



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

توسعه یک سیستم نشانگر شخصی دوزسنجی با استفاده از آشکارسازهای سوزانده

(خاکستر) شده  $\text{LiF TL}$ :  $\text{Mg}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{Si}$ ، برای میدان های فوتونی

## چکیده

سیستم نشانگر دوزسنجی ترمولومینسانس شخصی (TL) برای میدان های فوتونی با استفاده از مواد  $\text{LiF}$ :  $\text{Mg}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Si}$  TL،  $\text{Na}$  که چند سال پیش توسط موسسه تحقیقات انرژی اتمی کره (KAERI) توسعه یافت، با بهره گیری از ویژگی های دوزسنجی آن از جمله وابستگی های انرژی توسعه یافت. یک سیستم فیلتر نشانگر توسط آزمایش های تابش عملی حمایت شده توسط مدلسازی محاسباتی با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو طراحی شد. ویژگی های طراحی و مشخصات دوزسنجی مانند پاسخ انرژی فوتون و وابستگی زاویه ای سیستم دوزسنج جدید TL که از طریق آزمایش های تابش مورد بررسی قرار گرفته است، ارائه شده است. بر اساس آزمایشات انجام شده برای دوزسنج توسعه یافته، نشان داده شده است که پاسخ دوز عمودی دوزسنج، مقداری بین 0.78 تا 1.08 را ارائه می دهد که توسط استاندارد ISO درون حدود طراحی است. این سیستم نشانگر دوزسنج چند-عنصر TL تشخیص نوع تابش برخورداری را بین فوتون و بتا با استفاده از نسبت های چهار آشکارساز TL میسر می سازد. دوزسنج شخصی TL با استفاده از آشکارسازهای  $\text{LiF}$ :  $\text{Mg}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{Si}$  TL سوزانده شده، دارای توانایی اندازه گیری یک مقدار معادل دوز Hp (d) برای طیف وسیعی از انرژی های فوتون است.

کلیدواژگان:  $\text{LiF}$ :  $\text{Mg}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{Si}$ ؛ ترمولومینسانس؛ دوزسنج شخصی، سیستم فیلتر

## 1. مقدمه

دوزسنجی ترمولومینانسانس، تکنولوژی به طور گسترده ای مورد استفاده برای ارزیابی مواجهه شخصی با تابش و با تابش زیست محیطی است. فلوراید لیتیم (LiF) یک ماده دوزسنجی شناخته شده ترمولومینسانس (TL) است که در نظارت زیست محیطی و شخصی، به دلیل حساسیت، پایداری و همسان سازی بافت بالای آن مورد استفاده قرار می گیرد.

اولین علاقه به پدیده ترمولومینسانس LiF برای دوزسنجی، توسط Daniel و همکاران (1953) از دانشگاه ویسکانسین انجام شد. از آن زمان به بعد بسیاری از عوامل تجربی دوپینگ (تغلیظ) با LiF مورد استفاده قرار گرفتند. ماده TLD مبتنی بر LiF که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند، Mg:LiF، Ti است که به طور گسترده ای در دوزسنجی شخصی استفاده می شود و در بازار تحت نام های تجاری مانند TLD-100 و تغییرات آن، TLD-600 و TLD-700 در دسترس هستند که حاوی غلظت های مختلف ایزوتوپهای لیتیوم (Vij، 1993). از زمان معرفی LiF: Mg, Ti (TLD-100)، بسیاری از انواع جدید مواد TL برای ارزشیابی دوز فردی در میدان های تابش مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند. بسیاری از تحقیقات برای توسعه مواد ترمولومینسانس پیشرفته انجام شده است. Nakajima و همکاران (1978) برای اولین بار ویژگی های LiF دوپ شده با ناخالصی های Cu، Mg و P، یعنی حساسیت بالا و معادل بافت خوب را توصیف نمود. این ماده، Mg:LiF، Cu، P، توسط چین (GR-200)، لهستانی (MCP-N) و ایالات متحده آمریکا (TLD-700H، TLD-600H، TLD-100H) بهبود یافته و تجاری شده است (Bos، 2001). در کره، Doh و همکاران (1989)، یک نوع پودر LiF با دوام را با منیزیم، مس، سدیم و سیلیکون تولید کردند و یک مطالعه در خصوص طیف وسیعی از غلظت تغلیظ کننده ها را در دهه 1980 انجام دادند. بعد از اینکه Doh و همکاران، LiF دوپ (تغلیظ) شده با چهار تغلیظ کننده را پیشنهاد نمودند، Kim و همکاران (1989) دریافتند که پاسخ Mg:LiF، Cu، Na، Si برای فوتون ها با انرژی کم، از نظر ویژگی دوزسنجی، بالاتر از LiF: Mg، Cu، P است. در دهه 1990، تحقیقات سفت و سخت تر بر روی نوع پودر LiF: Mg، Cu، Na، Si TL فوسفور توسط موسسه تحقیقات انرژی اتمی کره (Nam et al.) (KAERI، 1998، 1999) انجام شده است. این نوع پودر TL فوسفور دارای حساسیت 2 برابر بیشتر نسبت به LiF: Mg، Cu، P است. با این حال، TL فوسفور نوع پودر دارای معایب بسیاری برای حمل و نقل عملی این ماده است. بنابراین، توسعه یک آشکارساز TL نوع جامد شکل یافته به طور مناسب برای کاربرد در حوزه های دوزسنجی عملی لازم است. در طی چند سال گذشته، ماده TL LiF: Mg، Cu، Na، Si برای آشکارساز TL نوع پلت عملی توسط گروه دوزسنجی Nam Y.M و همکاران در دپارتمان فیزیک سلامت در KAERI (Nam و همکاران، 2000) مورد مطالعه قرار گرفته است. اما حساسیت آشکارسازهای TL نوع پلت توسعه

یافته از 50٪ از GR-200A چینی تجاوز نکرد و قابلیت استفاده مجدد آن کمتر بود، یعنی کاهش 10٪ در مقادیر قرائت پس از استفاده مجدد 8 باره (Nam et al., 2001). بر اساس این مطالعات قبلی توسط Nam و همکاران، حساسیت و قابلیت استفاده مجدد از آشکارسازهای TL: LiF Mg, Cu, Na, Si نوع پلت توسط اصلاح غلظت تغلیظ کننده ها و پارامترهای رویه آماده سازی بهبود یافت. محدوده بهینه تغلیظ کننده ها برای آشکارسازهای TL نوع پلت TL: LiF Mg, Cu, Na, Si به عنوان 2: 0 Mg: 0.05 mol٪، Cu: 0.05 mol٪، Na: 0.9 mol٪ و Si: 0.9 mol٪ (لی و همکاران، 2002) بررسی شد. اکنون، تولید یک آشکارساز TL پایدار و کارآمد مکانیکی با استفاده از TL: LiF Mg, Cu, Na, Si ممکن شده است که یک ماده جدید TL توسعه یافته در یک حوزه دوزسنجی شخصی TL است.

هدف از این مطالعه، طراحی و توسعه سیستم نشانگر یک دوزسنج TL شخصی چند-عنصری با استفاده از آشکارسازهای TL: LiF Mg, Cu, Na, Si با در نظر گرفتن حساسیت آن، معادل-بافت و وابستگی های انرژی برای میسر نمودن اندازه گیری مقدار دوز معادل Hp(d) بود. طراحی دوزسنج توسط آزمایشهای عملی تابش عملیاتی انجام شد که توسط یک شبیه سازی محاسباتی با کد MCNP پشتیبانی می شوند و پس از آن دوزسنج توسعه یافته از لحاظ ویژگی های دوزسنجی مانند پاسخ انرژی فوتون و وابستگی زاویه ای آزمایش شد.

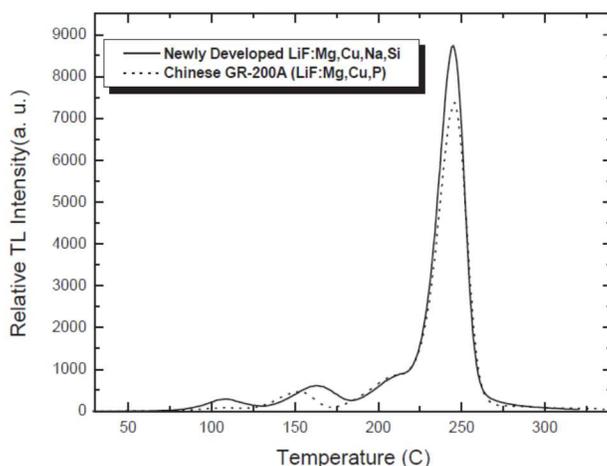
TarjomeFa.Com

## 2. آشکارساز TL: LiF Mg, Cu, Na, Si

آشکارسازهای TL مورد استفاده در این مطالعه، پودر (پلت) های سوزانده شده ساخته شده از پودر TL: LiF Mg, Cu, Si, Na، تهیه شده توسط KAERI هستند. آشکارساز به شکل یک دیسک دارای قطر 4: 5 میلیمتر و ضخامت 8 میلیمتر و سفید رنگ است. از پودر TL: LiF Mg, Cu, Na, Si با غلظت تغلیظ کننده های 2: 0 Mg: 0.05 mol٪، Cu: 0.05 mol٪، Na: 0.9 mol٪ و Si: 0.9 mol٪ با فشار دادن سرد و پختن (سوزاندن) پودر در دمای 825 درجه سانتیگراد (لی و همکاران، 2002) ساخته شد.

منحنی تابش نوعی این آشکارساز TL و منحنی تابش GR-200A چینی (LiF: Mg, Cu, P) ارائه شده در شکل 1 نشان می دهد که شدت TL LiF: Mg, Cu, Na, Si حدود 15٪ بیشتر از GR-200A است که به طور گسترده در جهان استفاده می شود. وابستگی انرژی آشکارساز LiF: Mg, Cu, Na, Si جدید و دیگر مواد TL معمولی در شکل 2 نشان داده شده است. وابستگی انرژی ماده TL، همانطور که قبلاً شرح داده شد، یک عامل کلیدی است و نقش مهمی در طراحی سیستم فیلتر دوزسنجی TL دارد. پاسخ انرژی فوتونی نسبی آشکارساز TL در شرایط هوای آزاد اندازه گیری شد. 6 آشکارساز TL در فاصله 200 سانتیمتری از منبع تابش (پنج تابش پرتو ایکس و  $^{137}\text{Cs}$ ) قرار گرفت که بر روی یک صفحه پلی اتیل ماتاکریلات با چگالی  $1.19 \text{ g/cm}^3$  با یک مساحت وجه جلویی 10 سانتی متر  $\times$  10 سانتی متر و ضخامت 2 میلیمتر نصب شده بود. آشکارسازهای TL با یک فیلم پلی اتیلن (با ضخامت چگالی  $1.9 \text{ mg/cm}^2$ ) برای پنج پرتوی اشعه ایکس پوشیده شد و با یک پلی اتیل متاکریلات با ضخامت 2 میلیمتر برای  $^{137}\text{Cs}$  به منظور در نظر گرفتن تعادل الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ نسبی اندازه گیری شده به فوتونهای 662 کیلو الکترون ولت  $^{137}\text{Cs}$  برای آشکارساز LiF: Mg, Cu, Na, Si و دیگر آشکارسازهای معمول TL در وضعیت لخت به عنوان تابعی از میانگین انرژی های فوتون ارائه شده است. وابستگی انرژی آشکارساز LiF: Mg, Ti (TLD-100) و وابستگی انرژی آشکارسازهای LiF: Mg, Cu, P (MCP-N) برای مقایسه نتایج حاصل از آشکارساز LiF: Mg, Cu, Na, Si ارائه می شوند. داده های آشکارسازهای LiF: Mg, Cu, P (MCP-N) در تحقیق Budzanowski و همکاران (2001) آمده است. پژوهش توسط Budzanowski و همکاران (2001)، پاسخ انرژی آشکارساز LiF: Mg, Cu, Na, Si و LiF: Mg, Cu, P (MCP-N) را ارائه کرد. آشکارساز LiF: Mg, Cu, Na, Si در تحقیق Budzanowski و همکاران از آشکارساز Lee و همکاران (2002) متفاوت است که غلظت تغلیظ بهینه کننده ها و پارامترهای رویه آماده سازی برای بهبود حساسیت و قابل استفاده مجدد از آشکارساز را اصلاح و تنظیم نمودند. بنابراین، وابستگی انرژی آشکارساز LiF: Mg, Cu, Na, Si در این مطالعه از نتیجه Budzanowski متفاوت است. در حالی که پاسخ انرژی LiF: Mg, Ti متفاوت از دو تای دیگر است، پاسخ انرژی بین LiF: Mg, Cu, P و LiF: Mg, Cu, Na, Si دارای منحنی مشابهی است. با این حال،

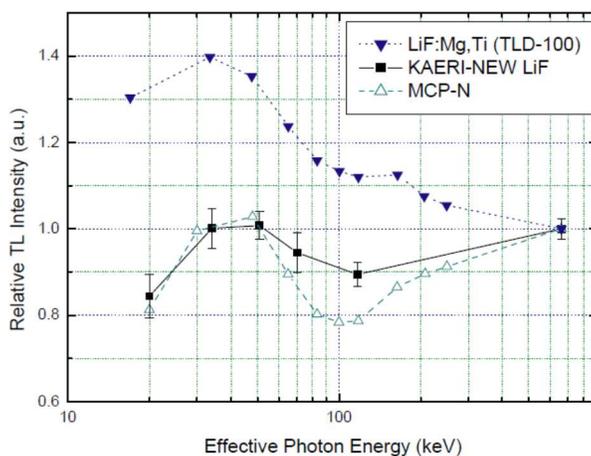
آشکارساز LiF:Mg، Cu، Na، Si TL، نشان می دهد که تغییر پاسخ بین 30 و 662 کیلو الکترون ولت می تواند در مقایسه با MCP-N کاهش یابد. منحنی پاسخ انرژی آشکارساز LiF:Mg، Cu، Na، Si تقریباً مسطح است و این ویژگی خوبی برای طراحی دوزسنج است.



شکل 1 منحنی-تابش و مقایسه شدت آشکارساز LiF TL: Mg، Cu، Na، Si و GR-200A چینی (LiF:Mg، Cu، P).

آشکارسازهای TL تحت تابش  $10 \text{ mGy}$  با اشعه های  $\gamma$ - $^{137}\text{Cs}$  در KAERI قرار گرفتند. اندازه

گیری ها با نرخ گرمایش خطی  $10^\circ\text{C/s}$  با استفاده از یک قرائت کننده TLD تجاری (System 310، Teledyne Brown Engineering) انجام شد.



شکل 2: پاسخ انرژی آشکارساز LiF:TL: Mg، Cu، Na، LiF:Mg,Ti (TLD-100) و LiF:Mg,Cu,P (MCP-N, Poland) آزاد در هوا.

پاسخ ها به فوتون های 662 کیلو الکترون ولت از منبع  $^{137}\text{Cs}$  نرمال سازی می شوند.

### 3. مدل سازی محاسباتی با شبیه سازی مونت کارلو

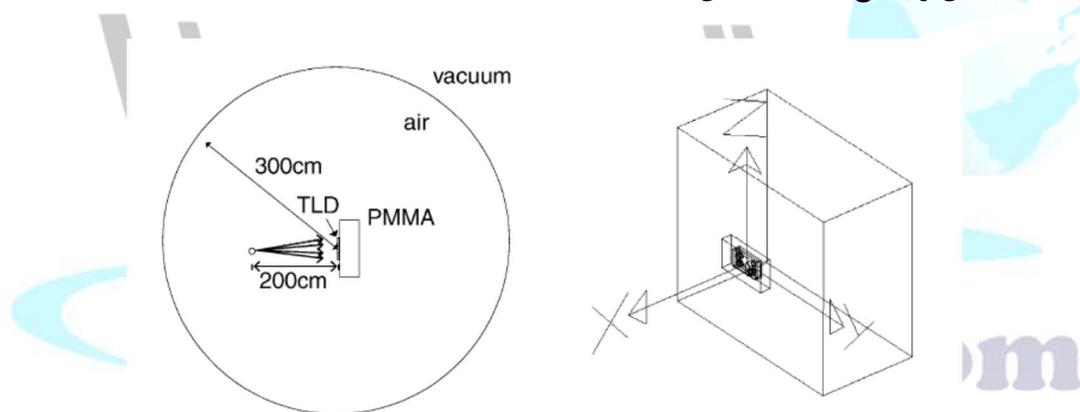
داده ها برای ویژگی های دوزسنجی و وابستگی انرژی ماده TL برای توسعه سیستم نشانگر TL ضروری هستند، اما به دلیل آزمایش های وقت گیر و محدود، این کار مشکل ساز است. مدل سازی محاسباتی با شبیه سازی مونت کارلو برای حل مشکل ناشی از آزمایش های محدود از طریق پیش-تخمین انرژی وابستگی ماده TL در شرایط مختلف مناسب است. به طور کلی، در نهایت این کار بر اساس آزمایش های تابش برای انتخاب ماده فیلتر و برای تعیین اشکال هندسی دوزسنجی با در نظر گرفتن اطلاعات در مورد دوزسنجی فعلی TL عملی و مورد نیاز برای اندازه گیری معادل دوز شخصی است. هدف اصلی مدل سازی محاسباتی، پیش بینی پاسخ انرژی آشکارساز TL در محیط های مختلف و بررسی نتایج آزمایشات است.

در این مطالعه، کد (برنامه) حمل و نقل ذرات مونت کارلو، MCNP-4C (RSICC, 2000) توسعه یافته توسط آزمایشگاه ملی لوس آلاموس، که کد نماینده حمل و نقل تابش مورد استفاده برای مصارف عمومی با شبیه سازی مونت کارلو می باشد، استفاده شده است. اول از همه، کالیبراسیون تخمین کد MCNP آشکارساز TL لخت بدون هیچ فیلتر در برابر قرائت تجربی آشکارسازهای TL لخت برای میدان های فوتونی لازم است. سپس نتایج MCNP کالیبره شده در محاسبات MCNP بعدی برای پیش-برآورد و تأیید پاسخ انرژی دوزسنج مورد استفاده قرار می گیرند.

هندس تابه آشکارساز TL و شرایط آزمایشی در شبیه سازی مونت کارلو همانند آزمایش واقعی که در شکل 3 نشان داده شده است تنظیم می شوند. سیستم نشانگر در 200 سانتی متر دور از منبع تابش مدل سازی شد و در مرکز فانتوم معادل بافتی، رو به سمت منبع نصب شد. فانتوم به عنوان یک اسلب همگن PMMA

با چگالی  $1.19 \text{ g/cm}^3$  با یک مساحت وجه جلویی  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  و

ضخامت 15 سانتی متر در نظر گرفته شد. محیط هوا بین منبع تابش و فانتوم در محاسبات MCNP گنجانده شد. منبع تابش به عنوان یک میدان تابش تک جهتی نقطه ای از اشعه ایکس (M30، M60، M100، M150، KAERI (H150) و میادین تابش  $^{137}\text{Cs}$  با شعاع دیسک 15 سانتی متر مدلسازی شد به طوری که دو طرف فانتوم را پوشش می دهد. فوتون هایی که منبع را ترک کردند، معمولاً بر روی نشانگر و فانتوم برخورد می کردند. منبع پرتوی یک جهته به دلیل زاویه جامد کوچک بین منبع و نشانگر و به دلیل منبع بزرگ برای فاصله فانتوم نسبت به ابعاد نشانگر انتخاب شده است. شکل 3 نشان دهنده پیکربندی هندسی مدل طراحی شده با SABRINA مورد استفاده در شبیه سازی (ORNL، 1994) است. این مدل برای تمام مطالعات بعدی MCNP در ناحیه مختلف سیستم نشانه دیجیتال و منابع مختلف تابش گاما ثابت شده است.



شکل 3. پیکربندی مدلسازی MCNP برای محاسبه پاسخ TLD

شکل، ضخامت، هندسه و مکان فیزیکی فیلترهای مورد استفاده در آزمایش هر منطقه از سیستم نشانگر TLD با محاسبات MCNP حفظ شد. آشکارساز TL دوزسنج به صورت یک دیسک 1 شعاع 2.25 میلیمتر و ضخامت 0.8 میلیمتر مدلسازی شد. پاسخ TL توسط اندازه گیری انباشت انرژی متوسط گیری شده بر روی یک سلول در ناحیه آشکارسازهای TL که نشان دهنده منطقه فعال دوزسنج بود، یافت شد.

#### 4. طراحی و ساخت دوزسنج

##### 4.1 پاسخ انرژی LiF:Mg، Cu، Na، Si TL تحت فیلترها

تحلیل و بررسی ویژگی های و مشخصات مختلف دوزسنجی برای این ماده تازه توسعه یافته TL، برای کاربرد در TLD تابش شخصی ضروری هستند. ارزیابی پاسخ انرژی، به ویژه، یکی از ویژگیهای مهم برای توسعه سیستم نشانگر TLD است. بنابراین، در این مطالعه، پاسخ انرژی آشکارساز LiF: Mg، Cu، Na، Si که اخیراً در KAERI توسعه یافته است، از طریق آزمایشاتی مورد ارزیابی قرار گرفت که در آن آشکارساز، پشت فیلترهای مختلف قرار گرفت. این نتایج پاسخ انرژی تجربی، داده های اساسی برای انتخاب مواد فیلتر هستند و این نتایج برای توسعه سیستم نشانگر دوزسنج TL مفید هستند. بنابراین نتایج این آزمایش، داده های اساسی برای طراحی و پیشنهاد دوزسنجی هستند. فیلترهای مورد استفاده در این آزمایش با توجه به ماده فیلتر رایج مورد استفاده انتخاب شدند (Will، 1991). این آزمایش برای پاسخ انرژی آشکارساز LiF: Mg، Cu، Na، Si فیلترهای مختلف تحت شرایط آزاد در هوا بدون فانтом در واحد تابش KAERI با منبع  $^{137}\text{Cs}$  و پرتو اشعه ایکس انجام شد که به طور مفصل در بخش بعد برای بررسی تاثیر مواد مختلف فیلتراسیون بر پاسخ انرژی آشکارساز LiF TL ذکر خواهد شد.

جدول 1: تأثیر فیلترهای مختلف بر روی پاسخ انرژی فوتون دستگاه LiF TL: Mg، Cu، Na، Si با استفاده از

#### آزمایش تابش در هوا

X-ray beam Photon energy response of LiF:Mg,Cu,Na,Si

	Plastic (Teflon)		Aluminum		Copper		Tin
	1 mm	4 mm	0.5 mm	2 mm	0.1 mm	0.5 mm	0.5 mm
ANSI M30	0.63	0.30	0.44	0.12	0.07	0.02	0.02
ANSI M60	0.98	0.81	0.91	0.54	0.46	0.12	0.06
ANSI M100	1.03	1.02	1.00	0.88	0.84	0.41	0.21
ANSI M150	0.96	0.93	1.00	0.93	0.96	0.74	0.52
ANSI H150	0.91	0.87	0.90	0.91	0.98	0.97	0.97
$^{137}\text{Cs}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

جدول 1، پاسخ انرژی فوتون آشکارساز LiF: Mg، Cu، Na، Si با فیلترهای مختلف را از طریق آزمایش های تابش نشان می دهد. پاسخ انرژی از آزمایشات تابش نشان می دهد که اثرات قابل توجهی بر پاسخ انرژی با مواد مختلف فیلتر وجود دارد. همانطور که در بالا ذکر شد، مواد مختلف فیلتر شده مورد استفاده در این آزمایش بر اساس

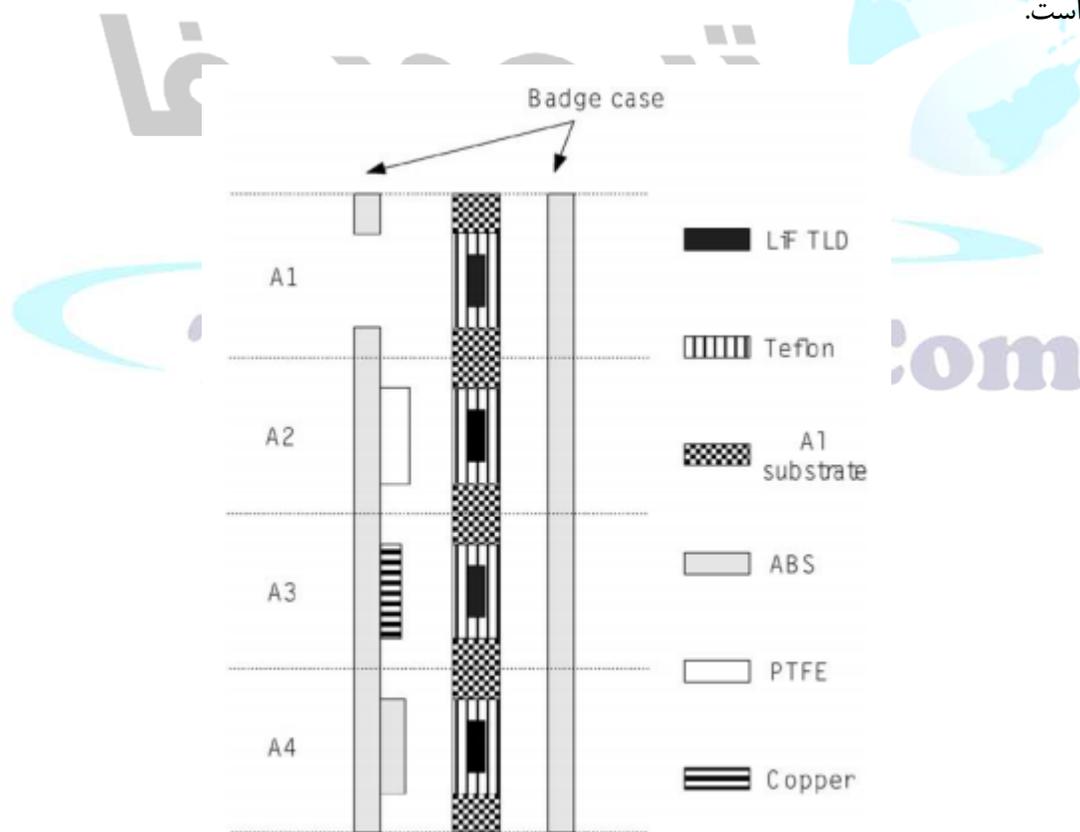
نشانگرهای معمولی دوزسنجهای LiF TL است. همانطور که در جدول 1 نشان داده شده است، پاسخ انرژی، روند کاهش با افزایش تعداد اتمی مواد فیلتر در فوتون کم انرژی را نشان می دهد. در مورد این فیلتر پلاستیکی نازک، تفلون با 1 میلیمتر ضخامت، پاسخ انرژی برای پرتوی اشعه ایکس ANSI AN30، پایین تر از پاسخ انرژی اندازه گیری آشکارساز لخت بدون فیلتر است. در مورد فیلتر با عدد اتمی بالا یا فیلتر ضخیم، پاسخ انرژی کمتر از 100 کیلو الکترون ولت انرژی، بسیار پایین تر از فیلتر با عدد اتمی پایین یا فیلتر نازک است. قلع در فوتون کم انرژی، بسیار محکم است، زیرا نمی تواند در این سیستم فیلتر استفاده شود زیرا پاسخ انرژی در فوتون کم انرژی، حول و حوش کم است. پاسخ انرژی پشت مس، برای تشخیص انرژی فوتون کافی است زیرا می تواند فوتون کم انرژی را کاهش دهد. جدول 1، ویژگی های دوزسنجی آشکارساز LiF TL: Mg، Cu، Na، Si را از لحاظ پاسخ انرژی نشان می دهد که از آزمایشات تابش و داده های بنیادین برای توسعه یک دوزسنجی تابش شخصی با استفاده از این آشکارساز TL گرفته شده است.

## 4.2 دوزسنج LiF: Mg، Cu، Na.

دوزسنج شخصی ترمولومینسانس با استفاده از آشکارسازهای LiF: Mg، Cu، Na، Si طراحی و ساخته شد و نتایج آزمایشی پاسخ انرژی آشکارساز TL در شرایط لخت و با مواد مختلف فیلتر پذیرفته شد. یک سطح مقطع شماتیک نشانگر حاصل در شکل 4 نشان داده شده است و پیکربندی های سیستم فیلتر دوزسنجی در جدول 2 جدول بندی شده است. عکسی از آشکارسازهای LiF TL: Mg، Cu، Na، Si و دوزسنج آن در شکل 5 ارائه شده است.

یک کارت TLD معمولی شامل چهار آشکارساز LiF TL با دایره ای با شعاع 2.25 میلیمتر می شود که بین دو ورقه تفلون،  $0.05 \text{ mm} (11 \text{ mg/cm}^2)$  ضخامت و روی زیرلایه آلومینیومی نصب شده است. تمام آشکارسازها، از ماده جدید توسعه یافته LiF: Mg، Cu، Na، Si ساخته شده است. جعبه نشانگر از جنس پلاستیک ABS (Polyacrylonitrile-Butadiene-Styrene) با ضخامت 1.0 میلیمتر ساخته شده است که قابل اطمینان ترین و پایدار ترین پلاستیک در میان بسیاری از مواد پلاستیکی تحت میدان تابش است. اثر جعبه نشانگر پلاستیکی نیز

در تجزیه و تحلیل طراحی فیلتر در هر منطقه نشان داده شده است. هر ترکیب آشکارساز / فیلتر، یک عملکرد خاص را به شرح زیر انجام می دهد: برای منطقه پنجره باز، یک آشکارساز TL با محفظه بندی تفلون 0:05 میلی متر، مقدار دوز کم را تعیین می کند. فیلتراسیون این عنصر 11 میلی گرم بر سانتی متر مربع است. هیچ ماده فیلتر اضافی برای اندازه گیری دوز کم در ناحیه A1 مورد نیاز نیست، زیرا ضخامت چگالی محفظه سازی تفلون آشکارساز TL،  $11 \text{ mg/cm}^2$  است. یک TLD دیگر با  $995 \text{ mg/cm}^2$  ترکیب شده با فیلتراسیون PTFE / ABS (فیلترهای  $104 \text{ mg/cm}^2$  PTFE +  $880 \text{ mg/cm}^2$  ABS) دوز عمیق در منطقه A2 را اندازه گیری می کند. سومین TLD با  $104 \text{ mg/cm}^2$  ABS پلاستیکی و فیلتراسیون مسی  $448 \text{ mg/cm}^2$  برای تشخیص فوتون با انرژی کم استفاده می شود. آخرین TLD با پلاستیک  $323 \text{ mg/cm}^2$  ABS برای تشخیص انرژی برای ذرات بتا پوشش داده شده است.



شکل 4: مقطع شماتیک دوزسنج TL پیشنهادی.

جدول 2: ویژگی های سیستم فیلتر برای دوزسنج TL پیشنهادی

چگالی کلی ضخامت ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) ضخامت فیلتر (میلی متر) چگالی ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ماده فیلتر مساحت

Area	Filter material	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Thickness of filter (mm)	Total density thickness ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )
A1	Teflon (card)	2.2	0.05	11
A2	Teflon (card)	2.2	0.05	995
	ABS Plastic	1.04	1.0	
A3	PTFE	2.2	4.0	563
	Teflon (card)	2.2	0.05	
	ABS Plastic	1.04	1.0	
A4	Copper	8.96	0.5	323
	Teflon (card)	2.2	0.05	
	ABS Plastic	1.04	3.0	



شکل 5: عکس از آشکارسازهای  $\text{LiF}:\text{Mg}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{Si}$  و دوزسنج به تازگی توسعه یافته.

منطقه پنجره باز (A1): این منطقه برای داشتن ظرفیتی به منظور نشان دادن مقدار دوز تحویل شده در عمق 0:07 میلیمتر زیر بافت،  $\text{Hp}(0:07)$  مورد نیاز است. آشکارساز TL با فیلم تفلون با ضخامت چگالی 11 میلیمتر بر سانتی متر مربع به صورت یک بسته بندی کارت پوشش داده شده است. از آنجا که این محفظه تفلون، ضخامت چگالی

مورد نیاز را برآورده می سازد، هیچ ماده فیلتر اضافی برای اندازه گیری ضخامت کم در عمق 0:07 میلی متر، مورد نیاز نیست. با این چینش، آشکارساز TL در منطقه پنجره باز، به بتا و فوتون پاسخ می دهد.

منطقه دوز عمیق (A2): این منطقه برای اندازه گیری دوز عمیق با یک فیلتر مناسب طراحی شده است. پاسخ ماده TL تحت این فیلتر نشان دهنده مقدار معادل دوز عمیق تحویل شده به بافت در عمق 1.0 سانتی متر است. از آنجا که LiF یک ماده معادل بافت نزدیک به ترکیب بافت است، طراحی فیلتر اضافی لازم نیست. فقط فیلتر پلاستیکی برای اندازه گیری دوز تابش به بافت در عمق 1.0 سانتی متر ضروری است. برای رسیدن به این هدف اندازه گیری مقدار دوز عمیق، یعنی 1000 میلیمتر بر سانتی متر مربع ضخامت چگالی، می توان از فیلتر پلی تترافلورو پلی اتیلن (PTFE) استفاده کرد که ضخامت آن حدود 4 میلی متر است. علاوه بر هدف اندازه گیری دوز عمیق این ناحیه، این منطقه بخشی از محافظت در برابر تابش بتا را ایفا خواهد کرد. برای حفاظت بتا، این ناحیه باید حداقل 97 درصد از تابش بتای  $Sr^{90}/Y^{90}$  را تضعیف کند، به طوری که وقتی پاسخ این منطقه با پاسخ پنجره باز مقایسه شود، سهم مناسب این تابش بتا به دوز کم قابل اندازه گیری باشد. اهداف فوق برای تشخیص پاسخ در مورد مواجهه ترکیبی بتا / گاما مورد نیاز می باشند. از آنجا که هدف از این امر، صرفاً محافظت در مقابل تابش بتا است، باید ضخامت کمی از تابش گاما را فراهم کند.

منطقه تشخیص انرژی (A3 و A4): سیستم نشانگر باید قادر به قرائت در مورد مواجهه فوتون های تک انرژی یا مخلوطی از فوتون های پر انرژی و کم انرژی یا مخلوط فوتون و پرتو بتا است این را می توان با استفاده از نسبت قرائت به دست آید. منطقه A3 و A4 برای ایجاد ترکیب نسبت پاسخ به هر منطقه لازم است، زیرا آنها دارای پاسخ متفاوت از A1 یا A2 هستند. برای مورد یک مواجهه تابش گاما، یک انرژی مؤثر اشعه ایکس، یک نسبت منطقه دور عمیق (A1 / A3) می تواند برای نشان دادن انرژی مؤثر منبع تابش استفاده نمود. از 20 کیلوالکترون ولت بر ثانیه، این نسبت با افزایش انرژی مؤثر کاهش می یابد. به نظر می رسد که پاسخ منطقه A4 از منطقه A1 متفاوت نیست، زیرا ماده فیلتر پلاستیک نسبتاً نازک است. با این حال، این منطقه، با ایجاد ترکیب نسبت پاسخ، برای حمایت از تشخیص نوع تابش بین ذرات فوتون و بتا است.

## 5. آزمایشات تابش

آشکارساز LiF: Mg، Cu، Na، Si TL که در بخش قبلی توصیف شده است، برای سیستم نشانگر دوزسنجی در آزمایش های تابش استفاده شد. آزمایش های تابش سیستم نشانگر دوزسنج TL پیشنهادی برای آزمایش های پاسخ انرژی در KAERI با استفاده از پرتو ایکس  $^{137}\text{Cs}$  و اشعه ایکس (ANSI) کد پرتو اشعه ایکس M60، M30، M100، M150، H150) تولید شده برای برآورده سازی استاندارد تست اشعه ایکس ملی کره (Kim et al., 1997) انجام شدند. مشخصات برای هر تکنیک اشعه ایکس استفاده شده در این آزمایش در جدول 3 آمده است. برای آزمایش وابستگی زاویه ای، عوامل برای تبدیل از هوا به معادل دوز عمیق برای تابش در موارد غربالگری غیرعمودی و پاسخ های زاویه ای (ARF) برای دقت عمیق برای پرتوی اشعه ایکس در جدول 4 ذکر شده است (ANSI, 1999). میداین اشعه ایکس مرجع ساخته شده در KAERI شامل دو نوع دستگاه اشعه ایکس، سیستم انرژی کم و سیستم متوسط می باشد. سیستم اشعه ایکس کم-انرژی، درجه 3 کیلووات (Pan-tak، HF-75c) و یک صفحه بریلیموم 1.0 میلیمتر به صورت فیلترهای ذاتی نصب می شوند. سیستم اشعه X انرژی-متوسط، درجه 3.2 کیلووات (فیلیپس، MG325) می باشد و فیلتر ذاتی شامل  $\text{Be (4 mm) + Al (1.5 mm)}$  است. پس از آزمایش تابش، سیستم Reader 380 TELEDYNE TLD با سیستم های گرمای اهمی برای قرائت استفاده می شود. تمام خوشه های فوتون گاما نسبت به  $^{137}\text{Cs}$  داده می شوند و برای اصلاح تغییرات در سیستم، از اصلاح عوامل مرتبط استفاده می شود (Moscovitch, 1993).

جدول 3 ویژگی های روش مرجع اشعه ایکس استفاده شده برای شبیه سازی پاسخ انرژی و آزمایشات در KAERIa

X-ray beam	$E_{\text{eff}}$ (keV)	H.V. (kVp)	Current (mA)	$K_a$ (mGy/h)	Conversion coefficient <sup>b</sup> (Sv/Gy)	
					$H_p(10)/K_a$	$H_p(0.07)/K_a$
ANSI M30	19.4	30	3	255.1	0.42	1.02
ANSI M60	35.2	60	3	199.1	1.00	1.21
ANSI M100	51.2	100	3	195.5	1.52	1.49
ANSI M150	73.0	150	3	232.5	1.78	1.64
ANSI H150	118.3	150	20	31.8	1.71	1.60

جدول فاکتورهای تبدیل از هوا به دوز عمیق برای تابش ها در برخورد غیرعمودی بر و فاکتورهای پاسخ زاویه

ای (ARF) برای معادل دوز عمیق پرتوی اشعه ایکس

ضریب پاسخ زاویه  $(ARF)^b$  برای معادل دوز عمیق  
 ضریب تبدیل معادل دوز عمیق  $[Sv/Gy]^a$   
 کد پرتو

Beam code	Deep dose equivalent conversion factor $[Sv/Gy]^a$			Angular response factor $(ARF)^b$ for deep dose equivalent	
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
ANSI M30	0.42	0.34	0.22	0.81	0.52
ANSI M60	1.00	0.89	0.68	0.89	0.68
ANSI M100	1.52	1.39	1.14	0.91	0.75
ANSI M150	1.78	1.65	1.40	0.93	0.79
ANSI H150	1.71	1.61	1.40	0.94	0.82
$^{137}Cs$	1.21	1.20	1.16	0.99	0.96

<sup>a</sup>This is from ANSI N13.11 (ANSI, 1999).

<sup>b</sup>Note that  $ARF = H_p(10, \alpha)/H_p(10, 0^\circ)$ . This was obtained from deep dose equivalent conversion factor in left side.

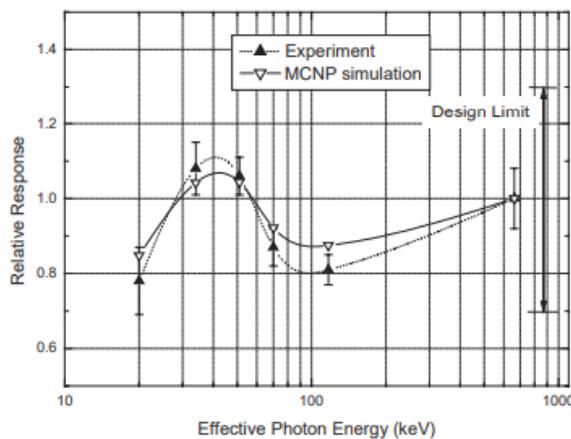
## 6. نتایج و بحث

### 6.1 پاسخ انرژی از سیستم نشان دهنده دوزسنجی پیشنهادی

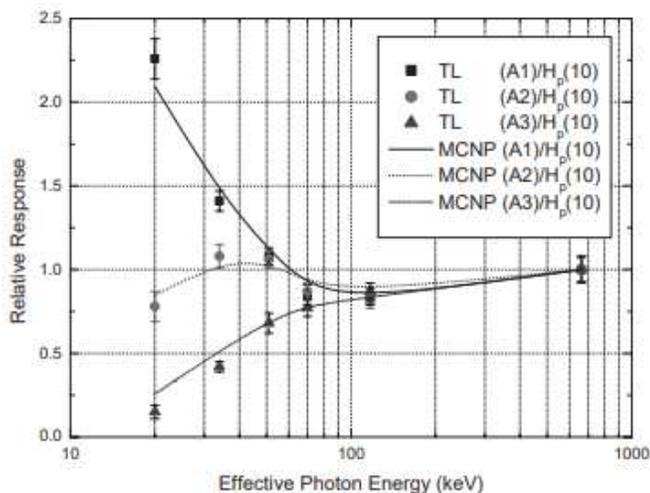
همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، سیستم نشانگر دوزسنج طراحی شده در این مطالعه دارای چهار منطقه اصلی برای دوزسنجی تابش فوتون است. هر یک از این مناطق دارای مجموعه ای نوعی از فیلترها برای تخمین یک مقدار دوز معادل  $H_p(d)$  و اطلاعات دوزسنجی است. پاسخ انرژی سیستم نشانگر دوزسنجی TL برای بررسی پاسخ محاسباتی هر منطقه و کسب اطلاعات بیشتر مانند نسبت پاسخ انجام شد.

منطقه دوز عمیق (A2) برای اندازه گیری دوز فوتون در عمق بافت 10 میلی متر،  $H_p(10)$  طراحی شد. همانطور که قبلاً ذکر شد، فیلتر پلاستیکی PTFE با ضخامت آن حدود 4 میلی متر بر اساس نتایج آزمایش و در نظر گرفتن سایر نیازهای دیگر سیستم های فیلتر استفاده شد. برای رسیدن به هدف این منطقه، فیلترهای مورد استفاده باید قادر به قطع تابش بتا باشند. نتایج محاسبه شده و تجربی انرژی پاسخ دوزسنجی در منطقه دوز عمیق در شکل 6 نشان داده شده است. همانطور که در شکل 6 نشان داده شده، به نظر می رسد منطقه A2 مقادیر پاسخ نسبی را در محدوده بین 0.78 و 1.08 در محدوده انرژی فوتون از 20 تا 662 کیلوالکترون ولت فراهم می کند. این در حدود طراحی

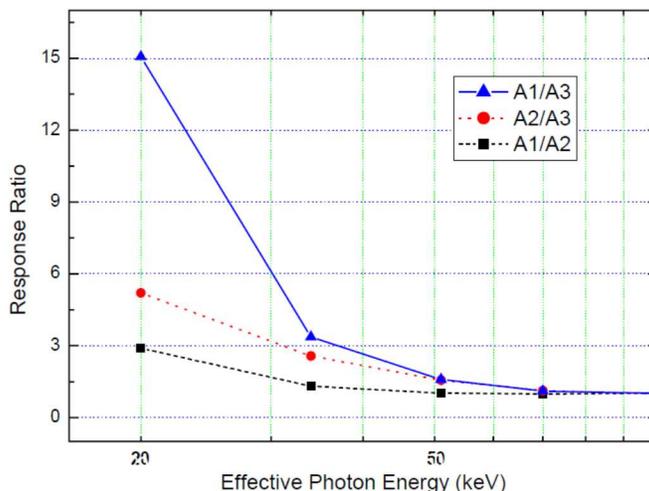
±30% است که توسط استاندارد ISO (ISO, 1984) مورد نیاز است. با توجه به پاسخ های مربوط به دوز جذب شده با Hp(10) متناسب با قرائت دوزسنج هستند، بنابراین بدون کاربرد الگوریتم پیچیده، این طرح ما را قادر می سازد تا به سادگی معادل دوز عمیق را تعیین نماییم. در شکل 7، پاسخ انرژی سه ناحیه به دوز معادل Hp(10) ارائه شده است. پاسخ های انرژی هر منطقه، ویژگی های خود را با مواد فیلتر مختلف نشان می دهد. برای تأیید صحت اثربخشی منطقه A3، نتایج نوعی نسبت های پاسخ در شکل 8 به عنوان یک اثر از انرژی فوتون نثر نشان داده شده است. همانطور که در شکل 8 نشان داده شده است، نسبت A1 / A3، جایی که A3 نشان دهنده قرائت تحت فیلتر متمایزکننده است، می تواند انرژی فوتون موثری را ارائه دهد، زیرا نسبت انرژی A1 / A3 با افزایش انرژی فوتون افزایش می یابد.



شکل 6. پاسخ انرژی منطقه دوز عمیق (A2) با معادل دوز فردی، Hp(10). نتایج مربوط به  $^{137}\text{Cs}$  هستند.



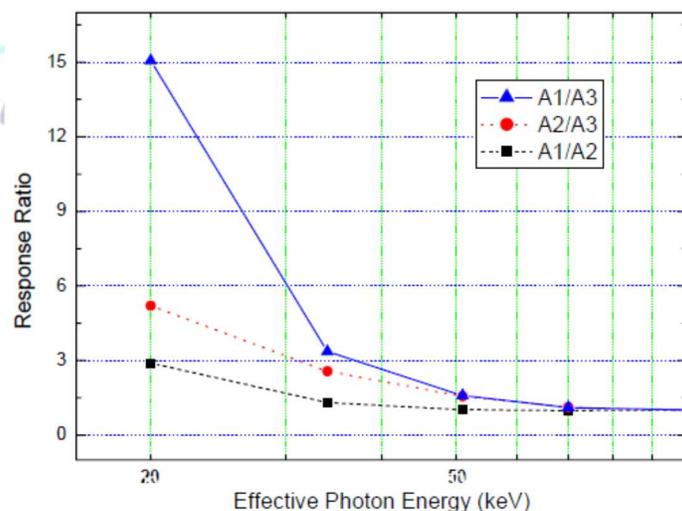
شکل 7: پاسخ انرژی هر منطقه با توجه به مقدار معادل،  $^{10}\text{Hp}$  به دست آمده توسط MCNP و آزمایش. نتایج مربوط به  $^{137}\text{Cs}$  هستند.



شکل 8. نسبت پاسخ هر عنصر.

منطقه فیلتر تشخیص انرژی در سیستم نشانگر پیشنهاد شده با استفاده از یک فیلتر مس 0.5 میلیمتری طراحی شد همانطور در بخش قبلی توصیف شده است. به عنوان مثال، اگر نسبت  $A1 / A3$  برابر با 6 باشد، میتوان شناسایی کرد که انرژی فوتون موثر حدودا 30 کیلو الکترون ولت در شکل 8 است. علاوه بر این، منطقه  $A4$  در تشخیص انرژی در میدان ترکیبی فوتون کم انرژی و ذره بتا نقش دارد. آزمایش تابش دوزسنج در میدان بتای  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  برای چک کردن توانایی تشخیص میدان فوتون و بتا به دست آمد. دوزسنج نصب شده روی فانتوم اسلب PMMA با مساحت سطح جلویی جلوی 30 سانتی متر  $\times$  30 سانتی متر و ضخامت 5 سانتیمتر در فاصله 35 سانتی متری در 35 سانتی متری از منبع  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  قرار داده شد که PTB استاندارد است (Physikalisch Technische Bundesanstalt) است و دارای فیلتر مسطح کننده پرتو در KAERI است. دوزسنج با  $10 \text{ mSv}$  در میدان بتای  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  تابیده شد. جدول 5، تفاوت پاسخ دوزسنجی بین میدان فوتون و میدان بتا  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  و نسبت هر منطقه دوزسنج را نشان می دهد. پاسخ ها نسبت به  $^{137}\text{Cs}$  هستند. مقدار  $A1$

A3 / در صورت قرار گرفتن در میدان بتای  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ، بزرگتر از این مورد برای میدان فوتونی کافی برای تشخیص نوع تابش برخوردی بین پرتو اشعه ایکس و بتا است. علاوه بر این، مقدار  $(A1 \times A4)/(A2 \times A2)$  در میدان بتای  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  حدود 190 است، در حالی که این مقدار در میدان فوتون از 7 تجاوز نمی کند. بنابراین انتظار می رود که این نسبت ها، تمایز بین میدان های فوتون یا اشعه ایکس و بتا را واضح و کارآمد سازد زیرا این نسبت ها یک تعداد متمایز کننده را در مورد مواجهه در مبادین بتا نسبت به مبادین فوتون نشان می دهند. نسبت هایی که در این قسمت ذکر شده اند، نمونه های ساده ای برای تشخیص نوع تابش برخوردی هستند و ممکن است نسبت های زیادی وجود داشته باشد که از ترکیب چهار آشکارساز TL بیایند. بنابراین، کارهای دقیق تر مانند انتخاب نسبت مناسب پاسخ انرژی برای تشخیص انرژی در مورد مبادین تابش مخلوط، برای نشان دادن توانایی تشخیص نوع تابش برخوردی و تعیین کسر مخلوط در میدان های تابش مخلوط لازم هستند. الگوریتم ارزیابی دوز بر اساس این کارها برای آزمون عملکرد دوزسنجی TL توسعه یافته ضروری است. الگوریتم ارزیابی DOS برای دوزسنجی TL پیشنهادی و آزمون عملکرد در مطالعات بیشتری انجام خواهد شد.



شکل 8. نسبت پاسخ هر عنصر.

جدول 5: پاسخ انرژی و نسبت هر منطقه برای تشخیص بین بتا و فوتون

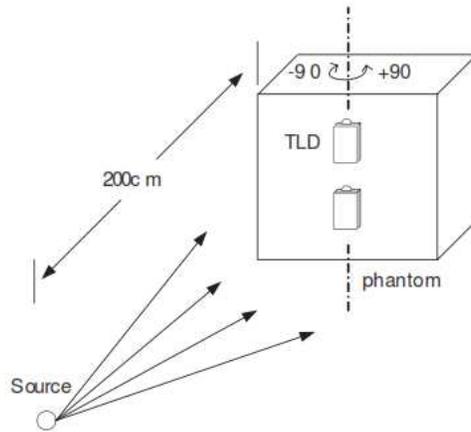
Beam	EeF (keV) Relative response	Response ratio
------	-----------------------------	----------------

	A1	A2	A3	A4	A1/A3	(A1 × A4)=(A2 × A2)
ANSI M30	19.42.26	0.78	0.15	1.73	15.07	6.43
ANSI M60	35.21.41	1.08	0.42	1.30	3.36	1.57
ANSI M150	73.00.85	0.87	0.77	0.84	1.10	0.94
<sup>137</sup> Cs	6621.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00
<sup>90</sup> Sr= <sup>90</sup> Y	22841.08	0.05	0.03	0.44	36.0	190.1

## 6.2 وابستگی زاویه ای

آزمون وابستگی زاویه ای دوزسنجی توسعه یافته در شکل 9 نشان داده شده است. وابستگی زاویه ای منطقه دوز عمیق (A2) دوزسنج از نظر خروجی TL در هر گرم هوا  $8.76 \text{ mGy}$  در شکل 10 نشان داده شده است. این آزمون برای زاویه برخورد 0، 20، 40، 60، و 85 درجه و برای دو پرتو اشعه ایکس با انرژی مؤثر فوتون 35.2، 118.3 و 662 کیلوکالکترون ولت از <sup>137</sup>Cs انجام شد. این پاسخ ها به برخورد نرمال (0 درجه) نرمالسازی می شوند.

همانطور که در شکل 10 دیده می شود، برای <sup>137</sup>Cs، یک کاهش جزئی در پاسخ زاویه ای در 40 درجه دیده می شود، اما پاسخ پس از 60 درجه به سرعت کاهش یافت و به حدود 0.78 در 85 درجه رسید. همانطور که انتظار می رود، فوتون با انرژی بالای <sup>137</sup>Cs دارای وابستگی زاویه ای کمتر نسبت به فوتون کم انرژی مانند پرتو اشعه ایکس M60 است. برای درک بیشتر در مورد وابستگی زاویه ای دوزسنج، نتایج در وابستگی زاویه ای در شکل 10، باید با عوامل پاسخ زاویه ای (ARF) در جدول 4 مقایسه شوند. مقایسه بین پاسخ زاویه ای اندازه گیری شده دوزسنج و ARF در جدول 6 فهرست شده است: به نظر می رسد وابستگی زاویه ای دوزسنج با ARF بر اساس معادل دوز عمیق، مشابه است. برای فوتون ها با انرژی کم (ANSI M60، 2: 35 کیلوکالکترون ولت) در زاویه بالایی 60 درجه، دوزسنج به طور کلی پاسخ در حداکثر خطای 12٪ نسبت به ARF را نشان می دهد. برای فوتون های انرژی بالاتر ( <sup>137</sup>Cs، 662 کیلوکالکترون ولت)، اندازه گیری در زاویه برش 60 درجه، حداکثر خطای حدود 4٪ را نشان می دهد. انتظار می رود که دوزسنج به لحاظ معادل دوز عمیق، کاملاً مستقل از زاویه باشد.



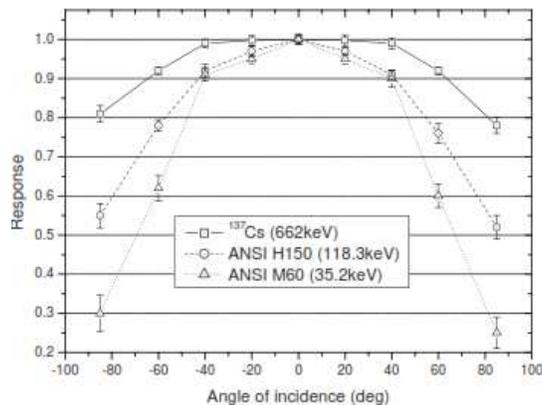
شکل 9 آزمایشات وابستگی زاویه ای

جدول 6 وابستگی زاویه ای دوزسنج با در نظر گرفتن عامل پاسخ زاویه ای

پاسخ زاویه ای دوزسنج عامل پاسخ زاویه ای (ARF) در جدول 4 کد پرتو و زاویه برخورد

Beam code and angle of incidence	Angular response factor (ARF) in Table 4	Angular response of dosimeter				
		Clockwise (-)		Counterclockwise (+)		
		Response	Error (%)*	Response	Error (%)*	
ANSI M60	$\alpha = 40^\circ$	0.89	0.91	+2.2	0.90	+1.1
	$\alpha = 60^\circ$	0.68	0.62	-8.8	0.60	-11.8
ANSI H150	$\alpha = 40^\circ$	0.94	0.92	-2.1	0.91	-3.2
	$\alpha = 60^\circ$	0.82	0.78	-4.9	0.76	-7.3
$^{137}\text{Cs}$	$\alpha = 40^\circ$	0.99	0.99	0.0	0.99	0.0
	$\alpha = 60^\circ$	0.96	0.92	-4.2	0.92	-4.2

\* Note that Error (%) =  $\{(Response - ARF)/ARF\} \times 100$ .



شکل 10. وابستگی زاویه ای پاسخ دوز عمیق دوزسنج LiF TL: Mg، Cu، Na، Si، نرمالسازی شده به پاسخ در برخورد نرمال (°0) برای سه پرتوی ایکس با انرژی مؤثر 35.2، 118.3 و 662 کیلوالکترون ولت از  $^{137}\text{Cs}$ .

## 7. نتیجه گیری

سیستم نشانگر دوزسنجی TL براساس آشکارسازهای توسعه یافته جدید LiF: Mg، Cu، Na، Si TL برای نظارت بر تابش شخصی طراحی شده است. معلوم شد که سیستم نشانگر یک دوزسنج TL با آشکارساز LiF: Mg، Cu، Na، Si TL برای برآورد معادل دوز فردی، Hp(d)، از طریق آزمایش های تابش برای دوزسنج مناسب است. با نتایج پاسخ انرژی فوتون، طراحی نشانگر دوزسنج TL پیشنهادی، حدود طراحی  $\pm 30\%$  طراحی شده توسط استاندارد ISO را برآورده می سازد و نشان دهنده یک ویژگی خوب برای کاربرد نظارت بر تابش شخصی است. همچنین دوزسنج نشان می دهد که قادر به تشخیص نوع تابش برخوردی بین ذرات فوتون و بتا با استفاده از معادلات خاصی از چهار آشکارساز TL است. از طریق آزمون وابستگی زاویه ای، دوزسنج برای مشخصه وابستگی زاویه ای از نظر معادل دوز عمیق تأیید شد. بنابراین، دوزسنجی TL در این مطالعه توسعه یافته است، بنابراین استفاده از آن در بازار TLD رایج امکان پذیر است. اگرچه امکان سنجی دوزسنج LiF TL: Mg، Cu، Na، Si، در میادین فوتونی نشان داده شد، کار شدیدتر برای ویژگی های دوزسنجی دوزسنج برای میدان تابشی ترکیبی نیاز است. به علاوه، تحقیقات جامع تر از جمله آزمون مرتبط با الگوریتم ارزیابی دوز برای برآورده سازی هدف نهایی یک دوزسنج خاص TL در آینده مورد نیاز است.

## References

- American National Standard Institute, 1999. American National Standard for Dosimetry—Personal dosimetry performance criteria for testing. ANSI N13.11.
- Bos, A.J.J., 2001. High sensitivity thermoluminescence dosimetry. Nucl. Instr. Methods Phys. Res. B 184, 3–28.
- Budzanowski, M., Kim, J.L., Nam, Y.M., Chang, S.Y., Bilski, P., Olko, P., 2001. Dosimetric properties of sintered LiF:Mg,Cu,Na,Si TL detectors. Radiat. Meas. 33, 537–540.
- Daniel, F., Boyd, C.A., Sanders, D.F., 1953. Science 117, 343.
- Doh, S.H., Chu, M.C., Chung, W.H., Kim, H.J., Kim, D.S., Kang, Y.H., 1989. Preparation of LiF (Mg,Cu,Na,Si) phosphor and its thermoluminescent characteristics. Korean Appl. Phys. 2, 425–431.
- ISO, 1984. Personal and Environmental Thermoluminescence Dosimeters, ISO Standards DP 8034.
- Kim, H.J., Chung, W.H., Doh, S.H., Chu, M.C., Kim, D.S., Kang, Y.H., 1989. Thermoluminescence dosimetric properties of LiF(Mg,Cu,Na,Si). J. Korean Phys. Soc. 22, 415–420.
- Kim, J.L., Kim, B.H., Chang, S.Y., Lee, J.K., 1997. Establishment of ANSI 13.11 X-ray radiation fields for personal dosimetry performance test by computational and experiment. Environ. Health Perspect. 105 (6), 1417–1422.
- Lee, J.I., Kim, J.L., Yang, J.S., Kim, B.Y., Nam, Y.M., 2002. Development of highly sensitive LiF:Mg,Cu,Na,Si TL detector. The First Asian and Oceanic Congress for Radiation Protection (AOCRP-1).
- Moscovitch, M., 1993. Dose algorithms for personal thermoluminescence dosimetry. Radiat. Prot. Dosimetry 47 (1/4), 373–380.
- Nakajima, T., Maruyama, Y., Matsuzawa, T., Koyano, A., 1978. A development of a new highly sensitive LiF thermoluminescence dosimeter and its application. Nucl. Instrum. Methods 157, 155–162.
- Nam, Y.M., Kim, J.L., Chang, S.Y., Kim, G.D., 1998. The study of glow curves for LiF:Mg,Cu,Na,Si phosphor with different dopant concentrations. Ungyong Mulli 11, 578–583.
- Nam, Y.M., Kim, J.L., Chang, S.Y., 1999. Dependence of glow curve structure on the concentration of dopants in LiF:Mg,Cu,Na,Si phosphor. Radiat. Prot. Dosimetry 84, 231–234.
- Nam, Y.M., Kim, J.L., Chang, S.Y., Doh, S.H., 2000. Fabrication of LiF:Mg,Cu,Na,Si Pellets by Sintering Process. Saemulli 40 (3), 189–193.
- Nam, Y.M., Kim, J.L., Chang, S.Y., 2001. Dosimetric properties of LiF:Mg,Cu,Na,Si TL pellets. J. Korean Assoc. Radiat. Prot. 26 (1), 1–6.
- ORNL, 1994. SABRINA Three-Dimensional Geometry Visualization Code System Version 3.54 Manual, PSR-242.
- Radiation Safety Information Computational Center (RSICC), 2000. MCNP: A general Monte Carlo n-particle transport code version 4C.
- Vij, D.R., 1993. Thermoluminescent Material. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Will, W., 1991. Energy independent measurement of photon individual dose equivalents with LiF detectors behind combined filters. Radiat. Prot. Dosimetry 36 (1), 55–58.

 arjomeFa.Com

برای خرید فرمت ورد این ترجمه، بدون واتر مارک، اینجا کلیک نمایید.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی