

تعیین هوشمند معیار شایستگی در روش های جداسازی نوترون و گاما

تقوی مقدم، الهام*^(۱) - صفری، محمدجواد^(۲)

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

دانشگاه امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

چکیده:

امکانات دیجیتال پیچیده‌ترین توابع و روش‌ها را برای جداسازی بهتر نوترون و گاما فراهم می‌کند. خروجی این روش‌ها بدست آوردن ویژگی مناسبی از سیگنال، برای ایجاد بیشترین تمایز بین سیگنال نوترون و گاما است. ابزار مقایسه بین روش‌های جداسازی پارامتری بنام معیار شایستگی است؛ که محاسبه آن به شیوه دستی و با صرف زمان زیاد انجام می‌شود. در این مقاله برنامه‌ای یکپارچه با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی و طبقه‌بندی شبکه هوشمند نوشته شده که می‌توان آن را برای هر روش جداسازی پیاده سازی کرد و معیار شایستگی را در زمان بسیار کمتر و با دقت بهتر نسبت به هر شیوه دیگر پیاده سازی، بدست آورد.

کلمات کلیدی: جداسازی، خوشه‌بندی، طبقه‌بندی، SVR, SVM, DBSCAN

مقدمه:

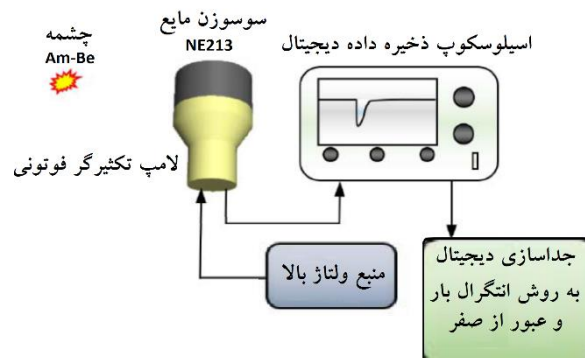
اساس همه روش‌های جداسازی دیجیتال نوترون و گاما بدست آوردن تابع تبدیلی برای وزن دهی به سیگنال‌هاست. به لطف امکانات دیجیتال می‌توان ایده‌های پیچیده تری (مانند: روش گرادیان‌تپ [۱])، تبدیل موجک [۲] و تبدیل فوریه [۳])، نسبت به شیوه آنالوگ پیاده کرد. (مانند: انتگرال بار [۴]، عبور از صفر [۵]) و نتیجه همه این روش‌ها، رسیدن به یک ویژگی خاص از سیگنال است که باعث بیشترین تمایز بین سیگنال آمیخته نوترون و گاما می‌شود و لذا خروجی کار؛ ماتریس یا تصویری دوبعدی برحسب ویژگی و انرژی می‌باشد. برای مقایسه و راستی آزمایی روش‌های پیشنهاد شده از پارامتری بنام معیار شایستگی استفاده می‌شود.

اما فرآیند محاسبه این پارامتر کاری زمان‌بر (از مرتبه حداقل چند ساعت) و چندمرحله‌ای است و برای هر مجموعه داده جداسازی شده جدید، کاربر می‌بایست مجدداً کل مراحل محاسبه معیار شایستگی را تکرار کند.

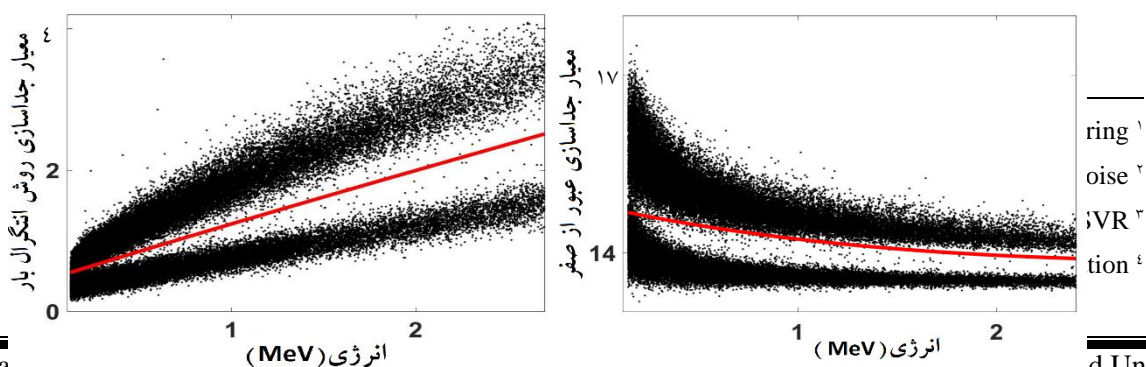
در این مقاله برنامه‌های یکپارچه ارائه شده؛ که با شبکه‌های هوشمند غیرنظارت شده برای خوشه‌بندی^۱ DBSCAN^۲ [۶] و نظارت شده SVM و SVR^۳ برای طبقه‌بندی^۴ [۷ و ۸] نوشته شده است. برتری این برنامه به سایر شیوه‌های پیاده‌سازی جداسازی و محاسبه معیار شایستگی (مانند: شیوه دستی)، اولاً در کاهش زمان محاسبه از چند ساعت به مرتبه چند دقیقه است و دوم بهبود دقت جداسازی و سوم خاصیت یکپارچگی و تکرارپذیری برنامه است که امکان مقایسه‌ی روش‌های جداسازی باهم را فراهم می‌آورد. برای نشان دادن توانایی برنامه، محاسبه معیار شایستگی برای دو شیوه جداسازی انتگرال بار و عبور از صفر انجام شده است. علت انتخاب این دو شیوه آن است که دارای شکل ویژگی بر حسب انرژی متفاوتی نسبت به هم بوده و انتخاب خوبی برای محک زدن انعطاف پذیری برنامه است.

روش کار :

ورودی این برنامه ماتریس یا تصویری دوبعدی از ویژگی ذرات بر حسب انرژی آن‌ها می‌باشد که با استفاده از روش جداسازی مشخصی از شکل تپ استخراج می‌شود. منظور از ویژگی صفت مشخصه‌ای است (که برای روش انتگرال بار "انتگرال دنباله سیگنال" [۴] و در روش عبور از صفر "اعمال تابع تبدیل Z به سیگنال" [۹ و ۱۰]) که الگوریتم جداسازی با آن اقدام به تفکیک نوترون و گاما می‌کند در این مقاله از چیدمان شکل (۱) با چشمه Am-Be و سوسوزن مایع NE213 و ADC با نرخ نمونه برداری ۵۰ میلیون نمونه بر ثانیه برای جمع کردن شکل تپ استفاده شد و حدود ۸۰ هزار شکل تپ دریافت شد. که نتایج جداسازی شده آن در شکل ۲ مشخص است.



شکل (۱) چیدمان آزمایشگاهی برای داده‌برداری دیجیتال



۰٫۹ انرژی (MeV) ۰٫۴۹

ب

۰٫۹ انرژی (MeV) ۰٫۴۹

الف

شکل (۲): ویژگی (معیار جداسازی) بر روی انرژی الف- روش عبور از صفر. ب- روش انتگرال بار.

برای رسیدن به معیار شایستگی، باید این داده‌ها به دو دسته مجزا نوترون و گاما تقسیم شوند تا بتوان با محاسبه طیف ارتفاع پالس برای انرژی‌های مختلف، به معیار شایستگی رسید. برای دسته‌بندی داده‌ها به صورت هوشمند دو روش غیر نظارت شده (خوشه‌بندی) و نظارت شده (طبقه‌بندی) وجود دارد. که روش نظارت شده علاوه بر داده‌های ورودی، یک سری داده‌های طبقه‌بندی شده‌ی از پیش تعریف شده نیز برای اعمال نظارت خود نیاز دارد؛ که در اینجا به معنی داشتن داده‌هایی است که با آن بتوان مشخص کرد که هر نقطه مربوط به یک نوترون است یا گاما؛ به عبارت دیگر یک تعداد داده‌های مشخص شده‌ی نوترون و گاما در اختیار باشد. که در این جا این تعداد داده‌های مشخص شده، از طریق خوشه‌بندی به دست آمده است.

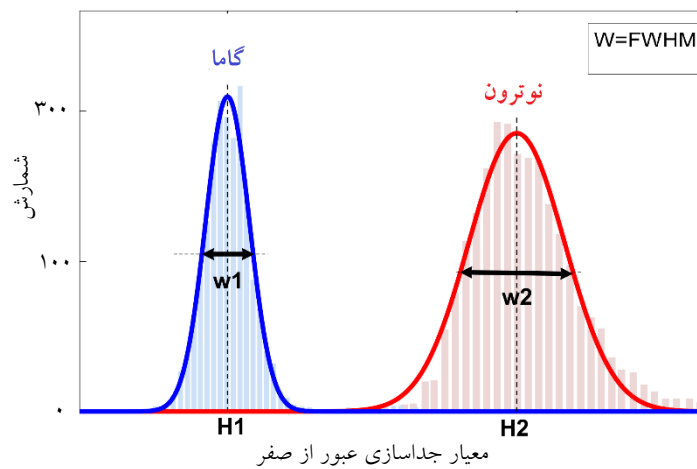
روش کار به این شکل است که برنامه، ابتدا برای تعدادی از سیگنال‌های جداسازی شده ورودی، در چند بازه انرژی، اقدام به خوشه‌بندی (غیرنظارت شده) داده‌ها می‌کند (با تمرکز بیشتر در ناحیه انرژی پایین)؛ سپس از این داده‌ها، به عنوان مرجع برای طبقه‌بندی (نظارت شده) کل سیگنال‌های جدا سازی شده ورودی استفاده می‌کند؛ علت اینکار بهبود دقت نسبت به شیوه غیرنظارت شده است. به عبارت دیگر برنامه با بدست آوردن درکی از ویژگی داده‌های نوترون و گاما می‌تواند اقدام به تفکیک داده‌های این دو ذره بکند.

روش‌های خوشه بندی اکثرا بر مبنای جداسازی بر اساس فاصله عمل می‌کند؛ بنابراین جداسازی به صورت دایروی (یا در ابعاد بالاتر به صورت کروی) انجام می‌شود و شکل‌هایی پیچیده تر را نمی‌تواند جدا سازی کند. برتری انتخاب الگوریتم DBSCAN نسبت به سایر روش‌های خوشه‌بندی، مبتنی بودن آن بر چگالی و توزیع داده است؛ که باعث پاسخگویی خوب آن به اشکال پیچیده مانند داده‌های جداسازی نوترون و گاما می‌شود. بعد از اینکه برنامه با استفاده از خوشه‌بندی به شیوه DBSCAN داده‌های مرجع خود را (خوشه‌ی نوترون و گاما) برای درک سیگنال‌های آتی نوترون و گاما بدست آورد؛ طبقه بندی کل سیگنال‌های ورودی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM) پیاده‌سازی می‌شود. خروجی این بخش، بهترین خطی است که با دقت خوبی بین دو خوشه نوترون و گاما قرار می‌گیرد. سپس با داشتن این خط (خط قرمز در شکل (۲))؛ می‌توان تمام داده‌های نوترون و گاما را از هم جدا کرد.

اکنون برنامه برای بدست آوردن معیار شایستگی، طیف ارتفاع پالس هر بازه انرژی را، با برداشتن برش دیفرانسیلی آن بازه نظیر شکل (۳) به دست می‌آورد. سپس از طریق برازش دو منحنی گاوسی مقادیر مورد نیاز معادله (۱) بدست می‌آید، و معیار شایستگی (FOM) آن بازه مشخص می‌شود.

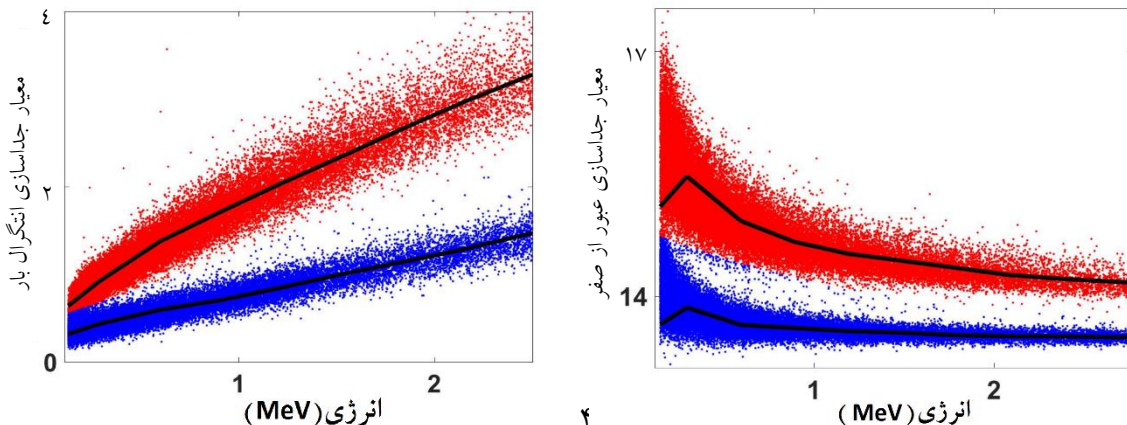
$$FOM = \frac{H_2 - H_1}{FWHM_1 + FWHM_2} \quad (1)$$

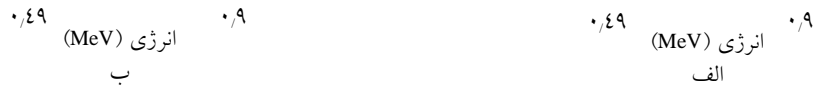
که در آن H، مقدار ویژگی (معیار جداسازی) در بیشینه شکل طیف و FWHM، پهنای کل در نصف مقدار بیشینه است (شکل ۳).



شکل (۳): طیف ارتفاع پالس در انرژی ۱,۲ مگا الکترون ولت برای روش عبور از صفر

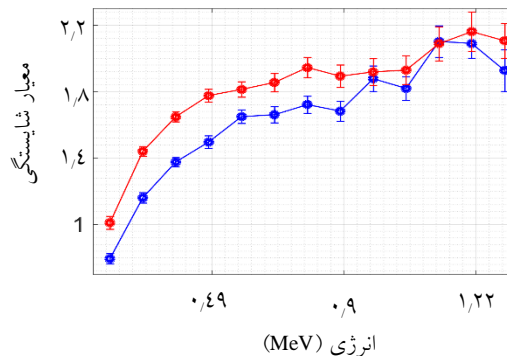
اگر حدود حداقل یکی از پارامترهای منحنی گاوسی از قبل مشخص باشد، می‌توان به برازش دقیق‌تری دست یافت. در این راستا، برنامه با استفاده از الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) می‌تواند تقریبی از مقدار واقعی H بدست آورد، به این صورت که روی تمام برش‌های دیفرانسیلی، بهترین خطی را می‌یابد که به همه مقادیر آن طبقه نزدیک باشد و کمترین فاصله را نسبت به آن مقادیر داشته باشد. شکل (۴) نمایانگر پیاده‌سازی رگرسیون بردار پشتیبان روی هر یک از برش‌های نوترون و گاما است، همچنین لازم به ذکر است که محور افقی مبین مقدار انرژی یا دامنه‌ی سیگنال است.





شکل (۴): پیاده سازی رگرسیون بردار پشتیبان. نقاط قرمز تپ نوترون، نقاط آبی تپ گاما و خط سیاه، رگرسیون بردار پشتیبان است. الف- روش عبور از صفر ب-روش انتگرال بار.

سرانجام با استفاده از پارامتر H که از طریق SVR بدست آمد، مقادیر معادله (۱) مشخص شده و معیار شایستگی در انرژی‌های مختلف برای دو روش محاسبه، و در شکل (۵) بدست آمده است.



شکل (۵): معیار شایستگی بر حسب انرژی. خط قرمز روش عبور از صفر و خط آبی روش انتگرال بار است.

بحث و نتیجه گیری:

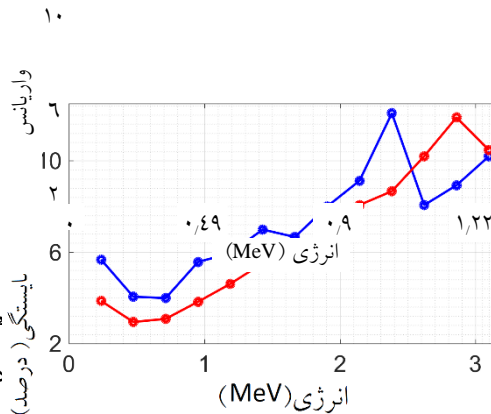
برتری استفاده از الگوریتم SVR را می‌توان در مقایسه آن با حالت برازش معمولی، دید. در جدول (۱) مقادیر معیار شایستگی و درصد انتشار خطا^۱ [11] (واریانس)، در دو حالت میانگین گیری شده در تمام برش‌های انرژی؛ و در برش بسیار چگال ۲۰۰ keV برای دو برازش با SVR و بدون SVR آورده شده است. استفاده از SVR منجر به حداقل ۲ درصد کاهش خطا نسبت به برازش بدون SVR می‌شود. همچنین در شکل (۶) واریانس برای دو حالت استفاده و عدم استفاده از SVR برای همه بازه‌های انرژی مشخص شده است.

جدول (۱): مقایسه مقادیر معیار شایستگی و واریانس برای روش‌های مختلف برازش گاوسی

شیوه برازش	میانگین در تمام بازه‌ی انرژی		در برش انرژی حدود ۲۰۰ Kev	
	معیار شایستگی	واریانس	معیار شایستگی	واریانس

^۱ propagation of error

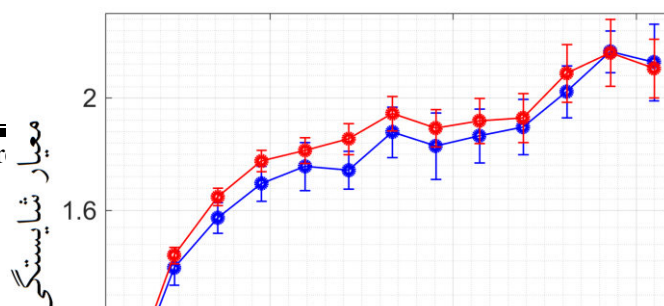
استفاده از SVR	۱,۸۱	۶,۶۱	۱,۰۱	۳,۸۷
بدون SVR	۱,۸۳	۷,۳۳	۱,۰۱	۵,۶۷

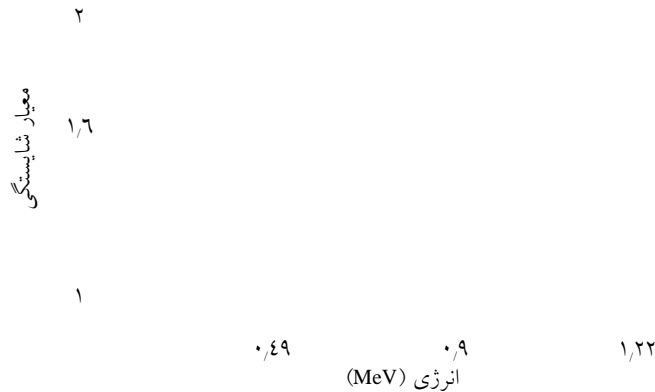


شکل (۶): خط آبی واریانس اهداف این برنامه عبارتند از کا، امکان مقایسه قدرت روش‌های مختلف جداسازی باهم؛ که برنامه توانست با استفاده از تلفیق شبکه‌های هوشمند نظارت شده و غیرنظارت شده، زمان محاسبه را از مرتبه چندساعت برای حالت دستی به چنددقیقه برساند. همچنین دیگر نیاز نیست که کاربر ساعت‌ها اقدام به پردازش داده‌ها در برنامه‌های مختلف آماری (نظیر Origin) بکند و دقت محاسبه با استفاده از برنامه بهبود قابل توجهی نسبت به حالت دستی یافته است؛ چنانکه در جدول (۲) مشخص شده است، برنامه در انرژی‌های پایین حداقل باعث بهبود ۵ درصدی معیار شایستگی شده است و در شکل (۷) میزان بهبود معیار شایستگی برای همه بازه‌های انرژی آورده شده است؛ که حداقل بهبود ۲-۵ درصد را در هر بازه انرژی شاهد هستیم. همچنین یکسان بودن رفتار معیار شایستگی بدست آمده توسط برنامه و محاسبه دستی گواهی بر صحت و معتبر بودن محاسبات برنامه می‌باشد؛ و در نهایت این برنامه چهارچوبی یکسان برای مقایسه همه روش‌های جداسازی موجود باهم را فراهم می‌کند (مانند شکل ۵).

جدول ۲: مقایسه مقادیر معیار شایستگی و واریانس در حالت استفاده از برنامه و حالت دستی

در برش انرژی حدود ۲۰۰ Kev		میانگین در تمام بازه‌ی انرژی		
واریانس	معیار شایستگی	واریانس	معیار شایستگی	
۳,۸۷	۱,۰۱	۶,۶۱	۱,۸۱	برنامه
۸,۷۴	۰,۹۹	۸,۶۳	۱,۷۶	دستی





شکل (۷): خط قرمز معیار شایستگی با استفاده از برنامه و خط آبی معیار شایستگی در حالت دستی است.

مراجع :

1. D'Mellow, B., et al. (2007). "Digital discrimination of neutrons and γ -rays in liquid scintillators using pulse gradient analysis." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 578(1): 191-197
2. Yousefi, S., et al. (2009). "Digital discrimination of neutrons and gamma-rays in liquid scintillators using wavelets." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 598(2): 551-555
3. Safari, M., et al. (2016). "Discrete Fourier Transform Method for Discrimination of Digital Scintillation Pulses in Mixed Neutron-Gamma Fields." IEEE Transactions on Nuclear Science 63(1): 325-332.
4. Moszynski, M., et al. (1992). "Study of n- γ discrimination by digital charge comparison method for a large volume liquid scintillator." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 317(1-2): 262-272.
5. McBeth, G. W., J. E. Lutkin, and R. A. Winyard. "A simple zero crossing pulse shape discrimination system." Nuclear Instruments and Methods 93.1 (1971): 99-102.
6. ster, M., et al. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Kdd.
7. Cortes, C. and V. Vapnik (1995). "Support-vector networks." Machine learning 20(3): 273-297.
8. Basak, D., et al. (2007). "Support vector regression." Neural Information Processing-Letters and Reviews 11(10): 203-224.
9. Nakhostin, M. (2012). "Recursive algorithms for digital implementation of neutron/gamma discrimination in liquid scintillation detectors." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 672: 1-5.
10. Nakhostin, M. and P. Walker (2010). "Application of digital zero-crossing technique for neutron-gamma discrimination in liquid organic scintillation detectors." Nuclear



بیست و سومین کنفرانس هسته‌ای ایران



۴ و ۵ اسفندماه ۱۳۹۵ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

- Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers,
Detectors and Associated Equipment 621(1): 498-501
11. G F Knoll, Radiation Detection and Measurement, Chap3-IV (85-92)