

## ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری، ابزاری برای واکاوی تهدیدهای

### عملیات شناسایی

احمد زوارتربتی<sup>۱</sup>، سجاد علیزاده خشت مسجدی<sup>۲</sup>

پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۲۲

دریافت مقاله: ۹۹/۰۱/۱۶

#### چکیده

امروزه با پیشرفت فناوری‌های سنجش‌ازدور، امکان دستیابی به تصاویر با توان تفکیک طیفی و مکانی مختلف ایجاد شده است. تفسیر عکس و استخراج اطلاعات از تصویر، به ابزاری توانمند برای شناسایی هدف تبدیل شده است. آنچه تاکنون در زمینه تحقیقات ارزیابی اثربخشی استتار انجام شده است، در قالب ارائه الگوریتم بهینه برای آشکارسازی هدف با استفاده از دسته‌ای تصاویر با مشخصات یکسان بوده و در هیچ‌یک، استراتژی خاص موضوع ارزیابی استتار ارائه نشده است. در این تحقیق، ضمن بررسی روش‌های ارزیابی استتار، تصاویر مختلف و ویژگی‌های شناسایی قابل‌استخراج از آن‌ها، از منظر موضوع ارزیابی استتار دسته‌بندی شدند و با بررسی پارامترهای مؤثر در ارزیابی استتار، چارچوبی برای پرداختن به موضوع ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری ارائه شد. تشریح مباحث این مقاله نشان داد که ارائه چارچوب پیشنهادی نه تنها می‌تواند ابعاد مختلف تحقیقات مرتبط با موضوع ارزیابی استتار را مشخص کند بلکه می‌تواند از اشتباهات احتمالی در تعریف موضوع تحقیقات آینده جلوگیری نماید.

**واژگان کلیدی:** ارزیابی استتار، چارچوب، ویژگی‌های شناسایی، معیارهای ارزیابی، تصاویر

سنجش‌ازدور.

۱ - دانشکده علوم و فنون فارابی، و نویسنده مسئول [Zavvarahmad@gmail.com](mailto:Zavvarahmad@gmail.com)

۲ - گروه مخابرات آجا، مرکز مطالعات راهبردی، [Sajjad.en2007@gmail.com](mailto:Sajjad.en2007@gmail.com)

## مقدمه

شناسایی، مأموریتی است برای کسب اطلاعات در مورد فعالیت‌ها، منابع، توانمندی‌ها و موقعیت دشمن. از جمله انواع مهم منابع اطلاعاتی که در مأموریت‌های شناسایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اطلاعاتی است که از طریق تفسیر و تجزیه و تحلیل تصاویر سنجنده‌های تصویربرداری به دست می‌آیند و توانایی درک سریع و کامل فضای فیزیکی و جغرافیایی صحنه را افزایش می‌دهد. اطلاعات تصویری حاصل از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، منبع اطلاعاتی بسیار مهمی برای کاربردهای نظامی و دفاعی هستند. برخی از این کاربردها عبارت‌اند از: هدف‌گیری تسلیحات هدایت‌شونده (بمب‌ها و موشک‌ها)، تحلیل محیطی و موقعیتی صحنه جنگ، ارزیابی خسارات جنگی و ... (صداقت و دهقانی، ۱۳۹۰: ۳۰۶-۲۹۵).

شناسایی هدف بر اساس نوع داده اولیه تهیه‌شده می‌تواند در سطوح مختلف انجام گیرد. سطح شناسایی انجام‌شده به عواملی از قبیل توان تفکیک مکانی، طیفی و رادیو متریک سنجنده‌ای که برای تصویربرداری استفاده شده است، و توان تفکیک زمانی تصاویر موجود بستگی دارد. هر چه داده اولیه کیفیت بهتری داشته باشد شناسایی هدف بهتر انجام می‌گیرد. مراجع مختلف، سطوح متفاوتی را برای استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای عنوان نموده‌اند (دهقانی، ۱۳۹۱: ۹۹). به‌عنوان مثال در استاندارد NIIRS<sup>1</sup> که مرجعی برای مفسران و کاربران و طراحان سیستم‌های سنجنش‌ازدور است، سطوح شناسایی به سه سطح زیر محدود شده‌اند:

- (۱) سطح آشکارسازی<sup>۲</sup>
- (۲) سطح تشخیص<sup>۳</sup>
- (۳) سطح شناسایی<sup>۴</sup>

---

1- National Imagery Interpretability Rating Scale (NIIRS)

2- Detection

3- Recognition

4- Identification

سطوح شناسایی بر اساس اطلاعات استخراجی از داده‌ی تهیه‌شده اولویت‌بندی می‌شوند به طوری که شناسایی سطح سه از سطوح دیگر کامل‌تر است. آشکارسازی هدف از جمله اصطلاحاتی است که مفسرین عکس‌های هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای در هنگام تفسیر داده‌ها از آن استفاده نموده و با مصادیق آن برخورد می‌نمایند. در سطح آشکارسازی، وجود یا عدم وجود هدف در یک تصویر یا صحنه، تعیین و محل هدف نیز مشخص می‌گردد؛ اما اطلاعات کامل‌تر مانند شکل، اندازه، رنگ و ... در دسترس نیست. لذا شناسایی دقیق‌تر نوع هدف و دسته‌بندی آن امکان‌پذیر نمی‌گردد. مثلاً اگر در یک تصویر، یک یا چند پیکسل، برخی ویژگی‌های هدف، مثل رنگ را داشته باشند، وجود هدف در یک ناحیه از تصویر به طور قطع مشخص می‌گردد اما به دلیل کم بودن تعداد این پیکسل‌ها نمی‌توان اطلاعات بیشتری از هدف را استخراج نمود و نوع هدف را تعیین کرد. در این حالت فقط هدف یا اهدافی آشکارسازی شده است. به عنوان مثالی روشن‌تر، در یک تصویر ماهواره‌ای از فرودگاه، یک نقطه کوچک که روشن‌تر از زمینه است، مبین وجود هدف در آن ناحیه از تصویر می‌باشد اما نمی‌توان مشخص کرد که این هدف خودرو، هواپیما، بالگرد یا چیز دیگری است.

سطح تشخیص، نسبت به آشکارسازی اهداف، در یک سطح بالاتری از درک و شناخت قرار می‌گیرد. در سطح تشخیص یا تمیز می‌توان مشخص نمود که دو هدف یا دو شیء، متعلق به دودسته یا دو کلاس مختلف هستند. به عنوان نمونه در یک تصویر ماهواره‌ای، یک ساختمان از یک خودرو قابل تمیز دادن است.

در سطح شناسایی، هر آنچه برای تشخیص هویت هدف لازم است باید از تصویر سنجش‌ازدور قابل استخراج باشد. کاملاً واضح است که این سطح از شناسایی نسبت به دو سطح دیگر در درجه بالاتری از فهم و شناخت قرار دارد. در استاندارد NIIRS، استخراج و توصیف صفات هدف از قبیل مساحت، کیفیت، طول، حجم، ارتفاع و ... در این سطح از شناسایی قرار می‌گیرد. تفکیک انواع مناطق مسکونی در سطح شهرها، تحلیل پادگان‌ها و اماکن نظامی، تحلیل اماکن دولتی و ... از جمله مثال‌های کاربردی در این سطح از شناسایی اهداف می‌باشند.

علاوه بر معیارهایی نظیر NIIRS که با توجه به مشخصات تصویر یعنی توان تفکیک مکانی و طیفی و ...، به صورت توصیفی، قابلیت تفسیرپذیری تصویر و سطح شناسایی و هدف و به تبع

آن سطح ارزیابی را مشخص می‌کنند، معیارهایی نظیر جانسون ارائه شده‌اند که به صورت کمی قابلیت تفسیرپذیری تصویر را مشخص کرده‌اند (Ross at all, 2016). جانسون حداقل اندازه پیکسل زمینی موردنیاز جهت مشاهده اهداف و اشیاء نظامی منفرد را با احتمال ۵۰ درصد در چهار سطح مشاهده که برای انسان قابل درک هستند، ارائه نمود. در مدل جستجوی آزمایشگاه دید در شب نیروی هوایی آمریکا که جهت تنظیم معیار جانسون مطرح گردید، ضرایبی به شرح جدول ۱ ارائه شده است (Kolb at all, 2016: 982019). در مقابل شناسایی (که زمینه‌ساز اقدامات آفندی است)، اقدامات پدافندی (اختفاء، فریب، استتار) قرار دارند که هدف اصلی آن‌ها، جلوگیری از کشف و شناسایی نیروها، تجهیزات، تأسیسات و فعالیت‌های خودی توسط نیروهای بیگانه می‌باشد. اختفاء، مخفی نمودن نفرات، تجهیزات و تأسیسات از دید سنجنده‌های شناسایی دشمن است. فریب یا طعمه‌گذاری، نیز قرار دادن اهداف نادرست یا شبیه‌سازی شده در محلی است که معمولاً محل اهداف واقعی است و می‌تواند توجه دشمن را از هدف حقیقی دور کند و احتمال سالم ماندن تجهیزات و نیروی انسانی را افزایش دهد. در استتار، هدف، یافتن روش‌هایی عمومی برای کاهش علائم و نشانه‌های اهداف است.

جدول ۱: ضرایب مدل جستجوی دید در شب.

سطح مشاهده	ضریب
آشکارسازی	۱.۵
توجیه	۳
تشخیص	۶
شناسایی	۱۲

مفهوم کلی استتار، همسان (هم‌رنگ و هم‌شکل و ...) کردن تأسیسات و تجهیزات با محیط اطراف است. شیوه‌های اصلی جلوگیری از کشف و شناسایی دارایی‌ها، به ترتیب اولویت، شامل آمیختگی اهداف با محیط پیرامون، پنهان‌سازی اهداف با استفاده از نقاشی‌ها و تورهای استتار و فریب به کمک تغییر علائم طیفی اهداف است (صدائق و دهقانی، ۱۳۹۰: ۳۰۶-۲۹۵).

بنابراین می‌توان گفت که استتار در یک تعریف عمومی می‌تواند معانی اختفاء و فریب را هم در بر گیرد.

در استتار هدف، بایستی یک اصول اولیه رعایت شود. این اصول اولیه عبارت‌اند از ۱- انتخاب محل، ۲- انضباط استتار و ۳- ساختمان استتار است (سوری، ۱۳۸۸). انتخاب محل یا موضع یابی، انتخاب بهترین و مطلوب‌ترین نقطه و محل استقرار است به طوری که پنهان و مخفی نمودن نیروی انسانی، وسایل و تجهیزات و فعالیت‌ها را به بهترین وجه امکان‌پذیر سازد. بنابراین اگر انتخاب محل به خوبی انجام شود، به کارگیری و استفاده از وسایل و ابزار مصنوعی جهت استتار و اختفا ضرورتی پیدا نمی‌کند یا این ضرورت به حداقل ممکن تقلیل خواهد یافت. انضباط استتار عبارت است از کارهایی که ظاهر طبیعی یک منطقه را تغییر داده یا موقعیت افراد و تجهیزات را بدون اینکه حتی دیده شوند برای دشمن آشکار می‌سازد. رعایت شدید و قاطع و دقیق انضباط استتار به صورت فردی و گروهی دومین اصل و شرط اساسی دستیابی به استتار و موفقیت در آن است. ارزیابی استتار، ابزار توانمندی است که در تقابل بین اقدامات آفندی و پدافندی نقش تعیین‌کننده دارد و به کمک آن می‌توان نقاط قوت و ضعف طرح‌های استتاری را در برابر عملیات شناسایی تعیین کرد. با ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری هم می‌توان بهترین طرح از بین طرح‌های موجود را انتخاب کرد و هم می‌توان به بهبود نقاط ضعف طرح‌های استتاری پرداخت.

برای پرداختن به موضوع ارزیابی استتار، نیاز است که راه مشخص شود و چارچوبی برای آن تعیین شود. در این مقاله، بعد از تشریح مباحث مرتبط با موضوع ارزیابی استتار، چارچوبی منطبق بر ادراک بصری، برای ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری ارائه شده است.

### مبانی نظری پژوهش

یکی از اقدامات مهم قبل از اجرای عملیات استتار، داشتن ارزیابی از نحوه‌ی عملکرد و میزان اثربخشی عملیات استتار در برابر سامانه‌های مختلف ماهواره‌ای می‌باشد. به طور کلی، روش‌های ارزیابی اثربخشی استتار به دودسته تقسیم می‌شوند (Zhang, 2016:38-44):

روش‌های ارزیابی فردی که معمولاً بر اساس مشاهدات دستی و اطلاعات آماری است و روش‌های ارزیابی هدفمند که از فن‌های تحلیل و استخراج ویژگی تصویر استفاده می‌کنند.

روش‌های ارزیابی فردی معمولاً احتمال تشخیص را برای نشان دادن عملکرد استتار در نظر می‌گیرند (Zhang, 2016:38-44; Guan at all, 2012:393-398). آنچه در مقالات به‌عنوان احتمال شناسایی هدف مطرح است عبارت است از درصدی از ناظران که با مشاهده تصویر، هدف موردنظر را شناسایی می‌کنند (Feng at all, 2015:169-175; Wheaton and Culpepper, 2015:96530U). در مشاهده تصویر، ناظر بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌های بالا به پایین<sup>۱</sup> و پایین به بالا<sup>۲</sup> تصمیم‌گیری می‌کند. نشانه‌های پایین به بالا بر اساس مشخصات یک صحنه دیداری (محرک محور) است. درحالی‌که نشانه‌های بالا به پایین (هدف محور) به‌وسیله پدیده‌های شناختی نظیر دانش، انتظارات، پاداش و اهداف جاری مشخص می‌شوند (Borji at all, 2013:185-207).

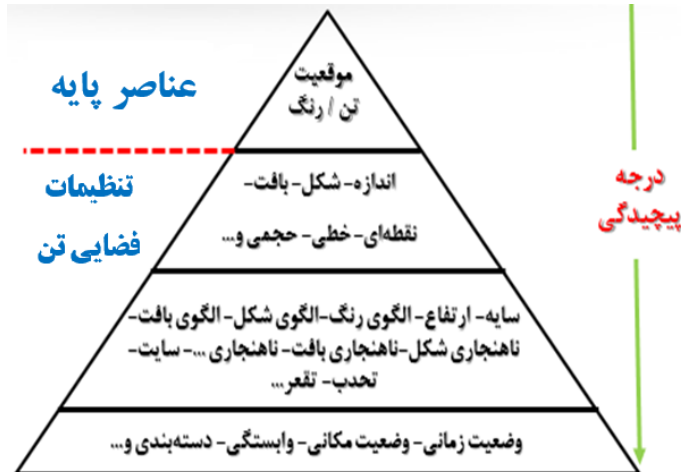
گرچه ارزیابی فردی با اصل بصری انسان منطبق است و تأثیر استتار واقعی را نشان می‌دهد، اما کار جمع‌آوری داده‌ها کار فشرده و وقت‌گیر است و ماهیت نتایج ارزیابی، فردی است، یعنی آن‌ها اغلب تحت تأثیر عواملی مانند محیط اطراف و ناظر فردی قرار می‌گیرند. اخیراً، روش‌های ارزیابی هدفمند با استفاده از فن‌های تجزیه و تحلیل ویژگی‌های تصویر تبدیل به روش اصلی ارزشیابی استتار شده است (Qin at all, 2016: 06013; Ratthi, 2017:172-176). عناصر شناسایی نظیر طیف، تن، رنگ، بافت، الگو و ... که همان ویژگی‌های قابل استخراج از تصویر هستند، بر اساس نوع تصویر مشخص می‌شوند. با توجه به محدودیت سنجنده‌ها مشخص است که برای داشتن توان تفکیک طیفی بالا بایستی توان تفکیک مکانی پایین‌تر را پذیرفت و بالعکس، تصویر با توان تفکیک مکانی بالا، توان تفکیک طیفی کمتر دارد. بررسی‌ها نشان داد که از تصاویر با توان طیفی مکانی بالا (تصاویر ابر طیفی)، بهتر است ویژگی‌های طیفی (ناهنجاری طیفی و انطباق طیفی) استخراج شوند و در تصاویر با توان مکانی بالا (نظیر تصاویر مرئی)، بهتر است به ویژگی‌های مکانی نظیر بافت پرداخت؛ و اما عناصر شناسایی را می‌توان بر اساس درجه پیچیدگی دسته‌بندی کرد. برخی عناصر شناسایی نظیر تن و رنگ به‌عنوان عناصر پایه مطرح هستند که مبنای شکل‌گیری عناصر پیچیده‌تر نظیر

---

1- top-down

2- Bottom-up

بافت و لبه و ... هستند. در شکل ۱، هرم درجه پیچیدگی برخی عناصر شناسایی نشان داده است.



شکل ۱: هرم درجه پیچیدگی عناصر شناسایی.

در روش‌های ارزیابی هدفمند، سعی بر این است که روشی منطبق بر ارزیابی فردی شبیه‌سازی شود؛ بنابراین یک روش سنجش دقت روش‌های ارائه شده، مقایسه نتایج ناشی از پیاده‌سازی رایانه‌ای با نتایج ارزیابی فردی است. در ارزیابی فردی، ادراک بصری، بر اساس مجموعه‌ای از نشانه‌های بالا به پایین و پایین به بالا، احتمال شناسایی هدف را مشخص می‌کند؛ بنابراین تنها با استفاده از اطلاعات به دست آمده از یک یا مجموعه محدودی از ویژگی‌ها نمی‌توان احتمال شناسایی هدف را پیش‌بینی کرد و نتایج را با آمار به دست آمده از آزمایش‌های ادراکی مقایسه کرد. در فرآیند شناسایی هدف، برای اکتساب درجه کمی از هشدارهای اشتباه، لازم است که تمام اطلاعات در دسترس نظیر ویژگی‌های مکانی، طیفی، پلاریمتریک و زمانی در نظر گرفته شوند. به تبع، در ارزیابی استتار نیز بایستی اثربخشی اقدامات کاهش علامت مبتنی بر هر ویژگی یا مجموعه‌ای از ویژگی‌ها مدنظر قرار گیرد. Woodruff تخمین زد که سه ویژگی مناسب بایستی برای مشخص کردن بافت‌های نرمال کافی باشد (Woodruff, 1986).

بنابراین یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی یک مدل ارزیابی هدفمند، انتخاب ویژگی‌هایی از تصویر است که دقیقاً مشخصات تصویر استتار را نشان می‌دهند. در مراجعی نظیر (Fukunaga, 2013)، برای پیدا کردن اهمیت هر ویژگی در شناسایی هدف از تحلیل تمایز خطی استفاده شده است. در صورتی که موقعیت مکانی ویژگی‌های هدف و پس‌زمینه در فضای ویژگی مشخص باشند، مشاهده این‌که محور هر ویژگی نسبت به خط تمایز (به صورت خطی) در چه جهتی قرار گرفته است آسان است. زاویه بین محورها و این خط با اهمیت ویژگی برابری می‌کند (Nyberg, 2007).

اگر بخواهیم مجموعه‌ای از طرح‌های استتاری را ارزیابی کنیم، یعنی به اعمال و اقداماتی که در جهت استتار صورت گرفته است بپردازیم، داده‌ای که یک سنجنده تک طیفی یا چند طیفی (نظیر تصاویر مرئی) در اختیار ما می‌گذارد می‌تواند راهگشا باشد. ولی اگر بخواهیم به اقلام استتاری نیز پی ببریم و کشف کنیم که چه موادی در ساختار یک هدف استتاری به کاررفته است، نیازمند در اختیار داشتن داده‌های ابر طیفی هستیم. نکته قابل توجه این‌که پردازش تصاویر ابر طیفی (که تعداد باندهای تصویری آن‌ها بیش از سه تصویر تک‌رنگ است) تنها توسط رایانه قابل انجام است و ناظر انسانی نمی‌تواند داده تصویر چندین باندهای را درک کند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استخراج ویژگی طیفی در ارزیابی فردی جایگاهی ندارد.

در زمینه ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری از منظر ویژگی طیفی، مطالب بسیار اندکی منتشر شده است. Basener و همکارانش با استفاده از یک روش کاشت هدف، یک پیش‌بینی کمی از دشواری هدف فراهم کردند (Nyberg, 2011: 80481H). آن‌ها امید ریاضی نمره آشکارساز روی یک پیکسل هدف با کسر پر ۲۵ درصدی برحسب انحراف معیار را برای پیش‌بینی کمی دشواری هدف بکار بردند؛ اما نتایج نشان داد که پیش‌بینی‌ها برای برخی اهداف متناقض است.

در مقالات چندین تلاش برای ارزیابی استتار انجام شده است که در آن‌ها از تصاویر با رزولوشن مکانی بالا استفاده شده است و ویژگی‌های مکانی نظیر بافت مدنظر قرار گرفته‌اند. در برخی از مقالات با استفاده از یک ویژگی، ارزیابی استتار انجام شده. به عنوان مثال Schoene و همکاران با مقایسه نقاط آشکار یک هدف استتاری با پس‌زمینه، عملکرد استتار را ارزیابی کردند (Schoene et al., 2010: 769718). آن‌ها در مطالعه خود فقط تک

ویژگی‌های ساده را در نظر گرفتند. ویژگی‌های تکی ممکن است دقت ضعیف در ارزیابی را به همراه داشته باشند. بر این اساس، محققان انواع مختلف روش‌های ارزیابی استتار را با استفاده از ترکیب خطی چندین ویژگی پیشنهاد کرده‌اند. به‌عنوان مثال، XU و همکاران که برای محاسبه شباهت رنگی بین هدف و پس‌زمینه از هیستوگرام‌های رنگ استفاده کرده‌اند، برای اندازه‌گیری شباهت بافت، یک ماتریس هم‌رخداد خاکستری و تبدیل موجک را مورد استفاده قرار داده‌اند (Ying and Yao, 2010:69-72). Song و همکاران، ویژگی‌های ساختاری مانند لبه‌ها، شدت متوسط و جهت‌گیری بافت را بررسی کرده‌اند (Song and Geng, 2010:1-4).

به‌تازگی، تشخیص برجستگی برای تعیین اینکه کدام مناطق توجه یک ناظر انسانی را جلب می‌کند، تبدیل به یک موضوع تحقیق داغ در زمینه بینایی کامپیوتر شده است. بسیاری از تحقیقات ثابت کرده‌اند که نقشه برجستگی یک منطقه استتار شده می‌تواند کیفیت اختفاء و عملکرد استتار را تا حدودی منعکس کند (Lin et al., 2009:155-159; Cui et al., 1993:1-5). در این تحقیقات، نقشه برجستگی بر اساس مشخصات یک صحنه دیداری (محرک محور) نظیر رنگ، شدت و جهت ایجاد شده است. در اینجا از ترکیب غیرخطی ویژگی‌ها برای انطباق با ادراک بصری استفاده شده است. ویژگی‌های مرتبط با پس‌زمینه به‌عنوان ویژگی‌های پایین به بالا مطرح هستند. برخی مقالات به‌روزرتر، علاوه بر ویژگی‌های پایین به بالا، ویژگی‌های درونی نظیر خط و لبه را نیز در نظر گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، Feng و همکاران، تلفیق نقشه برجستگی و ویژگی موزاییک را برای یک ارزیابی جامع عملکرد استتار دیجیتال مشخص انتخاب کردند (Xue et al., 2018:106-114). مرجع (Xue et al., 2016:4065-4082)، نیز با استفاده از تلفیق غیرخطی نقشه برجستگی (ویژگی‌های وابسته به پس‌زمینه) با ویژگی خط، چارچوب جدیدی را برای ارزیابی کمی طرح استتاری پیشنهاد داده است. ویژگی‌های درونی به‌عنوان ویژگی‌های بالا به پایین مطرح هستند. تلاش‌های تحقیقاتی که تاکنون در زمینه ارزیابی طرح‌های استتاری انجام شده‌اند، چند معضل دارند:

۱- بر اساس یک یا ترکیب تعداد محدودی ویژگی، به شناسایی هدف پرداخته شده است و نتایج پیاده‌سازی‌ها برای تعداد محدودی تصویر گلچین شده نشان داده شده است.

درحالی‌که ممکن است طرح استتاری موردنظر، از لحاظ برخی ویژگی‌های دیگر، خوب استتاری نشده باشد؛ بنابراین الگوریتم شناسایی ارائه شده، قابل‌تعمیم برای ارزیابی تمام طرح‌های استتاری در هر پس‌زمینه‌ای نیست. ضمن این‌که برای ارزیابی طرح‌های استتاری بر اساس ویژگی طیفی نیز هنوز روشی مناسب در مقالات ارائه نشده است.

۲- ارائه الگوریتم بهینه شناسایی هدف، محور اصلی مقالات بوده است و از نتایج برای اثبات بهینه بودن الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. تنها میزان تمایز هدف از پس‌زمینه اطراف را می‌توان از نتایج به‌دست‌آمده استنباط کرد و نقش دیگر پارامترها (نظیر هشدارهای اشتباه و زمان) که در درک بصری صحنه و تشخیص هدف مؤثر هستند، نادیده گرفته شده است. هنوز در مقالات یک استراتژی مشخص و فراگیر برای ارزیابی طرح‌های استتاری با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر معرفی نشده است.

### معیارهای ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری

با توجه به این‌که ارزیابی اثربخشی استتار با استفاده از تفسیر عکس انجام می‌گیرد، بنابراین در حوزه پردازش، خروجی الگوریتم آشکارساز هدف، ورودی بخش ارزیابی خواهد بود (شکل ۲).



شکل ۲: نمایی کلی از مراحل لازم برای ارزیابی اثربخشی استتار در حوزه پردازش‌های رایانه‌ای. نویسندگان این مقاله، در یکی از کارهای قبلی خود (Zavvartorbati, 2017:045008)، بعد از بررسی ماهیت اهداف در خروجی الگوریتم‌های مختلف آشکارساز هدف، سه پارامتر را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ارزیابی استتار معرفی کردند. این عوامل عبارت‌اند از ۱-

میزان تمایز هدف نسبت به پس‌زمینه اطراف ۲- هشدارهای اشتباه ۳- زمان لازم برای شکست استتار. در آن مقاله، برای ترکیب اثر سه پارامتر مذکور از معادله مربوط به مدل جستجوی زمان محدود، استفاده شد. معادله جستجوی زمان محدود بدین صورت است (Friedman, 2013:041107):

$$P(t) = \begin{cases} 0, & t < t_{cb} \\ P_{t_L} \left( \frac{1 - e^{-\frac{t-t_{cb}}{\tau_{FOV}}}}{1 - e^{-\frac{t_L-t_{cb}}{\tau_{FOV}}}} \right), & t_{cb} \leq t < t_L \\ P_{t_L}, & t_L < t \end{cases}$$

معادله (۱)

در این معادله،  $P(t)$  کسری از ناظرانی است که به صحنه نگاه می‌کنند و هدف را در یک‌زمان کمتر یا مساوی  $t$  پیدا می‌کنند.  $t$  زمانی است که ناظران صحنه را جستجو می‌کنند.  $\tau_{FOV}$ ، یک ثابت زمانی است که سرعت پیدا شدن هدف را در جستجوی میدان دید نشان می‌دهد.

با توجه به این‌که در ارزیابی استتار هر چه تعداد مناطق برجسته‌تر از منطقه شامل هدف بیشتر باشد، شناسایی هدف واقعی بیشتر به تعویق افتاده و زمان جستجوی هدف طولانی‌تر می‌شود. در خیلی مواقع، تعدد هشدارهای اشتباه سبب می‌شود ناظر، اهداف غیرواقعی را به‌عنوان هدف اعلام کند و با توجه به محدودیت زمان یا تعداد اهداف مورد انتظار، اهداف واقعی را از دست بدهد (Sjaardema at all, 2015). در معادله ۱،  $t_L$  مقدار زمانی است که ناظر اجازه دارد به تصویر نگاه کند.  $P_{t_L}$ ، کسری از ناظران است که هدف را در زمان  $t_L$  پیدا می‌کنند.

$t_d$  یا  $t_{cb}$ ، زمان تأخیر است. زمان تأخیر می‌تواند به‌عنوان مجموع زمان درک، زمان تصمیم‌گیری و زمان واکنش در نظر گرفته شود (Friedman, 2013:041107). با توجه به موضوع مقاله، زمان تأخیر ( $t_d$ ) به‌عنوان زمان لازم برای استتار زدایی هدف ( $t_{cb}$ ) در نظر گرفته شد و با توجه به مشابهت فرآیند جستجوی هدف با خط سیر حرکات چشم، زمان استتار زدایی را با معادله ۲ محاسبه شد:

$$t_{cb} = N_{fa} \times t + Dist \times v$$

معادله (۲)

که  $N_{fa}$  تعداد هشدارهای اشتباه مشاهده شده قبل از هدف واقعی است.  $t$ ، زمان خیره شدگی برای هر هشدار اشتباه است.  $Dist$ ، مجموع همه فاصله‌ها، قبل از مشاهده هدف واقعی است.  $v$ ، سرعت حرکت چشم است (Nyberg, 2007). که به علت حرکت سریع چشم و ناتوانی در اندازه‌گیری دقیق، زمان حرکت چشم بین هشدارهای اشتباه، در خطای اندازه‌گیری زمان خیره شدگی (۰.۳۳ ثانیه) لحاظ شد.

در مقاله مذکور، با بازنویسی معادله ۱، یک معادله واحد برای ارزیابی اثربخشی طرح استتاری ارائه شد (۳). در مشاهده تصویر، ناظر بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌های بالا به پایین و پایین به بالا تصمیم‌گیری می‌کند. بنابراین تنها با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از یک ویژگی نمی‌توان احتمال شناسایی هدف را پیش‌بینی کرد و نتایج را با آمار به‌دست‌آمده از آزمایش‌های ادراکی مقایسه کرد. ولی با این تفسیر که عدد خروجی الگوریتم‌های آشکارساز، احتمال تعلق پیکسل به کلاس هدف را مشخص می‌کند، از همین عدد خروجی الگوریتم آشکارساز استفاده شده و احتمال شناسایی هدف جایگزین شده است.  $P_{t_L}$ ، برای تصاویر با رزولوشن مکانی بالا، با میانگین نمرات تعداد محدودی از پیکسل‌های هدف که بیشترین نمره را در خروجی الگوریتم آشکارساز به خود نسبت داده‌اند جایگزین شد.

$$Score_i(t) = \begin{cases} 0, & t < t_{cbi} \\ Score_i(.) \left( \frac{1 - e^{-\frac{t-t_{cbi}}{\tau_{FOV}}}}{1 - e^{-\frac{t_L-t_{cbi}}{\tau_{FOV}}}} \right), & t_{cbi} \leq t < t_L \\ Score_i(.), & t_L < t \end{cases}$$

معادله (۳)

با مشخص کردن اولویت شناسایی اهداف با استفاده از معیار منطبق بر ادراک بصری، با فرض زمان خیره شدگی ثابت و صرف‌نظر از زمان طی مسافت بین هشدارهای اشتباه، زمان تأخیر شناسایی اهداف مشخص می‌شود:

$$t_{cbi} = 0.33 \times (n_{cbi} - 1)$$

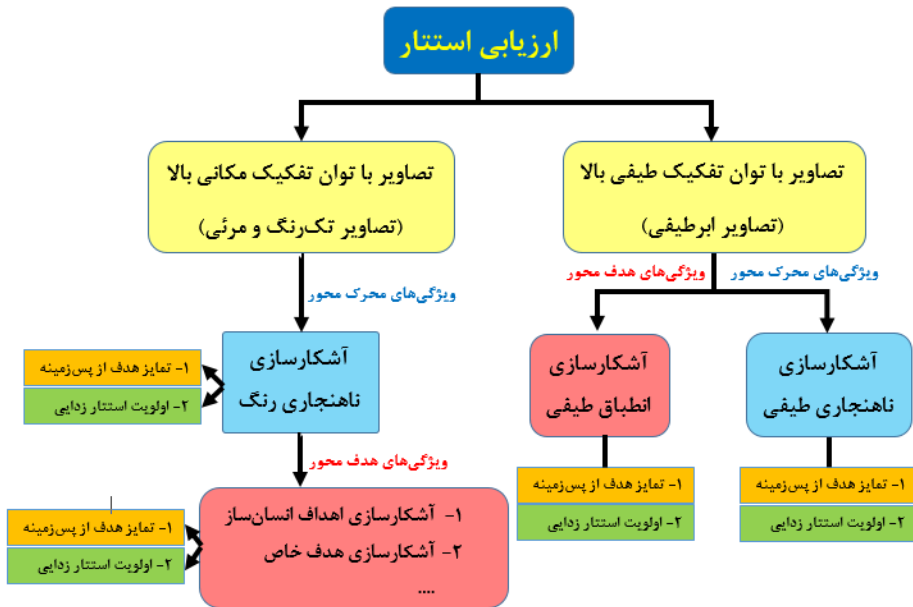
معادله (۴)

که  $t_{cbi}$ ، زمان استتار زدایی از هدف  $n_{cbi}$  ام و اولویت این هدف را مشخص می‌کند. ثابت ۰.۳۳، ثانیه، زمان هر خیره شدگی است.

بدین ترتیب مشاهده می‌شود که برای معیارهای ارزیابی پیشنهادی، مبانی ریاضی تعیین و یک معادله واحد برای ترکیب اثر آن‌ها ارائه شده است. در این معادله، مقدار پیکسل‌های هدف، میزان تمایز هدف از پس‌زمینه را مشخص می‌کند و هشدارهای اشتباه، با تأخیر در شناسایی هدف واقعی، زمان استتار زدایی هدف را مشخص می‌کند. در مقاله مذکور، مشابه سیستم‌های محاسباتی توجه بصری<sup>۱</sup>، اثباتی که بر اساس ادراک انسان، شبیه هدف هستند به‌عنوان هشدارهای اشتباه در نظر گرفته شدند و مدلی برای اندازه‌گیری معیارهای ارزیابی پیشنهادی ارائه شد که توضیح جزئیات آن خارج از مجال این مقاله است (Frintrop, 2011:69-101; Maurer at all, 2005,201-216).

### چارچوب پیشنهادی

در بخش‌های قبل، مشخص شد که ارزیابی استتار بحث بسیار گسترده‌ای است و بسته به نوع تصویر، الگوریتم آشکارساز و ویژگی‌های قابل استخراج، می‌توان از جنبه‌های مختلف به آن پرداخت. یک نتیجه‌گیری این است که با توجه به تنوع تصاویر در اختیار و ویژگی‌های قابل استخراج از آن‌ها، می‌توان برای هر هدف جدولی تشکیل داد و معیارهای ارزیابی را (تمایز هدف از پس‌زمینه و اولویت استتار زدایی) بر اساس تصاویر مختلف، ویژگی‌های مختلف، ترکیب ویژگی‌ها و ... نمره دهی کرد. در این مقاله به دنبال ارائه چارچوبی هستیم که تا حد امکان فراگیر باشد و تمام مباحث مطروحه را پوشش دهد. بررسی‌ها نشان داد که نوع تصویر در دسترس بایستی مبنای قرار بگیرد. چارچوب پیشنهادی در این تحقیق، در شکل ۳ نشان داده شده است.

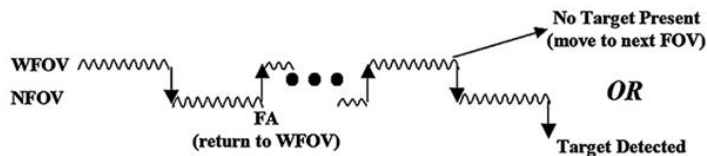


شکل ۳: چارچوب پیشنهادی برای ارزیابی اثربخشی طرح‌های استتاری تقسیمات کشوری سوریه

در تصاویر ابر طیفی که توان تفکیک مکانی پایین دارند، شناسایی هدف به پردازش رایانه‌ای متکی است و انسان از درک آن عاجز است. در این تصاویر، می‌توان از ناهنجاری طیفی به ویژگی‌های پایین به بالا تعبیر کرد، چراکه الگوریتم‌های آشکارساز ناهنجاری طیفی به دانش قبلی (طیف ماده) متکی نیستند. در مقابل، از آشکارسازی انطباق طیفی که با استفاده از طیف ماده به شناسایی هدف می‌پردازد، می‌توان به ویژگی‌های بالا به پایین تعبیر کرد. بررسی خروجی الگوریتم‌های آشکارساز هدف در تصاویر ابر طیفی، نشان داد که نه تنها روشی قابل‌تعمیم برای تلفیق الگوریتم‌های آشکارساز ناهنجاری و الگوریتم‌های آشکارساز انطباق طیفی وجود ندارد، بلکه در بسیاری از موارد، نمی‌توان از الگوریتم آشکارساز ناهنجاری به‌عنوان پیش‌پردازش آشکارسازی انطباق طیفی استفاده کرد. بنابراین بایستی در چارچوب به‌صورت جداگانه به آن‌ها پرداخته شود.

تصاویر مرئی که توان تفکیک مکانی بالا دارند، توسط انسان قابل‌درک هستند. بنابراین در چارچوب پیشنهادی بایستی مفاهیم حرکت چشم، جستجوی هدف و مباحث مرتبط با ادراک بصری را در نظر گرفت. وقتی که انسان به تصویر نگاه می‌کند، به‌صورت ناخداگاه چشم انسان

درگیر مسئله جستجوی هدف می‌شود. در جستجوی زمان محدود<sup>۱</sup> (TLS) که توسط T. Edwards و R. Vollmerhausen<sup>۲</sup> مطرح شد، عملکرد جستجوی ناظر را با یک فرآیند سوئیچ میدان دید توضیح می‌دهد. جستجوی ناظر شامل جستجو در میدان دید گسترده<sup>۳</sup> (WFOV) و سوئیچ به میدان دید باریک<sup>۴</sup> (NFOV) است، این فرآیند تا هنگامی ادامه دارد که یک منطقه جالب پیدا شود (Edwards at all, 2003:53-60; Grove, 2003; Edwards, 2002:41-52). در حالت عادی، ناظر ابتدا مناطق قابل مشاهده را با استفاده از WFOV، برای یافتن مکان‌های جالب (هدف‌های بالقوه) اسکن می‌کند و سپس برای ارزیابی بیشتر مناطق مشکوک به NFOV سوئیچ می‌کند. در NFOV، ناظر یا وجود یک هدف جالب نظامی را تأیید می‌کند و همچنان روند تعامل را ادامه می‌دهد یا منطقه مشکوک را به‌عنوان یک هشدار اشتباه اعلام می‌کند و به WFOV برمی‌گردد. ناظر همچنان بین میدان‌های دید سوئیچ می‌کند تا زمانی که یک هدف تشخیص داده شود و یا تصمیم گرفته شود که هیچ هدفی در میدان دید وجود ندارد. پس‌ازاینکه همه اهداف قابل مشاهده (در صورت وجود داشتن) در میدان دید پردازش شدند، ناظر به میدان دید بعدی ادامه می‌دهد و فرآیند بار دیگر شروع می‌شود. این روال زمانی فرآیند جستجو، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: خط زمانی فرآیند جستجو.

در چارچوب پیشنهادی، رنگ که عنصر شناسایی پایه است، به‌عنوان ویژگی پایین به بالا در نظر گرفته شده است. فرض شده است که عناصر شناسایی پایه، به‌صورت ناخودآگاه، توجه انسان را جلب می‌کنند و بعد از این که منطقه موردنظر در میدان دید انسان قرار گرفت، ادراک بصری به بررسی جزئیات که همان ویژگی‌های بالا به پایین نظیر شکل و ... هستند، می‌پردازد.

- 1- Time-Limited Search
- 2 - Night Vision and Electronic Sensors Directorate
- 3- wide FOV
- 4- narrow FOV

بنابراین ارزیابی استتار با استفاده از ویژگی‌های بالا به پایین در ادامه ارزیابی استتار با استفاده از ویژگی‌های پایین به بالا قرار می‌گیرد. این مفهوم در پیاده‌سازی‌ها، برای تعیین توالی استتار زدایی خود را نشان می‌دهد. نقشه آشکارسازی هدف با استفاده از ویژگی‌های پایین به بالا، برای هر تصویر یکسان خواهد بود ولی نقشه آشکارسازی هدف با استفاده از ویژگی‌های بالا به پایین، بسته به نوع دانش قبلی متفاوت خواهد بود. به‌عنوان مثال، می‌توان ویژگی‌های خط راست، لبه، گوشه و منحنی را مدنظر قرار داد و به شناسایی اشیاء انسان‌ساز پرداخت یا ویژگی شکل را در نظر گرفت و به شناسایی هدف خاصی نظیر تانک پرداخت. در هر مورد، نقشه‌های آشکارسازی متفاوتی خواهیم داشت. ویژگی‌های بالا به پایین را نیز ممکن است بتوان اولویت‌بندی کرد. این موضوع می‌تواند موضوع تحقیقات آینده باشد.

### تجزیه و تحلیل (بحث و یافته‌ها)

اهداف این مقاله وقتی تحقق پیدا می‌کند که برای یک منطقه/ شیء موردنظر بتوان انواع تصاویر با توان تفکیک مکانی طیفی و مکانی بالا را در اختیار داشت. اما نه تنها دسترسی به این مهم امکان‌پذیر نیست، بلکه تصاویر مربوط به سطوح استتاری مختلف یک هدف نیز در منابع اینترنتی وجود ندارد. تصاویر بسیار نادری در منابع اینترنتی می‌توان یافت که برای اهداف تحقیقاتی نظیر مباحث آشکارسازی هدف تهیه شده‌اند. نویسندگان این مقاله در مقالات قبلی خود، نتایج پیاده‌سازی بر روی تصاویر ابر طیفی را آورده‌اند، در این مقاله، تشریح روال ارزیابی استتار با استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا (مرئی)، مدنظر است. در این مقاله از مجموعه داده تصویری Search\_2 استفاده شده است (Toet et al, 2001:1760-1768). این مجموعه، شامل ۴۴ تصویر رنگی با رزولوشن مکانی بالا از صحنه‌های طبیعی پیچیده است. هر صحنه (تصویر) شامل یک خودروی نظامی است که به‌عنوان هدف مورد جستجو در نظر گرفته می‌شود. موقعیت اهداف و نتایج آزمایش‌های روان‌شناختی که بر روی هر یک از این تصاویر انجام شده است، در دسترس است. تصاویر مجموعه داده Search\_2 زیرمجموعه‌ای از یک مجموعه بزرگ‌تر است که در یک آزمایش جستجو و تشخیص استفاده شده است. در شکل ۵، چهار عدد از تصاویر مربوط به این مجموعه داده نشان داده شده است.



IMG0005



IMG0037



IMG0035



IMG0034

شکل ۵: تصاویر مربوط به مجموعه داده

### تعیین پس‌زمینه غالب اطراف هر پیکسل

روش پیشنهادی برای تعیین پس‌زمینه غالب اطراف هر پیکسل، بر پایه خوشه‌بندی استوار است. در پیاده‌سازی‌های این مقاله، برای عملیات خوشه‌بندی از الگوریتم پرکاربرد FCM استفاده شد و تعداد خوشه‌ها، با توجه به تعداد بافت‌های مختلف موجود در تصاویر مختلف مجموعه داده Search\_2، پنج‌تا در نظر گرفته شد (شکل ۶-ب). از خروجی عملیات خوشه‌بندی استفاده و با یک عملیات ریخت‌شناسی<sup>۲</sup>، پس‌زمینه غالب اطراف هر پیکسل

1- Fuzzy C-Means

2- Morphology

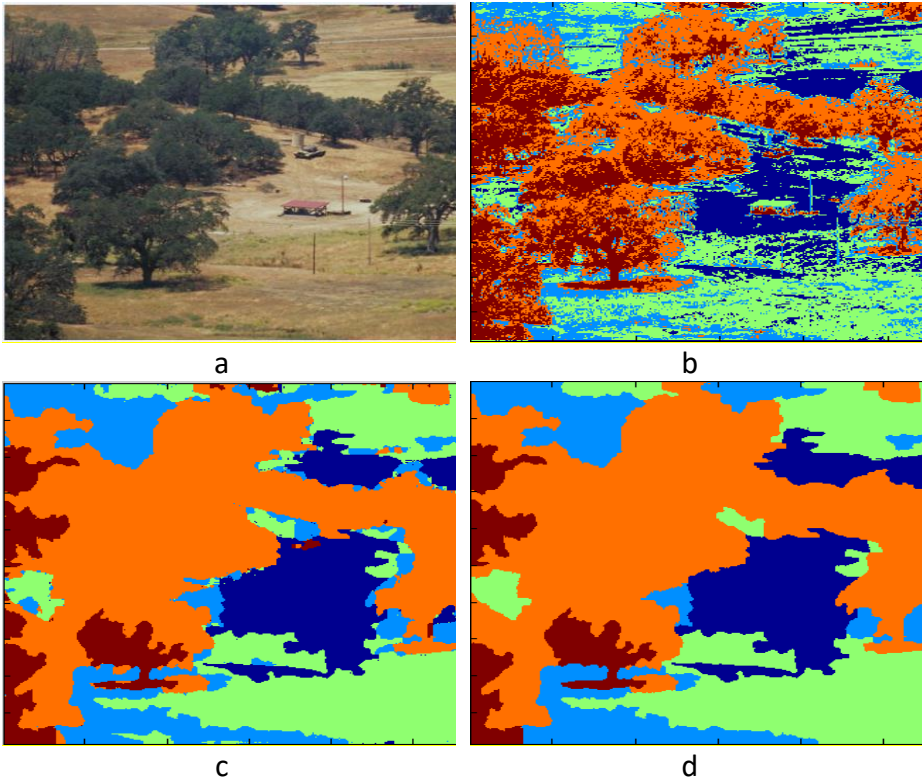
مشخص شد. عملیات ریخت‌شناسی در پردازش تصویر به‌منظور فهم تصویر، بسیار استفاده می‌شود (Guberman at all, 2012:143). مرحله‌ای که در عملیات ریخت‌شناسی برای

تصویر باینری هر خوشه استفاده شده، عبارت‌اند از:

- ۱- حذف عارضه‌های محاط با عارضه‌های بزرگ‌تر (شکل ۶-۱).
- ۲- حذف عارضه‌های کوچک بر اساس بیشترین همسایگی با عارضه‌های بزرگ‌تر (شکل ۶-۲).

(d).

- ۳- حذف سطوحی که مساحتی کمتر از  $0.05$  بیشینه مساحت سطح دارند.



شکل ۶: نمایی از مراحل تعیین پس‌زمینه غالب اطراف هر پیکسل. (a) تصویر IMG0005 از مجموعه داده Search\_2. (b) نتیجه عملیات خوشه‌بندی، (c) حذف عارضه‌های محاط با عارضه‌های بزرگ‌تر، (d) حذف عارضه‌های کوچک بر اساس بیشترین همسایگی با عارضه‌های بزرگ‌تر.

### شبیه‌سازی سطوح استتاری برای اهداف واقع در تصاویر مرئی

برای شبیه‌سازی سطوح مختلف استتاری بایستی به‌گونه‌ای بافت هدف و پس‌زمینه پیرامونی هدف با یکدیگر ترکیب شوند و در ضمن ثابت شود که سطوح استتاری شبیه‌سازی شده نسبت به هم از چه سطح استتاری برخوردارند. در خیلی از مقالات، با تغییر کتراست بین پیکسل‌های هدف و پس‌زمینه سطوح مختلف استتاری را ایجاد نموده‌اند. به‌عنوان مثال در مرجع (Nyberg, 2007)، برای شبیه‌سازی سطوح استتاری از یک فیلتر پایین گذر گوسی استفاده شده است. در مرجع (Xue at all, 2018:106-114)، نیز از اختلاط مکانی رنگ استفاده شده است ولی روش دقیق توضیح داده نشده است و مبنای نسبت سطوح استتاری (قوی‌تر و ضعیف‌تر بودن) به‌صورت مستدل مشخص نشده است. در روش پیشنهادی این مقاله از اختلاط خطی رنگ پس‌زمینه غالب محلی پیکسل و منطقه هدف (کادر قرمز رنگ در شکل ۷-۷) (a)، برای شبیه‌سازی اهداف با سطوح استتاری متفاوت استفاده شده است. در این روش، پس‌زمینه غالب اطراف هر پیکسل، مشخص شده و سپس مشخصات این پس‌زمینه غالب، در رابطه ترکیب خطی برای ایجاد سطوح استتاری در نظر گرفته شده است. میانگین رنگ پیکسل‌های پس‌زمینه (خوشه) غالب می‌تواند به‌عنوان مشخصات پس‌زمینه با رنگ پیکسل هدف ترکیب شود ولی در این مقاله برای واقعی‌تر شدن عملیات استتار، رنگ پیکسلی از پس‌زمینه غالب که از لحاظ مکانی به پیکسل هدف نزدیک‌تر است به‌عنوان مشخصات پس‌زمینه غالب در نظر گرفته شد. در شکل (۷)، برای یکی از اهداف تصویر IMG0005، محدوده هدف ۷-a و پنج سطح استتاری شبیه‌سازی شده به ترتیب نشان داده شده‌اند (شکل ۷-b-f).

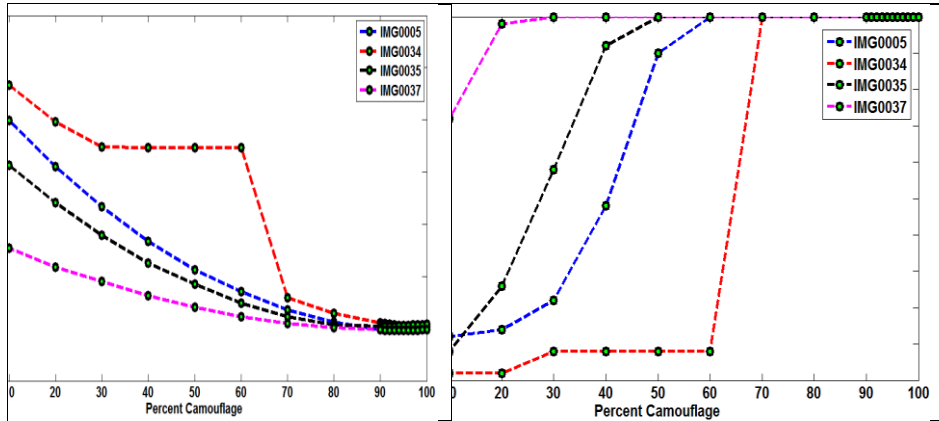
بهترین راه سنجش میزان کارایی روش پیشنهادی برای شبیه‌سازی سطوح استتاری، انطباق نتایج به‌دست‌آمده با داده ادراک انسانی است. آنچه می‌بایست مورد سنجش قرار می‌گرفت، توالی سطوح استتاری شبیه‌سازی شده بود، چراکه بدین ترتیب میزان قوت و ضعف سطوح استتاری نسبت به یکدیگر مشخص می‌شود. در این مطالعه، از فاصله ویرایش-رشته که ابزاری برای ارزیابی توالی شناسایی هدف در مدل‌های ادراک بصری است، استفاده شد. میزان انطباق نتایج شبیه‌سازی با ادراک انسانی، ۹۳ درصد است. نزدیکی و شباهت سطوح استتاری متوالی باعث عدم تطابق دقیق نتایج شبیه‌سازی با ادراک بصری شد.



شکل ۷: نمایی از نتایج شبیه‌سازی سطوح استتاری مختلف برای یکی از اهداف تصویر IMG0005: (a) محدوده هدف و پس‌زمینه انتخابی و هدف با (b) سطح استتاری ۰٪، (c) سطح استتاری ۲۵٪، (d) سطح استتاری ۵۰٪، (e) سطح استتاری ۷۵٪ و (f) سطح استتاری ۱۰۰٪.

در این مقاله نتایج آشکارسازی سطوح استتاری مختلف بر اساس ویژگی پایین به بالا (ناهنجاری رنگ)، آورده شده است. برای آشکارسازی هدف بر اساس ناهنجاری رنگ، ابتدا پس‌زمینه غالب اطراف هر پیکسل مشخص شده است و سپس با جایگزینی مشخصات پس‌زمینه غالب به‌عنوان مشخصات پس‌زمینه در رابطه الگوریتم آشکارساز ناهنجاری (نظیر  $RX^4$ )، آشکارسازی هدف انجام شده است. بعد از آشکارسازی هدف، با استفاده از خروجی الگوریتم آشکارساز، اهداف احتمالی، میزان تمایز هدف از پس‌زمینه و اولویت استتار زدایی آن‌ها بر اساس مدلی که در مرجع (Zavvartorbati, 2017:045008)، توسط نویسندگان این مقاله ارائه شده، مشخص شده است. در مدل مذکور، میانگین نمرات تعداد محدودی از پیکسل‌های قطعه که نمره بیشتری دارند به‌عنوان ملاک بهینه برای تعیین قطعه با اولویت بالاتر انتخاب شد. در شکل ۸، نتایج به‌دست‌آمده از خروجی الگوریتم آشکارساز ناهنجاری رنگ، با استفاده از تصاویر مرئی برای سطوح استتاری اهداف تصاویر IMG0005، IMG0034، IMG0035 و IMG0037 نشان داده شده است.

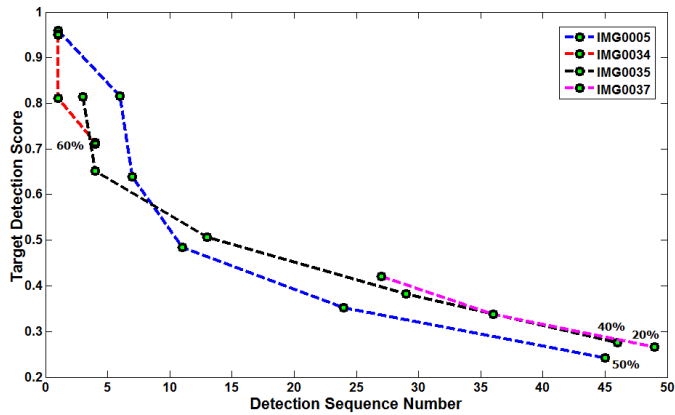
مشخص است که نمره تخصیص داده شده به اهداف، برای سطوح استتاری مختلف بر تغییر سطح استتاری اهداف منطبق است و با افزایش سطح استتاری اهداف مختلف، نمرات تخصیص داده شده به اهداف، سیر نزولی دارند (شکل ۸- ستون چپ) و به‌تبع آن، از نتایج نمایش داده شده در شکل (۸- ستون راست) نیز مشخص است که با افزایش درصد استتار اهداف مختلف، عدد اولویت شناسایی سیر صعودی دارد.



شکل ۸: نمره (ستون چپ) و اولویت شناسایی (ستون راست) اهداف مختلف به‌عنوان تابعی از درصد استتار

اهداف (محور افقی) با استفاده از خروجی الگوریتم آشکارساز ناهنجاری رنگ.

در شکل ۹، برای سطوح استتاری مختلف، نمره الگوریتم (محور عمودی) در مقابل اولویت هدف در فرآیند شناسایی (محور افقی)، آورده شده است. در این شکل، نتایج به‌دست‌آمده فقط برای سطوح استتاری که اولویت شناسایی آن‌ها خیلی بالا نیست و با اولویت شناسایی سطوح استتاری قبلی قابل مقایسه است نشان داده شده است. بالاترین درصد استتاری قابل‌نمایش، در انتهای نمودار تغییرات هر هدف نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی، در تصویر IMG0034، نسبت به دیگر تصاویر، برای آشکارسازی هدف موردنظر، هشدارهای اشتباه بیشتری را شناسایی کرده است و بنابراین اگر درصد استتار هدف از ۶۰ درصد بیشتر شود، دیگر شناسایی هدف استتاری در جستجوی زمان محدود با محدودیت جستجوی ۳۶ هدف، ممکن نخواهد بود. ولی به‌عنوان‌مثال، شناسایی خودروی نظامی موجود در تصویر IMG0037، در جستجوی زمان محدود تا استتار ۲۰ درصد هم امکان‌پذیر است. بنابراین مشخص است که تعداد هشدارهای اشتباه نیز در شناسایی هدف نقش تعیین‌کننده دارند.



شکل ۹: نمودار نمره الگوریتم آشکارساز پیشنهادی در رساله (محور عمودی) در مقابل عدد اولویت شناسایی هدف (محور افقی) برای سطوح مختلف استتاری اهداف واقعی تصاویر مختلف.

در این تحقیق برای تعیین ملاک بهینه برای ترتیب دهی اهداف، آزمایش‌ها و پیاده‌سازی‌های نرم‌افزاری متعدد انجام شد و از فاصله ویرایش-رشته<sup>۱</sup> برای ارزیابی میزان انطباق با داده حرکت چشم استفاده شد (فاصله ویرایش-رشته برابر ۰.۸۷) (Zavvartorbati, 2017:045008).

1- String-edit distance



a



b



c



d

شکل ۱۰: (a) تصویر اصلی و خروجی الگوریتم‌های آشکارساز بر اساس: (b) ویژگی پایین به بالا (ناهنجاری رنگ)، (c) اشیاء انسان‌ساز و (d) تانک.

بر اساس بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که برای آشکارسازی هدف بر اساس ویژگی‌های بالا به پایین، هنوز الگوریتم قابل‌تعمیم به همه تصاویر پیدا نشده است. بنابراین برای تفهیم آن بخشی از مقاله که مربوط به ویژگی‌های بالا به پایین است از نتایج شهودی مشخص استفاده شده است. در هر مورد بایستی نحوه تعیین اولویت استتار زدایی و تعیین میزان انطباق شیء به هدف موردنظر مشخص شود. برای روشن شدن بحث دو حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول فرض شده است که پیدا کردن اشیاء انسان‌ساز به‌عنوان وظیفه محوله مشخص شود. در این حالت استخراج ویژگی‌های خطوط راست، گوشه‌ها و منحنی‌ها می‌تواند راهگشا باشد. بنابراین بایستی از روش‌ها و الگوریتم‌هایی استفاده شود که در خروجی تصاویر باینری را در اختیار بگذارند که شامل خطوط راست، گوشه‌ها یا منحنی‌ها که در اشیاء

انسان‌ساز به‌وضوح دیده می‌شوند باشند. در شکل (c-9)، اشیاء انسان‌ساز با رنگ زرد مشخص شده است. در حالت دوم نیز فرض شده پیدا کردن یک شیء خاص نظیر تانک به‌عنوان وظیفه محوله مشخص شده است. در این حالت می‌توان از الگوریتم‌های *Image mining* استفاده کرد که خروجی چنین الگوریتم‌هایی نیز می‌تواند به‌صورت تصویر باینری باشد که شیء موردنظر در آن مشخص شده است. در شکل (d-9)، تانک به‌عنوان شیء موردنظر با رنگ زرد مشخص شده است.

مطابق آنچه قبلاً نیز آورده شد، بررسی‌ها نشان داد که در هنگام آشکارسازی هدف بر اساس ویژگی‌های پایین به بالا، میانگین تعداد محدودی از پیکسل‌های هدف، به‌عنوان میزان تمایز هدف از پس‌زمینه و در نتیجه محاسبه پارامتر  $P_{tL}$  در رابطه مدل جستجو دارد. و همچنین میزان تأخیر در استتار زدایی هدف، یا به عبارتی پارامتر  $t_{cb}$  در رابطه مدل جستجو، نیز به‌وسیله میانگین تعداد محدودی از پیکسل‌های هدف مشخص می‌شود. در هنگام آشکارسازی هدف بر اساس ویژگی‌های بالا به پایین، نیز بایستی این پارامترها ( $P_{tL}, t_{cb}$ ) به‌گونه‌ای مشخص شوند که با ادراک انسان تطابق داشته باشند. در چارچوب ارائه شده در این مقاله، از خروجی الگوریتم‌های آشکارساز، که در اینجا به‌صورت تصویر باینری است، استفاده شده است و با ضرب اسکالر این تصویر در تصویر خروجی الگوریتم آشکارساز ویژگی پایین به بالا (ناهنجاری رنگ)، تصویری به‌دست‌آمده می‌آید که هشدارهای اشتباه موجود در آن، هر دودسته ویژگی‌های پایین به بالا و بالا به پایین را باهم دارند. حال از این تصویر استفاده می‌شود و میزان تأخیر در استتار زدایی هدف، یا به عبارتی پارامتر  $t_{cb}$  در رابطه مدل جستجو، به‌وسیله میانگین تعداد محدودی از پیکسل‌های هدف مشخص می‌شود، که قطعاً به دلیل کم شدن تعداد هشدارهای اشتباه نسبت به خروجی الگوریتم آشکارساز ویژگی ناهنجاری رنگ، میزان تأخیر به‌مراتب کمتر خواهد شد.

برای محاسبه میزان تمایز هدف از پس‌زمینه یا به عبارتی میزان شباهت ناهنجاری مشخص شده در تصویر به شیء موردنظر (نظیر تانک)، بایستی از معیارهایی که در الگوریتم‌های *Image mining* به کار می‌روند استفاده کرد و بر اساس اصول عملکرد آن‌ها عددی را برای پارامتر  $P_{tL}$  در رابطه مدل جستجو در نظر گرفت. نکته قابل‌توجه این است که به‌عنوان مثال میزان انطباق شکل موجود در تصویر به شکل شیء موردنظر (نظیر تانک) بایستی توسط

آزمایش‌های ادراک بصری تأیید شود. هنوز تحقیقاتی که این مسئله را پاسخگو باشد و بر اساس تغییراتی در شکل اشیاء، خروجی الگوریتم‌های **Image mining** را بر ادراک بصری تطبیق دهد انجام نشده است و یا لاقلاً در منابع اینترنتی منتشر نشده است.

### نتیجه‌گیری:

در این مقاله، بعد از تشریح مباحث علمی مرتبط با ارزیابی استتار و آسیب‌شناسی تحقیقات گذشته، چارچوبی برای ارزیابی استتار پیشنهاد شد که می‌تواند برای تحقیقات آینده بسیار راهگشا باشد. تصاویر و عناصر شناسایی دسته‌بندی شدند و مفاهیم موجود در مدل‌های جستجو تشریح شد تا بتوان تمام مفاهیم مطرح در حوزه ارزیابی استتار را پوشش داد. در این مقاله، با اندازه‌گیری معیارهای ارزیابی برای سطوح استتاری اهداف مختلف در تصاویر مرئی، عملکرد چارچوب پیشنهادی برای ویژگی‌های پایین به بالا مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی عملکرد چارچوب پیشنهادی با استفاده از ویژگی‌های بالا به پایین نیز مسیر تحقیق تشریح شد و یک سری مسائل باز برای بررسی دقیق عملکرد چارچوب پیشنهادی نیز مطرح شد که می‌تواند موضوع تحقیقات آینده باشد. یکی از این مسائل، بررسی میزان انطباق خروجی الگوریتم‌های **Image mining** با ادراک بصری است.

### فهرست منابع:

#### الف - منابع فارسی

- دهقانی، حمید، پردازش و تفسیر تصاویر سنجنش‌ازدور (۱۳۹۱)، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.
- سوری، اسداله، اصول و مبانی پدافند غیرعامل (۱۳۸۸)، انتشارات دانشگاه علوم انتظامی، تهران.
- صداقت، امین، دهقانی، حمید (۱۳۹۰)، روشی کارآمد جهت ارزیابی اقدامات استتاری در تصاویر ماهواره‌ای، مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، صص ۴، ۳۰۶ - ۲۹۵.

#### ب - منابع انگلیسی

- Syria Gate - Ebla by: Carol Miller
- Ross, T. D., Baker, H. B., Nolan, A. R., McGinnis, R. E., & Paulson, C. R., 2016, May, "ATR performance modeling concepts". In *Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XXIII* (Vol. 9843, p. 98430G). International Society for Optics and Photonics.
- Kolb, K. E., Hee-sue, S. C., Kaur, B., Olson, J. T., Hill, C. F., & Hutchinson, J. A., 2016, "Digital imaging and remote sensing image generator (DIRSIG) as applied to NVESD sensor performance modeling". In *Infrared Imaging Systems:*

- Design, Analysis, Modeling, and Testing XXVII (Vol. 9820, May, p. 982019). International Society for Optics and Photonics.
- Zhang, L., 2016. "Digital Camouflage Design Algorithm Based on Template Combinatorial Optimization". Technical Journal of the Faculty of Engineering, TJFE, 39, 38-44.
  - Guan, Z., Yu, J., Feng, T., & Li, A., 2012, "A Transformation Method for Texture Feature Description under Different Imagine Conditions". ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 393-398.
  - Feng, X., Guoying, C., Richang, H., & Jing, G., 2015, "Camouflage texture evaluation using a saliency map". Multimedia Systems, 21(2), 169-175.
  - Wheaton, V. C., & Culpepper, J. B., 2015, "Performance of target distinctness metrics evaluated against colour and monochromatic photosimulation results". In Target and Background Signatures (Vol. 9653, October, p. 96530U). International Society for Optics and Photonics.
  - Borji, A., Itti, L., Liu, J., Musialski, P., & Wonka, P., 2013, "State-of-the-art in visual attention modeling". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 35-1, 185-207.
  - Qin, J., Qu, L., Zhu, L., Hu, J., & Song, S., 2016, "Optical Camouflage Effect Objective Evaluation Method Research under the Condition of Complex Backgrounds". In MATEC Web of Conferences (Vol. 61, p. 06013). EDP Sciences.
  - Ratthi, K. I., Nithya, V., Yogameena, B., & Menaka, K., 2017, "Foreground segmentation using motion vector for camouflaged surveillance scenario". In Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2017 International Conference on (March, pp. 172-176). IEEE.
  - Woodruff, C. J., 1986, "A Proposed Methodology for the Spatial Characterization of Foliage Backgrounds. (No. MRL-TN-510). MATERIALS RESEARCH LABS ASCOT VALE (AUSTRALIA).
  - 4. Fukunaga, K., 2013, "Introduction to statistical pattern recognition". Elsevier, 2nd edition, Academic Press, New York.
  - Nyberg, S., 2007, "Models used in assessment of optical sensors", Swedish Defence Research Agency (FOI).
  - Basener, W. F., Nance, E., & Kerekes, J., 2011, "The target implant method for predicting target difficulty and detector performance in hyperspectral imagery". In Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVII (Vol. 8048, May, p. 80481H). International Society for Optics and Photonics.
  - Schoene, R., Meidow, J., & Mauer, E., 2010, "Feature evaluation for target/background discrimination in image sequences taken by approaching sensors". In Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XIX (Vol. 7697, April, p. 769718). International Society for Optics and Photonics.
  - Ying, X. U., & Yao, S. L., 2010, "Optic Camouflage Effect Evaluation Method Based on Image Analyses [J]". Electro-Optic Technology Application, 4, 69-72.

- Song, L., & Geng, W., 2010, "A new camouflage texture evaluation method based on WSSIM and nature image features". In *Multimedia Technology (ICMT), 2010 International Conference on* (October, pp. 1-4). IEEE.
- Lin, W., Chen, Y. H., & Gao, H. S., 2009, "Detection probability evaluation model based on texture feature of thermal infrared". *Infrared Laser Eng*, 38(1), 155-159.
- Cui, B. S., Li, H. B., & Fu, S. W., 1993, "Fuzzy analysis of the target detection probability". *Eng Equip Res*, 3(1), 1-5.
- Xue, F., Wu, F., Wang, J., & Hu, Y., 2018, "Camouflage texture design based on its camouflage performance evaluation". *Neurocomputing*, 274, 106-114.
- Xue, F., Yong, C., Xu, S., Dong, H., Luo, Y., & Jia, W., 2016. "Camouflage performance analysis and evaluation framework based on features fusion". *Multimedia Tools and Applications*, 75(7), 4065-4082.
- Zavvartorbati, A., Dehghani, H., & Rashidi, A. J., 2017. "Evaluation of camouflage effectiveness using hyperspectral images". *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(4), 045008.
- Friedman, M. H., 2013. "Fundamental search relationships and their application to field of regard search, search by multiple observers, search from a moving vehicle, and multi target search". *Optical Engineering*, 52(4), 041107.
- Sjaardema, T. A., Smith, C. S., & Birch, G. C., 2015, "History and evolution of the Johnson criteria". SANDIA Report, SAND2015-6368.
- 27. Frintrop, S., 2011, "Computational visual attention". In *Computer Analysis of Human Behavior* (pp. 69-101). Springer, London.
- 28. Maurer, T., Driggers, R. G., & Wilson, D. L., 2005, "Search and detection modeling of military imaging systems". In *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing*, XVI (Vol. 5784, May, pp. 201-216). International Society for Optics and Photonics.
- Edwards, T. C., Vollmerhausen, R. H., Driggers, R. G., & Grove, E., 2003, "NVESD time-limited search model". In *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XIV* (Vol. 5076, August, pp. 53-60). International Society for Optics and Photonics.
- Grove, E., 2003, "Validation of the search and target acquisition (STA) time-limited search model for target detection". US Army Material Systems Analysis Activity, Aberdeen Proving Ground, MD Technical Report TR-731.
- Edwards, T., Vollmerhausen, R. H., Cohen, J., & Harris, T., 2002. "Recent improvements in modeling time limited search". In *Infrared and Passive Millimeter-wave Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and testing* (Vol. 4719, July, pp. 42-51). International Society for Optics and Photonics.
- Toet, A., Bijl, P., & Valetton, J. M., 2001. "Image dataset for testing search and detection models". *Optical Engineering*, 40(9), 1760-1768.
- Guberman, S., Maximov, V. V., & Pashintsev, A., 2012. "Gestalt and image understanding". *Gestalt Theory*, 34(2), 143.