فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال ششم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، (پیاپی ۲۴): صص ۷۶-۶۳

بررسی روش‌های ارزیابی بصری و میدانی کارایی پوشش‌های استتار حرارتی

فرهاد نیک‌زاد[۱]، صفا خزائی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۱۰

چکیده

امروزه استفاده از پوشش‌های استتار حرارتی، به عنوان یک راهکار مناسب به منظور کاهش سطح شناسایی پرسنل نظامی توسط دوربین‌های حرارتی مطرح می‌باشد. لذا ارزیابی کارایی این پوشش‌ها از اهمیت بالایی در حوزه پدافند غیرعامل برخوردار است. در این تحقیق، روش‌های مختلف ارزیابی کارایی لباس‌ها و پوشش‌های استتاری ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرند. بر اساس بررسی‌های انجام شده، این تحقیق، روش ارزیابی بصری کارایی استتار توسط ناظران در آزمایشگاه را به عنوان روشی مناسب پیشنهاد می‌نماید. در این روش، تصاویری توسط دوربین حرارتی از هدف استتارشده در منطقه مورد نظر تهیه گردیده و سپس این تصاویر برای ارزیابی در معرض دید ناظران در آزمایشگاه نمایش داده می‌شود. عدم محدودیت در انجام آزمایش‌ها با فاکتورهای خاص، گستردگی در کسب داده‌ها و همچنین صرفه‌جویی در زمان و هزینه، از مزایای این روش می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: دوربین حرارتی، ارزیابی کارایی، لباس استتار حرارتی

۱- کارشناس ارشد، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)
۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)- skhazai@ihu.ac.ir- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

شناسایی، مأموریتی برای کسب اطلاعات در مورد فعالیت‌ها، منابع، توانمندی‌ها و موقعیت دشمن است. از جمله انواع مهم منابع اطلاعاتی که در مأموریت شناسایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، تصاویر سنجنده‌های تصویربردار است. سنجنده‌های تصویربرداری به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند: غیرفعال که از منبع انرژی طبیعی، بویژه خورشید، استفاده می‌کنند، و فعال، مانند رادار، که دارای منبع انرژی مصنوعی هستند [۱].

همگام با توسعه روش‌های دستیابی اطلاعات نظامی از فناوری سنجش‌ازدور، شیوه‌هایی برای پنهان نمودن اهداف موردنظر ارائه شده است. یکی از راه‌حل‌های موجود برای جلوگیری از دستیابی دشمن به این اطلاعات ارزشمند نظامی، استفاده از روش‌های استتار است. استتار عبارت است از تلاش جهت پنهان نمودن اهداف و عوارض موردنظر و بالا بردن شباهت آن با پس‌زمینه خود.

در واقع، هدف استتار، کاهش تقابل بین هدف و پس‌زمینه تا حد ممکن است. این تقابل براثر تفاوت‌های موجود در ویژگی‌های انعکاس نوری از هدف و پس‌زمینه به وجود می‌آید. با استفاده از الگوهای رنگی بر اساس میزان انعکاس نور می‌توان این تقابل را کاهش داد. رنگ‌ها استتار خوبی را مستقل از زمان روز و شرایط جوی ایجاد می‌کنند.

اما تفاوت دیگر، تفاوت دمایی بین هدف و پس‌زمینه است که ایجاد تقابل می‌کند و ویژگی‌های مادی جسم و همچنین تأثیرات ناشی از محیط، یعنی شرایط جوی، در این تفاوت دخیل هستند. این درجه حرارت در طبیعت به‌سرعت با توجه به شرایط جوی و زمان روز تغییر می‌کند. یک ماده استتار باید دارای دمای مشابه با دمای محیط اطراف باشد و دمای آن‌هم باید به همان صورت تغییر کند.

اهمیت کاربرد اقدامات متقابل در بخش‌های بصری و طیف مادون‌قرمز نزدیک، مدت مدیدی است که رایج است. در سال‌های آتی، بعد از ناحیه دید مرئی و مادون‌قرمز نزدیک (که تقویت‌کننده‌های تصویر و تلویزیون سطح نور پایین را در بر می‌گیرد) اقدامات متقابل در برابر ناحیه ریزموج و مادون قرمز حرارتی، دارای اهمیت زیادی خواهند بود.

نیروهای نظامی، از تورهای استتار متداول، شرایط زمین و نیز شاخ و برگ درختان برای استتار خود و تجهیزات بهره می‌گیرند، اما اکثر این روش‌های استتار با استفاده از تصاویر باند حرارتی به آسانی قابل آشکارسازی است. لذا نیازمند روش‌های استتاری پیشرفته‌تری است که بتواند در برابر طول‌موج‌های مختلف و قدرت تفکیک‌های متفاوت، کارآمد باشد.

سامانه‌های شناسایی بسیاری هستند که با انرژی مادون قرمز کار می‌کنند. تفاوت عمده آن‌ها به‌عنوان مثال در برد طول موج، نیمه‌خودکار، خودکار، اپراتور انسانی و قدرت تفکیک مکانی و حرارتی و غیره است.

اختلاف دمای یک جسم با محیط اطرافش که منجر به اختلاف نشر جسم با محیط اطرافش می‌شودT 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 سوژه‌ها و هدف‌های موردنظر 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 RAP[1] سامانه‌های خنک‌کننده و پارچه‌های جذب‌کننده حرارت و جلوگیری‌کننده از انتشار حرارت TAM[2]، می‌توانند در تقلیل تابش حرارتی از هدف بسیار مفید واقع شود.

ارزیابی عملکرد استتار برای برنامه‌های کاربردی اختفای نظامی، از اهمیت اساسی برخوردار است. هدف از ارزیابی استتار، ارزیابی اثر استتار در تقابل با واکنش‌های تشخیص انسان است.

اغلب ارزیابی‌ها، از اقدامات متقابل با استفاده از دیده‌بانی انسانی صورت می‌گیرد. کارایی آن‌ها در یک ناحیه طیفی خاص و ضد یک سیستم دیده‌بانی خاص (با توجه به پاسخ طیفی، رزولوشن مکانی و غیره) را می‌توان از طریق مطالعه آماری تعداد زیادی از مشاهدات تعیین نمود. اشکال عمده این شیوه، نیاز به زمان، کارکنان و تجهیزاتِ زیاد است.

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

1– Radar Absorbing Painting
2– Thermal Absorbing Material

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.

با بررسی موردی انجام‌شده بر روی لباس استتاری متداول مورد استفاده حال حاضر در مرزبانی ناجا بیانگر این موضوع است که این پوشش در برابر سامانه شناسایی دوربین تصویربرداری حرارتی، قابلیت جلوگیری از نشر حرارتی را نداشته و درواقع شخص مورد شناسایی و هدف قرار می‌گیرد و این می‌تواند ازجمله دلایل برای افزایش تعداد کشته‌ها و مجروحان مرزبانی ناجا محسوب گردد.

ارزیابی میزان اثربخشی استتار حرارتی دشوار است. روش‌های سنتی ارزیابی استتار، یک روش گران، وقت‌گیر و پیچیده است و حتی در شرایط آزمایشگاهی هم به‌سختی می‌توان شرایط لازم را به اجرا گذاشت. یک روش جدید برای بهبود ارزیابی استتار توسط سازمان تحقیقات و فناوری ناتو به نام روش شبیه‌سازی عکس ارائه شده است.

عکس شبیه‌سازی‌شده، مجموعه تصاویری از اهداف استتارشده است که در شرایط مشابه آزمایشگاهی، برای تشخیص عملکرد به لحاظ بصری برای ناظران ارائه شده است.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی روش‌های ارزیابی کارایی لباس‌های استتار حرارتی در مقابل آشکارسازی توسط دوربین‌های حرارتی است. دستاورد اصلی این تحقیق، پیشنهاد یک روش مناسب جهت ارزیابی کارآمدی لباس‌های استتاری حرارتی در مقابله با شناسایی توسط دوربین‌های حرارتی است. در این تحقیق، از مطالعات کتابخانه‌ای و مرور منابع (پایان‌نامه، مقالات، کتب، گزارش‌ها و ....)، تجربیات اساتید و کارشناسان مجرب جهت بررسی روش‌های ارزیابی کارایی پوشش‌های استتار حرارتی استفاده شده است که ارزیابی پوشش‌های استتاری را می‌توان به دو حالت ارزیابی بصری(دیداری) که وابسته به ناظر است و ارزیابی به روش پردازش تصویر ATR[1] (تشخیص خودکار هدف) انجام داد.

۲- ادبیات تحقیق

۲-۱- فیزیک تابش حرارت

سطح اجسام وقتی که گرمایی را جذب می‌کنند به‌واسطه این گرما سرعت ذرات باردار در داخل جسم افزایش یافته و منجر به گسیل پرتو از سطح جسم خواهد شد.

طبق قانون استفان ـ بولتزمن (معادله ۱) هرچه میزان درجه حرارت جسم بیشتر باشد، میزان کل تشعشعات گسیل‌شده از آن نیز بیشتر خواهد بود [۲].

$$M_T = \sigma A_S T_S^4 \qquad (۱)$$

در معادله بالا، M_T کل تابش گسیل‌شده از سطح جسم سیاه در دمای مطلق T بر حسب (Wm^{-2})، s ثابت استفان ـ بولتزمن، T درجه حرارت مطلق جسم سیاه بر حسب (K) و A_S مساحت سطح جسم بر حسب m^2 است. برای سایر اجسام به غیر از جسم سیاه، باید ε_λ ، (ضریب گسیل طیفی) را در روابط فوق ضرب کنیم. توجه به این موضوع که کل انرژی گسیل‌شده از یک جسم، با توان چهارم درجه حرارت مطلق ماده نسبت مستقیم دارد. به‌عبارت‌دیگر، با افزایش درجه حرارت مطلق، به‌سرعت تابش گسیل‌شده از جسم سیاه افزایش می‌یابد.

طول‌موج حداکثر تابش (طول‌موجی که در آن، میزان تشعشعات جسم سیاه به حداکثر می‌رسد)، تابعی از درجه حرارت آن جسم بوده و به‌وسیله قانون جابجایی وین معادله (۲) قابل‌محاسبه است [۲].

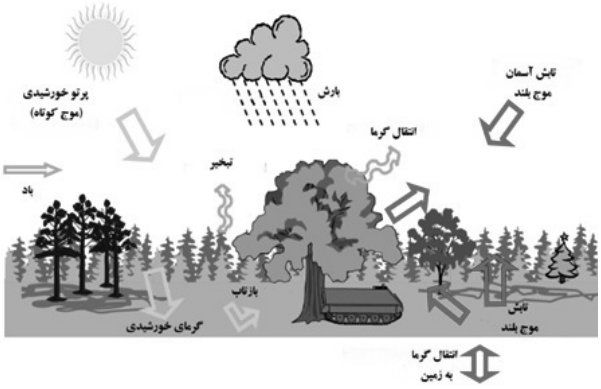
$$\lambda_m = \frac{a}{T} \qquad (۲)$$

در معادله بالا، λ_m طول‌موج حداکثر تابش جسم سیاه (بر حسب mm)، a یک مقدار ثابت (۲۸۹۸ $\mu m\ ^\circ k$) و T درجه حرارت بر حسب k است.

۲-۲- کنتراست حرارتی

سنجنده حرارتی بر اساس کنتراست حرارتی که بین هدف و پس‌زمینه وجود دارد، شناسایی و ردیابی را انجام خواهد داد. پرتو تابش حرارتی از هدف و پس‌زمینه، از طریق جو به سیستم سنجنده پخش می‌شود. این پرتو در مسیر خود به دلیل روندهای جذب و پخش باعث کاهش شدت پرتو شده که این، باعث ایجاد تفاوت دمایی ظاهری بین هدف و پس‌زمینه شده که درنهایت به کاهش شدت پرتو ختم می‌شود. سطح بیرونی، پرتو تابشی را جذب کرده و پرتو حرارتی را به سمت خورشید، آسمان و محیط شده اطراف ساطع می‌کند (شکل ۱). عناصری که در پس‌زمینه یافت می‌شوند مانند درختان، سبزه، علف و سنگ، از ویژگی‌های مختلف مواد برخوردارند و از این‌رو دماهای سطوح آن‌ها به‌طور متفاوت از شرایط جوی تأثیر می‌پذیرند [۶].

1– Automatic Target Recognition



شکل ۱- روندهای انتقال گرما مربوط به سطوح بیرونی [۶].

اختلاف دمای ذاتی بین هدف و پس‌زمینه را می‌توان از معادله (۳) استفاده نمود [۳].

$$\Delta T_{TB} = \sqrt{(T_T - T_B)^2 + \delta_T^2} \qquad (۳)$$

در رابطه بالا، T_T دمای متوسط هدف و T_B دمای متوسط پس‌زمینه و δ_T انحراف معیار دمای هدف است.

سیستم‌های تصویربرداری مادون‌قرمز، اغلب به‌صورت تابعی موسوم به MRT[1] (حداقل دمای قابل تفکیک) مشخص می‌شوند. برای به دست آوردن MRT (حداقل دمای قابل تفکیک) فرض بر این است که روندهای جذب و پخش، مستقل از طول‌موج هستند و ارزش میانگین برای انتقال جوی با τ نشان داده می‌شود. پس اختلاف دمای ظاهری بین هدف و پس‌زمینه در فاصله R از هدف ΔT_R، برابر است با رابطه (۴): [۶].

$$\Delta T_R = \tau^R \Delta T \qquad (۴)$$

برای شرایط دمای ظاهری با قابلیت دید خوب به ارزش $\tau=0.9/Km$ اغلب مورد استفاده است. به این معنی که اختلاف دما برای هر کیلومتر تا هدف ۹۰٪ کاهش می‌یابد.

۲-۳- علائم مادون‌قرمز اهداف نظامی و پس‌زمینه‌ها

برای دمای بدن انسان (۳۷c°، ۳۰۰k) طول‌موج غالب، طبق قانون جابجایی وین، برابر با ۹/۳μm خواهد بود. در حدود ۳۲٪ از این انرژی در ناحیه ۸-۱۳μm گسیل می‌شود و ۱٪ در ناحیه ۳/۲-۴/۸μm است. با وجود البسه، شدت تابشی و ایرادیانس از جسم انسان کمتر خواهد بود. لذا برای شناسایی انسان، محدوده حرارتی ۸-۱۲μm (دوربین‌های حرارتی غیر خنک‌شونده) مناسب است. پس‌زمینه‌های موردنظر، آسمان، دریا و زمین هستند. خورشید تقریباً مانند یک جسم سیاه در ۶۰۰K گسیل دارد و حداکثر تابندگی خورشید در ۰/۵μm رخ می دهد. تابندگی (رادیانس) آسمان تقریباً 10^{-5} تابندگی خورشید است. این ناشی از پراکندگی پرتوی خورشید می‌باشد. گسیل اتمسفری اساساً از بخارآب و دی‌اکسیدکربن است. اگر دمای مؤثر اتمسفر در محدوده ۲۰۰-۳۰۰K فرض شود، حداکثر ممکن گسیل از منبع، به وسیله تابندگی جسم سیاه روی این دما بیان می‌شود. حداکثر گسیل در طول‌موج ۱۰μm رخ می‌دهد [۳].

۲-۴- جلوگیری از نشر حرارتی

هدف اصلی از توقف یا جلوگیری از نشر حرارتی، توسعه یک سامانه فرعی کنترل حرارتی است که در آن، اختلاف دمای تابشی تمام سطوح خارجی قابل‌مشاهده هدف را نسبت به پس‌زمینه در حد ۴c°± نگه می‌دارد. چون هر طرح سامانه که شامل ماده یا پوشش انتخابی برای مقابله با نشر حرارتی سطح هدف است، می‌بایست در دیگر باندهای طیفی مانند باندهای طیفی مرئی و فروسرخ نزدیک نیز علائم هدف را نسبت به زمینه کنترل نماید. برای توقف نشر می‌توان از موارد ذیل استفاده نمود [۴].

- لباس استتار چندطیفی سبک
- لباس استتار حرارتی دینامیک (در حال تحقیق و توسعه)
- استفاده از لایه فلزی منقطع با ضخامت میکرو در لباس
- استفاده از فویل‌های آلومینیومی
- پوشش‌های نانو تیوب کربنی (CNT)[2]
- استفاده از پوسته الکتروکرومیک (۳-۱۲ μm)

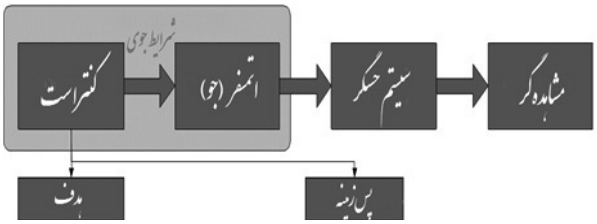
۲-۵- روش‌های ارزیابی کارایی استتار

یکی از اقدامات مهم قبل از اجرای عملیات استتار، داشتن ارزیابی درست از نحوه عملکرد و میزان تأثیر عملیات استتار در برابر سامانه‌های مختلف سنجش‌ازدور، به‌خصوص تصویربرداری حرارتی است. این فرآیند می‌تواند قبل از اجرای 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. در واقع با توجه به توانایی بالای آشکارسازی سیستم‌های تصویربرداری حرارتی امروزی، باید به دنبال روش‌های استتاری کارآمد بود تا بتوان پدیده‌ها، تجهیزات و افراد نظامی را مخفی کرد که این مسئله نیازمند شناخت کامل انواع روش‌های استتاری و آشنایی با میزان عملکرد آن‌ها در ایجاد اخلال در سامانه‌های تصویربرداری حرارتی است. شکل (۲) تصویری از مجموع موارد تأثیرگذار بر شناسایی و استتار را نشان می‌دهد. سنجش و میزان اندازه‌گیری نهایی مربوط به ارزیابی کارایی استتار، برای یک مشاهده‌گر که بخواهد یک هدف

1– Minimum Resolvable Temperature

2– Carbon Nano Tubes

را در یک سناریوی واقعی شناسایی کرده و تشخیص بدهد، بسیار دشوار و پیچیده است. این زنجیره شامل کنتراست بین هدف و پس‌زمینه، شرایط جوی، سیستم حسگر و در نهایت مشاهده گر است [۶].



شکل ۲- عناصر مربوط به ارزیابی استتار [۶]

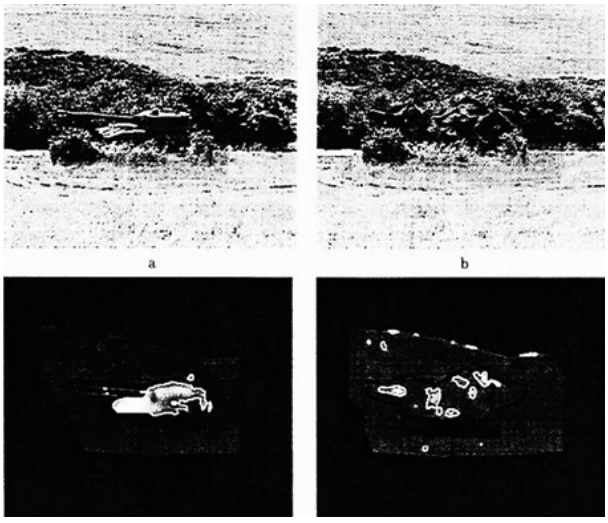
ارزیابی پوشش‌های استتاری را می‌توان به دو حالت ارزیابی بصری(دیداری) که وابسته به ناظر است و ارزیابی به روش پردازش تصویر (ATR) انجام داد. هر کدام از این حالت‌ها دارای معایب و مزایایی است. در ارزیابی بصری، عواملی چون خستگی ناظر، تیزهوشی ناظر، سطح تجربه، میزان آموزش فراگرفته‌شده توسط ناظر و تعداد ناظرین می‌تواند تأثیرگذار باشد و در ارزیابیATR ، تجزیه‌وتحلیل به‌صورت خودکار توسط سیستم رایانه انجام می‌پذیرد و از سرعت عملکرد بالاتری برخوردار است. با این وجود، هوش انسان بهتر از یک ماشین عمل می‌کند که در بعضی مواقع انسان می‌تواند شناسایی‌هایی را انجام دهد که رایانه قادر به انجام آن نخواهد بود [۵].

۳- روش‌های ارزیابی تشخیص خودکار هدف

۳-۱- روش تعیین نقاط داغ

هر جسمی متناسب با مواد و بافتی که دارد تحت تأثیر شرایط جوی و نوع عملکردش نسبت به پس‌زمینه قرار داشته و تغییرات دمایی خواهد داشت که البته این تغییرات دمایی در سطح جسم هم وجود دارد. در روش تعیین نقاط داغ[1]، در ابتدا نقاط داغ تصویر از طریق اعمال یک حد آستانه به مقادیر دمای پیکسل‌های تصویر (شکل۳) به‌عنوان عارضه هدف شناسایی می‌شود. در مرحله دوم، انواع مختلف از ویژگی‌های تصویری (نظیر میانگین و انحراف معیار) محاسبه‌شده و با استفاده از منطق فازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا به‌عنوان یک معیار کمّی جهت توصیف میزان استتار عارضه بیان شوند. سامانه ICEAT[2] بر اساس این روش جهت ارزیابی استتار در تصاویر حرارتی ارائه شده است [۸].

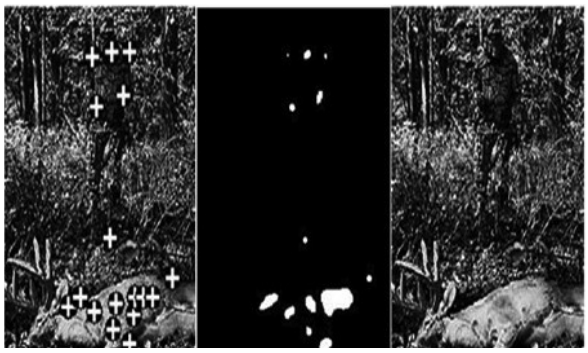
1– Hot Spot
2– Infrared Camouflage Effectiveness Assessment Tool



شکل۳- شناسایی نقاط داغ تصویر، خمپاره‌انداز با بوته‌هایی در پس‌زمینه [۸]

۳-۲- روش استخراج عارضه

در این روش، هدف مورد نظر از طریق اعمال الگوریتم‌ها و عملگرهای پردازش تصویری، خصوصیات فیزیکی و هندسی- عوارضش استخراج و کشف می‌شود. به‌عنوان مثال، تانکاس[3] و یشرن[4] از عملگر D_{arg} جهت استخراج عوارض محدب و مقعر موجود در تصویر حرارتی بهره برده و از آن‌ها به‌عنوان عوارض مستتر برای پردازش تصویر استفاده کرده‌اند. اپراتور D_{arg} در موقعیت‌های محدب و مقعر تصویر، پاسخ بیشینه و کمینه داشته و تغییرات به‌وجودآمده در تصاویر را ثبت می‌کند. در شکل (۴) نتیجه استفاده از این اپراتور برای تصویر یک شکارچی در یک منطقه جنگلی نشان داده شده است [۹].



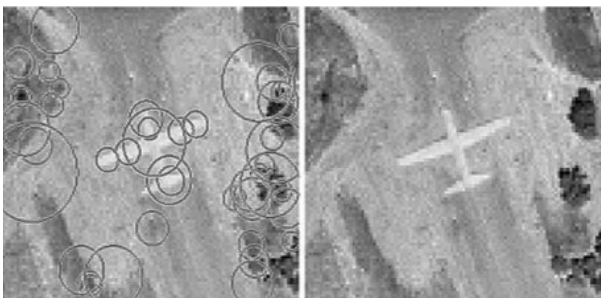
الف ب ج

شکل۴- عملکرد الگوریتم D_{arg} در ارزیابی استتار، الف) تصویر اصلی، ب) اعمال اپراتور D_{arg} بر روی تصویر اصلی، ج) عوارض مستخرج [۹]

3– Tankus
4– Yeshurun

۳-۳- روش تناظریابی الگویی

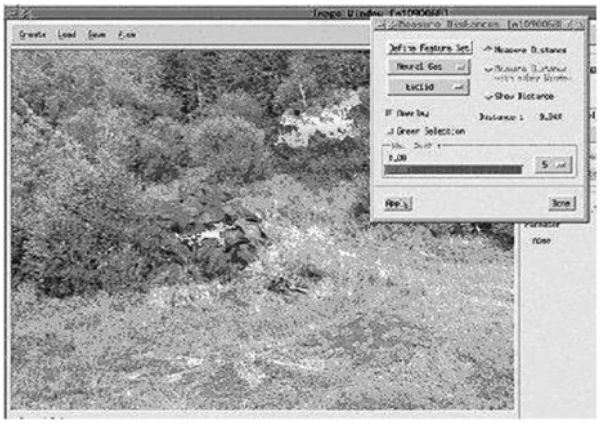
این روش، مناسب برای ارزیابی استتار در تصاویر حرارتی حاصل از سیستم‌های سنجش‌ازدور است. برای این منظور در این تحقیق دو روش کارآمد جهت ارزیابی میزان استتار عوارض هدف ارائه شده است. در روش اول، از تناظریابی الگویی جهت مقایسه یک عارضه هدف با پس‌زمینه خود و تعیین میزان تمایز آن ها، استفاده می‌شود. برای این منظور، عارضه هدف به‌عنوان یک الگو در نظر گرفته شده و با تمامی پیکسل‌های پس‌زمینه مقایسه شده و میزان تمایز آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس با بهره‌گیری از یک تابعی گوسی، میزان تمایز هدف با پس‌زمینه به‌صورت یک پارامتر کمّی توصیف می‌شود. در روش دوم، جهت تعیین میزان تمایز عارضه هدف و احتمال آشکارسازی آن، با استفاده از الگوریتم UR-SIFT[1] بررسی می‌شود. این الگوریتم جهت استخراج عوارض متمایز در تصاویر حرارتی سنجش‌ازدور ارائه شده است. اگر عارضه هدف در شکل (۵) به‌صورت یک عارضه متمایز در میان پس‌زمینه خود باشد، آنگاه توسط الگوریتم UR-SIFT قابل آشکارسازی خواهد بود. از این روش جهت تعیین میزان تمایز عارضه استفاده می‌شود. این سامانه نرم‌افزاری با عنوان CASoft این امکان را فراهم می‌کند که تمامی فرآیندهای ارزیابی شامل ورودی داده‌ها، مشاهده، بررسی و مقایسه آن‌ها، انتخاب پارامترهای توابع الگوریتم، و ذخیره‌سازی، در یک ساختار به‌طور کاملا مناسب و آسان میسر شده‌اند [۱۰].



شکل ۵- عوارض مستخرج با استفاده از الگوریتم UR-SIFT [۱۰]

۳-۴- روش MUSTAFA[2] (شبیه‌سازی تصاویر متحرک در باندهای مادون‌قرمز حرارتی)

این روش که به صورت یک نرم‌افزار درآمده است، بر اساس ارزیابی تصاویر ویدئویی حرارتی از اهداف مورد نظر می‌باشد. تصاویر ورودی این نرم‌افزار را می‌توان توسط انواع حسگرهای تصویربرداری حرارتی تأمین نمود. لازم به توضیح است که اصولاً برای ارزیابی کارآمدی استتار، تمایل وافری پیرامون فرآیندهای دینامیکی نسبت به استفاده از عکس فوری ثابت، وجود دارد. نرم‌افزار ارزیابی استتار LOAT[3] که اواخر سال ۱۹۹۹ معرفی شده است، در واقع یک نرم‌افزار پردازش ویدئویی بسیار سریع (شکل ۶) است که پیش از این در کنفرانس‌های سنجش هوایی ارائه شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. ارزیابی سکانس‌های ویدئویی صحنه‌های دینامیکی در این شیوه با اجرای پردازش تصویر فریم به فریم وقت‌گیر است [۱۱].



شکل ۶- نمونه‌ای از نرم‌افزار LOAT [۱۰]

سناریوی مورد استفاده در این روش (شکل ۷) با هدایت یک بالگرد به صورت تهاجمی به سمت اهداف نظامی استتارشده با مواد چند طیفی می‌باشد. سیستم LOAT فریم‌های کوچک ویدئویی جمع‌آوری‌شده به شیوه آنالیز ویدئویی که به منظور بررسی ویدئوهای MUSTAFA برای ارزیابی استتار حرارتی طراحی شده‌اند را مورد استفاده قرار می‌دهد.

شکل ۷- هدایت بالگرد به‌عنوان یکی از سکوهای حسگر [۱۱]

1– Uniform Robust Scale Invariant Feature Transform
2– Multispectral Camouflage-Analysis Considering Camouflaging Wings In Allentsteig
3– Low observables assessment tool

ارزیابی یک اثر استتار (با یک سیستم LOAT)، در یک فریم ثابت صورت می‌گیرد. در تصویر متحرک، به‌طورکلی قدرت تفکیک نسبتاً پایین است اما با وجود این دینامیک، اهداف را ثبت می‌کند. از این تصاویر حرارتی متحرک می‌توان در آزمایش‌های آموزش دیده‌بانی یا آموزش خدمه هوایی استفاده نمود. داده‌های تصویر متحرک نوع مذکور که توسط دوربین FLIR به‌دست آمده‌اند، باید ترجیحاً توسط ابزارهای فنی و نه ناظران انسانی آنالیز شوند.

۳-۵- روش استفاده از ویژگی‌های تصویری

در این روش، الگوهای مختلف استتار (مانند شکل ۸) با پس‌زمینه متفاوت به‌صورت دوبه‌دو توسط یک ناظر نظامی بررسی شده و تصویری که بهتر استتار شده است، انتخاب می‌شود. با توجه به محدودیت روش‌های مبتنی بر اپراتور انسانی و به دلیل سلیقه‌ای بودن آن‌ها، روش خودکار مبتنی بر کمیت‌های تصویری، مستقل از نظرات اپراتور انسانی، یک مسئله اساسی و مهم است. تحقیقات مختلفی برای این منظور انجام پذیرفته و روش‌های متنوعی نیز ارائه‌شده است [۱۲].

شکل ۸. نمونه تصاویر استتار اعمال‌شده در هدف برای همپوشانی با پس‌زمینه [۱۲]

استفاده از ویژگی‌های تصویری[1] جهت مقایسه عارضه هدف و پس‌زمینه، روش معمولی برای ارزیابی استتار است. به‌عنوان مثال، سامانه CAMEVA[2] جهت ارزیابی استتار با استفاده از تعیین احتمال آشکارسازی یک عارضه هدف ارائه شده است. در این روش، ناحیه مربوط به عارضه هدف و پس‌زمینه، به‌وسیله کاربر و با انتخاب دستی تعیین شده و میزان آشکارسازی عارضه هدف به‌صورت تابعی از ابعاد آن برآورد می‌شود. برآورد میزان آشکارسازی بر مبنای ویژگی‌های تصویری، شامل لبه‌ها و کنتراست بوده و جهت تعیین تمایز هدف و زمینه نیز از فاصله باتاچاریا[3] استفاده می‌شود[۱۲].

1– Image Features
2– Camouflage Evaluation
3– Bhattacharyaa Distance

۴- روش‌های ارزیابی بصری

۴-۱- فاکتورهای تأثیرگذار در آشکارسازی

برای دستیابی به قابلیت‌های آشکارسازی نسبی در عملیات استتاری مختلف، شرایط مختلفی مانند نوع پس‌زمینه‌ها، تعداد ناظران، چه موقع از روز، قابلیت دید و غیره در بین آزمایش‌ها آشکارسازی وجود دارند که در نتایج آزمایش هم تأثیر می‌گذارند. صرف‌نظر از تعداد شرایط مختلف انتخاب‌شده برای استفاده در آزمایش‌ها، در هر عملیات استتاری که ارزیابی انجام می‌شود، بایستی مجموعه شرایط مشابهی به کار گرفته شود. فاکتورهای تأثیرگذار در آشکارسازی هدف عبارتند از [۶] :

- **مربوط به هدف:** نوع، ثابت یا متحرک بودن هدف، اندازه هدف، شکل هدف، کنتراست دما، سایه، استفاده از روش های استتاری، پوشش و ....
- **مربوط به محیط:** قابلیت دید (مه، باران، رطوبت و ....)، چه موقع از سال، زمان روز (زاویه خورشید)، سطح روشنایی، منطقه جغرافیایی (کوهستانی، جنگلی، بیابانی، ...) و ...
- **مربوط به سکوی سنجنده:** ارتفاع و فاصله سنجنده تا هدف
- **مربوط به سنجنده:** نوع سنجنده، زاویه میدان دید، قدرت تفکیک، برد، حساسیت، رنج دینامیک (بیت)و ...
- **مربوط به ناظر:** سطح آموزش، انگیزه، تجربه، استرس، تیزی دید، الگوی جستجو، سن، خستگی، و....

برای دستیابی به حساسیت آماری خوب در یک آزمایش تشخیص که هدف اولیه در ارزیابی استتار است، حداقل ۱۵ تا ۲۰ ناظر مورد نیاز است. درصورتی‌که هدف از آزمایش، تشخیص یا شناسایی است؛ البته بسته به دشواری مأموریت، تعداد زیادی ناظر برای ارزیابی مورد نیاز است. روش ارزیابی بصری را می‌توان به دو روش میدانی (به صورت واقعی) و آزمایشگاهی اجرا نمود. در انجام روش میدانی، پارامترهای زیر را در اجرای تست‌ها باید در نظر داشت:

آزمایش واقعی جنگی: بیشتر سنجش‌های واقعی بر روی کارایی سیستم استتار، در آزمایش‌های واقعی مانند میدان جنگ به‌دست آمده‌اند که واحدهای زمینی و هوایی به‌طور واقعی کار می‌کنند. این روش، به واقعیت نزدیک خواهد بود و بیانگر این است که شناسایی

و کشف هدف تا چه حد مشکل است و این روش برای خود واحد آزمایش‌کننده هم بسیار مفید است تا به‌عنوان پایه ای برای آزمایش‌ها بعدی و تنظیم استراتژی‌های جنگی مورد پردازش قرار بگیرد.

محدوده شناسایی: از لحاظ علمی، برجسته‌ترین پارامتر در ارزیابی کارایی استتار، محدوده شناسایی است.

در این نوع آزمایش‌ها، محدوده شناسایی مورد سنجش به تعدادی از پارامترها مانند شرایط جوی فعلی، موقعیت استقرار و تابش خورشید، قدرت دید، نوع سیستم حسگر و سکوی مورد استفاده بستگی دارد و تنها به سطح تجربه و آموزش مشاهده‌گر بستگی ندارد. با افزایش تعداد ناظران، خطای ناظران کاهش می‌یابد اما آزمایش‌ها نشان می‌دهند که انتخاب پس‌زمینه مناسب برای هدف‌ها، در نهایت نقش مهمی را در شناسایی ایفا می‌کند [۶].

اختلاف دما: اختلاف دما بین هدف و پس‌زمینه، ΔT پارامتر مهمی برای شناسایی محسوب می‌شود. با استفاده از ΔT به‌عنوان پارامتر سنجش میزان آشکارسازی استتار، بسیاری از موارد نامشخص مربوط به محاسبه محدوده شناسایی در نظر گرفته نمی‌شوند؛ زیرا چندان ضروری نیست که تأثیرات ناشی از انتشار اتمسفری، سیستم حسگر و ناظر در محاسبه در نظر گرفته شوند. اما همچنین اختلاف دما به شرایط جوی بستگی دارد و برای دست‌یابی به داده‌های قوی آماری، اختلاف دما برای موقعیت های گوناگون جوی، مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. در عمل، این کار از طریق انجام آزمایش‌های طولانی‌مدت به‌دست می‌آید.

همچنین در انجام روش آزمایشگاهی، پارامترهای زیر را در اجرای تست‌ها باید در نظر داشت[۶]:

اتاقک هواشناسی: برای شبیه‌سازی شرایط جوی واقعی محیط بیرونی، از اتاقک هواشناسی یا محیط کنترل‌شده آزمایشگاه به لحاظ جوی استفاده می‌شود. عنصر کلیدی در آزمایشگاه هواشناسی، شبیه‌سازی آسمان ابری با دمای متغیر است. توانایی برای مشابه‌سازی تابش در خصوص شدت تابش و ویژگی‌های طیف نوری، حائز اهمیت است. به‌علاوه پارامترهایی مانند دمای هوا، رطوبت و سرعت باید قابل کنترل باشند [۶].

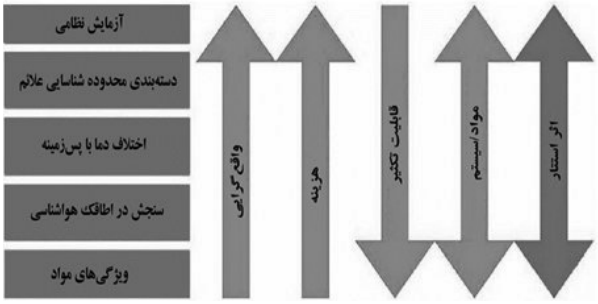
پارامترهای مواد: هدف از استتار حرارتی، نزدیک کردن دمای سطح هدف با دمای پس‌زمینه است. در پس‌زمینه‌ای که پوشش گیاهی است، برای همه شرایط جوی، ماده استتار ترجیحاً باید دمایی مشابه پوشش گیاهی محیط اطراف داشته باشد. برای دستیابی به این مهم، برای تنظیم دما، ویژگی‌های ماده استتار به‌دقت انتخاب می‌شود. در انواع دیگر، شن و سنگ زمین احتمال بیشتری دارند که به‌عنوان پس‌زمینه انتخاب شوند باید مواد به‌کار رفته در ر استتار دارای دمایی مشابه با دمای عناصر پس‌زمینه‌اند. از آنجایی‌که سنگ و پوشش گیاهی، ویژگی‌های حرارتی بسیار متفاوتی دارند، ویژگی‌های حرارتی مواد استتار - بسته به نوع پس‌زمینه‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد، متفاوت است. در جدول (۱) فهرستی از مرتبط‌ترین ویژگی‌های مواد همراه با توضیحی مختصر ارائه‌شده است [۶].

جدول ۱- پارامترهای مواد مربوطه جهت مشخص کردن ویژگی‌های حرارتی یک ماده [۶]

عایق گرمایی:	توانایی برای منع کردن جریان گرمایی در کل یک ماده یا یک سطح.
ظرفیت گرمایی:	مقدار گرمای مورد نیاز برای تغییر دمای سطح یا ماده.
موج- کوتاه ضریب انعکاس/ جذب:	تابع پرتو خورشیدی جذب شده/ منعکس شده. انرژی جذب شده مربوط به گرمایش سطح.
پارامترهای انتقال گرمایی آزاد و اعمال شده:	مقدار گرمای مبادله شده با هوای محیط اطراف.
قدرت انتشار حرارتی:	توانایی نسبی یک سطح به انرژی تابیده شده در مقایسه با سطح سیاه رنگ ایده‌ال تحت شرایط مشابه. قدرت انتشار مربوط به ضریب انعکاس حرارتی است مانند اینکه سطح با قدرت انتشار پایین دارای قدرت انعکاسی بالا است. سطح با قدرت انتشار پایین مانند این‌که برای تابش حرارتی عمل می‌کند. برای یک سطح مات، قدرت انتشار برابر ضریب جذب حرارتی است.

شبیه‌سازی‌ها: دمای سطح از طریق فعل و انفعالات، فرایندهای انتقال گرما، ویژگی‌های سطح و ماده (مواد) دربرگیرنده، تعیین می‌شود. بنابراین، دمای سطح را می‌توان محاسبه کرد، اگر همه منابع گرمایی و ویژگی‌های حرارتی مواد مشخص باشند. برخی از ابزارهای شبیه‌سازی مشخصه حرارتی وسایل نقلیه و محدوده زمین عبارتند از: RadTherm/MuSES و NTCS/ShipIR که این ابزارها همچنین مشخصه گرمایی داخلی مانند موتورها را هم شبیه‌سازی می‌کنند و بسیار پیچیده‌اند. اگر نمونه شیء موردنظر (مدل ۳بعدی، پارامترهای ماده و غیره) به‌قدر کافی دقیق باشند، تصویر حرارتی عکس واقعی تولید می‌کنند [۶].

در روش‌های ارزیابی استتار، هر روشی مزایا و معایبی دارد. این روش‌ها را می‌توان مطابق با معیاری مانند نزدیک بودن به واقعیت، صرف هزینه بالا یا قابلیت تکثیر نتایج و استناد به آن ها دسته‌بندی کرد شکل (۹). در روش‌های آزمایشگاهی، در گام اول، خواص مواد مختلف در مقیاس آزمایشگاهی تست می‌شود. این تست‌ها دربرگیرنده مقیاس‌های تضعیف انرژی مادون‌قرمز حرارتی مواد استتاری و فاکتور قابلیت انتشار حرارتی در باند منتخب (۳ تا ۵ یا ۸ تا ۱۲ میکرومتر) می‌باشند. با توجه به مقیاس تضعیف، از یک حسگر مادون‌قرمز کالیبره برای مشخص کردن الگوهای تشعشع شیء (هدف) در باند منتخب استفاده می‌شود. ماتریس مربوط به الگوهای تابشی هدف، قبل و بعد از اعمال استتار تهیه می‌شود. با مقایسه این الگوها، قبل و بعد از کاربرد استتار (به‌عنوان نمونه، یک تله استتاری) می‌توان به مقیاس مشخصی از این تضعیف دست یافت. از آنجایی‌که تضعیف کاملاً به کنتراست بین هدف استتارشده و زمینه‌اش و احتمال آشکارسازی از طریق تقویت هدف در تصویر حرارتی بستگی دارد، لذا نتیجه این مقیاس، اهمیت زیادی دارد. شکل (۹) برخی از روش‌های ارزیابی استتار را نشان می‌دهد که مطابق با معیارهای مختلف دسته‌بندی شده‌اند. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، انتخاب روش مناسب متأثر از روابط بین پارامترهای هزینه، واقع‌گرایی، قابلیت تکثیر، و مواد (سیستم) است. برقراری تعادل این پارامترها با توجه به همبستگی آنها با کارایی استتار، اصولاً کاری بسیار دشوار است [۶].



شکل۹-روش‌های ارزیابی استتار که مطابق با معیارهای مختلف دسته‌بندی شده است [۶]

۴-۲- روش ارزیابی بصری ارائه‌شده توسط RTO

به منظور اعمال مؤثر استتار، باید از طریق روش‌های مناسب استتار توسعه یابد. با این حال، هنوز هم ارزیابی اثربخشی استتار، کاری بس دشوار است. پارامترهای ارزیابی و تشخیص مدل باید سیستماتیک و منطقی باشد. به طور سنتی، روش ارزیابی استتار توسط ناظران نظامی با حضور در میدان برای ارزیابی عملکرد استتار، روشی گران، وقت‌گیر و پیچیده است و شرایط تجربی کار به سختی قابل کنترل است. به منظور ارائه یک روش جدید برای بهبود بخشیدن به عینیت و اعتبار ارزیابی استتار، روش شبیه‌سازی عکس توسط سازمان تحقیقات و فناوری ناتو (RTO) ارائه شده است [۱۷] . در واقع، هدف از ارائه این روش، دستورالعملی برای جمع‌آوری و آنالیز داده‌های در راستای ارزیابی کارآمدی استتار با استفاده از شبیه‌سازی عکس در طیف مرئی و حرارتی است. اساس این دستورالعمل‌ها بر تجربه گروه مأموریتی RTO ناتو موسوم به ارتقاء شیوه‌های ارزیابی استتاری است که نتایج مفیدی به همراه داشته است. در ادامه، به‌جای عنوان روش ارزیابی بصری کارایی استتار، عنوان روش RTO (شبیه‌سازی عکس) را به کار خواهیم برد. استفاده از ناظران نظامی در میدان، شیوه برگزیده ای برای ارزیابی کارآمدی اهداف استتارشده به‌شمار می‌آید. بااین‌حال، این شیوه وقت‌گیر، مستلزم کار زیاد و به لحاظ لجستیکی، دشوار و هزینه‌بردار است. لذا برای یافتن یک جایگزین منطقی، با استفاده از رهنمودهای مذکور، در اینجا رویکرد مناسبی جهت افزایش قابلیت اطمینان و تکرارپذیری آزمایش‌های دیداری مورد بحث قرار گرفته است. محتوای این دستورالعمل‌ها عبارت است از اطلاعات به‌هم‌پیوسته جمع‌آوری‌شده توسط (SCI[۴]-۰۹۵) که دربرگیرنده یک چارچوب برای کاربری در راستای ارزیابی است. این دستورالعمل‌ها بیانگر موقعیتی هستند که در آن، مقایسه‌ای بین عملیات استتاری مختلف در مقابل با تعیین یک برد دقیق را انجام می‌دهد. شیوه‌های آنالیز آماری ارائه‌شده، مجموعه کوچکی از آمارهای توصیفی هستند که نتایج قابل قبولی را به همراه دارند. شایان ذکر است، بر اساس یک آزمایش شبیه‌سازی عکس دیجیتال و مقایسه‌ای در سال ۲۰۰۴ توسط SCI-۰۹۵ و همین طور آزمایش‌های مشابه پیشین، به استفاده از این شیوه‌ها توصیه شده است که این آزمایش منجر به نتایج کشف هدف به کمک ناظران مختلف در طول آزمایش‌ها است. این دستورالعمل‌ها برای یک ارزیابی در راستای اعمال شرایطی خاص است که در این ارزیابی، کارآمدی یک سیستم استتاری مورد استفاده برای هدف در یک موقعیت تاکتیکی را مورد سنجش قرار می‌دهد. پارامترهای فنی متعددی وجود دارد که مشخصات فیزیکی یک ماده استتاری از قبیل مقادیر رنگ، جذب رادار و تشعشع را توصیف می کنند. در واقع، یافته (SCI-۰۱۲) کارگاه ناتو این بوده که در حال حاضر، ارزیابی به اصطلاح نفر در حلقه تنها (ارزیابی شخص در محیط پس‌زمینه)، شیوه‌ای کارآمد برای ارزیابی است. چنین ارزیابی‌ای با اِعمال بسیاری از فاکتورهای تأثیرگذار نظیر روشنایی، موقعیت و وقایع تصادفی بر آشکارسازی استتار، بسیار پیچیده می‌شود. برای کاهش اثر این فاکتورها، ارزیابی‌های استتاری ترجیحاً به شیوه

1– Research And Technology Organization

متناسب (یک یا چندین هدف استتاری در مقایسه با یک هدف مرجع استتارنشده) و در فواصل مختلف آشکارسازی برای این نوع از هدف، تحت همین شرایط انجام می‌شود. از این‌رو سنجش کارآمدی استتار توسط عده‌ای از ناظران، هم در میدان و هم با شبیه‌سازی تصویری در آزمایشگاه (تهیه تصاویر از آزمایش‌های میدانی و مشاهده توسط ناظر) انجام می‌شود [۱۳].

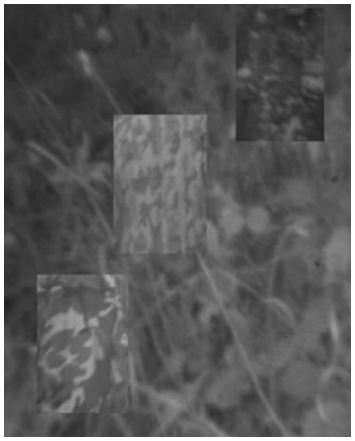
در سال ۲۰۰۸ RUBEŽIENĖ و همکارانش با استفاده از روش RTO، میزان انعکاس مطلوب در محدوده طیفی باند مرئی و مادون‌قرمز نزدیک برای الگوهای رنگی که در چاپ لباس استتاری جنگلی ارتش لیتوانی استفاده شده است را مورد ارزیابی قرار دادند. در روش ارائه‌شده، برای تعیین سطح بهره‌وری از مواد مختلف استتار جنگلی که در چاپ پارچه استفاده شده است، پارچه استتاری به‌طور گسترده برای استتار در فرم‌هایی مانند تورهای انعطاف‌پذیر و اقلام لباس استفاده می‌شود. در این تحقیق، برای رسیدن به بازتاب طیفی موردنیاز در NIR در محدوده رنگ خاص و جذب مناسب، مواد افزودنی را به خمیر چاپ اضافه می‌کنند تا الگوهای مختلفی به دست آید. الگوهای مختلف چاپ‌شده بر روی پارچه لباس استتاری که در شرایط مختلف در پس‌زمینه جنگلی استفاده می‌شود، عواملی چون زمان روز، فصل سال، شرایط آب و هوایی (خشک و روشن)، فاصله از هدف (۱۰متر، ۳۰ متر و ...) در مورد هر عکس مدنظر قرار می‌گیرد و سپس با دوربین‌های مربوط به محدوده طیفی مرئی و مادون‌قرمز نزدیک، تصاویری از پارچه تهیه می‌گردد.

پس از شبیه‌سازی بر روی تصاویر، عکس‌ها توسط ناظران مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. شکل‌های (۱۰ و ۱۱) تصاویری از الگوی پارچه استتاری استفاده‌شده برای ارزیابی در محدوده مرئی و مادون‌قرمز نزدیک نمایش داده شده است [۱۴].

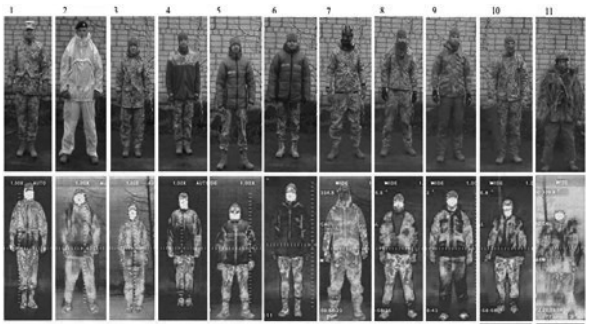
بر اساس روش RTO، در سال ۲۰۱۲ Sitvjenkins و همکارانش پژوهشی را در زمینه ارزیابی کیفیت حفاظت استتاری حرارتی در رابطه با سیستم حفاظتی پرسنل نظامی (CIPS[1]) کشور لیتوانی انجام دادند. در این تحقیق، یازده ترکیب در فواصل مختلف ۳۰ متر، ۱۳۰ متر، ۲۷۶ متر و ۴۲۶ متر در رابطه با لباس نظامی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

این ارزیابی در فضای باز یک اردوگاه آموزش نظامی با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی بارانی، ابری، برفی و مرطوب با درجه حرارت ۲+ تا ۴+ درجه سانتی‌گراد و وزش باد شمالی انجام شده است [۱۶]. در این روش، از یک پوشش جداگانه که به صورت یک زیرپوش و زیرشلواری است برای ارزیابی یازده ترکیب لباس های نظامی با فرم‌های مختلف (شکل ۱۲) استفاده شده است، به‌طوری‌که زیرپوش و زیرشلوار در هر مرحله به صورت لایه ای با ضخامت‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۱۰- ارزیابی کارایی استتار با استفاده از مدل عکس در محدوده طیفی مرئی [۱۴]



شکل ۱۱- ارزیابی کارایی استتار با استفاده از مدل عکس در محدوده طیفی حرارتی [۱۴]



شکل ۱۲- یازده ترکیب CIPS (تصاویر مرئی و مادون‌قرمز حرارتی) [۱۶]

1– Combat Individual Protection System

۴-۲-۱- طراحی آزمایش میدانی

مراحل انجام این آزمایش برای تمام پس‌زمینه‌ها، یکسان در نظر گرفته شده است. در انتخاب پس‌زمینه‌ها باید مراقبت بیشتری صورت گیرد و تعداد آن‌ها نیز باید بیش از یک موقعیت احتمالی برای تعیین هدف باشد. پس‌زمینه باید به بخش‌های فرعی تقسیم شود. توصیه می‌شود که هم منطقه پس‌زمینه و هم بخش‌های موجود در آن، توسط ناظران مشاهده و اطلاعات مربوط به آن در اختیار ناظران قرار گیرد. شیوه جایگزین در اینجا، استفاده از عکس منطقه آزمایش (منطقه پس‌زمینه) و نمایش دادن به ناظران است. هر آزمایش فرعی (استقرار هدف در نقاط مختلف) بایستی مقابل یک پس‌زمینه و در یک روز انجام گیرد تا تغییرات محیطی (به‌عنوان مثال، در شرایط حداکثر روشنایی) به حداقل برسد. این کار به کمک طرح گزینش تصادفی انجام می‌گیرد. کلیه اهداف در مقابل تمام بخش‌های پس‌زمینه انتخابی در آزمایش نمایش داده می‌شوند. کلیه اهداف مورد استفاده در آزمایش باید از یک نوع باشند. به‌عنوان مثال، اگر از تورهای استتار استفاده می‌شود بایستی این تورها همیشه به یک شیوه مستقر شوند. برای جلوگیری از انعکاس احتمالی نور بایستی پنجره‌ها و سایر سطوح منعکس‌کننده اهداف با یک کدرکننده یا یک ماده تیره پوشانده شوند [۱۳].

نکته مهم این است که آزمایش میدانی، بدون تأخیر و باحوصله انجام گیرد. برای اطمینان از این مسئله، توصیه می‌شود که قبل از آزمایش واقعی، یک پیش‌آزمایش انجام گیرد. کلیه فعالیت‌های مربوط به این آزمایش میدانی بایستی در طول پیش‌آزمایش تست شوند. یک آزمایش فرعی هم برای پیش‌آزمایش در نظر گرفته می‌شود و تعدادی ناظر که در آزمایش واقعی شرکت دارند، مشاهدات را انجام می‌دهند.

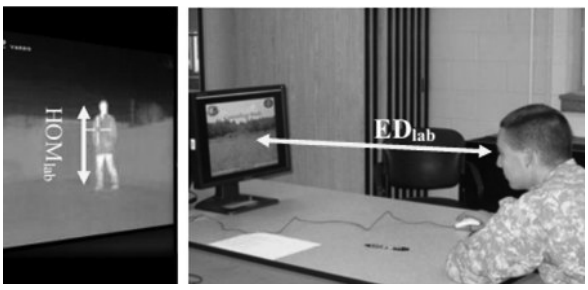
۴-۲-۲- مشاهدات میدانی (تصویربرداری)

طراح آزمایش باید به‌گونه‌ای عمل کند که ارتباط زیادی بین موقعیت ویژه پس‌زمینه انتخابی که در آن ارزیابی انجام می‌شود، با هدف موردنظر وجود داشته باشد. انتخاب فاصله‌بندی در عکس‌ها، از دورترین برد که قابل تشخیص نباشد تا نزدیک‌ترین برد - بسته به هدف مورد آزمایش - قابل تشخیص، شناسایی و تعیین موقعیت باشد. لازم نیست که فاصله‌گذاری بین تصاویر منظم باشد؛ بهتر است تعداد تصاویری که گرفته می‌شود، زیاد باشد. می توان تصاویری که از اهداف با اندازه یک وسیله نقلیه در آزمایش‌های آشکارسازی گرفته می‌شود، ۱۶ تا ۲۰ تصویر در مجموعه داده‌ها با فاصله ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر در بردهای بلند و ۱۰۰ متر در بردهای نزدیک باشد. در یک آزمایش اولیه، عکس ها از اهداف و پس‌زمینه‌های آن‌ها گرفته می‌شود. به‌منظور گرفتن تصویر با کیفیت بالا، علاوه‌بر وجود قابلیت دید جوی کافی، بایستی به لحاظ ارتفاع هم تسلط کامل وجود داشته باشد. به خاطر داشته باشید که میدان موردنظر باید در وسط تصویر قرار گیرد اما لازم نیست که هدف در وسط تصویر قرار گیرد. همچنین، باید مراقب بود که تصویر زیادی از آسمان داخل عکس نیفتد، چرا که بر کیفیت عکس تأثیر می‌گذارد. عکس‌برداری حتی‌الامکان در بهترین شرایط آب و هوایی انجام گیرد.

۴-۲-۳- نحوه ارزیابی بصری

ارزیابی تصاویر توسط ناظران در یک محیط آزمایشگاهی شبیه‌سازی تصویر انجام می‌شود. اسلایدها (تصاویر آنالوگ) هدف و پیرامون آن در معرض دید گروه‌های ناظر قرار می‌گیرد و مشاهدات آن‌ها اساس ارزیابی را تشکیل می‌دهد. این شیوه تا حدی در زیر سقف انجام می‌شود. آنچه در طول یک آزمایش میدانی رخ می‌دهد این است که به‌جای 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 تابه‌حال تولید مجدد برد آشکارسازی یک آزمایش میدانی از یک آزمایش شبیه‌سازی تصویر مشابه ممکن نشده است. بااین‌حال، شبیه‌سازی تصویر همچنان شیوه خوبی برای رتبه‌بندی سنجش‌های استتاری است. 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 باشد که بر نمای تصویر صفحه تأثیر نگذارد. یک صندلی برای ناظر در نقطه محاسبه‌شده روبروی صفحه نمایشگر قرار می‌گیرد و جایگاه آن در طول شبیه‌سازی تصویر متغیر است [۱۳].

در شکل (۱۲)، 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 ۱۲. محاسبه فاصله چشم ناظر تا مانیتور و محاسبه اندازه هدف [۱۵]

فاصله چشم ناظر تا صفحه نمایشگر (ED_{lab}) از معادله (۵) محاسبه می‌گردد [۱۵]:

$$ED_{lab} = (R_{field} \times HOM_{lab}) / AH_{field} \quad (۵)$$

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

R_{field} = فاصله استفاده‌شده در میدان

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

AH_{field}= ارتفاع واقعی هدف در میدان

پس از استقرار ناظر، تصاویر نمایش داده می‌شود و دو نفر ثبت‌کننده داده‌ها، در پشت سر و کنار صندلی ناظر قرار دارند. ثبت‌کنندگان داده‌ها باید به‌گونه‌ای قرار گیرند که به‌راحتی قادر به شنود هرگونه صحبت از جانب ناظر باشند و موقعیت‌های مشخص‌شده هدف توسط ناظر را ببینند. استفاده از دو ثبت‌کننده داده موجب می‌شود که نتایج معتبر و مورد تأیید باشند و آزمایش دقیق و کاملی انجام گیرد.

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 چاپ‌شده شرح داده شود؛ به‌طوری‌که به همه گروه‌های ناظران دقیقاً یک اطلاعات زمینه‌ای داده شود. در واقع، ناظران باید نظامی باشند و آموزش 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 مورد نیاز 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 مربوط به هدف آغاز می‌شود. هم‌زمان با نشان دادن تصاویر به ناظر، ثبت‌کننده‌های داده‌ها نظریات ناظر را دریافت و شماره تصویر را که در آن هدف، کشف، شناسایی یا تشخیص داده شده یادداشت می‌کنند.

در منطقه آزمایشی موردنظر، چند سری از تصاویر تهیه شده، در معرض دید ناظر قرار داده می‌شود. اولین سری از تصویر، تصویر زمین (پس‌زمینه) است و سری‌های بعدی بسیار متفاوت از مجموعه اول تصاویر مشاهده‌شده خواهد بود، اما وظیفه ناظر فرقی نمی‌کند. وظیفه ناظر، کشف شخص نظامی و نشان دادن مکان استقرار آن است. تصاویر دارای بیشترین برد مربوط به هدف، به‌صورت پی‌درپی در معرض دید ناظر قرار می‌گیرند و برد تصاویر به طور متوالی کاهش می‌یابد. در برد (مسافت) مربوط به تصاویر، مدت‌زمانی که ناظر موقعیت هدف را نشان داد، به‌عنوان زمان آشکارسازی ثبت می‌شود. پس از بررسی سری‌های تصاویر آزمایشی، به ناظر اطلاع داده می‌شود که کار آن‌ها در آزمایش به اتمام رسیده است. سپس از ناظر تشکر به‌عمل‌آمده و به وی یادآوری می‌شود که پیرامون آزمایش با کسی سخن نگوید [۱۳].

اگر نیاز به مقایسه قابلیت آشکارسازی کلی دو یا چند فرم استتاری باشد، داده‌های آشکارسازی باید به شیوه فاصله‌گذاری یکنواخت تطبیق شوند. به‌منظور اجرای این شیوه، تعداد نمونه‌های داده‌ای قابل اجرا در هر مقدار برد مشخص می‌شود و سپس این آشکارسازی‌ها در بردهای مشخص‌شده انجام می‌پذیرد.

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 استتارشده در منطقه موردنظر تهیه گردیده و سپس این تصاویر برای ارزیابی در معرض دید ناظران نمایش داده می‌شود.

مزایای روش شبیه‌سازی تصویری در مقایسه با آزمایش‌های ناظر در میدان این است که با صرف هزینه و زمان کمتری می‌توان یک پایگاه داده‌ای آماری بزرگی را تشکیل داد. این داده‌ها قابلیت تکثیر در سطح وسیع را داشته و در تحقیقات و آزمایشات می‌توان به عنوان یک مرجع و الگو به آن استناد نمود.

تصاویر میدانی متعددی را می‌توان با استفاده از دوربین‌های حرارتی مختلف با ویژگی‌های (قدرت تفکیک، زاویه دید، و ...) از

هدف تهیه نمود که در این تصویربرداری انواع الگوهای استتاری و پوشش‌ها، در حالت ثابت یا متحرک و اندازه‌های مختلف و .... تحت مجموعه‌ای از شرایط محیطی (ساحلی، جنگلی، بیابانی، کویری و...) در شرایط زمانی (روز و شب) و جوی (سرما، گرما، بارانی، مه، باد و ...) لحاظ نمود.

این امکان وجود دارد که تصاویر تهیه‌شده در میدان بدون آنکه ناظر حضور داشته باشد در محیط آزمایشگاهی توسط تعداد زیادی از ناظران به لحاظ (سن، تجربه، انگیزه، تیزهوشی، سطح آموزش و ...) به معرض نمایش در آمده و مورد ارزیابی قرار گیرد. این نکته قابل ذکر است که تصویر یک آزمایش میدانی با فاکتورهای خاص که در گذشته ثبت شده است توسط ناظران در دوره زمانی متفاوت قابل مشاهده و ارزیابی قرار گیرد و نیازی به آن نباشد تا فرآیند تصویربرداری با صرف هزینه و وقت مجدد تکرار شود.

۶- منابع

۱. خزایی، صفا؛ همایونی، سعید؛ صفری، عبدالرضا؛ تصویربرداری فراطیفی و ملاحظات « آفا» در برابر تهدیدات آن، مجله علمی-پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، سال اول، شماره ۲، (۱۳۸۹).

۲. خزائی، صفا؛ مبانی سنجش از دور با نگرشی بر شناسایی و مراقبت، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، (**۱۳۸۸**).

۳. بروجردیان، پرویز؛ مقدمه‌ای بر استتار و فریب، دانشگاه صنعتی مالک اشتر ، تهران، (**۱۳۹۲**).

۴. قنبری، فیروز؛ استتار (روش‌ها، فناوری‌ها و مواد)، قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء(ص)، تهران، (**۱۳۸۹**).

۵. نیک‌زاد، فرهاد؛ خزایی، صفا؛ ارزیابی تجربی کارایی لباس استتاری کارکنان مرزبانی ناجا در مقابل آشکارسازی توسط دوربین تصویربرداری حرارتی، فصلنامه اندیشه آماد، شماره ۵۳، ص ۱۲۵-۱۰۱، (**۱۳۹۴**).

6. Olsen B ,.Methods for Evaluating Thermal Camouflage, Norwegian Defense Research Establishment, Belgium, 19-20, (**2004**).

7. O'Kane B. L., Gary P., Wilson D.L., Method for modeling detection of camouflaged targets, The ArmyPatent US7149652, (**2006**).

8. Beichel R., Ruppert G. S., Gretzmache F. M., Fuzzy Logic Approach for the Quantitative Assessment of Camouflage effectiveness in the Thermal Infrared Domain, In Proc. of Targets and Backgrounds VI: Characterization, Visualization, and the Detection Process, (**2000**).

9. Tankus A., Yeshurun Y., Convexity-Based Visual Camouflage Breaking, Computer Vision and Image Understanding, 82, 208-237(**2001**).

10. Sedaghat, A.; Mokhtarzade , M.; Ebadi, H. "Uniform Robust Scale-Invariant Feature Matching for Optical Remote Sensing Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing society, 4516-4527, (**2011**).

11. Gretzmacher M., Ruppert G., Wildon R., Cost-effective and promising approach for camouflage-assessment of MUSTAFA's targets in motion-imagery, In Proc. of Targets and Backgrounds IX: SPIE, Vol. 5075 (**2003**).

12. Birkemark, C. M., CAMEVA, a Methodology for Estimation of Target Detectability, Opt. Eng. 40, 1835-1843, (**2001**).

13. Peak J. E., Hepfinger L., Balma R.,Christopher G., Fleuriet J., Guidelines for Camouflage Assessment Using Observers, AG-SCI-095 (**2006**).

14. Rubežienė V., Padleckienė I., Baltušnikaitė S., Varnaitė S., Evaluation of Camouflage Effectiveness of Printed Fabrics in Visible and Near Infrared Radiation Spectral Ranges, MATERIALS SCIENCE, Vol. 14 (4) (**2008**).

15. Natick M. A., Photo simulation camouflage detectiontest, U.S. Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center, (**2009**)

16. I. Sitvjenkins, I. Abele, A. Vilumsone and H. Torbicka, "Camouflage Quality Evaluation of the Combat Individual Protection System in the Thermal Infrared Spectrum", Material Science. Textile and Clothing Technology, Vol.7, 97-106, (**2012**).

17. Joe. Chiuhsiang, Ch. Chi-Chan and Liu. Bor-Shong, "Developing and Evaluating a Target-Background Similarity Metric for Camouflage Detection", PLoS ONE, 9(2), (**2014**).

1.

Study on Visual and Field Methods of Performance Assessment of Thermal Camouflage Covers

F. Nikzad

S. Khazaei*

Abstract

Today, the use of thermal camouflage covers is an appropriate solution for reducing detection level of military personals by thermal cameras. Thus, assessment the performance of these covers has high importance in passive defense field. In this study, different methods for assessing the performance of camouflage uniforms are presented and investigated. Based on studies performed, this research suggests the visual assessment of camouflage performance by observers in laboratory as the proper method. In this method, some images of the camouflaged targets captured by thermal camera in the study area and then have been displayed for observers. The lack of limitation to perform tests, exploding data acquisition and saving the time and cost are the advantages of this method.

Key Words: *Thermal Camera, Performance Assessment, Thermal Camouflage Uniform.*

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