



پردازش تصاویر پانکروماتیک (HR-PRS) و پایش الگوهای فرمیک شبکه‌ی آبراهه‌های جزیره‌ی قشم با استفاده از تکنیک‌های ناحیه‌بندی فازی

هیوا علمی‌زاده^{۱-}، هادی مهدی‌پور^۲

۱- استادیار ژئومورفولوژی، گروه زمین‌شناسی دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
2- Chief Innovation Office, Sinenta Corp., La Cañada, 04120, Almeria, Spain

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۵

چکیده

در این پژوهش با هدف پایش و بازشناسی الگوهای فرمیک شبکه‌ی آبراهه‌ها در مرکز جزیره‌ی قشم از تصاویر پانکروماتیک HR-PR سنجنده GeoEye-1 استفاده شده‌است. در این راستا با بهره‌گیری از الگوریتم‌های FWS، MSA، IDF و CFM در نرم‌افزار MATLAB ناحیه‌بندی فازی صورت گرفته‌است. در ادامه بر اساس ویژگی‌های فازی به ادغام تصاویر ورودی پرداخته و سپس با استفاده از خوشه‌بندی فازی به ناحیه‌بندی تصاویر اقدام گردید. در این رابطه از فرآیند ادغام تصاویر پانکروماتیک و خروجی آن جهت ناحیه‌بندی استفاده شده‌است. در نهایت روش‌های خوشه‌بندی مورد مطالعه که دارای پارامترهای فازی هستند، بر روی تصاویر ورودی اعمال شده و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. نتایج ناحیه‌بندی فازی و مقایسه‌ی روش‌های پیشنهادی با یکدیگر نشان می‌دهد که الگوریتم خوشه‌بندی CFM عملکرد بسیار خوبی در تشخیص عوارض و پدیده‌های مکانی و بازشناسی الگوهای فرمیک شبکه آبراهه‌ها دارد و دارای بهترین عملکرد در ناحیه‌بندی این منطقه می‌باشد. نتایج الگوریتم‌های خوشه‌بندی مورد مطالعه، کارایی روش‌های ناحیه‌بندی پیشنهادی را از منظر تشخیص عوارض و پدیده‌های مکانی و استخراج دقیق اطلاعات از تصاویر تایید می‌نمایند. از این رو مطابق نتایج پژوهش، استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی و ویژگی‌های فازی، جهت ادغام اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای HR-PRS روش مناسب و بهینه با هدف ناحیه‌بندی می‌باشد. همچنین در ادغام این اطلاعات اعداد فازی نوع نرمال بهترین نوع اعداد جهت استفاده در ناحیه‌بندی منطقه محسوب می‌شود و استفاده از اعداد فازی در حالت کلی می‌تواند ما را به نتایج بهتری در ناحیه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برساند. نتایج این پژوهش می‌تواند در آمایش سرزمین، مدیریت، برنامه‌ریزی و توسعه‌ی پایدار آتی مناطق مفید واقع شود.

کلمات کلیدی: تصاویر پانکروماتیک HR-PRS، سنجنده GeoEye-1، الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی، جزیره‌ی قشم.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با ظهور کامپیوترهای پیشرفته و همچنین افزایش تعداد ماهواره‌هایی که برای کاربردهای سنجش از دور در مطالعات پایداری محیط و نظارت بر محیط طبیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، حجم اطلاعات در دسترس از محیط افزایش چشمگیری داشته است (باقری‌نیا و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۱۷۲۵؛ فان و وانگ^۱، ۲۰۱۸: ۷۴)؛ از این رو امروزه با توجه به بهبود درجه توان تفکیک مکانی در تصاویر ماهواره‌ای، پردازش و بهره‌برداری دقیق و سریع از این حجم وسیع اطلاعات به صورت خودکار و بدون دخالت انسان بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این رابطه عملیات خودکار استخراج عوارض و طبقه‌بندی تصاویر پانکروماتیک، کارایی سیستم‌های سنجش از دور را افزایش می‌دهد (ژانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۷: ۷۷۴؛ ترابلسی و فریگوی^۳، ۲۰۱۹: ۴۲۶). در این راستا به منظور کاهش هزینه و همچنین افزایش دقت، کیفیت و سرعت پردازش‌ها، تا حد امکان سعی می‌شود این پردازش‌ها به صورت خودکار و بدون دخالت کاربر انجام پذیرد. در نتیجه محققان زیادی با کار بر روی تصاویر ماهواره‌ای سعی در استفاده بهینه از این منابع با ارزش اطلاعاتی را دارند.

در این میان یکی از مهم‌ترین پردازش‌هایی که برای بسیاری از تحلیل‌ها و کاربردهای پایداری و نظارت بر محیط جغرافیایی با بهره‌گیری از تصاویر سنجش از دور پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی بالا (HR-PRS) انجام می‌پذیرد، ناحیه‌بندی آنها به نواحی همگن است (موستاکدیس^۴ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۵۰؛ هو^۵ و همکاران، ۲۰۲۰: ۹۵۸). ناحیه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای استخراج اطلاعات کاربردی محسوب می‌شود و یک مرحله اساسی برای بسیاری از تحلیل‌ها و کاربردهای تصاویر سنجش از دور از جمله پایش فرم و الگوی شبکه‌ی آبراهه‌ها، آشکارسازی تغییرات، آشکارسازی اهداف انسان‌ساخت، طبقه‌بندی، بازشناسی الگوهای تصویری^۶، درک توزیع پوشش‌های زمینی و ردیابی هدف^۷ می‌باشد (مهدی‌پور، ۲۰۱۵: ۱۶؛ احمد و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۴۴؛ فو^۸ و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۲۰). ناحیه‌بندی تصویر، فرآیند یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها بر اساس همگنی پدیده‌های تصویری است و شامل تقسیم تصویر چند طیفی به نواحی یکسان با توجه به محتوا، بافت و زمینه بر پایه‌ی همگن بودن رنگ و مطابق با عوارض مورد نظر می‌باشد که بر اساس فاکتورهای واریانس وزنی^۹، پهنای پنجره^{۱۰} و تیلرانس تشابه^{۱۱} کنترل می‌شود (آرخی، ۲۰۱۵: ۵۳؛ چوهان^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۴۵).

1-Fan & Wang

2-Zhang

3-Trabelsi & Frigui

4-Moustakidis

5-Hou

6-Automatic Pictorial Pattern Recognition

7-Target Tracking

8-Fu

9-Weight Variance Factor

10-Window width

11-Similarity Tolerance

12-Chouhan

(۵۴۵). از جمله چالش‌های پیش رو در ناحیه‌بندی تصاویر HR-PRS می‌توان به عدم امکان استفاده همزمان از تمامی اطلاعات موجود که می‌تواند از طریق یک یا حتی بیش از یک ماهواره فراهم گردد و نیز عدم امکان مدل نمودن و حذف اثرات عدم قطعیت تصاویر در خروجی ناحیه‌بندی اشاره نمود (ژای^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۷۱۰). از آنجایی که ناحیه‌بندی اغلب به صورت یک فرایند خوشه‌بندی^۲ و به عبارتی طبقه‌بندی بدون نظارت^۳ مدل می‌شود (گاش^۴ و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۰۱؛ هانگلی^۵ و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۰۷) و همچنین باید الگوریتم ناحیه‌بندی در مقابل انواع نویزها مقاومت خوبی را از خود نشان بدهد، بنابراین روش‌های خوشه‌بندی فازی یکی از روش‌های پرکاربرد و مؤثر در ناحیه‌بندی تصاویر سنجش از دور محسوب می‌شوند. در این میان روش خوشه‌بندی FCM^۶ که معادل فازی روش خوشه‌بندی سخت نزدیک‌ترین میانگین می‌باشد، یکی از پرکاربردترین روش‌های خوشه‌بندی فازی (توده‌ای) است که در آن سعی می‌شود تا نتایج خوشه‌بندی بهبود یافته و با استفاده‌ی تعدادی از آنها در ناحیه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، دقت ناحیه‌بندی نیز بهبود یابد (سها^۷ و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۳؛ شانگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۶۴۲). این روش درجه‌های عضویت فازی را به هر عدد ورودی اختصاص می‌دهد و به دلیل ویژگی‌های خاص منطق فازی و انعطاف بیشتر در تعیین گروه‌های داده مشابه، یکی از بهترین روش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (حسن‌زاده، ۲۰۱۰: ۵۲۲).

به طور کلی تحلیل‌های خوشه‌ای یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های آماری در بسیاری از مطالعات سنجش از دور است که به دلیل کاهش داده‌ها و پیدا کردن گروه‌های واقعی مفید و ارزشمند بوده و طور گسترده و رو به رشد برای تجزیه و تحلیل داده‌های چند متغیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف بنیادی این تحلیل‌ها که بر پایه نقش تمامی اجزای سیستم در شکل‌گیری یک پدیده‌ی استوار است، نشان دادن مرزها در فضای خاکستری در خصوص جداسازی الگوهای فرمیک شبکه‌ی آبراهه‌ها و همچنین یافتن گروه‌های طبیعی است که می‌تواند شامل برخی یا تمامی افراد نمونه باشند (مهدی‌پور، ۲۰۱۵: ۱۷). در این رابطه جهت اعمال روش‌های ناحیه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و خوشه‌بندی فازی پژوهش‌هایی با استفاده از ترکیب FCM و الگوریتم ژنتیک بهبودیافته^۹ HDGA (آواد^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹)، رابطه‌ی درجه عضویت FCM و الگوریتم IDE^{۱۱} (داس و سیل^{۱۲}، ۲۰۱۰)، روش SW-FCM^{۱۳} (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰) و الگوریتم تعمیم‌یافته FCM-SCM^{۱۴} (میترا و

1-Xie

2-Clustering

3-Unsupervised classification

4-Ghosh

5-HongLei

6-Fuzzy C-Means

7-Saha

8-Shang

9-Hybrid Dynamic GA

10-Awad

11-Improved Differential Evolution

12-Das and Sil

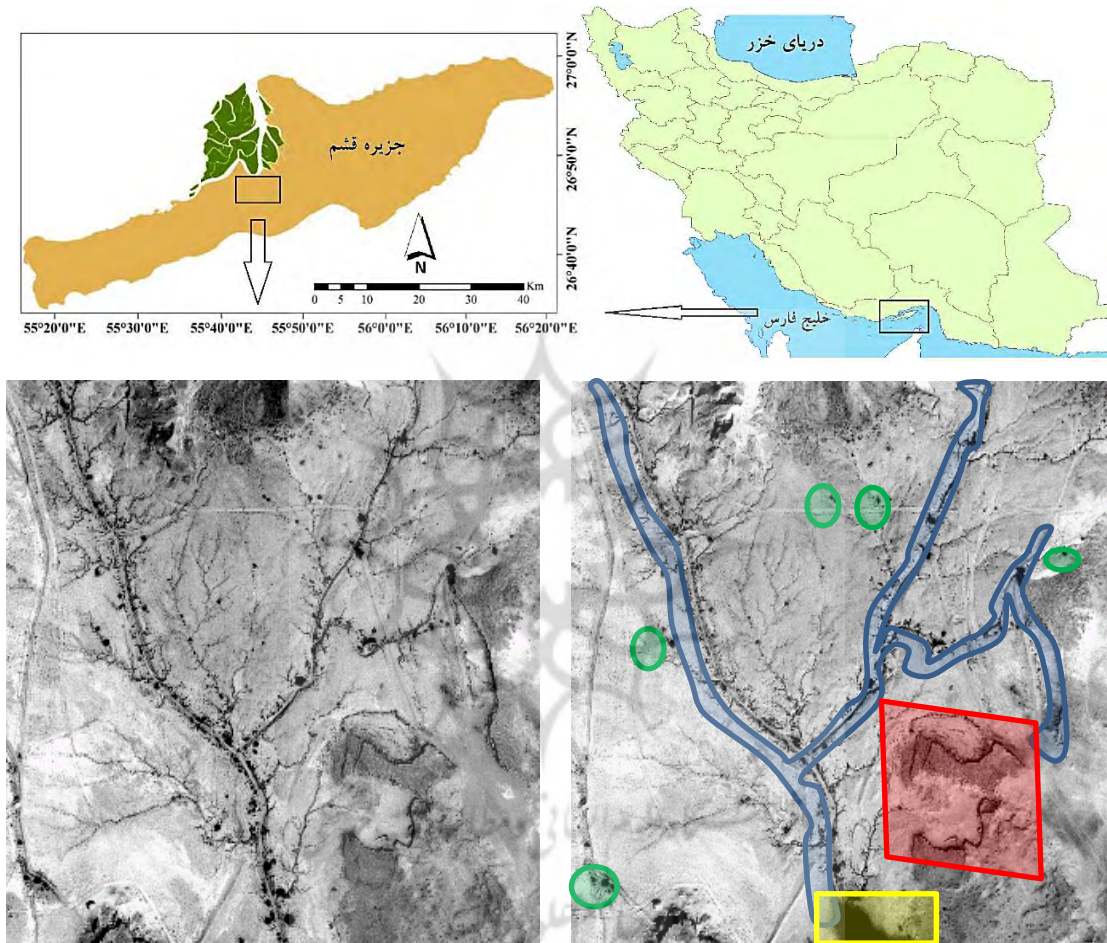
13-Size Weigthed FCM

14-Shadowed C-Means

کاندو^۱، ۲۰۱۱) صورت گرفته است. همچنین کارایی ناحیه‌بندی و خوشه‌بندی فازی برای طوفان‌های گرد و غبار ایران (زینلی و اصغری، ۲۰۱۶)، مطالعه‌ی زمین‌شناسی سنگ‌ها (فنگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۷)، تصاویر فراطیفی و تصاویر چند طیفی SPOT-5 (یو^۳ و همکاران، ۲۰۱۴؛ قمیسی و همکاران، ۲۰۱۵؛ وان^۴ و همکاران، ۲۰۱۹)، تصاویر رادار (جائو^۵ و وانگ، ۲۰۱۵) و آنتروپی تصاویر چند طیفی (ژو^۶ و همکاران، ۲۰۱۹) استفاده نموده‌اند. با توجه به موارد یادشده، هدف این پژوهش ناحیه‌بندی فازی عوارض ژئومورفیک و الگوهای فرمیک شبکه آبراهه‌ها در مرکز جزیره‌ی قشم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای GeoEye-1 و روش‌های خوشه‌بندی و ادغام پیشنهادی است و سعی می‌شود با هدف بهبود عملکرد روش‌های خوشه‌بندی فازی، هنگامی که اعداد ورودی فازی هستند، روش‌های خوشه‌بندی فازی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. همچنین جهت ناحیه‌بندی فازی تصاویر ضمن استفاده از ویژگی‌های رادیومتریکی، از اطلاعات مکانی تصاویر پانکروماتیک HR-PRS که توسط ویژگی‌های بافتی استخراج می‌گردند نیز استفاده گردد. علاوه بر آن، با هدف بهبود دقت ناحیه‌بندی منطقه‌ی مطالعاتی، از اعداد و روش‌های خوشه‌بندی فازی استفاده می‌گردد.

۲- مواد و روش

در این پژوهش از تصاویر پانکروماتیک سنجنده GeoEye-1 مربوط به یک شبکه زهکشی در مرکز جزیره‌ی قشم با طول جغرافیایی ۴۳° ۵۵' و عرض جغرافیایی ۴۷° ۲۶' استفاده شده است (شکل ۱). سنجنده GeoEye-1 با ارتفاع ۶۸۱ کیلومتر تصاویر ماهواره‌ای را با توان تفکیک مکانی ۰/۴۱ متر در باند پانکروماتیک و ۱/۶۵ متر در باندهای چندطیفی در نواری به عرض ۱۵/۲ کیلومتر بر روی زمین دریافت می‌کند (رجبی و مومنی، ۲۰۱۶: ۲۸۵). در این راستا با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، تصاویر پانکروماتیک HR-PRS محدوده‌ی مورد مطالعه پس از پیش‌پردازش‌های رادیومتریکی و هندسی، با روش نزدیک‌ترین همسایه^۷، یکسان‌سازی توان تفکیک مکانی اعمال گردید. به این ترتیب در تصاویر مورد بررسی پیکسل‌های با سطر و ستون یکسان نمایانگر یک موقعیت جغرافیایی یکسان بر روی زمین می‌باشند و آماده‌ی ناحیه‌بندی می‌گردند.



شکل (۱): تصاویر سنجنده GeoEye-1 از محدوده مورد مطالعه. در سمت راست شبکه‌ی زهکشی، منطقه‌ی تحت پوشش سایه (مستطیل زرد)، مناطق کوهستانی (لوزی قرمز) و تعدادی از درختان (دایره سبز) نمایش داده شده است

Fig (1): GeoEye-1 sensor images of the study area. The right image of the drainage network shows the area covered by shade (yellow rectangle), mountainous areas (red rhombus) and trees (green circles)

در این پژوهش از الگوریتم‌های FWS^1 ، MSA^2 ، IDF^3 و CFM^4 جهت خوشه‌بندی فازی استفاده شده است (شکل). با بهره‌گیری از این روش‌ها و بر اساس ویژگی‌های فازی به ادغام^۵ تصاویر ورودی پرداخته و سپس با استفاده از خوشه‌بندهای فازی به ناحیه‌بندی مقاوم پوشش زمینی اقدام گردید. در این رابطه از خروجی ادغام که ماهیتی فازی دارد، به عنوان یک خروجی میانی جهت ناحیه‌بندی استفاده شده است.

1-Fuzzy Watershed Segmentation
2-Mean-Shift Algorithm
3-Interval-valued Data Fuzzy c-means

4-Classical Fusion Method and FCM
5-Fusion

جدول (۱): روش های ناحیه بندی فازی مورد مطالعه

Table (1): Fuzzy segmentation methods case study

ردیف	روش ناحیه بندی	مراجع	توضیحات
۱	Fuzzy Watershed Segmentation (FWS)	(کارلیبر ^۱ و همکاران، ۲۰۰۵)؛ یو ^۲ و همکاران، ۲۰۱۵)	از روش های بسیار مرسوم در ناحیه بندی انواع تصاویر، بخصوص تصاویر پانکروماتیک می باشد.
۲	Interval-valued Data Fuzzy c-means (IDF)	(یو و همکاران، ۲۰۱۴؛ فوریا ^۳ ، ۲۰۱۵)	از جدیدترین روش های ارائه شده که به استخراج ویژگی فازی از تصویر ورودی پرداخته و با استفاده از مدل نمودن ویژگی فازی با اعداد دوره ای به ناحیه بندی آن با استفاده از FCM می پردازد.
۳	Classical Fusion Method and FCM(CFM)	(نعیمی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹)	یک روش ناحیه بندی چندتصویری مبتنی بر روش های ادغام معمول (در سطح پیکسل) و FCM می باشد.
۴	Mean-Shift Algorithm (MSA)	مینگ ^۴ و همکاران، ۲۰۱۲؛ بایرام و همکاران، ۲۰۱۸)	از روش های بسیار مرسوم در ناحیه بندی انواع تصاویر، بخصوص تصاویر پانکروماتیک می باشد.

در ادامه جهت ارزیابی و تحلیل کیفی عملکرد الگوریتم های خوشه بندی فازی و همچنین مقایسه آنها با یکدیگر هنگام اعمال بر روی تصاویر محدوده ی مورد مطالعه معیارها به صورت زیر تعریف گردیده اند:

شاخص ۱: در این شاخص ناحیه بندی شبکه ی زهکشی و تشخیص و تمایز صحیح مرز آن از محیط پیرامون ملاک سنجش و ارزیابی می باشد که از نوع ارزیابی مکانی می باشد.

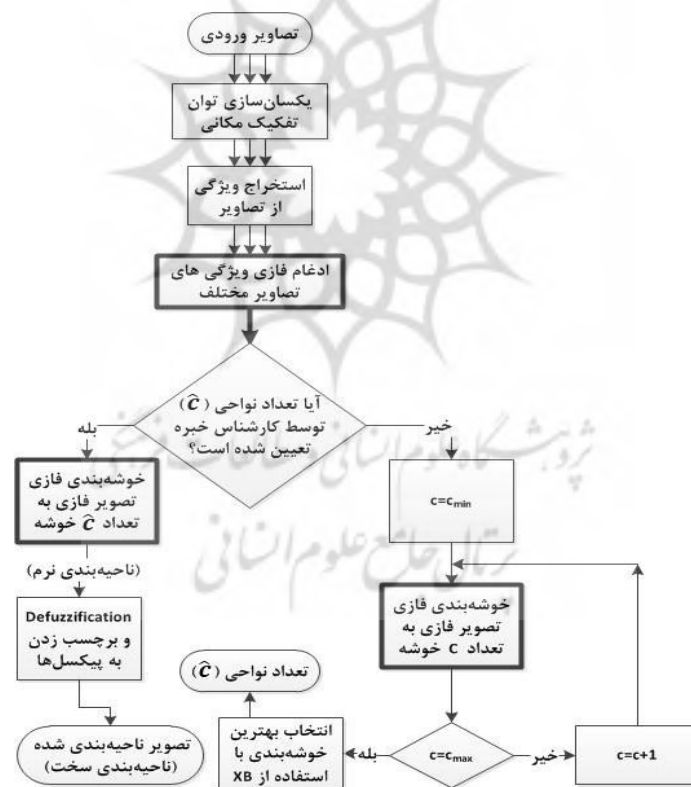
شاخص ۲: در شاخص اول ناحیه بندی مستقل از پوشش ابر و سایه منطقه ی مطالعاتی در نظر گرفته شده است که از نوع رادیومتریکی است و در شکل ۱ با دواپری توسط مستطیل مشخص شده است.

شاخص ۳: این شاخص نیز از نوع مکانی بوده و به ناحیه بندی صحیح خطواره های محیط کوهستانی موجود در منطقه (با بافت زبر در شکل ۱، با لوزی مشخص شده) اشاره دارد.

شاخص ۴: در این شاخص، آشکارسازی درختان و تمایز آنها از یکدیگر و محیط پیرامون و نیز زدن برچسب مناسب به آنها مدنظر می باشد. این شاخص نیز از نوع ارزیابی رادیومتریکی می باشد که تعدادی از آنها در شکل ۱، با دواپری مشخص شده اند.

در این راستا از مقادیر DN و ویژگی های بافتی و رادیومتریکی جهت بهبود هر چه بیشتر عملکرد برای ناحیه بندی استفاده شده است. بنابراین در این پژوهش، دو حالت برای روش های ناحیه بندی پیشنهادی در نظر گرفته شده

است. در یک حالت مقادیر DN یا ویژگی رادیومتریکی تصاویر پانکروماتیک ورودی (بن صالح و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۲۶) و در حالت دیگر مقادیر DN به همراه ۴ ویژگی‌های آنروپی، کنتراست، انرژی و همگنی به دست آمده از ماتریس^۱ GLCM (محمودی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۶) و ۹ ویژگی به دست آمده بر پایه انرژی بافت لاوز (لاوز، ۱۹۸۰: ۳۷۷) از تصاویر مورد بررسی استخراج و جهت استفاده از اطلاعات مکانی تصاویر پانکروماتیک و نیز رسیدن به نتایج بهتر ناحیه‌بندی استفاده گردیده است. این ویژگی‌ها میانگین وزن دار، لبه‌ها، تک‌نقطه‌ها و موج‌ها را در دو بعد نمایش می‌دهند. به عبارتی تعداد ویژگی‌های ورودی در حالت اول برابر با یک ($p = 1$) و در حالت دیگر برابر با ۱۴ ($p = 14$) می‌باشد. بلوک دیاگرام روش‌های پیشنهادی در (شکل ۲) نمایش داده شده است.



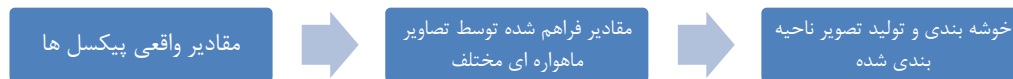
شکل (۲): بلوک دیاگرام روش‌های پیشنهادی برای ناحیه‌بندی مقاوم تصاویر HR-PRS

Fig (2): Block-diagram of the proposed methods for segmentation of HR-PRS images

با در نظر گرفتن مقادیر عددی پیکسل‌ها به عنوان ویژگی ورودی، ناحیه‌بندی فازی با استفاده از رابطه‌ی ۱ و شکل ۳ صورت می‌گیرد (مهدی پور، ۲۰۱۵: ۵۷).

$$x_k = \text{Fusion}(x_k^{(1)}, x_k^{(2)}) = wx_k^{\min} + (1 - w)x_k^{\max}, \quad 0 \leq w \leq 1, \quad (v_i, \text{Fusin}(x_k^{(1)}, \dots, x_k^{(l)}, \dots, x_k^{(L)})) \quad (1)$$

که در آن، x_k بیانگر مقادیر پیکسل k -ام بوده، w مراکز خوشه‌ها، v_i مرکز خوشه i -ام را نشان می‌دهد، تابع ادغام Fusion در آنها می‌تواند min ، mean ، max و Kalman Filter باشد.



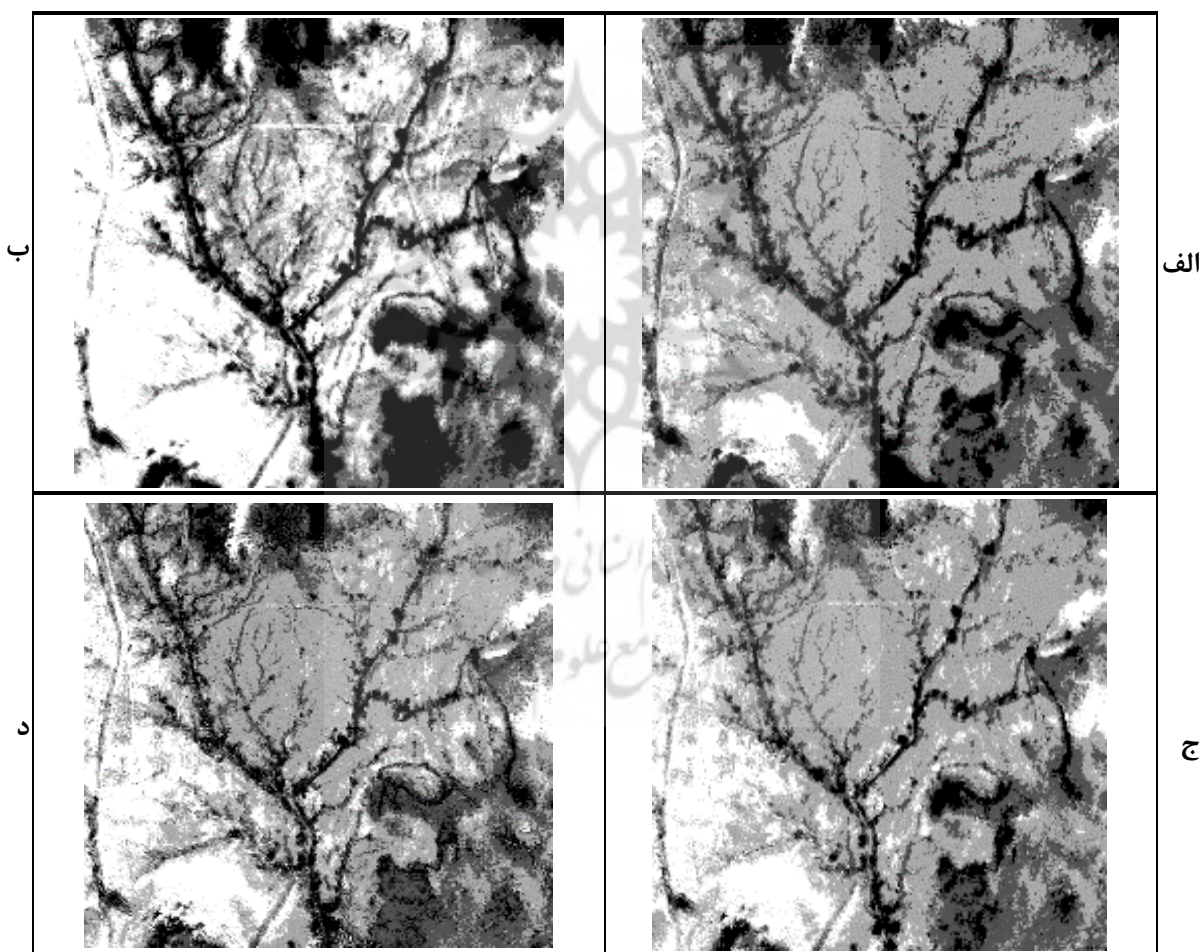
شکل (۳): بلوک دیاگرام ناحیه‌بندی فازی

Fig (3): Block-diagram of the Fuzzy segmentation

در روش‌های ناحیه‌بندی مورد بررسی، خوشه‌بندی فازی چندین بار و برای تعداد خوشه‌های مختلف (از C_{min} تا C_{max}) صورت پذیرفته و سپس با ارزیابی خروجی خوشه‌بندی و انتخاب بهترین (با استفاده از شاخص XB)، تعداد نواحی (\hat{C}) تعیین می‌گردد. همچنین در مرحله پردازش تعداد نواحی (\hat{C}) مشخص شده، تصویر برای رسیدن به تعداد مشخصی خوشه، خوشه‌بندی می‌شود تا پس از اعمال غیرفازی سازی^۱ بر روی آن، تصویر ناحیه‌بندی شده حاصل گردد. در این مرحله هر پیکسل به خوشه‌ای اختصاص می‌یابد که بیشترین درجه تعلق را به آن دارد. در نهایت نیز با برچسب زدن به پیکسل‌ها بر اساس اندازه مرکز خوشه مربوطه، تصویر ناحیه‌بندی شده حاصل می‌شود که در آن بیان نواحی به صورت سخت بوده و مرز بین نواحی کاملاً مشخص می‌باشد. به این ترتیب با توجه به اختصاص هر پیکسل به یک خوشه و برچسب‌زنی هر پیکسل بر اساس اندازه مرکز خوشه‌ای که به آن تعلق دارد، تصویر ناحیه‌بندی می‌گردد. در این تصویر بسته به برچسب پیکسل، هر چه این برچسب بزرگ‌تر باشد رنگ روشن‌تری به آن اختصاص می‌یابد. در این رابطه از فرآیند ادغام^۲ تصاویر پانکروماتیک و خروجی آن به عنوان یک خروجی میانی جهت ناحیه‌بندی استفاده شده است. ادغام تصاویر ماهواره‌ای HR-PRS به منظور ناحیه‌بندی، که با استفاده از روش‌های پیشنهادی در این پژوهش صورت می‌پذیرد از نوع ادغام اطلاعات یک یا چند سنسور مشابه می‌باشد که در آن ماهیت اطلاعات در طول زمان ثابت است. در بیشتر روش‌های خوشه‌بندی اعداد فازی ارائه شده، فاصله بین دو عدد فازی معمولاً یک مقدار سخت در نظر گرفته می‌شود. در روش‌های خوشه‌بندی ارائه شده این پژوهش متریک به کار گرفته شده برای اعداد فازی، مقدار فازی را دارا می‌باشد و برای حالت‌هایی که درجه عضویت نیز ماهیتی فازی داشته باشد، روش‌های خوشه‌بندی ارائه می‌گردد. در نهایت روش‌های خوشه‌بندی مورد مطالعه که دارای پارامترهای فازی هستند، بر روی تصاویر ورودی اعمال شده و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج ناحیه‌بندی و تحلیل و مقایسه عملکرد الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی مورد بررسی در محدوده‌ی مطالعاتی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این راستا جهت بررسی و مقایسه عملکرد الگوریتم‌های MSA، FWS، CFM و IDF بر روی تصاویر پانکروماتیک HR-PRS محدوده‌ی مطالعاتی، بر اساس معیارهای کیفی مکانی^۱ و رادیومترکی^۲ ارزیابی شده‌است (شکل ۴).



شکل (۴): نتایج ناحیه‌بندی الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی مورد بررسی در محدوده‌ی مطالعاتی: الف (MSA)، ب (FWS)، ج (IDF)، د (CFM)

Fig (4): Segmentation results of fuzzy clustering algorithms in the study area: A (MSA), B (FWS), C (IDF), D (CFM)

همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، روش CFM در ناحیه‌بندی فازی و تشخیص و آشکارسازی شاخص‌های مورد بررسی بهترین عملکرد را دارا می‌باشد (شکل ۴-د). پس از روش CFM، روش IDF قرار دارد که در هر ۴ شاخص عملکرد مناسبی دارد. عملکرد این روش جز در شاخص چهارم، در سایر شاخص‌ها تقریباً برابر با عملکرد روش CFM می‌باشد. به طور کلی این نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم خوشه‌بندی CFM قابلیت آشکارسازی پدیده‌های سطحی را تسهیل نموده و در زمینه‌ی اختصاص هر پیکسل به خوشه‌های مختلف دقت بالاتری را ارائه می‌دهد؛ در نتیجه مرزهای تصویر به خوبی آشکار می‌شوند. همچنین این روش می‌تواند اشکالات ناحیه‌بندی ناشی از همپوشانی ویژگی‌های طیفی بین طبقات نتایج خوشه‌بندی را کاهش و بهبود دهد و پدیده‌های مکانی و خوشه‌های با انواع اندازه، شکل و چگالی را به خوبی شناسایی نماید؛ دلیل این امر استفاده از اعداد فازی و نیز روش‌های خوشه‌بندی کارا در این روش می‌باشد.

در این رابطه روش IDF نیز در ناحیه‌بندی فازی و تقسیم‌بندی پیکسل‌های تصاویر پانکروماتیک HR-PRS مورد مطالعه کارایی و دقت خوبی نشان می‌دهد و به طور کلی جهت توصیف ویژگی‌های خوشه‌بندی فازی و استخراج دقیق داده‌ها از تصاویر دورسنجی عملکرد خوبی دارد (شکل ۴-ج). همچنین این الگوریتم برای دستیابی به ماهیت فازی داده‌های ماهواره‌ای که ناشی از عدم قطعیت و ناهمگنی در بازتاب طیفی سطح اشیا زمین باشد، موثر عمل می‌کند. به ویژه این فرآیند می‌تواند اطلاعات از دست رفته را در مناطق با پوشش سایه ابر بازسازی نموده و اثر خوشه‌بندی فازی را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. این نتایج با یو و همکاران (۲۰۱۴)، فنگ و همکاران (۲۰۱۹) و ژو و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. به این ترتیب هر دو الگوریتم CFM و IDF هم در شاخص‌های کیفی مکانی و هم رادیومتریکی نتیجه قابل قبولی ارائه نمودند و مرزهای اصلی را بخوبی تشخیص داده و مرزهای اضافی را حذف می‌کنند. در این الگوریتم‌ها ابهام موجود در ناحیه‌بندی فازی لحاظ شده و در مجموع دارای بهترین عملکرد در زمینه تشخیص و آشکارسازی لندفرم‌ها و عوارض سطحی بر روی تصاویر پانکروماتیک HR-PRS می‌باشند. همچنین روش‌های FWS و MSA نیز غیر از شاخص اول که ماهیتی کاملاً مکانی دارد، عملکرد چندان مطلوبی نشان ندادند (شکل ۳-الف و ب). این روش‌ها در آشکارسازی رودخانه و تمایز صحیح مرز شبکه‌ی زهکشی از محیط پیرامون عملکرد نسبتاً خوبی دارند. عمده ایراد این الگوریتم‌ها مربوط به شاخص دوم و عدم بازسازی اطلاعات از دست رفته در محدوده‌ی تحت پوشش سایه و ابر است؛ که می‌تواند به دلیل حساسیت بالای این روش‌ها نسبت به نویز باشد. در نتیجه در تقسیم‌بندی پیکسل‌های تصاویر پانکروماتیک و تشخیص بافت تصویر عملکرد مناسبی نشان ندادند و با مسئله پیدایش مرزهای اضافی روبرو هستند.

۴- نتیجه گیری

نتایج اعمال الگوریتم‌های ناحیه‌بندی فازی مورد مطالعه بر روی محدوده مورد بررسی نشان می‌دهد بهره‌گیری از روابط مکانی پیکسل‌ها جهت خوشه‌بندی فازی تصاویر HR-PRS و نیز استفاده از ویژگی‌های بافتی، ساختاری و طیفی جهت ناحیه‌بندی تصاویر پانکروماتیک، قابلیت بالایی در تشخیص و آشکارسازی عوارض ژئومورفیک و پدیده‌های سطحی مانند الگوهای فرمیک شبکه آنها دارد. با توجه به اینکه بسیاری از پدیده‌ها و متغیرها در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط به صورت کمی قابل اندازه‌گیری نبوده و یا اندازه‌گیری کمی آنها مشکل، وقتگیر و هزینه بر می‌باشد، استفاده از روش‌های فازی باعث می‌شود که در شرایط عدم قطعیت در حل مسائل و تصمیم‌گیری و همچنین دسته‌بندی پارامترهای کیفی، تصمیم‌سازان دید وسیع‌تر و روشن‌تری از پروژه‌ها داشته باشند و زمینه را برای تصمیم‌گیری و استدلال در مورد آنها فراهم می‌سازد. مزیت اصلی این تکنیک نسبت به روش‌های رایج این است که می‌تواند با انعطاف‌پذیری خود در تدوین قوانین فازی، دانش نهفته در داده‌های مشاهده‌ای را به نحوه مطلوبی به منظور پیش‌بینی پارامترها در زمان واقعی ارائه نماید و در مدت زمان نسبتاً کوتاهی قادر به بررسی تاثیر انواع پارامترهای در دسترس بر فرآیند مورد بررسی می‌باشند، بدون آنکه در هر مرتبه نیاز به یافتن رابطه پیچیده ریاضی موجود بین پارامترهای منتخب باشد. همچنین مقایسه این نتایج با داده‌های زمینی حاکی از دقت روش‌های ناحیه‌بندی فازی استفاده شده داشت. از این رو مطابق نتایج پژوهش تکنولوژی سنجش از دور با ارائه‌ی تصاویر چندزمانه، می‌تواند مبنای بسیار مناسبی برای پایش و آشکارسازی تغییرات محیطی باشد و استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی و ویژگی‌های فازی، روش مناسب و بهینه جهت ادغام اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای HR-PRS از یک منطقه جغرافیایی با هدف ناحیه‌بندی می‌باشد.

به طور کلی الگوریتم‌های فازی مورد مطالعه به ویژه CFM در خوشه‌بندی سریع حجم وسیع داده ورودی و همچنین ناحیه‌بندی و تشخیص لبه بر روی تصاویر ماهواره‌ای به خوبی عمل می‌نمایند و اثربخشی این الگوریتم‌ها را به عنوان ابزاری مناسب برای تشخیص و آشکارسازی عوارض ژئومورفیک و پدیده‌های سطحی و ناحیه‌بندی تصاویر سنجش از دور چند طیفی نشان می‌دهد. البته در پژوهش‌های آتی با تلفیق الگوریتم‌های فازی مورد مطالعه و استفاده از اعداد فازی نرمال و روش خوشه‌بندی GG-FCM با پارامترهای فازی می‌توان به یک روش مناسب و بهینه در مناطق مختلف جغرافیایی رسید. همچنین با فازی سازی درجه عضویت و پارامترهای فاصله و هر دو با یکدیگر و نیز به کارگیری انواع اعداد فازی و انواع متریک‌های موجود برای هر عدد فازی که هر کدام ویژگی متفاوتی را به خروجی ناحیه‌بندی خواهند داد، می‌توان انتظار عملکرد بهینه و مطلوبی

جهت خوشه‌بندی مقاوم‌تر فازی داشته باشیم؛ چرا که با توجه به وجود ابهام در اعداد ورودی، بهتر است سایر پارامترهای مؤثر در خوشه‌بندی نیز فازی بوده و ابهام داشته باشند.

سپاسگزاری

«این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده با شماره قرارداد ۱۶۰ از محل اعتبارات ویژه پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر می‌باشد.»



۵-منابع

- Ahmed, M. Z., Hamida, A. B., Benjelloun, M. (2007). Review of satellite image segmentation for an optimal fusion system based on the edge and region approaches, *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 7, pp. 242-250.
- Alok, A. K., Saha, S., & Ekbal, A. (2015). Multi-objective semi-supervised clustering for automatic pixel classification from remote sensing imagery. *Soft Computing*, 20(12), 4733–4751.
- Arekhi, S., (2015). Detecting changes cover land use with object-oriented processing satellite images using the software Idrisi Selva (Case study: Abdanan). *Journal of Geographic Information*, 24: 51-61.
- Awad, M., Chehdi, K. and Nasri, A. (2009). Multi-component image segmentation using a hybrid dynamic genetic algorithm and fuzzy C-means, *IET Image Processing*, vol. 3, pp. 52-62.
- Bagherinia, A., Minaei-Bidgoli, B., Hossinzadeh, M., & Parvin, H. (2018). Elite fuzzy clustering ensemble based on clustering diversity and quality measures. *Applied Intelligence*, 49(5), 1724–1747.
- Bayram. B., Demir. N., Akpınar. B., Oy. S., Erdem. F., Vögtle. T., Seker. D. Z. (2018). Effect of Different Segmentation Methods Using Optical Satellite Imagery to Estimate Fuzzy Clustering Parameters for SENTINEL-1A SAR Images, *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, Vol.XLII-1, pp.39-43
- Ben Salah. M, Mitiche. A, and Ben Ayed. I. (2010) Effective level set image segmentation with a kernel induced data term, *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 220-232.
- Carleer, A., Debeir, O, & Wolff, E. (2005). Assessment of very high spatial resolution satellite image segmentations, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 71, pp. 1285-1294, 2005.
- Chouhan, S. S., Kaul, A., & Singh, U. P. (2018). Image Segmentation Using Computational Intelligence Techniques: Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 26(3), 533–596.
- Das, S. and Sil, S. (2010). Kernel-induced fuzzy clustering of image pixels with an improved differential evolution algorithm, *Information Sciences*, vol. 180, pp. 1237–1256.
- Fan, J., & Wang, J. (2018). A Two-Phase Fuzzy Clustering Algorithm Based on Neurodynamic Optimization with Its Application for PolSAR Image Segmentation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(1), 72–83.
- Fang, W., Liang-shu, W., Jun-jie, H., Gui-ling, L., & Xi-ping, J. (2017). Optimized fuzzy C-means clustering algorithm for the interpretation of the near-infrared spectra of rocks. *Spectroscopy Letters*, 50(5), 270–274.

- Fourie, C., (2015). On Attribute Thresholding and Data Mapping Functions in a Supervised Connected Component Segmentation Framework, *Remote Sensing*, Vol.7(6), pp.7350-7377
- Fu, G., Zhao, H., Li, C., & Shi, L. (2013). Road Detection from Optical Remote Sensing Imagery Using Circular Projection Matching and Tracking Strategy. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(4), 819–831.
- Gao, B., & Wang, J. (2015). Multi-Objective Fuzzy Clustering for Synthetic Aperture Radar Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(11), 2341–2345.
- Ghamisi, P., Ali, A.-R., Couceiro, M. S., & Benediktsson, J. A. (2015). A Novel Evolutionary Swarm Fuzzy Clustering Approach for Hyperspectral Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(6), 2447–2456.
- Ghosh, A., Mishra, N. S., & Ghosh, S. (2011). Fuzzy clustering algorithms for unsupervised change detection in remote sensing images. *Information Sciences*, 181(4), 699–715.
- Hasanzadeh, M., and Kasaei, S. (2010). A Multispectral Image Segmentation Method Using Size-Weighted Fuzzy Clustering and Membership Connectedness. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(3), 520–534.
- Hashemi, S., Akbarinasab, M., Safarrad, T. (2018). The Detection of the Plume of the Arvand River Using Satellite Images. *Hydrogeomorphology*, 4(13), 147-164. (In Persian)
- HongLei, Y., JunHuan, P., BaiRu, X., & DingXuan, Z. (2013). Remote Sensing Classification Using Fuzzy C-means clustering with Spatial Constraints Based on Markov Random Field. *European Journal of Remote Sensing*, 46(1), 305–316.
- Hou, B., Ren, Z., Zhao, W., Wu, Q., & Jiao, L. (2020). Object Detection in High-Resolution Panchromatic Images Using Deep Models and Spatial Template Matching. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(2), 956–970.
- Laws, K. I. (1980). Rapid texture identification," in *24th annual technical symposium*, pp. 376-381.
- Mahdipour, H. (2015). Multi-image noise-resistant segmentation in panchromatic satellite imagery. PhD Thesis in Electrical-Telecommunications, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- Mahmoudi, F. T; Samadzadegan, F. and Reinartz, P. (2015). Object recognition based on the context aware decision-level fusion in multi views imagery," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 8, pp. 12-22.
- Ming, D., Ci, T., Cai, H., Li, L., Qiao, C., and Du, J. (2012). Semivariogram-based spatial bandwidth selection for remote sensing image segmentation with mean-shift algorithm," *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, vol. 9, pp. 813-817.

- Mitra, S. and Kundu, P. P. (2011). Satellite image segmentation with Shadowed C-Means, *Information Sciences*, vol. 181, pp. 3601–3613.
- Moustakidis, S., Mallinis, G., Koutsias, N., Theocharis, J. B., & Petridis, V. (2012). SVM-Based Fuzzy Decision Trees for Classification of High Spatial Resolution Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(1), 149–169.
- Naeni A.A., Niazmardi S., Namin S.R., Samadzadegan F., Homayouni S. (2013) A Comparison Study between Two Hyperspectral Clustering Methods: KFCM and PSO-FCM, *Computational Intelligence and Decision Making*, vol 61, pp. 23-33.
- Rajabi, A., & Momeni, M. (2016). Urban Buildings Changes Detection in 1:2000 Map Using GeoEye1 Satellite Stereo Images. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5 (3):279-292. (In Persian)
- Saffari, A., Jan Ahmadi, M., Raeati Shavazi, M. (2015). Site Selection for Suitable Flood Spreading And Artificial Feeding through Hybrid, AHP-Fuzzy Model Case Study: (Bushkan Plain, Bushehr Province). *Hydrogeomorphology*, 2(3), 81-97. (In Persian)
- Saha, I., Maulik, U., Bandyopadhyay, S., & Plewczynski, D. (2012). SVMeFC: SVM Ensemble Fuzzy Clustering for Satellite Image Segmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 9(1), 52–56.
- Shang, R., Tian, P., Jiao, L., Stolkin, R., Feng, J., Hou, B., & Zhang, X. (2016). A Spatial Fuzzy Clustering Algorithm with Kernel Metric Based on Immune Clone for SAR Image Segmentation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(4), 1640–1652.
- Trabelsi, M., & Frigui, H. (2019). Robust fuzzy clustering for multiple instance regression. *Pattern Recognition*, 90, 424–435.
- Wan, Y., Zhong, Y., & Ma, A. (2019). Fully Automatic Spectral–Spatial Fuzzy Clustering Using an Adaptive Multiobjective Memetic Algorithm for Multispectral Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(4), 2324–2340.
- Xie, H., Luo, X., Wang, C., Liu, S., Xu, X., & Tong, X. (2015). Multispectral remote sensing image segmentation using rival penalized controlled competitive learning and fuzzy entropy. *Soft Computing*, 20(12), 4709–4722.
- Xu, Y., Chen, R., Li, Y., Zhang, P., Yang, J., Zhao, X, Wu, D. (2019). Multispectral Image Segmentation Based on a Fuzzy Clustering Algorithm Combined with Tsallis Entropy and a Gaussian Mixture Model. *Remote Sensing*, 11(23), 2772.
- Yu, C., Wang, L., Zhao, J., Hao, L., & Shen, Y. (2020). Remote sensing image classification based on RBF neural network based on fuzzy C-means clustering algorithm. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(4), 3567–3574.

- Yu, H., Xu, L., Feng, D., & He, X. (2015). Independent feature subspace iterative optimization based fuzzy clustering for synthetic aperture radar image segmentation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 095060.
- Yu. X, He. H, Hu. D, and Zhou. W. (2014). Land cover classification of remote sensing imagery based on interval-valued data fuzzy c-means algorithm, *Science China Earth Sciences*, vol. 57, pp. 1306-1313.
- Zeinali, B., & Asghari, S. (2016). Mapping and monitoring of dust storms in Iran by fuzzy clustering and remote sensing techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(9).
- Zhang, M., Ma, J., & Gong, M. (2017). Unsupervised Hyperspectral Band Selection by Fuzzy Clustering with Particle Swarm Optimization. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 773–777.
- Zheng, Z.; Cao, J.; Lv, Z.; Benediktsson, J.A. (2019). Spatial–Spectral Feature Fusion Coupled with Multi-Scale Segmentation Voting Decision for Detecting Land Cover Change with VHR Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, Vol. 11(16), 2-22.