

روشی کارآمد جهت ارزیابی اقدامات استتاری در تصاویر ماهواره‌ای

امین صداقت^{۱*}، حمید دهقانی^۲

۱- کارشناس ارشد، دانشکده ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۳۱، پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱۳)

چکیده

در این مقاله، روشی کارآمد جهت ارزیابی استتار در تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. روش پیشنهادی از دو بخش اصلی مبتنی بر روش تناظریابی الگو و الگوریتم استخراج عارضه UR-SIFT تشکیل شده است. در بخش اول میزان تمایز عارضه هدف و پس‌زمینه با استفاده از روش تناظریابی الگو برآورد شده و با بهره‌گیری از یک تابع گوسی به صورت وزن‌دار، یک معیار کمی برای توصیف میزان استتار عارضه هدف محاسبه می‌شود. در بخش دوم احتمال شناسایی عارضه هدف با استفاده از الگوریتم کارآمد UR-SIFT که جهت استخراج عوارض پایدار و متمایز در تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است، بررسی می‌شود. در صورتی که عارضه هدف با استفاده از الگوریتم UR-SIFT استخراج نشود، می‌توان نتیجه گرفت که به‌خوبی در میان پس‌زمینه خود استتار شده است. نتایج آزمایشات در چهار تصویر ماهواره‌ای در چهار حالت استتاری مختلف، بیانگر عملکرد مناسب معیار پیشنهادی در ارزیابی استتار تصاویر می‌باشد به‌گونه‌ای که برای اهدافی که به‌خوبی استتار شده‌اند، معیار پیشنهادی نزدیک ۱۰۰ بوده و برای اهداف بدون استتار نیز این مقدار نزدیک صفر می‌باشد. به‌علاوه، عملکرد الگوریتم UR-SIFT جهت شناسایی اهداف مستتر، در مقایسه با اپراتور D_{arg} بهتر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی استتار، سنجش از دور، تناظریابی الگو، الگوریتم UR-SIFT

An Efficient Camouflage Assessment Approach for Remote Sensing Images

A. Sedaghat*, H. Dehghani

Faculty of Geomatics, K. N. Toosi University of Technology (KNTU)

(Received: 08/22/2011, Accepted: 03/04/2012)

Abstract

In this paper, an efficient method for camouflage assessment in remote sensing images is presented. The proposed method consists of two main parts including template matching algorithm and UR-SIFT (Uniform Robust Scale Invariant Feature Transform) feature extraction algorithm. In the first part, the distinctiveness between target and background based on template matching algorithm is computed and using a Gaussian function a quantitative measure is presented for description of target camouflage. In the second part, the detectability rate of the target is investigated based on UR-SIFT algorithm which is an improved version of the well-known SIFT algorithm. This algorithm has been developed for feature extraction in remote sensing images. If the target has not been extracted using UR-SIFT algorithm, it can be concluded which target are concealed in the its background. The proposed method has been tested using various satellites and aerial remotely sensed images in four-camouflage status and evaluated based on its performance. The results indicate the appropriate performance of the proposed method in camouflage assessment in remote sensing images compared to the D_{arg} operator.

Keywords: Camouflage Assessment, Remote Sensing, Template Matching, UR-SIFT Algorithm.

* Corresponding author E-mail: am.sedaghat@gmail.com

۱. مقدمه

امروزه انواع مختلف سنجنده‌ها در باندهای طیفی مختلف و قدرت تفکیک‌های مکانی متفاوت، امکان کسب اطلاعات ارزشمند نظامی با دقت و قابلیت اطمینان بالا را فراهم کرده‌اند. به‌علاوه، کسب اطلاعات با استفاده از فناوری سنسجش از دور برخلاف روش‌های متعارف نظامی که پیچیده، پرهزینه و اغلب خطرناک هستند، فرآیندی سریع، مطمئن و با قابلیت‌های پردازشی بالا است.

با استفاده از فناوری سنسجش از دور امکان شناسایی زیرساخت‌های نظامی و غیرنظامی (نظیر فرودگاه‌ها، بنادر، نیروگاه‌ها، مراکز فرماندهی و کنترل و ...)، تعیین موقعیت اهداف جهت هدف‌گیری تسلیحات هدایت‌شونده (نظیر موشک‌های کروز)، پایش نقل‌وانتقال تجهیزات نظامی و ... فراهم شده است [۱].

همگام با توسعه روش‌های دستیابی اطلاعات نظامی از تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنسجش از دور، شیوه‌هایی برای در امان ماندن از سامانه‌های ماهواره‌ای و پنهان نمودن اهداف مورد نظر ارائه شده است. یکی از راه‌حل‌های موجود برای جلوگیری از دستیابی دشمن به این اطلاعات ارزشمند نظامی، استفاده از روش‌های استتار می‌باشد. استتار عبارت است از «تلاش جهت پنهان نمودن اهداف و عوارض مورد نظر و بالا بردن شباهت آن با پس‌زمینه خود» [۲]. استتار از اصول و عوامل پدافند غیرعامل بوده و از مهم‌ترین ترفندهای جنگی است که باید برای فریب دشمن و جلوگیری از دستیابی آنها به اطلاعات نظامی به‌کار رود.

با توجه به اینکه اساس تولید تصاویر ماهواره‌ای بازتاب طول موج‌های طیف الکترومغناطیسی است، اگر بتوان این بازتاب را در طول موج‌های معین با اختلال مواجه کرد، یا حتی بازتابش طول موج از پدیده‌ای را با بازتابش طول موج محیط پیرامون آن یکی کرد، می‌توان امکان آشکارسازی یک پدیده و هدف نظامی را دشوار یا حتی غیرممکن ساخت. شیوه‌های اصلی استتار به‌ترتیب الویت، شامل آمیختگی اهداف با محیط پیرامون، پنهان‌سازی اهداف با استفاده از نقاشی‌ها و تورهای استتار و فریب به کمک تغییر علائم طیفی اهداف است [۳].

نیروهای نظامی از تورهای استتار متداول، شرایط زمین و نیز شاخ و برگ درختان برای استتار خود و تجهیزات بهره می‌گیرند [۴]. اما اکثر این روش‌های استتار با استفاده از تصاویر باند حرارتی سنجنده‌های چند طیفی و فراطیفی، به آسانی قابل آشکارسازی است [۳]. لذا نیازمند روش‌های استتاری پیشرفته‌تری است که بتواند در برابر طول موج‌های مختلف و قدرت تفکیک‌های متفاوت، کارآمد باشد. به‌عنوان نمونه تورهای استتار ویژه‌ای ساخته شده است که بازتابش آنها درست شبیه به بازتابش مناطق جنگلی یا خاک است.

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

اکثر روش‌های کلاسیک جهت ارزیابی استتار از اپراتور انسانی استفاده می‌کنند [۷-۵]. به‌عنوان مثال کویلند^۱ و تریودی^۲ [۷] از تشخیص یک اپراتور انسانی در ارزیابی میزان تمایز یک عارضه هدف با پس‌زمینه خود استفاده کرده‌اند. در این روش، الگوهای مختلف استتار با پس‌زمینه‌های متفاوت به‌صورت دوبه‌دو توسط یک شخص نظامی بررسی شده و تصویری که بهتر استتار شده است، تعیین می‌شود. با توجه به محدودیت روش‌های مبتنی بر اپراتور انسانی و به دلیل سلیقه‌ای بودن آنها، وجود روش‌های اتوماتیک مبتنی بر کمیت‌های تصویری، مستقل از نظرات اپراتور انسانی، یک مسأله اساسی و مهم است. تحقیقات مختلفی برای این منظور انجام پذیرفته و روش‌های متنوعی نیز ارائه شده است [۹، ۸].

استفاده از ویژگی‌های تصویری^۳ جهت مقایسه عارضه هدف و پس‌زمینه، روش معمولی برای ارزیابی استتار می‌باشد [۸]. به‌عنوان مثال سامانه CAMEVA^۴ جهت ارزیابی استتار با استفاده از تعیین احتمال آشکارسازی یک عارضه هدف ارائه شده است [۱۰]. در این روش ناحیه مربوط به عارضه هدف و پس‌زمینه به‌وسیله کاربر و با انتخاب دستی تعیین شده و میزان آشکارسازی عارضه هدف به‌صورت تابعی از ابعاد آن برآورد می‌شود. برآورد میزان آشکارسازی بر مبنای توزیع آماری ویژگی‌های تصویری شامل لبه‌ها و کنتراست بوده و جهت تعیین تمایز هدف و زمینه در فضای ویژگی نیز از فاصله بچریا^۵ استفاده می‌شود [۱۰].

همچنین سامانه ICEAT^۶ جهت ارزیابی استتار در تصاویر حرارتی ارائه شده است [۱۱]. در این روش در ابتدا نقاط داغ^۷ تصویر به‌عنوان عارضه هدف تعیین می‌شود. در مرحله دوم، انواع مختلف از ویژگی‌های تصویری (نظیر میانگین و انحراف معیار) محاسبه شده و

¹ Copeland

² Trivedi

³ Image Features

⁴ Camouflage Evaluation

⁵ Bhattacharyaa Distance

⁶ Infrared Camouflage Effectiveness Assessment Tool

⁷ Hot Spot

تناظریابی الگو^۵ استفاده می‌شود [۱۴]. برای این منظور عارضه هدف به‌عنوان یک الگو در نظر گرفته شده و با تمامی پیکسل‌های پس‌زمینه مقایسه شده و میزان تمایز آنها محاسبه می‌شود. سپس با بهره‌گیری از یک تابعی گوسی، میزان تمایز هدف با پس‌زمینه به‌صورت یک پارامتر کمی توصیف می‌شود. در روش دوم جهت تعیین میزان تمایز عارضه هدف، احتمال آشکارسازی آن با استفاده از الگوریتم UR-SIFT بررسی می‌شود [۱۵].

الگوریتم UR-SIFT جهت استخراج عوارض متمایز و پایدار در تصاویر سنجش از دور ارائه شده‌است. اگر عارضه هدف به‌صورت یک عارضه متمایز در میان پس‌زمینه خود باشد، آنگاه توسط الگوریتم UR-SIFT قابل آشکارسازی خواهد بود. از این روش جهت تعیین میزان تمایز عارضه استفاده می‌شود. در ادامه در بخش دوم الگوریتم پیشنهادی جهت ارزیابی استتار در تصاویر سنجش از دور شامل تناظریابی الگو و الگوریتم UR-SIFT، تشریح می‌گردد. در بخش سوم پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و نتایج عملی ارائه شده و در نهایت در بخش چهارم نتیجه‌گیری ذکر می‌شود.

۲. ارزیابی استتار در تصاویر سنجش از دور

در این بخش جزئیات روش پیشنهادی جهت ارزیابی استتار در تصاویر ماهواره‌ای که مبتنی بر دو الگوریتم اصلی تناظریابی الگو و الگوریتم UR-SIFT است، بیان می‌شود. شکل (۲) مراحل مختلف روش پیشنهادی برای این منظور را نشان می‌دهد. در ابتدا ناحیه اطراف عارضه موردنظر در تصویر ورودی، به‌صورت یک ROI^۶ تعریف می‌شود. در روش اول با استفاده از فرآیند تناظریابی الگو میزان تمایز عارضه هدف از پس‌زمینه محاسبه شده و با استفاده از یک تابع گوسی جهت وزن‌دهی، به‌صورت یک مقدار کمی ارائه می‌شود.

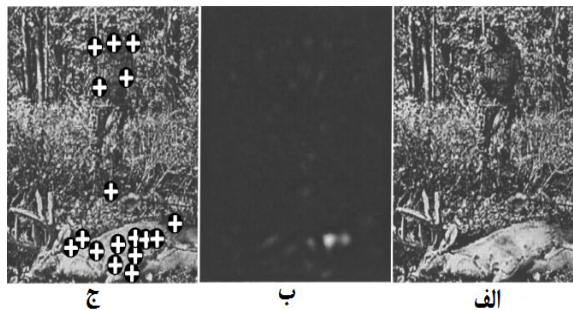
در روش دوم مطابق شکل (۲) با استفاده از الگوریتم UR-SIFT، عوارض متمایز در موقعیت عارضه هدف و پس‌زمینه استخراج و شمارش شده و احتمال آشکارسازی عارضه هدف تعیین می‌شود. در ادامه این بخش، جزئیات هر یک از این مراحل و تئوری پشتوانه آنها تشریح می‌گردد.

۲-۱. ارزیابی استتار مبتنی بر تناظریابی الگو

همان‌طور که عنوان شد، یک راه حل اساسی جهت ارزیابی کیفیت استتار اهداف مشخص، محاسبه میزان تمایز آنها با پس‌زمینه خود است. برای این منظور، در این پژوهش از روش‌های تناظریابی الگو جهت مقایسه عارضه هدف با پس‌زمینه و محاسبه میزان تمایز آنها استفاده می‌شود [۱۴].

با استفاده از منطق فازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا به‌عنوان یک معیار کمی جهت توصیف میزان استتار عارضه بیان شوند.

در بعضی از تحقیقات جهت ارزیابی استتار امکان شناسایی و تعیین موقعیت عارضه هدف توسط الگوریتم‌های استخراج عارضه بررسی می‌شود. به‌عنوان مثال، تانکاس^۱ و یشرن^۲ از اپراتور D_{arg} جهت استخراج عوارض محدب و مقعر موجود در تصویر به‌عنوان عوارض مستتر استفاده کرده‌اند [۲]. اپراتور D_{arg} در موقعیت‌های محدب و مقعر تصویر پاسخ بیشینه و کمینه داشته و نسبت به تغییرات روشنایی و مقیاس نیز پایدار می‌باشد [۲]. در شکل (۱) نتیجه استفاده از این اپراتور برای تصویر یک شکارچی در یک منطقه جنگلی نشان داده شده است. به‌طور مشابه ناگابوشان^۳ و باجانتتری^۴ جهت شناسایی عوارض مستتر از اپراتور استخراج لبه Canny استفاده کرده‌اند [۱۲، ۱۳].



شکل ۱. عملکرد الگوریتم D_{arg} در ارزیابی استتار، الف) تصویر اصلی، ب) اعمال اپراتور D_{arg} بر روی تصویر اصلی، ج) عوارض مستخرج [۲]

موضوع این مقاله ارائه روشی مناسب جهت ارزیابی استتار در تصاویر سنجش از دور می‌باشد. اغلب روش‌های ارائه شده در حوزه‌بینایی ماشین توسعه داده شده‌اند و مناسب برای تصاویر هوایی و ماهواره‌ای نیستند. این امر به‌علت ماهیت پیچیده ناشی از خصوصیات این نوع از تصاویر می‌باشد که نیازمند ملاحظات مخصوص خود هستند [۴]. در واقع به‌دلیل باندهای طیفی و قدرت تفکیک‌های مکانی متفاوت تصاویر سنجش از دور و نگاهت مختلف درجات خاکستری برای عوارض مختلف، نیازمند الگوریتم‌هایی است تا به شکل مناسبی امکان ارزیابی استتار در این تصاویر را فراهم کند.

برای این منظور در این تحقیق دو روش کارآمد جهت ارزیابی میزان استتار عوارض هدف ارائه شده است. در روش اول جهت مقایسه یک عارضه هدف با پس‌زمینه خود و تعیین میزان تمایز آنها، از روش

¹ Tankus

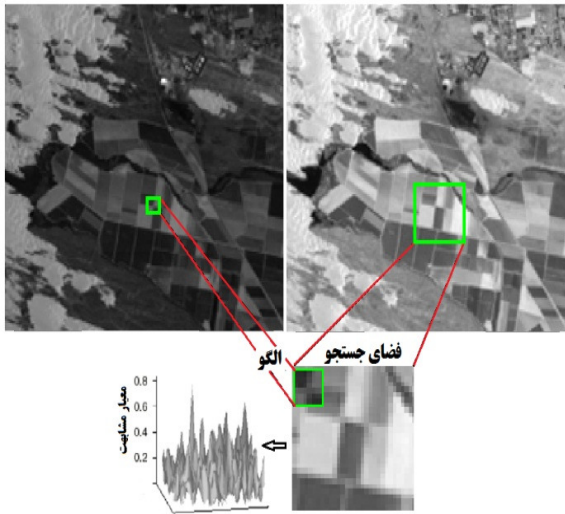
² Yeshurun

³ Nagabhushan

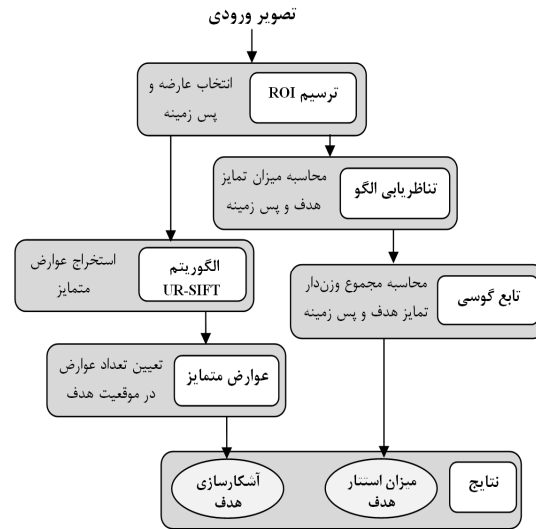
⁴ Bhajantri

⁵ Template Matching

⁶ Region of Interest



شکل ۳. فرآیند تناظریابی الگو



شکل ۲. فلوچارت مراحل روش پیشنهادی

در فرآیند ارزیابی استتار در این تحقیق، فرض براین است که عارضه هدف از لحاظ موقعیت مکانی در تصویر به‌طور کامل معلوم می‌باشد و هدف تعیین کیفیت استتار آن است. کاربرد اصلی این فرآیند ارزیابی، قبل و بعد از اجرای یک عملیات استتاری می‌باشد تا مؤثر بودن عملیات اجرا شده ارزیابی شود. با توجه به اینکه تصاویر سنجنش از دور به‌طور معمول در باندهای طیفی مختلف اخذ شده و انعکاس‌های عوارض زمینی در طول موج‌های مختلف و در شرایط محیطی گوناگون، متفاوت می‌باشد، لذا در این تحقیق فرآیند ارزیابی استتار به‌صورت تک باندی و بر روی تصاویر سیاه سفید پیشنهاد می‌شود. در واقع از آنجا که ممکن است یک عارضه در یک طول موج خاص از یک تصویر چند طیفی، تمایز بیشتری را با پس‌زمینه ایجاد نماید، لذا باید تصاویر هر باند را به‌صورت جداگانه بررسی نمود.

فرض کنید $I(x,y)$ ، به‌عنوان تابع تصویر در باند موردنظر باشد که بیانگر درجه خاکستری تصویر در موقعیت (x,y) است. جهت انجام فرآیند تناظریابی الگو در ابتدا ناحیه اطراف عارضه مورد نظر با استفاده از انتخاب دستی کاربر به‌صورت یک ROI تعریف شده و به‌عنوان مجموعه T در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه، ناحیه پس‌زمینه B، با استفاده از انتخاب یک بافر^۶ متناسب متناسب با ابعاد عارضه در اطراف آن تعیین می‌شود. طول این بافر به اندازه فاصله دورترین پیکسل ناحیه T از مرکز ثقل آن تعریف می‌شود. شکل (۴) تصویر پانکروماتیک^۷ هوایی مربوط به یک تانک نظامی را نشان می‌دهد که در آن نواحی T و B مشخص شده‌اند.

تناظریابی الگو دسته‌ای از روش‌های تناظریابی هستند که با عنوان تناظریابی ناحیه مینا^۱ نیز شناخته می‌شوند. این روش‌ها مستقیماً توزیع درجات خاکستری تصاویر را درون پنجره‌هایی با ابعاد یکسان، با استفاده از معیارهای مشابهت (یا تفاوت) مختلف، به‌طور آماری مقایسه و موقعیت بیشینه شباهت (یا کمینه اختلاف) را به‌عنوان متناظر تعیین می‌کنند [۱۴].

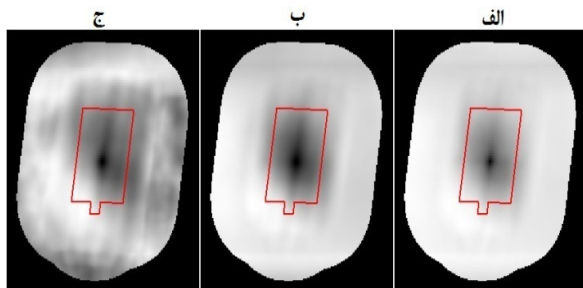
جهت انجام فرآیند تناظریابی الگو و یافتن موقعیت نظیر در دو تصویر مطابق با شکل (۳)، در ابتدا یک پنجره از پیکسل‌ها به‌عنوان الگو در یکی از تصاویر انتخاب می‌شود. در مرحله بعد یک فضای جستجو در تصویر دوم انتخاب شده و الگوی مورد نظر به‌صورت پیکسل به پیکسل در این فضا حرکت داده شده و معیار مشابهت محاسبه می‌شود. در نهایت موقعیت بیشینه شباهت به‌عنوان نقطه متناظر انتخاب می‌گردد.

از جمله معیارهای متداول در تناظریابی الگو می‌توان به مجموع قدرمطلق اختلافات، ضریب هم‌بستگی، ماکزیمم شباهت^۲ اطلاعات متقابل^۳، واگرایی آماری^۴ و شباهت ضمنی^۵ اشاره کرد [۲۱-۱۶].

با الهام از فرآیند تناظریابی الگو می‌توان فرآیند ارزیابی استتار را با مقایسه عارضه مورد نظر با پس‌زمینه خود انجام داد. برخلاف فرآیند تناظریابی الگو در مسئله ارزیابی استتار ما به‌دنبال یافتن میزان تمایز عارضه و پس‌زمینه هستیم. برای این منظور لازم است در ابتدا ناحیه اطراف عارضه هدف به‌عنوان الگو تعریف شود.

¹ Area Based Matching
² LikelihoodMaximum
³ Mutual Information
⁴ Statistical Divergence
⁵ Implicit Similarity

⁶ Buffer
⁷ Panchromatic



شکل ۵. نتیجه فرآیند تناظریابی الگو برای یک تصویر هوایی از یک تانک (الف معیار SAD، ب معیار SSD، ج معیار NCC)

درون ناحیه B، مقادیر آنها با استفاده از بیشینه و کمینه مقدار ممکن، بین ۰ تا ۲۵۵ برآورد می‌شوند (با فرض تصاویر به صورت ۸ بیتی).

بدین ترتیب، نتیجه تناظریابی الگو تصویری خواهد بود که در آن مناطق تیره بیانگر حداقل اختلاف و مناطق روشن بیانگر حداکثر اختلاف می‌باشند. شکل (۵) نتیجه فرآیند تناظریابی الگو را برای تصویر مربوط به شکل (۴) و برای هر سه معیار SAD، SSD و NCC نشان می‌دهد.

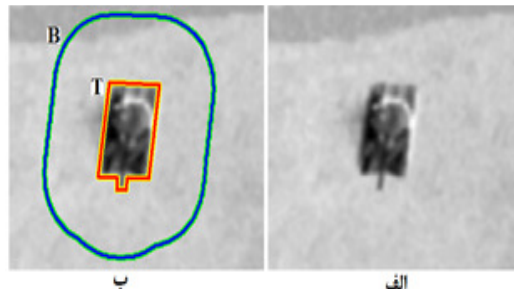
اگرچه نتیجه فرآیند تناظریابی الگو توصیف خوبی از میزان تمایز عارضه هدف و پس‌زمینه ارائه می‌دهد، اما نیاز به یک معیار کمی مناسب است تا بتوان میزان تمایز و کیفیت استتار عارضه در میان پس‌زمینه را به صورت یک مقدار عددی بیان کرد. برای این منظور، در این تحقیق با بهره‌گیری از یک روش وزن‌دهی با استفاده از یک تابع گوسی، روش مناسبی جهت ارائه یک معیار کمی ارائه شده است. این معیار کمی با استفاده از تابع F به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F(T, B) = \frac{c}{|B \setminus T|} \cdot \sum_{(x,y) \in (B \setminus T)} G(S_m(x, y)) \quad (5)$$

که در آن c یک ضریب ثابت بوده و عبارت $B \setminus T$ بیانگر پیکسل‌هایی از ناحیه B می‌باشد که جزء ناحیه T نیستند، G نیز بیانگر تابع گوسی است که به ترتیب زیر تعریف می‌شود:

$$G(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot e^{-\frac{(\alpha-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \quad \alpha \in \{0, \dots, 255\} \quad (6)$$

پارامترهای μ و σ نیز به ترتیب بیانگر میانگین و انحراف معیار تابع گوسی هستند. مقدار میانگین برابر صفر در نظر گرفته شده و مقدار ضریب c و پارامتر σ به گونه‌ای تعیین می‌شوند که مقدار تابع F برای حالت کم‌ترین اختلاف (یعنی $S_m(x,y)=0$) برابر ۱۰۰ بوده و آزمایشات نیز نتایج خوبی را متناسب با ارزیابی‌های انسانی نشان دهد.



شکل ۴. الف) تصویر هوایی از یک تانک (ب) انتخاب ناحیه B و T

جهت انجام فرآیند ارزیابی استتار به کمک تناظریابی الگو، در ابتدا ناحیه T به عنوان الگو در نظر گرفته شده و به صورت پیکسل به پیکسل در ناحیه B حرکت داده می‌شود. در هر تغییر مکان با استفاده از یک معیار اختلاف، میزان تمایز الگو با پس‌زمینه تعیین می‌شود. جهت بیان روابط مربوط به معیارها، در ابتدا لازم است تا دو پارامتر a و b به ترتیب زیر تعریف شوند:

$$a = (x_{\max} - x_{\min}) / 2 + x_{\min} \quad (1)$$

$$b = (y_{\max} - y_{\min}) / 2 + y_{\min}$$

که در آن x_{\max} ، x_{\min} ، y_{\max} و y_{\min} به ترتیب کمینه و بیشینه مختصات مربوط به پیکسل‌های واقع در الگوی T هستند. اگر $S_m(x,y)$ به عنوان میزان تمایز هر پیکسل از ناحیه B در مقایسه با الگوی T در نظر گرفته شود آنگاه از سه معیار به ترتیب زیر جهت محاسبه آن استفاده می‌شود:

(۱) معیار مجموع قدرمطلق اختلافات (SAD):

$$S_m(x, y) = \frac{1}{|T|} \sum_{(i,j) \in T} |I(x+i-a, y+j-b) - I(i, j)| \quad (2)$$

(۲) معیار مجموع مربعات اختلافات (SSD):

$$S_m(x, y) = \frac{1}{|T|} \sum_{(i,j) \in T} (I(x+i-a, y+j-b) - I(i, j))^2 \quad (3)$$

(۳) معیار ضریب هم‌بستگی نرمالیزه (NCC):

$$S_m(x, y) = \frac{\sum_{(i,j) \in T} I(x+i-a, y+j-b) \cdot I(i, j)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in T} I(x+i-a, y+j-b)^2 \cdot \sum_{(i,j) \in T} I(i, j)^2}} \quad (4)$$

در روابط فوق $|T|$ بیانگر تعداد پیکسل‌های واقع در ناحیه T بوده و جهت جلوگیری از تأثیر ابعاد ناحیه در روابط اضافه شده است. ضریب منفی در رابطه (۴) نیز جهت تبدیل آن به یک معیار تمایز اضافه شده است. بعد از برآورد معیار S_m برای تمامی پیکسل‌های

¹ Sum of Absolute Differences

² Sum of Squared Differences

³ Normalized Cross Correlation

۲-۲. ارزیابی استتار مبتنی بر الگوریتم UR-SIFT

الگوریتم UR-SIFT، نسخه بهبود داده شده‌ای از الگوریتم شناخته شده SIFT می‌باشد که جهت استخراج عوارض پایدار و متمایز در تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است [۲۲، ۱۵]. این الگوریتم مستقل از مقیاس و دوران بوده و در برابر تغییرات روشنایی و نویز تصویر نیز پایدار است [۲۲]. در ادامه ابتدا جزئیات الگوریتم SIFT و نسخه بهبود داده شده آن UR-SIFT بیان شده و سپس روش پیشنهادی با استفاده از این الگوریتم جهت ارزیابی استتار معرفی می‌شود.

الگوریتم SIFT یک روش تناظریابی عارضه مینا^۱ است که جهت انجام فرآیند تشخیص الگو در تصاویر مرئی ارائه شده و از دو مرحله اصلی شامل استخراج عارضه و ایجاد توصیف‌گر، تشکیل شده است [۲۲]. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی در این مقاله، از این الگوریتم صرفاً جهت استخراج عوارض استفاده می‌شود، لذا تنها بخش مربوط به استخراج عوارض در این قسمت بیان می‌گردد. به‌منظور استخراج عوارض در الگوریتم SIFT اولین مرحله ایجاد فضای مقیاس می‌باشد. فضای مقیاس نمایش ساختارهای تصویر در مقیاس‌های مختلف بوده و متشکل از مجموعه‌ای از تصاویر گوسی و DoG^۲ در ابعاد مختلف می‌باشد که در لایه‌های منظمی تحت عنوان اکتاو^۳ گروه‌بندی و مرتب شده‌اند (شکل (۶)).

به‌منظور ایجاد فضای مقیاس، تصویر ورودی در یک روند تکراری با کرنل گوسی با مقیاس‌های مختلف کانولوشن^۴ می‌شود تا تصاویر گوسی فضای مقیاس در هر اکتاو ایجاد شود (تصاویر ستون چپ در شکل (۶)، میزان مقیاس هر تصویر گوسی در کنار آن نمایش داده شده است). بنابراین تصویر گوسی $L(x, y, \sigma)$ برای تابع تصویر $I(x, y)$ با استفاده از کرنل گوسی $G(x, y, \sigma)$ با استفاده از رابطه (۷) ایجاد می‌شود:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \otimes I(x, y). \quad (7)$$

که در آن \otimes بیانگر اپراتور کانولوشن بوده و G نیز بیانگر تابع گوسی است. پارامتر σ ، بیانگر مقیاس هر تصویر بوده و مقدار اولیه‌ی آن برابر $\sigma_0 = 1.6$ فرض شده (مطابق پیشنهاد Lowe) و با استفاده از پارامتر ثابت k ، در یک روند افزایشی در سطوح مختلف هر اکتاو زیاد می‌شود [۲۲].

در ادامه تصاویر DoG، با استفاده از تفاضل دو تصویر گوسی مجاور از فضای مقیاس محاسبه می‌شوند (تصاویر ستون راست در شکل (۶)). مقیاس تصویر گوسی کوچک‌تر، به‌عنوان مقیاس تصویر DoG در نظر گرفته می‌شود. بعد از ایجاد هر اکتاو، تصویر گوسی که مقیاس آن دو برابر مقیاس اولیه می‌باشد، انتخاب شده و ابعاد آن با نمونه‌برداری

مجدد، نصف شده و به‌عنوان تصویر ابتدایی اکتاو بعدی در نظر گرفته می‌شود و فرآیند تکرار می‌شود.

جهت استخراج موقعیت عوارض در فضای مقیاس، هر پیکسل در سطوح میانی تصاویر DoG، (سطوح مقیاس در شکل (۶)) در هر اکتاو با ۸ پیکسل همسایگی خود و ۹ پیکسل همسایگی تصویر DoG بالایی و ۹ پیکسل همسایگی تصویر DoG پایینی (همسایگی ۲۶ تایی) مقایسه شده و اگر یک اکستریم (ماکزیمم یا مینیمم) باشد، به‌عنوان یک عارضه کاندیدا ذخیره می‌شود.

تعداد سطوح مقیاس در هر اکتاو یعنی تعداد تصاویری که به‌منظور استخراج عوارض اولیه جستجو می‌شوند، پارامتری مؤثر در تعداد عوارض استخراجی می‌باشد. مطابق با پیشنهاد Lowe، تعداد مقیاس‌ها در هر اکتاو برابر $LN=3$ انتخاب شده و مقدار فاکتور ثابت نیز برابر $k=2^{1/LN}$ در نظر گرفته می‌شود [۲۲]. بدین ترتیب، تعداد تصاویر گوسی در هر اکتاو برابر ۶ و تعداد تصاویر DoG نیز برابر ۵ می‌باشد (مطابق با شکل (۶)). تعداد اکتاوها در فضای مقیاس، ON، نیز متناسب با ابعاد تصویر انتخاب می‌شود.

بعد از استخراج عوارض اولیه در تمامی فضای مقیاس، موقعیت و مقیاس دقیق آنها با استفاده از برازش یک تابع 3D Quadratic همسایگی ۲۶ تایی هر عارضه، تعیین می‌شود. سپس میزان کنتراست (قدر مطلق تابع DoG تصویر در موقعیت بهبود داده شده هر اکستریم) و نسبت میان انحناهای اصلی^۵ هر عارضه، به‌منظور بررسی میزان پایداری آنها برآورد می‌شود.

عوارضی که میزان کنتراست آنها از یک مقدار آستانه (T_c) کمتر باشد، ناپایدار و حساس به نویز بوده و حذف می‌شوند به‌علاوه، عوارضی که میزان نسبت انحناهای اصلی در آنها بیشتر از یک مقدار آستانه (T_r) باشد، نیز حذف می‌شوند.

مطابق پیشنهاد Lowe مقادیر آستانه T_c و T_r به‌ترتیب برابر $0.3/0$ و 1.0 انتخاب می‌شوند [۲۲]. به این ترتیب، فرآیند استخراج عوارض در الگوریتم SIFT به پایان می‌رسد. عوارض مستخرج از الگوریتم SIFT به‌طور معمول حبابی شکل بوده و با یک دایره به شعاع سه برابر مقیاس خود نمایش داده می‌شوند.

عوارض SIFT، مستقل از مقیاس بوده، در برابر تغییرات روشنایی، تغییر شکل ناشی از تغییر منظر تصویربرداری و نویز پایدار بوده و همچنین دقت بالایی دارند [۲۳]. با وجود کارایی بالای الگوریتم SIFT در تصاویر ماشینی بینایی، این الگوریتم در استخراج عوارض در تصاویر سنجش از دور به‌دلیل خصوصیات این تصاویر با اشکال روبه‌رو می‌شود [۱۵]. اشکال اصلی این الگوریتم کنترل‌پذیری پایین آن در استخراج عوارض متمایز و پایدار در تصاویر سنجش از دور می‌باشد.

¹ Feature Based Matching

² Deferece of Gaussian

³ Octave

⁴ Convolution

⁵ Ratio Between the Principal Curvatures

بررسی می‌شود. در صورتی که در موقعیت عارضه مورد نظر عوارض متمایزی استخراج شوند می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت عارضه مورد نظر مناسب نبوده و قابل آشکارسازی می‌باشد. به‌عنوان مثال در شکل (۷) نتیجه استفاده از الگوریتم UR-SIFT برای یک تصویر پانکروماتیک از سنجنده IKONOS را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به دلیل عدم استتار مناسب عارضه هواپیما، قسمت‌های مختلف آن توسط الگوریتم UR-SIFT استخراج شده است.

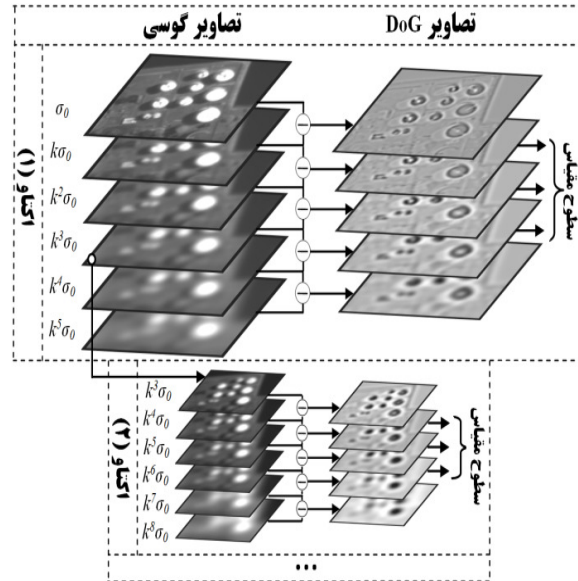
۳. پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش، جزئیات پیاده‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. جهت پیاده‌سازی فرآیند ارزیابی استتار با استفاده از تناظرایی الگو، از محیط نرم افزاری MATLAB استفاده شده و تمامی مراحل آن مطابق با جزئیاتی که در بخش ۲-۱ بیان شد، برنامه‌نویسی شد. جهت پیاده‌سازی الگوریتم UR-SIFT نیز از کد توسعه داده شده توسط نویسندگان آن استفاده شد [۱۵]. در نهایت به منظور تسهیل استفاده از توابع توسعه داده شده یک رابط گرافیکی کاربر تحت قالب یک سامانه نرم‌افزاری با عنوان CASoft مطابق شکل (۸) ایجاد شد. این سامانه نرم‌افزاری این امکان را فراهم می‌کند که تمامی فرآیندهای ارزیابی شامل ورود داده‌ها، مشاهده، بررسی و مقایسه آنها، انتخاب پارامترهای توابع الگوریتم، ذخیره‌سازی و مشاهده خروجی‌ها، در یک ساختار به‌طور کامل مناسب و آسان، میسر شوند.

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی در ارزیابی استتار تصاویر سنجنش از دور، سه تصویر ماهواره‌ای از سه سنجنده مختلف و یک تصویر هوایی انتخاب شد. جدول (۱) لیست این تصاویر و جزئیات مربوط به آنها را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که همه تصاویر سیاه سفید و ۸ بیتی هستند. برای هر تصویر با استفاده از تغییر میزان کنتراست عارضه هدف، چهار ترکیب متفاوت که بیانگر چهار حالت استتاری از کم به زیاد می‌باشد، به‌عنوان تصاویر شبیه‌سازی ایجاد شدند.

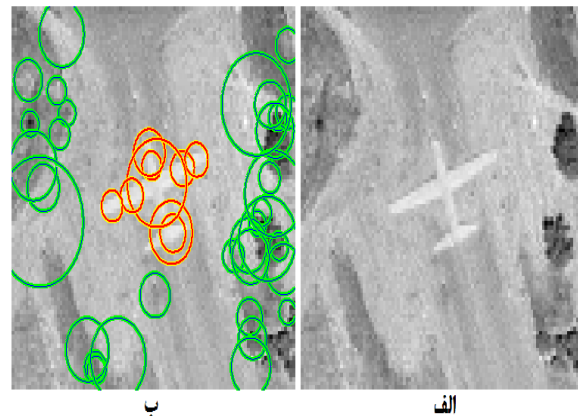
شکل (۹) تصاویر شبیه‌سازی ایجاد شده در هر چهار حالت و برای هر سنجنده را نشان می‌دهد. همان‌طور که بیان شد در تصاویر شبیه‌سازی شده، در حالت ۱ عارضه مورد نظر کمترین میزان استتار و در حالت ۴ بیشترین میزان استتار را دارد.

در ارزیابی استتار با استفاده از تناظرایی الگو هر سه معیار SAD، SSD و NCC پیاده‌سازی و آزمایش شدند. شکل (۱۰) نتایج فرآیند تناظرایی الگو را در تصاویر حالت اول (کمترین میزان استتار) مربوط به هر چهار سنجنده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است برای هر چهار تصویر، معیار SAD تمایز میان عارضه هدف و پس‌زمینه را به شکل بهتری توصیف می‌کند.



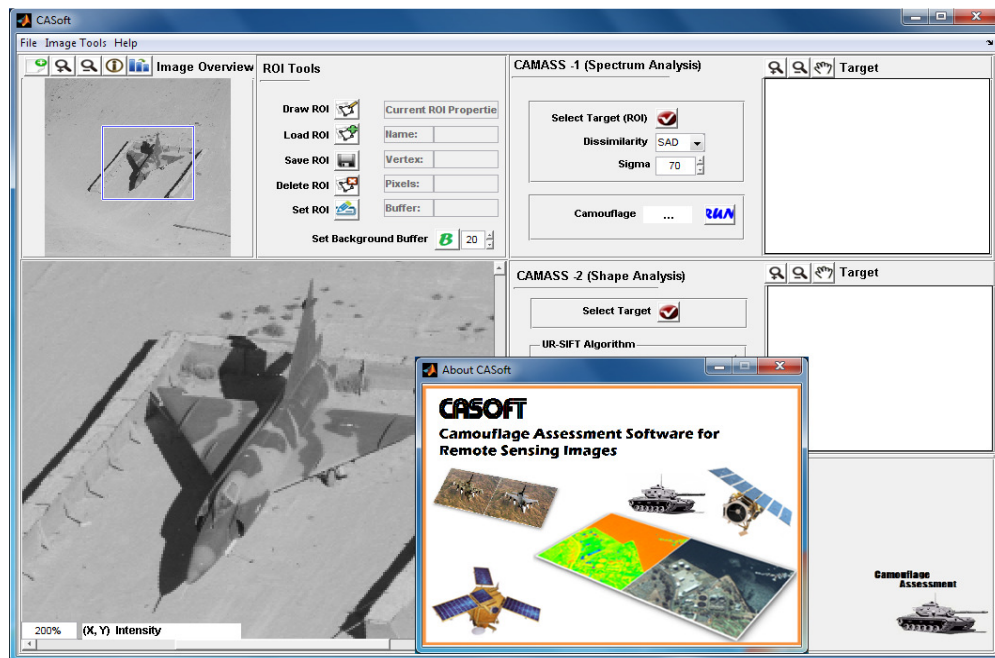
شکل ۶. نمایش فضای مقیاس در الگوریتم SIFT

برای غلبه بر این مشکلات، الگوریتم UR-SIFT جهت استخراج عوارض متمایز تصویر و در توزیع یکنواختی از مکان و مقیاس ارائه شده است. در این روش با بهره‌گیری از خصوصیات فضای مقیاس و بر مبنای ضریب مقیاس سطوح هرم تصویر، تعداد عوارض مورد نیاز در هر سطح تعیین شده و با بهره‌گیری از دو معیار پایداری و تمایز و در یک ساختار شبکه‌ای عوارض استخراج می‌گردند [۱۵].

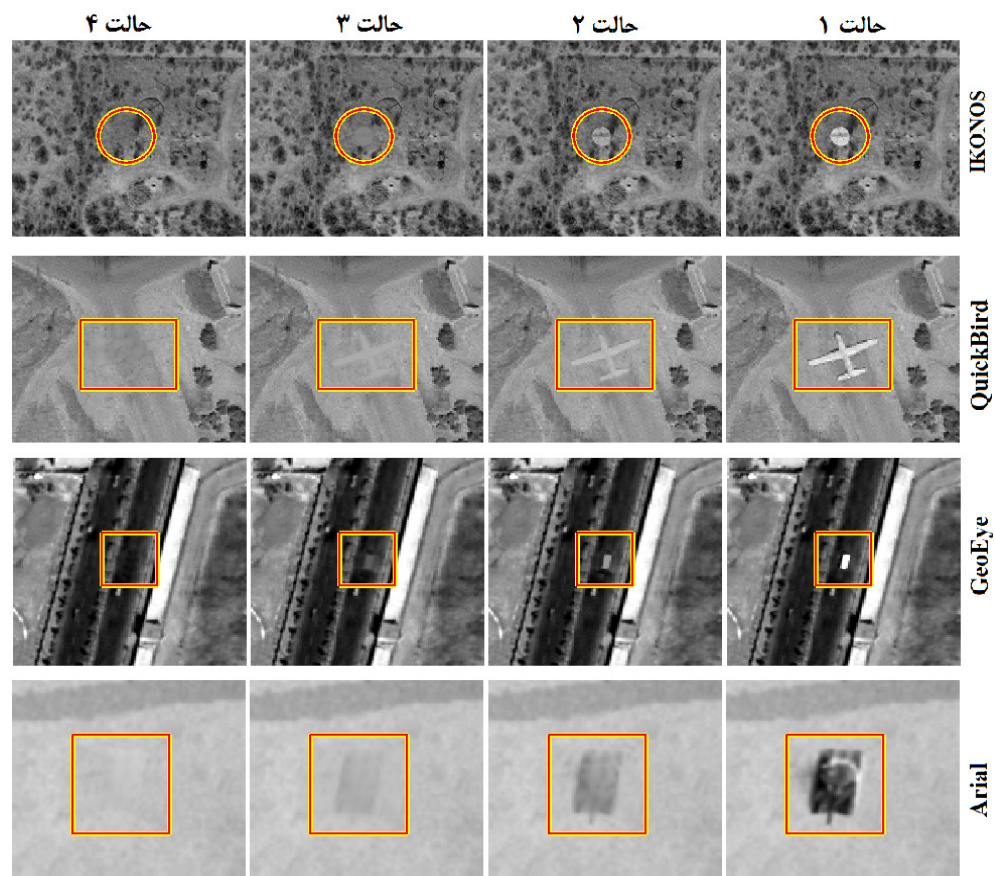


شکل ۷. الف) تصویر پانکروماتیک از سنجنده IKONOS مربوط به یک هواپیما، ب) عوارض مستخرج با استفاده از الگوریتم UR-SIF

الگوریتم UR-SIFT امکان استخراج عوارض متمایز موجود در تصاویر را مستقل از مقیاس، تغییرات روشنایی، نویز و با دقت بالا فراهم می‌کند. با توجه به عملکرد بسیار بالای این الگوریتم در تصاویر ماهواره‌ای، در این تحقیق جهت ارزیابی کیفیت استتار عوارض مشخص، امکان شناسایی آنها با استفاده از الگوریتم UR-SIFT



شکل ۸. نمایش کلی نرم‌افزار ارزیابی استتار CASoft



شکل ۹. تصاویر شبیه‌سازی شده از ۴ حالت استتار مختلف

جدول ۱. تصاویر مورد ارزیابی

شماره	نام سنجنده	ابعاد تصویر	باند طیفی	اندازه پیکسل زمینی (متر)	نوع عارضه
۱	IKONOS	۲۴۵×۲۷۷	پانکروماتیک	۱	مخزن سوخت
۲	QuickBird	۱۰۸×۱۲۸	پانکروماتیک	۰/۶۷	هواپیما
۳	GeoEye	۱۳۶×۱۴۵	پانکروماتیک	۰/۵	اتومبیل
۴	Arial	۱۱۶×۱۲۸	پانکروماتیک	۰/۱	تانک

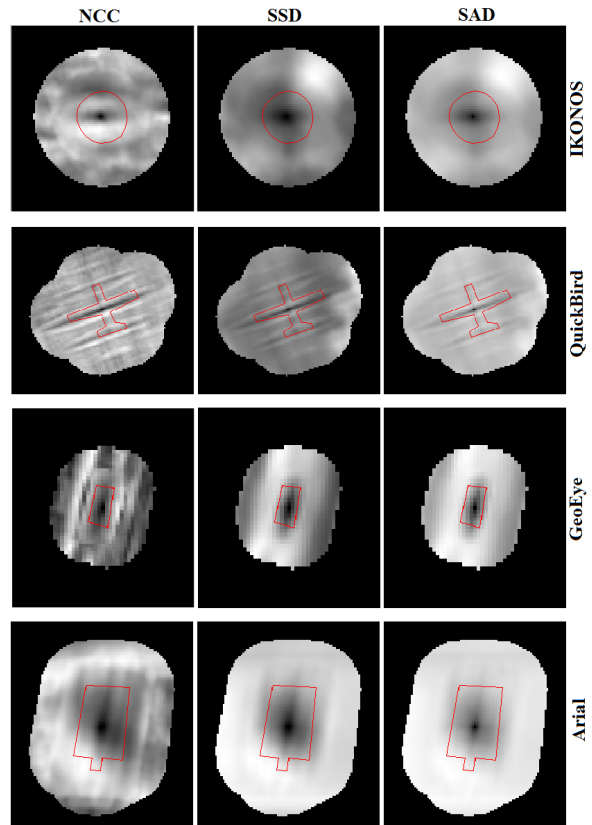
با توجه به این مسئله، تنها از معیار SAD برای ارزیابی در این قسمت استفاده می‌شود. جهت برآورد میزان استتار عارضه هدف (تابع F) پارامتر σ و ضریب c به ترتیب برابر ۷۰ و $\frac{100}{G(0)}$ در نظر گرفته شدند. مقدار ۷۰ برای پارامتر σ با انجام آزمایشات مختلف بر روی تصاویر متنوع و بر این اساس انتخاب شد که تابع F به شکل مناسبی گویای میزان تغییرات کیفیت استتار عوارض، مطابق با ارزیابی‌های انسانی باشد. همان‌طور که قبلاً عنوان شد، میزان پارامتر ثابت c نیز به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که حداکثر مقدار برای تابع F برابر ۱۰۰ باشد. جدول (۲) میزان پارامتر F را در روش تناظرایی الگو برای چهار حالت استتاری مربوط به هر چهار سنجنده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود مقدار پارامتر F در حالت اول که عوارض هدف کمترین میزان استتار را دارند، کمترین مقدار را دارد به‌طوری که مقدار F برای همه تصاویر کمتر از ۱۰ بوده و برای تصاویر GeoEye و Arial نزدیک صفر می‌باشد. برای تصاویر حالت دوم و سوم، مقدار پارامتر F با توجه به افزایش میزان استتار عوارض، بیشتر شده است. در نهایت برای تصاویر حالت چهارم میزان پارامتر F بسیار بالا و برای همه تصاویر بیشتر از ۹۰ می‌باشد. به نظر می‌رسد با توجه به مقادیر حاصل شده می‌توان نتیجه گرفت اگر مقادیر F در حدود ۹۰ و بالاتر باشد عارضه با کیفیت بسیار بالایی استتار شده و امکان آشکارسازی آن بسیار کم می‌باشد، همچنان که برای تصاویر مورد ارزیابی در حالت چهارم، اپراتور انسانی نیز قادر به تشخیص ماهیت و موقعیت عارضه نیست. همان‌طور که ملاحظه شد، در روش پیشنهادی، یک مقدار کمی جهت توصیف کیفیت استتار عوارض ارائه داده شده است که به شکل مناسبی میزان استتار آنها را توصیف می‌کند. این مقدار کمی اهمیت بسیار بالایی داشته و می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های انسانی در زمینه ارزیابی استتار در تصاویر سنجنش از دور باشد.

جدول ۲. نتایج ارزیابی استتار با استفاده از تناظرایی الگو

شماره	نام سنجنده	میزان استتار عارضه‌ی هدف، $F(T, B)$			
		حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴
۱	IKONOS	۲/۹۹	۲۴/۵۰	۷۹/۴۱	۹۱/۶۶
۲	QuickBird	۹/۲۵	۴۷/۰۹	۷۲/۵۴	۹۳/۱۹
۳	GeoEye	۰/۰۱	۲۳/۱۷	۶۱/۷۳	۹۴/۷۳
۴	Arial	۰/۴۳	۴۹/۳۱	۷۷/۶۸	۹۷/۱۷

بخش دوم از روش پیشنهادی جهت ارزیابی استتار، بررسی احتمال آشکارسازی عارضه هدف با استفاده از الگوریتم UR-SIFT می‌باشد. برای این منظور، از این الگوریتم مطابق با پیاده‌سازی صورت گرفته توسط نویسندگان آن استفاده شد که در آن فضای مقیاس در چهار اکتاو و سه سطح مقیاس در هر اکتاو ایجاد می‌شود [۱۵].

در واقع از آنجا که در تصاویر حالت اول، میزان تمایز عارضه در میان پس‌زمینه، حداکثر می‌باشد، لذا انتظار بر این است که نتیجه فرآیند تناظرایی الگو، در ناحیه خارج عارضه (به رنگ قرمز مشخص شده است)، روشن باشند. با مقایسه تصاویر مربوط به هر سه معیار، ملاحظه می‌شود که معیار SAD، تصویر روشن‌تری را در ناحیه خارج عارضه ایجاد کرده است. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی جهت ارزیابی استتار، فرآیند تناظرایی الگو میان عارضه و پس‌زمینه مربوط به یک تصویر انجام شده و ماهیت نگاشت درجات خاکستری میان عارضه و پس‌زمینه یکسان است، لذا معیار SAD که به‌صورت مجموع تفاضل درجات خاکستری محاسبه می‌شود، عملکرد بهتری دارد.



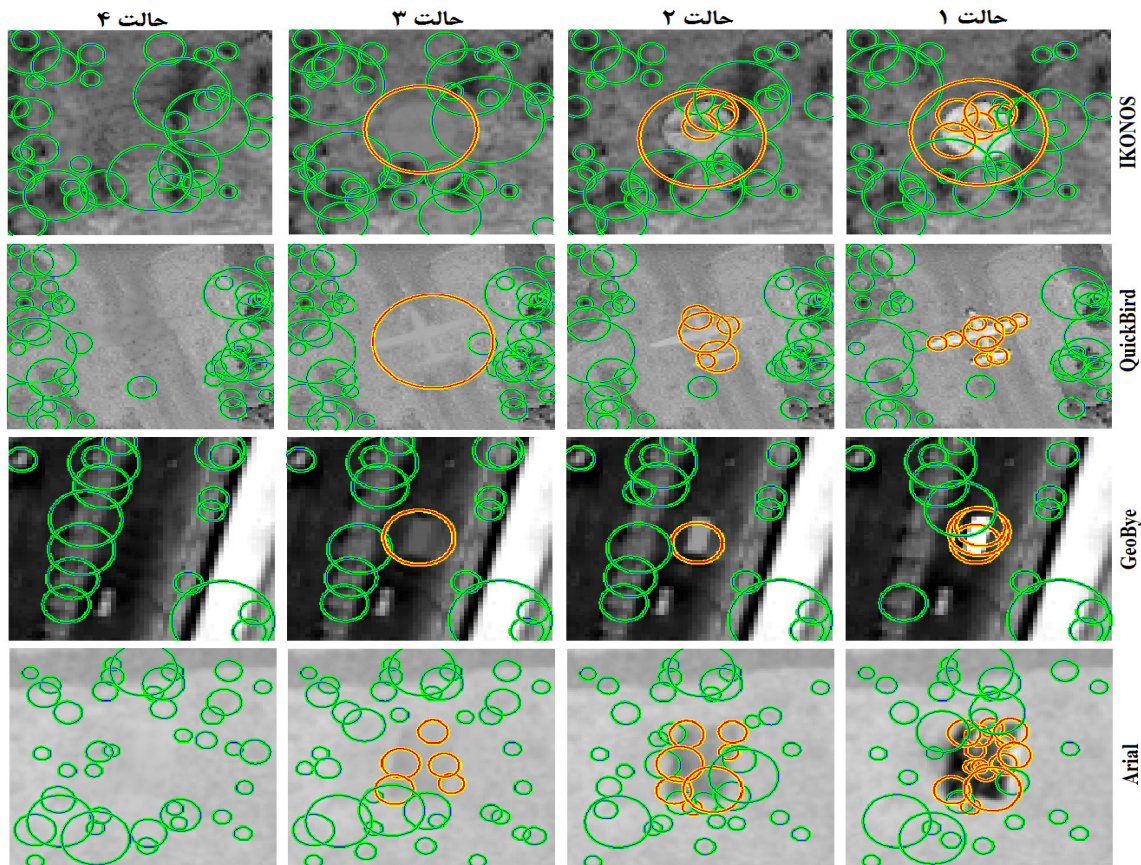
شکل ۱۰. الف) نتیجه فرآیند تناظرایی الگو برای هر سه معیار SAD، SSD و NCC در تصاویر حالت ۱

تنها در حالت استتاری ۴، که عوارض هدف به‌طور کامل پوشیده شده‌اند، هیچ عارضه‌ای استخراج نشده است. بدین ترتیب استفاده از الگوریتم UR-SIFT مطابق با روش پیشنهادی، قابلیت بالایی در ارزیابی استتار اهداف مختلف در تصاویر سنجش از دور دارد. شکل (۱۱) و (۱۲) به ترتیب عوارض مستخرج از الگوریتم UR-SIFT و D_{arg} را در تصاویر حالت ۱ تا ۴ مربوط به هر چهار تصویر نشان می‌دهند. در شکل (۱۱) عوارض واقع در موقعیت هدف مورد نظر، به‌صورت ضخیم‌تر و با رنگ متمایز نشان داده شده‌اند.

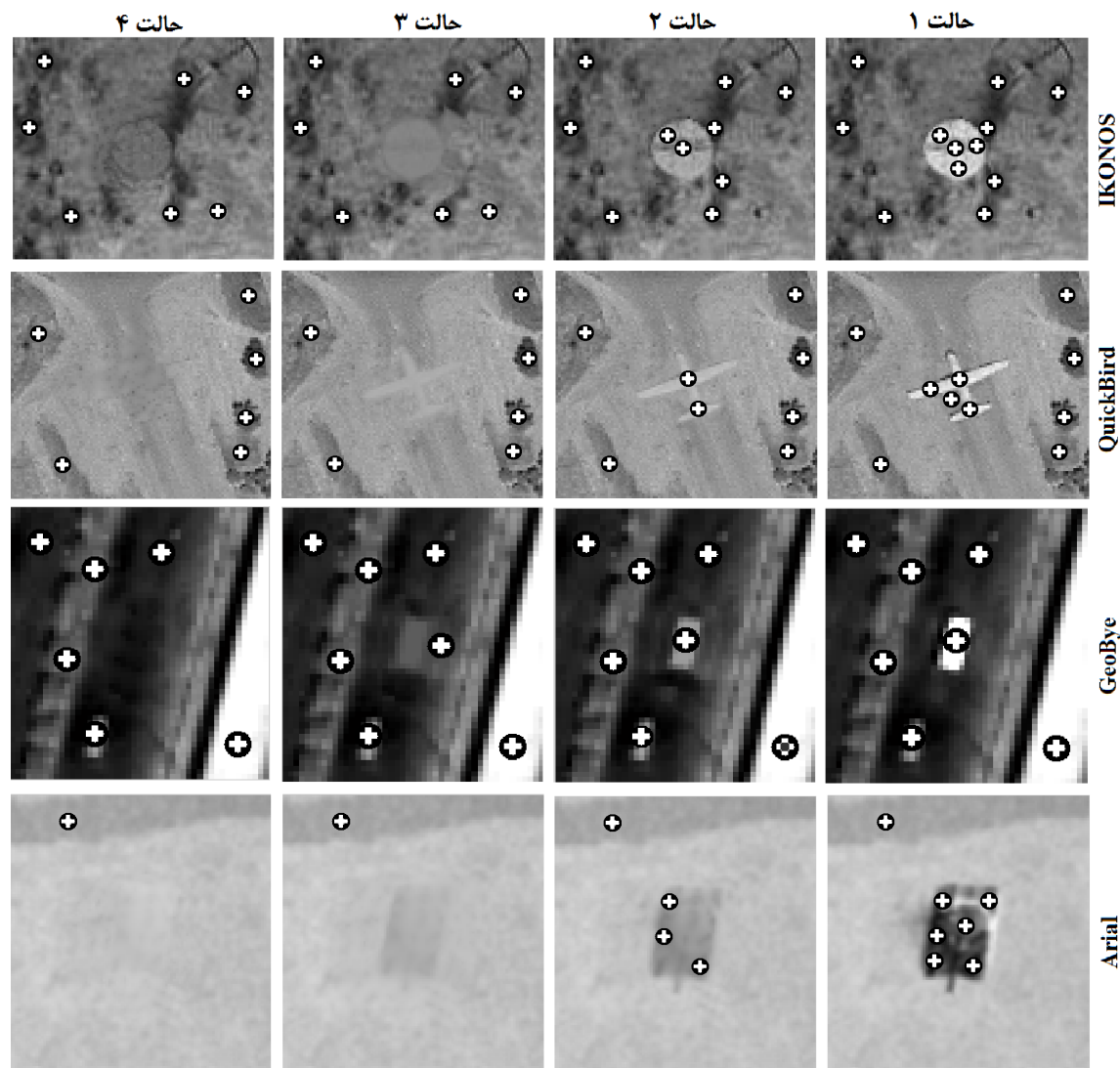
جدول ۳. نتایج ارزیابی استتار با استفاده از الگوریتم UR-SIFT و D_{arg}

ردیف	نام سنجنده	تعداد عوارض مستخرج در موقعیت هدف مورد نظر							
		حالت ۱		حالت ۲		حالت ۳		حالت ۴	
		D_{arg}	URSIFT	D_{arg}	URSIFT	D_{arg}	URSIFT	D_{arg}	URSIFT
۱	IKONOS	۶	۴	۲	۴	۱	۲	۰	۰
۲	QuickBird	۹	۴	۵	۲	۱	۰	۰	۰
۳	GeoEye	۴	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۴	Arial	۱۴	۶	۷	۳	۵	۰	۰	۰

به‌منظور مقایسه عملکرد الگوریتم UR-SIFT از اپراتور D_{arg} استفاده شده است [۲]. یادآوری می‌شود که اپراتور D_{arg} جهت آشکارسازی موقعیت‌های محدب و مقعر تصویر به‌عنوان عوارض مستتر ارائه شده و همچون الگوریتم UR-SIFT، مستقل از تغییرات مقیاس بوده و در برابر تغییرات روشنایی نیز پایدار می‌باشد. جهت پیاده‌سازی این الگوریتم مطابق با جزئیات بیان شده در عمل شده است [۲]. جدول (۳) نتیجه عملکرد الگوریتم UR-SIFT و اپراتور D_{arg} را در استخراج عوارض در موقعیت اهداف مورد نظر در تصاویر نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در هر دو الگوریتم با افزایش میزان استتار عارضه هدف، تعداد عوارض مستخرج در موقعیت آن کاهش می‌یابد، اما الگوریتم UR-SIFT به‌طور کلی تعداد عوارض بیشتری را در تمامی موارد نسبت به اپراتور D_{arg} استخراج می‌کند. به‌علاوه، در حالت استتاری ۳، که عوارض به‌میزان زیادی استتار شده‌اند، با وجود اینکه اپراتور D_{arg} در شناسایی عارضه هدف ناتوان بوده است، به‌طور نسبی تعداد کمی از عوارض تصاویر توسط الگوریتم UR-SIFT استخراج شده است. این مسئله بیانگر عملکرد بالایی UR-SIFT در آشکارسازی عوارض مستتر با میزان تمایز بسیار کم در تصاویر سنجش از دور می‌باشد.



شکل ۱۱. نتایج فرآیند استخراج عوارض با استفاده از الگوریتم UR-SIFT برای تصاویر مورد ارزیابی



شکل ۱۲. نتایج فرآیند استخراج عوارض با استفاده از اپراتور D_{arg} برای تصاویر مورد ارزیابی

افزایش کیفیت استتار هدف مورد نظر داشته و هرچه این میزان به ۱۰۰ (استتار حداکثر) نزدیک‌تر باشد، مؤثر بودن اقدام صورت گرفته را نشان می‌دهد. استفاده از اپراتور استخراج عارضه UR-SIFT در روش پیشنهادی نیز به‌منظور تعیین میزان تمایز اهداف مورد نظر به‌عنوان عوارض ساختاری برجسته بسیار مفید می‌باشد، به‌علاوه، عملکرد این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم D_{arg} ، به‌عنوان یک روش کارآمد برای این منظور نیز به‌طور نسبی بهتر می‌باشد. از آنجایی که الگوریتم UR-SIFT اساساً جهت استخراج عوارض در تصاویر سنجش از دور مطابق با خصوصیات این تصاویر طراحی شده است و فرآیند استخراج را مطابق با محتوای تصاویر انجام می‌دهد، لذا عملکرد آن مطابق با نتایج ارائه شده در این بخش، در مقایسه با الگوریتم D_{arg} بر روی این تصاویر بیشتر است.

همان‌طور که ملاحظه شد در این بخش روش پیشنهادی پیاده‌سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت، به‌علاوه با الگوریتم کارآمد D_{arg} که جهت شناسایی اهداف استتاری ارائه شده است، مورد مقایسه قرار گرفت. جهت استفاده آسان و مناسب از روش پیشنهادی توسط کاربران مختلف همان‌طور که در شکل (۸) ملاحظه شد، یک ساختار گرافیکی برای آن طراحی و توسعه داده شد. معیار $F(T, B)$ در روش پیشنهادی به‌عنوان یک معیار کمی جهت توصیف میزان تمایز هر هدفی با پس‌زمینه خود قابل استفاده بوده و با توجه به محدوده صفر تا ۱۰۰ انتخابی برای آن، به‌خوبی می‌تواند گویای میزان کیفیت استتار اهداف مورد نظر باشد. با محاسبه معیار $F(T, B)$ قبل و بعد از هر اقدام استتاری، می‌توان مفید و مؤثر بودن اقدام صورت گرفته را ارزیابی نمود. در صورتی که اندازه این معیار افزایش پیدا کند، بیانگر

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از روش تناظریابی الگو و الگوریتم کارآمد UR-SIFT روش مناسبی جهت ارزیابی کیفیت استتار در تصاویر سنجش از دور ارائه شد. در قسمت اول، برای توصیف میزان تمایز یک عارضه هدف از پس‌زمینه آن، از روش تناظریابی الگو استفاده شد. برای این منظور، با بهره‌گیری از یک معیار اختلافی، میزان تمایز عارضه هدف و پس‌زمینه آن محاسبه شده و با استفاده از یک تابع گوسی، میزان استتار آن به صورت کمی با استفاده از تابع F ارائه شد. بدین ترتیب، در قسمت اول روش پیشنهادی معیاری ارائه شد که میزان استتار هر عارضه را به صورت کمی توصیف کرده و می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های انسانی در این زمینه باشد. در قسمت دوم، از روش پیشنهادی از الگوریتم UR-SIFT برای ارزیابی کیفیت استتار عوارض هدف استفاده شد. الگوریتم UR-SIFT عملکرد بسیار بالایی در تعیین عوارض متمایز در تصاویر سنجش از دور دارد که در این تحقیق از قابلیت بالای آن جهت ارزیابی کیفیت استتار عوارض هدف استفاده شد. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، چهار تصویر هوایی و ماهواره‌ای از چهار سنجنده متفاوت انتخاب شد. برای تصویر هر سنجنده با استفاده از تغییر میزان کنتراست عارضه هدف، چهار ترکیب متفاوت از چهار حالت استتاری از کم به زیاد به عنوان تصاویر شبیه‌سازی ایجاد شد. در مواقعی که اهداف مورد نظر استتار نشده باشند، میزان پارامتر F برای آنها بسیار کم بوده و توسط الگوریتم UR-SIFT نیز استخراج می‌شوند و در مواقعی که عوارض به خوبی استتار شده باشند میزان معیار F بالا بوده و توسط الگوریتم UR-SIFT نیز استخراج نمی‌شوند. به عنوان تحقیقت آتی، پیشنهاد می‌شود از دیگر معیارهای تناظریابی الگو نظیر واگرایی آماری یا اطلاعات متقابل استفاده شده و نتایج با تحقیق حاضر مقایسه شود.

۵. مراجع

- [۱] خزائی، صفا "سنجش از دور با نگرشی بر شناسایی و مراقبت"، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، مؤسسه چاپ و انتشارات، ۱۳۸۸.
- [۲] Tankus, A.; Yeshurun, Y. "Convexity-Based Visual Camouflage Breaking."; *Computer Vision and Image Understanding* 2001, 82, 208-237.
- [۳] Bahal, A. S. "Satellite Reconnaissance."; *ISR and Counter-Measures*; AIR POWER Journal 2006,
- [۴] خزائی، صفا، همایونی، سعید، و صفری، عبدالرضا "تصویربرداری فراطیفی و ملاحظات آفا در برابر تهدیدات آن" *مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری پدافندهای غیرعامل*، سال اول، شماره ۲، صفحه ۶۳-۷۴، ۱۳۸۹.
- [5] Bailey, H. H. "Target Detection Through Visual Recognition, A Quantitative Model."; The Rand Corporation, Memo RM-6158-PR, (AD-721 446), 1970.
- [6] Gretzmacher, F. M.; Ruppert, G. S.; Nyberg, S. "Camouflage Assessment Considering Human Perception Data."; *Characterization and Representation IV*, Orlando, Florida 1998, SPIE, 3375, 58-67.
- [7] Copeland, A. C.; Trivedi, M. M. "Signature Strength Metrics for Camouflaged Targets Corresponding to Human Perceptual Cues."; *Opt. Eng.* 1998, 37, 582-591.
- [8] Nyberg, S.; Schutte, K. "Assessing Camouflage Methods Using Textural Features."; *The Netherlands*, 21-23, 1999.
- [9] Nyberg, S. "Models Used in Assessment of Optical Sensors."; Technical Report, FOI Swedish Defence Research Agency, 2007.
- [10] Birkemark, C. M. "CAMEVA, a Methodology for Estimation of Target Detectability."; *Opt. Eng.* 2001, 40, 1835-1843.
- [11] Beichel, R.; Ruppert, G. S.; Gretzmache, F. M. "Fuzzy Logic Approach for the Quantitative Assessment of Camouflage effectiveness in the Thermal Infrared Domain."; In *Targets and Backgrounds VI: Characterization, Visualization, and the Detection Process*, Wendell R. Watkins, Proceedings of SPIE 2000, 4029, 378-385.
- [12] Nagabhushan, P.; Bhajantri, N. U. "Multiple Camouflage Breaking by Co-Occurrence and Canny."; University of Mysore, Manasa Ganotri, 2004.
- [13] Canny, J. A. "Computational Approach to Edge Detection."; *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1986, 8, 679-698.
- [14] Brunelli, R. "Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice."; USA, Wiley Publishing, 2009.
- [15] Sedaghat, A.; Mokhtarzade, M.; Ebadi, H. "Uniform Robust Scale-Invariant Feature Matching for Optical Remote Sensing Images."; *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2011, 49, 4516-4527.
- [16] Zitova, B.; Flusser, J. "Image Registration Methods: A Survey."; *Image and Vision Computing* 2003, 21, 977-1000.
- [17] Li, W.; Leung, H. "A Maximum Likelihood Approach for Image Registration Using Control Point and Intensity."; *IEEE Trans. Image Proc.* 2004, 13, 1115-1127.
- [18] Cole-Rhodes, A. A.; Johnson, K. L.; Moigne, J. L.; Zavorin, I. "Multi Resolution Registration of Remote Sensing Imagery by Optimization of Mutual Information Using a Stochastic Gradient."; *IEEE Trans. Image Proc.* 2003, 12, 1495-1511.
- [19] Kern, J. P.; Pattichis, M.S. "Robust MultiSpectral Image Registration Using Mutual-Information Models."; *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2007, 45, 1494-1505.
- [20] He, Y.; Ben-Hamza, A.; Krim, H. "A Generalized Divergence Measure for Robust Image Registration."; *IEEE Trans. Signal Proc.* 2003, 51, 1211-1220.
- [21] Keller, Y.; Averbuch, A. "Multi Sensor Image Registration Via Implicit Similarity."; *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2006, 8, 794-801.
- [22] Lowe, D. "Distinctive Image Features from Scale Invariant Key Points, Cascade Filtering Approach."; *Int. J. Comput. Vis.* 2004, 60, 91-110.
- [23] Heikkil, M.; Pietikainen, M.; Schmid, C. "Description of Interest Regions with Local Binary Patterns."; *Pattern Recognition* 2009, 42, 425-436.