

طراحی مین یاب نوترونی با استفاده از چشمه $^{241}\text{Am-Be}$

داود قاسم آبادی* ، مسعود عبدالله زاده، محسن شایسته

دانشگاه امام حسین (ع)، دانشکده و پژوهشکده علوم پایه ، گروه فیزیک

چکیده:

هدف از این پژوهش طراحی مفهومی یک مین یاب نوترونی با استفاده از چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ می باشد. که با بکارگیری از این مین یاب، بتوان مین های پلاستیکی ساخته شده با مواد منفجره متعارف مانند: RDX و TNT مدفون در خاک را آشکارسازی نمود. مبنای علمی این کار بر اساس واکنشهای نوترون با ماده می باشد. در این واکنشها پس از برخورد نوترون با ماده، نوترون ممکن است جذب یا پراکنده شود. در صورتی که جذب اتفاق بیفتد، گامای آنی یا تاخیری گسیل خواهد شد. که در این صورت با استفاده از آشکارسازهای گاما می توان طیف این پرتوها را جمع آوری نمود. در صورتیکه پراکندگی نوترون اتفاق بیفتد با استفاده از آشکارسازهای نوترونی می توان طیف و شدت نوترون های پراکنده شده را تعیین کرد. با آنالیز و بررسی واکنشهای نوترونی عناصر موجود در خاک و محتوای مین می توان به وجود مین مدفون شده در خاک پی برد. کلیه کارهای انجام شده در طراحی سیستم مین یابی مانند: شبیه سازی چشمه، حفاظ، مواد و سیستم آشکارسازی و... با بهره گیری از روش مونت کارلو به کمک کد MCNPX و با در نظر گرفتن تمام برهمکنشهای نوترون با ماده انجام پذیرفته است. مین یاب طراحی شده با چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ توانایی آشکارسازی مین ضدنفر را در عمق های ۵/۵ سانتیمتری دارد. خطای آماری کل در انجام محاسبات و طراحی مین یاب کمتر از ۰/۱ درصد می باشد.

کلمات کلیدی: مین یاب نوترونی، $^{241}\text{Am-Be}$ ، گامای آنی و تاخیری، کد MCNPX

مقدمه :

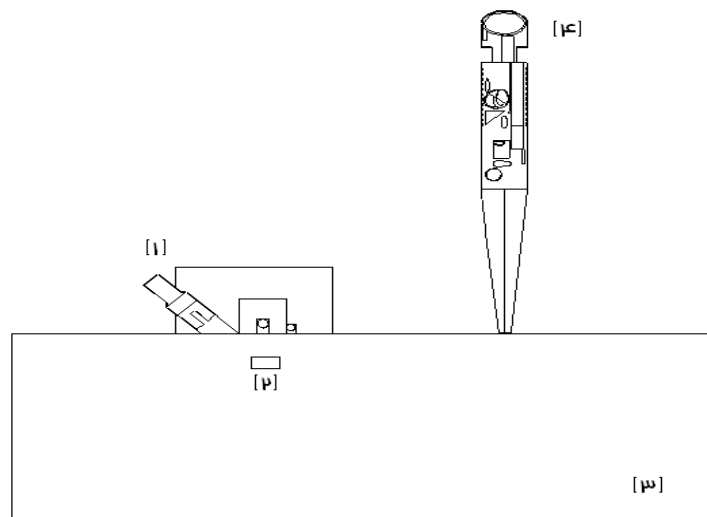
مین ها نگهبانان خاموشی هستند که هرگز خطا نمی کنند و هیچ گاه به خواب نمی روند و هرگز صلح را به ارمان نخواهند آورد. در حال حاضر ۱۰۰ میلیون مین در بیش از ۶۴ کشور دنیا وجود دارد و به رغم مذاکره های بسیاری که نسبت به بحران های مین زمینی بین سازمان های بشردوستانه و رهبران سیاسی برای پایان دادن و محدود کردن کاربرد مین های زمینی وجود دارد، هنوز از سوی دولت ها استفاده و کاربرد مین های زمینی، در سطح وسیعی صورت می گیرد. آلودهترین کشورها به مین زمینی، عراق، کامبوج، ویتنام، افغانستان، کلمبیا، آنگولا و ایران هستند. براساس برآوردهای موجود سرعت کاشت هر مین ۲۵ برابر سرعت خشتی کردن آن است و تولید یک مین ضدنفر هزینه ای معادل ۴ دلار دارد، اما هزینه های یافتن و انهدام آن، برای هر مین، ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ دلار است. در حال حاضر بیش از ۱۶ میلیون انواع مین در مناطق جنوبی و غربی ایران وجود دارد. در این میان بیشترین مناطق آلوده به مین در ۵ استان کشور شامل آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه،

ایلام و خوزستان است. وجود هر مین در هر نقطه از استان های آلوده ایران، جان یک یا چند انسان را به خطر می اندازد، در سال های اخیر بکار گیری روش های نوین هسته ای در ردیابی مواد منفجره مدفون شده در خاک از جمله مین ها و گلوله های خمپاره عمل نکرده حاوی مواد منفجره مانند TNT و RDX و ترکیبات شیمیایی به جا مانده از جنگها به صورت گسترده ای توسعه یافته است. استفاده از تابش نوترونی یکی از روشها برای شناسایی مین های پلاستیکی پیشنهاد شده است. ماده منفجره مین و پوشش حاوی آن حاوی هیدروژن قابل ملاحظه ای نسبت به هیدروژن موجود در خاک می باشد. هیدروژن یک کند کننده و بازتابنده بسیار خوب برای نوترون ها می باشد. با استفاده از این خاصیت می توان مواد هیدروژنه مدفون در خاک را با تابانیدن نوترون و آشکارسازی طیف نوترونی بازتاب شده از مین تشخیص داد. و همچنین با طیف سنجی گامای القایی توسط نوترون های تابشی به خاک می توان به عناصر موجود در آن پی برد (مواد مانند اثر انگشت گاما القایی مخصوص به خود دارند).

روش کار :

شکل کلی شبیه سازی سیستم مین یابی در شکل (۱) نشان داده شده است. این سیستم شامل قسمت های زیر است:

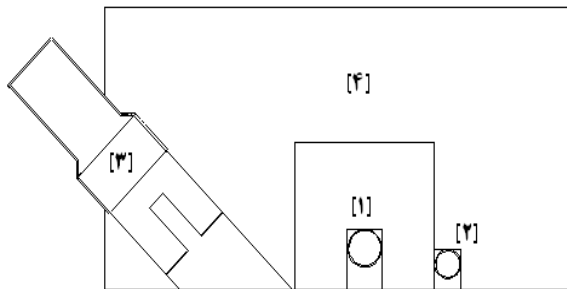
۱- مین یاب ۲- مین ۳- خاک ۴- کاربر (فانتوم انسانی)



شکل (۱) شکل کلی سیستم مین یابی

۱- طراحی و شبیه سازی مین یاب نوترونی:

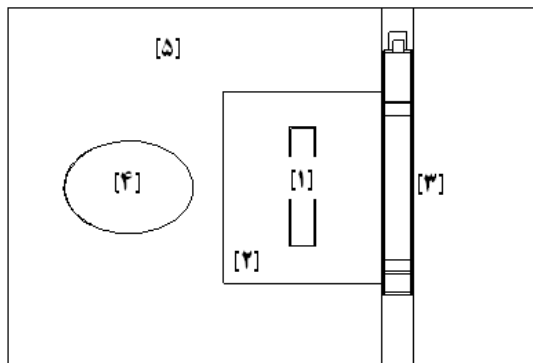
شکل کلی مین یاب مطابق شکل (۲) می باشد. این مین یاب از چهار قسمت به شرح زیر تشکیل شده است:



شکل (۲) کلی مین یاب

۱- چشمه نوترونی
 ۲- آشکارساز نوترونی BF_3
 ۳- آشکارساز $NaI(Tl)$ برای فوتون های گاما
 ۴- حفاظ نوترون-گاما

شکل (۲) کلی مین یاب در فاصله ۲cm ، آشکارساز BF_3 در فاصله ۱cm و آشکارساز NaI با زاویه ۴۵ درجه و در فاصله ۱cm بالاتر از سطح زیرین حفاظ قرار گرفته اند. سطح مقطع برش خورده مین یاب مطابق شکل (۳) می باشد.



شکل (۳) سطح مقطع برش خورده مین یاب

۱- چشمه نوترونی
 ۲- آشکارساز BF_3
 ۳- حفاظ گرافیتی
 ۴- آشکارساز NaI
 ۵- حفاظ پلی اتیلن حاوی ۵ درصد بورون

برای حفاظت در برابر پرتوها، حفاظ نوترونی مین یاب طوری طراحی گردیده، شخصی که به مدت یک سال هر هفته ۵ روز و هر روز ۸ ساعت با دستگاه مین یاب کار کند، دوز دریافتی حاصل از سیستم مین یاب از حداکثر دوز قابل قبول (20mSv در طی سال) کمتر باشد. برای حفاظ سازی میزان دوز رسیده به آدمک شبیه سازی شده انسان برای مدت یک سال کاری براساس ضخامت های گرافیت و پلی اتیلن حاوی ۵ درصد بورون طبیعی، با استفاده از کد $MCNPX$ محاسبه گردیده است بهینه ضخامت جانبی حفاظ برای چشمه نوترونی ضخامت گرافیت ۵cm و پلی اتیلن ۱۵cm تعیین شده است. مواد حفاظ از پلی اتیلن حاوی ۵ درصد بورون برای جذب نوترون و گرافیت به عنوان کندکننده و همچنین بازتابنده خوب استفاده شده است. دلیل استفاده از این مواد دسترسی و تهیه آسان و طراحی حفاظ سبکتر از نظر وزنی نسبت

به دیگر مواد مورد استفاده در حفاظ سازی می باشد. برای افزایش شار نوترون های گسیلی از چشمه نوترونی به خاک، از گرافیت در طراحی این حفاظ استفاده شده است. (چون گرافیت بدلیل دارا بودن سطح مقطع پراکندگی نوترونی بزرگ و سطح مقطع جذب پایین نوترونی، بازتابنده خوبی برای نوترونها است). به منظور تعیین اندازه بهینه ضخامت های گرافیت و پلی اتیلن (حاوی ۵ درصد بورون طبیعی)، برای حفاظ فوقانی چشمه نوترونی مین یاب و همچنین افزایش جمعیت نوترون های گسیلی از آن به خاک، با استفاده از کد MCNPX برای ضخامت های مختلف گرافیت و پلی اتیلن احتمال گسیل نوترون خروجی از سطح زیرین مین یاب به خاک، به ازای یک نوترون گسیلی محاسبه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، برای حفاظ فوقانی ضخامت های بهینه برای گرافیت و پلی اتیلن به ترتیب ۱۳cm و ۱۲cm تعیین گردیده است.

طراحی و شبیه سازی مین:

مبنای طراحی مین یاب در این پژوهش، آشکارسازی مین های پلاستیکی ضد نفر می باشد. مین های ضد نفر اغلب در ساختار آنها کمتر از ۱۰۰ گرم ماده منفجره بکار رفته است. به این منظور در مسایل مربوط به شبیه سازی و کارهای آزمایشگاهی، آشکارسازی مین پلاستیکی ضد نفر TS50 (مشهور به مین گوجه ای) که دارای حداقل فلز در ساختمان خود و حداقل ابعاد نسبت به اکثر مین های مشابه دیگری باشد، مدنظر قرار گرفته است. این مین دارای مشخصات زیر می باشد:



مشخصات مین :

۱- وزن: ۱۹۰ گرم

۲- وزن ماده منفجره: ۶۴ گرم

۳- نوع ماده منفجره: TNT یا RDX

۴- قطر: ۹۰ میلی متر

۵- ارتفاع: ۴۵ میلی متر

۶- آستانه وزن انفجاری: ۱۰-۸ کیلوگرم

شکل (۴) مین پلاستیکی TS50

شبیه سازی مکعب و خاک محتوی آن:

در این پژوهش یک مکعب مستطیل به طول ۴۰۰cm، عرض ۳۰۰cm و عمق ۲۰۰cm که حاوی خاک با چگالی $1/61 \text{ gr/cm}^3$ با کد MCNPX شبیه سازی و برای سیستم آشکارسازی مین یاب مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات عناصر محتوی خاک استفاده شده در این شبیه سازی مطابق جدول (۳-۵) می باشد.

جدول (۱) عناصر موجود در نمونه خاک با چگالی $1/61 \text{ gr/cm}^3$

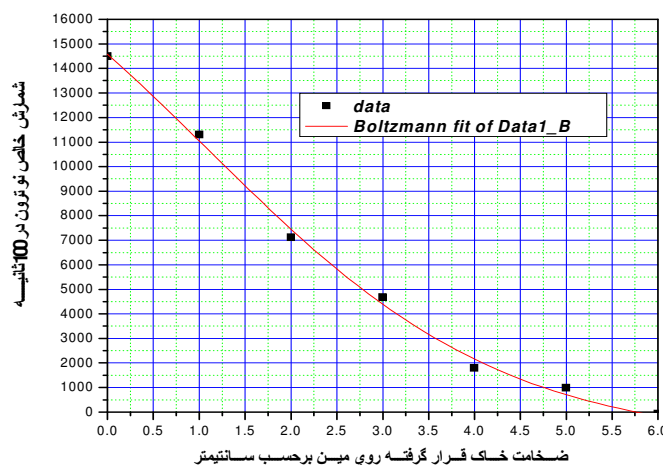
عناصر	^1H	^{12}C	^{16}O	^{28}Si	^{27}Al	^{56}Fe	^{20}Ca	^{39}K	^{23}Na	^{24}Mg
فراوانی (%)	۳/۷۶	۵/۹۳۶	۴۴/۱۴۴	۳۴/۵۶	۰/۹۴	۲/۳۸۱	۴/۴۹۴	۰/۰۸۳	۰/۰۷۵	۳/۶۲۷

فانتوم شبیه سازی شده بدن انسان :

این فانتوم با کد MCNP در آزمایشگاه ملی Oak Ridge توسط جان وانگر و کیس اکرم طراحی شده است. این مدل با تغییرات و بهینه سازی با کد MCNPX، در سیستم مین یابی به منظور طراحی مناسب حفاظ و میزان دوز دریافتی کاربر در کار با مین یاب، مورد استفاده قرار گرفته است. عناصر محتوی این مدل از سه قسمت با چگالی مختلف تشکیل شده است: ۱- شش ها با چگالی $2/296 \text{ gr/cm}^3$ ۲- نسوج نرم با چگالی $1/04 \text{ gr/cm}^3$ ۳- استخوان ها با چگالی $1/4 \text{ gr/cm}^3$

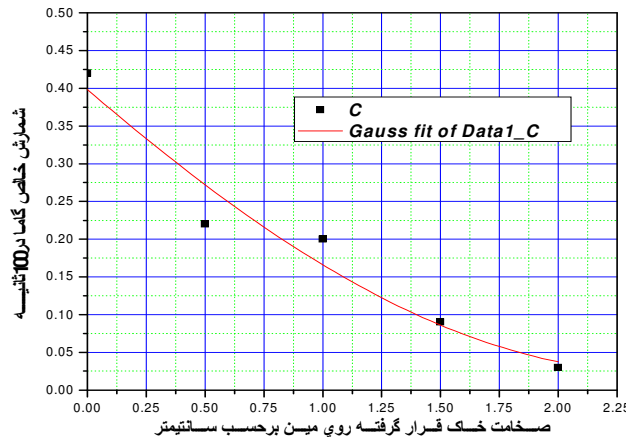
نتایج :

نتایج شمارش خالص آشکارساز نوترونی BF_3 در ۱۰۰ ثانیه شمارش، برای عمق های مختلف مین مدفون شده در خاک مطابق شکل (۵) می باشد. منظور از عمق مین فاصله سطح بالایی مین تا سطح خاک می باشد. شمارش خالص نیز از کم کردن تابش زمینه (شمارش حاصل از عدم حضور مین در خاک) و شمارش مین مدفون شده در خاک بدست می آید.



شکل (۵) شمارش خالص آشکارساز برای مین مدفون در عمق های مختلف

نتایج بدست آمده از شمارش خالص گامای القایی در بازه انرژی ۱۱-۱۰ MeV به منظور شناسایی مین ضدنفر براساس گامای القایی نیتروژن بصورت شکل (۶) می باشد.



شکل (۶) شمارش خالص گامای القایی

بحث و نتیجه گیری :

حداکثر عمق قابل آشکارسازی با مین یاب طراحی شده با چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ برای مین ضدنفر حاوی ۶۴ گرم TNT در ۱۰۰ ثانیه شمارش، با خطای آماری ۷ درصد ۵/۵ سانتیمتر بدست آمده است. برای عمقهای کمتر از ۵/۵ سانتیمتر، زمان آشکارسازی را می توان کاهش داد. اما باید این نکته را در نظر گرفت که با کم کردن زمان، تعداد شمارش کاهش می یابد و در نتیجه خطای آشکارسازی افزایش خواهد یافت. با توجه به شمارش پایین گامای رسیده به دهانه آشکارساز یدورسیدیم، مین یاب طراحی شده توانایی آشکارسازی مین پلاستیکی ضدنفر بروش آشکارسازی گامای آنی را ندارد.

مراجع :

- [1] W.V. Nunesa, A.X. da Silvab, V.R. Crispimc,* , R. Schirru, "Explosives detection using prompt-gamma neutron activation and neural networks", Applied Radiation and Isotopes 56 (2002) 937-943
- [2] "Guidebook on Detection Technologies and Systems for Humanitarian Demining", Geneva International Centre for Humanitarian Demining, 2005
- [3] Miri-Hakimabad, H., Vejdani-Noghreiyani, Panjeh, H., 2008. "Improving the moderator geometry of an anti-personnel landmine detection system", Applied Radiation and Isotopes 66, 606-611.
- [4] Vega-Carrillo, H.R., Manzanares-Acuna, E., Becerra-Ferreiro, A.M., Carrillo-Nunez, A., 2002. "Neutron and gamma-ray spectra of $^{239}\text{Pu-Be}$ and $^{241}\text{Am-Be}$ ". Applied Radiation Nuclear Instruments and Physics Research A 583, 407-411.