

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرفعال

سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲، (پیاپی ۱۶): صص ۴۱-۵۲

## کشف مین‌های جنگی به روش دمانگاری فروسرخ غیرفعال با استفاده از شیوه‌های پردازش تصویری

ابوالفضل اکبرنیا کلاگر<sup>۱</sup>، محمدرضا محزون<sup>۲</sup>، محمدرضا هدایتی‌راد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۶

### چکیده

مین جزو آن دسته از تسلیحات نظامی محسوب می‌شود که در صورت به‌کارگیری در طول جنگ، مأموریت آنها پس از پایان جنگ خاتمه‌نیافته و همواره عامل تهدیدکننده‌ای به‌شمار می‌آید. از این‌رو کشف و خنثی‌سازی آن پیش از اینکه سبب بروز حادثه‌ای شود، یکی از بارزترین مصادیق پدافند غیرعامل می‌باشد. از طرف دیگر از آنجا که شیوه‌های رایج کشف مین نیز خود با مخاطراتی مواجه هستند، انتخاب شیوه‌ای که کمترین خطر را در پی داشته باشد، یکی از مهم‌ترین ملاحظات پدافند غیرعامل محسوب می‌گردد. شیوه دمانگاری مادون قرمز غیرفعال که بدون تماس مستقیم با خاک قادر به آشکارسازی مین‌های مدفون در آن است، یکی از روش‌های کم‌خطر و نوین برای کشف مین محسوب می‌شود.

در مقاله حاضر برای آشکارسازی مین مدفون در خاک به روش دمانگاری فروسرخ غیرفعال یک قالب کاری شامل مراحل ارتقاء کنتراست، نرم‌سازی تصویر و کاهش نویز، بخش‌بندی تصویر و استخراج تصویر مشخصه از یک مجموعه تصویر و تشخیص هدف ارائه گردید که در این قالب کاری از شیوه‌های پردازش تصویری چون کشش خطی، تعدیل هیستوگرام، فیلترهای شکل‌شناسی، الگوریتم‌های بخش‌بندی آب‌پخش‌مبتنی بر نشانگر و تبدیل کارهونن- لئو (KL) استفاده شده است.

**کلیدواژه‌ها:** کشف مین، دمانگاری فروسرخ غیرفعال، شیوه‌های پردازش تصویر، پدافند غیرعامل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه جامع امام حسین(ع) abolfazlalamdara@gmail.com نویسنده مسئول

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۳- کارشناس ارشد الکترونیک دانشگاه جامع امام حسین(ع)

## ۱- مقدمه

همواره تهدیدات ناشی از تسلیحات نظامی به کارگرفته شده در جنگ‌ها محدود به همان زمان جنگ نیست؛ بلکه تسلیحاتی نیز وجود دارند که قادرند تا سال‌ها پس از پایان جنگ همچنان تهدیدآفرین باشند. با توجه به اینکه یکی از وظایف پدافند غیرعامل کاهش خسارات و تلفات ناشی از تهدیدات احتمالی می‌باشد، محدود کردن تلفات و خسارات ناشی از آن دسته از تسلیحات نظامی که در صورت به کارگیری دارای تهدیداتی فراتر از زمان جنگ می‌باشند، اهمیت مضاعفی در حوزه پدافند غیرعامل دارد. یکی از این تسلیحات، مین‌های کاشته شده در طول جنگ است. از آنجا که خطر انفجار این مین‌ها تا سال‌ها پس از پایان جنگ وجود دارد، کشف و خنثی‌سازی آنها پیش از وقوع انفجار، یکی از اهداف پدافند غیرعامل محسوب می‌شود. در حال حاضر بیش از ۱۰۰ میلیون مین ضد تانک و ضد نفر در بیش از ۷۰ کشور دنیا وجود دارد. تخمین زده می‌شود که سالانه بیش از ۲۶۰۰۰ نفر توسط مین‌ها کشته یا مجروح می‌شوند، به عبارتی دیگر، مین‌ها در هر ۲۰ دقیقه، یک قربانی می‌گیرند. هزینه خرید و کارگذاری یک مین ضد نفر معمولی بین ۳ تا ۳۰ دلار ارزیابی می‌شود، در حالی که هزینه برداشتن آن بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ دلار است [۲،۱].

روش‌های رایجی که برای کشف و خنثی‌سازی مین‌های جنگی استفاده می‌شوند، در حوزه پدافند غیرعامل قرار می‌گیرند زیرا پدافند غیرعامل به معنای مقابله با تهدیدات بدون استفاده از اسلحه می‌باشد و روش‌های رایج مین‌یابی نیز بدون بهره‌گیری از هیچ سلاحی، پیش از وقوع انفجار مین‌ها به کشف آنها و خنثی‌سازی تهدید ناشی از انفجار آنها می‌پردازند. مین‌یابی دستی، رایج‌ترین روش مین‌یابی است که بسیار خطرناک و کند است. گزارش‌ها حاکی از آن است که به ازای هر ۲۰۰۰ مین کشف و خنثی‌شده با این روش، یک نفر کشته شده است. استفاده از فلزیاب هم با توجه به وجود قطعات فلزی مهمات برجای مانده از جنگ‌ها، منجر به هشدارهای غلط بیشماری می‌گردد و گذشته از این با توجه به اینکه مین‌های جدید عمدتاً از پلاستیک و کائوچو ساخته شده‌اند، استفاده از فلزیاب‌ها روشی بی‌فایده محسوب می‌شود [۱]. با توجه به خطرات و ضعف‌های روش‌های قدیمی کشف مین، پژوهش برای یافتن روش‌هایی جدید آغاز شده است. یکی از این روش‌های جدید، استفاده از خواص تابشی و بازتابی طیف فرورسرخ از سطح زمین‌های مناطق جنگی می‌باشد. نظریه اولیه این شیوه نوین به وسیله واتسون<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۵ مطرح شد [۳]. در طول سال‌های اخیر، مطالعات علمی زیادی برای کشف مین با دمانگاری فرورسرخ صورت پذیرفته است. این مطالعات به ایجاد مدل‌های ریاضی برای خاک و مین منجر شده است. علی‌رغم اینکه

مدل‌هایی که آثار حرارتی مین‌ها را پیش‌بینی می‌کنند هنوز در مراحل اولیه می‌باشند، اما پیشرفت عمده‌ای در مدل کردن رفتار حرارتی خاک همگن در زمان‌های مختلف از روز به وجود آمده است [۴]. یکی از این مدل‌های نسبتاً کامل، مدلی مبتنی بر روش تفاضل محدود است [۵].

به موازات ایجاد مدل‌های حرارتی برای پیش‌بینی رفتار حرارتی خاک و مین، شیوه‌های پردازش تصویری مختلفی نیز برای کشف مین از روی تصاویر فرورسرخ ارائه شده‌اند. به عنوان مثال، به منظور پردازش تصاویر چندبندی، استفاده از عملگرهای شکل‌شناسانه که با آنالیز مولفه اصلی<sup>۲</sup> ترکیب شده‌اند، توسط بتمن<sup>۳</sup> معرفی شده است [۶]. پاک<sup>۴</sup> و همکارانش نیز شیوه‌های مختلف کشف مین را با تأکید خاص بر روش‌های پردازش سیگنال و تصویر بررسی نموده‌اند [۷]. در گزارشی دیگر، لی<sup>۵</sup> روشی برای یافتن مین‌ها از یک مجموعه کاندیدا با استفاده از اولین و دومین تصویر تبدیل‌یافته با تبدیل KL ارائه کرده است [۸]. پس از او، اجلونی<sup>۶</sup> با کاهش تعداد تصویر مورد استفاده در تبدیل KL، فرآیندی ساده‌تر را پیشنهاد داده است [۹].

در مقاله حاضر، ابتدا روش‌های رایج کشف مین و نقاط ضعف و قوت آنها به صورت اجمالی شرح داده شده و سپس مبانی استفاده از طیف فرورسرخ برای کشف مین بیان می‌گردد. در بخش چهارم مقاله نیز یک قالب کاری شامل مراحل مختلف استخراج تصاویر مشخصه از یک مجموعه تصاویر، ارتقاء کنتراست، نرم‌سازی تصویر و کاهش نویز، بخش‌بندی تصویر و تشخیص هدف ارائه می‌گردد و نتایج پیاده‌سازی این قالب کاری با استفاده از تصاویر فرورسرخ از میدان مین نشان داده می‌شود. در نهایت، در بخش پنجم به جمع‌بندی از مباحث مطروحه و ارائه پیشنهاد پرداخته می‌شود.

## ۲- روش‌های رایج مین‌یابی

روش‌های مختلفی برای مین‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش دستی که در آن، شخص خنثی‌کننده مین با فرو بردن وسیله نوک‌تیزی در خاک به‌طور مورب با زاویه‌ای حدود ۳۰ درجه، تا عمق تقریبی ۲۵ سانتی‌متری خاک را جستجو می‌نماید، رایج‌ترین روش مین‌یابی است که علی‌رغم موثر بودن، بسیار خطرناک و کند می‌باشد. به کارگیری سگ‌های حساس به بوی مواد منفجره و همچنین استفاده از فلزیاب نیز از روش‌های دیگر کشف مین می‌باشند. فلزیاب‌ها، اغتشاش میدان الکترومغناطیسی ناشی از وجود یک جسم فلزی را در سطح خاک حس می‌کنند. این روش قادر به کشف مین‌های پلاستیکی یا کائوچویی نبوده ضمن اینکه به دلیل وجود قطعات

2- Principal Component Analysis

3- Batman

4- Paik

5- Lee

6- Ajlouni

1- Watson

فروسرخ حرارتی می‌گویند. همه اجسام با دمای بالاتر از صفر مطلق، از خود تشعشعات الکترومغناطیسی ساطع می‌نمایند و بیشتر این تشعشعات حرارتی نیز در باندهای LWIR و MWIR می‌باشند. به تصویربرداری از تشعشعات حرارتی ساطع‌شونده از اشیاء دمانگاری<sup>۳</sup> می‌گویند. یک سیستم دمانگار می‌تواند کاملاً پسیو بوده و به هیچ منبع خارجی نیازمند نباشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد برای دمانگاری فروسرخ از اشیایی که در دماهای معمولی مثل دمای اتاق قرار دارند، استفاده از باند LWIR مناسب‌تر است [۱۲ و ۱۳].

### ۳-۲- مبنای نظری استفاده از دمانگاری فروسرخ برای کشف

#### مین

استفاده از دمانگاری، برای کشف مین مبتنی بر تفاوت در ویژگی‌های حرارتی مین و خاک اطراف آن است. هنگامی که به دلیل تابش خورشید، خاک منطقه‌ای که مین در آن مدفون است گرم می‌شود، به علت تفاوت ویژگی‌های حرارتی مین با خاک، مین سریع‌تر از خاک اطراف خود گرم می‌شود و در نتیجه، به علت پدیده رسانش، خاک بالای مین نیز سریع‌تر از خاک سایر قسمت‌ها گرم خواهد شد. از طرف دیگر، زمانی که خاک منطقه سرد می‌شود، مین‌های موجود در آن قسمت سریع‌تر از خاک اطراف خود گرما را از دست داده و سرد می‌شوند و در نتیجه، خاک بالای آنها نیز سریع‌تر از خاک سایر قسمت‌ها گرمای خود را از دست می‌دهد [۱۰]. در هر دو حالت به تفاوت حرارتی ایجادشده بین خاک بالای مین و خاک سایر قسمت‌ها که منحصر به دلیل وجود مین مدفون در خاک ایجاد می‌شود، اثر حجمی می‌گویند. این اثر، بسیار متأثر از عمقی است که مین در آن قرار گرفته است به طوری که هر چه عمق دفن مین افزایش یابد، میزان بروز اثر حجمی کاهش می‌یابد. به طور کلی چون برای افزایش حساسیت انفجاری مین‌ها، آنها را تمثلاً نزدیک به سطح خاک دفن می‌نمایند، لذا اگر زمان زیادی از دفن مین نگذشته باشد، اثر حجمی قابل ملاحظه‌ای برای کشف مین‌ها وجود دارد؛ ولی سال‌ها پس از دفن مین به علت فرسایش خاک به ویژه در مناطق رملی و شنزار، عمق دفن مین افزایش پیدا کرده و در نتیجه، اثر حجمی به شدت کاهش می‌یابد.

علاوه بر اثر حجمی، اثر دیگری نیز وجود دارد که دائمی نیست و تنها تا حدود چند هفته پس از دفن مین وجود دارد و تقویت‌کننده اثر حجمی می‌باشد. این اثر که آن را اثر سطحی می‌نامند به علت دست‌خوردگی خاک محل دفن مین روی می‌دهد. این خاک دست‌خورده، چگالی و تراکم کمتری نسبت به خاک دست نخورده اطراف دارد؛ در نتیجه، دارای رسانایی کمتری می‌باشد. این موضوع سبب ایجاد تفاوت حرارتی می‌گردد [۸، ۱۰]. در شکل (۱) اثرات حجمی و سطحی نشان داده شده است.

کوچک مهمات در میادین جنگی، هشدارهای غلط زیادی تولید می‌نماید [۸، ۱۰].

از رادار نفوذکننده در عمق خاک<sup>۱</sup> نیز برای کشف مین استفاده می‌گردد. این رادار با استفاده از یک آنتن باند پهن که باند فرکانسی وسیعی را پوشش می‌دهد، یک موج الکترومغناطیسی به زمین می‌تاباند و سپس بازتاب‌هایی از خاک که به علت تفاوت‌های دی‌الکتریکی ناشی از وجود اشیاء مدفون رخ می‌دهند، اندازه‌گیری می‌شوند. از آنجا که برای کشف اشیاء کوچک باید از طول موج‌های کوچکتر و یا فرکانس‌های بالاتر در حد گیگاهرتز استفاده نمود، با این کار نفوذ موج راداری در عمق خاک کاهش یافته و کلا تر تصویر افزایش می‌یابد. ضمن اینکه روش مذکور در مقایسه با سایر روش‌های متداول مین‌یابی، گران‌تر می‌باشد [۱۱]. یکی دیگر از روش‌های کشف مین، استفاده از حسگر فراصوت است. در این روش یک موج صوتی با فرکانسی بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز به سمت زمین تابانده می‌شود. از آنجا که خاک و اشیاء موجود در آن ویژگی‌های آکوستیکی متفاوتی دارند، با اندازه‌گیری و بررسی بازتاب‌های موج صوتی می‌توان به وجود مین در زیر خاک پی برد. این روش به صورت مؤثری در خاک‌های سنگین و خیس کاربرد دارد. استفاده از موج میلی‌متری غیر فعال<sup>۲</sup>، نیز از جمله روش‌های کشف مین است. رادیومتر موج میلی‌متری با اندازه‌گیری تشعشع ساطع شده از خاک به وجود مین مدفون در آن پی می‌برد [۱۰] و در نهایت، دمانگاری فروسرخ یکی دیگر از روش‌های کشف مین است که در ادامه به صورت تفصیلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۳-۳- روش دمانگاری فروسرخ برای کشف مین

#### ۳-۱- معرفی طیف فروسرخ

ناحیه فروسرخ، بخشی از طیف الکترومغناطیسی است که بین نواحی نور مرئی و امواج مایکروویو قرار دارد. طول موج این ناحیه بین ۰/۷۵ میکرومتر تا ۱۰۰۰ میکرومتر قرار دارد. همه طول موج‌های طیف فروسرخ را نمی‌توان توسط حسگرهای فروسرخ در سطح زمین یا دریا دریافت کرد زیرا پیش از اینکه این تشعشعات به حسگر برسند توسط برخی از گازهای موجود در اتمسفر جذب می‌شوند و تنها نواحی خاصی از این طیف، موسوم به پنجره‌های اتمسفری در روی زمین، قابل دسترس می‌باشند. در یک دسته‌بندی رایج، این نواحی به چهار ناحیه فروسرخ نزدیک (NIR) از ۰/۷۵ تا ۱/۲ میکرون، فروسرخ موج کوتاه (SWIR) از ۱/۲ تا ۳ میکرون، فروسرخ موج متوسط (MWIR) از ۳ تا ۵ میکرون و فروسرخ موج بلند (LWIR) از ۸ تا ۱۲ میکرون تقسیم می‌شوند. به باندهای NIR و SWIR باندهای فروسرخ بازتابیده شده و به باندهای MWIR و LWIR باندهای

1- Ground Penetrating Radar

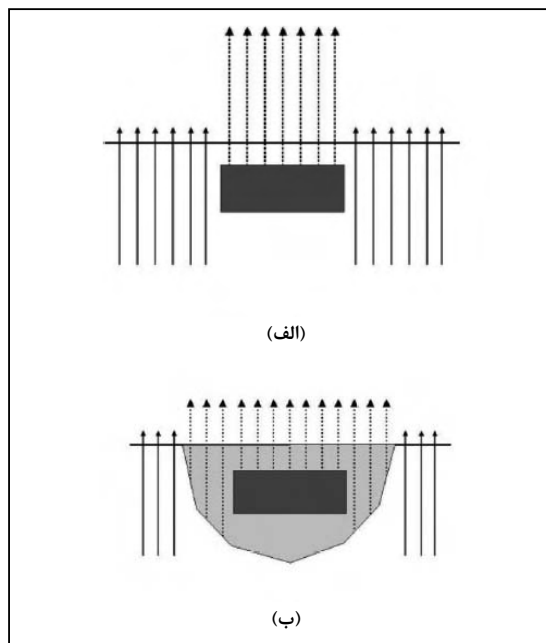
2- Passive Millimeter Wave

بر شیوه‌های پردازش تصویری برای کشف مین‌های مدفون در خاک از روی تصاویر فروسرخ ارائه می‌گردد. از آنجا که نتایج تصویربرداری در زمان‌های متفاوت در طول روز دارای تغییراتی است، لذا به جای استفاده از یک تصویر فروسرخ، این قالب کاری مبتنی بر استفاده از یک مجموعه تصاویر فروسرخ از میدان مین در زمان‌های متفاوت در طول روز می‌باشد. در اولین مرحله از این قالب کاری از تبدیل KL برای استخراج تصاویر مشخصه، از این رشته تصاویر استفاده می‌شود که این تصاویر مشخصه همان تصاویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL می‌باشد. در مرحله دوم، کنتراست این تصاویر مشخصه ارتقاء داده می‌شود و سپس تصاویر نرم می‌شوند و در مرحله بعد، بخش‌بندی می‌شوند و در آخرین مرحله هم از بین اهداف بخش‌بندی شده در مرحله قبل، اهداف نهایی تعیین می‌شوند. هر کدام از این مراحل در ادامه به صورت جداگانه مورد بررسی تفصیلی قرار خواهد گرفت.

#### ۴-۱- استخراج تصاویر مشخصه از یک مجموعه تصاویر

اولین مرحله از این قالب کاری، استخراج تصاویر مشخصه از مجموعه تصاویر فروسرخ مربوط به یک صحنه می‌باشد. این مجموعه تصاویر تنها در دمای صحنه تصویربرداری با یکدیگر تفاوت دارند. تصاویر مشخصه استخراج شده می‌بایست اغلب مشخصه‌هایی که در هر کدام از تصاویر مجموعه به صورت جداگانه وجود دارند را شامل شوند، به طوری که اگر به علت تغییر حرارت منظره در تصاویر مختلف، هدفی در برخی از تصاویر مجموعه ظاهر شده و در برخی دیگر ظاهر نشده باشد، در تصویر مشخصه بتوان این هدف را یافت. بررسی مقالات نشان می‌دهد که در بیشتر آنها از روش تبدیل KL برای نیل به هدف مذکور استفاده شده است. تبدیل KL عملیاتی ریاضی است که آن را با نام هاتلینگ<sup>۳</sup> نیز می‌شناساند [۸،۷]. این تبدیل، در استخراج مشخصه و فشرده‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. در اینجا هدف از استفاده این تبدیل، استخراج مشخصه از یک رشته تصویر می‌باشد. با کمک تبدیل KL می‌توان تصاویر تصادفی ورودی را توسط یک مجموعه کاهش یافته از تصاویر پایه با حداقل خطا نمایش داد. از آنجا که تصویر ورودی تبدیل KL یک فرآیند تصادفی دو بعدی فرض می‌شود، این تبدیل برای پردازش رشته تصاویری که از یک منظره در زمان‌های متفاوت گرفته شده‌اند، مناسب‌تر است.

برای محاسبه تبدیل KL یک مجموعه تصویر، ابتدا باید میانگین هر تصویر را از تمام مقادیر شدت پیکسل‌های همان تصویر کم نمود. از این‌رو تصویر حاصله تبدیل به تصویری با میانگین صفر می‌گردد. سپس بردار دیکسل،  $d_m$  تشکیل داده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، منظور از بردار دیکسل، برداری است



شکل ۱- الف: اثر حجمی، ب: اثر سطحی [۷]

برای مدل کردن رفتار حرارتی خاکی که مین در آن دفن شده است، یک مدل حرارتی توسط تنه<sup>۱</sup> و همکارانش با در نظر گرفتن ویژگی‌های حرارتی خاک و ویژگی‌های فیزیکی مین از جمله اندازه و عمق آن ارائه شده است. در این مدل دمای خاک،  $T(x, t)$  به وسیله جواب معادله دیفرانسیل جزئی سهموی

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha(x) \frac{\partial T}{\partial x_i}) \quad (1)$$

با در نظر گرفتن یک سری شرایط مرزی و مقادیر اولیه تقریب زده می‌شود. در معادله مذکور  $\alpha(x)$  (مترمربع بر ثانیه) نفوذ گرمایی ویژه خاک و مین مدفون در آن است [۱۴].

#### ۴- کشف مین با استفاده از روش دمانگاری فروسرخ

از آنجا که تصاویر فروسرخ دریافتی از حسگرها به دلایل مختلفی به شدت در معرض تنزل هستند از جمله: (۱) نویز، به دلیل ترکیب غیرقابل پیش‌بینی محتویات خاک، (۲) وضوح پایین، به دلیل کارایی محدود حسگرها و (۳) کنتراست پایین به دلیل برد دینامیکی محدود خروجی حسگر، لذا داده دریافتی باید با استفاده از شیوه‌های مختلف پردازش تصویر ارتقاء داده شود. در این قسمت یک قالب کاری مبتنی

1- N. T. Thanh

2- Resolution

توسط تبدیل KL در قسمت (ز)، مشاهده می‌گردد که همه شاخک‌های مربوط به هر موجود زنده که در فریم‌های مختلف، در حالت‌های متفاوتی قرار گرفته است، در اولین تصویر تبدیل‌یافته کاملاً پدیدار می‌شود. در قسمت (ح)، دومین تصویر تبدیل‌یافته برای مجموعه شش فریمی نشان داده شده است. با دقت در این تصویر مشاهده می‌گردد، که مشخصه‌های (شاخک‌های) موجود در همه شش فریم، در دومین تصویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL نیز پدیدار می‌گردند، اما این مشخصه‌ها نسبت به اولین تصویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL، به شکل ضعیف‌تری ظاهر می‌شوند.

#### ۴-۲- ارتقاء کنتراست تصویر

از آنجا که کنتراست بین پس‌زمینه و هدف معمولاً به اندازه کافی نیست، از این‌رو تصاویر به ندرت دارای اطلاعات کافی برای تشخیص هدف می‌باشد. هدف از ارتقاء کنتراست تصویر، افزایش تفاوت بین هدف و پس‌زمینه است تا با اینکار بتوان بین آنها به راحتی تمایز قائل شد. از روش‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شوند می‌توان به «کشش خطی» و «برابرسازی هیستوگرام»<sup>۱</sup> اشاره نمود [۷، ۸، ۹ و ۱۸]. روش کشش خطی از رابطه:

$$s_k = (r_k - \min(I)) \frac{L-1}{\max(I) - \min(I)} \quad (3)$$

برای تغییر مقدار شدت هر پیکسل استفاده می‌نماید که در این رابطه،  $s_k$  مقدار شدت پیکسل خروجی،  $r_k$  مقدار شدت پیکسل ورودی،  $\min$  و  $\max$  بیانگر کمینه و بیشینه مقدار شدت در تصویر ورودی،  $L$  تعداد سطوح شدت و  $I$  مقادیر شدت تصویر ورودی است [۹ و ۸].

احتمال  $k$  امین سطح خاکستری در تصویر  $f$  (یا اصطلاحاً همان  $f_k$ ) را می‌توان به صورت

$$p_f(f_k) = \frac{n_k}{m} \quad (4)$$

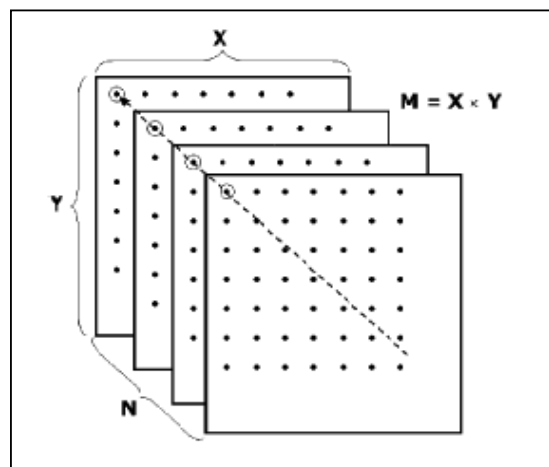
بیان نمود که  $n_k$  بیانگر تعداد پیکسل‌های دارای سطح خاکستری  $f_k$ ،  $L$  تعداد کل سطوح ممکن شدت و  $m$  تعداد کل پیکسل‌های تصویر می‌باشد. نمودار  $p_f(f_k)$  بر حسب  $f_k$  را هیستوگرام می‌نامند. هدف از برابرسازی هیستوگرام به دست آوردن تصویری با هیستوگرامی تقریباً یکنواخت است که با رابطه:

$$g_k = T(f_k) = (L-1) \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{m} = (L-1) \sum_{j=0}^k p_f(f_j) \quad (5)$$

که مقادیر شدت تمام پیکسل‌های مجموعه تصویر که در یک موقعیت قرار دارند را نشان می‌دهد. تعداد این بردارها برابر با تعداد پیکسل‌های هر تصویر می‌باشد. پس از محاسبه بردارهای دیکسل، ماتریس کواریانس مربوط به این بردارها محاسبه می‌شود. این ماتریس کواریانس از طریق رابطه:

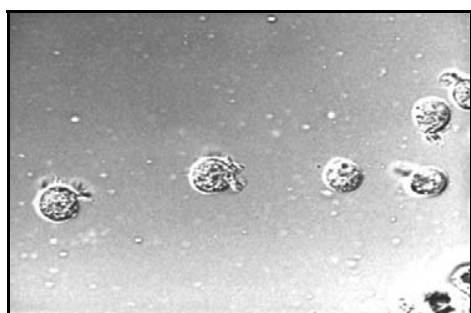
$$C = E[d_m d_m^T] = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M [d_m^T d_m] \quad (2)$$

به دست می‌آید. در مرحله بعد، مقادیر و بردارهای ویژه ماتریس کواریانس محاسبه می‌گردد. پس از استخراج مقادیر ویژه ماتریس کواریانس با ضرب داخلی هر کدام از دیکسل‌ها با بردار متناظر با بزرگترین مقدار ویژه، مقدار شدت مربوط به پیکسل متناظر با آن دیکسل در اولین تصویر تبدیل‌یافته به دست می‌آید. پس از محاسبه مقادیر شدت، تمام پیکسل‌هایی که در یک تصویر قرار می‌گیرند، اولین تصویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL به دست می‌آید. به همین ترتیب با تکرار روند فوق و با استفاده از بردار ویژه متناظر با دومین، سومین و... مقدار ویژه می‌توان دومین، سومین و... تصویر تبدیل‌یافته را تشکیل داد. با توجه به مرتب کردن مقادیر ویژه به صورت نزولی در تبدیل KL، مشخصه‌های تصاویر تبدیل‌یافته به تدریج با بالا رفتن مرتبه تبدیل، کاهش می‌یابند و خطای نمایش، رفته‌رفته از مقدار کمینه فاصله می‌گیرد [۷، ۸].

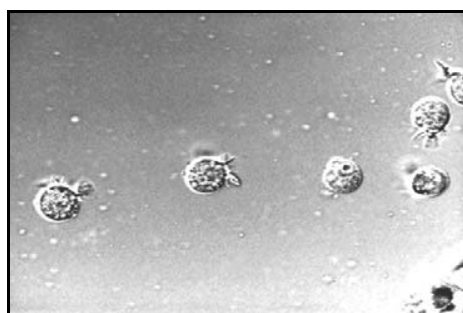


شکل ۲- یک رشته تصویر با  $N$  تصویر  $M$  پیکسلی  $[Y]$

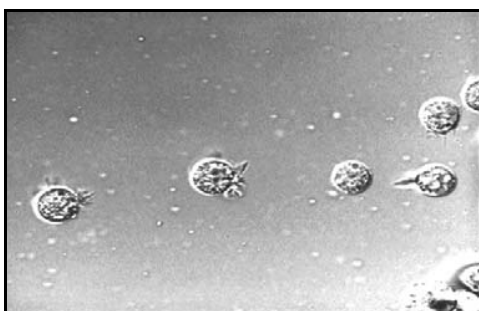
شکل (۳) یک مجموعه تصویر شش فریمی و اولین و دومین تصویر تبدیل‌یافته این مجموعه توسط تبدیل KL را نشان می‌دهد. این تصاویر حاوی تعدادی موجود زنده است که در محل خود در حال چرخش می‌باشند. با مقایسه این شش فریم که در قسمت‌های (الف) تا (و) شکل (۳) نمایش داده شده‌اند، با اولین تصویر تبدیل‌یافته



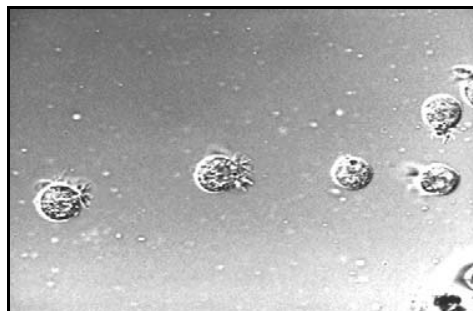
(ب)



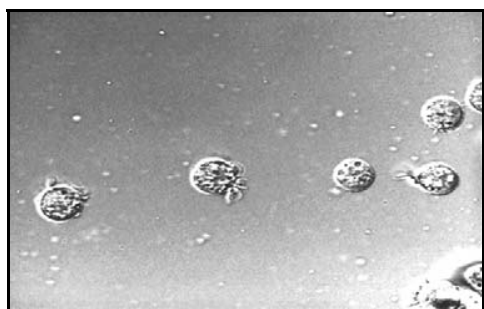
(الف)



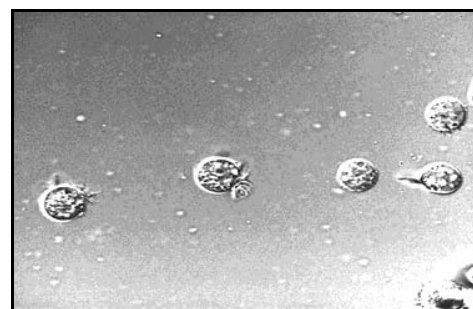
(د)



(ج)



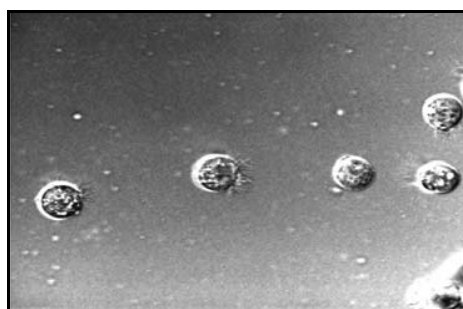
(و)



(ه)



(ح)



(ز)

شکل ۳- یک مجموعه تصویر شش فریمی و اولین و دومین تصاویر تبدیل یافته این مجموعه توسط تبدیل KL: (الف) تا (و) شش فریم، (ز) اولین تصویر تبدیل یافته توسط تبدیل KL، (ح) دومین تصویر تبدیل یافته توسط تبدیل KL

می‌دهد. برای نرم کردن تصویر نیز می‌توان از فیلتر ترتیبی متناوب<sup>۲</sup> استفاده نمود که فیلتری شکل‌شناسانه<sup>۳</sup> است و شامل عملگرهایی بازکننده و بسته‌کننده<sup>۴</sup> تکرارشونده با افزایش اندازه عنصر ساختاری<sup>۵</sup> (SE) می‌باشد [۷، ۸، ۹، ۱۵]. این فیلتر با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$ASF_n(f) = \phi_n(\gamma_n(\dots(\phi_2(\gamma_2(\phi_1(\gamma_1(f)))))) \quad (۶)$$

که  $f$  تصویر اصلی،  $n$  تعداد تکرار عملگرهای باز یا بسته‌کننده،  $\gamma$  و  $\phi$  نیز به ترتیب بیانگر عملگرهای بازکننده و بسته‌کننده است. هدف اصلی استفاده از این فیلتر، حذف نویز و نرم کردن تصویر در عین حفظ مؤلفه‌های اصلی تصویر است و مهم‌ترین ویژگی آن، امکان کنترل فرآیند نرم کردن با استفاده از تطبیق شکل و اندازه عنصر ساختاری با شکل و اندازه مین است [۹]. در شکل (۵) نتیجه اعمال فیلتر متناوب ترتیبی با عنصر شکل‌دهنده دایروی که شعاع آن از ۱ تا ۵ افزایش یافته است، به یک تصویر نمونه نشان داده شده است. در این شکل، تأثیر استفاده از عنصر شکل‌دهنده دایروی بر روی تصویر نرم‌شده به خوبی مشاهده می‌گردد.

در شکل (۶) نیز یک فیلتر متناوب ترتیبی با عنصر شکل‌دهنده مربعی با طول ضلع افزایشنده از ۱ تا ۱۵ به تصویر نمونه دیگری اعمال شده است. نویز و مشخصه‌هایی از تصویر که اندازه آنها از اندازه بزرگترین عنصر شکل‌دهنده کوچکتر بوده‌اند، پس از اعمال فیلتر از بین رفته‌اند؛ ضمن اینکه استفاده از نوع مربعی برای عنصر شکل‌دهنده نیز در تصویر فیلترشده، خود را نشان می‌دهد.

به ازای  $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$  می‌توان آن را به دست آورد. از آنجا که مقدار  $g_k$  بایستی عدد صحیحی از بازه  $[0, L-1]$  باشد در صورت صحیح نبودن، را به نزدیک‌ترین عدد صحیح در بازه  $[0, L-1]$  گرد می‌کنیم. اگرچه به‌ندرت تصویر با هیستوگرام برابر شده  $g$  احتمال یکنواختی برای سطوح خاکستری مختلف دارد، اما سطوح شدت تصویر با هیستوگرام برابر شده یک محدوده وسیع‌تری از مقیاس شدت را پیدا می‌کنند [۱۷]. در شکل (۴) نتیجه اعمال این دو روش بر روی یک تصویر نمونه نشان داده شده است.

با مقایسه این تصاویر می‌توان دریافت که اگرچه هر دو روش، کنتراست تصویر را بهبود داده‌اند ولی در نتیجه با هم تفاوت‌هایی هم دارند. روش کشش خطی به آرامی و به‌صورت یکنواخت‌تری کنتراست تصویر را تغییر داده است و روش تعدیل هیستوگرام مشخصه‌های ضعیفی را که در تصویر اصلی خیلی واضح نبوده‌اند، به‌خوبی متمایز کرده است. برای مثال، درون اتاق که در تصویر اصلی مشخص نبود در تصویر با هیستوگرام تعدیل شده آشکار شده است. از آنجا که به‌طور کلی برای بخش‌بندی بهتر است کنتراست تصویر به آرامی تغییر کند، روش کشش خطی برای بخش‌بندی مناسب‌تر است و در مواردی که سیگنال مین، سیگنال ضعیفی باشد، می‌توان از روش تعدیل هیستوگرام استفاده نمود و سیگنال ضعیف مین را تقویت نمود.

#### ۴-۳- نرم کردن تصویر و کاهش نویز آن

پس از ارتقاء کنتراست تصویر، مهم‌ترین کار قبل از بخش‌بندی، کاهش نویز و نرم کردن تصویر است که از بخش‌بندی مازاد<sup>۱</sup> جلوگیری می‌کند و در نتیجه، تعداد هشدار غلط را کاهش



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۴- اعمال روش‌های ارتقاء کنتراست به یک تصویر نمونه: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر با کنتراست بهبود یافته توسط کشش خطی، (ج) تصویر با کنتراست بهبود یافته توسط تعدیل هیستوگرام

1- Over Segmentation  
4- Opening and Closing Operators

2- Alternating Sequential Filter(ASF)  
5- Structural Element

3- Morphological

بسیاری از مفاهیم سه رویکرد دیگر را دربر می‌گیرد و علاوه بر این، نتایج بخش‌بندی پایدارتری را که به‌صورت مرزهای بخش‌بندی پیوسته است، ایجاد می‌کند. از آنجا که مین‌ها در ساعاتی از روز دمایی پایین‌تر از خاک اطراف خود پیدا می‌کنند لذا در تصاویر فرورسوخ به‌صورت نواحی تاریک‌تر از پس‌زمینه مشخص می‌شوند. از طرفی بخش‌بندی آب‌پخش‌مان مبتنی بر یک تجسم سه بعدی مکان‌نگارانه<sup>۲</sup> از تصویر است که بر اساس آن، مقادیر شدت در حکم مقدار ارتفاع نقاط می‌باشند. در این شیوه پس از تجسم تصویر به‌صورت یک مکان‌نگاره، فرض می‌شود یک حفره در هر کمینه منطقه‌ای پانچ می‌شود و تمام مکان‌نگاره از سمت پایین، درون آب فرو می‌رود؛ در حالی که آب از میان حفره‌ها با یک سرعت یکنواخت بالا می‌آید. پیش از آنکه آب آبیگرهای مجزا با یکدیگر ادغام شود، سدی<sup>۳</sup> برای جلوگیری از ادغام شدن ساخته می‌شود. فرآیند فرو رفتن در آب سرانجام به مرحله‌ای می‌رسد که فقط نوک سدها، روی سطح آب قابل رؤیت می‌باشد. این سدها همان خطوط بخش‌بندی آب‌پخش‌مان می‌باشند [۱۵].

در این بخش‌بندی نواحی تیره‌تر که در حکم آبیگرهای<sup>۴</sup> مکان‌نگاره می‌باشند، به‌عنوان اهداف مطلوب مورد بخش‌بندی قرار می‌گیرند. در صورتی که مین‌ها سردتر از خاک اطراف خود باشند، در تصویر فرورسوخ تیره‌تر از پس‌زمینه شده و در نتیجه، در تجسم مکان‌نگارانه درون آبیگر قرار می‌گیرند و به‌عنوان اهداف مطلوب، مورد بخش‌بندی واقع می‌شوند. در مواردی که مین‌ها دمایی بالاتر از خاک اطراف خود دارند و در تصویر فرورسوخ روشن‌تر از پس‌زمینه هستند نیز می‌توان با مکمل کردن تصویر، بازهم آنها را در آبیگرها قرار داد تا مورد بخش‌بندی قرار گیرند. از این‌رو بخش‌بندی آب‌پخش‌مان، یکی از مناسب‌ترین روش‌های بخش‌بندی برای کشف مین است.

اهدافی در پس‌زمینه که دارای سطوح خاکستری تقریباً یکسان می‌باشند، گرادیان کوچکی دارند و لذا در تجسم مکان‌نگارانه گرادیان تصویر، این مناطق به‌صورت آبیگرهایی ظاهر می‌شوند و در صورت اعمال الگوریتم بخش‌بندی آب‌پخش‌مان به گرادیان تصویر، این اهداف را می‌توان بخش‌بندی نمود. از این‌رو برای انجام بخش‌بندی به شیوه آب‌پخش‌مان، این الگوریتم معمولاً به گرادیان تصویر نرم شده اعمال می‌شود. از آنجا که ممکن است در این تصویر هم نقاط کمینه زائیدی باشند که منجر به بخش‌بندی مازاد و در نتیجه، هشدار غلط شوند، گرادیان تصویر اصلاح می‌شود. برای اصلاح گرادیان از نشانگرهای<sup>۵</sup> درونی و بیرونی استفاده می‌گردد. نشانگرهای درونی، در واقع کمینه‌های نسبی تصویر نرم‌شده هستند که داخل اهداف احتمالی قرار دارند و نشانگرهای بیرونی هم خارج از این اهداف و درون



(ب)

(الف)

شکل ۵- اعمال فیلتر ASF بر روی تصویر نمونه ۱: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر نرم‌شده توسط ASF



(الف)

(ب)



(ب)

شکل ۶- اعمال فیلتر ASF بر روی تصویر نمونه ۲: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر نرم‌شده توسط ASF

#### ۴-۴- بخش‌بندی تصویر

بخش‌بندی را می‌توان بر اساس مفاهیم پیدا کردن عدم پیوستگی، آستانه‌گیری و پردازش ناحیه انجام داد. هر کدام از این رویکردها نقاط قوت و ضعفی دارد. رویکرد بخش‌بندی مبتنی بر آب‌پخش‌مان<sup>۱</sup>

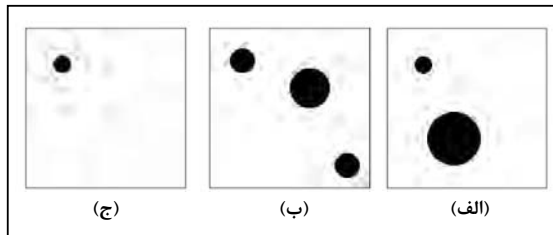
2- Topographical  
3- Dam  
4- Catchment Basin  
5- Marker

1- Watershed



#### ۴-۵- تشخیص هدف

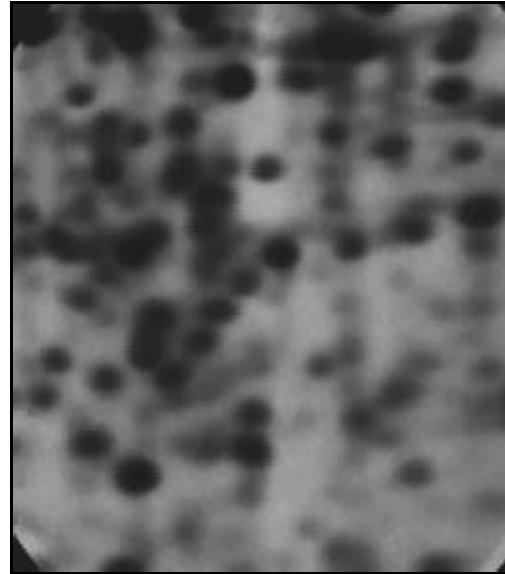
تشخیص هدف از روی تنها اولین تصویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL کار دشواری است؛ زیرا این تصویر معمولاً اطلاعات کافی به ما نمی‌دهد. بنابراین معمولاً از دومین یا سومین تصویر تبدیل‌یافته نیز برای تشخیص هدف استفاده می‌شود. روش کار به این شکل است که پس از بخش‌بندی این تصاویر مشخصه، از بین اهداف احتمالی، هدفی به‌عنوان مین اعلام می‌گردند که در یک جای تقریباً ثابت در تمام تصاویر مشخصه وجود داشته باشد. در این روش، محل یا اندازه دقیق این اهداف احتمالی در تصاویر مشخصه مهم نیست؛ زیرا به جای داده خام، با تصاویر تبدیل‌یافته سروکار داریم. در حالتی که از دو تصویر مشخصه استفاده می‌شود، اگر هدفی در هر دو تصویر مشخصه ظاهر شود، به‌عنوان مین اعلام می‌شود و اگر تنها در یک تصویر ظاهر شود، هشدار غلط فرض می‌گردد. شکل (۸)، مثالی از استفاده از دو تصویر مشخصه را نشان می‌دهد. در اینجا در اولین تصویر مشخصه، دو هدف احتمالی و در دومین تصویر مشخصه، سه هدف احتمالی وجود دارد. از آنجا که تنها یکی از اهداف احتمالی در هر دو تصویر مشخصه، در یک مکان تقریباً ثابت ظاهر شده است، آن هدف به‌عنوان هدف نهایی تعیین می‌گردد. در مواردی که از چندین تصویر مشخصه استفاده می‌گردد، از احتمالات آماری آزمایشات قبلی، برای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود.



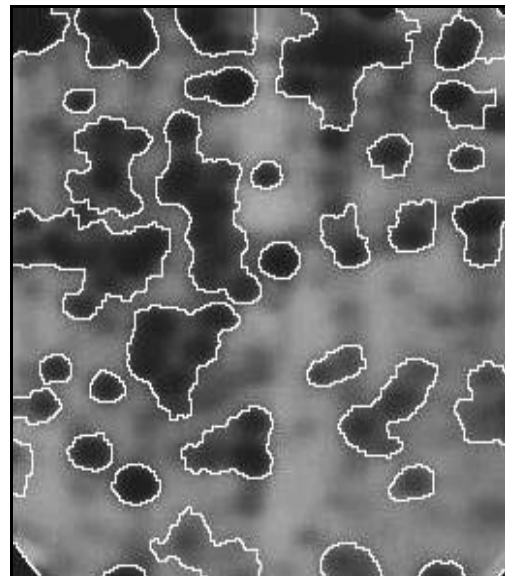
شکل ۸- تشخیص اهداف: (الف) اهداف احتمالی اولین تصویر مشخصه، (ب) اهداف احتمالی دومین تصویر مشخصه، (ج) هدف نهایی

شکل‌های (۹ و ۱۰) پیاده‌سازی مراحل مختلف قالب کاری معرفی شده در این مقاله را بر روی تصاویر فروسرخ که از یک میدان مین واقعی اخذ شده‌اند، نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود با اعمال تبدیل KL به مجموعه‌ای از تصاویر فروسرخ، اولین و دومین تصویر تبدیل‌یافته استخراج شدند؛ سپس برای نرم کردن هر کدام از این دو تصویر، از فیلتر متناوب ترتیبی که از عناصر ساختاری دایروی با شعاع افزاینده ۱ تا ۲۰ استفاده می‌کرد، استفاده شد. پس از بخش‌بندی در هر کدام از دو تصویر مشخصه، سه هدف به‌عنوان اهداف احتمالی مشخص می‌شوند. با توجه به اینکه این سه هدف در هر دو تصویر مشخصه کاملاً با یکدیگر مطابقت دارند، از این‌رو به‌عنوان اهداف نهایی اعلام می‌گردند و ضمن اینکه هیچ هشدار غلطی نیز به‌وجود نمی‌آید.

پس‌زمینه تصویر قرار دارند که از روی نشانگرهای داخلی به‌دست می‌آیند. پس از اصلاح گرادیان به کمک نشانگرهای داخلی و خارجی، الگوریتم آب‌پخشان به این گرادیان اصلاح شده اعمال می‌گردد و اهداف مورد بخش‌بندی قرار می‌گیرند [۱۷، ۱۵، ۹]. شکل (۷) نتایج اعمال بخش‌بندی آب‌پخشان مبتنی بر نشانگر را بر روی یک تصویر نمونه نشان می‌دهد.

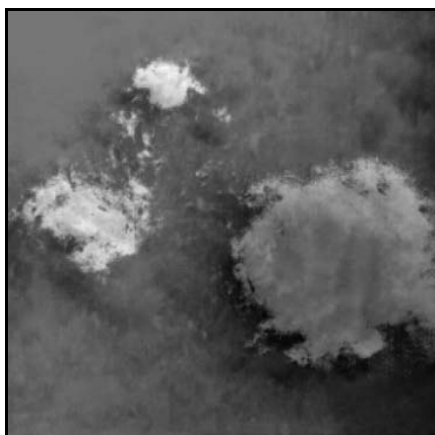


(الف)

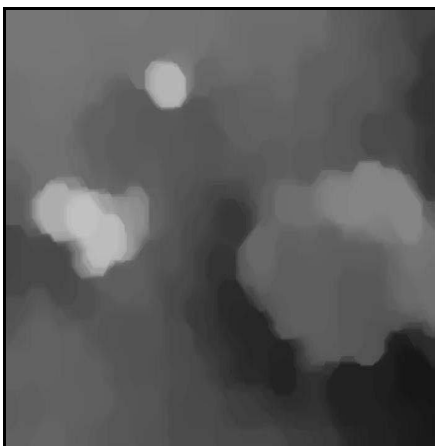


(ب)

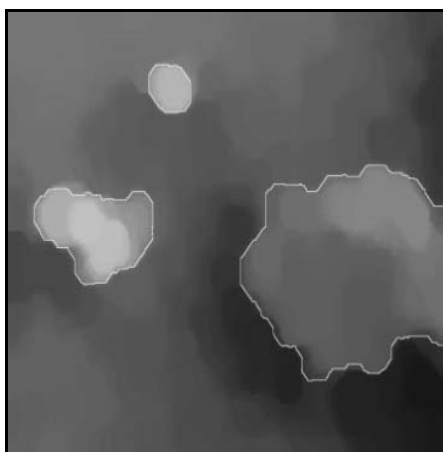
شکل ۷- نتیجه اعمال بخش‌بندی آب‌پخشان مبتنی بر نشانگر بر روی تصویر نمونه: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر بخش‌بندی شده



(الف)

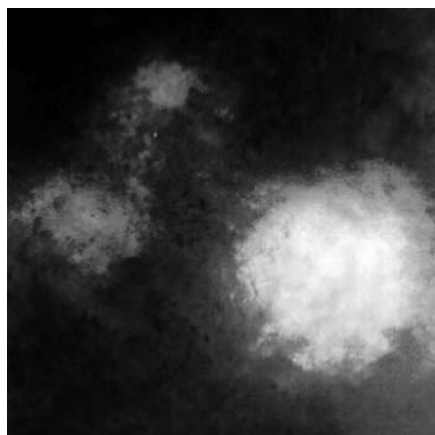


(ب)



(ج)

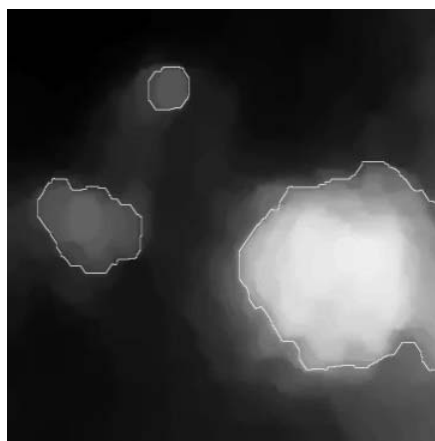
شکل ۱۰- پیاده‌سازی قالب کاری، عملیات بر روی دومین تصویر تبدیل‌یافته: الف) دومین تصویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL که کنتراست آن نیز بهبود یافته است، ب) تصویر نرم‌شده با ASF، ج) تصویر بخش‌بندی‌شده



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹- پیاده‌سازی قالب کاری، عملیات بر روی اولین تصویر تبدیل‌یافته: الف) اولین تصویر تبدیل‌یافته توسط تبدیل KL که کنتراست آن نیز بهبود یافته است، ب) تصویر نرم‌شده با ASF، ج) تصویر بخش‌بندی‌شده

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به هدف کلیدی پدافند غیرعامل که کاهش تلفات و خسارات ناشی از تهدیدات احتمالی است و با در نظر گرفتن اینکه خطر انفجار مین‌های کاشته شده در طول جنگ، یک تهدید دائمی به‌شمار می‌رود که تنها محدود به زمان جنگ نیست، کشف و خنثی‌سازی این مین‌ها پیش از وقوع انفجار، یکی از مصادیق بارز پدافند غیرعامل است. اگرچه اغلب شیوه‌هایی که برای کشف مین مورد استفاده قرار می‌گیرند از هیچ سلاحی برای مقابله با خطر انفجار مین‌ها استفاده نمی‌کنند و لذا همگی طبق تعریف پدافند غیرعامل در زمره شیوه‌های پدافند غیرعاملی قرار می‌گیرند، اما به‌علت احتمال وقوع انفجار در حین کشف و خنثی‌سازی مین، انتخاب شیوه‌ای که کمترین خطر را برای کاربران آن داشته باشد یک امر ضروری از دیدگاه پدافند غیرعامل است. در بین شیوه‌های گوناگون کشف مین، شیوه دمانگاری فرسوخ غیرفعال با حس نمودن دمای خاک بدون نیاز به تماس مستقیم، به وجود مین‌های مدفون در آن پی می‌برد و لذا از وقوع انفجارات احتمالی که در حین کشف مین رخ می‌دهند، پیشگیری می‌نماید. برخورداری از این ویژگی جزو نقاط قوت این شیوه از نقطه نظر پدافند غیرعامل می‌باشد.

در این مقاله، شیوه‌های رایج کشف مین با محوریت استفاده از طیف فرسوخ بیان شده‌اند و همچنین یک قالب کاری مبتنی بر شیوه‌های مختلف پردازش تصویری برای کشف مین‌های مدفون به روش دمانگاری فرسوخ ارائه شده است. اگرچه استفاده عملی از روش تصویربرداری فرسوخ برای کشف مین در برخی از مقالات گزارش شده است [۷-۹ و ۱۹-۲۱] اما به دلیل انحصاری بودن دوربین‌های فرسوخ، اغلب پژوهشگران به این دوربین‌ها دسترسی نداشته و داده‌های تصویری مورد نیاز خود را از طریق مراکز واسطه‌ای همچون مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا [۲۲] و یا مرکز مهمات منفجر نشده وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا [۲۳] تهیه نموده‌اند. داده‌های فراهم‌شده از طریق این منابع که به علت تحریم‌های وضع‌شده، دسترسی به آنها برای پژوهشگران ایرانی مقدور نمی‌باشد، با یک مشکل جدی مواجه هستند و آن اینکه این داده‌ها عمدتاً توسط واحدهای نظامی غیرمتخصص در حوزه پردازش تصویر تولید شده‌اند که در آنها هیچ‌گونه اطلاعات دقیقی از عمق دفن مین‌ها، شرایط آب و هوایی، و جنس و ویژگی‌های خاک در تصاویر فرسوخ گزارش نشده است. با توجه به اینکه پارامترهای مذکور جزو مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی میزان موفقیت روش‌های کشف مین به حساب می‌آیند، عدم اطلاع دقیق از آنها، میزان موفقیت عملیاتی پژوهشگرانی که از چنین تصاویری استفاده کرده‌اند را نامشخص کرده است. از این رو پیشنهاد می‌شود پژوهشگران کشور با استفاده از دوربین‌های فرسوخ که در اختیار نیروهای مسلح قرار دارد، اقدام

به تهیه تصاویر فرسوخ کرده و پس از پیاده‌سازی شیوه‌های پردازش تصویری بر روی تصاویر تهیه شده، نتایج آن را به‌عنوان یک سند معتبر قابل استناد برای اقدامات عملیاتی بعدی ارائه دهند.

## مراجع

1. UN Landmine Database in the UN Mine Action Service; <http://www.un.org>
2. U.S. Department of State, 1998, Hidden killers (1998): The global landmine crisis, Bureau of Political-Military Affairs, Office of Humanitarian Demining Programs.
3. K. Watson, "Geological application of thermal infrared images," Proc. IEEE, vol. 63, pp. 128-137, Jan. (1975).
4. A. W. England, "Radio brightness of diurnally heated, freezing soil," IEEE Trans. Geo-sci. Remote Sensing, vol. 28, pp. 464-476, July (1990).
5. P. Pregowski, W. Swiderski, R. T. Walczak, and K. Lamorski, "Buried mine and soil temperature prediction by numerical model," Proc. SPIE, vol. 4038, pp. 1392-1403, (2000).
6. S. Batman, J. Goutsias, "Iterative morphological algorithms for automated detection of landmines," Proc. SPIE, vol. 4038, pp. 918-928, (2000).
7. J. K. Paik, C. P. Lee, and M. A. Abidi, "Image processing based mine detection techniques using multiple sensors: A review," Subsurface Sensing Technologies and Applications, An International Journal, vol. 3, no. 3, pp. 153-202, July (2002).
8. C. Lee, "Mine detection techniques using multiple sensors," M.S. thesis, University of Tennessee at Knoxville, (2001).
9. A. Ajlouni and A. Sheta, "Landmine Detection With IR Sensors Using Karhunen-Loeve Transformation And Watershed Segmentation," 5th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, (2008).
10. C. Bruschini and B. Gros, "A Survey of Current Sensor Technology Research for the Detection of Landmines," in Proceedings the International Workshop on Sustainable Humanitarian Demining, vol. 6, pp. 18-27, Sep. (1997).
11. D. Daniels, "Surface penetrating radar," IEEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6 London: Institute of Electrical Engineers, (1996).

12. R. Hudson, "Infrared System Engineering," John Wiley & Sons, (1969).
13. G. Gaussorgues, "Infrared Thermography," Chapman-Hall, 3rd edition, (1989).
14. N. T. Thanh, N. T. Dinh and H. Sahli, "Thermal infrared technique for landmine detection: Mathematical formulation and methods", Acta Mathematica Vietnamica, vol. 36, No. 2, pp. 469-504, (2011).
15. R. Gonzalez and R. Woods, "Digital Image Processing," Prentice Hall, 3rd edition, (2008).
16. S. Theodoridis , K. Koutroumbas, "Pattern Recognition," Academic Press, (1998).
17. P. Soille, "Morphological Image Analysis: Principles and Applications," Springer-Verlag , 2nd edition, (2003).
18. G. Ederra, "Mathematical morphology techniques applied to anti-personnel mine detection", MS Thesis, Department of Electronics and Information Processing, Vrije Universiteit, Brussel, (1999).
19. Mahmoud A. and Farouk H., "An efficient detection and classification method for landmine types based on IR images using Neural Network", International Journal of Geology, Issue 4, Volume 4, pp. 91-95, (2010).
20. Padmavathi G., Subashini P. and Krishnaveni M., "A generic framework for landmine detection using statistical classifier based on IR images", International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE), Vol. 3, No. 1, pp. 254-261, Jan (2011).
21. Lundberg M., "Infrared land mine detection by parametric modeling", proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Salt Lake City, USA, May 7-11, (2001).
22. JRC, Joint Research Centre (JRC), current URL is <http://ec.europa.eu/dgs/jrc>
23. Unexploded Ordnance Center, mine detection research organization sponsored by the Department of Defense, USA, current URL is: <http://www.defense.gov>

---

## Landmine Detection by Passive Infrared Thermography Using Image Processing Techniques

A. Akbar Nia Kalagar<sup>1</sup>

M. R. Mahzoon<sup>2</sup>

M. R. Hedayati Rad<sup>3</sup>

### Abstract

Landmine are considered as those military weapons that when used during a war, their mission is not accomplished after the war and will always be a threatening element. Thus detection and neutralization of landmine before it causes an incident is one of the most evident examples of passive defense.

On the other hand, since common methods of landmine detection face many risks, therefore selection of a method that has the lowest risk, is one of the main considerations of passive defense. Passive Infrared thermography technique which can detect buried landmines without direct contact with the soil, is one of the new and safe methods of landmine detection.

In the present paper, to detect landmines, we presented a method which contains different stages of contrast stretching, image smoothing, noise reduction, image segmentation, extraction of feature image from a sequence of images and object identification. In this regard some of the image processing techniques such as linear stretching, histogram equalization, morphological filters, watershed segmentation method based on markers and Karhunen-Leove transformation have been used.

**Key Words:** *Landmines Detection, Passive Infrared Thermography, Image Processing Techniques, Passive Defense*

---

1- M.S Candidate of Imam Hussein Comprehensive University, Writer-in-charge (abolfazlalamdara@gmail.com) - Writer in Charge

2- Assistant Professor and Academic Member of Imam Hussein Comprehensive University

3- M.S in Electronics, Imam Hussein Comprehensive University