۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده علوم

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک گرایش هسته ای کاربردی

عنوان

بررسی امکان ترکیب روش های هسته ای برای تعیین مین های زمینی با استفاده از کد MCNP

نگارش:

مسعود قشمی

استاد راهنما:

دکتر سید فرهاد مسعودی

بهمن ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به پدر شکیبا و مادر دلسوزم....

چکیده

از آنجا که در روش های کلاسیک به منظور کشف و شناسایی مین از ابزارهایی نظیر فلزیاب و تربیت حیوانات استفاده می شود، این روشها بسیار خطرناک، پرهزینه و زمان بر هستند. از اینرو، مطالعات گسترده ای در مورد مین یابی با استفاده از تکنیک های هسته ای از سال ۱۹۵۰ انجام شده است. این روش ها بر پایه این واقعیت که مواد منفجره نظیر $TNT(C_7H_5N_3O_6)$ و $RDX(C_3H_6N_6O_6)$ شامل مقادیر قابل توجهی کربن، نیتروژن، اکسیژن و هیدروژن هستند، شکل گرفته اند. به عبارت دیگر، در تکنیک هسته ای با شناسایی عناصر سبک تشکیل دهنده ماده منفجره، فرآیند آشکارسازی مین صورت می پذیرد. تکنیک هسته ای به دو روش کلی تحلیل گاما آنی ناشی از فعالسازی نوترون و پس پراکندگی نوترون، تقسیم بندی می شود. هر کدام از این دو روش، بر پایه اصل مکان یابی شکل گرفته اند. در این پایان نامه با استفاده از کد MCNP به امکان سنجی ترکیب این دو روش می پردازیم. در این شبیه سازی، انرژی بهینه چشمه نوترون برای بالاتر بردن بهره روش مین یابی با استفاده از تکنیکهای هسته ای محاسبه می شود. سپس با استفاده از موادی مانند اورانیوم در حد فاصل بین چشمه مولد نوترون و زمین نشان داده خواهد شد که استفاده از این مواد می تواند ضمن افزودن بر تعداد نوترون ها فرود آمده بر خاک، بهره روش بکار رفته در فرآیند مین یابی را نیز افزایش دهد. علاوه بر این، ضخامت بهینه تکثیرکننده برای بهترین نتیجه در مین یابی محاسبه شده و نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات مشابه مقایسه می شود. شبیه سازی های ما نشان می دهد که استفاده از چشمه D-T به همراه اورانیوم با خاک ۲٪ رطوبت کارایی دستگاه مین یابی با روش پس پراکندگی نوترون را تا ۴۰٪ افزایش می دهد.

کلید واژه: مین یابی، نوترون، کد MCNP.

از زحمات بی دریغ استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر مسعودی سپاس گذاری می نمایم و آرزوی سعادت برای ایشان دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... أ

فهرست شکل‌ها ..... ب

فصل ۱- روش های مین یابی ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- معرفی مین ۴

۱-۳- روش بیولوژیکی ۶

۱-۴- روش استفاده از کارشناس ۷

۱-۵- روش استفاده از فلزیاب ۸

۱-۶- استفاده از وسایل نقلیه سنگین ۹

۱-۷- تکنیک هسته ای ۱۰

۱-۷-۱- لزوم استفاده از تکنیک هسته ای ۱۰

۱-۷-۲- اندرکنش نوترون با ماده ۱۱

۱-۷-۳- رده‌بندی واکنش‌های نوترونی ۱۵

۱-۷-۴- چشمه های تولید نوترون ۱۶

راکتورهای هسته ای ۱۶

چشمه های شکافت خود به خودی ۱۶

چشمه های شتاب دهنده ۱۷

چشمه های مولد نوترون ۱۷

۱-۷-۵- تکثیر کننده ۱۸

۱-۷-۶- کند ساز ۱۹

۱-۷-۷- بازتابنده و محافظ ۲۰

۱-۷-۸- کد MCNP و روش مونت کارلو ۲۰

مبانی روش مونت کارلو ۲۰

مراحل مختلف در ترابرد پرتوها با روش مونت کارلو ۲۱

کد MCNP (Monte Carlo Code for N-Particle Transport) ۲۲

۱-۷-۹- مین یابی با تکنیک هسته ای ۲۳
تحلیل گاما آنی ناشی از فعالسازی نوترون: ۲۳
پس پراکندگی نوترون ۲۴

فصل ۲- تحلیل گاما آنی ناشی از فعالسازی نوترون ۲۶

۲-۱- مقدمه ۲۷
۲-۲- پرتو گاما ۳۰
۲-۳- حالتهای فروپاشی گاما ۳۲
۲-۳-۱- نشر اشعه گامای خالص ۳۲
۲-۳-۲- حالت فروپاشی بصورت تبدیل داخلی ۳۲
۲-۳-۳- حالت فروپاشی بصورت جفت ۳۳
۲-۴- آشکارسازی گاما ۳۳
۲-۴-۱- آشکارسازی ذرات ۳۳
۲-۴-۲- آشکارسازی ذرات بدون بار ۳۴
فوتونها (در ناحیه پرتوهای ایکس و گاما) ۳۴
نوترونها ۳۵
اصول کار دستگاههای آشکارساز ۳۵
انواع آشکارسازها ۳۶
آشکار سازهای سنتیلاسیون NaI ۳۸
۲-۵- هندسه به کار رفته در شبیه سازی ۳۹

فصل ۳- پس پراکندگی نوترون ۴۹

۳-۱- مقدمه ۵۰
۳-۲- آشکارسازی نوترون ۵۱
۳-۲-۱- آشکار ساز برن (Boron counter) ۵۲
۳-۲-۲- آشکار ساز ^{3}He ۵۳
۳-۳- شبیه سازی ۵۳

فصل ۴- نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۹

فهرست مراجع ۷۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: درصد وزنی عناصر خاک ۴۰
جدول ۲-۲: درصد وزنی عناصر مین ۴۱
جدول ۲-۳: تعداد گاماهای آشکارسازی شده برای دو حالت حضور و عدم حضور مین ۴۶
جدول ۳-۱: واکنش‌های گرمازایی که برای آشکارسازی نوترون به کار می‌روند ۵۲
جدول ۳-۲: تعداد نوترون های آشکارسازی شده برای مواد گوناگون ۵۴
جدول ۳-۳: مقدار پارامتر R_n برای پیکربندی های مختلف ۵۷
جدول ۳-۴: مقادیر پارامتر R_n برای مواد وترکیبات گوناگون ۶۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱:تعداد مین و نسبت تعداد جانبازان به ده میلیون نفر جمعیت، چند کشور نخست آلوده به مین ۳
شکل ۱-۲: تعدادی مین ضد نفر به همراه چاشنی و ماده منفجره ۵
شکل ۱-۳: استفاده از حیوانات به منظور انفجار مین ۶
شکل ۱-۴: الگوی لانه زنبوری و ستاره ای ۸
شکل ۱-۵: شمایی از یک ماشین مین کوب ۹
شکل ۱-۶: پراکندگی کشسان ۱۲
شکل ۱-۷: پراکندگی غیر کشسان ۱۴
شکل ۱-۸: شمایی از برخورد نوترون با تکثیر کننده ۱۹
شکل ۲-۱: برخورد نوترون با هسته یک عنصر نوعی ۲۷
شکل ۲-۲: شمایی از زنجیره واکنش برخورد نوترون با ^{59}Co ۲۸
شکل ۲-۳: شمایی از نحوه عملکرد روش PGNAA ۲۹
شکل ۲-۴: نحوه سد کردن ذرات آلفا و بتا و پرتو ایکس و گاما ۴۲
شکل ۲-۵: شمایی از هندسه به کار رفته در شبیه سازی ۴۳
شکل ۲-۶: نمودار پارامتر R_γ بر حسب انرژی های مختلف چشمه ۴۴
شکل ۲-۷: طیف انرژی نوترون ها پس از عبور از کندساز ۴۵
شکل ۲-۸: نمودار تغییرات پارامتر R_γ بر حسب رطوبت خاک برای عمق ۵ cm مین ۴۸
شکل ۳-۱ : شمایی از هندسه به کار رفته در شبیه سازی به منظور سد کردن مسیر عبور ذرات ۵۴
شکل ۳-۲: شمایی از هندسه های به کار رفته در شبیه سازی برای بهینه سازی مقدار پارامتر R_n ۵۶
شکل ۳-۳: شمایی از هندسه پیکربندی ۳ به همراه شمایی از پایین مجموعه چشمه وآشکارساز ۵۸
شکل ۳-۴: نمودار تغییرات پارامتر R_n بر حسب انرژی چشمه ۵۹
شکل ۳-۵: نودار تغییرات پارامتر R_n بر حسب ضخامت اورانیوم ۶۰
شکل ۳-۶: نمودار مقدار تغییرات پارامتر R_n بر حسب ضخامت اورانیوم در شبیه سازی پیکربندی ۵ ..... ۶۲
شکل ۳-۷: نمودار تغییر پارامتر R_n بر حسب رطوبت خاک برای دو عمق ۵ cm و ۱۰ cm ۶۳
شکل ۳-۸: نمودار تغییرات پارامتر R_n برحسب شعاع مین ۶۵

شکل ۳-۹: نمودار تغییرات R_n پارامتر بر حسب عمق مین و فاصله مین از مبدا.....۶۷

فصل ۱- روش های مین یابی

۱-۱- مقدمه

جنگ جهانی دوم اگرچه در اواسط قرن بیستم جان بسیاری از انسان ها را گرفت، با این وجود مواد منفجره باقی مانده از آن هنوز هم قربانیان زیادی را به کام مرگ می فرستد. یکی از ابزارهایی که آن زمان برای مقابله با دشمن از آن استفاده شد مین های زمینی[1] است. این مین ها امروزه تنها در جنگ ها کاربرد نداشته و بیشتر در مرز بین کشور ها و مسدود کردن محور های عبور مواد قاچاق از آن استفاده می شود.

استفاده از مین یکی از ساده ترین روشها برای جلوگیری از تردد افراد و یا وسایل نقلیه است. با این وجود در صورت برقراری صلح و یا در صورت نیاز مسالمت آمیز از آن منطقه، کشف و خنثی سازی مین های دفن شده در خاک، همواره چالشی بزرگ پیش روی بشر بوده است.

طبق جدید ترین آمار سازمان صلیب سرخ جهانی, اراضی ۶۴ کشور جهان به ۱۱۰ میلیون مین ضد نفر آلوده بوده و روزانه بیست تا پنجاه مین به این آمار افزوده می گردد[۱]. به طور متوسط در هر بیست و دو دقیقه انفجار یک مین در گوشه و کنار جهان باعث کشته یا زخمی شدن فرد یا افرادی می گردد. قربانیانی که از این انفجارها جان به در می برند، بیست و هشت درصد دچار قطعی یک یا هر دوپا می شوند. قیمت جهانی هر مین حدود ۳ دلار و هزینه کشف و انهدام یا خنثی سازی آن ده تا صد برابر قیمت فروش آن است[۲].

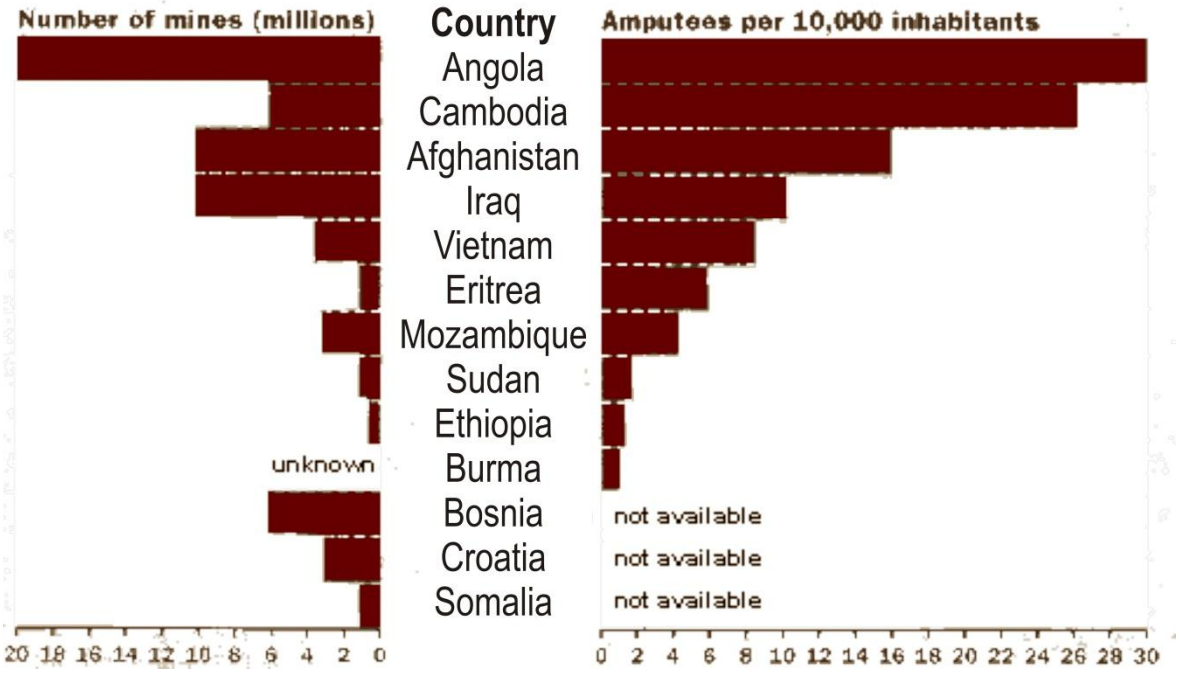
اما در مورد ایران و اراضی آلوده به مین آن این مسئله جای بسی شگفتی و تامل دارد. ایران یکی از کشورهایی است که به معاهده منع استفاده از مینهای ضد نفر مصوب سال ۱۹۹۷ نپیوسته است. کشور ایران مقام دوم آلودگی به مین های ضد نفر را در عرصه جهانی دارد. بر طبق آمارهای داخلی و خارجی که تفاوت چندانی باهم ندارند، حدود ۳ میلیون هکتار از زمین های ایران آلوده به مین های ضد نفرند که

[1] Landmine

بخش وسیعی از آن قابل کشت و زرع بوده ولی به دلیل وجود انبوه مینهای ضد نفر از این امکان بی بهره اند.

برطبق جدیدترین آمار روزانه معادل ۲/۲ نفر از ساکنان مناطق مرزی بر اثر انفجار مین کشته یا دچار نقص عضو می شوند. مناطق مین گذاری شده به طور عمده در استانهای کردنشین غرب و جنوب ایران است. پاکسازی نکردن این مناطق از مین با وجود گذشت پانزده سال از پایان جنگ ویرانگر ایران و عراق، در حال حاضر مشکلات و خطرات بزرگی برای اهالی مرزی این مناطق ایجاد کرده است.

افغانستان از دیگر مناطق بسیار خطرناک جهان از نظر کثرت مین‌های زمینی است. بنا بر آمارهای بین‌المللی، در دست‌کم ۸۰ کشور جهان، میلیون‌ها انسان با خطر برخورد با مین‌های کاشته‌شده در زمین قرار دارند. بر اساس آمار "سازمان دیده‌بان مین‌های زمینی"، هر سال بین ۱۵ تا ۲۰ هزار نفر در این مناطق جان خود را از دست می‌دهند یا دچار معلولیت می‌شوند که دست‌کم ۲۰ درصدشان را کودکان تشکیل می‌دهند. شکل ۱-۱ ،تعداد مین و همچنین نسبت تعداد جانبازان به ده میلیون نفر جمعیت، چند کشور نخست در رده بندی کشورهای آلوده به مین را نشان می دهد.



شکل ۱-۱:تعداد مین و نسبت تعداد جانبازان به ده میلیون نفر جمعیت، چند کشور نخست آلوده به مین

البته این آمار موارد شناخته شده یا مراجعه‌کنندگان به مراکز درمانی را نشان می‌دهد و قطعا تعداد واقعی قربانیان بیش از این‌هاست. نهادهای مختلفی در سراسر جهان در امر آموزش و اطلاع‌رسانی در مورد خطرهای مین یا مقابله با ادامه روند کاشت آن فعالیت می‌کنند. کشورهای مختلفی نیز کمک‌های مالی یا انسانی در این راه ارائه می‌کنند.

به منظور کشف مین روش های زیادی تا کنون مورد استفاده قرار گرفته است. از میان آنها می توان به روش بیولوژیکی، روش استفاده از فلزیاب، استفاده از پرتو ایکس، روش هسته ای و ... اشاره کرد. از میان این روشها روش هسته ای به دلیل راندمان بالا ، کشف مین های پلاستیکی و فلزی، سهولت حمل و نقل و استفاده، عدم نیاز به تعداد زیاد نیروی انسانی و انجام سریع عملیات اکتشاف نسبت به سایر روش های مین یابی مورد توجه قرار گرفته است که در این فصل ضمن معرفی روش های مین یابی، به بیان تکنیک هسته ای می پردازیم[۴],[۳].

۱-۲- معرفی مین

مین در یک بیان ساده، ماده منفجره ای است که در یک غشا فلزی یا پلاستیکی قرار دارد. از نظر تاریخی در ابتدا ماده منفجره داخل غشاء فلزی قرار داده می شد، ولی پس از مدتی به دلیل اینکه این نوع مین ها به راحتی با استفاده از فلزیاب کشف می شدند پوسته فلزی مین را با ماده ای از جنس پلاستیک جایگزین کردند. امروزه به این نوع از مین ها، مین های پلاستیکی گفته می شود. عموما $RDX(C_3H_6N_6O_6)$ و یا $TNT(C_7H_5N_3O_6)$ به عنوان ماده منفجره داخل پوسته قرار گرفته و یک چاشنی حساس برای انفجار در مین طراحی می شود تا به محض عبور موجودی از روی مین باعث انفجار شود. این چاشنی به جرم شخص یا وسیله ای که از روی مین عبور می کند حساس بوده و فقط برای یک محدوده ی جرمی خاص باعث انفجار می شود.

مین ها بر اساس نوع کارایی و هدفی که دارند در اندازه ها و جرم های مختلفی ساخته شده و به دو دسته کلی مین های ضد نفر و مین های ضد تانک تقسیم بندی می گردند. در طراحی مین های ضد نفر به دو نکته توجه می شود: ۱- شخصی که در معرض انفجار قرار می گیرد کشته شود. ۲- شخصی که در معرض انفجار قرار می گیرد کشته نشده و فقط دچار آسیب دیدگی شود تا با دستگیری وی از اطلاعاتش استفاده شود. در شکل ۱-۲ تعدادی مین ضد نفر و ادوات آن مشاهده می شود.

شکل ۱-۲: تعدادی مین ضد نفر به همراه چاشنی و ماده منفجره

مین های ضد تانک به گروه کلی از مین ها اطلاق می شود که به منظور جلوگیری از عبور و مرور ماشین آلات مورد استفاده قرار می گیرند. این نوع مین ها بر اساس نوع کاربری برای جرم خاصی از وسایل طراحی می شوند. به عنوان مثال مینی که برای انفجار خودروی سواری طراحی می شود در اثر عبور وسیله ای به جرم یک تا سه تن منفجر می شود و در حدود یک کیلو گرم ماده منفجره نیاز دارد (برای جرم های بزرگتر و ماشین آلات بزرگتر ماده منفجره بیشتری نیاز است). سنگین ترین وسیله ای

که برای نابودی آن مین طراحی شده است، تانک می باشد که برخی از انواع آن حدود صد تن جرم داشته و برای متوقف کردن آن به بیش از ده کیلو گرم ماده منفجره نیاز است.

۱-۳- روش بیولوژیکی[1]

این روش با به کار گیری حیوانات و هدایت آنها بر مکان هایی که احتمال حضور مین در آنها وجود دارد، شکل گرفته است. حیوانات در میدان مین حرکت کرده و به محض اینکه روی مین قدم بگذارند انفجار رخ می دهد. انفجار غالبا موجب مرگ حیوانات می شود و یا باعث قطع عضو آنها می گردد. این روش راحت ترین روش برای کشف مین بوده و از زمان به وجود آمدن مین بیشتر از سایر روش های مین یابی مورد استفاده قرار گرفته است[۵].

شکل ۱-۳: استفاده از حیوانات به منظور انفجار مین

سازمان های حمایت از محیط زیست و طرفداران حقوق حیوانات همواره به استفاده از این روش اعتراض کرده و در برخی از کشورها مؤ سساتی برای نگهداری از حیوانات مصدوم و معلول بجا مانده از این حوادث تاسیس گشته است. از جمله مشکلات روبروی این روش، کسرت مینهایی است که از آنها در مکانهای دارای مین جهت جلو گیری از تردد استفاده می شود. اگر قرار باشد برای هر یک از این مین ها

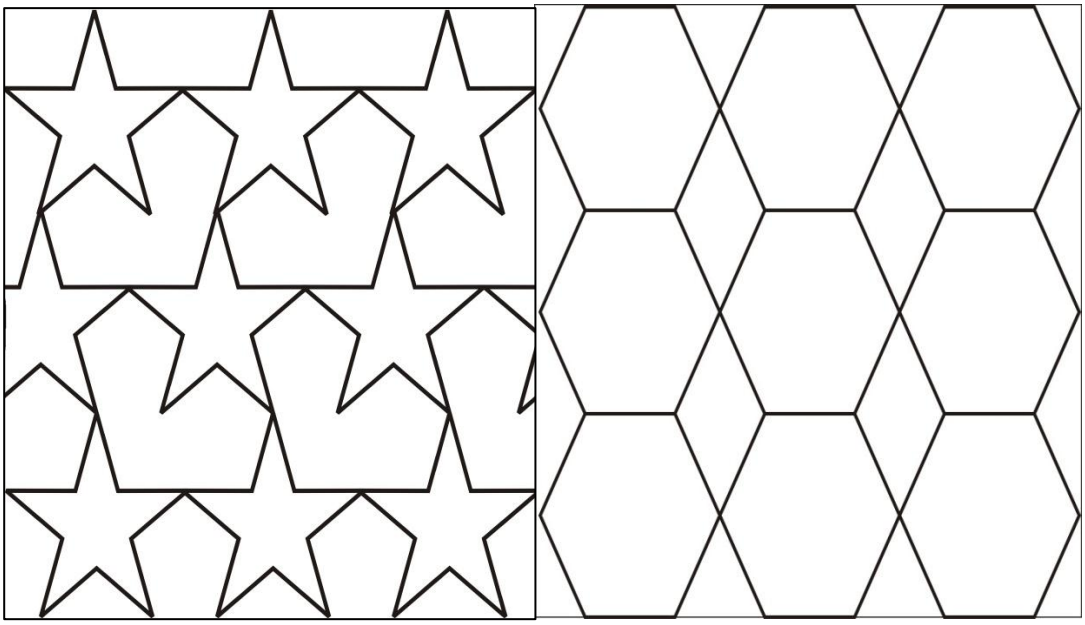
[1] Biological Detection

یک حیوان بی گناه تلف شود، به تعداد بسیار زیادیی حیوان نیاز است که معمولا این تعداد در دسترس نیستند.

از طرف دیگر، همانطور که در بخش ۱-۲- بیان شده است، مین ها دارای انواع مختلفی بوده و برای انفجار هر کدام از آنها باید جرمی به اندازه کافی روی آنها قرار بگیرد. به عنوان مثال برای انفجار برخی از مین ها ضد تانک باید دستگاهی با جرم بیش از ۵۰ تن روی آنها حرکت کند در غیر این صورت انفجار رخ نمی دهد. به همین دلیل استفاده از حیوانات به منظور این امر گاهی بی نتیجه است و ممکن است همچنان مینی با قدرت انفجار در زمین باقی مانده باشد.

۱-۴- روش استفاده از کارشناس

در این روش افرادی تحت آموزش قرار گرفته و در دوره های مختلف با نحوه ی کشف و خنثی سازی مین آشنا می شوند. این افراد با وسایل و تجهیزات کامل به مکان هایی که احتمال حضور مین در آنها وجود دارد اعزام می شوند. از طرفی برخی مکان ها وجود دارند که در حال حاضر در شرایط جنگ و یا موقعیت اضطراری قرار می گیرند و لازم است در این مکان ها عملیات مین گذاری انجام گیرد. اما این احتمال وجود دارد که از این مکان دوباره در شرایط صلح آمیز، استفاده مسالمت آمیز گردد. در این صورت برای کاشت مین از الگویی خاص استفاده می شود تا زمانی که نیاز به جمع آوری و پاکسازی آن منطقه به وجود آمد، به آسانی و در اسرع وقت این امر صورت پذیرد. الگو های مختلفی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته اند که به عنوان مثال می توان به الگوی لانه زنبوری و الگوی ستاره ای اشاره کرد (شکل ۱-۴). کارشناسان که به نحوه شکل گیری الگو ها واقف هستند با کشف چندین نقطه از این الگو که مین در آنجا وجود دارد ، قادرند به شکل کلی الگو پی ببرند.



شکل ۱-۴: الگوی لانه زنبوری و ستاره ای

حضور افرادی هر چند با تجربه و آموزش دیده در این نوع مکان ها بسیار خطرناک است و تا به حال افراد زیادی به این ترتیب جان خود را از دست داده اند. از طرف دیگر در بخش اندکی از مکان های مین گذاری شده ، طبق الگو، عملیات کاشت مین صورت گرفته است. در اماکنی که از الگو به منظور کاشت مین استفاده نشده، به کارگیری کارشناس جهت کشف و خنثی سازی باعث افزایش چندین برابری خطر انفجار و زمان خنثی سازی می گردد.

۱-۵- روش استفاده از فلزیاب[1]

همانگونه که در بخش ۱-۲- توضیح داده شده است، در سالهای نخست پیدایش مین ، مواد منفجره در داخل پوسته فلزی قرار داده می شد. برای چنین مینهایی ، دستگاههای فلزیاب، که در حال حاضر نیز کاربرد بسیار زیادی دارند، به آسانی قادر به شناسایی مینها هستند[۶].

با پیشرفت های حاصل شده در صنعت پتروشیمی و استفاده از پلاستیک به جای فلز به عنوان پوسته ماده منفجره، استفاده از فلز یاب برای این منظور منسوخ گردیده است. این امر باعث شد تا محققین از

[1] Metal Detector

کشف پوسته ماده منفجره دست برداشته و به سمت آشکارسازی ماده منفجره موجود در انواع مین ها روی آورند.

۱-۶- استفاده از وسایل نقلیه سنگین

در این روش به منظور خنثی سازی مین های دفن شده وسایل نقلیه با وزن بسیار زیاد را بر روی محل هایی که احتمال می رود مین در آن کاشته شده باشد، حرکت می دهند. در نمونه پیشرفته این وسایل، یک محور چرخنده در دستگاه با چندین چکش متصل به آن تعبیه شده است. این ابزار به اصطلاح مین کوب نامیده می شود. در این دستگاه، محور در هنگام حرکت چکش ها را با نیروی بسیار زیادی به زمین کوبیده و موجب انفجار مین می شود.

شکل ۱-۵: شمایی از یک ماشین مین کوب

در ساخت اینگونه دستگاه ها که مدام در معرض انفجار قرار می گیرند باید بسیار دقت شده و از آلیاژ مخصوصی در بدنه آنها استفاده شود. ایمن سازی بدنه این دستگاه ها باید به گونه ای باشد که دستگاه به سرعت آسیب ندیده و از افرادی که مسئولیت هدایت آنها را بر عهده دارند حفاظت کند. از دیگر مشکلات موجود در راه استفاده از این دستگاه، هزینه سنگین ساخت آن است. از آنجا که هنگام انفجار نیروی

زیادی وسیله را به بالا پرتاب می کند، برای مقابله با چنین نیرویی می بایست جرم وسیله را تا جایی که امکان دارد افزایش داد. این امر هزینه ساخت اینگونه دستگاه ها را بسیار بالا می برد.

همانگونه که در بخش ۱-۲- بیان شده است، برخی از انواع مین های ضد تانک، قابلیت انهدام تانک های چند صد تنی را دارند. این امر نشان می دهد که در صورت عبور این دستگاه ها از روی مینهای ضد تانک، دستگاه به سرعت مستهلک خواهد شد.

از جمله معایب دیگر این روش، مانند روش استفاده از حیوانات، امکان باقی موندن مین در زمین بواسطه حساس بودن چاشنی مین به جرم خاص است.

۱-۷- تکنیک هسته ای[1]

۱-۷-۱- لزوم استفاده از تکنیک هسته ای

در بررسی روشهایی که تا این قسمت به آنها پرداخته شده است و تحلیل مشکلاتی که هر کدام از این روشها داشته اند. چند نکته حائز اهمیت است :

۱- برای کشف مین می بایست ماده منفجره آشکار سازی گردد، نه پوسته ای که ماده منفجره در آن قرار می گیرد .

۲- عبور موجودات یا دستگاه از روی مین باعث از بین رفتن جان موجودات و یا ساختار آن دستگاه می شود که هزینه زیادی دارد و در نهایت موجب پاک سازی منطقه به صورت کامل نمی شود .

۳- استفاده از نیروی انسانی به عنوان عامل کشف مین بسیار خطرناک بوده و زمان مضاعفی را نیازمند است

[1] Nuclear Technique