

توسعه روشی نوین در تشخیص لبه تصاویر هوایی/ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا با تأکید بر بهینه‌سازی حدود آستانه و استفاده از الگوریتم رقابت استعماری

عباس کیانی^{۱*}، حمید عبادی^۲

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
abbasekiani@yahoo.com

^۲ دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)
ebadi@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۲، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۳)

چکیده

لبه یکی از ویژگی‌های برجسته تصویر است، لبه‌ها حامل اطلاعات مهمی از تصویر می‌باشند و به خوبی بیانگر ویژگی شکل اجسام هستند. اهمیت لبه‌ها در تصویر تا به آنجا است که سیستم بینایی انسان نیز از یک مرحله پیش پردازش برای آشکارسازی لبه استفاده می‌کند. بسیاری از روش‌های ریاضی کلاسیک برای تشخیص لبه بر اساس مشتق پیکسل‌های تصویر اصلی می‌باشند، مانند اپراتورهای گرادیان، لاپلاسیان و لاپلاسیان از اپراتور گاوسی. در تصاویر سنجش‌ازدور به علت بالا بودن میزان تغییرات اپراتورهای کشف لبه نام برده شده دچار ضعف در تشخیص صحیح محدوده‌ی عوارض و حفظ پیوستگی و انسجام محدوده‌ی آن‌ها می‌باشند، به‌منظور حل این مشکلات این تحقیق یک روش نوین به‌منظور کشف لبه بر اساس خصوصیات تصاویر سنجش‌ازدور را ارائه می‌دهد. در این روش ابتدا به‌صورت منطقه‌ای به شناسایی حدود آستانه‌ی مناطق مختلف تصویر پرداخته می‌شود و سپس با استفاده از الگوریتم شانون آنتروپی لبه‌های عوارض مختلف تصویری استخراج می‌شود. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، در این روش نحوه انتخاب حدود آستانه منتخب تأثیر بسزایی بر نتیجه نهایی دارد، به این منظور از روش بهینه‌سازی الگوریتم رقابت استعماری (ICA)^۱ استفاده شده است. در نهایت به‌منظور ارزیابی روش، نتایج حاصل‌شده با الگوریتم‌های استاندارد کنی، سوبل، رابرتز، LoG، الگوریتم تشخیص لبه بهینه‌سازی مورچگان و الگوریتم تشخیص لبه با روش بهینه‌سازی حدود آستانه توسط آنتروپی تسالیس^۲ مقایسه شدند و مشاهده شد که این روش به شکل کارآمدی قادر به شناسایی لبه‌های تصاویر مختلف می‌باشد.

واژگان کلیدی: لبه، الگوریتم رقابت استعماری، تصویر هوایی و ماهواره‌ای

* نویسنده رابط

^۱ Imperialist competitive algorithm

^۲ Tsallis entropy

۱- مقدمه

تشخیص لبه به شناسایی تغییرات ناگهانی در مقادیر درجات خاکستری تصویر مربوط می‌باشد [۱]. لبه را می‌توان به عنوان مرز میان دو منطقه از هم جدا شده توسط دو خواص نسبتاً متمایز سطح خاکستری تعریف نمود، همچنین یکی از ویژگی‌های مفید و مؤثر در بازشناسی اشیاء، استفاده از اطلاعات شکل و لبه‌های آن‌هاست. یک آشکارساز لبه کارآمد حجم زیادی از داده‌ها را کاهش می‌دهد اما هنوز هم بسیاری از ویژگی‌های مهم تصویر را نگه می‌دارد [۲].

اغلب برنامه‌های کاربردی پردازش تصویر در تصاویر سنجش‌ازدور نیازمند تقسیم‌بندی تصویر به قسمت‌های کوچک‌تر، شامل تقسیم تصویر به اشیاء و مناطق تشکیل دهنده‌ی آن‌ها می‌باشند. الگوریتم‌های تقسیم‌بندی تصویر به طور کلی بر یکی از دو ویژگی اساسی مقادیر شدت روشنایی تصویر استوار است: تشابه و ناپیوستگی. تاکنون تشخیص لبه به عنوان رایج‌ترین روش برای تشخیص ناپیوستگی‌های معنی‌دار در سطح تصویر خاکستری می‌باشد.

بسیاری از روش‌های کلاسیک برای تشخیص لبه بر پایه مشتق پیکسل‌های تصویر اصلی عمل می‌کنند، اپراتورهای تشخیص لبه کلاسیک مانند رابرتز، سوبل، پرویت و اپراتور لاپلاسیان یک تابع گاوسی (LOG)، با محاسبه مشتقات جزئی در یک همسایگی به شناسایی لبه‌های تصویری می‌پردازند [۳، ۴]. تشخیص لبه بر اساس مشتق به دو کلاس کلی دسته‌بندی می‌شود: محاسبه بر اساس مشتق مرتبه اول و دوم. این روش‌های تشخیص لبه ساده ولی درعین حال حساس به نویز می‌باشند. به‌منظور کاهش اثر نویز ابتدا تصویر مورد نظر را نرم کرده و سپس به تشخیص لبه اقدام می‌شود [۵]، البته این کار کنتراست لبه‌ها را کاهش می‌دهد و موجب دشواری در مکان‌یابی برخی از لبه‌های ضعیف تصویر خواهد شد [۶]. به‌طورکلی، الگوریتم‌های تشخیص لبه، دارای دو ضعف بزرگ هستند. یکی تشخیص نقاط غلط به عنوان لبه که عمدتاً ناشی از نویز هستند و دیگری بریده بودن مرز اشیاء، که ناشی از کیفیت پایین تصویر و یا ضعف روش تشخیص لبه می‌باشد. علاوه بر روش‌های ذکر شده، روش‌های جدید دیگری نیز به‌منظور تشخیص لبه تصاویر استفاده شده‌اند.

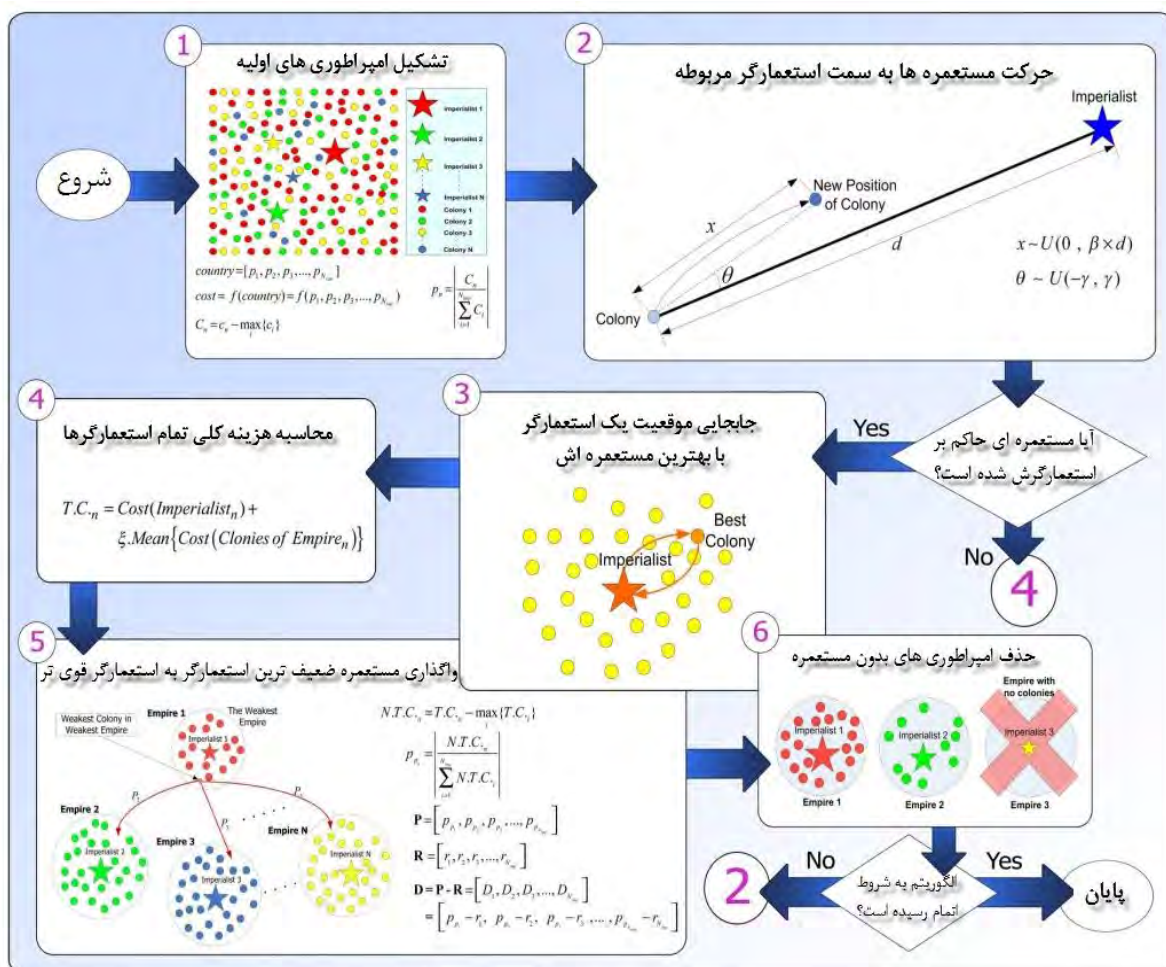
روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی، فازی، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، مورفولوژی و غیره [۷-۹]. در این میان تحقیقاتی هم بر روی استخراج لبه‌های تصویر به کمک تئوری اطلاعات نیز انجام گرفته است. از جمله به تحقیقی که توسط سینگ [۱۰] و با استفاده از آنتروپی شانون انجام گرفته است می‌توان اشاره نمود. این روش عملکرد بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک تشخیص لبه‌ها دارا می‌باشد و از ویژگی پیوستگی لبه‌های استخراجی سود می‌برد، اما مشکل این روش کشف تنها لبه‌های قوی تصویر است و قادر به شناسایی همه‌ی تغییرات تصویری نمی‌باشد. این روش تنها با حد آستانه‌ی کلی به‌دست‌آمده از میانگین درجات خاکستری تصویر، آن را به یک تصویر باینری تبدیل و سپس در این تصویر بخش‌بندی شده به شناسایی مرزهای بین عوارض متعلق به این دو کلاس (تصویر باینری) می‌پردازد. به همین دلیل برخی از لبه‌های موجود در تصویر به علت باینری بودن روند تصمیم‌گیری این روش از دست خواهند رفت. در تلاش دیگری [۱۱] سعی شد تا این مشکل بهبود یابد. در این روش، آنتروپی تسالیس به‌منظور به دست آوردن نتایج بهینه و تشخیص همه‌ی تغییرات رادیومتریکی استفاده شده است، که از هر دوی روش‌های آنتروپی تسالیس و شانون استفاده کرده است اما این اصرار زیاد برای شناسایی همه‌ی تغییرات سبب ایجاد لبه‌های ضخیم و با نویز زیاد شده است، که این امر سبب مخدوش شدن لبه‌های اصلی تصویر و دندان‌دانه شدن لبه نهایی شده است. در این مقاله با توجه به این مشکلات از یک‌سو و همچنین کارآمدی روش تشخیص لبه با آنتروپی و ویژگی پیوسته بودن لبه‌ها در این روش از سوی دیگر که مورد نیاز کاربردهای سنجش‌ازدوری می‌باشد؛ پیشنهاد یک رویکرد جدید بر اساس تئوری اطلاعات و با بهره‌گیری از یک سیستم قانون مینا داده شده است. از طرفی طبق مشاهدات انجام شده در طول این تحقیق مشخص گردید که تعیین حدود آستانه مناسب تأثیر بسزایی در نتایج لبه‌های استخراجی از طریق روش آنتروپی خواهد داشت، بدین منظور در این تحقیق از حد آستانه‌های متغیر برای تشخیص لبه با جزئیات متفاوت استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا تعداد زیادی حدود آستانه از بخش‌های مختلف تصویری به دست آورده و سپس با استفاده از روش بهینه‌سازی ICA بهترین حدود آستانه را از میان آن‌ها محاسبه و در ادامه

با استفاده از شانون آنتروپی به استخراج مرز بین مناطق و تعیین لبه بهینه در تصاویر اقدام می‌گردد.

۲- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری به عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی نسبتاً جدید، در دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی همچون الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی انبوه ذرات، بهینه‌سازی کلونی مورچگان و ... قرار می‌گیرد. این الگوریتم با مدل‌سازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی-سیاسی، روشی برای حل مسائل ریاضی بهینه‌سازی ارائه می‌دهد [۱۲]. از لحاظ کاربرد، پایه‌های اصلی این الگوریتم را سیاست همسان‌سازی، رقابت استعماری و انقلاب تشکیل می‌دهند. الگوریتم رقابت استعماری با تقلید از روند تکامل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها و با مدل‌سازی ریاضی بخش‌هایی از این فرآیند، عملگرهایی را در قالب منظم به صورت الگوریتم ارائه می‌-

دهد که می‌توانند به حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کمک کنند. در واقع جواب‌های مسئله بهینه‌سازی را در قالب کشورها نگریسته و سعی می‌کند در طی فرایندی تکرار شونده این جواب‌ها را رفته رفته بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه مسئله برساند. این الگوریتم همانند سایر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی، با تعدادی جمعیت اولیه شروع می‌شود که در آن هر عنصر جمعیت، یک کشور نامیده می‌شود. کشورها به دو دسته مستعمره و استعمارگر تقسیم می‌شوند. هر استعمارگر، بسته به قدرت خود، تعدادی از کشورهای مستعمره را به سلطه خود درآورده و آن‌ها را کنترل می‌کند. سیاست جذب و رقابت استعماری، هسته اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهند [۱۲]. یکی از کاربردهای الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی در داده-کاوی می‌باشد. الگوریتم رقابت استعماری که یک روش تقریباً نوین در حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد در حیطه-ی علمی داده‌کاوی کاربرد فراوانی دارد.



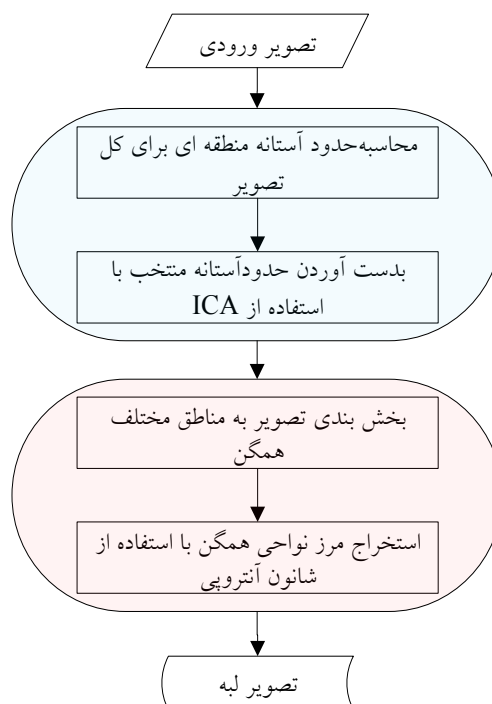
شکل ۱- شمای کلی الگوریتم رقابت استعماری

شکل ۱ شمای کلی الگوریتم را نشان می‌دهد. توضیح کامل این الگوریتم از حوصله این مقاله به دور است، اما در ادامه به تعدادی از مزیت‌های اصلی این الگوریتم که دلیل انتخاب آن برای بهینه‌سازی مسئله مورد مطالعه‌ی این مقاله می‌باشد، اشاره می‌شود:

- نوآوری و جدید بودن در عین شناخته بودن؛ مهم‌ترین مزیتی که ICA دارد این است که نسبت به الگوریتم‌های شناخته شده جدیدتر و نسبت به الگوریتم‌های جدید شناخته شده‌تر است.
- توانایی هم‌تراز و حتی بالاتر در مقایسه با الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی؛ در مواجهه با مسائل مختلف بهینه‌سازی
- سرعت مناسب یافتن جواب بهینه
- انعطاف‌پذیری؛ یکی دیگر از مزایای الگوریتم رقابت استعماری انعطاف‌پذیری کار با آن می‌باشد.

۳- الگوریتم تشخیص لبه پیشنهادی

برای داشتن دید کلی از مراحل کار، فلوچارت مراحل روش پیشنهادی در شکل ۲ نمایش داده شده است. این روش با استفاده از حدود آستانه منتخب، تصویر را به بخش‌های مختلف همگن تقسیم کرده و در



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

نهایت با استخراج مرزهای بین این بخش‌ها به شناسایی لبه‌های تصویر می‌پردازد. در حقیقت ایده اصلی در پس تشخیص لبه دو مورد می‌باشد، طبقه‌بندی تمام پیکسل‌ها و سپس تشخیص همه پیکسل‌ها در مرزهای بین مناطق مختلف همگن.

۳-۱- تعیین حدود آستانه

حد آستانه برای تبدیل یک مجموعه داده‌های حاوی مقادیری مختلف به یک مجموعه داده‌های جدید با مقادیر مشخص استفاده می‌شود. هنگامی که یک مقدار حد آستانه به داده‌های ورودی اعمال می‌شود، مقادیر ورودی که پایین‌تر از حد آستانه می‌باشند توسط یکی از مقدارهای خروجی و مقادیر ورودی که بالاتر از حد آستانه هستند با مقدار خروجی دیگر جایگزین می‌شوند، بنابراین هر حد آستانه پیکسل‌ها را به دو دسته طبقه‌بندی می‌کند. این حدود آستانه را می‌توان به صورت دستی از روی هیستوگرام تصویر و با توجه به نحوه‌ی تغییر درجات روشنایی تصویر به صورت تقریبی تعیین کرد ولی هدف این تحقیق ارائه یک روش اتوماتیک است.

در این پژوهش سعی شده است تا از خصوصیات کلیه-ی مناطق تصویر استفاده شود، بدین منظور مطابق فلوچارت ارائه شده در شکل ۳ پس از ورود تصویر با استفاده از قواعد موجود در پایگاه دانش ابتدا تصویر را به تکه‌های^۱ تصویری تقسیم کرده و سپس در هر تکه کوچک تصویری به طور جداگانه به تعیین حدود آستانه پرداخته و در نهایت حدود آستانه منتخب از میان همه‌ی حدود آستانه به‌دست‌آمده استخراج می‌گردند. در ادامه جزییات هر بخش و مراحل مرتبط شرح داده خواهد شد.

۳-۱-۱- محاسبه‌ی حدود آستانه‌ی منطقه‌ای

در این مرحله در هر تکه‌ی تصویری حدود آستانه‌ی متناسب با نحوه‌ی تغییرات رادیومتریکی آن تکه و عوارض مربوطه، استخراج و در نهایت با تجمیع حدود آستانه‌های به‌دست‌آمده از همه‌ی تکه‌ها (p تکه)، یک پایگاه داده برای کل تصویر شامل مجموعه‌ای از حدود آستانه‌های مختلف تصویری خواهیم داشت. از این‌رو در روش پیشنهادی برای نمونه برای حالت با k حد آستانه، ابتدا k مقدار اولیه برای

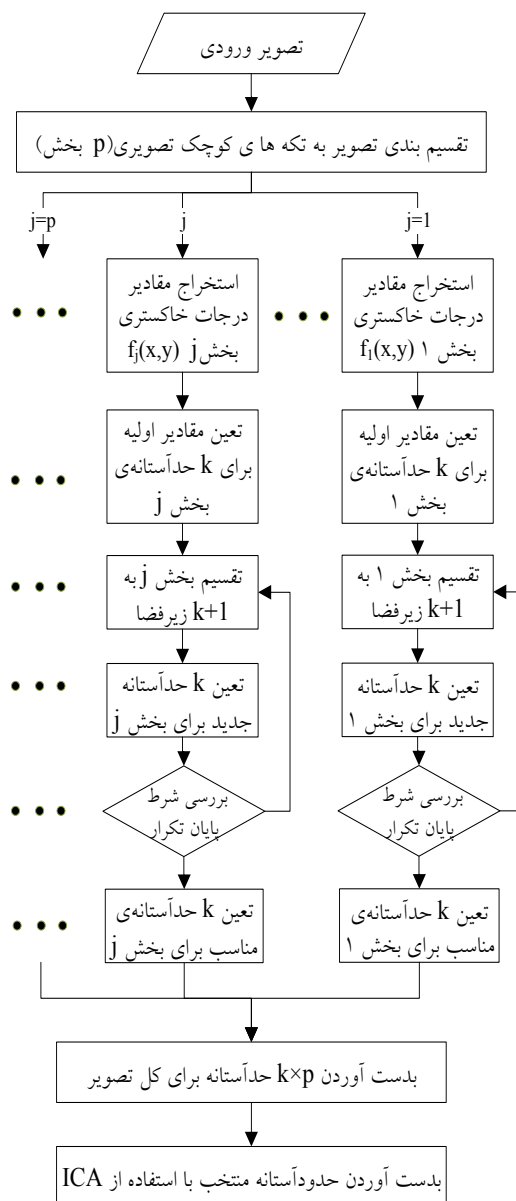
^۱ path

$$T_{ji}^0 = T_{\min_j} + i \times (T_{\max_j} - T_{\min_j}) / (k+1), i=1:k \quad (3)$$

و با این حدود آستانه مقادیر فضای ورودی (مقادیر درجات خاکستری تکه زام تصویر) به $k+1$ زیر فضا بخش‌بندی خواهد شد. به این ترتیب که تمامی مقادیر درجات خاکستری کوچک‌تر از T_{j1}^0 تصویر را R_{j1} ، تمامی مقادیر درجات خاکستری مابین T_{j1}^0 و T_{j2}^0 تصویر را R_{j2} و به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا اینکه در نهایت تمامی مقادیر درجات خاکستری بزرگ‌تر از T_{ji}^0 تصویر که در آن $i=k$ است را $R_{j(i+1)}$ می‌نامند. در ادامه برای به دست آوردن حدود آستانه جدید از رابطه‌ی ۴ استفاده شد.

$$T_{ji}^{\text{new}} = (\mu_{ji} + \mu_{j(i+1)}) / 2, i=1:k \quad (4)$$

که در آن T_{ji}^{new} ، آیین حد آستانه جدید مربوط به تکه زام تصویری؛ μ_{ji} و $\mu_{j(i+1)}$ نیز میانگین مقادیر درجه‌های خاکستری زیر فضاهای i ام و $(i+1)$ ام مربوط به تکه زام می‌باشند. در ادامه با استفاده از حدود آستانه جدید بار دیگر مقادیر فضای ورودی تکه زام به $k+1$ زیر فضا بخش‌بندی خواهد شد؛ و از طریق آن بار دیگر حدود آستانه جدید برای آن تکه به دست خواهند آمد. همین کار ادامه می‌یابد و کلیه مراحل قبل تکرار می‌شوند تا اینکه شرط پایان تکرار محقق شود. از طرفی چون مقادیر درجه خاکستری پیکسل‌ها اعداد صحیح مثبت می‌باشند، پس شرط پایان تکرار را می‌توان به این شکل تعریف نمود که هرگاه اختلاف دو حد آستانه جدید و قدیم (متوالی) از یک کمتر شد، شرط پایان تکرار محقق شده و دیگر نیازی به بروز رسانی بیشتر حدود آستانه وجود ندارد. نتیجه انجام این کار برای تمامی تکه‌های تصویری حصول $p \times k$ مقدار حد آستانه برای کل تصویر خواهد بود. از طرفی همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد نحوه‌ی استخراج حدود آستانه و تشکیل تصویر بخش‌بندی شده تأثیر مهمی بر لبه استخراج شده نهایی دارد، در ادامه روشی برای استخراج حدود آستانه بهینه از میان تمامی حدود آستانه‌ی محاسبه شده در بالا با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری ارائه شده است.



شکل ۳- فلوچارت نحوه‌ی انتخاب حدود آستانه منتخب

هر تکه تصویری (مانند تکه‌ی زام) در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱).

$$T_{j1}^0, T_{j2}^0, \dots, T_{jk}^0, j=1:p \quad (1)$$

برای تعیین این مقادیر اولیه می‌توان در هر تکه تصویری، کمینه و بیشینه مقدار درجات خاکستری آن تکه را تعیین نماییم (رابطه ۲).

$$T_{\max_j} = \max(f_j(x,y)), T_{\min_j} = \min(f_j(x,y)) \quad (2)$$

سپس مقادیر اولیه از رابطه‌ی ۳ تعیین خواهند شد:

۳-۱-۲- استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به منظور انتخاب حدود آستانه بهینه

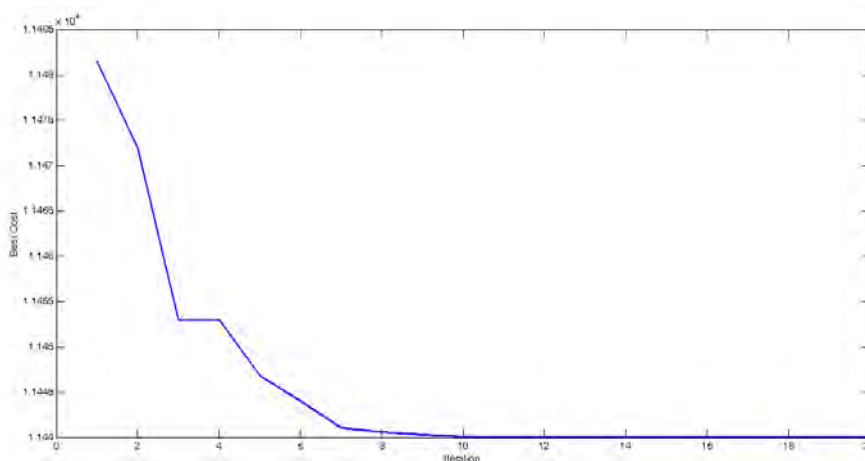
اگر در مرحله اولیه، تصویر ما به p تکه کوچک تصویری تقسیم شده باشد آنگاه ماتریس حدود آستانه دارای $p \times k$ مقدار خواهد بود، بدین ترتیب ما اطلاعات زیادی را از نحوه‌ی تغییرات مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌های مناطق مختلف تصویری به دست آوردیم که همان حدود آستانه استخراجی از کلیه‌ی مناطق تصویری می‌باشند، و این به معنی حجم وسیعی از اطلاعات می‌باشد که اگر به شکل مناسبی مورد استفاده قرار گیرند می‌توانند منجر به کشف لبه مطلوب و دقیقی از کلیه‌ی نقاط تصویر شوند و ما را به کشف لبه مطلوب رهنمون سازند، چون تخمینی صحیح از نحوه‌ی تغییرات رادیومتریکی عوارض موجود در تصویر می‌باشند. بدین منظور می‌توان از روش‌های بهینه‌سازی برای این کار بهره گرفت، یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم رقابت استعماری می‌باشد. این روش به علت داشتن مزایایی مانند سرعت بالا، انعطاف‌پذیری، تفهیم بهتر و کاربرد آسان‌تر در کار با داده‌های تصاویر رقومی روشی مناسب جهت بهینه‌سازی روند خوشه‌بندی می‌باشد. در واقع دستیابی به بهترین جواب در زمان مناسب مزیت اصلی الگوریتم رقابت استعماری می‌باشد. نتایج خروجی اجرای روش k -means که با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری بهینه‌سازی شده است در مقایسه با روش k -means بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده کارایی برجسته الگوریتم رقابت استعماری را نمایان می‌سازد [۱۳]. یکی از ویژگی‌های نتایج خروجی خوشه‌بندی الگوریتم رقابت استعماری علاوه بر نزدیکی و

تراکم اعضای داخلی هر خوشه به هم و تفکیک مناسب بین هر کدام از خوشه‌ها، دستیابی به بهترین جواب برای مراکز خوشه‌ها می‌باشد که در این پژوهش حائز اهمیت است. چون مراکز هر خوشه به عنوان یکی از نتایج خروجی خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، همان حدود آستانه منتخب جهت بخش‌بندی تصویر می‌باشد.

الگوریتم پس از چندین بار تکرار و همگرا شدن تابع هزینه پس از کاهش مقدار آن به یک مقدار ثابت، به بهترین پاسخ برای خوشه‌بندی و مراکز خوشه بهینه می‌رسد (شکل ۴). تابع هزینه تعریف شده برای الگوریتم رقابت استعماری بر اساس فاصله n -بعدی بین داده‌ها یا همان نرم درجه n داده‌ها می‌باشد. پارامتر n وابسته به بعد فضای داده‌ها می‌باشد. در این پژوهش داده‌های خوشه‌بندی شده که مربوط به حدود آستانه می‌باشد در فضای یک‌بعدی بوده و فاصله بین داده‌ها نیز به صورت یک‌بعدی تعریف شده است. رابطه ۵ هسته اصلی تابع هزینه یا همان تابع هدف را نشان می‌دهد.

$$T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \|x_i - c_j\| \quad (5)$$

در رابطه فوق، x_i داده‌های مورد نظر و c_i مراکز خوشه‌ها می‌باشد که در روند تکرار الگوریتم رقابت استعماری مقادیر مربوط به مراکز خوشه‌ها تغییر می‌کند تا زمانی که به جواب بهینه رسیده و تابع هزینه به مقدار خاص مورد نظر همگرا شود. در شکل ۴ نحوه‌ی انجام این کار بر روی تصویر هوایی انزلی، تصویر آزمایشی مورد استفاده در این مقاله نشان داده شده است.



شکل ۴- نمودار کاهش هزینه برای تصویر آزمایشی، افزایش تعداد تکرارها کاهش هزینه را در پی دارد.

کدهای مربوط به تصویر کدگذاری شده به دست آمده در مرحله قبل می‌باشند، همچنین احتمال این مجموعه با $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_j, \dots, p_k\}$ تعریف می‌شود. از طرفی I یا اطلاعات وضعیتی (خود-اطلاعات)^۱، اندازه‌گیری محتوای اطلاعات مرتبط با نتیجه یک متغیر تصادفی است که در یک واحد از اطلاعات بیان می‌شود و بسته به پایه لگاریتم مورد استفاده در آن محاسبه خواهد شد. با این تعریف، مقدار اطلاعات وضعیتی موجود در یک رویداد تنها به احتمال آن رویداد بستگی دارد.

اطلاعات وضعیتی تولیدشده توسط یک منبع به صورت $I(x_i) = \log_a \left(\frac{1}{p_i} \right)$ محاسبه می‌شود، در نتیجه متوسط اطلاعات برای m منبع را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\begin{aligned} & mp_1 I(x_1) + mp_2 I(x_2) + \dots + mp_i I(x_i) + \dots + mp_k I(x_k) \\ &= m \sum_{x \in X} p_i I(p_i) = m \sum_{i=1}^k p_i \log_a \left(\frac{1}{p_i} \right) \quad (7) \\ &= -m \sum_{i=1}^k p_i \log_a(p_i) \end{aligned}$$

آنتروپی معمولاً در واحدهای bits، nats و bans اندازه‌گیری می‌شود و چون در تصاویر دیجیتال ما با بیت سروکار داریم از مبنای دو استفاده خواهیم کرد [۱۴]. از طرفی متوسط اطلاعات هر ($m = 1$) منبع خروجی $H(X)$ را تعریف می‌کند:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^k P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (8)$$

مقدار $H(X)$ شانون آنتروپی نامیده می‌شود [۱۵]، که در آن p احتمال پیکسل مرکزی از تصویر باینری تحت اعمال ماسک خواهد بود [۱۶، ۱۷]. برای مثال اگر احتمال پیکسل مرکزی تحت یک ماسک 3×3 برابر $p=6/9$ باشد آنگاه آنتروپی پیکسل مرکزی برابر 2.703 خواهد بود. همچنین هنگامی که احتمال پیکسل مرکزی برابر یک باشد، چون مقدار اطلاعات وضعیتی از این رویداد به طور معکوس به احتمال وقوع آن مربوط می‌شود، در نتیجه $I=0$ خواهد بود و هیچ اطلاعاتی منسوب به آن نخواهد شد؛ بنابراین اگر اتفاقی همیشه رخ دهد هیچ اطلاعاتی منتقل نخواهد، آنگاه آنتروپی این پیکسل صفر است. بر این اساس

در نهایت با استفاده از روش ICA مراکز هر خوشه با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری استخراج گردیدند، که همان حدود آستانه منتخب جهت بخش‌بندی تصویر می‌باشد. حاصل این کار انتخاب حدود آستانه بهینه از میان تمامی حدود آستانه موجود و با توزیع مناسب در محدوده‌ی تغییرات رادیومتریکی خواهد بود، حال با استفاده از این مقادیر حد آستانه انتخابی می‌توان تصویر را به مناطق مختلف همگن بخش‌بندی کرد. از مزایای این روش این است که بسته به اینکه تا چه حد نیاز به جزییات تصویر می‌باشد می‌توان تعداد این حدود آستانه را افزایش یا کاهش داد. این نحوه‌ی انتخاب حدود آستانه به ما این امکان را می‌دهد تا حدود آستانه ما هم مقادیر مناسبی را داشته باشند و هم از توزیع مناسبی در محدوده‌ی تغییرات درجات خاکستری تصویر برخوردار باشند.

۳-۲- استخراج مرز نواحی

تشخیص لبه به تغییرات ناگهانی در سطح یک تصویر مربوط می‌شود از این رو لبه می‌تواند به عنوان مرز بین دو منطقه از هم جدا شده توسط دو خواص نسبتاً متمایز سطح خاکستری تعریف شود. علل عدم تجانس منطقه ممکن است به دلیل برخی عوامل از قبیل هندسه صحنه، ویژگی رادیومتریک سطح، روشنایی و ... باشد.

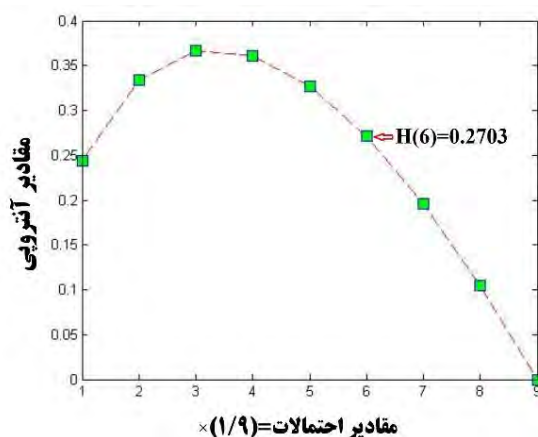
در طرح پیشنهادی، ابتدا با استفاده از N حد آستانه به دست آمده از روش ICA، یک تصویر بخش‌بندی شده از تصویر ورودی به دست خواهد آمد. به عبارتی یک تصویر کدگذاری شده با استفاده از حدود آستانه منتخب ایجاد می‌شود، در ادامه می‌توان از یک ماسک فیلتری با اندازه‌ی $m \times n$ کمک گرفت که m و n اعداد صحیح مثبت فرد می‌باشند، که در اینجا از یک ماسک 3×3 استفاده شده است. با تنظیم تمام ضرایب ماسک برابر با ۱ و حرکت آن بر روی همه‌ی تصویر و پیدا کردن احتمال هر پیکسل مرکزی از تصویر تحت ماسک فوق، می‌توان آنتروپی هر پیکسل مرکزی از تصویر (H) را از رابطه ۶ محاسبه نمود.

$$H(X) = P(X) \cdot I(X) \quad (6)$$

که در رابطه‌ی فوق متغیرهای آزمایش، مجموعه تصادفی $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_k\}$ می‌باشند که شامل

^۱ self-information

در صورتی که سطح خاکستری همه پیکسل‌های تحت پنجره همگن باشد، $P=1$ و $H=0$ خواهند بود که در این مورد، پیکسل مرکزی پیکسل لبه نمی‌باشد. احتمالات دیگر آنتروپی پیکسل مرکزی در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار آنتروپی- احتمال

درجه خاکستری پیکسل‌ها تحت پنجره زیاد است و در این موارد می‌توان گفت که پیکسل مرکزی لبه می‌باشد. برای این کار با استفاده از حدود آستانه‌ی منتخب (که در بخش ۱-۳ به دست آمد) یک تصویر کدگذاری شده ایجاد و با استفاده از ماسکی که در قبل توضیح داده شد بر روی تصویر باینری حرکت کرده و در هر جا که مقادیر آنتروپی پیکسل مرکزی بزرگ‌تر از حد آستانه فوق باشد، پیکسل مرکزی یک پیکسل لبه است و در باقی موارد لبه نمی‌باشد. اگر این کار را برای تمامی پیکسل‌های این تصویر تکرار کنیم لبه نهایی به دست خواهد آمد. ویژگی این نحوه‌ی استخراج مرز اینست که روش مورد استفاده به نحو شایسته‌ای نسبت به تأثیرات مخرب نویز ایمن است، این ویژگی مرهون تحلیل کرنلی صورت گرفته در فوق است [۱۸].

۴- نتایج و پیشنهادات

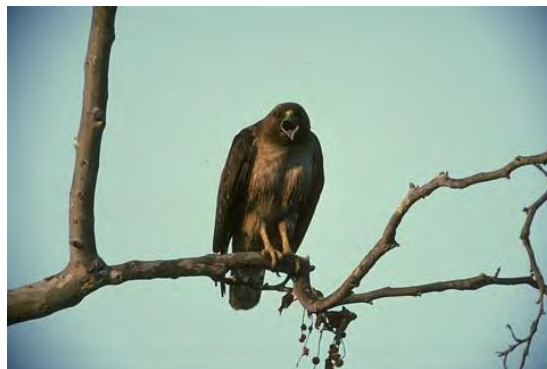
به طور کلی برای مقایسه الگوریتم‌های تشخیص لبه از دو روش کلی استفاده می‌شود: روش عددی و شهودی. در روش شهودی مقایسه الگوریتم‌های تشخیص لبه، تصاویر به همراه تصاویر خروجی تشخیص لبه نشان داده می‌شود و با توجه به شهودی که نسبت به تصویر وجود دارد مقایسه صورت می‌پذیرد. در روش عددی، معیارهایی برای خوب بودن روش تشخیص لبه در نظر گرفته می‌شود و با توجه به آن معیارها می‌توان در رابطه با خوب یا بد بودن الگوریتم، تصمیم‌گیری کرد. یکی از پر کاربردترین این روش‌ها استفاده از تصاویر به همراه واقعیت زمینی^۱ آن‌هاست. برای ارزیابی روش ارائه‌شده و مقایسه آن با الگوریتم‌های موجود در نوبت نخست، از دو تصویر تست استفاده شده است که از دسته تصاویر استاندارد منتشر شده در BSD^۲ می‌باشند [۱۹، ۲۰]. و همچنین در همان منبع تصاویر واقعیت زمینی هر یک از تصاویر نیز موجود است که امکان مقایسه عددی روش پیشنهادی با دیگر روش‌ها را میسر می‌سازد. سپس به منظور ارزیابی‌های بیشتر این روش از دو تصویر رقومی منطقه‌ی شهری نیز استفاده شده است. در این تصاویر به علت عدم وجود اطلاعات واقعیت زمینی از مقایسه شهودی استفاده شده است.

در حالت ایده‌آل اگر فرض شود که مقدار شدت روشنایی هر تصویر یکنواخت و با مقادیر شدت روشنایی اشیاء مجاورش متفاوت باشد، آنگاه هرگونه تغییر قابل ملاحظه در مقدار شدت روشنایی را می‌توان لبه در نظر گرفت. در این پژوهش با تکیه بر این دانسته‌ها سعی شد تا با استفاده از شانون آنتروپی، در مناطق همگن تصویر مقدار درجات خاکستری پیکسل‌ها را برابر صفر قرار دهیم و باقی پیکسل‌ها را با مقدار یک جایگزین کنیم، نتیجه این کار یک تصویر باینری خواهد بود که در حقیقت همان تصویر لبه آشکارسازی شده است [۱۰].

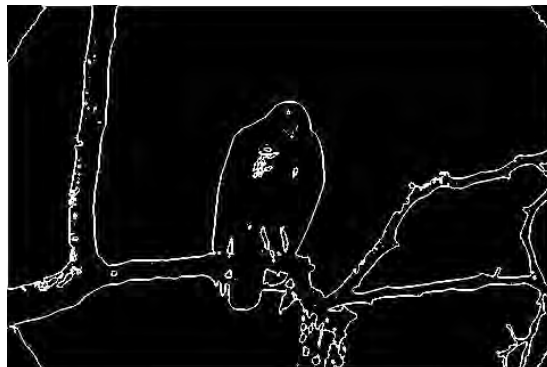
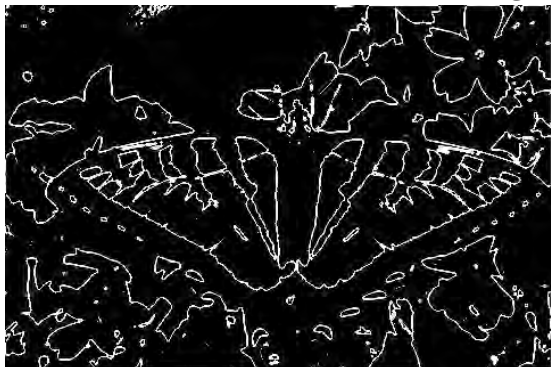
شکل ۵ نمودار آنتروپی- احتمال را برای یک کرنل 3×3 نشان می‌دهد که محور افقی نشان دهنده‌ی احتمال هر پیکسل از تصویر تحت اعمال کرنل و محور عمودی نشان دهنده‌ی آنتروپی آن پیکسل می‌باشد. در تصاویر همگن، مقادیر پیکسل‌های موجود در یک ناحیه کوچک اغلب در یک رنج می‌باشند، به جز در مواردی که لبه یا نویز وجود داشته باشد، از این روی در طرح پیشنهادی، یک حد آستانه مناسب با استفاده از روش تحلیل ابعاد کرنل و هموزنی تصویر در یک ناحیه کوچک و با تکیه بر پیوسته بودن لبه در یک کرنل 3×3 داده شده در این پژوهش محاسبه شده است، این مقدار برابر 0.2441 می‌باشد که برای مقادیر بزرگ‌تر از این حد آستانه اندازه تغییرات

^۱ Ground Truth

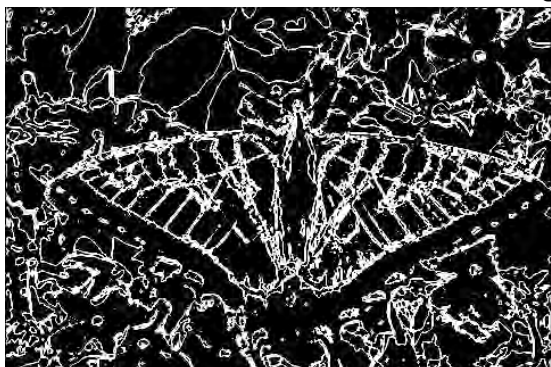
^۲ Berkley Segmentation Database



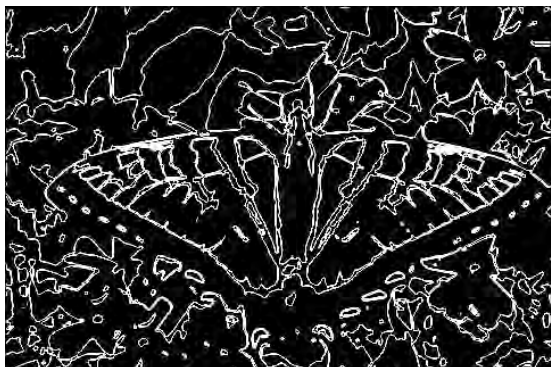
(الف) تصویر رنگی



(ب) روش آنتروپی سینگ



(ج) روش آنتروپی تسالیس



(د) روش پیشنهادی

شکل ۶- تصاویر تست مورد استفاده و لبه‌های شناسایی شده با روش‌های مختلف آنتروپی

برای مقایسه عددی تصاویر لبه به دست آمده با تصاویر تست، از دو شاخص آماری PSNR^۱ و PR^۲ استفاده شده است. برای محاسبه PSNR از رابطه ۹ استفاده گردید.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{2^B - 1}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (9)$$

در این رابطه B تعداد بیت نمایش دهنده داده و MSE^۳ همان میانگین مربعات خطا است (رابطه ۱۰)؛ که در آن میانگین مربعات خطا بین سیگنال و یا تصویر (X) و تقریب آن (Y)، برابر نرم مربعی تفاوت آن‌ها تقسیم بر تعداد عناصر سیگنال و یا تصویر است [۲۱، ۲۲]:

$$MSE = \frac{\|X - Y\|^2}{N} \quad (10)$$

به عنوان مثال در صورتی که از داده‌های ۸ بیتی استفاده شود صورت کسر رابطه ۹ برابر ۲۵۵ خواهد شد. این رابطه معیاری از خطای الگوریتم تشخیص لبه به ما خواهد داد و هر چه این عدد بزرگ‌تر باشد، یعنی میزان خطا کمتر بوده و روش تشخیص لبه مورد بررسی بهتر است. برای محاسبه PR از رابطه ۱۱ استفاده می‌شود:

$$PR = \frac{True}{False} \quad (11)$$

که در رابطه فوق True تعداد نقاطی است که در آن‌ها لبه تصویر تولید شده با لبه واقعیت زمینی یکسان است و False تعداد نقاطی است که در آن‌ها در دو تصویر اختلاف وجود دارد. در این معیار نیز عدد بزرگ‌تر به منزله تعداد بیشتر نقاط صحیح تشخیص داده شده و در نتیجه بهتر بودن الگوریتم است.

به منظور تحلیل نتایج، ابتدا لبه‌های هر یک از تصاویر تست (شکل ۶-الف) را با یک روش تشخیص لبه مورد شناسایی قرار داده و سپس با استفاده از روابط قبل و تصاویر واقعیت زمینی تصاویر تست، محاسبه و تحلیل نتایج انجام گرفته است، این کار برای تعدادی از روش‌های تشخیص لبه تکرار و در نهایت جدول ۱ ارائه شده است. مطابق با نتایج به دست آمده الگوریتم‌های سوبل و رابرتز به جز در برخی از جزییات در مجموع عملکرد مشابهی

دارند اما در قیاس با الگوریتم LOG کارایی کمتری دارند، علت اینکه رابرتز و سوبل از تقریب مشتق مرتبه اول مقدار پیکسل تصویر با استفاده از دو فیلتر خطی دوبعدی برای پردازش لبه‌های عمودی و افقی لبه‌ها به طور جداگانه استفاده می‌کنند، اما روش تشخیص لبه لاپلاسیان از یک فیلتر خطی دوبعدی برای تقریب مشتق مرتبه دوم مقادیر پیکسل تصویر استفاده می‌کند.

روش آنتروپی سینگ [۱۰] عملکرد بهتری نسبت به روش‌های فوق که برای تشخیص لبه‌ها بر اساس مشتقات اول و دوم سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر اصلی بنا شده است دارا می‌باشد و نتایج آن تا حدی نزدیک به نتایج روش کنی نیز بوده است، اما همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد این روش تنها با حد آستانه‌ای کلی بدست آمده از میانگین درجات خاکستری تصویر، آن را به یک تصویر باینری تبدیل و مرز بخش‌های حاصله از این تصویر باینری را استخراج می‌نماید. به همین دلیل برخی از لبه‌های موجود در تصویر به علت باینری بودن روند تصمیم‌گیری این روش از دست خواهند رفت (شکل ۶-ب). در روش آنتروپی تسالیس به منظور به دست آوردن نتایج بهینه و تشخیص همه‌ی تغییرات رادیومتریکی از یک روش هیبرید استفاده شده است که از هر دوی روش‌های آنتروپی تسالیس و شانون استفاده کرده است [۱۱]، اما این اصرار زیاد برای شناسایی همه‌ی تغییرات سبب ایجاد لبه‌های ضخیم و با نویز زیاد شده است، که این امر سبب مخدوش شدن لبه‌های اصلی تصویر و دندان‌دانه شدن لبه نهایی و عدم حصول یک لبه پیوسته برای تصویر شده است (شکل ۶-ج).

روش پیشنهادی به منظور بهره‌گیری از ویژگی‌های خوب تشخیص لبه به کمک آنتروپی و جبران نقایص موجود پیشنهاد شده است، چون همان‌طوری که از نتایج جدول ۱ نیز بر می‌آید لبه‌های استخراجی با روش‌های آنتروپی نسبت به الگوریتم‌های کلاسیک تشخیص لبه عملکرد بهتری داشتند اما هر کدام نقصان‌هایی نیز داشتند. در روش پیشنهادی اولاً به علت به کار گرفتن چند حد آستانه به صورت همزمان برای بخش‌بندی تصویر، قدرت بالاتری در شناسایی و استخراج لبه‌های تصویری دارد به نحوی که بر خلاف روش‌های تشخیص لبه آنتروپی معرفی شده در قبل به جای انتخاب یک حد آستانه و تشکیل تصویر باینری و استخراج مرز نواحی، این

^۱ Peak Signal-to-Noise Ratio

^۲ Performance Ratio

^۳ Mean Square Error

جدول ۱- نتایج مقایسه عددی روش پیشنهادی و با روش های دیگر

روش تشخیص لبه	تصویر نخست (پروانه)		تصویر دوم (عقاب)	
	PSNR(dB)	PR	PSNR(dB)	PR
روش پیشنهادی	۱۷/۲۳۱۴	۲۶/۸۹۹	۱۷/۹۸۹۲	۳۰/۲۹۴۷
روش کنی	۱۷/۲۲۴۱	۱۷/۵۶۴۹	۱۷/۹۸۶۳	۲۱/۹۲۸۰
روش LOG	۱۷/۲۱۱۸	۱۱/۶۹۰۸	۱۷/۹۸۵۵	۲۰/۳۹۵۹
روش سوبل	۱۷/۲۱۰۵	۹/۶۲۶۵	۱۷/۹۷۳۹	۱۵/۴۱۴۸
روش رابرتز	۱۷/۲۱۵۴	۹/۸۸۴۴	۱۷/۹۸۶۲	۲۰/۶۸۱۴
روش آنتروپی تسالیس	۱۷/۲۳۷۵	۳۵/۷۶	۱۷/۹۸۶۸	۳۳/۱۴۶۵
روش آنتروپی سینگ	۱۷/۲۱۹۵	۱۷/۲۱۲۷	۱۷/۹۷۹۹	۲۰/۷۶۳۳

و نقاط تصویر واقعیت زمینی گشته است، که در نهایت با در نظر گرفتن هر دو تحلیل شهودی و عددی می توان نتیجه گرفت که در روش پیشنهادی ضمن بهره گیری از تمامی خصوصیات استخراج لبه به روش آنتروپی، نقصان روش های موجود نیز برطرف شد، چنانچه مطابق شکل ۶ روش پیشنهادی موفق به کشف لبه های مهم و البته پیوسته ی بیشتری نسبت به روش آنتروپی سینگ شده است، ضمن اینکه این افزایش کارایی مانند روش آنتروپی تسالیس سبب از دست رفتن دقت استخراج لبه و مخدوش شدن لبه ی نهایی نیز نشده است، در حقیقت روش پیشنهادی در این مقاله توانسته است علاوه بر استخراج همه ی لبه های مهم تصویری از ایجاد نویز و لبه های گسسته و دندان دندانه نیز جلوگیری به عمل آورد. در ادامه به منظور ارزیابی این روش بر روی تصاویر هوایی و سنجش از دوری با قدرت تفکیک بالا، از دو تصویر آزمایشی دیگر نیز استفاده شده است (شکل ۷).

روش تصویر را به یک تصویر قطعه بندی شده به چند کلاس مختلف تقسیم و سپس عملیات آنالیز و استخراج نواحی همگن و مرز آن ها را صورت می دهد. بعلاوه اینکه این چند حد آستانه نهایی انتخاب شده خود محصول بررسی و تحلیل کلیه ی مناطق و عوارض تصویری است. نتایج به دست آمده توسط این روش در جدول ۱ نیز مؤید همین مطلب است، گو اینکه روش آنتروپی تسالیس در قیاس عددی نتایج بهتری به دست آورده است اما این نتایج به سبب نحوه ی قیاس عددی است، چرا که در روش قیاس عددی موجود با شمارش تعداد انطباق های پیکسل های شناسایی شده توسط الگوریتم تشخیص لبه و پیکسل های لبه اصلی موجود در تصویر واقعیت زمینی نتایج نهایی اعلام می گردد ولی همان طوری که از شکل ۶- ج نیز پیداست در این روش به علت نویز بالا در مرز عوارض لبه های ضخیمی ایجاد شده است، در نتیجه سبب انطباق تعداد بیشتری از نقاط شناسایی شده توسط روش



(ب)

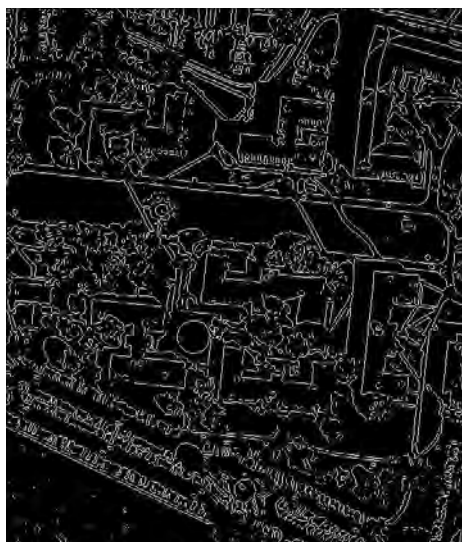


(الف)

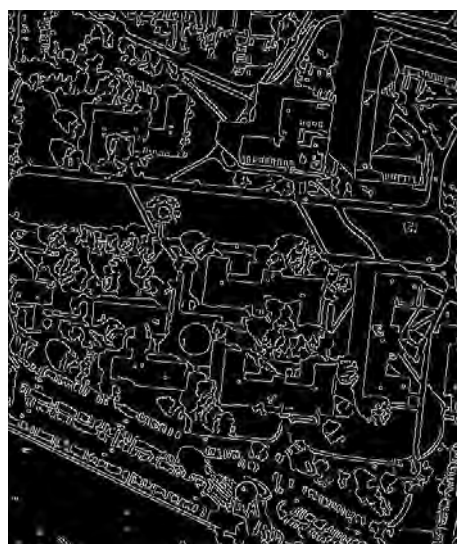
شکل ۷- تصاویر آزمایشی مورد استفاده (الف) تصویر رقومی ماهواره Geoeye (ب) تصویر هوایی رقومی Ultracam



(الف)



(ب)



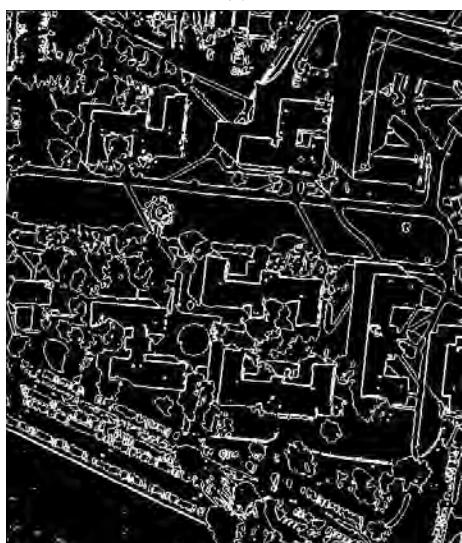
(ج)



(د)



(ن)



(و)

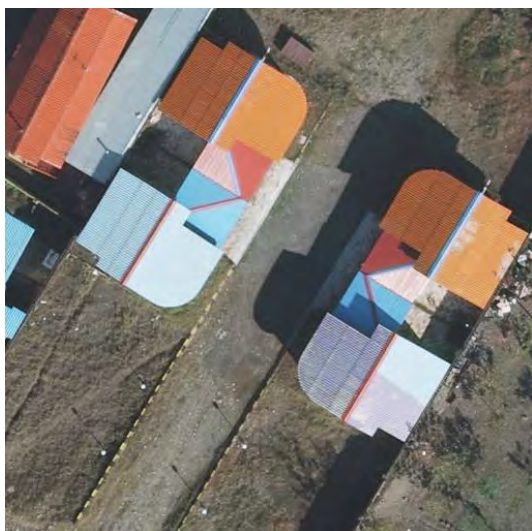
شکل ۸- (الف) تصویر اصلی (ب) روش LOG (ج) روش کنی (د) روش آنتروپی سینگ (ن) روش بهینه سازی حدود آستانه توسط آنتروپی تسالیس (و) روش تشخیص لبه پیشنهادی

در نمونه آزمایشی دوم از تصویر ماهواره‌ای Geoeye استفاده شده است (شکل ۸-الف). در این تصویر انواع عوارض راه‌های اصلی و فرعی، ساختمان، پوشش گیاهی و ... وجود دارد که می‌تواند گزینه‌ی مناسبی جهت مقایسه باشد. در (شکل ۸-ب) لبه‌های شناسایی شده با الگوریتم LOG نشان داده شده است. در این روش اغلب لبه‌های تصویر شناسایی شده است اما پیوستگی لبه‌ها برای نمونه در مناطق ساختمانی حفظ نشده است و یا در نواحی پوشش گیاهی دچار گسستگی و شلوغی بیش از حد می‌باشد. در مقابل روش کنی عملکرد بهتری داشته است (شکل ۸-ج). لبه‌های استخراجی با روش آنتروپی سینگ در استخراج عوارض ساختمانی نسبتاً موفق بوده ولی نتوانست شکل واضحی از عوارض دیگر موجود در تصویر را ارائه دهند، مانند نواحی فضای سبز تصویر و یا مناطق سایه‌ای (شکل ۸-د)، به عبارتی به شناسایی حداقلی لبه‌های تصویری اکتفا کرده است. روش آنتروپی تسالیس سعی در شناسایی اکثر لبه‌های تصویری داشته است ولی برخی جزئیات زیاد تصویری موجب شلوغ شدن فضای تصویری شده است، که این جزئیات غیر لازم تصویری را می‌توان به نوبت تشبیه نمود که سبب تحت شعاع قرار گرفتن عوارض اصلی شده است (شکل ۸-ن). همان‌طور که ذکر شد یکی از اهداف این روش حفظ پیوستگی در لبه‌های کشف شده و در عین حال متمایز نمودن عوارض غالب تصویری است، همان‌گونه که در (شکل ۸-و) مشاهده می‌شود در روش پیشنهادی سعی شده است تا حد امکان لبه‌های اصلی تصاویر شناسایی شود و در عین حال از ایجاد نویز جلوگیری به عمل آمده و پیوستگی لبه‌ها نیز حفظ شود. در حقیقت با استفاده از لبه استخراج شده با روش پیشنهادی اغلب عوارض تصویری به شکل صحیح و با جزئیات مورد نیاز قابل مشاهده می‌باشد و این موضوع به سبب ساختار روش پیشنهادی می‌باشد که بر اساس ویژگی‌های تصاویر سنجش از دوری بنا شده است، روش پیشنهادی با استفاده از روش آستانه گذاری منطقه‌ای توانسته در ابتدا از همه‌ی مناطق تصویری

اطلاعات مورد نیاز برای استخراج عوارض را جمع‌آوری کند و در ادامه با استفاده از این اطلاعات گردآوری شده و استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم رقابت استعماری بهترین تصمیم را برای استخراج حجم جزئیات مورد نیاز اخذ کند.

در نمونه آزمایشی آخر از تصویر هوایی رقومی شهر انزلی در شمال ایران استفاده شد (شکل ۹-الف). به دلیل استفاده از روش بهینه‌سازی در این مقاله، و برای اینکه بتوان ارزیابی جامعی از عملکرد روش پیشنهادی داشت، در این بخش از روش‌های تشخیص لبه الگوریتم مورچگان [۲۳] نیز برای ارزیابی نتایج استفاده گردید. در حقیقت در نمونه آزمایشی نخست روش پیشنهادی با الگوریتم‌های مطرح تشخیص لبه مقایسه و مورد ارزیابی قرار داده شد، در ادامه به‌منظور انجام مقایسه همه جانبه روش ارائه شده سعی شد با دو روش‌های آنتروپی نیز مورد مقایسه قرار گیرد. در این مرحله سعی شد از یک روش بهینه‌سازی ابتکاری و البته جدید نیز مورد مقایسه قرار گیرد. در این الگوریتم از روش بهینه‌سازی مورچه‌ها جهت بهبود روش استفاده شده است (کد مقاله در [۲۴] موجود است).

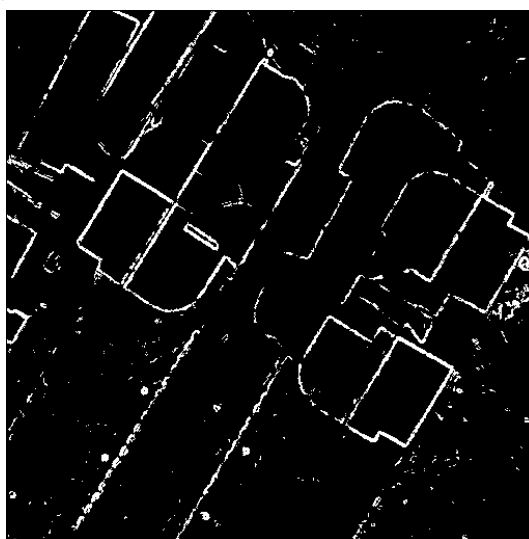
روش تشخیص لبه پیشنهادی در مقایسه با روش بهینه‌سازی مورچگان عوارض شاخص تصویری را به خوبی شناسایی و همچنین پیوستگی مرزهای آن‌ها را حفظ کرده است (شکل ۹، ب و ن). روش بهینه‌سازی حدود آستانه با آنتروپی تسالیس توانسته عوارض و جزئیات تصویری را استخراج نماید، اما در استخراج برخی از عوارض تصویری نتوانسته به خوبی عمل نماید (بیضی‌های ۱ و ۲ در شکل ۹-ج)، همچنین در این روش در عین استخراج مرز عوارض به نویز حساس بوده به نحوی که در برخی از نواحی کلاً تغییرات روشنایی شبه نویز را لبه تشخیص داده است که در (شکل ۹-ج) با بیضی‌های ۳ و ۴ مشخص شده‌اند. روش آنتروپی سینگ صرفاً برخی عوارض شاخص را شناسایی نمود و در شناسایی سایر لبه‌های تصویری ناکارآمد عمل نموده است (شکل ۹-د).



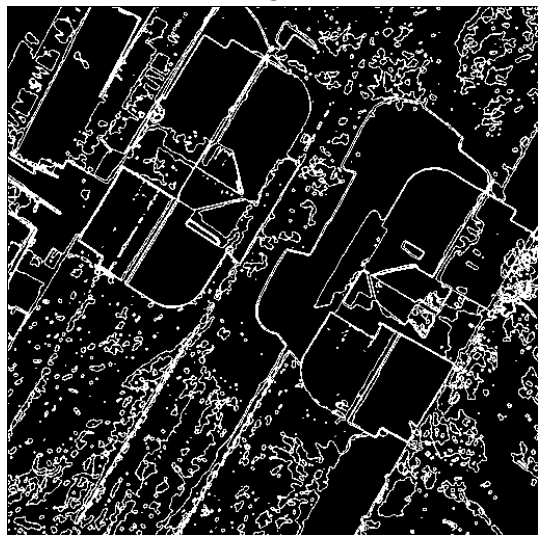
(الف)



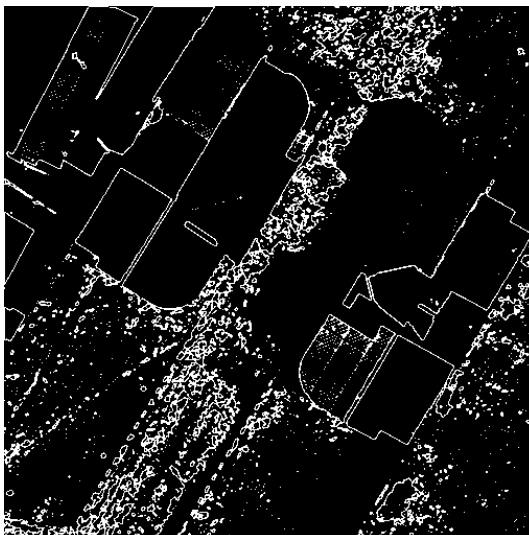
(ب)



(ج)



(د)



(ه)

شکل ۹- (الف) تصویر اصلی، (ب) روش بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها برای تشخیص لبه، (ج) روش بهینه‌سازی حدود آستانه توسط آنتروپی تسالیس، (د) روش آنتروپی سینگ، (ه) روش تشخیص لبه پیشنهادی

۵- نتیجه گیری

ذکر شد این روش قابلیت افزایش و یا کاهش تعداد حدود آستانه را دارا می باشد و از آنجایی که یکی از قابلیت های اصلی این روش حفظ پیوستگی لبه های استخراج شده می باشد، می تواند در کاربردهای تفسیر اتوماتیک تصاویر مورد بهره برداری قرار گیرد زیرا در کارهای تفسیری یکی از مراحل مهم استخراج الگوها و نحوه تغییرات درجات خاکستری مناطق مختلف تصویر است تا بر اساس آن بتوان به تفسیر و آنالیز مناطق مختلف تصویر پرداخت.

هدف این تحقیق طراحی روشی برای تشخیص لبه های تصویر در سطوح مختلف و با توجه به سطح انتظار و زمینه کاری در کاربردهای مختلف سنجش از دور می باشد، ضمن اینکه بتواند تمامی خصوصیات یک سیستم تشخیص لبه معمول مورد استفاده در کاربردهای مختلف را نیز در سطح خوبی برآورده سازد. این سیستم توانسته لبه های موجود در تصویر را در سطوح مختلف و به شکل پیوسته و کاملاً اتوماتیک استخراج کند. همان طوری که

مراجع

- [1] M. Gudmundsson, E. A. El-Kwae, and M. R. Kabuka, "Edge detection in medical images using a genetic algorithm," Medical Imaging, IEEE Transactions on, vol. 17, pp. 469-474, 1998.
- [2] A. El-Zaart, "A Novel Method for Edge Detection Using 2 Dimensional Gamma Distribution," Journal of Computer Science, vol. 6, pp. 199-204, 2010.
- [3] R. Biswas and J. Sil, "An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets," Procedia Technology, vol. 4, pp. 820-824, 2012.
- [4] Q. He and Z. Zhang, "A new edge detection algorithm for image corrupted by White-Gaussian noise," AEU-International Journal of Electronics and Communications, vol. 61, pp. 546-550, 2007.
- [5] T. Lindeberg, "Edge detection and ridge detection with automatic scale selection," International Journal of Computer Vision, vol. 30, pp. 117-156, 1998.
- [6] M. Galun, R. Basri, and A. Brandt, "Multiscale edge detection and fiber enhancement using differences of oriented means," 2007, pp. 1-8.
- [7] H. Li, X. Liao, C. Li, H. Huang, and C. Li, "Edge detection of noisy images based on cellular neural networks," Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, vol. 16, pp. 3746-3759, 2011.
- [8] A. Rezaee, "Extracting edge of images with ant colony," JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING-BRATISLAVA-, vol. 59, p. 57, 2008.
- [9] A. Baştürk and E. Günay, "Efficient edge detection in digital images using a cellular neural network optimized by differential evolution algorithm," Expert Systems with Applications, vol. 36, pp. 2645-2650, 2009.
- [10] B. Singh and A. P. Singh, "Edge Detection in Gray Level Images based on the Shannon Entropy," Journal of Computer Science vol. 4, pp. 186-191, 2008.
- [11] M. A. El-Sayed, "A new algorithm based entropic threshold for edge detection in images," IJCSI (International Journal of Computer Science), vol. 8, September 2011 2011.
- [12] E. Atashpaz-Gargari and C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," in Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on, 2007, pp. 4661-4667.
- [13] M. R. Azizkhani, A. Kiani, H. Ebadi, M. Mokhtarzadeh, and M. Kabolizadeh, "Optimization of K-means algorithm for hight resolution image segmentetion using Imperialist Comprtitive Algorithm," presented at the 2nd International conference on Sensor and Models in Photogrammetry and REmote sensing (SMPR), 2013.
- [14] wikipedia. (March 2014). [http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy_\(information_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy_(information_theory)).

- [15] F. Luthon, M. Lievin, and F. Faux, "On the use of entropy power for threshold selection," *Signal Processing*, vol. 84, pp. 1789-1804, 2004.
- [16] C. E. Shannon, W. Weaver, R. E. Blahut, and B. Hajek, *The mathematical theory of communication* vol. 117: University of Illinois press Urbana, 1949.
- [17] A. P. S. Pharwaha and B. Singh, "Shannon and non-Shannon measures of entropy for statistical texture feature extraction in digitized mammograms," 2009.
- [18] A. Kiani, M. Darbandi, and M. Sahebi, "Noise reduction in multi-spectral satellite images using the Shannon entropy," presented at the ICMSI 2012, 2012.
- [19] P. A. Khaire and N. V. Thakur, "A Fuzzy Set Approach for Edge Detection," *International Journal of Image Processing (IJIP)*, vol. 6, p. 403, 2012.
- [20] D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal, and J. Malik, "A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics," in *Computer Vision, 2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on*, 2001, pp. 416-423.
- [21] Q. Huynh-Thu and M. Ghanbari, "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment," *Electronics letters*, vol. 44, pp. 800-801, 2008.
- [22] <http://www.mathworks.com/help/wavelet/ref/measerr.html>.
- [23] J. Tian, W. Yu, and S. Xie, "An ant colony optimization algorithm for image edge detection," in *Evolutionary Computation, 2008. CEC 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE Congress on*, 2008, pp. 751-756.
- [24] C. Nath. (2009). http://m2matlabdb.ma.tum.de/download.jsp?MC_ID=12&SC_ID=18&MP_ID=542.