فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱، (پیاپی ۱۰): صص ۲۹-۳۹

نقش آشکارسازی ایزوتوپ‌های زینون در پدافند غیرعامل هسته‌ای

محمد حیدرپور اهوازی[۱]
منصور عسکری[۲]
محسن شایسته[۲]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۵/۰۸

چکیده

زینون یکی از محصولات شکافت است که با ایزوتوپ‌های مختلفش در راکتورهای هسته‌ای و انفجارات هسته‌ای تولید می‌شود. با تعیین نسبت بین ایزوتوپ‌های خاص این عنصر می‌توان منشأ تولید این ایزوتوپ‌ها اعم از یک انفجار هسته‌ای (که به‌صورت آنی تولید می‌شوند) و نشت از یک راکتور یا زباله‌های هسته‌ای را مشخص کرده و زمان وقوع حادثه را نیز تعیین کرد. این مقاله به چگونگی روش اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های مختلف زینون، تولید طیف‌های مربوط به منابع مختلف تولیدکننده زینون با استفاده از کد MCNP، به‌دست آوردن فعالیت و نسبت‌های فعالیت رادیو ایزوتوپ‌های مختلف زینون و دسته‌بندی آن‌ها برای تعیین منبع تولیدکننده به کمک شبک عصبی به‌منظور طراحی یک سیستم اعلام خبر می‌پردازد.

کلیدواژه‌ها: زینون، نسبت ایزوتوپی، آشکارسازی، MCNP، شبکه عصبی، سیستم اعلام خبر

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای m_h.ahvazi@yahoo.com - نویسنده مسئول
۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده و پژوهشکده علوم پایه- دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱- مقدمه

به پیش‌بینی‌های صورت گرفته جهت کاهش احتمال یا به حداقل رساندن تأثیرات خسارت بر اثر اقدامات خصمانه بدون این که قصد گرفتن ابتکار عمل را داشته باشیم پدافند غیرعامل گفته می‌شود. هدف از اجرای طرح‌های پدافند غیرعامل، کاستن از آسیب‌پذیری نیروی انسانی و مستحدثات و تجهیزات حیاتی و حساس و مهم کشور علیرغم حملات خصمانه و مخرب دشمن و استمرار فعالیت‌ها و خدمات زیربنایی و تأمین نیازهای حیاتی و تداوم اداره کشور در شرایط بحرانی ناشی از جنگ است. حوزه‌های پدافند غیرعامل به بخش‌هایی مانند ارتباطات و مخابرات، بهداشت و سلامت عمومی، دفاعی و نظامی، آب و برق، نفت و گاز و سوخت، آمایش، معماری و شهرسازی، استحکامات و سازه‌های امن، صنعت ملی و دفاعی، مالی و بانکی و بازرگانی، رسانه و صدا و سیما، حمل‌ونقل، مدیریت بحران دفاعی و غیره تقسیم‌بندی می‌شود.

مجموعه پیش‌بینی‌های دفاعی، که نیروهای خودی را قادر می‌سازد تا در برابر استفادهٔ دشمن از تجهیزات هسته‌ای، زیستی و شیمیایی (NBC)[1] مقاومت نمایند، پدافند غیرعامل NBC گفته می‌شود. نیروهای دشمن ممکن است در کنار سلاح‌های متعارف، از سلاح‌های نامتعارف از جمله سلاح‌های هسته‌ای نیز استفاده نماید. اقدامات پیش‌بینی شده به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری یا به حداقل رساندن اثرات سلاح‌های کشتار جمعی را پدافند غیرعامل در مقابل سلاح‌های کشتار جمعی می‌نامند. اقدامات به‌کار گرفته شده جهت مقابله با سلاح‌های هسته‌ای را می‌توان به سه مرحله تقسیم کرد:

الف) ممانعت از گسترش و تکثیر سلاح‌های هسته‌ای

ب) عملیات ضد تکثیر

پ) مدیریت عواقب کاربرد سلاح‌های هسته‌ای

روش‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و فرایندهایی که مرتبط با ایجاد و اجرای پیش‌بینی‌های دفاعی در برابر اثرات تهاجم با سلاح‌های هسته‌ای و تشعشعات هسته‌ای انجام می‌گیرند را پدافند هسته‌ای می‌نامند. این امر دربردارندهٔ آموزش و پیاده‌سازی روش‌ها، طرح‌ها و فرایندها می‌باشد.

با توجه به وجود تهدیدات بالقوه هسته‌ای از طرف دشمن و همچنین وجود تأسیسات هسته‌ای در داخل و یا در نزدیکی مرزهای کشور و احتمال وقوع حوادث پیش‌بینی نشده برای آنان، اهمیت حفظ آمادگی در پدافند هسته‌ای برای کشور احساس می‌شود. از جمله عوامل مهم در پدافند هسته‌ای، تعیین محل دقیق و مشخص نمودن نوع منبع آلودگی رادیواکتیو می‌باشد. برای شناسایی محل چشمه، مدل انتقال اتمسفری تهیه می‌شود و با کمک آن مسیر و نحوه انتشار آلودگی پیش‌بینی می‌گردد. این مدل متأثر از عواملی مانند ریزش‌های جوی، موقعیت جغرافیایی، مسیر باد و دیگر عوامل می‌باشد.

۲- گاز زینون و نقش آن در آشکارسازی حوادث هسته‌ای

برای اطلاع از وقوع یک انفجار هسته‌ای می‌توان از آشکارسازی گاز زینون استفاده کرد. سیگنال‌های لرزه، هیدروآکوستیک و مادون صوت می‌توانند بیانگر رخداد یک حادثه باشند، اما فقط حضور محصولات شکافت با نیمه عمر کوتاه، دلیلی انکارناپذیر بر رخداد یک انفجار هسته‌ای می‌باشد. در صورتی که حتی این انفجار هسته‌ای یک تست مخفیانه باشد که برای کمینه‌سازی نشانه‌های آن آزمایش در زیر زمین، زیر آب یا در طوفان باران در اقیانوس انجام گیرد. تحت این شرایط هم رادیونوکلئیدهای گازی از جمله رادیوایزوتوپ‌های زینون (^{133}Xe, ^{135}Xe & ^{133m}Xe) می‌توانند مدرک قاطع و نهایی برای رخداد یک انفجار هسته‌ای باشند. به‌دلیل خنثی بودن و فرّار بودن رادیوایزوتوپ‌های زینون، آن‌ها در مقادیر قابل توجهی وارد اتمسفر می‌شوند. به‌دلیل رقیق‌شدگی و نیز نیمه عمر پایین این رادیوایزوتوپ‌ها نیاز به سیستمی با حساسیت بالا جهت آشکارسازی و اندازه‌گیری آن‌ها می‌باشد. اندازه‌گیری ^{135}Xe تن‌ها علامت مهم در تمایز منشأ رادیوزینون‌های حاصل از انفجار هسته‌ای نسبت به سایر منابع می‌باشد. با توجه به نیمه عمر بسیار کوتاه این ایزوتوپ (۹/۱۰ h) نیاز به بازه‌های نمونه‌برداری کوتاه و آنالیز سریع همراه با سیستم حساس می‌باشد. به‌دلیل عبور چند ساعته یک توده رادیواکتیو از محل پایش و آمیختگی آن‌ها با سایر عناصر و ذرات نیاز به بازه‌های نمونه‌برداری کوتاه و در پی آن خالص‌سازی و آنالیز سریع جهت بیشینه نمودن نسبت سیگنال به زمینه می‌باشد. منابع دیگری مانند راکتورهای هسته‌ای، مراکز پردازش سوخت، و تولید و مصرف رادیوایزوتوپ‌های پزشکی جهت تولید رادیوایزوتوپ‌های زینون وجود دارد که باعث افت حساسیت سیستم آشکارسازی و اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین، اندازه‌گیری و تحلیل ایزوتوپ‌های زینون می‌تواند برای اعلام خبر[2] به‌عنوان یکی از اصول پدافند غیرعامل مورد استفاده قرار گیرد. در معاهده CTB، نیز برای راستی‌آزمایی از آشکارسازهای این ایزوتوپ استفاده می‌شود.

دستیابی به نسبت ایزوتوپی رادیوایزوتوپ‌های زینون امکان تمایز دو رخداد انفجار هسته‌ای و غیر هسته‌ای را ممکن ساخته اما نیاز به سیستم‌های با حساسیت بالا و با تابش زمینه پایین دارد. در این تحقیق به معرفی یکی از سیستم‌های اندازه‌گیری زینون ساخت کشور فرانسه و با نام تجاری SPALAX می‌پردازیم. به طور کلی در این سیستم، اندازه‌گیری غلظت ایزوتوپ‌های زینون پس از طی چندین

1- Nuclear, Biologic, Chemical

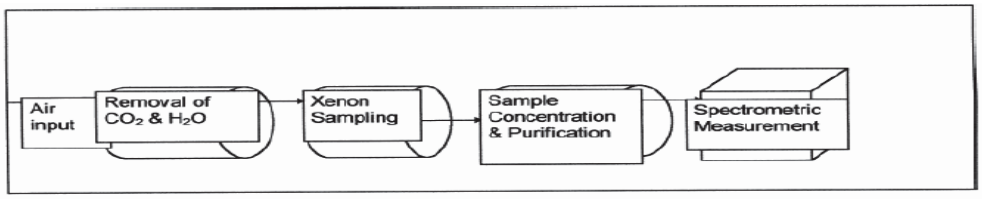
2- Early Warning

مرحله پشت سر هم انجام می‌گیرد (شکل ۱) [۱]. ابتدا نمونه‌برداری هوا انجام گرفته و به منظور افزایش میزان برآشامیدگی یا جذب سطحی زینون بر روی ذغال فعال شده پیش پردازشی انجام می‌گیرد تا CO_2 و H_2O از هوا حذف شوند. زیرا آن‌ها با برآشامیدگی بر روی ذغال باعث کاهش ظرفیت برآشامیدگی ذغال برای جذب زینون می‌شوند. بعد از حذف CO_2 و H_2O، گاز حاوی زینون به‌منظور تغلیظ و خالص‌سازی در مرحله بعد پردازش می‌شود و در نهایت، اندازه‌گیری گامای نمونه خالص‌سازی شده انجام می‌گیرد [۱].

مبنای کار برای غنی‌سازی زینون بر جذب سطحی زینون بر روی ذغال فعال شده می‌باشد. بسته به نیروهای واندروالسی، زینون نسبت به سایر گازهای اتمسفری بر روی ذغال فعال شده بهتر برآشامیده می‌شود. بنابراین، برآشامیدگی بر روی ذغال فرایند گزینشی است که غلظت زینون را در گاز نمونه‌گیری شده افزایش می‌دهد [۱]. چهار ایزوتوپ مذکور دارای ویژگی‌های واپاشی رادیواکتیو منحصر بفردی هستند که تمایز آن‌ها را از سایر منابع به کمک یک سیستم آشکارسازی مناسب میسر می‌سازد.

۳ – سیستم اندازه‌گیری گاز زینون

در سیستم SPALAX، زینون اتمسفری با بازدهی بالایی جمع‌آوری و تغلیظ می‌شود؛ غلظت رادون در انت‌های فرایند کاهش می‌یابد و می‌تواند به‌طور همزمان چهار ایزوتوپ مورد نظر زینون (^{131m}Xe, ^{133m}Xe ^{133}Xe,^{135}Xe) را آشکار نماید. اساساً این سیستم از بخش‌های زیر تشکیل شده است: نمونه‌برداری، تغلیظ و خالص‌سازی، تغلیظ نهایی و آشکارسازی.



شکل ۱- مراحل اندازه‌گیری زینون

جدول ۱- نیمه عمر، بهره شکافت، تابش و فراوانی تابش محصولات شکافت زینون[۳]

Nuclide			^{131m}Xe	^{133m}Xe	^{133}Xe	^{135}Xe
Half-life			11.93 d	2.19 d	5.25 d	9.14 h
Fission yield	Independent (%)		2.41×10^{-7}	4.23×10^{-3}	1.46×10^{-3}	1.20×10^{-1}
	Cumulative (%)		4.51×10^{-2}	1.98×10^{-1}	6.72×10^{0}	6.60×10^{0}
Photon emission	γ- ray	Energy(keV)	163.9	233.2	81.0	249.8
		Abundance (%)	1.96	10.3	37.0	90.0
	X-ray (K-shell)	Energy(keV)	30	30	31	31
		Abundance (%)	54.05	56.3	48.9	5.2
	X-ray (L-shell)	Energy(keV)	4.3	4.3	4.5	4.5
		Abundance (%)	7.2	6.8	5.2	0.6
Particles emission	Beta spectrum	Max. Energy(keV)	---	---	346	905
		Ave. Energy(keV)	---	---	99	300
		Abundance (%)	---	---	99	97
	Conversion Electron (K-shell)	Energy(keV)	129	199	45	214
		Abundance (%)	60.7	63.1	54.1	5.7
	Conversion Electron (L-shell)	Energy(keV)	159	229	75	245
		Abundance (%)	37.4	26.9	8.4	1.1

۳-۱- نمونه برداری

هدف از نخستین مرحله فرایند، نمونه‌برداری با آهنگ جریان بالا از هوای محیط و تولید مخلوط گازی برای برآشامیدگی بر روی ذغال فعال‌شده به‌منظور حذف O_2، CO_2 و بخار آب می‌باشد.

هوای نمونه‌برداری شده ابتدا تا زیر ۹×۱۰^{۵}bar فشرده و با غشاء خشک‌کننده (دمای شبنم ۲۵ºC-) خشک می‌شود. آهنگ جریان ورودی هوای خشک شده $۱۵m^3.h^{-1}$ می‌باشد. در ادامه به درون یک غشاء تراوای پلیمری وارد می‌شود. از آنجا که نفوذ/تراوش اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و بخار آب از دیواره‌های فیبر نسبت به تراوش نیتروژن و زینون ساده‌تر است، پس هوای وارد شده به سر غشاء تدریجاً از نظر محتوای نیتروژن و زینون غنی‌شده و از نظر محتوای اکسیژن، دی اکسید کربن و بخار آب فقیر می‌شود. در خروجی جذبی غشاء، مخلوط گازی شامل ۹۹/۹۹٪ حجمی نیتروژن با کمتر از ۲۰۰ppm حجمی اکسیژن، کمتر از ۱۰ppm حجمی دی اکسید کربن و کمتر از ۵۰ ppm آب می‌باشد. غلظت زینون ۱۲ برابر شده است (یعنی از ۰/۰۸۷ ppm حجمی در هوای محیط به حدود ۱ ppm حجمی در خروجی غشاء می‌رسد). مزیت‌های اصلی این طراحی عبارت‌اند از: تولید پیوسته ازت تقریباً خالص (۹۹/۹۹٪< V) با زینون پیش غنی‌سازی‌شده، حذف تقریباً کامل بخار آب، دی اکسید کربن و اکسیژن که در برآشامیدگی مرحله بعد بسیار مزاحم می‌باشند.

۳-۲ - تغلیظ و خالص‌سازی

هدف از دومین مرحله، عبارت است از گیراندازی همه زینون‌های تولید شده در مرحله نمونه برداری، خالص‌سازی آن از رادون و تغلیظ آن تا جایی که میسر باشد. رادون یک گاز رادیواکتیو طبیعی موجود در هوا است که حضور آن در اندازه گیری‌های گاما باعث افزایش تابش زمینه می‌گردد. این مرحله متشکل از دو ستون برآشامنده (C۱ و C۲) است که در درون کوره‌های لوله‌ای[1] فرو رفته‌اند. دو ستون موازی بوده و چرخه‌های گیراندازی و احیاء متناوب را ایجاد می‌کند: وقتی یکی از آن‌ها در مرحله گیراندازی زینون است، دیگری در مرحله رهاسازی زینون می‌باشد. هر گیراندازی و رهاسازی دو ساعت به طول می‌انجامد.

جاذب به‌کار رفته، ذغال فعال شده است که دارای سطح جذب خیلی زیاد ($۲۵۰۰m^2.g^{-1}$) است و جاذب خاص زینون و رادون در مخلوط گازی از گاز بی اثر و ازت خالص می‌باشد. گیراندازی می‌تواند در دمای محیط و تحت فشار ۸×۱۰^{۴}Pa انجام بگیرد. یکی از مزیت‌های اصلی این سیستم، عدم استفاده از گیراندازنده سرمایشی رایج است.

تغلیظ و خالص‌سازی از رادون با طراحی خاص کوره‌ها انجام می‌گیرد. هر کوره به سه قسمت حرارتی تقسیم می‌شود. هریک از آن‌ها برای جذب سطحی گازهای بی‌اثر تحت جریان متوسط N_2 در دمای ۲۵۰°C گرم می‌شوند و در ادامه، جذب سطحی بر ذغال فعال در قسمت بعدی گرم‌کننده انجام می‌گیرد. این طراحی دو مزیت دارد: ۱) این طراحی به‌دلیل کاهش مقدار ذغال حاوی زینون گیراندازی شده پیش از برآشامیدگی نهایی با گرم نمودن قسمت سوم، اجازه تغلیظ بیشتر زینون را می‌دهد. ۲) این طراحی به دلیل برآشامیدگی ساده‌تر زینون نسبت به رادون در دمای ۲۵۰ °C، به شدت غلظت رادون را در انت‌های چرخه برآشامیدگی کاهش می‌دهد. بنابراین، با این طراحی یک نوع کروماتوگرافی زینون- رادون با سه قسمت حرارتی در کوره‌ها ایجاد شده است. جریان ازت خالص مصرفی برای جذب سطحی توسط خود سیستم در طی مراحل گیراندازی به‌طور مداوم تولید می‌شود. مزیت‌های اصلی این طراحی عبارت‌اند از: عدم نیاز به سیستم خنک‌کننده سرمایشی، عدم نیاز به گاز حامل خارجی، انجام گیراندازی در دمای محیط و تولید گاز حامل نیتروژن توسط خود سیستم.

۳-۳- تغلیظ نهایی

هدف از سومین مرحله، تغلیظ بیشتر زینون می‌باشد. ماده جاذب دیگری برای دو ستون C۳ و C۴ در نظر گرفته شده است. این دو ستون با صافی‌های مولکولی و جاذبی که سطح جذب بسیار بالا نسبت به ذغال فعال دارد، پر شده‌اند. در اینصورت، مقدار ماده جاذب سطحی به شدت کاهش یافته و در نتیجه، حجم ازت لازم برای حذف زینون گیراندازی شده به شدت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، عملیات جذب سطحی و احیاء می‌تواند در فشار اتمسفر انجام گیرد. دمای احیاء ۳۲۰ °C می‌باشد. همه فعالیت‌های چرخه جذب سطحی و احیاء با ستون‌های C۱، C۲ و C۳ در مدت ۲ ساعت برای زینون در ستون C۴ به مدت ۲۴ ساعت انباشته می‌شود.

یک بار در روز، زینون گیراندازی شده در ستون C۴ به مدت ۲۴ ساعت با احیاء حرارتی و انبساط طبیعی به سلول شمارش مستقر در کریستال Ge منتقل می‌شود. حجم زینون پایدار به‌دست آمده برای ۲۴ ساعت نمونه برداری در حدود $۷/۵cm^3$ می‌باشد. حجم هوای معادل نمونه برداری شده برای دستیابی به حجم $۷/۵cm^3$ زینون در حدود $۸۰cm^3$ است. در نهایت، فاکتور تغلیظ زینون برای کل فرایند بیشتر از ۳×۱۰^{۶} می‌باشد.

۳-۴- آشکارسازی

آشکارسازی ایزوتوپ‌های مورد نظر با طیف‌سنج گاما با تابش زمینه پایین مجهز به آشکارساز HPGe با قدرت تفکیک بالا انجام می‌گیرد. این آشکارساز با کرایستات الکتریک خنک می‌شود. با استفاده از طیف‌سنجی گاما همه چهار رادیو ایزوتوپ مورد بررسی زینون بطور مستقیم با قدرت تفکیک بالا آشکار می‌شوند. در پایان شمارش، محتوای سلول شمارش به سلول بایگانی ارسال می‌شود. در طول این

1- Tubular Ovens

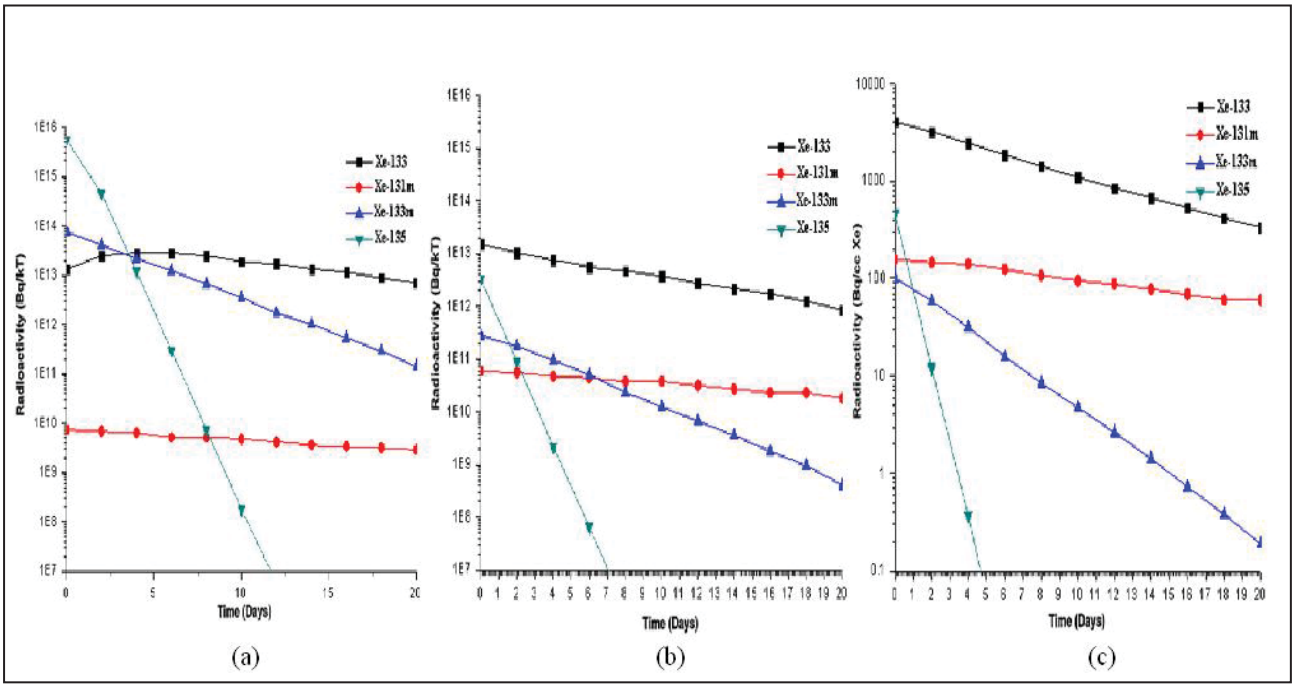
انتقال، کل حجم زینون پایدار با آشکارساز رسانای حرارتی[1] تعیین می‌شود. با احتساب فراوانی طبیعی زینون در هوا (۰/۰۸۷ ppm در دمای صفر درجه و فشار 10^5Pa)، محاسبه فعالیت حجمی C(nXe) هر رادیو ایزوتوپ زینون nXe برحسب Bq/cm^3 در هوا با رابطه زیر انجام می‌گیرد:

$$C(nXe)= 0/087(A(nXe)/V(Xe))$$

که V(Xe) حجم زینون پایدار(بر حسب cm^3) و A(nXe) فعالیت اندازه‌گیری شده برای ایزوتوپ nXe (بر حسب Bq) است.

۴- شبیه‌سازی

منابع اصلی تولیدکننده زینون انفجار، راکتور و تولید رادیو داروها می‌باشند. به‌منظور انجام این تحقیق از داده‌های موجود در یکی از مقالات منتشر شده توسط سازمان CTBT که حاوی اطلاعاتی در مورد فعالیت ایزوتوپ‌های زینون ناشی از منابع مختلف است استفاده می‌نماییم[۲]. تنها منبع حاوی اطلاعات در مورد انفجارات هسته‌ای در دسترس نگارندگان، مقاله مذکور می‌باشد. این اطلاعات در قالب نمودار تغییرات فعالیت بر حسب زمان برای هریک از منابع تولید کننده زینون آمده است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ORIGIN مقادیر فعالیت را در زمان‌های مختلف، از نمودارها استخراج می‌نماییم. سپس در هر لحظه مقادیر فعالیت هر یک از ایزوتوپ‌های زینون را نسبت به فعالیت مجموع ۴ ایزوتوپ محاسبه می‌نماییم و این مقادیر را به عنوان ضرایب انرژی در کد MCNP وارد می‌کنیم و طیف‌های هریک از این ایزوتوپ‌ها را به‌دست می‌آوریم. همان‌طور که می‌دانیم برای به‌دست آوردن فعالیت هر ایزوتوپ، به طیف به‌دست آمده از آشکارساز نیاز داریم. بدین‌منظور به کمک اطلاعات موجود و شبیه‌سازی با استفاده از تالی F8 کد MCNP طیف‌های مورد نیاز را تولید می‌کنیم. در مرحله بعد مقادیر فعالیت را با استفاده از طیف‌ها به‌دست می‌آوریم. سپس با اندازه‌گیری فعالیت هر یک از این ایزوتوپ‌ها و به‌دست آوردن نسبت بین آن‌ها طی هر ۱۲ ساعت و با آموزش آن‌ها به شبکه عصبی بین منابع تولیدکننده زینون تمیز می‌دهیم. با توجه به توضیحات فوق، در ابتدا با استفاده از کد MCNP و براساس داده‌های موجود در مقالات طیف‌های مربوط به انفجار، راکتور و تولید رایوداروها را به‌دست می‌آوریم.



شکل ۲- تغییرات فعالیت زینون ناشی از راکتور (a)، انفجار (b) و تولید رادیو دارو(c) بر حسب زمان

1- Thermal Conductivity Detector

برای تولید طیف با استفاده از کد MCNP باید مراحل زیر طی گردد: ابتدا باید بتوانیم شکل آشکارساز را با کد MCNP شبیه‌سازی کنیم. آشکار ساز استفاده شده در این پژوهش یک آشکارساز HPGe، P-type Coaxial می‌باشد. طبق مشخصات ذکر شده در کاتالوگ، آشکارساز دارای کریستالی به شعاع ۶ و ارتفاع ۶ سانتیمتر می‌باشد. روی سطح جلویی این آشکارساز لایه بریلیومی به ضخامت ۰/۱ سانتیمتر قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی فضایی که چشمه در آن قرار گرفته است دایره‌ای به شعاع ۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. چگالی Ge برابر ۵/۳۲۳ g/cm^3 و چگالی بریلیوم برابر g/cm^3 ۱/۸۵ می‌باشد. برای گرفتن جواب باید در این مرحله نوع ذره، چشمه و ویژگی‌های آن، جنس آشکارساز و دستوری برای تولید طیف را استفاده کرد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. برای مدل کردن ارتفاع پالس که در آشکارساز شکل می‌گیرد از دستور F8 در کد MCNP استفاده می‌گردد. تالی ارتفاع پالس همانند یک آشکارساز عمل می‌نماید. یعنی انبارک‌های انرژی F8 درست همانند انرژی است که یک ذره فیزیکی در کانال‌های خصوص یک آشکارساز از دست می‌دهد. اگر فقط از کارت F8 برای شبیه‌سازی استفاده کنیم قله انرژی شبیه‌سازی شده به‌صورت یک تک‌پالس در قله انرژی می‌باشد. برای حل این مشکل از کارت E8 استفاده می‌کنیم. در این کارت، بازه انرژی که در آن طیف‌نگاری انجام می‌گیرد نیز مشخص می‌شود. لذا داریم:

E8 0 1024i 0.280

در دستور ذکر شده، بازه انرژی از ۰kev تا ۲۸۰kev می‌باشد که در این بازه ۱۰۲۴ انبارک انرژی در نظر گرفته شده است. بدین‌منظور ابتدا باید مشخص گردد کد MCNP چگونه می‌تواند یک منحنی گاوسی را بازسازی کند. در کد MCNP برای این منحنی فرم زیر در نظر گرفته شده است:

$$f(E) = Ce^{-\left(\frac{E-E_0}{A}\right)^2}$$

که در آن E پهنای انرژی مورد استفاده قرار گرفت (0 kev تا 280 kev)، E یک قله انرژی (در SDEF مشخص گردیده است) C ثابت نرمالیزه و A پهنای گاوسی با فرمول زیر می‌باشد:

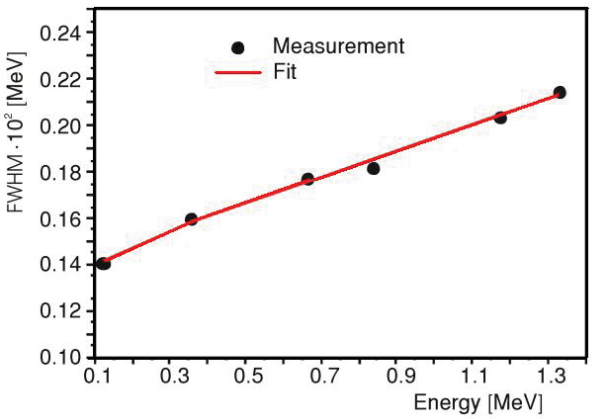
$$A = \frac{FWHM}{2\sqrt{\ln 2}} = 0/0005612 \times FWHM$$

برای به‌دست آوردن FWHM داریم:

$$FWHM = a \mid b\sqrt{E \mid cE^2}$$

کد MCNP برای تولید تابع پاسخ، نیاز به اعمال FWHM از طریق کاربر دارد. این قابلیت با استفاده از دستور FT8 با پارامترهای GEB(a,b,c) به کد اعمال می‌گردد. تعداد ذراتی که باید کد تاریخچه آن‌ها را دنبال کند با دستور NPS مشخص می‌گردد که در این برنامه ۵/۰۰۰/۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که گفته شد برای ساخت ورودی مناسب برای کد MCNP باید FWHM در چند انرژی تعیین شود.در شکل (۴)، FWHMهای اندازه‌گیری شده برحسب انرژی نشان داده شده است. برای به‌دست آوردن پارامترهای a,b,c باید مقادیر مشخص شده FWHM بر حسب انرژی را در رابطه بالا قرار دهیم.



شکل ۳- FWHM اندازه‌گیری شده در انرژی‌های مختلف

مقادیر c,b,a به‌دست آمده باتوجه به شکل (۳) برابر است با:

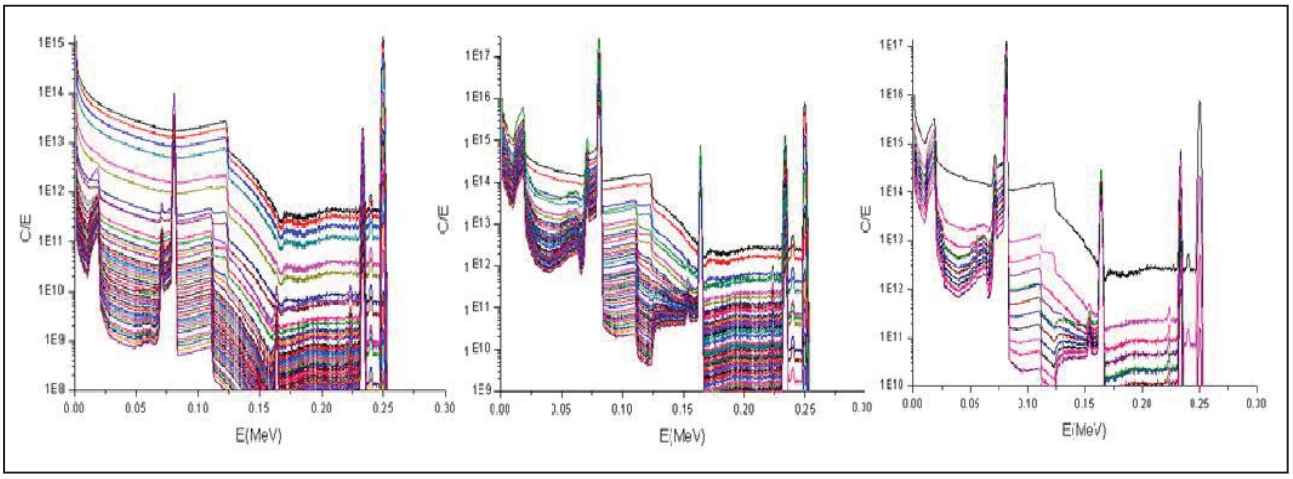
a = 1.249735E–3
b = 4.454468E–4
c = 1.465648

با انجام این کار می‌توانیم کلیه اطلاعات لازم برای کد MCNP را تهیه کرده و پاسخ مناسب را از خروجی کد دریافت کنیم.

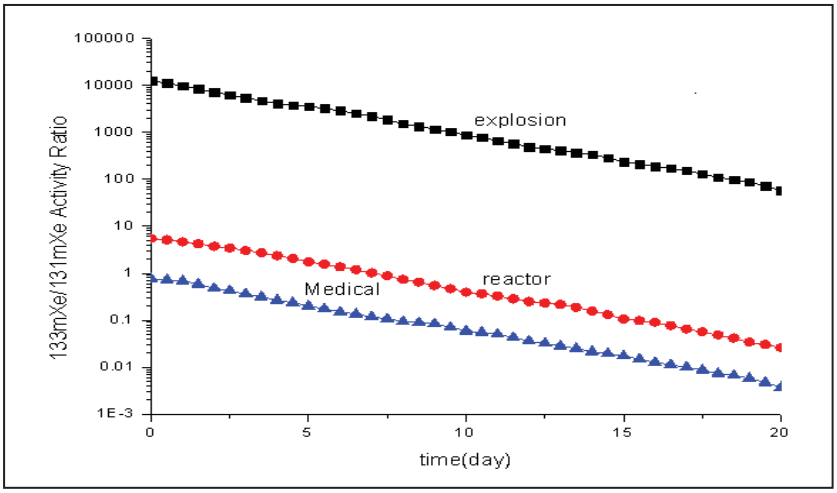
اگر در لحظه‌ای که اندازه‌گیری انجام می‌پذیرد تعداد ذرات واپاشیده را برای هر ایزوتوپ داشته باشیم می‌توانیم از رابطه زیر فراوانی هر انرژی را برای ایزوتوپ متناظرش وارد کنیم.

$$\text{فراوانی انرژی} = \frac{\text{تعداد ذرات واپاشیده شده برای هر ایزوتوپ}}{\text{تعداد کل ذرات واپاشیده شده در مخلوط}} \times ۱۰۰$$

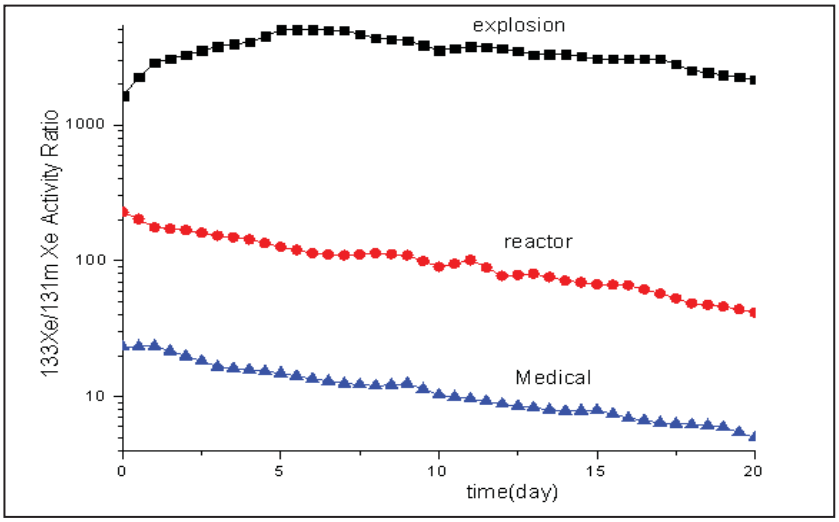
در مر حله بعد با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای فعالیت هر یک از ایزوتوپ‌های زینون در هر نمونه‌برداری، نسبت فعالیت‌ها را به‌دست می‌آوریم.



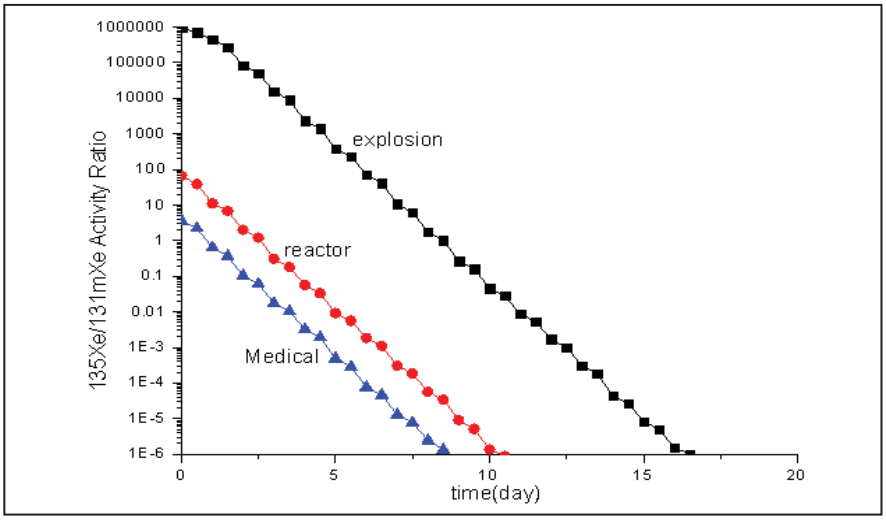
شکل ۴- طیف‌های تولید شده برای انفجار، راکتور و تولید رادیو دارو برای روزهای مختلف



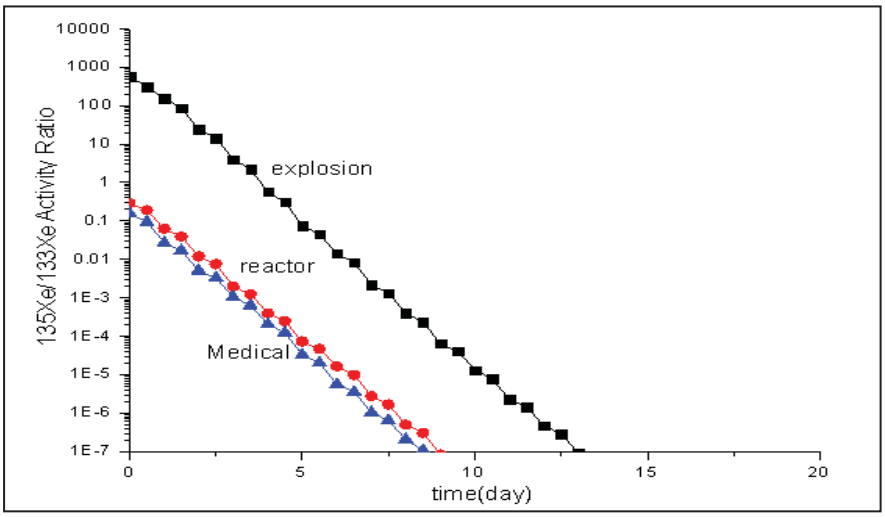
شکل ۵- تغییرات نسبت فعالیت ایزوتوپ‌های $\frac{^{133m}Xe}{^{131m}Xe}$ بر حسب زمان برای انفجار، راکتور و تولید رادیو داروها برای مقاصد پزشکی



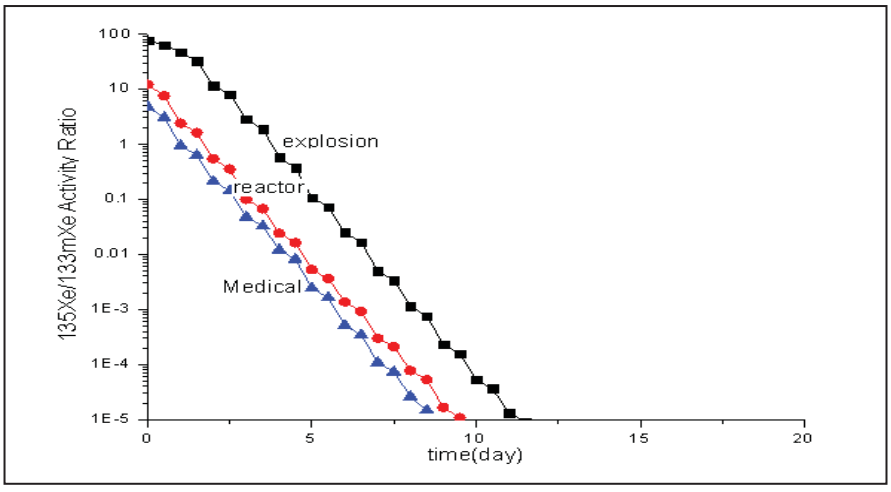
شکل ۶- تغییرات نسبت فعالیت ایزوتوپ‌های $\frac{^{133}Xe}{^{131m}Xe}$ بر حسب زمان برای انفجار، راکتور و تولید رادیو داروها برای مقاصد پزشکی



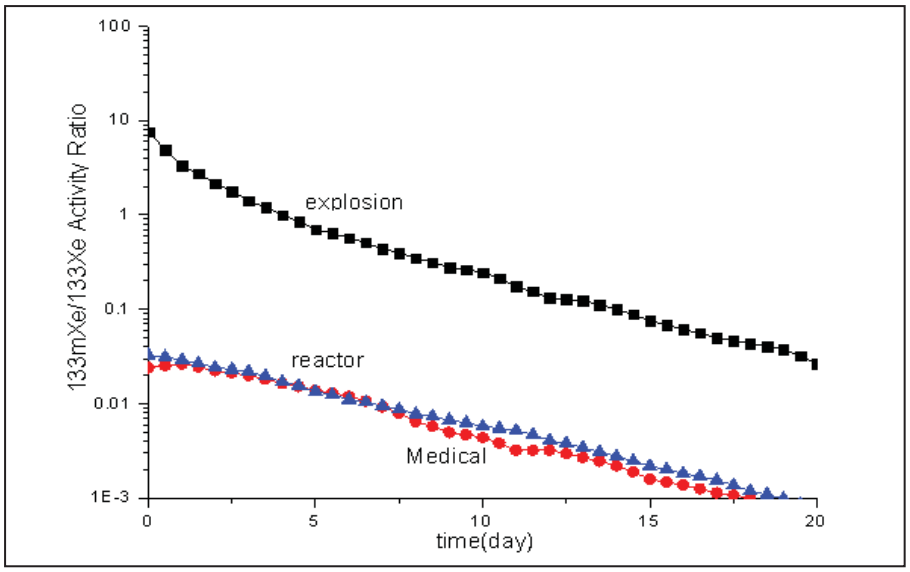
شکل ۷-تغییرات نسبت فعالیت ایزوتوپ‌های $\frac{^{135}Xe}{^{131m}Xe}$ بر حسب زمان برای انفجار، راکتور و تولید رادیو داروها برای مقاصد پزشکی



شکل ۸- تغییرات نسبت فعالیت ایزوتوپ‌های $\frac{^{135}Xe}{^{133}Xe}$ بر حسب زمان برای انفجار، راکتور و تولید رادیو داروها برای مقاصد پزشکی



شکل ۹- تغییرات نسبت فعالیت ایزوتوپ‌های $\frac{^{135}Xe}{^{133m}Xe}$ بر حسب زمان برای انفجار، راکتور و تولید رادیوداروها برای مقاصد پزشکی



شکل ۱۰- تغییرات نسبت فعالیت ایزوتوپ های $\frac{^{133m}Xe}{^{133}Xe}$ بر حسب زمان برای انفجار، راکتور و تولید رادیو داروها برای مقاصد پزشکی

۴-۱- تولید شبکه به کمک MATLAB

به‌طور کلی، تمامی روش‌های تشخیص الگو، قابلیت دسته‌بندی الگوها را دارند. یکی از این روش‌ها، شبکه عصبی می‌باشد. از جمله ویژگی‌های بارز شبکه عصبی، دسته‌بندی مسایلی با متغیرهای زیاد است. در ادامه این پژوهش از شبکه عصبی استفاده می‌نماییم. در ابتدا باید نسبت‌های به‌دست آمده را به‌عنوان ورودی به شبکه عصبی آموزش دهیم تا شبکه عصبی بر اساس آموزش‌های داده شده منابع تولید کننده زینون را از یکدیگر تمیز دهد.

بدین منظور، از toolbox نرم‌افزار MATLAB استفاده می‌نماییم. نسبت‌های به‌دست آمده از فعالیت ایزوتوپ‌ها که در ۶ ردیف و ۱۱۱ ستون می‌باشد را به عنوان ورودی شبکه تعریف می‌کنیم. ردیف‌های این ورودی، همان نسبت‌های فعالیت به‌دست آمده می‌باشد و ستون‌ها مقدار هر کدام از این نسبت‌های فعالیت طی هر ۱۲ ساعت می‌باشد، که تعداد ۱۲ ستون از آن‌ها به‌صورت تصادفی برای انجام شبیه‌سازی به وسیله شبکه عصبی انتخاب و جدا شده‌اند. این روزها عبارت‌اند از :

روزهای ششم، دوازدهم، چهاردهم و هیجدهم انفجار، روزهای سوم، هفتم، دهم و سیزدهم راکتور و روزهای چهارم، نهم، چهاردهم و نوزدهم تولید رادیو داروها.

۴-۲- آموزش اطلاعات به شبکه عصبی

هنگامی که مقادیر اولیه وزن‌ها شکل می‌گیرد، شبکه، آماده آموزش می‌شود. پروسه آموزش به تعداد مناسب ورودی و هدف نیازمند است. در طی پروسه آموزش، وزن‌های شبکه به‌طور متناوب برای کمینه کردن حداقل مربعات خطا سیگنال خروجی از شبکه و سیگنال هدف) تنظیم می‌شود. اطلاعات ورودی به شبکه شامل نسبت‌های فعالیت ایزوتوپ‌های زینون می‌باشد که با کد MCNP شبیه‌سازی شده‌اند (در پیوست به اطلاعات مربوط به نسبت‌های فعالیت ایزوتوپ‌های زینون اشاره شده است).

در اینجا هدف ما دسته‌بندی منابع تولیدکننده زینون بر اساس نسبت‌های فعالیت ایزوتوپ‌های زینون می‌باشد. بردار هدفی را که برای هر کدام از منابع تولید کننده زینون قرارداد کرده‌ایم به شرح زیر می‌باشد:

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$ انفجار

$$T_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$ راکتور

$$T_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$ تولید رادیو داروها

در مرحله بعد از حالت پس‌انتشار[1] استفاده می‌کنیم. این حالت برای شبکه‌های چندلایه با توابع تبدیل غیر خطی به‌کار می‌رود. در این روش، بردار ورودی و بردار هدف متناظر آن توسط شبکه آنقدر یاد گرفته می‌شود تا بتوان تابع مورد نظر را تخمین زد و یا اطلاعات مورد نظر را به درستی جداسازی کرد. در این شبکه، از تابع‌های تبدیل TanSig برای لایه پنهان و تبدیل PureLine برای لایه خروجی

1- Backpropagation

استفاده کرده‌ایم. در آموزش به شبکه باید یک تعادل بین تعداد نرون‌ها و تعداد مراحل آموزش پیدا کرد. بایستی دقت شود که تعداد مراحل آموزش اگر از حدی فراتر نرود نه تن‌ها باعث بهبود یادگیری نمی‌شود بلکه علاوه بر زیاد شدن حجم محاسبات (طولانی شدن زمان اجرای برنامه) در بعضی از مسائل باعث نوسانی شدن شبکه می‌گردد. در مسئله ما نیز به علت مشکلات گفته شده اگر تعداد مراحل آموزش از حدی بالاتر رود خطای محاسبات بیشتر می‌شود.

بعد از انجام چندین مرحله آموزش به شبکه و ایجاد تغییرات در نرون‌ها و تعداد دفعات آموزش به شبکه، نزدیک‌ترین جواب را به‌وسیله شبکه‌ای با ۶۰۰ بار آموزش و ۵ نرون دریافت کردیم.

خروجی به‌دست آمده از شبکه عصبی در قالب جدول (۲) آورده شده است. چگونگی تعبیر و تفسیر جدول (۲) بر مبنای بردارهای هدفی است که شبکه بر مبنای آن‌ها آموزش دیده است. بدین گونه که، اعداد مندرج در هر ستون با بردارهای هدف T۱، T۲ و T۳ مقایسه می‌گردند. در صورت عدم شباهت به هیچ کدام از بردارهای T۱ و T۳ نتیجه می‌گیریم که شبکه نتوانسته است به‌درستی این دسته‌بندی را انجام دهد. در حالی که اگر اعداد مندرج در هر ستون به بردار T۱ شباهت داشت، نشان‌دهنده انفجار می‌باشد. همچنین در صورت شباهت به بردارهای T۲ و T۳ نتیجه می‌گیریم که به ترتیب منابع تولیدکننده زینون، راکتور و تولید رادیوداروها بوده‌اند. در جدول مذکور که خروجی منتج از شبکه عصبی می‌باشد، این جداسازی‌ها انجام شده است به‌طوری که ۴ ستون اول نمایانگر انفجار، چهار ستون دوم نمایانگر راکتور و چهار ستون سوم نمایانگر تولید رادیوداروها بوده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، دسته‌بندی و ایجاد تمایز بین منابع تولیدکننده با کمک شبکه عصبی و به منظور طراحی یک سیستم اعلام خبر بوده است. از جمله روش‌های نرم‌افزارهای هوشمند که قابلیت بالایی در طبقه‌بندی الگوها دارد، تکنیک شبکه عصبی می‌باشد. شبکه عصبی قادر است با فرا گرفتن الگوها، داده‌ها را به الگوهای مختلف طبقه‌بندی نماید. به‌منظور بهره گرفتن از شبکه در آنالیز، شبکه بایستی اطلاعات مربوط به نسبت‌های ایزوتوپ‌های زینون ناشی از منابع مختلف را آموزش ببیند. براساس داده‌های موجود مطالب ارائه شده فوق می‌توان نتیجه گرفت که تولید رادیوایزوتوپ‌های پزشکی سهم کوچکی در مقدار رادیو زینون دارد و نسبت‌های رادیو نوکلئید حاصل از این منبع می‌تواند از نتایج حاصل از انفجارهای هسته‌ای متمایز باشد. پردازش سوخت‌های هسته‌ای حتی بعد از بازه زمانی واپاشی کوتاه، دارای نسبت‌های فعالیت رادیوایزوتوپ‌های زینون خواهد بود که می‌تواند از انفجارهای هسته‌ای تمایز داشته باشد. بعد از گذشت یک سال از واپاشی، دور ریزی آن قابل صرفنظر خواهد بود. بنابراین با اندازه‌گیری و تحلیل نتایج به‌دست آمده برای مقادیر ایزوتوپ‌های مختلف زینون و با کمک شبکه عصبی می‌توان به یک سیستم اعلام خبر مطمئن - که یکی از اصول پدافند غیرعامل است - دست یافت. از عوامل تأثیرگذار در پدافند هسته‌ای می‌توان به تعیین محل و نوع منبع تولیدکننده آلودگی‌های هسته‌ای اشاره نمود. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق که با تلفیق اندازه گیری‌های هسته‌ای و به کارگیری شبکه عصبی بوده است یک سیستم اعلام خطر هسته‌ای را طراحی نمود تا گام مفیدی در جهت ارتقاء فعالیت‌های نوین پدافند غیرعامل باشد.

جدول ۲- جواب مسئله آموزش دیده شده با ۶۰۰ بار آموزش و ۵ نرون

تولید رادیوداروها				راکتور				انفجار			
روز نوزدهم	روز چهاردهم	روز نهم	روز چهارم	روز سیزدهم	روز دهم	روز هفتم	روز سوم	روز هیجدهم	روز چهاردهم	روز دوازدهم	روزششم
-1.14E-03	-1.31E-03	-1.64E-03	-4.17E-03	-2.26E-03	-2.89E-03	-.323E-03	6.51E-04	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.99E-1
-4.07E-02	-4.57E-03	8.95E-02	-1.54E-02	1.04E+00	1.03E+00	1.00E+00	1.00E+00	-1.53E-04	-1.02E-03	-8.35E-04	8.62E-04
1.04E+00	1.01E+00	9.12E-01	1.02E+00	-3.78E-02	-2.71E-02	5.02E-04	-4.35E-03	-4.09E-05	6.10E-04	5.19E-04	-2.55E-04

مراجع

1. F. Medici, B. Wernsperger, T. Valmari, Collection efficiency of particulate and xenon sampling in the international monitoring system of the comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, App. Rad. & Iso., Vol.61, pp.219-224, (**2004**).
2. T. W. Bowyer, K. H. Abel, W. K. Hensley, C. W. Hubbard, A. D. McKinnon, M. E. Panisko, R. W. Perkins, P. L. Reeder, R. C. Thompson, R. A. Warner, Automatic radio xenon analyzer for CTBC monitoring, PNNL-11424, UC-713, Pacific Northwest National Laboratory, November (**1996**).
3. T. W. Bowyer, Justin I. McIntyre, Paul L. Reeder, High-sensitivity detection of Xenon isotopes via beta-gamma coincidence counting, DE-AC06-76RLO 1830, 21st Seismic research symposium.
4. J. Schulze, M. Auer, R. Werzi, Low level radioactivity measurement in support of the CTBTO, App. Rad. & Iso., Vol. 53, pp.23-30, (**2000**).
5. Brochure-Spalax261005, .http://www.environnement-sa.com

۶. دکتر محمد باقر منهاج، مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ چهارم، پاییز (**۱۳۸۶**).

7. Matlab, Version 7.6.0.324, Mathwork Inc., Help Files; (2008).

۸. فیلیپ.پیکتن، ترجمه دکتر مهدی غضنفری و مهندس جمال ارکات، شبکه‌های عصبی (اصول و کارکردها)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول، (**۱۳۸۳**).

The Role of of Xenon Isotopes Detectors for Nuclear Passive Defense

M. Heydar Pour Ahvazi[1]

M. Askari[2]

M. Shayesteh[1]

Abstract

Xenon is one of the fission fragments which is produced in nuclear reactors and nuclear explosions with variety of its isotopes. With definition of special isotopes ratio of this element, we can specify the production base of these isotopes such as a nuclear explosion and leakage of a reactor or nuclear wastes. We can also determine the time of event occurrence. This paper describes the measurement of the variety of Xe isotopes; the production of spectrums associated with Xe different sources using the MCNP code, obtaining the activity and Xe different isotopes activity ratios and their sorting in oerder to determine the production source with neural network to design an early warning system.

Key Words: *Xenon, Isotopic Ratios, Detection, MCNP, Neural Network, Early Warning*

1- MS in Nuclear Physics, Writer in Charge (Email: m_h.ahvazi@yahoo.com)
2- Assistant Professor and Academic Member of the Faculty and Research Center of Basic Sciences, Imam Hossein Comprehensive University