



## شناسایی رادیوایزوتوپ در طیف گاما با استفاده از الگوریتم گلد

علیزاده، داود<sup>(۱)</sup> - اشرفی، صالح<sup>(۱)</sup> - قلعه اسدی، آیدین\*<sup>(۱)</sup>

<sup>(۱)</sup> دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

### چکیده:

آشکارسازی و تشخیص رادیوایزوتوپ در طیف گامای اندازه‌گیری شده، یک چالش مهم برای کاربردهای ایمنی و تحقیقاتی هسته‌ای می‌باشد. در طیف‌های اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز یدور سدیم به دلیل پایین بودن قدرت تفکیک انرژی، پیک‌های با انرژی‌های گامای نزدیک همپوشانی نموده و نیاز به الگوریتم‌های شناسایی رادیوایزوتوپ وجود دارد. در این مطالعه از الگوریتم گلد، جهت تشخیص رادیوایزوتوپ‌های پرتوزا با آنالیز طیف گامای ثبت شده توسط آشکارساز یدور سدیم استفاده شده است و نتایج آن با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است. نتایج حاصل نشانگر دقت بالای الگوریتم گلد در تشخیص رادیوایزوتوپ‌ها می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** شناسایی رادیوایزوتوپ، الگوریتم گلد، آشکارساز یدور سدیم، طیف گاما.

### مقدمه:

تشخیص و آشکارسازی مواد رادیواکتیو از جمله مسائل مهم از نقطه نظر ایمنی تابش‌های هسته‌ای می‌باشد. کنترل ورود و خروج این مواد در مرزهای زمینی، هوایی و دریایی توسط نمایشگرهای درگاهی تابش هسته‌ای انجام می‌گیرد. از طرفی طیف پرتو گاما را می‌توان به عنوان یک اثر انگشت برای تشخیص رادیوایزوتوپ در نظر گرفت. از جمله آشکارسازهای قابل حمل با کاربری آسان و قیمت پایین آشکارسازهای سوسوزن می‌باشند که پاسخ سریعی به تابش‌های به دلیل بازده آشکارسازی بالا و قیمت ارزان به صورت گسترده در (NaI(Tl) هسته‌ای دارند. آشکارسازهای یدورسدیم اندازه‌گیری طیف اشعه گاما استفاده می‌شوند. همچنین از طرفی تشخیص رادیوایزوتوپ‌ها از طیف اندازه‌گیری شده گاما یکی از موضوعات مورد علاقه در پژوهش‌های اخیر بوده است [۱-۴]. روش تشخیص رادیوایزوتوپ مبتنی بر برازش طیف گامای اندازه‌گیری شده بر مجموعه‌ای از طیف‌های نمونه می‌باشد تا سهم هرکدام از رادیوایزوتوپ‌ها در ترکیب اندازه‌گیری شده مشخص گردد. روش‌های مختلفی برای تشخیص رادیوایزوتوپ ارائه شده است که از آن جمله می‌توان



به روش چندگامی [۵]، الگوریتم ژنتیک [۳] روش ترکیبی فازی-ژنتیک [۶] و ... اشاره کرد که دقت نسبتاً خوبی در و همچنین گزارش NaI(Tl) تشخیص رادیویزوتوپ‌ها دارند ولی با توجه به قدرت تفکیک انرژی پایین آشکارساز تشخیص نادرست رادیویزوتوپ در بعضی موارد توسط این روش‌ها، همواره وجود روشی با دقت و کارایی بالاتر ضروری است. در این مطالعه از الگوریتم گلد که توانایی بالای آن در آنالیز طیف گاما به اثبات رسیده [۷] برای شناسایی رادیویزوتوپ‌های موجود در چشمه مرکب استفاده شده و نتایج حاصل از آن با نتایج الگوریتم‌های پیشین هدف روش‌های تشخیص رادیویزوتوپ، آنالیز طیف گامای ساطع شده از چشمه مرکب از چندین مقایسه خواهد شد. رادیویزوتوپ پرتوزا جهت شناسایی هر یک از رادیویزوتوپ‌ها می‌باشد. بدین منظور، طیف گامای اندازه‌گیری شده ترکیبی خطی از طیف‌های تعدادی از عناصر شناخته شده در نظر گرفته می‌شود که ضرایب خطی نشانگر حضور یا عدم حضور و فراوانی هر عنصر در طیف می‌باشند. بدین منظور باید کتابخانه‌ای از داده‌های طیف‌های گامای تعداد رادیویزوتوپ شناخته شده موجود باشند. رابطه خطی برای این مدل به صورت زیر است:

$$S = \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \dots + \alpha_L T_L \quad (1)$$

مرکب اندازه‌گیری شده و  $T_L$  طیف رادیویزوتوپ  $L$ ام و ضریب خطی  $\alpha_L$  سهم رادیویزوتوپ  $L$ ام در طیف را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که هر کدام از طیف‌های  $S$  و  $T$  در معادله (۱) برداری ستونی هستند که داریه‌های آنها متناظر با اعداد ثبت شده در کانال‌های آشکارساز هستند.

الگوریتم ژنتیک بجای حل معادله (۱) بصورت مستقیم تابع معادل آن را کمینه‌سازی می‌کند که با رابطه زیر بیان می‌شود [۷]:

$$f = \sum_{j=1}^{1024} \frac{\left( \sum_{i=1}^L \alpha_i T_{i,j} - S_j \right)^2}{\sum_{i=1}^L \alpha_i T_{i,j} + S_j} \quad (2)$$

که عدد ۱۰۲۴ برای تعداد کانال‌های تحلیلگر چند کاناله آشکارساز ی‌دورسدم مورد مطالعه انتخاب شده است.

در روش الگوریتم گلد، مساله از طریق معکوس سازی ماتریس مبتنی بر تکرار حل می‌شود. الگوریتم گلد برای حل معادله (۱) از رابطه تکراری به فرم زیر استفاده می‌کند:

$$\alpha_i^{n+1} = \alpha_i^n \frac{S'_i}{\sum_{j=1}^{1024} A_{i,j} \alpha_j^n}, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (3)$$

شماره تکرار و  $A = R^T R$  و  $S' = R^T S$  می‌باشد [۵]. روند حل مساله با یک جواب اولیه و مشخص بودن  $n$  که تعداد تکرار انجام می‌گردد.

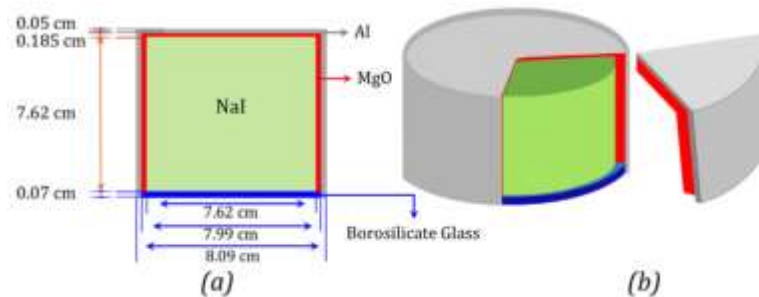
از دیگر روش‌های متداول برای شناسایی رادیوایزوتوپ روش حداقل مربعات می‌باشد. در این روش ریاضی، باید رابطه (۴) کمینه شود:

$$\text{Minimize} \left( S_i - \sum_{j=1}^n \alpha_j T_{i,j}^T \right)^2 \quad (4)$$

در حالت کلی، الگوریتم‌های ریاضی با توجه به بزرگ بودن فضای محاسباتی (۱۰۲۴ کانال) و همچنین وجود کمینه‌های محلی از نظر دقت و سرعت عملکرد ضعیف‌تری نسبت به الگوریتم‌های جدید دارند.

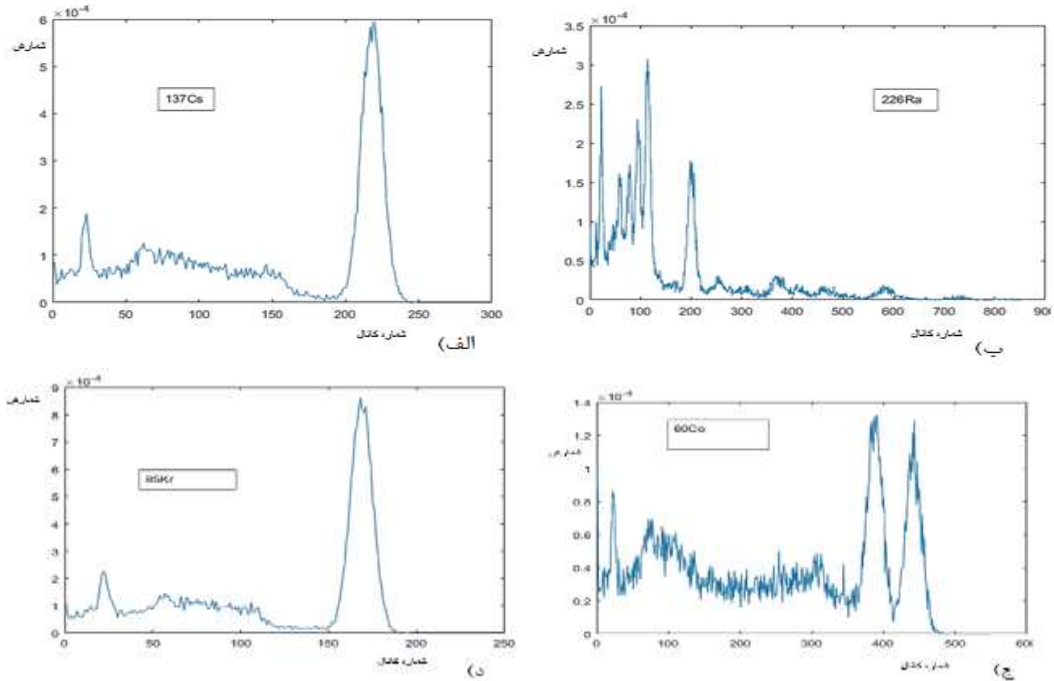
### روش کار :

برای سنجش دقت و کارایی الگوریتم گلد در تشخیص ایزوتوپ از چندین طیف مرکب شبیه‌سازی شده در کد MCNP4C استفاده شده است. طیف شبیه‌سازی شده آشکار ساز یدور سدیم  $3'' \times 3''$ ، شامل ۱۰۲۴ کانال است و طرح‌واره آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

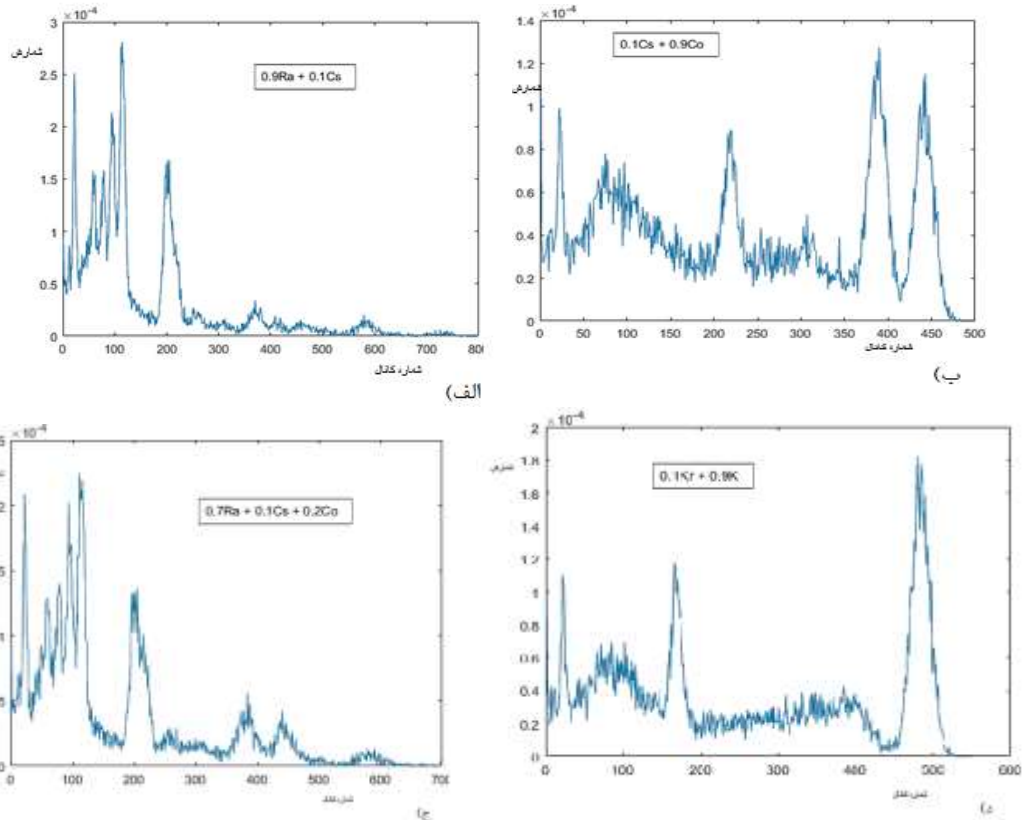


شکل ۱: طرح‌واره شبیه‌سازی شده (a) دوبعدی (b) سه بعدی آشکار ساز

شرح طیف‌های شبیه‌سازی شده برای چندین رادیوایزوتوپ مختلف به عنوان ماتریس پاسخ آشکار ساز در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: طیف گامای شبیه سازی شده برای الف)  $^{137}\text{Cs}$ ، ب)  $^{226}\text{Ra}$  و ج)  $^{85}\text{Kr}$  و  $^{60}\text{Co}$  طیف‌های شبیه‌سازی شده برای چندین ترکیب مختلف در شکل‌های مربوط به شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: طیف گامای شبیه سازی شده برای ترکیب الف)  $0.9 \text{ Ra} + 0.1 \text{ Cs}$ ، ب)  $0.9 \text{ Co} + 0.1 \text{ Cs}$ ، ج)  $0.7 \text{ Ra} + 0.1 \text{ Cs} + 0.2 \text{ Co}$  و د)  $0.1 \text{ Kr} + 0.9 \text{ K}$

در انتخاب رادیویزوتوپ‌ها از آخرین استانداردهای تعبیه شده در خصوص شناسایی رادیویزوتوپ نیز بهره برده شده است [۸]. الگوریتم گلد برای تشخیص رادیویزوتوپ‌های سهم در طیف‌های مرکب شکل (۳) مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه فرض شده است که تنها چشمه‌های پرتوزایی که امکان حضور در چشمه مرکب را دارند عبارتند از:  $^{137} \text{Cs}$ ،  $^{85} \text{Kr}$ ،  $^{22} \text{Na}$ ،  $^{40} \text{K}$ ،  $^{60} \text{Co}$  و  $^{226} \text{Ra}$ . به عبارت دیگر فقط چشمه‌های ذکر شده می‌توانند در طیف مرکب شبیه‌سازی شده سهم باشند.

### نتایج:

نتایج حاصل از اعمال الگوریتم گلد برای محاسبه سهم رادیویزوتوپ‌ها در یک ترکیب و مقادیر واقعی جهت مقایسه توانایی این الگوریتم در شناسایی رادیویزوتوپ و مقایسه آن با نتایج الگوریتم ژنتیک در جدول (۱) نشان داده شده است.



مقادیر نشان داده شده به صورت درصد نسبی می‌باشند. همچنین مقادیر حاصل از الگوریتم نیز برای مطابقت با داده های واقعی به همان ترتیب بهنجار شده اند.

جدول ۱: نتایج حاصل از الگوریتم گلد در تشخیص رادیویازوتوپ‌های سهمیم در طیف‌های مرکب شبیه‌سازی شده:

		CS	Kr	Na	K	Co	Ra
نمونه اول شکاف ۳	ترکیب واقعی	10	0	0	0	0	90
	Gold	10.22	0	0	0	0.41	89.18
	ژنتیک	8.22	0	0	0	0.40	91.40
نمونه دوم شکاف ۲	ترکیب واقعی	10	0	0	0	90	0
	Gold	9.65	0.02	1.00	0.05	89.06	0
	ژنتیک	11.1	0.90	0	0.08	87.92	0
نمونه سوم شکاف ۲	ترکیب واقعی	10	0	0	0	20	70
	Gold	10.37	0	0	0	20.80	68.88
	ژنتیک	9.35	0.05	0	0.37	21.32	69.11
نمونه چهارم شکاف ۳	ترکیب واقعی	0	10	0	90	0	0
	Gold	0.37	9.35	0.33	87.0 9	0.55	0.18
	ژنتیک	0.55	10.8 1	0.51	86.0 0	0.54	1.59

درصد خطای نسبی مقادیر ارائه شده در جدول (۱) محاسبه شده و جهت مقایسه در جدول (۲) ارائه گردیده است.

جدول ۲: مقادیر خطای نسبی برای الگوریتم گلد و ژنتیک

نمونه ها	درصد خطای نسبی میانگین	
	الگوریتم گلد	الگوریتم ژنتیک
نمونه اول	۱/۵۵	۹/۶۷
نمونه دوم	۱/۷۵	۵/۴۹
نمونه سوم	۳/۱	۴/۷۹
نمونه چهارم	۴/۸۶	۶/۲۷

بحث و نتیجه گیری :



همانطور که در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است، الگوریتم گلد به درستی توانسته درصد رادیویزوتوپ‌های مشارکت کننده در طیف‌های مرکب را شناسایی کند. در این مطالعه، الگوریتم گلد برای تشخیص رادیویزوتوپ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی عملکرد این روش، سه طیف گامای شبیه‌سازی شده مرکب از رادیویزوتوپ‌های مختلف با درصدهای ترکیبی متفاوت آنالیز شد. نتایج حاصل در مقایسه با الگوریتم ژنتیک نشانگر دقت و کارایی بالای این روش در تشخیص حضور و یا عدم حضور رادیویزوتوپ مورد نظر در ترکیب و همچنین فراوانی هر یک از رادیویزوتوپ‌های موجود در چشمه مرکب را دارد. بنابراین می‌توان از الگوریتم گلد با دقت و کارایی بالا در تشخیص رادیویزوتوپ بهره برد.

#### مراجع :

- [1] Giang Nguyen Ninh, et al; “Radioisotope identification method for poorly resolved gamma-ray spectrum of nuclear security concern ”; *AIP Conference Proceedings*, 1704, 050005, (2016).
- [2] Jianping Hea, et al; “Rapid radionuclide identification algorithm based on the discrete cosine transform and BP neural network”; *Annals of Nuclear Energy*, 112, 1-8, (2018).
- [3] M. Alamaniotis, J. Mattingly, and L. H. Tsoukalas, “Pareto-optimal gamma spectroscopic radionuclide identification using evolutionary computing”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 60, no. 3, pp. 2222–2231, (2013).
- [4] Burr. T, et al; “Radio-Isotope Identification Algorithms for NaI Gamma Spectra”; *Algorithms*, 2, 339-360, (2009).
- [5] Alizadeh, D. Ashrafi, S; “New hybrid metaheuristic algorithm for scintillator gamma ray spectrum analysis”; *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A. 915, 1-9 (2019).
- [6] M. Alamaniotis, A. Heifetz, A. C. Raptis, and L. H. Tsoukalas, “Fuzzy logic radioisotope identifier for gamma spectroscopy in source search” *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 60, no. 4, pp. 3014–3024, (2015).
- [7] M. Morhac, et al., “High-resolution boosted deconvolution of spectroscopic data”, *Journal of computational and applied mathematics*, vol. 325, no. 6, pp. 1629-1640, (2015).
- [A] American National standard Performance Criteria for Hand-held Instruments for Detection and Identification of Radionuclides (ANSI N42.34).