

## مطالعه اثر پارامترهای عملیاتی بر زمان مرگ شمارنده گایگر-مولر با استفاده از مدل

## وقفه ناپذیر به روش دو-چشمه

نریمان رحیمی و مجتبی تاجیک

دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان

پست الکترونیکی: tajik@du.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۸؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۹/۲/۲۴)

## چکیده

در این مقاله اثر پارامترهای عملیاتی از قبیل درجه حرارت محیط و ولتاژ اعمالی بر زمان مرگ یک شمارنده گایگر-مولر از نوع دیواره نازک با استفاده از مدل وقفه ناپذیر و روش دو-چشمه استاندارد بررسی شده است. مطالعات تجربی با استفاده از چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$  و  $^9\text{Sr}$  در ولتاژهای بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ ولت و در بازه دمایی ۲۷- تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. نتایج بررسی‌ها برای ولتاژ اعمالی نشان می‌دهند که رفتار زمان مرگ بر حسب ولتاژ را می‌توان در سه ناحیه مجزا دسته‌بندی کرد. در ناحیه I (ولتاژهای پایین) زمان مرگ با افزایش ولتاژ کاهش می‌یابد در ناحیه II (ولتاژهای نزدیک به ولتاژ کارشمارنده)، زمان مرگ تقریباً ثابت است. در ناحیه III (ولتاژهای بالاتر از ۷۴۰ ولت) با افزایش ولتاژ، زمان مرگ به‌طور کند و خطی افزایش می‌یابد. تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ در ناحیه I بیشتر از ناحیه III است. ناحیه II با حداقل زمان مرگ و کمترین تغییرات نسبت به ولتاژ اعمالی بهترین منطقه عملیاتی است. مطالعات نشان می‌دهند میزان تغییرات زمان مرگ و میزان گستردگی فلات زمان مرگ (ناحیه III) برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  و چشمه  $^9\text{Sr}$  متفاوت است. زمان مرگ با استفاده از چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بین ۵۸ تا ۷۸ میکروثانیه و با استفاده از چشمه  $^9\text{Sr}$  بین ۷۹ تا ۱۳۰ میکروثانیه به دست آمد. به‌طور کلی برای هر یک از نواحی I، II و III تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ برای چشمه  $^9\text{Sr}$  و  $^{137}\text{Cs}$  تقریباً یکسان است. نتایج تجربی همچنین نشان می‌دهند که زمان مرگ با افزایش دما، افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: شمارنده گایگر-مولر، زمان مرگ، وابستگی دمایی، ولتاژ اعمالی

## ۱. مقدمه

زمان کمینه جداسازی، زمان مرگ سامانه دستگاه آشکارساز تابشی نامیده می‌شود. با توجه به ماهیت کاتوره‌ای بودن تابش‌های پرتوزا، در اندازه‌گیری‌های تابشی، همیشه احتمال از دست رفتن یک رویداد درست وجود دارد. این اتلاف‌ها، ناشی از زمان مرگ در آهنگ شمارش بالا، شدیدتر می‌شوند. در این

در بیشتر دستگاه‌های آشکارساز تابشی، زمان کمینه‌ای وجود خواهد داشت که باید دو رویداد را به‌صورت دو تپ مجزا از یکدیگر ثبت کند. این زمان محدود کننده وابسته به مشخصه‌های خود آشکارساز و الکترونیک مرتبط است. این

شود، مدتی طول می‌کشد تا میدان الکتریکی یون‌های مثبت اطراف آند را تخلیه کند و شدت میدان به میزان کافی برای شمارش پرتو جدید افزایش یابد، به این مدت زمان، زمان مرگ ( $\tau$ ) می‌گویند [۱]. این شمارنده‌ها به علت زمان مرگ نسبتاً طولانی، به آهنگ شمارش نسبتاً پایین محدود می‌شوند و برای شرایطی که آهنگ شمارش متوسط است، به کار گرفته می‌شوند [۱]. زمان مرگ این آشکارساز به هندسه آشکارساز، خواص گاز پرشده، دما، فشار و ولتاژ اعمالی وابسته است [۵]. لی و همکاران در سال ۲۰۰۰ میلادی و پتیل در سال ۲۰۰۹ میلادی نشان دادند که مدل وقفه‌ناپذیر به خوبی زمان مرگ شمارنده گایگر-مولر را تخمین می‌زند [۶ و ۷]. برخی از محققین عوامل مؤثر از قبیل دما و ولتاژ اعمالی را بر زمان مرگ شمارنده گایگر-مولر بررسی کرده‌اند [۸-۱۰]. در این پژوهش‌ها اثر دماهای بالای صفر درجه و ولتاژ HV بر زمان مرگ شمارنده با استفاده از چشمه‌های گاما انجام شده است. در این پژوهش اثر دماهای بالا و زیر صفر درجه و اثر ولتاژهای فلات HV شمارنده بر زمان مرگ با استفاده از تابش‌های بتا و گاما انجام شده است. علاوه بر این، در این پژوهش از شمارنده گایگر-مولر با دیواره نازک استفاده شده است. شمارنده‌های گایگر-مولر با دیواره نازک برای موارد زیر استفاده می‌شود [۱۱]:

۱- شناسایی ذرات بتا با انرژی بالا، ذرات بتا از دیواره وارد شمارنده می‌شوند و به طور مستقیم با گاز برهم‌کنش می‌کنند، ذرات بتا برای نفوذ به دیواره لوله شمارنده باید به اندازه کافی پر انرژی باشند. ذرات بتای کم انرژی ممکن است به وسیله دیواره لوله شمارنده متوقف شوند.

۲- شمارش و تشخیص فوتون‌های کم‌انرژی گاما و پرتو ایکس. فوتون‌های کم‌انرژی با گاز پر شده شمارنده برهم‌کنش می‌کنند. در طراحی این نوع شمارنده‌ها از برهم‌کنش فوتون‌ها با دیواره لوله برای شناسایی استفاده نمی‌شود.

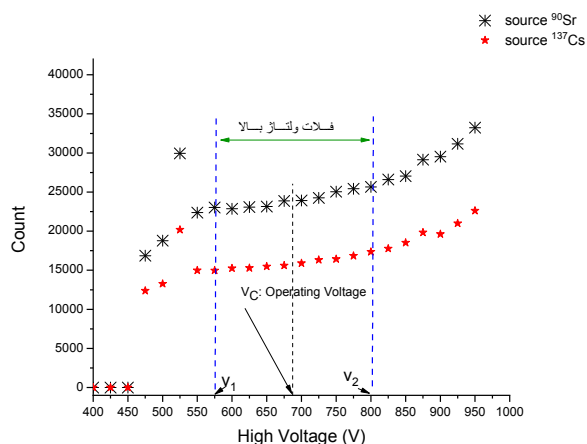
زمان مرگ را می‌توان از تفاوت آهنگ شمارش دو چشمه محاسبه کرد. در این پژوهش با استفاده از روش دوچشمه به

شرایط، هر اندازه‌گیری شمارشی دقیق، باید شامل اصلاحاتی برای شمارش‌های اتلافی باشد. بنابراین آگاهی از مقدار زمان مرگ دستگاه آشکارساز در هنگام اندازه‌گیری بسیار با اهمیت می‌شود [۱]. محققین به منظور کاهش خطای شمارش مدل‌هایی برای محاسبه و اندازه‌گیری زمان مرگ دستگاه‌های آشکارسازی معرفی کرده‌اند [۲ و ۳].

دو مدل از رفتار زمان مرگ برای دستگاه‌های شمارش رایج هستند: وقفه‌پذیر و وقفه‌ناپذیر. در مدل وقفه‌ناپذیر، فرض می‌شود، به دنبال ثبت هر رویداد واقعی، زمان مرگ ( $\tau$ ) ثابتی، در طول دوره فعالیت آشکارساز رخ می‌دهد. در این مدل، حوادث واقعی که در طول دوره مرگ رخ می‌دهند، از دست می‌روند و فرض می‌شود هیچ تأثیری روی رفتار آشکارساز ندارند. در مقابل، در مدل وقفه‌پذیر، فرض می‌شود زمان مرگ یکسان  $\tau$  برای ثبت هر رویداد واقعی در طول دوره فعالیت آشکارساز رخ می‌دهد، با این حال به ازای هر رویداد واقعی که ثبت نشود زمان مرده به اندازه  $\tau$  گسترش می‌یابد [۱]. در این پژوهش به دلایلی که در ادامه خواهد آمد، از مدل وقفه‌ناپذیر برای تعیین زمان مرگ استفاده می‌شود. در این مدل رابطه بین آهنگ رویدادهای واقعی  $m$ ، آهنگ شمارش‌های ثبت شده  $m$  و زمان مرگ دستگاه آشکارساز تابشی  $\tau$  به ازای هر شمارش با رابطه (۱) داده می‌شود [۴]:

$$n = \frac{m}{1 - m\tau} \quad (1)$$

شمارنده گایگر-مولر یکی از قدیمی‌ترین انواع شمارنده‌های تابشی است که توسط گایگر و مولر در سال ۱۹۲۸ معرفی شد. شمارنده‌های گایگر-مولر دسته‌ای از آشکارسازهای پر شده با گاز بر پایه یونیزاسیون هستند. در یک شمارنده گایگر-مولر ورود پرتو باعث تولید تعداد زیادی بهمن‌های الکترونی در شمارنده می‌شود. الکترون‌های منفی با سرعت زیادی به طرف آند حرکت کرده و جذب می‌شوند ولی یون‌های مثبت به علت سنگینی با سرعت نسبی کمتری به سمت کاتد حرکت می‌کنند. در شرایطی که تمام الکترون‌ها جمع شده‌اند، هنوز تعداد زیادی بار مثبت در اطراف آند وجود دارد. در این شرایط اگر پرتو جدیدی وارد شمارنده



شکل ۱. تغییرات شمارش‌ها بر حسب ولتاژ اعمالی و محدوده فلات ولتاژ بالا برای شمارنده گایگر-مولر با استفاده از چشمه‌های گامای  $^{137}\text{Cs}$  و بتا  $^{90}\text{Sr}$ .

دمای  $70^\circ$  درجه سانتی‌گراد درون گرم‌کننده و برای دماهای پایین‌تر از دمای محیط تا دمای  $28^\circ$ - درجه سانتی‌گراد داخل سرد کننده قرار داده شد. با تنظیم دما از  $28^\circ$  تا  $70^\circ$  درجه سانتی‌گراد، شمارش‌های مربوط به چشمه‌های  $S_1$  و  $S_2$  و هر دو چشمه  $S_{12}$  برای دو چشمه گاما  $^{137}\text{Cs}$  و دو چشمه بتا  $^{90}\text{Sr}$ ، برای ولتاژهای اعمالی  $600$  تا  $800$  ولت (ولتاژهای فلات HV) اندازه‌گیری شد. برای هر ولتاژ و هر دمای اعمالی به شمارنده، به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری انجام شد.

به منظور کاهش خطا، هر مرحله از آزمایش‌ها به تعداد سه بار تکرار و نتیجه میانگین ثبت شد. با استفاده از رابطه (۲) و داده‌های  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_{12}$  زمان مرگ محاسبه شد.

$$\tau = \frac{X(1 - \sqrt{1 - Z})}{Y}, \quad (2)$$

در این رابطه  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  عبارت‌اند از:

$$X = s_1 s_2 - b s_{12},$$

$$Y = s_1 s_2 (s_{12} + b) - b s_{12} (s_1 + s_2),$$

$$Z = \frac{Y(s_1 + s_2 - s_{12} - b)}{X^2},$$

در روابط ذکر شده،  $b$  آهنگ شمارش واقعی بدون حضور چشمه،  $S_1$  آهنگ شمارش واقعی با چشمه اول،  $S_2$  آهنگ

بررسی پارامترهای عملیاتی مؤثر بر زمان مرگ شمارنده پرداخته شده است. در مرحله اول فلات ولتاژ بالای (فلات HV) شمارنده گایگر-مولر از نوع دیواره نازک (Thin wall) به دست آورده شد. این فلات معرف گستره عملیاتی شمارنده است.

در مرحله دوم، به روش دو-چشمه با استفاده از دو چشمه  $^{137}\text{Cs}$  و دو چشمه  $^{90}\text{Sr}$  در دماهای مختلف برای ولتاژهای ناحیه فلات ولتاژ بالا، شمارش‌های مربوط به چشمه‌ها اندازه‌گیری و سپس زمان مرگ محاسبه شد.

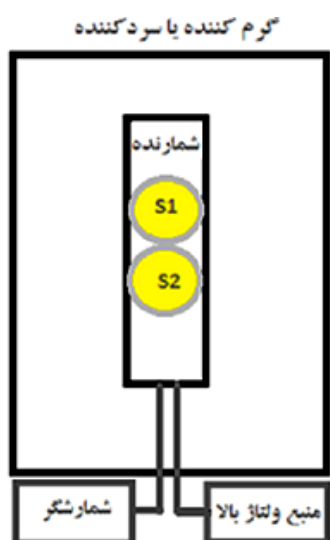
## ۲. روش انجام کار

### ۲.۱. تعیین فلات ولتاژ بالای شمارنده

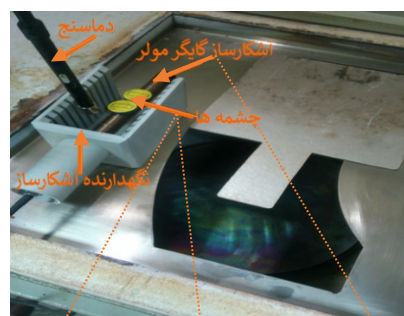
برای تعیین فلات ولتاژ بالای شمارنده گایگر-مولر (ساخت شرکت LND به شماره مشخصه ۷۲۵۱۴) [۱۲]، یک چشمه  $^{137}\text{Cs}$  مقابل این شمارنده قرار گرفت و ولتاژ به تدریج تا ولتاژ  $950$  ولت افزایش یافت و شمارش‌ها برای هر ولتاژ به مدت  $60$  ثانیه ثبت شد. همین مراحل با چشمه  $^{90}\text{Sr}$  انجام شد. با استفاده از داده‌های به دست آمده، نمودار ولتاژ بر حسب شمارش رسم شد. نمودار شکل ۱ نشان می‌دهد از ولتاژ حدود  $V_1 = 575\text{V}$  تا ولتاژ  $V_2 = 800\text{V}$ ، رفتار تغییرات شمارش نسبت به تغییرات ولتاژ اعمالی آرام است. این ناحیه فلات ولتاژ بالا نامیده می‌شود. ولتاژ کار شمارنده ( $V_c$ ) از حاصل جمع میانگین فلات ولتاژ بالا ( $112/5$  ولت) با ولتاژ  $V_1$  به دست می‌آید. براین اساس ولتاژ کار شمارنده تقریباً  $690$  ولت به دست آمد.

### ۲.۲. تعیین زمان مرگ

برای تعیین زمان مرگ از اجزایی مطابق با شکل ۲ الف شامل شمارنده گایگر-مولر، گرم‌کننده، سردکننده و برای مرحله اول آزمایش از دو چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با شدت پنج میکروکوری و برای مرحله دوم آزمایش از دو چشمه  $^{90}\text{Sr}$  با شدت  $0/1$  میکروکوری، با چیدمانی مطابق با شکل ۲ ب استفاده شد. شمارنده گایگر-مولر برای دماهای بالاتر از دمای محیط تا



(ب)



(الف)

شکل ۲. (الف) نحوه قرارگیری چشمه‌ها روی شمارنده گایگر-مولر در داخل گرم‌کننده، (ب) چیدمان آزمایش برای مطالعه اثر دما و ولتاژ بر زمان مرگ شمارنده گایگر-مولر.

با شعاع داخلی  $a$  و شعاع خارجی  $b$ ، سرعت رانشی یون‌ها با موقعیت شعاعی رویدادها طبق رابطه (۴) تغییر می‌کند [۱].

$$v^+(r) = \frac{\mu E(r)}{p} = \frac{\mu V_0}{p \ln(b/a)} \frac{1}{r}, \quad (4)$$

با استفاده از رابطه (۴) و معادله حرکت یون‌ها، زمان لازم برای جمع‌آوری یون‌ها با جایگذاری  $r(t)=b$  طبق رابطه (۵) به دست می‌آید [۱].

$$t^+ = \frac{(b^2 - a^2) p \ln(b/a)}{2\mu V_0}, \quad (5)$$

بر اساس رابطه (۵) با توجه به این که سایر پارامترها ثابت هستند با افزایش فشار گاز زمان جمع‌آوری یون‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش، باعث افزایش زمان مرگ شمارنده خواهد شد. تغییرات زمان مرگ بر حسب دمای عملی به شمارنده گایگر-مولر برای ولتاژهای عملی ۶۰۰ ولت تا ۸۰۰ ولت در شکل‌های ۳ الف و ۳ ب برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  و در شکل‌های ۴ الف و ۴ ب برای چشمه  $^{90}\text{Sr}$  نشان داده شده است. مطابق با نتایج تحلیلی ارائه شده، نمودارهای این شکل‌ها

شمارش واقعی با چشمه دوم و  $S_{12}$  آهنگ شمارش واقعی ناشی از دو چشمه است [۱].

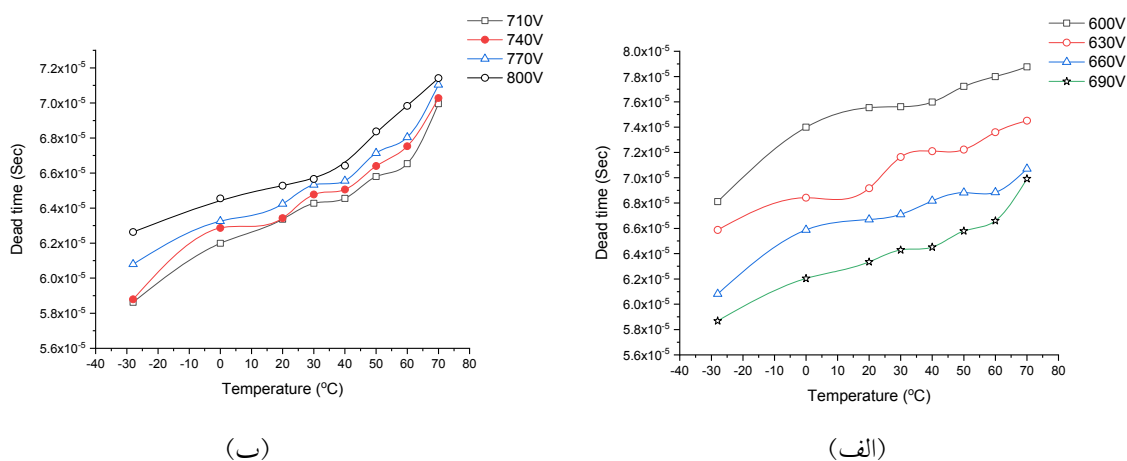
### ۳. نتایج

#### ۳.۱. تغییرات زمان مرگ بر حسب دمای عملی

با توجه به شمارش‌های به دست آمده در دماهای مختلف نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴ به دست آمد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، زمان مرگ همیشه با افزایش دما افزایش می‌یابد. افزایش دما باعث افزایش فشار گاز پرکننده شمارنده می‌شود، در نتیجه سرعت رانشی یون‌ها در گاز طبق رابطه (۳) کاهش می‌یابد.

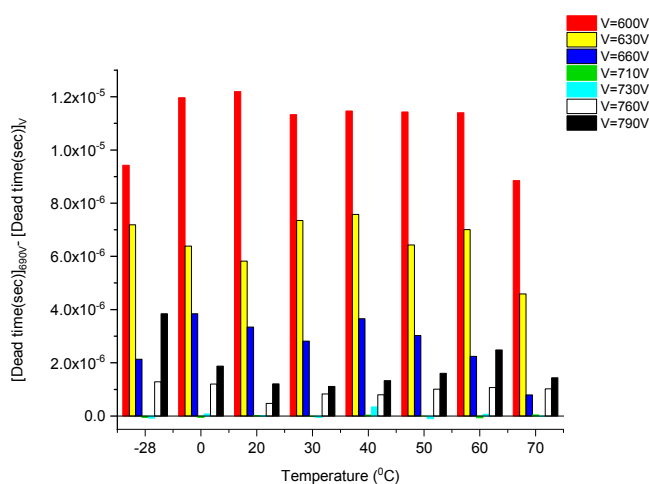
$$E = \frac{V_0}{\ln(b/a)} \frac{1}{r}, \quad v = \frac{\mu E(r)}{p}, \quad (3)$$

که در آن  $v$  سرعت رانشی،  $E$  میدان الکتریکی قوی،  $p$  فشار گاز و  $\mu$  تحرک است که روی گستره وسیعی از میدان الکتریکی و فشار گاز، ثابت باقی می‌ماند و برای یون‌های مثبت و منفی در یک گاز تفاوت چندانی ندارد [۱]. برای یک شمارنده استوانه‌ای



(ب)

(الف)



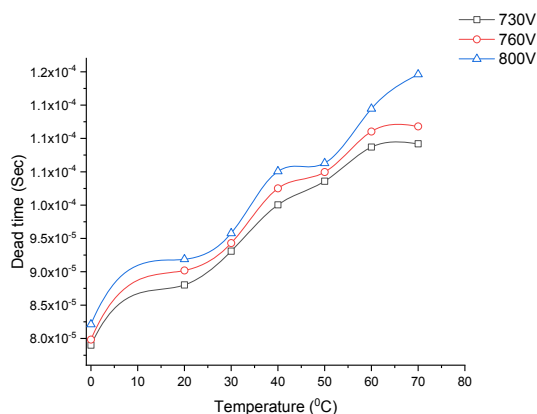
(ج)

شکل ۳. نمودار تغییرات زمان مرگ بر حسب دمای اعمالی برای حالتی که شمارنده گایگر-مولردر معرض چشمه  $^{137}\text{Cs}$  قرار گرفته است. (الف) برای ولتاژهای ۶۰۰ ولت تا ۶۹۰ ولت، (ب) برای ولتاژهای ۷۱۰ ولت تا ۸۰۰ ولت و (ج) نمودار اختلاف زمان مرگ در ولتاژهای اعمالی نسبت به زمان مرگ در ولتاژ کار شمارنده گایگر-مولر بر حسب دمای اعمالی.

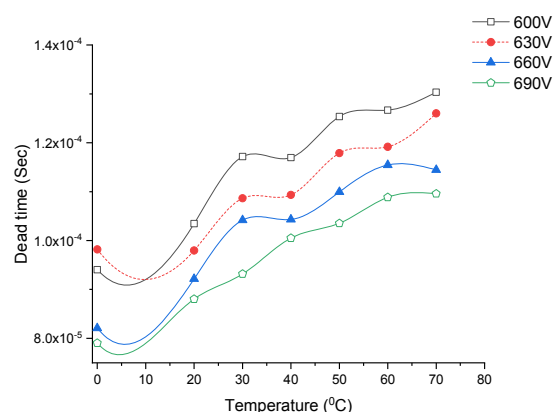
### ۲.۳. تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ اعمالی

نتایج تجربی تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ اعمالی در دماهای مشخص در نمودارهای شکل های ۵ الف و ۵ ب رسم شده است. این نمودارها به طور کیفی و کمی نشان می دهند، در یک دمای مشخص با افزایش ولتاژ تا ولتاژ ۶۹۰ ولت (ولتاژ کار) زمان مرگ کاهش می یابد (منطقه یک). از ولتاژ ۶۹۰ تا ۷۴۰ ولت (منطقه دو) زمان مرگ تقریباً ثابت است. از ولتاژ ۷۴۰ با افزایش ولتاژ، زمان مرگ به آرامی افزایش می یابد (منطقه سه). در منطقه یک بر اساس رابطه (۵) در یک دمای معین، با افزایش ولتاژ

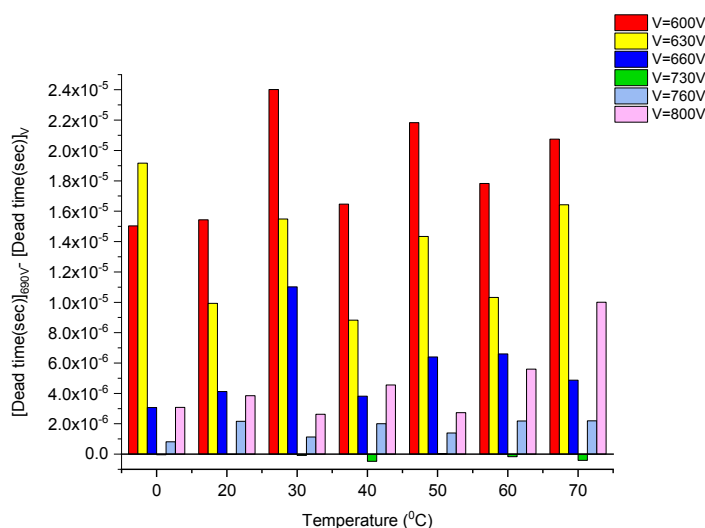
به طور کیفی و کمی نشان می دهند که در یک ولتاژ معین با افزایش دما زمان مرگ شمارنده به طور کلی به صورت افزایشی اند. در شکل های ۳ ج و ۴ ج نمودار اختلاف زمان مرگ در ولتاژهای اعمالی نسبت به زمان مرگ در ولتاژ کار (۶۹۰ ولت) شمارنده گایگر-مولر بر حسب دمای اعمالی رسم شده است. در این شکل ها مشاهده می شود در ولتاژهای پایین تر از ولتاژ کار اختلاف زمان مرگ نسبت به ولتاژهای بالاتر از ولتاژ کار بیشتر است؛ به طوری که بیشترین اختلاف زمان مرگ در ولتاژ ۶۰۰ ولت رخ می دهد.



(ب)



(الف)

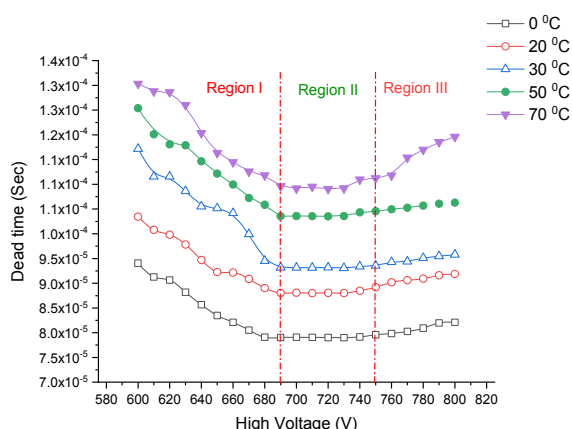


(ج)

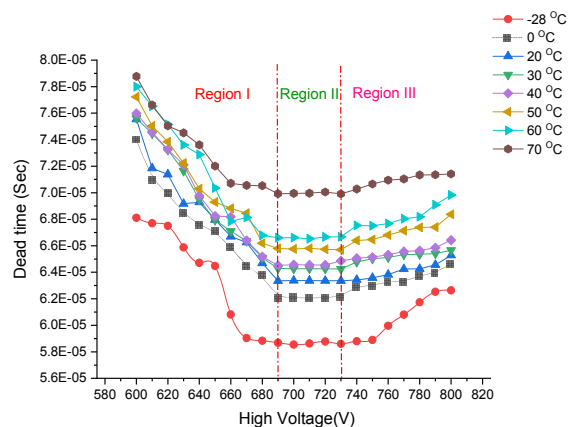
شکل ۴. نمودار تغییرات زمان مرگ بر حسب دمای اعمالی برای حالتی که شمارنده گایگر-مولردر معرض چشمه  $^{90}\text{Sr}$  قرار گرفته است. (الف) برای ولتاژهای ۶۰۰ ولت تا ۶۹۰ ولت، (ب) برای ولتاژهای ۷۱۰ ولت تا ۸۰۰ ولت و (ج) نمودار اختلاف زمان مرگ در ولتاژهای اعمالی نسبت به زمان مرگ در ولتاژ کار شمارنده گایگر-مولر بر حسب دمای اعمالی.

(د) زمان جمع‌آوری یونها در داخل شمارنده افزایش می‌یابد. بنابراین برای ولتاژهای بیشتر از ولتاژ کار با افزایش ولتاژ، زمان مرگ شروع به افزایش می‌کند. بررسی‌های کیفی و کمی نشان می‌دهند که منطقه دو با حداقل زمان مرگ و کمترین تغییرات، بهترین منطقه عملیاتی است که زمان مرگ کمترین حساسیت را به ولتاژ اعمال شده دارد. در شکل ۶، نمودار اختلاف زمان مرگ در دماهای اعمالی نسبت به زمان مرگ در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  شمارنده

اعمالی  $V$ ، زمان جمع‌آوری یونها کاهش یافته در نتیجه زمان مرگ کاهش خواهد یافت. در ناحیه دوم (ناحیه فلات ولتاژ بالا) زمان مرگ تقریباً ثابت است. در ناحیه سوم، با افزایش ولتاژ به ولتاژهای بالاتر از ولتاژ کار، به خاطر افزایش توزیع فضایی بار مثبت، شعاع آندی  $a$  شمارنده، افزایش یافته و بر اساس رابطه (۳) میدان الکتریکی و در نتیجه سرعت رانش یونها کاهش یافته در نتیجه طبق رابطه



(ب)



(الف)

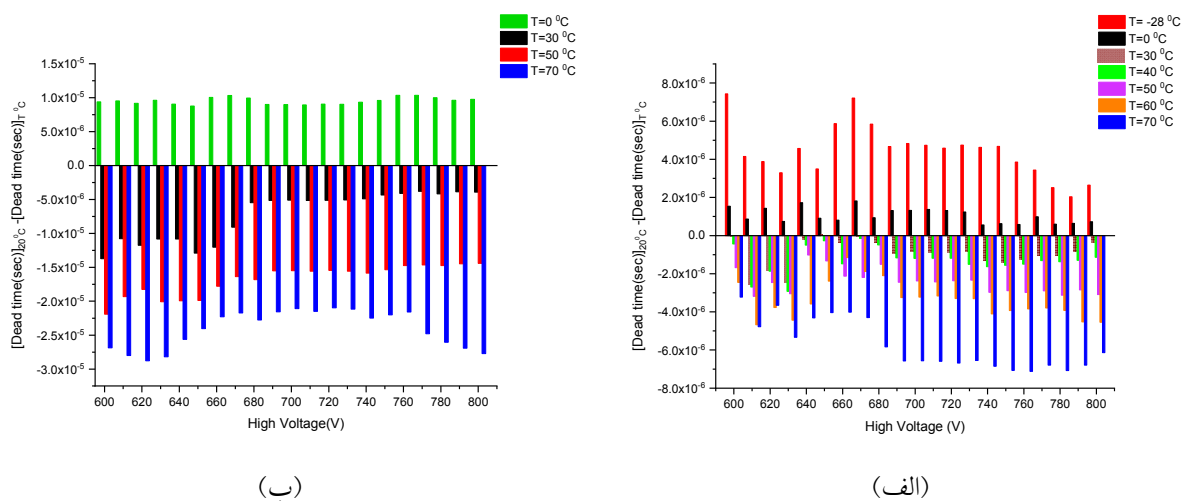
شکل ۵. نمودار تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ اعمالی به شمارنده گایگر-مولر در دماهای مختلف، با استفاده از (الف) چشمه های  $^{137}\text{Cs}$  و (ب) چشمه های  $^{90}\text{Sr}$ .

از نواحی یک، دو و سه برای چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{90}\text{Sr}$  تقریباً یکسان است. به عبارتی نحوه تغییرات زمان مرگ به نوع پرتو وابسته نیست. شمارش‌های ثبت شده در شمارنده به راندمان شمارنده و فعالیت چشمه‌ها وابسته است. در این پژوهش نوع چشمه‌ها و فعالیت چشمه‌ها متفاوت هستند. با توجه به این که راندمان شمارنده برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بسیار کمتر از راندمان شمارنده برای چشمه  $^{90}\text{Sr}$  و فعالیت چشمه‌های مورد استفاده در آزمایش متفاوت است، شمارش‌های ثبت شده برای دو چشمه مذکور متفاوت و با توجه به رابطه (۲) زمان مرگ برای چشمه‌های بتا و گاما متفاوت خواهد بود. در این شکل با توجه به این که میزان شمارش‌های ثبت شده برای چشمه  $^{90}\text{Sr}$  نسبت به چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بیشتر است، در نتیجه بر اساس رابطه (۲) به همان میزان زمان مرگ برای  $^{90}\text{Sr}$  نسبت به چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بیشتر خواهد بود.

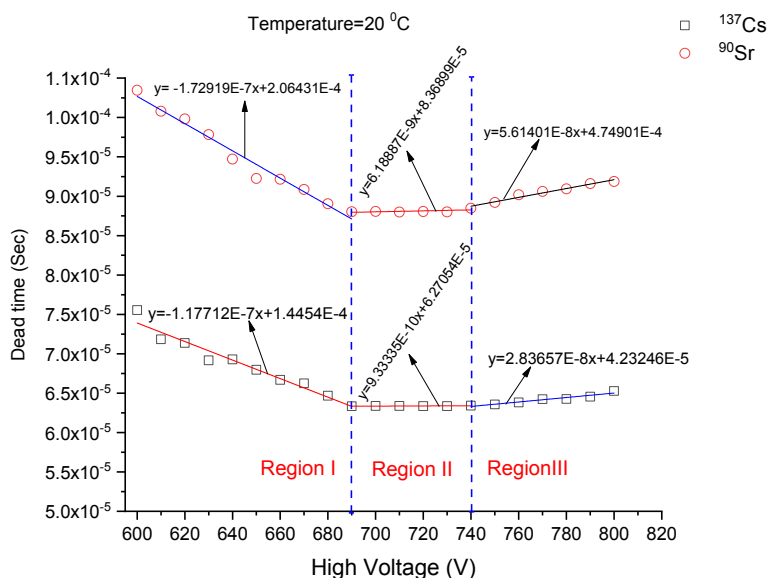
### ۳.۳. بررسی‌های کمی

نتایج تجربی در نمودارهای شکل‌های ۳ تا ۶ به‌طور کمی نشان می‌دهند که کمترین زمان مرگ  $50/81 \mu\text{s}$  در دمای  $-28$  درجه سانتی‌گراد برای ولتاژ اعمالی  $690$  ولت به‌دست می‌آید. برای این ولتاژ در دمای  $70$  درجه سانتی‌گراد و در دمای  $20$  درجه

گایگر-مولر با استفاده از چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$  و چشمه های  $^{90}\text{Sr}$  به دست آمده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود حداکثر اختلاف زمانی زمان مرگ در دمای  $20$  درجه سانتی‌گراد (دمای محیط) نسبت به سایر دماها برای دمای  $70$  درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد. در شکل ۶ حداکثر اختلاف زمان مرگ در بازه دمایی  $-28$  تا  $70$  درجه سانتی‌گراد با استفاده از چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$   $7/1$  میکروثانیه و با استفاده از چشمه‌های  $^{90}\text{Sr}$   $28/8$  میکروثانیه است. با توجه به این که این شمارنده برای استفاده در میدان‌های پرتوی بتا کاربرد دارد، این مقدار زمان مرگ می‌تواند خطای قابل ملاحظه‌ای در شمارش‌ها ایجاد کند. در شکل ۷ نمودار تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ اعمالی برای چشمه‌های  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{90}\text{Sr}$  در دمای  $20$  درجه سانتی‌گراد مقایسه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، رفتار تغییرات زمان مرگ در نواحی یک، دو و سه متفاوت است. با توجه به معادلات برآزش شده بر داده‌های شکل ۷، بیشترین تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ در ناحیه یک و کمترین حساسیت زمان مرگ در ناحیه دو، ولتاژی رخ می‌دهد. تغییرات زمان مرگ در ناحیه یک تقریباً پنج برابر، بیشتر از ناحیه سه است. همچنین این معادلات برآزش شده نشان می‌دهند که تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ در هر یک



شکل ۶. نمودار اختلاف زمان مرگ در ولتاژ کار (۶۹۰ ولت) برای دماهای اعمالی نسبت به زمان مرگ در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  شمارنده گایگر-مولر با استفاده از چشمه های  $^{137}\text{Cs}$  و (ب) چشمه های  $^{90}\text{Sr}$ .



شکل ۷. نمودار تغییرات زمان مرگ بر حسب ولتاژ اعمالی برای دو چشمه  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{90}\text{Sr}$  در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد.

$50^{\circ}$  ولتی، حداقل زمان مرگ از  $50/81 \mu\text{s}$  تا  $70/14 \mu\text{s}$  تغییر می کند. به عبارتی در بازه ولتاژ مذکور که در ناحیه فلات ولتاژ بالا قرار دارد، حداکثر اختلاف زمان مرگ تقریباً  $20 \mu\text{s}$  است. این مقدار اختلاف زمان مرگ در نتایج اندازه گیری ها می تواند نقش بسیار مؤثری داشته باشد. به علت اختلاف در میزان شمارش ها برای چشمه های مختلف، تغییرات زمان

سانتی گراد زمان مرگ به ترتیب  $60/99 \mu\text{s}$  و  $60/33 \mu\text{s}$  حاصل شد. این مقادیر نشان می دهند که در بازه دمایی حدود  $100$  درجه سانتی گراد، زمان مرگ در ولتاژ کار تقریباً  $15$  درصد تغییر می کند. بیشترین زمان مرگ در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد  $\mu\text{s}$  برای ولتاژ  $70/88$  حاصل شد. حداقل زمان مرگ در بازه ولتاژی  $680$  ولت تا  $730$  ولت به دست آمد. در این بازه ولتاژی



مناسب‌ترین منطقه ولتاژی برای عملیات آشکارسازی است. به منظور برآورد صحیح‌تری از میزان شمارش‌ها، از اعمال سایر ولتاژها در ناحیه فلات HV باید اجتناب شود. بررسی‌ها نشان می‌دهند، زمان مرگ شمارنده گایگر-مولر با افزایش دما به صورت افزایشی است. همچنین رفتار زمان مرگ در ماه‌ها و ولتاژهای مختلف وابسته به نوع پرتو است. در آهنگ دز بالا که میزان از دست دادن شمارش‌ها زیاد است زمان مرگ حداقلی باعث می‌شود، میزان تصحیح شمارش‌های ثبت شده ناشی از زمان مرگ به حداقل برسد و در نتیجه اختلاف شمارش‌های واقعی و ثبت شده کاهش یابد و به حداقل برسد.

مرگ در بازه دمایی ۲۸- تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای ولتاژهای اعمالی در بازه ۶۰۰ ولت تا ۸۰۰ ولت برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  نسبت به چشمه  $^{90}\text{Sr}$  کمتر است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

با استفاده از روش دو-چشمه استاندارد، میزان و نحوه وابستگی زمان مرگ یک شمارنده گایگر مولر از نوع دیواره نازک به ولتاژ اعمالی و دما بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند تغییرات زمان مرگ شمارنده در یک بازه خاص از فلات HV (ولتاژ ۶۹۰ تا ۷۴۰) برای دو چشمه  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{90}\text{Sr}$ ، بسیار جزئی است. این ناحیه به‌خاطر کمترین وابستگی زمان مرگ به ولتاژ،

#### مراجع

1. G F Knoll, "Radiation Detection and Measurements", Fourth Edition, John Wiley and Sons, USA (2010).
2. H G Stever, *Phys. Rev.* **6** (1942) 52.
3. J W Muller, *Nucl. Instrum. Methods* **112** (1973) 47.
4. W Feller, "On Probability Problems in the Theory of Counters". In: R. Courant Anniversary Volume. Studies and Essays. Interscience, New York (1948) 105.
5. A Patil, *Missouri University of Science & Technology, Rolla, PhD Thesis* (2010).
6. S H Lee, R P Gardner, *Appl. Radiat. Isotopes* **53** (2000) 731.
7. A Patil, S Usman, *Nucl. Technol.* **165** (2009) 249.
8. A Peeva, D Guleva, *Nucl. Instrum. Methods* **44** (1966) 314.
9. S P Puri, *Ind. J. Phys.* **22** (1956) 214.
10. T Akyurek, M Yousaf, X Liu, S Usman, *Radiation Measurements* **73** (2015) 26.
11. S J Thomson and J L Wishlade, *J. Sci. Instrum.* **39** (1962) 570.
12. LND Inc. Oceanside, New York, USA <http://www.Indinc.com/products/category/> (accessed 18.12.14).