



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.14, No. 3, Autumn 2022

۷۵-۸۸

مقاله پژوهشی

بهبود قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری با رویکرد ترکیبی تکنیک‌های ناحیه‌مبنا و مرز‌مبنا

مرجان طاهری^۱، محمودرضا صاحبی^۲، مهرنوش امّتی^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

چکیده

سنجده‌های رادار با روزنه مجازی، با داشتن ویژگی‌های گسترده، پتانسیل بسیاری در انواع کاربردهای سنجش از دوری دارند؛ از جمله در قطعه‌بندی به‌هنگام پوشش و کاربری اراضی. با وجود دو رویکرد مستقل قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا و مرز‌مبنا، به‌دست‌آوردن نتایج رضایت‌بخش در صورت استفاده از هریک از رویکردها در تصاویر SAR دشوار بوده است؛ درحالی‌که می‌توان با استفاده از اطلاعات مکمل هر دو روش، محدودیت‌های موجود را برطرف کرد و نتایج حاصل را بهبود بخشید. در این پژوهش، روش نوینی در قطعه‌بندی با استفاده از تصاویر پلاریمتری SAR و با هدف بهبود نتایج قطعه‌بندی مطرح شده که از ادغام هر دو رویکرد بهره گرفته است. روش پیشنهادی Felzenszwalb به‌منزله الگوریتم پیشنهادی ناحیه‌مبنا، از مجموعه روش‌های سوپرپیکسل، با دو روش Quickshift و SLIC مقایسه شد. نتیجه مشخص کرد که روش پیشنهادی توانسته است از قطعه‌بندی بیش‌از‌حد تصویر جلوگیری کند و کارایی آنالیز قطعه‌بندی را افزایش درخور توجهی بخشد. روش پیشنهادی قطعه‌بندی مرز‌مبنای آنتروپی شانون نیز، در مقایسه با دو روش گرادیان‌مبنای کنی و لاپلاسن، مرزهای قطعات تصویری را تا اندازه چشمگیری حفظ کرده است. مقایسه نتایج حاصل از اجرای این روش با داده‌های مرجع، مقادیر ۱۰/۳۹٪ و ۱۱/۲۵٪ را در مورد خطای کل، به ترتیب برای تصویر زمان اول و دوم، نشان می‌دهد. خطای کل، در مقایسه با عملکرد دو روش دیگر، ۵/۸۱٪ و ۹/۷۳٪ در تصویر اول و ۱۱/۱۶٪ و ۱۳/۸۶٪ در تصویر دوم بهبود داده شده است. در نهایت، ادغام دو رویکرد پیشنهادی قطعه‌بندی سبب شده است بهبود دقت در قطعه‌بندی تصویر پلاریمتری دستاورد مهم این پژوهش محسوب شود.

کلیدواژه‌ها: قطعه‌بندی، تصاویر پلاریمتری SAR (POLARSAR)، قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا، قطعه‌بندی مرز‌مبنا، رویکرد ترکیبی قطعه‌بندی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کدپستی: ۱۹۹۶۷-۱۵۴۳۳. تلفن: ۰۲۱ ۸۸۸۷۷۰۷۱. ۰۹۱۲۷۲۷۳۱۲۱

۱- مقدمه

اندکی برای تشخیص ویژگی‌های مورد نظر استفاده می‌شود. از روش‌های اتصال لبه می‌توان برای اتصال شکاف‌های کوتاه در مرزهای منطقه استفاده کرد؛ گرچه این راه‌حل معمولاً کاری بسیار دشوار محسوب می‌شود. روش‌های ناحیه‌مبنا همواره مناطقی با حاشیه بسته فراهم می‌کنند و از بخش‌های نسبتاً بزرگی، برای به‌دست آوردن اطلاعات کافی بابت تصمیم‌گیری به شرکت کردن/ نکردن پیکسل در یک منطقه بهره می‌برند؛ در نتیجه، این روش‌ها تمایل دارند از جزئیات تصویر چشم‌پوشی کنند تا نمونه‌ای به‌اندازه کافی بزرگ، برای محاسبه اطلاعات آماری مفید در زمینه ویژگی‌های محلی، به‌دست آید (Muñoz et al., 2003). این ویژگی ممکن است به خطاهای قطعه‌بندی در مرزهای مناطق و در فقدان تشخیص مناطقی منجر شود که در مقایسه با اندازه بلوک مورد استفاده، کوچک‌اند (Muñoz et al., 2003; Li et al., 2016). به‌علاوه، در صورت فقدان اطلاعات پیشین، انتخاب نقاط منطقی اولیه و معیارهای توقف اغلب دشوار است. اگر فقط از یکی از این روش‌ها در قطعه‌بندی تصاویر پیچیده استفاده شود، معمولاً دستیابی به نتایج رضایت‌بخش مشکل خواهد بود. این در صورتی است که با استفاده از ماهیت مکمل اطلاعات مبتنی بر لبه و ناحیه‌ای، می‌توان مشکلات ناشی از هر روش را کاهش داد. به‌نظر می‌رسد گرایش به ادغام چندین روش بهترین راه برای پیشرفت است (Muñoz et al., 2003). هدف از این پژوهش ارائه روشی نوین در بهبود دقت قطعه‌بندی، با استفاده از پتانسیل بالای تصاویر پلاریمتری SAR و همچنین، با بهره‌گیری از ادغام دو رویکرد ناحیه‌مبنا و مرز‌مبناست.

گسترش و رشد فناوری رادار با روزنه مجازی^۱ باعث ایجاد سامانه‌های پلاریمتری SAR (PolSAR) و اندازه‌گیری چهار کانال قطبش خطی (یعنی HH, HV, VV, VH) و اختلاف فاز در آنها شده است (Lee & Pottier, 2017)؛ بنابراین سامانه‌های پلاریمتری SAR با قابلیت شناسایی مکانیسم‌های گوناگون پراکنشی، می‌توانند اطلاعات شایان توجهی را در زمینه‌های گوناگون عرضه کنند (Marino, 2013; Liu et al., 2014; Buono et al., 2017; Omati & Sahebi, 2018). طی سال‌های اخیر، رویکرد مبتنی بر شیء^۲ در کاهش تأثیرات اسپکل در تجزیه و تحلیل تصویر PolSAR کاربرد گسترده‌ای داشته است. آنالیز قطعه‌بندی، به‌منزله نخستین گام در رویکرد شیء‌مبنا، یکی از مهم‌ترین پردازش‌ها در تجزیه و تحلیل تصویر و بینایی ماشین^۳ شمرده می‌شود (Nussbaum & Menz, 2008).

عملکرد بسیاری از روش‌های قطعه‌بندی براساس دو ویژگی اصلی تغییرات ناگهانی ویژگی‌های محلی تصویر و شباهت پیکسل‌ها در ارتباط با همسایگی یکدیگر است (Muñoz et al., 2003). ناپیوستگی پیکسل‌ها به روش‌های مرز‌مبنا^۴ منجر می‌شود و برعکس، شباهت پیکسل‌ها به روش‌های ناحیه‌مبنا^۵ می‌انجامد (Muñoz et al., 2003). علاوه بر این دو شیوه، روش دیگری به نام روش‌های ترکیبی^۶ نیز وجود دارد (Cheng-Xin et al., 2016; Li & Liu, 2009; Li et al., 2016). متأسفانه، هر دو روش مرز‌مبنا و ناحیه‌مبنا اغلب قادر به قطعه‌بندی دقیق نیستند و بخش‌هایی که هر روش در آن ضعف دارد لزوماً یکسان نیست.

در روش‌های مرز‌مبنا، اگر تصویری نویزی باشد یا ویژگی‌های آن، با تفاوت صرفاً اندکی، در مناطق اطراف وجود داشته باشد (این اتفاق در سناریوهای طبیعی بسیار رخ می‌دهد)، تشخیص لبه ممکن است به لبه‌های مبهم و شکسته منجر شود (Muñoz et al., 2003). علت آن را می‌توان تکیه این روش‌ها بر اطلاعات محلی موجود در تصویر دانست و اینکه از پیکسل‌های بسیار

1. Synthetic Aperture Radar (SAR)
2. Object-Based
3. Computer Vision
4. Boundary-Based
5. Region-Based
6. Hybrid Methods

۲- مروری بر تحقیقات انجام‌شده

تا کنون تکنیک‌های متفاوتی در آنالیز قطعه‌بندی به کار رفته است؛ این تکنیک‌ها در سه گروه مرز‌مبنا، ناحیه‌مبنا و روش‌های ترکیبی جای می‌گیرند (Li et al., 2016). روش‌های قطعه‌بندی مرز‌مبنا از تغییرات ناگهانی ویژگی‌های محلی تصویر استفاده می‌کنند تا لبه‌های موجود در تصاویر را برای جداسازی عوارض از پس‌زمینه، شناسایی کنند (Li et al., 2016). با بررسی مطالعات پیشین، پی می‌بریم که استفاده از بسیاری از روش‌های گرادین مبنای تشخیص لبه مانند کنی و سوئل و روبرت، به علت حساسیت بسیارشان در برابر ماهیت ضربی اسپیکل‌ها در تصاویر SAR، به نتایج ضعیفی می‌انجامد (Touzi et al., 1988; Fjortoft et al., 1998). در روش‌های متداول تعیین لبه، از تفاوت میانگین شدت‌های به‌دست‌آمده در دو طرف پیکسل مرکزی استفاده می‌شود. برخلاف رویکرد قبلی، توزی^۱ و همکاران (۱۹۸۸) رویکرد دیگری در تصاویر SAR، براساس نسبت میانگین شدت‌ها در اطراف پیکسل مرکزی و نرخ ثابت هشدار اشتباه^۲، مطرح کردند. در پژوهش دیگری نیز که بوویک^۳ (۱۹۸۸) انجام داد، دو عملگر تشخیص لبه^۴ LOG و نسبت میانگین‌های^۵ همسایگی، در هر دو جهت افقی و عمودی، با یکدیگر ترکیب و باعث بهبود عملکرد روش پیشنهادی در کاهش شناسایی لبه‌های غیرضروری شدند. باین‌حال استفاده از این روش‌ها، به علت محاسبه میانگین حسابی در تخمین مقادیر میانگین محلی، فقط در صورت وجود تک‌لبه در تصاویر مناسب خواهد بود (Schou et al., 2003)؛ از این‌رو الیور^۶ و لومباردو^۷ (۱۹۹۶) از مقادیر میانگین محلی، پارامتر بافت و آزمون بیشترین شباهت با دو معیار ماکزیم‌سازی احتمال کل در طول پنجره و صحت تعیین موقعیت لبه استفاده کردند تا لبه‌ها را، در تصاویر شدت SAR، تشخیص دهند.

امکان شناسایی لبه‌ها، علاوه بر تصاویر تک‌کاناله شدت SAR، در تصاویر پلاریمتری SAR نیز در چندین رویکرد فراهم شده است. برای نمونه، در رویکرد اول،

شو^۸ و همکاران (۲۰۰۰) لبه‌ها را در هریک از پلاریزاسیون‌ها جداگانه شناسایی کرده و سپس نتایج آنها را با استفاده از عملگرهای متفاوت ادغام، ترکیب کرده‌اند. اگرچه باید اشاره کرد که این رویکرد اطلاعات کامل پلاریمتری را دربر ندارد و نتایج آن نیز به انتخاب عملگر ادغام وابسته خواهد بود (Schou et al., 2000). در رویکرد دوم، لی^۹ و همکاران (۱۹۹۹) با ترکیب کانال‌ها با یکدیگر (تشکیل ویژگی span) و در نهایت، اعمال عملگر مناسب بر آن، لبه‌ها را شناسایی کردند. در رویکرد دیگری نیز، شو و همکاران (۲۰۰۳) شناسایی لبه را به‌منظور استفاده از اطلاعات کامل پلاریمتری، آزمون آماری نسبت احتمال ویشارت^{۱۰} با هدف بررسی برابری میانگین‌های ماتریس کواریانس در اطراف هر پیکسل مطرح کردند.

با وجود اشاره به روش‌های قطعه‌بندی بسیار، برمبنای ناپیوستگی‌های تصویر، در رویکرد دیگری قطعه‌بندی تصاویر براساس همگنی و شباهت پیکسل‌های یک ناحیه انجام می‌شود. تکنیک‌های متفاوت قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا عبارت‌اند از آستانه‌گذاری، رشد ناحیه‌ای^{۱۱}، تقسیم و ادغام نواحی^{۱۲}، خوشه‌بندی^{۱۳} و دیگر موارد (Li et al., 2016). در ادامه، به چندین روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا اشاره می‌شود که در تصاویر پلاریمتری SAR به کار رفته‌اند.

1. Touzi
2. Constant False Alarm Rate
3. Bovik
4. Laplacian-of-a-Gaussian
5. Ratio of average
6. Oliver
7. Lombardo
8. Schou
9. Lee
10. Wishart Likelihood Ratio
11. Region Growth
12. Region Splitting and Merging
13. Clustering

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه دلتای San-Francisco واقع در جنوب کالیفرنیا است. این منطقه دارای طول جغرافیایی $38^{\circ} 26' 5/47'' N$ و عرض جغرافیایی $122^{\circ} 17' 18/42'' W$ است. شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

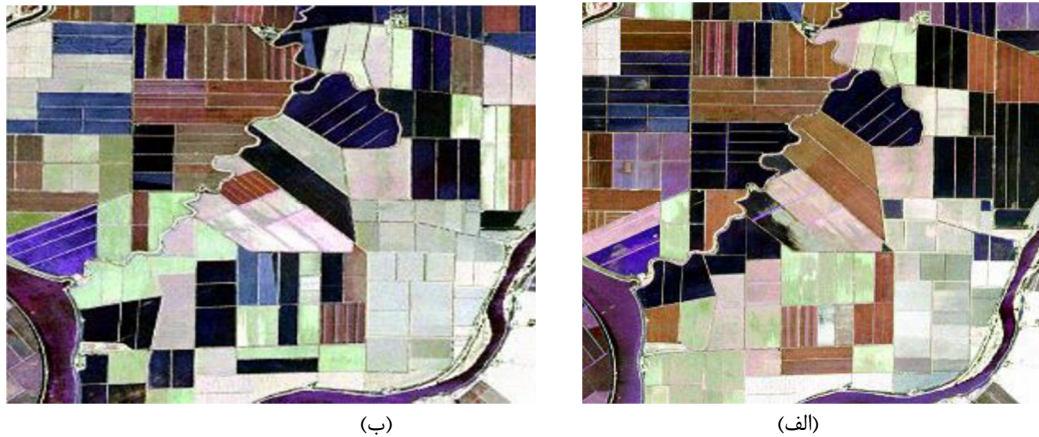
برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، تصاویر پلاریمتری از منطقه‌ای کشاورزی، در دو تاریخ هجدهم ژوئیه ۲۰۰۹ و چهاردهم اوت ۲۰۱۴، استفاده شد. این تصاویر با استفاده از سنجنده راداری هواپرد - UAVSAR، در باند L (با طول موج $23/79$ سانتی‌متر) و محدوده زاویه فرود بین $25-65$ درجه، دریافت شده و دارای دقت مکانی در جهت رنج $1/8$ متر و دقت مکانی در جهت آزیموت $0/8$ مترند. در شکل ۲، ترکیب رنگی پائولی دو تصویر دریافتی با اختصاص $|S_{hh} - S_{vv}|$ به رنگ قرمز، $|S_{hv}|$ به رنگ سبز و $|S_{hh} + S_{vv}|$ به رنگ آبی نشان داده شده است.

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1. Wu | 2. Over Segmentation |
| 3. Multi Resolution | 4. Qi |
| 5. Change Vector Analysis | |
| 6. Zhang | 7. Omati |
| 8. Sahebi | |

وو^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، در قطعه‌بندی ناحیه‌مبنای تصاویر پلاریمتری، روشی را با استفاده از مدل ویشارت-مارکوف مطرح کردند. آنها پس از قطعه‌بندی بیش از حد^۲ تصویر با استفاده از نواحی مستطیلی، با ترکیب توزیع ویشارت توانستند ماتریس کواریانس و مدل MRF شکل و اندازه نواحی قطعه‌بندی شده را بهبود ببخشند. این رویکرد، در واقع، مدل مکانی مارکوف را به منظور بهبود عملکرد لبه‌ها در قطعه‌بندی به کار می‌گیرد. یکی از متداول‌ترین روش‌های قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری SAR، براساس رشد ناحیه‌ای، تکنیک چندمقیاسه^۳ است (Rezaeian et al., 2015). در نمونه‌های انجام‌شده این الگوریتم قطعه‌بندی، از ویژگی‌های پلاریمتری متفاوتی استفاده شده است. برای نمونه، کی^۴ و همکاران (۲۰۱۵) با ساخت ترکیب رنگی از ویژگی‌های سه مؤلفه‌ای تجزیه پائولی و الگوریتم قطعه‌بندی چندمقیاسه برای هریک از تصاویر، انجام آنالیز بردار تغییرات^۵ و نیز طبقه‌بندی هریک از قطعات توانستند تغییرات در منطقه را شناسایی کنند. در مطالعه دیگری نیز، ژانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۵) ویژگی‌های متفاوتی همچون جذر سه المان قطری ماتریس همبستگی و الگوریتم چندمقیاسه را به کار بردند و در نتیجه، قطعات همگنی در سطح تصویر ایجاد شد.

در مطالعه‌ای از امتی^۷ و صاحبی^۸ (۲۰۱۸) نیز، با استفاده از الگوریتم بهبودیافته آب‌پخشان و میدان تصادفی مارکوف (MRF) که به ترتیب از تکنیک‌های قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا و مرز مبنا می‌شوند، قطعه‌بندی انجام شد و پس از آن، این دو روش ادغام شدند. سپس با استخراج چندین ویژگی تفاضلی بهینه از طریق الگوریتم ژنتیک و معیار فاصله Jeffries-Matusita و در نظر گرفتن اطلاعاتی، مانند تفاوت میانگین مقادیر پیکسل‌های مناطق همگن قطعه‌بندی شده، تغییر کردن یا تغییر نکردن قطعات با استفاده از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) بررسی شد.

بهبود قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری با رویکرد ترکیبی تکنیک‌های ناحیه‌مبنا و مرز‌مبنا



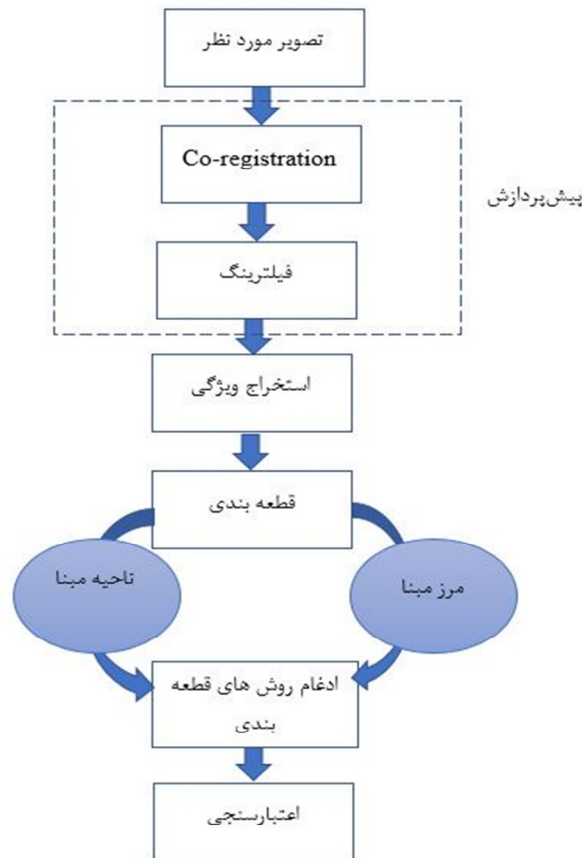
شکل ۲. تصویر pauli RGB: هجدهم ژوئیه ۲۰۰۹ (الف)؛ چهاردهم اوت ۲۰۱۴ (ب)

۳-۲- روش پیشنهادی

شکل ۳ فلوچارت الگوریتم ارائه‌شده را برای یک تصویر نشان می‌دهد. در ادامه، الگوریتم ارائه‌شده در چهار گام اصلی معرفی می‌شود.

۳-۲-۱- پیش‌پردازش‌ها

پیش‌پردازش در تصاویر SAR شامل کالیبراسیون رادیومتریک، تصحیح هندسی و فیلترینگ، به‌منظور کاهش اسپیکل‌ها می‌شود. فرمت داده‌های پلاریمتری



شکل ۳- فلوچارت روش پیشنهادی برای یک تصویر

بازده بالای محاسباتی آنهاست و اینکه نمایشی طبیعی تر و عمیق تر از تصویر ورودی ارائه می‌دهند. نمایش سوپرپیکسل، در قیاس با پیکسل، تعداد تصاویر اولیه را به شدت کاهش می‌دهد. برای نمونه در برجسب گذاری در یک مسئله n -label، فضای راه حل برای نمایش پیکسلی، فضای L_n بعدی است و n تعداد پیکسل هاست (اغلب 10^6). در طرف مقابل فضای راه حل برای نمایش سوپرپیکسلی، فضای L_m بعدی قرار دارد و m تعداد سوپرپیکسل هاست که اغلب 10^2 است. علاوه بر این تقسیم بندی سوپرپیکسل، برای محاسبات مبتنی بر منطقه، پشتیبانی مکانی فراهم می‌کند. تحقیقات متعددی در زمینه الگوریتم های اتوماتیک سوپرپیکسل انجام شده است (Liu et al., 2011). هر روش سوپرپیکسل مزایا و نواقص خاص خود را دارد که در کاربرد خاص خودش، به بهترین شکل هماهنگ است. ویژگی های مورد نظر برای تقسیم بندی سوپرپیکسلی به کاربرد آن بازمی‌گردد. در این جا چند مورد از ویژگی های کلی در کاربردهای بصری را بیان می‌کنیم:

(۱) هر سوپرپیکسل فقط باید با یک شیء هم پوشانی داشته باشد؛

(۲) مجموعه مرزهای سوپرپیکسل ها باید مجموعه ای جامع از مرزهای عوارض (اشیا) باشد؛

(۳) نگاهت از پیکسل ها به سوپرپیکسل ها نباید عملکرد مورد نیاز برای کاربرد مورد نظر را کم کند؛

(۴) ویژگی های بالا باید با کمترین تعداد سوپرپیکسل ممکن برقرار شوند (Liu et al., 2011).

علاوه بر این محاسبه ویژگی های بصری ناحیه مبنا با استفاده از سوپرپیکسل ها مزایای مهمی برای کارهای بصری، همچون تشخیص اشیا، خواهد داشت و راحت تر و مؤثرتر است. روش های بسیاری در الگوریتم های سوپرپیکسل خودکار وجود دارد. با این حال هر روش سوپرپیکسل مزیت و ایراد خاص خود را دارد که ممکن است، در مورد کاربردی خاص، مناسب تر باشد.

1. Damping Factor
2. Coherency

مورد استفاده در این مقاله GRD است. کالیبراسیون رادیومتریکی اعمال شده بر آنها، به منظور تبدیل مقادیر شدت به ضرایب بازپراکنش از عوارض زمینی در پیکسل های تصویر، با روش sigma-nought انجام شده است (Singh & Talwar, 2013). برای کاهش اثر اسپکل و حفظ لبه نیز، فیلتر Frost با ابعاد پنجره 5×5 و فاکتور میرایی 2^1 به کار رفته است.

۳-۲-۲- استخراج ویژگی

مرحله بعد استخراج ویژگی ها از تصاویر است. هدف از این مقاله استخراج برخی ویژگی های قابل استخراج از تصاویر پلاریمتری برای ورودی الگوریتم قطعه بندی است. در این تحقیق، از المان های ماتریس همدوسی^۲ و ویژگی SPAN، به ترتیب برای ورودی الگوریتم قطعه بندی ناحیه مبنا و مرز مبنا، استفاده شده است. ماتریس کواریانس استخراجی متداول ترین روش برای نشان دادن ویژگی های پلاریمتریک تصاویر پلاریمتری در نظر گرفته می شود. ویژگی دیگر SPAN آن است که انرژی کل سیگنال را در چهار پلاریزاسیون بیان می کند.

۳-۲-۳- قطعه بندی

قطعه بندی فضای تصویر را به مناطق همگن تقسیم می کند. در این مقاله، الگوریتم Felzenszwalb، Quickshift و SLIC از مجموعه روش های سوپرپیکسل به کار رفته و این سه روش قطعه بندی با هم مقایسه شده است. در ادامه نیز، آنتروپی شانون به منزله یکی از روش های قطعه بندی مرز مبنا اجرا شده؛ سپس در مورد هر یک از الگوریتم های مذکور توضیحاتی داده شده است.

سوپرپیکسل

قطعه بندی سوپرپیکسل روشی بسیار مهم در کاربردهایی همانند تشخیص شیء، تقسیم بندی تصویر و بازسازی سه بعدی تک تصویر است. سوپرپیکسل معمولاً به صورت یک منطقه یکنواخت ادراکی در تصویر تعریف می شود. مزیت مهم استفاده از سوپرپیکسل ها

نیز موازنه‌ای وجود دارد که با یک تناسب نمایش داده می‌شود (Vedaldi & Soatto, 2008).

قطعه‌بندی SLIC

این الگوریتم به‌سادگی، الگوریتم K-Means را در فضای پنج بعدی اطلاعات رنگی و موقعیت مکانی تصویر، اجرا می‌کند و به همین دلیل، ارتباط نزدیکی با الگوریتم Quickshift دارد. ساده بودن روش خوشه‌بندی باعث کارآمدی بیشتر آن می‌شود. پارامتر فشردگی^۵ توازن بین شباهت و نزدیکی رنگ را برقرار می‌کند؛ درحالی‌که تعداد مراکز kmeans از طریق پارامتر n_segments انتخاب می‌شوند (Achanta et al., 2012).

آنتروپی شانون

آنتروپی یک اندازه‌گیری تصادفی از توزیع شدت است. با توجه به این ویژگی آنتروپی در تصاویر سنجش از دور، در مناطقی که از بخش‌های همگن یا کلاس‌های پوششی از زمین، مانند آب یا خاک تشکیل شده است، مقدار آنتروپی اندک است اما در مناطق شهری با پوشش‌های متفاوت زمینی مانند جاده‌ها، بلوک‌های ساختمان، پوشش گیاهی، وضعیت پیچیده‌تر و تنوع درجات خاکستری در پیکسل‌های همسایه زیاد است. براساس الگوی توزیع درجات خاکستری، تصویر به چند قطعه تقسیم می‌شود و با شناسایی تمامی پیکسل‌ها در مرزهای بین مناطق گوناگون همگن، می‌توان لبه‌ها را استخراج کرد (Kiani & Sahebi, 2015).

آنتروپی شانون اطلاعات موجود در تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. این یک اندازه‌گیری غیرقطعی از مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است که به‌لحاظ رفتار احتمالی، به‌صورت یک منبع اطلاعات تعریف می‌شود.

1. Under-Segmentation
2. Local Mode-Seeking
3. Sigma
4. Max_Dist
5. Compactness

همچنان توسعه یک الگوریتم سوپرپیکسل با کیفیت بالا که دچار کمبود قطعه‌بندی^۱ نشود و پیکسل‌ها را با رعایت مرزهای شدت، به‌صورت محلی گروه‌بندی کند، چالش‌برانگیز است. الگوریتم ایده‌آل سوپرپیکسل نه تنها باید به‌خوبی بر مرزهای عارضه‌های تصویر منطبق شود بلکه باید قیود وابسته به یکدیگر را در مناطقی با بافت پیچیده نیز، حفظ کند (Shen et al., 2014).

الگوریتم Felzenszwalb

الگوریتم Felzenszwalb در تقسیم‌بندی سریع تصویر دوبعدی در حوزه computer vision بسیار مورد توجه است. این الگوریتم پارامتری تک‌مقیاسی دارد که در اندازه قطعه تأثیر می‌گذارد. اندازه و تعداد قطعه‌های گوناگون، با توجه به کنتراست محلی، ممکن است تا حد زیادی متفاوت باشند. پارامتر سیگما سائز فیلتر گوسین است که به‌منظور نرم کردن تصویر، پیش از قطعه‌بندی، استفاده می‌شود. مینیمم سائز نیز به کمترین اندازه قطعه مربوط می‌شود (Felzenszwalb & Huttenlocher, 2004).

الگوریتم قطعه‌بندی تصاویر Quickshift

Quickshift یک الگوریتم تقسیم بندی تصویر نسبتاً جدید دوبعدی است که عملکرد آن براساس تقریب kernelized mean-shift است؛ بنابراین به خانواده الگوریتم‌های جست‌وجوی حالت محلی^۲ تعلق دارد و در فضای پنج بعدی متشکل از اطلاعات رنگی و مکانی تصویر استفاده می‌شود. یکی از مزایای Quickshift این است که در واقع، یک تقسیم بندی سلسله مراتبی را در مقیاس‌های متفاوت، به‌طور هم‌زمان، محاسبه می‌کند.

Quickshift دارای دو پارامتر اصلی است:

- سیگما^۳ که مقیاس تقریبی تراکم محلی را کنترل می‌کند؛

- بیشترین فاصله^۴ که سطح تولیدشده در قطعه‌بندی سلسله‌مراتبی را انتخاب می‌کند.

بین فاصله در فضای رنگ و فاصله در فضای تصویر

آنالیز خودکار تصویر، بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. با استفاده از این روش و افزایش تعداد آستانه‌ها، می‌توان الگوهای زمین‌های زراعی در تصاویر را از طریق شناسایی لبه‌ها، استخراج کرد و با استفاده از برنامه‌های تفسیر تصویر به منظور افزایش سرعت پردازش، می‌شود از تجزیه و تحلیل اطلاعات کمتری، در مقایسه با تصویر اصلی، بهره برد؛ درحالی که سامانه‌های تشخیص لبه معمولاً قادر به تشخیص این مقدار از جزئیات نیستند (Kiani & Sahebi, 2015).

۳-۲-۴- ادغام روش‌های قطعه‌بندی

در صورت به کارگیری فقط یکی از روش‌های قطعه‌بندی تصاویر، معمولاً دستیابی به نتایج رضایت‌بخش مشکل است. با استفاده از ماهیت مکمل اطلاعات مبتنی بر لبه و منطقه‌ای، می‌توان مشکلات ناشی از هر روش جداگانه را کاهش داد. به نظر می‌رسد گرایش به ادغام چندین روش بهترین راه برای دستیابی به هدف مطلوب است. تا کنون تکنیک‌های بسیاری، به منظور ادغام اطلاعات ناحیه و مرزی، مطرح شده است. یکی از انواع تقسیم‌بندی ادغام روش‌های قطعه‌بندی براساس زمان ادغام است که به دو شیوه ادغام تعبیه شده^۲ و ادغام پس از پردازش^۳ تقسیم می‌شود (Falah et al., 1994; Muñoz et al., 2003; Omati & Sahebi, 2018). ادغام تعبیه شده را می‌توان، با تعریف پارامترهای جدید یا معیار تصمیم‌گیری جدید در مورد قطعه‌بندی، توصیف کرد. در رایج‌ترین راهبرد، ابتدا اطلاعات لبه استخراج می‌شود و سپس این اطلاعات در الگوریتم تقسیم‌بندی که اغلب براساس مناطق است، به کار می‌رود. هدف این راهبرد ادغام، استفاده از اطلاعات مرزی به‌منزله وسیله‌ای برای جلوگیری از بسیاری از مشکلات رایج تکنیک‌های منطقه‌ای است. در این روش، می‌توان ادغام

میزان خودآگاهی^۱ هر رویداد متناسب با معکوس احتمال وقوع آن است. فرض کنید X متغیر تصادفی گسسته‌ای در مجموعه‌ای متناهی $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ با تابع چگالی احتمال $p(x) = Pr(X = x)$ شامل $I(x)$ است و رابطه (۱)

$$I(X) = \log_n \left[\frac{1}{p(x)} \right]$$

نشان‌دهنده خودآگاهی بودن X است. اگر $P(x) = 1$ ، نگاه $I(x) = 0$ زیرا هیچ‌گونه عدم قطعیتی در مورد وقوع رویداد X وجود ندارد. پایه لگاریتم، n ، واحد مورد استفاده برای اندازه‌گیری اطلاعات را تعیین می‌کند؛ بنابراین اگر از بیت استفاده کنیم، پایه این الگوریتم ۲ می‌شود. اگر تابع جرم احتمال به‌منزله خودآگاهی X در نظر گرفته شود، آنتروپی شانون X مقدار پیش‌بینی‌شده خودآگاهی است. آنتروپی X به این صورت تعریف می‌شود:

$$H(X) = \sum_{x \in X} P(x) I(x) = \sum_{i=1}^n \left(P(x_i) \log_2 \left(\frac{1}{P(x_i)} \right) \right) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 (P(x_i))$$

رابطه (۲)

این معیاری از میانگین محتوای اطلاعات در مورد هر نماد منبع است. آنتروپی $H(X)$ فقط به احتمال نمادهای متغیر X در $H(X)$ بستگی دارد. آنتروپی شانون طبق تصویری دوبعدی از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این تحقیق، سعی بر این است که با استفاده از آنتروپی شانون در مناطق همگن، درجه خاکستری پیکسل‌ها برابر با صفر شود و سایر پیکسل‌ها با مقدار ۱ جایگزین شوند. نتیجه این کار تصویری باینری با همان لبه‌های شناسایی‌شده تصویر است. این روش قادر به استخراج مداوم لبه‌های موجود در تصویر، در سطوح متفاوت و با شیوه‌ای کاملاً خودکار است. به‌علاوه، هیچ تغییری در موقعیت لبه‌های شناسایی‌شده ایجاد نمی‌کند که این نکته، در مورد کاربردهای سنجش از دور، اهمیت بسیاری دارد. همچنین این روش قادر به افزایش و کاهش تعداد حد آستانه‌ها، حفظ پیوستگی لبه‌های استخراج‌شده، استخراج الگوهای تغییر درجه خاکستری مناطق متفاوت تصویر و توانایی تحلیل و تفسیر مناطق گوناگون است و در کاربردهای

1. Self-Information
2. Embedded Integration
3. Post-processing Integration

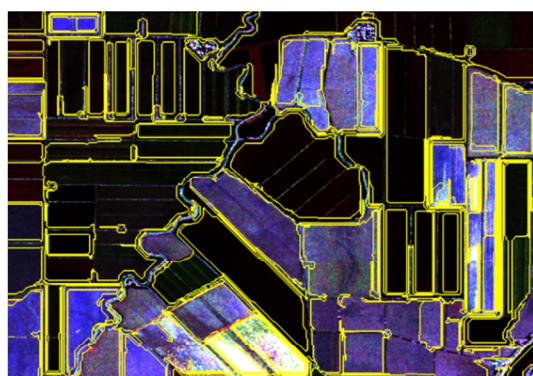
در مقایسه با دو روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا دیگر، از قطعه‌بندی بیش‌ازحد تصویر جلوگیری کرده و توانسته است مرزهایی با کنتراست مناسب بین قطعات را به‌خوبی تشخیص دهد. به‌علاوه، این روش توانسته است تصویر را به‌درستی به نواحی همگن تقسیم و قطعات تصویری را تعیین کند؛ در نتیجه، در مجموع و براساس مقایسه الگوریتم قطعه‌بندی Felzenszwalb با دو روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا Quickshift و slic، می‌توان گفت الگوریتم Felzenszwalb، در واقعیت، به قطعات موجود از منطقه نزدیک است و اختلاف بسیار اندکی با آنها دارد و در مراحل بعدی، از آن به‌صورت خروجی روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا استفاده شده است.

این روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا، با وجود مزایایش در تشکیل مناطقی با مرزهای خارجی بسته و وجودنداشتن قطعه‌بندی بیش‌ازحد تصویر، قادر به شناسایی لبه‌هایی با کنتراست اندک نیست و به حذف لبه‌ها، در برخی بخش‌های تصویر و ایجاد خطای قطعه‌بندی منجر شده است. از این رو به‌کارگیری اطلاعات مکمل قطعه‌بندی مرز‌مبنا می‌تواند سبب کاهش مشکلات ناشی از این رویکرد شود. شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب خروجی قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا به‌روش‌های Felzenszwalb، Quickshift و Slic را نشان می‌دهند.

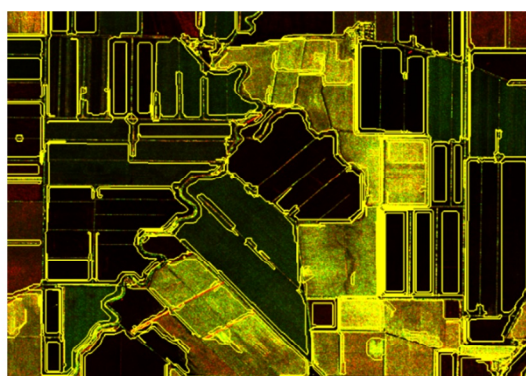
را به‌صورت معکوس نیز انجام داد؛ یعنی از اطلاعات منطقه در فرایند یافتن مرز بهره برد. رویکرد ادغام پس از پردازش، پس از استخراج اطلاعات از هر دو تکنیک مرز‌مبنا و ناحیه‌مبنا، به‌منظور پردازش تصویر به‌کار می‌رود. اطلاعات لبه و نواحی، به‌منزله مرحله‌ای مقدماتی، به‌طور مستقل استخراج می‌شوند. سپس تلاش می‌شود اطلاعات دوگانه، به‌منظور بهبود یا اصلاح قطعه‌بندی اولیه به‌دست‌آمده، به‌کار رود. هدف این راهبرد بهبود نتایج اولیه و تولید قطعه‌بندی دقیق‌تر است (Muñoz et al., 2003). در این تحقیق، از رویکرد دوم در ادغام استفاده شده است.

۴- نتایج عملی و بحث

نتایج حاصل از هر سه روش قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا در این پژوهش، با قطعه‌های کشاورزی مرجع موجود در منطقه مطالعاتی، از دیدگاه بصری بررسی می‌شود. به‌طور کلی کیفیت الگوریتم‌های قطعه‌بندی را می‌توان، با در نظر گرفتن تفاوت اندک نتایج حاصل از قطعه‌بندی با قطعات مرجع و نیز جلوگیری از قطعه‌بندی بیش‌ازحد تصویر، بیان کرد. همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود، الگوریتم قطعه‌بندی Felzenszwalb

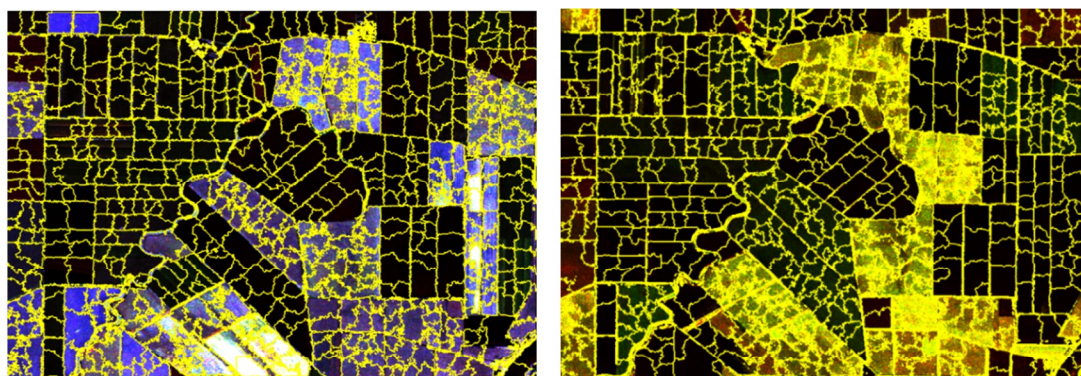


(ب)

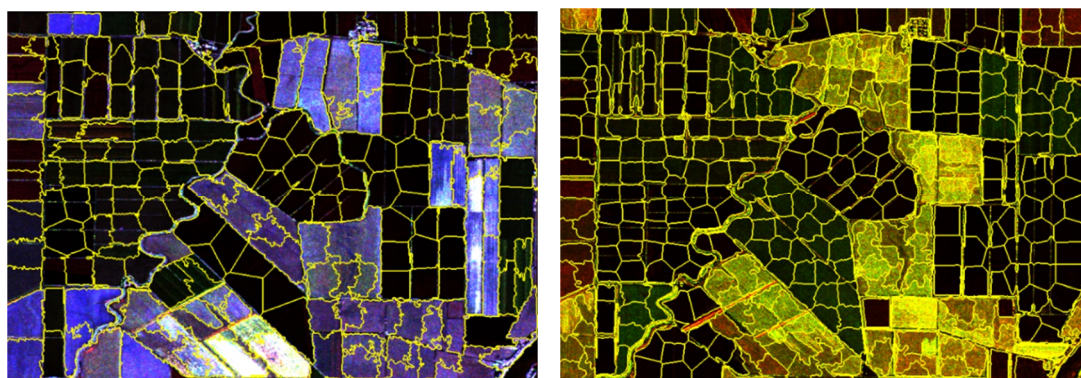


(الف)

شکل ۴. خروجی قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا به‌روش Felzenszwalb: تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)



شکل ۵. خروجی قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا به‌روش : تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)



شکل ۶. خروجی قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا به‌روش SLIC: تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)

تشخیص لبه کنی و لاپلاسیان، توانست نتایج شناسایی لبه را به ترتیب در حدود ۴ و ۷٪ در تصویر اول و حدود ۸ و ۱۱٪ در تصویر دوم، بهبود بخشد. افزون‌براین کاهش خطای مشارکت یا به‌نوعی کاهش تشخیص اشتباه پیکسل‌های مرجع غیرلبه در خروجی الگوریتم پیشنهادی را می‌توان، در مقایسه با دو عملگر کنی و لاپلاسیان، مشاهده کرد. مقادیر کاهش ۶ و ۷ درصدی در مورد تصویر اول و ۸ و ۱۰ درصدی در مورد تصویر دوم از نتایجی است که می‌توان شاهد بود.

علاوه‌براین، روش پیشنهادی از تشخیص اشتباه پیکسل‌های پس‌زمینه به‌منزله لبه جلوگیری کرده، پیوستگی مرزهای شناسایی‌شده قطعات را به‌میزان درخور توجهی حفظ کرده و به‌طور کلی روند تشخیص و تعیین موقعیت لبه‌ها را در تصویر پلاریمتری، بهبود

عملکرد روش پیشنهادی در لبه‌های استخراجی هریک از تصاویر با دو روش گرادیان‌مبنای تشخیص لبه کنی و لاپلاسیان، از هر دو دیدگاه بصری و کمی، مقایسه می‌شوند؛ از این‌رو از معیارهایی همچون خطای نادیده‌گرفتن، خطای مشارکت و درصد خطای کل به‌منظور ارزیابی کمی سه شیوه مورد نظر تشخیص لبه استفاده می‌شود. شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ و جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب نتایج بصری و کمی تشخیص لبه را در مورد هر سه روش ذکر شده و در مورد دو تصویر مورد نظر، نشان می‌دهند. همان‌طور که می‌توان مشاهده کرد، روش آنتروپی‌شانون توانسته است در خطای نادیده‌گرفتن و ناپیوستگی در لبه‌های تشخیص‌داده‌شده، کاهش چشمگیری ایجاد کند. این روش پیشنهادی، در مقایسه با دو روش گرادیان‌مبنای

بهبود قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری با رویکرد ترکیبی تکنیک‌های ناحیه‌مبنا و مرز‌مبنا

۶ و ۱۰ درصدی خطای کل را در مقایسه با دو عملگر کنی و لاپلاسین، درمورد تصویر اول و کاهش ۱۱ و ۱۴ درصدی را درمورد تصویر دوم به‌همراه داشته است.

چشمگیری بخشیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، یکی از اصلی‌ترین قابلیت‌های این روش حفظ پیوستگی لبه‌های استخراج‌شده است. این روش کاهش

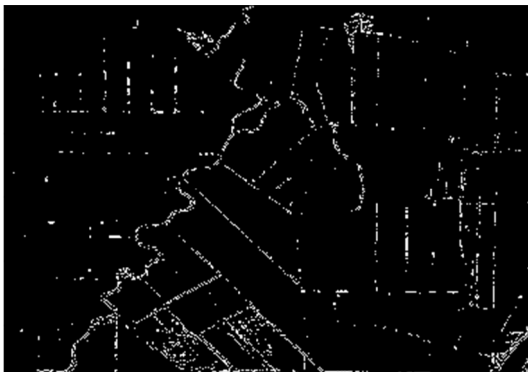


(ب)



(الف)

شکل ۷. خروجی قطعه‌بندی مرز‌مبنا به‌روش آنتروپی شانون: تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)

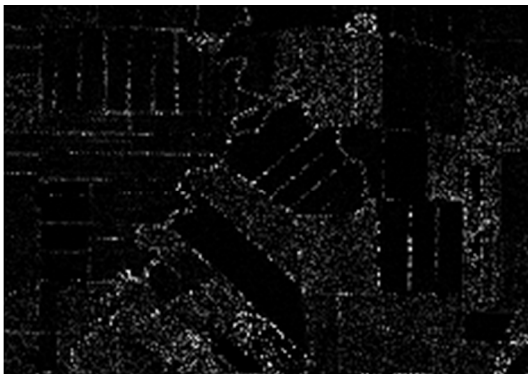


(ب)



(الف)

شکل ۸. خروجی قطعه‌بندی مرز‌مبنا به‌روش فیلتر کنی: تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)



(ب)



(الف)

شکل ۹. خروجی قطعه‌بندی مرز‌مبنا به‌روش فیلتر لاپلاسین: تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)

متوجه می‌شویم که با ادغام روش‌های قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا و مرز‌مبنا، خروجی نهایی دقت بالاتر و مرزهای پیوسته‌تر دارد و قطعات گوناگون و همگن به‌درستی از یکدیگر تفکیک شده‌اند و ضعف‌های هر یک از روش‌های قطعه‌بندی به‌تنهایی کاهش یافته است.

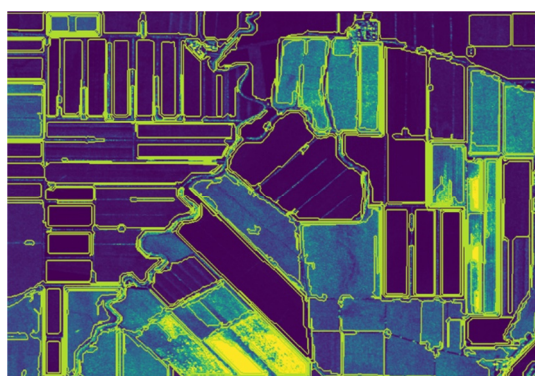
در شکل ۱۰ نیز، خروجی نهایی ادغام روش‌های قطعه‌بندی را مشاهده می‌کنید. طبق این شکل، افزودن اطلاعات استخراجی لبه با روش آنتروپی شانون، به‌شیوه ناحیه‌مبنای مورد نظر، توانسته است لبه‌های ضعیف، نادیده‌گرفته‌شده و ناپیوسته را در تصویر اخذشده به‌شدت تقویت کند. با مقایسه بصری دو شکل ۱۰ و ۲،

جدول ۱. نتایج به‌کارگیری روش‌های متفاوت تشخیص لبه در تصویر اول

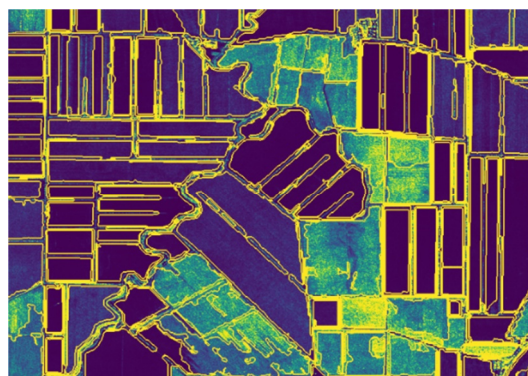
روش‌های تشخیص لبه			
لاپلاسیان	کنی	روش پیشنهادی آنتروپی شانون	معیارها (%)
۹/۵۶	۶/۶۵	۲/۷۲	خطای نادیده‌گرفتن
۱۶/۳۲	۱۴/۸۰	۹/۰۴	خطای مشارکت
۲۰/۱۲	۱۶/۰۲	۱۰/۳۹	درصد خطای کل

جدول ۲. نتایج به‌کارگیری شیوه‌های متفاوت تشخیص لبه در تصویر دوم

روش‌های تشخیص لبه			
لاپلاسیان	کنی	روش پیشنهادی آنتروپی شانون	معیارها (%)
۱۲/۹۲	۱۰/۵۸	۲/۶۰	خطای نادیده‌گرفتن
۲۰/۴۴	۱۸/۲۶	۱۰/۲۷	خطای مشارکت
۲۵/۱۱	۲۲/۴۱	۱۱/۲۵	درصد خطای کل



(ب)



(الف)

شکل ۱۰. خروجی نهایی ادغام روش‌های قطعه‌بندی: تصویر اول (الف)؛ تصویر دوم (ب)

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق ارائه شیوه نوین قطعه‌بندی تصاویر پلاریمتری SAR، با استفاده از ادغام دو رویکرد قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا و مرز‌مبناست. سه روش ناحیه‌مبنای سوپرپیکسل، یعنی Felzenszwalb و Quickshift و Slic، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. روش پیشنهادی آنتروپی شانون نیز، به‌منزله رویکرد قطعه‌بندی مرز‌مبنا، با دو روش گرادیان‌مبنای کنی و لاپلاسین مقایسه شده است. در نهایت، بهترین روش ناحیه‌مبنا، الگوریتم Felzenszwalb، با روش مرز‌مبنای مورد نظر یعنی آنتروپی شانون ادغام و باعث حصول خروجی نهایی قطعه‌بندی شده است. الگوریتم قطعه‌بندی Felzenszwalb، در مقایسه با دیگر روش‌های قطعه‌بندی ناحیه‌مبنا، از قطعه‌بندی بیش‌ازحد تصویر جلوگیری کرد و توانست مرزهای با کنتراست مناسب بین قطعات را به‌خوبی تشخیص دهد. همچنین روش پیشنهادی مرز‌مبنا نیز، در مقایسه با دو روش گرادیان‌مبنای کنی و لاپلاسین، روند تشخیص و تعیین دقیق موقعیت لبه‌ها را در تصویر بهبود بخشید. مقایسه نتایج اجرای الگوریتم آنتروپی شانون با داده‌های مرجع نیز مقادیر ۱۰/۳۹ و ۱۱/۲۵٪ را برای خطای کل، به‌ترتیب درمورد تصویر زمان اول و دوم، نشان می‌دهد. این در حالی است که خطای کل، در دو روش گرادیان‌مبنای کنی و لاپلاسین، درمورد تصویر اول برابر با ۱۶/۰۲ و ۲۰/۱۲٪ و درمورد تصویر دوم برابر با ۲۲/۴۱ و ۲۵/۱۱٪ به‌دست آمده است. در نهایت، با مقایسه بصری خروجی ادغام روش‌های قطعه‌بندی با تصویر pauli RGB منطقه، به دقت بالاتر و تفکیک‌پذیری بهتر آن و نیز رفع ضعف‌های هریک از این روش دست یافتیم.

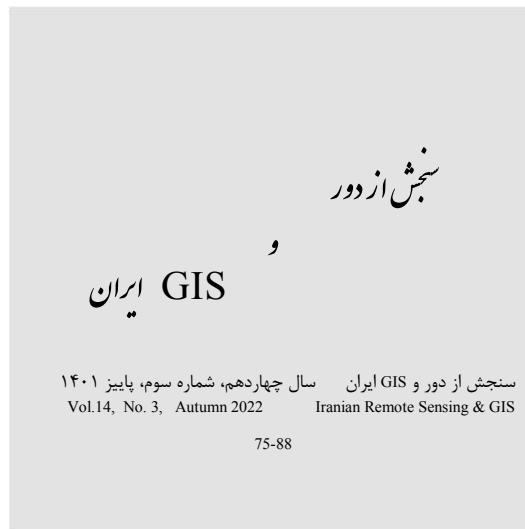
۶- تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از پژوهشکده سنجش از دور، که تصاویر را به‌منظور انجام‌دادن این مطالعه در اختیار آنها قرار داده است، اعلام کنند.

۷- منابع

- Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P. & Süsstrunk, S., 2012, **SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 34(11), PP. 2274-2282.
- Bovik, A.C., 1988, **On Detecting Edges in Speckle Imagery**, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 36(10), PP. 1618-1627.
- Buono, A., Nunziata, F., Migliaccio, M., Yang, X. & Li, X., 2017, **Classification of the Yellow River Delta Area Using Fully Polarimetric SAR Measurements**, International Journal of Remote Sensing, 38(23), PP. 6714-6734.
- Cheng-Xin, Y., Nong, S., Tian-Xu, Z. & Kun, Z., 2005, **Image Transition Region Extraction and Segmentation Based on Local Complexity**, J. Infrared Millim. Waves, 24(4), PP. 312-316.
- Falah, R.K., Bolon, P. & Cocqueruz, J.P., 1994, **A Region-Region and Region-Edge Cooperative Approach of Image Segmentation**, Proceedings of 1st International Conference on Image Processing, IEEE.
- Felzenszwalb, P.F. & Huttenlocher, D.P., 2004, **Efficient Graph-Based Image Segmentation**, International Journal of Computer Vision, 59(2), PP. 167-181.
- Fjortoft, R., Lopes, A., Marthon, P. & Cubero-Castan, E., 1998, **An Optimal Multiedge Detector for SAR Image Segmentation**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(3), PP. 793-802.
- Kiani, A. & Sahebi, M.R., 2015, **Edge Detection Based on the Shannon Entropy by Piecewise Thresholding on Remote Sensing Images**, IET Computer Vision, 9(5), PP. 758-768.
- Lee, J.-S., Grunes, M.R. & De Grandi, G., 1999, **Polarimetric SAR Speckle Filtering and Its Implication for Classification**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37(5), PP. 2363-2373.
- Lee, J.-S. & Pottier, E., 2017, **Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications**, CRC Press.

- Li, Z. & Liu, C., 2009, **Gray Level Difference-Based Transition Region Extraction and Thresholding**, Computers & Electrical Engineering, 35(5), PP. 696-704.
- Li, Z., Liu, G., Zhang, D. & Xu, Y., 2016, **Robust Single-Object Image Segmentation Based on Salient Transition Region**, Pattern Recognition, 52, PP. 317-331.
- Liu, M.-Y., Tuzel, O., Ramalingam, S. & Chellappa, R., 2011, **Entropy Rate Superpixel Segmentation**, CVPR 2011, IEEE.
- Liu, M., Zhang, H., Wang, C. & Wu, F., 2014, **Change Detection of Multilook Polarimetric SAR Images Using Heterogeneous Clutter Models**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 52(12), PP. 7483-7494.
- Marino, A., 2013, **A Notch Filter for Ship Detection with Polarimetric SAR Data**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 6(3), PP. 1219-1232.
- Muñoz, X., Freixenet, J., Cufi, X. & Martí, J., 2003, **Strategies for Image Segmentation Combining Region and Boundary Information**, Pattern Recognition Letters, 24(1-3), PP. 375-392.
- Nussbaum, S. & Menz, G., 2008, **Object-Based Image Analysis and Treaty Verification: New Approaches in Remote Sensing-Applied to Nuclear Facilities in Iran**, Springer Science & Business Media.
- Oliver, C. & Lombardo, P., 1996, **Simultaneous Mean and Texture Edge Detection in SAR Clutter**, IEEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, 143(6), PP. 391-399.
- Omati, M. & Sahebi, M.R., 2018, **Change Detection of Polarimetric SAR Images Based on the Integration of Improved Watershed and MRF Segmentation Approaches**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 11(11), PP. 4170-4179.
- Qi, Z., Yeh, A.G.-O., Li, X. & Zhang, X., 2015, **A Three-Component Method for Timely Detection of Land Cover Changes Using Polarimetric SAR Images**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 107, PP. 3-21.
- Rezaeian, A., Homayouni, S. & Safari, A., 2015, **Segmentation of Polarimetric SAR Images Using Wavelet Transformation and Texture Features**, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(1), P. 613.
- Schou, J., Dierking, W. & Skriver, H., 2000, **Tensor Based Structure Estimation in Multi-Channel Images**, IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment, Proceedings (Cat. No. 00CH37120), IEEE.
- Schou, J., Skriver, H., Nielsen, A.A. & Conradsen, K., 2003, **CFAR Edge Detector for Polarimetric SAR Images**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(1), PP. 20-32.
- Shen, J., Du, Y., Wang, W. & Li, X., 2014, **Lazy Random Walks for Superpixel Segmentation**, IEEE Transactions on Image Processing, 23(4), PP. 1451-1462.
- Singh, S. & Talwar, R., 2013, **Effects of Topographic Corrections on MODIS Sensor Satellite Imagery of Mountainous Region 2013**, International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), IEEE.
- Touzi, R., Lopes, A. & Bousquet, P., 1988, **A Statistical and Geometrical Edge Detector for SAR Images**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26(6), PP. 764-773.
- Vedaldi, A. & Soatto, S., 2008, **Quick Shift and Kernel Methods for Mode Seeking**, European Conference on Computer Vision, Springer.
- Wu, Y., Ji, K., Yu, W. & Su, Y., 2008, **Region-Based Classification of Polarimetric SAR Images Using Wishart MRF**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5(4), PP. 668-672.
- Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, X., Wu, H. & Guo, M., 2015, **Land Cover Classification from Polarimetric SAR Data Based on Image Segmentation and Decision Trees**, Canadian Journal of Remote Sensing, 41(1), PP. 40-50.



Improving the Segmentation of Polarimetric Images with a Combined Approach of Region-Based and Boundary-Based Techniques

Taheri M.¹, Sahebi M.R.², Omati M.^{3*}

1. Master Student of Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology
2. Associate Prof., Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology
3. Ph.D. Student of Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

Abstract

Synthetic aperture radar (SAR) sensors with various properties offer potential in various remote sensing applications, such as land cover and land use segmentation. Despite the two independent approaches of region-based segmentation and boundary-based segmentation, it isn't easy to obtain satisfactory results if either process is used in SAR images. In contrast, complementary information can be obtained using both region-based and boundary-based segmentation methods, removing existing limitations and improving results.

In this research, with the help of polarimetric SAR images, a new segmentation method is presented, aiming to improve segmentation results by combining the two region-based and boundary-based approaches. From the set of superpixel methods, the Felzenszwalb method as a proposed region-based algorithm is compared with Quickshift and SLIC methods. The proposed method was able to prevent over-segmentation of the image and significantly increased the efficiency of segmentation analysis. Also, as the proposed method of boundary-based segmentation, Shannon entropy has considerably preserved the boundaries of the image segmentation compared to the two gradient-based methods, Canny and Laplacian. Comparison of the results of this method with reference data shows the total error of 10.39% and 11.25% for the first and second-time images, respectively. Compared to the performance of the other two methods, the absolute error has been decreased to 5.81% and 9.73% in the first image, and 11.16% and 13.86% in the second image, respectively. Finally, as a significant achievement of this research, integrating the two proposed segmentation algorithms improves the accuracy of polarimetric image segmentation.

Keywords: Segmentation, Polarimetric synthetic aperture radar (PolSAR) images, Region-based segmentation, Boundary-based segmentation, Integration of segmentation method.