١٣١٦٠٥

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

# مطالعه‌ی چشمه‌های نوترون در تشخیص مین‌های کاشته به روش فعال‌سازی نوترونی

دانشجو:

**جواد تکابی**

۱۳۸۹/۴/۸

اساتید راهنما:

**پروفسور رسول خدابخش، دکتر علی اصغر مولوی**

حق چاپ و تکثیر برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

۱۳۸۶۰۵

پایان نامه : جواد کابلی به تاریخ : ۸۸/۶/۲۸ شماره : ۲۹۹۰ مورد پذیرش هیات محترم

داوران با رتبه : عالی و نمره: ۱۸/۵ قرار گرفت .

۱- استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : رسول صدائی

۲- استاد مشاور : ــــــ

۳- داور خارجی : دکتر مهدی امیت

۴- داور داخلی : دکتر طاسیان

۵ – نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی : دکتر سید احمد بابائی

۶- استاد راهنمای دوم دکتر علی اصغر مولوی

# تقدیم به

پدر و مادرم که بودن‌شان تاج افتخاری است بر سرم و نام‌شان دلیلی است بر بودنم.

و تقدیم به آنهایی که حقیقت بر دل و جانشان تجلی کرده است اگر چه ازاین اوراق بی بها مستغنیند.

# تقدیر و تشکر

همتم بدرقه راه کن ای طائر قدس  که دراز است ره مقصد و من نو سفرم

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علـم و دانـش رهنمونمـان شـد و بـه همنـشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. اکنون در آستانه راهی نو به پاس نعمات بی حد پروردگار بر خود لازم می‌دانم سپاس گذار تمام عزیزانـی باشـم کـه در برابـر سـختی‌هـا و ناملایمات روزگار یاریم نمودند.

مراتب سپاس صمیمانه خود را از اساتید راهنمای بزرگوارم جناب پرفسور رسول خـدابخش و جنـاب دکتـر علـی اصغر مولوی دارم که در تمام مراحل انجام این پروژه همواره مشوق و پشتیبان برایم بوده و با رهنمودهـای ارزنـده خود راهگشای اینجانب بوده‌اند.

و سپاس فراوان

از پدرم که بی نیازیم آموخت و مادرم که به من درس محبت داد.

## فهرست مطالب


چکیده ..... ۱

مقدمه ..... ۲

**۱ انواع مین و روش‌های تشخیص آنها ..... ۳**

۱-۱ مقدمه ..... ۳

۱-۲ کاربردها ..... ۳

۱-۳ نحوه عملکرد مین‌ها ..... ۴

۱-۴ مین‌های ضدنفر ..... ۴

۱-۵ مین‌های ضد تانک ..... ۷

۱-۶ روش‌های مختلف تشخیص مواد منفجره ..... ۷

۱-۷ مسایل امنیتی و ضد تروریستی ..... ۸

**۲ برهمکنش تابش‌های هسته‌ای با ماده ..... ۱۲**

۲-۱ برهمکنش نوترون با ماده ..... ۱۲

۲-۱-۱ واکنش نوترون و سطح مقطع‌های ماکروسکوپی ..... ۱۳

۲-۱-۲ سطح مقطع مخلوط‌ها و مولکولها ..... ۱۴

۲-۱-۳ تولید و رده‌بندی واکنش‌های نوترونی ..... ۱۴

۲-۱-۴ بیناب انرژی و شکل شار نوترون‌ها ..... ۱۹
۲-۱-۵ کند شدن نوترون‌ها ..... ۲۰
۲-۱-۶ انواع مختلف واکنش‌های تولید نوترون ..... ۲۱
۲-۱-۷ توزیع انرژی نوترون‌ها بعد از برخورد ..... ۲۲
۲-۲ برهکنش تابش گاما با ماده ..... ۲۲
۲-۲-۱ تضعیف پرتوهای گاما ..... ۲۳
۲-۲-۲ پراکندگی کامپتون ..... ۲۵
۲-۲-۳ اثر فوتوالکتریک ..... ۲۶
۲-۲-۴ تولید و نابودی زوج ..... ۲۷
۲-۳ آشکارسازهای سوسوزن ..... ۲۹
۲-۳-۱ آشکارسازی فوتون با شمارنده سوسوزن NaI(Tl) ..... ۳۲
۳ فعال‌سازی نوترونی ..... ۳۸
۳-۱ مقدمه ..... ۳۸
۳-۲ روش فعال‌سازی نوترونی با گامای آنی (PGNAA) ..... ۳۹
۳-۳ استفاده از گاماهای القاء نوترونی برای آشکارسازی مین‌های کاشته و مواد منفجره پنهان ..... ۴۱
۳-۴ خواص مواد منفجره ..... ۴۲
۳-۵ مشکلات مربوط به بیناب سنجی PGNAA ..... ۴۴

۳-۶ چشمه‌های تابشی ..... ۴۴
۳-۶-۱ چشمه‌های نوترونی ..... ۴۴
۳-۶-۲ چشمه‌های ذرات باردار ..... ۴۵
۳-۶-۳ چشمه‌های فوتون ..... ۴۶
**۴ شبیه‌سازی مونت کارلوی هندسه یک سیستم مین‌یاب و بررسی تغییر پارامترهای مختلف بر نتایج حاصل ..... ۵۰**
۴-۱ مقدمه ..... ۵۰
۴-۲ هندسه سیستم ..... ۵۱
۴-۳ کد **MCNP** و تالی‌ها ..... ۵۴
۴-۴ تابش زمینه ..... ۵۷
۴-۵ برنامه نویسی برای هندسه مورد نظر بوسیله کد کامپیوتری **MCNP** ..... ۵۸
۴-۵-۱ بررسی نتایج حاصل از اجرای برنامه ..... ۶۵
۴-۶ نتیجه‌گیری ..... ۷۳
مراجع ..... ۷۴

# فهرست شکل‌ها و جداول


شکل ۱-۱: یک نمونه مین ضربه‌ای. ۵

شکل ۱-۲: نوعی از مین چند تکه. ۶

شکل ۱-۳: مین چند تکه با پوشش. ۶

شکل ۱-۴: یک مین خوشه‌ای هدایتی. ۷

شکل ۱-۵: مین، با قابلیت پراکندگی. ۷

شکل ۱-۶: طرحواره سیستم مین‌یاب که بوسیله وزارت دفاع کانادا طراحی و ساخته شده است ۱۰

شکل ۱-۷: تکنولوژی‌های مختلف آشکارسازی مواد منفجره ۱۱

شکل ۲-۱: آشکارسازی نوترون‌های عبوری از هدف. ۱۳

شکل ۲-۲: تغییر شکل قبل از شکافت ۱۵

شکل ۲-۳: مفهوم سد شکافتی. ۱۶

شکل ۲-۴: تکه‌های باقیمانده ازالقای نوترون حرارتی در شکافت اورانیوم ۲۳۵ ۱۷

شکل ۲-۵: رویدادهایی که در بیشتر واکنش‌های هسته‌ای به روش فعال‌سازی رخ می‌دهد ۱۹

شکل ۲-۶: شکل بالا چگونگی تولید زوج را نشان میدهد. ۲۸

شکل ۲-۷: نوارهای مجاز و ممنوع انرژی یک بلور ۳۰

شکل ۲-۸: بیناب‌های گسیلی NaI(Tl), CsI(Tl), CsI(Na) و آنتراسین، در مقایسه با پاسخ طیفی دو ماده کاتد. ۳۲

شکل ۲-۹: ضریب‌های تضعیف فوتون در NaI(Tl). ۳۳

شکل ۲-۱۰: بازده محاسبه شده آشکارساز NaI(Tl) به صورت تابعی از انرژی برای فاصله‌های مختلف چشمه تا آشکارساز. ۳۴

شکل ۲-۱۱: فرایندهایی که در آشکارسازی پرتو گاما رخ می‌دهند. ۳۵

شکل ۲-۱۲: نمونه پاسخ یک آشکارساز به پرتوهای گامای تک انرژی. ۳۷

شکل ۳-۱: یک بیناب اشعه گاما از طریق فعال‌سازی برای ناخن انسان ۴۰

شکل ۳-۲: بیناب گاماهای سریع حاصل از پروتئین در یک بیمار. ۴۰

جدول ۳-۱: چگالی و نسبت عناصر در سه دسته از مواد. ۴۳

جدول ۳-۲: مشخصات انواع مواد منفجره. ۴۳

شکل ۳-۳: بیناب انرژی چشمه نوترونی Cf-252. ..... ۴۸
شکل ۴-۱: شماتیک و هندسه سیستمی که دراین پروژه مورد استفاده قرار گرفته است. ..... ۵۱
جدول ۴-۱: ترکیبات مختلف خاک و درصد وزنی آنها برای هفت عنصرمختلف دررطوبت‌های متفاوت . ..... ۵۲
جدول ۴-۲: درصد وزنی اکسیژن، کربن، نیتروژن و هیدروژن در مواد منفجره مختلف . ..... ۵۳
جدول ۴-۳: درصد وزنی دو ماده به کار رفته در آزمایش. ..... ۵۳
جدول ۴-۴: تالی‌ها یا خروجی‌های استاندارد در کد MCNP . ..... ۵۵
جدول ۴-۵: رابطه ریاضی تالی‌ها بر حسب پارامترهای مختلف. ..... ۵۵
شکل ۴-۲: نحوه شماره‌گذاری سطوح در MCNP ..... ۵۹
جدول ۴-۶: دستورات رسم سطوح در MCNP ..... ۶۱
شکل ۴-۳: بیناب انرژی حاصل انجام شبیه‌سازی برای ماده منفجره TNT در عمق ۵cm، و خاکی با رطوبت ۵ درصد. ..... ۶۷
شکل ۴-۴: بیناب انرژی در ناحیه ROI، که در آن قله‌های تمام انرژی، یک فراری و دو فراری مشخص شده است. ..... ۶۸
شکل ۴-۵:اثر افزایش رطوبت خاک بر بیناب ناحیه نیتروژنی برای انرژیهای ۱۰,۸MeV، ۱۰,۳MeV، ۹,۸MeV. ..... ۶۹
شکل ۴-۶: تغییر میزان واکنش در ماده منفجره بر حسب رطوبت، برای عمق‌های مختلف. ..... ۷۰
شکل ۴-۷: میزان واکنش (n , gamma) در ماده منفجره با اعمال ضریب تصحیح هندسی. ..... ۷۱
شکل ۴-۸: میزان شار گامای کل رسیده به آشکارساز را بر حسب عمق، برای سه رطوبت ۵ درصد، ۱۰ درصد و ۲۰ درصد نشان می‌دهد. ..... ۷۲
شکل ۴-۹: شکل بالا میزان گامای شمارش شده در آشکارساز را برای دو رطوبت ۵ درصد و ۴۰ درصد بر حسب عمق نشان می دهد. ..... ۷۲

## چکیده

در این پروژه، از روش فعال‌سازی نوترونی (PGNAA) و جمع آوری گاماهای ساطع شده از آن برای تشخیص مواد منفجره پنهان مانند مین‌های کاشته استفاده شده است. هندسه‌ای که برای این منظور در نظر گرفته و شبیه سازی شده است؛ شامل یک چشمه کالیفورنیوم ($^{252}Cf$) است که در مرکز یک استوانه‌ای از جنس پلی اتیلن قرار گرفته است، که این استوانه نیز خود بوسیله استوانه‌ای از جنس سرب پوشیده شده است که هر دو نقش محافظ را بازی می کنند. همچنین از یک آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد ۷/۶۳cm × ۷/۶۳cm برای تشخیص گاماهای ساطع شده از بر همکنش $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$ استفاده گردیده است. در مین‌های کاشته بیشتر گسیل انرژی، در انرژی های بالا مانند ۱۰/۸۳MeV می‌باشد که دارای سطح مقطع ۱۱/۳mb است. ما از کد کامپیوتری MCNP جهت شبیه سازی این هندسه خاص برای تشخیص مین‌ها در عمق و رطوبت های مختلف خاک استفاده کرده‌ایم. نتایج محاسبات شبیه سازی نشان می‌دهد که افزایش میزان رطوبت خاک باعث افزایش میزان گاماهای شمارش شده در ناحیه نیتروژنی در داخل آشکارساز می‌شود و همچنین افزایش عمق نیز سبب کاهش میزان گاماهای رسیده به آشکار ساز می‌گردد.

## مقدمه

بیشتر از ۶۰ میلیون مین دفن شده در ۶۲ کشور وجود دارد، که از بقایای جنگ‌های گذشته به جا مانده است. این مین-های رها شده هر ساله باعث مرگ و معلولیت ۲۶۰۰۰ نفر می‌شود که ۸۰ درصد از این افراد غیرنظامی و به خصوص زنان، کودکان و کشاورزان در کشورهای در حال توسعه هستند. در حال حاضر بیشتر تشخیص و پاکسازی مین‌ها بوسیله روش‌های معمولی از قبیل استفاده از فلزیاب‌ها، سیخ زدن و سگ‌ها انجام می‌شود [۲]. کاربرد این روش‌ها در از بین بردن این تعداد مین خیلی آهسته و خطرناک می‌باشد، به همین دلیل کشورها و مؤسسات بین‌المللی تحقیقات خود را در این باره روی کاربرد تکنیک‌های هسته‌ای در تشخیص مواد منفجره و از جمله مین‌ها متمرکز کردند. یکی از این روش‌ها، روش تجزیه تحلیل تپ سریع حاصل از واکنش نوترون با اتمهای مواد مختلف بود (PGNAA) [۵]. این روش بسیار روش قدرتمند برای تشخیص ترکیبات بکار رفته در مواد گوناگون می‌باشد با این وجود این روش دارای معایبی نیز می‌باشد؛ که صرف زمان طولانی برای تشخیص مواد و همچنین گران بودن آن را می‌توان نام برد.

در این روش، ما نیتروژن موجود در مواد منفجره را با تابش نوترون به هدف و بررسی طیف انرژی ساطع شده از آن مشخص می‌کنیم. در حقیقت در طیف انرژی بدست آمده، باید در انرژی ۱۰/۸۳MeV که از واکنش جذبی نوترون و اتم نیتروژن حاصل می‌شود، یک قله داشته باشیم.

در فصل اول از این پروژه به معرفی انواع مین و مواد منفجره پرداخته شده است؛ همچنین انواع روش‌های موجود برای تشخیص مواد منفجره نیز ذکر شده است.فصل دوم، نیز شامل بررسی و معرفی انواع برهمکنش تابش‌های هسته-ای با مواد، از جمله برهمکنش نوترون با ماده و برهمکنش فوتون با ماده می‌باشد. فصل سوم به شرح و توضیح، درباره تکنیک فعال‌سازی نوترونی بکار رفته در این پروژه یعنی همان PGNAA پرداخته شده است؛ همچنین انواع واکنش‌ها و پدیده‌هایی که دراین روش با آن برخورد می‌کنیم نیز توضیح داده شده است. در ابتدای فصل چهارم به معرفی کد کامپیوتری MCNP4C پرداخته شده و نحوه برنامه‌نویسی با آن به اختصار شرح داده شده است. همچنین با نوشتن و اجرای برنامه توسط این شبیه‌ساز مونت کارلو نتایج بدست آمده بررسی شده است.

# ۱ انواع مین و روش‌های تشخیص آنها

## ۱-۱ مقدمه

مین یک وسیله انفجاری است که در رو یا زیر زمین قرار می‌گیرد و وقتی منفجر می‌شود؛ که چاشنی آن بوسیله یک فرد، توسط سیم کشیده شود و یا در اثر نزدیک شدن یک وسیله نقلیه، شخص یا حیوان، عمل می‌کند. نام مین از تونل‌هایی که سگ‌ها در زیر استحکامات و نیروهای دشمن حفر می‌کردند گرفته شده است. این تونل‌ها در ابتدا باعث ریزش استحکامات دشمن و تخریب آنها می‌شدند؛ اما بعداً این تونل‌ها بوسیله مواد منفجره پر شد.

مین‌ها برای امنیت مرزهای مورد مناقشه یا برای مقاومت در برابر حرکت دشمن در زمان جنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ آنها باعث کندی حرکت دشمن و یک برتری برای مدافعان محسوب می‌شوند. از لحاظ نظامی مین‌ها به عنوان نیروهای تقویت کننده بکار می‌روند؛ زیرا آنها اثر و توان نیروهای دفاعی را بدون نیاز به افراد بیشتر افزایش می‌دهند. کاربرد مین‌ها به دلیل اینکه بعد از جنگ باقی می‌مانند، و باعث کشته و مجروح شدن غیر نظامیان ، غیرقابل عبور شدن مسیرها و همچنین غیر قابل استفاده شدن زمین‌های حاصلخیز می‌شوند؛ همیشه با مخالفت‌های زیادی روبرو بوده است.

## ۱-۲ کاربردها

مین‌ها دو کاربرد اصلی دارند :

۱- برای ایجاد سدهای تاکتیکی و به عنوان سلاح‌های بازدارنده

۲- برای عدم دسترسی مهاجمان و غیر نظامیان به یک منطقه خاص

وقتی آنها به عنوان یک سد تاکتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ که هدف، جلوگیری از حمله مستقیم دشمن بـه یـک منطقه مشخص می‌باشد. مین‌های ضد نفر یا APLs [1] به عنوان سلاح‌های غیر متعارف مورد ملاحظه قـرار مـی‌گیرنـد. هنگامی که از آنها برای اقدام ممانعتی استفاده می‌شود، بیشتر قربانیان‌شان غیر نظامیان هستند که اغلب کشته یـا دچـار نقص عضو می‌شوند. به عنوان مثال در کامبوج مدت طولانی بعد از اتمام جنگ، نواحی مین گذاری شده در این کشور باعث مرگ و نقص عضو ۳۵۰۰۰ نفر شده است.

## ۱-۳ نحوه عملکرد مین‌ها

چاشنی یک مین بوسیلهٔ یک تعداد عوامل می‌تواند فعال شود؛ که از جملـه آنهـا فـشار، جابجـایی، صـدا، مغنـاطیس و لرزش می باشد. مین‌های ضد نفر از عامل فشار به عنوان فعال کننده چاشنی استفاده می‌کنند. اما از سـیم کشـشی نیـز بطور مکرر استفاده می‌شود. چاشنی تعداد زیادی از این مین‌ها برای جلوگیری از خنثی شدن توسط مهندسـین دشـمن با یک تماس کوچک یا انحراف عمل می‌کنند.

تمایل طراحان مین برای استفاده کمتر از فلز، جستجو و پیدا کردن مین‌ها توسط فلزیاب‌ها را دچار مشکل کرده است؛ همچنین مین‌های ساخته شده از پلاستیک دارای هزینه ساخت کمتری می‌باشند. بعضی از انواع جدید مین‌هـا، بعـد از مدت چند هفته تا چند ماه به طور خود به خود غیرفعال می‌شوند. ماده شیمیایی قابل انفجار این مین‌ها، بـرای کـاهش احتمال تلفات غیرنظامیان بعد از مـدتی خاصـیت انفجـاری خـود را از دسـت مـی‌دهنـد. امـا ایـن مکـانیزم تخریـب خودبخودی، قابل اطمینان نیست و در بسیاری از اوقات عمل نمی‌کند.

## ۱-۴ مین‌های ضدنفر

مین‌های ضدنفر برای آسیب زدن و کشتن سربازان دشمن طراحی شده‌اند. آنها بیشتر برای آسیب زدن بکار می‌روند تـا کشتن تا بدین طریق افزایش پشتیبانی لجستیکی (دارو و امداد) را به نیروهای دشمن تحمیل کنند. بعضی از انواع مین-

---

۱ -Anti Personal Landmines

های ضد نفر می‌توانند به وسایل نقلیه نیز آسیب بزنند. مطابق پیمان اتاوا [1] کشورهای امضاء کننده متعهد شده‌اند که از ساخت، ذخیره و استفاده‌ی مین‌های ضدنفر ممانعت بعمل آورند. در سال ۲۰۰۷ که ۱۵۵ کشور این پیمان را امضاء کردند؛ چهار کشور از جمله چین، فدراسیون روسیه، ایالات متحده و هند از امضاء آن سر باز زدند.

گاهی مین‌های ضد تانک و ضد نفر را با هم بکار می‌برند؛ زیرا تشخیص آنها مشکل‌تر و به مدت زمان بیشتری نیاز دارد. روش کاربرد مین‌های ضد نفر شبیه مین‌های ضد تانک می‌باشد، و آنچه که آنها را از یکدیگر متفاوت می‌سازد اندازه نسبتاً کوچک و شمار بکارگیری زیاد مین‌های ضدنفر در یک منطقه است.

پوشش مین‌ها، جزئی است که آنها را در برابر شرایط محیطی مختلف حفاظت می‌کند. مین‌های اولیه‌ای که در جنگ جهانی دوم به کار گرفته شد؛ دارای پوششی از آلومینیوم و فولاد بود و این در حالی بود که ارتش بریتانیا برای اولین بار از آشکارسازهای فلزی برای تشخیص این نوع مین‌ها استفاده کرد. آلمان‌ها در واکنش به این اقدام از مین‌هایی با پوشش چوب و شیشه استفاده کردند. مین‌های چوبی اولین بار توسط روسها در سال ۱۹۳۹ و قبل از ساخت فلزیاب‌ها برای ذخیره‌سازی فولاد استفاده گردید. مین‌هایی که در سال‌های بعد از ۱۹۵۰ ساخته می‌شدند برای جلوگیری از تشخیص بوسیله مین‌یاب‌های الکترونیکی دارای پوشش پلاستیکی بودند و بعضی دارای مقدار کمی فلز (در حدود یک گرم) در ساختارشان بودند.

انواع مین‌های ضد نفر را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱- مین‌های ضربه‌ای[2]: تعداد زیادی از مین‌ها از این نوع هستند. این مین‌ها با فشار فعال می‌شوند. یعنی چاشنی آنها زمانی که قربانی قدم روی آن می‌گذارد فعال می‌شود. که در شکل ۱-۱ یک نوع از آن نشان داده شده است.

شکل ۱-۱: یک نمونه مین ضربه‌ای.

۱ -Ottawa Treaty
۲ -Blast Mines

۲- مین‌های چند تکه[۱]: مین‌های چند تکه بیشتر برای مجروح کردن افراد طراحی شده است. این نوع مین با پرتاب کردن ترکش‌هایی در سطح وسیع، باعث مجروح شدن افرادی که در نزدیکی آن قرار دارند می‌شود. این مین‌ها در کل خیلی سنگین‌تر از مین‌های ضربه‌ای می‌باشند؛ چون دارای ترکیبات فلزی آهن‌دار هستند و به همین سبب تشخیص آنها آسانتر می‌باشد. این مین بوسیله کشیده شدن سیم ضامنی که در فاصله کمی از سطح زمین قرار دارد فعال می‌شود. که در شکل ۱-۲ نوعی از آن نشان داده شده است.

**شکل ۱-۲: نوعی از مین چند تکه.**

۳- مین‌های چند تکه دارای پوشش[۲]: این مین‌ها به هوا می‌پرند و قبل از اینکه منفجر شوند در سینه شخص فرو می‌روند. این مین‌ها نیز بوسیله کشیده شدن سیم چاشنی آن منفجر می‌شوند، که در شکل ۱- ۳ نمونه‌ای از آن نمایش داده شده است.

**شکل ۱-۳: مین چند تکه با پوشش.**

۴- مین‌های چند تکه هدایتی[۳]: این نوع مین ساچمه‌های فولادی را با سرعت زیاد به سمت بیرون پرتاب می‌کند. و چاشنی آن بوسیله یک سیم ضامن یا کنترل از راه دور عمل می‌کند. یک نمونه از این مین در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.

---

۱ -Fragmentation Mines
۲ -Bounding Fragmentation Mines
۳ -Directional Fragmentation Mines

شکل ۱-۴: یک مین خوشه‌ای هدایتی.

۵- مین‌های قابل پراکندگی[1]: این نوع مین لازم نیست که درسطح یا زیر زمین قرار بگیرد بلکه بوسیله هواپیما یا توپ در هوا پراکنده می‌شود. در شکل۱-۵، یک نوع از این مین نشان داده شده است.

شکل ۱-۵: مین، با قابلیت پراکندگی.

البته در این تحقیق بیشتر نوع اول مین و همچنین مواد منفجره پنهان مورد نظر است.

## ۱-۵ مین‌های ضد تانک

این مین‌ها برای جلوگیری از حرکت یا از بین بردن وسایل نقلیه‌ی نیروهای متخاصم بکار می‌رود. چاشنی مین‌های ضد تانک نسبت به مین‌های ضد نفر به فشار بیشتری (در حدود kg ۱۰۰ ) نیاز دارند تا فعال شوند. آنها دارای فلز بیشتری در ساختار خود هستند و به همین دلیل آسانتر توسط فلزیاب‌ها قابل تشخیص هستند. هر دو نوع مین تا حد ممکن، نزدیک سطح زمین دفن می‌شوند. همچنین شرایط مختلف محیطی از قبیل زمینهای صخره‌ای و شنی، نواحی جنگلی و غیره، تشخیص مین‌ها را مشکل می‌سازد.

## ۱-۶ روش‌های مختلف تشخیص مواد منفجره

تکنیک‌های تشخیصی گوناگونی برای پیدا کردن مین‌ها استفاده می‌شود که هر کدام دارای معایب ومحدودیت‌های خاصی می‌باشند. یکی از این روشها استفاده از سگ‌های مین‌یاب می‌باشد. از معایب این روش می‌توان خستگی و

---

۱ -Scatterable Mines

همچنین فریب دادن حس بویایی سگ‌ها را نام برد. دومین روش، استفاده از فلزیاب‌ها است؛ که به فلز موجود در مین‌ها و قطعات فلزی سلاح‌های منفجره حساس هستند. اما نمی‌توانند مین‌های پلاستیکی را تشخیص دهند. روش سوم، استفاده از آشکارسازهای مادون قرمز است؛ که برای تشخیص مین‌هایی که به تازگی کار گذاشته شده‌اند مؤثر هستند. اما این روش گران بوده و در شرایط دمایی خاصی کار می‌کند. روش چهارم آشکارسازی، فعال‌سازی بوسیله نوترون‌های حرارتی است که روشی دقیق است و از معایب آن سرعت کم و هزینه بالای آن می‌باشد. روش پنجم، استفاده از رادار نفوذ کننده است؛ که به مین‌های بزرگ حساس بوده و در یک فاصله از سطح زمین پوشش خوبی را داراست. در این روش با پردازش سیگنال‌ها می‌توانند مین‌های ضد تانک را از ناهنجاری‌هایی مانند کلوخ‌های موجود روی سطح زمین تشخیص دهند. از معایب این روش هزینه بالا و عدم تشخیص مین‌های ضد نفر می‌باشد. روش ششم روش LANDMARC است. این سیستم از تکنولوژی رادار ضربه‌ای ماکروویو (MIR) استفاده می‌کند. این تکنیک در لایومور[1] و در سال ۱۹۹۳ در نتیجه برنامه لیزر نوا[2]کشف شد. از چند روش آشکارسازی که برای تشخیص مواد منفجره نام برده شد، ما از روش فعال‌سازی نوترون‌های حرارتی استفاده کرده‌ایم. البته بیشتر روش‌های موجود، در شکل ۱-۷ به صورت شماتیک آورده شده است.

## ۱-۷ مسایل امنیتی و ضد تروریستی

افزایش عملیات‌های تروریستی و پیچیدگی روش‌ها و ابزارهای تروریست‌ها به تناسب پیشرفت‌های علمی، نگرانی فزاینده‌ای را در جوامع بشری ایجاد نموده است؛ همچنین پاکسازی مین‌های کاشته و مهمات‌های منفجر نشده در مناطق پر تنش از جمله مسایل مهم بسیاری از کشورهاست. بدین سبب تشخیص مواد منفجره و به خصوص مواد منفجره‌ی پلاستیکی به روش فعال‌سازی نوترونی اخیراً پژوهش‌های زیادی را به خود اختصاص داده است[۸-۸,۱۲-۱۳].

---

۱ -Livermore
۲ -Nova

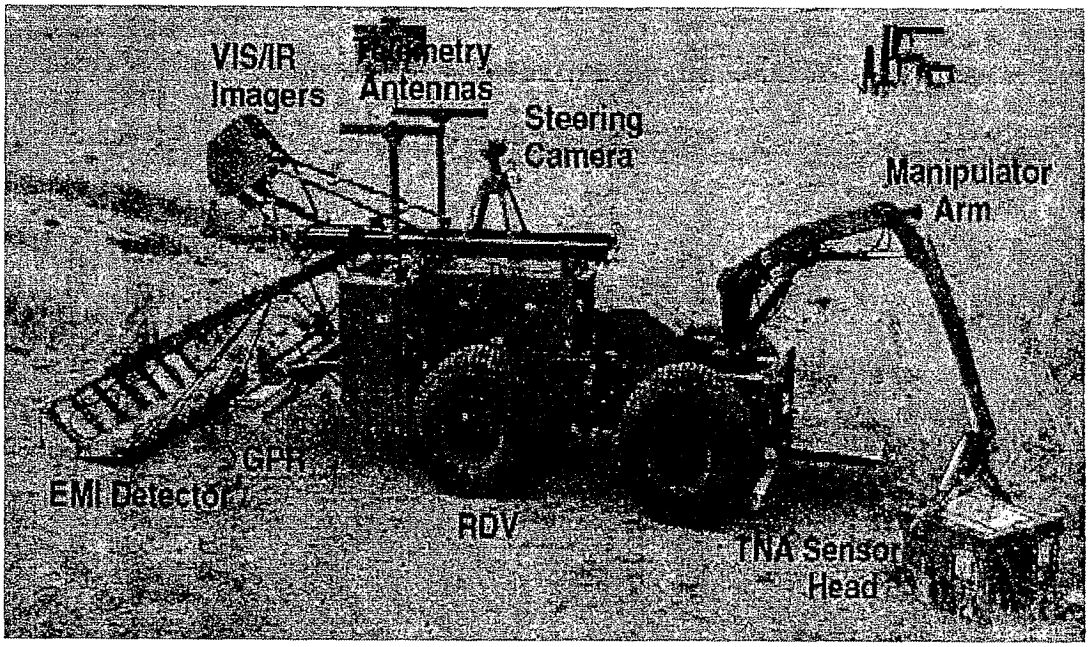
هنوز شوک ناشی از سقوط هواپیمای مسافربری ۱۰۳ Pan American بر فراز لاکربی اسکاتلند با حدود یک تا دو کیلوگرم مواد منفجره، که منجر به کشته شدن شمار زیادی از انسان‌های بی‌گناه شد از یاد نرفته است. ماجرای تروریستی وحشتناک ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ چنان سایه‌ای از رعب و وحشت را بوجود آورد که کشورها را بر آن داشت که تدابیر امنیتی سختی را در فرودگاه‌ها به اجرا در آورند. برای جلوگیری از تکرار چنین وقایعی، دانشمندان نیز در صدد بکارگیری راهکارهای تازه‌ی علمی ضد تروریستی می‌باشند.

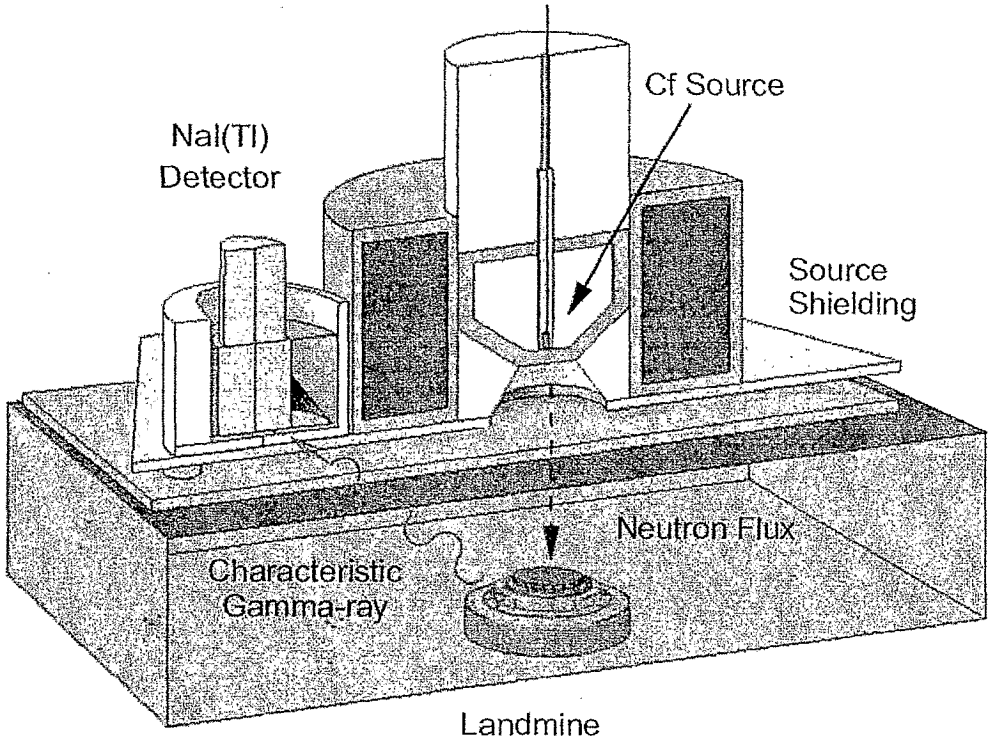
در زمینه آشکارسازی مواد منفجره گروه تحقیقاتی پروفسور M. Palomba در دانشگاه پادوا-ایتالیا مطالعات گسترده‌ای را در زمینه آشکار کردن مواد منفجره، از سال ۱۹۹۹ شروع کرده‌اند. آنها معتقدند که فقط روش‌های حساس هسته‌ای می‌تواند اهداف بشردوستانه را در این مورد برآورده کند. در این خصوص تکنیک‌های هسته‌ای با کاربست نوترون، ابزار مناسبی را برای یافتن مواد منفجره نیتروژن‌دار مهیا نموده است. گامای مشخصه‌ی گسیل شده از واکنش گیراندازی نوترون حرارتی با نیتروژن یا برانگیختگی غیر کشسان توسط نوترون‌های سریع، علامتی برای تشخیص مواد منفجره‌ی مخفی است.

در مرکز تکنولوژی برزیل، W. V.Nunes و همکارانش (۲۰۰۱-۲۰۰۲) تلاش‌هایی را برای بکار بردن شبکه‌های عصبی در آشکارسازی مواد منفجره با استفاده از فعال‌سازی نوترونی انجام داده‌اند. این گروه مطالعات خود را روی مواد منفجره C-4 متمرکز نموده‌اند و ادعا کرده‌اند که با تکنیک قدرتمند شبکه‌های عصبی و گامای آنی می‌توان ماده منفجره لفاف شده در دیگر مواد را هم تشخیص داد [۱۰].

گروه Antony A. Faust در بخش تحقیقات وزارت دفاع کانادا نیز گزارش نسبتاً مفصلی در زمینه آشکارسازی مین‌های زمینی، در کارگاه کاربران کد GEANT4 در سال ۲۰۰۲ ارائه دادند. شکل ۱-۶ طرحواری از این سیستم که در این پروژه نیز از آن الهام گرفته شده است، را نشان می‌دهد [۱۷].

C. Bruschini از دانشگاه Vrije بروکسل مطالعات خود را روی سیستم‌های تجاری برای آشکارسازی مستقیم مواد منفجره، با همکاری آژانس آمادگی دفاعی سویس متمرکز نموده‌اند [۱۶]. در سال ۲۰۰۱ ایشان گزارش جامعی درباره‌ی خواص مواد منفجره و روش‌های مختلف آشکارسازی آنها ارائه داد.




شکل۱-۶: طرحواره سیستم مین‌یاب که بوسیله وزارت دفاع کانادا طراحی و ساخته شده است [۴].