مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱ شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۱۵۷-۱۶۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

کالیبراسیون دزیمترهای ترمولومینسانس و اندازه گیری دز پرتو گاما و نوترون در پروازهای مسافربری به وسیله این دزیمترها

صبا بزرگی[۱]، مجید منعم زاده*[۱،۲] و مصطفی زاهدی فر[۱،۲]

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

[۲] پژوهشکده علوم و فناوری های نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

*اصفهان، کاشان، کیلومتر ٦ بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک.

پست‌الکترونیکی: monem@kashanu.ac.ir

چکیده

در این پژوهش با توجه به اهمیت کالیبراسیون در اندازه گیری دقیق دز ما این فرایند را با دقت انجام داده و روش و نتایج را در نمودارهای مختلف نمایش داده‌ایم. همچنین با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس به اندازه گیری پرتو گاما و نوترون پرداخته شده که طبق این نتایج آهنگ دز معادل گاما ۲۱ و آهنگ دز معادل نوترون ۳ میکروسیورت بر ساعت برای پرواز در مسیرهای خارجی و همچنین برای مسیرهای داخلی آهنگ دز معادل پرتو گاما ۲ و آهنگ دز معادل نوترون ۰/۱ میکروسیورت برساعت به دست آمده است و لازم به ذکر است که تمام مسیرهای پرواز به صورت اتفاقی و در ارتفاعات مختلف انجام شده است.

کلیدواژگان: پرتو گاما، پرتو کیهانی، نوترون، ترمولومینسانس، پرواز، کالیبراسیون.

۱. مقدمه

اندازه‌گیری پرتوهای یونیزان توسط وسیله ای به نام دزیمتر انجام می‌شود. این دستگاه دز پرتوها را ثبت می‌کند و در واقع انرژی جذب شده در واحد جرم یک جسم که تحت تابش قرار گرفته است را نشان می دهد. اندازه‌گیری معادل دز نیز روشی است که در آن اثرات بیولوژیکی برای پرتوهای یون‌ساز یکسان نیست و برای هر نوع پرتو اثرات تغییر می کند. یکای معادل دز سیورت (Sv) است. برخی از مواد نیمه عادی یا عایق در صورتی‌که ابتدا پرتو دهی و سپس گرما دهی می شوند، نور مرئی انتشار می‌دهند که به آن نور ترمولومینسانس می‌گویند و از این مواد برای دزیمتری استفاده می‌شود که به آن‌ها دزیمتر ترمولومینسانس می‌گویند. مقدار دز دریافت شده توسط ماده با میزان نور ساطع شده رابطه مستقیم دارد [۱] هرچه ارتفاع بیش‌تر می‌شود تابش کیهانی با منشأ کهکشان و خورشید بیش می‌شود [۲]. در این مقاله معادل دز گاما و نوترون در مسیرهای داخلی و خارجی اندازه‌گیری شده است.

اهمیت کالیبراسیون این دزیمترها به این دلیل است که ما در کالیبراسیون رفتار دزیمتر را در دزهای مختلف بررسی می‌کنیم و آن رفتار را برای سایر منابع پرتویی به‌عنوان رفتار مرجع در نظم می‌گیریم. در این پژوهش نیز دزیمترترمولومینانس که شامل قرص، کارت تی ال دی و فیلم پلی کربنات است. توسط مرجع معتبر در دزهای مختلف مورد پرتو دهی قرار گرفته است تا بتوان دز را با توجه به ضرایب کالیبراسیون به‌دست آمده در فرایند کالیبراسیون تخمین زد.

۲. روش کار

همان‌طور که گفته شد، برای اندازه گیری آهنگ معادل پرتو گاما و نوترون از دزیمتری ترکیبی ترمولومینسانس استفاده شده که ساختار کارت‌های استاده شده آن در شکل (۱) نمایش داده شده است. قسمت‌های مختلف این کارت‌ها به شرح زیر است:
بج: قاب نگهدارنده کارت حاوی بلورهای TLD است که با گیره‌ای که پشت آن نصب شده است روی سینه پرتوکار نصب می گردد. بج دارای چهار ناحیه فیلتر گذاری شده است که زمانی که کارت TLD در بج نصب می‌گردد بلورها زیر فیلترها قرار می‌گیرند و کمیت‌های حفاظتی را اندازه گیری می‌کنند.

ناحیه ۱: دارای فیلتر مسی با دانسیته mg/cm^2 ۳۰۰ است که بلور۷۰۰-TLD حساس به پرتو گاما زیر آن قرار می‌گیرد و کمیت Hp(۳) دز عدسی چشم را اندازه گیری می‌کند.

ناحیه ۲: دارای فیلتر تفلون با دانسیته mg/cm^2 ۱۰۰۰ است که بلور۷۰۰-TLD حساس به پرتو گاما زیر آن قرار می‌گیرد و کمیت Hp(۱۰) یا معادل دز را اندازه گیری می نماید.

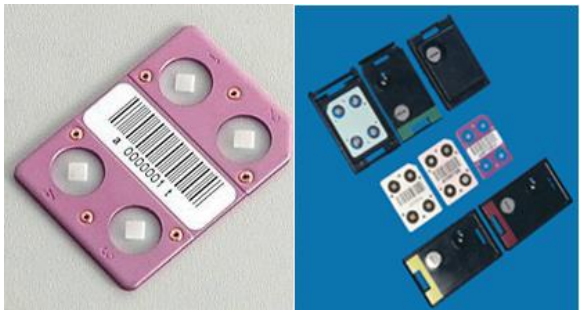
ناحیه ۳: دارای فیلتر آلومینیم با دانسیته mg/cm^2 ۱۰ است که بلور۷۰۰-TLD حساس به پرتو گاما زیر آن قرار می‌گیرد و کمیت Hp(۰/۰۷) است که دز پوست را اندازه‌گیری می‌نماید.

ناحیه ٤: دارای فیلتر ABS است که بلور ٦۰۰-TLD حساس به نوترون حرارتی و پرتو گاما زیر آن قرار می‌گیرد و دز نوترون‌های برگشتی از بدن (Albedo) را اندازه گیری می‌نماید.

کارت TLD: کارت آلومینیومی است که بلورهای ٦۰۰/۷۰۰-TLD با آرایش ۷۷۷٦ در آن نصب شده اند.

بلورTLD : دو عدد بلوراضافی TLD از نوع ٦۰۰ در ناحیه ٤ بج و ۷۰۰ در ناحیه ۳ بج نصب شده‌اند.

فیلم پلی کربنات (لگزان): فیلم پلیمری با فرمول شیمیایی C15H16O2 حساس به نوترون های انرژی بالا و غیر حساس به پرتو گاما است. در هر بج یک قطه فیلم به ضخامت ۲۵۰ میکرون و به ابعاد ۳×۳ نصب شده است.



شکل(۱): نمونه ای از کارت های دزیمتری ترمولومینسانس.

این پژوهش مشترک با خطوط هوایی ایران ایر صورت گرفته و از سه دزیمتر با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ استفاده شده است. دزیمتر شماره ۱ در پروازهای خارجی و دزیمتر شماره ۲ در پروازهای داخلی به کار گرفته شده است و دزیمتر شماره ۳ به‌عنوان دزیمتر زمینه (BKG) استفاده شده است که در طول مدت انجام پژوهش در یک مکان ثابت قرار گرفته است. دزیمتر شماره ۱ در مسیرهای مربوط به جدول شماره ۱ و به مدت ۲۱ ساعت و دزیمتر شماره ۲ در مسیرهای مربوط به جدول شماره ۲ و به مدت ۲۲ ساعت توسط خلبان در پرواز قرار داده شده است.

جدول شماره (۱): ارتفاع و مسیرهای پروازهای بین المللی با به کارگیری دزیمتر شماره۱.

ردیف	مسیر پرواز	ارتفاع (پا)
۱	تهران – رم	۳۸۰۰۰
۲	رم – تهران	٤۱۰۰۰
۳	تهران - میلان	۳۸۰۰۰
٤	میلان - تهران	۳۹۰۰۰

جدول شماره (۲): ارتفاع و مسیرهای پروازهای داخلی با به کارگیری دزیمتر شماره۲.

ردیف	مسیر پرواز	ارتفاع (پا)	ردیف	مسیر پرواز	ارتفاع (پا)
۱	تهران-اهواز	۲۵۰۰۰	۱۱	شیراز-اهواز	۲٦۰۰۰
۲	اصفهان-کیش	۳۵۰۰۰	۱۲	اهواز-تهران	۳۲۰۰۰
۳	کیش-اصفهان	۳٤۰۰۰	۱۳	تهران-لار	۳۳۰۰۰
٤	اصفهان-تهران	۲٤۰۰۰	۱٤	لار-دبی	۲۵۰۰۰
۵	تهران-اهواز	۳۵۰۰۰	۱۵	دبی-لار	۲٤۰۰۰
٦	اهواز-تهران	۳٤۰۰۰	۱٦	لار-تهران	۳٤۰۰۰
۷	تهران-ارومیه	۳٤۰۰۰	۱۷	تهران-اصفهان	۲۵۰۰۰
۸	ارومیه-تهران	۳۳۰۰۰	۱۸	اصفهان-کیش	۳۵۰۰۰
۹	تهران-اهواز	۳۳۰۰۰	۱۹	کیش-اصفهان	۳٤۰۰۰
۱۰	اهواز-شیراز	۲۵۰۰۰	۲۰	اصفهان-تهران	۲٤۰۰۰

دزیمترها پس از پایان مدت پرواز توسط خوانش‌گر مدل Harshaw٦٦۰۰ خوانش می‌شوند و نتایج حاصل شده برای دزیمتر ترمولومینسانس با استفاده از رابطه ۱ به دز بر حسب سیورت (SV) تبدیل می‌شوند.

$$\mathrm{Dose_i} = (\mathrm{TL_i} - \mathrm{TL_{BKG}}).\frac{\mathrm{RL_0}}{\mathrm{RL_i}}.\mathrm{ECC_i}.\mathrm{C_F}.\mathrm{C} \qquad (۱)$$

همچنین برای آشکارسازی نوترون جذبی توسط فیلم پلی کربنات از فرایند اچینگ استفاده شده است (۳و٤).

$$(\mathrm{TD-BKG})\times \mathrm{C_N} \qquad (۲)$$

جهت انجام کالیبراسیون دزیمترها، تعداد ۱۰ عدد از کارت‌های TLD ۷۷۷٦ که ضریب حساسیت بلورهای آن‌ها قبلاً تعیین شده بود با استفاده از خوانشگر مدل Harshaw ٦٦۰۰ چند بار صفر شدند و در بج قرار گرفتند. در مرحله بعد، تعداد ۱۰ عدد بلور TLD-٦۰۰ و ۱۰ عدد بلور TLD-۷۰۰ با استفاده از کوره الکتریکی ابتدا در دمای ٤۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت و پس از خنک شدن تا دمای محیط در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت قرار گرفتند تا صفر شدند. در هرکدام از بج ها یک جفت TLD-٦۰۰ و TLD-۷۰۰ قرار گرفتند. در آخر یک عدد فیلم پلی کربنات به ابعاد ۳ سانتی‌متر در هریک از بج ها نصب شدند.

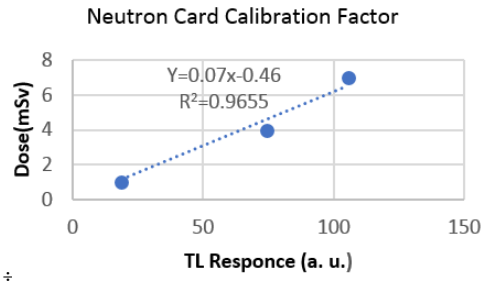
پرتودهی برای کالیبراسون با استفاده از میدان نوترونی Am-Be و میدان گاما Cs-۱۳۷ انجام گرفت.

یک عدد از دزیمترها به‌عنوان دزیمتر زمینه (کنترل) انتخاب شد و بقیه ۹ عدد دزیمتر در سه گروه سه تایی بسته بندی شدند. سه گروه هرکدام در دزهای ۱، ٤ و ۷ میلی سیورت در میدان نوترون چشمه Am-Be روی فانتوم تخت آب پرتودهی شدند.

برای کالیبراسیون نوترونی، ابتدا کارت‌های TLD با دستگاه خوانش‌گر هارشا مدل ٦٦۰۰ خوانش شدند. سپس نتایج خوانش بلورها در ضریب حساسیت بلورها (ECC) ضرب شد. در ادامه نتیجه خوانش دزیمتر زمینه از خوانش بقیه بلورها کم شد. در نهایت خوانش خالص بلورها محاسبه شد. نتایج خوانش کارت دزیمترهای ۷۷۷٦ و کالیبراسیون نوترونی آن‌ها در جدول ۳ و شکل ۲ قابل مشاهده است.

جدول (۳): نتایج خوانش کارت دزیمترهای ۷۷۷٦ و کالیبراسیون نوترونی آن‌ها.

Dose (mSv)	Ave (TL٦۰۰ -TL ۷۰۰) (a. u.)
۱	۱۸.۷۹
٤	۷٤.۵۸
۷	۱۰۵.٦۰



شکل (۲): منحنی کالیبراسیون استفاده شده مربوط به پرتودهی نوترون.

به منظور دستیابی به مقدار دز نوترون، نتیجه خوانش بلورهای TLD-۷۰۰ از خوانش بلور TLD-۶۰۰ که ناشی از پرتوهای گاما و نوترون می باشد کم شد تا خوانش مربوط به نوترون بدست آید. نتیجه این خوانش در جدول ٤ مشاهده می‌شود.

جدول(٤): مقادیر میانگین خوانش نور مرجع.

Ave RL0	RL01:192.52	RL02:191.83	RL03:171.56	RL04:170.72

ضریب کالیبراسیون برابر ضریب زاویه خط ۰/۰٦۲ mSv/nc است.

به منظور کالیبراسیون پرتودهی گاما، ابتدا کارت‌های انتخاب شده دوباره آماده سازی شده و در بج قرار گرفتند. سپس دزیمترها روی فانتوم تخت آب در میدان پرتوهای Cs-۱۳۷ در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه در دزهای (۱، ۵، ۱۵، ۲۰، ۳۰ mSv) با یکای Hp(۱۰) پرتودهی شدند. بعد از آن نتایج خوانش کارت‌ها در ضرایب حساسیت بلورها ضرب شد و خوانش دزیمتر زمینه (کنترل) از بقیه کم شد. در ادامه با توجه به این‌که بلور شماره ۲ زیر فیلتر ۱۰۰۰ mg/cm^2 قرار گرفته است، خوانش این بلور کمیت Hp(۱۰) یا معادل دز را نشان می‌دهد. منحنی کالیبراسیون گاما با استفاده از نتایج بلور شماره ۲ برای Hp(۱۰) رسم گردید که در شکل زیر نشان داده شده است. ضریب زاویه خط بهینه رسم شده بین نقاط به عنوان ضریب کالیبراسیون گاما در نظر گرفته می‌شود. نتایج خوانش کارت دزیمترهای ۷۷۷٦ و کالیبراسیون گاما در میدان Cs-۱۳۷ آن‌ها در جدول ۵ و شکل ۳ قابل مشاهده است:

جدول (۵): نتایج خوانش کارت دزیمترهای ۷۷۷٦ و کالیبراسیون گاما در میدان Cs-۱۳۷ آن‌ها.

Cs-۱۳۷ Exposure: ۱ mSv

Card No.	ID	Read with ECC & BG corrections & Reference Light				
		TL۱	TL۲	TL۳	TL٤	Unit
۱	۱۱۳۲۵	۲۲/۸۷	۲٤/۲۸	۲۰/٦۹	۲۲/۱۷	nC
۲	۱۰۷۹۸	۲۱/۱۵	۲۲/۷۳	۲٦/۵۳	۲۰/٤۲	nC
۳	۱۵۰۱۵	۲٤/۱۹	۲۵/۰۹	۲۳/۷۲	۲۳/۰۲	nC

Cs-۱۳۷ Exposure: ۵ mSv

Card No.	ID	Read with ECC & BG corrections & Reference Light				
		TL۱	TL۲	TL۳	TL٤	Unit
۱	۱۲۰۸٤	۱۱۷/۳۸	۱۰۸/۷۷	۱۱۰/۲۹	۱۲۱/۳۷	nC
۲	۱۲٤۰۷	۱۲٦/۵۰	۱۱۲/۲٤	۱۱۹/۹۱	۱۱٦/۸۲	nC
۳	۱۱۹۰۸	۱۰۷/۹۳	۱۰۷/۸۸	۱۱۱/٤۵۸	۱۱٤/۵۰	nC

Cs-۱۳۷ Exposure: ۱۵ mSv

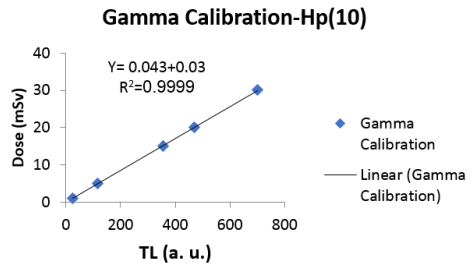
Card No.	ID	Read with ECC & BG corrections & Reference Light				
		TL۱	TL۲	TL۳	TL٤	Unit
۱	۱٤۳۰۳	۳۵۹/۷۵	۳۵۹/۲۳	۳۳۵/۸	۳۳۹/۱۹	nC
۲	۱۰۸۲٦	۳٤۷/۳۳	۳۵۸/۳۵	۳۲۵/۰۹	۳۳۵/۱۹	nC
۳	۱۲۰٦٦	۳٤۹/۱۸	۳٤۹/۷۹	۳۱۷/۲٤	۳۳٤/٦۳	nC

Cs-۱۳۷ Exposure: ۲۰ mSv

Card No.	ID	Read with ECC & BG corrections & Reference Light				
		TL۱	TL۲	TL۳	TL٤	Unit
۱	۳۷۸۰	٤۹۳/٤۰	۵۰۳/۵۳	٤۳٤/۲۱	٤۵۸/۲۳	nC
۲	۱۰۰۱٤	٤۷٤/۰۹	٤٦٦/۲۲	٤۲٦/٤۸	٤۳۷/۹۷	nC
۳	۱۰۵۵۸	٤٤۵/۸۲	٤٤۰/۵۹	٤۱۷/۵۸	٤۳٦/۱۵	nC

Cs-۱۳۷ Exposure: ۳۰ mSv

Card No.	ID	Read with ECC & BG corrections & Reference Light				
		TL۱	TL۲	TL۳	TL٤	Unit
۱	۱۳۵٤۹	٦۷٤/۰۹	٦۸۱/٦۲	٦۲۲/۰۹۲	٦۵۳/۹۲	nC
۲	۱۵۳۹۵	۷۱۰/۹٤	۷۲۱/۹۱	٦٤۹/۷۳	٦٦۸/۹۱	nC
۳	۱۱۸۸۹	٦۹۳/٦۷	٦۹۸/٦۷	٦۳۷/۹٤	٦٦٤/۰۵	nC



شکل (۳): منحنی کالیبراسیون بلور با موقعیت ۲ زیر فیلتر $1000\ mg/cm^2$ در کارت TLD.

نتیجه خوانش در دزهای مختلف همچنین در جدول ٦ دیده می‌شوند. با توجه به شیب نمودار کالیبراسیون ضریب کالیبراسیون گاما ۰/۰٤۲ mSv/nc به‌دست آمد.

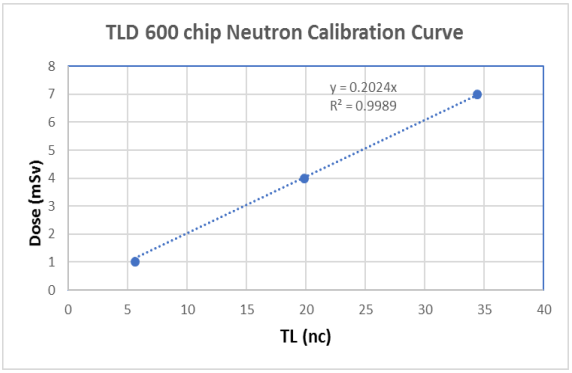
جدول (٦): نتیجه خوانش در دزهای مختلف پرتو گاما چشمه سزیم.

Dose (mSv)	۱	۵	۱۵	۲۰	۳۰
TL۲ (nC)	۲۳/۷	۱۱۷/۲۷	۳۵۵/۷۹	٤۷۰/۱۱	۷۰۰/۷۳

برای کالیبراسیون تک بلورهای TLD-٦۰۰ نسبت به نوترون‌های چشمه Am-Be، بلورهای TLD-٦۰۰ و TLD-۷۰۰ پس از گرمادهی و صفر شدن در کوره الکتریکی داخل بج دزیمتر فردی قرار گرفتند و در میدان نوترونی چشمه Am-Be در دزهای ۱، ٤ و ۷ میلی سیورت پرتودهی شدند. پس از قرائت با خوانش‌گر هارشا مدل ۵۵۰۰ پس از اعمال پیش گرمادهی در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه خوانش شدند. نتایج خوانش بلورTLD-۷۰۰ به عنوان دز گاما از نتایج خوانش TLD-٦۰۰ که ترکیبی از دز نوترون و گاما است، کم شد تا پاسخ TLD-٦۰۰ به نوترون مشخص شود. جدول ۷ و شکل ٤ نتایج به دست آمده را نشان می دهد.

جدول ۷: تایج خوانش بلور TLD-۷۰۰ به عنوان دز گاما از نتایج خوانش TLD-٦۰۰ که ترکیبی از دز نوترون و گاما است.

Dose (mSv)	Ave (TL٦۰۰ -TL ۷۰۰) (a. u.)
۱	۵/٦
٤	۱۹/۸٤
۷	۳٤/٤۳



شکل (٤): نمودار کالیبراسیون میدان نوترونی برای بلور TLD-٦۰۰ .

ضریب کالیبراسیون با در نظر گرفتن شیب خط بهینه رسم شده بین نقاط ۰/۲۰ mSv/nc می‌باشد.

مراحل کالیبراسیون تک بلورهای TLD-۷۰۰ و TLD-٦۰۰ نسبت به پرتوهای گاما چشمه Cs-۱۳۷ هم کاملاً مشابه با مراحل ذکر شده در قسمت قبل بوده و در جدول ۸ خلاصه نتایج مربوطه آورده شده است.

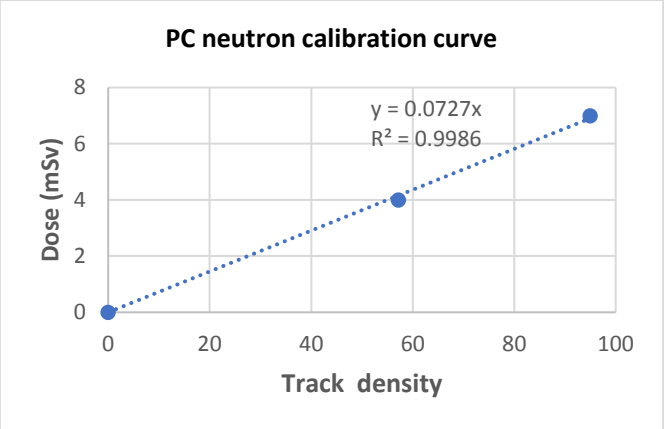
جهت انجام کالیبراسیون نوترونی فیلم های پلی کربنات (لگزان)، ابتدا فیلم‌های پلی کربنات به ضخامت ۲۵۰ میکرون به ابعاد ۳ در ۳ سانتی‌متر در بج های دزیمتر فردی قرار گرفتند و در دزهای ۱، ٤ و ۷ میلی سیورت در میدان نوترونی چشمه Am-Be پرتودهی شدند. سپس فیلم ها به‌گونه ای در بج قرار گرفتند که لایه پوششی سبز آن‌ها سمت میدان نوترون قرار گرفت. پس از آن فیلم‌ها پس از پرتو دهی ابتدا لایه سبز آن‌ها و لایه بی‌رنگ آن‌ها برداشته شد سپس با استفاده از محلول خورش پتاس، آب مقطر و الکل اتیلیک به مدت ۳ ساعت تحت ولتاژ ۸۰۰ ولت ۲ کیلو هرتز قرار گرفتند. پس از اعمال خورش الکتروشیمیایی روی فیلم ها با استفاده از اسکنر رزولوشن بالا، رد پاهای آشکار شده شمارش شدند. نتایج دز نوترون نسبت به تعداد رد پاهای شمارش شده رسم شدند که در شکل ۵ و جدول ۹ آمده است.

جدول(۸): نتایج کالیبراسیون بلورهای TLD-۶۰۰ و TLD-۷۰۰ نسبت به پرتوهای گاما چشمه Cs-۱۳۷.

Chip ID	ECC	TL(nc)	TL(net) (TL-1nc)*ECC	TL(AVE)	Dose(mSv)	Dosimeter Type
A۰۱	۰/۹٤	۸/۲۱	۷/۷۲	۵/۷۱	۱	TLD-۶۰۰
A۰۲	۱/۰۹	۸/۹	۹/۷۰		۱	TLD-۶۰۰
A۰۳	۰/۹۸	۵۱/۱۲	۵۰/۱۰	٤۵/۶۲	۵	TLD-۶۰۰
A۰٤	۰/۸۵	۸٤/٤	٤۱/۱٤		۵	TLD-۶۰۰
A۰۵	۰/۸۸	۷۵/۹۶	۶۶/۸٤	۶۶/۸٤	۸	TLD-۶۰۰
B۰۱	۱/۰۹	۳/۷٤	۷/۰۵۲۳	۷/۱۱	۱	TLD-۷۰۰
B۰۲	۱/۰۹	۳/۳۷	۷/۱۷۲۲		۱	TLD-۷۰۰
B۰۳	۱/۰۳	۱۰/۳۳	۳۶/۰۸۰۹	۳۵/۷۱	۵	TLD-۷۰۰
B۰٤	۰/۹۶	۱۰/٤۶	۳۵/۳٤۷۲		۵	TLD-۷۰۰
B۰۵	۱/۰۷	۱۵/۲۳	۵۵/۶۱۸۶	۵۵/۶۲	۸	TLD-۷۰۰

جدول (۹): نتایج رد پاها فیلم‌های پلی کربنات در پرتودهی نوترون.

Dose (mSv)	Track density
۰	۵/۶
٤	۱۹/۸٤
۷	۳٤/٤۳



شکل (۶) : نمودار کالیبراسیون فیلم های پلی کربنات در پرتودهی نوترون.

رد پاهای مربوط به دز ۱ میلی سیورت به دلیل عدم هم خوانی با سایر دزها حذف شدند.

با در نظر گرفتن شیب خط بهینه رسم شده بین نقاط ضریب کالیبراسیون برای فیلم ها Dose/TD ۰/۰۷۳ به‌دست آمد. شکل ٦ را ببینید.

۳. نتیجه‌گیری

نتایج خوانش کارت‌های دزیمتر ترمولومینسانس که هم پرتو گاما و هم نوترون‌های حرارتی را اندازه‌گیری می‌کند، در جدول شماره ۱۰ میزان دز گاما و نوترون برای مسیرهای داخلی و به همین صورت در جدول شماره ۱۱ برای مسیرهای خارجی با در نظر گرفتن میانگین ارتفاع آورده شده است.

جدول(۱۰): میزان دز جذبی گاما و نوترون در پروازهای داخلی.

میزان دز جذبی گاما	**متوسط ارتفاع (پا)**	**۳۰۰۰۰**
	میزان دز (µSV/h)	**۲**
	نوع پرواز	**داخلی**
میزان دز جذبی نوترون		
میزان دز جذبی نوترون	**متوسط ارتفاع (پا)**	**۳۰۰۰۰**
	میزان دز (µSV/h)	**۰/۱**
	نوع پرواز	**داخلی**

جدول(۱۱): میزان دز جذبی گاما و نوترون در پروازهای خارجی.

میزان دز جذبی گاما	**متوسط ارتفاع (پا)**	**۳۹۰۰۰**
	میزان دز (µSV/h)	**۲۱**
	نوع پرواز	**خارجی**
میزان دز جذبی نوترون		
میزان دز جذبی نوترون	**متوسط ارتفاع (پا)**	**۳۹۰۰۰**
	میزان دز (µSV/h)	**۳**
	نوع پرواز	**خارجی**

طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مدت زمان مجاز پرواز سالانه در پروازهای داخلی حدود ۵۰۰ ساعت و در پروازهای خارجی حدود ۵۰ ساعت خواهد بود. با توجه به این‌که میانگین ارتفاع در پروازهای خارجی بیشتر از پروازهای داخلی است و نیز دز معادل به‌دست آمده برای کارت‌های دزیمتر ترمولومینسانس در پروازهای خارجی بیشتر است می‌توان نتیجه گرفت که بالا رفتن ارتفاع منجر به افزایش میزان دز دریافتی توسط خلبان و خدمه پرواز می‌شود.

همچنین با مشاهده نمودارهای مربوط به کالیبراسیون که در قسمت روش کار آورده شده است می‌توان نتیجه گرفت که خطی بودن این نمودارها در اثر دقت بالا و درستی روش کالیبراسیون است.

٤. تشکر و قدردانی

در این کار تحقیقاتی از دانشگاه کاشان به خاطر حمایت‌های خود تشکر و قدردانی می‌نماییم.

۵. مراجع

۱. م. زاهدی فر، ا. صادقی. ترمولومینسانس نانوساختارها, چاپ اول. کاشان ۱۳۹۵.

۲. ر. فقیهی، س. مهدی زاده، م. جعفری زاده، ص. سینا، م. زه تابان، م. طاهری. اندازه‌گیری دز پرتوهای کیهانی در ارتفاع‌های مختلف جو ایران. مجله علوم و فنون هسته ای. ۳۳ (۱) (۱۳۹۱) ۲٦-۳۲.

3. M. Sohrabi, A. R. Solaymanian. Some characteristics of the AEOI passive radon diffusion dosimeter. Int. J. Radiat. Appl. Instrumentation. Part D. Nucl. Tracks Radiat. Meas. 15 (1-4) (1988) 605-608.

4. M. Taheri, S. Hosseini Toudeshki. Characteristic studies for fast detection of a wide energy range of alpha particles in polycarbonate detectors. Radiat. Meas. 40 (2-6) (2005) 307-310.

5. M. Danilkin, A. Lust, M. Kerikmae, V. Seeman, H. Mandar, M. Must. CaF_2: Mn extreme dosimeter: Effects of Mn concentration on thermoluminescence mechanisms and properties. Radiat. Meas. 41 (2006) 677-681.