



## بکارگیری پرتوهای گاما در کشف مین‌های زمینی باقی‌مانده از جنگ تحمیلی در خاک

### ایران با استفاده از روش مونت کارلو

هدا علویان<sup>(۱)</sup> - رضا ایزدی<sup>(۲)</sup> - حسین توکلی عنبران<sup>(۳)</sup> - علی سمیع<sup>(۴)\*</sup>

<sup>۱</sup> مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دانشکده علوم، بخش فیزیک

<sup>۲</sup> مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم، گروه فیزیک

<sup>۳</sup> شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک

<sup>۴</sup> مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه شیمی

#### چکیده

مین‌های زمینی در ابعاد و اندازه‌های مختلف و برای اهداف گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند. قطعاً حجم ماده‌ی منفجره موجود در آن‌ها متفاوت است. در استفاده از گاماها پس‌پراکنده برای شناسایی مین‌ها، اندازه‌ی ماده منفجره می‌تواند فاکتور مهمی باشد. در این بررسی، مین ضد تانک  $TM\epsilon 6$  و مین‌های ضد نفر  $M30$ ،  $VS50$ ،  $TS50$  و  $PMN$  که از جمله مین‌های باقی‌مانده در خاک ایران هستند، مورد مطالعه قرار گرفتند. برای شبیه‌سازی سامانه‌ی مین‌یاب با روش مونت کارلو از کد  $MCNP\epsilon C$  استفاده شد. در شبیه‌سازی، از رادیویزوتوپ  $^{192}Ir$  بعنوان چشمه‌ی پرتوزا استفاده شد. نتایج نشان داد که مکان بیشترین کنتراست و روند تغییر کنتراست برای مین‌های ضد نفر و ضد تانک متفاوت است.

**کلمات کلیدی:** گامای پس‌پراکنده، مین زمینی ضد تانک، مین زمینی ضد نفر، کنتراست،  $TM\epsilon 6$ ،  $PMN$ ،  $M30$ ،

$VS50$ ،  $TS50$ .

#### مقدمه

در جنگ‌های مدرن به منظور جلوگیری از یورش دشمن، کند کردن سرعت پیشروی، کانالیزه کردن حرکات و غیره، مین‌گذاری در مناطق عملیاتی و حساس انجام می‌شود. مین‌های ضد نفر بطور گسترده برای اولین بار در جنگ جهانی دوم بکار گرفته شدند و پس از آن در جنگ‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفتند. این مین‌ها اساساً به منظور حمایت از مین‌های ضد تانک و ممانعت از جابجایی آن‌ها و همچنین به منظور دفاع از مناطق استراتژیکی چون مرزها کار گذاشته می‌شوند. با پایان یافتن جنگ و تا زمان پاکسازی کامل مناطق آلوده به مین همیشه افراد غیرنظامی بر اثر اصابت به مین کشته و مجروح می‌شوند. ایران در طول ۸ سال جنگ تحمیلی، به حدود ۱۶ میلیون انواع مین و مواد منفجره آلوده شده و تنوع، حجم و پراکندگی آلودگی در مساحتی حدود ۴/۰۰۰/۰۰۰ هکتار از اراضی پنج استان آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه، ایلام و خوزستان، آن را به دومین کشور آلوده به مین در جهان تبدیل کرده است [۴]، جدول (۱).

بارش باران و نزولات آسمانی و شرایط جوی و اقلیمی، اغلب میادین مین را جابجا کرده است، همچنین حجم و تنوع مین‌ها بسیار زیاد است. این عوامل کار پاکسازی را بسیار دشوار ساخته است. هر نوع مین حجم خاصی از مواد منفجره را در بر دارد و با توجه به ساختارش به نیروی معینی نیاز دارد تا عمل کند. از آنجا که مین‌های ضد نفر حجم کمتری دارند و به نیروی کمتری جهت انفجار نیاز دارند، خطر بزرگتری برای بشریت به حساب می‌آیند.

جدول ۱: مشخطات مناطق مین‌گذاری شده در ایران و نرخ آسیب دیدگی در آن‌ها [۵].

استان	نرخ تلفات (%)	نرخ مصدومیت (%)	مساحت مین‌گذاری شده (هکتار)	مساحت پاک‌سازی شده (هکتار)	مساحت آلوده باقی‌مانده (هکتار)
کرمانشاه	۳۰/۸	۳۱/۹	۶۹۱،۰۰۰	۳۸۲،۱۵۰	۳۰۸،۸۵۰
ایلام	۲۵/۷	۲۰/۶	۱،۷۰۰،۰۰۰	۱،۰۸۳،۸۳۳	۶۱۶،۱۶۷
خوزستان	۲۱/۱	۱۸/۸	۱،۳۸۰،۰۰۰	۷۳۴،۸۹۵	۶۴۵،۱۰۵
کردستان	۱۵/۴	۱۴/۵	۱۴۸۰	۶۸۴	۷۹۶
آذربایجان غربی	۷	۱۴/۲	۵۹،۰۰۰	۹،۰۰۰	۵۰،۰۰۰

در یک بررسی که در سال ۱۳۸۶ در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد [۱]، سامانه‌ای دقیق، سریع، سبک و کم هزینه با تکیه بر روش‌های هسته‌ای برای شناسایی مین‌های زمینی ارائه شد. روش هسته‌ای بکار رفته در این سامانه مبتنی بر پس‌پراکندگی پرتوهای گاما بود و از آنجا که سطح مقطع پراکندگی کامپتون متناسب با چگالی محیط پراکننده است، چگالی مواد را شاخص شناسایی آن‌ها قرار داده بود. از این رو، در این بررسی از شمارش تعداد فوتون‌های پس‌پراکنده برای تشخیص مکان مواد منفجره استفاده شد [۱].

از طرفی با توجه به این که رطوبت خاک و فاصله مین از سطح خاک می‌تواند محدودیت‌هایی برای عملکرد این سامانه باشد، این دو فاکتور در سال ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نیز حاکی از کاربردی بودن سامانه‌ی طراحی شده در شناسایی مین‌های زمینی در شرایط اقلیمی مختلف بود [۲ و ۳]. در دو بررسی فوق، مطالعه برای حجمی از مواد منفجره انجام شد که غالباً در مین‌های ضد تانک و ضد خودرو استفاده می‌شود.

مین‌های ضد نفر حجم کمتری از مواد منفجره را در بر می‌گیرند و به نیروی کمتری جهت عملکرد احتیاج دارند، بنابراین خطر بیشتری برای انسان‌ها دارند. حجم مواد منفجره‌ی مین می‌تواند فاکتور موثر دیگری بر فرایند شناسایی آن باشد. در ادامه با استفاده از پس‌پراکندگی پرتوهای گاما به بررسی اثر این فاکتور برای پنج نوع از مین‌های مدفون در خاک ایران، مین ضد تانک TM۴۶ و چهار نوع مین ضد نفر M۳۵، VS۵۰، TS۵۰ و PMN

می‌پردازیم. مشخصات پنج مین در جدول (۲) آمده است. این مین‌ها قطعه‌ی فلزی ندارند و شناسایی آن‌ها به روش‌های سنتی بسیار مشکل است.  
جدول ۲: مشخصات مین‌های شبیه‌سازی شده [۴].

نام مین	TM۴۶	TS۵۰	VS۵۰	PMN	M۲۵
نوع	ضد تانک	ضدنفر	ضدنفر	ضدنفر	ضدنفر
وزن کل (g)	۵۹۰۰	۱۹۰	۱۸۵	۶۱۲	۱۴۷
ارتفاع (cm)	۱۰/۸	۴/۵	۴/۵	۵/۵	۶/۵
قطر (cm)	۳۰/۵	۹	۹	۱۵/۳	۶
ماده منفجره	TNT	RDX	RDX	TNT	TNT
چگالی ماده منفجره (g/cm <sup>۳</sup> )	۱/۶۸	۱/۸	۱/۸	۱/۶۸	۱/۶۸
وزن ماده منفجره (g)	۵۷۰۰	۵۴	۴۵	۲۲۰	۹۷
ارتفاع نمونه حاوی ماده منفجره (cm)	۱۰	۲/۵	۲	۲	۲
قطر نمونه حاوی ماده منفجره (cm)	۲۱	۴	۲	۹	۶

### شبیه‌سازی مونت کارلو

از کد MCNP۴C برای شبیه‌سازی سامانه‌ی مین‌یاب استفاده شد. در شبیه‌سازی این سامانه، جعبه‌ای با ابعاد  $۷۰ \times ۱۰۰ \times ۵۰ \text{ cm}$  حاوی خاک با چگالی جرمی  $۱/۱۲ \text{ g/cm}^۳$  و استوانه‌ای حاوی ماده‌ی منفجره که چگالی و حجم آن برای پنج نوع مین تغییر داده شد و در  $۱ \text{ cm}$  از سطح خاک قرار گرفت (چگالی و ترکیبات خاک و ماده‌ی منفجره از مرجع [۶] اتخاذ شده است) تعریف شدند. ایزوتوپ  $^{۱۹۲}\text{Ir}$  با متوسط انرژی  $۰/۳۷ \text{ MeV}$  [۷] طوری قرار داده شد که پرتوهای گاما به صورت موازی، در مرکز هندسه و در جهت  $-Z$ ، عمود بر سطح خاک گسیل یابد و از آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد  $۲'' \times ۲''$  برای شمارش گاماها پس‌پراکنده استفاده شد. ابعاد بهینه برای حفاظ و موازی‌ساز سربی آشکارساز، پوسته‌های استوانه‌ای با شعاع داخلی  $۲/۵۴ \text{ cm}$  و ضخامت  $۰/۲$ ، به ترتیب با ارتفاع  $۱/۴ \text{ cm}$  و  $۵/۱۸$  تعریف شد که از مرجع [۱] اتخاذ شده است. سامانه‌ی مین‌یاب برای پنج نوع مین طراحی و اجرا شد. تحلیل و مقایسه داده‌های حاصل از اجرای برنامه‌ها با استفاده از کمیته‌ی به نام کنتراست (C) انجام شد. کنتراست به صورت نسبت تفاضل تعداد پرتوهای گامای پس‌پراکنده رسیده به آشکارساز در حضور مین (N) و در غیاب آن (N<sub>۰</sub>)، تقسیم بر (N<sub>۰</sub>) به درصد، تعریف می‌شود. این نسبت از رابطه‌ی (۱) به دست آمد.

$$C (\%) = \frac{N - N_0}{N_0} \times 100 \quad (1)$$

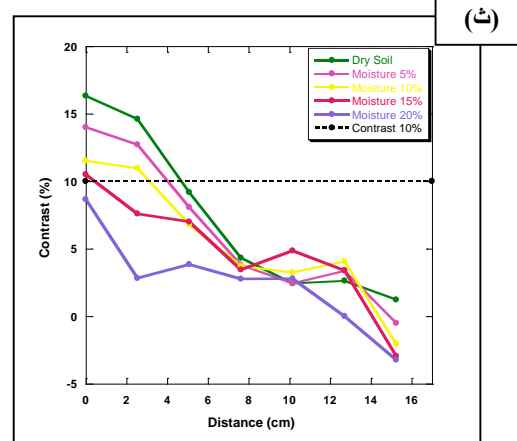
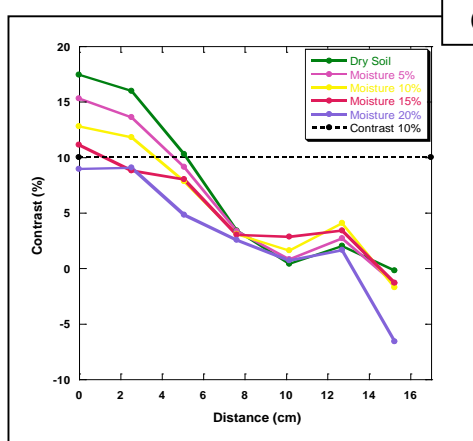
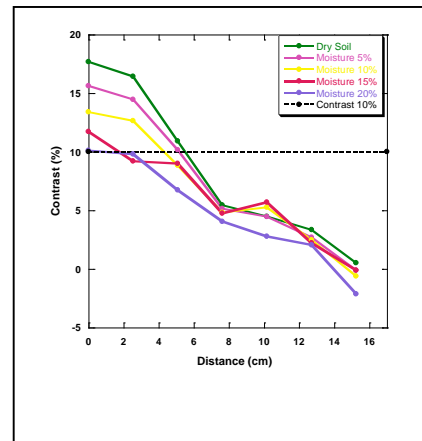
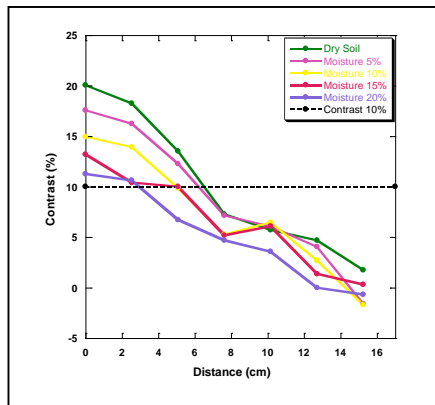
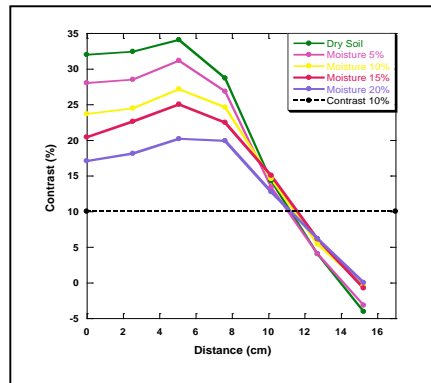
برای هر نوع مین، فاصله آشکارساز از چشمه، به ترتیب از صفر تا شش اینچ با گام یک اینچ، تغییر داده شد و در هر فاصله، نتایج برای پنج رطوبت متغییر از خاک بدست آورده شدند. تالی ارتفاع پالس (F<sub>A</sub>) بعنوان خروجی برنامه‌ها تعریف شد. اجرای هر برنامه برای حدود هفت میلیون ذره با خطای کمتر از ۰/۰۰۵ انجام شد.

## نتایج

شکل‌های ۲-الف تا ۲-ث به ترتیب تغییرات کنتراست مربوط به نمونه‌ی ماده‌ی منفجره مربوط به پنج نوع مین TS۵۰, VS۵۰, PMN, M۳۵ و TM۴۶ در خاک اولیه (تقریباً بدون رطوبت)، و خاکی که مقدار ۰/۵٪، ۱/۰٪، ۱/۵٪ و ۲/۰٪ به رطوبت آن اضافه شده است، را نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت چگالی خاک به ترتیب تا مقادیر  $1/344, 1/288, 1/232, 1/176 \text{ g.cm}^{-3}$  افزایش می‌یابد.

برای مین ضد تانک TM۴۶، هنگامی که مین در سطح خاک قرار دارد، بیشینه کنتراست با مقداری نزدیک به ۳۵٪ تا ۲۰٪ به ترتیب برای خاک اولیه تا ۲۰٪ رطوبت در فاصله‌ی ۵/۰۸ cm از مرکز هندسه رخ می‌دهد. با افزایش رطوبت، کاهش کنتراست در اغلب مقادیر بالای ده درصد دیده می‌شود. این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات گذشته سازگار است [۱ و ۲ و ۳]. برای چهار نوع مین دیگر که همگی ضد نفر هستند، تغییرات کنتراست روند مشابهی دارد. در تمام این حالت‌ها بیشینه کنتراست برای ماده‌ی منفجره به شرح زیر است:

(۱) بیشینه کنتراست برای TS۵۰ و VS۵۰ با مقداری نزدیک به ۲۰٪ تا ۱۰٪ به ترتیب برای خاک خشک تا ۲۰٪ رطوبت در مرکز هندسه رخ می‌دهد. با افزایش فاصله‌ی آشکارساز از محور باریکه فوتون‌های فرودی، کنتراست با شیب نسبتاً تندی تا مقادیر کمتر از ۱۰٪ و حتی منفی کاهش می‌یابد. (۲) بیشینه کنتراست برای PMN و M۳۵ با مقداری نزدیک به ۱۷٪ تا ۸٪ به ترتیب برای خاک خشک تا ۲۰٪ رطوبت در مرکز هندسه رخ می‌دهد. شیب تند کاهش کنتراست با هم با افزایش فاصله‌ی آشکارساز از محور باریکه فوتون‌های فرودی دیده می‌شود. از میان مین‌های ضد نفر بیشینه کنتراست به ترتیب برای VS۵۰, PMN, M۳۵ و TS۵۰ از حدود ۱۶٪ تا ۲۰٪ افزایش می‌یابد. برای بقیه‌ی حالت‌ها هم روند تقریباً مشابهی برقرار است. کنتراست زیر ده درصد دقت پایینی دارد و قابل استناد نیست، به همین دلیل نوسانات نامنظم و شدیدی که در کنتراست‌های زیر ده درصد دیده می‌شود.



شکل ۲: کنتراست برحسب فاصله آشکارساز از مرکز هندسه برای خاکی با پنج درصد متفاوت رطوبت (الف) برای مین ضد تانک TM۴۶، (ب) مین ضد نفر TS۵۰، (پ) مین ضد نفر VS۵۰، (ت) مین ضد نفر PMN، (ث) مین ضد نفر M۳۵.

## بحث و نتیجه گیری

محاسبات حاصل از نتایج مونت کارلو نشان داد که حجم ماده‌ی منفجره که در هر مین مقدار متفاوتی است، نقش مهمی در مقدار کنتراست و در نهایت فرایند آشکارسازی آن دارد. تا آنجا که برای مین‌های ضد نفر که حجم کوچکی از ماده‌ی منفجره را در بر می‌گیرند، سامانه‌ی مین‌یاب قادر به آشکارسازی دقیق مین نیست. با افزایش رطوبت خاک، کنتراست آنقدر کم می‌شود که توانایی سامانه در فرایند آشکارسازی ماده‌ی منفجره را تقریباً غیرممکن می‌سازد. با توجه به نتایج مطالعات گذشته می‌توان گفت افزایش فاصله‌ی مین از سطح خاک نیز از قدرت سامانه در کشف مین‌های زمینی می‌کاهد. اما آنچه قابل توجه است این که طبق انتظار ما، برای مین ضد تانک نتایج قابل قبولی به دست آمد که تاییدی بر دستاوردهای ما از بررسی‌های گذشته است. در تمام موارد بیشینه کنتراست بر روی مین رخ می‌دهد و دارای شیب تندی است که وابستگی شدید مکانی این سامانه را به حضور مین دفن شده در خاک نشان می‌دهد.

## مراجع

- [۱] رساله دکتری فیزیک، " بررسی توانمندی روش پس‌پراکندگی فوتون‌های گاما در شناسایی مین‌های زمینی"، دکتر حسین توکلی عنبران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶.
- [۲] هدا علویان، حسین توکلی عنبران، رضا ایزدی، علی سمیع، " اثر فاصله‌ی ماده‌ی منفجره از سطح خاک بر آشکارسازی آن، با استفاده از پرتوهای گاما به روش مونت کارلو"، کنفرانس فیزیک ایران، ارومیه، شماره ۹۰۳، شهریور ۱۳۹۰.
- [۳] هدا علویان، رضا ایزدی، حسین توکلی عنبران، علی سمیع، " اثر رطوبت خاک بر کشف مواد منفجره با استفاده از پرتوهای گاما"، کنفرانس فیزیک ایران، ارومیه، شماره ۱۰۸۵، شهریور ۱۳۹۰.
- [۴] Islamic Republic of Iran Mine Action Center (IRMAC), [www.irmac.ir](http://www.irmac.ir).
- [۵] Iranian Mine Victims Rescue Center (IMC), [www.landmineiran.org](http://www.landmineiran.org).
- [۶] Esam Hussein MA, Marc Desrosiers, Edward J. Waller; "On the use of radiation scattering for the detection of landmines"; Radiation Physics and Chemistry ۷۳, (۲۰۰۵) ۷-۱۹.
- [۷] Maria E.C.M. Rostelato; Constancia P.G. Silva; Paulo R. Rela; Carlos A. Zeituni; Vladimir Lepki; "Iridium-۱۹۲ Production for Cancer Treatment"; Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares-Comissao Nacional de Energia Nuclear IPEN-CNEN; Av. Prof. Lineu Prestes, ۲۲۴۲.