

شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه در تک تصویر رادار روزنه مجازی

امیر آقابالائی^{۱*}، یاسر مقصودی^۲، حمید عبادی^۳

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استادیار، ۳- استاد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۹۵/۰۲/۱۲؛ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۰)

چکیده

مزایای فناوری‌های سخت افزاری و تشخیص الگو، همراه با کاربردهای وسیع ماهواره‌های سنجنش از دور سبب توسعه سامانه‌های شناسایی خودکار هدف شده است. به‌ویژه شناسایی خودکار فرودگاه‌ها، به‌دلیل اهمیت ویژه این اهداف، اساسا امری ضروری است. در این تحقیق، روشی جهت تشخیص و استخراج خودکار فرودگاه‌ها در تک تصویر رادار روزنه مجازی (SAR) پیشنهاد شده است. برای این منظور از تصاویر هوایی بدون سرنشین SAR (UAVSAR) استفاده شده است. به‌طور کلی، روش پیشنهادی ترکیبی از تبدیل هاف، جهت شناسایی باندهای فرودگاه، و یک مرحله طبقه‌بندی شیء مینا، جهت استخراج نواحی فرودگاه، را شامل می‌شود. نتایج این تحقیق، عملکرد و کارایی موثر روش پیشنهادی را جهت شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه اثبات کرد. همچنین نشان داده می‌شود که قطبش‌های (HH و VV) عملکرد بهتری را نسبت به قطبش‌های (HV یا VH) در شناسایی و استخراج نواحی فرودگاه دارند.

واژگان کلیدی

شناسایی و استخراج فرودگاه، UAVSAR، تبدیل هاف، طبقه‌بندی شیء مینا.

۱- مقدمه

برده می‌شوند. از این نقطه نظر، شناسایی خودکار فرودگاه‌ها می‌تواند نقش مهمی را در زمان جنگ فراهم کند. همچنین استخراج فرودگاه از داده‌های سنجنش از دور برای طراحی شهری و به‌روز رسانی سامانه‌های اطلاعات مکانی^۳ مفید می‌باشد.

به‌طور کلی روش‌های موجود بر مبنای تک تصویر SAR جهت شناسایی و استخراج فرودگاه را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد [۲]: در دسته اول، روش‌ها بر مبنای قطعه‌بندی^۴ ناحیه بوده و اصولا بر تعیین محل تقریبی فرودگاه تمرکز می‌کنند. به‌عبارت دیگر، این روش‌ها مشخص می‌کنند که کجا یک فرودگاه وجود دارد یا ندارد، ولی دقیقا و به‌خوبی باندهای آن را مشخص نمی‌کنند. به‌عنوان نمونه به مقالات [۳، ۴] مراجعه شود. روش‌های این دسته، زمان محاسباتی کمتری داشته و عملکرد آن‌ها به حد آستانه انتخاب شده جهت قطعه‌بندی تصویر بستگی دارد. همچنین این روش‌ها اغلب برای تصاویر بزرگ مقیاس و پیچیده SAR مناسب نمی‌باشند [۲]. در دسته دوم، روش‌ها بر مبنای شناسایی لبه بوده و هدف‌شان استخراج باندهای فرودگاه می‌باشد. به‌طور نمونه مقالات [۱، ۵-۸] را بررسی کنید. این

آشکارسازی هدف به‌معنای متمایز ساختن یک هدف خاص از پس‌زمینه می‌باشد. با توجه به تغییرات پیوسته محیط و نیز نیاز بشر به کشف اهداف، شناسایی و تشخیص خودکار اهداف^۱ در تصاویر سنجنش از دور به یک موضوع تحقیقاتی مهم برای محققان تبدیل شده است. به‌ویژه توانایی و قابلیت‌های گسترده تصاویر رادار روزنه مجازی (SAR)^۲، مانند عدم وابستگی به شرایط آب و هوا، قابلیت اخذ داده در هر زمان از شبانه روز، فرصتی را برای شناسایی خودکار اهداف فراهم کرده است [۱]. در بین اهداف مختلف، فرودگاه‌ها به‌دلیل اهمیت‌شان، اهدافی مهم در کاربردهای غیرنظامی و نظامی هستند [۲]. در حوزه‌های غیرنظامی، فرودگاه‌ها نقش مهمی در حمل و نقل مسافران و بار آن‌ها، و نیز جذب و حفظ تجارت با سایر کشورها دارند. بنابراین فرودگاه‌ها یک نیروی بزرگ در اقتصاد محلی، منطقه‌ای، ملی و جهانی هستند. همچنین فرودگاه‌های نظامی، اهداف راهبردی مهمی در شاخه هوانوردی نیروهای دفاعی یک کشور هستند و معمولا برای نشست و برخاست جنگنده‌های بمب افکن به‌کار

* رایانامه نویسنده مسئول: a.aghabalaei@mail.kntu.ac.ir

¹ Automatic Target Detection (ATD)

² Synthetic Aperture RADAR

³ Geospatial Information System (GIS)

⁴ Segmentation

تصویربرداری در سنجش از دور و نیز به واسطه عدم وابستگی به خورشید و شرایط جوی می‌توانند نقش مهمی را در شناسایی اهداف و استخراج اطلاعات دقیق از آن‌ها، در مواقع مدیریت بحران و نیز پدافند غیرعامل ایفا کنند. همچنین با توسعه روزافزون فناوری‌های راداری و نیز روش‌های پردازش سیگنال و تصویر، استفاده از این سامانه‌های تصویربرداری جایگاه ویژه‌ای در کاربردهای نظامی و غیرنظامی پیدا کرده است. به‌ویژه آن‌که می‌توان با تغییر فرکانس امواج ارسالی، زاویه و جهت دید و نیز نوع قطبش^۶ امواج ارسالی و دریافتی سامانه‌های تصویربرداری SAR، پاسخ‌های متفاوتی را از اهداف مختلف دریافت کرد. بنابراین تصاویر تشکیل شده از پراکنش^۷ راداری به پارامترهای مختلف هدف مانند شکل هندسی، زبری سطح و رطوبت وابسته خواهد بود که با آنالیز پراکنش‌های مختلف می‌توان اهداف مختلف را شناسایی و آشکارسازی کرد.

۲-۲- آشکارسازی لبه

در یک تصویر، لبه‌ها مشخص کننده مرزها بوده و معمولاً مناطقی با تمایز^۸ بالا هستند. در پردازش تصویر^۹، آشکارسازی لبه به فرآیند شناسایی و تعیین خطوط ناپیوسته اطلاق می‌شود. این خطوط ناپیوسته تغییرات ناگهانی در شدت داشته و محدوده اشیاء را در تصویر مشخص می‌کنند [۱۴]. اکثر روش‌های آشکارسازی لبه از یک عملگر دو بعدی استفاده کرده و تصویر را به دو بخش لبه و غیرلبه تقسیم می‌کنند. روش‌های مرسوم در شناسایی لبه شامل کانولوشن^{۱۰} تصویر با یک عملگر دو بعدی می‌باشد که نسبت به بالا بودن گرادین در تصویر حساس است و در نواحی یکنواخت آن‌ها را به صفر می‌رساند [۱۵]. در این میان آشکارساز کنی^{۱۱} [۱۶] که به الگوریتم تشخیص لبه بهینه معروف است [۱۷] به‌عنوان عملگر شناسایی و استخراج لبه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. در الگوریتم کنی ابتدا تصویر با یک پالایه گوسی هموار شده و گرادین آن محاسبه می‌شود. سپس در هر همسایگی با جستجو در راستای گرادین، بیشترین مقدار گرادین انتخاب می‌شود. همچنین این الگوریتم دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

- میزان خطای کم

روش‌ها معمولاً از تبدیل هاف^۱ [۹، ۱۰]، تبدیل رادون^۲ [۱۱] و یا دیگر روش‌های مرسوم [۱۲، ۱۳] استفاده می‌کنند. به‌طور مثال در [۸] از تبدیل رادون و آزمون فرضیه^۳ جهت شناسایی خودکار باندهای فرودگاه استفاده شده است. روش‌های دسته دوم اغلب ساده بوده ولی مشکل آن‌ها این است که فقط به آنالیز شکل باندها پرداخته و گاهی اوقات سبب شناسایی اشتباه و یا ابهام با لبه‌های ساختمان‌ها، جاده‌ها و خطوط ساحلی می‌شوند. در ضمن، پیچیدگی محاسباتی زیاد، احتمال زیاد در عدم اتصال دقیق و درست خطوط شناسایی شده و نیز وابستگی به قدرت تفکیک تصاویر از دیگر محدودیت‌های روش‌های دسته دوم هستند [۲]. در این تحقیق روشی جدید جهت شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه‌ها از تک تصاویر SAR به‌وسیله ترکیب تبدیل هاف و یک روش طبقه‌بندی شیء مبنای^۴ و نیز به‌کارگیری ویژگی جدید و مهمی به‌نام بی‌نظمی^۵ ارائه شده است. بی‌نظمی می‌تواند نقش شایانی در شناسایی خودکار فرودگاه داشته باشد، چرا که مبنای کار در تصاویر SAR، پراکنش‌های مختلفی که از اهداف مختلف به‌دست می‌آیند و این پراکنش‌ها متناسب‌اند با مقدار بی‌نظمی. همچنین ترکیب هم‌زمان تبدیل هاف و روش طبقه‌بندی شیء مبنای سبب شناسایی و استخراج فرودگاه به همراه باندهای آن خواهد شد.

مقاله پیش رو در پنج بخش تهیه و تدوین شده است. بخش اول مختصراً به مقدمه، مروری بر مطالعات و تحقیقات گذشته و نیز ضرورت و هدف تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش دوم ابتدا مروری بر سامانه‌های تصویربرداری SAR داشته و سپس مبانی تحقیق تشریح می‌شود. مناطق مورد مطالعه، داده‌ها و الگوریتم روش پیشنهادی در بخش سوم توضیح داده خواهد شد. در بخش چهارم پیاده‌سازی الگوریتم روش پیشنهادی بیان شده و نتایج مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. و در نهایت بخش پنجم به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای کارهای آینده می‌پردازد.

۲- مبانی تحقیق

۱-۲- سامانه‌های تصویربرداری SAR

سامانه‌های تصویربرداری SAR به‌عنوان یکی از روش‌های نوین

^۶ Polarization

^۷ Scattering

^۸ Contrast

^۹ Image Processing

^{۱۰} Convolution

^{۱۱} Canny Detector

^۱ Hough Transform

^۲ Radon Transform

^۳ Hypothesis Testing

^۴ Object Based

^۵ Entropy

تقسیم‌بندی بافت مورد استفاده قرار داد. یکی از توابع مورد استفاده در آنالیز بافت، تابع محاسبه بی‌نظمی محلی می‌باشد. این تابع، بی‌نظمی را در یک همسایگی پیرامون هر پیکسل از یک تصویر خاکستری^۲ محاسبه می‌کند. به این صورت که ابتدا یک همسایگی (به صورت پیش فرض یک ماتریس 9×9) در اطراف پیکسل مورد نظر، در نظر گرفته و سپس ویژگی‌های آماری آن ناحیه را محاسبه می‌کند. در نهایت مقدار به دست آمده را به عنوان مقدار پیکسل در تصویر خروجی لحاظ می‌کند. بی‌نظمی همان‌های همسایگی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

$$E = - \sum P \times \log_2 P \quad (1)$$

که در آن P تابع توزیع همان‌های تصویر است.

تابع محاسبه بی‌نظمی محلی، تصویر را با استفاده از یک روش آماری استاندارد پالایه می‌کند. این روش آماری می‌تواند بافت یک تصویر را مشخص کند چراکه این روش، اطلاعاتی در مورد تنوع محلی مقدار شدت پیکسل‌ها در یک تصویر ارائه می‌کند. به عنوان مثال، در مناطقی با بافت نرم بازه مقادیر پیکسل‌ها در همسایگی یک پیکسل، مقدار کوچکی داشته و در نواحی با بافت زبر دارای مقدار بزرگ‌تری می‌باشد. در انتها یادآور می‌شود که جهت محاسبه بی‌نظمی محلی در لبه‌های تصویر از روش برون‌یابی^۳ استفاده می‌شود که این برون‌یابی به صورت پیش‌فرض برون‌یابی متقارن می‌باشد.

۲-۵- قطعه‌بندی به روش اتسو^۴

بیشتر کاربردهای پردازش تصویر نیازمند قطعه‌بندی تصویر است. از این رو انتخاب یک یا چند حد آستانه مناسب جهت ایجاد تمایز بین قطعات مختلف تصویر امری ضروری است. در سال ۱۹۷۵ روشی غیرپارامتریک^۵ و غیرنظارت شده^۶ جهت انتخاب حد آستانه برای قطعه‌بندی تصاویر توسط اتسو [۲۰] ارائه شد. در این روش یک حد آستانه بهینه توسط معیار تمایز^۷، به منظور بیشینه کردن تفکیک کلاس‌های حاصل در سطوح خاکستری^۸ تصویر، انتخاب می‌گردد. فرآیند روش اتسو بسیار ساده بوده و فقط از همان‌های تجمعی^۹ مرتبه صفر و اول هیستوگرام سطح خاکستری تصویر

- کمینه بودن فاصله بین پیکسل‌های یک لبه
- حساس بودن به لبه‌های منفرد
- تاکید زیاد بر کاهش نویز در تصویر

۲-۳- تبدیل هاف

تبدیل هاف [۱۸] یکی از روش‌های مرسوم در پردازش تصویر است که با استفاده از آن می‌توان اشکال مشخصی را در تصویر شناسایی و استخراج کرد. جهت یافتن یک شکل خاص با استفاده از تبدیل هاف لازم است که آن شکل دارای فرم پارامتری مشخصی باشد. از این رو تبدیل هاف معمولاً جهت پیدا کردن اشکالی مانند خط، دایره و سهمی به کار برده می‌شود. عملکرد این تبدیل در شناسایی و استخراج خطوط به این صورت است که ابتدا متناظر با فضای دکارتی (x, y) ، فضای پارامتری (a, b) در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در حالت کلی یک خط با معادله $y = ax + b$ در فضای (x, y) به صورت یک خط با معادله $b = -ax + y$ در فضای (a, b) در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب هر نقطه در فضای دکارتی به یک خط در فضای پارامتری تبدیل می‌شود. از آنجاکه نقاط هم راستا در فضای پارامتری هم‌دیگر را در نقطه (a, b) قطع می‌کنند، پارامترهای خط به دست می‌آیند. این روش جهت تعیین خطوط قائم با مشکل مواجه می‌شود. از این رو از نمایش قطبی خط جهت تبدیل هاف استفاده شد که در آن فضای پارامتری دارای مختصات (ρ, θ) بوده و معادله خط به صورت $\rho = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta)$ می‌باشد. در این پژوهش جهت شناسایی و استخراج خطوط تصویر از تبدیل هاف استفاده شده است.

۲-۴- آنالیز بافت^۱ و بی‌نظمی

آنالیز بافت به خصوصیات مناطق بر اساس محتوای بافت آن‌ها اشاره دارد. بافت یک تصویر، توصیفی از خواص یک ناحیه از تصویر می‌باشد که درکی از صافی، زبری، با قاعده یا بی‌قاعده بودن تغییرات آن ناحیه، ریزی و درشتی اجزای تصویر و مانند آن را در بیننده القا می‌کند. روش‌های مختلفی برای استخراج ویژگی‌های بافتی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های آماری، ساختاری و طیفی اشاره کرد. آنالیز بافت در مواردی مانند پردازش تصاویر سنجش از دور، بازرسی‌های خودکار و پردازش تصاویر پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنالیز بافت را می‌توان برای پیدا کردن مرزهای بافت و یا

^۲ Grayscale

^۳ Extrapolation

^۴ Otsu

^۵ Nonparametric

^۶ Unsupervised

^۷ Discriminant Criterion

^۸ Gray Levels

^۹ Cumulative Moments

^۱ Texture

$$\begin{aligned}\sigma_0^2 &= \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 \Pr(i|C_0) \\ &= \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 \frac{p_i}{\omega_0}\end{aligned}\quad (۸)$$

$$\begin{aligned}\sigma_1^2 &= \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 \Pr(i|C_1) \\ &= \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 \frac{p_i}{\omega_1}\end{aligned}\quad (۹)$$

به منظور ارزیابی عملکرد حد آستانه k ، معیار تمایزهای (یا معیارهای تفکیک) زیر که در آنالیز تمایز [۲۱] به کار می‌روند، تعریف می‌شوند:

$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2} \quad (۱۰)$$

$$\kappa = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2} \quad (۱۱)$$

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \quad (۱۲)$$

که در آن‌ها

$$\sigma_W^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (۱۳)$$

$$\begin{aligned}\sigma_B^2 &= \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \\ &= \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2\end{aligned}\quad (۱۴)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 p_i \quad (۱۵)$$

در روابط (۱۰) تا (۱۵) σ_T^2 ، σ_B^2 و σ_W^2 به ترتیب واریانس‌های درون کلاسی، بین کلاسی و واریانس کل سطوح هستند.

بنابراین مسئله به یک مسئله بهینه‌سازی برای جستجوی یک حد آستانه k که یکی از معیارهای تمایز λ ، κ و η را بیشینه کند، تبدیل می‌شود، البته با در نظر گرفتن این نکته که کلاس‌ها بتوانند به خوبی در سطوح خاکستری از یکدیگر تفکیک شوند و نیز حد آستانه انتخاب شده بهترین حد آستانه باشد. معیارهای تفکیک λ ، κ و η به صورت زیر با یکدیگر رابطه دارند.

$$\eta = \frac{\lambda}{\lambda + 1} = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \quad (۱۶)$$

چراکه رابطه اصلی زیر همیشه اتفاق می‌افتد:

$$\sigma_W^2 + \sigma_B^2 = \sigma_T^2 \quad (۱۷)$$

استفاده می‌کند. همچنین این روش مستقیماً برای مسائل انتخاب چند حد آستانه قابل تعمیم است. در ادامه روش حد آستانه‌گذاری اتسو و تعمیم آن به روش‌های چند حد آستانه‌گذاری توضیح داده می‌شود.

در نظر بگیرید که پیکسل‌های یک تصویر در L سطح خاکستری $[1, 2, \dots, L]$ نمایش داده شده است. تعداد پیکسل‌ها در سطح i ام با n_i و تعداد کل پیکسل‌ها با $N = n_1 + n_2 + \dots + n_L$ نمایش داده می‌شود. جهت ساده‌سازی، هیستوگرام سطح خاکستری نرمالیزه شده و به عنوان یک توزیع احتمالی در نظر گرفته می‌شود:

$$p_i = \frac{n_i}{N} ; \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (۲)$$

حال فرض کنید که پیکسل‌ها توسط یک حد آستانه k به دو کلاس C_0 و C_1 (پس زمینه و اشیاء و یا برعکس) تقسیم شوند. C_0 پیکسل‌ها با سطوح $[1, \dots, k]$ و C_1 پیکسل‌ها با سطوح $[k+1, \dots, L]$ را نمایش می‌دهند. پس احتمال‌های رخ داد کلاسی و میانگین سطوح کلاسی به ترتیب به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$\omega_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=1}^k p_i = \omega(k) \quad (۳)$$

$$\omega_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega(k) \quad (۴)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i \Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k \frac{ip_i}{\omega_0} = \frac{\mu(k)}{\omega(k)} \quad (۵)$$

$$\begin{aligned}\mu_1 &= \sum_{i=k+1}^L i \Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L \frac{ip_i}{\omega_1} \\ &= \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)}\end{aligned}\quad (۶)$$

که در آن‌ها $\mu(k) = \sum_{i=1}^k ip_i$ و $\omega(k) = \sum_{i=1}^k p_i$ به ترتیب میان‌های تجمعی مرتبه صفر و اول هیستوگرام تا سطح k ام هستند و $\mu_T = \mu(L) = \sum_{i=1}^L ip_i$ میانگین کل سطح تصویر اصلی است. اکنون می‌توان رابطه زیر را برای هر انتخاب k بازبینی کرد:

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T ; \quad \omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (۷)$$

واریانس‌های کلاسی از رابطه‌های (۸) و (۹) به دست می‌آیند:

UAVSAR آن نشان می‌دهد.



شکل (۱). نمایی از هواپیمای Gulfstream-III آمریکایی به همراه سنجنده UAVSAR آن.

این داده‌ها که از طریق سایت UAVSAR آمریکا به نشانی www.uavsar.jpl.nasa.gov در اختیار کاربران قرار داده می‌شود، اغلب به صورت چند منظره^۶ بوده و یک سری پیش پردازش بر روی آن‌ها صورت گرفته است. این پیش پردازش شامل مراحل تبدیل شدت سیگنال دریافتی به سیگمای خنثی^۷ (σ^0)، حذف نویز لکه^۸ و نیز تصحیح هندسی^۹ و زمین مرجع کردن^{۱۰} داده‌ها می‌شود که مرحله تصحیح هندسی و زمین مرجع سازی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی^{۱۱} SRTM1_v2 انجام می‌شود. در نهایت دو محصول Slant Range و Orthorectified برای کاربران قابل دسترس خواهد بود.

مناطق مورد مطالعه در این پژوهش قسمت‌هایی از منطقه اکالوسا^{۱۲} واقع در فلوریدا می‌باشد. در جنوب و جنوب غربی این منطقه دو فرودگاه به ترتیب به نام‌های Destin Executive (DTS) و Destin-Fort Walton Beach (VPS) با کاربری‌های عمومی قرار دارد. شکل‌های (۲ - ۳) تصاویر مناطق مورد مطالعه را به همراه فرودگاه‌های آن‌ها نشان می‌دهند.

به این نکته باید توجه شود که σ_B^2 و σ_T^2 توابعی از حد آستانه k هستند، ولی σ_T^2 مستقل از k می‌باشد. همچنین یادآور می‌شود که σ_W^2 بر مبنای آماره‌های مرتبه دوم (واریانس‌های کلاسی) می‌باشد، در حالی که σ_B^2 بر مبنای آماره‌های مرتبه اول (میانگین‌های کلاسی) است. بنابراین η ساده‌ترین معیار جهت ارزیابی عملکرد حد آستانه k می‌باشد.

بنابراین، حد آستانه بهینه k^* که η (و یا به طور معادل σ_B^2) را بیشینه می‌کند، به صورت زیر انتخاب می‌شود:

$$\eta(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_T^2} \quad (18)$$

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (19)$$

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq L} \sigma_B^2(k) \quad (20)$$

تعمیم روش اتسو به مسائل انتخاب چند حد آستانه به طور مستقیم توسط خاصیت معیار تمایز به دست می‌آید. به عنوان مثال، جهت جداسازی سه کلاس C_0 (با سطوح $[1, \dots, k_1]$)، C_1 (با سطوح $[k_1 + 1, \dots, k_2]$) و C_2 (با سطوح $[k_2 + 1, \dots, L]$) دو حد آستانه k_1 و k_2 ($1 \leq k_1 < k_2 < L$) در نظر گرفته می‌شوند. حال معیار تمایز σ_B^2 (و نیز η) تابعی از دو متغیر k_1 و k_2 بوده و حد آستانه‌های بهینه k_1^* و k_2^* به صورت زیر انتخاب می‌شوند:

$$\sigma_B^2(k_1^*, k_2^*) = \max_{1 \leq k_1 < k_2 < L} \sigma_B^2(k_1, k_2) \quad (21)$$

۳- مواد و روش

۳-۱- داده‌ها و مناطق مطالعاتی

در این تحقیق دو زیر مجموعه 680×1360 پیکسلی از داده‌های تمام پلاریمتریک^۱ هواپیمای بهمدون سرنشین SAR (UAVSAR)^۲ انتخاب شده است. داده‌های مورد نظر در باند L معادل طول موج ۲۳ سانتی‌متر، با قدرت تفکیک $7/2$ متر \times $4/8$ متر (به ترتیب در راستای سمت^۳ و برد^۴)، با طول پالس ۴۰ میکرو ثانیه، زاویه استرینگ^۵ ۹۰ درجه و پهنای باند ۸۰ مگاهرتز در تاریخ ۲۳ ژوئن ۲۰۱۰ توسط هواپیمای Gulfstream-III آمریکایی اخذ شده‌اند. شکل (۱) این هواپیما را به همراه سنجنده

⁶ Multilook

⁷ Sigma nougat

⁸ Speckle

⁹ Geometric Correction

¹⁰ Georeferencing

¹¹ Digital Elevation Model (DEM)

¹² Okaloosa

¹ Full Polarimetric

² Uninhabited Aerial Vehicle SAR

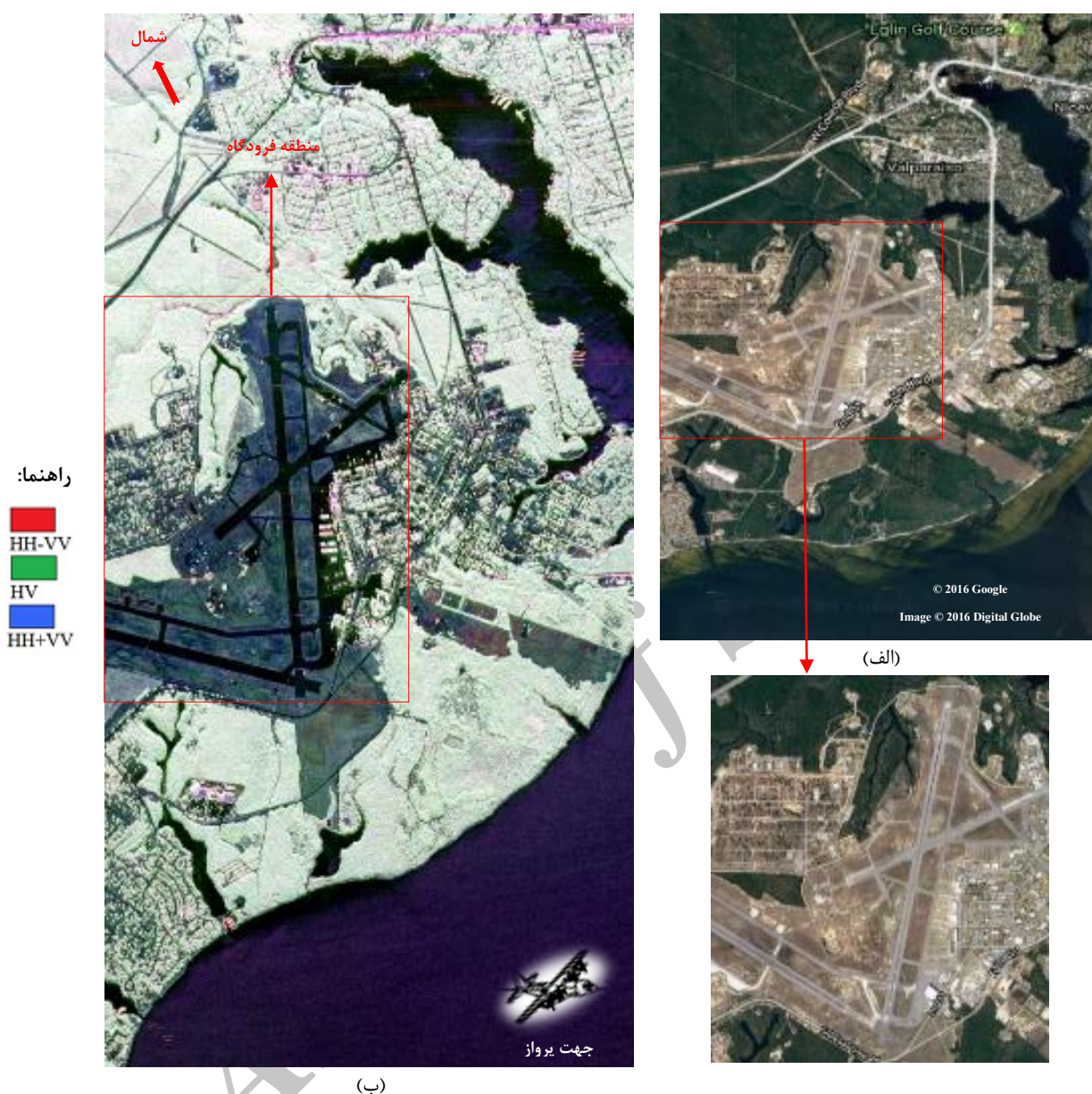
³ Azimuth

⁴ Range

⁵ Steering



شکل (۲). منطقه مورد مطالعه اول. الف) تصویر اخذ شده از سایت Google Earth و ب) به صورت نمایش رنگی کاذب پانولی.



شکل (۳). منطقه مورد مطالعه دوم. الف) تصویر اخذ شده از سایت Google Earth و ب) به صورت نمایش رنگی کاذب پانولی.

۲-۳- الگوریتم روش پیشنهادی در این تحقیق

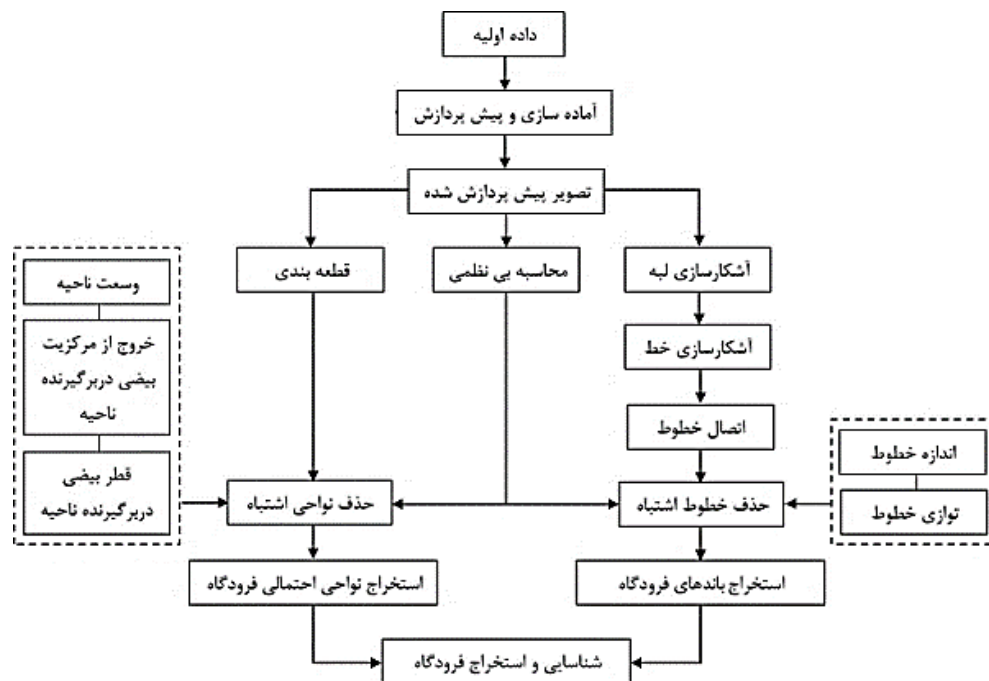
الگوریتم روش پیشنهادی این پژوهش جهت شناسایی و استخراج فرودگاه در شکل (۴) نشان داده شده است که در ادامه هر یک از مراحل آن توضیح داده خواهد شد.

اولین گام، آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده اولیه است. همان‌طور که در قبل نیز اشاره شد، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق توسط متخصصین گروه پروازی UAVSAR آمریکا پیش‌پردازش شده‌اند. بنابراین گام بعد تهیه تصویر از داده‌های پیش‌پردازش شده است. برای این منظور داده چند منظره شده UAVSAR در نرم‌افزار PolSAR Pro_v5.0 فراخوانی شده و سپس ماتریس کواریانس به‌دون هیچ‌گونه میان‌گیری بر روی

پیکسل‌ها و با فرض تقارن بازتابی^۱ هدف ($S_{HV} = S_{VH}$) استخراج می‌شود. حال هر یک از مقادیر قطر اصلی ماتریس کواریانس به‌عنوان یک تصویر پیش‌پردازش شده ورودی در الگوریتم شناسایی و استخراج فرودگاه در نظر گرفته می‌شوند. این تصاویر شامل توان شدت سیگنال دریافتی در هر یک از قطبش‌های HH، HV و VV می‌باشند.

مرحله بعد، شناسایی و استخراج باندهای فرودگاه است. برای این منظور، ابتدا با استفاده از آشکارساز کنی لبه‌ها شناسایی شده و سپس خطوط موجود در تصویر توسط تبدیل هاف استخراج می‌شوند.

^۱ Reflection Asymmetry



شکل ۴. الگوریتم روش پیشنهادی جهت شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه در تصاویر SAR.

شناسایی و استخراج می‌شوند. حد آستانه‌های تجربی در نظر گرفته شده برای هر یک از موارد فوق در جدول (۳) نشان داده شده‌اند.

جدول (۳). حد آستانه‌های در نظر گرفته شده جهت شناسایی خطوط با بیشترین احتمال نزدیک بودن به باند فرودگاه.

نوع ویژگی	حد آستانه در نظر گرفته شده
فاصله خطوط از یکدیگر	۱۰۰ پیکسل تصویری
اختلاف شیب خطوط	$\pi/180$ رادیان
اختلاف عرض از مبدا	۳ پیکسل تصویری
حداقل طول خطوط	۱۰۰ پیکسل تصویری
بی‌نظمی	۵

گام بعد، استفاده از یک روش طبقه‌بندی شیء مبنا جهت شناسایی و استخراج نواحی فرودگاه می‌باشد. پیش‌نیاز این مرحله قطعه‌بندی تصویر است. می‌دانیم در حالت کلی اهداف مختلف در یک تصویر SAR دارای یکی از سه پراکنش تک انعکاسی، دو انعکاسی^۲ و حجمی^۳ می‌باشند. از این رو، ابتدا تصویر به کمک روش حد آستانه گذاری اتسو به سه ناحیه تقسیم شده، سپس نواحی با پراکنش تک انعکاسی (مانند باندهای فرودگاه) جدا و بقیه نواحی حذف می‌شوند. به این ترتیب یک تصویر سیاه و سفید حاصل شده و یک سری از نواحی به‌عنوان نواحی فرودگاه کاندیدا می‌شوند. حال از این نواحی کاندیدا یک سری ویژگی‌های کمی و هندسی استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها شامل وسعت

جدول‌های (۱-۲) به ترتیب پارامترهای مورد استفاده در آشکارساز کنی و تبدیل هاف را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که مقادیر در نظر گرفته شده برای هر یک از پارامترها به‌صورت تجربی و با تکرار اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی چندین تصویر UAVSAR به‌دست آمدند.

جدول (۱). پارامترهای در نظر گرفته شده در شناسایی لبه‌ها توسط آشکارساز کنی.

حد آستانه بالا	حد آستانه پایین	انحراف معیار استاندارد پالایه گوسی
۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۴	۳

جدول (۲). پارامترهای در نظر گرفته شده در استخراج خطوط با استفاده از تبدیل هاف.

حداقل طول خطوط	حداکثر فاصله بین خطوط	حد زاویه θ	فاصله ρ
۱۰	۰/۷	۵۰	$\pi/180$

در ادامه، خطوطی که فاصله آن‌ها از یکدیگر کم بوده و دارای شیب و عرض از مبدا تقریباً یکسانی هستند، به یکدیگر متصل می‌شوند. از طرفی می‌دانیم باندهای یک فرودگاه خطوطی راست و متوازی هستند، دارای طول‌های مشخص و استاندارد بوده و نیز به‌خاطر پوشش آسفالتی سطح‌شان دارای پس‌پراکنش تک انعکاسی^۱ و در نتیجه کمترین مقدار بی‌نظمی در یک تصویر SAR هستند. بر این مبنا، خطوط اشتباه در تصویر حذف شده و خطوطی با بیشترین احتمال نزدیک بودن به باند فرودگاه

^۲ Double Bounce

^۳ Volume

^۱ Single Bounce

مرحله آخر الگوریتم شناسایی و استخراج فرودگاه شامل ترکیب مرحله شناسایی باند و مرحله شناسایی ناحیه فرودگاه می‌شود. به این صورت که اگر خطوطی که به‌عنوان باند فرودگاه شناسایی شده‌اند، به‌طور کامل در نواحی استخراج شده نهایی قرار بگیرند، آنگاه خطوط به‌طور حتم باند فرودگاه بوده و ناحیه استخراج شده نیز به‌طور قطع ناحیه فرودگاه می‌باشد. به این ترتیب با استفاده از این روش پیشنهادی فرودگاه‌ها به همراه باندهایشان به‌صورت خودکار در تصاویر SAR شناسایی و استخراج می‌شوند.

۴- نتایج

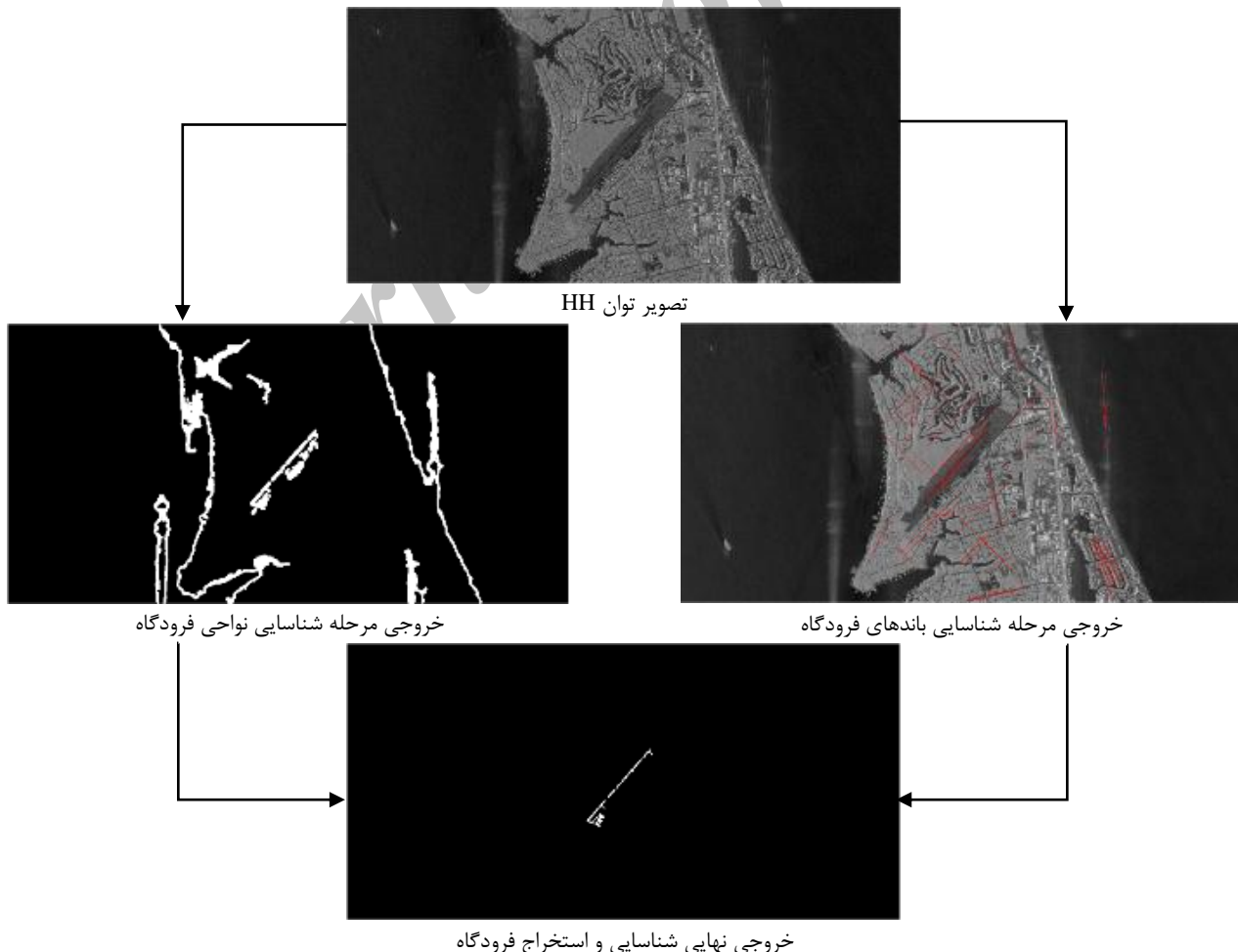
در این تحقیق، همان‌طور که در قبل هم اشاره شد، هر یک از عناصر قطر اصلی ماتریس کواریانس استخراج شده از داده تمام پلاریمتریک سنجنده UAVSAR به‌عنوان یک تصویر ورودی در الگوریتم شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه انتخاب شدند. سپس الگوریتم روش پیشنهادی بر روی هر یک از این تصاویر اجرا شد. شکل‌های (۷-۵) و شکل‌های (۱۰-۸) به ترتیب نتایج هر مرحله از الگوریتم پیشنهادی را برای هر تصویر از منطقه مطالعاتی اول و دوم نشان می‌دهند.

ناحیه، خروج از مرکزیت^۱ و قطر بیضی دربرگیرنده ناحیه می‌شوند. درنهایت با استفاده از این ویژگی‌ها و نیز بی‌نظمی تصویر، یک طبقه‌بندی شیء مینا بر اساس حد آستانه‌های تجربی در نظر گرفته شده برای هر یک ویژگی‌های مذکور صورت می‌گیرد. خروجی این مرحله، شناسایی و استخراج نواحی با بیشترین احتمال نزدیک بودن به نواحی فرودگاه می‌باشد. جدول (۴) حد آستانه‌های در نظر گرفته شده در این مرحله را نشان می‌دهد.

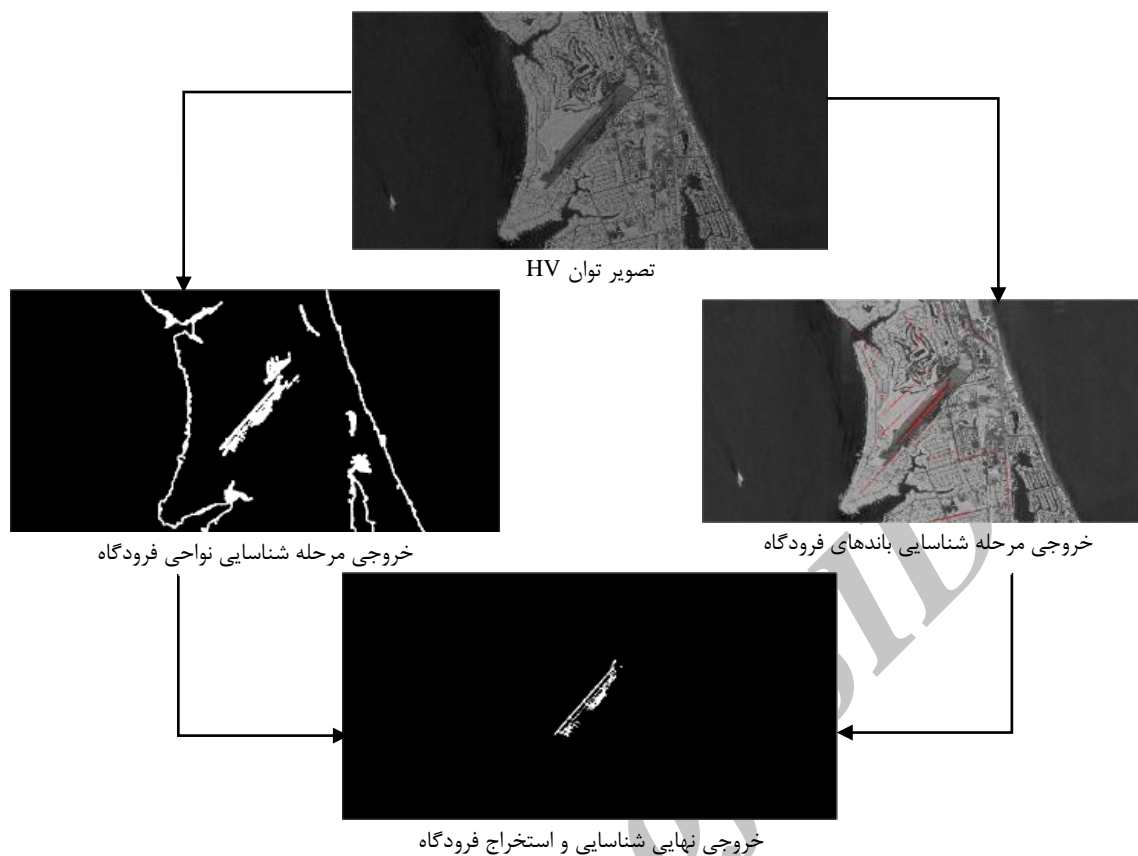
جدول ۴. حد آستانه‌های در نظر گرفته شده در مرحله شناسایی نواحی با بیشترین احتمال نزدیک بودن به نواحی فرودگاه.

حد آستانه در نظر گرفته شده	نوع ویژگی
۱۰۰۰ پیکسل تصویری	حداقل وسعت ناحیه
۸۰۰۰۰ پیکسل تصویری	حداکثر وسعت ناحیه
۰/۸	خروج از مرکزیت بیضی دربرگیرنده ناحیه
۱۰۰۰ پیکسل تصویری	قطر بیضی دربرگیرنده ناحیه

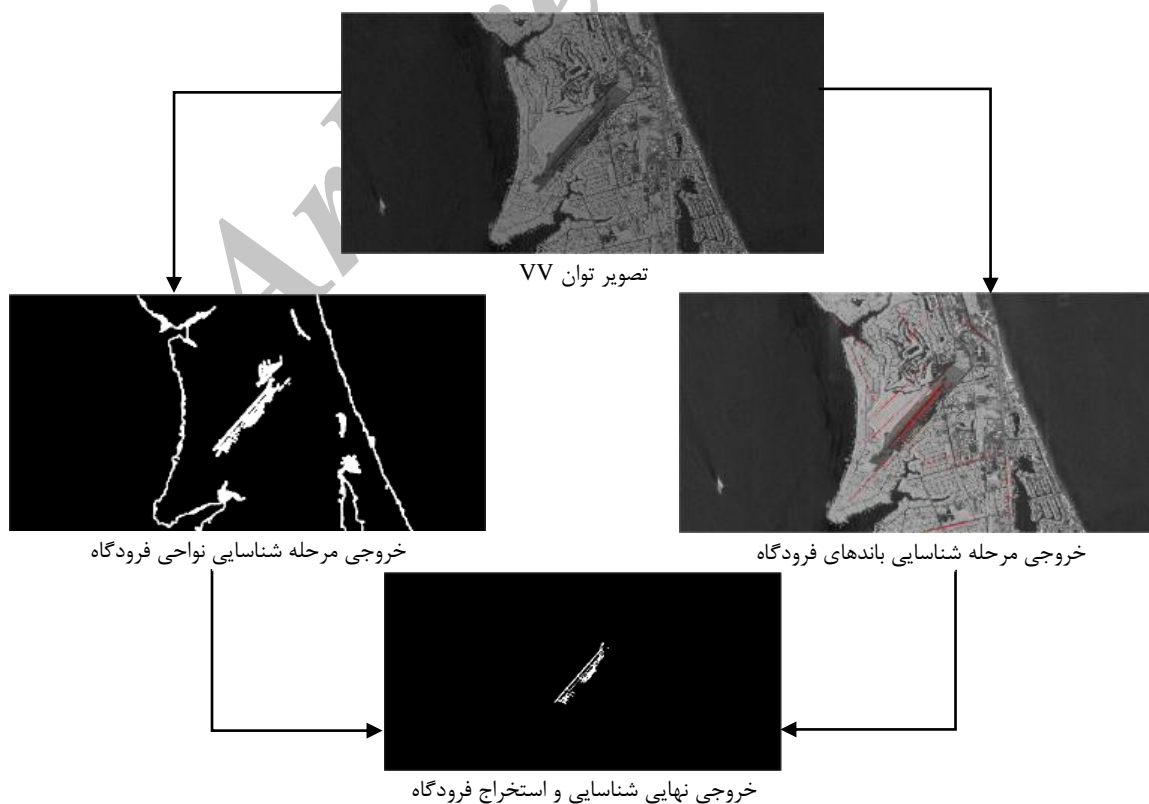
^۱ Eccentricity



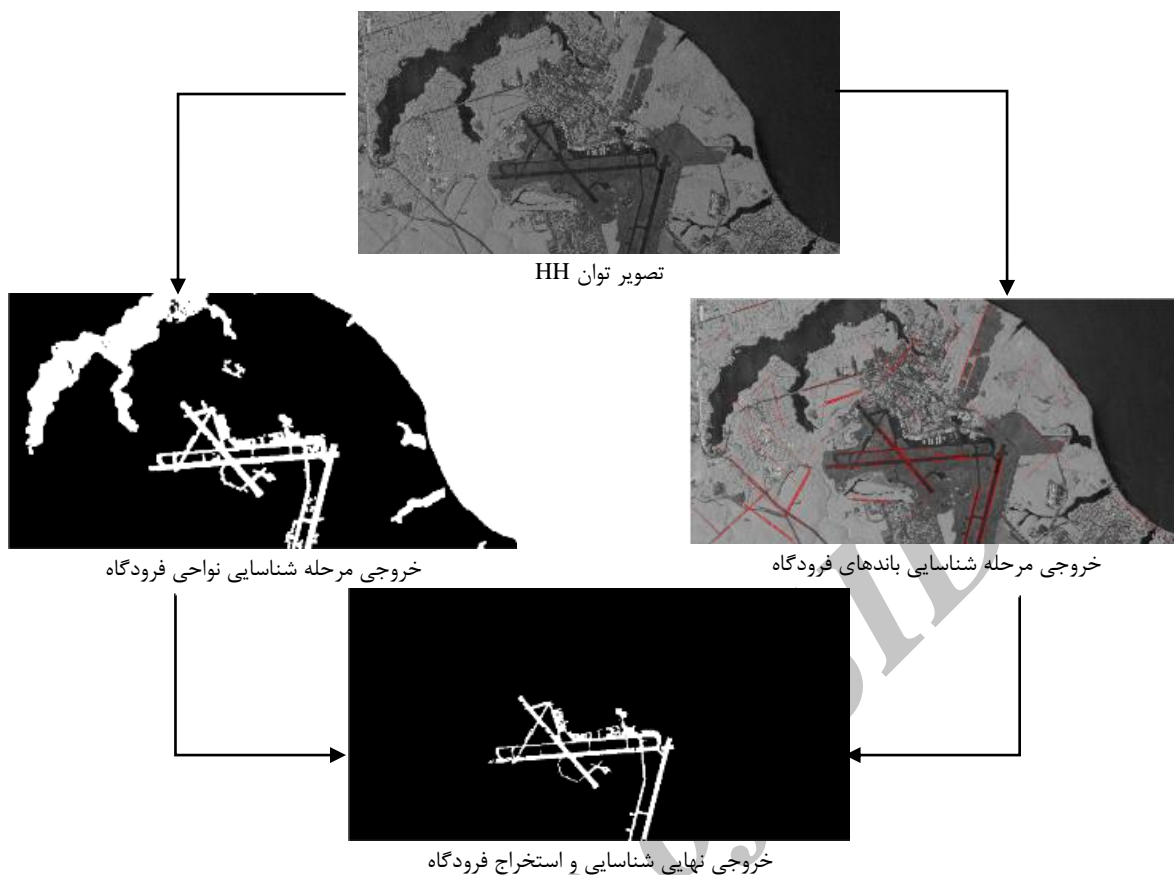
شکل ۵. نتایج و خروجی الگوریتم روش پیشنهادی شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه برای تصویر توان HH منطقه مطالعاتی اول.



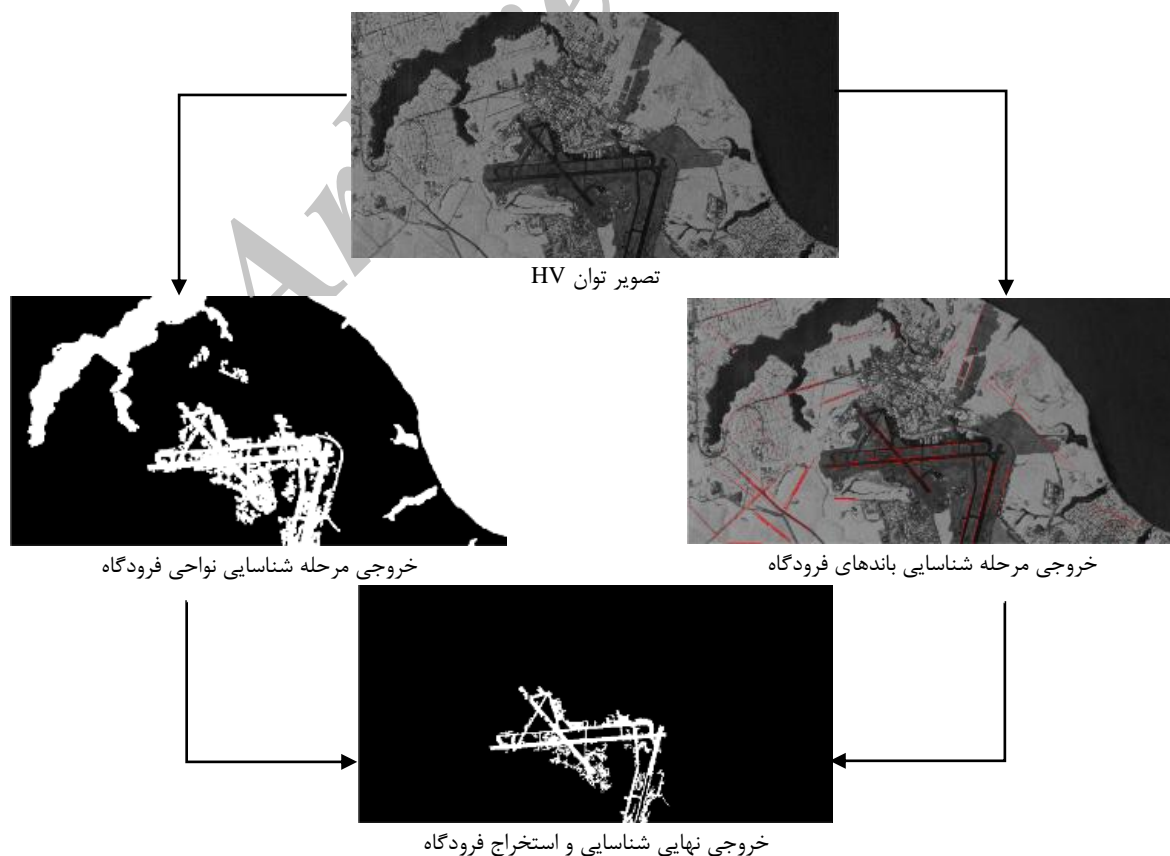
شکل (۶). نتایج و خروجی الگوریتم روش پیشنهادی شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه برای تصویر توان HV منطقه مطالعاتی اول.



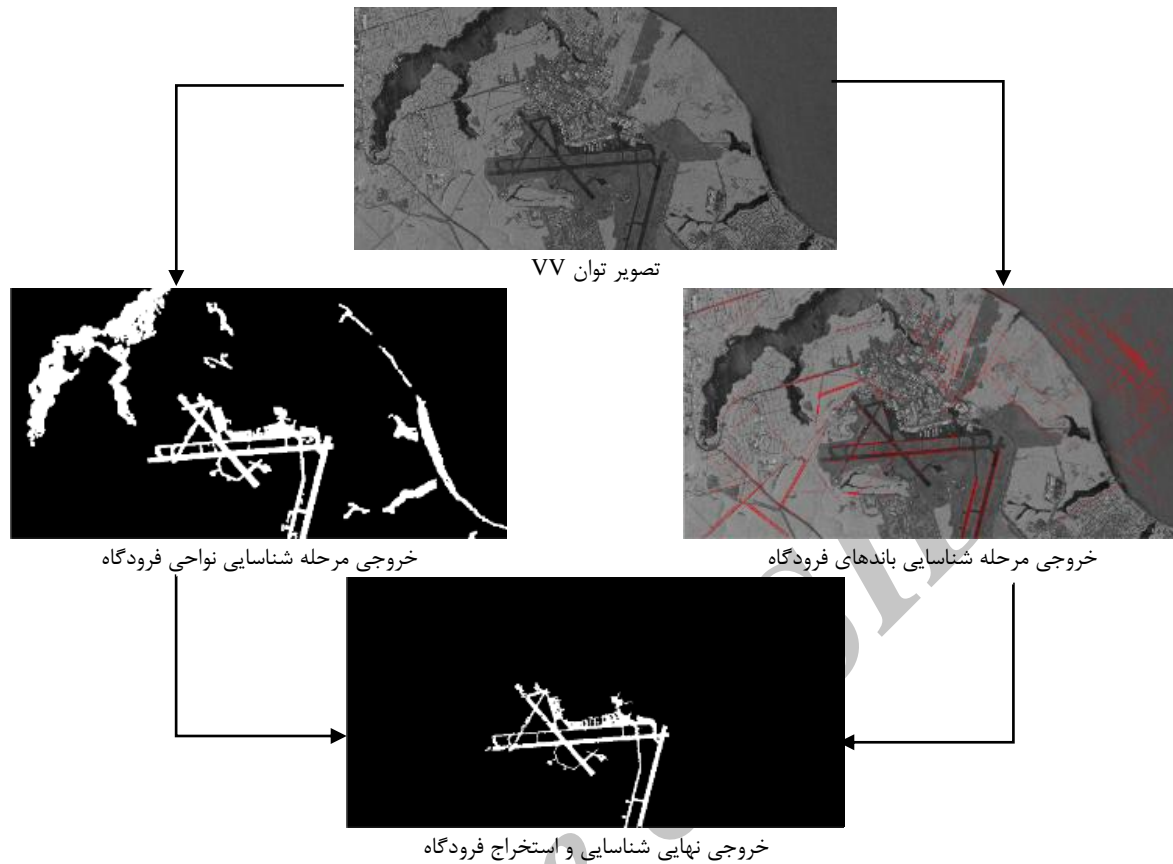
شکل (۷). نتایج و خروجی الگوریتم روش پیشنهادی شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه برای تصویر توان VV منطقه مطالعاتی اول.



شکل (۸). نتایج و خروجی الگوریتم روش پیشنهادی شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه برای تصویر توان HH منطقه مطالعاتی دوم.



شکل (۹). نتایج و خروجی الگوریتم روش پیشنهادی شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه برای تصویر توان HV منطقه مطالعاتی دوم.



شکل (۱۰). نتایج و خروجی الگوریتم روش پیشنهادی شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه برای تصویر توان VV منطقه مطالعاتی دوم.

کیفیت (QF)^۱ مطابق با رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود.

$$QF = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (22)$$

که در آن TP تعداد پیکسل‌هایی است که به درستی شناسایی شده‌اند، FP تعداد پیکسل‌هایی است که به اشتباه شناسایی شده‌اند و FN تعداد پیکسل‌های است که به اشتباه مورد شناسایی واقع نشده‌اند. معیار فوق برای هر یک از تصاویر خروجی مناطق مورد مطالعه و بر اساس پیکسل‌های مرجع انتخاب شده در تصویر نمایش رنگی کاذب پائولی (به صورت دستی) به صورت مقادیر نشان داده شده در جدول (۵) محاسبه شدند.

جدول ۵. ضریب کیفیت به دست آمده برای تصاویر خروجی (بر حسب درصد).

ضریب کیفیت (%)	تصویر مورد استفاده	منطقه مورد مطالعه
۳۳/۳۲	توان HH	اول
۶۴/۸۶	توان HV	
۶۵/۳۶	توان VV	
۸۰/۰۰	توان HH	دوم
۶۳/۳۹	توان HV	
۷۷/۷۲	توان VV	

همان‌طور که از شکل‌های (۱۰-۵) مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی نتایج خوب و قابل قبولی را برای هر سه تصویر توان HH، HV و VV از مناطق مورد مطالعه حاصل کرده است. همچنین مشاهده می‌شود که باندهای فرودگاه در هر یک از تصاویر به وضوح مشخص شده و اهداف مشابه (نظیر جاده‌ها) به طور کامل حذف شده‌اند. و نیز مشاهده می‌شود که در مرحله شناسایی باندهای فرودگاه، در تصاویر توان HV خطوط کمتری به عنوان خطوط اشتباه شناسایی شده‌اند (شکل‌های (۶) و (۹) را ببینید). دلیل این امر را می‌توان پایین تر بودن سطح انرژی بازگشتی از قطبش‌های cross-polarized (HV یا VH) نسبت به قطبش‌های co-polarized (HH و VV) در مناطق تک انعکاسی دانست.

در اغلب موارد جهت ارزیابی کمی دقت طبقه‌بندی و شناسایی، از معیارهای آماری قابل استخراج از ماتریس ابهام استفاده می‌شود. از جمله این معیارها می‌توان به ضریب کیفیت اشاره نمود. این معیار یک شاخص کلی برای ارزیابی نتایج است که هم دقت و هم کامل بودن را در نظر دارند، به طوری که هرگونه طبقه‌بندی اشتباه تاثیر مستقیم بر مقدار این شاخص دارد. ضریب

¹ Quality Factor

قابلیت استخراج پارامترهای مختلف از این سامانه‌های تصویربرداری (مانند پارامترهای حاصل از تجزیه‌های هدف^۱ و یا پارامترهای توصیف‌گر SAR^۲) می‌توان به نتایج بهتر و دقیق‌تری دست یافت، چراکه این پارامترها می‌توانند اطلاعات مفیدی را از هندسه و ساختار اهداف در اختیار قرار دهند. همچنین با توجه به پیشرفت‌های اخیر در سامانه‌های تصویربرداری پلاریمتریک SAR و به وجود آمدن سامانه‌های تصویربرداری Compact SAR پلاریمتری، که قابلیت اخذ داده را در مدهای دایره‌ای نیز دارند، پیشنهاد می‌شود تا الگوریتم روش پیشنهادی بر روی تصاویر حاصل از این سامانه‌ها نیز آزمایش و بررسی شود. در انتها یادآور می‌شود که مقادیر و حدآستانه‌های در نظر گرفته شده برای هر یک از پارامترها و ویژگی‌های مورد استفاده در این تحقیق، با تکرار اجرای الگوریتم روش پیشنهادی بر روی چندین تصویر UAVSAR به صورت بهینه به دست آمدند. این بدین معناست که جهت اجرای روش پیشنهادی بر روی سایر تصاویر SAR می‌بایست مقادیر و حدآستانه‌ها متناسب با تصویر مورد نظر بهینه شوند.

۶. مراجع

- [1] P. Han, L. Chang, Q. Shi, and J. Qu, "Runways detection based on scattering similarity and structural characteristics," in Integrated Communication, Navigation, and Surveillance Conference (ICNS), 2015, 2015, pp. H2-1-H2-8.
- [2] W. Wei, L. Li, H. Canbin, J. Yongmei, and K. Gangyao, "Airport detection in SAR image based on perceptual organization," in Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping (M2RSM), 2011 International Workshop on, 2011, pp. 1-5.
- [3] S. Zhang, Y. Lin, X. Zhang, and Y. Chen, "Airport automatic detection in large space-borne SAR imagery," Systems Engineering and Electronics, Journal of, vol. 21, pp. 390-396, 2010.
- [4] B.-C. Jiang and Y.-Y. Chen, "Airport extraction of SAR image based on knowledge," Jisuanji Gongcheng/Computer Engineering, vol. 33, pp. 29-30, 2007.
- [5] R. A. Hevenor and P.-F. Chen, "Automated Extraction of Airport Runway Patterns from Radar Imagery," DTIC Document 1990.
- [6] S. Yang, L. Lu, and Z. Du, "Automatic Recognition of Airport Runways in SAR Images," Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), vol. 30, pp. 56-59, 2006.
- [7] J. C. Z. X. J. Kefeng and K. Gangyao, "Extraction of Runways in Complex Synthetic Aperture Radar Images [J]," Signal Processing, vol. 3, p. 013.۲۰۰۷,
- [8] W. Xiong, J. Zhong, and Y. Zhou, "Automatic recognition of airfield runways based on Radon transform and hypothesis testing in SAR images," in Millimeter Waves (GSM), 2012 5th Global Symposium on, 2012, pp. 462-465.

¹ Target Decomposition

² SAR Discriminator

همان‌طور که از جدول فوق مشاهده می‌شود، تصاویر توان HH و VV از نظر کمی دارای ضریب کیفیت بهتری نسبت به تصویر توان HV می‌باشند. و این به معنای کارایی موثرتر قطبش‌های co-polarized نسبت به قطبش‌های cross-polarized در شناسایی و آشکارسازی مناطق فرودگاهی است.

در ادامه جهت بررسی و ارزیابی عملکرد الگوریتم روش پیشنهادی این تحقیق، نتایج به دست آمده در فوق با نتایج حاصل از روش پیشنهاد شده در منبع [۱] مقایسه و ارزیابی شد. جدول (۶) ضرایب کیفیت به دست آمده از اجرای الگوریتم روش [۱] را بر روی مناطق مطالعاتی در نظر گرفته شده در این پژوهش نشان می‌دهد.

جدول ۶. ضریب کیفیت به دست آمده با استفاده از روش پیشنهادی منبع [۱] (بر حسب درصد).

منطقه مورد مطالعه	ضریب کیفیت (%)
اول	۶۵/۲۶
دوم	۷۹/۷۶

با مقایسه جدول‌های (۶-۵) می‌توان گفت که روش پیشنهاد شده در این تحقیق عملکرد خوب و بسیار نزدیکی نسبت به روش پیشنهاد شده در [۱] دارد. مزید بر آن که، روش به کار گرفته شده در این پژوهش بر مبنای تک تصویر SAR بوده و این در حالی است که روش مورد استفاده در [۱] بر اساس تصاویر تمام پلاریمتریک می‌باشد. از این رو، الگوریتم روش پیشنهادی این تحقیق می‌تواند به عنوان یک روش رقابتی در کنار سایر روش‌ها در جهت شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه مورد استفاده قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق روشی جهت شناسایی و استخراج خودکار فرودگاه در تک تصویر SAR ارائه شد و نتایج تحقیق عملکرد و کارایی روش پیشنهادی را به خوبی نشان داد. در الگوریتم روش پیشنهادی، ابتدا باندهای فرودگاه توسط تبدیل هاف، و سپس مناطق احتمالی فرودگاه به وسیله روش طبقه‌بندی شیء مبنا شناسایی شدند. در نهایت بر اساس باندها و مناطق احتمالی شناسایی شده، منطقه فرودگاه به همراه باندهای آن شناسایی و استخراج شدند. اگرچه روش پیشنهادی جهت استفاده در تک تصویر SAR ارائه شد، ولی می‌توان آن را در سامانه‌های تمام پلاریمتریک SAR نیز به کار برد و حتی جهت بهبود نتایج، نتایج به دست آمده از تصاویر توان در قطبش‌های HH، HV و VV را باهم ترکیب کرد. به عنوان مثال می‌توان در مرحله شناسایی باندهای فرودگاه از تصویر توان HV، و در مرحله شناسایی نواحی فرودگاه از تصویر توان VV استفاده کرد. در ضمن با توجه به

- [9] N. Aggarwal and W. C. Karl, "Line detection in images through regularized Hough transform," Image Processing, IEEE Transactions on, vol. 15, pp. 582-591, 2006.
- [10] Y.-c. LIN, Y.-c. XIE, and Q.-h. LIU, "A New Straight Line Segment Extraction Method Based on Hough Transform [J] ", Nanotechnology and Precision Engineering, vol. 5, p. 010, 2009.
- [11] Y. CHEN and Y. SHAO, "A Radon Transform-Based Algorithm for the Detection and Matching of Airport Objects," Journal of Tongji University (Natural Science), vol. 6, p. 004, 2006.
- [12] B .DENG, Y. GAO, B. YANG, and L. WU, "A New Algorithm for Linear Features Extraction and Orientation," Computer Engineering, vol. 13, p. 070, 2006.
- [13] D.-f. PAN and B. WANG, "Line Extraction Based on Edge Direction," Transactions of Beijing Institute of Technology, vol. 6, p. 010, 2008.
- [14] B. Green, "Canny edge detection tutorial," DOI=http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.html, 2002.
- [15] P. Melin, O. Mendoza, and O. Castillo, "An improved method for edge detection based on interval type-2 fuzzy logic," Expert Systems with Applications, vol. 37, pp. 8527-8535, 2010.
- [16] J. F. Canny, "Finding Edges and Lines in Images," DTIC Document 1983.
- [17] A. A. Alshennawy and A. A. Aly, "Edge detection in digital images using fuzzy logic technique," World Academy of science, engineering and technology, vol. 51, pp. 178-186, 2009.
- [18] P. V. Hough, "Method and means for recognizing complex patterns," US Patent 3,069,654, 1962.
- [19] W. K. Pratt, "Digital Image Processing, New-York," NY: John Wiley and Sons, 1991.
- [20] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," Automatica, vol. 11, pp. 23-27, 1975.
- [21] K. Fukunaga, Introduction to statistical pattern recognition: Academic press, 2013.

Archive of SID

The Automatic Airport Detection and Extraction in the Single Synthetic Aperture RADAR Imagery

A. Aghbalaei^{*}, Y. Maghsoudi, H. Ebadi

K. N. Toosi University of Technology

(Received: 01/05/2016, Accepted: 28/02/2017)

Abstract

The advantage of hardware and pattern recognition techniques along with the wide applications of Remote Sensing (RS) satellites have caused the development of Automatic Target Detection (ATR) systems. Especially, the automatic airport detection is a necessary task due to its important strategy. In this study, a new method is proposed for the automatic airport detection and extraction in the single Synthetic Aperture RADAR (SAR) imagery. For this purpose, an Unmanned Aerial Vehicle SAR (UAVSAR) imagery acquired in L band from Okaloosa in Florida is used. Overall, the proposed method contains the combination of Hough transform for the airport runway detection, and an object based classification stage for the airport's area extraction. Experimental results demonstrated the perfect performance and efficiency of the proposed method for the automatic airport detection and extraction.

Keywords: Airport Detection and Extraction, UAVSAR, Hough Transform, Object Based Classification.