تحقیق و توسعه مواد پرانرژی
سال چهارم- شماره ۲- شماره پیاپی ۷- پاییز و زمستان ۱۳۸۷

روش های احتراقی و انفجاری در خنثی سازی مین‌ها

حسین فخرائیان[1]* و عباس طاهری[2]

۱- تهران- دانشگاه امام حسین (ع) - دانشکده علوم و مهندسی - گروه شیمی

۲- تهران- دانشگاه امام حسین (ع) - دانشکده افسری و تربیت پاسداری - گروه ج ن و پشتیبانی رزم

***E-mail: Fakhraian@yahoo.com**

چکیده

در سال های اخیر، پیشرفت های قابل ملاحظه ای در زمینه‌ی پاک‌سازی میادین مین صورت گرفته است و به غیر از روش های دستی، مکانیکی (ماشین های مین‌کوب و مین‌روب) و روش های فیزیکی (لیزرهای پر قدرت، مایکروویو و غیره)، روش های ایمن نیز مبتنی بر استفاده از مواد پیروتکنیک و مواد منفجره، برای پاک‌سازی میادین مین ارائه شده‌اند. در این مقاله، این روش ها مورد بررسی قرار گرفته و کارایی، هزینه و ایمنی آنها مورد تجزیه و تحلیل واقع شده است. به طور کلی شش سیستم احتراقی (به هفت روش متفاوت) و هفت سیستم انفجاری (به یازده روش متفاوت) ارائه شده‌اند. بر اساس گزارشات، سیستمهای احتراقی و سیستم های انفجاری، به ترتیب به میزان حدود ۸۰ و ۹۰٪ در خنثی سازی مین‌ها موفق بوده‌اند. هزینه خنثی سازی توسط سیستم های احتراقی و انفجاری نیز به ترتیب حدود ۱۲۰ و ۶۵ دلار به ازاء هر واحد برآورد شده است. حمل و نقل و جابجایی سیستم های احتراقی و انفجاری نیز نسبت به روش های کلاسیک، بسیار راحت‌تر و ایمن‌تر صورت می پذیرد.

واژه های کلیدی: مین زدایی، احتراق، انفجار، مین ضد نفر، مین ضد تانک، نیترومتان، فوم انفجاری

۱- مقدمه

پایان یک جنگ به معنای خاتمه‌ی رنج ها و مصائب افراد غیر نظامی نیست، زیرا هنگامی‌که صلح برقرار می‌شود مین‌های کار گذاشته شده و مهمات عمل نکرده، سال‌های متمادی، که مشکلات و قربانیان متعددی را در میان افراد غیر نظامی بوجود می‌آورد. بیش از ۱۰۰ میلیون مین در ۷۰ کشور دنیا کار گذاشته شده‌اند. حدود ۲۵-۱۶ میلیون مین در طی جنگ تحمیلی عراق علیه کشورمان در مناطق غربی به کار گرفته شده است. به ازاء هر مین خنثی شده، ۲۰ مین

۱- دانشیار شیمی فیزیک

۲- کارشناس علوم انتظامی

دیگر در دیگر نقاط دنیا کار گذاشته می‌شود و برای پاکسازی کامل مناطق مین‌گذاری شده در جهان به بیش از ۱۱۰۰ سال زمان نیاز است[۱]. بیش از ۱۳۰ کشور دنیا، عهد نامه‌ی اتاوا را که عهدنامه ای بین المللی در زمینه‌ی منع تولید، فروش و کاربرد مین‌های ضد نفر است، امضا کرده‌اند ولی کشور های چین، هند، پاکستان، روسیه، یوگسلاوی و آمریکا این عهد نامه را به امضا نرسانده‌اند.

دست کم ۳۰۰ هزار نفر، در اثر مین‌های ضد نفر، دچار قطع عضو شده‌اند که از میان آنها ۵۰٪ افراد، غیر نظامی هستند. از طرف دیگر، سالانه تعداد زیادی از افراد وابسته به سازمان‌های نظامی و غیر نظامی[۱] که درگیر پاکسازی این مناطق هستند، کشته شده یا دچار نقص عضو می‌شوند. تکنولوژی ساخت مین‌ها، ساده و ارزان قیمت است (بین ۳ تا ۱۲ دلار). به همین دلیل، برای اهداف نظامی، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی هزینه‌ی خنثی سازی آنها بسیار بالا برآورد شده است[۱].

شناسایی و خنثی سازی مین‌های زمینی، کار بسیار دشواری است و معضلات متفاوتی بر حسب نوع مین در این زمینه وجود دارد. بیش از ۷۰۰ نوع مین‌های ضد نفر و ضد تانک در دنیا ساخته شده است. مین‌ها از لحاظ شکل، اندازه (مقدار ماده منفجره موجود در آن)، نوع ماده‌ی مورد استفاده در آن، جنس محفظه و نوع ماسوره‌ی (ساده مانند ماسوره‌های فشاری و کششی یا پیچیده مانند ماسوره‌های قطع کششی، مغناطیسی، اکوستیک، ارتعاشی و غیره) متفاوت هستند[۲]. مین‌های با ماسوره فشاری و کششی، پر استفاده ترین و ارزان ترین مین‌های موجود هستند.

۲- روش های مختلف مین روبی

شناسایی مناطق مین گذاری شده و کشف مین‌ها، به طرق مختلفی صورت می‌گیرد[۳و۴] که در این گزارش به انها پرداخته نخواهد شد. ولی تجهیزاتی برای خارج نمودن از محل دفن و اختفاء مین و خنثی سازی و یا انفجار انها وجود دارد که در این بخش به انها می پردازیم.

۲-۱- بیل هوایی سوپر سونیک[۲]: بیل هوایی، شامل یک کمپرسور هوای ۲۵۰ کیلوگرمی است که از طریق یک نازل مناسب، جریان باریکی از هوای فشرده را با سرعت فوق صوت، ایجاد می‌کند تا مین‌های مدفون شده در دل خاک را از آن بیرون بکشد. این وسیله، در انواع مختلف قابل حمل و دستی، به صورت کوله پشتی و نیز قابل حمل توسط وسایل نقلیه ساخته شده و در سال ۱۹۹۶ مورد آزمایش قرار گرفته است. انواع دستی و کوله پشتی آن برای افزایش کارایی، تحت بررسی هستند ولی نوع قابل حمل توسط وسایل نقلیه به صورت تجاری ساخته شده است.

۲-۲- بازدارنده‌ی ترکش و موج انفجار: برای حفاظت در مقابل مین‌ها، هنگام عملیات خنثی سازی، حفاظهایی استوانه ای به وزن ۴۰ کیلو که بر روی آنها لایه ای به قطر ۲/۵ سانتی متر از شیشه‌ی S2 کشیده شده، استفاده شده است.

۲-۳- خنثی سازی شیمیایی مین: برای پیشگیری از اثرات مخرب ایجاد شده در اثر انفجار مین (ایجاد ترکش های مجروح کننده و یا کشنده و نیز فعال سازی میدان مین) خنثی سازی شیمیایی توسط سیستم متشکل از گلوله (برای سوراخ کردن جداره مین)، آتش زنه (برای پرتاب گلوله) و کپسول پلاستیکی (حاوی دی اتیلن آمین) صورت می‌گیرد. در اثر پرتاب گلوله به طرف مین و عبور آن از جداره‌ی مین و نیز پاره شده کپسول پلاستیکی، دی اتیلن آمین با مواد منفجره‌ی داخل مین، که عمدتا از TNT و مشتقات آن (مانند ترکیب B و پنتولیت) تشکیل شده است، وارد واکنش شده و آنها را بدون انفجار، از بین می‌برد.

۲-۴- ماشین‌های مین‌روب و مین‌کوب: انواع مختلفی از ماشین های مین روب، در کشور های مختلف ساخته شده و برای مین روبی از مناطق عملیاتی، در بسیاری از کشور های دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۱ نمونه هایی از این نوع مین روب ها مشاهده می‌شوند. ولی در این بخش، از تشریح خصوصیات انها خوداری می‌شود زیرا این وسایل بسیار گران قیمت بوده و امکان به کارگیری از آنها در همه نوع زمین و شرایط، هنوز میسر نیست.

۲-۵- فوم خنثی کننده: برای نشاندار کردن و خنثی سازی مین‌ها، از نوعی فوم پلی اورتان استفاده شده که در هنگام پاشش بر روی مین، آنرا نشاندار کرده به طوریکه میدان مین کاملا مشخص می‌شود و از طرف دیگر هنگام سفت شدن فوم، فیوز مین از کار افتاده و می‌توان مین را از منطقه خارج ساخت. این نوع فوم، در محدوده‌ی دمایی صفر تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد عمل می‌کند و در سیستم هایی که برای خنثی‌سازی ۴۰۰ مین ساخته شده‌اند به کار می روند[۴].

۱- NGO

۲- Supersonic air spade

شکل ۱– انواع ماشین‌های مین‌روب و مین‌کوب.

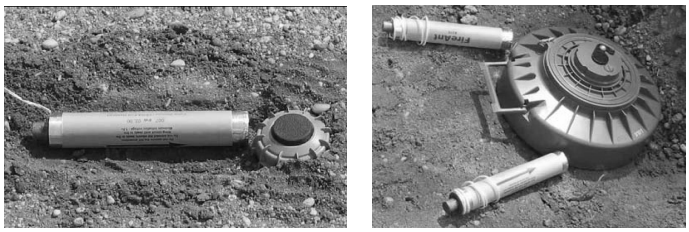
۲-۶- سیستم های کنترل از راه دور: برای یافتن مین‌ها و از خاک بیرون کشیدن و جابجایی آنها، سیستم های هدایت شده‌ی تلویزیونی نیز طراحی شده‌اند. بر اساس این سیستم وسیله ای حاوی بازوی الکتریکی برای چیدن خاشاک از روی زمین و بازویی دیگر برای خاک روبی و از خاک بیرون آوردن مین وجود دارد که به طریق الکتریکی عمل کرده و از طریق یک تلویزیون کنترل می‌شود.

روش‌های متفاوتی برای مین‌زدایی وجود دارند [۹-۵]. در ادامه، به تشریح جدیدترین روش‌ها مبتنی بر مواد پیروتکنیک (روش‌های احتراقی) و مواد منفجره (روش‌های انفجاری) پرداخته می شود.

۳- روش های احتراقی در خنثی سازی مین‌ها

روش‌های احتراقی در مورد مین‌های شناسایی شده و بسیار قدیمی که جابجایی آنها غیر ممکن و خطرناک است کاربرد دارند و با استفاده از مواد پیروتکنیک به خنثی‌سازی مین‌ها می‌پردازند[۶و۵]. این روش‌ها به شرح ذیل هستند:

۳-۱- مورچه آتشین[۱]: این سیستم حاوی ۸۰ گرم مخلوط پیروتکنیک، مشتمل بر الومینیم (۴۳٪)، نیترات باریم (۵۰٪) و پلی‌وینیل کلرید (۷٪) است که در یک لوله‌ی استوانه‌ای به طول ۲۴ و قطر ۴ سانتی متر قرار دارد. این سیستم، به روش الکتریکی روشن می‌شود و در مدت حدود ۲۵ ثانیه دمایی حدود ۲۵۰۰ °C را فراهم می‌آورد و موجب سوختن مواد منفجره موجود در داخل مین می‌شود. این مجموعه قادر است صفحه استیل به قطر ۱/۵ میلی‌متر را سوراخ کند و در مقابل مین‌های ضد نفر و ضد تانک با جداره‌ی پلاستیکی و یا جداره‌ی نازک فلزی به خوبی عمل می‌کند ولی در مقابل مین‌های با جداره ضخیم یا مین‌های ترکشی-پرشی بی اثر است. این سیستم را می‌توان در فاصله‌ی ۱/۵ تا ۳ سانتی‌متری از مین قرار داد (شکل ۲).



شکل ۲– سیستم پیروتکنیکی مورچه آتشین در مقابل مین ضد نفر VS-50 و مین ضد تانک TMRP-6 [۶].

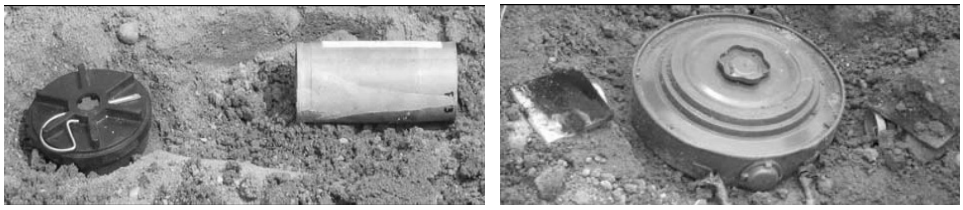
۱- Fire Ant

۳-۲- شعله فوق گرم[۱]: این وسیله، شعله‌ای با گرمای بسیار زیاد فراهم می‌کند که منجر به سوختن مواد منفجره‌ی درون مین می‌شود. این وسیله با حدود ۲۰ سانتی‌متر طول و ۴ سانتی‌متر قطر و وزن ۳۱۲ گرم، دارای یک اغازگر و یک کبریت الکتریکی کنترل از راه دور است و حاوی ۲۵۰ گرم از یک مخلوط شعله‌زای غیر منفجره (شامل اکسید آهن (III) (۶۸٪)، آلومینیم (۲۶٪) و بایندر (۶٪)) است که به همراه یک رزین در یک محفظه کاملا غیر تراوا، در مقابل آب قرار داده شده است. این وسیله شعله‌ای با دمای حدود ۲۲۰۰ °C را برای مدت ۶۵ تا ۷۵ ثانیه فراهم می‌کند (شکل ۳).

۳-۳- مشعل پیشرانه‌ای[۲]: این وسیله، حاوی پیشرانه‌ای است که در یک محفظه‌ی محکم و مقاوم حرارتی جا گذاری شده و با فاصله و زاویه‌ای مناسب نسبت به مین قرارداده می‌شود. هنگامی که روشن شود، پرتابه‌هایی از ترکیبات داغ از نازل مشعل خارج، از جداره‌ی مین عبور کرده و وارد آن می‌شوند و سپس موجب سوختن مواد منفجره‌ی موجود در داخل محفظه مین می‌گردند. دو نوع مشعل برای خنثی‌سازی انواع مین‌های با محفظه‌ی نازک و ضخیم به نام‌های PT-3 و PT-12 پیشنهاد شده است (شکل ۴).

۳-۴- کیسه اتش‌زا[۳]: این وسیله شامل، ۴۰۰ گرم ترمیت است که در یک کیسه از جنس پلی‌پروپیلن قرار دارد. در هنگام روشن شدن، ترمیت ذوب شده و قطرات کوچک آن بدون سوختن در معرض مین قرار می‌گیرند. این سیستم بر روی مین، که معمولا ضخامت کمتری دارد قرار می‌گیرد. ترمیت مایع مذاب با دمای ۳۰۰۰ °C وارد محفظه‌ی مین شده و منجر به سوختن مواد منفجره‌ی داخل مین در دمای ۲۵۰۰-۲۰۰۰ °C می‌شود. این وسیله در مورد مین‌های با حفاظ فلزی و پلاستیکی موثر است ولی در مورد مین‌های با حفاظ چوبی بی اثر است. از آن می‌توان در هوای گرم، مرطوب و بارانی استفاده کرد. برای روشن کردن آن شعله‌ای با دمای ۱۲۰۰-۸۰۰ °C در مدت ۳ ثانیه کافی است (شکل ۵).

شکل ۳- شعله‌ی فوق گرم در مقابل مین ضد نفر T-AB-1 و مین ضد تانک گرد [۶].



شکل ۴- وسیله‌ی PT-3 در مقابل مین ضد نفر SPM-1 و مین ضد تانک TM-46 [۶].

۱-Hyperheat mine flare

۲- Propellant Torch system

۳- Pyropak

شکل ۵– کیسه‌ی آتش‌زا در مقابل مین ضد نفر T-AB-1 و مین ضد تانک TMRP-6 [۶].

۳-۵- مشعل آتش‌زا[۱]: این سیستم، حاوی موادی پرانرژی و فلزی به وزن ۳۰۰ گرم به صورت کارتریج است که بعد از روشن شدن شعله‌ای فلزی با دمای بالا ایجاد می‌کند که از میان صفحه‌ی فلزی استیل به ضخامت ۱/۳ سانتی‌متر در مدت ۳ تا ۴ ثانیه عبور می‌کند و در مدت ۱۰ تا ۱۵ ثانیه به سوختن ادامه می‌دهد. برای خنثی سازی مین، این وسیله بعد از روشن شدن در کنار مین، موجب سوراخ شدن و ورود شعله پر حرارت به داخل آن می‌گردد. بدین ترتیب، مواد منفجره داخل مین می‌سوزند (شکل ۶).

۳-۶- شعله تیوکول[۲]: این وسیله، با استفاده از سوخت جامد تولید شده در شرکت تیوکول برای فضاپیمای شاتل، عمل می‌کند. خنثی سازی مین به واسطه‌ی عبور سریع شعله از میان محفظه‌ی مین و سوزاندن ماده منفجره‌ی داخل مین بدون انفجار آن صورت می‌پذیرد. دمای متوسط ایجاد شده به وسیله شعله حدود ۱۹۲۷ °C است که در مدت ۷۰ ثانیه ادامه می‌یابد. این وسیله، به شکل استوانه‌ای به طول حدود ۱۳ و قطر ۲/۵ سانتی‌متر و به وزن ۰/۵ کیلو است. روشن کردن آن به وسیله‌ی کبریت الکتریکی فیوز زماندار یا فتیله صورت می‌پذیرد (شکل ۷).

شکل ۶– مشعل آتش‌زا در مقابل مین ضد تانک TM-46 [۶].

شکل ۷– شعله‌ی تیوکول در مقابل مین ضد تانک TMRP-6 [۶].

۱- Pyro-torch system

۲- Thiokol demining flare

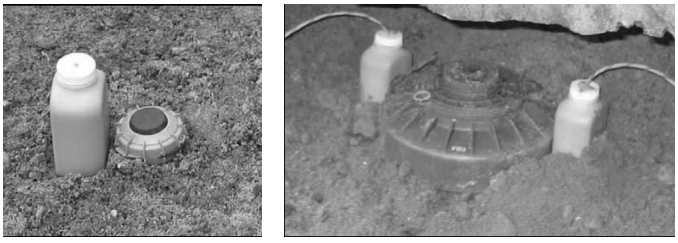
۴- روش های انفجاری در خنثی سازی مین‌ها

به غیر از فوم انفجاری بر پایه نیترومتان، که به واسطه‌ی انفجار، موجب نابودی مین می‌شود [۱۴-۱۲] و در مقاله‌ای مجزا به طور کامل به فرمولاسیون و تست‌های میدانی آن پرداخته‌شده است[۱۵]، نیترومتان به اشکال دیگری غیر از فوم نیز برای از بین بردن مین‌ها به کار می‌رود[۶]. از طرف دیگر، انواع دیگری نیز از مواد منفجره، برای انفجار مواد موجود در مین‌ها و از بین بردن آنها ارائه شده‌اند (جدول ۱). این سیستم‌ها، معمولا مشتمل بر دو نوع ماده منفجره (دو پایه) هستند که به حالت‌های مایع-مایع، مایع-جامد و یا جامد-جامد با هم مخلوط شده‌اند. در ادامه، به تشریح این موارد پرداخته می شود.

۴-۱- فیکسور[۱]: از دو ترکیب (یکی مایع آتش‌زای نیترومتان و دیگری پودر خنثی) تشکیل شده که در دو ظرف جداگانه پلی‌اتیلنی نگهداری می‌شوند[۴و۱۰]. هنگام استفاده، ترکیب مایع، با پودر جامد مخلوط می‌شود و ماده‌ی انفجاری، پدید می‌آید که معادل ۸۵٪ وزنی TNT قدرت دارد. این سیستم، در شرایط آب و هوایی متفاوت، کارایی دارد و بر خلاف مواد منفجره‌ی دو پایه بر اساس امونیوم نیترات و دیگر مواد منفجره متداول در طول زمان کارایی خود را از دست می‌دهد و به یک مخلوط غیر منفجره تبدیل می‌گردد. این مخلوط، توسط چاشنی که داخل قوطی می‌شود، منفجر می‌گردد (شکل ۸).

جدول ۱- انواع روش‌های انفجاری در خنثی‌سازی مین‌ها.

روش	حالت فیزیکی مواد منفجره	نوع مواد منفجره	نوع ظرف
فیکسور (FIXOR)	ماده منفجره دو پایه (مایع-جامد)	نیترومتان و پودر خنثی	ظرف پلاستیکی پلی‌اتیلن
هلیکس (HELIX)	ماده منفجره دو پایه (مایع-جامد)	نیترومتان و پودر الومینیوم	پلی‌وینیل کلرید/مس
Kinepouch™	ماده منفجره دو پایه (مایع-جامد)	نیترومتان و الومینیوم نیترات	کیسه فویلی
Kinestik™	ماده منفجره دو پایه (مایع-جامد)	نیترومتان و الومینیوم نیترات	ظرف پلاستیکی
کیسه منفجره مایع	ماده منفجره دو پایه (مایع- جامد)	نیترومتان و حساس کننده دی‌اتیلن دی‌آمین	کیسه پلی‌اتیلن
فوم انفجاری (NMX-foam™)	ماده منفجره دو پایه (مایع-جامد)	نیترومتان، نیتروسلولز، استاریل الکل، استاریل الکل اتوکسیله و پیشرانه هیدروکربنی	کپسول فلزی تحت فشار
PESCO ۱۱ و ۲۲ گرمی	ماده منفجره ثابت	RDX	جداره پلاستیکی با پوشش مسی
SM-EOD ۲۰ و ۳۳ گرمی	ماده منفجره ثابت	RDX	جداره پلاستیکی با پوشش مسی



شکل ۸- فیکسور در مقابل مین ضد نفر VS-50 و مین ضد تانک TMRP-6 [۶].

۱- FIXOR: Field-friendly, Inexpensive, uneXploded Ordnance Remover

۴-۲- هلیکس[۱]: هلیکس، مخلوطی منفجره است که خیلی سریع (در کمتر از یک دقیقه) آماده می‌شود و سرعت انفجاری بالغ بر ۶۲۹۰ متر بر ثانیه برای آن گزارش شده است. ظرف محتوی مخلوط، از جنس پلی وینیل کلرید با روکش مسی و دارای شکل خاصی برای شکل دادن به مخلوط انفجاری است. این سیستم در اثر مخلوط کردن نیترومتان با پودر فعال (الومینیوم) به وجود می‌آید (شکل ۹).

۴-۳- کینپک[۲]: مجموعه‌ای متشکل از مواد منفجره‌ی دو پایه است که حاوی نیترومتان مایع و آمونیوم نیترات جامد است و به دو شکل کیسه‌ای[۳] و یا تیوب پلاستیکی[۴] به وزن نیم کیلو وجود دارد. این دو ماده، قبل از مخلوط شدن منفجره نیستند و بعد از اختلاط به ماده منفجره حساس تبدیل شده و سرعت انفجاری حدود ۶۵۰۰ متر بر ثانیه از خود نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

۴-۴- کیسه‌ی منفجره‌ی مایع[۵]: کیسه‌ی منفجره‌ی مایع سیستمی است به وزن‌های مختلف حدود ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ کیلو گرم متشکل از دو مایع غیر انفجاری نیترومتان و دی‌اتیلن‌تری‌آمین (DETA) که بعد از مخلوط شدن به یک ماده منفجره‌ی دو پایه تبدیل می‌شود. هنگام مخلوط شدن نیترومتان با حساس‌کننده، یک شناساگر رنگی منجر به تغییر رنگ به بنفش شده و موجب هشدار می‌گردد. این مخلوط، خواصی شبیه TNT دارد و سرعت انفجاری معادل ۶۴۰۰ متر بر ثانیه و فشاری معادل ۱۳۰ کیلو اتمسفر ایجاد می‌کند. این کیسه‌های انفجاری با چاشنی شماره ۸ منفجر می‌شوند (شکل ۱۱).

۴-۵- فوم انفجاری مایع[۶]: فرمولاسیون نیترومتان، به شکل فوم انفجاری، یکی از سیستم‌ها به منظور خنثی‌سازی مین‌ها می‌باشد [۱۲و۱۳]. فوم انفجاری مایع، به شکل سیستم‌های دستی مشتمل بر دو کپسول A و B، یکی حاوی ۵۰۰ گرم مخلوط نیترومتان و دیگر اجزاء فرمولاسیون (A) و دیگری حاوی ۵۰ گرم پیشرانه‌ی گازی، از نوع پروپان (B) به بازار عرضه شده است (شکل ۱۲). هنگام استفاده، محتوی کپسول B به داخل کپسول A اضافه می‌شود و سپس بعد از هم‌زدن، فوم انفجاری از کپسول A خارج می‌شود. فوم به صورت ۱۰۰٪ در مقابل مین های ضد نفر و ضد تانک که تا عمق ۵ سانتی‌متری در داخل خاک قرار دارند موثر هستند. مخازن کوله پشتی

شکل ۹– سیستم هلیکس در مقابل مین ضد نفر PMD-6 و مین ضد تانک TMRP-6 [۶].

شکل ۱۰– سیستم کینپک در مقابل مین‌های ضد تانک [۶].

شکل ۱۱– کیسه‌ی منفجره‌ی ۲۵۰ گرمی در مقابل مین T-AB-1 [۶].

۱- Helix: High Energy LIquid eXplosive
۲- Kinepak
۳- Kinepouch
۴- Kinestik
۵- Liquid explosive pouch
۶- LEXFOAM: Liquid EXplosive FOAM

نیز با گنجایش ۱۴/۵ کیلوگرم فرمولاسیون فوم برای خنثی‌سازی حدود ۲۰ مین ضد تانک و یا ۴۰ مین ضد نفر طراحی شده‌اند. فوم انفجاری مایع بر پایه‌ی نیترومتان، به دلیل سهولت کاربرد در شرایط مختلف و امکان پخش بر روی سطوح گسترده و مناطق شیب دار، به صورت تجاری تولید شده و با موفقیت در بسیاری از مناطق دنیا به کار گرفته شده است[۱۲].

۴-۶- سیستم PESCO: این سیستم سوراخ کننده، در دو اندازه‌ی ۱۱ و ۲۲ گرمی (از ماده‌ی منفجره‌ی RDX) با جداره پلاستیکی ساخته شده و با چاشنی‌های الکتریکی M-6 و M-7، با سرعت حدود ۷۵۰۰ متر بر ثانیه منفجر می‌شود. این وسیله برای پاکسازی میادین مین و مهمات عمل نکرده به کار می‌رود (شکل ۱۳).

۴-۷- سیستم SM-EOD: سیستم SM-EOD در شش اندازه (حاوی ماده‌ی منفجره‌ی RDX، واکس و گرافیت) برای پاکسازی میادین مین و مهمات عمل نکرده به کار می‌رود و به طریق الکتریکی و یا پیروتکنیکی منفجر می‌شود. این سیستم، به همراه پایه‌هایی ارائه می‌شود تا کاربرد آنها در کلیه شرایط، امکان‌پذیر باشد. این وسیله ضد آب است و در کلیه‌ی شرایط آب و هوایی به کار می‌رود (شکل ۱۴). SM-EOD ۳۰ گرمی برای انفجار مین‌های مخفی و پوشیده شده توسط خاک (تا عمق ۱۷ سانتی‌متری) و یا در زیر آب (تا عمق ۸۰ متری) به کار می‌رود.

شکل ۱۲- کپسول‌های دستی حاوی مخلوط نیترومتان ودیگر اجزاء فرمولاسیون (A) و گاز پروپان (B) و کاربرد آن در مقابل مین ضد تانک روسی TMD-44 [۱۲].

شکل ۱۳- سوراخ کننده‌ی PESCO (با ۱۱ گرم RDX) در مقابل مین ضد نفر PMD-6 [۶].

شکل ۱۴– سیستم SM-EOD ۲۰ گرمی در مقابل مین ضد نفر SPM-1 [۶].

۵- مقایسه‌ی هزینه و کارایی روش‌های احتراقی و انفجاری

هزینه‌ی هر واحد از وسایل خنثی‌سازی مین‌ها، در جدول ۲ آورده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، مشعل آتش‌زا در بین روش‌های احتراقی و فوم انفجاری در بین روش‌های انفجاری در زمره‌ی گرانترین روش‌ها هستند. از طرف دیگر، استفاده از مواد آتش زا و یا منفجره در کیسه‌ها از ارزانترین روش‌ها محسوب می‌شود. ولی صرفنظر از قیمت واحد هر کدام از وسایل، شرایط کاربردی هر یک نیز در الویت استفاده از آنها تاثیر بسزایی دارد. در روش‌های احتراقی، عمدتا از مواد پیشرانه یا آتش زا برای خنثی‌سازی استفاده شده که هزینه‌هایی بیشتر از روش‌های انفجاری را در بر دارد. از طرف دیگر، آمار موفقیت خنثی‌سازی مین‌ها از طریق روش‌های انفجاری، بالاتر از روش‌های احتراقی است[۶].

جدول ۲– هزینه‌ی هر واحد از وسایل خنثی‌سازی مین‌ها به روش‌های احتراقی و انفجاری.

نوع خنثی‌سازی	وسیله خنثی‌سازی	هزینه، به ازاء هر واحد ($)
احتراقی	مشعل آتش‌زا	۱۲۰
	مشعل پیشرانه‌ای PT-3	۵۶
	شعله‌ی فوق گرم	۱۸
	شعله تیوکول	۱۵
	فایرآنت (مورجه آتشین)	۱۰
	کیسه اتش‌زا	۳
انفجاری	فوم انفجاری مایع	۲۵
	سیستم SM-EOD	۲۴
	فیکسور	۲۰
	هلیکس	۱۵
	سوراخ‌کننده PESCO	۸
	کینپک	۵
	کیسه منفجره مایع	۴

۶- نتیجه‌گیری

خنثی‌سازی مین‌ها به روش‌های احتراقی و انفجاری، با استفاده از مواد مختلف که به گونه‌های متفاوت با هم مخلوط و در بسته‌بندی‌های گوناگون ارائه شده‌اند، قابل انجام است. در روش‌های احتراقی، عمدتا از مواد پیشرانه یا آتش زا برای خنثی‌سازی استفاده شده که هزینه‌هایی بیشتر از روش‌های انفجاری را در بر دارد. از طرف دیگر، آمار موفقیت خنثی‌سازی مین‌ها از طریق روش‌های انفجاری بالاتر از روش‌های احتراقی است. اساس روش‌های انفجاری اغلب مبتنی بر استفاده از نیترومتان (به غیر از PESCO و SM-EOD) می‌باشد. در این میان، فوم انفجاری مایع بر پایه‌ی نیترومتان، اگر چه پر هزینه‌ترین روش انفجاری است ولی به دلیل سهولت کاربرد در شرایط مختلف و امکان پخش بر روی سطوح گسترده و مناطق شیب دار، به صورت تجاری تولید شده و با موفقیت در بسیاری از مناطق دنیا به کار گرفته شده است.

۷- مراجع

[1]. Garwin, R. L. and Husbands, Jo L., “Progress in humanitarian demining: Technical and policy challenges”, Xth Amaldi conference, Paris, (1997), htpp://www.fas.org/rlg/de-mining.htm.

[2]. Mines, http://philcox.homestead.com/mines.html.

[3]. Humanitarian Demining ”Developmental Technologies 2000-2001”, http://www.deminingtechmology.com/deminig/pubs/catalog

[4]. Humanitarian demining equipment catalog, http://www.humanitariandemining.org/archive/catalog97/cattoc.htm, (1997).

[5]. Kannberger, Gerd, “Test and evaluation of pyrotechnical mine neutralization means”, ITEP work plan project Nr. 6.2.4 (2205), http://www.itep.ws/pdf/germanyITEP6.2.4.pdf

[6]. Vosburgh, A., Burke, S., Patel, D. L.,”Operational evaluation test mine neutralization system”, http://www.itep.ws/pdf/finalreportneutsyseval.pdf, 2005.

[7]. Burke, S., “The U.S. department of defense humanitarian deminig research and development program”, J. Mine Action 2003, Issue 7.1.

[8]. Eidelman, S. and Goroshin S., ”Method and apparatus for mine and unexploded ordnance neutralization”, US patent 6,765,121 (2004) and US patent 6,232,519 (2001).

[9]. Giurguis, R.H., “Darts containing explosives for defeating buried mines” , US patent 6,748,842 (2004).

[10]. Anderson, C. J., “Fixor: A new approach to neutralizing landmines and UXO”, http://maic.jmu.edu/journal/5.2/features/fixor.htm.

[11]. Chandler, O., “Nitromethane explosive with a foam and microspheres of air”, US patent 3,794,534 (1974).

[12]. USA Army, ”Final scientific and technical report on the high-performance hand-held foamed nitromethane system”, 2003. http://www.itep.ws/pdf/NMX_report.pdf.

[13]. Patel, D.L. and Briggs, B.D.,”Performance characterization of LEXFOAM from hand-held systems”, Technical report, NIST order number: ADA458400, 2006

[14]. Baker, M.A. and Anderson, C.J.,”Foamed nitroparaffin explosive composition”, US patent 4,925,505 (1990) and Fr patent 2,657,868 (1991).

[۱۵]. حسین فخرائیان، حسام حاج قنبری، حسین چلابی، علی اکبر جمالی، عباس طاهری، عادل عبادی و کیومرث فرهادی «تهیه و تست میدانی فوم انفجاری مایع ضد مین»، تحقیق و توسعه مواد پر انرژی، سال چهارم، شماره ۲، ۱۳۸۷، ص ۳.