

## طراحی و ساخت آشکارساز RETGEM سه گانه

منصور فرهادی<sup>۱\*</sup>، علی نگارستانی<sup>۲</sup>، امیرعباس صبوری دودران<sup>۱</sup> و محمدآقا بلوری زاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران.

\*تهران، دانشگاه پیام نور، مرکز تحصیلات تکمیلی پیام نور، کدپستی: ۱۹۵۳۶-۳۳۵۱۱

پست الکترونیکی: man.farhadi@gmail.com

### چکیده

طراحی، ساخت و آزمایش نخستین آشکارساز RETGEM سه گانه در این مقاله ارائه شده است. آشکارسازهای RETGEM به دلیل استفاده از الکترودهایی با مقاومت الکتریکی نسبتا بالا، در برابر تخلیه الکتریکی نسبت به آشکارسازهای THGEM مقاومت بیشتری دارند و در نتیجه با استفاده از آنها می توان به بهره های بالا دست یافت. اما حتی این آشکارسازها در حد بهره های بزرگتر از  $10^6$  نمی توانند در برابر تخلیه الکتریکی مقاوم باشند. در این تحقیق با مطالعه تأثیر ابعاد آشکارسازهای RETGEM سه گانه و همچنین اثر فشار و نوع گاز استفاده شده در آن بر بهره آشکارساز، نشان داده شده که با استفاده از آشکارسازهای RETGEM سه گانه می توان به راحتی و بدون نگرانی از بابت تخلیه الکتریکی به بهره هایی در حد  $10^6$  دست یافت. همچنین در تمام آزمایش ها عملکرد آشکارسازهای RETGEM سه گانه و تک گانه مقایسه گردید.

کلیدواژه‌گان: آشکارسازهای گازی، آشکارساز GEM، RETGEM سه گانه، بهره آشکارساز.

### ۱. مقدمه

<sup>۲</sup> (THGEM) و <sup>۳</sup> (RETGEM) که در واقع نسل جدیدی از

آشکارسازهای GEM هستند را می توان به عنوان مثالی از این پروژه های موفق نام برد که دستیابی به بهره های بالاتر را امکان پذیر می سازند.

آشکارساز GEM در سال ۱۹۹۷ به عنوان یک تقویت کننده توسط سالی<sup>۴</sup> معرفی شد. GEM صفحه نازک پلیمری مملو از سوراخ است که بصورت شیمیایی دو طرف آن از فلز پوشانده شده است [۱، ۲].

امروزه استفاده از آشکارسازهای گازی نظیر آشکارسازهای <sup>۱</sup> (GEM) به طور گسترده در زمینه های مختلف از پزشکی و کاربردهای صنعتی تا آزمایش های بسیار دقیق در شتاب دهنده هادرونی بزرگ (LHC) بسیار رایج شده است. به دلیل این طیف گسترده از کاربرد آشکارسازهای GEM، تلاش های زیادی برای تحقیق و توسعه این آشکارسازها و همچنین ساخت نسل های مقاوم تر آنها ایجاد شده است. آشکارسازهای

2. Thick GEM  
3. Resistive Electrode Thick GEM  
4. F. Sauli

1. Gas Electron Multiplier

از مزایا و برتری‌های GEM نسبت به آشکارسازهای دیگر علاوه بر حساسیت بالا، حجم کم، مقاومت پرتویی بالا و سرعت بالای آنها می‌توان به موارد زیر نیز اشاره کرد [۲].

- ۱) کاهش اثر زمان مرده آشکارساز و قابلیت به کارگیری آن در میدان تابشی با آهنگ تابش بالا
- ۲) افزایش بهره با افزودن لایه‌های موازی به صورت دو یا سه طبقه (آشکارساز دوگانه و سه‌گانه)
- ۳) از بین رفتن یون‌های بازگشتی در آشکارساز

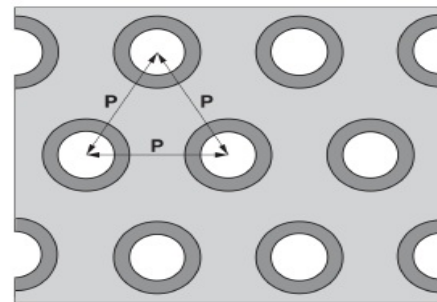
علی‌رغم مزایای اشاره شده برای آشکارسازهای GEM، این آشکارسازها معایبی نیز دارند. از جمله معایب آنها می‌توان به هزینه بالا و مراحل ساخت نسبتاً دشوار اشاره کرد که منجر به ظهور نسل جدیدی از آشکارسازها بر پایه‌ی آشکارسازهای GEM شد که THGEM نامیده می‌شوند و آشکارسازهایی بسیار مقاوم و با بهره بالا هستند [۳، ۴].

THGEMها عملاً بر پایه‌ی یونش گاز درون حفره‌هایی با پهنای میلیمتری که روی مدار چاپی ایجاد شده، بنا شده‌اند. در واقع تحول اصلی در تکنولوژی GEM برای دستیابی به THGEM افزایش ابعاد فیزیکی دستگاه است.

تحقیقات در سال‌های اخیر منجر به توسعه نوع جدیدی از آشکارسازهای THGEM شده است. این مدل جدید از آشکارسازهای THGEM که مطالعه‌ی آنها موضوع اصلی این مقاله است، به دلیل جایگزینی یک لایه با مقاومت الکتریکی بالا (نظیر گرافیت)، به جای لایه رسانای متداول در مدارهای چاپی، RETGEM نامیده می‌شوند [۵، ۶].

در این پژوهش با ساخت اولین آشکارساز RETGEM سه‌گانه و مقایسه نتایج به دست آمده از آن با آشکارسازهای RETGEM معمولی (تک‌گانه)، به مطالعه اثر اندازه و ابعاد فیزیکی آشکارسازهای ساخته شده و همچنین تاثیر ترکیب گاز استفاده شده و فشار آنبر بهره آشکارساز پرداخته شد و نشان داده شد که با به کارگیری یک

ساده‌ترین تکنولوژی آشکارسازهای گازی GEM اتاقک GEM تک‌گانه است که شامل یک فویل GEM است که یک اختلاف پتانسیل بین دو صفحه موازی الکتروود قرار گرفته است که آند آن را از یک صفحه نواری یا یک صفحه بازخوانی ساخته شده است. فویل GEM شامل یک نارسانا کپتون است که دو طرف آن با لایه‌ای مسی پوشانده شده است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است سطح ورقه پر از حفره‌های استوانه‌ای است که در فاصله مشخص از هم قرار گرفته‌اند. این حفره‌ها در مرکز شعاع کمتر و در بالا و پایین شعاع بزرگتری دارند. به علت اعمال ولتاژ در لایه‌های مسی یک بهمن تکثیر گازی در داخل حفره‌ها رخ می‌دهد. فاصله بین کاتد و فویل GEM را گف رانش می‌نامند.



شکل (۱): نمای حفره‌ها در سطح ورقه آشکارساز GEM

نقش میدان الکتریکی در این ناحیه که میدان رانش می‌نامند، در واقع جمع کردن الکترون‌های یونش درون حفره‌های GEM است. فاصله‌ی بین فویل GEM و آند نیز گف القا نامیده می‌شود. میدان القاء، الکترون‌های بهمنی را از حفره‌ها استخراج کرده و آنها را به سمت آند می‌راند به طوری که یک سیگنال در نزدیکی نوارها یا پد بازخوانی القاء می‌شود.

که در آن  $V_{RETGEM}$  اختلاف پتانسیل بین دو طرف صفحات RETGEM می باشد همچنین  $\langle \alpha \rangle$  اولین ضریب تانسند<sup>۱</sup> می باشد، آنگاه  $G_i$  بهره ذاتی آشکارساز است که به ولتاژ اعمال شده وابستگی شدید دارد و بنابراین به آستانه تخلیه الکتریکی محدود شده است. بهره مؤثر RETGEM تک گانه را می توان با اندازه گیری جریان الکتریکی آند محاسبه کرد. به دلیل اتلاف الکترونها در آند این مقدار همواره از بهره ذاتی آشکارساز کوچکتر است. بهره مؤثر و ذاتی با رابطه ی زیر به هم مربوط می شوند:

$$G_{eff} = G_i T \quad (2)$$

که در آن  $T$  بین صفر تا یک است و در این رابطه  $G_{eff}$  بهره مؤثر آشکارساز می باشد.

بهره ذاتی یک آشکار ساز RETGEM سه گانه حاصل ضرب بهره ذاتی سه لایه مجزای RETGEM است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$G_i \propto e^{\langle \alpha \rangle (V_{RETGEM_1} + V_{RETGEM_2} + V_{RETGEM_3})} \quad (3)$$

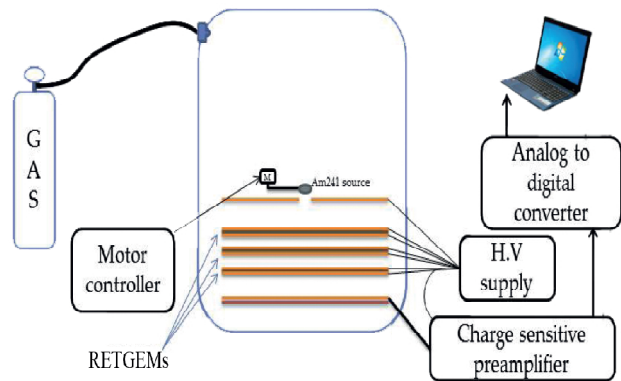
و بهره ی مؤثر آن را نیز می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$G_{eff} = G_i T_{tot} = G_i \prod_{k=1}^3 \epsilon_{coll_k} f_{extr_k} \quad (4)$$

که در آن  $\epsilon_{coll_k}$  بازده مجموع و  $f_{extr_k}$  نسبت الکترونی برای لایه شماره  $k$  در آشکارساز RETGEM سه گانه است و  $T_{tot}$  ضریب عبور الکترونی کل آشکارساز است. با افزایش بهره مؤثر احتمال بروز تخلیه الکتریکی نیز افزایش می یابد. در آشکارسازهای RETGEM سه گانه تخلیه الکتریکی به دلیل افزایش جمعیت الکترونهای آزاد، ابتدا در آخرین مرحله ی فرآیند تقویت رخ می دهد، بنابراین برای دستیابی به بهترین نتیجه باید اختلاف پتانسیل صفحات را به صورت زیر تعیین نمود:

$$V_{RETGEM_1} \gg V_{RETGEM_2} \geq V_{RETGEM_3} \quad (5)$$

RETGEM سه گانه می توان به بهره هایی تا حد  $10^6$  دست یافت. در حالی که حداکثر بهره گزارش شده برای RETGEM های تک گانه در حد  $10^5$  است [۷].



شکل (۲): نمای کلی آشکارساز RETGEM سه گانه

## ۲. مبانی نظری آشکارسازهای RETGEM سه گانه

در این نوع آشکار ساز از سه لایه RETGEM بین قطب های آند و کاتد استفاده می شود (شکل ۲).

فضای بین آند و آخرین صفحه، گاف القاء و فضای بین کاتد و اولین صفحه، گاف رانش نامیده می شود. همچنین فاصله ی بین صفحات گاف انتقال نامیده می شود. گاف های انتقال نقش مهمی در قابلیت آشکارسازی بازی می کنند. این موضوع را به راحتی و با کاهش فاصله ی صفحات RETGEM به صفر و در واقع حذف گاف های انتقال بین صفحات، می توان درک کرد. با این کار آشکارساز RETGEM سه گانه به یک RETGEM تک گانه تبدیل خواهد شد. در واقع گاف های انتقال با کاهش احتمال تخلیه الکتریکی منجر به افزایش بهره آشکارساز RETGEM سه گانه می شوند.

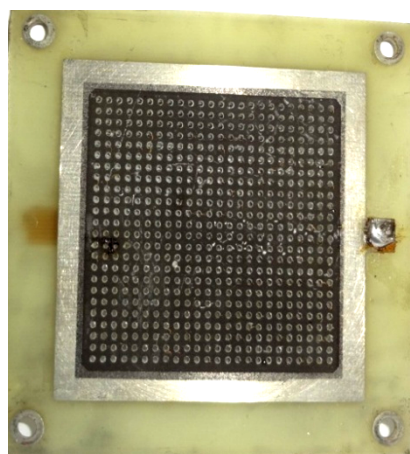
### ۱.۲. بهره آشکار ساز RETGEM سه گانه

بهره آشکارسازهای RETGEM تک گانه را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$G_i \propto e^{\langle \alpha \rangle V_{RETGEM}} \quad (1)$$

شود. حذف ورقه مسی و سوراخ‌کاری لایه‌های مدار چاپی با استفاده از نرم افزار پروتیوس<sup>۳</sup> و انتقال داده‌ها به ربات‌های مخصوص با دقت بسیار بالا امکان‌پذیر است. در مرحله‌ی بعد با کمک افشانه، لایه‌ای از گرافیت جایگزین می‌شود. اما لازم است ورقه‌ها از نظر کیفیت گرافیت توزیع شده روی سطح مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گیرند. به طبع تعدادی از صفحات به لحاظ پوشش گرافیت مناسب ارزیابی نمی‌شوند و حذف خواهند شد.

مرحله‌ی آخر سوراخ‌کاری ورقه‌های مدار چاپی با پوشش گرافیت است. مجدداً با استفاده از نرم افزار پروتیوس و تعیین قطر سوراخ‌ها و فاصله‌ی مراکز سوراخ از هم می‌توان به کمک ربات، سوراخ‌های دقیقی در سطح لایه‌های مدار چاپی ایجاد نمود.



شکل (۳): نمونه ورقه آشکارساز RETGEM ساخته شده

در این پژوهش فاصله‌ی مرکز سوراخ‌ها در تمام لایه‌ها ۲/۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است اما قطر سوراخ‌ها در برخی لایه‌ها ۰/۵ میلی‌متر و در برخی دیگر ۱/۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. شکل ۳ یک نمونه آماده شده از این ورقه‌ها را نشان می‌دهد.

برای ساخت آشکارساز RETGEM سه‌گانه باید سه ورقه آماده شده RETGEM را با دقت و در فاصله مناسب از هم نصب نمود (شکل ۴).

چون بهره مؤثر به جمع و لنتاژ اعمال شده بر لایه‌ها وابسته است، می‌توان با انتخاب و لنتاژ مناسب برای لایه‌ها بر این مشکل فایق آمد. کاهش و لنتاژ و به همین ترتیب کاهش بهره‌ی آخرین لایه با افزایش و لنتاژ و بهره‌ی دو لایه بالاتر جبران می‌شود. مهمترین مزیت آشکارسازهای RETGEM سه‌گانه امکان دستیابی به بهره‌های بالا بدون نگرانی از جهت تخلیه‌ی الکتریکی است.

### ۳. طراحی و ساخت RETGEM سه‌گانه

اولین نمونه‌های RETGEM با استفاده از ورقه‌های مدار چاپی<sup>۱</sup> (PCB) ساخته شدند [۵]. فراهم بودن نمونه‌های آماده و در دسترس بودن از مزایای ورقه‌های مدار چاپی است. علاوه بر آن، ابزار مورد نیاز برای اعمال تغییرات لازم در آن‌ها، هم به صورت نرم‌افزاری و هم سخت‌افزاری کاملاً در دسترس است.

در این پروژه برای ساخت آشکارساز RETGEM از ورقه‌های مدار چاپی با ضخامت‌های ۰/۸ میلیمتر و ۱/۰ میلیمتر استفاده شده است. اگر چه اخیراً و در سال ۲۰۱۱ رازین<sup>۲</sup> و گروهش توانستند با استفاده از لایه‌های پی‌وی‌سی (PVC) مدلی از آشکارسازهای RETGEM را بسازند [۸]، اما همچنان ساخت این آشکارسازها با کمک ورقه‌های مدار چاپی متداول‌تر است.

نمای کلی آشکارساز ساخته شده در این پژوهش در شکل ۲ آورده شده است. قطعاً مهمترین جزء دستگاه، لایه‌های RETGEM به کار رفته در آن است. بنابراین در ادامه به طور مختصر به برخی جزئیات مربوط به ساخت این لایه‌ها اشاره خواهد شد.

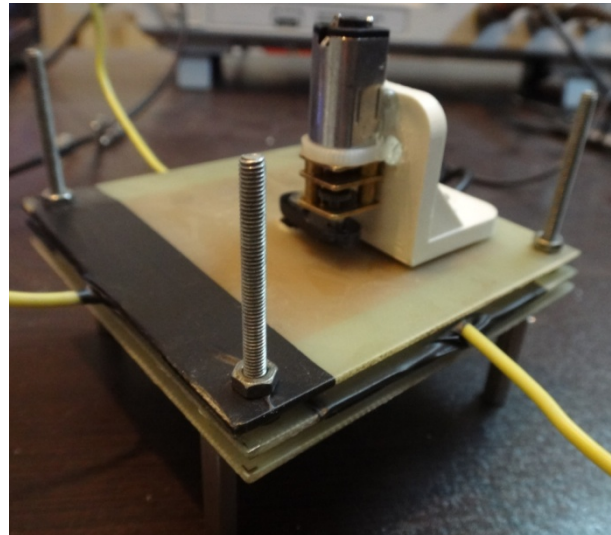
در ساخت لایه‌های آشکارساز با استفاده از مدار چاپی در ابتدا لازم است ورقه مسی روی مدار چاپی برداشته و با لایه‌ای از یک رسانا با مقاومت الکتریکی بالا مثل گرافیت جایگزین

1. Printed Circuit Board  
2. Razin

صفحات RETGEM نظیر ضخامت، قطر سوراخها و فاصله سوراخها از هم برای آشکارسازها به ترتیب شماره آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات و ابعاد صفحات RETGEM

شماره آشکارساز	ضخامت صفحات	قطر سوراخها	فاصله سوراخها
۱	۱/۶ میلی متر	۱ میلی متر	۲ میلی متر
۲	۰/۸ میلی متر	۱ میلی متر	۲ میلی متر
۳	۱/۶ میلی متر	۰/۵ میلی متر	۲ میلی متر



شکل (۴): نحوه نصب ورقه‌ها در آشکارساز RETGEM سه گانه

در اینجا تمامی آشکارسازها با ترکیب گاز مشابه پر شده‌اند که شامل ۸۰٪ گاز آرگون و ۲۰٪ گاز دی‌اکسید کربن می‌باشد. علاوه بر آن سایر خصوصیات و ابعاد آشکارسازها نیز برای تمام موارد ساخته شده کاملاً یکسان در نظر گرفته شده است. برخی از این ابعاد عبارتند از گاف انتقال (۲ میلی‌متر)، گاف القاء (۲ میلی‌متر) و گاف رانش (۵ میلی‌متر) که برای تمام آشکارسازهای یکسان در نظر گرفته شده است.

شکل ۵ بهره آشکارسازهای ۱ تا ۳ را برحسب اختلاف-پتانسیل اعمال شده به صفحات RETGEM نشان می‌دهد. البته همان‌طور که قبلاً اشاره شد در مورد RETGEM سه گانه لازم است اختلاف پتانسیل به گونه‌ای توزیع شود که هم بالاترین مجموع انتخاب شود و هم از تخلیه الکتریکی در آخرین صفحه RETGEM جلوگیری شود.

همانگونه که در شکل ۵ پیداست در آشکارساز RETGEM سه گانه به راحتی و بدون اعمال حدود بالای اختلاف پتانسیل می‌توان به بهره‌هایی در حد  $10^6$  دست یافت.

در انتها باید صفحات RETGEM را در یک محفظه با قابلیت فراهم آوردن خلاء نصب نمود. چرا که ورود ذرات هوا و افزایش ناخالصی گاز احاطه کننده صفحات آشکارساز، بهره و عملکرد آن را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد.

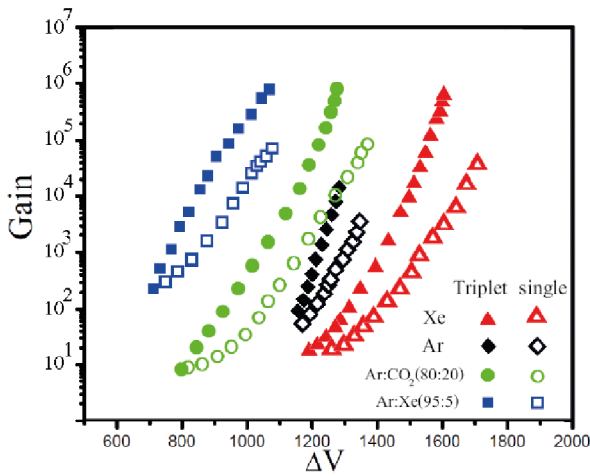
#### ۴. اندازه‌گیری بهره

در این بخش به تجزیه و تحلیل بهره آشکارسازهای ساخته شده در بخش قبل پرداخته خواهد شد. ابتدا تأثیر ابعاد آشکارساز بر بهره‌ی آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد سپس با پر کردن مخزن آشکارساز با گازهای مختلف و در فشارهای متفاوت، بهره‌ی آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه مقایسه می‌شود.

##### ۱.۴. تأثیر ابعاد آشکارساز بر بهره

در این بخش، سه آشکارساز RETGEM تک‌گانه و سه گانه را که با ابعاد مختلف ساخته شده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفت. در ساخت RETGEM سه گانه از صفحات کاملاً مشابه استفاده شده و برای RETGEM های تک‌گانه تنها از یکی از صفحات RETGEM سه گانه بکار رفته است. در جدول ۱ ابعاد

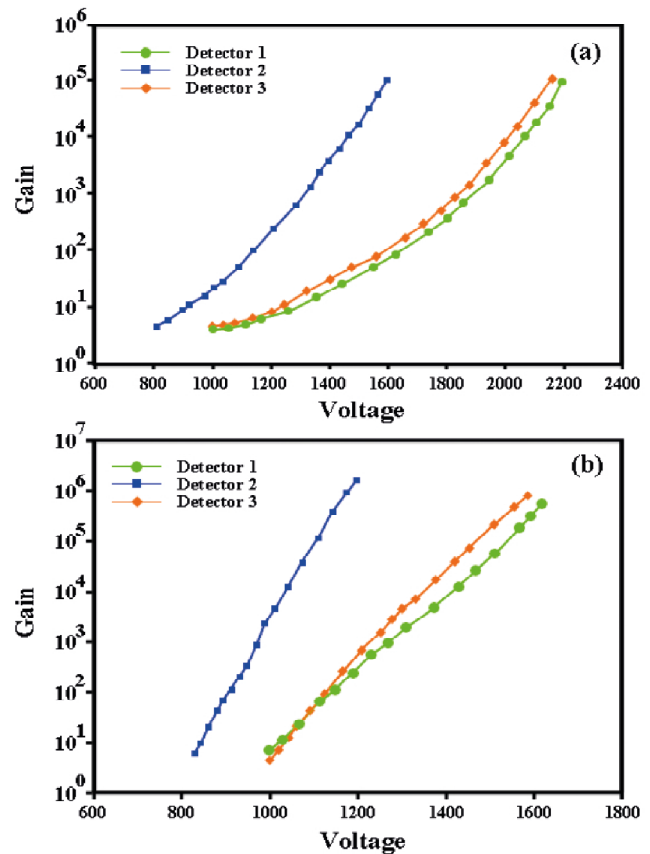
کربن ( به نسبت ۸۰٪ آرگون و ۲۰٪ دی‌اکسید کربن) و آرگون-زنون ( به نسبت ۹۵٪ آرگون و ۵٪ زنون ) در فشار ثابت یک اتمسفر، نشان می‌دهد.



شکل (۶): بهره آشکارساز RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه برای گازهای مختلف برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات

همان‌گونه که از نمودارها پیداست بهره آشکارسازهای سه‌گانه برای تمامی ترکیب گازهای استفاده شده به مراتب بالاتر از آشکارسازهای تک‌گانه است و همچنین مطابق آنچه در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، درحالی که برای آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه در حد بهره  $10^5$  احتمال بروز تخلیه الکتریکی وجود دارد، اما در شکل ۶ مشاهده می‌شود که برای تمامی گازهای استفاده شده، RETGEM سه‌گانه به راحتی می‌تواند بهره‌هایی در حد  $10^6$  ارایه کند.

شکل ۷ عملکرد آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه را در فشارهای مختلف مورد بررسی قرار داده است. در واقع نمودار بهره آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات آنها در فشارهای مختلف در بازه ۰/۵ bar تا ۲ bar رسم شده است. در این آزمایش نیز نمونه آشکارساز (شماره ۲) که طبق مشخصات فنی جدول ۱ ساخته شده، مورد استفاده قرار گرفته



شکل (۵): بهره آشکارساز RETGEM تک‌گانه (a) و RETGEM سه‌گانه برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات

در حالی که برای RETGEM تک‌گانه در نهایت و در حد اختلاف پتانسیل‌های نزدیک به تخلیه الکتریکی بهره‌ای در حد  $10^5$  قابل دستیابی است.

## ۲.۴. مطالعه اثر گازهای مختلف و فشار بر بهره آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه

در این قسمت یکی از آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه که مشخصات فنی آنها در جدول ۱ آورده شده آشکارساز (شماره ۲) برای مطالعه اثر گازهای مختلف و تغییرات فشار بر بهره انتخاب می‌شود.

شکل ۶ بهره آشکارساز RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه را برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات برای گازهای زنون و آرگون و همچنین ترکیب گازهای آرگون-دی‌اکسید



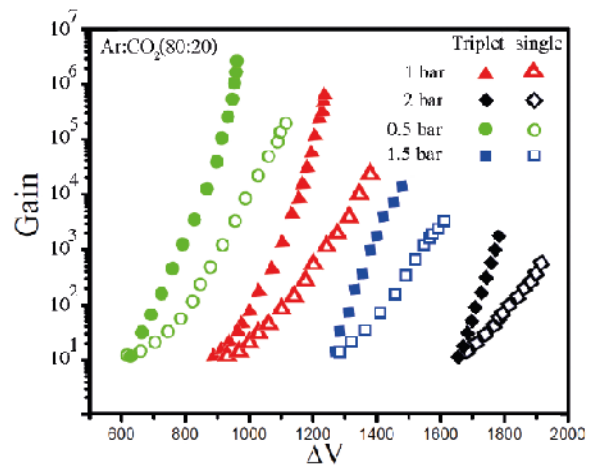
افزایش فشار گاز احاطه‌کننده به وضوح در نمودارها قابل مشاهده است. این نتیجه با نتایج گزارش شده برای آشکارساز THGEM مطابقت دارد [۹].

### ۵. نتیجه گیری

در این مقاله نمونه‌هایی از آشکارسازهای RETGEM سه‌گانه و تک‌گانه ساخته و مورد مطالعه قرار گرفتند و نشان داده شد که در تمامی موارد آزمایش شده در ابعاد مختلف و همچنین با استفاده از گازهای مختلف بهره آشکارساز RETGEM سه‌گانه به مراتب بالاتر از RETGEM تک‌گانه است و با کمک آن می‌توان به بهره‌هایی در حد  $10^6$  نیز بدون نگرانی از بابت تخلیه الکتریکی دست یافت.

از دیگر نتایج می‌توان، به عملکرد آشکارسازها در فشارهای مختلف گاز درون محفظه آشکارساز اشاره کرد. بهره قابل دستیابی آشکارسازهای RETGEM سه‌گانه مشابه با نمونه تک‌گانه با افزایش فشار گاز درون مخزن کاهش می‌یابد.

و با ترکیب گاز آرگون-دی‌اکسید کربن به نسبت ۸۰٪ آرگون و ۲۰٪ دی‌اکسید کربن احاطه شده است.



شکل (۷): بهره آشکارساز RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه به ازای فشارهای مختلف گاز احاطه‌کننده، برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات

در شکل ۷ نیز در تمام فشارهای مطالعه شده، آشکارسازهای RETGEM سه‌گانه عملکرد بهتری نسبت به نمونه تک‌گانه داشته‌اند و البته کاهش حد بهره قابل دسترس با

### ۶. مراجع

- [1] F. Sauli, Nucl. Instrument and Method A 386 (1997) 531-533.
- [2] F. Sauli, Nuclear Instrument and Method A580(2007)971-972.
- [3] C. Shalem, R. Chechik, A. Breskin, and K. Michaeli. Advances in Thick GEM-like gaseous electron multipliers—Part I: atmospheric pressure operation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 558, no. 2 (2006) 475-489.
- [4] C.K. Shalem, R. Chechik, Amos Breskin, K. Michaeli, and N. Ben-Haim. Advances in thick GEM-like gaseous electron multipliers Part II: Low-pressure operation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 558, no. 2 (2006) 468-474.
- [5] V. Peskov, A. Vladimir, B. Baibussinov, S. Centro, A. Di Mauro, Bengt Lund-Jensen, P. Martinengo, E. Nappi et al. Development and first tests of GEM-like detectors with resistive electrodes. Nuclear Science, IEEE Transactions on 54, no. 5 (2007) 1784-1791.
- [6] A. Yoshikawa, T. Tamagawa, T. Iwahashi, F. Asami, Y. Takeuchi, A. Hayato, H. Hamagaki et al. Development of Resistive Electrode Gas Electron Multiplier (RE-GEM). Journal of Instrumentation 7, no. 06 (2012) 203-205
- [7] G. Agocs, B. Clark, P. Martinengo, R. Oliveira, V. Peskov, P. Pietropaolo, and P. Picchi. Developments and the preliminary tests of resistive GEMs manufactured by a screen printing technology Journal of Instrumentation 3, no. 02 (2008) 2012-2014.
- [8] V. I. Razin, A. I. Reshetin, and S. N. Filippov. RETGEM with polyvinylchloride electrodes.

Instruments and Experimental Techniques 54, no. 5 (2011) 709-711.

[9] R. Z. Alon, Miyamoto, M. Cortesi, A. Breskin, R. Chechik, I. Carne, J. M. Maia et al. Operation of a

thick gas electron multiplier (THGEM) in Ar, Xe and Ar-Xe. Journal of Instrumentation 3, no. 01 (2008) 1005-1006.