

Comparison of Neutron-Gamma discrimination using UGLLT, UGAB, & NE-213 scintillators (by zero cross method)

Nazila Divani Veis*

Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: 19.05.2020 Final revised: 31.05.2021 Accepted: 03.08.2021

Doi link: [10.22055/JRMBS.2021.16985](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2021.16985)

Abstract

Employment of toxic organic compounds such as toluene and xylene in combination with NE-213 scintillator materials make it quite toxic and carcinogenic. They are also volatile and easily leak from the detector cells; therefore working with them is limited and risky. UGLLT and UGAB consist of a less hazard organic solvent and other scintillator combinations and surfactants that have high efficiency for alpha and beta detection. In this research, with aim to develop usage of these scintillators, UGLLT and UGAB new generation scintillators were selected as a safe and inexpensive superseding. The main solvent scintillation, DIN: C₁₆H₂₀ is a low toxic material, with low vapor pressure and high flash temperature. It is well known for biodegradation, maintenance and harmless transportation. These scintillators have been tested for neutron & gamma detection by ²⁴¹Am-Be, ¹³⁷Cs & ²²Na sources and compared with NE-213. Neutron-gamma discrimination was done by using zero cross method for three scintillators and calculated some parameters such as: figure of merit and peak to valley. The value of FOM in bias: 170KeVee were obtained 1.52 and 1.18 and 1.04 for NE-213, UGLLT and UGAB respectively.

Keywords: Neutron-Gamma Discrimination, Liquid Scintillators, Zero Cross Methods, FOM

مقایسه کیفی عملکرد سوسوزن‌های UGLLT، UGAB و NE-213 در

جداسازی نوترون-گاما (به روش گذر از صفر)

نازیلا دیوانی ویس*

گروه آموزشی فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

دریافت: 1399/02/30 ویرایش نهائی: 1400/03/10 پذیرش: 1400/05/12

Doi link: [10.22055/JRMBS.2021.16985](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2021.16985)

چکیده

استفاده از سوسوزن NE-213 به علت سمی بودن و دمای اشتعال پایین، در برخی موارد مانند حجم‌های بزرگ آشکارساز، به علت استفاده از مواد آلی سمی مانند تولوئن و زایلین در ترکیب سوسوزنی آن و به دلیل عوارضی که این مواد دارند (کاملاً سمی و سرطان‌زا بوده) و همچنین فرار بودن و نشت سریع آنها از سل‌های آشکارساز، کار با آنها دارای محدودیت و پرخطر می‌باشد. در این تحقیق، سوسوزن‌های نسل جدید UGLLT و UGAB (با کاربرد اصلی جداسازی آلفا-بتا) به عنوان دو نمونه جایگزین ایمن و ارزان انتخاب شده‌اند که حلال اصلی این سوسوزن‌ها، $\text{DIN}:(\text{C}_{16}\text{H}_{20})$ سمیت کم، فشار بخار پایین و دمای اشتعال بالا دارد و تجزیه‌پذیر است که در حمل و نقل و نگهداری به عنوان ماده «بی‌ضرر» شناخته می‌شود. بنابراین، برخلاف سوسوزن NE-213 که از طریق جذب از پوست یا تنفس مخاطره‌آمیز است این سوسوزن‌ها ایمن محسوب می‌شوند، آشکارسازی نوترون-گاما توسط آنها و برای مقایسه با سوسوزن NE-213 با چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ ، ^{137}Cs و ^{22}Na اندازه‌گیری و مقایسه گردیدند. جداسازی نوترون-گاما با استفاده از روش گذر از صفر برای هر سه سوسوزن انجام گرفت و میزان FOM در بایاس 170KeVee، برای سه سوسوزن NE-213، UGLLT و UGAB به ترتیب 1/52 و 1/18 و 1/04 اندازه‌گیری گردید.

کلیدواژگان: جداسازی نوترون-گاما، سوسوزن‌های مایع، روش گذر از صفر، ضریب شایستگی

مقدمه

جداسازی نوترون-گاما کاربرد دارد. از این سوسوزن جهت شمارش نمونه‌های آبی آلفا و بتا نیز استفاده می‌شد اما به علت سمیت زیاد و دمای اشتعال پایین مخاطرات زیادی با آن همراه بود تا اینکه در سال 1992 شرکت Perkin Elmer سوسوزن‌های UGLLT و UGAB را جهت جداسازی آلفا-بتا و شمارش 4π آنها

سوسوزن مایع NE-213 رایج‌ترین سوسوزن با کاربرد جداسازی نوترون سریع و گاما در میدان‌های آمیخته می‌باشد و طی دهه‌های گذشته، کلیه خصوصیات آن مورد بررسی قرار گرفته است [1 و 2]. این سوسوزن همچنان به عنوان برترین جداکننده در

*نویسنده مسئول: n_divani@birjand.ac.ir



جداسازی گذر از صفر با استفاده از الکترونیک تبعیض شکل پالس، یک روش استاندارد و کاملاً رایج در مطالعه تفاوت فروافت زمانی پالس‌های نوترون و گاما را در سوسوزن NE-213 می‌باشد [1]. در این روش با به‌کارگیری روش‌های زمان‌گیری پالس، از تفاوت فروافت پالس‌های نوترون و گاما استفاده می‌شود و مدارهای الکترونیک مختلف با قابلیت‌های گوناگون در این زمینه استفاده می‌گردد. در شکل 1 یکی از رایج‌ترین آنها آورده شده است. در این مدار، جداسازی با استفاده از سیگنال آند آشکارساز و با به‌کارگیری ماژول PSD² صورت می‌پذیرد. این روش به‌علت استفاده از سیگنال‌های سریع، علاوه بر کیفیت جداسازی خوب، زمان مرده بسیار کمی داشته و جهت جداسازی نوترون-گاما در آهنگ شمارش زیاد کاملاً مناسب است. بررسی میزان جداسازی نوترون-گاما توسط فاکتورهایی مانند ضریب شایستگی³ (FOM) و نسبت قله به دره⁴ (P/V) تعریف می‌شود. این فاکتورها عموماً با افزایش بازه تغییرات ارتفاع پالس و یا با افزایش میزان شمارش ناخالص کاهش می‌یابند. ضریب شایستگی از تقسیم فاصله بین دو قله نوترون و گاما بر مجموع FWHM های آنها به‌دست می‌آید [7]. هر قدر عدد FOM بزرگتر از یک باشد، کیفیت جداسازی آشکارساز بهتر خواهد بود. نسبت (P/V) که بر میزان پهن شدگی طیف نوترون و گاما دلالت دارد، به‌صورت میانگین شمارش دو قله نوترون و گاما تقسیم بر شمارش پایین‌ترین ارتفاع در دره موجود بین دو قله تعریف

در نمونه‌های آبی و اسیدی به‌صورت کوکتل‌های LSC به‌بازار عرضه نمود. این مایع علاوه بر حلال اصلی و مواد سوسوزن، دارای مقادیر قابل توجهی از سرفکتانت نیز می‌باشد تا توانایی انحلال انواع نمونه‌های آبی و اسیدی را در خود دارا باشد. بنابراین انتظار می‌رود ترابرد فوتون در این سوسوزن ضعیف باشد هرچند با افزودن ترکیباتی، میزان فرونشانی فوتون در آن کاهش داده شده است. از نکات مثبت این مایع سوسوزن، حلال اصلی آن، DIN:(C₁₆H₂₀)، می‌باشد. این حلال آلی دارای سمیت کم، فشار بخار پایین و نقطه اشتعال ناگهانی 140°C بوده و در حمل و نقل و نگهداری به‌عنوان ماده «بی‌ضرر» شناخته می‌شود. طی سال‌های گذشته روش‌های زیادی جهت جداسازی پالس نوترون-گاما ابداع شده است که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. در بین این روش‌ها، روش گذر از صفر [3] و مقایسه بار (آنالوگ یا دیجیتال) [4] بسیار رایج می‌باشند. این روش‌ها توسط افراد مختلف مقایسه نیز شده‌اند [5]. Hamel و همکاران [6]، به‌روش مقایسه بار جداسازی نوترون-گاما را در سوسوزن UGAB¹ اندازه‌گیری نموده‌اند که نتایج آن با نتایج حاصل از این تحقیق قابل مقایسه است.

تئوری کار و کارهای آزمایشگاهی

در برخی سوسوزن‌های مایع پالس ناشی از ذرات با dE/dx (انرژی از دست رفته بوسیله ذره در واحد طول مسیر) بیشتر، زمان فروافت زیادتری خواهد داشت که این ویژگی، اساس تبعیض شکل پالس می‌باشد. روش

³ Figure of Merit

⁴ Peak to Valley

¹ Ultima Gold Alpha & Beta

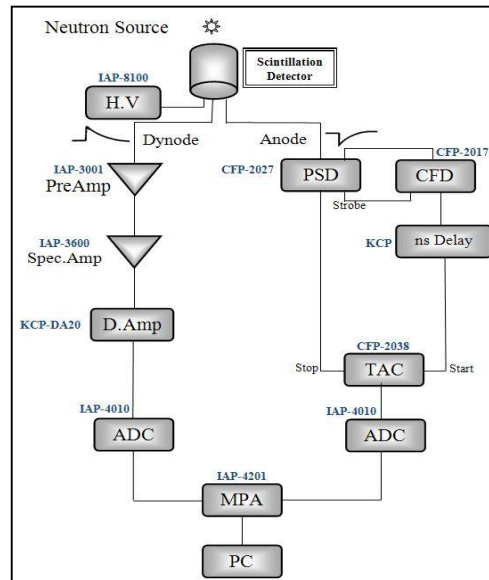
² Pulse Shape Discrimination

با طراحی خطی می‌باشد. مقسم ولتاژ بایستی دارای خروجی آند و داینود بوده و شکل آند آن مناسب باشد، بنابراین مقسم ولتاژ مدل 2025Za از شرکت IAP انتخاب شد. جهت حذف اثر میدان مغناطیسی زمین بر بازدهی PMT، از حفاظ مغناطیسی استفاده گردید. جهت کوپل اپتیکی سلول سوسوزن بر روی PMT، گریس سیلیکون استفاده گردید. چشمه نوترون، $^{241}\text{Am-Be}$ با اکتیویته 100mCi به کار گرفته شد. جهت کاهش اثر پراکندگی، آشکارساز و چشمه بر روی یک میز به ارتفاع 1 متر و در فاصله 1/5 متری از دیوارها قرار گرفتند. مدار الکترونیک مطابق شکل 1 آماده و تنظیم گردید. کالیبراسیون انرژی با استفاده از گامای چشمه ^{22}Na با انرژی 1274KeV انجام گردید تا بتوان کانال‌ها را برحسب انرژی کالیبره نمود. بدین منظور لبه کمپتون این گاما که برابر 1061KeV می‌باشد، به کار گرفته شد. مکان این لبه، کانال متناظر با 89% شمارش ماکزیم کمپتون در شیب نزولی پیوستار می‌باشد [9]. پس از کالیبراسیون، طیف‌نگاری و جداسازی توسط سوسوزن UGLLT و UGAB به روش گذر از صفر انجام شده و ثبت گردید. سپس با استفاده از سلول حاوی NE-213، آشکارساز مجدداً مونتاژ شده و بدون تغییر ولتاژ PMT و بهره تقویت کننده، در هندسه یکسان، کالیبراسیون و جداسازی دوباره انجام گردید.

نتایج

با استفاده از دو چشمه ^{137}Cs و ^{22}Na با سه سوسوزن UGLLT، NE-213 و UGAB طیف‌نگاری گاما انجام شد (شکل 2).

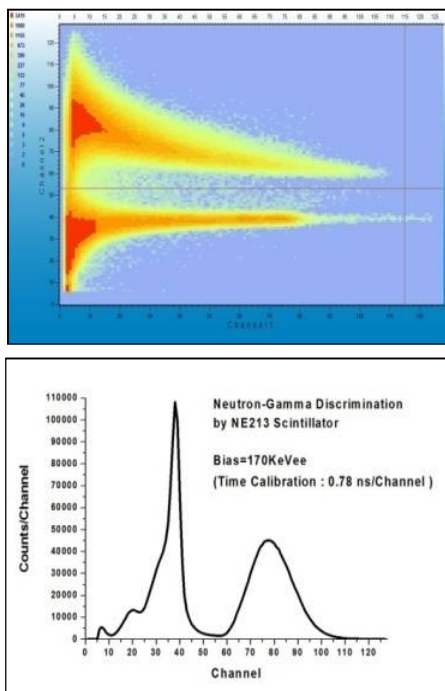
می‌شود [8]. هر آشکارساز سوسوزن شامل سلول سوسوزن، PMT و مقسم ولتاژ می‌باشد.



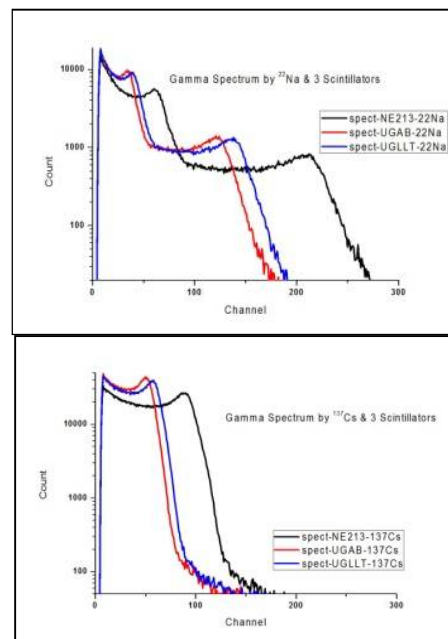
شکل 1. مدار جداسازی نوترون-گاما به روش گذر از صفر.

سلول حاوی سوسوزن مایع از جنس آلومینیم به ضخامت 1mm و در ابعاد $2 \times 2 \times \varnothing$ ساخته شد و فضای داخل آن با استفاده از رنگ سفید EJ-520 ساخت شرکت ELGEN¹ رنگ آمیزی گردید. پنجره سلول به منظور کوپل مناسب با پنجره PMT، از شیشه بروسیلیکات¹ ساخته شد.

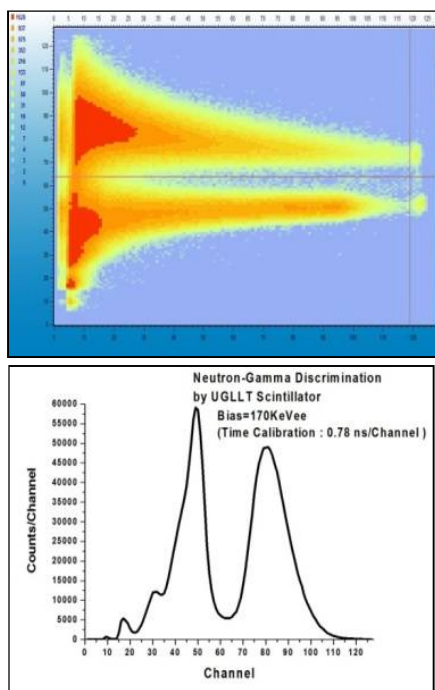
انتخاب PMT تأثیر زیادی در قدرت تفکیک انرژی و زمان آشکارساز دارد و ساختار داینودها در یک PMT تأثیر به‌سزایی در «گسترده‌ی زمان رسیدن الکترون‌ها به نقطه دریافت پاسخ» داراست که این پارامتر کلید انتخاب PMT مناسب جهت جداسازی است. در روش گذر از صفر PMT مدل XP2020 به قطر دو اینچ از شرکت Photonis انتخاب گردید. این لامپ با زمان عبور 30ns و گسترده‌ی زمان عبور 2.4ns، از نوع پنجره انتهایی با فتوکاتد حساس به آبی-سبز و دوازده داینود



شکل 3. جداسازی نوترون-گاما، بایاس 170KeVee، آشکارساز NE-213، طیف دو بعدی (بالا)، طیف یک بعدی (پایین).

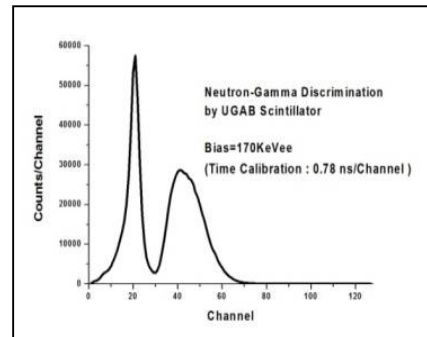
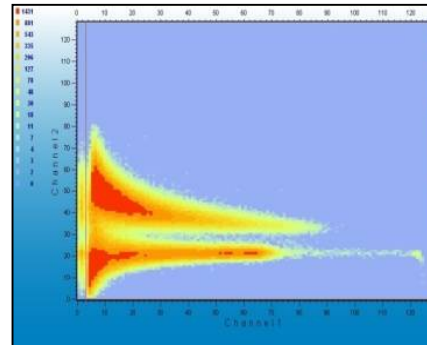
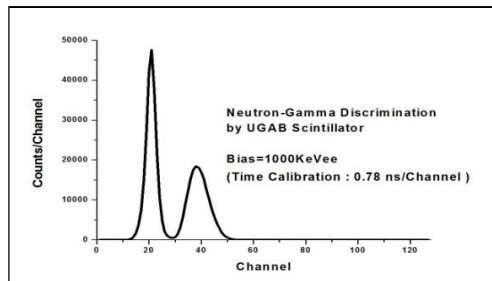
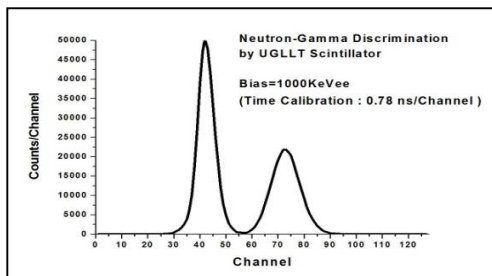
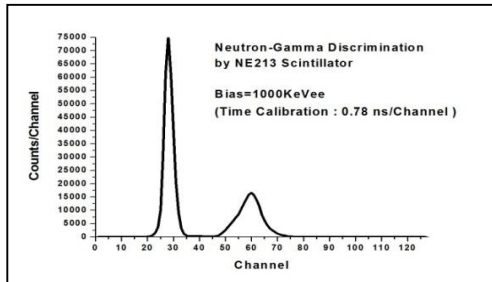


شکل 2. بالا: طیف گاما برای چشمه ^{22}Na ، پایین: طیف گاما برای چشمه ^{137}Cs ، توسط NE-213 و UGLLT و UGAB.



شکل 4. جداسازی نوترون-گاما، بایاس 170KeVee، آشکارساز UGLLT، طیف دو بعدی (بالا)، طیف یک بعدی (پایین).

نمونه جداسازی نوترون-گاما در شکل‌های 3 تا 6 آورده شده‌اند. در این جداسازی‌ها، در نمودارهای دو بعدی طیف پایین مربوط به گاما و طیف بالایی مربوط به نوترون می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود؛ دو آشکارساز UGLLT و UGAB نیز جداسازی نسبتاً خوبی ارائه داده‌اند. جداسازی توسط هر سه آشکارساز در بایاس‌های 170، 500، 700، 800 و 1000 کیلوالکترون ولت انرژی الکترون، نیز انجام گرفت. جهت محاسبه FOM در همه موارد از برآزش منحنی گاوسی بر روی داده‌ها توسط نرم‌افزار Origin استفاده گردید تا بتوان FWHM‌ها را با دقت بیشتری نسبت به روش دستی محاسبه نمود. در جدول 1 پارامترهای کیفیت جداسازی‌ها آورده شده است. در نمودار شکل 7 تغییرات میزان جداسازی برحسب بایاس رسم گردیده است.



شکل 5. جداسازی نوترون-گاما، بایاس 170KeVee، آشکارساز UGAB، طیف دوبعدی (بالا)، طیف یک بعدی (پایین).

شکل 6. جداسازی نوترون-گاما، بایاس 1000KeVee، طیف یک بعدی، NE-213 (نمودار اول)، UGLL (نمودار دوم)، UGAB (نمودار سوم).

جدول 1. (بالا): مقادیر محاسبه شده FOM، (پایین): مقادیر محاسبه شده Peak to Valley برای سه آشکارساز NE-213 و GLLT و UGAB.

Bias (KeVee)	FOM-NE213	FOM-UGLLT	FOM-UGAB
170	1.52 ± 0.03	1.18 ± 0.03	1.04 ± 0.028
500	2.09 ± 0.06	1.34 ± 0.02	1.15 ± 0.032
700	2.19 ± 0.07	1.43 ± 0.01	1.24 ± 0.030
800	2.21 ± 0.07	1.44 ± 0.01	1.26 ± 0.035
1000	2.26 ± 0.05	1.52 ± 0.01	1.33 ± 0.032

Bias (KeVee)	Peak to Vally NE-213	Peak to Vally UGLL	Peak to Vally UGAB
170	44.82 ± 8.01	9.98 ± 0.760	13.91 ± 0.57
500	179.22 ± 8.56	31.36 ± 0.103	27.49 ± 0.54
700	185.12 ± 7.94	55.34 ± 0.090	47.61 ± 0.54
800	213.57 ± 10.56	65.99 ± 0.072	53.34 ± 0.56
1000	260.74 ± 3.68	92.48 ± 0.027	63.99 ± 0.55

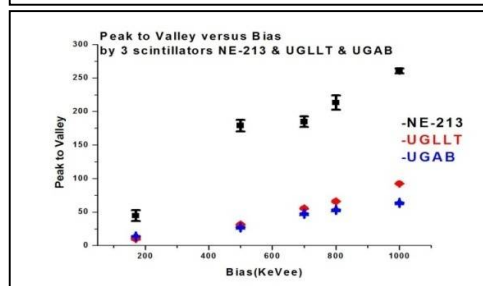
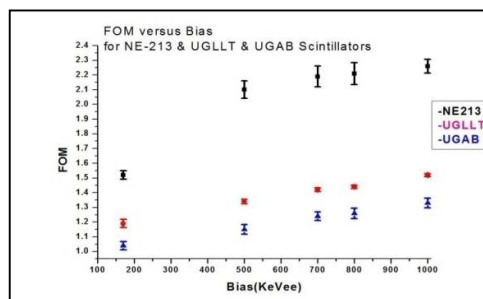
بحث و نتیجه گیری

با توجه به ثابت نگه داشتن کلیه شرایط هندسه و بهره آشکارسازی، شکل 2 مقایسه‌ای از میزان نور خروجی سه سوسوزن را به‌ازای انرژی یکسان تابش برخوردی ارائه می‌کند. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، نور خروجی سوسوزن UGAB به‌دلیل وجود سرفکتانت‌ها و دیگر افزودنی‌ها، تقریباً شصت درصد و نور خروجی سوسوزن UGLLT تقریباً هشتاد درصد نور حاصل از NE-213 می‌باشد. مطابق شکل‌های 3 تا 5 دو سوسوزن مورد نظر نیز مانند سوسوزن NE-213 جداسازی نوترون و گاما را بخوبی انجام داده‌اند و شکل‌های 6 و 7 و همچنین جدول 1 نشان دهنده کیفیت جداسازی‌ها هستند که با افزایش بایاس این کیفیت افزایش یافته است.

مقایسه با سوسوزن NE-213، کیفیت جداسازی این دو سوسوزن کمتر است اما در قیاس با برخی سوسوزن‌های دیگر مانند BC-519 [10] که جهت ساخت حجم‌های بزرگ آشکارساز به‌کار می‌رود، چندان هم ضعیف نیستند. مقاله [11] کار مشابهی با نوع دیگری سوسوزن را نشان می‌دهد که در آن از روش مقایسه بازدهی نور خروجی یک سوسوزن با سوسوزن استاندارد NE213 استفاده شده و بازدهی خوبی برای تابش گاما دارد. با توجه به اینکه سوسوزن NE-213 از تولوئن به‌عنوان حلال اصلی استفاده می‌کند که دمای اشتعال ناگهانی پایین داشته، سمی و سرطان‌زا بوده و علاوه بر جذب پوستی، به‌دلیل تبخیر زیاد، از طریق تنفس نیز به آسانی جذب بدن می‌شود. بنابراین، طبق نتایج این تحقیق می‌توان در بسیاری موارد مانند اهداف آموزشی و از ترکیبات مشابه UGLLT و UGAB (بدون سرفکتانت) در دزیمتری نوترون و ساخت آشکارسازهای با حجم زیاد استفاده نمود [15,14,13,12].

مرجع‌ها

- [1] M.L. Roush et al, Pulse shape discrimination, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **31** (1964) 112-124.
- [2] B. Esposito et al, A digital acquisition and elaboration system for nuclear fast pulse detection, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **572** (2007) 355-357.
- [3] A.Sharghi Ido et al, Neutron-Gamma Discrimination in Mixed Field by PSD, *Journal of Nuclear Science and Technology* **47** (2009) 1-6.
- [4] Y. Kaschucka et al, Neutron/g-ray digital pulse shape discrimination with organic scintillators, *Nuclear Instruments and*



شکل 7. (بالا): نمودار تغییرات FOM، پایین: نمودار تغییرات Peak to Valley، سه آشکارساز NE-213 و UGLLT و UGAB برحسب بایاس.

Hamel و همکاران [6]، در جداسازی‌های خود میزان بایاس را برحسب بار الکتریکی بیان نموده‌اند که با توجه به تأثیر بسیار زیاد بایاس در فاکتور FOM، مقایسه نتایج دشوار می‌شود. به‌هر حال هر چند در

- [11] N. Salehi et al, 3-(*p*-Toluidino)-5-phenyl-1-*p*-tolyl-1H-pyrrol-2(5H)-one as an organic liquid scintillator used for gamma spectroscopy, *Radiation Measurements* Volume **47**, Issue 6, June 2012, pp 434-437. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.03.023>
- [12] N. Divani-Vais et al, Neutron-Gamma discrimination with UGAB scintillator using zero-crossing method, *Radiation Protection Dosimetry* (2012) 1-4. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs252>
- [13] E. Bayat et al, A comparative study on neutron-gamma discrimination with NE213 and UGLLT scintillators using zero-crossing method, *Radiation Physics and Chemistry* **81** (2012) 217-220. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.10.016>
- [14] A. Horvath et al, Comparison of two liquid scintillators used for neutron detection, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **440** (2000) 241-248.
- [15] N. Divani et al, Performance qualitative study of the PANDA GEM-tracker in the physics simulation, *Journal of Research on Many-body Systems* **9** 1 (2019), 65-74. [10.22055/JRMBS.2019.14588](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2019.14588)
- [5] D. Wolski et al, Comparison of n- γ discrimination by zero-crossing and digital charge comparison methods, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **360** (1995) 584-592.
- [6] M. Hamel, et al, A new fluorophore highly efficient for fast neutrons/gamma-rays discrimination, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **602** (2009) 425-431. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.01.191>
- [7] D. Wolski et al, Comparison of n- γ discrimination by zero-crossing and digital charge comparison methods, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **360** (1995) 584-592.
- [8] O. Barnaba et al, A Full-integrated pulse-shape discriminator for liquid scintillator counter, *Nuclear Instruments and Methods A* **410** (1998) 220-228.
- [9] H. KNOX et al, A Technique for Determining Bias Settings for Organic Scintillators, *Nuclear Instruments and Methods A* **101** (1972) 519-525.
- [10] G. Ranucci et al, Pulse-shape discrimination of liquid Scintillators, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **412** (1998) 374-380.