



نسخه از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال هشتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۵
Vol.8, No. 4, Winter 2017 Iranian Remote Sensing & GIS

۶۴-۴۵



رویکرد ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا برای آشکارسازی ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا

حمیدرضا رنجبر^{۱*}، حمید دهقانی^۲، علیرضا آزموه اردلان^۳، محمدرضا سراجیان^۴

۱. دانشجوی دکتری سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

۲. استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

۳. استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۴. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۲

چکیده

سامر (Sumer) و همکاران (۲۰۰۸ و ۲۰۱۳) بر پایه‌ی به‌کارگیری الگوریتم انطباقی فازی-ژنتیک، رویکردی نوین در آشکارسازی ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا مطرح کردند. روش پیشنهادی با کاهش مشکل همگرایی زودرس در الگوریتم ژنتیک، دقت آشکارسازی عوارض را بهبود چشمگیری بخشید. نبود کنترل‌های هندسی بر خروجی این الگوریتم از محدودیت‌های رویکرد پیشنهادی به‌شمار آمده است. در این تحقیق، برای رفع این محدودیت، روش استخراج فازی ژنتیک که سامر و همکاران (۲۰۱۳) آن را توسعه دادند با کنترلگر هندسی پیشنهادی ادغام شد. در این الگوریتم، ابتدا نمونه‌های آموزشی و تست انتخاب می‌شوند، سپس اپراتورهای پایه‌ی پردازش تصویر روی ژن‌های کروموزوم‌ها قرار می‌گیرند. خروجی‌های موقتی حاصل از اعمال اپراتورهای پردازش تصویر بر باندهای تصویر ورودی به یک تصویر باینری با بیشترین میزان تمایز بین دو کلاس تبدیل می‌شوند. با محاسبه‌ی میزان مطابقت بین نمونه‌ی انتخابی و خروجی الگوریتم، مقادیر ارزش برای هریک از اعضای جامعه محاسبه می‌شود. در پایان چرخه‌ی هر نسل، رویکرد فازی در نظر گرفته‌شده در این تحقیق مقادیر احتمالی اصلاح‌شده برای عملیات لقاح و جهش را به‌منظور ممانعت از همگرایی ناپهنگام در شروع نسل بعد تعیین می‌کند. این فرایند تا زمان دستیابی به تعداد مشخصی از تکرار ادامه می‌یابد. به‌منظور کنترل هندسی خروجی‌های الگوریتم پیشنهادی، یک الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا نیز توسعه داده شده است. با فرض مشابهت ساختمان‌های همجوار در یک منطقه شهری، الگوریتم تکمیلی سعی در بهینه‌یابی محدوده‌ی مساحتی در منطقه مورد مطالعه دارد. بدین ترتیب که نواحی با حدود خارج از محدوده‌ی مساحتی تعیین‌شده به‌منزله‌ی عوارض کلاس «غیرساختمان» برچسب‌گذاری می‌شوند. این الگوریتم در دوازده ناحیه‌ی انتخابی با ساختمان‌های متراکم و پراکنده در منطقه‌ی ورزقان استان آذربایجان شرقی پیاده‌سازی شد. میزان کاپای محاسبه‌شده با به‌کارگیری رویکرد پیشنهادی بین ۰.۵۹ تا ۰.۹۱ است که، درمقایسه با تحقیقات مشابه، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. این الگوریتم در مناطق شهری و حومه‌ی شهری، به‌نسبت نواحی روستایی، نتایج بهتری داشت.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی ساختمان، پردازش تصویر، تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا، الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا، منطق فازی.

* نویسنده‌دار مکاتبات: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران. تلفن: ۰۹۳۷۳۸۹۰۸۶۸

۱- مقدمه

امروزه استخراج خودکار عوارض به‌دلایلی مانند افزایش سرعت، دقت، کاهش نقش عامل انسانی و همچنین کاهش هزینه از طریق آنالیز و پردازش تصاویر (بزدان و همکاران، ۱۳۹۳) موضوع مورد توجه تحقیقات مرتبط با بینایی ماشین قرار گرفته است (Fazan and Dal, 2016; Poz, 2013; Dornaika et al., 2016). از عوارض بسیار مهمی که در نقشه‌های شهری بزرگ‌مقیاس مورد توجه‌اند می‌توان به ساختمان‌ها اشاره کرد (بزدان و همکاران، ۱۳۹۳). استخراج خودکار عارضه ساختمان از تصاویر تک‌زمانه ماهواره‌ای و هوایی کاربرد وسیعی در موضوعات مرتبط با تهیه و به‌روزرسانی نقشه‌ها، بانک‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (زارع و همکاران، ۱۳۹۳؛ عامری و همکاران، ۱۳۹۰)، آنالیز کاربری و همچنین کاربردهای مرتبط با مباحث کنترل محیطی دارد (Sirmacek and Unsalan, 2009; Quang et al., 2015). تصاویر تک‌زمانه ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا^۱ اطلاعات دوعبده مفیدی همانند رنگ، اندازه، روشنایی، شکل و کنتراست را در اختیار محققان قرار می‌دهند (Ghanea et al., 2014). این تصاویر در مقایسه با تصاویر هوایی برای بیشتر نقاط زمین در بازه زمانی مشخصی در دسترس‌اند و همچنین پوشش گسترده‌تری نیز دارند (Myint et al., 2011). تصاویر HRSI به‌دلیل داشتن باندهای طیفی متعدد در فرایند آشکارسازی عوارض مزیت‌های بسیاری دارند.

در زمینه به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا به‌منظور استخراج خودکار عارضه ساختمان، رویکردهای متنوعی توسعه داده شده است (Grigillo et al., 2012). در چنین رویکردهایی، متناسب با کاربرد مورد مطالعه، از تصاویر تکی و یا پوشش‌دار پانکروماتیک، چندطیفی یا بهبود داده‌شده^۲ استفاده شده است (Sumer and Turker, 2013). سیرماچک^۳ و همکاران (۲۰۰۹)، کوتس^۴ و همکاران (۲۰۱۲) و دِخان^۵ و همکاران (۲۰۱۲) از تصاویر Ikonos با به‌کارگیری متدولوژی‌های متنوعی براساس

طبقه‌بندی^۶، بخش‌بندی^۷، رویکردهای فازی بر مبنای شیء و پیکسل^۸، روش‌های آنالیز خطی^۹ و تئوری گراف^{۱۰} برای استخراج ساختمان استفاده کردند. افزون‌بر این موارد، کُلمن^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۷)، لی‌یو^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۸) و مایونگا^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۳) از تصاویر QuickBird، با به‌کارگیری رویکردهای عارضه و ناحیه‌مبنا همانند خوشه‌بندی^{۱۴}، آشکارسازی لبه و منحنی‌های ماری، اقدام به استخراج ساختمان‌ها کردند. اینگلادا^{۱۵} (۲۰۰۷)، با به‌کاربردن تصاویر Spot-5 و بهره‌گیری از ماشین‌های بردار پشتیبان^{۱۶}، سیستم پردازش تصویری را با هدف آشکارسازی عوارض انسان‌ساخت عرضه کرد. افزون‌بر این موارد، کارانتزالوس^{۱۷} و همکاران (۲۰۱۰) و تیموری^{۱۸} و همکاران (۲۰۱۶) تلفیق استفاده از تصاویر اپتیکی با تصاویر SAR یا تصاویر اپتیکی با داده‌های LiDAR را در فرایند آشکارسازی ساختمان‌ها بررسی و تحلیل کردند. مطالعات قبلی برای آشکارسازی ساختمان‌ها صرفاً از مقادیر شدت هر باند طیفی برای هر پیکسل تصویر بهره گرفته است. با وجود فراهم کردن فضایی با ابعاد ثابت و عملکرد رضایت‌بخش طبقه‌بندی‌کننده‌های معمولی در این فضا، به‌کارگیری مشخصه‌هایی همانند بافت (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۳)، مجاورت^{۱۹} و شکل (دهقانی، ۱۳۹۱)، در کنار فضای طیفی، اطلاعات ارزشمندی را در فرایند استخراج عوارض در اختیار ما قرار می‌دهند. (Sumer and Turker, 2013; Dong and Shan, 2013)

1. high resolution satellite imagery (HRSI)
2. pan sharpened
3. Sirmacek
4. Koc
5. Dejan
6. image classification
7. image segmentation
8. fuzzy pixel/object based approaches
9. line analysis
10. graph theoretical methods
11. Coleman
12. Liu
13. Mayunga
14. clustering
15. Inglada
16. Support Vector Machines (SVM)
17. Karantzas
18. Teimouri
19. proximity

مشکل، سامر و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای چندطیفی IKONOS با قدرت تفکیک مکانی یک متر، به طرح متدولوژی دیگری بر پایه به‌کارگیری منطق فازی در کنار الگوریتم ژنتیک اقدام کردند. رویکرد فازی انطباقی پیشنهادی درمقایسه با رویکرد پیشین، در همان نسل‌های نخستین، با سرعت بیشتری همگرا شد. سامر و همکاران (۲۰۱۳) رویکردی فازی-ژنتیک را در انتخاب اپراتورهای بهینه برای استخراج عارضه ساختمان مطرح کردند که در تفکیک بین دو کلاس ساختمان و غیرساختمان عملکردی بسیار رضایت‌بخش‌تر از روش‌های قبلی از خود نشان داد.

با وجود ادغام کنترلگر منطق فازی به رویکردهای پیشین، هنوز هیچ‌گونه تضمین قطعی برای یافتن یک راه‌حل بهینه سراسری وجود ندارد؛ به‌گونه‌ای که میزان بالای پیکسل‌های کاذب در این تحقیقات گویای همگرایی الگوریتم‌های تلفیقی در نقطه‌ای نیمه‌بهینه و در شرایط ناهمگام است. این تحقیقات گاه در شناسایی پیکسل‌هایی از کلاس غیرساختمان، که در کلاس ساختمان طبقه‌بندی شده‌اند، از داده‌های کمکی نیز بهره گرفته‌اند. همچنین رویکردهای تلفیقی در استخراج ساختمان‌ها بیشتر در مناطقی با تراکم اندک ساختمانی که مشابهت بالا در اشکال و رنگ ساختمان‌ها و همچنین کنتراست بالا بین ساختمان و مناطق پیش‌زمینه دارند پیاده‌سازی شده‌اند. مشابه تحقیقات سامر و همکاران (۲۰۰۸ و ۲۰۱۳)، در این تحقیق الگوریتمی تلفیقی برای استخراج ساختمان‌ها، با به‌کارگیری تصویر ماهواره‌ای چندطیفی Geo Eye-1 با قدرت تفکیک مکانی بالا، عرضه می‌شود. در این الگوریتم از مجموعه‌ای از اپراتورهای شناخته‌شده

بنابراین محققان دیگری برای استخراج عارضه ساختمان، با به‌کارگیری رویکرد تلفیق اطلاعات طیفی در کنار روابط مکانی، تلاش کردند. در حال حاضر پتانسیل بالایی به‌منظور مطالعه روی ادغام چنین اطلاعاتی برای استخراج موقعیت ساختمان‌ها وجود دارد (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۳). در این راستا، پرکینز^۱ و همکاران الگوریتم ترکیبی با عنوان GENIE^۲ را مطرح کردند. در این الگوریتم جمعیتی مشتمل بر اپراتورهای ابتدایی پردازش تصویر همانند اپراتورهای ریاضی، منطقی و بافت تشکیل یافت. سپس توانمندی استخراج عارضه ساختمان برای هر کروموزوم در جمعیت، با اختصاص یک مقدار ارزش^۳ به هر کروموزوم، ارزیابی شد. در این روش، مقدار ارزش از طریق اندازه‌گیری میزان موافقت بین عارضه استخراج‌شده با پیکسل‌های مرجع تعیین شده از سوی اپراتور خبره تعیین شد. بعد از تعیین مقادیر ارزش، اپراتورهای تکمیلی همانند لقاح و جهش، تا زمان دستیابی به تعداد مشخصی از نسل‌ها، به‌کار گرفته شدند. به‌منظور ایجاد زنجیره بهتری از اپراتورها، کروموزوم‌هایی با عملکرد ضعیف حذف و کروموزوم‌هایی با مقادیر ارزشی بالاتر حفظ شدند. در بررسی هاروی^۴ و همکاران (۲۰۰۲)، الگوریتم GENIE درمقایسه با طبقه‌بندی‌کننده‌های نظارت‌شده موجود همچون کمترین فاصله^۵، بیشترین شباهت^۶، فاصله ماهالانوبیس^۷، SAM^۸ و کدگذاری باینری عملکرد بهتری از خود نشان داد. در مطالعه دیگری که پرکینز و همکاران (۲۰۰۵) صورت دادند، سیستمی با عنوان GENIE Pro توسعه یافت. همچون GENIE، سیستم GENIE Pro ابزاری به‌منظور استخراج خودکار از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای با استفاده از داده‌های آموزشی است. سیستم GENIE Pro اطلاعات طیفی و مشخصه‌های مکانی مانند بافت، مورفولوژی‌های محلی و اطلاعات حاصل از اشکال را به‌صورتی پیچیده با هم ادغام کرد. سرعت پایین همگرایی یکی از نواقص این روش پیشنهادی مطرح شد. برای برطرف کردن این

1. Perkins
2. GENetic Image Exploitation
3. fitness value
4. Harvey
5. minimum distance
6. maximum likelihood
7. Mahalanobis distance
8. Spectral Angle Mapping

قواعد کلی چرخه تکامل بهره می‌گیرد (رنجیر و همکاران، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر، GA به تکنیکی متداول در حیطه علم پردازش تصویر تبدیل شده است (Paulinas and Ušinskas, 2015). جمعیتی از پاسخ‌های امکان‌پذیر (کروموزوم‌ها) تولید و مقادیر متغیرهای تصمیم در ژن‌های کروموزوم کد می‌شوند. مقدار تابع هدف یا معیاری از آن برای هر کروموزوم نشان‌دهنده مقدار تطابق آن‌هاست و هرچه این مقدار بیشتر باشد، بخت زادوولد آن‌ها افزایش می‌یابد؛ هرچند افراد ضعیف‌تر جامعه نیز امکان تولیدمثل و بقای نسل دارند (راستی ویس و همکاران، ۱۳۹۱). در تولید یک جمعیت از جمعیت قبل، عملگرهای ژنی مانند انواع عملگرهای لقاح و جهش همراه با روش انتخاب کاربرد دارند (Sumer and Turker, 2013) که اولی در جهت همگرایی جمعیت به سمت جواب خوب و دومی برای فرار از نقاط بهینه موضعی است. ساختار الگوریتم ژنتیک تصویرمبنای به‌کاررفته در هر دو فاز الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مدل، جمعیت GA از تعداد مشخصی کروموزوم تشکیل شده که هر یک راه‌حلی برای مسئله بخش مربوط به خود به‌شمار می‌روند. ساختار هر کروموزوم نیز تعداد مشخص و ثابتی از اپراتورهای پردازش تصویر (ژن‌ها) در بخش اول و حدود تصادفی انتخابی مبین حد پایین در بخش دوم الگوریتم را دربر می‌گیرد.

۲-۱-۲- استخراج اپراتورهای پردازش تصویر

نخستین مرحله پردازش انتخاب نمونه‌های آموزشی و تست از تصویر است. هدف این مطالعه تفکیک ساختمان‌ها از دیگر عوارض موجود در تصویر است؛ بنابراین، کلاس‌های ساختمان و غیرساختمان در این تحقیق در جایگاه دو کلاس مورد نظر انتخاب و نمونه‌های آموزشی برای این دو کلاس مشخص شد. همچنین نمونه‌های تست در این تحقیق به‌منظور محاسبه مقدار ارزش نواحی ساختمانی استخراج‌شده محاسبه شد.

پردازش تصویر در فرایند استخراج بهره گرفته شده است و خروجی‌های الگوریتم را پارامترهایی هندسی، مانند کمترین و بیشترین مساحت ساختمان‌ها در یک ناحیه شهری، کنترل می‌کنند. این الگوریتم در مناطق با تراکم ساختمانی متغیر از شهر ورزقان در شمال غرب ایران پیاده‌سازی و ارزیابی شد. در این مطالعه از هیچ داده کمکی همچون LiDAR، برداری یا DEM در تعیین محل ساختمان‌ها استفاده نشده و فقط تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور دستیابی به این هدف به‌کار گرفته شده است. در این زمینه، این مقاله در چهار بخش تهیه شده است که در بخش‌های باقی‌مانده، پس از بررسی اجمالی مراحل گوناگون روش پیشنهادی، نتایج به‌دست‌آمده مطرح و ارزیابی و، در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم بیان شده است.

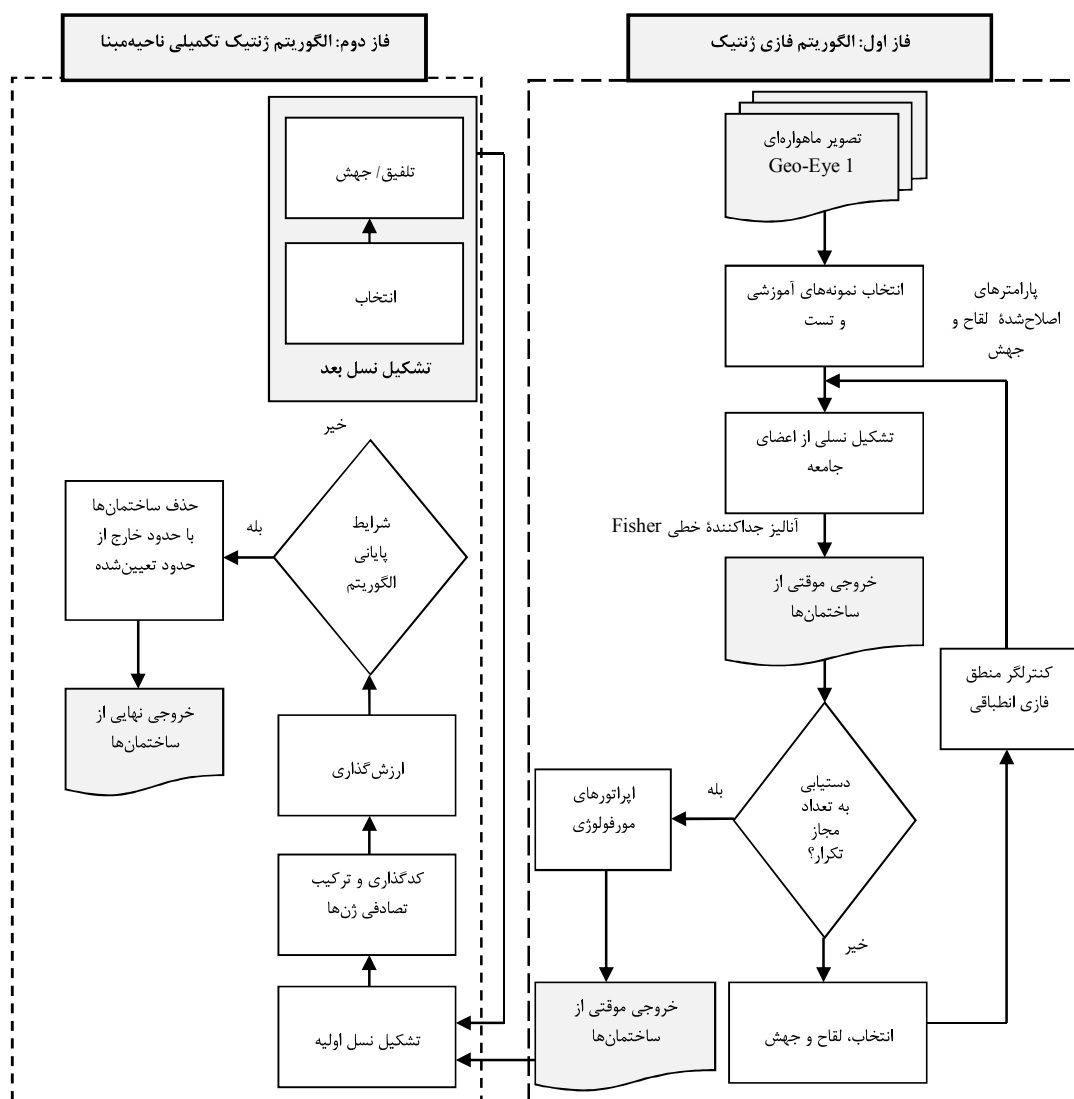
۲- موارد و روش‌ها

همان‌طور که از نظر گذشت، روش‌های گوناگونی برای آشکارسازی موقعیت ساختمان‌ها وجود دارد و مطالعات بسیاری نیز در این زمینه انجام شده است. در این تحقیق، روشی به‌منظور آشکارسازی موقعیت ساختمان‌ها، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا، مطرح و پیاده‌سازی شده است. می‌توان روش پیشنهادی را درزمره روش‌های تلفیق اطلاعات در نظر گرفت؛ با این تفاوت که در این روش از هیچ‌گونه داده کمکی در کنار تصاویر ماهواره‌ای استفاده نشده است. روش پیشنهادی دارای دو فاز کلی است. در فاز نخست، ابتدا نواحی موقتی ساختمان‌ها با یک الگوریتم فازی ژنتیک تعیین می‌شود. سپس نواحی موقتی در فاز دوم روش پیشنهادی با یک الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا، به‌منظور حذف نواحی با حدود خارج از محدوده تعیین‌شده از طریق الگوریتم، کنترل هندسی خواهند شد. مراحل روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده و در ادامه، هر یک از مراحل به‌تفصیل بیان شده است.

۲-۱- فاز اول (الگوریتم فازی ژنتیک)

۲-۱-۱- ساختار الگوریتم ژنتیک تصویرمبنا

ژنتیک الگویی نسبتاً متداول است که از اصول و



شکل ۱. فلوجارت پیشنهادی روش ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا برای آشکارسازی موقعیت ساختمان‌ها

باند‌های مورد استفاده در هریک از این اپراتورها شامل باند‌های تصویر ورودی، آبی (B)، سبز (G)، قرمز (R) و مادون قرمز نزدیک (NIR) است. از سوئی، باندهای خروجی مجموعه‌ای از باندهای موقتی خالی‌اند. در این تحقیق ممکن است یک باند خروجی موقتی، پس از اینکه اپراتوری آن را به کار برد، به صورت یک باند ورودی نیز در نظر گرفته شود. پنج باند موقتی از پیش تعریف‌شده شامل temp1، temp2، temp3، temp4 و

در ساختار الگوریتم ژنتیک تصویرمبنا به کاررفته در این تحقیق، تمامی کروموزوم‌ها در جمعیت تعداد ثابتی از ژن‌ها را دارند. اپراتورهای پردازشی به‌طور تصادفی از مجموعه اپراتورهای جدول ۱ انتخاب و در هریک از ژن‌ها قرار می‌گیرند. فهرست کاملی از اپراتورهای پردازش تصویر به کاررفته در مجموعه ژن‌ها شامل اپراتورهای منطقی، چندین اپراتور آستانه‌گذاری، بافت‌های عرضه‌شده از سوی لاز^۱ (1980)، اپراتورهای طیفی و اپراتورهای فیلترگذاری در جدول ۱ آمده است.

1. Laws

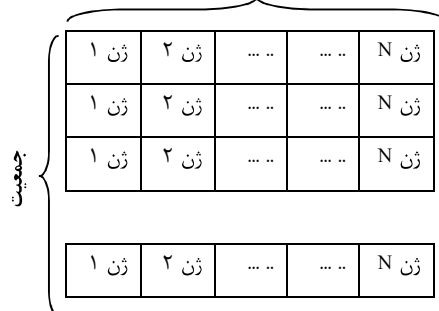
اپراتور ۱۶ به‌منظور اعمال فیلتر Sobel به باند B ورودی به‌کار می‌رود و نتیجه در باند خروجی temp4 قرار داده می‌شود. در نهایت، temp5 به‌دلیل اینکه تنها باند خالی باقی‌مانده است، به‌طور خودکار باند خروجی انتخاب می‌شود. temp1 برای اپراتور ۱۰ انتخاب می‌شود و بافت LAWf روی این باند اعمال می‌گردد و خروجی در باند خروجی منتخب یعنی temp5 قرار می‌گیرد.

جدول ۱. اپراتورهای اولیه پردازش تصویر (مجموعه ژن‌ها)

گروه	شماره اپراتور	توضیح اپراتور	تعداد باند های ورودی	تعداد پارامترها
	۱	مینیمم	۲	۰
اپراتورهای منطقی	۲	ماکزیمم	۲	۰
	۳	اگر ... کمتر از ... در غیر این صورت	۴	۰
اپراتورهای آستانه‌گذاری	۴	حذف آستانه بالا	۱	۱
	۵	حذف آستانه پایین	۱	۱
	۶	آستانه‌گذاری	۱	۱
	۷	R5R5	۱	۰
	۸	LAWB	۱	۰
اپراتورهای بافت	۹	LAWD	۱	۰
	۱۰	LAWF	۱	۰
	۱۱	LAWH	۱	۰
اپراتورهای طیفی	۱۲	تشابه طیفی براساس فاصله	۳	۰
	۱۳	تشابه طیفی براساس همبستگی	۳	۰
	۱۴	مقدار مشابهت	۳	۰
	۱۵	میانگین	۱	۰
	۱۶	Sobel	۱	۱
اپراتورهای فیلترگذاری	۱۷	Perwitt	۱	۱
	۱۸	Gaussian	۱	۱
	۱۹	Laplacian	۱	۱
	۲۰	Laplacian of Gaussian	۱	۱
	۲۱	Unsharp	۱	۱

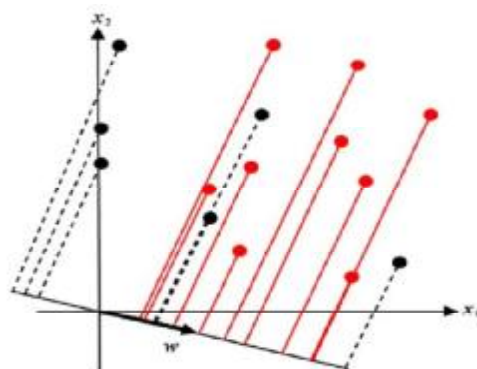
temp5 در این تحقیق به‌کار رفتند. انتخاب باندهای ورودی و خروجی مورد نیاز هریک از اپراتورها، به‌طور تصادفی، از طریق الگوریتم از مجموعه باندهای ورودی و خروجی موجود صورت می‌گیرد.

اپراتورهای پردازش تصویر



شکل ۲. ساختار جمعیتی مشتمل بر M کروموزوم و N ژن در هر کروموزوم

با در نظر گرفتن کروموزوم فرضی با ۵ ژن [1 15 6 16 10]، فرض می‌کنیم که الگوریتم دو باند (قرمز R و سبز G) و یک باند خروجی (temp3) برای اپراتور ۱ انتخاب می‌کند. در نتیجه، عملگر مینیمم کمترین مقدار دو باند را در temp3 قرار می‌دهد. از این لحظه به بعد، باند temp3 را نیز می‌توان باند ورودی در نظر گرفت. برای ژن بعدی (اپراتور ۱۵)، باندهای تک‌ورودی و باندهای خروجی انتخاب می‌شوند. برای نمونه، باندهای NIR و temp1 ممکن است، به ترتیب، باندهای ورودی و خروجی انتخاب شوند؛ یعنی نتیجه فیلتر میانگین با اندازه کرنل پیش فرض 3 × 3 از باند NIR در temp1 قرار داده می‌شود. سپس یک باند ورودی (temp3) و یک باند خروجی (temp2) برای اپراتور ۶، با یک پارامتر اسکالر بین ۰ و ۲۵۵ برای یک تصویر ۸ بیتی، انتخاب می‌شود. در این مثال، پارامتر اسکالر ۱۳۵ در نظر گرفته می‌شود و مقدار این پارامتر در طول اجرای الگوریتم اصلاح می‌شود. بنابراین پیکسل‌هایی از temp3 که از ۱۳۵ بالاترند به ۲۵۵ و پیکسل‌هایی با مقدار کمتر از ۱۳۵ به ۰ تغییر داده می‌شوند و نتایج در temp2 قرار می‌گیرد. پس از آن،



شکل ۳. جهت بهینه w نقاط متعلق به دو کلاس متفاوت (قرمز و سیاه) را از هم جدا می‌کند (Sumer and Turker 2013).

پس از استخراج ساختمان‌ها در قالب فرمت باینری، مقدار ارزش (FT) برای کروموزوم انتخابی محاسبه می‌شود. مقدار ارزش هر کروموزوم برای کلاس‌های ساختمانی و غیرساختمانی با محاسبه میزان مطابقت بین خروجی باینری و پیکسل‌های تست تعیین می‌شود. برای هر کروموزوم، FT با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$FT = 500(D + (1 - MD)) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه میزان آشکارسازی D حاصل کسری از پیکسل‌های تست برچسب‌گذاری شده در کلاس ساختمان است که طبقه‌بندی کننده نیز آن پیکسل‌ها را کلاس ساختمان تشخیص داده؛ همچنین کسری از پیکسل‌های تست برچسب‌گذاری شده در کلاس غیرساختمان که طبقه‌بندی کننده نیز آن پیکسل‌ها را کلاس غیرساختمان تشخیص داده است. میزان آشکارسازی اشتباه MD حاصل کسری از پیکسل‌های تست برچسب‌گذاری شده در کلاس ساختمان است که طبقه‌بندی کننده آن پیکسل‌ها را کلاس غیرساختمان تشخیص داده و نیز کسری از پیکسل‌های تست برچسب‌گذاری شده در کلاس غیرساختمان که طبقه‌بندی کننده آن پیکسل‌ها را کلاس ساختمان تشخیص داده است (Sumer and Turker, 2008).

1. Fisher
2. between-scatter matrix
3. within-scatter matrix

۲-۱-۳- کاهش بعد با استفاده از آنالیز جداکننده

خطی Fisher و محاسبه مقدار ارزش

با به‌کارگیری آنالیز جداکننده خطی Fisher که یک الگوریتم طبقه‌بندی معمولی است (Sumer and Turker, 2013)، باندهای موقتی حاصل از اعمال اپراتورهای پردازشی قرار گرفته در هریک از ژن‌های کروموزوم‌ها به یک تک‌باند، که نشان‌دهنده موقعیت ابتدایی ساختمان‌هاست، کاهش می‌یابند. این آنالیز یک ترکیب خطی از باندهای موقتی خروجی را ایجاد می‌کند؛ به‌گونه‌ای که ترکیب خطی حاصل منجر به بیشینه‌سازی میانگین اختلاف بین پیکسل‌های ساختمان و پیکسل‌های غیرساختمان می‌شود (Stork et al., 2001). نتیجه فاز جداسازی تصویری خاکستری است که با استفاده از یک حد آستانه به تصویری باینری کاهش داده می‌شود. فرایند کاهش بعد با این آنالیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

در نگاشت به یک جهت w (دو کلاس)، نمونه‌ها بردارهای d بعدی x_1, \dots, x_n هستند که دو زیربخش D_1 و D_2 را دربر می‌گیرند. نمونه‌های نگاشت‌شده، شامل دو زیربخش Y_1 و Y_2 ، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شوند.

$$y = w^t x \quad \text{رابطه (۱)}$$

معیار به حداکثر رسانیدن مقدار جداکننده خطی فیشر^۱ یا $J(w)$ (رابطه ۲) است.

$$J(w) = \frac{w^t S_B w}{w^t S_W w} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، $S_B = (m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^t$ ماتریس مابین پراکندگی^۲ (m_1 میانگین $x \in D_1$) و $S_W = S_1 + S_2$ ماتریس داخل پراکندگی^۳ است که S_i مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$S_i = \sum_{x \in D_i} (x - m_i)(x - m_i)^t \quad \text{رابطه (۳)}$$

جهت خط بهینه در راستای بیشترین توزیع داده‌ها، طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$w = S_W^{-1} (m_1 - m_2) \quad \text{رابطه (۴)}$$

۲-۱-۴- عملیات کنترل‌کننده منطق فازی انطباقی

پس از تعیین مقادیر ارزش برای همهٔ کروموزوم‌ها در جمعیت، اعضای جامعه براساس مقادیرشان رتبه‌بندی می‌شوند. فقط کروموزوم‌های با بالاترین رتبه را نگاه می‌داریم و بقیه را حذف می‌کنیم. میزان انتخاب X_R کسری از جمعیت کل N_{POP} است که برای نسل بعدی باقی می‌ماند. تعداد کروموزوم‌هایی که باید حفظ شود N_{KEPT} از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$N_{KEPT} = N_{POP} X_R \quad \text{رابطه (۶)}$$

در مرحلهٔ بعد، با انتخاب یک یا دو کروموزوم والد از میان کروموزوم‌های حفظ‌شده N_{KEPT} فرزندان جدید با به‌کارگیری عملیات‌های لقاح و جهش ایجاد می‌شوند (Sumer and Turker, 2013). به‌طور معمول عملیات جهش پس از عملیات لقاح صورت می‌گیرد. به‌منظور انتخاب کروموزوم‌ها، از یک روش جفت‌سازی تصادفی استفاده شد که از یک تولیدکنندهٔ یکنواخت اعداد تصادفی بهره می‌برد. در این تحقیق، با کنار گذاشتن کروموزوم با بالاترین مقدار ارزش (کروموزوم نخبه) از این فرایند، میزان موفقیت برای نسل بعدی طبق روش دیونگ^۱ (۱۹۷۵) حفظ می‌شود.

پیش از شروع ساخت نسل بعدی در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، عملیاتی با به‌کارگیری منطق فازی انطباقی که لی‌یو و همکاران (۲۰۰۵) معرفی کردند اعمال می‌شود. عملیاتی که کنترلگر منطق فازی انطباقی صورت می‌دهد بر مبنای این اصل استوار است که احتمال لقاح و جهش (P_m و P_c)، در صورت تولید فرزندان بهتر، باید افزایش پیدا کند. هرچند زمانی که $f_{ave}(k)$ (میانگین ارزش k امین نسل) به مقدار $f_{max}(k)$ (بیشترین مقدار ارزش k امین نسل) یا $f_{ave}(k-1)$ به مقدار $f_{ave}(k)$ می‌رسد، باید مقدار P_c کاهش و مقدار P_m افزایش یابد. هدف این الگو تقویت ژن‌هایی با عملکرد خوب، به‌منظور تولید فرزندان بیشتر، و کاهش شانس حضور ژن‌هایی با عملکرد

ضعیف است که منجر به تخریب عملکرد کروموزوم‌ها در حین فرایند لقاح و جهش می‌شوند. دو پارامتر e_1 و e_2 ، طبق روابط (۷) و (۸)، به‌منظور تعریف قوانین فازی برای به‌کاررفتن در عملیات لقاح و جهش تعریف می‌شوند (جدول ۲).

$$e_1 = \frac{f_{max}(k) - f_{ave}(k)}{f_{max}(k)} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$e_2 = \frac{f_{ave}(k) - f_{ave}(k-1)}{f_{max}(k)} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در جدول ۲، پایگاه قواعد فازی تعریف‌شده برای عملیات‌های لقاح و جهش مشاهده می‌شود. کلمات اختصاری NL، NS، ZE، PS و PL به‌ترتیب مخفف منفی بزرگ^۲، منفی کوچک^۳، صفر^۴، مثبت کوچک^۵ و مثبت بزرگ^۶ محسوب می‌شوند. مقادیر این پارامترها، مطابق شکل ۴، از توابع عضویت مطرح‌شده در کار تحقیقی لی‌یو و همکاران (۲۰۰۵) و سامر و همکاران (۲۰۰۸ و ۲۰۱۳) استخراج شده است. $\Delta P_c(k)$ و $\Delta P_m(k)$ مقادیر خروجی محاسبه‌شده از فرایند نافازی‌سازی اندازهٔ گام‌های احتمالاتی برای فرایند لقاح و جهش‌اند. فرایند نافازی‌سازی که خروجی فازی را بار دیگر به مقادیر عددی تبدیل می‌کند، با به‌کارگیری رویکرد مرکز ثقل^۷ صورت می‌گیرد. با استفاده از فرایند نافازی‌سازی، پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک با مقادیر محاسبه‌شدهٔ $\Delta P_c(k)$ و $\Delta P_m(k)$ ، طبق روابط (۹) و (۱۰)، اصلاح می‌شوند.

$$P_c(k) = P_c(k-1) + \Delta P_c(k) \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$P_m(k) = P_m(k-1) + \Delta P_m(k) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

1. De Jong
2. negative large
3. negative small
4. zero
5. positive small
6. positive large
7. centroid approach

جدول ۲. قوانین فازی تعریف شده برای تعیین گام احتمالاتی

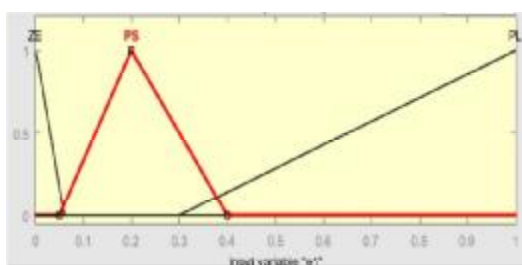
فرایند لقاح و جهش ($\Delta P_m(k)$ و $\Delta P_c(k)$)

1. If (e1 is PL) and (e2 is NL) then (DeltaPc(t) is NS)(DeltaPm(t) is PS) (1)
2. If (e1 is PL) and (e2 is NS) then (DeltaPc(t) is ZE)(DeltaPm(t) is ZE) (1)
3. If (e1 is PL) and (e2 is ZE) then (DeltaPc(t) is NS)(DeltaPm(t) is PS) (1)
4. If (e1 is PL) and (e2 is PS) then (DeltaPc(t) is PS)(DeltaPm(t) is NS) (1)
5. If (e1 is PL) and (e2 is PL) then (DeltaPc(t) is PL)(DeltaPm(t) is NL) (1)
6. If (e1 is PS) and (e2 is NL) then (DeltaPc(t) is ZE)(DeltaPm(t) is ZE) (1)
7. If (e1 is PS) and (e2 is NS) then (DeltaPc(t) is ZE)(DeltaPm(t) is ZE) (1)
8. If (e1 is PS) and (e2 is ZE) then (DeltaPc(t) is NL)(DeltaPm(t) is PL) (1)
9. If (e1 is PS) and (e2 is PS) then (DeltaPc(t) is ZE)(DeltaPm(t) is ZE) (1)
10. If (e1 is PS) and (e2 is PL) then (DeltaPc(t) is ZE)(DeltaPm(t) is NS) (1)
11. If (e1 is ZE) and (e2 is NL) then (DeltaPc(t) is NS)(DeltaPm(t) is PS) (1)
12. If (e1 is ZE) and (e2 is NS) then (DeltaPc(t) is NL)(DeltaPm(t) is PL) (1)
13. If (e1 is ZE) and (e2 is ZE) then (DeltaPc(t) is NL)(DeltaPm(t) is PL) (1)
14. If (e1 is ZE) and (e2 is PS) then (DeltaPc(t) is NL)(DeltaPm(t) is PL) (1)
15. If (e1 is ZE) and (e2 is PL) then (DeltaPc(t) is NL)(DeltaPm(t) is PS) (1)

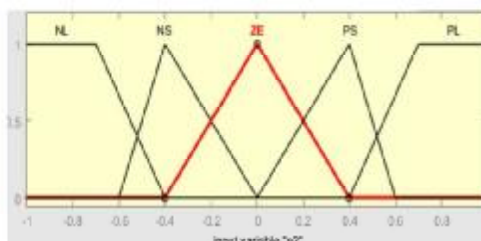
پس از تعیین احتمالات جدید برای عملیات لقاح و جهش، نسل بعدی با استفاده از جمعیت جدید ساخته می‌شود. تعداد نسل‌ها در این مدل بستگی به دستیابی به یک حد مورد انتظار یا به پایان رسیدن تعداد مشخص تکرار خواهد داشت. معمولاً پس از تعدادی تکرار مشخص، همه کروموزوم‌ها و مقادیر ارزش مرتبط با آنها یکسان می‌شوند؛ در این نقطه الگوریتم متوقف می‌شود. در تجربه این تحقیق، الگوریتم ژنتیک پس از تعداد مشخصی از نسل‌ها متوقف می‌شود. به طور خلاصه، ساختار عمومی الگوریتم به کاررفته در این تحقیق همانند نمونه کد زیر است.

```

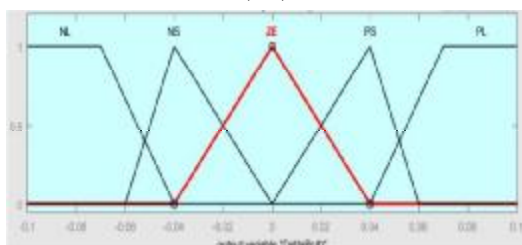
Begin Fuzzy-Genetic Algorithm
شمارنده تکرار t=0
تشکیل جمعیت P(t)
ارزیابی جمعیت [شامل محاسبه مقدار ارزش] P(t)
do (تا زمان دستیافتن به معیار اتمام حلقه)
    t=t+1
    Select P(t) from P(t-1)
    Crossover P(t)
    Mutate P(t)
    ارزیابی جمعیت P(t)
    تنظیم پارامترهای GA
    [
        صادر کردن کنترلگر منطق فازی انطباقی e1 و e2
        به روز کردن پارامترهای کنترلی مطابق رابطه (۱۰) و (۱۱)
    ]
End While
End FGA
    
```



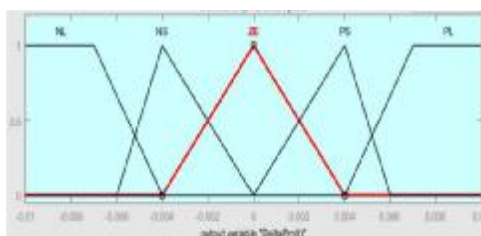
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۴. توابع عضویت برای پارامتر ورودی e_1 (الف)؛ پارامتر ورودی e_2 (ب)؛ پارامتر خروجی $\Delta P_c(t)$ (پ)؛ پارامتر خروجی $\Delta P_m(t)$ (ت)

۲-۱-۵- پس پردازش مورفولوژیکی

بعد از آشکارسازی ساختمان‌ها با اعمال اپراتورهای پس پردازشی، مناطق مصنوعی که اشتباه تشخیص داده شدند از تصویر حذف می‌شوند. عملگرهای پس پردازشی که در این مطالعه به کار رفته مشتمل است بر توابع مورفولوژیکی همانند بازکردن، حذف مصنوعات، بستن و پرکردن سوراخ (Gonzalez and Woods, 2002). عملیات بازکردن و بستن مجموعه A با المان ساختاری^۱ دایره‌ای شکل B ، که به ترتیب با عبارت $A \ominus B$ و $A \bullet B$ نمایش داده می‌شوند، مطابق روابط (۱۱) و (۱۲) به دست می‌آیند.

$$\text{رابطه (۱۱)} \quad A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

$$\text{رابطه (۱۲)} \quad A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

که در این رابطه، \oplus و \ominus به ترتیب اپراتورهای مورفولوژیکی سایش^۲ و گسترش^۳ محسوب می‌شوند. عملیات سایش، با تفریق عوارضی با شعاع کوچک‌تر از المان ساختاری، منجر به کاهش اندازه عوارض و حذف آنومالی‌های کوچک می‌شود. درمقایسه، گسترش معمولاً به افزایش اندازه عوارض و اتصال نواحی منفصل از یکدیگر، که فواصل بین انفصال‌های آن کوچک‌تر از اندازه المان ساختاری باشد، منجر می‌شود (دهقانی، ۱۳۹۱).

۲-۲- فاز دوم (الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا)

با وجود به‌کارگرفتن اپراتورهای مورفولوژیکی همانند بازکردن و حذف مصنوعات در فاز اول الگوریتم و حذف پیکسل‌های کاذب در منطقه مطالعاتی، همچنان تعداد معتناهی از پیکسل‌های غیرساختمان در کلاس ساختمان مشاهده شد. دلیل این مسئله مشخصه‌های ناحیه مورد مطالعه، تعیین تجربی اندازه، نوع المان ساختاری و همچنین حد آستانه در نظر گرفته شده برای عملیات حذف مصنوعات است که در خروجی حاصل از الگوریتم تأثیر بسیار دارد. بنابراین به‌منظور بهبود خروجی‌های الگوریتم، فاز دوم الگوریتم توسعه داده شد. فاز دوم الگوریتم، بر مبنای ایده تابلر^۴ (۱۹۷۰) پیشنهاد شده است. او نخستین بار این موضوع را چنین

مطرح کرد که همه عوارض درصدی از مشابهت با یکدیگر دارند اما این مشابهت در عوارض نزدیک به هم، درمقایسه با عوارضی که در فاصله چشمگیری از یکدیگر قرار گرفته‌اند، بیشتر است. به عبارتی دیگر در یک بلوک شهری، نوع، مساحت و شکل ساختمان‌ها مشابهت بسیاری به هم دارند (Koc-San and Turker, 2012). دلیل این مسئله این است که معیارهای ساخت‌وساز در یک بلوک شهری، همانند نوع مسکن و تعداد طبقات در نظر گرفته شده در طرح‌های توسعه شهر، معمولاً به یکدیگر شبیه‌اند. افزون بر این، ساختمان‌های قرارگرفته در یک بلوک شهری را اغلب یک تعاونی مسکن می‌سازد؛ بنابراین چنین مسکن‌هایی الگو و مدل منظمی دارند. این قاعده‌مندی در ساخت‌وساز به دلیل سرعت‌بخشیدن به عملیات طراحی و ساختمان‌سازی و ساده‌سازی آنهاست (Croitoru and Doytsher, 2003).

با در نظر گرفتن فرض مشابهت عوارض ساختمانی در یک بلوک شهری، ارتباطی منطقی به صورت تجربی برای حدود پایین و بالای مساحت سقف ساختمان‌ها مطرح شد (رابطه ۱۳). حد بالای مساحت سقف ساختمان‌های منطقه مطالعاتی با بررسی مقررات و اسناد ملکی صادرشده در محدوده مورد مطالعه، برابر با حد بالای مساحت ثبت‌شده در اسناد ثبتی صادرشده در منطقه (مقدار ۶۱۶۶) در نظر گرفته شد. حد پایین مساحت سقف ساختمان‌ها نیز بر مبنای به‌کارگیری یک الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا تعیین شد. ساختار الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا به کاررفته به‌منظور تعیین حد پایین مساحت، مطابق شکل ۲، کروموزوم‌هایی با تعداد مشخصی ژن در جمعیت دارد. در این الگوریتم، ابتدا یک بازه پیشنهادی برای حد پایین، مطابق نظر کارشناسان املاک محدوده مورد مطالعه [50 450]، تنظیم شد. این بازه می‌تواند برای هر استان به‌طور منحصر به فرد تعریف شود اما هیچ

1. structuring element
2. Erosion
3. Dilation
4. Tobler

تحقیق، روش اندازه‌گیری کمی شافلت^۱ (۱۹۹۹)، لیلستند^۲ و همکاران (۲۰۰۸)، روتسینگر^۳ و همکاران (۲۰۰۹) و سامر و همکاران (۲۰۱۳) استفاده به کار رفت. با مقایسه بین ساختمان‌های آشکارسازی شده و داده‌های مرجع، متغیر TP^۴ بیانگر عارضه‌ای است که الگوریتم ساختمان آن را تشخیص داده و داده‌های مرجع نیز آن عارضه را با نام ساختمان برچسب‌گذاری کرده است. متغیر TN^۵ عارضه‌ای است که در نتایج آشکارسازی و داده‌های مرجع به منزله کلاس غیرساختمان مشخص شده است. FP^۶ عارضه‌ای است که در جایگاه کلاس ساختمان آشکارسازی شده اما در داده‌های مرجع، در کلاس غیرساختمان مشخص شده است؛ در صورتی که FN^۷ دقیقاً برعکس FP است. به منظور ارزیابی دقت آشکارسازی نواحی ساختمانی با الگوریتم پیشنهادی، دقت تولیدکننده (PA)^۸، دقت کاربر (UA)^۹ و ضریب کاپا (k)^{۱۰} با استفاده از روابط (۱۷-۱۴) محاسبه می‌شوند (Sumer and Turker, 2013).

$$PA = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$UA = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

رابطه (۱۶)

$$k = \frac{(TP + TN) \times (TP + TN + FP + FN) - \text{chance_agreement}}{(TP + TN + FP + FN)^2 - \text{chance_agreement}}$$

رابطه (۱۷)

$$\text{chance_agreement} = (TP + FP) \times (TP + FN) + (TN + FN) \times (TN + FP)$$

دلیلی برای انتخاب عدد ۵۰ به منزله حد پایین مساحت در این ناحیه نیست. شیوه عمل در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی بدین صورت است که نخست در فضای جواب‌ها (بازه ۵۰ تا ۴۵۰)، تعدادی جواب (اعداد تصادفی انتخابی از این محدوده) به منزله جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه، با استفاده از تابع برازندگی از میان اعضای جمعیت اولیه، تعدادی محدود را نسل اول در نظر می‌گیرند. مقدار ارزش در نظر گرفته برای هر کروموزوم شمارش تعداد نواحی دارای مساحتی برابر با کوچک‌ترین مقدار تصادفی قرار گرفته در ژن‌های یک کروموزوم است. به عبارت دیگر، در هر کروموزوم تعدادی عدد به طور تصادفی انتخاب و در ژن‌ها قرار می‌گیرند. برای کوچک‌ترین عدد قرار گرفته در کروموزوم، مقدار ارزش محاسبه می‌شود. مقدار ارزش تعداد نواحی بسته با مساحتی در محدوده مساحتی این ژن است. در ادامه، از میان اعضای نسل اول، تعدادی عضو قوی (کروموزوم‌هایی با ارزش بالاتر) انتخاب و با استفاده از عملگرهای لقاح، جهش و عبور نخبه نسل بعد ساخته می‌شود و به همین ترتیب تا رسیدن به پاسخ نهایی ادامه می‌یابد. پاسخ نهایی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که از کوچک‌ترین مساحتی که بالاترین تعداد ناحیه بسته منتسب به آن به ثبت برسد، آن ناحیه در محدوده مطالعاتی منزله حد پایین انتخاب می‌شود.

رابطه (۱۳)

$$\text{thresh} - \left(\frac{\text{thresh}}{3}\right) < x \cdot [\text{State.Area}] < 6166$$

در این رابطه thresh بیانگر حد پایین و x [State.Area] بیانگر مساحت نواحی سقف ساختمان‌ها و عدد ۶۱۶۶ مشخص‌کننده حد بالا برای سقف ساختمان‌هاست.

۲-۳- ارزیابی عملکرد الگوریتم

به منظور ارزیابی عملکرد رویکرد پیشنهادی در این

1. Shufelt
2. Lillestand
3. Rutzinger
4. True Positive
5. True Negative
6. False Positive
7. False Negative
8. Producer Accuracy
9. User Accuracy
10. Kappa coefficient

۳- نتایج و بحث

از آنجاکه روش‌های تلفیقی پیشین برای استخراج عوارض ساختمانی اغلب در مناطقی با تراکم پایین و کنتراست بالا بین ساختمان‌ها پیاده‌سازی شده‌اند، متدولوژی پیشنهادی برای استخراج ساختمان‌ها در این تحقیق، در یازده ناحیه مجزا و یک ناحیه کلی از شهر ورزقان استان آذربایجان شرقی ایران، با مشخصه‌های متفاوت پیاده‌سازی شد. مشخصه اصلی در مناطق شهری، تراکم و اشکال متنوع ساختمان‌هاست (نواحی ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹ و ناحیه کلی). ناحیه ۱ و ۸، که ساختمان‌ها در این نواحی در کنار راه اصلی قرار گرفته‌اند، به‌منزله نواحی حومه شهر شناخته شده‌اند. ضمناً در این نواحی، تراکم ساختمان‌ها پایین است و ساختمان‌ها قدری پراکنده توزیع شده‌اند. دو ناحیه باقی‌مانده، یعنی ناحیه ۱۰ و ۱۱، در بخش‌های روستایی انتخاب شده‌اند. در نواحی روستایی معمولاً ساختمان‌های منفرد به چشم می‌خورد. فضای این قبیل نواحی بازند و در آنها ابعاد ساختمان‌ها از کوچک به بزرگ متغیر است. در این تحقیق، تصویر Geo_Eye 1 با قدرت تفکیک مکانی ۰.۵ متر که در تاریخ ۲۰۱۲/۱۰/۰۴ ساعت ۱۲:۳۴:۳۹ بعدازظهر از منطقه ورزقان استان آذربایجان شرقی اخذ شده، به‌کار رفته است. به‌منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی در مد رنگی، تصاویر پانکروماتیک و رنگی با هم تلفیق شدند و در نهایت، تصویر با استفاده از تعداد نقاط کنترل لازم با میزان RMSE برابر ۰.۳۸۶۱ به‌نسبت نقشه زمین‌مرجع شد. برای ارزیابی نتایج حاصل از این تحقیق، داده‌های مرجعی استفاده شد که اپراتور خبره آنها را تعیین وضعیت کرده بود.



همگرایی نابهنگام در یک نقطه نیمه‌بهینه گاه باعث از دست دادن جواب‌های بهینه در رویکردهای سنتی الگوریتم ژنتیک شده است. در این تحقیق، نخست برای رفع مشکل همگرایی زودرس، اقدام به تلفیق رویکردی فازی در قالب رویکرد فازی ژنتیک شد و سپس، به‌منظور کنترل هندسی بر خروجی الگوریتم فازی

ژنتیک، یک الگوریتم ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا در کنار الگوریتم فازی ژنتیک به‌کار رفت. پیش‌تر محققان برای شناسایی پیکسل‌های کاذب اغلب از داده‌های کمکی استفاده می‌کردند. به‌منظور بررسی میزان تأثیر الگوریتم تکمیلی در صحت خروجی‌های حاصل از الگوریتم فازی ژنتیک، ابتدا بخش اول و سپس بخش اول و دوم الگوریتم پیشنهادی به‌صورت هم‌زمان پیاده‌سازی می‌شود. پارامترهای مرتبط با بخش اول الگوریتم پیشنهادی بدین‌ترتیب تنظیم شد که میزان (XR) در فرایند طبیعی برابر ۵۰٪، تعداد بیست نسل جمعیتی به ابعاد ۳۰ و کروموزومی به اندازه ۵ برای دستیابی به مقدار ارزش بیشینه، تعداد تکرار برابر ۱۰ و احتمالات اولیه برای لقاح و جهش برابر ۰.۸ و ۰.۲ در نظر گرفته شود. برای اعمال پس‌پردازش در این تحقیق، از یک المان ساختاری با شعاع ۳، برای هر دو عملیات بازکردن و بستن، استفاده شد.

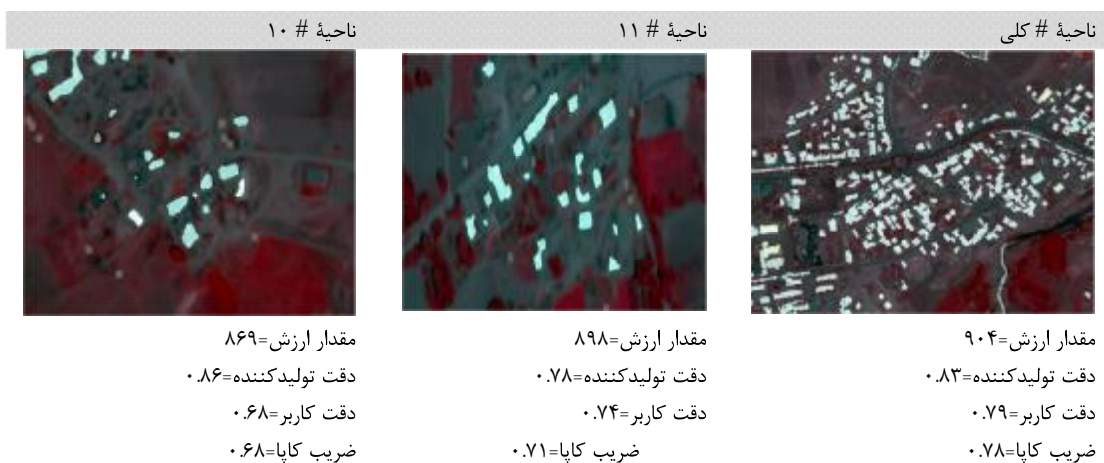
از آنجاکه مقادیر ارزشی نمی‌توانند به‌تنهایی برای ارزیابی نتایج کمی به‌کار روند، به‌منظور ارزیابی کمی، مقادیر TP، TN، FP و FN با استفاده از معیارهای PA، UA و K محاسبه شد. دقت تولیدکننده، با اجرای بخش اول این الگوریتم، مقداری از ۰.۶۶ (ناحیه ۷) تا ۰.۸۷ (ناحیه ۱) را در این تحقیق داشته است. مقادیر مربوط به دقت کاربران و ضریب کاپا هم مقداری از ۰.۵ (ناحیه ۷) تا ۰.۹۰ (ناحیه ۱) و ۰.۵۵ (ناحیه ۶) تا ۰.۸۱ (ناحیه ۱) را به‌ترتیب به خود اختصاص داده است. مقدار میانگین برای ضریب کاپا برای مناطق حومه شهر (نواحی ۱ و ۸) ۰.۷۸ برای مناطق شهری (نواحی ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹ و کلی) ۰.۷۱ و برای مناطق روستایی (نواحی ۱۰ و ۱۱) ۰.۶۹ محاسبه شده است. به همین صورت، میانگین دقت تولیدکننده و دقت کاربر ۰.۸۱ و ۰.۸۲ برای مناطق حومه شهر، ۰.۷۴ و ۰.۷۷ برای مناطق شهری و ۰.۸۲ و ۰.۷۱ برای مناطق روستایی به‌دست آمد. از میان دوازده ناحیه انتخابی، ناحیه ۱ با بیشترین مقدار ضریب کاپای ۰.۸۱ موفق‌ترین نمونه انتخابی است؛ بنابراین، این ناحیه مطابقت خوبی را بین

می‌شود. ممکن است دلیل موفق نشدن طبقه‌بندی در این ناحیه وجود ساختمان‌های در حال ساخت باشد. تصاویر خروجی به‌همراه بالاترین مقادیر ارزشی و معیارهای PA، UA و K در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند.

داده‌های مرجع انتخابی با داده‌های آشکارسازی شده با الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد. برعکس، ناحیه ۶ کمترین مقدار ضریب کاپا را دارد و در نتیجه مشکوک‌ترین ناحیه به‌لحاظ آشکارسازی محسوب

ناحیه # ۱	ناحیه # ۲	ناحیه # ۳
		
مقدار ارزش=۹۰۷ دقت تولیدکننده=۰.۸۷ دقت کاربر=۰.۹۰ ضریب کاپا=۰.۸۱	مقدار ارزش=۸۷۰ دقت تولیدکننده=۰.۶۹ دقت کاربر=۰.۷۸ ضریب کاپا=۰.۷۷	مقدار ارزش=۸۷۳ دقت تولیدکننده=۰.۸۱ دقت کاربر=۰.۸۶ ضریب کاپا=۰.۷۶
ناحیه # ۴	ناحیه # ۵	ناحیه # ۶
		
مقدار ارزش=۸۷۳ دقت تولیدکننده=۰.۷۸ دقت کاربر=۰.۸۳ ضریب کاپا=۰.۷۳	مقدار ارزش=۹۰۶ دقت تولیدکننده=۰.۷۷ دقت کاربر=۰.۸۸ ضریب کاپا=۰.۷۷	مقدار ارزش=۸۲۱ دقت تولیدکننده=۰.۷۴ دقت کاربر=۰.۷۲ ضریب کاپا=۰.۵۵
ناحیه # ۷	ناحیه # ۸	ناحیه # ۹
		
مقدار ارزش=۸۶۱ دقت تولیدکننده=۰.۶۶ دقت کاربر=۰.۵۰ ضریب کاپا=۰.۶۲	مقدار ارزش=۸۸۸ دقت تولیدکننده=۰.۷۷ دقت کاربر=۰.۷۵ ضریب کاپا=۰.۷۶	مقدار ارزش=۹۰۳ دقت تولیدکننده=۰.۷۰ دقت کاربر=۰.۸۱ ضریب کاپا=۰.۷۴

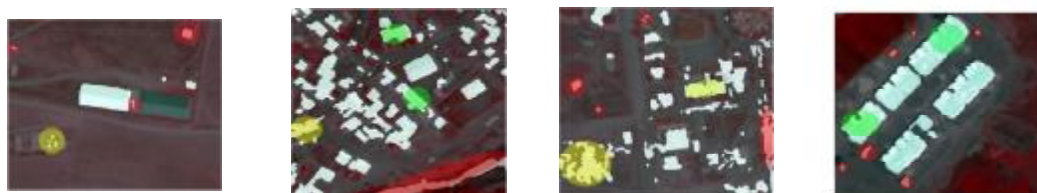
شکل ۵. ساختمان‌های آشکارسازی شده از طریق بخش اول الگوریتم پیشنهادی برای نواحی انتخابی ۱-۱۱ و ناحیه کلی به‌همراه معیارهای ارزیابی (مقدار ارزش، دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا)



ادامه شکل ۵.

ج). نقصان دیگری که مشاهده شد در تشخیص به هم پیوسته ساختمان‌هایی است که در فاصله‌ای نزدیک از یکدیگر قرار گرفته‌اند. این وضعیت در مناطق متراکم شهری و گاه حومه شهری، همانند ناحیه انتخابی ۱ (دایره سبز رنگ) (شکل ۶-د) مشاهده می‌شود. در شکل ۶-الف نیز، تعداد بالای پیکسل‌های کاذب گویای ناتوانی پس‌پردازش مورفولوژیکی در شناسایی و حذف مناطق مجزا، با حدود مساحتی بیشتر از مساحت المان ساختاری در نظر گرفته شده، است. در کنار این موارد، در شکل ۶ دایره‌های قرمز و زرد به ترتیب مناطق به اشتباه تشخیص داده شده و ساختمان‌هایی را نشان می‌دهد که به طور کامل تشخیص داده نشده‌اند.

هرچند دقت‌های محاسبه شده تا حدی موفقیت‌آمیزند، نقصان‌هایی در عملکرد الگوریتم پیشنهادی در برخی از نواحی انتخابی مشاهده می‌شود. دلایل ناموفق بودن این روش بررسی شد و مشخص شد که موفقیت آشکارسازی ساختمان‌ها به ویژگی‌های ناحیه انتخابی، تعیین تجربی نوع، اندازه المان ساختاری و حد آستانه در نظر گرفته شده برای عملیات حذف مصنوعات در فرایند پس‌پردازش ارتباط بسیاری دارد. برای نمونه، در ناحیه ۶، تشخیص سایه به منزله کلاس ساختمان منجر به افزایش پیکسل‌های FN می‌شود (شکل ۶-ج). همچنین در قسمت پایینی ناحیه انتخابی ۸، وجود یک باریکه آبی و نیز، در ناحیه ۶، وجود ساختمانی در حال ساخت به افزایش تعداد پیکسل‌های FP می‌انجامد (به ترتیب، شکل ۶-ب و ۶-



(الف)

(ب)

(پ)

(ت)

شکل ۶. نمونه‌ای از مناطق اشتباه تشخیص داده شده در کلاس ساختمان (دایره قرمز رنگ)، ساختمان‌هایی که به طور ناقص آشکار شده‌اند (دایره زرد رنگ) و ساختمان‌های تشخیص داده شده به طور بهم چسبیده (دایره سبز رنگ) انتخابی از نواحی تست

به منظور ارزیابی نقش رویکرد ژنتیک تکمیلی ناحیه‌مبنا در کنترل هندسی خروجی موقتی بخش اول الگوریتم ژنتیک، سیستم پیشنهادی یک‌بار دیگر، و این‌بار با استفاده از بخش اول و دوم الگوریتم، اجرا شد. تعداد نسل‌ها، اندازه جمعیت و اندازه کروموزوم در بخش دوم الگوریتم برابر با ۳، ۵ و ۲۰ در نظر گرفته شد. در این مورد، مقدار لقاح و جهش اجازه تغییر ندارند و به ترتیب مقادیر ۰.۸ و ۰.۲ را در تمامی زمان اجرا خواهند داشت. همانند سناریوی پیشین (رویکرد به‌کارگیری کنترل‌گر فازی)، هر آزمایشی ده مرتبه تکرار شد. برای ناحیه اول، بهترین مقادیر ارزشی در تکرار ۸ مشاهده شد که از مقدار ۸۸۰ شروع و به مقدار ۹۴۱ می‌رسد. بالاترین مقادیر ارزشی (میانگین ده بار تکرار) برای نواحی انتخابی ۱۲-۱ به ترتیب ۹۲۳، ۸۸۴، ۸۷۶، ۸۷۶، ۹۱۲، ۸۳۱، ۸۷۳، ۹۲۵، ۹۱۶، ۸۸۸، ۹۰۵ و ۹۱۷ در سومین نسل محاسبه شد. بهترین فرایند، با انحراف معیاری حدود ۳۴.۰۲، متعلق به ناحیه ۱ است. از دیگر سو، نواحی ۲ و ۶ به ترتیب با انحراف معیاری در حدود ۲۰.۴ و ۲.۷۶ بدترین فرایند را به خود اختصاص داده‌اند. تصاویر باینری خروجی حاصل از اجرای این الگوریتم به همراه بالاترین مقادیر ارزشی و معیارهای PA، UA و K در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند. شایان ذکر است که حد آستانه بهینه پایین تعیین شده در بخش تکمیلی الگوریتم پیشنهادی در دوازده ناحیه مقادیر کاملاً متفاوتی را در محدوده بین ۵۱ تا ۶۳ به خود اختصاص دادند.

به منظور بررسی میزان اثرگذاری بخش تکمیلی الگوریتم پیشنهادی در کنترل هندسی خروجی بخش اول الگوریتم، مقادیر ارزشی دو رویکرد مطابق شکل ۸ بررسی شد. کاملاً مشهود است که برای تمامی نواحی انتخابی، رویکرد تکمیلی پیشنهادی عملکرد بهتری را از رویکرد سنتی نشان می‌دهد. اختلاف همسان‌سازی شده بین دو رویکرد، در بالاترین مقدار ارزش، برای ناحیه ۱ (۹۰۷-۹۲۳) برابر با ۱۶، برای ناحیه ۲ (۸۷۰-۸۸۴) برابر با ۱۴، برای ناحیه ۳ (۸۷۳-۸۷۶) برابر با ۳، برای ناحیه ۴ (۸۷۳-۸۷۶) برابر با ۳، برای ناحیه ۵ (۹۰۶-۹۱۲) برابر با ۶، برای ناحیه ۶ (۸۲۱-۸۳۱) برابر با ۱۰، برای ناحیه ۷ (۸۶۱-۸۷۳) برابر با ۱۲، برای ناحیه ۸ (۸۸۸-۹۲۵) برابر با ۳۷، برای ناحیه ۹ (۹۰۳-۹۱۶) برابر با ۱۳، برای ناحیه ۱۰ (۸۶۹-۸۸۸) برابر با ۱۹، برای ناحیه ۱۱ (۸۹۸-۹۰۵) برابر با ۷ و برای ناحیه ۱۲ (۹۰۴-۹۱۷) برابر با ۱۳ است. ناحیه هشتم بیشترین اختلاف بین رویکردهای فازی و تکمیلی را دارد. در برخی از نواحی، از جمله ۷ و ۱۱، حد پایین بهینه انتخاب شده از طریق الگوریتم موجب حذف عوارض کلاس ساختمان و برجسب‌گذاری به‌منزله کلاس غیرساختمان و، در نتیجه، افزایش پارامتر FP شده است. اما در مجموع افزودن بخش دوم به بخش اول، به‌منزله بخش تکمیلی، منجر به افزایش دقت کاربرد و دقت تولیدکننده شده است.

ناحیه # ۱	ناحیه # ۲	ناحیه # ۳
		
مقدار ارزش=۹۲۳ دقت تولیدکننده=۰.۸۸ دقت کاربرد=۰.۹۰ ضریب کاپا=۰.۹۱	مقدار ارزش=۸۸۴ دقت تولیدکننده=۰.۷۱ دقت کاربرد=۰.۸۰ ضریب کاپا=۰.۷۹	مقدار ارزش=۸۷۶ دقت تولیدکننده=۰.۸۳ دقت کاربرد=۰.۸۸ ضریب کاپا=۰.۷۹

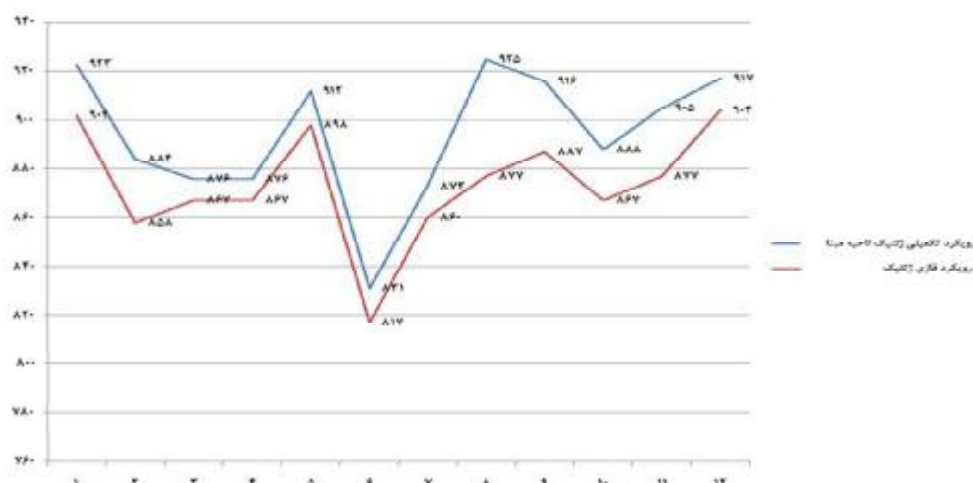
شکل ۷. ساختمان‌های آشکارسازی شده از طریق بخش اول و دوم الگوریتم پیشنهادی برای نواحی انتخابی ۱-۱۱ و ناحیه کلی به همراه معیارهای ارزیابی (مقدار ارزش، دقت تولیدکننده، دقت کاربرد و ضریب کاپا)



ادامه شکل ۷.

بهینه‌پایین حاصل شد. در رویکرد انطباقی، احتمالات لقاح و جهش مقادیری متغیرند؛ در صورتی که، در رویکرد تکمیلی، این احتمالات ثابت در نظر گرفته شده‌اند. به صورت تجربی مشاهده شد که احتمال جهش در نسل‌های بعدی افزایش می‌یابد و نیاز به اجرای عملیات‌های بیشتر زمان اجرا را به آرامی افزایش می‌دهد.

میانگین زمان اجرا برای تمامی نواحی مفداری بین ۲۲۴ ثانیه برای ناحیه ۳ و ۲۳۱۰ ثانیه برای ناحیه کلی است. مجموع زمان اجرا، برای دوازده ناحیه انتخابی، ۳۸.۵ دقیقه (۲۳۱۰ ثانیه) به دست آمد که حدوداً ۱۶٪ از زمان اجرای رویکرد انطباقی کندتر است. این اختلاف به دلیل اجرای الگوریتمی تکمیلی به منظور تعیین حد



شکل ۸. مقایسه مقادیر ارزشی دو رویکرد فازی و تکمیلی پیشنهادی برای دوازده ناحیه انتخابی

در رویکردهای پرکینز و همکاران (۲۰۰۵) و سامر و همکاران (۲۰۰۸ و ۲۰۱۳) میزان کاپا عددی بین ۰.۵۵ و ۰.۸۸ است. عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای ساختمان‌های واقع در نواحی شهری و حومه شهری، در مقایسه با ساختمان‌های موجود در نواحی روستایی، بهتر است. در میان نواحی انتخابی که تحلیل و بررسی شدند، نواحی روستایی ساختمان‌های در حال ساخت بیشتری دارند که این منجر به دقت‌های کاربری و تولیدکننده کمتری می‌شود. همچنین تشخیص نواحی متراکم ساختمانی در این پژوهش تا حدی دقت تولیدکننده و کاربر بالایی دارد.

رویکرد تکمیلی پیشنهادی، در مقایسه با روش انطباقی، مقادیر ارزشی بیشتری دارد. در تست‌های صورت گرفته، بهبود چشمگیری همانند افزایش میانگین مقادیر ارزشی مشهود است. از دیگر سو به دلیل حذف کلاس‌های غیرساختمان، که با عنوان کلاس ساختمان برچسب‌گذاری شده‌اند، بهبود معتناهایی مشاهده شد. همچنین در صورت آغاز از یک مقدار ارزشی بالا، الگوریتم شانس کمتری برای موفقیت خواهد داشت. در مقایسه با رویکرد سنتی الگوریتم ژنتیک، رویکرد تکمیلی پیشنهادی در این تحقیق کارآمدتر است و میانگین مقادیر ارزشی بالاتری را

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روشی به‌منظور استخراج ساختمان‌ها براساس متدلوژی سامر و همکاران (۲۰۰۸ و ۲۰۱۳)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Geo-Eye 1 با قدرت تفکیک مکانی ۰.۵ متر، مطرح شد. در این روش، بر مبنای به‌کارگیری مفاهیم ژنتیک، کنترل‌گری هندسی به‌منزله الگوریتم تکمیلی به رویکرد فازی ژنتیک افزوده شد. در روش پیشنهادی، بدون به‌کارگرفتن هیچ‌گونه داده کمکی و فقط براساس ایده مشابهت عوارض همجوار، عوارض ساختمانی استخراج‌شده با رویکرد فازی ژنتیک به‌لحاظ هندسی بارزسازی شدند. الگوریتم تکمیلی، با تعیین حدود بهینه پایین و بالا، نواحی زائد را از تصویر حذف می‌کند. رویکرد پیشنهادی، با کاهش مشکل همگرایی ناپهنگام در بخش اول الگوریتم و کنترل هندسی مساحت عوارض استخراج‌شده از طریق بخش دوم الگوریتم، دقت استخراج عوارض ساختمانی را بهبود چشمگیری بخشید.

رویکرد پیشنهادی در دوازده ناحیه انتخابی، با ویژگی‌های متفاوت، ارزیابی شد. میزان کاپای محاسبه‌شده در این روش، به‌نسبت رویکردهای فازی ژنتیک مشابه، بهبود معتناهایی از خود نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که میزان کاپای محاسبه‌شده با به‌کارگیری رویکرد پیشنهادی، بین ۰.۵۹ تا ۰.۹۱ است؛ درحالی‌که

بالا، علوم و فنون نقشه‌برداری، سال دوم، شماره ۲، صص ۱۰۶-۹۱.

رنجبر، ح، اردلان، ع، دهقانی، ح، سراجیان، م، علیدوستی، ع، ۱۳۹۳، تسهیل فاز واکنش مدیریت بحران زلزله با استخراج خودکار ساختمان‌ها بر مبنای آنالیز بافت از تصاویر ماهواره‌ای، مدیریت بحران، سال دوم، شماره ۵، صص، ۱۹-۵.

رنجبر، ح، اردلان، ع، دهقانی، ح، سراجیان، م، علیدوستی، ع، ۱۳۹۳، ارزیابی روش‌های استخراج اطلاعات فیزیکی ساختمان‌های تخریب‌شده ناشی از زمین‌لرزه و ارائه الگوریتمی بر پایه لایه‌های GIS و سنجش از دور، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، سال ۲۳، شماره ۹۱، صص، ۴۲-۲۱.

رنجبر، ح، اردلان، ع، دهقانی، ح، سراجیان، م، علیدوستی، ع، ۱۳۹۴، ارزیابی سریع خسارت بر پایه به‌کارگیری تصاویر تک‌زمانه SFAP ارسالی از پرنده‌های بدون سرنشین به مجموعه سیار مدیریت بحران، بیست‌ودومین همایش ملی ژئوماتیک.

زارع، ا، محمدزاده، ع، ولدان زوج، م، ۱۳۹۳، استخراج و بازسازی سه‌بعدی ساختمان با استفاده از داده‌های اپتیکی و لیدار، علوم و فنون نقشه‌برداری، سال سوم، شماره ۳، صص ۱۸۶-۱۶۷.

عامری، ف، ولدان زوج، م، مختارزاده، م، مبارکی، ع، ۱۳۹۰، استخراج اشکال متفاوت از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی، سنجش از دور و GIS ایران، سال سوم، شماره ۴، صص ۱۷-۱.

یزدان، ر، ولدان زوج، م، عبادی، ح، محمدزاده، ع، ۱۳۹۳، استخراج نیمه‌اتوماتیک ساختمان با استفاده از مدل Snake از تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بالا، علوم و فنون نقشه‌برداری، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۸۸-۱۷۹.

نتیجه می‌دهد. برای نواحی تست انتخابی در این تحقیق، اختلاف بین میانگین مقادیر ارزشی مقداری بین ۳ تا ۳۷ است. اختلاف موجود به دلیل احتمالات اولیه ثابت برای عملگرهای لقاح و جهش حاصل می‌شود که ریسک بهینه‌شدن در یک راه‌حل مینیمم محلی را به شدت افزایش می‌دهد. به بیانی دیگر، رویکرد تکمیلی با تنظیم پارامترهای کنترلی ژنتیک راه‌حل‌های مناسب‌تری را عرضه می‌کند.

رویکرد پیشنهادی همچنان محدودیت‌هایی دارد؛ با وجود ادغام کنترلگر منطبق فازی به رویکرد پیشنهادی، هنوز هیچ‌گونه تضمین قطعی برای یافتن راه‌حل بهینه جهانی وجود ندارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود دیگر روش‌های کنترل همگرایی در تحقیقات آتی بررسی شوند. در کنار این مسئله، انتخاب پارامتر و مقداردهی اولیه در دقت کلی و اجرای این الگوریتم نقاط کلیدی محسوب می‌شود. به انتخاب دقیق برای تنظیمات مرتبط با انتخاب، لقاح، جهش و تعداد جمعیت و کروموزوم‌ها نیاز است. انتخاب نادرست پارامترها ممکن است به زمان اجرای طولانی‌تر و حتی نتایج ناموفق‌تری بینجامد. تعیین حد بالای ساختمان‌ها در الگوریتم تکمیلی باید با در نظر گرفتن این مسئله صورت بگیرد که در یک منطقه شهری، ساختمان‌ها اغلب به یکدیگر متصل‌اند. بی‌توجهی به این مسئله ممکن است در مواردی نتایج بهینه را تخریب کند؛ بنابراین، تعیین حد بالا برای مساحت ساختمان‌ها باید با در نظر گرفتن تمامی شرایط و با دقت بسیاری صورت بگیرد. در ضمن، تعیین بازه انتخابی برای فضای پاسخ‌ها، مرتبط با حد پایین ساختمان‌ها نیز، روش را تا اندازه‌ای از روش خودکار به روش نیمه‌خودکار تبدیل می‌کند.

۵- منابع

دهقانی، ح، ۱۳۹۱، پردازش و تفسیر تصاویر سنجش از دور، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

راستی ویس، ح، صمدزادگان، ف، ۱۳۹۱، تعیین میزان تخریب ناشی از زلزله در ساختمان‌ها، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک

- Croitoru, A. & Doytsher, Y., 2003, **Monocular Right-Angle Building Hypothesis Generation in Regularized Urban Areas by Pose Clustering**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69(2), PP. 151-169.
- De Jong, K.A., 1975, **An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems**, Ph.D. Thesis, University of Michigan.
- De Jong, K.A., 1975, **An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems**, Ph.D. Thesis, University of Michigan.
- Dong, L. & Shan, J., 2013, **A Comprehensive Review of Earthquake-Induced Building Damage Detection with Remote Sensing Techniques**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 84(0), PP. 85-99.
- Dornaika, F. et al, 2016, **Building Detection from Orthophotos Using a Machine Learning Approach: An Empirical Study on Image Segmentation and Descriptors**, Expert Systems with Applications, 58, PP. 130-142.
- Fazan, A.J. & Dal Poz, A.P., 2013, **Rectilinear Building roof Contour Extraction Based on Snakes and Dynamic Programming**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 25, PP. 1-10.
- Ghanea, M., Moallem, P. & Momeni, M., 2014, **Automatic Building Extraction in Dense Urban Areas through GeoEye Multispectral Imagery**, International Journal of Remote Sensing, 35(13), PP. 5094-5119.
- Gonzalez, R.C. & Woods, R.E., 2002, **Digital Image Processing**, Addison-Wesley, New York.
- Grigillo, D., Kosmatin Fras, M. & Petrovič, D., 2012, **Automated Building Extraction from IKONOS Images in Suburban Areas**, International Journal of Remote Sensing, 33(16), PP. 5149-5170.
- Harvey, N.R. et al., 2002, **Comparison of GENIE and Conventional Supervised Classifiers for Multispectral Image Feature Extraction**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(2), PP. 393-404.
- Inglada, J., 2007, **Automatic Recognition of Man-Made Objects in High Resolution Optical Remote Sensing Images by SVM Classification of Geometric Image Features**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62(3), PP. 236-248.
- Karantzalos, K. & Paragios, N., 2010, **Large-Scale Building Reconstruction Through Information Fusion and 3-D Priors**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48(5), 2283-2296.
- Koc-San, D. & Turker, M., 2012, **A Model-Based Approach for Automatic Building Database Updating from High-Resolution Space Imagery**, International Journal of Remote Sensing, 33(13), PP. 4193-4218.
- Laws, K.I., 1980, **Rapid texture identification**, 24th Annual Technical Symposium, 23. December, Vol. 0238, PP. 376-381, SPIE, San Diego.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W. & Chipman, J., 2014, **Remote Sensing and Image Interpretation**, Wiley, Chichester.
- Liu, H., Xu, Z. & Abraham, A., 2005, **Hybrid Fuzzy-Genetic Algorithm Approach for Crew Grouping**, In: Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'05), Warsaw, Poland, PP. 332-337.
- Mayunga, S., Coleman, D. & Zhang, Y., 2007, **A Semi-Automated Approach for Extracting Buildings from QuickBird Imagery Applied to Informal Settlement Mapping**, International Journal of Remote Sensing, 28(10), PP. 2343-2357.
- Mayunga, S., Coleman, D. & Zhang, Y., 2013, **Semi-Automated Building Extraction in**

- Dense Urban Settlement Areas from High-Resolution Satellite Images**, Survey Review, 42(315), PP. 50-61.
- Myint, S.W. et al., 2011, **Per-Pixel vs. Object-Based Classification of Urban Land Cover Extraction Using High Spatial Resolution Imagery**, Remote Sensing of Environment, 115(5), PP. 1145-1161.
- Paulinas, M. & Ušinskas, A., 2007, **A Survey of Genetic Algorithms Applications for Image Enhancement and Segmentation**, Information Technology and Control, 36(3), PP. 278-284.
- Perkins, S.J. et al., 2000, **Genie: A Hybrid Genetic Algorithm for Feature Classification in Multispectral Images**, International Symposium on Optical Science and Technology, 13. October, Vol. 4120, PP. 52-62, SPIE, San Diego.
- Perkins, S.J. et al., 2005, **Genie Pro: Robust Image Classification Using Shape, Texture, and Spectral Information**, Defense and Security, 13. July, Vol. 5806, PP. 139-148, SPIE, San Diego.
- Quang, N.T. et al., 2015, **An Efficient Framework for Pixel-Wise Building Segmentation from Aerial Images**, In: Proceedings of the Sixth International Symposium on Information and Communication Technology, Hue, Vietnam, PP. 282-287.
- Rutzinger, M., Rottensteiner, F. & Pfeifer, N., 2009, **A Comparison of Evaluation Techniques for Building Extraction from Airborne Laser Scanning**, Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal, 2(1), PP. 11-20.
- Shufelt, J., 1999, **Performance Evaluation and Analysis of Monocular Building Extraction from Aerial Imagery**, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 21(4), PP. 311-326.
- Sirmacek, B. & Unsalan, C., 2009, **Urban-Area and Building Detection Using SIFT Keypoints and Graph Theory**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(4), PP. 1156-1167.
- Stork, D.G. Hart, P.E. Duda, R.O., 2001, **Pattern Classification**, Wiley, New York.
- Sumer, E. & Turker, M., 2008, **Building Detection from High-Resolution Satellite Imagery Using Adaptive Fuzzy-Genetic Approach**, In: Proceedings of GEOBIA 2008, Alberta, Canada, PP. 1-6.
- Sumer, E. & Turker, M., 2013, **An Adaptive Fuzzy-Genetic Algorithm Approach for Building Detection Using high-Resolution Satellite Images**, Computers, Environment and Urban Systems, 39, PP. 48-62.
- Teimouri, M., Mokhtarzade, M. & Valadan Zoej, M.J., 2016, **Optimal Fusion of Optical and SAR High-Resolution Images for Semiautomatic Building Detection**, GIScience & Remote Sensing, 53(1), PP. 45-62.
- Tobler, W.R., 1970, **A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region**, Economic Geography, 46(sup1), PP. 234-240.
- Zhengjun, L., Shiyong, C. & Qin, Y., 2008, **Building Extraction from High Resolution Satellite Imagery Based on Multi-Scale Image Segmentation and Model Matching**, International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA 2008), 30 June-2 July, Beijing, China, PP. 1-7.