

آشکار سازی اهداف کوچک در حال پرواز در تصاویر مادون قرمز مبتنی بر تبدیل Top-Hat تطبیقی

فرشته السادات سید مروستی^۱، مهدی نصیری^۲، سید محمدرضا موسوی میرکلایی^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران ۲- مربی، دانشگاه جامع امام حسین^(ع) ۳- استاد، دانشگاه علم و صنعت ایران
(دریافت: ۹۵/۰۸/۰۴، پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۵)

چکیده

آشکار سازی و ردیابی خودکار اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز از اهمیت زیادی در جهان مدرن برخوردار است. تبدیل Top-Hat دسته مهمی از تبدیل های غیرخطی ریخت شناسی است که کاربردهای گسترده ای در آشکار سازی و ردیابی اهداف در تصاویر مادون قرمز دارد. مهم ترین مسئله در بهبود کارایی تبدیل Top-Hat، به کارگیری المان ساختاری متناسب با SNR هر تصویر است. از آن جایی که تصاویر دارای کلاتر و اهداف متفاوتند، استفاده از المان ساختاری با ابعاد و شکل ثابت برای تصاویر با SNRهای مختلف در بسیاری از موارد نمی تواند به آشکار سازی دقیق اهداف منجر شود. در این مقاله به منظور آشکار سازی دقیق اهداف در تصویر مادون قرمز، الگوریتم ژنتیک پیوسته برای دستیابی به المان ساختاری تطبیقی پیشنهاد شده است که مقادیر هر یک از پیکسل های المان آن منطبق با ویژگی های پس زمینه و هدف است. نتایج ارزیابی های کمی و کیفی بر روی تصاویر مادون قرمز واقعی نشان می دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش های دیگر بر پایه ریخت شناسی با المان ساختاری ثابت و تطبیقی، دارای نسبت سیگنال به کلاتر (SCR) و ضریب تضعیف پس زمینه (BSF) به مراتب بالاتری است و هشدارهای کاذب کمتری تولید می کند.

واژه های کلیدی: آشکار سازی اهداف، تبدیل ریخت شناسی، تبدیل Top-Hat، تصاویر مادون قرمز، الگوریتم ژنتیک و المان ساختاری تطبیقی

۱- مقدمه

با توسعه فناوری دوربین های مادون قرمز در دهه اخیر، تصویربرداری مادون قرمز در بسیاری از حوزه ها از جمله صنایع تجاری و نظامی بخصوص برای امنیت در فواصل دور حائز اهمیت شده است. آشکار سازی اهداف در این نوع از تصاویر توسط سامانه های آشکار سازی اهداف که نوعی از سامانه های پدافندی الکترونیکی هستند، نقش مهمی را در کاربردهای دفاعی بازی می کند. در تصاویر مادون قرمز به دلیل این که اهداف نسبت به تجهیزات تصویربرداری دارای فاصله دور و حرکت سریع می باشند، لذا معمولاً کوچک، کم نور و اطلاعات شکل آن ها غیر قابل دسترس هستند. این مشخصات به همراه کلاتر سنگین پس زمینه آشکار سازی اهداف را دشوار می کنند. هم اکنون مسئله اصلی و مهم، ارتقای سیگنال ضعیف اهداف در پس زمینه پیچیده می باشد. تاکنون روش هایی برای آشکار سازی اهداف نقطه ای، از پردازش یک فریم تا چند فریم، از روش های آشکار سازی قبل از ردیابی (DBT)

تا روش های ردیابی قبل از آشکار سازی (TBD^۲) توسعه داده شده اند که از جمله آن ها می توان به الگوریتم های برمبنای فیلتر، موجک، ویژگی های حرکتی، ویژگی های گرمایی و الگوریتم های برمبنای روابط فیلتر ریخت شناسی^۳ شامل تبدیل های ترکیبی بهبود یافته^۴، Top-Hat، CMO^۵ و Hit-Miss اشاره کرد [۱-۱۱]. الگوریتم های برمبنای فیلتر مانند فیلتر Kernel [۱]، فیلتر Max-Mean، فیلتر Max-Median [۲] و الگوریتم Adaptive Lattice [۳] که هدف را به واسطه حذف کلاتر و نویز پس زمینه آشکار می کنند، در تصاویر با کلاتر سنگین پس زمینه دچار چالش می شوند. الگوریتم های برمبنای موجک [۵]، هدف را براساس استخراج ویژگی های متفاوت بین ناحیه هدف و کلاتر پس زمینه ارتقا می دهند. اما چون هدف کم نور و کوچک است، تبدیل های برمبنای موجک نمی توانند در برخی از حالات به طور موثر ویژگی هایی از ناحیه هدف را استخراج کنند. الگوریتم های آشکار سازی هدف که از

2- Tracking Before Detection
3- Morphological Filter
4- Improved Hybrid
5- Close Minus Open

* رایانامه نویسنده مسئول: M_Mosavi@iust.ac.ir

1- Detection Before Tracking

برای ارتقای هدف به کار برده شده است. این تبدیل در تصاویر با کلاتر سنگین و اهداف کم نور عملکرد موثری ندارد و هشدار کاذب زیادی را تولید می کند. همچنین تبدیل Top-Hat چندمقیاسی [۱۲] برای رفع مشکل اندازه متفاوت اهداف در تصاویر پیشنهاد شده است. در این تبدیل از سه المان ساختاری با اندازه های متفاوت استفاده شده است. این تبدیل برای هر تصویر سه بار محاسبات را انجام می دهد و در نتیجه محاسبات در آن بسیار زمان بر است.

به منظور دستیابی به المان ساختاری تطبیقی، تبدیل تطبیقی - انتخابی Top-Hat [۱۳] معرفی شده است. این تبدیل بر پایه دو المان ساختاری با اندازه های متفاوت و حداکثر معیار همبستگی استوار است و از منطق سو دهی براساس واریانس تصویر ورودی به منظور بهبود فیلترینگ برای تصاویر با کلاتر زیاد استفاده می کند. در این روش فقط دو المان ثابت برای پوشش تمامی تصاویر بکار گرفته شده است. برای انتخاب هر یک از این دو المان از واریانس تصویر ورودی استفاده شده است که این امر باعث می شود، بار محاسباتی بسیار زیادی داشته باشد. در روش تبدیل Top-Hat چندمقیاسی - بهبود یافته در مرجع [۱۴] از دو المان ساختاری مختلف براساس دو المان ساختاری پایه ای استفاده شده است که اولین المان ساختاری برای آشکارسازی ناحیه بین هدف و پس زمینه و دومین المان ساختاری با اندازه متغیر بین دو المان پایه ای است. این دو المان برای استخراج مناطق روشن و یا تاریک تصویر با اندازه های مختلف استفاده می شود. ولی این روش ها برای طراحی المان های تطبیقی معمولاً دارای محاسبات بسیار پیچیده می باشند و نمی توانند کلیه حالت های المان ساختاری را پوشش دهند.

الگوریتم ژنتیک گسسته [۱۶-۱۵] با معیار ارزیابی حداکثر سازی فاصله بین بردار سطح خاکستری تصویر خروجی و تصویری که فقط شامل هدف است، برای دستیابی به المان تطبیقی معرفی شده است. این روش بدلیل خطاهای کوانتیزاسیون و بکارگیری معیار ارزیابی وابسته به تصویری که فقط شامل هدف باشد، در بسیاری از موارد ناکارآمد است. همچنین در مراجع [۱۷-۱۸] از الگوریتم ژنتیک با دو المان ساختاری بزرگتر و کوچکتر از هدف برای رسیدن به دو تصویر متفاوت که یکی فقط شامل هدف و دیگری فقط شامل پس زمینه است، استفاده شده است. این روش نیز به دلیل وابسته بودن به اطلاعات اولیه از ابعاد هدف، نامناسب است و اگر اهداف با ابعاد متفاوت در یک تصویر داشته باشیم، عملکرد مناسبی ندارد.

در این مقاله، برای تحقق المان ساختاری تطبیقی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. این امر به دلیل فضای بزرگ جستجو می باشد، زیرا اگر فقط حالت باینری برای المان ساختاری 5×5 که حداقل ۹ پیکسل غیر صفر داشته باشد، در نظر گرفته شود،

ویژگی های حرکتی [۶] استفاده می کنند به چندین تصویر متوالی نیاز دارند و ممکن است در برخی از حالت ها، تصاویر متوالی به آسانی بدست نیابند. همچنین این نوع از الگوریتم ها معمولاً زمان بر هستند که استفاده از آن ها را در کاربردهای بلا درنگ محدود می کند. الگوریتم های بر مبنای ویژگی گرمایی [۷] از ترکیب دو پردازش مکانی و گرمایی برای آشکارسازی اهداف استفاده می کنند. در بخش مکانی یک الگوی کوچک برای تضعیف نویزهای پس زمینه و یک الگوی بزرگ برای تخمین پس زمینه بکار گرفته می شود. تفاضل این دو الگو به عنوان نتیجه بخش مکانی خواهد بود و در بخش پردازش گرمایی، تفاضل فریم های متوالی به دست می آید.

در مرجع [۸] وظیفه بهبود اهداف از منظر نظریه اطلاعات در نظر گرفته شده است. تحت پیش فرض اینکه تغییر شدت اهداف کوچک دارای میزان اطلاعات غنی تری نسبت به نواحی محلی پس زمینه می باشد، آن ها روشی برای استخراج اهداف از تصویر خود - اطلاعات^۱ پیشنهاد داده اند. به رغم اینکه این روش می تواند به طور موثر در بسیاری از موارد اهداف کوچک را تحت پس زمینه های پیچیده آشکار نماید، حجم زیادی از محاسبات به صورت جدی بر عملکرد آشکارسازی اثر می گذارد. بنابراین، اگرچه، این دو مانع در مرجع [۹] با محاسبه تصویر خود - اطلاعات وزن دار موقوف شده است، محدوده کاربردهای آن هنوز محدود می باشد. در واقع، این روش تنها بر روی مشخصات آماره ها تمرکز دارد، در حالی که مشخصات شکل و بافت اهداف و پس زمینه را نادیده می گیرد.

الگوریتم های بر مبنای روابط ریاضی ریخت شناسی عمدتاً از تبدیل Top-Hat به منظور حذف نویز پس زمینه و بهبود اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز استفاده می کنند [۱۰]. عملکرد تبدیل Top-Hat بر پایه عملگرهای باز کردن و بستن است و به انتخاب ابعاد و شکل المان ساختاری بستگی دارد. در تبدیل Top-Hat معمولاً از المان ساختاری با ابعاد و شکل ثابت برای تشخیص اهداف مادون قرمز استفاده می شود [۱۲-۱۰]. به دلیل این که پس زمینه تصاویر مادون قرمز بسیار پیچیده و در حال تغییر می باشند و اهداف در آن ها دارای ابعاد و شکل نامشخصی هستند، این تبدیل با المان ساختاری ثابت تنها در برخی از تصاویر دارای عملکرد مناسبی می باشد. از این جهت نیاز به روش هایی است که کارایی تبدیل Top-Hat را براساس ویژگی های اهداف و پس زمینه بهبود دهد.

در تبدیل Top-Hat بهبود یافته [۱۱] تصویر به سه دسته کلاتر پس زمینه، لبه منطقه هدف و منطقه هدف تقسیم شده است و از حد آستانه ای وابسته به میانگین و واریانس تصویر ورودی برای شناسایی هدف استفاده شده است. سپس عملگری به نام TEO^2

1- Self-Information

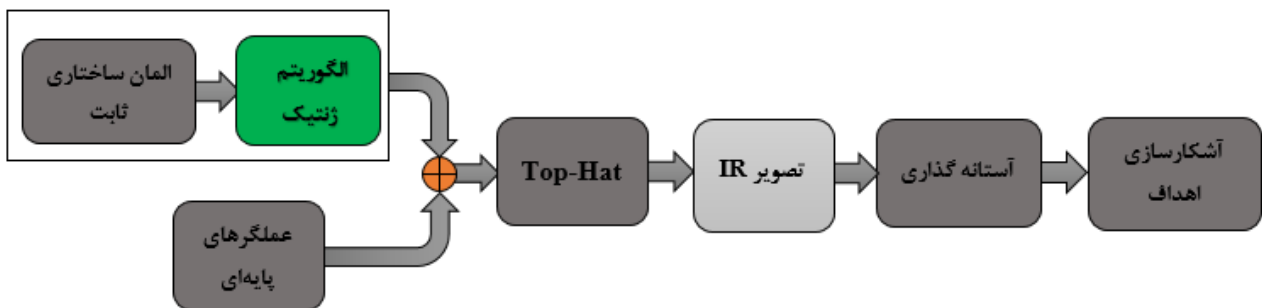
2- Target Enhance Operation

دوم ساختار کلی روش پیشنهادی معرفی و در بخش سوم نظریه تبدیل ریخت شناسی، تبدیل Top-Hat و الگوریتم ژنتیک توضیح داده خواهد شد. سپس در بخش چهارم، روش به کارگیری الگوریتم ژنتیک در تبدیل Top-Hat بررسی می‌شود. در بخش پنجم، نتایج آزمایشات مطرح می‌شود و در نهایت در بخش ششم، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲- ساختار کلی

ساختار کلی روش پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در این ساختار نشان داده شده است، در روش پیشنهادی ابتدا برای پیکسل‌های المان ساختاری ثابت با به کارگیری الگوریتم ژنتیک در طی نسل‌های مختلف، مقداری منطبق با ویژگی‌های هدف و پس‌زمینه تصویر به دست می‌آید. سپس با اعمال این المان ساختاری تطبیقی و ترکیب آن با عملگرهای پایه‌ای تبدیل Top-Hat، پس‌زمینه به خوبی تضعیف و هدف ارتقا می‌یابد و در نهایت در گام آخر از روش پیشنهادی، با توجه به بهبود قابل ملاحظه اهداف و فرونشاندن شدن کلاتر پس‌زمینه در نقشه بهبود یافته خروجی، اهداف با استفاده از یک آستانه‌گذاری ساده آشکار می‌شوند. بخش‌های بعدی گام‌های مختلف از روش پیشنهادی را با جزئیات بیشتری توضیح می‌دهند.

المان ساختاری تطبیقی



شکل (۱): ساختار کلی روش پیشنهادی.

در تمامی عملگرها روابط ریاضی ریخت شناسی بر پایه دو مجموعه است:

(۱) مجموعه تصویر اصلی و (۲) مجموعه المان ساختاری^۱.

اگر تصویر ورودی به صورت مجموعه $F = \{(x, f(x)) | x \in P, P \subseteq E^2\}$ و المان ساختاری به صورت $B = \{(m, b(m)) | m \in S, S \subseteq E^2\}$ نمایش داده شوند که در آن‌ها E^2 نشان دهنده فضای دو بعدی است، عملیات گسترش^۲ و سایش^۳ F توسط المان ساختاری B که

۳- تئوری مفاهیم پایه

در این بخش ابتدا نظریه تبدیل موفولوژی بیان و بر پایه این نظریه دو تبدیل Top-Hat و Bot-Hat تشریح خواهد شد. در انتهای این بخش الگوریتم ژنتیک شرح داده خواهد شد.

۳-۱- تبدیل ریخت شناسی

نظریه تبدیل ریخت شناسی توسط نویسندگان در مرجع [۱۲] پیشنهاد و به منظور استفاده در کاربردهای پردازش آشکارسازی اهداف و کاهش اثر پس‌زمینه در تصاویر مادون قرمز توسعه داده شد.

1- Structure Element
2- Dilation
3- Erosion

GA برای حل یک مسئله، مجموعه بسیار بزرگی از راه‌حل‌های ممکن را تولید می‌کند. هر یک از این راه‌حل‌ها با استفاده از یک "تابع برازندگی" مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. آن‌گاه تعدادی از بهترین راه‌حل‌ها باعث تولید راه‌حل‌های جدیدی می‌شوند که این کار باعث تکامل راه‌حل‌ها می‌گردد. بدین ترتیب فضای جستجو در جهتی تکامل پیدا می‌کند که به راه حل مطلوب برسد. در صورت انتخاب صحیح پارامترها، این روش می‌تواند بسیار موثر عمل نماید.

در این روش جمعیت اولیه به صورت تصادفی با بردارهایی با طول ثابت کد می‌شوند. این بردارها را کروموزوم می‌نامند. نسل بعدی در طی فرآیندهای انتخاب، ادغام^۳ و جهش^۴ در کروموزوم‌های نسل قبل ایجاد می‌شود. این کروموزوم‌ها طی نسل‌های متوالی تکامل پیدا می‌کنند. طی هر نسل میزان برازندگی هر کروموزوم محاسبه می‌شود که این برازندگی معیاری برای میزان بهبود تابع هدف می‌باشد.

مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک به شرح زیر می‌باشد:

(۱) تولید جمعیت اولیه تصادفی شامل n کروموزوم.

(۲) بررسی تابع برازندگی $f(x)$ هر کروموزوم x در جمعیت.

(۳) ایجاد یک جمعیت جدید بر اساس تکرار قدم‌های زیر:

(۱-۳) انتخاب دو کروموزوم والد از یک جمعیت براساس میزان برازندگی آنها.

(۲-۳) در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای احتمال اعمال عملگر تقاطعی و سپس انجام عملیات ترکیب بر روی والدین به منظور ایجاد فرزندان. اگر هیچ ترکیب جدیدی صورت نگیرد، فرزندان همان والدین خواهند بود.

(۳-۳) در نظر گرفتن احتمال جهش و سپس اعمال جهش در جمعیت.

(۴-۳) جایگزینی فرزندان جدید در جمعیت جدید.

(۴) بررسی شرط همگرایی الگوریتم.

(۵) در صورتی که شرط همگرایی تحقق نیافته باشد، رفتن به مرحله ۲ و استفاده از جمعیت جدید برای نسل‌های بعدی الگوریتم.

(۶) در صورت مشاهده شرایط همگرایی توقف اجرای الگوریتم و برگرداندن بهترین جواب.

۴- کد کردن مساله

با توجه به این‌که، تشخیص هدف از فاصله دور در حضور کلاتر پس‌زمینه کار دشواری است، در این مقاله، به‌منظور آشکارسازی

به ترتیب با $(F \oplus B)(x)$ و $(F \ominus B)(x)$ نشان داده می‌شوند، به صورت معادله‌های (۱-۲) تعریف می‌شوند [۹]:

$$(F \oplus B)(x) = \sup_{x-m \in P}^{m \in S} \{f(x-m) + b(m)\} \quad (1)$$

$$(F \ominus B)(x) = \inf_{x+m \in P}^{m \in S} \{f(x+m) - b(m)\} \quad (2)$$

عملیات ریخت شناسی بازکردن^۱ و بستن^۲ F و B که از ترکیب عملیات فرسایش و گسترش ساخته می‌شوند به ترتیب، به صورت معادله‌های (۳-۴) تعریف می‌شوند [۱۲]:

$$F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$F \boxtimes B = (F \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

که در آن، $F \circ B$ عملگر عملیات بازکردن و $F \boxtimes B$ عملگر عملیات بستن است. تبدیل‌های موفولوژی باعث افزایش کنتراست بین هدف و پس‌زمینه تصویر مورد پردازش شده و هدف موردنظر را ارتقاء می‌دهند.

۳-۲- تبدیل‌های Top-Hat و Bot-Hat

تبدیل‌های Top-Hat و Bot-Hat دو تبدیل مهم در موفولوژی برای پردازش تصویر هستند. تفریق تصویر اصلی از تصویر باز شده و بسته شده به ترتیب به تبدیل‌های مشهور Top-Hat و Bot-Hat منجر می‌شود. تبدیل Top-Hat معادل با کم کردن تصویر باز شده از تصویر اصلی مطابق با رابطه (۵) است [۱۹]:

$$T_{Top}(x) = (F - F \circ B)(x) \quad (5)$$

که در آن، F نشان‌دهنده تصویر اصلی و B نشان‌دهنده المان ساختاری است و به طور مشابه تبدیل Bot-Hat معادل با کم کردن تصویر بسته شده از تصویر اصلی F مطابق با رابطه (۶) می‌باشد [۱۶]:

$$B_{Bot}(x) = (F \boxtimes B - F)(x) \quad (6)$$

تبدیل Top-Hat برای ارتقای ناحیه‌های روشن از یک تصویر و تبدیل Bot-Hat برای ارتقای ناحیه‌های تیره تصویر به کار می‌رود.

۳-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) روش جستجو و بهینه‌سازی مبتنی بر اصول ژنتیک و انتخاب طبیعی است. GA این امکان را می‌دهد که جمعیتی متشکل از تعداد زیادی از افراد، طبق قوانین خاص مربوط به انتخاب، به وضعیتی درآیند که برازندگی را حداکثر کنند [۲۰].

کوچک بودن هدف در تصاویر شکل یافته، المان ساختاری نیز کوچک و به صورت مربع ۵ × ۵ پیکسلی بکار گرفته شده است. بنابراین ۲۵ ژن (متغیر) برای کد کردن المان ساختاری که هر ژن نماینده یک پیکسل المان ساختاری است، مطابق شکل (۲) استفاده شده است.

دقیق تر اهداف از الگوریتم ژنتیک پیوسته برای دستیابی به المان ساختاری تطبیقی متناسب با ویژگی‌های هدف استفاده شده است. برای مدل کردن مسئله شرايطی در نظر گرفته شده است که در ادامه آمده است.

به دلیل فاصله دور هدف تا حسگر مادون قرمز و در نتیجه

A _۰	A _۱	A _۲	A _۳	A _۴
A _۵	A _۶	A _۷	A _۸	A _۹
A _{۱۰}	A _{۱۱}	A _{۱۲}	A _{۱۳}	A _{۱۴}
A _{۱۵}	A _{۱۶}	A _{۱۷}	A _{۱۸}	A _{۱۹}
A _{۲۰}	A _{۲۱}	A _{۲۲}	A _{۲۳}	A _{۲۴}

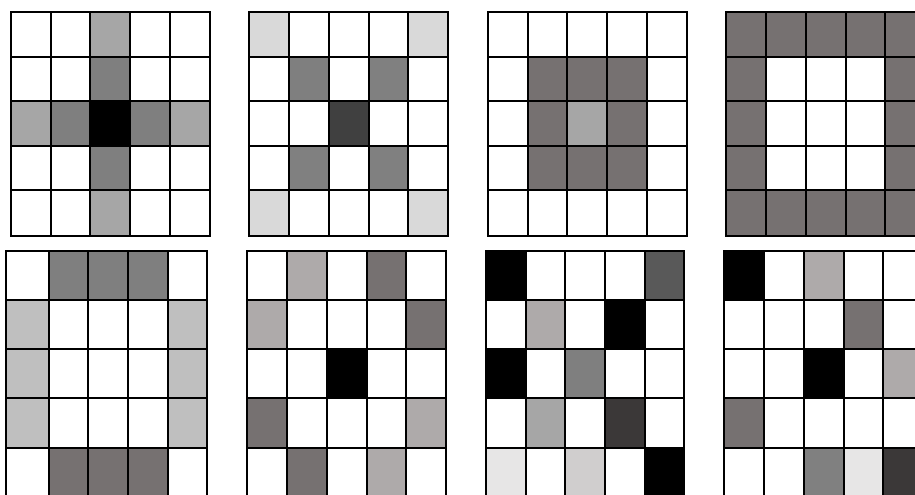
Chrom=

A _۰	A _۱	A _۲	A _۳	A _۴	A _۵	...	A _{۲۰}	A _{۲۱}	A _{۲۲}	A _{۲۳}	A _{۲۴}
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

شکل (۲): المان ساختاری و مدل کروموزومی پیکسل‌های المان ساختاری.

به دلیل این که مقصود بررسی تصاویر سطح خاکستری (۸ بیتی) مادون قرمز است، مقادیری که هر ژن در هر نسل می‌تواند بگیرد، مقادیری بین ۰ تا ۲۵۵ است و این مقادیر می‌توانند شامل هر عددی در بازه ۰ تا ۲۵۵ باشند.

هدف کوچک در استاندارد هدفی است که حداقل از ۹ پیکسل تشکیل شده باشد [۲۱]. به همین دلیل در هر نسل در هر کروموزوم حداقل ۹ ژن (پیکسل المان ساختاری) با مقداری غیر صفر طراحی شده است که چند نمونه از حالت‌هایی که ممکن است در طول بهینه‌سازی اتفاق بیفتد در شکل (۳) آمده است.



شکل (۳): نمونه المان‌های ساختاری بررسی شده در فرآیند جستجو الگوریتم ژنتیک به منظور دستیابی به المان ساختاری تطبیقی.

Chrom₁=[34.03,45,12,118.42,211.8,168,133,246,255,11.21,98,72,34,129,137,23.901,216,48,38.83,237,19,32,79,247.31,0,135]

Chrom₂=[78,25.42,93,3,148,36.511,255,240,81.01,19,2,63,156.916,174,1,224,0.781,85.34,104,136,214.82,9,19,21,173.50,237]

Chrom₃=[46.72,25,113.01,128,159,12.23,244,39,144,163.69,84,69,232.309,158,189,182.985,16,77,124.12,221,255,6,0,73,138,1]

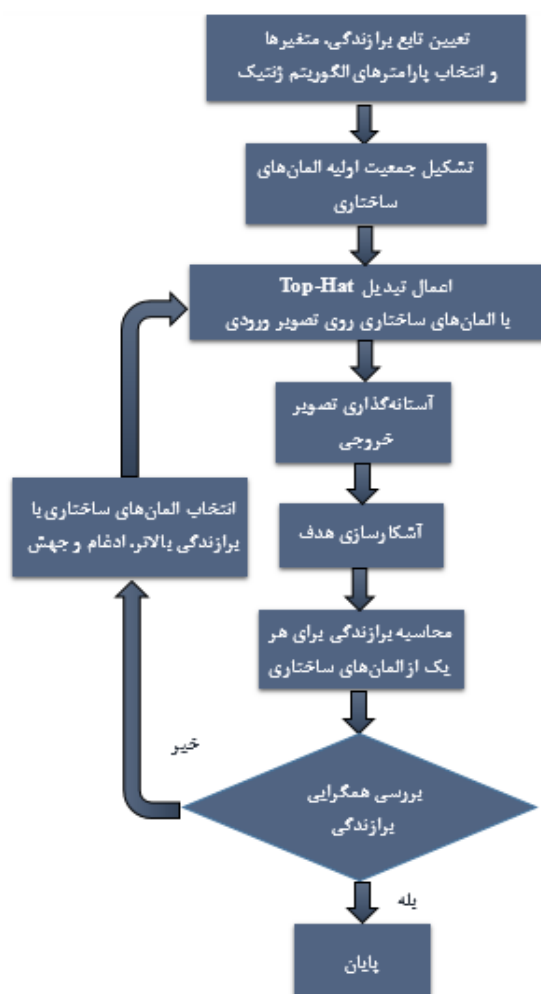
.

.

.

Chrom₃₇=[68.45,146,78.31,225,193,115,0.768,51,89,23,185.1,32,96,178.23,192,222.721,255.1.451,14,48,50,18,24.213,179,61]

شکل (۴): جمعیت اولیه برای شروع الگوریتم ژنتیک
فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی.

۴-۱- تابع برازندگی

در این مقاله، به منظور محاسبه برازندگی و هدایت جستجو بهینه در هر نسل از ضریب تضعیف پس‌زمینه (BSF) طبق رابطه (۷) استفاده شده است:

$$BSF = \frac{C_{in}}{C_{out}} \quad (7)$$

که در آن، C_{in} کلاتر تصویر ورودی و C_{out} کلاتر تصویر خروجی بعد از اجرای تبدیل است [22]. پارامتر ارزیابی دیگری که در این مقاله برای مقایسه محاسبه برازندگی به‌کار برده شده است، نسبت سیگنال به کلاتر (SCR) طبق رابطه (۸) است [۲۳]:

$$SCR = \frac{I_T - I_B}{\sigma_c} \quad (8)$$

که در آن، I_T متوسط روشنایی هدف، I_B متوسط روشنایی پس‌زمینه و σ_c انحراف معیار مقادیر پیکسل‌های پس‌زمینه است. در این مقاله ما به دنبال حداکثرسازی ضریب حذف پس‌زمینه و نسبت سیگنال به کلاتر هستیم تا به مقصود اصلی که آشکارسازی دقیق اهداف است، برسیم. هر چه این ضرایب بزرگتر باشد، نشانه تضعیف بیش‌تر کلاتر پس‌زمینه و نیز عملکرد بهتر آشکارسازی اهداف می‌باشد. در صورتی که در فرآیند پردازش الگوریتم ژنتیک به المان ساختاری برخورد کنیم که نتواند هدف را آشکار نماید، در محاسبات BSF برابر با صفر و SCR برابر با یک عدد منفی خواهد شد که این امر با توجه به اینکه ما همواره به دنبال حداکثر BSF و SCR هستیم، باعث می‌شود در مرحله انتخاب این المان ساختاری حذف شود و ادامه نسل نیابد. برای انجام شبیه‌سازی، بدلیل اینکه در این مقاله به دنبال بیشینه‌سازی تابع هدف هستیم از رابطه (۹) برای تبدیل تابع برازندگی کمینه به بیشینه استفاده شده است:

$$f_i = (\phi_{max} + \phi_{min}) - \phi_i \quad (9)$$

که در آن، f_i تابع برازندگی بیشینه کروموزوم نام، ϕ_{max} و ϕ_{min} به ترتیب کمینه و بیشینه تابع برازندگی و ϕ_i تابع برازندگی کمینه کروموزوم نام است. در این آزمایشات، که از ۲۵ ژن برای کد کردن مسئله استفاده شده است، تعداد جمعیت اولیه مطابق با رابطه (۱۰) که توسط گلدبرگ [20] پیشنهاد شده است، برابر ۵۲ خواهد بود که چند نمونه از آنها در شکل (۴) آمده است و از مدل انتخاب چرخ رولت، ادغام یکنواخت و جهش چند نقطه ای استفاده شده است. نرخ ادغام ۲۵ درصد و نرخ جهش ۱ درصد در نظر گرفته شده است. شرط همگرایی و توقف الگوریتم، در این الگوریتم ثابت ماندن میانگین برازندگی در ۳ نسل متوالی در نظر گرفته شده است.

$$N_{Pop} = 1.65 \times 2^{(0.2 \times LC)} \quad (10)$$

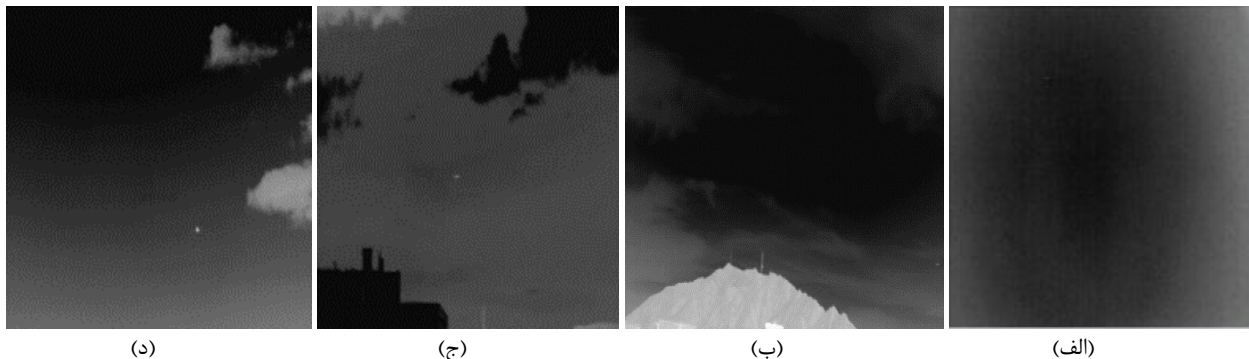
هر کدام از این تصاویر با اندازه 500×730 در ۲۰۰ فریم متوالی تصویربرداری شده‌اند. هدف کوچک در حال پرواز در هر شکل مشخص شده است. تصویر (۶-الف) شامل پس‌زمینه با کلاتر ابر و کلاتر مصنوعی ساختمان، تصویر شکل (۶-ب) دارای پس‌زمینه با کلاتر ابر، تصویر (۶-ج) نیز دارای پس‌زمینه بسیار نویزی و بدون کلاتر و تصویر (۶-د) دارای پس‌زمینه با کلاتر کوه همراه با ابر است. تصاویر دیگر پایگاه داده دارای پس‌زمینه‌هایی مختلفی همانند کوه، دریا و ... با SNRهای مختلف هستند.

مقالات زیادی بر پایه ریخت‌شناسی برای آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز پیشنهاد شده‌اند. در این مقاله سعی شد تا الگوریتم پیشنهادی مقاله با روش‌های متداول مورد مقایسه قرار گیرد. چهار مرجع تبدیل Top-Hat مرجع [۲۱] با المان ساختاری ثابت که در شکل (۷) نشان داده است، روش Top-Hat بهبودیافته مرجع [۱۱]، روش انتخابی-تطبیقی مرجع [۱۲] و روش تطبیقی مبتنی بر GA مرجع [۱۶] به عنوان مبنای مقایسه استفاده شده است. نتایج مقایسه به صورت کمی و کیفی در ادامه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

در طی هر نسل از الگوریتم ژنتیک، هر المان ساختاری کدگذاری شده با تبدیل Top-Hat بر روی تصویر مادون قرمز ورودی اعمال شده و در ادامه با اعمال آستانه‌گذاری ناحیه هدف آشکار خواهد شد. مختصات ناحیه هدف بر روی تصویر ورودی و خروجی با دستور Crop از تصاویر ورودی و خروجی جدا و باقیمانده تصویر (کوه و ساختمان و ...) به عنوان کلاتر در نظر گرفته شده است. اگر مختصات هدف پیدا نشود و یا اینکه ابعاد هدف کشف شده کمتر از 3×3 باشد، هدف به عنوان هدف کاذب در نظر گرفته شده و BSF برای تصویر با المان ساختاری مورد نظر صفر در نظر گرفته می‌شود تا المان ساختاری مورد نظر به عنوان ژن معیوب بعد از گذر چند نسل از محاسبات خارج شود.

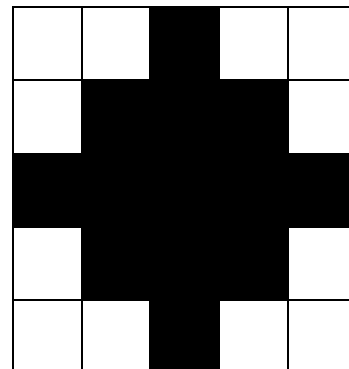
۵- آزمایشات

در این مقاله، برای انجام شبیه‌سازی از مجموعه داده شامل ۹ تصویر مادون قرمز واقعی سطح خاکستری با SNRهای متفاوت که چند نمونه از آن‌ها در شکل (۶) نشان داده شده، استفاده شده است.



شکل (۶): چند نمونه از مجموعه تصاویر مادون قرمز پایگاه داده.

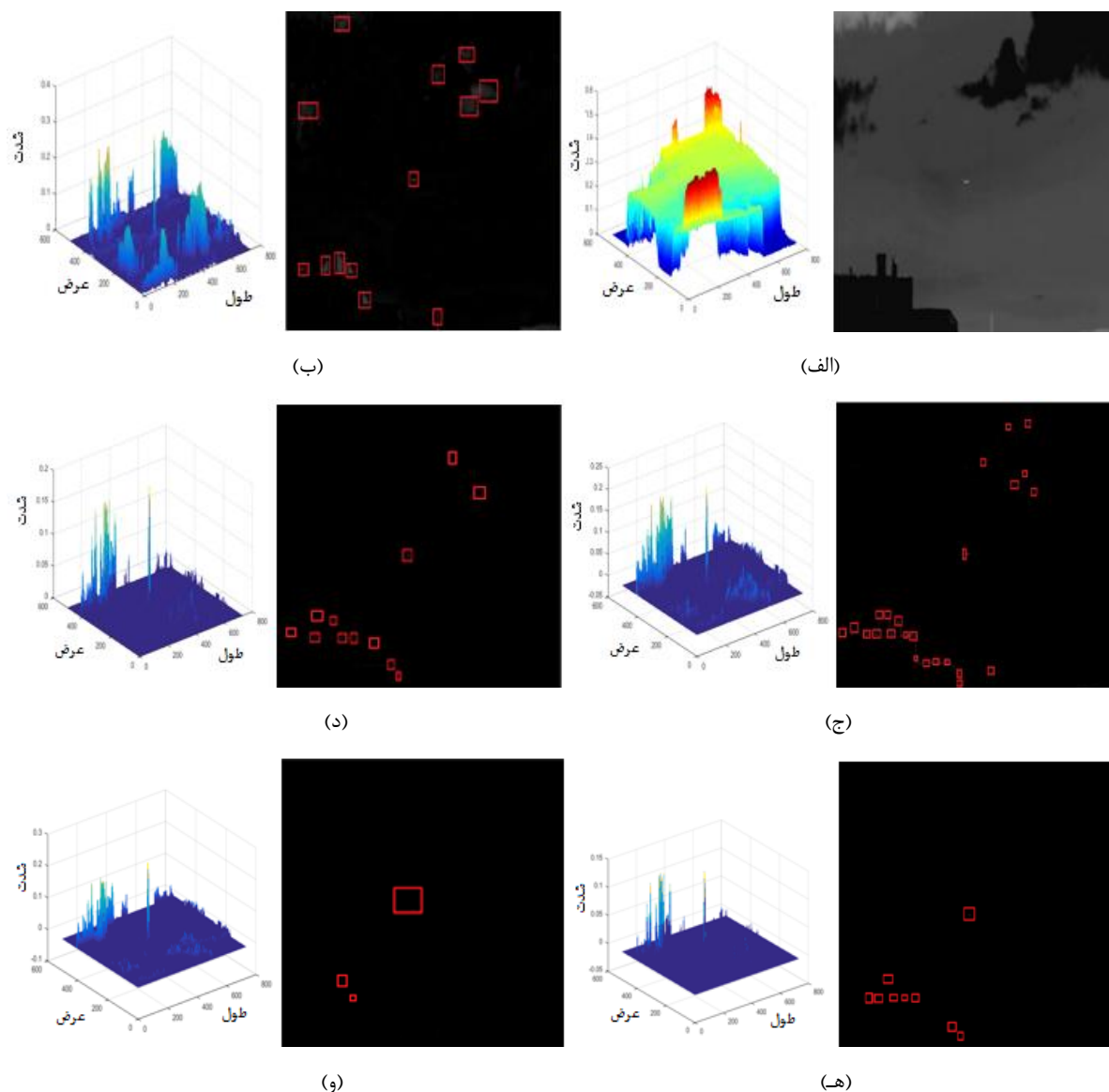
سه‌بعدی این تصویر را نشان می‌دهد. از بررسی شکل‌های (۸-ج تا و) که شامل تصویر بعد از اعمال تبدیل‌ها و نمودار سه‌بعدی آن‌ها است، می‌توان به این نتیجه رسید که تبدیل Top-Hat با المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱] نتوانسته به خوبی ناحیه هدف را ارتقاء دهد و هنوز کلاتر زیادی از پس‌زمینه در اطراف ناحیه هدف وجود دارد. تبدیل Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی مراجع [۱۱، ۱۳ و ۱۶] تا حد زیادی از کلاتر پس‌زمینه را تضعیف کرده است. در حالی که تبدیل Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی پیشنهادی با ارتقاء کنتراست بین هدف و پس‌زمینه نسبت به دیگر روش‌ها، تقریب بهتری از پس‌زمینه را از تصویر اصلی پیش‌بینی نموده است. اغلب کلاتر پس‌زمینه را تضعیف نموده و هدف را بهتر ارتقاء داده است.



شکل (۷): المان ساختاری ثابت برای مقایسه [۲۱].

۵-۱- مقایسه کیفی

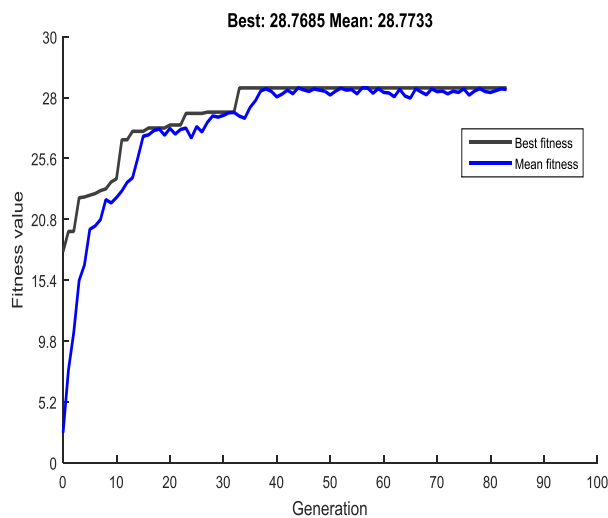
شکل (۸-الف) یک نمونه تصویر مادون قرمز شامل یک هدف هوایی کوچک در پس‌زمینه آسمان با کلاتر ساختمان و ابر و توصیف



شکل (۸): مقایسه کیفی بین تبدیل‌های Top-Hat با المان‌ساختاری ثابت و المان‌ساختاری تطبیقی برای تصویر شکل (۶-الف). الف- تصویر اصلی و توصیف سه‌بعدی از شدت تصویر اصلی، ب- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با المان‌ساختاری ثابت مرجع [۲۱] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، ج- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat بهبودیافته مرجع [۱۱] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، د- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با روش انتخابی- تطبیقی مرجع [۱۳] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، ه- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با روش الگوریتم ژنتیک مرجع [۱۶] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، و- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با روش پیشنهادی و توصیف سه‌بعدی شدت آن.

المان‌های ساختاری از مجموعه المان‌های ساختاری مناسب در شکل (۹-الف) نشان داده شده است. همچنین با در نظر گرفتن پارامتر ارزیابی SCR با گذشت تعداد نسل کمتر و در طی ۶۳ نسل با توجه به شکل (۱۰-ب) به همگرایی رسیده است. المان‌ساختاری بهینه با در نظر گرفتن این پارامتر در شکل (۱۰-الف) نشان داده شده است.

نمودار الگوریتم ژنتیک به کار رفته برای تصویر شکل (۸-الف) در شکل (۹-ب) با پارامتر ارزیابی BSF و در شکل (۱۰-ب) با پارامتر ارزیابی SCR نشان داده شده است. همانطور که شکل (۹-ب) نشان می‌دهد، در نسل ۸۳ با ثابت ماندن برازندگی در ۳ نسل متوالی به همگرایی رسیده است. در طی ۸۳ نسل در مجموع $4316 = 52 \times 83$ المان ساختاری بررسی شده است. یکی از

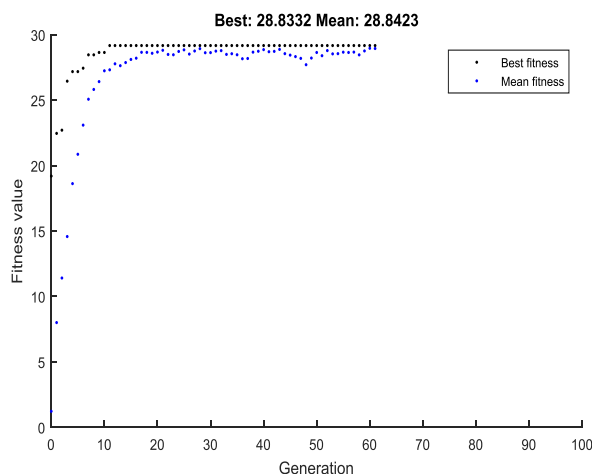


(ب)

۲۲۹/۰۶	۲۴۵/۹۵	۲۴۵/۹۹	۶۸/۳۱۴	۱۱۷/۹۹
۱۹۷/۳۵	۷۴/۱۹۵	۵۹/۰۸۵	۱۰۹/۹۳	۱۲۰/۱۳
۰/۶۸۸۰۵	۱۸۰/۹	۲۴۵/۸۴	۴/۸۷۲۱	۱۸۸/۹۳
۲۸/۳۲۸	۶۲/۸۸	۹۷/۴۶۲	۶۴/۳۳۸	۱۱۷/۷۶
۹۱/۸۷۵	۷۵/۷۸۴	۲۴۵/۸۱	۷۷/۹۱۶	۲۴۵/۹۸

(الف)

شکل (۹): نتایج الگوریتم ژنتیک با پارامتر ارزیابی BSF برای تصویر (۸-الف). الف- یکی از مجموعه‌المان ساختاری بهینه و ب- نمودار الگوریتم ژنتیک.



(ب)

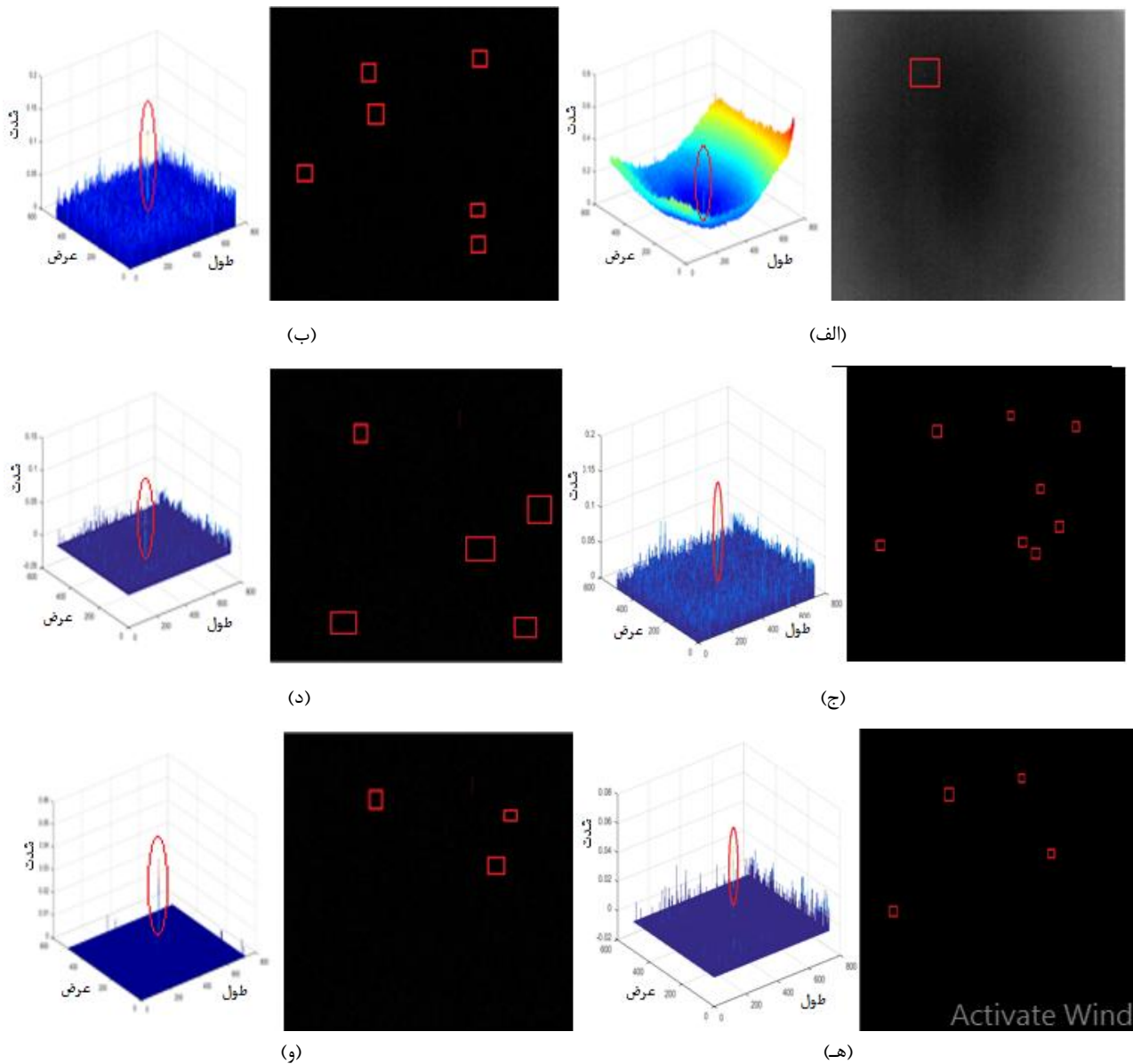
۲۰۸/۶۲	۲۹/۰۳۴	۲۴۳/۰۹	۲۳۸/۸۷	۱۶/۵
۱۳/۵۶	۶۶/۷۸	۱۱۰/۰۳	۱۵۱/۳۴	۶۴/۹۰
۱۴۱/۰۷	۵۹/۴۵۷	۲۵۴/۹۳	۱۵۳/۶۴	۱۰۳/۶۷
۹۲/۹۱	۱۲۹/۷۳	۱۲۱/۹۲۷	۱۸۶/۴۲	۵۷/۰۵۹
۱۲/۷۶	۷۷/۹۱۱	۲۵۵/۹۵۵	۲۱۱/۹۵	۵/۶۷۸۳

(الف)

شکل (۱۰): نتایج الگوریتم ژنتیک با پارامتر ارزیابی SCR برای تصویر (۸-الف). الف- یکی از مجموعه‌المان ساختاری بهینه و ب- نمودار الگوریتم ژنتیک.

شکل (۱۱-الف) تصویر شکل (۶-ج) با پس‌زمینه بسیار نویزی، بدون کلاتر و هدف کم‌نور را نشان می‌دهد و توصیف سه‌بعدی آن است. از بررسی شکل‌های (۱۱-ج-و) می‌توان به این نتیجه رسید که تبدیل Top-Hat با همان المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱] که برای تصویر شکل (۶-الف) استفاده شده بود، به خوبی نتوانسته ناحیه هدف را ارتقاء دهد و مقدار زیادی از کلاتر باقی‌مانده پس‌زمینه در اطراف ناحیه هدف وجود دارد. تبدیل Top-Hat با دیگر روش‌های مراجع [۱۱، ۱۳ و ۱۶] در این تصویر نتوانسته‌اند نویز پس‌زمینه را بخوبی تضعیف کنند، در نتیجه هشدار کاذب زیادی را در آشکارسازی هدف تولید می‌نمایند. اما روش پیشنهادی همانطور که در شکل (۱۱-و) نشان داده شده در طی نسل‌های مختلف الگوریتم ژنتیک با دست یافتن به بهینه‌ترین المان ساختاری متناسب با ویژگی‌های هدف بخوبی توانسته نویز پس‌زمینه را تضعیف و هدف را ارتقا دهد.

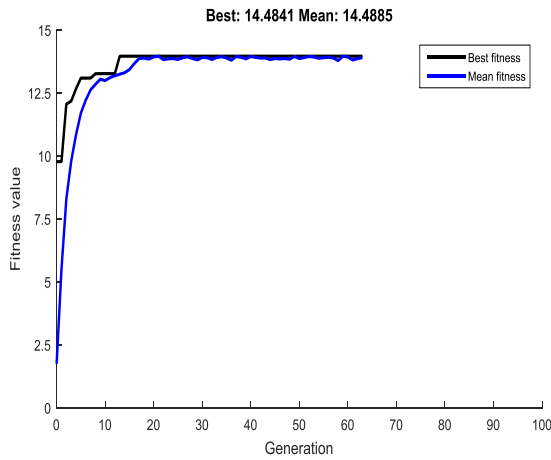
شکل (۱۱-الف) تصویر شکل (۶-ج) با پس‌زمینه بسیار نویزی، بدون کلاتر و هدف کم‌نور را نشان می‌دهد و توصیف سه‌بعدی آن است. از بررسی شکل‌های (۱۱-ج-و) می‌توان به این نتیجه رسید که تبدیل Top-Hat با همان المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱] که برای تصویر شکل (۶-الف) استفاده شده بود، به خوبی نتوانسته ناحیه هدف را ارتقاء دهد و مقدار زیادی از کلاتر باقی‌مانده پس‌زمینه در اطراف ناحیه هدف وجود دارد. تبدیل



شکل (۱۱): مقایسه کیفی بین تبدیل‌های Top-Hat با المان‌ساختاری ثابت و المان‌ساختاری تطبیقی برای تصویر شکل (۶-ج). الف- تصویر اصلی و توصیف سه‌بعدی از شدت تصویر اصلی، ب- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با المان‌ساختاری ثابت مرجع [۲۱] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، ج- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat بهبودیافته مرجع [۱۱] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، د- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با روش انتخابی- تطبیقی مرجع [۱۳] و توصیف سه‌بعدی شدت آن، ه- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با روش الگوریتم ژنتیک مرجع [۱۶] و توصیف سه‌بعدی شدت آن و و- تصویر خروجی بعد از تبدیل Top-Hat با روش پیشنهادی و توصیف سه‌بعدی شدت آن.

در نظر گرفتن پارامتر ارزیابی SCR با گذشت تعداد نسل بیشتر و در طی ۶۷ نسل با توجه به شکل (۱۳-ب) به همگرایی رسیده شد. المان‌ساختاری بهینه با در نظر گرفتن این پارامتر در شکل (۱۳-الف) نشان داده شده است.

با به کارگیری الگوریتم ژنتیک با پارامتر ارزیابی BSF، در طی ۶۳ نسل به المان‌ساختاری تطبیقی مناسب با این نوع تصویر مطابق شکل (۱۲-ب) دست پیدا کردیم. یکی از بهینه‌ترین المان‌ساختاری برای این شکل، در شکل (۱۲-الف) آمده است. همچنین با

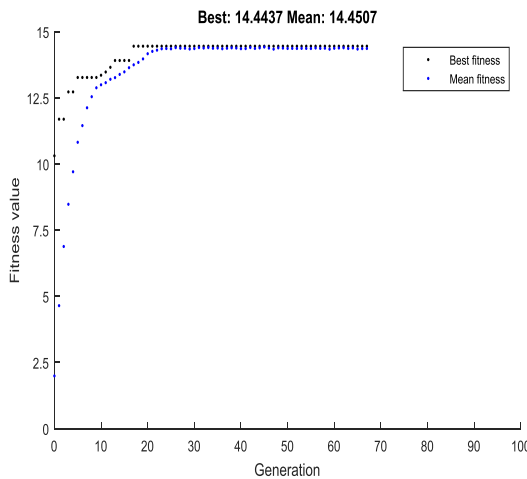


(ب)

۲۱۱/۰۷۶	۲۷/۰۶۷	۲۶۱/۰۲	۲۶۱/۴۷	۱۷/۸۳۷
۱۱۳/۵۷	۴۹/۷۳	۱۲۰/۶۶	۱۴۱/۶۹	۵۱/۵۳۷
۱۴۲/۰۹۴	۷۱/۴۷۲	۲۳۷/۹۷	۱۵۹/۳۰	۹۷/۳۸
۱۸۳/۲۱	۱۲۹/۰۹	۱۱۱/۷۸	۱۸۹/۳۷	۶۲/۴۵۱
۱۲۱/۹۳	۶۳/۷۲	۲۴۴/۷۲	۲۱۲/۵۷	۸/۹۳۱

(الف)

شکل (۱۲): نتایج الگوریتم ژنتیک با پارامتر ارزیابی BSF برای تصویر (۱۱-الف). الف- یکی از مجموعه‌المان‌ساختاری بهینه و ب- نمودار الگوریتم ژنتیک.



(ب)

۲۰۵/۷۷	۲۷/۰۶۷	۲۴۹/۲۳	۲۴۹/۲۹	۱۲/۵۰۱
۱۱۹/۲۲	۵۳/۶۶	۱۱۴/۶۶	۱۴۶/۵۸	۵۶/۶۸۴
۱۳۹/۰۴	۶۴/۷۱۷	۲۴۹/۱۵	۱۵۸/۸	۱۰۰/۴۱
۱۸۷/۷۸	۱۳۳/۰۹	۱۱۶/۰۵	۱۸۰/۳۶	۵۶/۸۶۶
۱۱۹/۰۴	۶۸/۳۰۳	۲۴۹/۳	۲۰۱/۹۳	-/۴۲۴۸۱

(الف)

شکل (۱۳): نتایج الگوریتم ژنتیک با پارامتر ارزیابی SCR برای تصویر (۱۱-الف). الف- یکی از مجموعه‌المان‌ساختاری بهینه و ب- نمودار الگوریتم ژنتیک.

۵-۲- مقایسه کمی

را به صورت منطبق با ویژگی‌های تصاویر پیش‌بینی و براساس آن اهداف در تصاویر مادون قرمز را با حداقل نرخ هشدار کاذب آشکار نماید. همانطور که در شکل‌های (۸- و) و (۱۱- و) نشان داده شده، به دلیل تضعیف خوب پس‌زمینه با المان‌ساختاری تطبیقی طراحی شده برای آشکارسازی اهداف از حد آستانه ساده برابر با میانگین بین بیشینه و کمینه مقدار تصویر بعد از اعمال تبدیل استفاده شده است.

مقادیر پارامترهای ارزیابی BSF و SCR برای تعدادی از تصاویر پایگاه داده برای تبدیل‌های مختلف به ترتیب در جدول‌های (۲-۱) نشان داده شده است. همان‌طور که جدول‌های (۲-۱) نشان می‌دهند، BSF و SCR برای تبدیل Top-Hat با المان‌ساختاری تطبیقی روش پیشنهادی در تصاویر مورد بررسی بسیار بزرگتر از دیگر تبدیل‌ها است. این امر نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی مقاله با عملکردی مناسب می‌تواند المان‌ساختاری تبدیل Top-Hat

جدول (۱): مقایسه بین تبدیل‌های مختلف با پارامتر ارزیابی BSF برای تعدادی از تصاویر پایگاه داده با SNR مختلف.

تصویر (۹)	تصویر (۸)	تصویر (۷)	تصویر (۶)	تصویر (۵)	تصویر (۴)	تصویر (۳)	تصویر (۲)	تصویر (۱)	BSF
۱/۹۲۱۶	۵/۱۴۵۳	۸/۱۱۰۹	۱۲/۲۵۱۳	۱۱/۹۲۸۴	۶/۳۷۱	۰/۳۷۸۴	۵/۹۴۵۴	۷/۴۲۰۳	Top-Hat با المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱]
۷/۵۱۸۹	۱۱/۵۱۷۲	۹/۷۴۵۵	۱۲/۷۶۱۸	۱۳/۱۲۲۸	۸/۹۳۲۷	۳/۶۸۹۱	۵/۹۷۰۹	۸/۱۳۲۷	Top-Hat بهبود یافته مرجع [۱۱]
۱۱/۶۲۷۱	۱۷/۲۷۴۱	۷/۸۲۱۹	۱۵/۱۳۴۷	۱۱/۹۲۶	۱۹/۷۲۰۴	۹/۱۲۱۹	۱۱/۳۱۳۲	۲۳/۷۳۰۹	Top-Hat تطبیقی، انتخابی مرجع [۱۳]
۲۵/۴۵۵۷	۳۱/۶۷۸۴	۱۸/۵۷۴۲	۲۳/۶۵۴۷	۱۴/۷۲۱۸	۲۷/۶۷۲۱	۱۴/۱۳۶۴	۱۶/۴۷۵۹	۲۲/۷۸۳	Top-Hat با روش GA مرجع [۱۶]
۲۴/۵۵۷	۳۸/۶۲۷۸	۲۳/۶۱۹	۲۷/۶۱۲۸	۱۷/۸۲۳۱	۳۲/۸۱۲۹	۱۴/۴۸۴۱	۱۸/۴۲۵۶	۲۸/۷۶۸۵	Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی روش

جدول (۲): مقایسه بین تبدیل‌های مختلف با پارامتر ارزیابی SCR برای تعدادی از تصاویر پایگاه داده با SNR مختلف.

تصویر (۹)	تصویر (۸)	تصویر (۷)	تصویر (۶)	تصویر (۵)	تصویر (۴)	تصویر (۳)	تصویر (۲)	تصویر (۱)	SCR
۰/۰۹۳۴۱	۱۲/۶۵۲۸	۹/۴۵۴۲	۱۳/۶۵۱۹	۱۱/۶۴۷۳	۷/۵۳۵۹	۲/۰۹۳۴	۱۴/۹۰۴	۲۳/۹۸۳	Top-Hat با المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱]
۰/۸۲۵۶	۱۵/۶۸۷۲	۹/۹۶۵۴	۱۶/۹۵۶۴	۱۲/۹۵۷۸	۱۱/۰۲۵۷	۲/۱۹۷۵	۱۶/۵۶۲	۲۴/۱۸۴۲	Top-Hat بهبود یافته مرجع [۱۱]
۲/۰۴۵۷	۱۴/۰۴۵۷	۱۱/۰۱۸۲	۱۷/۸۵۲۷	۱۴/۲۶۸۴	۱۲/۲۴۱۶	۳/۳۵۲۹	۱۶/۶۸۸۱	۲۴/۴۵۱	Top-Hat تطبیقی-انتخابی مرجع [۱۳]
۱۱/۲۵۷۹	۲۲/۰۲۷۸	۲۰/۵۴۷۳	۲۶/۳۵۹۴	۲۱/۵۷۹	۱۷/۲۵۷۹	۸/۲۵۷۹	۱۷/۱۳۳۹	۲۵/۴۴۲۷	Top-Hat با روش GA مرجع [۱۶]
۳۹/۲۵۷۹	۳۷/۰۲۷۹	۲۸/۵۷۹۱	۳۳/۳۳۵۷	۲۷/۵۸۸۶	۲۳/۲۵۷۱	۱۴/۴۴۳۷	۱۷/۹۶۷	۲۸/۸۳۲۲	Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی روش پیشنهادی

می‌تواند المان ساختاری تبدیل Top-Hat را به صورت منطبق با ویژگی‌های تصاویر پیش‌بینی و براساس آن اهداف در تصاویر مادون قرمز را با حداقل نرخ هشدار کاذب آشکار نماید. همان‌طور که در شکل‌های (۸- و) و (۱۱- و) نشان داده شده، به دلیل تضعیف

همان‌طور که جدول‌های (۲- و) نشان می‌دهند، BSF و SCR برای تبدیل Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی روش پیشنهادی در تصاویر مورد بررسی بسیار بزرگتر از دیگر تبدیل‌ها است. این امر نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی مقاله با عملکردی مناسب

خوب پس زمینه با المان ساختاری تطبیقی طراحی شده برای آشکارسازی اهداف از حد آستانه ساده برابر با میانگین بین بیشینه و کمینه مقدار تصویر بعد از اعمال تبدیل استفاده شده است. در جدول های (۳-۴) به ترتیب احتمال تشخیص صحیح^۱ و نرخ هشدار کاذب که مطابق با روابط (۱۱-۱۲) محاسبه شده اند [۲۴]، نشان داده شده است.

$$P_d = \frac{\text{تعداد پیکسل های آشکار شده}}{\text{تعداد پیکسل های هدف حقیقی}} \times 100 \quad (11)$$

$$P_f = \frac{\text{تعداد پیکسل های اهداف کاذب}}{\text{تعداد کل پیکسل های تمام تصاویر}} \times 100 \quad (12)$$

جدول (۳) مقایسه احتمال تشخیص صحیح بین تبدیل های مختلف برای تعدادی از تصاویر پایگاه داده با SNR مختلف.

تصویر (۹)	تصویر (۸)	تصویر (۷)	تصویر (۶)	تصویر (۵)	تصویر (۴)	تصویر (۳)	تصویر (۲)	تصویر (۱)	P _d
٪۳۲	٪۷۹	٪۷۶	٪۹۳	٪۸۸	٪۸۳	٪۴۲	٪۸۴	٪۹۶	Top-Hat با المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱]
٪۴۱	٪۸۵	٪۷۹	٪۹۳	٪۹۰	٪۸۴	٪۴۷	٪۸۵	٪۹۶	Top-Hat بهبود یافته مرجع [۱۸]
٪۴۸	٪۸۹	٪۸۳	٪۹۴	٪۹۰	٪۸۶	٪۶۳	٪۸۹	٪۹۷	Top-Hat تطبیقی - انتخابی مرجع [۱۳]
٪۶۳	٪۹۷	٪۸۹	٪۹۷	٪۱۰۰	٪۹۱	٪۸۹	٪۹۳	٪۱۰۰	Top-Hat با روش GA مرجع [۱۶]
٪۹۱	٪۱۰۰	٪۹۶	٪۹۸	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۹۴	٪۹۷	٪۱۰۰	Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی روش پیشنهادی

جدول (۴) مقایسه نرخ هشدار کاذب بین تبدیل های مختلف برای تعدادی از تصاویر پایگاه داده با SNR مختلف.

تصویر (۹)	تصویر (۸)	تصویر (۷)	تصویر (۶)	تصویر (۵)	تصویر (۴)	تصویر (۳)	تصویر (۲)	تصویر (۱)	P _f
٪۵۹	٪۳۳	٪۳۶	٪۱۹	٪۲۴	٪۳۵	٪۷۳	٪۳۹	٪۲۷	Top-Hat با المان ساختاری ثابت مرجع [۲۱]
٪۴۴	٪۲۱	٪۳۳	٪۱۸	٪۲۷	٪۳۳	٪۷۲	٪۲۹	٪۲۳	Top-Hat بهبود یافته مرجع [۱۱]
٪۳۷	٪۱۵	٪۲۹	٪۱۸	٪۲۳	٪۲۷	٪۶۸	٪۲۷	٪۲۳	Top-Hat تطبیقی - انتخابی مرجع [۱۳]
٪۲۱	٪۱۵	٪۲۹	٪۱۰	٪۱۲	٪۱۵	٪۴۴	٪۱۷	٪۲۲	Top-Hat با روش GA مرجع [۱۶]
٪۱۱	٪۱۲	٪۲۸	٪۱۰	٪۱۲	٪۱۲	٪۱۸	٪۱۶	٪۱۸	Top-Hat با المان ساختاری تطبیقی روش پیشنهادی

¹ Probability of Correct Detection

- [3] P. A. French, J. R. Zeidler, and W. H. Ku, "Enhanced detectability of small objects in correlated clutter using an Improved 2-D adaptive lattice algorithm," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, no. 3, pp. 383-397, 1997.
- [4] M. Nasiri, M. R. Mosavi, and S. Mirzakuchaki, "Infrared dim small target detection with high reliability using saliency map fusion," IET Image Processing, vol. 10, no. 7, pp. 524-533, 2016.
- [5] X. Bai, "Morphological center operator for enhancing small target obtained by infrared imaging sensor," International Journal for Light and Electron Optics, vol. 125, no. 14, pp. 3697-3701, 2014.
- [6] X. Qin, Y. Zhao, K. Yang, and H. Wang, "Research on IR small target detection and background suppression," IEEE International Conference on Information Theory and Information Security (ICITIS), pp. 80-83, 2010.
- [7] C. E. Charlene, J. Silverman, and J. M. Mooney, "Optimization of point target tracking filters," International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 8, no. 11, pp. 255-264, 2015.
- [8] S. Kim, "Min-local-LoG filter for detecting small targets in cluttered background," IEEE Conference on Image and Signal Processing, pp. 105-106, 2011.
- [9] H. Deng, Y. T. Wei, and M. W. Tong, "Small target detection based on weighted self-information map," Infrared Physics & Technology, vol. 60, pp. 197-206, 2013.
- [10] J. Wu, S. Huang, H. Kang, and Y. Zhong, "Fusion Detection Algorithm for Infrared Dim Target based on Temporal - Spatial Domain Accumulation and Difference," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 36, no. 1, pp. 15-25, 2000.
- [11] Z. Peng, X. Hu, and J. Lu, "The research of dual-band IR imaging information processing," SPIE Multispectral Image Acquisition and Processing, pp. 356-366, 2010.
- [12] F. Zhao, H. Lu, Z. Zhang, and S. Xiao, "Complex background suppression based on fusion of morphological open filter and nucleus similar pixels bilateral filter," Infrared Physics & Technology, vol. 55, no. 6, pp. 454-461, 2012.
- [13] R. Saran and A. K. Sarje, "Robust Long Range Target Detection Algorithm using Adaptive Selective Top-Hat Transform," IEEE International Conference on Image Information Processing (ICIIP), pp. 1-5, 2012.
- [14] H. Lee, S. Kima, J. H. Leea, W. Choia, D. Parka, C. Nohb, and N. Kangc, "Development of a demeaning filter for small object detection in infrared images," Polarimetric and Infrared Processing for Automatic Target Recognition, pp. 688-697, 2009.
- [15] J. Wang and D. Gao, "Improved morphological Top-Hat filter optimized with genetic algorithm," IEEE Conference on Image and Signal Processing, pp. 17-28, 2009.
- [16] W. Ming, W. Zhen, L. Ying, and W. Yun, "IR image signature of target detection based on the morphology filter with self-adaptive optimized genetic algorithms," International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, vol. 7383, no. 3, pp. 85-93, 2009.
- [17] Z. Shao, X. Zhu, and J. Liu, "Morphology infrared image target detection algorithm optimized by genetic theory," International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 1299-1304, 2008.

همان طور که نتایج ارزیابی های کمی و کیفی نشان می دهد، الگوریتم پیشنهادی مقاله به خوبی می تواند المان ساختاری تبدیل Top-Hat را به صورت تطبیقی با توجه به اهداف و ساختار تصاویر مادون قرمز پیش بینی نماید و در نتیجه با استفاده از آن می توان آشکارسازی اهداف را بهبود و کلاتر و نویز پس زمینه را فرونشاند.

۶- نتیجه گیری

به منظور افزایش SNR تصویر و در نتیجه آشکارسازی دقیق اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز، اهداف در زمینه نویزی باید بهبود یابند. برای ارتقا بهتر هدف از تبدیل های ریخت شناسی استفاده می شود. یکی از تبدیل های ریخت شناسی که بسیار برای این منظور استفاده شده است، تبدیل Top-Hat می باشد. به صورت معمول، در این تبدیل از المان ساختاری ثابت برای آشکارسازی اهداف استفاده می شود. ولی به کارگیری المان ساختاری ثابت نمی تواند برای تصاویر با SNRهای متفاوت مناسب باشد. در نتیجه باید برای دستیابی به آشکارسازی دقیق تر اهداف از المان ساختاری تطبیقی مناسب با هر تصویر استفاده شود. به دلیل این که برای دستیابی به این المان ساختاری تطبیقی فضای بزرگی برای جستجو وجود دارد، در این مقاله، الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. به منظور کاهش خطای کوانتیزاسیون الگوریتم ژنتیک گسسته و پوشش تصاویر سطح خاکستری از الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. برای تابع برازندگی این الگوریتم از معیارهای ارزیابی BSF و SCR که معیارهای متداولی برای ارزیابی بهبود اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز هستند، استفاده شده است.

آزمایشات بر روی تصاویر مادون قرمز واقعی نشان می دهد که روش پیشنهادی مقاله در مقایسه با روش های دیگر بر پایه تبدیل Top-Hat، معیار ارزیابی BSF را ۲۰ درصد و SCR را ۳۰ درصد بهبود داده است. همچنین روش پیشنهادی به احتمال تشخیص صحیح به مراتب بالاتری دست پیدا کرده و در نتیجه با کاهش نرخ هشدار کاذب منجر به آشکارسازی دقیق تر اهداف شده است.

۷- مراجع

- [1] R. Xia, J. Zhao, B. Hui, Z. Chang, and G. Zhou, "A simple and efficient saliency extraction method based on multi-scale horizon-directional filter for infrared dim small target detection," Pattern Recognition and Computer Vision, vol. 8004, pp. 978-989, 2011.
- [2] S. D. Deshpande, M. H. Er, V. Ronda, and P. Chan, "Max-mean and max-median filters for detection of small-targets," Proc. SPIE, vol. 3809, pp. 74-83, 1999.

- [18] S. Kim, Y. Yang, J. Lee, and Y. Park, "Robust scale invariant small target detection using the Laplacian scale-space theory," *SPIE Signal and Data Processing of Small Targets*, vol. 14, no. 21, pp. 57-66, 2010.
- [19] H. B. Srivastava, V. Kumar, H. K. Verma, and S. S. Sundaram, "Image preprocessing algorithms for detection of small/point airborne targets," *Defense Science*, vol. 59, no. 2, pp. 166-174, 2009.
- [20] X. Bai and F. Zhou, "Infrared small target enhancement and detection based on modified Top-Hat transformations," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 36, no. 6, pp. 1193-1201, 2010.
- [21] C. Hong and S. Longhe, "The Optimized Design and Application of circular Morphological Filter," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 3, pp. 761 - 767, 2009.
- [22] N. Yu, C. Y. Wu, and F. M. Li, "Automatic target recognition in infrared image using morphological genetic filtering algorithm," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 2, pp. 1251-1254, 2003.
- [23] S. Kim, Y. Yang, J. Lee, and Y. Park, "Small target detection utilizing robust methods of the human visual system forIRST," *Journal Infrared Milli Terahz Waves*, vol. 30, pp. 994-1011, 2009.
- [24] Y. F. Gu, C. Wang, B. X. Liu, and Y. Zhang, "A kernel-based nonparametric regression method for clutter removal in infrared small-target detection applications," *IEEE Conference on Image and Signal Processing*, pp. 469-473, 2010.

Flying Small Target Detection in Infrared Images Based on Adaptive Top-Hat Transform

F. S. Marvasti, M. Nasiri, M. R. Mousavi*

*Iran University of Science and Technology

(Received: 25/10/2016, Accepted: 13/02/2017)

ABSTRACT

Automatic detection and tracking of small target in infrared images is the great importance in the modern world. Top-Hat transformation is the important class of nonlinear transformation morphology that has wide usages in the detection and tracking the target in infrared images. The most important problem in improving the efficiency of conversion of Top-Hat transformation, the use of structural elements according to the SNR of each image. Since the images have different clutter and targets, the use of structural elements with fixed shape and dimations for images with different SNR cannot lead to accurate detection. Therefore, to improve the detection, adaptive structural elements should be used. For this purpose, in this paper, we use continuous genetic algorithm to achieve Top-Hat transformation adaptive structural elements, in order to identify more precisely target point. Qualitative and quantitative evaluation results on real images show that the proposed method compared with other methods based on morphology with fixed structural element has a better performance in target detection in infrared image and produce fewer false alarms.

Keywords: Target detection, Morphology transformation, Top-Hat transformation, Infrared images, Genetic algorithm and Adaptive structural elements.