فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال هشتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، (پیاپی ۲۹): صص ۲۴-۱۳

بررسی روش‌های آشکارسازی مین‌های مدفون

سید عباس وزیری[۱*]، محمود عسگری[۲]، جواد خلیل‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸

چکیده

متأسفانه در مورد مین‌های کاشته‌شده در نبرد، جابه‌جایی، انهدام و به‌کارگیری مجدد به‌سادگی امکان‌پذیر نیست زیرا محل دفن مین از نظرها پنهان بوده و عموماً نقشه‌های مناطق مین‌گذاری شده موجود نیست. به همین دلیل پس از پایان نبردها، شمار زیادی از افراد نظامی و غیر نظامی بی‌گناه قربانی مین‌ها شده و خسارات زیادی به افراد محلی از نظر مالی و جانی وارد می‌گردد. در این مقاله، فناوری‌های تشخیص ایمن مین‌های انفرادی مدفون به عنوان روش‌های غیرعامل مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. از جمله این فناوری‌ها می‌توان به روش‌های فروسرخ، اشعه ایکس برگشتی، رزونانس چهار قطبی هسته‌ای، پرتونگاری مقطعی امپدانس الکتریکی و روش‌های نوترونی اشاره کرد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که علی‌رغم ابداع روش‌های مؤثر برای مین‌یابی، هیچ کدام از این روش‌ها به تنهایی کارایی صد درصدی ندارند و بهتر است از ترکیب روش‌ها استفاده گردد.

کلیدواژه‌ها: مین مدفون، روش‌های آشکارسازی، فروسرخ، پرتونگاری مقطعی.

۱- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع) - (avaziri@ihu.ac.ir) - نویسنده مسئول
۲- کارشناس‌ارشد مهندسی پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین(ع)
۳- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

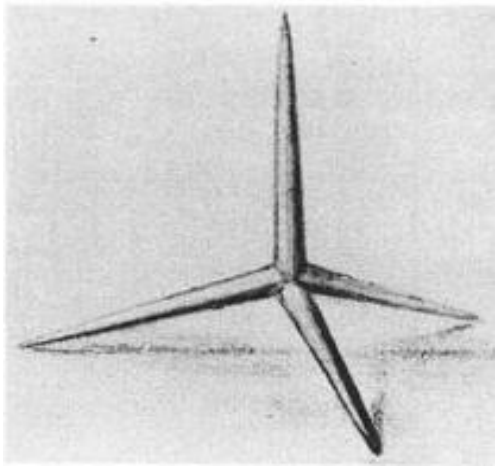
۱- مقدمه

یکی از میراث‌های مرگبار این قرن، استفاده از مین‌های زمینی در جنگ است. مین‌های ضدنفر زمینی پس از یک نبرد و حتی سال‌ها پس از پایان جنگ، همچنان ناخواسته حوادث غم‌انگیزی را پدید می‌آورند. مین‌های زمینی ضدنفر سال‌های متمادی و به صورتی خاموش از مردمانی که نه جنگیده‌اند و نه جنگ طلبند، قربانی می‌گیرند. این مین‌های کار گذاشته شده حتی پس از چند دهه باعث صدمه، جراحت و مرگ می‌شوند. بیش از ۱۰۰ میلیون مین زمینی پراکنده در ۷۰ کشور جهان وجود دارد که نتیجه جنگ‌های کنونی و گذشته است و هر سال باعث کشته و یا معلول شدن ۲۶۰۰۰ نفر می‌شود [۱].

زمانی که قطعنامه شماره ۵۹۸ در سال ۱۳۶۸ بین دو کشور ایران و عراق به امضاء رسید، تمام مردم مرزنشین نواحی غرب و جنوب غربی کشور که هشت سال زیر آتش توپ و موشک و بمب بودند و زمین و کاشانه و مال خود را از دست داده بودند، جشن گرفتند. همگان گمان می‌کردند که تاریخ آلام و دردهایشان به پایان رسیده است اما متاسفانه آنان متوجه نبودند که نبرد هنوز در این مناطق وجود دارد. گستردگی استفاده و کاربرد وسیع از سلاحی آرام اما مخرب و مرگبار به نام "مین‌های زمینی[1]" باعث گردید که مصیبت‌بارترین و فاجعه‌انگیزترین تراژدی درکشتار و نقص عضو انسانهای بی‌گناه در این مناطق واقع شود.

مین به عنوان سلاحی انفجاری برای حفاظت از مناطق ویژه مثل مرزها و یا محدود کردن دشمن (در مناطق جنگی) و در دو نوع کلی زمینی و دریائی، از جمله قدیمی‌ترین حربه‌های نظامی به شمار می‌رود که هنوز جایگاه خود را در ارتش‌های جهان از دست نداده، بلکه به طراحی‌های جدید نیز تن داده است. سابقه استفاده بشر از نخستین شکل‌های این سلاح به رم باستان باز می‌گردد، زمانی که سربازان رومی بر سر راه دشمنان حفره‌های کوچکی به اندازه یک کف پا کنده و در آن میخ‌های تیز پُرمی‌کردند و سپس روی حفره‌ها را می‌پوشاندند. اروپائی‌ها نیز در قرون وسطی گودال‌های کوچکی کنده و داخل آنها میخ‌های چهار شاخی به نام "کالتروپ[2]"می‌ریختند تا حرکت صفوف دشمن را مختل کنند. شکل ۱ یک میخ چهار شاخی "کالتروپ" را نشان می‌دهد [۲].

در سال ۱۵۷۳ در شهر آگزبرگ[3](جنوب آلمان، مرکز باواریا[4]) یک مهندس نظامی آلمانی، نوعی مین انفجاری موسوم به "فلادرماین[5]"را اختراع کرد که قدرت انفجاری خیلی زیادی داشت. این‌گونه مین تا اواخر قرن ۱۹ کاربرد گسترده‌ای داشت. نخستین نوع مین‌های انفجاری ضدنفر که به لحاظ مکانیکی بسیار مدرن بودند توسط نیروهای ژنرال گابریل‌رینز[6] در جریان نبرد "یورک تاون[7]" در سال ۱۸۶۲ ساخته شد. این مین‌ها به فیوز برقی مجهز بودند و از قابلیت انفجارکنترل شده (از راه دور با نیروی اپراتور خودی) برخوردار بودند. ارتش آلمان در جنگ جهانی اول موفق شد طراحی‌های مدرن‌تری از این مین‌های فیوزدار را ارائه کند [۲].



شکل ۱– کالتروپ [۳]

در زمینه مقابله با خطرات مین‌ها، مطالعه و بررسی فناوری‌های جدید تشخیص مین‌های مدفون به عنوان روش پدافند غیرعامل، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، ما به بررسی روش‌ها و فناوری‌های تشخیص مین‌های مدفون با تأکید بر روش‌ها و فناوری‌های جدید پرداخته‌ایم.

۲- انواع روش‌های مین‌یابی

کشف و شناسایی مین‌های مدفون و برجا مانده، یکی از اهداف اصلی جامعه جهانی و فعالیتی بشر دوستانه است. از آنجا که امروزه روش‌های متعددی برای کشف و شناسایی مین‌های مدفون به‌کار می‌رود که هر کدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند، ضروری است این روش‌ها شناسایی شده و دسته‌بندی گردند تا بتوان بنابر ضرورت و موقعیت از آنها استفاده نمود. از روش مختلفی برای تشخیص مین‌های زمینی استفاده می‌گردد که در ذیل به آنها اشاره شده است.

1-landmines
2-Caltrop
3- Augsburg
4- Bavaria

5- Fladdermine
6- Gabriel. J. Raines
7- Yorktown

۲-۱- روش‌های فلزیاب

۲-۱-۱- روش فلزیاب

فلزیاب وسیله ایست برای پیداکردن اجسام فلزی مخفی شده درون زمین، دیوار یا مواد دیگر، به‌عبارتی فلزیاب‌ها ابزارهای الکترونیکی و یا مکانیکی هستند که بر اساس قوانین مختلف فیزیک به یک یا همه انواع فلزات حساسیت نشان می‌دهند و امکان کشف فلزات مدفون در خاک را ممکن می‌سازند. اساس آشکارسازهای فلزی، شناسایی مین بر پایه اندازه‌گیری اختلال میدان الکترومغناطیسی نشر شده از اشیاء فلزی موجود در خاک می‌باشد. چگونگی کار بدین صورت است که یک میدان مغناطیسی در اطراف دیسک جستجوگر خود ایجاد می‌کند، در زمانی که جسم فلزی در محدوده میدان مغناطیسی قرار گیرد شدت میدان مغناطیسی تغییر یافته و دستگاه فلزیاب با احساس این تغییرات متوجه وجود فلز در اطراف دیسک خود می‌شود و آن‌را آشکار می‌کند. هر چه شدت میدان مغناطیسی تولید شده توسط دستگاه بیشتر باشد عمق کشف فلز بیشتر خواهد شد [۱]. در شکل ۲ کاوش در منطقه مشکوک را نشان می‌دهد.

شکل ۲- جستجوی مین بوسیله فلزیاب [۱]

اغلب اشیاء فلزی را می‌توان با این آشکارسازها مشخص نمود. آشکارسازهای فلزپایه، محبوب، آسان و ارزان بوده و میزان موفقیت آن نیز متوسط است. با این‌حال تمام اشیاء فلزی شناسایی می‌شوند در حالی که مشکل زمانی است که این آشکارسازها به میادین و یا مین‌های پلاستیکی کم فلز برخورد کنند. در نسخه فعلی، این سامانه قادر به شناسایی و مشاهده قطعات فلزی کمتر از ۱ Cm و به عمق ۵۰ Cm است. این سامانه‌ها نمی‌توانند برای مین‌های پلاستیکی جدید و پیشرفته فاقد فلز مورد استفاده قرار گیرند؛ مین‌های ضدنفر اغلب بدنه پلاستیکی دارند، لذا کار کردن با این آشکارساز یک مسأله و مشکل است [۱].

۲-۱-۲- مغناطیس‌سنجی ژئوفیزیکی[1]

مغناطیس‌سنج دستگاهی است که برای اندازگیری قدرت یک میدان مغناطیسی مورد اِستفاده قرار می‌گیرد. ساده‌ترین نوع مغناطیس‌سنج، سیم‌پیچ نازکی است که وقتی درون یک میدان مغناطیسی حرکت می‌کند، ولتاژ الکتریکی به‌وجود می‌آورد. مقدار این ولتاژ نشان دهنده قدرت یا شدت میدان است. مغناطیس‌سنج‌ها را می‌توان در هواپیما نصب کرد تا تغییرات کوچک میدان مغناطیسی زمین اندازگیری شود. با مطالعه تغییرات مزبور، موقعیت و مکان آهن، نفت و سایر منابع موجود در زمین را شناسایی می‌کنند [۴].

یکی از ویژگی‌های مهم کره زمین، وجود خاصیت آهنربایی در آن است که تاکنون نظریه‌های گوناگونی برای آن ارائه شده است. وجود میدان مغناطیس زمین، انجام پاره‌ای از بررسی‌های مهم دیگر را میسر کرده است. از آن جمله، می‌توان از روش‌های اکتشاف و مطالعه ذخایر زمین نام برد. تحلیل دقیق میدان مغناطیسی زمین ، وسیله توانمندی برای بررسی ذخایر معدنی زمین است. در حال حاضر، جستجوی مغناطیس‌سنجی، روش ژئوفیزیکی مهم و گسترده‌ای است که برای اکتشاف و ذخائر معدنی به‌کار می‌رود. مواد مغناطیسی مانند آهن که در میدان مغناطیسی کره زمین قرار دارند، به مرور زمان، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند [۴]. در شکل ۳ یک دستگاه مغناطیس‌سنج زمینی و هوایی نمایش داده شده است.

شکل ۳- مغناطیس سنج زمینی و هوایی [۴]

یکی از روش‌های به‌کار گرفته شده جهت شناسایی مهمات و مین‌های عمل نکرده در نواحی آلوده و جنگی، روش مغناطیس‌سنجی ژئوفیزیکی می‌باشد. این اهداف به‌دلیل کوچک بودن، دارای سیگنال‌های ضعیفی می‌باشند. در ضمن برای پوشش نواحی آلوده وسیع، از برداشت‌های هوابرد مغناطیسی استفاده می‌شود که نسبت به برداشت‌های زمینی، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشند. مشکل اساسی از این برداشت‌ها، پایین بودن نسبت سیگنال به نویز است که

1- Magnetic Geophysical Survey

شناسائی اهداف مورد نظر را با مشکل مواجه می‌نماید. بدین منظور از فیلتر استفاده می‌شود تا نسبت سیگنال به نویز را افزایش دهد [۴].

۲-۲- روش‌های الکترومغناطیسی

۲-۲-۱- رادار نفوذ زمینی[1]

رادار نفوذ زمینی به نوعی روش ژئوفیزیکی گفته می‌شود که از پالس‌های راداری برای به‌دست آوردن تصویر از سطح زیرین زمین بهره می‌برد. در روش رادار نفوذ زمینی با بهره‌بری از تابش الکترومغناطیس در طیف مایکروویو می‌توان سیگنال‌های بازتاب شده ناشی از برخورد با سطوح زیرین زمین را دریافت و بدین‌سان اشیاء مختلف درون آن را شناسایی کرد. زمانی که موج به شئ دفن شده و یا به ناحیه با ثابت دی‌الکتریک متفاوت می‌رسد آنتن گیرنده، تغییرات موجود در سیگنال‌های بازتاب شده را ثبت می‌کند. در شکل ۴ نمونه‌ای از دستگاه GPR و نحوه کارکردن با آن نشان داده شده است.

شکل ۴– یک نمونه دستگاه GPR [۵]

GPR از حسگر یا مجموعه‌ای از حسگر تشکیل شده که حسگر، امواج الکترومغناطیس را منتشر می‌کند. این امواج پس از انتشار در محیط ماده در برخورد با اجسام یا هر ماده دیگری منعکس و تجزیه شده، امواج منعکس شده توسط گیرنده دریافت می‌شود. نکته کلیدی جهت تشخیص و کشف، وجود ناهنجاری‌هایی در سیگنال برگشتی با توجه به خواص دی‌الکتریک اشیاء است. عمق شئ مدفون را می‌توان با توجه به زمان طی‌شده بین انتقال، ارسال سیگنال و دریافت سیگنال برگشتی تشخیص داد. بنابراین می‌توان در هر لحظه حضور جسم و عمق جسم را کشف کرد [۱].

سامانه GPR، نسبت به آشکارسازهای فلزی معمولی، سبک وزن‌تر و کارکردن با آن آسان‌تر است. GPR می‌تواند طیف گسترده‌ای از انواع مین را شناسایی کند و همچنین می‌تواند بر اساس تغییرات ثابت دی‌الکتریک از مین یا هر شئ مدفون دیگری، تصویر تولید کند. پایه تشخیص جسم مدفون بر اساس تغییرات در ثابت دی‌الکتریک است. با این حال، عملکرد GPR به شدت حساس است و همان‌طور که گفته شد به فعل و انفعالات پیچیده میان محتوای فلزی مین و بسامد بازگشتی، مقدار رطوبت خاک و تراز بودن سطح زمین وابسته است [۶].

۲-۲-۲- پرتونگاری مقطعی امپدانس الکتریکی[2]

امپدانس یعنی مقدار مقاومت در برابر جریان الکتریکی، به‌عبارتی مقدار تلف شده جریان در طی مسیر جریان است. پرتونگاری مقطعی امپدانس الکتریکی برای تولید یک تصویر، از توزیع قابلیت هدایت جریان الکتریکی استفاده می‌کند. یک آرایه دوتایی از الکترود، روی سطح زمین قرار داده می‌شود تا سیگنالی از توزیع هدایت الکتریکی که می‌تواند اطلاعات مربوط به حضور مین را بیان کند را به‌دست آورد [۷]. این سامانه، اشیاء فلزی و غیرفلزی را از روی ناهنجاری‌های هدایتی‌شان تشخیص می‌دهد. این روش در خاک‌های مرطوب خوب عمل کرده، تجهیزات آن نسبتاً ارزان و سبک است. اشکال این روش این است که حسگر باید در تماس با سطح زمین باشد و در نتیجه افزایش خطر انفجار وجود دارد. ضعف دیگر آنها عدم کاربرد در خاک‌های خشک مانند بیابان و یا سطوح سنگی به دلیل رسانایی ضعیف است که به خوبی کار نمی‌کند. همچنین این روش فقط برای اشیاء نزدیک به سطح مفید است [۱]. در شکل ۵ به‌کارگیری دستگاه EIT نشان داده شده است.

شکل ۵– دستگاه EIT [۱]

1- Ground Penetration Radar

2- Electrical Impedance Theromography

۲-۲-۳- فروسرخ[1]

همه اشیاء در دمای بیشتر از صفر مطلق، امواج الکترومغناطیس ساطع می‌کنند [۸]. مقدار طیفی تابش از یک شئ بستگی به درجه حرارت آن دارد. تفاوت ویژگی‌های حرارتی، یعنی ظرفیت گرمایی، هدایت حرارتی و گرمایی بین اشیاء مدفون و پس‌زمینه، پایه استفاده از روش فروسرخ برای تشخیص مین‌های مدفون است. تشعشع حرارتی سطح خاک بالای جسم مدفون، ممکن است با مناطق اطرافش متفاوت باشد. این‌کنتراست[2] دما توسط سامانه تصویربرداری فروسرخ ، اندازه‌گیری می‌شود. با این حال برای تشخیص و شناسایی اشیاء مدفون، تجزیه و تحلیل دقیق رفتار حرارتی، بررسی منطقه با در نظر گرفتن پارامترهای حرارتی پس‌زمینه و شئ مدفون مورد نیاز است [۸].

استفاده از دمانگاری فروسرخ برای کشف مین مبتنی بر وجود ویژگی‌های متفاوت حرارتی بین مین و خاک اطراف است. هنگامی که به‌دلیلی مثل تابش خورشید در زمان طلوع، قسمتی از خاک که مین‌ها در آنجا قرار گرفته‌اند، گرم می‌شود، مین‌های موجود در آن قسمت به‌دلیل ویژگی‌های متفاوت حرارتی سریع‌تر از خاک اطراف خود گرم شده، سپس خاک قسمت بالای خود را نیزگرم می‌نمایند به‌طوری که خاک بالای مین گرم‌تر از خاک سایر قسمت‌ها می‌گردد. در تصویربرداری حرارتی از این منظر، خاک بالای مین به صورت لکه‌های روشن‌تر نسبت به پس زمینه در تصویر فروسرخ مشخص می‌شوند که این پدیده را اختلاف حرارتی مثبت می‌نامند. برعکس زمانی که خاک یک منطقه به تدریج سرد می‌شود، مثلاً بعد از غروب خورشید، مین‌ها سریع‌تر از خاک اطراف خود گرما را از دست داده و سرد می‌شوند. در نتیجه خاک بالایی آنها نیز گرمای خود را از دست داده و نسبت به خاک سایر قسمت‌ها سردتر می‌شود. خاک سردتر بالای مین در تصویر فروسرخ بصورت لکه‌هایی تیره‌تر نسبت به پس‌زمینه مشخص می‌شود که به این پدیده اختلاف حرارتی منفی می‌گویند [۹]. از آنجایی که تشخیص مین با استفاده از فناوری IR از طریق تصویربرداری از سطح خاک است، موفقیت این روش به تعدادی از عوامل از جمله عمق دفن، ویژگی‌های خاک، رطوبت، خواص و جنس مین، و همچنین زمانی از روز که در طی آن اسکن انجام شده است بستگی دارد [۱۰].

Bruschini and Gros به ارزیابی این روش به عنوان یکی از فناوری تشخیص مین مدفون پرداختند و مزایا و محدودیت‌های آن را توضیح دادند. در بررسی خود نشان دادند که نتایج تصویربرداری به شدت بستگی به شرایط محیطی دارد. آنها تخمین زدند که تصاویر فروسرخ قابلیت کشف یک مین ضدتانک را در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری دارد.

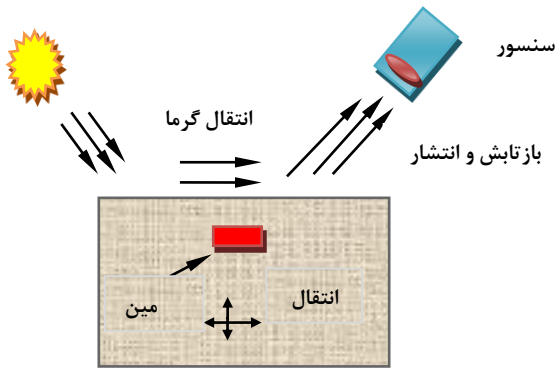
اما برخی دیگراز محققین به این نتیجه رسیدند که عمق کشف مین در زمین‌های خشک ۲ سانتیمتر است ، که به میزان قابل توجهی متفاوت از ۱۵-۱۰ سانتی متر پیشنهاد شده Bruschini and Gros است [۱۰].

در شرایطی که بدان اشاره شد، اختلاف حرارتی ایجاد شده بین خاک بالای مین و خاک سایر قسمت‌ها به عمقی که مین در آن قرار گرفته است، نیز بستگی دارد [۹]. در جدول داده شده، عوامل اصلی در تشخیص اشیاء مدفون با استفاده از IR را که باید در نظر گرفته شود، نشان داده شده است [۹].

جدول ۱- عوامل اصلی در تشخیص اشیاء مدفون به روش IR [۹]

شرایط سطحی خاک	وجود پوشش گیاهی و همگن بودن سطح خاک
طبیعت خاک	ترکیب و ساختار شیمیایی، دانه‌بندی، رطوبت
تغییرات آب و هوایی	مقدار رطوبت و درجه حرارت در زمان شب و روز
ویژگی‌های شئ مدفون	هندسه، ابعاد، جنس
موقعیت شئ مدفون	عمق و جهت قرارگیری
تحریک حرارتی	طبیعی (خورشید)، مصنوعی (تاباندن گرما)

با توجه به وجود مین مدفون در زیر خاک، تفاوت حرارتی به‌طور طبیعی در ساعات خاصی از روز، شکل می‌گیرد، لذا می‌توان از روش دمانگاری غیرفعال برای کشف مین اقدام نمود. نکته قابل تأمل این است که در زمان‌های مختلف شبانه‌روز میزان این تفاوت حرارتی متغیر می‌باشد و حتی ممکن است تفاوت حرارتی در ساعات خاصی از شبانه‌روز کاملاً از بین رفته و جای خود را به تعادل حرارتی بدهد. در چنین حالتی وجود مین مدفون در تصاویر فروسرخ اصلاً قابل تشخیص نیست. به علت مشخص نبودن زمان دقیق شکل‌گیری تفاوت حرارتی مطلوب، می‌توان تصویربرداری را در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته انجام داد و با فاصله زمانی معینی از منظره، تصویر تهیه کرد تا تغییرات تفاوت حرارتی منظره به صورت کامل مورد بررسی قرار گیرد [۹]. در شکل ۶ اثر تابش خورشید بر خاک و مین نشان داده شده است.



شکل ۶ - اثر تابش بر خاک و مین [۱۱]

1- Infrared
2- Contrast

این‌کار که آنرا دمانگاری پویا می‌نامند، مستلزم استقرار دوربین در یک مکان ثابت و تصویربرداری از منظره برای یک شبانه‌روز است که در نتیجه به تولید یک سلسله یا رشته‌ای از تصاویر فروسرخ منجر می‌شود که نشان دهنده تغییرات تفاوت حرارتی منظره مورد بررسی می‌باشد [۹].

مزیت اصلی فناوری IR قابلیت استفاده از راه دور با جستجوی هوایی است که می‌تواند یک منطقه بزرگ را در زمان نسبتاً کوتاهی پوشش دهد.

۲-۲-۴- اشعه ایکس برگشتی[1]

این روش برای به‌دست آوردن تصویر یک شئ از طریق عبور اشعه از جسم و در نتیجه میرایی اشعه ایکس استفاده می‌کند. از آنجا که غیرممکن است که یک آشکارساز در زیرزمین برای جذب فوتون‌ها که در خاک نفوذ می‌کنند کار گذاشت، لذا این سامانه‌ها از "اصل کامپتون[2]" پراکندگی اشعه ایکس استفاده می‌کنند. این به این معنی است که با داشتن یک ارسال کننده و گیرنده بر روی سطح میدان، فوتون تابش شده از جسم دریافت می‌شود. پراکندگی سیگنال‌ها به‌طور مستقیم متناسب با چگالی مواد در حجم است، پس به دسترسی یک طرفه نیاز دارد و کنتراست تصویر قابل مشاهده و دست‌یابی است. این یعنی که، این روش (XBT) دارای قابلیت بالا برای تصویر برداری از اهداف است [۶]. با توجه به لزوم ایمن‌سازی دستگاه قابل حمل برای اپراتور، لذا قدرت دستگاه کم است و به همین دلیل ممکن است زمان مورد نیاز برای به‌دست آوردن یک تصویر طولانی باشد [۱]. از محدودیت‌های این روش، شناسایی مین‌های سطحی بیشتر از ۱۰ Cm عمق ممکن نبوده و برای تصویربرداری از مین‌های ضدنفر نیز مناسب نیست [۱۲].

در شکل ۷ شماتیک دستگاه XBT و نحوه کشف مین نشان داده شده است.

شکل ۷ – شماتیک دستگاه اشعه ایکس برگشتی [۱۲]

1- X-Ray Backscatter
2- Compton Principle

۲-۳- روش صوتی - سامانه آکوستیک و لرزه‌نگاری

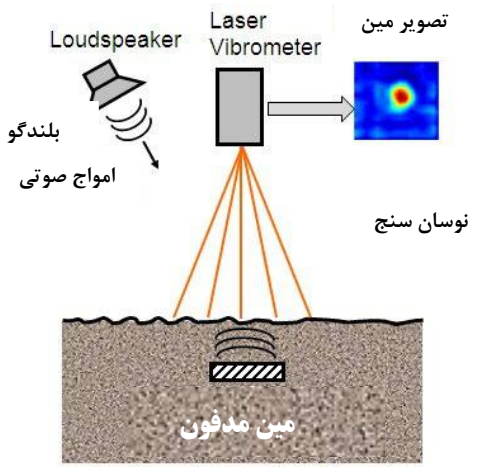
صوت پدیده‌ای فیزیکی است که انرژی را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می‌کند، با این حال، صوت با پرتو تفاوت دارد چرا که تنها می‌تواند از محیط‌های مادی انتقال یابد و همانند یک پرتو از خلاء عبور نمی‌کند، دلیل این مساله انتقال صوت از طریق به ارتعاش درآوردن محیط مادی است؛ از این رو اگر ماده‌ای در محیط وجود نداشته باشد، چیزی نیست که به ارتعاش درآید و انرژی را انتقال دهد. امواج حاصل از صوت به‌وسیله ضربه مولکول‌ها در محیط انتقال پیدا می‌کند. امواج فراصوت[3] به دسته‌ای از امواج مکانیکی گفته می‌شود که فرکانس نوسان‌شان بیش از محدوده شنوایی انسان باشد. امواج فراصوت نیز مانند دیگر امواج دارای خاصیت شکست، انعکاس، نفوذ و پراش می‌باشد [۷].

سرعت صوت در ماده به خواص فیزیکی چون تراکم و چگالی وابسته است. دو عامل تأثیرگذار بر فراصوت سرعت موج و چگالی ماده است. از ویژگی‌های امواج فراصوت می‌توان اشاره کرد که موج با فرکانس بالاتر دارای طول موج کوتاه‌تر است؛ این بدان معناست که تفرق به آسانی اتفاق نمی‌افتد و دیگر آنکه به‌خوبی در محیط‌های مرطوب پخش می‌شوند، بنابراین، تقریباً فراصوت روش بسیار مناسبی برای تشخیص مین در محیط‌های مرطوب و غرق‌آب مانند مزارع برنج و یا مرداب که برخی از کشورها به آن مبتلا هستند، می‌باشد. این روش قابلیت استفاده در شرایط مختلف بیشتری نسبت به دیگر حسگر دارد. سامانه‌های صوتی و لرزه‌ای، امواج صوتی را از طریق بلندگو به منظور به ارتعاش درآوردن خاک منتشر می‌کنند، حسگر امواج منعکس شده از خاک و مین را گرفته، تفاوت در دامنه و فرکانس باعث امکان‌پذیر شدن تشخیص می‌شود. این حسگر ویژه لازم نیست که در تماس با سطح باشند [۷].

این سامانه کند بوده و نمی‌تواند مین‌هایی را که در عمق هستند شناسایی کند زیرا با افزایش عمق، پاسخ تشدید آنها تضعیف می‌شود. از محدودیت‌های دیگر آن سامانه این است که پوشش‌های گیاهی زیاد می‌توانند با ارتعاش داپلر لیزر که عموماً برای حس کردن ارتعاشات در سطح زمین به‌کار می‌روند، تداخل ایجاد کنند. این ارتعاشات خیلی کوچک هستند (کمتر از ۱ میکرومتر) و لذا در شرایط نامطلوب میدان مین، اندازه‌گیری آن‌ها مشکل است. در این روش زمان لازم برای اسکن مین‌های ضدنفر در محدود ۱۲۵ تا ۱۰۰۰ ثانیه برای هر مترمربع می‌باشد [۱۳]. چگونگی ثبت تصویر و

3- Ultrasound Waves

کارکرد سامانه آکوستیک در شکل ۸ نمایش داده شده است [۱۴].



شکل ۸- چگونگی ثبت تصویر و کشف مین [۱۴]

۲-۴- روش‌های بیولوژیکی و شیمیایی

این روش‌ها در نوع خود منحصربه‌فرد هستند. از این نظر که از هیچ خواص مکانیکی از قبیل شکل، اندازه، نوع جنس پوشش بدنه و غیره تأثیر نمی‌گیرند. اساس این روش‌ها استفاده از خواص شیمیایی و مشتقات ترکیب شیمیایی مورد استفاده در ساخت مواد منفجره مورد استفاده در مین است. درصد کمی از مواد منفجره، موفق به خارج شدن به‌صورت بخار از طریق شکاف و ساختار بیرونی مین می‌شوند و این ایده‌ای شد تا با استفاده از بخار مواد منفجره، تشخیص صورت گیرد. دو سیر پژوهشی در این موضوع وجود دارد: بیولوژیکی و شیمیایی [۷].

روش‌های بیولوژیکی مبتنی بر استفاده از حیوانات، حشرات، میکروارگانیسم‌ها و گیاهان برای تشخیص است [۶].

سگ‌ها عملکرد خوبی در تشخیص دارند. آنها غلظت بسیار کم بخار را می‌توانند تشخیص دهند. با این حال،یک نقطه ضعف بزرگ این است که این روش بستگی به خود سگ دارد [۶].

سگ‌های آموزش دیده مورد استفاده برای تشخیص بوی مواد منفجره باقی مانده ناشی از مین بدون در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی آنها و یا این‌که چه مدت زمانی از کاشت آنها گذشته است، قادر به کشف هستند. سگ‌ها تقریباً در همه نوع زمین کارایی دارند. سگ خوب آموزش دیده قادر به کشف و تشخیص در مناطق پوشیده از گیاهان رشد کرده تا ارتفاع زانوی گرداننده سگ می‌باشد [۱۵].

سگ‌های آموزش دیده می‌توانند بوی مواد منفجره در یک مین زمینی دفن شده در زمین را تا عمق ۶۰ Cm تشخیص دهند [۱].

استفاده از سگ در صورت خسته بودن و قرارگیری در معرض بوهای فریب می‌تواند هزینه‌های سنگینی به دنبال داشته باشد. استفاده از این روش به‌طور کامل به سگ، نوع آموزش دادن و مهارت گرداننده سگ و استفاده در مکان و زمان مناسب است [۱۵]. محدودیت دیگر این روش این است که اگر در زمان آموزش مقادیر بالایی از مواد منفجره برای تشخیص به‌کارگیری شود، سگ ممکن است به‌طور خودکار مقادیر کمتر را تشخیص ندهد. شکل ۹ یک سگ مین‌یاب را نشان می‌دهد.

شکل ۹- سگ مین‌یاب [۱۲]

موش‌های آفریقایی دارای بینایی بسیار ضعیف ولی حس بویایی و شنوایی قوی هستند. آن‌ها درک خوبی از بو دارند، حفظ و نگهداری آنها ارزان، دارای اندازه کوچک و سبک و به بیماری‌های مناطق گرمسیری مقاوم و برای آب و هوای آفریقا مناسب هستند و ضمناً مدت زمان آموزش کمتری نسبت به سگ دارند [۱۵].

زنبورها نیز دارای حس بویایی حساس هستند، با آزمایش‌های مکرر در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲، زنبور عسل مانند یک آشکارساز خوب، ماده نیتروتولوئن را با حساسیت ۱۰ به تریلیون و با احتمال خطای کمتر از ۲٪ شناسایی نمودند. شکل زیر نحوه آموزش به زنبورها را نشان می‌دهد [۱۵].

شکل ۱۰- آموزش به زنبور [۱۵]

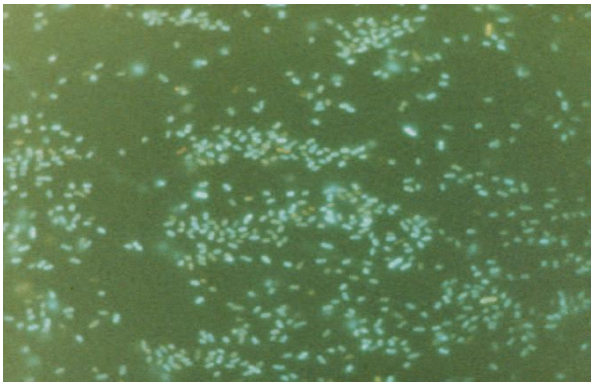
مشخص شده که مورچه می‌تواند مواد منفجره TNT و RDX را کشف کند [۱۶].

با امکان دست‌کاری ژنتیکی گیاهان، می‌توان آنها را وادار به تغییر رفتارشان در حضور TNT و یا دیگر مواد منفجره کرد. به عنوان مثال: تغییر رنگ، رشد سریع یا هرگونه نشانه دیگر قابل تشخیص. این علائم باید برای کاربر قابل مشاهده باشد، نشانه‌های دیگر مانند بازتاب در اشعه فرابنفش است که قابل استفاده و قابل اندازه‌گیری با ابزارهای ساده است. در این روش گیاهان در حضور مین، تغییر رنگ می‌دهند که می‌توان این تغییر رنگ گیاهان را از طریق هواپیما و یا دیدن از نزدیک مشاهده کرد. شرکت دانمارکی Aresa Biodetection با اصلاح ژنتیکی گیاهان در سطح آزمایشگاهی و توسعه آن، در زمینه کمک به تشخیص مین مدفون فعال است. علت تغییر رنگ این گیاهان زمانی است که ریشه‌های آن در تماس با بخارات دی اکسید نیتروژن تصعید شده از مواد منفجره مدفون است. گیاه Arabidopsis thaliana با تغییر ژنتیکی در طول ۳ تا ۶ هفته بعد از کاشت در مناطق آلوده به مین در صورت قرارگیری در نزدیکی یک مین به رنگ قرمز روشن تغییر رنگ خواهد داد. هنوز هیچ مطالعه‌ای در خصوص استفاده از این روش در میادین واقعی مین گزارش نشده است. هر چند مطالعات گلخانه‌ای و آزمایشگاهی موفق بوده است[۱۵]. از الزامات این روش، در نظر گرفتن آب مناسب برای رشد این گیاهان است.

در شکل ۱۱ تغییر رنگ گیاه Arabidopsis thaliana نشان داده شده است.

شکل ۱۱ – گیاه Arabidopsis thaliana [۱۵]

در خصوص استفاده از باکتری‌ها[1] این‌که، اصولاً فرآیند شناسایی یک مین توسط باکتری شامل اسپری کردن باکتری روی منطقه آلوده به مین با استفاده از سامانه‌های پاشش هوایی می‌باشد. به باکتری‌ها اجازه داده می‌شود تا برای چندین ساعت رشد کنند. سپس یک تیم بررسی باید برای جستجوی سیگنال‌های فلورسانس به محل برگردد. شکل ۱۲ نمونه باکتری‌هایی را نشان می‌دهد که در حضور TNT خاصیت فلورسانس دارند [۱۶].



شکل ۱۲- فلورسانس باکتری‌ها در حضورTNT [۱۲]

روش‌های شیمیایی نیز از انواع مکانیسم‌های ممکن غیربیولوژیک برای شناسایی غلظت‌های کم از مواد منفجره در هوا یا در نمونه‌های خاک بوده که طی سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. اکثر این تحقیقات الهام‌گرفته از «بینی سگ» و پستانداران است که منجر به پیشرفت وسایل شناسایی بو با حساسیت بالا شده است. برای نمونه، یک رویکرد، استفاده از آرایش حسگرهای پایه پلیمری است که بخار مواد منفجره (و دیگر مواد شیمیایی فرار) را براساس مقدار تورم در پلیمرهایی که در معرض یک غلظت از آنالیت (ماده‌ای‌که مدنظر است) قرار گرفته‌اند، شناسایی می‌کند [۱۶].

۲-۵- پاک‌سازی مین با ماشین‌آلات

پاک‌سازی میادین مین به‌وسیله انسان هم وقت‌گیر است و هم احتمال تلفات آن بسیار زیاد است.

در شکل ۱۳، پاک‌سازی به روش سنتی و با استفاده از سیخ نشان داده شده است.

شکل ۱۳- پاک‌سازی به روش سنتی با استفاده از سیخ

1- Bacteria

یکی از روش‌هایی که کمترین احتمال تلفات در پاک‌سازی را دارا می‌باشد به‌کار گرفتن دستگاه‌های مین‌کوب در پاک‌سازی میادین مین می‌باشد. به این روش پاک‌سازی "پاک‌سازی با ماشین آلات" گفته می‌شود. مین‌کوب‌ها یکی از این وسایل هستند. این دستگاه‌ها با استفاده از سنگینی غلطک‌ها و یا ضربات دورانی و پی‌درپی شلاق گونه‌ای که در جلوی دستگاه نصب گردیده باعث انفجار و یا متلاشی شدن مین‌ها گردیده و میادین مین را پاک‌سازی می‌نمایند. از محسنات این دستگاه‌ها داشتن حفاظ زرهی، استفاده از کمترین نفرات، بالا بودن ضریب پاک‌سازی و سرعت عمل در پاک‌سازی را می‌توان نام برد. زنجیرها به‌قدری قوی هستند که در برابر انفجار مین‌های ضدنفر هیچگونه آسیبی نمی‌بینند. چنانچه زنجیر در اثر انفجار آسیب ببیند به‌راحتی قابل تعویض می‌باشد [۱].

در شکل زیر یک نمونه دستگاه مین‌کوب نمایش داده شده است.

شکل ۱۴- پاک‌سازی به‌وسیله مین‌کوب

۲-۶- جدیدترین روش‌های ابداعی

۲-۶-۱- تشدید چهارقطبی هسته‌ای[1]

این روش متکی بر مشاهده سیگنال فرکانس رادیویی[2] (RF) از هسته N^{14} (نیتروژن) موجود در مواد منفجره است. فرکانس این سیگنال بین ۰/۵ MHz تا ۶ MHz نوسان دارد و این مقدار از ویژگی‌های مواد منفجره است. که نه‌تنها باعث شناسایی می‌شود بلکه تخمینی از مقدار و عمق را هم مشخص می‌کند [۶]. پالس RF باعث می‌شود هسته مواد منفجره به طنین افتاده و یک پتانسیل الکتریکی را در سیم‌پیچ گیرنده القاء کند، این سامانه ۹۰ درصد ترکیبات خاص مواد منفجره را کشف و شناسایی می‌کند و نرخ هشدار غلط آن کمتر از ۱ درصد است. برخلاف بسیاری از فناوری‌ها، نرخ هشدار غلط در NQR از کلاتر زمین نیست، بلکه به سبب نسبت سیگنال به نویز است، بنابراین، با توجه به روند رو به رشد دستگاه‌ها می‌توان نتایج خوبی به‌دست آورد. یکی دیگر از ویژگی‌های مثبت NQR که به نسبت قوی است عدم تاثیرپذیری از شرایط و ساختارهای گوناگون خاک است [۱]. از محدودیت‌هایی که قابل توجه است، حساسیت NQR به تداخل رادیویی RF از اطراف خود است. همچنین NQR به فاصله بین سیم‌پیچ شناسایی و مواد منفجره یا به‌عبارتی به فاصله بین دستگاه تا زمین بسیار حساس است [۱]. در شکل ۱۵، یک نمونه از دستگاه NQR نشان داده شده است.

شکل ۱۵- دستگاه NQR [۱]

۲-۶-۲- روش‌های نوترونی

این روش براساس تحریک عناصر (از خاک و هر ماده منفجره) به‌وسیله اشعه‌های گاما و نوترون‌ها و همچنین شناسایی اشعه‌های گاما و نوترون‌های نشر شده می‌باشد. تغییرات سطح زمین و ارتفاع نادرست حسگر نیز به آلارم کاذب در سامانه منجر و نتیجتاً باعث عدم تصویرسازی می‌شود. محافظت مورد نیاز اپراتور در برابر این آشکارساز یک نگرانی عمده است [۱]. در شکل ۱۶ نمونه یک دستگاه نوترونی نمایش داده شده است.

شکل ۱۶- دستگاه نوترونی جهت کشف مین [۱]

۲-۶-۳- رباتیک

کشف و خنثی‌سازی مین‌ها کاری بسیار خطرناک و پرهزینه می‌باشد. به همین دلیل نیاز به ربات‌های مین‌یاب بیش از پیش

1- Nuclear Quad rople Resonance
2- Radio Frequency

احساس می‌شود. به این امید که ربات‌های مین‌یاب این خطرات را رفع نموده و تلفات انسانی و هزینه مین‌یابی را به حداقل برساند. یک ربات مین‌یاب باید قادر باشد تمامی مین‌های موجود در یک ناحیه را کشف، خنثی و یا نابود سازد. ممکن است فناوری امروز ربات‌ها امکان داشتن چنین رباتی را در آینده نزدیک ندهد، اما با این حال قصد بر این است که تلاش‌های علمی و عملی، ما را به این هدف نزدیک سازد. روش تشخیص مین سطحی در یک میدان مین با استفاده از ربات هوشمند در حال گسترش است، زیرا خطر و هزینه‌های مربوط به تشخیص کاربر را کاهش می‌دهد. برخی از روش‌های بررسی شده مبتنی بر فن‌های برنامه‌ریزی مسیر است [۶].

۳- بررسی معایب و مزایای روش‌ها

در جدول (۲) معایب و مزایای هر روش نشان داده شده است.

جدول ۲- معایب و مزایای روش های مختلف [۱،۲،۶،۷،۱۵،۱۶]

روش	مزایا	معایب
فلزیاب	در دسترس بودن و سهولت کار قابل حمل بودن	عدم شناسایی مین‌های غیر فلزی، خطر انفجار برای اپراتور، وابستگی شدید به هندسه و جهت قرارگیری جسم مدفون
مغناطیس سنجی ژئوفیزیکی	امکان برداشت هوایی و پوشش وسیع منطقه	خطای بسیار به علت وجود سیگنال‌های ضعیف دریافتی حاصل از مین، نیازمند تحقیق علمی و پیشرفت تجهیزات
رادار نفوذ زمینی	در دسترس بودن و قابل حمل بودن	نیاز به استفاده از یک تیم تشخیص ماهر، روزلوشن کم تصاویر و نیاز به فیلترینگ نویزها و تفسیر مشکل تصاویر
پرتونگاری مقطعی امپدانس الکتریکی	قابلیت استفاده در مناطق مرطوب	عدم استفاده در زمین‌های خشک و سنگی ، خطر انفجار برای اپراتور
فروسرخ	امکان برداشت و پوشش از راه دور	در دسترس نبودن تجهیزات ، وابستگی و حساسیت زیاد نسبت به عوامل محیطی، نیاز به تیم تشخیص ماهر
اشعه ایکس برگشتی	دقت مطلوب در شناسایی	در دسترس نبودن، خطر اشعه برای اپراتور، نیازمند پیشرفت تجهیزات، عدم شناسایی مین‌های کوچک
صوتی	مناسب مناطق مرطوب و غرق‌آب مانند مزارع برنج یا مردابی	در دسترس نبودن، کند بودن در شناسایی، عدم استفاده در زمین‌های با پوشش گیاهی
بیولوژیکی	در دسترس بودن، سهولت کار	وابستگی شدید به گیاه یا حیوان (سگ، موش، ...) و احتمال بسیار زیاد خطا در حالات مختلف حیوان از قبیل خستگی، دمای محیطی، گرسنگی، ناراحتی و عوامل جوی و غیره، نیازمند تحقیق و پژوهش
ماشین آلات	سرعت زیاد پوشش و سهولت کار	عدم استفاده در زمین‌های مرطوب و گلی و باتلاقی به‌علت فرو نشستن دستگاه، وابستگی به سطح و شیب زمین، گران بودن تجهیزات
رزونانس چهار قطبی	دقت بالا	در دسترس نبودن و گران بودن، حساسیت دستگاه به تداخل رادیویی محیط پیرامون
نوترونی	دقت بالا	محدودیت در محیط‌های مرطوب و نیاز به تفسیر و در نتیجه نیاز به تیم ماهر، در دسترس نبودن تجهیزات، خطر اشعه برای اپراتور
رباتیک	کنترل از راه دور	در دسترس نبودن و نیاز به پیشرفت ربات‌ها تا مرحله قابل اطمینان

۴- نتیجه‌گیری

برخی از فناوری‌های جدید تشخیص مین‌های زمینی و همچنین روش‌های شناسایی و پردازش و برخی از الگوریتم‌ها شرح داده شد. هر کدام از روش‌ها، مزایا و محدودیت‌هایی دارند. مشخص شد که هیچ روش کارآمد واحدی برای تشخیص مین‌های زمینی وجود ندارد. به عنوان مثال، از آنجایی که تشخیص مین با استفاده از فناوری فروسرخ از طریق تصویربرداری از سطح خاک است، موفقیت این روش به تعدادی از عوامل از جمله عمق دفن، ویژگی‌های خاک، رطوبت، خواص و جنس مین، و همچنین زمانی از روز که در طی آن اسکن انجام شده است بستگی دارد. لذا به‌جای تمرکز بر فناوری تک حسگر جهت تشخیص مین، تحقیق و توسعه می‌باید بر روی اصول یکپارچه‌سازی چند حسگر جهت غلبه بر محدودیت‌های هر فناوری تک حسگر صورت گیرد.

۵- مراجع

1. C. P. Gooneratne, et al, "A Review of Sensing Technologies for Landmine Detection: Unmanned Vehicle Based Approach," 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents, Dec. 2004.
2. R. Bello, "Literature Review on Landminnes and Detection Methods," Frontiers in Science, pp. 27-42, 2013.
3. J. Needham, "Science and Civilisation in China," Cambridge University Press, vol. 5, Part VI, p. 265, 2002.
۴. معدنچی زارع، احمد و همکاران، "تقویت سیگنال‌های مغناطیسی مهمات و مین‌های عمل نکرده در مناطق آلوده"، همایش سراسری پدافند غیر عامل، بهمن ۹۲.
5. Geneva International Centre for Humanitarian Demining,

"Guidebook on Detection Technologies and Systems for Humanitarian Demining," GICHD Geneva, p. 45, March 2006.

6. L. Robledo et al, "A survey of landmine detection technology," International Journal of Remote Sensing, vol. 30, no. 9, 10 May 2009.

7. M. G. Kale, V. R. Ratnaparkhe, and A. S. Bhalchandra, "Sensors For Landmine Detection And Techniques: A Review," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 2, Issue 1, pp. 1-7, 2013.

8. T. T. Nguyan, D. N. Hao, p. Lopez, F. Cremer, and H. Sahli, "Thermal Infrared Identification of Buried landmine," Proc. SPIE vol. 5794, pp. 1-12, 2005.

۹. اکبرنیا، ابوالفضل، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، "بررسی تحلیل و امکان‌سنجی آشکارسازی مین‌های جنگی با استفاده از طیف مادون قرمز"، ۱۳۹۲.

10. F. Moukalled, N. Ghaddar, H. Kabbani, N. Khaled, and Z. Fawaz," Numerical and Experimental Investigtion of Thermal Signatures of Buried Landmines in Dry soil," ASME-HTJ, pp. 1-41, 2005.

11. P. Lopez, "Detection of Perturbation in thermal IR signatures: an inverse problem for buried landmine detection," NDE and Health Monitoring of Aerospace Materials and Composites, Proc.SPIE vol. 5046, pp. 242-252, 2003.

12. J. MacDonald et al, "Alternatives for Landmine Detection," RAND's publications, pp. 191-204, 2003.

13. J. MacDonald et al, "Alternatives of Landmine Detection," RAND report, ISBN Document Number: MR-1608-OSTP, 2003.

14. V. Aranchuk, "Laser Sensing Techniques for acoustic detection of buried mines," University of Mississippi, 2011. http://www.acoustics.org/press/161st/aranchuk.html

15. M. K. Habib, "Bio- Inspiration and mine Detection," Mechanical Engineering Department, School of Sciences and Engineering, American University in Cairo, Egypt. 9th International Symposium and Equipment Exhibition, Croatia, 24-26 April 2012.

16. L. Cardona, J. Jimenez, and N. Vanegas, "Landmine Detection Technologies To Face The Demining Prolem In Antioquia," Dyna, year 81, no. 183, pp. 115-125, 2014.

Study Methods to Detect Buried Mines

S. A. Vaziri [*], M. Asgari, J. Kalilzadeh

Abstract

Unfortunately, in the case of mines planted in the battle, displacement, destruction and renewing are not simply possible because maps of mined areas are not generally available. For this reason, after the end of the campaign, a large number of military personnel and innocent civilians had been victims of mines and a lot of local people suffered from financial problems and had been killed. In this paper, safe technologies of detection of buried individual mines as has been studied passive methods. Some of these technologies included infrared methods, X-ray backscattering, nuclear quadrupole resonance, electrical impedance thermography and methods of neutron noted. The results showed that despite effective approaches to minesweepers, none of these methods alone had one hundred percent performance. So it is better to use a combination of methods.

Key Words: *buried mines , detection methods , infrared , thermography*

[*] Imam Hussein Comprehensive University (avaziri@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge