\*<sup>1,3</sup>, B. Firoozi<sup>1</sup>, A.R. Kamali Shoroodani<sup>1</sup>, Kh. Mohammadi<sup>4</sup>

- 1- Dosimetry Division, National Radiation Protection Department, Iran Nuclear Regulatory Authority, AEOI, P.O. Box: 14155-1339, Tehran-Iran
- 2- Agricultural Medical and Industrial Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 31485-498, Karaj-Iran
- 3- Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-3486, Tehran-Iran
- 4- Faculty of Nuclear Engineering & Physics, Amir- Kabir University of Technology, P.O. Box: 15875-3313, Tehran-Iran

**Abstract:** In this investigation, the standard type tests performed on the LiF:Mg,Ti chip samples which have been produced in Iran. The dosimetry tests are consisting of sensitivity, homogeneity, linearity, reproducibility, minimum measurable dose (MMD), self and residual doses. The obtained results show that some of the tests such as sensitivity, minimum measurable dose, self and residual doses fulfill the criteria given by IEC 61066 and ASTM E668 standards; however, the remaining tests show some discrepancies in comparison with the standards. Also the sensitivity was measured to be 0.92 of that of commercially available TLD-100 (Harshaw) sample. So, the produced LiF:Mg,Ti dosimeter can be used in a routine personal/environmental and medical dosimetry with considering its precision.

**Keywords:** Dosimetry, Lithium Fluoride, Thermoluminescence, IEC 61066 Standard, Type Tests

\*email: mhosseini@aeoi.org.ir



گرمایش این دستگاه هنگام خواندن،  $10^{\circ}\text{C s}^{-1}$ ، حداکثر دما  $300^{\circ}\text{C}$  و زمان کل خواندن ۳۰s انتخاب شد. برای بازپخت<sup>(۲)</sup> دزیمترها از یک کوره الکتریکی مدل ترمولین با دقت  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  استفاده شد. رژیم دمایی به کار رفته برای پخت دزیمترها مطابق با استاندارد دزیمتر LiF:Mg,Ti برابر ۱ ساعت در  $400^{\circ}\text{C}$  و سپس ۲ ساعت در  $100^{\circ}\text{C}$  بوده است. برای حذف اثر محوشدگی، پس از پرتودهی پیش گرم کردن نمونه‌ها در  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. هم‌چنین وزن نمونه‌های TLD با استفاده از یک ترازوی مدل Metler، درجه‌بندی شده با دقت میکروگرم، اندازه‌گیری شدند.

### ۲-۲ روش ساخت

بلور دزیمترهای ترمولومینسانس می‌توانند به دو روش کلی رشد بلور جامد و یا فشار سرد<sup>(۳)</sup> بر روی پودر دزیمتر تهیه شوند. روش فشار سرد اگرچه روش ساده‌تر و ارزان‌تری در تولید بلور دزیمتر است، اما عوامل متعددی در زمان ساخت دزیمتر با این روش بر یکنواختی آن تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به یکنواختی پودر اولیه، یکسان بودن وزن پودر برای هر بلور، یکنواختی میزان فشار برای هر بلور و ... اشاره نمود. لذا، در این روش، نمونه‌ها با یکنواختی کم‌تری نسبت به روش رشد بلور تهیه می‌شوند. نمونه‌های هارشا از نوع رشد بلوری می‌باشند و نمونه‌های تحت آزمون با روش فشار سرد تولید شده‌اند.

### ۲-۳ آزمون‌های نوعی

#### ۲-۳-۱ تعیین حساسیت

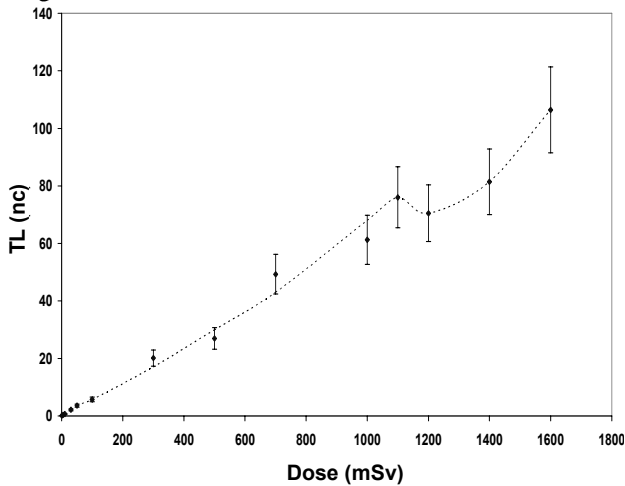
معیار حساسیت عبارت است از نسبت پاسخ (سطح زیر منحنی درخشندگی) دزیمتر تحت آزمون به دزیمتر مرجع، زمانی که تحت شرایط یکسان پرتودهی شده باشند. معمولاً از دزیمتر TLD-۱۰۰ به عنوان مرجع استفاده می‌شود [۶]. شکل ۱ منحنی درخشندگی نمونه‌ی آزمون را در مقایسه با نمونه‌ی TLD-۱۰۰ که به طور هم‌زمان و به یک میزان پرتودهی شده‌اند نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود شکل منحنی درخشندگی نمونه‌ی آزمون با نمونه‌ی استاندارد تطابق کامل دارد. جابه‌جایی اندک محل قله‌ها ناشی از تفاوت در روش ساخت دو نوع دزیمتر است و ویژگی‌های دزیمتری تأثیری ندارد.

ساخت دزیمترهای ترمولومینسانس در کشور چه در سطوح تحقیقاتی و چه صنعتی همواره مورد توجه محققین بوده و در حال گسترش است [۱، ۲ و ۳]. از آن‌جا که هدف از ساخت این نوع دزیمترها امکان به کارگیری آن‌ها در دزیمتری‌های فردی، محیطی و یا پزشکی است، بررسی پارامترهای دزیمتری نمونه‌ها بسیار حایز اهمیت است. آزمون‌های نوعی، مجموعه‌ای از آزمون‌ها هستند که برای این هدف تعریف شده‌اند و با انجام آن‌ها می‌توان از عملکرد مناسب دزیمتر موردنظر اطمینان حاصل نمود. معیارهای آزمون‌های نوعی مربوط به دزیمترها و سیستم‌های دزیمتری TLD در دو استاندارد IEC ۶۱۰۶۶ و ASTM E ۶۶۸ تشریح شده‌اند [۴ و ۵]. این آزمون‌ها موارد گسترده‌ای از جمله ویژگی‌های دزیمتری، شرایط محیطی مانند دما و رطوبت، عوامل مکانیکی مانند فشار و ... را دربر می‌گیرند. ویژگی‌های دزیمتری مهم شامل آزمون‌های یکنواختی به معنی مقایسه‌ی پاسخ دز نمونه‌ها با یک‌دیگر در یک دز معین، خطی بودن به مفهوم رفتار پاسخ دزیمتر در یک گستره‌ی مشخص و معین از مقادیر دز، تکرارپذیری به معنی عدم تغییرات محسوس پاسخ در اثر تکرار استفاده از آن، کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری (MMD)، دز ذاتی به معنی میزان ترمولومینسانس ثبت شده‌ی ناشی از خود پرتودهی در مدت مشخص و دز باقی‌مانده به مفهوم میزان ترمولومینسانس باقی‌مانده بعد از یک بار خواندن می‌باشند. در این تحقیق ضمن تشریح روش انجام برخی از این آزمون‌های نوعی، نتایج انجام آن‌ها براساس معیارهای این دو استاندارد بر روی نمونه‌های دزیمتر LiF:Mg,Ti ساخته شده در مقیاس صنعتی در کشور بررسی شده است.

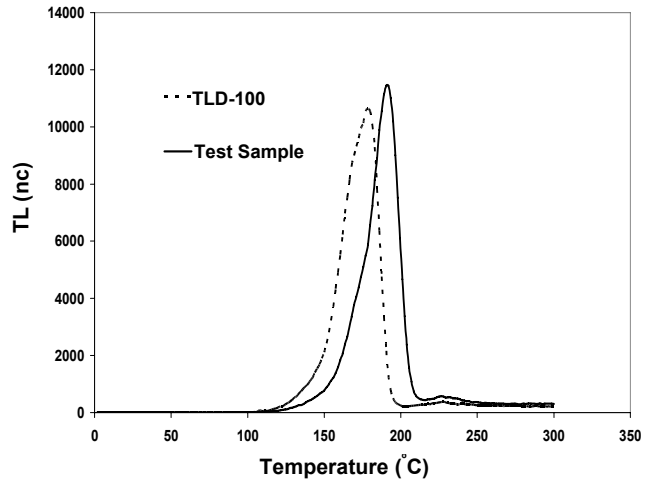
### ۲- بخش تجربی

#### ۲-۱ مواد، وسایل و تجهیزات

تعداد ۳۰ عدد از دزیمترهای TLD تک بلوری ساخته شده به شکل مربع به ابعاد  $3\text{mm} \times 3\text{mm}$  و ضخامت ۱mm به عنوان نمونه انتخاب شدند. پرتودهی نمونه‌ها در میدان گامای قابل ردیابی آزمایشگاه کالیبراسیون امور حفاظت در برابر اشعه و هم‌چنین در آزمایشگاه پرتودهی استاندارد ثانویه<sup>(۱)</sup> پژوهشکده‌ی تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای انجام شد. برای خواندن دزیمترها از یک دستگاه TLD خوان هارشا مدل ۴۰۰۰ استفاده شد. آهنگ



شکل ۲- منحنی تغییرات پاسخ خطی.



شکل ۱- منحنی درخشندگی نمونه‌ی آزمون و TLD-100.

که در آن  $R_i$  پاسخ متوسط دزیمتر در دز  $D_i$  می‌باشد. نسبت انحراف معیار مقادیر  $L_i$  به میانگین آن‌ها در ۱۳ دز به عنوان شاخص آزمون خطی بودن در نظر گرفته می‌شود که بر طبق استاندارد از ۱۰٪ نباید بیش تر باشد [۴].

#### ۲-۳-۴ آزمون تکرارپذیری

در این آزمون، پاسخ دزیمتر طی ۳۰ بار تکرار چرخه‌ی پرتودهی-قرائت-پخت بررسی می‌گردد. در تحقیق حاضر این آزمون برای ۵ دزیمتر انجام شد. بر طبق استاندارد، نسبت انحراف معیار پاسخ دزیمتر به میانگین آن در طی ۳۰ بار تکرار این چرخه نباید بیش تر از ۵٪ باشد [۵].

#### ۲-۳-۵ آزمون کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری

کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری با ۹۵٪ سطح اطمینان از رابطه‌ی (۳) به دست می‌آید [۶]

$$MMD = \frac{3\sigma.D}{TL - BKG} \quad (3)$$

که در آن TL مقدار خوانش (برحسب  $nc.mg^{-1}$ ) به ازای دز  $D$ ،  $\sigma$  انحراف معیار خوانش تعدادی دزیمتر بعد از پخت استاندارد، و BKG خوانش دز زمینه می‌باشد.

این آزمون با ۵ دزیمتر انجام شد. بر طبق استاندارد، مقدار کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری نباید از ۰/۵ mSv بیش تر باشد [۴].

#### ۲-۳-۲ آزمون یکنواختی

برای انجام آزمون یکنواختی ابتدا نمونه‌های دزیمتر TLD وزن، و به میزان یکسان پرتودهی شدند. پاسخ  $R$  دزیمترها با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

$$R_i = \frac{TL_i}{W_i} \quad (1)$$

که در آن TL سطح زیر منحنی درخشندگی (برحسب nc) و  $W$  وزن نمونه دزیمتر  $i$  (برحسب میلی‌گرم) است. در مرحله‌ی بعد میانگین پاسخ  $R_i$  دزیمترها محاسبه و نسبت انحراف معیار  $R_i$ ها به مقدار میانگین آن به عنوان شاخص آزمون یکنواختی در نظر گرفته شد که طبق استاندارد نباید از ۸٪ بیش تر باشد [۵].

#### ۲-۳-۳ آزمون خطی بودن

گستره‌ی خطی پاسخ دزیمتر LiF:Mg,Ti از حدود دز صفر تا ۱ Sv می‌باشد و بعد از آن پاسخ دزیمتر رفتار فوق خطی دارد. برای این منظور نمونه‌های TLD در ۱۳ دز مختلف در گستره‌ی ۱ mSv تا ۱/۶ Sv پرتودهی شدند. برای هر مقدار دز، سه دزیمتر توسط آزمایشگاه SSDL پرتودهی و پاسخ متوسط از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد. شکل ۲ منحنی پاسخ خطی حاصل را نشان می‌دهد. برای محاسبه‌ی شاخص خطی بودن رابطه‌ی (۲) به کار می‌رود

$$L_i = \frac{\bar{R}_i}{D_i} \quad (2)$$



بر طبق استاندارد، اختلاف پاسخ در دو مرحله‌ی فوق نباید بیش از ۱۰٪ باشد [۴].

### ۳- نتایج آزمون‌ها

میانگین حساسیت دزیمترهای نمونه با روش اندازه‌گیری سطح زیر منحنی، ۰/۹۲ نمونه‌ی TLD-۱۰۰ اندازه‌گیری شد. مقادیر اندازه‌گیری شده برای سایر آزمون‌ها در جدول ۱ داده شده است. طبق این جدول برای آزمون یکنواختی، انحراف معیار پاسخ  $R_i$ ها از میانگین آن‌ها، ۱۲٪ و در آزمون خطی بودن، انحراف معیار مقادیر  $L_i$  از مقدار میانگین، برابر ۱۲٪ به دست آمد. هم‌چنین انحراف معیار پاسخ دزیمتر در آزمون تکرارپذیری، ۶٪ محاسبه شد. طبق جدول ۱ در هر سه آزمون فوق مقادیر به دست آمده اندکی بیش‌تر از مقادیر استاندارد می‌باشند.

مقدار کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری نمونه‌های آزمون برابر ۰/۰۵۴ mSv به دست آمد و مقدار دز ذاتی برابر ۰/۰۴۵ mSv محاسبه گردید. هم‌چنین برای دز باقی‌مانده اختلاف پاسخ برابر ۱۰٪ به دست آمد. طبق جدول ۱ نتایج این سه آزمون الزامات استاندارد را برآورده نموده است.

برخی از آزمون‌ها برای دزیمتر TLD-۱۰۰ هم‌زمان با نمونه‌ها انجام شد و نتایج آن برای مقایسه در جدول ۱ ارائه شده است.

در این آزمون مقدار دز پس از پخت استاندارد و نگهداری به مدت یک ماه در محیط با دز زمینه‌ی بسیار کم (مانند اتاق شمارش تمام بدن) اندازه‌گیری می‌گردد و بر طبق استاندارد نباید از ۰/۵ mSv بیش‌تر باشد [۴].

### ۳-۲-۷ آزمون دز باقی‌مانده

دز باقی‌مانده در TLD به معنی عدم تخلیه‌ی کامل ترازهای دام در بعد از خواندن دزیمتر می‌باشد و میزان آن به تعداد ترازها در باند ممنوعه که مربوط به ساختار ذاتی دزیمتر است بستگی دارد. این ترازها به صورت قله‌های دمایی بالا در منحنی درخشندگی ظاهر می‌شوند. هم‌چنین چنان‌چه دزیمتر با آهن‌گرماده‌ی سریع خوانده شود، اثر دز باقی‌مانده به دلیل عدم تخلیه‌ی کامل ترازهای دام می‌تواند اتفاق افتد و در هر دو صورت باعث بروز خطا در خواندن‌های بعدی می‌شود.

آزمون دز باقی‌مانده با انجام فرایندهای زیر در دو مرحله روی دزیمتر اعمال می‌شود:

- پخت استاندارد- پرتودهی به میزان ۲ mSv- خواندن،
- پخت استاندارد- پرتودهی به میزان ۱۰۰ mSv- خواندن- پرتودهی به میزان ۲ mSv- خواندن.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های نوعی دزیمتری

ردیف	آزمون	تعداد نمونه	شاخص آزمون	نتیجه‌ی آزمون نمونه	TLD-100	معیار آزمون *	مرجع استاندارد
۱	یکنواختی	۳۰	$\frac{\sigma_{R_i}}{R_i}$	۱۲٪	۴/۱٪	۸٪	ASTM
۲	خطی بودن	۳۹	$\frac{\sigma_{L_i}}{L_i}$	۱۲٪	<۱۰٪	۱۰٪	IEC
۳	تکرارپذیری	۵	$\frac{\sigma_{TL_i}}{TL_i}$	۶٪	<۵٪	۵٪	ASTM
۴	کم‌ترین دز قابل اندازه‌گیری	۵	MMD	۰/۰۵ mSv	۰/۰۴۸ mSv	۰/۵ mSv	IEC
۵	دز ذاتی	۳	Self Dose	۰/۰۴۵ mSv	۰/۰۴۳ mSv	۰/۵ mSv	IEC
۶	دز باقی‌مانده	۵	$\frac{R_2 - R_1}{R_1} **$	۱۰٪	۵٪	۱۰٪	IEC

\* معیار آزمون، حدود مقادیر پذیرفتنی هر یک از آزمون‌ها می‌باشد که در استاندارد مرجع مربوطه به آن اشاره شده است.  
 \*\*  $R_1$  پاسخ دزیمتر در دز ۲ میلی‌سیورت بعد از پخت استاندارد (مرحله ۱)،  
 $R_2$  پاسخ دزیمتر در دز ۲ میلی‌سیورت بعد از خواندن دزیمتر در دز ۱۰۰ میلی‌سیورت (مرحله ۲).



#### پی‌نوشت‌ها:

- ۱- SSDL: Secondary Standard Dosimetry Laboratory
- ۲- Annealing
- ۳- Cold- Press

#### References:

1. M. Hosseini Pooya, M. Jafarizadeh, "Effect of reader and oven annealing on the glow curve structure and fading of LiF:Mg,Cu,P TL dosimeter," Journal of Radiological Protection, 24, 173-178 (2004).
2. ر. صراف‌مأموری، ن. ریاحی‌نوری، خ. محمدی، "ساخت قرص‌های پرتوسنج لیتیوم فلوراید با استفاده از روش تکنولوژی پودر،" هفتمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالوژی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی و علم مواد (مهر ۱۳۸۴).
3. P. Katani, Kh. Mohammadi, Sh. Amiri, "Production of TLD-100 chips and characterization of its dosimetric properties," سومین کنفرانس بین‌المللی تأثیر پرتوهای یون‌ساز با دز کم و خیلی کم بر روی سلامت انسان، دانشگاه شهید بهشتی (مهر و آبان ۱۳۸۲).
4. "IEC 61066: Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring," Second edition (2006-06).
5. ASTM E668, Standard practice for application of thermoluminescence dosimetry (TLD) systems for determining absorbed dose in radiation hardness testing of electronic devices (2000).
6. M. Oberhofer and A. Scharmann, "Applied thermoluminescence dosimetry," Adam Hilger Ltd, Bristol (1979).

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به پاسخ نسبی به دست آمده، دزیمتر مورد بحث از حساسیت مناسب برای دزیمتری برخوردار است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود این دزیمتر در مقایسه با معیارهای استاندارد و هم‌چنین نمونه‌ی ۱۰۰-TLD دارای یکنواختی کم‌تری است. دلیل این مسئله نحوه‌ی ساخت آن می‌باشد که در آن از روش فشار سرد استفاده شده است. در این روش چنان‌چه وزن پودر به کار رفته برای ساخت دزیمتر یا فشار روی آن دقیق نباشد بر روی یکنواختی پاسخ دزیمتر تأثیر زیادی گذاشته خواهد شد. بنابراین به هنگام استفاده از این دزیمتر بایستی از روش کالیبراسیون تکی استفاده شود تا خطای عدم یکنواختی حذف گردد.

مقدار فزون یافته‌ی انحراف میانگین در آزمون‌های خطی قابل اصلاح نمی‌باشد و بایستی در محاسبات خطا در نظر گرفته شود. این مورد برای آزمون تکرارپذیری می‌تواند با تجدید کالیبراسیون در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر استفاده از دزیمتر اصلاح گردد.

در خصوص سایر آزمون‌ها اگرچه مقادیر اندازه‌گیری شده بیش‌تر از نمونه‌ی ۱۰۰-TLD می‌باشد اما با توجه به برآورده شدن الزامات استاندارد، عملکرد دزیمتر در آن‌ها قابل اطمینان می‌باشد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نمونه‌ی ساخته شده برای دزیمتری فردی و محیطی معمول و هم‌چنین دزیمتری پزشکی با در نظر گرفتن دقت مورد نظر مناسب می‌باشد.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از سرکار خانم مهندس آنتیا عالی‌پور برای پرتودهی نمونه‌ها در آزمایشگاه SSDL و هم‌چنین از داوران محترم تشکر می‌نمایند.