اثر افزودن گازهای Ar و SF_6 بر روی پارامترهای انتقال گاز در ترکیب گاز $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10} برای آشکارسازهای گازی

تورانی انرجان،محمدعلی [۱] – پزشکیان ،یوسف[۲] – جهانبخش ،اختای[۱]

[۱] دانشگاه تبریز ، دانشکده فیزیک ، گروه هسته ای

[۲] دانشگاه صنعتی سهند ، گروه فیزیک

چکیده:

پارامترهای انتقال گاز که شامل ضرایب تکثیر، جذب، پخش و سرعت سوق الکترون‌ها و یونها می‌شود اهمیت اساسی در برر سی عملکرد آ شکار سازهای گازی دارند. ترکیب‌گاز و ولتاژ اعمالی از جمله عواملی ه ستند که باعث تغییرات این پارامترها می شوند. هدف ا صلی این مقاله محا سبه اثر افزودن دو گاز Ar و SF_6 به ترکیب ا صلی گاز آ شکار ساز (تترافلوراتان و ایزوبوتان، که یک ترکیب متداول در آ شکار سازهای گازی ا ست) بر روی پارامترهای انتقال می‌با شد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن آرگون باعث افزایش ضرایب تکثیر، پخش و سرعت الکترون ها و کاهش ضریب جذب می‌شود. از سوی دیگر افزودن گاز SF6 باعث افزایش ضریب جذب می شود. ترکیب گاز مناسب باید با در نظر گرفتن عوامل فوق انتخاب شود.

کلمات کلیدی: *پارامترهای انتقال، آشکارسازهای گازی، ترکیب گاز، آرگون، هگزافلوراید سولفور SF_6*

The effect of adding Ar & SF_6 on gas transport parameters in mixture of $C_2H_2F_4$ and iC_4H_{10} for gaseous detectors

Tourani Anarjan, Mohammad Ali[1]; Pezeshkian, Yousef[2]; Jahanbakhsh, Okhtay[1]

[1] Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[2] Department of Physics, Sahand University of Technology, Iran

Abstract:

Transport parameters of gas mixtures (Townsend, attachment, diffusion coefficients and electron drift velocities) have an important role in the performance of a gaseous detector. Changing the mixture of inlet gas and applied voltage affects transport parameters. Widely used gas mixture includes tetrafluoroethane and isobutane. Variation in transport parameters after addition of Ar and SF_6 to the main gas mixture is studied. It is shown that increasing Ar percentage, increases Townsend and diffusion coefficients and electron drift velocities, while decreases attachment coefficients. On the other hand, addition of SF_6 increases attachment coefficient and leaves other parameters unaffected. Appropriate gas mixture should be chosen based on experiment requirements.

Key words: Transport parameters, gaseous detector, gas mixture, Argon, Sulfur hexafluoride (SF_6)

مقدمه :

دستیابی به ترکیب گاز مناسب در آشکارسازهای گازی یکی از مهم ترین عوامل موثر در عملکرد این آشکارسازها می‌باشد. از زمان ابداع این آشکارسازها یکی از دغدغه های محققان این زمینه، انتخاب گاز مناسب برای بالا بردن عملکرد این آشکارسازها می باشد[۶-۱]. پارامترهای انتقال گاز (ضرایب تکثیر، جذب، پخش و سرعت سوق الکترون ها و یونها) جزو کمیات مهم در بررسی عملکرد گاز ها در آشکارسازهای گازی می‌باشند. این پارامترها با روش های مختلف تئوری و عددی (با استفاده از کد شبیه ساز گارفیلد، مدل سازی دینامیکی براساس معادله ترابرد و مدل رایلر- لیپمن- وین هوف) محاسبه و مورد بررسی قرار می‌گیرند[۸،۷].

در این پژوهش پارامترهای انتقال گاز با اثر اضافه کردن گاز آرگون و SF_6 به ترکیب گاز تترافلوراتان و ایزوبوتان (که یک ترکیب متداول گاز در آشکارسازهای گازی هستند) [۳-۵] به وسیله‌ی کد شبیه‌ساز گارفیلد++، بررسی و مقایسه شده‌اند[۹-۱۱].

روش کار :

پارامترهای انتقال

در آ شکار سازهای گازی عبور ذره‌ی باردار از داخل آ شکار ساز، سبب یونیزا سیون گاز درداخل آ شکار ساز می شود. الکترون‌ها و یون‌های ایجاد شده، در میدان الکتریکی آ شکار ساز شتاب گرفته و در امتداد خطوط میدان شروع به حرکت می‌کنند. برخورد با مولکول‌های گاز منجر به یونش‌های ثانویه و در نتیجه تولید الکترون‌ها و یون‌های بیشتر می‌شود. ادامه‌ی این روند، به تولید بهمن‌های الکترونی و یونی منتهی می‌شود. بهمن الکترونی در امتداد خط میدان حرکت می‌کند تا به انتهای مسیر خود در آشکارساز (الکترود) برسد. پارامترهای انتقال در واقع مشخصات یک بهمن الکترونی را بیان می‌کند. ضریب جذب و تکثیر احتمال آن را نشان می‌دهد که الکترونی پس از برخورد به یک مولکولِ گاز جذب آن مولکول شود و یا اینکه آن مولکول را یونیزه کند و به تعداد الکترونهای بهمن افزوده شود. سرعت سوق، سرعت متو سط حرکت الکترونها در محیط آ شکار ساز ا ست. ضریب پخش، میزان گ ستردگی بهمن را پس از طی م سافت معین ن شان می‌دهد. وا ضح ا ست که تغییر میدان الکتریکی باعث تغییر پارامترهای انتقال می شود. به عنوان مثال انتظار داریم که با افزایش میدان الکتریکی سرعت متوسط سوق افزایش یابد و به تبع آن کاهش ضریب پخش شود. عامل دیگری که می‌تواند در مقادیر پارامترهای انتقال تاثیر بگذارد، ترکیب گاز است. گازهای مختلف خواص متفاوتی دارند و استفاده از ترکیبات مختلف گازی در آشکارسازها منجر به نتایج متنوعی می‌شود.

ضریب تکثیر و جذب

گسترش بهمن با ضرایب تکثیر و جذب بیان می شود. تعداد الکترون‌های تولیدی در طول واحد و در طی مسیر حرکت الکترون اولیه در جهت میدان الکتریکی را با ضریب تکثیر بیان می‌شود. همچنین تعداد یون‌های منفی تولید شده (یا تعداد الکترون‌های‌خورده شده) در طی مسیر یک الکترون اولیه در طول واحد و در جهت میدان الکتریکی را با ضریب جذب بیان می‌شود.

اگر یک بهمن الکترونی دارای n الکترون در نقطه x باشد، احتمال اینکه در مکان x+dx، تعداد الکترونها یک عدد افزایش یابد (یعنی n+۱ الکترون شود)، برابر nαdx است، که α را ضریب تکثیر می‌گویند. به همین ترتیب احتمال اینکه یک الکترون از بهمن کاسته شود، برابر nηdx است، که η را ضریب جذب می‌گویند. تعداد متوسط الکترون‌ها، n، از رابطه‌ی زیربدست می‌آید:

$$\frac{d\bar{n}}{dx} = (\alpha-\eta)\bar{n} \qquad (۱)$$

با حل معادله‌ی فوق، تعداد الکترونها در فاصله‌ی x از محل شروع به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{n}(x) = e^{(\alpha-\eta)x} \qquad (۲)$$

شرط ایجاد بهمن این است که نما در رابطه‌ی (۲) عددی مثبت باشد (α-η>۰) [۳].

سرعت سوق

در حضور میدان الکتریکی الکترون‌ها و یون‌ها به ترتیب به سمت آند و کاتد شتاب می‌گیرند. برخورد الکترون‌ها و یون‌ها با مولکول‌های گاز مانع از افزایش سرعت ذرات می شود به نحوی که الکترون‌ها و یونها سرعت متوسطی خواهند داشت که به *سرعت سوق* معروف است. اگرچه سرعت سوق ذرات در مقایسه با سرعتِ گرماییِ آن‌ها بسیار ناچیز است (در حدود ۷–۸ مرتبه‌ی بزرگی کوچکتر است)، جهت‌گیری تصادفیِ سرعتِ گرمایی باعث می شود که حرکتِ گرمایی اثرات ماکروسکوپی نداشته باشد ولی سرعت سوق اثرات ماکروسکوپی قابل مشاهده از خود به جا بگذارد. همچنین با توجه به جرم بسیار زیاد یون‌ها در مقایسه با الکترون‌ها، سرعت سوق یون‌ها حدود ۳–٤ مرتبه کمتر از سرعت سوق الکترون‌ها می‌باشد، بنابراین معمولا یونها نقشی در فرآیند آشکارسازی ایفا نمی‌کنند.

ضریب پخش

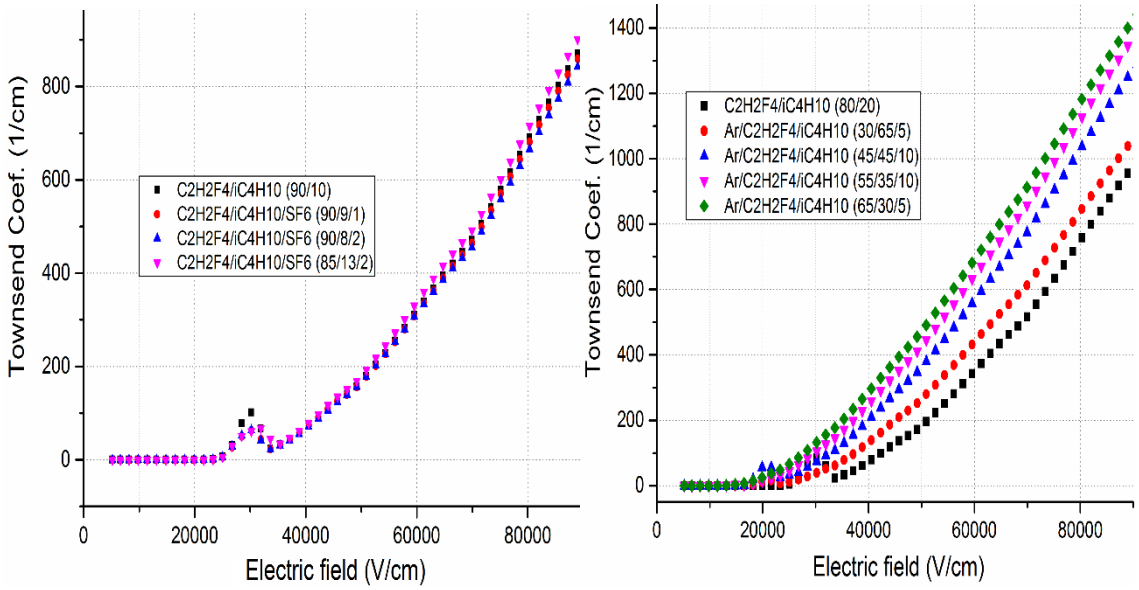
گسترش فضایی الکترونهای یک بهمن در غیاب میدان الکتریکی تحت اثر برهمکنش‌های حرارتی صورت می‌گیرد. حضور میدان سبب می شود علاوه بر گسترش حرارتی، حرکت سوقی نیز ایجاد شود. گسترش فضایی بهمن با ضریب پخش بیان می شود یا به عبارت دیگر به پهنای فضایی بهمن مرتبط می شوند. هرچه ضریب پخش بزرگتر باشد باعث کاهش حساسیت مکانی آشکارساز خواهد شد.

از آنجایی که تغییر پارامترهای انتقال تاثیر به سزایی در عملکرد آشکار سازها خواهد داشت، تنظیم مقادیر این پارامترها به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی آشکارسازها برای مقاصد مختلف مورد توجه قرار می‌گیرد. ترکیب‌های تترافلواتان و ایزوبوتان و همچنین ترکیب‌های اضافه کردن آرگون و SF_6، به منظورهای مختلف به عنوان ترکیب‌های متداول در بسیاری از آزمایش‌های آشکار سازی به کار می روند. در بخش بعد بستگی پارامترهای مختلف انتقال به ولتاژ اعمالی و تغییر درصد گازها در ترکیب‌های ذکر شده مورد بررسی قرار گرفته است. در شبیه‌سازی صورت گرفته در این مقاله فشار و دما ثابت و به ترتیب برابر با ۱ اتمسفر و ۲۹۳ کلوین در نظر گرفته شده است.

نتایج :

ضریب تکثیر برای ترکیب‌های Ar با $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10} در شکل ۱ منحنی راست و برای ترکیب‌های SF_6 با $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10} در نمودار شکل ۱ منحنی چپ رسم شده اند.

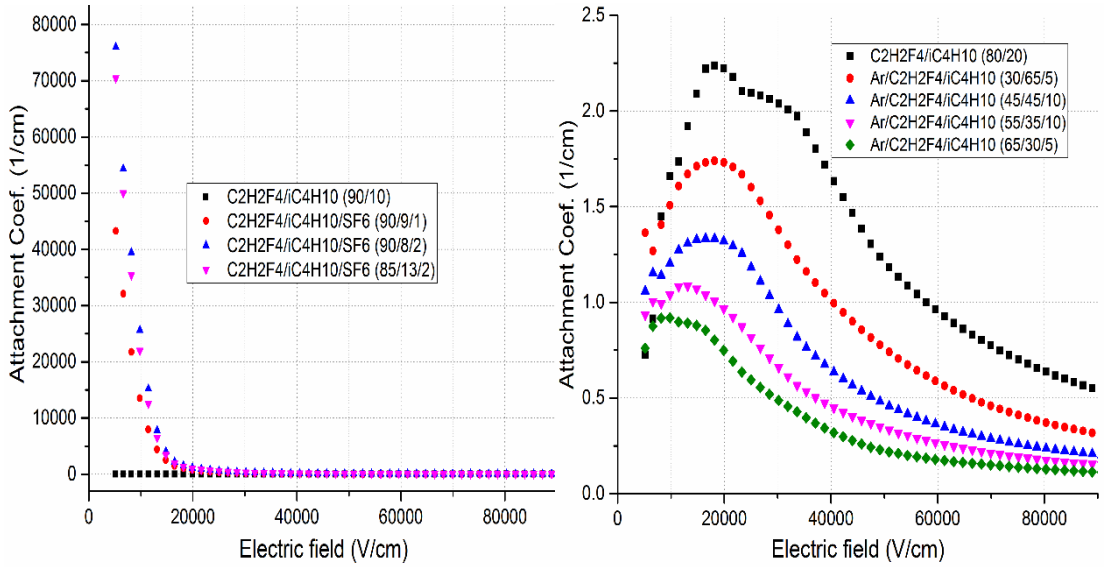
با توجه به شکل ضریب تکثیر با افزایش میدان الکتریکی تقریبا به صورت نمایی افزایش می‌یابد. افزودن آرگون باعث افزایش ضریب تکثیر می شود و هر چه درصد آرگون بیشتر می‌شود این ضریب افزایش بیشتری نشان می‌دهد. در حالی که افزودن SF_6 تاثیری در ضریب تکثیر ندارد و SF_6 در تکثیر الکترون ها نقش ندارد.



شکل شماره (۱): ضریب تکثیر برای ترکیب‌های Ar با C2H2F4 و iC4H10 راست و ترکیب‌های SF6 با C2H2F4 و iC4H10 چپ

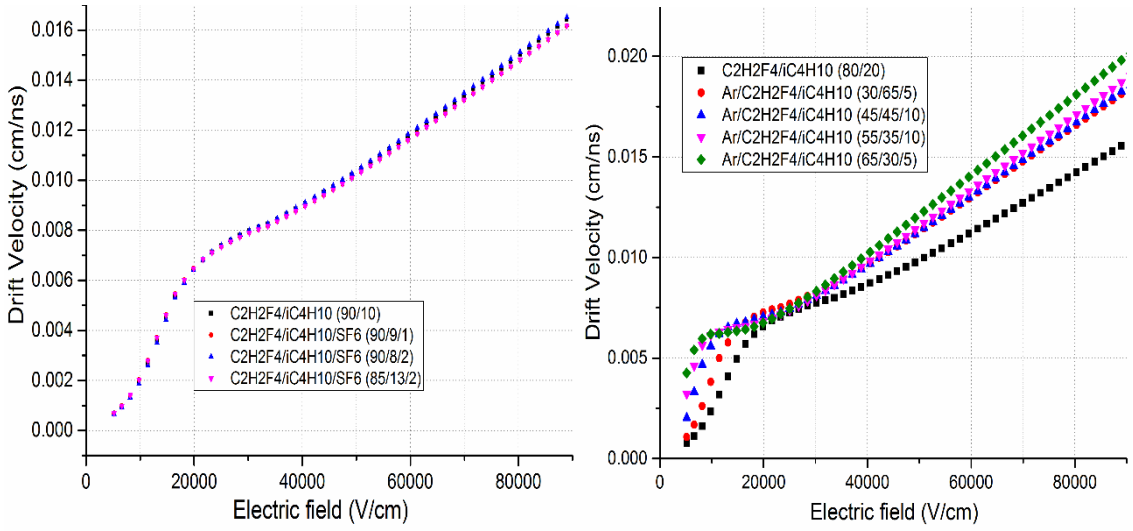
در شکل ۲ منحنی سمت راست ضریب جذب برای ترکیب‌های Ar با $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10} و منحنی سمت چپ برای ترکیب‌های SF_6 با $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10} رسم شده‌اند.

با توجه به شکل اثر افزودن آرگون به ترکیب ا صلی باعث کاهش ضریب جذب می شود. در حالی افزودن مقدار اندکی SF_6 به ترکیب تترافلوراتان و ایزوبوتان افزایش خیلی مشـهودی در این ضـریب دارد. با افزایش میدان نیز ضریب جذب در هر دو ترکیب کاهش می‌یابد.



شکل شماره (۲): راست ضریب جذب برای ترکیب‌های Ar با $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10} و چپ ضریب جذب برای ترکیب‌های SF_6 با $C_2H_2F_4$ و iC_4H_{10}

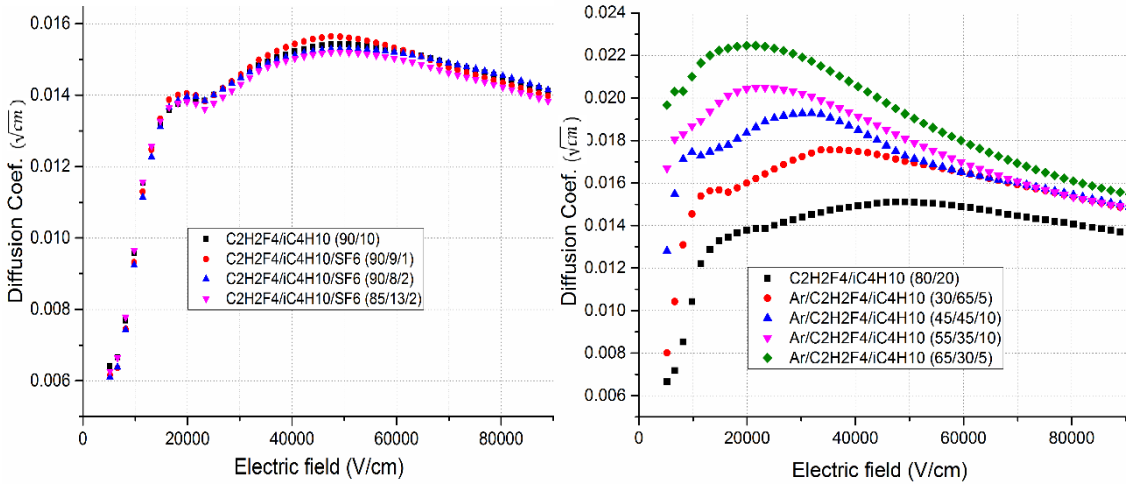
نمودار تغییرات سرعت سوق الکترون‌ها برحسب میدان الکتریکی برای ترکیب مختلفِ گازهای تترافلوراتان و ایزوبوتان با آرگون (منحنی راست) و SF_6 (منحنی چپ) در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.



شکل شماره (۳): نمودار تغییرات سرعت سوق الکترون‌ها برحسب میدان الکتریکی برای ترکیب مختلفِ گازهای تترافلوراتان و ایزوبوتان با آرگون (منحنی راست) و SF_6 (منحنی چپ)

افزایش سرعت سوق با میدان الکتریکی با شیب یکنواخت در شکل برای هر دو حالت مشهود است. ترکیب شامل آرگون سرعت سوق بالایی نسبت ترکیب بدون آرگون دارد. اما ترکیب شامل SF_6 تغییری قابل ملاحظه‌ای در سرعت سوق ندارد.

مقادیر ضریب پخش برحسب میدان الکتریکی برای ترکیب مختلفِ گازهای تترافلوراتان و ایزوبوتان با آرگون (منحنی راست) و SF_6 (منحنی چپ) در شکل ٤ نشان داده شده‌اند.



شکل شماره (۴): ضریب پخش برحسب میدان الکتریکی برای ترکیب مختلفِ گازهای تترافلوراتان و ایزوبوتان با آرگون (منحنی راست) و SF_6 (منحنی چپ)

مطابق شکل ترکیب شامل آرگون پخش بیشتری نسبت ترکیب بدون آرگون دارد. اما ترکیب شامل SF_6 تغییری قابل ملاحظه ای در پخش نیز ندارد. با افزایش میدان (سرعت سوق بیشتر شده و درنتیجه الکترون‌ها فرصت کمی برای پخش شدن پیدا می‌کنند) ضریب پخش در هر دو ترکیب کاهش می‌یابد.

بحث ونتیجه گیری :

با توجه به نتایج بدست آمده برای پارامترهای انتقال، افزودن آرگون باعث افزایش تکثیر الکترونی، سرعت سوق و پخش و سبب کاهش جذب می‌شود که نتیجه آن در آشکارسازهای گازی افزایش ارتفاع سیگنال، افزایش دقت زمانی و کاهش دقت فضایی می‌شود. نتیجه مطلوب افزایش ارتفاع سیگنال (به شرطی که تکثیر الکترونها از کنترل خارج نشود)، افزایش دقت زمانی و فضایی می‌باشد. لازم به ذکر است در بعضی ترکیب‌ها افزایش تکثیر الکترونها منجر به کاهش سرعت سوق می‌شد[۱۱،۱۰]، اما با توجه به سبک بودن اتم آرگون نسبت تترافلوراتان و ایزوبوتان، افزودن آرگون باعث افزایش تکثیر و سرعت سوق (افزایش ارتفاع سیگنال و دقت زمانی) می‌شود. افزودن SF_6 به طور شدیدی باعث افزایش جذب شده و در بقیه پارامترها تاثیر چندانی ندارد. به خاطر همین تاثیر زیاد در جذب است که از این گاز با درصد کمتری استفاده می‌شود. درواقع افزودن این گاز به کنترل بهمن و خورده شدن الکترون‌ها و کاهش ارتفاع سیگنال کمک می‌کند و در دقت زمانی و

مکانی تاثیر چندانی ندارد. از آنجایی که شرط تشکیل بهمن $\alpha-\eta>0$ می‌باشد برای ترکیب‌های شامل SF_6 در میدان‌های کمتر از ۴۰ kV/cm بهمن تشکیل نمی‌شود. در نتیجه با توجه به اینکه ترکیب شامل آرگون پارامترهای انتقال را بهبود می‌بخشد، بهترین ترکیب می‌باشد اما ا افزودن زیاد آرگون با توجه به قابلیت تکثیر الکترونی بالا در آن، باعث از کنترل خارج شدن بهمن می‌شود و برای حل این مشکل افزودن مقدار اندکی SF_6 (فقط در افزایش جذب و کنترل بهمن نقش دارد) توصیه می‌شود.

مراجع:

[۱] Abbrescia, M., et al. "Properties of C2H2F4-based gas mixture for avalanche mode operation of RPC" NIMA: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 398.2-3 (1997): 173-179.
[۲] Yasser Assran, Archana Sharma; "Transport Properties of operational gas mixtures used at LHC"; arXiv:1110.6761
[۳] FranÃ§ais, Vincent. "Description and simulation of physics of RPC" Journal of Instrumentation 11 (2016): C05023
[۴] Zeballos, E. Cerron, et al. "Effect of adding SF6 to the gas mixture in a MRPC" NIMA: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 419.2 (1998): 475-478.
[۵] Kaur, Daljeet, et al. "Characterization of 3mm glass electrodes and development of RPC detectors for INO-ICAL experiment." NIMA: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 774 (2015): 74-81.
[۶] Bartoli, B., et al. "The analog RPC detector of the ARGO-YBJ experiment." Astroparticle Physics 67 (2015): 47-61.
[۷] Riegler, W., C. Lippmann, and R. Veenhof, Detector physics and Simulation of RPC. *NIMA*, 2003. **500(1)**: p. 144-16
[۸] Doroud, K., Moshaii, A., Pezeshkian, Y., Rahighi, J., & Afarideh, H. (2009). Simulation of temperature dependence of RPC operation. NIMA: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 602(3), 723-726.
[۹] Schindler, H. "*Garfield++ User Guide.*" (2015).
[۱۰] تورانی انرجان، م. ع.؛ جهانبخش، ا.؛ و پزشکیان، ی.؛ "*شبیه سازی اثر میزان ترکیب گازهای تترافلورواتان و ایزوبوتان در عملکرد آشکارساز صفحه عایق با استفاده از کد گارفیلد++*" (۱۳۹۶) کنفرانس فیزیک ایران شهریور ۹۶، یزد.
[۱۱] تورانی انرجان، م. ع.؛ جهانبخش، ا.؛ و پزشکیان، ی.؛ "*بررسی خواص انتقالی ترکیب گاز Ar و CO2 با استفاده از کد گارفیلد++*" (۱۳۹۶) هشتمین همایش ملی فیزیک پیام نور، اردیبهشت ۹۶، شیراز.