



سنجش از دور
و

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol. ۵, No. ۴, Winter ۲۰۱۴

۸۹-۱۰۴



به کارگیری آنتروپی در تشخیص لبه تصاویر سنجش از دور با استفاده از سیستم دانش پایه و تعیین حدود آستانه منطقه‌ای

عباس کیانی^۱، محمودرضا صاحبی^{۲*}، حمید عبادی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱/۳۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹

چکیده

آشکارسازی لبه یکی از مفاهیم کاربردی در پردازش تصاویر سنجش از دور است. هدف آشکارسازی لبه، نشان‌گذاری نقاطی از تصویر است که در آنها میزان روشنایی به شدت تغییر می‌کند. تغییرات شدید خصوصیات تصویر معمولاً نماینده رویدادهای مهم و تغییر در خصوصیات محیط هستند و در کاربردهای مختلفی نظیر بخش‌بندی تصاویر ماهواره‌ای کاربرد دارند. بسیاری از روش‌های کلاسیک تشخیص لبه بر مشتق پیکسل‌های تصویر اصلی متکی هستند، مانند اپراتورهای گرادیان، لاپلاسیان و لاپلاسیان از اپراتور گاوسی. در تصاویر سنجش از دوری به علت بالابودن میزان تغییرات، اپراتورهای کشف با ضعف در تشخیص صحیح محدوده عوارض و حفظ پیوستگی و انسجام محدوده آنها همراه‌اند. در پژوهش حاضر به منظور حل این مشکلات، سیستمی دانش پایه برای کشف لبه براساس خصوصیات تصاویر سنجش از دوری ارائه می‌شود. در این روش ابتدا به صورت منطقه‌ای و با استفاده از سیستم دانش پایه، حدود آستانه مناطق مختلف تصویر تعیین می‌شود و سپس با استفاده از شانون آنتروپی مرز بین این مناطق استخراج می‌شود. این کار موجب حفظ پیوستگی لبه‌های کشف شده خواهد شد. از مزایای این روش بررسی ویژگی‌های تصویر به شکل جزئی و کلی به صورت همزمان است. این سیستم قابلیت انعطاف با نوع نیاز و خواست کاربر را برحسب میزان جزئیات و کاربرد مورد نظر دارد. در نهایت به منظور ارزیابی روش، نتایج به دست آمده با الگوریتم‌های استاندارد سوبل، پرویت و LOG مقایسه شدند و نشان داده شد که این روش به شکل کارآمدی قادر به شناسایی لبه‌های تصاویر مختلف است.

کلیدواژه‌ها: تشخیص لبه، شانون آنتروپی، حد آستانه، سیستم دانش پایه، تصاویر هوایی / ماهواره‌ای.

* نویسنده مکاتبه کننده: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع خیابان میرداماد، تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۸۸۴۴۵

۱- مقدمه

تصویر فراهم می‌آورند. مشتق دوم نیز با استفاده از لاپلاسیان به دست می‌آید. مشتق دوم برای قسمتی از گذر که در طرف تیره لبه است مثبت، برای قسمت دیگر گذر که در طرف روشن لبه است منفی، و در نواحی با سطح خاکستری ثابت، صفر است. آشکارساز لاپلاسیان به این دسته تعلق دارد (Schalkoff, Wiley ۲۰۰۱ et al. ۲۰۱۲; Biswas and Sil).

اپراتورهای برپایه گرادیان در تشخیص صحیح گوشه‌های تصویری ضعف دارند، زیرا گرادیان یک‌بعدی در گوشه‌ها معمولاً کوچک است. روش تشخیص لبه لاپلاسیان از فیلتر خطی دوبعدی فضایی استفاده می‌کند تا مشتق مرتبه دوم از مقادیر پیکسل تصویر را برای تولید لبه‌های تیز^۵ تقریب بزند. به‌چند دلیل از لاپلاسیان در شکل اصلی آن برای تشخیص لبه استفاده نمی‌شود، از جمله اینکه به‌عنوان مشتق مرتبه دوم، معمولاً به‌شدت به نویز حساس است. این عملگرها چون بر مشتقات اول و دوم تصویر یا روش‌های ترکیبی استوارند، در مواجهه با تصاویر حاوی نویز یا تصاویر نرم‌شده عملکرد واقعی‌شان را از دست می‌دهند، چون نقاط حاوی نویز در تصویر، در مشتق تصویر - به‌ویژه مشتق دوم - مقادیر بالایی را به خود می‌گیرند (Gonzalez and Woods, ۲۰۰۸). بدین ترتیب، قابلیت استخراج لبه‌های قوی، پیوسته و با موقعیت مکانی صحیح در اینگونه تصاویر از بین می‌رود و نویزهای تصویری به‌اشتباه به‌عنوان لبه نمایان می‌گردند. به همین دلیل لاپلاسیان با نرم‌کننده ترکیب شده است (LOG). LOG تصاویر فیلترشده نیز مشکل از دست

لبه به دلیل استفاده گسترده آن در تکنیک‌های مختلف از جمله خوشه‌بندی تصویر، تشخیص شیء، تجزیه و تحلیل استریو، تفسیر تصویر، و استخراج ویژگی، از روش‌های پرکاربرد در پردازش تصویر و سنجش از راه دور است (Liang and Lin, Chan et al., ۲۰۰۹). لبه مکان تغییرات ناگهانی در سطح تصویر است و می‌توان آن را به مرز بین دو منطقه از هم جداشده از طریق دو خاصیت نسبتاً متمایز سطح خاکستری تعریف کرد (Gudmundsson, El-Kwae et al., ۱۹۹۸). هرچند که آشکارساز لبه در صورت کارآمدی تا حد زیادی از حجم اطلاعات می‌کاهد، اما بازهم بسیاری از ویژگی‌های مهم تصویر را نگه می‌دارد (El-Zaart, ۲۰۱۰). بسیاری از روش‌های کلاسیک برای تشخیص لبه بر مشتق پیکسل‌های تصویر اصلی استوارند. اپراتورهای کلاسیک تشخیص لبه مانند رابرتز^۱، سوبل^۲، پرویت^۳ و LOG^۴ اپراتورهایی هستند که برپایه محاسبه مشتقات جزئی در یک همسایگی به شناسایی لبه‌های تصویر می‌پردازند که در حالت کلی می‌توان آنها را به دو کلاس عمده عملگرهای مشتق اول و دوم طبقه‌بندی کرد (Haralick, Sternberg et al., ۱۹۸۷; He and Zhang ۲۰۰۵; Min and Shuyuan ۲۰۰۷).

اندازه مشتق اول تصویر در هر نقطه برابر بزرگی گرادیان است. در روش‌های کلاسیک آشکارسازی لبه، بیشینه‌های محلی گرادیان تصویر به‌عنوان نماینده مناسب برای لبه در نظر گرفته می‌شوند. آشکارساز روبرت، سوبل و پرویت به این دسته تعلق دارند. روی تصویر مشتق اول، مقطع سطح خاکستری در لبه جلویی گذر، مثبت و در لبه عقبی آن منفی و در نواحی با سطح خاکستری ثابت صفر است؛ بنابراین از بزرگی مشتق اول می‌توان برای تعیین اینکه آیا پیکسل روی لبه قرار دارد یا نه استفاده کرد. مشتق دوم در نقطه وسطی هر گذر سطح خاکستری، یک عبور از صفر دارد. عبور از صفرها راهی قوی برای تعیین محل لبه‌های

۱. Robertz
۲. Sobel
۳. Perwitts
۴. Laplacian of Gaussian
۵. sharp
۶. Smooth

توزیع درجات خاکستری مناطق مختلف تصویر، ابتدا می‌توان تصویر را به بخش‌های مختلفی تقسیم و سپس لبه‌ها را با تشخیص تمام پیکسل‌ها در مرزهای بین مناطق همگن مختلف استخراج کرد. چون در این روش برای شناسایی لبه‌های عوارض تصویری ابتدا مناطق همگن تفکیک می‌شوند و سپس عملیات استخراج مرز این نواحی به روش آنتروپی انجام می‌گیرد، لبه‌های شناسایی شده دارای پیوستگی روی مرز عوارض هستند. در روش آنتروپی از روش تحلیل ابعاد کرنل، و هم‌وزنی تصویر در ناحیه‌ای کوچک، و با تکیه بر پیوسته‌بودن لبه در این کرنل بهره گرفته شده است. در تحلیل حاضر با توجه به مطالعات قبلی صورت گرفته (Kiani et al., ۲۰۱۲) تفکیک‌پذیری مناسب خطوط لبه از نویز در روش آنتروپی استفاده شده، رعایت شده است.

البته بایستی توجه داشت که نحوه بخش‌بندی تصویر تأثیر زیادی در کشف لبه‌های مناسب دارد، و از آنجاکه برای بخش‌بندی تصویر از حدود آستانه استفاده می‌شود، بدیهی است که اگر انتخاب این حدود آستانه با دقت و با توجه به خصوصیات هر منطقه از تصویر انجام شود، نتیجه مطلوب‌تری حاصل خواهد شد. هدف تحقیق حاضر ارائه روشی جدید برای تعیین حدود آستانه با بهره‌گیری از تمام خصوصیات تصویر به صورت منطقه‌ای و جداگانه است، که نتیجه آن به دست آوردن تعداد زیادی حدود آستانه از بخش‌های مختلف تصویر است. برای انتخاب چند حد آستانه مناسب از میان حجم زیاد اطلاعات، روشی دانش‌پایه با تکیه بر مفاهیم آماری می‌تواند بهترین حدود آستانه انتخابی را به دست دهد. در روش تشخیص لبه پیشنهادی، از سیستم دانش‌پایه استفاده شده است زیرا این سیستم‌ها قابلیت به‌کارگیری دانش افراد خبره را به صورت قوانینی در روند انجام پروژه‌های خودکار دارند؛ که مزیت آن سازگار شدن روش تشخیص لبه پیشنهادی با توجه به نوع کاربرد مورد نظر است.

دادن لبه دارد، چون ممکن است لبه‌ها در تصویر اصلی، همانند لبه‌های تصویر فیلترشده نباشند. این کار کنتراست لبه‌ها را کاهش می‌دهد و موجب دشواری در مکان‌یابی برخی از لبه‌های ضعیف تصویر خواهد شد (Galun, Basri et al., ۲۰۰۷). ضعف دیگر این الگوریتم‌های تشخیص لبه، بریده‌بودن مرز اشیاست، که به دلیل کیفیت پایین تصویر یا ضعف روشن تشخیص لبه است. افزون بر روش‌های ذکر شده، روش‌های جدیدی نیز به منظور تشخیص لبه تصاویر استفاده شده‌اند؛ از جمله روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی، الگوریتم کلونی مورچه‌ها و روش‌های فازی (Rezaee Nezamabadi-pour, Saryazdi et al. ۲۰۰۶; Li, Liao et al. ۲۰۰۸; Baştürk and Günay ۲۰۰۹; Verma, Hanmandlu et al. ۲۰۱۱) که هر یک به نحوی سعی در برطرف کردن بخشی از مشکلات نام برده شده براساس کاربرد مورد نظر خود داشتند. در حیطه سنجش از دور به علت ویژگی‌های تصویری آن، به برخی از مشکلات نام برده شده بیشتر توجه شده است. تصاویر سنجش از دوری از عکس‌های معمولی متمایزند، از جمله اینکه در این تصاویر به علت بالابودن نسبت سیگنال به نویز و وجود انواع عوارض مانند ساختمان‌ها، راه‌ها، و پوشش گیاهی، عملیات شناسایی و کشف لبه‌های تصویر پیچیدگی‌های بیشتری در مقایسه با تصاویر عادی دارد. در این موارد، مسئله نویز تصویر و حفظ پیوستگی در شناسایی لبه‌های تصویری بیشتر مورد توجه است. بدین منظور، مطالعه حاضر پیشنهاد رویکرد جدیدی را براساس تئوری اطلاعات و بهره‌گیری از سیستم دانش‌پایه ارائه می‌کند.

آنتروپی، اندازه‌گیری تصادفی توزیع شدت است. ارزش آنتروپی در مناطقی از تصاویر سنجش از دوری که شامل عوارض هموزن مانند سطح آب یا خاک هستند، پایین است اما در مناطقی که ناحیه شهری را پوشش می‌دهند و انواع عوارض مانند راه‌ها و بلوک‌های ساختمانی وجود دارند، تنوع سطح خاکستری پیکسل‌ها بالاست. با استفاده از این ویژگی و با توجه به نحوه

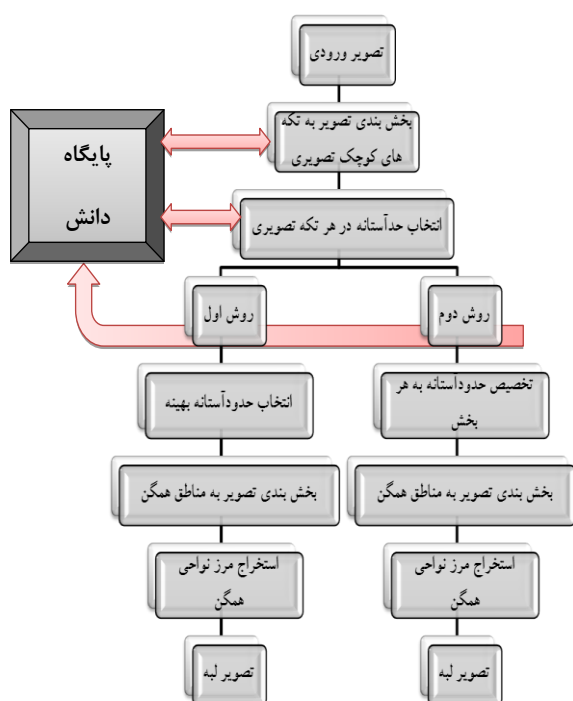
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات داده‌های استفاده‌شده

تصاویر تست استفاده‌شده در این پژوهش شامل تصویر «یک متن نوشته‌شده» با فرمت JPG (شکل ۱-الف)، «باندها ۱» تصویر ماهواره‌ای گرفته شده با سنجنده آیکنوس در سال ۲۰۰۱ و با حد تفکیک مکانی ۴ متر متعلق به بخشی از شهر شیراز (شکل ۱-ب) و تصویر تست سوم، عکس هوایی اسکن‌شده است (شکل ۱-ج). به منظور بررسی عملکرد روش، تصاویر تست از طریق اپراتورهای تشخیص لبه پرویت، سوبل و LOG نیز بررسی شدند.

شکل ۱. داده‌های استفاده‌شده (الف) عکس معمولی، (ب) تصویر ماهواره‌ای و موقعیت جغرافیایی منطقه انتخاب‌شده، (ج) عکس هوایی اسکن‌شده

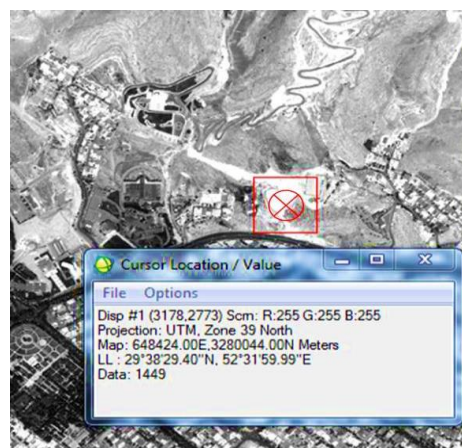
در شکل ۲ دید کلی از کلیه مراحل کار، به صورت فلوجارت روش پیشنهادی نمایش داده شده است. همان‌طور که اشاره شد، در این روش برای استخراج لبه از شانون آنتروپی و سیستم دانش پایه بهره گرفته شده است. در ادامه ابتدا برخی از مفاهیم مرتبط معرفی می‌شوند و سپس طرح پیشنهادی مطرح خواهد شد.



شکل ۲. فلوجارت روش پیشنهادی

Edge detection

الف



ب



ج

۲-۲- آنتروپی

فیزیکدان آلمانی، رودلف کلاسیوس^۱، مفهوم آنتروپی را در سال ۱۸۴۸ معرفی کرد. در سال ۱۹۴۸ کلود شانون^۲ نظریه مهمش را با عنوان «نظریه ریاضی ارتباطات» در مقاله‌ای با همین نام عرضه کرد. در این

۱. Rudolf Clausius

۲. Claude Shannon

تعیین می‌شود. سپس با ترکیب این حدود آستانه به روش‌های مختلف، تصویر به بخش‌های همگن تقسیم می‌شود و در نهایت با استخراج مرزهای بین این بخش‌ها، لبه‌های تصویر شناسایی می‌گردد.

۲-۴-۱- روش پیشنهادی برای انتخاب حدود آستانه منطقه‌ای

از حد آستانه برای تبدیل مجموعه داده‌های حاوی مقادیری مختلف به مجموعه داده‌های جدید با مقادیر مشخص استفاده می‌شود. هنگامی که مقدار آستانه به داده‌های ورودی اعمال می‌شود، مقادیر ورودی که پایین‌تر از آن حد قرار دارند با یکی از مقدارهای خروجی، و مقادیر ورودی که بالاتر از حد آستانه قرار دارند با مقدار خروجی دیگر جایگزین می‌شوند، بنابراین هر حد آستانه پیکسل‌ها را به دو دسته طبقه‌بندی می‌کند. در پژوهش حاضر، به صورت جداگانه در هر تکه تصویری تعداد حد آستانه تعیین شد. به عنوان نمونه با سه حد آستانه، داده‌های فضای ورودی در هر تکه تصویری به ۴ زیرفضا در داده‌های خروجی تقسیم می‌شوند.

در تصاویر سنجش از دوری، مقادیر درجات خاکستری تصویر (f) برحسب قدرت تفکیک سنجنده و باند تصویربرداری شامل مقادیر ۰ تا ۲ⁿ هستند - برای مثال در تصاویر ۸ بیتی این مجموعه حاوی مقادیر [۰-۲۵۵] است. این حدود آستانه را می‌توان به صورت دستی از روی هیستوگرام تصویر و با توجه به نحوه تغییر درجات روشنایی تصویر به صورت تقریبی تعیین کرد. از آنجاکه هدف این تحقیق طراحی روشی خودکار است، در روش پیشنهادی برای حالت با i حد آستانه ابتدا i مقدار اولیه برای تصویر مانند $T_0, T_1, \dots, T_{i-1}, T_i$ در نظر گرفته شد، و با این حدود آستانه مقادیر فضای ورودی (مقادیر f) به $i+1$ زیرفضا

برده شد (Pomykalski et al., ۱۹۹۹). شبکه‌های معنایی، عوارض و ارتباط بین عوارض را به صورت ساختار گراف نشان می‌دهند. در سیستم فرم، عوارض مستقر در نودها به وسیله مجموعه‌ای از خصوصیات^۱، اسلات^۱ و ارزش آن خصوصیات تعریف می‌شود. از روش قوانین تولید به خاطر اینکه فهم، خواندن و نگهداری آن برای افراد خیره ساده‌تر است، بیشتر استفاده می‌شود. این عمومیت به حدی است که سیستم‌های دانش پایه به سبب استفاده از این روش نمایش دانش، به سیستم‌های قانون‌مینا^۲ شهرت یافته‌اند. پایگاه دانش، محلی است که قوانین و دانش خبره به صورت کدگذاری شده و قابل فهم برای سیستم ذخیره می‌شود. پایگاه دانش نقش مهمی در اتوماتیک‌سازی روند انجام پروژه و قابلیت توسعه آن دارد و از مزایای آن قابلیت تکامل و افزودن قوانین جدید برای بهبود روش یا کاربردی کردن روش در موضوعات خاص مطابق با نتیجه مورد انتظار است. در مقاله حاضر مجموعه‌ای از قوانین در قالب پایگاه دانش گردآوری شده و با هدف اتوماسیون در روند انتخاب حدود آستانه بهینه از آنها استفاده شده است. این قوانین با توجه به هدف هر زیربخش در روش و با تأکید بر هدف نهایی پروژه طراحی می‌شوند تا سازگاری الگوریتم حفظ شود. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی معرفی و تعدادی از قوانین استفاده شده ارائه خواهند شد.

۲-۴-۲ روش پیشنهادی

تصاویر ماهواره‌ای در برخی مواقع دارای ابعاد بزرگ و شامل انواع عوارض طبیعی و ساخت دست بشر هستند. در این پژوهش سعی شده است تا از خصوصیات کلیه مناطق تصویری استفاده شود، بدین منظور مطابق شکل ۲، تصویر به تکه‌های^۱ تصویری تقسیم شده و برای هر تکه کوچک تصویری، حدود آستانه به طور جداگانه

۲. patch

۱. Attributes

دوری عملی نخواهد بود. اما روش پیشنهادی موجب افزایش جدی در سرعت اجرای برنامه خواهد شد، به طوری که می‌توان تصاویر سنجش از دوری با حجم بالای اطلاعات را به‌سهولت اجرا کرد. مقادیر اولیه برای حدود آستانه را به‌صورت تصادفی و تقریبی نیز می‌توان انتخاب کرد، اما این کار سبب افزایش تعداد تکرارها برای رسیدن به حد آستانه نهایی می‌شود، ولی با انتخاب این حد آستانه‌های اولیه از رابطه (۸) معمولاً با یک یا دو تکرار به حد آستانه نهایی مورد نظر خواهیم رسید. رابطه (۸) برای i حد آستانه و برای هر تکه تصویری به‌صورت جداگانه اعمال می‌شود تا در نهایت حدود آستانه بهینه از همه تکه‌های تصویری استخراج گردد.

۲-۴-۲- تقسیم تصویری به نواحی همگن

همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد نحوه استخراج حدود آستانه و تشکیل تصویر بخش‌بندی‌شده تأثیر مهمی بر لبه استخراج‌شده نهایی دارد، در این پژوهش کوشش شده است تا به دو شیوه مختلف با استفاده از حدود آستانه مناسب از میان همه حدود آستانه‌های استخراج‌شده، تصویر به مناطق مختلف همگن بخش‌بندی شود، که هر روش خصوصیات و ویژگی‌های مختص به خود را دارد.

الف) روش نخست تقسیم تصویری به نواحی همگن

در روش نخست، پس از استخراج همه حدود آستانه‌های تصویری با استفاده از قوانین تعریف‌شده در پایگاه قواعد و با تکیه بر اصول آماری، این حدود با یکدیگر مقایسه می‌شوند. اگر در مرحله اولیه، تصویر به $m \times n$ تکه کوچک تصویری تقسیم شده باشد، ماتریس حدود آستانه دارای $i \times m \times n$ مقدار خواهد بود (i برابر تعداد حدود آستانه در هر تکه تصویری است). بدین ترتیب، اطلاعات زیادی از نحوه تغییرات مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌های مناطق مختلف تصویری به‌دست می‌آید که اگر از آنها صحیح استفاده شود، می‌توان به

تقسیم گردید. مقادیر کوچک‌تر از T_1 بخش R_1 و مقادیر مابین T_1 و T_2 یک بخش دیگر به نام R_2 را تشکیل می‌دهند و به همین ترتیب تا مقادیر بزرگ‌تر از T_i که بخش R_{i+1} را ایجاد می‌کند، ادامه می‌یابد. برای تعیین این مقادیر اولیه، می‌توان ابتدا کمینه و بیشینه درجات خاکستری تصویر (Z_1, Z_2) را انتخاب کرد و سپس به‌طریق زیر مقادیر اولیه حدود آستانه را تعیین کرد:

$$\text{رابطه (۶)} \quad Z_1 = \min(f) \ \& \ Z_2 = \max(f)$$

$$\text{رابطه (۷)} \quad Z_3 = (Z_2 - Z_1) / (i + 1)$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad T_{j_0} = Z_1 + j \times Z_3 \quad j = 1 : i$$

سپس با استفاده از حدود آستانه اولیه، تمامی مقادیر درجات روشنایی تصویر به $i+1$ زیرفضا تقسیم شد و در هر زیرفضا میانگین درجات خاکستری با μ نشان داده شد. برای به‌دست آوردن حدود آستانه جدید می‌توان از رابطه (۹) استفاده کرد.

$$\text{رابطه (۹)} \quad T_{j_{\text{new}}} = (\mu_j + \mu(j+1)) / 2 \quad j = 1 : i$$

که در آن $T_{j_{\text{new}}}$ ، زامین حد آستانه جدید؛ μ_j نیز میانگین مقادیر درجه‌های خاکستری زیرفضای j ام (بخش R_j) است. در ادامه با استفاده از حدود آستانه جدید همین کار ادامه می‌یابد و کلیه مراحل قبل تکرار می‌شود. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که شرط پایان تکرار محقق شود. این شرط در پایگاه دانش سیستم پژوهش حاضر به‌صورت رابطه (۱۰) تعریف شده است، که در آن i برابر تعداد حدود آستانه انتخابی است.

$$\text{رابطه (۱۰)} \quad \text{abs}(T_{i_{\text{New}}} - T_{i_{\text{old}}}) < 1$$

چون مقادیر درجه خاکستری پیکسل‌ها اعداد صحیح مثبت هستند، هنگامی که اختلاف دو حد آستانه جدید و قدیم (متوالی) از یک کمتر شود شرط پایان تکرار محقق می‌شود و دیگر نیازی به ادامه تکرار تا رسیدن به دو مقدار T متوالی برابر نیست. تساوی دو مقدار حد آستانه متوالی حتی برای تصاویر ساده و کم‌حجم استاندارد که در پروژه‌های معمول پردازش تصاویر از آنها استفاده می‌شود، نیاز به زمان زیادی برای اجرا دارد، و به‌کارگیری آن برای تصاویر سنجش از

رابطه (۱۲)

$$V = [\max(\text{Threshold}) - \min(\text{Threshold})] / \\ q \quad i < q < 2 \times i$$

در رابطه (۱۲) از حدود آستانه برای تعیین مقدار V استفاده شده است. از قدرت تفکیک رادیومتریکی سنجنده نیز می‌توان استفاده کرد که در این صورت این قانون چنین تعریف می‌شود:

$$\frac{N}{2 \times i} < V < \frac{N}{i} \quad N = 2^n - 1 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

برای انتخاب حدود آستانه بیشتر بایستی قوانین دیگری وضع کرد و در تمامی مراحل باید وابستگی‌های بین قوانین را در نظر گرفت. همه این شروط بایستی به صورت قوانین در پایگاه دانش تعریف شوند. این نحوه انتخاب حدود آستانه سبب می‌شود که حدود آستانه هم مقادیر مناسبی داشته باشند و هم توزیع‌شان در محدوده تغییرات درجات خاکستری تصویر مناسب باشد (این موضوع در شکل ۳ به خوبی نشان داده شده است). هیستوگرام تصویر بررسی شده در شکل ۳-ب نشان داده شده است، که در آن محور افقی نشان‌دهنده محدوده تغییرات روشنایی تصویر است و محور عمودی فراوانی پیکسل‌های هر سطح روشنایی تصویر را نشان می‌دهد. ۵ حد آستانه انتخاب شده با این روش از میان تمامی حدود آستانه موجود و با توزیع مناسب در محدوده تغییرات رادیومتریکی نیز در تصویر نشان داده شده است. پس از استخراج حدود آستانه‌های تمامی مناطق تصویری، می‌توان هیستوگرام این داده‌ها را تحت یک بازه درجات خاکستری ترسیم کرد (شکل ۳-ج). در شکل ۳-ج محور افقی نمودار، نشان‌دهنده محدوده تغییرات رادیومتریکی تصویر است، که تمامی حدود آستانه استخراج شده از مناطق مختلف تصویری روی آن نشان داده شده‌اند، و محور عمودی نشان‌دهنده فراوانی هریک از آنهاست. با استفاده از مقادیر حد آستانه انتخابی از این روش می‌توان تصویر را به مناطق مختلف همگن بخش‌بندی کرد. از مزایای روش مذکور این است که برحسب اینکه تا چه حدی به جزئیات تصویر نیاز است، می‌توان تعداد این حدود آستانه را

کشف لبه مطلوب راه یافت. بدین منظور می‌توان از پردازش‌های آماری بهره گرفت. یکی از این روش‌ها استفاده از فراوانی داده‌ها تحت بازه‌ای از درجات خاکستری است، که با توجه به رزولوشن رادیومتریکی تصویر محاسبه خواهد شد.

برای توضیح این روش، شکل استاندارد از تولباکس پردازش تصویر نرم‌افزار متلب به نام Concordorthophoto با فرمت Png به صورت موردی بررسی شده است (شکل ۳-الف). پایگاه قواعد پس از وارد شدن تصویر به سیستم، با توجه به ابعاد (۲۹۵۶ × ۲۲۱۵ پیکسل) و ویژگی‌های تصویر ورودی، آن را به ۲۷۰۰ تکه تصویری تقسیم می‌کند. برای مثال، برای حالت باسه حد آستانه در هر تکه تصویری (۳=i)، تعداد ۸۱۰۰ حد آستانه برای کل تصویر حاصل خواهد شد، و حجم وسیعی از اطلاعات را به دست می‌دهند که می‌توانند منجر به کشف لبه مطلوب و دقیقی از کلیه نقاط تصویر شوند. در پژوهش حاضر برای تعیین حدود آستانه بدین ترتیب عمل شده است که ابتدا الگوریتم با استفاده از قوانین موجود در پایگاه دانش، حد آستانه‌ای را که دارای بیشترین فراوانی است به عنوان حد آستانه اول انتخاب می‌کند و برای انتخاب حد آستانه دوم نیز قوانینی وضع می‌شود. برای نمونه اینکه نخست، این حد آستانه در نمودار فراوانی رسم شده در جایگاه بالایی قرار داشته باشد و دوم، با حد آستانه اول دارای اختلاف معقولی باشد تا به توزیع مناسبی در انتخاب حدود آستانه در محدوده تغییرات رادیومتریکی تصویر دست یابیم. برای وارد کردن این شروط می‌توان از قوانین زیر بهره گرفت.

$$\text{abs}(\text{Threshold}_1 - \text{Threshold}_2) > V \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

V نشان دهنده اختلاف است و سیستم می‌تواند این مقدار را با توجه به خصوصیات تصویری یا برحسب اطلاعات به دست آمده از واسط کاربر از فرد خبره (عامل انسانی) تعیین کند. به منظور تعیین خودکار این مقدار با استفاده از خصوصیات تصویری، سیستم می‌تواند از قانون زیر استفاده کند:

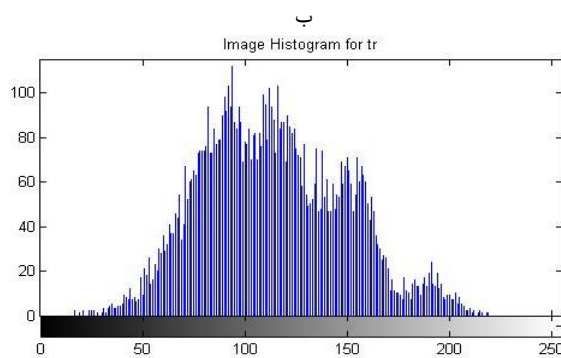
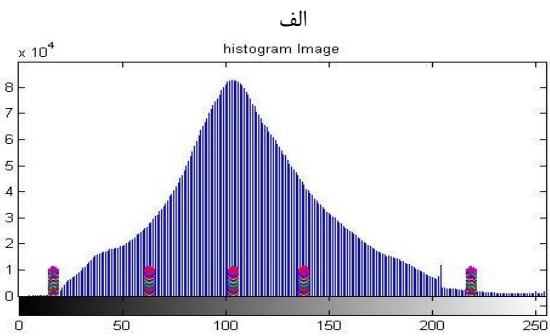
تصویر، تعدادی حدود آستانه به‌دست می‌آید که با آنها تکه‌های تصویری به مناطق مختلف همگن بخش‌بندی می‌شود. در این روش برحسب اینکه تا چه حد به جزئیات تصویر نیاز است می‌توان تعداد حدود آستانه را افزایش یا کاهش داد. در این روش حتی کوچک‌ترین تغییرات در مقادیر درجات خاکستری پیکسل‌های تصویری از نظر دور نخواهد ماند و تمامی لبه‌های موجود در تصویر به دقت استخراج خواهند شد.

۲-۴-۳- استخراج مرز نواحی همگن (تشخیص لبه)

لبه را می‌توان به‌عنوان مرز بین دو منطقه از هم جداشده به‌وسیله دو خاصیت نسبتاً متمایز سطح خاکستری تعریف کرد. عدم‌تجانس منطقه ممکن است به‌دلیل برخی عوامل از قبیل هندسه صحنه، ویژگی رادیومتریک سطح، و روشنایی باشد. لبه‌ها را می‌توان با تشخیص تمام پیکسل‌ها در مرزهای بین مناطق همگن مختلف استخراج کرد. در پژوهش حاضر با تکیه بر این دانسته‌ها کوشش شده است با استفاده از شانون آنترپوی در مناطق همگن تصویر مقدار درجات خاکستری پیکسل‌ها برابر صفر قرار گیرد و باقی پیکسل‌ها با مقدار یک جایگزین شود. نتیجه این کار تصویری باینری خواهد بود که در حقیقت همان تصویر لبه آشکارسازی شده است.

در تصاویر سنجش از دوری در مناطقی که از عوارض هموژن مانند سطح آب یا خاک گرفته شده‌اند، ارزش آنترپوی پایین است. هنگامی که سطح خاکستری همه پیکسل‌های تحت پنجره همگن باشد، احتمال پیکسل مرکزی برابر یک ($P=1$) خواهد بود، در نتیجه آنترپوی این پیکسل صفر ($H=0$) می‌شود، که در این حالت پیکسل مرکزی پیکسل لبه نیست. اما در مناطق ذوعارضه، تنوع سطح خاکستری پیکسل‌ها بالاست، در نتیجه احتمال برای پیکسل مرکزی کمتر و با توجه به خواص آنترپوی، ارزش آنترپوی برای آن پیکسل بیشتر است (Singh and Singh, ۲۰۰۸).

افزایش یا کاهش داد و بر مبنای نوع کاربرد و نوع تصویر مورداستفاده، از قوانین متفاوتی برای تعیین این حدود آستانه در پایگاه دانش استفاده کرد.



شکل ۲. الف) تصویر Concordorthophoto، ب) هیستوگرام تصویر، ج) نمودار هیستوگرام برای تمامی حدود آستانه استخراج‌شده از تصویر

ب) روش دوم تقسیم تصویر به نواحی همگن

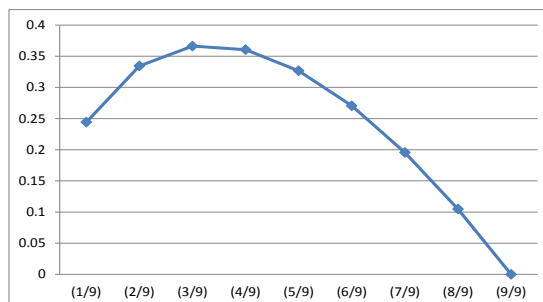
در روش دوم، در هر تکه تصویر با استفاده از حدود آستانه به‌دست‌آمده از آن به‌طور جداگانه به استخراج لبه می‌پردازیم. برای این منظور در هر تکه تصویر با توجه به چگونگی تغییرات مقادیر روشنایی پیکسل‌های

در یک محدوده قرار می‌گیرند، به‌جز در مواردی که لبه وجود داشته باشد. در طرح پیشنهادی، حد آستانه مناسبی با استفاده از روش تحلیل ابعاد کرنل، و هم‌وزنی تصویر در ناحیه‌ای کوچک، با تکیه بر پیوسته‌بودن لبه در یک کرنل 3×3 داده شده (در این پژوهش برابر $0/2441$) محاسبه شد. برای مقادیر بزرگ‌تر از این حد آستانه، اندازه تغییرات درجه خاکستری پیکسل‌ها تحت پنجره زیاد است و در این موارد می‌توان گفت که پیکسل مرکزی لبه است. بدین ترتیب با استفاده از کرنلی که در اینجا توضیح داده شد، روی تصویر باینری حرکت می‌کنیم و هر جا که مقادیر آنتروپی پیکسل مرکزی بزرگ‌تر از $0/2441$ باشد، پیکسل مرکزی، پیکسل لبه است و در باقی موارد لبه نیستند.

۳- نتایج

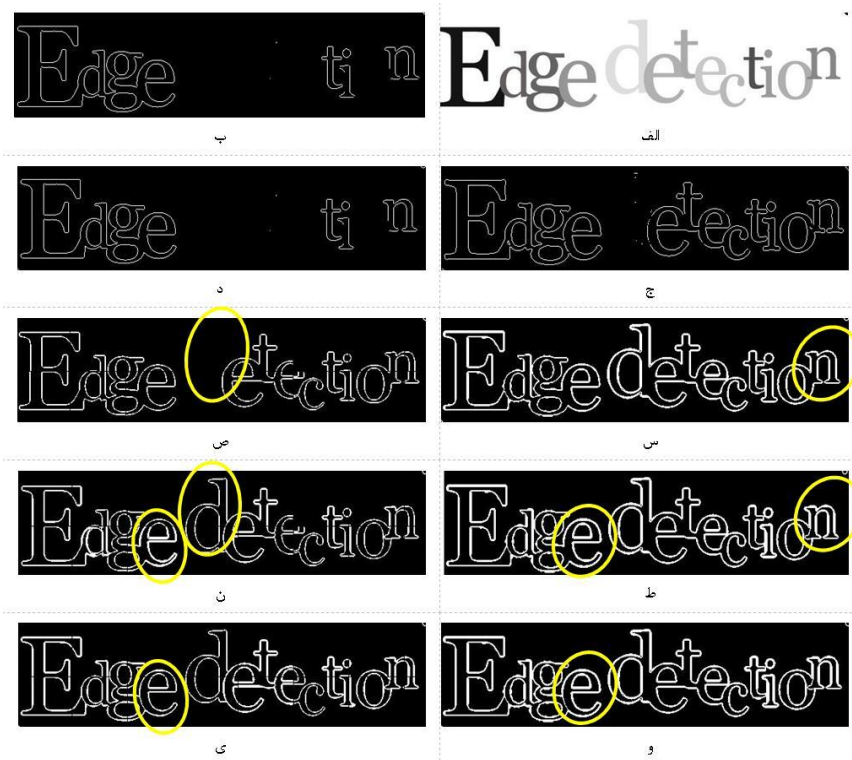
همان‌طور که در ابتدای بخش ۲ توضیح داده شد، برای ارزیابی روش به کار گرفته‌شده در پژوهش حاضر از سه تصویر تست استفاده شده است.

شکل ۴ نمودار آنتروپی - احتمال را برای کرنل 3×3 نشان می‌دهد، که در آن محور افقی نشان‌دهنده احتمال هر پیکسل از تصویر تحت اعمال کرنل و محور عمودی نشان‌دهنده آنتروپی آن پیکسل است.



شکل ۴. نمودار آنتروپی - احتمال

در طرح پیشنهادی ابتدا یک کرنل 3×3 روی تصویری که با استفاده از حدود آستانه مناسب در مرحله قبل بخش‌بندی شده بود، اعمال شد. با حرکت کرنل روی پیکسل‌های این تصویر و پیدا کردن احتمال هر پیکسل مرکزی از تصویر تحت کرنل فوق، می‌توان آنتروپی هر پیکسل مرکزی از تصویر را محاسبه کرد. در تصاویر همگن، مقادیر پیکسل‌های موجود در نواحی کوچک اغلب



به‌کارگیری آنترابی در تشخیص لبه تصاویر سنجش از دور با استفاده از سیستم دانش پایه و تعیین حدود آستانه منطقه‌ای

شکل ۵. الف) تصویر اصلی، (ب) روش پرویت، (ج) روش LOG، (د) روش سوبل، (س) روش پیشنهادی اول با ۳ حدآستانه، (ص) روش پیشنهادی دوم با ۱ حدآستانه، (ط) روش پیشنهادی اول با ۴ حدآستانه، (ن) روش پیشنهادی دوم با ۲ حدآستانه، (و) روش پیشنهادی اول با ۵ حدآستانه، (ی) روش پیشنهادی دوم با ۳ حدآستانه

در نمونه آزمایشی نخست از تصویر متن (شکل ۵-الف) و با فرمت Jpg استفاده شده که شامل تعدادی حروف متصل به هم با مقادیر روشنایی متفاوت است. به‌منظور انجام مقایسه کاملی از دو روش پیشنهادی، حالت‌های مختلف تعداد حد آستانه در هر تکه تصویر بررسی شدند و درنهایت نتایج به‌دست آمده، با اپراتورهای تشخیص لبه پرویت، سوبل و LOG مقایسه شدند.

در نمونه آزمایشی دوم تصویر ماهواره‌ای آیکنوس شهر شیراز بررسی شده است (شکل ۶-الف). در این نمونه، تصویر با روش اول و دو حد آستانه در هر تکه تصویری بررسی شده است. تا به اینجا روش پیشنهادی در این تحقیق روی عکس ساده و تصویر ماهواره‌ای آزمون شد، در ادامه برای بررسی کارایی روش در انواع تصویر، از عکس هوایی اسکن شده استفاده شده است.



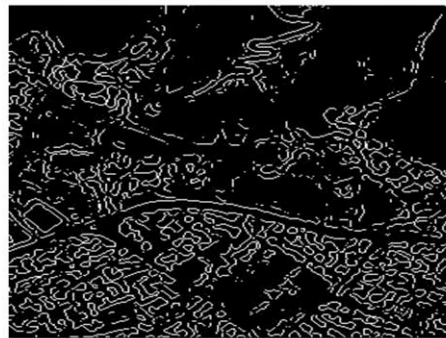
ب



الف



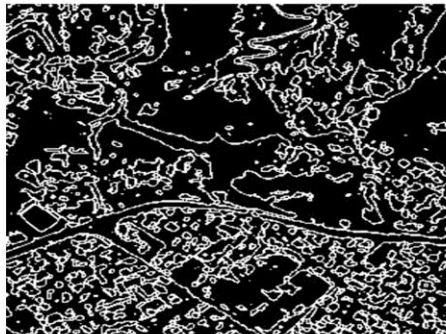
د



ج

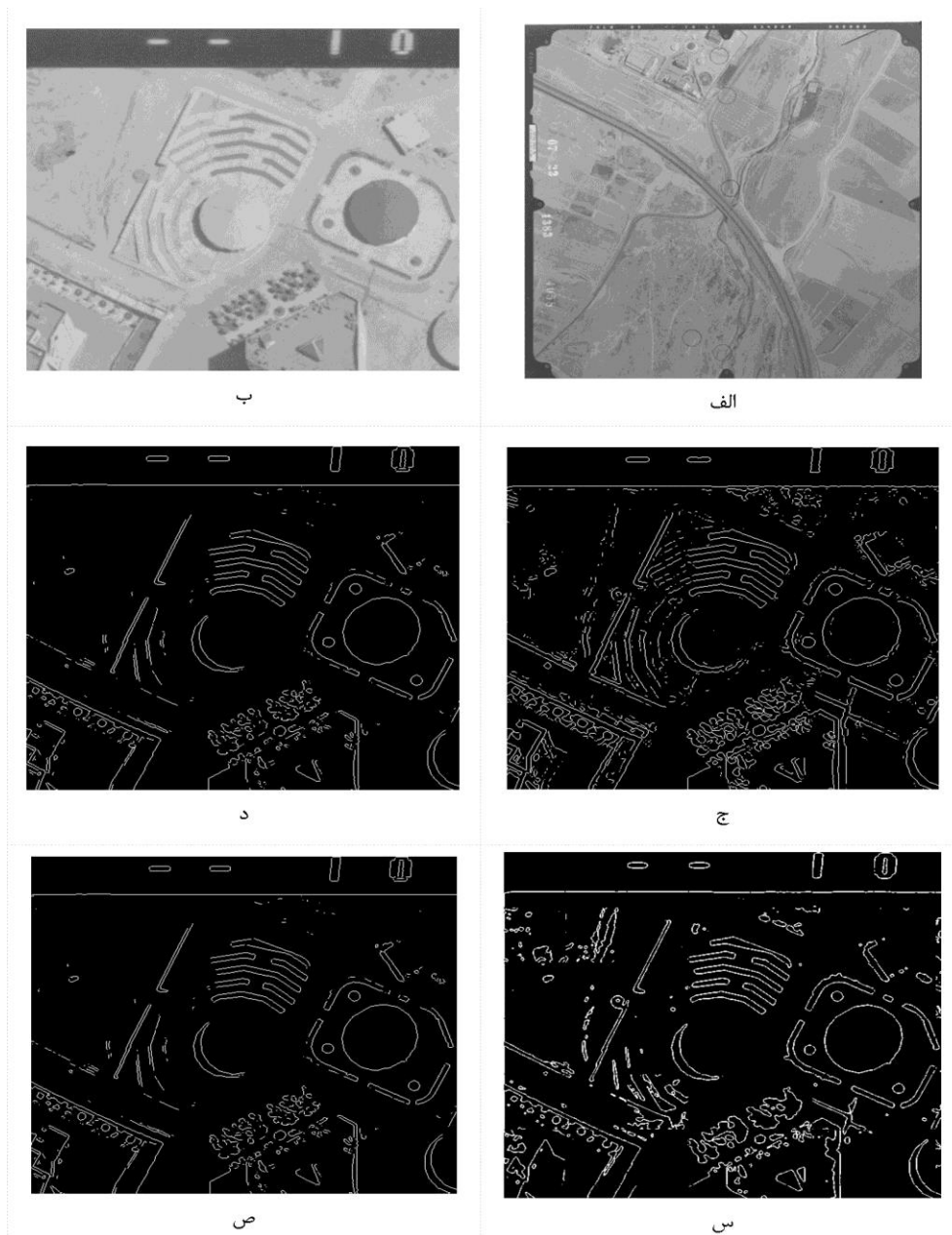


ص



س

شکل ۶. الف) تصویر اصلی، (ب) منطقه بررسی شده، (ج) روش LOG، (د) روش سوبل (س) روش پیشنهادی اول با ۲ حدآستانه، (ص) روش پرویت



شکل ۷. الف) تصویر اصلی، (ب) منطقه بررسی شده، (ج) روش LOG، (د) روش سوبل (س) روش پیشنهادی دوم با ۱ حدآستانه، (ص) روش پرویت

دوری دقت هندسی نقاط است، به طوری که لبه‌های استخراج شده باید در محل دقیق شان روی محدوده عوارض قرار داشته باشند و تغییری در مکان هندسی

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- بحث

یکی از نکات مهم در استفاده از تصاویر سنجش از

سهولت در تفسیر تصویر و استخراج نواحی و عوارض به‌صورت خودکار می‌شود. از این‌رو در نمونه آزمایشی دوم تصویر ماهواره‌ای از یک منطقه با عوارض شهری و کوهستانی و با حد تفکیک مکانی ۴ متر بررسی شد. همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، لبه‌های کشف‌شده با اپراتورهای پرویت و سوبل نتوانستند شکل واضحی از عوارض موجود در تصویر را ارائه کنند (شکل ۶-ص و ۶-د)، اما با استفاده از روش نخست و دو حد آستانه (شکل ۶-س)، جاده‌ها در تصویر به‌خوبی شناسایی شدند. مناطق ساختمانی و محدوده‌های وسیع نیز در محدوده خود دارای پیوستگی بودند، در صورتی که همان عارضه در تصویر اپراتور LOG (شکل ۶-ج) شکل واضحی ندارد.

با افزایش میزان جزئیات ممکن است برخی از عوارض غیرغالب و غیرضروری نیز به‌عنوان لبه کشف شوند و در تصویر به‌صورت نویز به نظر آیند. همان‌طور که ذکر شد، یکی از ویژگی‌های این روش قابلیت تطابق آن با نوع نیاز و کاربرد مورد نظر است؛ اگر در کاربردی به جزئیات بالا نیاز باشد می‌توان از حدود آستانه بیشتری استفاده کرد و در صورتی که فقط به کلیات و عوارض غالب تصویر نیاز باشد، می‌توان از تعداد حدود آستانه کاست؛ که نتیجه آن کاهش عوارض نویزمانند خواهد بود. بدین منظور در نمونه آزمایشی سوم از یک حد آستانه استفاده شد. در نمونه آزمایشی سوم از عکس هوایی اسکن‌شده‌ای استفاده شد (شکل ۷). همان‌طور که در شکل نشان داده می‌شود، با استفاده از روش دوم و یک حد آستانه، همه عوارض غالب موجود در تصویر به‌خوبی شناسایی شدند؛ ضمن اینکه عوارض نویزمانند به حداقل میزان ممکن رسید (شکل ۷-س). در نمونه مذکور، لبه‌های عوارض در محل دقیق خودشان و بدون کمترین جابه‌جایی هندسی کشف شدند و در عین حال پیوستگی محدوده عوارض کشف‌شده نیز به‌خوبی حفظ شد.

ارزیابی کلی دو روش پیشنهادی نشان می‌دهد که در هر دو روش کوشش می‌شود پیوستگی عوارض تا

عوارض ایجاد نشود. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، اپراتورهای پرویت و سوبل نتوانستند به‌خوبی و بدون تغییر در مکان لبه به شناسایی لبه‌های تصویر بپردازند، اما برای حروف میانی که دارای شدت درجات خاکستری کمتری هستند موفق به کشف لبه نشدند (شکل ۵-ب و ۵-د). در مقابل، اپراتور LOG توانست اکثر لبه‌های تصویر را استخراج کند اما در شناسایی مکان دقیق لبه چندان موفق نبود.

این موضوع در حرف t به‌خوبی مشخص است و در حروف میانی هم در تشخیص صحیح لبه‌ها و حفظ انسجام لبه‌ها ضعف دارد (شکل ۵-ج). در روش نخست در لبه‌های کشف‌شده با الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم توانست لبه‌های حروف را به‌طور کامل و در مکان دقیق آن کشف کند ولی در محل اتصال بین حروف نتوانست مرز داخلی بین برخی از حروف را به‌طور کامل از هم جدا کند (شکل ۵-س). برای رفع این اشکال با افزایش تعداد حد آستانه به‌خوبی می‌توان مشکل را برطرف کرد، به‌طوری که با استفاده از این روش و ۵ حد آستانه، همه لبه‌های تصویر به‌طور کامل استخراج شدند و مرز داخلی بین حروف هم تا حد زیادی تشخیص داده شد (شکل ۵-ط و شکل ۵-و). اگر این تصویر با روش دوم و استفاده از یک حد آستانه بررسی شود، شکل ۵-ص به‌دست می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این روش نتوانست تا حد مناسبی لبه‌های تصویر را شناسایی کند ولی در کشف لبه برخی حروف ضعف داشت. برای رفع این مشکل بار دیگر همان تصویر ولی این‌بار با دو حد آستانه بررسی شد و مشکل تا حد زیادی برطرف گردید (شکل ۵-ن). این مشکل با افزایش یک حد آستانه دیگر، یعنی کشف لبه تصویر با روش دوم و سه حد آستانه به‌طور کامل برطرف شد، ضمن اینکه مرز بین حروف نیز به‌طور کامل کشف و استخراج گردید (شکل ۵-ی).

یکی از اهداف این تحقیق حفظ پیوستگی در لبه‌های کشف‌شده است. این پیوستگی به‌ویژه در تصاویر سنجش از دوری اهمیت زیادی دارد زیرا موجب

سبب انعطاف‌پذیری سیستم برای استفاده در کاربردهایی با اهداف مختلف خواهد شد. سیستم مذکور توانست لبه‌های موجود در تصویر را در سطوح مختلف و به شکل پیوسته و کاملاً خودکار استخراج کند، و هیچ‌گونه تغییری در مکان هندسی لبه‌های کشف‌شده ایجاد نکرد - که در کاربردهای سنجش از دوری اهمیت زیادی دارد. همان‌طور که ذکر شد روش به‌کار گرفته‌شده در این پژوهش قابلیت افزایش یا کاهش تعداد حدود آستانه را دارد و از آنجا که یکی از قابلیت‌های اصلی آن حفظ پیوستگی لبه‌های استخراج‌شده است، می‌تواند در کاربردهای تفسیر تصاویر به‌صورت خودکار به‌کار گرفته شود. یکی از مراحل مهم کارهای تفسیری، استخراج الگوها و نحوه تغییر درجات خاکستری مناطق مختلف تصویر است تا براساس آن بتوان به تفسیر و آنالیز مناطق مختلف تصویر پرداخت. با استفاده از این روش و افزایش تعداد حدود آستانه می‌توان الگوهای ناشی از شخم‌زدن مزارع و زمین‌های کشاورزی در تصاویر را با استفاده از لبه‌های کشف‌شده با این روش استخراج کرد و آنها را در کاربردهای تفسیر خودکار تصاویر به‌کار گرفت. بدین ترتیب با تحلیل حجم کمتری از اطلاعات در قیاس با حجم اطلاعات تصویر اصلی، سرعت پردازش افزایش می‌یابد و سیستم‌های کشف لبه رایج قادر به کشف این حد از جزئیات نیستند.

۵- منابع

Baştürk, A. and E. Günay, ۲۰۰۹, **Efficient Edge**

Detection in Digital Images Using a Cellular Neural Network Optimized by Differential Evolution Algorithm, Expert Systems with Applications, ۳۶(۲), PP. ۲۶۴۵-۲۶۵۰.

Biswas, R. and J. Sil, ۲۰۱۲, **An Improved**

Canny Edge Detection Algorithm Based

حد ممکن حفظ شود و نقاطی که دارای تغییرات روشنایی هستند، به‌خوبی کشف شوند. افزون بر این، هر یک از دو روش پیشنهادی نیز در برخی از کاربردهای خاص قوی‌تر ظاهر می‌شوند؛ برای نمونه روش نخست در استخراج عوارض خطی وسیع مانند جاده و رودخانه عملکرد بهتری دارد و ضمن کشف صحیح این عوارض پیوستگی آنها را نیز حفظ می‌کند. دلیل این موفقیت، ساختار این روش است که در آن هنگام انتخاب حدود آستانه تمرکز بیشتر روی استخراج عوارض بزرگ و کشیده‌شده در طول تصویر صورت می‌گیرد. در مقابل، روش دوم برای کشف عوارض در محدوده مشخصی مانند ساختمان‌ها و نواحی بسته با مساحت محدود دارای دقت بالا و تفکیک‌پذیری مناسب‌تری است، و در تشخیص صحیح عوارض و حفظ پیوستگی و انسجام محدوده این عوارض نیز موفق است. در این روش تمرکز روی استخراج عوارض دارای حدود مشخص و با ابعاد محدودتر مانند ساختمان‌هاست. به این منظور در انتخاب حدود آستانه سعی شده است تا بیشتر به خصوصیات منطقه‌ای عوارض توجه شود و این حدود آستانه به‌گونه‌ای انتخاب شوند که بتوان چنین عوارضی را به‌خوبی از پس‌زمینه متمایز کرد و در عین حال پیوستگی‌شان را نیز حفظ کرد.

۴-۲- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به‌منظور طراحی روشی برای به‌دست آوردن لبه‌های تصویر در سطوح مختلف و با توجه به سطح انتظار و زمینه کاری در کاربردهای مختلف سنجش از دوری انجام شد و در نظر داشت که بتواند تمامی خصوصیات یک سیستم تشخیص لبه معمول مورد استفاده در کاربردهای مختلف را در سطح خوبی برآورده سازد. بدین منظور از سیستم دانش‌پایه بهره گرفته شد، زیرا از مزایای این سیستم‌ها برخوردار می‌باشد. این سیستم‌ها به‌شکل قوانینی در پروژه‌های خودکار است. این سیستم‌ها قابلیت پذیرش شرایط جدید را به‌صورت قوانینی در طول روند انجام پروژه دارند، که

- Detection Using 2 Dimensional Gamma Distribution**, Journal of Computer Science 6(2), PP. 199-204.
- Galun, M., R. Basri, et al., 2007, **Multiscale Edge Detection and Fiber Enhancement Using Differences of Oriented Means**, IEEE 11th International Conference on Computer Vision.
- Gonzalez, R.C. and Woods R.E., 2008, **Digital Image Processing**.
- Gudmundsson, M., El-Kwae, E.A. et al., 1998, **Edge Detection in Medical Images Using a Genetic Algorithm**, Medical Imaging, IEEE Transactions on 17(3), PP. 469-474.
- Haralick, R. M., S. R. Sternberg et al., 1987, **Image Analysis Using Mathematical Morphology**. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on(4), PP. 532-550.
- He, Q. and Z. Zhang, 2007, **A New Edge Detection Algorithm for Image Corrupted by White-Gaussian Noise**, AEU-International Journal of Electronics and Communications, 61(8), PP. 546-550.
- Kapur, J.N. and Kapur, 1994, J.N. **Measures of Information and Their Applications**, on **Type-2 Fuzzy Sets**, Procedia Technology, 4, PP. 820-824.
- El-Zaart, A., 2010, **A Novel Method for Edge** Wiley New Delhi, India.
- Kiani, A., Darbandi, M. et al., 2012, **Noise Reduction in Multi-spectral Satellite Images Using the Shannon Entropy**, ICMSI 2012.
- Li, H., Liao, X. et al., 2011, **Edge Detection of Noisy Images Based on Cellular Neural Networks**, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 16(9), PP. 3746-3759.
- Liang, L. R. and C. G. Looney, 2003, **Competitive Fuzzy Edge Detection**, Applied soft computing, 3(2), PP. 123-137.
- Lin, C.H., Chan Y.K. et al., 2009, **Detection and Segmentation of Cervical Cell Cytoplasm and Nucleus**, International journal of imaging systems and technology, 19(3), PP. 260-270.
- Luthon, F., Lievin, M. et al., 2004, **On the Use of Entropy Power for Threshold Selection**, Signal Processing, 84(10), PP. 1789-1804.

- Min, W. and Shuyuan Y., ۲۰۰۵, **A Hybrid Genetic Algorithm-based Edge Detection Method for SAR Image**, IEEE Proceedings of the Radar Conference, PP. ۵۰۳-۵۰۶.
- Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S. et al, ۲۰۰۶, **Edge Detection Using Ant Algorithms**, Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, ۱۰(۷), PP. ۶۲۳-۶۲۸.
- Pharwaha, A.P.S. and Singh B., ۲۰۰۹, **Shannon and Non-Shannon Measures of Entropy for Statistical Texture Feature Extraction in Digitized Mammograms**, ۲, PP. ۱۲۸۶-۱۲۹۱.
- Pomykalski, J.J., W.F. Truszkowski et al., ۱۹۹۹, **EXPERT SYSTEMS, Wiley Encyclopedia for Electrical and Electronics Engineering**, ۳, Editor: J. Webster. Merriam-Webster Collegiate Dictionary, ۱۰th Edition. Springfield, MA: Merriam-Webster, ۱۹۹۳.
- Rezaee, A., ۲۰۰۸, **Extracting Edge of Images With ant Colony**, Journal of Electrical Engineering Bratislava, ۵۹(۱), P. ۵۷.
- Schalkoff, R.J., WILEY, J. et al., ۲۰۰۱, **Digital Image Processing**, Wiley New York.
- Shannon, C.E., W. Weaver et al., ۱۹۴۹, **The Mathematical Theory of Communication**, University of Illinois press Urbana.
- Singh, B. and Singh A.P., ۲۰۰۸, **Edge Detection in Gray Level Images based on the Shannon Entropy**, Journal of Computer Science, ۴(۳), PP. ۱۸۶-۱۹۱.
- Verma, O.P., Hanmandlu, M. et al., ۲۰۱۱, **A Novel Bacterial Foraging Technique for Edge Detection**, Pattern recognition letters, ۳۲(۸), PP. ۱۱۸۷-۱۱۹۶.
- Wikipedia, March ۲۰۱۴, [http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy_\(information_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy_(information_theory)).
- Wojcik, T.R. and Krapf D., ۲۰۱۱, **Solid-State Nanopore Recognition and Measurement Using Shannon Entropy**, Photonics Journal, IEEE, ۳(۳), PP. ۳۳۷-۳۴۳.

