نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، (پیاپی ۴۵): صص ۹۱-۸۱

علمی- ترویجی

استتار و اختفای حرارتی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت

محمد کاظمی[۱]، صفا خزائی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

با توجّه به نقش اساسی سنگرهای انفرادی در بقاء و انجام مأموریت نیروهای خودی به‌ویژه در مناطق دشت، بدیهی است که دشمن برای کشف و شناسایی سنگرها، انواع متنوعی از حسگرهای هوایی و فضایی را به‌کار می‌گیرد. یکی از سامانه‌های اصلی کشف و شناسایی اهداف به‌ویژه در زمان شب، دوربین‌های تصویربرداری حرارتی می‌باشد. عامل اصلی آشکارسازی سنگرهای انفرادی در تصاویر حرارتی ناهنجاری‌های حرارتی در ورودی سنگرها نسبت به محیط اطراف است. این تحقیق در نظر دارد با استفاده از مشاهدات میدانی و به‌کارگیری روش ارزیابی بصری، احتمال شناسایی رزمنده‌های مستقر در سنگرهای حفره روباه را بررسی نموده و اقدامات و ملاحظات جلوگیری از کشف و شناسایی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت را ارائه نماید. به این منظور، ۳۶ سناریو در حالت‌های مختلف (ایستاده کنار سنگر، ایستاده در سنگر و نشسته در سنگر، دو زمان مختلف، روز با وجود خورشید در آسمان و هوای تاریک و درفواصل مختلف) قرار گرفته است. بر اساس نتایج تجربی به‌دست آمده در این پژوهش، احتمال شناسایی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت در فواصل نزدیک بدون استتار وجود دارد. همچنین، بهترین نوع پوشش استتاری استفاده از گیاهان خشک و بی جان مربوط به منطقه می‌باشد.

کلمات کلیدی: سنگر انفرادی، تصویربرداری حرارتی، استتار

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده پدافند غیرعامل kazemi2it@yahoo.com
[۲] دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، khazai.s@gmail.com

۱- مقدمه

هنگامی که سربازان برای مدت نسبتاً طولانی در یک منطقه توقف می کنند یا برای پدافند در برابر تک دشمن آماده می شوند، باید برای خود و جنگ افزارهای مربوطه مواضعی را تهیه کنند، تا ضمن انجام مأموریت، در برابر اثرات جنگ افزار دشمن هم حفاظت داشته باشند. این موضع می تواند یک پوشش طبیعی یا مصنوعی، مثل یک پشته، تل، ساختمان یا جنگل باشد، که بین سلاح‌هایی با تیر مستقیم و اهداف آن‌ها وجود دارد [۱].

سنگر، عبارت است از موضع انفرادی که در یک منطقه پدافندی تهیه شده و طوری انتخاب می‌شود که دارای میدان دید و تیر مناسب، حفاظت واختفا بوده و حداکثر قدرت آتش را بر روی راه‌های پیشروی دشمن، داشته باشد [۲]. سنگرها به دو دسته مصنوعی و طبیعی تقسیم‌بندی می شوند. انواع سنگرهای مصنوعی نیز خود به دو دسته سنگرهای تعجیلی و با فرصت تقسیم بندی می شوند. سنگرهای با فرصت نوعی از سنگرها هستند که معمولا در مواضع پدافندی و مواضعی که فرصت کافی برای احداث سنگر وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله سنگرهای اصلی با فرصت می‌توان به سنگر حفره روباه (یک نفره) اشاره نمود.

سلاح‌های مدرن امروزی به حد کافی دقیق و از امکانات هدف‌یابی و نشانه‌روی مناسب برخوردار هستند و قابلیت بالایی در انهدام اهداف قابل رؤیت در میدان نبرد را دارند. از این‌رو، طراحی و احداث سنگرهای انفرادی به‌گونه‌ای که به‌طور کلی در مقابل اصابت مستقیم بمب و موشک مقاوم باشند در بسیاری از موارد ممکن است عملی نباشد. بر این اساس، مهمترین اقدام پدافند غیرعامل در خصوص سنگرها اتخاذ تدابیر و روش‌های مناسب جهت کاهش امکان کشف و شناسایی آن‌ها می‌باشد. از آنجا که بخش اعظمی از سرزمین کشور را دشت‌ها و بیابان‌ها تشکیل داده اند، لذا استتار، اختفاء سنگرهای انفرادی در مناطق دشت از اهمیت موضوعی بالایی برای ارتقاء توان عملیاتی نیروهای زمینی سپاه و ارتش برخوردار است.

در واقع، سنگر مناسب کلید بقای نیروهای خودی و شکست دشمن را به‌همراه خواهد داشت. از این‌رو، دشمن برای شناسایی سنگرها، انواع متنوعی از حسگرهای هوایی و فضایی را برای کشف و شناسایی سنگرها به‌کار می‌گیرد. این حسگرها که عمدتاً به صورت تصویری و ویدیوئی عمل می‌کنند از محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به ویژه حرارتی بهره می‌گیرند. علت اصلی کشف سنگرهای انفرادی در تصاویر حرارتی ناهنجاری‌های حرارتی در ورودی سنگرها نسبت به محیط پس زمینه (اطراف) می‌باشد. این تحقیق در نظر دارد تا اقدامات و روش‌های جلوگیری از کشف و شناسایی حرارتی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت را بر اساس شرایط مختلف ممکن بررسی و تحلیل نماید و بر این اساس الزامات و ملاحظات موثر و کاربردی در خصوص استتار و اختفای حرارتی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت را ارائه نماید.

در واقع، هدف استتار حرارتی کاهش کنتراست (تباین) حرارتی بین هدف و پس‌زمینه تا حد ممکن است. ویژگی‌های جسم، محیط و شرایط جوی در این کنتراست دخیل هستند. اختلاف دمای یک جسم با محیط اطرافش که منجر به اختلاف نشر جسم با محیط اطرافش می‌شود عامل اصلی شناخت و ردیابی اجسام در دوربین‌های حرارتی است. به بیانی دیگر، اختلاف یا کنتراست حرارتی هدف موردنظر با پس‌زمینه اطراف این اجازه و امکان را به دوربین‌های حرارتی می‌دهد که بتوانند هدف‌های مورد نظر را شناسایی کنند. بنابراین، جلوگیری از تشعشع حرارتی، عایق‌کاری، ایجاد شیلتر و حائل، سنگرهای حفاظتی، پوشش به‌وسیله بوته‌های انبوه و ایجاد پوشش گیاهی (درخت)، استفاده از تورهای استتار مجهز به رنگ‌های جاذب حرارتی، سامانه‌های خنک‌کننده و پارچه‌های جذب‌کننده حرارت و جلوگیری کننده از انتشار می‌توانند در تقلیل تابش حرارتی از هدف بسیار مفید واقع شود.

یکی از اقدامات مهم قبل از اجرای عملیات استتار، داشتن ارزیابی از نحوه عملکرد و میزان تأثیر عملیات استتار در برابر سامانه‌های مختلف شناسایی است. این فرآیند می‌تواند قبل از انجام یک طرح با هزینه زیاد، سنجشی از تأثیر و میزان عملکرد طرح را ارائه داده و مفید و مؤثر بودن آن را تا حدود زیادی مشخص نماید. درواقع با توجه به توانایی بالای آشکارسازی سامانه‌های شناسایی امروزی، باید به دنبال روش‌های استتار کارآمد بود تا بتوان پدیده‌ها و تجهیزات نظامی را مخفی کرد که این مسئله نیازمند شناخت کامل انواع روش‌های استتار و میزان عملکرد آن‌ها در ایجاد اخلال در سامانه‌های مختلف شناسایی است.

هدف اصلی این تحقیق انجام مطالعات میدانی در خصوص اقدامات و روش‌های جلوگیری از کشف و شناسایی حرارتی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت است. در این خصوص ارائه تدابیر و اقدامات اجرایی و عملیاتی مربوط به استتار، اختفاء سنگرها در برابر سامانه‌های شناسایی حرارتی دشمن مورد نظر می‌باشند. بدیهی است این تحقیق می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های فرماندهان و برنامه‌ریزان عملیاتی نیروهای زمینی جهت طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سنگرهای انفرادی و همچنین کاهش آسیب‌پذیری و تلفات در مناطق عملیاتی دشت گردد.

۲- ادبیات پژوهش

۲-۱- فیزیک تابش حرارت

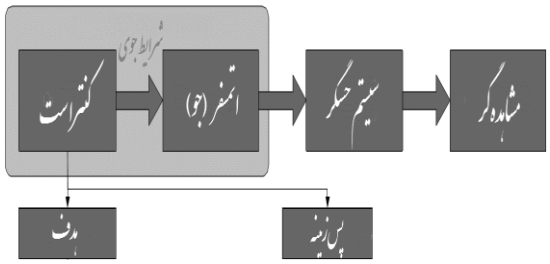
شدت تابش خورشیدی بستگی به شرایط جوی، فصل و زاویهٔ برخورد اشعهٔ خورشیدی به سطح زمین و فاصله زمین با خورشید دارد. انرژی خورشیدی رسیده به زمین، وقتی حداکثر مقدار را دارد که اشعه‌ها به‌طور مستقیم و عمودی به سطح برخورد کنند. تابش خورشیدی اغلب درطول موج های کوتاه صورت می گیرد و متمرکزاست. اما برخلاف تابش خورشیدی، تشعشعات حرارتی مواد درسطح زمین درطول موج های بلندتر (۳ تا ۱۵ μm) متمرکز است. هر ماده ای ممکن است رفتار متفاوتی ازنظر جذب و انتقال نسبت به این دو نوع تابش داشته باشد [۳].

سطح بیرونی، پرتو تابشی را جذب می‌کند و پرتو حرارتی را به سمت خورشید، آسمان و محیط اطراف ساطع می‌کند (شکل ۱). به‌علاوه سطح، گرما را با هوای نزدیک به سطح یا از طریق انتقال گرمای آزاد یا انتقال گرمای اعمال‌شده، مبادله می‌کند. انتقال گرمای اعمال‌شده زمانی رخ می‌دهد که هوا به‌دلیل وجود باد حرکت می‌کند و انتقال گرمای آزاد به دلیل حرکت‌های هوایی است که بر اثر تفاوت‌های محلی موجود در دماهای هوا و سطح به‌وجود می‌آید. یک سطح مرطوب زمانی خنک می‌شود که آب تبخیر می‌شود و اگر آب روی سطح تغلیظ شود، این تغلیظ به سبب گرمایش سطح است. برای اشیاء بزرگ مانند یک صخره، انتقال گرمای داخلی، نقش مهمی در شار حرارتی سطح دارد. سرعت تغییر دمای سطح به جریان گرمایی شبکه روی سطح وظرفیت گرمایی مؤثر آن بستگی دارد [۴].

شکل (۱): روندهای انتقال گرما مربوط به سطوح بیرونی [۴].

۲-۲- شاخص‌های تأثیرگذار بر کارایی دوربین‌های تصویربرداری حرارتی

شکل (۲) تصویری از مجموع موارد تأثیرگذار بر شناسایی و استتار اهداف را نشان می‌دهد. این زنجیره شامل کنتراست بین هدف و پس‌زمینه، انتقال کامل در جو، سامانه حسگر و درنهایت مشاهده‌گر است [۴].



شکل (۲): عناصر مربوط به ارزیابی استتار [۴].

شرایط جوی بر حسب فاصله از نقطهٔ مشاهده، کنتراست حرارتی بین هدف و پس زمینه را کاهش می‌دهد. عمده اختلالات ناشی از محیط اتمسفری که به عبور تابش و عملکرد سامانه تصویربرداری حرارتی تأثیر می‌گذارد عبارتند از [۵]:

- تضعیف تابش (جذب، پراکندگی)
- تابش محیط وناحیه مادون قرمز
- انحراف محل واقعی هدف
- مدولاسیون تابش

از مهم‌ترین فاکتورهای بالا تضعیف تابش بیشترین اثر را گذاشته و برد سامانه‌ها را محدود می‌کند. عواملی که در اتمسفر باعث جذب و پراکندگی می‌شوند ذرات موجود در اتمسفر شامل: مولکول‌های انواع گازهای موجود، ذرات گرد و غبار، باران، رطوبت و ... هستند که میزان تأثیر آن‌ها به چگالی دما، فشار، اندازه ذرات و از همه مهم‌تر به طول موج عبوری بستگی دارد.

برای تعیین حداقل ابعاد قابل آشکارسازی هدف (بعد بحرانی) توسط یک دوربین حرارتی می‌توان از معیارمشخصی به نام معیار جانسون[1] استفاده کرد. پژوهش‌های جانسون در سال ۱۹۵۸ انجام شده است. در این معیار، بعد بحرانی یک هدف مطابق شکل (۳) به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [۶].

$$critical\ dimenstion, d = \sqrt{hw} \qquad (۱)$$

شکل (۳): ابعاد بحرانی یک جسم [۶].

[1] Johnson' s criteria

در رابطه (۱)، d بعد بحرانی هدف و h ارتفاع هدف و w عرض هدف به مترمی باشد. طبق این معیار، دیدن به سه دسته تقسیم می شود[۶].

۲- ۳- جلوگیری از نشر حرارتی

هدف اصلی از توقف یا جلوگیری از نشر حرارتی، توسعه‌ی یک سامانه فرعی کنترل حرارتی است که در آن اختلاف دمای تابشی تمام سطوح خارجی قابل مشاهده را نسبت به پس‌زمینه در حد $\pm 4^{\circ}C$ نگه می‌دارد [۷].

چون هر طرح سامانه که شامل ماده یا پوشش انتخابی برای مقابله با نشر حرارتی سطح هدف می‌باشد، می‌بایست در دیگر باندهای طیفی مانند باندهای طیفی مرئی و فروسرخ نزدیک نیز علایم هدف را نسبت به زمینه کنترل نماید. لذا خواص نوری و فروسرخ سطح باید هماهنگ باشد یعنی میزان جذب یا انعکاس امواج خورشیدی و پخش نیم‌کروی انرژی فروسرخ از سطح ماده پوششی باید طوری باشد که ضمن این‌که بتواند خواص استتاری بهینه در طیف مرئی و فروسرخ داشته باشد، مغایر با الزامات نشر حرارتی مناسب برای هدف نباشد. معیار کلی در این پوشش‌ها شامل[۷]:

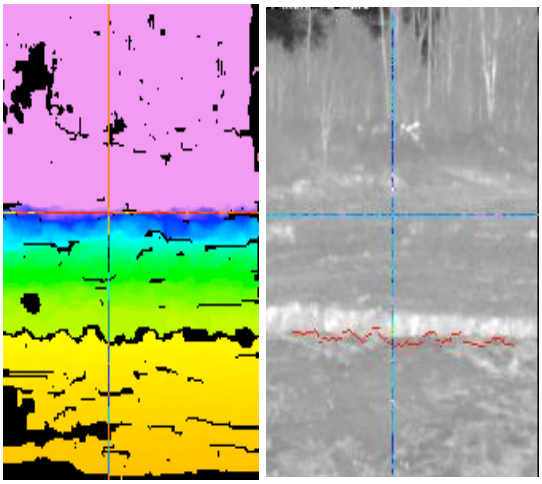
- فام مرئی و درخشندگی متناسب با پس‌زمینه
- دمای ظاهری سطح پوشش متناسب با دمای ظاهری پس‌زمینه با حداکثر اختلاف دمایی ۴ $^{\circ}C$ یک سامانه فرعی توقف نشر حرارتی می‌تواند شامل استفاده از سخت‌افزارهایی مانند موارد ذیل باشد:
- پتوهای حرارتی و سپرهای تابشی
- سامانه‌های جریان هوای طبیعی و مصنوعی
- پوشش‌های سطحی با خواص نوری مناسب
- شکل‌های هندسه مناسب برای انحراف امواج فروسرخ
- بالک‌های حرارتی
- لوله‌های حرارت یا سایر ابزارهای اختیاری انتقال حرارت داخلی

۲- ۴- روش های استتار حرارتی

تورهای استتار سنتی برای طیف مادون قرمز که یک ضریب جذب بالایی از انرژی خورشید دارند، طراحی شده است. بهره‌وری استتار حرارتی توسط سطح تبادل حرارتی با پس زمینه از طریق انتقال و انتشار گرما صورت می‌پذیرد. ویژگی‌های تورهای استتار اینگونه خواهد بود که تابش گسیل شده از هدف را متوقف می‌نماید. الگوی تورها (برگی شکل) با توجه به آب و هوای منطقه‌ای که درآن استتار صورت می‌پذیرد، متفاوت می‌باشد. در مناطق جنگلی یک نرخ انتقال گرمای بالا مورد نیاز می‌باشد اما در مناطق دشت، کوچکترین نرخ انتقال گرما اعمال می‌شود. ویژگی مهم مناطق دشت، این می‌باشد که درجه حرارت زمین در طول شب زیر درجه حرارت هوا می‌باشد [۸].

مواد استتار حرارتی برای استفاده روی یک تانک و یا دیگر وسایل نظامی، سنگرها و پناهگاه ها در یک منطقه دشت شامل یک لایه بیرونی از بافت پشم شیشه و یا پلی‌استری که یک پوشش بیرونی PVC و کربن سیاه و یک لایه نازک داخلی از جنس آلومینیوم و یک لایه داخلی تعریف شده با یک پارچه جداساز سه‌بعدی بین لایه آلومینیوم و لایه بیرونی می‌باشد. پارچه جداکننده متشکل از پلی‌استر داخلی و بیرونی که با پلی‌آمید ترکیب شده است. بارگذاری خورشید در دمای هوای داخل یک سنگر به‌ویژه در مناطق دشت یک مشکل جدی می‌باشد. به‌عنوان مثال در افغانستان، دمای محیط بیش از ۴۰ $^{\circ}C$ می‌باشد و باعث می شود دمای داخل یک سنگر و یا یک تانک یا تونل زیرزمینی به بیش از ۸۰ $^{\circ}C$ برسد [۹].

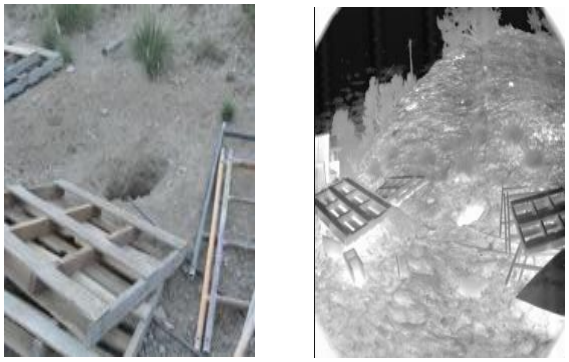
شکل (۴) یک تصویر مادون قرمز حرارتی از یک سنگر حفر شده توسط انسان می‌باشد. این تصویر در اواخر بعدازظهر پس از آنکه آفتاب از طرف مقابل سنگر برای چند ساعت قابل مشاهده می‌باشد، اخذ شده است. همان‌طور که مشخص می‌باشد آن نسبت به زمین‌های اطراف روشن‌تر می‌باشد. این شکل همچنین یک تصویری از یک دوربین استریو را نیز نمایش می‌دهد. رنگ زرد نزدیک‌ترین، رنگ بنفش دورترین، رنگ سیاه و سفید نشان داده هیچ داده‌ای می‌باشد. همپوشانی قرمز در تصویر حرارتی تشخیص لبه پیشرو سنگر را نشان می‌دهد. یک باند نامنظم بدون هیچ داده وسیعی در امتداد لبه جلو سنگر وجود دارد [۱۰].



شکل (۴): چپ: تصویر حرارتی یک سنگر با عرض ۰/۶ m راست: یک تصویر False color طیف رنگی از دید استریو [۱۰].

مطابق شکل (۴) فضای داخل سنگرها در تصاویر حرارتی روشن‌تر می‌باشد و این اشاره به ویژگی درجه حرارت و اینکه سنگرها و حفره‌ها گرما را حفظ می‌کنند، دارد. از این‌رو، وقتی خورشید وجود ندارد، شواهد نشان می‌دهد که زمین باز ممکن است با سرعت بیشتری نسبت به حفره‌ها و سنگرها خنک شود. این امر منجر به این فرضیه می‌گردد که ممکن است تا پاسی از شب نسبت به زمین اطراف گرم‌تر باشد.

شکل (۵) تصویری است که حدود نیمه شب از یک سنگر ساخته شده و چند گودال و حفره ساخت دست انسان اخذ شده می‌باشد. این سنگر ۰/۵ الی ۱ m عرض و ۱ m عمق دارد. هردوطرف و پایین آن به وضوح گرم‌تر از سطح زمین‌های اطراف آن می‌باشد و این نشان می‌دهد که امضای حرارتی ممکن است هم تصاویر از سطح زمین و هم تصاویر هوایی مفید باشد. سنگر حفره مانند حدود ۰/۴ m عرض و عمیق می‌باشد [۱۰].



شکل ۵. تصاویر رنگی و مادون قرمز حرارتی ۳/۵ mm از یک گودال حفر شده در خاک که در نیمه شب اخذ شده می‌باشد [۱۰].

۲- ۵- ارزیابی بصری کارایی استتار

هدف از روش ارائه رهنمودهایی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌های در راستای ارزیابی کارآمدی استتار در طیف مرئی و حرارتی می‌باشد. اساس این رهنمودها بر تجربه گروه مأموریتی سازمان تحقیقات و فناوری (RTO[1]) ناتو[2] مرسوم به ارتقاء به شیوه‌های ارزیابی استتاری است که نتایج مفیدی به همراه داشته است.

اصولاً فاکتورهای تأثیرگذار در آشکارسازی هدف عبارتند از [۱۱]:

ویژگی‌های هدف: نوع، ثابت یا متحرک بودن هدف، اندازه هدف، شکل هدف، کنتراست دما، سایه، استفاده از روش‌های استتاری، پوشش و ....

ویژگی‌های محیط: قابلیت دید (مه، باران، رطوبت و ....)، چه موقع از سال، زمان روز (زاویه خورشید)، سطح روشنایی، منطقه جغرافیایی (کوهستانی، جنگلی، بیابانی، ...) و ...

ویژگی‌های سکوی سنجنده: ارتفاع و فاصله سنجنده تا هدف

ویژگی‌های سنجنده: نوع سنجنده، زاویه میدان دید، تفکیک‌پذیری، برد، حساسیت، محدوده دینامیک (بیت) و ...

ویژگی‌های ناظر: سطح آموزش، انگیزه، تجربه، استرس، تیزی دید، الگوی جستجو، سن، خستگی و ...

در روش RTO ارزیابی تصاویر توسط ناظران در یک محیط آزمایشگاهی شبیه‌سازی تصویر انجام می‌شود. تصاویر هدف و پیرامون آن درمعرض دید گروه‌های ناظران قرار می‌گیرد و مشاهدات آن‌ها اساس ارزیابی را تشکیل می‌دهد. این شیوه تا حدی زیر سقف تکرار می‌شود، آنچه که درطول یک آزمایش میدانی رخ می‌دهد. ممکن است کسی ادعا کند که به جای بردن ناظران به میدان، تصویر صحنه برای ارزیابی ثبت و برای نمایش روی صفحه به ناظران ارائه شود. این مسئله مؤید این واقعیت است که تا به حال تولید مجدد برد آشکارسازی یک آزمایش میدانی از یک آزمایش شبیه‌سازی تصویر مشابه ممکن نشده است. بااین حال، شبیه‌سازی تصویر همچنان شیوه خوبی برای رتبه‌بندی سنجش‌های استتاری می‌باشد.

شبیه‌سازی تصویر در یک اتاق با فضای مناسب با استفاده از صفحه نمایشگر تصویری و حضور ناظران و بدون حواس‌پرتی صورت می‌گیرد. نور اتاق باید به‌گونه‌ای باشدکه بر نمای تصویر صفحه تأثیر نکند. اسلایدها توسط ناظران و از فاصله ثابت از قبل تعیین شده ED_{lab} مشاهده می‌شوند که با رابطه (۲) به قرار زیر محاسبه می‌گردد [۱۲].

$$ED_{lab} = (R_{field} \times HOM_{lab}) / AH_{field} \quad (۲)$$

ED_{lab} = فاصله چشم ناظر تا صفحه نمایشگر در آزمایشگاه

R_{field} = فاصله استفاده شده در میدان

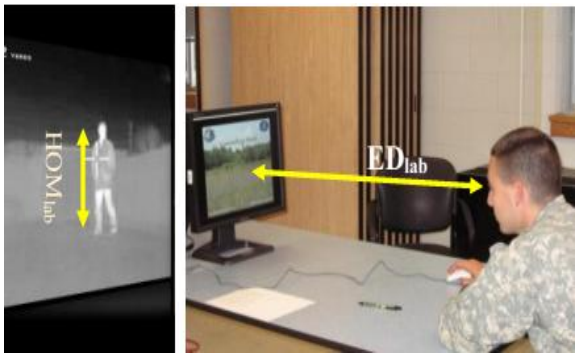
HOM_{lab} = ارتفاع هدف در صفحه نمایشگر در آزمایشگاه

AH_{field} = ارتفاع هدف واقعی در میدان

یک صندلی برای ناظر در نقطه محاسبه شده در روی زمین قرار می‌گیرد و جایگاهش در طول شبیه‌سازی تصویر با توجه به فاصله محاسبه شده متغیر می‌باشد.

[1] Research And Technology Organisation
[2] North Atlantic Treaty Organisation

در شکل (۶) نحوه نشستن ناظر در پشت مانیتور و محاسبه فاصله چشم ناظر از صفحه مانیتور و محاسبه اندازه هدف در مانیتور نمایش داده شده است.



شکل (۶): محاسبه فاصله چشم ناظر تا مانیتور و محاسبه اندازه هدف [۱۲].

پس از استقرار ناظر تصاویر نمایش داده می‌شود. قبل از آغاز شبیه‌سازی تصویر، ناظران در یک جلسه توجیهی مقدماتی شرکت می‌کنند که پیرامون اهداف شبیه‌سازی تصویر و هر آنچه ناظر باید انجام دهد، بحث می‌شود. برای دستیابی به بهترین نتایج، جلسه توجیهی باید از طریق یک متن چاپ شده شرح داده شود به طوری‌که به همه گروه‌های ناظران دقیقاً یک اطلاعات زمینه‌ای داده شود. در واقع ناظران باید نظامی باشند و آموزش مشاهدات (ناظران) ویژه مورد استفاده در شبیه‌سازی تصویر را ببینند. پس از جلسه توجیهی یک پرسشنامه برای تکمیل به ناظران داده می‌شود. این پرسشنامه حاوی اطلاعات زمینه پیرامون فرد از جمله: تخصص شغلی نظامی، سن، جنسیت، سطح بینایی و آموزش‌های فراگرفته قبلی در زمینه آزمون‌های آشکارسازی اهداف و شبیه‌سازی تصویر است. ناظران باید انفرادی وارد اتاق نمایش تصویر شوند و روی صندلی مشخص‌شده جلوی صفحه تصویر بنشینند. ناظران مجدداً به‌طور خلاصه پیرامون چگونگی انجام آزمایش و فعالیت‌های موردنیاز آموزش می‌بینند. یک نشانگر لیزری یا دستگاه مشابه در اختیار ناظر قرار می‌گیرد و چگونگی استفاده از نشانگر برای نشان دادن موقعیت اهدافی که وی در اسلاید تصویری کشف می‌کند به وی آموزش داده می‌شود. از ناظر تقاضا می‌شود که با عملکرد نشانگر لیزری آشنا شود. هم‌زمان با این کار پرسش‌نامه کامل‌شده ناظر توسط ثبت‌کننده داده قرائت و هرگونه اطلاعات پیچیده روشن می‌شود. سپس شبیه‌سازی تصویر با شروع نمایش تصاویر در دورترین برد مربوطه به هدف آغاز می‌شود. هم‌زمان با نشان دادن تصاویر به ناظر، ثبت‌کننده‌های داده‌ها نظریات ناظر را دریافت و شماره تصویر که در آن هدف کشف، شناسایی یا تشخیص داده‌شده یادداشت می‌کنند.

۳- روش شناسی تحقیق

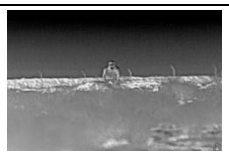
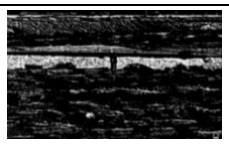
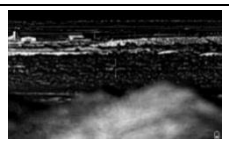
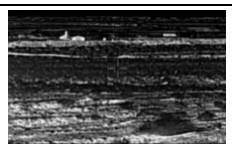
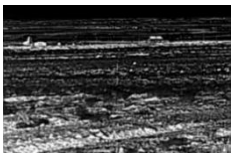
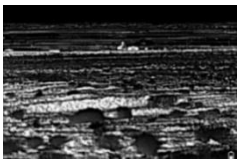
در این تحقیق سعی شده است با توجه به این‌که مناطق وسیعی از کشور را دشت فرا گرفته است مطالعاتی بر روی منطقه‌ای از شهرستان میمه از توابع استان اصفهان در این خصوص بررسی و انجام گیرد. در این تصویربرداری با دوربین حرارتی غیر سرد شونده فاطر ۳۲۰ ساخت وزارت دفاع و پشتیبانی نیروی‌های مسلح کشور جمهوری اسلامی ایران، در منطقه دشت بوته‌زار با ۳۶ سناریو تعریف شده است. برای اجرای سناریوها پس از این‌که دوربین حرارتی توسط اپراتور در جای مناسب مستقر گردید، هدف مورد نظر که سنگر حفره روباه است با استقرار رزمنده در فواصل ۵۰ m، ۱۰۰ m، ۲۰۰ m، ۴۰۰ m، ۶۰۰ m و ۸۰۰ m، قرار گرفته است. این ارزیابی در منطقه دشت در سه حالت ایستاده کنار سنگر، ایستاده و نشسته در سنگر در دو زمان روز هوای روشن حدود ساعت ۱۷ تا ۱۸ در دمای ۳۲ $^{\circ}C$ شب هوای تاریک حدود ساعت ۲۱ تا ۲۲ در دمای ۲۷ $^{\circ}C$ و وزش باد با سرعت حدود ۱/۷۲ m/s، آن هم در یک روز انجام شده و سپس توسط اپراتور تصاویر ضبط گردیده است. از طریق رابطه (۳) فاصله ناظر تا صفحه نمایش برای استقرار ناظر مشخص می‌گردد. ارزیابی تصاویر با به کارگیری پنج نفر از پرسنل سپاه پاسداران انجام شده است و سپس زمان شناسایی هدف توسط ناظرین ثبت شده است. سپس نسبت به استتار سنگر با پتو و بوته در دو حالت ایستاده و نشسته در سنگر ارزیابی گردید.

۴- نتایج تجربی

۴- ۱- تحلیل نتایج سناریوی ارزیابی کارایی

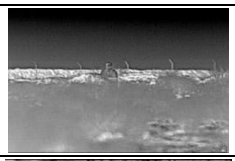
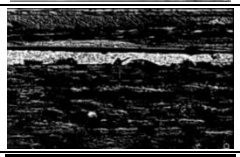
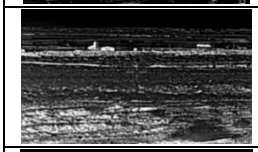
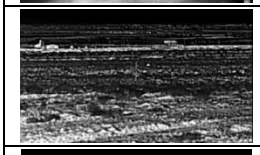
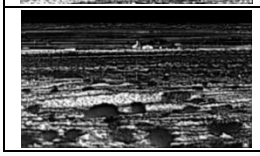
پس از اخذ تصاویر مورد نیاز از دوربین حرارتی برای هر یک از سناریوها، این تصاویر در آزمایشگاه برای ناظران نمایش داده شد. که در شش فرم ایستاده کنار سنگر در هوای روشن (فرم یک)، ایستاده در سنگر در هوای روشن (فرم دو)، نشسته در سنگر هوای روشن (فرم سه)، ایستاده در کنارسنگر در هوای تاریک (فرم چهار)، ایستاده در سنگر در هوای تاریک (فرم پنج) و نشسته در سنگر در هوای تاریک (فرم شش) نمایش داده شده است.

جدول (۱): نتایج سناریوهای ارزیابی با دوربین حرارتی فاطر ۳۲۰.

ساعت انجام تست: ۱۷تا ۱۸				اندازه هدف (m): ۱/۸
سرعت باد: ۱٫۷۸ m/s				وضعیت آسمان : آفتابی صاف
دمای هوا (°C): ۳۲				وضعیت استقرار: ایستاده کنار سنگر
سناریو	فاصله دوربین تا هدف m	ارتفاع شخص در نمایشگر (متر)	فاصله ناظر تا صفحه مانیتور (متر)	میانگین زمان شناسایی (ثانیه)	تصویر
۱	۵۰	۰/۰۴	۱/۱۱	۱	
۲	۱۰۰	۰/۰۳	۱/۶۶	۱	
۳	۲۰۰	۰/۰۱۴	۱/۵۵	۳/۲	
۴	۴۰۰	۰/۰۱	۲/۲۲	۷/۲۵	
۵	۶۰۰	۰/۰۰۵	۱/۶۶	غیر قابل تشخیص	
۶	۸۰۰	۰/۰۴	۱/۷۷	غیر قابل تشخیص	

در ارزیابی فرم یک، به دلیل وجود خورشید در آسمان و وجود گرمای حاصل از آن که تا حدودی بر گرمای بدن انسان غلبه می‌کند منجر به این می‌گردد که حرارت بدن انسان در گرمای خورشید پنهان گردد یا به عبارتی کنتراست بدن انسان کاهش یابد و زمان شناسایی هدف توسط دوربین حرارتی افزایش یابد و هر چه فاصله از هدف بیشتر گردد.زمان شناسایی افزایش می‌یابد.

جدول (۲): نتایج سناریوهای ارزیابی با دوربین حرارتی فاطر ۳۲۰.

ساعت انجام تست: ۱۷تا ۱۸				اندازه هدف (m): ۰/۶
سرعت باد: ۱/۷۸ m/s				وضعیت آسمان: آفتابی صاف
دمای هوا (°C): ۳۲				وضعیت استقرار: ایستاده در سنگر
سناریو	فاصله دوربین تا هدف m	ارتفاع شخص در نمایشگر (متر)	فاصله ناظر تا صفحه مانیتور (متر)	میانگین زمان شناسایی (ثانیه)	تصویر
۷	۵۰	۰/۰۱۵	۱/۲۵	۱	
۸	۱۰۰	۰/۰۱	۱/۶۶	۱/۵	
۹	۲۰۰	۰/۰۰۵	۱/۶۶	۴/۷۵	
۱۰	۴۰۰	۰/۰۰۴	۲/۶۶	غیر قابل تشخیص	
۱۱	۶۰۰	۰/۰۰۳	۳	غیر قابل تشخیص	
۱۲	۸۰۰	۰/۰۰۱	۱/۳۳	غیر قابل تشخیص	

در ارزیابی فرم دو، به دلیل این‌که رزمنده در سنگر ایستاده است و سطح هدف نسبت به حالت قبل کاهش پیدا می‌کند در نتیجه زمان شناسایی توسط دوربین حرارتی افزایش می‌یابد و با افزایش مسافت تا هدف، متوسط زمان آشکارسازی به دلیل کنتراست کم، افزایش می‌یابد.

در ارزیابی فرم سه، به دلیل نبود سطح هدف نسبت به دو حالت قبل و گرمای هوا در روز و نبود کنتراست رزمنده در سنگر با پس زمینه، نه قابل شناسایی بلکه قابل آشکارسازی نیز نمی‌باشد.

در ارزیابی فرم چهار، (هوای تاریک) به دلیل عدم وجود خورشید در آسمان و کاسته شدن از گرمای حاصل از آن که

موجب خنکی هوا می‌شود که تا حدودی گرمای بدن انسان بر دمای هوای محیط غلبه می‌کند و منجر به این می‌گردد که حرارت بدن انسان نسبت به محیط اطراف، کنتراستش افزایش یابد و زمان شناسایی هدف، توسط دوربین حرارتی کاهش می‌یابد و سریع‌تر مورد شناسایی قرار گیرد که هر چه فاصله از هدف بیشتر گردد، زمان شناسایی افزایش می‌یابد.

جدول (۳): نتایج سناریوهای ارزیابی با دوربین حرارتی فاطر ۳۲۰.

ساعت انجام تست: ۱۷تا ۱۸			اندازه هدف (متر): ۰	
سرعت باد: ۱/۷۸ m/s			وضعیت آسمان : آفتابی صاف	
دمای هوا (°C): ۳۲			وضعیت استقرار: نشسته در سنگر	
سناریو	فاصله دوربین تا هدف m	ارتفاع شخص در نمایشگر(متر)	فاصله ناظر تا صفحه مانیتور(متر)	میانگین زمان شناسایی(ثانیه)	تصویر
۱۳	۵۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۱۴	۱۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۱۵	۲۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۱۶	۴۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۱۷	۶۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۱۸	۸۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	

جدول (۴): نتایج سناریوهای ارزیابی با دوربین حرارتی فاطر ۳۲۰.

ساعت انجام تست: ۲۱ تا ۲۲			اندازه هدف (متر): ۱/۸۰	
سرعت باد: ۱/۷۲ m/s			وضعیت آسمان : صاف	
دمای هوا (°C): ۲۷			وضعیت استقرار: ایستاده در کنار سنگر	
سناریو	فاصله دوربین تا هدف m	ارتفاع شخص در نمایشگر(متر)	فاصله ناظر تا صفحه مانیتور(متر)	میانگین زمان شناسایی(ثانیه)	تصویر
۱۹	۵۰	۰/۰۴	۱/۱۱	۱	
۲۰	۱۰۰	۰/۰۳	۱/۶۶	۱	
۲۱	۲۰۰	۰/۰۱۴	۱/۵۵	۵	
۲۲	۴۰۰	۰/۰۱	۳/۲۲	۹	
۲۳	۶۰۰	۰/۰۵	۱/۶۶	غیر قابل تشخیص	
۲۴	۸۰۰	۰/۰۴	۱/۷۷	غیر قابل تشخیص	

در ارزیابی فرم پنج، به دلیل اینکه سطح هدف نسبت به حالت قبل کاهش پیدا می‌کند و در این حالت رزمنده درحالت ایستاده در سنگر می‌باشد. در این حالت زمان شناسایی توسط دوربین حرارتی افزایش می‌یابد. و مانند حالت‌های قبل با افزایش فاصله از هدف زمان شناسایی افزایش می‌یابد.

جدول (۵): نتایج سناریوهای ارزیابی با دوربین حرارتی فاطر ۳۲۰.

ساعت انجام تست: ۲۱ تا ۲۲				اندازه هدف (متر): ۰/۶
سرعت باد: ۱٫۷۲ m/s				وضعیت آسمان: صاف
دمای هوا (°C): ۲۷				وضعیت استقرار: ایستاده در سنگر
سناریو	فاصله دوربین تا هدف m	ارتفاع شخص در نمایشگر(متر)	فاصله ناظر تا صفحه مانیتور(متر)	میانگین زمان شناسایی(ثانیه)	تصویر
۲۵	۵۰	۱/۵	۱/۲۵	۱	
۲۶	۱۰۰	۱	۱/۶۶	۱/۷۵	
۲۷	۲۰۰	۰/۵	۱/۶۶	۶/۷۵	
۲۸	۴۰۰	۰/۳	۲/۶۶	غیر قابل تشخیص	
۲۹	۶۰۰	۰/۰۳	۳	غیر قابل تشخیص	
۳۰	۸۰۰	۰/۰۱	۱/۳۳	غیر قابل تشخیص	

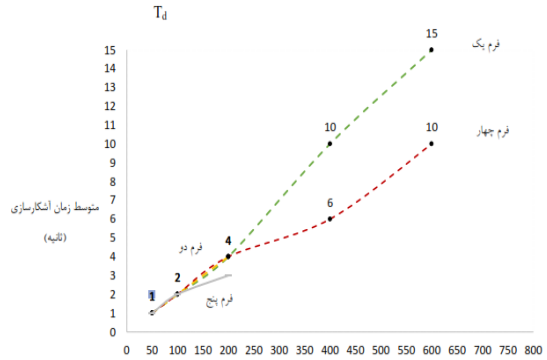
در ارزیابی فرم شش، به دلیل نبود سطح هدف نسبت به دو حالت قبل و همچنین کاهش دما هوا در شب نسبت به روز و با توجه به این موضوع شاهد کنتراست بهتری نسبت به وضعیت مشابه در روز هستیم. در فاصله کمتر از ۱۰۰ m با توجه به حرارت بدن رزمنده نشسته در سنگر و بازتاب حفره (سنگر) قابل شناسایی می‌باشد. در فاصله بیشتر مسافت ذکر شده شناسایی نیست.

جدول (۶): نتایج سناریوهای ارزیابی با دوربین حرارتی فاطر ۳۲۰.

ساعت انجام تست: ۲۱ تا ۲۲				اندازه هدف (متر): ۰
سرعت باد: ۱٫۷۲ m/s				وضعیت آسمان: صاف
دمای هوا (°C): ۲۷				وضعیت استقرار: نشسته در سنگر
سناریو	فاصله دوربین تا هدف m	ارتفاع شخص در نمایشگر(متر)	فاصله ناظر تا صفحه مانیتور(متر)	میانگین زمان شناسایی(ثانیه)	تصویر
۳۱	۵۰	۰	۱	۳/۵	
۳۲	۱۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۳۳	۲۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۳۴	۴۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۳۵	۶۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	
۳۶	۸۰۰	۰	۱	غیر قابل تشخیص	

اگر بخواهیم این شش فرم را با هم مقایسه نماییم به این نتیجه می‌رسیم که در شب و در حالت ایستاده کنار سنگر (فرم چهار) به علت این‌که حرارت بدن انسان توسط دوربین حرارتی در زمان کمتری و سریع‌تر نسبت به پنج فرم دیگر قابل شناسایی می‌باشد و در روز و در حالت نشسته در سنگر (فرم سه) به علت

وجود گرمای خورشید و سطح هدف کمتر، حرارت بدن انسان توسط دوربین حرارتی در زمان بیشتر و دیرتر نسبت به پنج فرم دیگر قابل شناسایی می‌باشد.

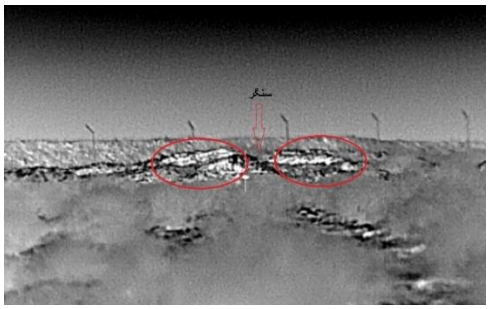


شکل (۷): نتایج زمان آشکارسازی در فواصل مختلف برای فرم‌های مختلف.

۴- ۲- ارزیابی عملکرد استتار سنگر در مناطق دشت

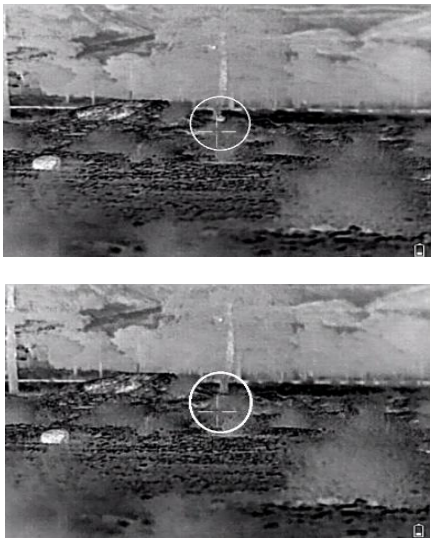
در راستای ارتقاء کیفیت انجام تست‌های لازم برای ارزیابی کارایی استتار و اختفاء سنگرهای انفرادی در دشت، اقدام به ارزیابی چند تست میدانی با شرایط و وسایل استتاری ساده قرار گرفت.

با توجه به انجام تست و ارزیابی سنگر توسط دوربین حرارتی در دو زمان روز و شب مشاهد می‌گردد که به علت وجود خاک در اطراف آن وعدم سطحی هموار، امکان تشخیص سنگر به علت این ناهمواری‌ها وجود دارد (شکل ۸).



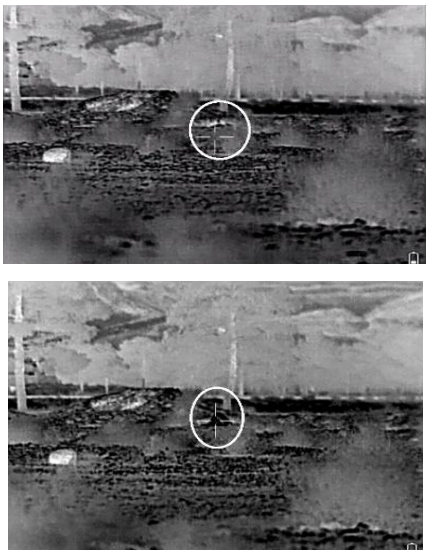
شکل (۸): مشاهده خاک‌های اطراف سنگر در فاصله ۵۰ m.

پس اولین اقدام در جهت استتار سنگر جمع‌آوری خاک‌های داخل سنگر حفر شده و توزیع آن در اطراف سنگر می‌باشد. رزمنده در سنگر در فاصله ۱۰۰ در دو حالت ایستاده و نشسته به‌وسیله بوته و پتو استتار و توسط دوربین حرارتی درساعت ۲۲ با شرایط جوی یکسان مورد ارزیابی قرار می‌گردد. با توجه به شکل (۹) مشاهده می‌گردد در دو حالت ذکر شده در فاصله ۱۰۰ متری با استتار توسط بوته، سنگر قابل تشخیص وشناسایی نمی‌باشد.



شکل (۹): استتار با بوته در فاصله ۱۰۰ m.

در شکل (۱۰) رزمنده در فاصله ۱۰۰ m در دو حالت ایستاده و نشسته در سنگر به‌وسیله پتو استتار گردیده و در ساعت ۲۲ توسط دوربین حرارتی با شرایط جوی یکسان نسبت به تست قبل ارزیابی می‌گردد. مشاهده می‌گردد که در فاصله‌های ذکر شده نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که استتار با پتو به‌دلیل کنتراست با زمینه، مناسب نمی‌باشد.



شکل (۱۰): استتار با پتو در فاصله ۱۰۰ m - بالا رزمنده نشسته در سنگر- پایین رزمنده ایستاده در سنگر.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روش‌های مختلف ارزیابی کارایی لباس‌ها و پوشش‌های استتاری اعم از ATR و بصری ارائه و مورد بررسی قرار گرفتند. این تحقیق روش ارزیابی بصری کارایی استتار توسط ناظران در آزمایشگاه را به‌عنوان یک روش مناسب پیشنهاد

می‌نماید. در این روش تصاویری توسط دوربین حرارتی از هدف استتار شده در منطقه مورد نظر تهیه گردیده و سپس این تصاویر برای ارزیابی در معرض دید ناظران نمایش داده می‌شود. مزایای شبیه‌سازی تصویری در مقایسه با آزمایش‌ها ناظر در میدان عبارتند از:

- قابلیت ایجاد یک پایگاه داده‌های آماری بزرگ‌تر
- الگوسازی و قابلیت تکثیر داده‌ها
- تهیه تصاویر میدانی از هدف در انواع الگوهای استتاری و پوشش‌ها، در حالت ثابت یا متحرک و اندازه‌های مختلف و ...
- تهیه تصاویر میدانی با استفاده از دوربین‌های حرارتی مختلف با ویژگی‌های (تفکیک‌پذیری، زاویه دید، و ...)
- تهیه تصاویر میدانی به تعداد زیاد تحت مجموعه‌ای از شرایط محیطی (ساحلی، جنگلی، بیابانی، کویری و...)
- تهیه تصاویر میدانی در شرایط زمانی (روز و شب) و جوی (سرما، گرما، بارانی، مه، باد و ...)
- ارزیابی تصاویر توسط تعداد زیادی از ناظران به لحاظ (سن، تجربه، انگیزه، تیزهوشی، سطح آموزش و ...)
- قابلیت مشاهده تصویر یک آزمایش میدانی با فاکتورهای خاص توسط همه ناظران در دوره‌ی زمانی متفاوت
- هزینه کمتر در مقایسه با حضور ناظران در آزمایش‌ها میدانی برای ارزیابی
- صرف زمان کمتری در جمع‌آوری داده‌های میدانی

۶- مراجع

[۱] روشن، علی اصغر، فرهادیان، نورالـه، فرهنگ اصطلاحات جغرافیای سیاسی- نظامی، دانشگاه امام حسین (ع)، ۱۳۸۵.

[۲] نوروزی، محمد تقی، فرهنگ دفاعی – امنیتی، انتشارات سنا، ۱۳۸۵.

[۳] علوی‌تبار، سید کاظم، سنجش از دور (حرارتی وکاربردهای آن در علوم زمین)، دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.

[4] O. Berg, "Met hods for Evaluating Thermal Camouflage," Norwegian Defense Research Establishment, RTO SCI Symposium on Sensors and Sensor Denial by Camouflage, Concealment and Deception, Belgium, 2004.

[۵] رونکیانی، مهدی، دوربین‌های حرارتی، مرکز مطالعات و تحقیقات صنعتی آماد و پشتیبانی ناجا، ۱۳۹۱.

[۶] رزی، علی، بررسی، مطالعه وطراحی یک سامانه اپتیکی دو میدان دید در ناحیه طیفی مادون قرمز میانی، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مالک اشتر، ۱۳۹۴.

[۷] قنبری، فیروز، استتار (روش‌ها، فناوری‌ها و مواد)، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء، ۱۳۸۹.

[8] J. E. Peak, L. Hepfinger, G. Huebner, and L. Dipl-Phys, "Guidelines for Camouflage Assessment," 2006.

[9] E. F. Bienz, "Thermal camouflage," US Department of Army, 1979.

[10]L. Matthie and A. Rankin, "Negative obstacle detection by thermal signature," IEEE Intelligent Robots and Systems Conference, 2003.

[11]B. Schwarz, René, "Camouflage suit," US Patent number: 7832018, 2010.

[12]U.S. Army Natick Soldier Research Photosimulation camouflage detection test, 2009.

[۱۳] خزائی، صفا، مبانی سنجش از دور با نگرشی بر شناسایی و مراقبت، دانشگاه امام حسین (ع)، ۱۳۸۸.

[۱۴] مودتی، علی، رزم‌انفرادی، معاونت آموزش و تربیت ناجا، ۱۳۹۰.

Thermal Concealment and Camouflage of Foxhole Trenches in the Sardasht Plain

M. Kazemi, S. Khazaei*

Abstract

Given the essential role of individual trenches in the survival and mission accomplishment of insider forces, especially in the plains, it is obvious that the enemy uses a variety of aerial and space sensors for their detection and identification. Imaging cameras are one of the main systems for detecting targets, especially at night. The main agent that causes the detection of a trench in thermal images is the thermal anomaly in its opening with respect to the surrounding environment. This study intends to use field observations and visual assessment methods to investigate the possibility of identifying fighters stationed in foxhole trenches and to provide measures and considerations to prevent the detection of foxhole trenches in plain areas. For this purpose, 36 scenarios in different positions namely: person standing next to the trench, person standing in the trench and person sitting in the trench, two different times, bright and dark days at different distances, are considered. Based on the experimental results obtained, it is possible to detect foxhole trenches without camouflage in plain areas at close range. Also, the best type of camouflage is the use of dry and lifeless plants related to the area.

Key Words: *Camouflage, Foxhole trenches, Thermal imaging*

* Imam Hossein Comprehensive University (skhazai@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge