

تشخیص عوارض مصنوعی (انسان - ساز) در تصاویر هوایی با استفاده از ویژگی‌های فراکتال و پردازش ریخت‌شناسی

علی تقی‌زاد فانید^۱، کارشناس ارشد مکترونیک، علیرضا عندلیب^۲، استادیار گروه مهندسی برق،

سیامک حقی‌پور^۳، استادیار گروه مهندسی پزشکی

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، دانشکده فنی و مهندسی، تبریز، ایران، ali83.2008@gmail.com

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، دانشکده فنی و مهندسی، تبریز، ایران، andalib@iaut.ac.ir

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، دانشکده فنی و مهندسی، تبریز، ایران، haghypour@iaut.ac.ir

چکیده: پردازش تصاویر هوایی یکی از زمینه‌های جدید در کاربرد فناوری‌های نوین می‌باشد که روندی رو به رشد دارد و در حوزه نظامی نیز پرکاربرد است. بر این اساس، این مقاله روشی خودکار جهت تشخیص اشیاء مصنوعی مانند هواپیما، تانک و سایر ماشین‌های جنگی در تصاویر هوایی CCD را با استفاده از ترکیب ویژگی‌های فراکتال D (بعد فراکتال) و K (ناحیه بعد) و نیز عملیات ریخت‌شناسی ارائه می‌کند. در این مقاله ویژگی‌های فراکتال از لحاظ نظری بررسی شده و با اعمال "روش پوشش پتو" ویژگی‌های مذکور استخراج و تصاویر مربوط به آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس برای طبقه‌بندی تصاویر ویژگی‌ها به دو قسمت عوارض مصنوعی و پیش‌زمینه طبیعی، از هیستوگرام آن تصاویر استفاده می‌شود. در نهایت جهت تعیین دقیق محل و تعداد عوارض مصنوعی بر روی تصاویر طبقه‌بندی شده، پردازش ریخت‌شناسی انجام می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهند که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های قبل در تشخیص تعداد و محل عوارض مصنوعی دقت بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: عوارض مصنوعی، ویژگی بعد فراکتال، ویژگی ناحیه بعد، روش پوشش پتو، عملیات ریخت‌شناسی.

Man-made object detection based on fractal features and morphological operations in aerial images

A.Taghizad Fanid, S.Haghypour, A.Andalib
Islamic Azad University, Tabriz Branch

Abstract: Aerial image interpretation is one of new rising high-tech application fields, and it's proverbially applied in the military domain. Accordingly an algorithm based on combination of fractal features and morphological operations, for automatic detection of man-made objects such as: aircraft, tanks and war machines in CCD (Charge-coupled device) aerial images is presented. In this paper, the fractal features include D (fractal dimension) and K (D -dimension area) are theoretically studied, Then by applying "the blanket covering method" the fractal features and their images are calculated. The histogram of feature images is used for classifying the images into two parts: artificial objects and natural background. Then, morphological processing is done on segmented images to determine the exact location and number of man-made objects. The results have revealed that the proposed method in comparison with the previous methods has higher accuracy on determining the location and number of man-made objects from CCD images.

keywords: man-made objects, fractal dimension, D -dimension area, blanket covering method, morphological operation.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۱/۸/۱۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۹۱/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۹

نام نویسنده مسئول: علی تقی‌زاد فانید

نشانی نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، دانشکده فنی مهندسی

۱- مقدمه

تفسیر و پردازش تصاویر هوایی یکی از زمینه‌های جدید در کاربرد فناوری‌های نوین می‌باشد که روندی رو به رشد دارد و در حوزه نظامی نیز پرکاربرد است. بر این اساس شناسایی عوارض (اشیاء) مصنوعی (انسان-ساز)^۱ در تصاویر هوایی، اساس ردیابی و تشخیص اهداف معین به شمار می‌رود که در زمینه‌های حمل و نقل هوشمند، برنامه‌ریزی شهری، ارزیابی و تخمین آسیب‌ها و ردیابی اهداف نظامی بطور گسترده استفاده می‌شود [۱]. تشخیص عوارض مصنوعی مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها از تصاویر هوایی دیجیتال، در بازیابی تصاویر، نظارت و بروز رسانی سامانه اطلاعات جغرافیایی، ارتقاء کارایی زمینه‌های سنجش از راه دور و نیز در زمینه کنترل پرواز هواپیماهای بدون سرنشین مورد استفاده قرار گرفته و بسیار مفید است [۲].

در حوزه تشخیص عوارض مصنوعی، با توجه به نوع عوارض، زمینه‌های مورد استفاده، میزان دقت مورد نیاز، مدت زمان پردازش و... انواع تصاویر هوایی پردازش می‌شوند؛ از آن جمله می‌توان به تصاویر مادون قرمز، تصاویر سونار^۲ (زیر دریا)، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و تصاویر CCD اشاره کرد. تصاویری که در این تحقیق استفاده شده‌اند از نوع تصاویر CCD می‌باشند که در پایگاه داده تصویری «The USC-SIPI Image Database» موجود هستند. علاوه بر انواع تصاویر مورد نیاز در کاربردهای مختلف، روش‌های مختلفی نیز برای تشخیص عوارض مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر اساس ساختار هندسی، ویژگی‌های فراکتال^۳، مدل‌های احتمالی، خوشه‌بندی، مجموعه سطح^۴ و... بنا نهاده شده‌اند.

تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از اختلاف موجود بین ویژگی‌های فراکتال اجزای تصویر، برای تشخیص عناصر مصنوعی با دقت بالا، کفایت می‌کند و می‌توان از این اختلاف (ویژگی فراکتال) جهت ایجاد تمایز بین پیش‌زمینه طبیعی و عوارض مصنوعی تصویر استفاده کرد. به عبارت دیگر، برخی از پارامترهای فراکتال دارای اختلاف ذاتی بین پیش‌زمینه و اشیاء انسان-ساز موجود در تصویر هستند که رویکرد جدیدی را برای تشخیص اهداف مصنوعی در متن چشم‌انداز طبیعی تصاویر ارائه می‌کنند [۳، ۴].

«پلی» مطرح کرده است در حالتی که اجزای انسان-ساز تا حدی در تصاویر پنهان و مستتر باشند، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های فراکتال، با بهره‌گیری مناسب از اختلاف ناشی از بافت و الگو، نسبت به روش‌هایی که توانایی ایجاد تمایز بین اشیاء انسان-ساز و پیش‌زمینه طبیعی را دارند بهتر می‌توانند برای طبقه‌بندی کردن تصاویر به کار روند [۵]. «پنگ» و همکاران مطرح کرده‌اند که پارامترهای مختلف فراکتال بین اشیاء انسان-ساز و پیش‌زمینه طبیعی تصاویر دارای اختلاف ذاتی هستند که این اختلاف ما را به سمت روش جدیدی برای تشخیص اهداف مصنوعی سوق می‌دهد. همچنین نشان داده‌اند که برای یک پیش‌زمینه ساده، برخلاف مناظر پیچیده، استفاده از یکی از

ویژگی‌های فراکتال جهت پردازش تصویر کفایت می‌کند. ایشان در این تحقیق جعبه شمارش دیفرانسیلی تصویر را محاسبه کرده سپس الگوریتم تکرار آرامش احتمالی را برای افزایش اختلاف فراکتال بین پیش‌زمینه طبیعی و اشیاء مصنوعی اعمال کرده‌اند [۶].

«زانگ» مطرح کرده است که تصاویر، خود دارای مفهوم فازی هستند. یعنی ویژگی‌هایی مانند لبه، ناحیه و بافت تصویر، فازی (غیر دقیق) می‌باشند. فازی بودن ویژگی‌های فراکتال نیز موجب می‌شود که در تشخیص اجزاء تصویر خطاهایی رخ دهد. زانگ از نظریه فازی برای برجسته کردن ویژگی فراکتال جهت تشخیص اهداف در یک پیش‌زمینه پیچیده استفاده کرده است [۷]. «لیو» و همکاران ویژگی‌های مختلف فراکتال از جمله، ویژگی بعد فراکتال و ویژگی‌های فراکتال چند سطحی (چند مقیاسی)^۵ را برای تشخیص عوارض انسان-ساز از تصاویر مادون قرمز (که کیفیت پایینی دارند) بررسی کرده‌اند. در این تحقیق از روش پوشش پتو برای محاسبه ویژگی‌های مذکور بر روی تصاویر بهره گرفته شده است و در نهایت ارزیابی نتایج گرفته شده نشان داده‌اند که ویژگی فراکتال چند سطحی مرتبط با K نسبت به دیگر ویژگی‌های فراکتال دقت بالاتری دارد [۸].

برای جلوگیری از برخورد کشتی‌ها با پل‌ها نوعی سامانه نظارت ویدیویی FLIR^۶ در مرجع [۹] پیشنهاد شده است که نسبت به روش‌های قدیمی‌تر کم هزینه‌تر بوده و کارایی بیشتری دارد. به خصوص استفاده از تصاویر FLIR در این سامانه، مشکلاتی همچون دقت پایین و سطح نویز بالای رادارها را که گاهی دشواری‌هایی را در فرایند تشخیص به همراه دارد رفع می‌کند. در این مقاله پیش‌پردازشی بر اساس ویژگی فراکتال چند مقیاسی بر روی تصاویر FLIR جهت کاهش پارازیت و نویزهای طبیعی صورت گرفته، سپس با توجه به اختلاف ویژگی فراکتال که بین فریم‌های متوالی است حرکت کشتی‌ها تشخیص داده شده است.

«هنگ» و همکاران نحوه تشخیص اشیاء کوچک در تصاویر ضعیف IR^۷ با پیش‌زمینه طبیعی را براساس ویژگی‌های فراکتال بررسی کرده‌اند. ایشان با توجه به این حقیقت که اشیاء انسان-ساز نسبت به پیش‌زمینه طبیعی دارای تغییرات تیزتری هستند، با به کارگیری یکی از ویژگی‌های فراکتال روشی را با عنوان «نرخ تغییرات چند مقیاسی سطح فراکتالی» پیشنهاد کرده‌اند [۱۰].

در مقاله حاضر، با توجه به روش‌های مذکور، تشخیص عوارض مصنوعی مانند هواپیما، تانک و ماشین‌های جنگی، در تصاویر هوایی CCD با استفاده از دو ویژگی «بعد فراکتال یا بعد خودتشابهی (D)»^۸ و «ناحیه بعد (K)»^۹ و عملیات ریخت شناسی^{۱۰} بررسی شده است.

در کارهای قبل، از ویژگی‌های فراکتالی D و K در نوع دیگری از تصاویر، مانند تصاویر مادون قرمز [۸] و سونار [۱۱] استفاده شده است. همچنین در برخی موارد ویژگی D در تصاویر CCD (که نوع تصاویر پردازش شده در این تحقیق نیز هستند) جهت شناسایی اولیه

قانون توان ۱: برای محاسبه طول ساختارهای مختلف که شکلی منظم دارند معمولاً می‌توان از یک رابطه ریاضی مرتبط با آن ساختار استفاده کرد. در مورد اشکال فراکتالی ایده‌آل مانند منحنی کچ (شکل (۱)) نیز می‌توان از فرمول‌های ریاضی بهره برد. ولی شاید نتوان برای ساختارهای فراکتالی غیر ایده‌آل موجود در طبیعت، مانند خط ساحلی یک جزیره در یک نقشه جغرافیایی، روابط ریاضی استخراج کرد. یک راه ساده برای اندازه‌گیری محیط یک خط ساحلی نمونه، استفاده از طول سنج^{۱۲} با مقیاس‌های مختلف است که با حرکت دادن بر روی نقشه جغرافیایی مربوطه بدست می‌آید. با توجه به اینکه در مقیاس‌های مختلف طول‌های متفاوتی بدست می‌آید و نیز محدوده تغییرات مقیاس از چند کیلومتر تا چند صد کیلومتر متغیر می‌باشد که رنج وسیعی را در محورهای مختصات اشغال می‌کنند لذا برای راحتی رسم، از نمودار لگاریتمی استفاده می‌شود که در آن محور افقی، لگاریتم معکوس مقیاس طول سنج (دقت اندازه‌گیری) و محور عمودی، لگاریتم طول محیط را نشان می‌دهد. واضح است که اندازه‌گیری‌های انجام شده غیردقیق هستند و تمامی نقاط بر روی یک خط راست واقع نمی‌شوند لذا نقاط به یک خط راست تقریب زده می‌شوند (برازش خطی). شیب خط رسم شده مفهوم اصلی برای درک ویژگی بعد فراکتال است.

اگر در تعیین طول (L) یک ساختار، محل تقاطع برازش خطی نقاط با محور عمودی با b و شیب آن با d نشان داده شود، رابطه بین طول L و دقت اندازه‌گیری $\frac{1}{s}$ به صورت رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Log } L = d \text{ Log } \frac{1}{s} + b \quad (1)$$

شیب d مفهوم اصلی برای درک ویژگی بعد فراکتال است. رابطه (۱) به شکل رابطه (۲) که قانون توان ۱ (مبتنی بر شیب منحنی لگاریتمی) نام دارد بیان می‌شود. از این رابطه برای اندازه‌گیری طول ساختارهای نامنظم می‌توان استفاده کرد.

$$L = c \left(\frac{1}{s}\right)^d \quad (2)$$

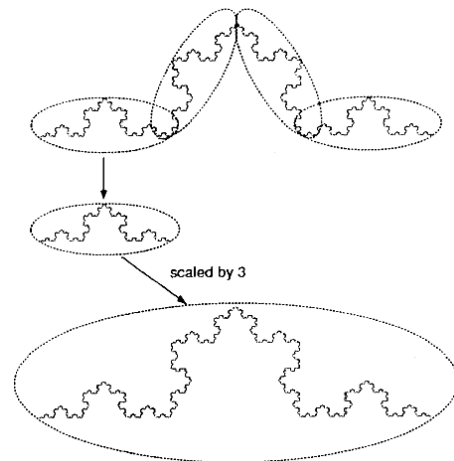
در رابطه فوق s ، مقیاس، L طول اندازه‌گیری شده یک ساختار در مقیاس مشخص s و c ضریب حاصل از اندازه‌گیری عرض از مبدأ است.

قانون توان ۲: هم‌چنان که بیان شد یکی از ویژگی‌های ساختارهای فراکتالی خودتشابهی آن‌ها می‌باشد، ولی هر ساختار خودمتشابهی فراکتال نیست. یکی از تفاوت‌های که بین ساختارهای فراکتالی و ساختارهای غیر فراکتالی خودمتشابه وجود دارد، منحصر به فرد بودن ضریب کاهش^{۱۳} است. به عنوان مثال برای کاهش مقیاس منحنی کچ، تنها مقادیر $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{9}$ ، $\frac{1}{27}$ ، ... برای s مورد قبول اند، در حالی که این ضریب برای ساختارهای غیرفراکتالی خودمتشابه به دلخواه انتخاب می‌شود. اما آنچه بین ساختارهای خودمتشابه (فراکتالی) یا غیر فراکتالی) مشترک است این است که بین ضریب کاهش و تعداد اجزای

عوارض مصنوعی به کار رفته است [۷]. در همه مراجع اغلب برای محاسبه ویژگی‌های فراکتال از روش پوشش پتو استفاده شده است. در این مقاله، علاوه بر ویژگی D ، ویژگی K نیز بر روی تصاویر محاسبه شده و از اجتماع نتایج حاصل از دو ویژگی، شناسایی اولیه اشیاء انسان-ساز صورت گرفته است. سپس جهت مشخص کردن تعداد و محل عوارض مصنوعی و نیز خودکار کردن عملیات، فیلترهای ریخت‌شناسی به کار رفته که تاکنون ارایه نشده است.

۱-۱- خودتشابهی فراکتال‌ها

هندسه اقلیدسی تنها به بررسی اشکال کلاسیک موجود در طبیعت مانند اشکال مکعبی، کره‌ای، دایره‌ای، مثلثی که شکلی منظم دارند می‌پردازد. در این هندسه اشکال و توابع ناهموار، آشفته و غیرکلاسیک جایی ندارند. هندسه فراکتالی یکی از شاخه‌های جدید ریاضیات است که برای تفسیر و شبیه‌سازی اشکال مختلف طبیعت انعطاف و قابلیت بیشتری از خود نشان داده است. به کارگیری هندسه فراکتالی افق روشنی را پیش روی ریاضی‌دانان و محققان در زمینه بازگو کردن رفتار توابع و مجموعه‌های به ظاهر ناهموار و پر آشوب قرار می‌دهد. یکی از مفاهیم اساسی در فهم نظریه فراکتال‌ها، مفهوم «خودتشابهی» است. به طور ساده اگر یک ساختار، به اجزای کوچک تقسیم شود که هر یک از این اجزا شبیه شکل اولیه و کاهش مقیاس یافته آن باشند، ساختار را خودمتشابه می‌گویند (شکل (۱)) [۱۲].



شکل (۱): یک چهارم از منحنی کچ، با ضریب ۳ بزرگنمایی شده است که با توجه به ویژگی خودتشابهی به کل شکل شباهت دارد.

۱-۲- ویژگی بعد خودتشابهی (بعد فراکتال) [۱۲ و ۱۳]

اساس بعد فراکتال با استفاده از دو قانون توان بررسی می‌شود. یکی از این قوانین، مبتنی بر شیب منحنی لگاریتمی^{۱۱} (قانون توان ۱) و دیگری مبتنی بر ضریب کاهش و تعداد اجزای تولید شده (قانون توان ۲) است.

تعیین مساحت یک سطح با توجه به شیب نمودار، با رابطه (۶) تعریف می‌شود:

$$A = \frac{K}{(s^2)ds} \quad (6)$$

در رابطه فوق s^2 بیانگر مقیاس، A مساحت اندازه‌گیری شده یک ساختار در مقیاس مشخص s^2 ، K ضریب حاصل از اندازه‌گیری عرض از مبدأ و d_s شیب منحنی لگاریتمی است.

برای سهولت روند محاسبه رابطه بعد فراکتال سطوح، سطح خودمتشابه فراکتالی (ایده‌آل یا غیر ایده‌آل) در نظر گرفته شده و واحد اندازه‌گیری سطح طوری انتخاب می‌شود که در مقیاس $s=1$ ، مساحت سطح تصویر برابر واحد باشد که در آن صورت $c=1$ خواهد بود. با لگاریتم‌گیری از رابطه (۶) رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Log } A = d_s \text{Log } \frac{1}{s^2} \quad (7)$$

رابطه (۳) نیز عیناً در حالت دو بعدی برقرار است و با لگاریتم‌گیری از آن، رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\text{Log } a = D_s \text{Log } \frac{1}{s} \quad (8)$$

در رابطه فوق D_s که معرف بعد فراکتال سطح است به جای D در رابطه (۳) جایگزین شده است.

باتوجه به اینکه برای $s=1$ ، مساحت $A=1$ به دست می‌آید، برای سایر مقادیر s^2 ، می‌توان کل ساختار را متشکل از a جزء کوچک متشابه در نظر گرفت و مساحت کل را با رابطه زیر محاسبه کرد:

$$A = a s^2 \quad (9)$$

و

$$\text{Log } A = \text{Log } a + 2 \text{Log } s \quad (10)$$

با جایگذاری روابط (۷) و (۸) در رابطه (۱۰) رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$2 d_s \text{Log } \frac{1}{s} = D_s \text{Log } \frac{1}{s} + 2 \text{Log } s \quad (11)$$

و با جایگذاری s به جای $\frac{1}{s}$ نتیجه می‌شود:

$$D_s = 2 d_s + 2 \quad (12)$$

با ترکیب روابط (۶) و (۱۲) ارتباط بین بعد فراکتال و مساحت یک سطح، در یک مقیاس مشخص s ، و در حالت کلی به صورت رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A(s) \cong K s^{(2-D_s)} \quad (13)$$

تولید شده در روند کاهش مقیاس رابطه مشخصی وجود دارد که به صورت رابطه (۳) و با عنوان قانون توان ۲ بیان می‌شود.

$$a = \frac{1}{s^D} \quad (3)$$

در رابطه فوق a و s به ترتیب بیانگر تعداد اجزای تولید شده و ضریب کاهش هستند. D بعد خودتشابهی یا بعد فراکتال است.

اگر ساختار مورد نظر، خط، مربع و مکعب (که خودمتشابه و غیر فراکتال هستند) باشد، بعد خودتشابهی با بعد توپولوژی یکسان و در نتیجه $D_{\text{خط}}=1$ ، $D_{\text{مربع}}=2$ و $D_{\text{مکعب}}=3$ خواهد بود. همچنین اگر ساختار مورد نظر، فراکتال ایده‌آل مانند منحنی کچ (شکل (۱)) باشد، بعد فراکتال برابر $1/2619$ بدست می‌آید که بین مقادیر ۱ و ۲ قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که بعد توپولوژی منحنی کچ برابر ۱ است. از دیدگاه توپولوژی خط راست و منحنی کچ تفاوتی با هم ندارند (بعد توپولوژی هر دو برابر ۱ است). همچنین خط راست می‌تواند به شکل منحنی، و دایره می‌تواند به شکل مثلث، مربع و ... (با حفظ بعد توپولوژی) تبدیل شود. یا یک تکه کاغذ مچاله شده از لحاظ توپولوژی با یک تکه کاغذ صاف یکسان است.

بین بعد فراکتال D حاصل از رابطه (۳) و شیب d بدست آمده از روابط (۱) و (۲)، رابطه زیر برقرار است:

$$D = 1 + d \quad (4)$$

رابطه فوق برای محاسبه بعد فراکتال ساختارهای ایده‌آل و خودمتشابه استفاده می‌شود. برای شکل‌هایی موجود در طبیعت، که خودمتشابه نیستند نیز می‌توان رابطه‌ای همانند رابطه (۴) بیان کرد.

با ترکیب روابط (۲) و (۴) ارتباط بین بعد فراکتال و طول یک منحنی، در یک مقیاس مشخص به صورت رابطه زیر بدست می‌آید.

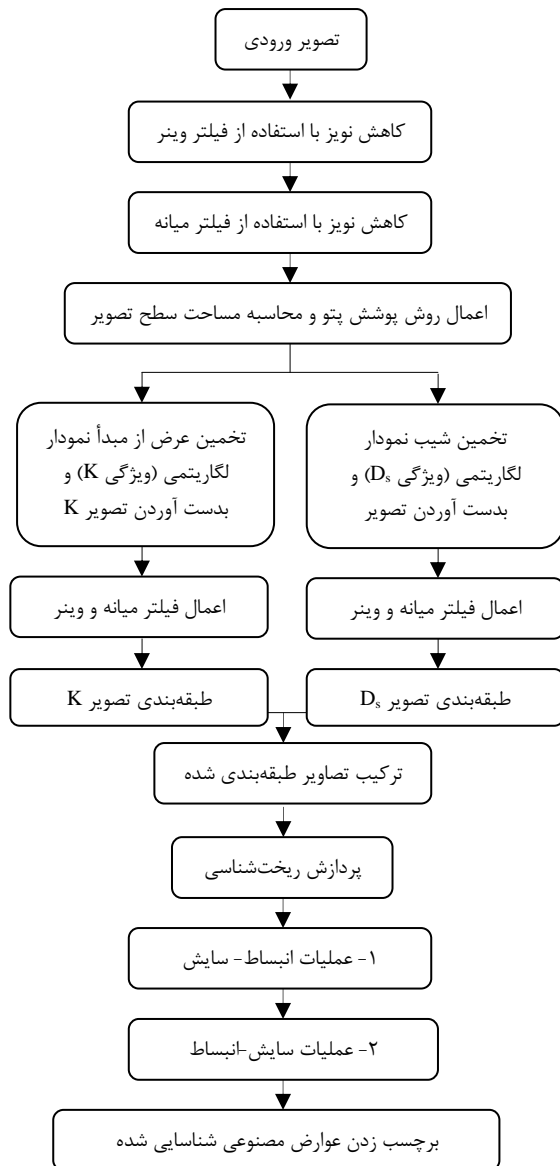
$$L \cong c s^{(1-D)} \quad (5)$$

در رابطه فوق c مقدار ثابت و مربوط به عرض از مبدأ منحنی لگاریتمی، s نشان دهنده مقیاس، D و L به ترتیب بیانگر بعد فراکتال و طول منحنی مورد نظر، در مقیاس مشخص s هستند.

۱-۳- بعد فراکتال و مساحت سطح

در بخش قبل بعد فراکتال در حالت یک بعدی و در اندازه‌گیری طول منحنی‌ها مطرح شد. در این بخش با توجه به روابط به دست آمده برای یک بعد، بعد فراکتال را برای سطوح و مساحت تصاویر بدست می‌آید.

در حالت دو بعدی نیز محورهای لگاریتمی برای نشان دادن تغییرات مساحت یک سطح نسبت به ضرایب مقیاس (s^2) مختلف می‌تواند به کار رود و شیب منحنی ترسیمی بیانگر مشخصه‌ای برای تصویر مورد نظر باشد. قانون توان ۱ (رابطه (۲)) در حالت کلی برای



شکل (۲): بلوک دیاگرام کلی پردازش تصویر

۲-۱- روش پوشش پتو

همچنان که بیان شد در این مقاله برای محاسبه ویژگی‌های فراکتال تصویر از روش پوشش پتو استفاده خواهد شد. ایده به کارگیری روش پوشش پتو از اینجا نشأت می‌گیرد که یک تصویر خاکستری دو بعدی $f(x,y)$ ، شبیه زمین پر از تپه‌ای به نظر می‌رسد که ارتفاع این تپه‌ها متناسب با سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر است. بر این اساس، روش پوشش پتو نوعی حجم را برای تصاویر خاکستری بیان می‌کند که از روی آن می‌توان مساحت تصویر را محاسبه کرد. همچنین با توجه به رابطه (۱۴)، برای یافتن بعد فراکتال سطوح دو بعدی، محاسبه مساحت سطح تصویر از اهمیت خاصی برخوردار است.

همانطور که از مفهوم روش پوشش پتو نیز بر می‌آید این پوشش ساختاری است که تصویر ورودی را بین دو سطح خاکستری دیگر با عناوین «سطح بالایی» و «سطح پایینی» محصور می‌کند و برای هر

که در رابطه فوق K مقدار ثابت و مربوط به عرض از مبدأ منحنی لگاریتمی، s نشان دهنده مقیاس، D_s و A به ترتیب بیانگر بعد فراکتال و مساحت تصویر مورد نظر در مقیاس مشخص s هستند.

در مراجع مختلف برای یک تصویر خاکستری بعد فراکتال با رابطه (۱۳) بیان شده است [۵، ۱۴-۱۶]. علت تقریبی بودن رابطه به دلیل برازش خطی نقاط است. با توجه به اینکه اساس رابطه (۱۳) از روی منحنی لگاریتمی بدست آمده است، با لگاریتم‌گیری از آن راهی برای محاسبه ویژگی‌های فراکتال تصویر به صورت زیر ارائه می‌شود [۵-۹]:

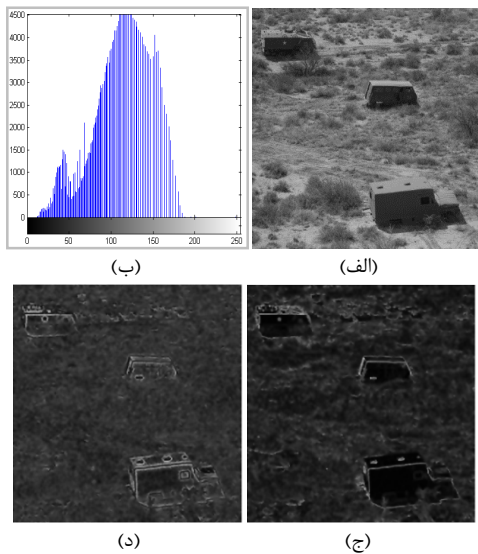
$$\text{Log } A(s) = (2 - D_s) \text{Log } s + \text{Log } K \quad (14)$$

با استفاده از رابطه فوق می‌توان از پارامتر $2-D_s$ ویژگی بعد فراکتال و از پارامتر $\text{Log } K$ ویژگی K را استخراج کرد.

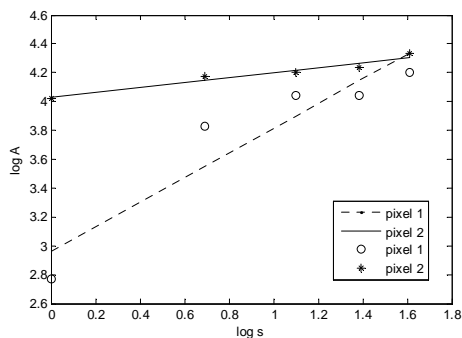
۲- روش پیشنهادی

در این مقاله هدف تشخیص خودکار عوارض مصنوعی در یک پیش‌زمینه طبیعی با استفاده از ویژگی‌های فراکتال D_s و K و عملیات ریخت‌شناسی است. برای این منظور ابتدا ویژگی‌های فراکتال تصویر ورودی با «روش پوشش پتو» [۱۴]، که رایج‌ترین راه به کار رفته در مراجع مختلف برای محاسبه ویژگی‌های فراکتال است [۵، ۸، ۹-۱۰، ۱۳-۱۷]، محاسبه می‌شود که دو تصویر با عنوان‌های، تصویر D_s^{15} و تصویر K^{16} بدست می‌آید. سپس بر روی تصاویر مذکور، فیلترهای وینر و میانه اعمال شده و با استفاده از هیستوگرام آن‌ها طبقه‌بندی اولیه تصاویر انجام می‌گیرد. در نهایت دو تصویر حاصل ترکیب (اجتماع) شده و با به کارگیری عملیات ریخت‌شناسی تعداد و محل عوارض مصنوعی مشخص می‌شود. دیاگرام کلی نحوه اجرای عملیات در شکل (۲) رسم شده است.

برای هر پیکسل، داده‌های بدست آمده در نمودار لگاریتمی که محور عمودی آن بیانگر لگاریتم مساحت و محور افقی آن نشان دهنده لگاریتم مقیاس است ترسیم شده و برازش خطی انجام می‌گیرد که شیب خط حاصل، ویژگی D_s و عرض از مبدأ آن ویژگی K را مشخص می‌کند. مجموع همه پیکسل‌ها به دو تصویر جدید با عنوان‌های، تصویر D_s و تصویر K می‌انجامد که بر روی آن‌ها فیلترهای وینر و میانه اعمال می‌شود. در شکل (۴) برای یک نمونه تصویر CCD، تصاویر D_s و K بدست آمده است. همچنین در شکل (۵) نتیجه برازش خطی برای دو نقطه از شکل (۴-الف) رسم شده است.



شکل (۴): الف- تصویر اصلی، ب- هیستوگرام تصویر اصلی، ج- تصویر ویژگی فرکتال K ، د- تصویر ویژگی فرکتال D_s .



شکل (۵): برازش خطی دو پیکسل از شکل (۴-الف). پیکسل ۱ از عوارض طبیعی و پیکسل ۲ از عوارض انسان-ساز انتخاب شده‌اند.

۲-۳- طبقه بندی تصاویر ویژگی‌های فرکتال

با استفاده از هیستوگرام تصاویر ویژگی‌های فرکتال، تصاویر مذکور می‌توان به دو ناحیه عوارض مصنوعی و پیش زمینه طبیعی طبقه‌بندی کرد. روش طبقه بندی به شرح زیر است:
با فرض اینکه تعداد پیکسل‌های عوارض مصنوعی کم‌تر از تعداد پیکسل‌های مربوط به پیش زمینه طبیعی است؛ بررسی تصاویر

پیکسل از تصویر ورودی، در هر مقیاس یک سطح بالا و یک سطح پایین با در نظر گرفتن پیکسل‌های همسایه ایجاد می‌کند. این سطوح با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) بدست می‌آیند. در شکل (۳) برای یک تصویر ساده سطوح بالا و پایین در مقیاس‌های مختلف رسم شده است.

$$U(i, j, s) = \max \{U(i, j, s - 1), \max[(k, m, s - 1)]\} \quad (15)$$

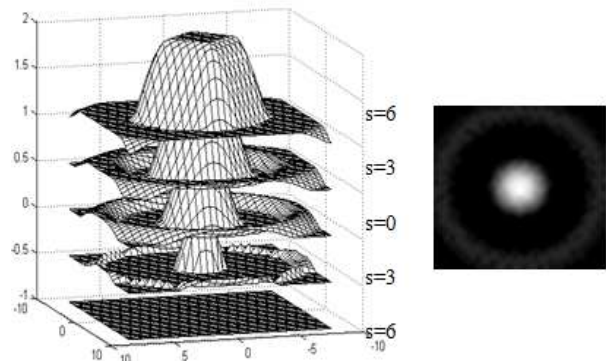
$$L(i, j, s) = \min \{L(i, j, s - 1), \min[(k, m, s - 1)]\} \quad (16)$$

$$k, m \in \eta, \quad \eta = \{(k, m) | \text{distance}[(k, m), (i, j)] \leq 1\} \quad (17)$$

در روابط فوق U و L نشان دهنده سطوح بالا و پایین در مقیاس مشخص s هستند. حالت اولیه برای سطوح بالایی و پایینی همه نقاط تصویر، در مقیاس صفر و منطبق بر تصویر اصلی است. همچنین مقادیر s برابر با ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ انتخاب می‌شوند.

$$U(i, j, 0) = L(i, j, 0) = g(i, j) \quad (18)$$

در این رابطه $g(i, j)$ تصویر ورودی است.



شکل (۳): شکل سمت چپ سطوح بالا و پایینی را نشان می‌دهد که با اعمال روش پوشش پتو به تصویر سمت راست (در مقیاس‌های مختلف s) بدست آمده است.

۲-۲- تخمین ویژگی‌های فرکتال بر روی تصویر

جهت محاسبه ویژگی‌های فرکتال با روش پوشش پتو، با توجه به رابطه (۱۴) باید تخمینی از مساحت تصویر داشت. برای این منظور از روابط (۱۹) و (۲۰) که به ترتیب تعریفی برای حجم و مساحت تصویر هستند استفاده می‌شود [۵، ۸، ۹].

$$V(i, j, s) = \sum_{k=i-s}^{i+s} \sum_{m=j-s}^{j+s} [U(k, m, s) - L(k, m, s)] \quad (19)$$

$$A(i, j, s) = \frac{V(i, j, s)}{2s} \quad (20)$$

رابطه (۱۹) با تفریق نقطه به نقطه سطوح بالایی و پایینی در یک مقیاس مشخص (روابط (۱۵) و (۱۶)) حجمی را بدست می‌دهد که با تقسیم آن بر $2s$ مساحت ناحیه مورد نظر با رابطه (۲۰) تعیین می‌شود. روابط مذکور با مرکزیت دادن به تمامی پیکسل‌ها تکرار می‌شود. سپس

که در حالت $n=20$ نتایج مناسب تری بدست می آید (شکل (۸))، لذا مقدار n برابر با ۲۰ انتخاب می شود.

$$j \geq n_{ih}, \left(\sum_{n_i=j}^{j+n} h(n_i) - \sum_{n_i=j+n}^{j+2n} h(n_i) \right) < a \quad (23)$$

در رابطه فوق $h(n_i)$ بیانگر مقادیر محور عمودی هیستوگرام است. در طبقه بندی تصاویر ویژگی ها، عوارض مصنوعی کاملاً از مناظر طبیعی تفکیک نمی شوند، به این دلیل و نیز برای ایجاد تمایز بهتر، از پردازش ریخت شناسی استفاده می شود، عملیات ریخت شناسی در چهار مرحله و با عنصر ساختاری^{۱۷} دیسک با شعاع های I_1 و I_2 انجام می گیرد:

۱- عملیات انبساط با شعاع I_1 ، ۲- سایش با شعاع I_1 ، ۳- سایش با شعاع I_2 ، ۴- انبساط با شعاع I_2 (شکل (۹)).

محدوده هایی که برای I_1 و I_2 می توان در نظر گرفت در جدول (۱) و برای چند تصویر مختلف لیست شده است که با سبک-سنگین کردن، مقادیر I_1 و I_2 به ترتیب برابر ۱۷ و ۱۰ انتخاب می شوند.

تغییرات I_1 و I_2 در محدوده های تعیین شده (جدول (۱))، فقط بر روی شکل، قالب و نواحی شناسایی شده برای عوارض تأثیر می گذارند و بر روی دقت تشخیص (محل و تعداد عوارض) تأثیری ندارند. بنابراین با توجه به اینکه هدف مقاله حاضر تشخیص محل و تعداد عوارض مصنوعی است، I_1 و I_2 از بین مقادیر مشترک و محدوده های مشخص شده، در جدول (۱) انتخاب می شوند. همچنین پارامترهای I_1 و I_2 با تکرار و آزمایش بدست آمده اند و در صورتی که کم تر از محدوده در نظر گرفته شده (در جدول (۱)) انتخاب شوند، ممکن است تعدادی از عوارض مصنوعی حذف گردند، و در صورتی که بیشتر از محدوده در نظر گرفته شده انتخاب شوند ممکن است نواحی شناسایی شده برای عوارض با هم تداخل یابند. همچنین با افزایش تعداد داده های تصویری پارامترهای I_1 و I_2 به صورت خودکار برای هر تصویر می تواند تخمین زده شود.

همچنین اگر دو جسم کنار هم قرار گیرند، احتمال دارد الگوریتم ارائه شده آن دو را یک جسم فرض کرده و در تشخیص تعداد عوارض مصنوعی دچار خطا شود. ولی با توجه به اینکه در تصاویر موجود، در یک پیش زمینه طبیعی تعداد محدودی عنصر مصنوعی وجود دارد، احتمال قرارگیری اجسام مصنوعی در کنار هم نادیده گرفته می شود.

ویژگی ها و هیستوگرام آن ها نشان می دهد که عوارض مصنوعی اغلب نواحی بالا و پایین هیستوگرام را اشغال می کنند و مناظر طبیعی بین این دو بخش قرار می گیرند. علت این پدیده را می توان به این صورت توجیه کرد، از آن جایی که عوارض مصنوعی نسبت به مناظر طبیعی شکلی منظم تر دارند بنابراین با کلاً صاف هستند و تغییرات ندارند که موجب پایین بودن ویژگی فراکتال می شود و یا تغییرات خیلی سریع دارند که موجب بالا بودن ویژگی فراکتال می شود. پیکسل های مربوطه برای حالت اول در قسمت های پایین هیستوگرام و برای حالت دوم در قسمت های بالای هیستوگرام انباشته می شوند. نقاطی از تصویر که مناظر طبیعی را نشان می دهند دارای ویژگی فراکتال متوسط هستند که بین دو بخش فوق و به صورت قله ای در هیستوگرام نمایان می شوند (شکل (۶)). لذا دو آستانه پایین (t_L) و بالا (t_H) برای طبقه بندی کردن تصاویر ویژگی ها در نظر گرفته و طبقه بندی انجام می گیرد. به عبارت دیگر:

$$K = \begin{cases} 1, & n_i \leq t_L, n_i \geq t_H \\ 0, & t_L < n_i < t_H \end{cases} \quad (21)$$

$$D_s = \begin{cases} 1, & n_i \leq t_L, n_i \geq t_H \\ 0, & t_L < n_i < t_H \end{cases} \quad (22)$$

در روابط فوق، t_L و t_H نشان دهنده آستانه بالا و پایین نمودارهای هیستوگرام تصاویر ویژگی ها، n_i مربوط به آمین سطح شدت روشنایی ($i=0-255$)، K و D_s بیانگر سگمنت تصاویر ویژگی های فراکتال K و D_s هستند.

برای اینکه روابط (۲۱) و (۲۲) به طور خودکار اجرا شوند، ابتدا باید آستانه های t_L و t_H (از روی هیستوگرام تصاویر ویژگی ها) تعیین گردند. بررسی هیستوگرام ها از شکل های (۶) و (۱۰) نشان می دهند که آستانه پایین محدوده تغییرات کم (بین ۰-۱۰) و آستانه بالا محدوده تغییرات وسیع (حدوداً بین ۷۰-۲۰۰) دارد، لذا برای تعیین پارامترهای مذکور اعمال زیر انجام می گیرد:

ابتدا n_i مربوط به قله هیستوگرام (که با n_{ih} مشخص می شود) محاسبه شده و برای مقادیر مختلف $n_{ih} \geq j$ و از محل مشخص j (با مقدار اولیه $j=n_{ih}$) دو مجموعه متوالی با تعداد عناصر n انتخاب می شود (در شکل (۷)) برای یک نمونه تصویر ویژگی فراکتال روند کار نشان داده شده است) که اعضاء مجموعه ها شامل مقادیر محور عمودی هیستوگرام برای شدت روشنایی های مشخص شده هستند. عناصر هر مجموعه به طور مستقل با هم جمع شده و نتایج از هم کم می شود (رابطه (۲۳))؛ این روند برای مقادیر مختلف $n_{ih} \geq j$ تکرار می شود تا جایی که حاصل تفریق کم تر از مقدار ثابت a بدست آید، که آن نقطه به عنوان آستانه بالا (t_H) انتخاب می شود. نتایج آزمایش ها بر روی تصاویر ویژگی های فراکتال K و D_s از شکل های (۴) و (۱۰) نشان می دهد که می توان a را حدود ثابت ۲۰۰ در نظر گرفت. همچنین انتخاب مقادیر مختلف مانند ۵، ۱۰ و ۲۰ برای پارامتر n نشان می دهد



(الف) (ب)

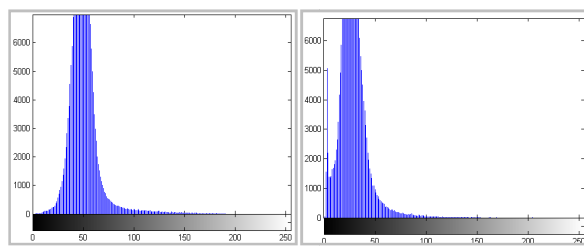
شکل (۹): الف- نتیجه حاصل از عملیات ریختشناسی در پایان مرحله ۲، ب- نتیجه نهایی در پایان مرحله ۴ که محل و تعداد عوارض مصنوعی مشخص شده است.

جدول (۱): محدوده تغییرات شعاع دیسک‌های به کار رفته در عملیات

ریختشناسی		
شماره	تصویر اصلی	محدوده شعاع دیسک‌ها
۱		$17 \leq r_1 \leq 25$ $9 \leq r_2 \leq 18$
۲		$17 \leq r_1 \leq 21$ $10 \leq r_2 \leq 13$
۳		$17 \leq r_1 \leq 20$ $10 \leq r_2 \leq 13$
۴		$13 \leq r_1 \leq 20$ $8 \leq r_2 \leq 30$

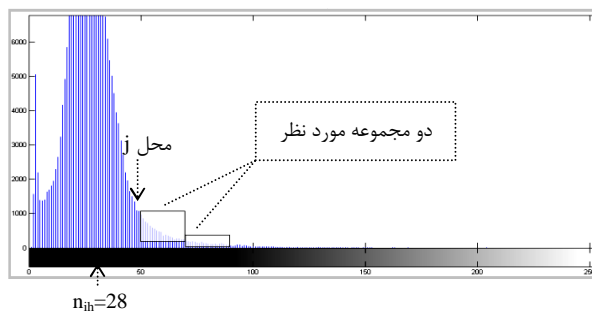
در شکل (۱۲) مقایسه‌ای بین نتایج روش پیشنهادی در این مقاله و نتایج روش ارایه شده در مرجع [۱]، جهت تشخیص عوارض مصنوعی در تصاویر CCD انجام گرفته است. روش ارایه شده در مرجع مذکور بدین ترتیب است که ابتدا بر روی تصویر ورودی پیش پردازشی صورت می‌گیرد که در طی آن، کاهش نویز و افزایش تباين اعمال می‌شود. سپس ویژگی‌های بافت استخراج شده و از روی آن ویژگی‌ها، تصویر به دو قسمت پیش زمینه و اهداف احتمالی طبقه‌بندی می‌شود. در نهایت برای تشخیص دقیق‌تر، ویژگی‌های هندسی اهداف احتمالی مانند خطوط، لبه‌ها، کرنرها استخراج شده و از روی نتایج به دست آمده اجزای انسان-ساز نهایی علامت‌گذاری می‌شوند.

همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود هر دو روش در تعیین تعداد و محل عوارض مصنوعی برای تصویرهای شماره ۱، ۲ و ۴ بدون خطا عمل کرده‌اند، ولی در مورد تصویر شماره ۳ روش مرجع [۱] دارای خطای ۵۰٪ می‌باشد که با روش پیشنهادی در این مقاله اصلاح شده است.

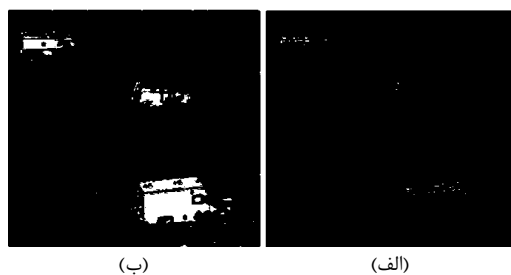


(الف) (ب)

شکل (۶): شکل‌های (الف) و (ب) به ترتیب نشان دهنده هیستوگرام شکل‌های (۴-ج) و (۴-د) هستند.



شکل (۷): نحوه طبقه بندی کردن هیستوگرام شکل (۶-الف).



(الف) (ب)

شکل (۸): شکل‌های (الف) و (ب) به ترتیب نشان دهنده طبقه بندی شکل‌های (۴-ج) و (۴-د) در $n=20$ هستند.

۳- نتایج آزمایش‌ها

برای شبیه‌سازی و پیاده‌سازی الگوریتم نشان داده شده در شکل (۲) از نرم افزار MATLAB، ورژن 7.6 استفاده شده است. تصاویر نیز از پایگاه داده تصویری USC-SIPI [۱] انتخاب شده‌اند. تصاویر ورودی از نوع خاکستری (۸ بیت/پیکسل) در اندازه 512×512 بوده که دقت مکانی آن‌ها ۹۶ dpi می‌باشد. زمان اجرای محاسبات وابسته به توان برنامه‌نویسی در نرم‌افزار مذکور است که هدف این مقاله فقط بیان نحوه استفاده از روش‌ها می‌باشد. با این حال مدت زمان اجرای الگوریتم، از لحظه ورود تصویر تا طبقه بندی نهایی، حدود ۱۰۰ ثانیه طول می‌کشد که بیشتر این زمان (حدود ۹۵ ثانیه) مربوط به تخمین شیب (ویژگی D_s) و عرض از مبدأ (ویژگی K) نمودار لگاریتمی برای تمامی پیکسل‌های تصویر است.


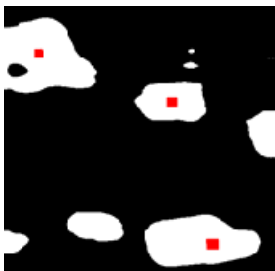


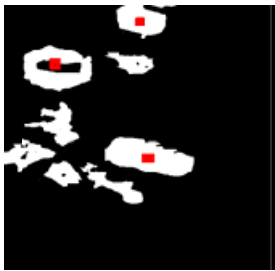


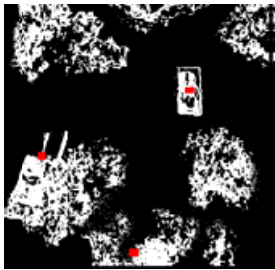



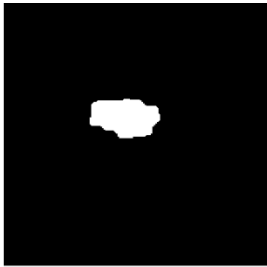
در شکل (۱۰) و (۱۱) برای چند نمونه دیگر از تصویرهای CCD الگوریتم شرح داده شده محاسبه شده است.

تصویر اصلی			
هیستوگرام تصویر اصلی			
تصویر ویژگی فراکتال D_s			
هیستوگرام تصویر ویژگی فراکتال D_s			
تصویر ویژگی فراکتال K			
هیستوگرام تصویر ویژگی فراکتال K			

شکل (۱۰): تصویر اصلی، هیستوگرام تصویر اصلی، تصاویر ویژگی‌های فراکتال و هیستوگرام تصاویر ویژگی‌های فراکتال، برای چند نمونه از تصاویر هوایی CCD.

تصویر اصلی			
طبقه بندی تصویر D_8			
طبقه بندی تصویر K			
ترکیب طبقه بندی تصویر D_8 و K			
مراحل ۱ و ۲ از عملیات ریخت شناسی			
مراحل ۳ و ۴ از عملیات ریخت شناسی و تشخیص محل عوارض مصنوعی			
تعداد	۳	۲	۱

شکل (۱۱): نتایج طبقه بندی تصاویر ویژگی‌های فراکتال، عملیات ریخت شناسی و شناسایی نهایی عوارض مصنوعی بر روی چند نمونه از تصاویری که در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

شماره	تصویر اصلی	نتیجه حاصل از روش پیشنهادی در مرجع [۱]	تعداد عوارض	δ	نتیجه حاصل از روش پیشنهادی در این مقاله	تعداد عوارض	δ
۱			۳	%۰		۳	%۰
۲			۳	%۰		۳	%۰
۳			۳	%۵۰		۲	%۰
۴			۱	%۰		۱	%۰

شکل (۱۲): مقایسه نتایج بر حسب تعداد و محل عوارض مصنوعی شناسایی شده.

ندارند که موجب پایین بودن ویژگی فراکتال می‌شود، یا تغییرات خیلی سریع دارند که موجب بالا بودن ویژگی فراکتال می‌شود. پیکسل‌های مربوطه برای حالت اول در قسمت‌های پایین هیستوگرام و برای حالت دوم در قسمت‌های بالای هیستوگرام انباشته می‌شوند. نقاطی از تصویر که مناظر طبیعی را نشان می‌دهند دارای ویژگی فراکتال متوسط هستند که بین دو بخش فوق و به صورت قله‌ای در هیستوگرام نمایان می‌شوند.

با طبقه‌بندی تصاویر حاصل از ترکیب نتایج ویژگی‌های فراکتال D_s و K ، عوارض مصنوعی کاملاً از مناظر طبیعی تفکیک نمی‌شوند، به این دلیل و برای ایجاد تمایز بهتر و تعیین دقیق تعداد و محل

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله، نحوه تشخیص عوارض مصنوعی از لحاظ تعداد و محل، با استفاده از ویژگی‌های فراکتال و عملیات ریخت شناسی بررسی شد. با بررسی شبیه‌سازی‌ها، نتایج بدست آمده به شرح زیر است:

در هیستوگرام تصویر ویژگی‌های فراکتال، عوارض مصنوعی اغلب نواحی بالا و پایین را اشغال می‌کنند و مناظر طبیعی بین این دو بخش قرار می‌گیرند. علت این پدیده را می‌توان به این صورت توجیه کرد که از آن جایی که عوارض مصنوعی نسبت به مناظر طبیعی شکلی منظم‌تر دارند، بنابراین یا کلاً صاف هستند و تغییرات

- Analysis*”Signal Processing, No. 8 , Vol. 4, IEEE, 2006.
- [12] H-O. Peitgen, H. jurgens, and D. Saupe, *Fractals for the Classroom: Part 1: Introduction to Fractals and Chaos*, Publisher: Springer, Corrected edition 1991.
- [۱۳] تقی‌زاد فانی‌د، تشخیص عوارض مصنوعی (انسان-ساز) در تصاویر هوایی با استفاده از ویژگی‌های فراکتال، کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تبریز، تبریز، ایران، ۱۰۰-۱، ۱۳۹۱
- [14] S. Peleg, J. Naor, R. Hartley and D. Avnir, “*Multiple Resolution Texture Analysis and Classification*”, Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 6, No. 4, pp. 518-523, IEEE, 1984.
- [15] D. Guo, L. Cao, Y. Zou, “*The segmentation algorithm of man-made regions based on local fractal dimension*”, Digital Image Processing (ICDIP), No. 4, Vol. 83341, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.
- [16] L. Qiong, G. Juri, G. Long and D. Huoming “*A Novel Edge Detection Method Based On Fractal Theory*”, Int. Conf. Neural Networks & Signal Processing, Vol. 2, pp. 1105 – 1108, IEEE, 2003.
- [17] Y. Y. Tang, Y. Tao and E. C.M. Lam, “*New Method for Feature Extraction Based on Fractal Behavior*”, Pattern Recognition, Vol. 35, pp. 1071–108, Elsevier, 2002.

زیر نویس‌ها

- 1- Man-made
- 2- Sonar images
- 3- Fractal features
- 4- Level set
- 5- Multi-scale fractal feature
- 6- Forward-looking infrared
- 7- Infrared
- 8- Fractal dimension
- 9- D-dimension area
- 10- Morphology
- 11- Log-log
- 12- Compass
- 13- Reduction factor (Scaling factor)
- 14- Blanket covering method
- 15- D_s-image
- 16- K-image
- 17- Mask

عوارض مصنوعی، در این مقاله، از عملیات ریخت‌شناسی استفاده شده است.

عملکرد الگوریتم پیشنهادی در این مقاله نسبت به عملکرد الگوریتم رایج شده در مرجع [۱] که از ویژگی‌های هندسی جهت تعیین تعداد و محل عوارض مصنوعی استفاده کرده، بهبود یافته است.

با توجه به اینکه تعداد تصاویری که شامل عوارض مصنوعی مانند تانک، هواپیما و ماشین‌های جنگی باشد در پایگاه داده محدود است، لذا آزمایش‌ها و نتایج گرفته شده (جدول (۱)) مربوط به چند تصویری است که از پایگاه داده انتخاب شده و در مرجع [۱] نیز به کار رفته است. در کارهای آینده می‌توان تعداد داده‌های تصویری بیشتری را بررسی و مقادیر مناسب‌تری برای پارامترهای a ، t_L ، Γ_1 و Γ_2 تعیین کرد.

مراجع

- [1] F. Cai, H. chen and J. ma, “*Man-made Object Detection Based On Texture Clustering and Geometric Structure Feature Extracting*”, I.J. Information Technology and Computer Science, Vol. 2, pp. 9-16, MECS, 2011.
- [2] G. Cao, X. Yang and Z. Mao, “*A Two-stage Level Set Evolution Scheme for Man-made Objects Detection in Aerial Images*”, Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 474-479, IEEE, 2005.
- [3] Z. Peng, Q. Zhang and J. Wang, “*Dim Target Detection Based on Nonlinear Multi-feature Fusion by K-L transform*” Optical Engineering, Vol. 43, No. 12, 2004.
- [4] D. Chen and X. liu, “*Target Detection in SAR Image Based-on Wavelet Transform and Fractal Feature*”, Image and Signal Processing, Vol. 2, pp. 1-4, IEEE, 2009.
- [5] T. peli, “*Multiscale Fractal Theory and Object Characterization*”, J. Opt. Soc. Am, Vol. 7, pp. 1101-1112, Optics Info Base, 1990.
- [6] Z. Peng, B. Hoang and Q. Zhang, “*Detecting the Man-made Target Based on Enhanced Fractal Feature Using PRIA*” Systems and Control in Aerospace and Astronautics, Vol. 1, pp. 211-214, IEEE, 2006.
- [7] K. Zhang, “*Targ, et Detection in Complex Background based on Fuzzy Enhanced Fractal Feature*”, Information and Automation, Vol. 9, pp. 408-411, IEEE, 2009.
- [8] J. liu and H. Wei, “*Optimal Selection of Fractal Features for Man-made Object Detection from Infrared Images*” Informatics in Control, Automation and Robotics, Vol. 2, pp. 177-180, IEEE, 2010.
- [9] J. Liu, H. Wei, X. Huang, N. He and K. Li, “*An FLIR Video Surveillance System to Avoid Bridge-Ship Collision*” World Congress on Engineering, Vol. 1, London, U.K., 2008.
- [10] H. Zhang, X. Liu, J. Li, and Z. Zhenfu, “*The Study of Detecting for IR Weak and Small Targets Based on Fractal Features*”, Multimedia Modeling, Vol. 13, pp 296-303, Springer, 2006.
- [11] Z. Liu, X. Tian and D. Zhou “*Man-made Object Detection Algorithm of Sonar Image Based on Texture*