

بهبود اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز با استفاده از آنتروپی وزن دار آماری

مهدی نصیری^{۱*}، سعید چهره‌سا^۲، سید عبدالله میرمهدوی^۳

۱- مری، ۲- پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۳- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود

(دریافت: ۹۴/۱۰/۲۰، پذیرش: ۹۵/۰۲/۱۴)

چکیده

بهبود اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز یکی از مهمترین مسائل در سامانه‌های آشکارسازی و ردیابی اهداف می‌باشد. الگوریتم‌های بهبود اهداف، امکان تفکیک دقیق‌تر بین پیکسل‌های نواحی پس‌زمینه و اهداف را در تصاویر مادون قرمز فراهم می‌آورد. در این مقاله، روش جدید آنتروپی وزن دار آماری جهت تضعیف کلاترهای پس‌زمینه و افزایش کنتراست بین اهداف و کلاتر پس‌زمینه پیشنهاد شده است. از بهترین راه‌ها برای بیان مشخصات شدت روشنایی تصویر، استفاده از آنتروپی محلی است. در نتیجه، آنتروپی وزن دار آماری مطابق با این واقعیت طراحی شده است که پیکسل‌های شامل اهداف کوچک، باعث تغییرات عمده‌ای در مقدار آنتروپی وزن دار آماری در پنجره‌های محلی تصویر مادون قرمز می‌گردد و براحتی می‌توان پیکسل‌های هدف و پس‌زمینه را از هم تفکیک نمود. در مرحله اول، آنتروپی وزن دار آماری هر پنجره محلی متناظر با هر پیکسل از تصویر محاسبه می‌شود. در پایان این مرحله، شدت روشنایی کلاترهای پس‌زمینه تا حد زیادی تضعیف گردیده و پیکسل‌های هدف بهبود می‌یابند. در مرحله بعد، از یک ضریب بهبود خودکار به منظور برجسته‌تر شدن اهداف و ایجاد کنتراست بیشتر بین ناحیه هدف و کلاترهای پس‌زمینه، استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی کیفی و کمی، الگوریتم پیشنهادی بر روی مجموعه‌ای از تصاویر مادون قرمز شامل ۳۰ تصویر با پس‌زمینه‌های مختلف و پیچیده، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی خوبی می‌تواند با تضعیف کلاتر پس‌زمینه، باعث بهبود ناحیه هدف گردد و در نتیجه احتمال آشکارسازی و ردیابی اهداف را بیشتر نماید.

واژه‌های کلیدی: تصویر مادون قرمز، بهبود اهداف، تضعیف کلاتر، آنتروپی، سامانه آشکارسازی

سیگنال به نویز (SNR)، در این تصاویر می‌باشد [۲]. لذا با استفاده از سامانه خودکار بهبود کیفیت تصاویر مادون قرمز، اپراتور می‌تواند بازبینی دقیق و سریعتری را نسبت به اهداف داشته، و مواردی نظیر عدم دقت و شناسایی کاذب اهداف در این تصاویر را کاهش دهد.

مسئله بهبود در تصاویر مادون قرمز را می‌توان بطور کلی به دو بخش تقسیم‌بندی نمود و آنرا مورد ارزیابی قرار داد. یک جنبه مربوط به بهبود از دیدگاه بصری و دیداری تصویر می‌باشد که معمولاً به علت کنتراست پایین تصویر مادون قرمز، هدف آن بهبود عمومی کنتراست تصویر است تا اجسام در این تصاویر بخوبی قابل رؤیت گردد و انسان از لحاظ بصری درک بهتری نسبت تصویر اولیه داشته باشد. این نوع از بهبود بیشتر در مواردی کاربرد دارد که از دوربین مادون قرمز با طول موج نزدیک به مادون قرمز (NIR) استفاده می‌شود. از موارد کاربرد آن می‌توان در دوربین‌های مدار بسته، سلاح‌ها و ادوات جنگی دستی و مواردی که هدف آن بهبود کنتراست محیط پیرامون باشد، نام

۱- مقدمه

در حوزه علوم نظامی جهت شناسایی و آشکارسازی اهدافی که در دورترین فاصله از خود تشعشعات حرارتی (مادون قرمز) متصاعد می‌کنند، از سیستم‌های جستجو و شناسایی مادون قرمز (IRST) استفاده می‌شود. یکی از مسائل مهم در این نوع از سامانه‌ها، مسئله ارائه الگوریتم پردازش تصویر مناسب جهت بهبود اهداف نقطه‌ای می‌باشد. به دلیل فاصله بسیار زیاد اهداف از سیستم جستجوگر، سیگنال دریافت شده از هدف بسیار ضعیف بوده و تحت تأثیر اتمسفر و سایر عوامل قرار می‌گیرد. این مسئله باعث می‌شود که در تصویر مادون قرمز کنتراست هدف نسبت به پس‌زمینه کم، و ابعاد آن کوچک و در حد چند پیکسل باشد [۱]. طی چند دهه اخیر، در حوزه علوم نظامی روش‌های مختلفی برای بهبود آگاهی‌های موقعیتی مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، بهبود کیفیت تصاویر مادون قرمز است که در برگیرنده فرایندهایی همچون: بهبود کنتراست، و بهبود معیار

رویه توسط انحراف معیار تطبیقی جهت تخمین تصویر پس‌زمینه مکانی و زمانی و با تحلیل پنجره‌های اطراف فیلترهای مکانی و زمانی صورت می‌پذیرد. همچنین، در سال‌های اخیر جهت تضعیف پیکسل‌های پس‌زمینه شامل اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز، از توصیف‌گر آنتروپی محلی جهت بهبود ناحیه هدف استفاده شده است [۱۵-۱۴]. در مرجع [۱۵] از روش اطلاعات آنتروپی محلی که به صورت وزن‌دار طراحی شده است جهت تضعیف کلاترهای پس‌زمینه و بهبود اهداف کوچک بهره گرفته شده است. مبنای استفاده از این روش، تغییر مقادیر آنتروپی در پیکسل‌های شامل هدف کوچک است. از معایب این روش، عدم تضعیف بهینه در در نواحی بین مرز کلاترها می‌باشد. همانند روش آنتروپی محلی، نویسندگان در مرجع [۱۶] از روش نقشه خود-اطلاعات به منظور تضعیف پیکسل‌های پس‌زمینه با کلاترهای سنگین و بهبود هدف استفاده کرده‌اند. از معایب این روش، حجم محاسباتی سنگین و پیچیده است. در مرجع [۱۷] از فیلترهای $DSODD^4$ به منظور بهبود ناحیه هدف و استفاده از نظریه چند مقیاس برای کاهش هشدار کاذب استفاده شده است. از فیلترهای $DSODD$ برای تجزیه تصویر اصلی به زیر باندهایی در جهت‌های افقی، عمودی و قطری استفاده می‌شود. از معایب این روش، حساسیت بالای آن نسبت به نویز است که نسبت به مشتق مرتبه اول دارای عملکرد ضعیفتری می‌باشد. در مرجع [۱۸] جهت افزایش کنتراست بین هدف و تصویر پس‌زمینه از فیلتر LOG^5 استفاده شده است و در مرحله بعد از روش‌های مورفولوژی در همه جهات برای از بین بردن دیگر کلاترها استفاده می‌شود. از آنجائی که اهداف در این تصاویر به جهت‌ها حساس نیستند، بنابراین از المان‌های ساختاری گوناگون در جهت‌های مختلف در این مقاله استفاده شده است. از ایرادات این روش می‌توان به تنظیم پارامترهای گوناگون اشاره کرد. در مرجع [۱۹]، روشی جهت حذف کلاترهای تصویر پس‌زمینه ارائه شده است. با این فرض که کلاترهای پس‌زمینه تشکیل دهنده اطلاعات فرکانس پایین تصویر می‌باشند و مناطق هدف دارای اطلاعات فرکانس بالای تصویر هستند. با استفاده از فیلتر پایین‌گذر گوسی دامنه اطلاعات فرکانس پایین تصویر حذف شده و کلاترها تضعیف می‌گردند. از معایب این روش، می‌توان به ضعف در بهبود پیکسل‌های اهدافی که در بین کلاترهای سنگین قرار گرفته‌اند، اشاره نمود. در مرجع [۲۰] روشی برای آشکارسازی و بهبود اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز بر مبنای نظریه بصری نقشه بولی معرفی شده است. این روش از پدیده‌ای الهام گرفته شده است که در آن اهداف کوچک اغلب می‌توانند حساسیت چشم انسان را با توجه به دو مشخصه، روشنایی و شکل شبه-گوسی در ناحیه بافت محلی، بیشتر کنند. در مرجع [۲۱]،

جنبه دیگر مربوط به بهبود اهداف در تصاویر مادون قرمز است که هدف آن تضعیف پیکسل‌های پس‌زمینه و محیط پیرامون و بهبود روشنایی پیکسل‌های ناحیه هدف می‌باشد، به نحوی که هدف برجسته‌تر از سایر نواحی نشان داده شود. استفاده از این نوع الگوریتم‌های بهبود، بیشتر در سامانه‌های آشکارسازی و ردیابی اهدافی که از دوربین‌های مادون قرمز با طول موج میانی (1^{MWIR}) و بلند (2^{LWIR}) استفاده می‌کنند، کاربرد دارد. در این مقاله نیز مقصود اصلی بهبود اهداف در تصویر مادون قرمز، تضعیف کلاتر پس‌زمینه و در نتیجه افزایش کنتراست بین اهداف و کلاتر پس‌زمینه می‌باشد که آن را برای مراحل بعدی سامانه آشکارسازی و ردیابی مناسب می‌گرداند. ذکر این نکته ضروری است که عموماً روش‌های مربوط به جنبه اول بهبود تصویر مادون قرمز [۳-۷] منجر به بهبود اهداف کوچک و تضعیف کلاتر پس‌زمینه در تصویر مادون قرمز نمی‌شوند. چرا که بسیاری از این روش‌ها و الگوریتم‌ها در شرایط و کاربردهای مختلف از جمله وجود بازتاب آسمان، تالو خوردشید، کلاترهای سنگین^۳ و کوچک بودن اهداف، رفتار بهینه‌ای نداشته و در برخی از مواقع موجب از دست رفتن برخی اطلاعات تصویری و در نتیجه عدم امکان آشکارسازی صحیح اهداف موجود در صحنه می‌شوند [۸]. از این رو، در این مقاله تمرکز بر روی جنبه دوم از روش‌های بهبود تصویر مادون قرمز است که منجر به برجسته‌تر شدن اهداف و تضعیف کلاترهای پس‌زمینه می‌شود که نتیجه آن افزایش کنتراست بین اهداف کوچک و کلاتر پس‌زمینه می‌باشد.

تاکنون الگوریتم‌های گوناگونی به منظور بهبود ناحیه هدف و تضعیف پس‌زمینه در تصاویر مادون قرمز در مقالات ارائه شده است که در ادامه به معرفی آنها پرداخته می‌شود. روش‌های مبتنی بر فیلتر [۱۰-۹]، بخش عمده‌ای از الگوریتم‌های بهبود اهداف در تصاویر مادون قرمز را تشکیل می‌دهند. با این حال، این فیلترها حساس به پارامترهای مختلفی هستند که ممکن است باعث پیچیدگی این الگوریتم‌ها گردد. روش‌های مبتنی بر هسته [۱۱-۱۲]، از جمله روش‌های غیرپارامتریکی بشمار می‌روند که وابستگی آنها به پارامترها و عوامل گوناگون کمتر می‌باشد ولی ممکن است عملکردشان در پس‌زمینه‌ها و کلاترهای سنگین تحت تأثیر قرار بگیرد. در مرجع [۱۳] از فیلتر دوطرفه مکانی و زمانی برای بهبود تصاویر مادون قرمز شامل اهداف کوچک استفاده شده است. در این روش، اطلاعات مکانی تصویر توسط فیلتر دوطرفه مکانی، و اطلاعات زمانی تصویر توسط فیلتر دو طرفه زمانی استخراج می‌گردند. مبنای این روش تخمین تصویر پس‌زمینه و سپس حذف آن توسط یک مقدار آستانه است. این

4 -Directional Second-order Directional Derivative (DSODD)
5 -Laplacian of Gaussian

1 -Mead-Wave InfraRed
2 -Long-Wave InfraRed
3 -Heavy Clutter

می‌باشد [۲۵]. آنتروپی محلی بیانگر تناوب تغییرات و تحلیل آماری مقادیر سطح روشنایی پیکسل‌های محلی یک تصویر است، ولی به خوبی قادر به مشخص نمودن میزان درجه این تغییرات نمی‌باشد. از اینرو، در روش پیشنهادی این مقاله از روش نوینی به نام آنتروپی وزن دار آماری جهت برجسته‌تر نمودن پیکسل‌های هدف و تضعیف پیکسل‌های پس‌زمینه که شامل کلاترهای سنگین و نویز می‌باشد، استفاده شده است. در حقیقت الگوریتم آنتروپی وزن دار آماری مطابق با این واقعیت طراحی شده است که پیکسل‌های شامل اهداف کوچک، باعث تغییرات عمده‌ای در مقدار آنتروپی وزن دار آماری در پنجره‌های محلی تصویر مادون قرمز می‌گردد. این موضوع می‌تواند به تفکیک ناحیه هدف از پس‌زمینه کمک زیادی کند. بطور خلاصه، روال انجام فرایند الگوریتم پیشنهادی به اینصورت است که؛ در فاز اول، آنتروپی وزن دار آماری هر پنجره محلی متناظر با هر پیکسل از تصویر محاسبه می‌شود. در پایان این فاز، کلاترهای پس‌زمینه تا حد زیادی تضعیف می‌شوند و پیکسل‌های شامل اهداف کوچک بهبود می‌یابند. در فاز بعدی، از یک ضریب بهبود خودکار به منظور برجسته‌تر شدن اهداف و ایجاد کنتراست بیشتر بین ناحیه هدف و کلاترهای پس‌زمینه، استفاده می‌شود.

ساختار مقاله در ادامه به این شرح است که: در بخش ۲، نظریه و روش‌های موجود در مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش پیشنهادی مقاله و الگوریتم آنتروپی وزن دار آماری در بخش ۳، معرفی می‌شود. در بخش ۴، نتایج آزمایشات و ارزیابی‌های کیفی و کمی صورت گرفته بر روی مجموعه‌ای از داده‌های تصاویر مادون قرمز، ارائه می‌گردد. در نهایت، در بخش ۵ به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری خواهیم پرداخت.

۲- نظریه و روش‌ها

همان‌طور که عنوان شد، هدف اصلی روش‌های بهبود تصاویر مادون قرمز در سامانه‌های جستجو و ردیابی مادون قرمز (IRST)، افزایش کیفیت و بهبود ناحیه هدف، و در مقابل تضعیف کلاترهای سنگین و از بین بردن نویزها می‌باشد. از این‌رو، جهت تفکیک و تمایز بین این نواحی در مراجع مختلف [۲۶-۲۷] یک تصویر مادون قرمز به‌طور کلی به‌صورت رابطه زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$f(x, y) = f_t(x, y) + f_b(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

مطابق این رابطه، (x, y) نشان‌دهنده مختصات مکانی تصویر، f بیانگر تصویر مادون قرمز متشکل از اهداف کوچک، f_t بیانگر شدت روشنایی ناحیه هدف، f_b بیانگر ناحیه پس‌زمینه و n بیانگر نویز موجود در یک تصویر مادون قرمز می‌باشد. در عمل، به‌دلیل وجود

بمنظور عملکرد بهتر بهبود تصویر مادون قرمز و ایجاد تصویری با جزئیات واضح‌تر، الگوریتمی بر مبنای عملگر تغییر وضعیت ترتیبی چند مقیاس پیشنهاد شده است. ابتدا، عملگر تغییر وضعیت ترتیبی که از عملگرهای مورفولوژی بازکردن و بستن به‌عنوان عملگرهای اولیه استفاده می‌کند، ایجاد می‌شود. در ادامه، از طریق عملگر تغییر وضعیت ترتیبی، فرایند استخراج ویژگی صورت می‌پذیرد و بسط چند مقیاس آن بطور دقیق محاسبه می‌شود. در نهایت، به‌منظور ایجاد تصویر بهبود یافته، ویژگی‌های استخراج شده نهایی با یکدیگر ترکیب شده و تصویر بهبود یافته نهایی را تشکیل می‌دهد. از معایب این روش، بهبود بصری تصویر مادون قرمز است که بخوبی منجر به بهبود هدف و تضعیف کلاتر در تصویر مادون قرمز نمی‌گردد و بیشتر بر بهبود بصری تصویر تکیه دارد. در مرجع [۲۲]، روشی جدید با استفاده از طیف فاز تبدیل فوریه چهارگانه برای بهبود اهداف کوچک در حالی که پس‌زمینه در تصاویر مادون قرمز تضعیف می‌شود، پیشنهاد شده است. این روش از شکل منظم گوسی اهداف کوچک که می‌تواند به عنوان یک سیگنال برجسته در تصاویر مادون قرمز در نظر گرفته شود، الهام گرفته شده است. در این مقاله از فیلتر مشتق جهت‌دار مرتبه دوم با مدل وجه^۱ استفاده شده است. این فیلتر برای تضعیف نویزها و آشکارسازی اهداف و پس‌زمینه در بافت‌های جداگانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرجع [۲۳]، روشی جدیدی از آشکارسازی اهداف کوچک را معرفی می‌کند که مسئله را به عنوان آشکارسازی نقطه گوسی مانند فرموله می‌کند. نخست، مشتق جهت‌دار مرتبه اول اصلاحی بر پایه مدل وجه برای دستیابی به تصاویر مادون قرمز مشتق چند جهته اعمال می‌شود. در ادامه، روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA^۲) برای برجسته‌سازی بیشتر اهداف در تصویر ادغام اعمال می‌شود، در اینصورت اهداف می‌توانند توسط عملیات قطعه‌بندی آستانه ساده استخراج گردند. در مرجع [۲۴]، فیلتر مجذور میانگین حداقل دو بعدی جهتی لبه، برای آشکارسازی هدف کوچک در تصاویر مادون قرمز پیشنهاد شده است. در این مقاله، فیلتر LMS^۳ دو بعدی پیشنهادی، ناحیه کلاتر پس زمینه را پیش‌بینی می‌نماید. سپس، با تفریق پس‌زمینه پیش‌بینی شده از تصویر مادون قرمز اصلی، اهداف کوچک می‌تواند استخراج گردند.

استفاده از مشخصات مقادیر سطح روشنایی و ویژگی‌های آماری مناطق تصویر می‌تواند یکی از بهترین گزینه‌ها به‌منظور تضعیف ناحیه پس‌زمینه و بهبود ناحیه هدف باشد. یکی از توصیف‌گرهای پرکاربردی که در طی چند سال اخیر برای بیان مشخصات شدت روشنایی تصویر، و در نتیجه بهبود اهداف در تصاویر مادون قرمز مورد استفاده قرار گرفته است آنتروپی محلی

1 Facet Model
2 Principal Component Analysis
3 Least Mean Squares

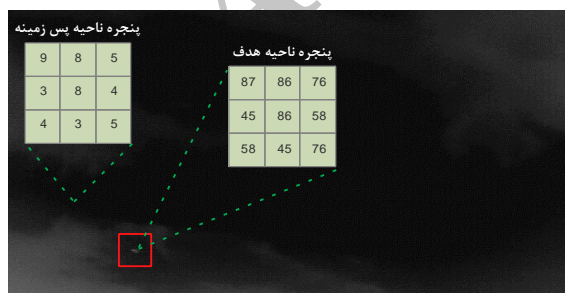
نمود [۲۸]:

$$E(\Omega_k) = -\sum_{k=0}^{255} P_k \log_2 P_k, \quad P_k = \frac{n_{i,j}}{M_k \times N_k} \quad (2)$$

با توجه به این رابطه، $E(\Omega_k)$ همان مقدار آنتروپی محلی در همسایگی Ω_k خواهد بود. P_i احتمال وقوع رخداد سطح روشنایی i ، و n_i تعداد رخدادهای مقدار سطح روشنایی i در تصویر است.

آنتروپی بیانگر تناوب تغییرات سطح روشنایی در پیکسل‌های تصویر است، ولی به خوبی قادر به مشخص نمودن میزان درجه این تغییرات نمی‌باشد. به عنوان مثال، شکل (۱) نشان‌دهنده مقادیر سطح روشنایی دو ناحیه هدف و پس‌زمینه از تصویر مادون قرمز است. با توجه به این شکل، می‌توان مشاهده نمود که تناوب تغییرات مقادیر سطح روشنایی در هر دو پنجره یکسان است، ولی میزان درجه این تغییرات در پنجره مربوط به ناحیه هدف بیشتر از پنجره ناحیه پس‌زمینه می‌باشد. همچنین به دلیل بیشتر بودن میزان درجه تغییرات سطح روشنایی در ناحیه هدف، میزان ادراک بصری انسان نیز در این ناحیه بیشتر بوده و بهتر می‌تواند آن را از نواحی اطراف تمیز دهد. با این حال، مطابق با رابطه (۲)، مقادیر آنتروپی این دو پنجره یکسان بوده و برابر ۲/۲۸ می‌باشد. در نتیجه، می‌توان عنوان نمود که آنتروپی خوبی نمی‌تواند تفکیک‌کننده پیکسل‌های پس‌زمینه و هدف باشد و همان‌طور که عنوان شد قادر نیست میزان درجه تغییرات مقادیر سطح روشنایی نواحی مختلف تصویر را به خوبی مشخص نماید.

از آنجائی که مقصود از این مقاله تضعیف ناحیه پس‌زمینه و بهبود ناحیه هدف است، بنابراین می‌بایست از الگوریتم و توصیفگری استفاده نمود که بتواند به خوبی، به‌طور هم‌زمان تناوب تغییرات سطح روشنایی و میزان درجه تغییرات آن را نشان داده و تفکیک‌کننده پیکسل‌های پس‌زمینه و هدف باشد.



شکل (۱). مقایسه مقادیر آنتروپی پیکسل‌های محلی دو ناحیه هدف و پس‌زمینه.

۲-۲- استخراج پنجره‌های محلی

در مرجع [۲۹] نشان داده شده است که بسیاری از

کلاترهای سنگین و وجود اهداف کوچک در بین این کلاترها، تخمین زدن پس‌زمینه و نویز کار بسیار دشواری می‌باشد. همچنین به دلیل ابعاد کوچک ناحیه هدف و شدت روشنایی ضعیف آن در کلاترهای سنگین و چالش‌هایی که در ادامه به آن اشاره خواهد شد، آشکارسازی اهداف کوچک به‌طور مستقیم امکان‌پذیر نیست. از جمله مهمترین چالش‌ها و ویژگی‌های ناحیه هدف و پس‌زمینه در تصاویر مادون‌قرمز شامل اهداف کوچک، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

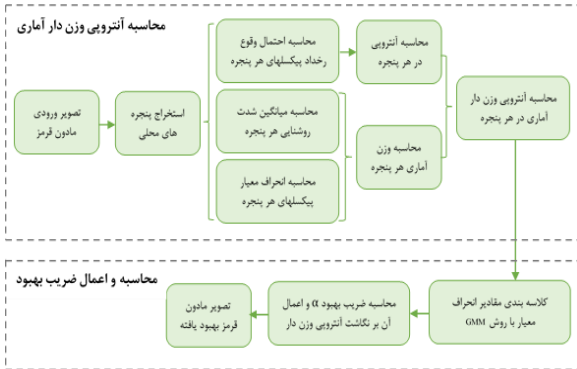
- کنتراست پایین^۱ بین ناحیه هدف و کلاتر پس‌زمینه. به نحوی که مشاهده ناحیه هدف را با مشکل زیادی روبه‌رو می‌کند.
- وجود نواحی پس‌زمینه دارای پیچیدگی‌های سنگین^۲ (کلاتر) در تصویر که بخش اعظمی از تصویر مادون‌قرمز را شامل می‌شوند.
- کوچک بودن ناحیه هدف. یعنی تعداد پیکسل‌های ناحیه هدف بسیار کمتر از پیکسل‌های ناحیه پس‌زمینه می‌باشد.
- فقدان اطلاعات بافت^۳، ساختار و اندازه مشخص اهداف.
- پایین بودن معیار سیگنال به نویز تصویر^۴ (SNR). بنابراین، یک روش مناسب برای بهبود تصاویر مادون‌قرمز متشکل از اهداف کوچک، تضعیف ناحیه پس‌زمینه و نویزهای موجود در تصویر می‌باشد. بعد از فرایند تضعیف پس‌زمینه، ناحیه هدف و پس‌زمینه به ترتیب دارای مقادیر بیشتر و کمتر سطح روشنایی خواهند بود. به‌منظور تضعیف ناحیه پس‌زمینه، درحالی‌که هم‌زمان بتوان ناحیه هدف را بهبود بخشید، استفاده از مشخصات مقادیر سطح روشنایی می‌تواند یکی از بهترین گزینه‌ها باشد. از بهترین و مؤثرترین راه‌ها برای بیان مشخصات شدت روشنایی تصویر، استفاده از آنتروپی محلی است. در حقیقت می‌بایست از روشی استفاده نمود که در عین حالی‌که سیگنال هدف را قوی‌تر می‌کند، باعث تضعیف سیگنال ناحیه پس‌زمینه گردد. آنتروپی محلی شامل تحلیل آماری مقادیر سطح روشنایی پیکسل‌های محلی یک تصویر می‌باشد که بیانگر تناوب تغییرات محلی سطح روشنایی در تصاویر است. با این وجود، به خوبی قادر به مشخص نمودن میزان درجه این تغییرات نمی‌باشد. در ادامه به معرفی آنتروپی محلی پرداخته می‌شود.

۲-۱- آنتروپی محلی

اگر در یک تصویر، یک همسایگی کوچک (i) با پنجره‌ای با ابعاد $M_k \times N_k$ و مقادیر سطح خاکستری i ($0 \leq i \leq 255$)، در نظر گرفته شود، آن‌گاه می‌توان آنتروپی محلی را به‌صورت زیر تعریف

- 1- Low contrast
- 2- Heavy clutter
- 3- Texture information
- 4- Signal-to-noise ratio

آماری هر پنجره از تصویر اصلی، و محاسبه و اعمال ضریب بهبود α است که در ادامه، هر کدام از این مراحل به طور جداگانه توضیح داده خواهد شد.



شکل (۳). روندنمای روش پیشنهادی.

۳-۱- محاسبه آنتروپی وزن دار آماری

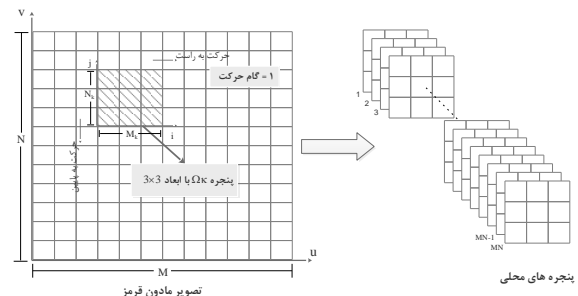
جهت رفع نقایص موجود در نتایج حاصل از فرمول آنتروپی، می توان از توصیفگرهای آماری دیگری همچون میانگین^۲ و انحراف معیار^۳ در فرمول آنتروپی به عنوان وزن آن استفاده نمود و عملیات بهبود را در شرایط مختلفی همچون کنتراست پایین، کلاتر سنگین، پایین بودن SNR و قدرت تفکیک مکانی کم، بخوبی عملیاتی کرد. در حقیقت روش آنتروپی وزن دار آماری می تواند به عنوان یک فیلتر مکانی غیر خطی^۴ به شمار آید. به این صورت که، در نواحی متشکل از اهداف کوچک، تغییرات ناگهانی مقادیر سطح خاکستری در پنجره های محلی باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در مقدار آنتروپی وزن دار آماری گردیده و می تواند با توجه به سایر مشخصات آماری آن پنجره از جمله؛ میانگین شدت و انحراف معیار، منعکس کننده ناحیه هدف باشد و آن را بهبود بخشد.

طراحی الگوریتم پیشنهادی این مقاله پس از انجام آزمایشات و ارزیابی های گوناگون بر روی تعداد زیادی از تصاویر مادون قرمز شامل اهداف کوچک و پس زمینه های مختلف و مشاهده مشخصات آماری آن ها صورت پذیرفت. به عنوان نمونه و به منظور توجیه و تفسیر دلایل استفاده از الگوریتم پیشنهادی، مشخصات آماری نقاط مختلف یک تصویر مادون قرمز در شکل (۴) آورده شده است. لازم به ذکر است که نتایج حاصله از تفسیر این مقادیر آماری، قابلیت تعمیم به سایر تصاویر مادون قرمز را نیز دارد و در مورد سایر تصاویر مادون قرمز متشکل از اهداف کوچک

سیگنال های واقعی را می توان با مطالعه همسایگی های محلی^۱ آن سیگنال مورد تحلیل و بررسی قرار داد. در نتیجه تصاویر مادون قرمز را می توان با تحلیل و بررسی توزیع ویژگی های محلی آن، از یکدیگر تمیز داد. در این مقاله، از این امر به عنوان یک پایه اساسی استفاده شده است. به دلیل وجود اطلاعات هدف در ناحیه کوچکی از تصویر و این که قسمت اعظمی از تصویر مادون قرمز را پس زمینه تشکیل می دهد، جهت بهبود ناحیه هدف بهتر است که از پنجره های محلی جهت این امر استفاده گردد. همچنین استفاده از پنجره های محلی سبب دقت بیشتر و بهتر الگوریتم طرح می شود و از دست رفتن اطلاعات پیکسل های هدف در تصاویر مادون قرمز جلوگیری می کند. به همین منظور، در روش پیشنهادی از پنجره های محلی متناظر با هر پیکسل از تصویر و نگاشت مقادیر جدید آنتروپی وزن دار آماری به جای آن پیکسل ها، استفاده شده است. با این وصف، با تعریف یک پنجره محلی مناسب به ابعاد $l \times l$ (در این روش 3×3) و محاسبه مقدار آنتروپی وزن دار آماری درون این پنجره، و سپس حرکت پنجره محلی به صورت پیکسل به پیکسل در راستای افقی و عمودی، می توان مقدار آنتروپی وزن دار آماری هر پیکسل در تصویر مادون قرمز را محاسبه نمود. یا به عبارت دیگر به نقشه آنتروپی وزن دار آماری دست یافت که نشان دهنده تصویر بهبود یافته می باشد. روال کار این مرحله در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳-۲- روش پیشنهادی

اکثر روش های بهبود اهداف در تصاویر مادون قرمز با هدف برجسته سازی ناحیه هدف و تضعیف ناحیه پس زمینه می باشد. با توجه به این، در این مقاله روش نوینی جهت بهبود پیکسل های هدف و تضعیف کلاتر نواحی پس زمینه در تصاویر مادون قرمز ارائه می شود. روندنمای الگوریتم پیشنهادی در شکل (۳) آورده شده است.



شکل (۲). چگونگی استخراج پنجره های محلی با ابعاد 3×3 .

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می شود، عملکرد الگوریتم پیشنهادی شامل دو فاز اصلی محاسبه آنتروپی وزن دار

2 -Mean

3 -Standard Deviation

4 -Nonlinear Spatial Filtering

1 -Local neighbourhood

به صورت محلی و در نتیجه آن بهبود تصویر مادون قرمز به صورت رابطه (۳) می باشد که نشان دهنده مقدار آنتروپی وزن دار آماری در هر پنجره به ابعاد $M_k \times N_k$ می باشد.

$$SWE_{i,j} = - \sum_{j=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{M_k} W_{i,j} \cdot P_{i,j}(u, v) \cdot \log_2 P_{i,j}(u, v) \quad (3)$$

$$P_{i,j}(u, v) = \frac{n_{i,j}}{M_k \times N_k} \quad (4)$$

در این رابطه، (i, j) بیانگر مقدار شدت روشنایی پیکسل های هر پنجره محلی، $n(i, j)$ تعداد رخداد های مقدار سطح روشنایی پیکسل (i, j) ، $P_{i,j}$ احتمال وقوع رخداد سطح روشنایی پیکسل (i, j) ، $W_{i,j}$ بیانگر وزن آماری و α بیانگر ضریب بهبود^۱ می باشد. با تعریف یک پنجره محلی مناسب با ابعاد $M_k \times N_k$ و محاسبه مقدار آنتروپی وزن دار آماری درون این پنجره، و سپس حرکت پنجره محلی به صورت پیکسل به پیکسل در راستای افقی و عمودی، می توان مقدار آنتروپی وزن دار آماری هر پیکسل در تصویر مادون قرمز را محاسبه نموده و سپس نقشه آنتروپی وزن دار آماری متناظر با هر پیکسل را تشکیل داد که نشان دهنده تصویر بهبود یافته می باشد.

با توجه به رابطه (۳)، به منظور تضعیف شدت روشنایی پیکسل های ناحیه پس زمینه و افزایش شدت روشنایی پیکسل های ناحیه هدف، مقدار آنتروپی وزن دار آماری (L_{SWE}) می بایست در نواحی هدف و پس زمینه به ترتیب دارای مقدار زیاد و کم باشد. از این رو، وزن آنتروپی (w) باید طوری تعیین شود که بتواند بین نواحی هدف و پس زمینه تفاوت زیادی قائل شود. پس از محاسبه و اعمال وزن آنتروپی (w)، با جایگزینی مقادیر آنتروپی وزن دار آماری پنجره های کل تصویر با پیکسل های متناظرش، اختلاف مقادیر سطح روشنایی نواحی مربوط به هدف و پس زمینه به خوبی قابل درک برای دید بصری انسان می شود و سامانه های خودکار ردیابی بخوبی می توانند توانایی آشکارسازی و تمایز بین این دو ناحیه را داشته باشند. با توجه به مشخصات آماری نواحی مختلف تصویر مادون قرمز و علی الخصوص ویژگی های پنجره های شامل نقاط هدف، از جمله میزان بالا بودن درجه تناوب مقادیر سطح روشنایی، و بیشتر بودن میانگین و انحراف معیار شدت روشنایی نسبت به سایر نواحی، می بایست وزن رابطه (۳) را به نحوی طراحی نمود که توصیفگر مناسبی برای برجسته تر نمودن ناحیه هدف باشد. همچنین، در پنجره هایی که اختلاف سطح روشنایی پیکسل های آن از مجموع میانگین و انحراف معیار پیکسل های همان پنجره ($\mu_l + \sigma_l$) زیاد باشد، تأثیر زیادی بر روی نتیجه آنتروپی خواهد داشت، که در نتیجه کاندیدای مناسبی برای ناحیه هدف خواهد بود. تفکیک پیکسل های ناحیه

صادق است. با توجه به تجزیه و تحلیل نواحی مختلف در تصویر مادون قرمز، اعم از ناحیه هدف، ناحیه پس زمینه با کلاتر زیاد، ناحیه پس زمینه با کلاتر کم و ناحیه پس زمینه بین لبه کلاترها، می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱. میزان تناوب مقادیر سطح روشنایی و میانگین شدت روشنایی پیکسل های ناحیه هدف در تصویر مادون قرمز نسبت به سایر نواحی از درجه و مقدار بیشتری برخوردار می باشد و مقادیر سطح خاکستری در پیکسل های هدف به صورت ناگهانی تغییر می کنند.
۲. پایین بودن درجه تناوب مقادیر سطح روشنایی (اختلاف مقادیر سطح روشنایی، که توصیفگر انحراف معیار به همراه آنتروپی به خوبی می توانند بیان کننده این موضوع باشند) به همراه کم بودن میانگین شدت روشنایی پنجره های محلی تصویر مادون قرمز، می تواند کاندید ناحیه پس زمینه با کلاتر کم باشد.
۳. پایین بودن درجه تناوب مقادیر سطح روشنایی به همراه زیاد بودن میانگین شدت روشنایی پنجره های محلی تصویر مادون قرمز، می تواند کاندید ناحیه پس زمینه با کلاتر زیاد باشد. در این صورت امکان مخفی شدن هدف در ناحیه پس زمینه وجود دارد که عمل بهبود و تشخیص هدف را با مشکل روبه رو می سازد.
۴. مشخصات آماری ناحیه لبه کلاترهای پس زمینه، تا حدودی شبیه به ناحیه هدف می باشد (درجه تناوب مقادیر سطح روشنایی متوسط و میانگین شدت روشنایی تقریباً بالا). از این رو می بایست فرمول روش پیشنهادی را به نحوی طراحی نمود که بتوان این دو ناحیه را تا حد زیادی از هم تفکیک داد.
۵. ناحیه پس زمینه تصویر مادون قرمز دارای تغییرات آرام و همگنی نسبت به ناحیه هدف است.



شکل (۴). مقایسه آماری نواحی مختلف تصویر مادون قرمز.

بدین منظور، فرمول پیشنهادی برای تضعیف ناحیه پس زمینه

به منظور بهبود ناحیه هدف و تضعیف روشنایی نواحی دارای نویز و نواحی پس‌زمینه‌ای که بین لبه کلاترها قرار گرفته‌اند، از ضریب بهبود خودکاری به نام α استفاده می‌گردد تا مقادیر سطح روشنایی پیکسل‌های پس‌زمینه تضعیف شده و یا حتی نادیده گرفته شوند. این ضریب تأثیر چندانی بر ناحیه هدف نخواهد داشت، دلیل این امر هم بالا بودن مقدار آنتروپی وزن دار آماری در پیکسل‌های ناحیه هدف مطابق رابطه (۳) می‌باشد که با تأثیر این ضریب اختلاف سطح روشنایی آن با پیکسل‌های ناحیه پس‌زمینه بیشتر شده و از دیدگاه بصری برجسته‌تر از سایر نواحی به نظر می‌رسد.

از دیدگاه هندسی، در فضای N بُعدی ویژگی‌ها مقادیر انحراف معیار پیکسل‌های ناحیه هدف و نواحی پس‌زمینه در تصاویر مادون قرمز خوشه‌هایی متمرکز را تشکیل می‌دهند که مراکز این خوشه‌ها از هم فاصله دارند. بنابراین می‌توان از روش GMM^۱ که یک روش خوشه‌بندی بدون نظارت^۲ بر اساس فرض توزیع گوسی داده‌های ورودی می‌باشد [۳۰]، برای خوشه‌بندی داده‌های انحراف معیار دو ناحیه هدف و پس‌زمینه استفاده نمود. در این صورت با تعیین تعداد ۲ مخلوط گوسی (هدف و پس‌زمینه) و انحراف معیار پنجره‌های محلی تصویر مادون قرمز به‌عنوان داده‌های ورودی، می‌توان پارامترهای مدل گوسی (میانگین، ماتریس کوواریانس) را به‌دست آورد و انحراف معیار پنجره‌های محلی را به ۲ دسته هدف و پس‌زمینه خوشه‌بندی نمود. خوشه‌ای که میانگین آن دارای مقدار بیشتری است بیانگر دسته مربوط به انحراف معیار پیکسل‌های ناحیه هدف، و خوشه‌ای که میانگین آن دارای مقدار کمتری می‌باشد بیانگر دسته مربوط به انحراف معیار نواحی پس‌زمینه است. از اینرو ضریب بهبود α را می‌توان توسط الگوریتم زیر محاسبه نمود:

مرحله اول: تشکیل بردار انحراف معیار پنجره‌های محلی تصویر مادون قرمز به فرم $X = \{\sigma_1; \sigma_2; \dots; \sigma_l\}$ ، به‌عنوان داده‌های ورودی مدل GMM.

مرحله دوم: تخمین تابع چگالی مدل مخلوط گوسی از مجموع وزندار K توزیع گوسی (در این طرح $k=2$) مطابق رابطه^۳ EM، توسط الگوریتم EM^۳.

$$P(\vec{x}_l | \psi) = \sum_{i=1}^K g(\vec{x}_l | \mu_i, \Sigma_i) \alpha_i \quad (9)$$

ψ بیانگر پارامترهای مدل مخلوط گوسی، \vec{x} بردار ویژگی

هدف و نواحی پس‌زمینه بین لبه کلاترها، یکی از مهمترین چالش‌های موجود در بهبود تصاویر مادون قرمز می‌باشد. زیرا همانطور که در شکل (۴) مشخص است مشخصات آماری این دو ناحیه تا حدود زیادی شبیه به هم می‌باشد، و این امر لزوم طراحی روشی جهت بهبود ناحیه هدف و تفکیک آن از ناحیه ذکر شده را بیش از پیش ضروری می‌سازد. با توجه به اینکه تفاوت مشخصات آماری این دو ناحیه، بیشتر بر روی مقادیر انحراف معیار و میزان درجه تناوب مقادیر سطح روشنایی پیکسل‌هایشان وجود دارد، از اینرو می‌بایست این تفاوت بطور قابل ملاحظه‌ای در فرمول وزن آنتروپی مورد توجه واقع شود و طراحی آن بنحوی صورت گیرد که مقدار وزن آنتروپی در ناحیه هدف بیشتر از ناحیه مذکور گردد. در نتیجه، رابطه (۵) به‌عنوان وزن آنتروپی جهت تفکیک دقیق‌تر ناحیه هدف نسبت به سایر نواحی طراحی شده است.

$$W_{i,j} = (x(i,j) - (\mu_l + \delta_l))^2 \quad (5)$$

مطابق با رابطه بالا، μ_l و δ_l به ترتیب میانگین و انحراف معیار پیکسل‌های موجود در یک پنجره محلی می‌باشند که مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$\mu_l = \frac{1}{M_K \times N_K} \sum_{j=1}^{N_K} \sum_{i=1}^{M_K} x(i,j) \quad (6)$$

$$\delta_l = \frac{1}{M_K \times N_K} \sum_{j=1}^{N_K} \sum_{i=1}^{M_K} (x(i,j) - \mu_l)^2 \quad (7)$$

مطابق با فرمول پیشنهادی، هنگامی که پنجره‌های محلی به‌صورت پیکسل به پیکسل در تصویر و از چپ به راست و بالا به پایین حرکت داده می‌شوند، مطابق رابطه (۳) آنتروپی وزن دار آماری متناظر با هر پیکسل محاسبه می‌شود. در این صورت می‌توان نگاهی از مقادیر آنتروپی وزن دار آماری محلی (LSWE) را به‌صورت رابطه زیر تشکیل داد و به تصویر بهبود یافته اولیه که در آن قسمت اعظمی از پیکسل‌های پس‌زمینه تضعیف شده‌اند، دست یافت.

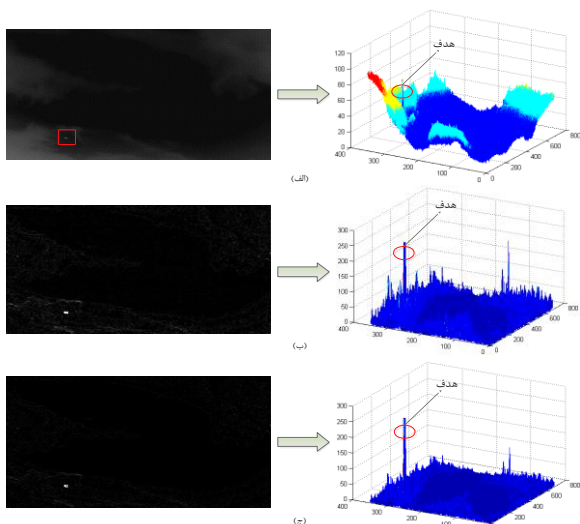
$$LM = \begin{bmatrix} LSWE(1,1) & LSWE(1,2) & \dots & LSWE(1,M) \\ LSWE(2,1) & LSWE(2,2) & \dots & LSWE(2,M) \\ \dots & \dots & \dots & \vdots \\ LSWE(N,1) & LSWE(N,2) & \dots & LSWE(N,M) \end{bmatrix} \quad (8)$$

۳-۲- محاسبه ضریب بهبود α

پس از تضعیف پیکسل‌های پس‌زمینه در مرحله اول، فقط اهداف، نویزها و برخی از پیکسل‌های لبه کلاترهای پس‌زمینه، دارای مقدار سطح روشنایی بالایی می‌باشند و سایر نواحی دارای مقدار سطح روشنایی کم و محدودی هستند. در این صورت

1 -Gaussian Mixture Model
2 -Unsupervised Clustering
3 -Expectation Maximization

شکل (۵-ج) تصویر نهایی بهبود یافته و تأثیر ضریب بهبود α را نسبت به شکل (۵-ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصویر بهبود یافته و نمای سه‌بعدی آن مشخص است، در شکل (۵-ج) مقدار سطح روشنایی و انرژی برخی از نواحی پس‌زمینه بعد از اعمال ضریب بهبود α نسبت به مرحله قبل تا حدود زیادی کاهش یافته و این امر بیانگر تضعیف بهتر ناحیه پس‌زمینه و برجسته‌تر شدن ناحیه هدف می‌باشد.



شکل (۵). تأثیر ضریب بهبود α بر روی بهبود تصویر مادون قرمز. الف) تصویر مادون قرمز اصلی و نمای سه‌بعدی آن. ب) نگاشت آنروپی وزن‌دار آماری و نمای سه‌بعدی آن. ج) تصویر بهبود یافته پس از اعمال ضریب بهبود α ، و نمای سه‌بعدی آن.

۴- ارزیابی و نتایج آزمایشات

به‌طور کلی از آنجائی که مقصود از بهبود تصاویر مادون‌قرمز شامل اهداف کوچک، تضعیف کلاترهای پس‌زمینه و بهبود ناحیه هدف می‌باشد، لذا روش پیشنهادی می‌بایست برای دستیابی به نتیجه مطلوب در آشکارسازی اهداف کوچک، در برابر تصاویر با کلاترهای سنگین مختلف مقاوم بوده و توانایی بهبود اهداف در انواع تصاویر مادون‌قرمز را داشته باشد. از این‌رو، به‌منظور تشریح عملکرد الگوریتم بهبود روش پیشنهادی، آزمایشات بر روی مجموعه‌ای از تصاویر مادون‌قرمز واقعی شامل اهداف کوچک و پس‌زمینه با کلاترهای آسمان، هوا و دریا، صورت پذیرفته است که دربرگیرنده پس‌زمینه‌هایی با کلاترهای سنگین و تداخل‌های نامنظم و همچنین اهداف کوچک در حد چند پیکسل می‌باشند. این تصاویر در شکل‌های (۶-الف)، (۷-الف) و (۸-الف) نشان داده شده است که به ترتیب شامل نمونه‌هایی از تصاویر مادون‌قرمز با پس‌زمینه‌های آسمان (شکل (۶-الف))، زمین (شکل (۷-الف)) و دریا (شکل (۸-الف)) می‌باشد. علاوه بر این، از پنج روش بهینه طراحی شده در زمینه بهبود اهداف مادون‌قرمز

شامل انحراف معیار پنجره‌های محلی، α_i وزن مخلوط λ و $g(\bar{x}_t | s\mu_i, \Sigma_i)$ بیانگر یک جزء چگالی مخلوط گوسی با میانگین $s\mu_i$ و ماتریس کوواریانس Σ_i است [۳۱]. وزن هر مؤلفه بر اساس احتمال رخداد آن مؤلفه به ازای داده‌های ورودی تعیین می‌شود. همچنین هر جزء چگالی، یک تابع گوسی یک بُعدی است که بصورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$g(\bar{x}_t | s\mu_i, \Sigma_i) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\bar{x}_t - s\mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (\bar{x}_t - s\mu_i) \right\} \quad (10)$$

مرحله سوم: ذخیره‌سازی پارامترهای مدل گوسی

$$\psi = \{\alpha_i, s\mu_i, \Sigma_i\}_{i=1}^K$$

در این صورت ضریب بهبود α طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\alpha = \frac{1}{\max(s\mu_i)} \quad (11)$$

طبق این رابطه، $\max(s\mu_i)$ بیانگر حداکثر میانگین تخمین زده شده بین دو خوشه می‌باشد، و با توجه به اینکه انحراف معیار پنجره‌های ناحیه هدف بزرگتر از سایر نواحی است، در این صورت $\max(s\mu_i)$ مربوط به میانگین انحراف معیارهای خوشه ناحیه هدف می‌باشد. بنابراین می‌توان رابطه (۳) را به‌صورت زیر اصلاح نمود:

$$LSWE_{i,j} = -\alpha \sum_{j=1}^{N_K} \sum_{i=1}^{M_K} W_{i,j} \cdot P_{i,j}(u, v) \cdot \log_2 P_{i,j}(u, v) \quad (12)$$

در نهایت، تصویر نهایی بهبود یافته طبق رابطه زیر تشکیل خواهد شد.

$$IRE = \alpha \cdot *$$

$$\begin{bmatrix} LSWE(1,1) & LSWE(1,2) & \dots & LSWE(1,M) \\ LSWE(2,1) & LSWE(2,2) & \dots & LSWE(2,M) \\ \dots & \dots & \dots & \vdots \\ LSWE(N,1) & LSWE(N,2) & \dots & LSWE(N,M) \end{bmatrix} \quad (13)$$

در شکل (۵) نمونه‌ای از اعمال روش پیشنهادی بر روی یک تصویر مادون‌قرمز متشکل از هدف کوچک، قبل و بعد از تأثیر ضریب بهبود α نشان داده شده است. با توجه به این شکل و نمای سه بُعدی آن، مشاهده می‌شود که مقدار انرژی سطح روشنایی در ناحیه مشتمل بر هدف، مقدار بیشتری نسبت به سایر نواحی که شامل نقاط پس‌زمینه هستند را دارا می‌باشد. شکل (۵-الف) تصویر مادون‌قرمز مشتمل بر هدف کوچکی را نشان می‌دهد که در آن ناحیه هدف با یک مربع به رنگ قرمز مشخص شده است. شکل (۵-ب)، نگاشت حاصل از اعمال آنروپی وزن‌دار آماری (رابطه ۳) به شکل (۵-الف) می‌باشد و

می‌باشد و در ارزیابی کمی، از دو شاخص ارزیابی معمول در بهبود اهداف کوچک یعنی بهره معیار سیگنال به کلاتر^۲ (SCRG) و ضریب تضعیف پس‌زمینه^۳ (BSF)، استفاده می‌گردد. در ادامه، و در دو بخش جداگانه به تشریح ارزیابی‌های کیفی و کمی پرداخته می‌شود.

۴-۱- ارزیابی کیفی

مقایسه بصری بین نقشه‌های بهبود یافته هدف در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است. قابل ذکر است که در این شکل‌ها به منظور مشاهده آسانتر، تمامی این نقشه‌های بهبود یافته در محدوده [۰-۱] مقیاس‌بندی شده‌اند.

در شکل (۶)، نتایج بهبود یافته و نمای سه بعدی حاصل از الگوریتم پیشنهادی و روش‌های معرفی شده دیگر بر روی تصاویر مادون قرمز شامل اهداف هوایی و پس‌زمینه با کلاتر آسمان، آورده شده است. با توجه به این شکل مشخص است که تقریباً اکثر روش‌ها توانسته‌اند تا حد زیادی باعث بهبود اهداف نسبت به ناحیه پس‌زمینه گردند و کلاترهای سنگین را تضعیف نمایند. در این بین، با توجه به نقشه‌های بهبود یافته و نمای سه بعدی آنها، روش پیشنهادی این مقاله (LSWE) و روش پیشنهادی LMWIE بهترین عملکرد را داشته‌اند، که نسبت به روش‌های دیگر کلاترهای پس‌زمینه را به‌طور مطلوبی تضعیف کرده‌اند و پیکسل‌ها هدف را بهبود بخشیده‌اند. همچنین روش AFODD بدترین عملکرد را در بین روش‌های پیشنهادی دیگر داشته است و در امر تضعیف کلاترهای پس‌زمینه ضعیف‌تر عمل نموده است.

شکل (۷) بیانگر نتایج بهبود یافته و نمای سه‌بعدی حاصل از الگوریتم پیشنهادی و روش‌های پیشنهادی دیگر بر روی تصاویر مادون قرمز شامل پس‌زمینه با کلاتر زمین می‌باشد. همان‌طور که از این شکل مشخص است، روش پیشنهادی PQFT در مواجهه با تصویر مادون قرمز ستون اول و ستون سوم عملکرد بهتری را نسبت به سایر روش‌ها داشته است. همچنین روش BMVT نیز بهترین عملکرد را نسبت به تصویر مادون قرمز ستون دوم نسبت به سایر روش‌ها دارد. در مجموع، با توجه به نقشه‌های بهبود یافته و نمای سه‌بعدی آنها، به ترتیب روش‌های پیشنهادی PQFT، روش پیشنهادی این مقاله (LSWE) و BMVT بهترین عملکرد را داشته‌اند، که نسبت به روش‌های دیگر کلاترهای پس‌زمینه را به‌طور مطلوبی تضعیف کرده‌اند و پیکسل‌های هدف را بهبود بخشیده‌اند. همچنین روش AFODD بدترین عملکرد را در بین روش‌های پیشنهادی دیگر داشته است و در امر تضعیف کلاترهای پس‌زمینه ضعیف‌تر عمل نموده است.

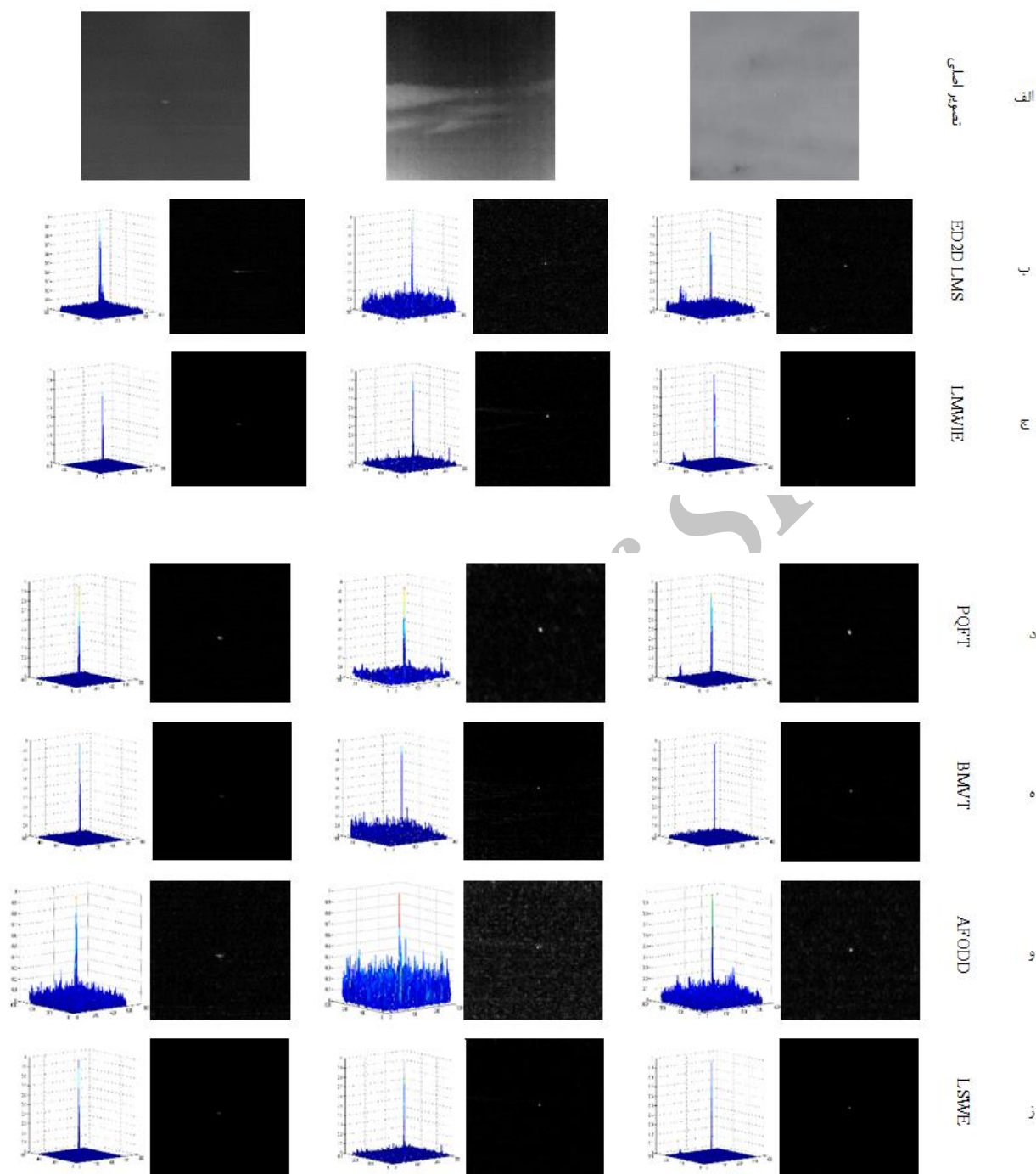
در طی چند سال اخیر، به‌منظور ارزیابی کیفی و کمی و مقایسه با روش پیشنهادی در این مقاله استفاده شده است. این روش‌ها شامل؛ روش فیلتر LMS دو بعدی جهتی لبه (ED2D LMS) [۲۴]، روش ادغام تصاویر مشتق مرتبه اول چند جهته تحت مدل وجه (AFODD) [۲۳]، روش طیف فاز تبدیل فوری چهارگانه (PQFT) [۲۲]، روش نظریه بصری نقشه بولی (BMVT) [۲۰]، و روش جهش محلی وزن اطلاعات آنتروپی (LMWIE) [۱۵]، می‌باشند. همچنین، روش پیشنهادی این مقاله به اختصار با عنوان LSWE بیان می‌شود. لازم به ذکر است که هر یک از این روش‌ها دارای پارامترهایی جهت تنظیم می‌باشند. در این مقاله، به‌منظور دست‌یابی به بهترین عملکرد، تمامی پارامترهای پنج روش معرفی شده به‌طور کامل بر طبق الگوریتم موجود در آن مقاله تنظیم شده است. همچنین، برخی از روش‌های معرفی شده در مقاله، علاوه بر مرحله بهبود هدف، شامل مرحله دیگر از آشکارسازی یعنی استخراج اهداف از تصاویر بهبود یافته نیز می‌شدند، که با توجه به مقصود این مقاله، مرحله دوم یعنی استخراج اهداف از تصاویر بهبود یافته موجود در این روش‌ها، در نتایج و شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته نشده است.

تنها پارامتر از پیش تعیین شده در روش پیشنهادی، اندازه پنجره‌های محلی می‌باشد که با توجه به ویژگی و ابعاد کوچک اهداف در تصاویر مادون قرمز انتخاب می‌گردد. از این‌رو، اندازه پنجره‌ها می‌بایست به‌نحوی تعیین گردد که مناسب برای محلی‌سازی^۱ بوده و قابلیت تحت پوشش قرار دادن پیکسل‌های شامل اهداف کوچک را داشته باشد. مطابق با تعریف موسسه SPIE، اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز واقعی دارای ناحیه کوچکی به ابعاد کمتر از ۸۰ پیکسل (۹×۹) می‌باشند [۳۲]. از آنجایی که ابعاد اهداف از قبل مشخص نیست، ابعاد پنجره‌ها می‌بایست تقریباً برابر ابعاد هدف یا کوچکتر از آن باشد. در عین حال اگر ابعاد پنجره‌ها بزرگتر از اندازه اهداف در نظر گرفته شود، سبب از دست رفتن برخی جزئیات و محو شدن ناحیه هدف شده و ناحیه هدف در مرحله بهبودسازی به عنوان ناحیه پس‌زمینه در نظر گرفته خواهد شد. این امر باعث بوجود آمدن خطا در شناسایی و ردیابی اهداف می‌گردد. لذا در روش پیشنهادی، ابعاد پنجره‌ها ۳×۳ انتخاب شده تا بتوان کوچکترین اهداف را بهبود بخشید.

به منظور ارزیابی روش‌های بهبود اهداف در تصاویر مادون قرمز و تضعیف کلاتر و نویز نواحی پس‌زمینه، می‌توان از ارزیابی‌های کمی و کیفی بهره برد. ارزیابی کیفی، بررسی تصویر مادون قرمز بهبود یافته از لحاظ دید ناظر (مقایسه بصری)

2- Signal-to-Clutter Ratio Gain(SCRG)
3- Background Suppression Factor(BSF)

1-Localization



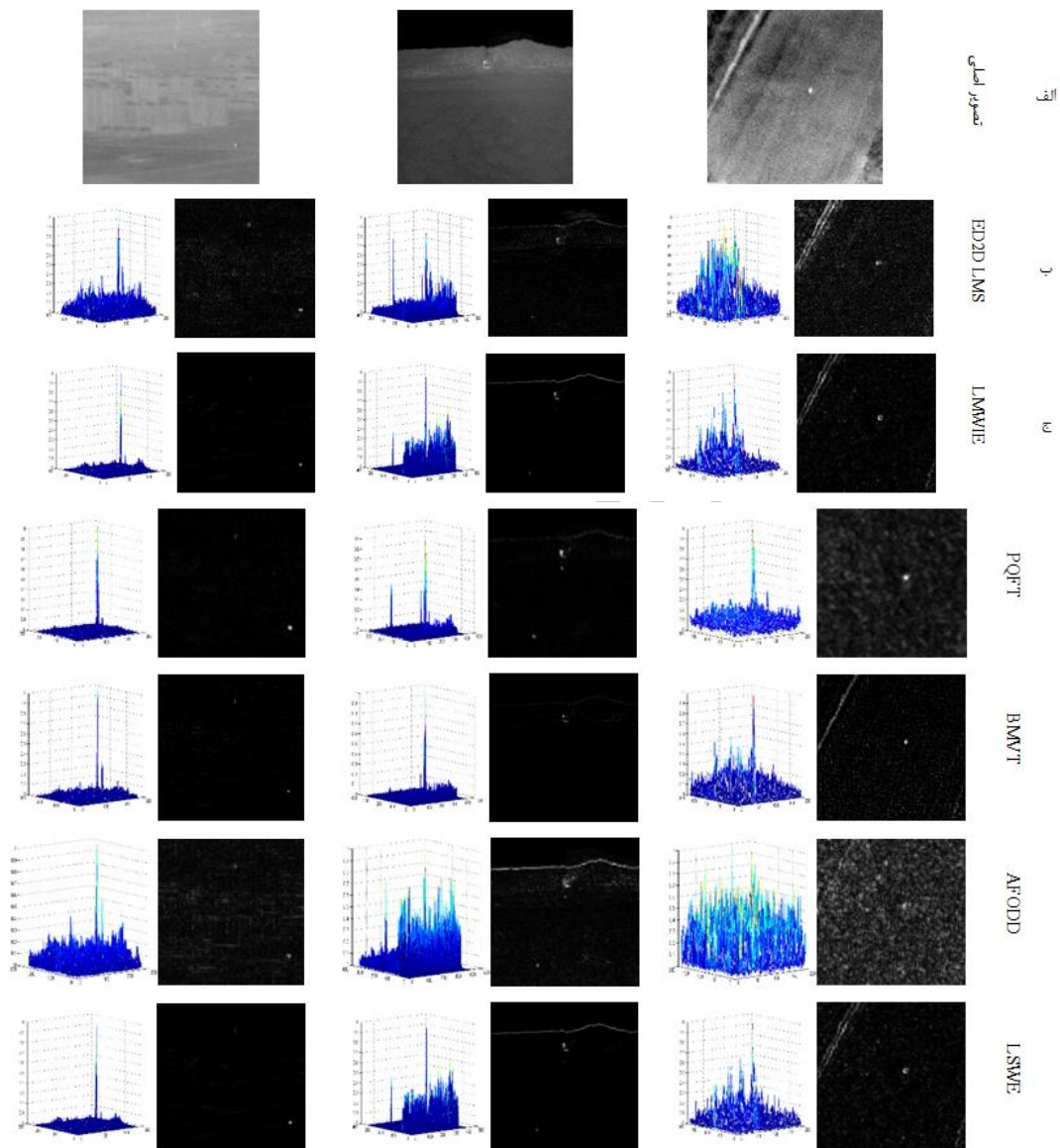
شکل (۶). تصاویر مادون قرمز با پس زمینه های آسمان و نقشه‌های بهبود یافته حاصل از روش‌های مختلف. الف) تصاویر مادون قرمز با پس زمینه آسمان، ب) نتایج بهبود تصویر با روش ED2D LMS [۲۴، ج) نتایج بهبود تصویر با روش LMWIE [۱۵، د) نتایج بهبود تصویر با روش PQFT [۲۲، ه) نتایج بهبود تصویر با روش BMVT [۲۰، و) نتایج بهبود تصویر با روش AFODD [۲۳، ز) نتایج بهبود تصویر با روش LSWE.

بهترین عملکرد را در تضعیف کلاترهای پس‌زمینه و بهبود پیکسل‌های ناحیه هدف داشته‌اند. همچنین روش AFODD نیز بدترین عملکرد را در بین روش‌های پیشنهادی دیگر داشته است و در امر تضعیف کلاترهای پس‌زمینه دریا ضعیف‌تر عمل نموده است.

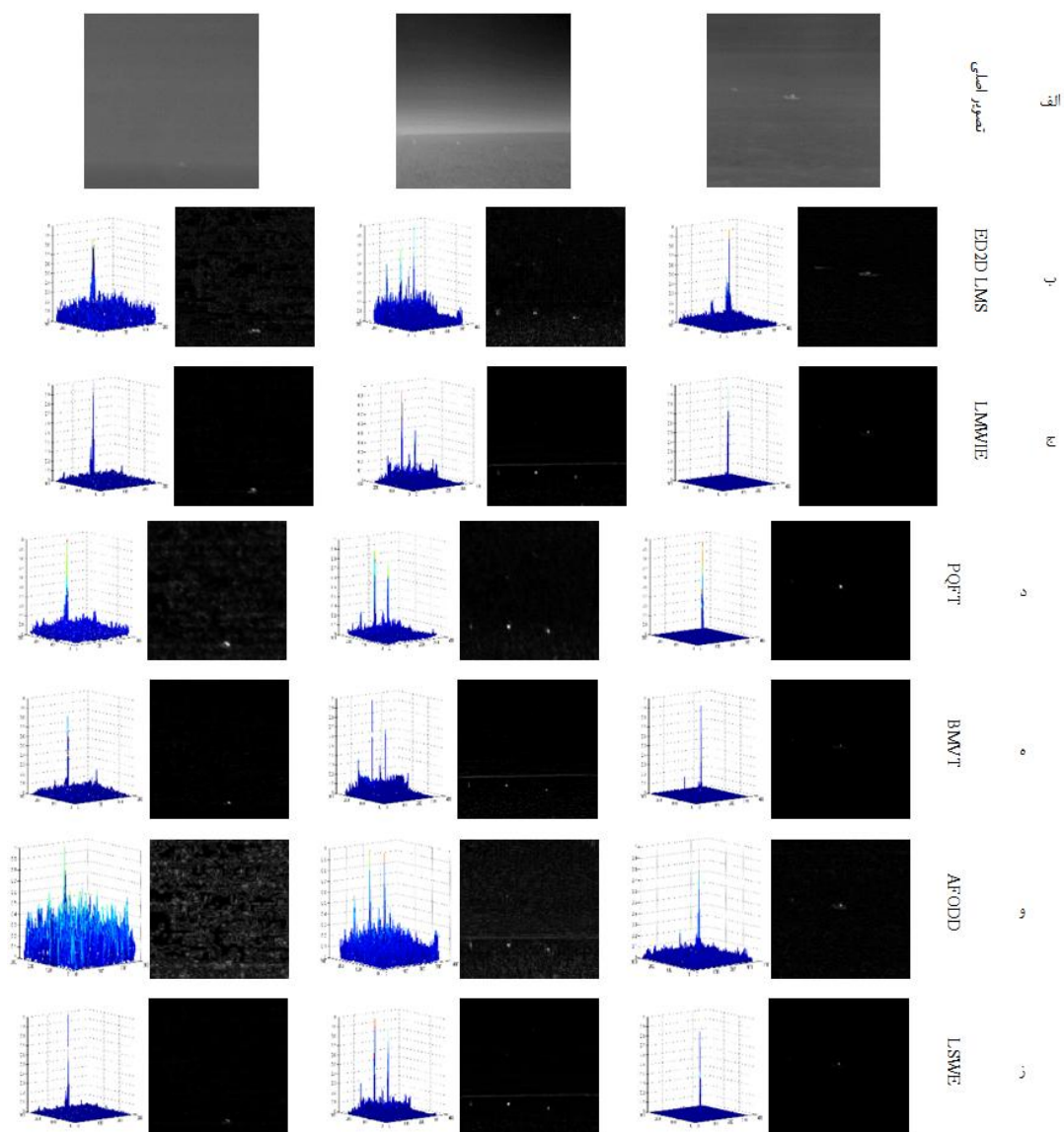
شکل (۸) بیانگر نتایج بهبود یافته و نمای سه‌بعدی حاصل از الگوریتم پیشنهادی و روش‌های پیشنهادی دیگر بر روی تصاویر مادون قرمز شامل پس‌زمینه با کلاتر دریا می‌باشد. با توجه به این شکل و با توجه به نقشه‌های بهبود یافته و نمای سه‌بعدی آنها، روش پیشنهادی این مقاله (LSWE) و روش پیشنهادی BMVT

نواحی پس‌زمینه بزرگ به رنگ مشکی و پیکسل‌های ناحیه هدف به رنگ سفید می‌باشند. به هر حال، در روش پیشنهادی این مقاله، تفاوت‌ها بین این دو ناحیه کوچکتر از سایر نقشه‌های بهبود می‌باشد. بنابراین، در مقایسه با روش‌های دیگر، LSWE در تصاویر تحت شرایط محیطی گوناگون و حتی برای پس‌زمینه‌های با کلاتر زیاد روشی مقاوم است و به واقع برای بهبود اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز مؤثر است.

با توجه به این مشاهدات، می‌توان این‌طور بیان نمود که روش پیشنهادی LSWE به خوبی توانسته است سبب تضعیف کلاترهای پس‌زمینه شده و پیکسل‌های هدف را بهبود بخشد و در نتیجه باعث افزایش کنتراست بین هدف و پس‌زمینه گردد. به روشنی مشخص است که کلاترهای پس‌زمینه در نقشه‌های LSWE دارای گستردگی کمتری نسبت به سایر نقشه‌ها می‌باشند و همچنین دارای واریانس مشخص و آشکاری هستند که در آن،



شکل (۷). تصاویر مادون قرمز با پس‌زمینه‌های زمین و نقشه‌های بهبودیافته حاصل از روش‌های مختلف (الف) تصاویر مادون قرمز با پس‌زمینه آسمان، (ب) نتایج بهبود تصویر با روش [۲۴] ED2D LMS، (ج) نتایج بهبود تصویر با روش [۱۵] LMWIE، (د) نتایج بهبود تصویر با روش [۲۲] PQFT، (ه) نتایج بهبود تصویر با روش [۲۰] BMVT، (و) نتایج بهبود تصویر با روش [۲۳] AFODD، (ز) نتایج بهبود تصویر با روش LSWE.



شکل (۸). تصاویر مادون قرمز با پس زمینه های دریا و نقشه های بهبود یافته حاصل از روش های مختلف. الف) تصاویر مادون قرمز با پس زمینه آسمان، ب) نتایج بهبود تصویر با روش ED2D LMS [۲۴]، ج) نتایج بهبود تصویر با روش LMWIE [۱۵]، د) نتایج بهبود تصویر با روش PQFT [۲۲]، ه) نتایج بهبود تصویر با روش BMVT [۲۰]، و) نتایج بهبود تصویر با روش AFODD [۲۳]، ز) نتایج بهبود تصویر با روش LSWE.

یافته خروجی و تصویر اصلی ورودی می باشند. قابل ذکر است که، بالاتر بودن معیار BSF به معنی تضعیف کلاتر بیشتر در تصویر بهبود یافته نسبت به تصویر اصلی است، همچنین هر چه معیار بهره SCR یک روش بیشتر باشد به معنی کنتراست بیشتر بین هدف و کلاتر می باشد. نتایج معیارهای BSF و SCR روش های پیشنهادی که بر روی تصاویر تست شکل های (۸-۶) اعمال شده اند، در شکل های (۱۰-۹) نشان داده شده است.

هر یک از ستون های موجود در شکل های (۱۰-۹) بیانگر نتایج معیارهای BSF و SCR تصاویر بهبود یافته با پس زمینه های زمین، پس زمینه دریا، پس زمینه آسمان و میانگین نتایج تمامی پس زمینه ها می باشد. با توجه به شکل های (۱۰-۹) مشخص است که نتیجه معیارهای BSF و SCR روش پیشنهادی LSWE

۲-۴-۲- ارزیابی کمی

به منظور ارزیابی کمی از معیارهای متداول ارزیابی بهبود اهداف و تضعیف کلاتر در تصاویر مادون قرمز یعنی بهره SCR و BSF استفاده می شود. روابط زیر بیانگر تعاریف این دو معیار می باشند [۳۳]:

$$SCRG = \frac{(s/c)_{out}}{(s/c)_{in}} \quad (14)$$

$$BSF = \frac{c_{in}}{c_{out}} \quad (15)$$

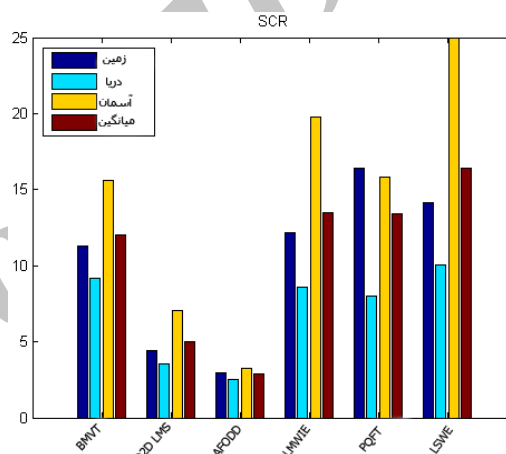
با توجه به این روابط، S دامنه سیگنال، و C انحراف معیار کلاتر، و زیر نویس های in و out به ترتیب بیانگر تصویر بهبود

وزن دار آماری مطابق با این واقعیت بوده است که تغییرات ناگهانی در مقادیر آماری و تناوب پیکسل‌های ناحیه شامل اهداف کوچک، باعث تغییرات عمده‌ای در مقدار آنتروپی وزن دار آماری در پنجره‌های محلی تصویر مادون قرمز می‌گردد. از این رو، آنتروپی وزن دار آماری می‌تواند تفکیک‌کننده مناسبی برای پیکسل‌های ناحیه شامل اهداف کوچک و پس‌زمینه باشد و عملیات بهبود اهداف و تضعیف کلاترهای پس‌زمینه را به خوبی انجام دهد. در ابتدا، آنتروپی وزن دار آماری هر پنجره محلی متناظر با هر پیکسل از تصویر ورودی محاسبه می‌شود. وزن آماری توسط ترکیب مقادیر شدت روشنایی، میانگین و انحراف معیار پیکسل‌های درون هر پنجره محاسبه می‌شود. در پایان این مرحله، کلاترهای پس‌زمینه تا حد زیادی تضعیف می‌شوند و پیکسل‌های شامل اهداف کوچک بهبود می‌یابند. در نهایت، از یک ضریب بهبود خودکار که توسط خوشه‌بندی مقادیر انحراف معیار حاصل می‌شود، به منظور برجسته‌تر شدن اهداف و ایجاد کنتراست بیشتر بین ناحیه هدف و کلاترهای پس‌زمینه، استفاده می‌شود. بررسی نتایج آزمایشات و ارزیابی‌های کیفی و کمی نشان از کاربرد گسترده روش پیشنهادی این مقاله برای انواع پس‌زمینه‌ها با کلاتر سنگین همچون؛ آسمان، دریا و زمین می‌باشد و بیانگر عملکرد خوب این روش در مقایسه با سایر روش‌ها در جنبه‌های مختلفی از جمله؛ بهبود اهداف کوچک، تضعیف کلاترهای پس‌زمینه، افزایش دقت آشکارسازی و کاهش نرخ هشدار کاذب و مقاوم بودن در برابر پس‌زمینه‌های مختلف است.

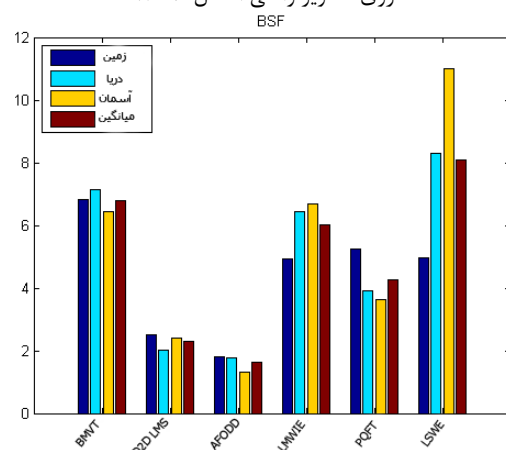
۶- مراجع

- [1] W. Meng, T. Jin, and X. Zhao, "Adaptive method of dim small object detection with heavy clutter," Optical Society of America, pp. 64-74, 2013.
- [2] Y.-X. Dong, Y. Li, and H.-B. Zhang, "Research on infrared dim-point target detection and tracking under sea-sky-line complex background," International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, 2011.
- [3] R. Lai, Y.-T. Yang, B.-J. Wang, and H.-X. Zhou, "A quantitative measure based infrared image enhancement algorithm using plateau histogram," Optics Communications, pp. 4283-4288, 2010.
- [4] K. Liang, Y. Ma, Y. Xie, B. Zhou, and R. Wang, "A new adaptive contrast enhancement algorithm for infrared images based on double plateaus histogram equalization," Infrared Physics & Technology, vol. 55, pp. 309-315, 2012.
- [5] X. Bai and F. Zhou, "Infrared small target

در تمامی پس‌زمینه‌ها و در مجموع میانگین آنها، بهتر از سایر روش‌های پیشنهادی می‌باشد و دارای عملکرد بهتری در تقویت سیگنال‌های هدف و تضعیف کلاترهای پس‌زمینه است. در این بین، تنها در پس‌زمینه زمین است که نتیجه معیارهای SCR و BSF روش پیشنهادی کمتر از روش PQFT است. این بدان معنی است که روش PQFT عملکرد بهتری را در پس‌زمینه زمین دارا می‌باشد. ولی از آنجائی که میانگین نتایج معیارهای SCR و BSF روش پیشنهادی LSWE در تمامی پس‌زمینه‌ها دارای مقدار بیشتری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد، لذا این‌طور می‌توان عنوان نمود که روش پیشنهادی این مقاله دارای قابلیت تطبیق پذیری بیشتری نسبت به سایر روش‌ها بوده و دارای نرخ بهبود بهتری است.



شکل (۹). نتایج معیار SCR حاصل از اعمال روش‌های پیشنهادی بر روی تصاویر واقعی اشکال ۶ تا ۸.



شکل (۱۰). نتایج معیار BSF حاصل از اعمال روش‌های پیشنهادی بر روی تصاویر واقعی اشکال ۶ تا ۸.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش جدیدی جهت بهبود اهداف کوچک و تضعیف کلاترهای پس‌زمینه در تصاویر مادون قرمز بر مبنای آنتروپی وزن دار آماری، پیشنهاد شد. طراحی الگوریتم آنتروپی

- [16] H. Deng and J. Liu, "Infrared small target detection based on the self-information map," *Infrared Physics & Technology*, vol. 54, pp. 100–107, 2011.
- [17] C. Yang, J. Ma, M. Zhang, S. Zheng, and X. Tian, "Multiscale facet model for infrared small target detection," *Infrared Physics & Technology*, vol. 67, pp. 202–209, 2014.
- [18] X. Shao, H. Fan, G. Lu, and J. Xu, "An improved infrared dim and small target detection algorithm based on the contrast mechanism of human visual system," *Infrared Physics & Technology*, vol. 55, pp. 403–408, 2012.
- [19] X. Sun, W. Hou, Q. Yu, X. Liu, and Y. Shang, "Small infrared target detection using frequency-spatial cues in a single image," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 23, no. 4, pp. 043003-1- 043003-10, 2014.
- [20] S. Qi, D. Ming, J. Ma, X. Sun, and J. Tian, "Robust method for infrared small-target detection based on Boolean map visual theory," *Optical Society of America*, vol. 53, no. 18, pp. 3929-3940, 2014.
- [21] X. Bai, "Morphological infrared image enhancement based on multi-scale sequential toggle operator using opening and closing as primitives," *Infrared Physics & Technology*, vol. 68, pp. 143–151, 2015.
- [22] S. Qi, J. Ma, H. Li, S. Zhang, and J. Tian, "Infrared small target enhancement via phase spectrum of quaternion Fourier transform," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 62, pp. 50–58, 2014.
- [23] B. Zhu and Y. Xin, "Effective and robust infrared small target detection with the fusion of polydirectional first order derivative images under facet model," *Infrared Physics & Technology*, vol. 69, pp. 136–144, 2015.
- [24] T. Bae, F. Zhang, and I. Kweon, "Edge directional 2D LMS filter for infrared small target detection," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 137–145, 2012.
- [25] L. Yang, Y. Zhou, J. Yang, and L. Chen, "Variance WIE based infrared images processing," *Electronics Letters*, vol. 42, no. 15, pp. 857-859, 2006.
- [26] F. Zhang, C. Li, and L. Shi, "Detecting and tracking dim moving point target in IR image sequence," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 46, pp. 323–328, 2005.
- [6] Z. Chaofu, M. Li-ni, and J. Lu-na, "Mixed Frequency domain and spatial of enhancement algorithm for infrared image," in *International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2012.
- [7] M. Tang, S. Ma, and J. Xiao, "Model-based adaptive enhancement of far infrared image sequences," *Pattern Recognition*, vol. 21, pp. 827–835, 2000.
- [8] R. Zheng, J. Hong, and Q. Liao, "Study of Infrared Image Enhancement Algorithm in Front End," in *Advances in Computer Science, Environment, Ecoinformatics, and Education*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 416-422, 2011.
- [9] C. Cafer, J. Silverman, and J. Mooney, "Optimization of point target tracking filters," *IEEE Trans Aerospace Electronic System*, vol. 36, no. 1, pp. 15–25, 2000.
- [10] S. Deshpande, H. E. Meng, V. Ronda, and P. Chan, "Max-mean and max-median filters for detection of small targets," *Proc. SPIE*, vol. 3809, pp. 74-83, 1999.
- [11] S. Leonov, "Nonparametric method for clutter removal," *IEEE Trans Aerospace & Electronic Systems Society*, vol. 37, no. 3, pp. 832 - 848, 2001.
- [12] Y. Gu, C. Wang, B. Liu, and Y. Zhang, "A Kernel-Based Nonparametric Regression Method for Clutter Removal in Infrared Small-Target Detection Applications," *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 469 - 473, 2010.
- [13] T.-W. Bae, "Spatial and temporal bilateral filter for infrared small target enhancement," *Infrared Physics & Technology*, vol. 63, pp. 42-53, 2014.
- [14] H. Deng, J. Liu, and Z. Chen, "Infrared small target detection based on modified local entropy and EMD," *Chinese Optics Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 24–28, 2010.
- [15] X. Qu, H. Chen, and G. Peng, "Novel detection method for infrared small targets using weighted information entropy," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 23, no. 6, pp. 838–842, 2012.

- [31] S. Fine, J. Navratil, and R. Gopinath, "A Hybrid GMM/SVM Approach to Speaker Identification," ICASSP, 2001.
- [32] W. Zhang, M. Cong, and L. Wang, "Algorithms for optical weak small targets detection and tracking: review," in Neural Networks and Signal Processing, Nanjing, 2003.
- [33] C. Hilliard, "Selection of a clutter rejection algorithm for real-time target detection from an airborne platform," in Proc. SPIE 4048, Signal and Data Processing of Small Targets, 2000.
- [27] X. Bai, S. Zhang, B. Du, Z. Liu, T. Jin, B. Xue, and F. Zhou, "Survey on dim small target detection in clutter background: wavelet, inter-frame and filter based," Procedia Engineering, vol. 15, pp. 479 – 483, 2011.
- [28] Z. Cao, Y. Ge, and F. Feng, "Fast target detection method for high-resolution SAR images based on variance weighted information entropy," Advances in Signal Processing, 2014.
- [29] M. Varma and A. Zisserman, "Texture classification: are filter banks necessary?," in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.
- [30] S. Mirmahdavi, A. Ahmadyfard, A. Shahraki, and P. Khojasteh, "A Novel Modeling of Random Textures Using Fourier Transform for Defect Detection," in Computer Modelling and Simulation, Cambridge, 2013.

Archive of SID

Archive of SID

Small Target Enhancement in Infrared Image using Local Statistical Weighted Entropy

M. Nasiri*, S. Chehrehsa, S. A. Mirmahdavi

*Imam Hossein University

(Received: 10/01/2015, Accepted: 03/05/2016)

ABSTRACT

Small targets Enhancement in infrared images are one of the most important issues in the target search and tracking systems. Target enhancement algorithms Provide more accurate differentiation between the background and target areas in Infrared Images. In this paper, a new method of statistical weighted entropy has been suggested to suppress background clutters and increasing the contrast between target and clutter background. Local entropy is the best ways to express image intensity specifications. As a result, statistically weighted entropy is designed in accordance with the fact that, existence of small target areas cause the major changes in statistically weighted entropy value in local window of infrared image and target areas and background can be easily separated from each other. In first stage, the local Statistical weighted entropy corresponding to each pixel is calculated. At the end of this stage, background clutters are greatly suppressed and target areas are enhanced. In the next step, an automatic enhancement coefficient is used to highlight the targets and create higher contrast between the target area and background clutters. In order to qualitatively and quantitatively evaluation, the proposed algorithm was tested on a set of infrared images with 30 different background complex clutters. The results show that the proposed method can well suppress background clutter, whereas enhance the target area and increase the possibility of detecting and tracking targets.

Keywords: Infrared Image, Target Enhancement, Clutter Suppression, Entropy, Detector System

* Corresponding Author Email: mnasiri@ihu.ac.ir