

کاربرد روش‌های قطعه‌بندی تصاویر طیفی در شناسایی و جداسازی مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد- اردکان

سیدمهدی پورباقر کردی* - مربی دانشگاه پیام نور و دانشجوی دکتری تخصصی ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی
عزت‌الله قنوتی- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی
امیر کرم- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی
امیر صفاری- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۱۶

چکیده

قطعه‌بندی مؤثرترین روش برای شناسایی شکل‌های ژئومورفولوژیکی است که علاوه بر طبقه‌بندی، خاصیت اکتشافی لندفرم‌ها را نیز در متن تصویر داراست. در این پژوهش، پس از معرفی انواع روش‌های قطعه‌بندی، مخروط‌افکنه روی تصاویر ماهواره ژئو- آی و استر استخراج شده است. آن‌گاه بهترین روش‌های قطعه‌بندی در شناسایی مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد با روش تفسیر بصری معرفی شده است. به‌منظور تفسیر بصری از تصویر استر قطعه‌بندی شده و انتخاب بهترین روش‌های قطعه‌بندی قابل استفاده در ژئومورفولوژی، از نقشه ژئومورفولوژی ژئورفرنس شده و نیز تصویر ژئو- آی بهره گرفته شد. براساس نتایج، از میان انواع الگوریتم‌های قطعه‌بندی، دو الگوریتم برای شناسایی و جداسازی مخروط‌افکنه‌ها مناسب است: الف) الگوریتم چندمقیاسه در شناسایی مرز هندسی مخروط‌افکنه‌ها در تصویر استر؛ ب) قطعه‌بندی به روش اختلاف کنتراست بر روی تصویر ژئو- آی در شناسایی جزئیات موجود بر سطح مخروط‌افکنه مانند سایه حاصل از فرسایش خندقی، راه‌های احداث شده و خشک‌رودها موفق بوده است. سرانجام به‌منظور بررسی آزمون‌پذیری روش‌های برگزیده، از مخروط‌افکنه‌های مشابه در دیگر مناطق مرکزی استان یزد استفاده شد که نتایج مشابه آن قابلیت سازگاری روش‌های مذکور را در دیگر نقاط نیز به اثبات می‌رساند.

کلیدواژه‌ها: شناسایی، قطعه‌بندی تصویر، مخروط‌افکنه، یزد.

مقدمه

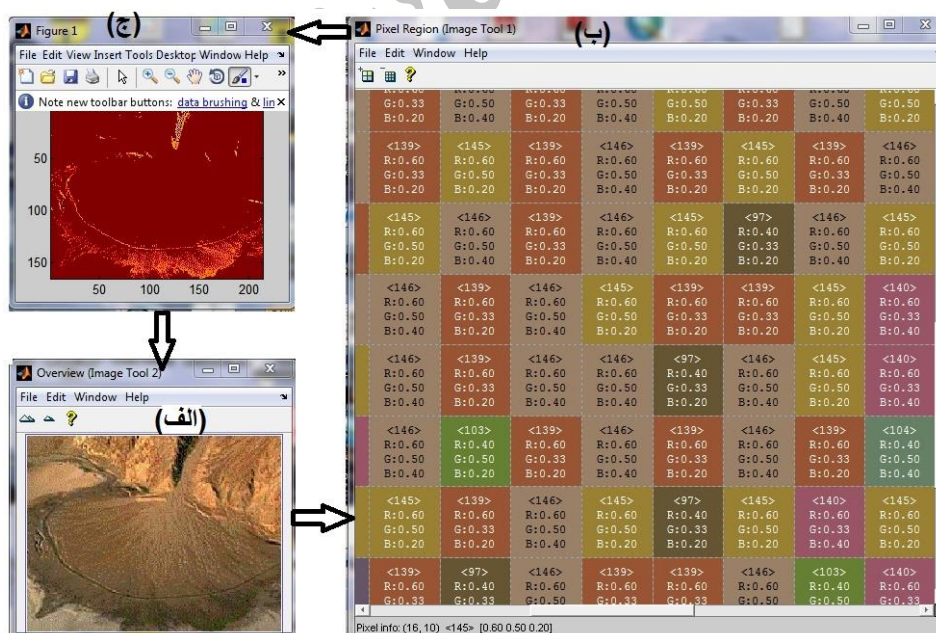
جغرافیدانان ارزش لندفرم‌ها را به‌طور کلی به چهار بخش تقسیم کرده‌اند: ۱. ارزش فرهنگی^۱؛ ۲. ارزش روحانی^۲؛ ۳. ارزش زیبایی^۳؛ ۴. ارزش اقتصادی^۴ (برنامه آموزشی استرالیا، فصل ۱: ۵۰). از میان انواع لندفرم‌ها، مخروط‌افکنه‌ها از

* E- mail: mahdipourbagher@gmail.com

1. Cultural value
2. spiritual value
3. aesthetic value
4. economic value

اهمیت زیاد اقتصادی- اجتماعی برخوردارند؛ مخروط‌افکنه‌ها از یک سو به دلیل ویژگی‌های توپوگرافی، مانند شیب کم و خاک حاصلخیز، مکان مناسبی برای تمرکز سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های زراعی محسوب می‌شوند (شایان، ۱۳۹۰: ۸۳) و از سوی دیگر، این پهنه‌های آبرفتی، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک، به دلیل برخورداری از کانال‌های گیسویی^۱ و نیز وجود رسوب‌های ریزدانه و حاصلخیز، موجب فراهم آوردن مواد و مصالح اولیه برای صنایع سفال‌سازی و کشاورزی شده‌اند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵). بنابراین، شناسایی مخروط‌افکنه و تحلیل الگوریتم‌های شناسایی آن ضروری به نظر می‌رسد. شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها از مهم‌ترین اهداف و از کارهای پایه‌ای در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی است (یمانی، ۱۳۹۱: ۲۰). نقشه لندفرم‌ها (در اینجا مخروط‌افکنه‌ها) به طور بالقوه دارای ارزش اطلاعاتی بسیار زیادی برای برنامه‌ریزی محیطی، مهندسی عمران، کشاورزی، حفاظت منابع طبیعی، پیش‌بینی بلایای طبیعی احتمالی و پیشگیری از آنهاست (شایان، ۱۳۸۳: ۱۱۱).

هدف از شناسایی لندفرم‌ها از جمله مخروط‌افکنه‌ها، ساده‌سازی شکل پیچیده زمین به تعداد محدودی از واحدهای عملیاتی است که قابل تشخیص و تمیز از هم باشند و اطلاعات مفیدی از آن لندفرم به دست دهند (گرچک، ۲۰۱۰: ۹). روش‌های شناسایی و تشخیص لندفرم مخروط‌افکنه متمایز از روش‌های طبقه‌بندی آنهاست. یکی از روش‌های شناسایی عوارض سطح زمین از جمله لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی، قطعه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است. قطعه‌بندی حساس‌ترین عملیات پیش از طبقه‌بندی شیء‌گرایی در ژئومورفولوژی است؛ زیرا در قطعه‌بندی، شیء‌های ژئومورفولوژیکی^۲ تولید خواهد شد که خود معرف و مبنای طبقه‌بندی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی است (شکل ۱).



شکل ۱. الف) نمایش مخروط‌افکنه در محیط MATLAB؛ ب) نمایش مخروط‌افکنه در سطح پیکسل همراه با اطلاعات طیفی؛ ج) نمایش مخروط‌افکنه در سطح اشیای تصویری که حاصل ادغام پیکسل‌های تصویری براساس اطلاعات طیفی و دیگر اطلاعات مورفومتری، شکل، اندازه و ... است (نگارندگان).

1. Braided stream
2. Geomorphological objects

موضوع قطعه‌بندی تصویر در اواسط سال ۱۹۷۰ مطرح شد (هارالیک و همکاران، ۱۹۷۳: ۶۱۲)؛ ولی از عرضه این مفاهیم در قالب بسته‌های نرم‌افزاری آماده مانند OBIA^۱ بیش از یک دهه نمی‌گذرد (دراگوت و بلاشکی، ۲۰۰۶: ۳۳۱). براساس پژوهش‌های پیشین، طبقه‌بندی برمبنای مفاهیم شیء‌گرایی و مورفومتریکی بر روی داده‌های رقومی ارتفاعی سطح زمین بسیار مؤثر و کارسازتر از روش‌های پیکسل‌مبناست (هافمن و واندرگوت، ۲۰۰۱: ۲۰)؛ برای نمونه فیضی‌زاده و هلالی (۱۳۸۹) با مقایسه نقشه‌های خروجی به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی به روش‌های پیکسل‌مبنا و شیء‌مبنا در استان آذربایجان غربی، به این نتیجه رسیدند که دقت نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی اشیای تصویری حاصل از قطعه‌بندی تصویر سنجنده HDR ماهواره اسپات ۵، حدود هفت درصد بیشتر از روش‌های پیکسل‌مبنا بر روی همان تصویر ماهواره‌ای است. همچنین دراگوت و بلاشکی (۲۰۰۶) گزارشی از نتایج پژوهش‌هایشان در زمینه طبقه‌بندی خودکار شیء‌گرا و قطعه‌بندی تصویر استر به روش چندمقیاسه از لندفرم‌های اراضی تقریباً هموار و اراضی کوهستانی عرضه کردند که نشان داد طبقه‌بندی براساس رویکرد شیء‌گرایی منجر به اکتشاف برخی از لندفرم‌ها در مقیاس خرد^۲ مانند پرتگاه محدبی^۳، پرتگاه کواستایی^۴ و خط‌الرأس‌ها در هریک از این مناطق می‌شود و از طرفی، در رویکرد شیء‌گرایی افزون بر طبقه‌بندی، خاصیت اکتشاف و بارزسازی لندفرم‌ها نیز وجود دارد (دراگوت و بلاشکی، ۲۰۰۶: ۳۳۲).

به‌طور کلی، قطعه‌بندی^۵ به تبدیل هر تصویر به واحدهای مجزایی گفته می‌شود که از نظر بافت، رنگ، ویژگی‌های ارتباطی و فضایی و ژئومورفومتری همگن و مشابه باشد. در برخی از نوشته‌های قدیمی، قطعه‌بندی یا سگمنت‌سازی را مترادف طبقه‌بندی معنا کرده‌اند؛ در حالی که این دو مفهوم جدا از هم است: قطعه‌بندی، مرحله‌ای از پردازش است که در میان سطح‌بندی^۶ و طبقه‌بندی^۷ قرار می‌گیرد (اشتروبل، ۲۰۰۷: ۱۲۸). در قطعه‌بندی، تصویر به نواحی جداگانه‌ای تقسیم می‌شود که به هریک از این نواحی، شیء^۸ می‌گویند؛ این اشیای تصویری به‌دست‌آمده از عملیات قطعه‌بندی، در بردارنده اطلاعات مهم ژئومورفومتری مانند شکل هندسی، اندازه و موقعیت نسبی، بافت و روابط همسایگی است (راهنمای کاربردی برنامه 5 Definiens Professional، ۲۰۰۶: ۶۸).

قطعه‌بندی اساس شناسایی و طبقه‌بندی‌های دانش‌مبنا و شیء‌گرا^۹ است (هافمن و واندرگوت، ۲۰۰۱: ۱۹). به‌طور خلاصه می‌توان گفت اهمیت و کاربرد قطعه‌بندی در ژئومورفولوژی، کشف عناصر تشکیل‌دهنده لندفرم^{۱۰} (مانند انواع انحنا، شیب و ستیخ)، جداسازی لندفرم‌ها به‌وسیله چندضلعی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها براساس شکل، مورفولوژی و دیگر شاخص‌های ژئومورفومتری است (دراگوت و بلاشکی، ۲۰۰۶: ۳۳۲).

1. Object-Based Image Analysis
2. Micro scale
3. convex scarps
4. cuesta scarps
5. Segmentation
6. Regionalization
7. Classification
8. Object
9. Object Oriented
10. Landform elements

در ایران، گورابی و کریمی (۱۳۹۱) با کمک روش قرینه‌سازی الگوی رقومی ارتفاع^۱ زمین، به تعیین مرز مخروط‌افکنه مروست در جنوب استان یزد اقدام کردند و ضمن تأکید بر آسانی و کم‌هزینه بودن این روش، نتیجه گرفتند مرز تعیین‌شده، با شرایط توپوگرافی و عناصر مورفولوژیکی مخروط‌افکنه انطباق کاملی دارد.

محمدی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های قطعه‌بندی تصویر ماهواره‌ای آیکونوس و روش فازی، به تعیین خطوط ساحلی اقدام کردند و در آغاز، تصویر را با کمک قطعه‌بندی چندمقیاسه به چندین گروه همگن تقسیم کرده، سپس با کمک الگوریتم آستانه‌گذاری فازی، بخشی از خطوط ساحلی چابهار را مشخص کردند. آنها دقت کاربرد روش‌های قطعه‌بندی را در این مورد، ۹۵ درصد اعلام کردند.

شایان و همکاران (۱۳۹۱) از روش طبقه‌بندی بیشینه مشابهت، به طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک مرنجاب در هفت گروه از جمله گروه «مخروط‌افکنه» اقدام کردند که براساس نقشه داده‌شده، این گروه بیشترین منطقه را در برمی‌گرفت. آنها با کمک ضریب کاپا، دقت طبقه‌بندی را ۸۱ درصد تخمین زدند.

بهرامی (۱۳۹۰) با کمک تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد و براساس شاخص‌های ساده ژئومورفولوژیکی مانند الگوی زهکشی کانال‌ها در سطح مخروط‌افکنه‌های زاگرس چین‌خورده و نیز رنگ مخروط‌افکنه‌ها بر روی تصاویر کوئیک‌برد توانستند بخش‌های فعال و غیرفعال این مخروط‌افکنه‌ها را از نظر سیل‌خیزی قطعه‌بندی کنند. آنها نتیجه گرفتند مخروط‌های قدیمی یا غیرفعال، دارای الگوی زهکشی همگرا یا شبکه درختی است؛ ولی مخروط‌های جدید یا فعال اغلب دارای شبکه زهکشی واگرا، شاخه‌شاخه و متقاطع است؛ همچنین بخش‌های غیرفعال مخروط به دلیل دارا بودن تن رنگی تیره‌تر نسبت به بخش‌های فعال مخروط‌ها بر روی تصاویر کوئیک‌برد، امکان بخش‌بندی یا قطعه‌بندی دارد.

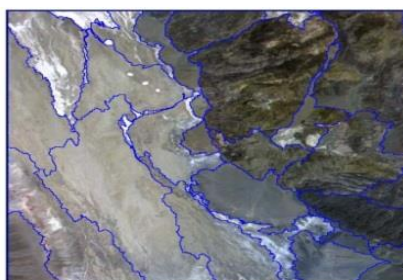
میلیاری (۱۳۹۹) با استفاده از روش‌های نسبت‌گیری تفاضل نرمال‌شده (NDBR)^۲ باندهای ۱ و ۳ سنجنده TM، بخش فعال با خطر زیاد سیل در بخش قاعده مخروط‌افکنه را شناسایی کرد؛ به‌طور کلی او با استفاده از روش‌های قطعه‌بندی براساس رشد ناحیه، هر مخروط‌افکنه را به سه بخش با خطر کم در رأس مخروط و خطر متوسط در میانه مخروط و خطر زیاد در قاعده مخروط تقسیم کرده است.

سول‌باک و وایند (۲۰۰۳) در مقاله منتشرشده در مجله «مفاهیم و الگوسازی در ژئومورفولوژی» در توکیو، اظهار داشتند برای بررسی لندفرم از جمله مخروط‌افکنه‌ها بهتر است به‌جای الگوی رقومی سطح زمین از الگوهایی استفاده کرد که بر مبنای قطعه‌بندی تصویر به روش چندمقیاسه^۳ بنا شده است؛ چراکه الگوهای رقومی DEM دارای وضوح ثابتی است، در حالی که سطح واقعی زمین، در بردارنده لندفرم‌ها در مقیاس‌های مختلف است. آنها الگوی شبکه نامنظم مثلثاتی^۴ با ابعاد متغیر را برخلاف الگوهای DEM که دارای ابعاد ثابت و هم‌اندازه‌ای است، برای قطعه‌بندی و شناسایی عوارضی مانند مخروط‌افکنه‌ها پیشنهاد دادند.

آرجیالاس و تزوتسوس (۲۰۱۳) در مقاله‌ای به‌منظور شناسایی و طبقه‌بندی مخروط‌افکنه‌های محدوده دره مرگ

1. Symmetric Model of DEM
2. Normalized Difference Band Ratio
3. Multi-resolution
4. Triangulation irregular network

آمریکا از روش قطعه‌بندی چندمقیاسه در چهار سطح از وضوح بیشتر تا کمتر و دقیق‌تر بهره جستند؛ قطعه‌بندی در سطح اول به شناسایی کلی منطقه از نظر ژئومورفولوژی منجر شد که این عوارض بزرگ شناسایی شده خود در مراحل و سطوح بعدی قطعه‌بندی به‌منظور تعیین عوارض کوچک‌تر لندفرم‌های ژئومورفولوژی به کار گرفته شد. آنها برای قطعه‌بندی در مراحل بعدی از تصاویر باندهای ۱ تا ۳ ماهواره استر با وضوح پانزده متر استفاده کردند و در مراحل سوم و چهارم با عدد مقیاس کوچک‌تر در قطعه‌بندی تصاویر باندهای ۱ تا ۳ ماهواره استر موفق شدند مخروط‌افکنه‌های کوچک و بزرگ را شناسایی و حدود آنها را مشخص کنند (شکل ۲).

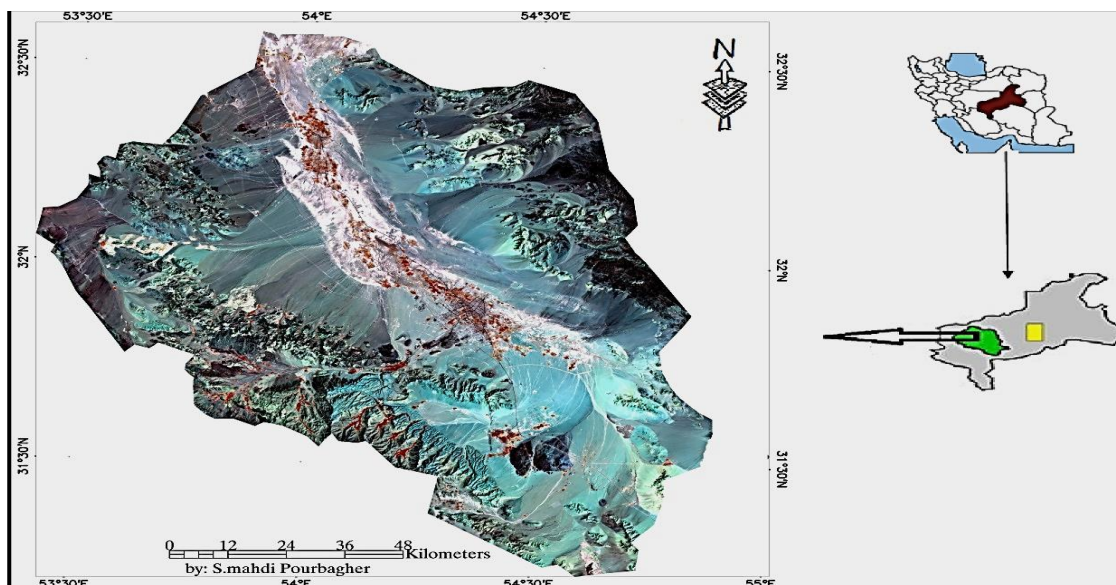


شکل ۲. نتیجه قطعه‌بندی در سطح چهارم (سمت چپ) و تعیین مخروط‌افکنه‌ها (سمت راست)
(آرجیلاس و تزوتسوس، ۲۰۱۳: ۶)

منطقه و لندفرم بررسی شده

منطقه این پژوهش حوضه آبریز یزد- اردکان است که در محدوده عرض شمالی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه و محدوده طول شرقی ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه در مرکز استان یزد قرار دارد. از لحاظ ژئومورفولوژی، این حوضه از شمال به پلایای اردکان، از جنوب به ارتفاعات شیرکوه، از شرق به زیرحوضه خرانق و از غرب به زیرحوضه ندوشن محدود می‌شود. شکل ۳ موقعیت محدوده این پژوهش را در ایران و استان یزد نشان می‌دهد. این حوضه، حوضه بسته خشک داخلی (آرئیک) است و زهکشی آن به پلایای سیاه‌کوه منتهی می‌شود، بلندترین ارتفاع آن قلّه شیرکوه با ارتفاعی حدود ۴۰۷۵ متر است و پست‌ترین آن را کویر سیاه‌کوه با ارتفاع ۹۵۰ متر از سطح دریا تشکیل می‌دهد (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۳: ۵۶۹).

در این پژوهش، برای بیان انواع روش‌های قطعه‌بندی تصویر و اهمیت و کاربرد آن در شناسایی و جداسازی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی، مخروط‌افکنه‌های مجتمع (باهاذا) بخش جنوبی حوضه یادشده بررسی شده است. همچنین، به‌منظور آزمون‌پذیری و آزمایش الگو در شناسایی دیگر مخروط‌افکنه‌های مشابه، محدوده‌ای در خارج از حوضه (مستطیل زردرنگ در شکل ۳) بررسی شده است.



شکل ۳. نمای کلی منطقه پژوهش در حوضه یزد- اردکان و نمایش تصویر رنگی کاذب باندهای ۲، ۳ و ۴ سنجنده ETM+ و نمایش محل آزمون پذیری و آزمایش الکوی قطعه‌بندی در محدوده مستطیل زردرنگ (نگارندگان)

مواد و روش‌ها

مواد اصلی این پژوهش را تحقیقات گسترده کتابخانه‌ای و جست‌وجوی اینترنتی به منظور گردآوری منابع داخلی و خارجی تشکیل می‌دهد. در جدول ۱، انواع تصاویر ماهواره‌ای به کار گرفته شده و کاربرد هر یک در این تحقیق آورده شده است. همچنین، نقشه ژئومورفولوژی کلی استخراج شده از نقشه ژئومورفولوژی ایران (شکل ۴)، نرم‌افزارهای ارتقایافته (E-Cognition Developer نسخه ۷/۸) و سامانه اطلاعات جغرافیایی Arc GIS و ماژول Arc Catalog برای ساخت لایه‌ها، دیگر مواد اصلی این تحقیق را تشکیل می‌دهد. جزئیات کامل‌تر در فلوچارت گردش کار شکل ۵ آمده است.

جدول ۱. منابع اطلاعات موجود و نوع کاربری از انواع تصاویر ماهواره‌ای

منبع	نوع کاربرد در این پژوهش	باندهای استفاده شده	قدرت جداسازی (متر)	سنجنده	ماهواره	تاریخ تصاویر
www.earthexplorer.usgs.gov	نمایش تصویر رنگی کاذب از منطقه پژوهش (شکل ۳)	۲ و ۳ و ۴	۳۰	ETM+	لندست	۲۰ اوت ۲۰۰۸
www.lpdac.usgs.gov	قطعه‌بندی (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵)	۱ و ۲ و ۳N	۱۵	استر	ترا	۲۰ اوت ۲۰۰۸
www.screenr.com/xY5	قطعه‌بندی و شناسایی میکروفرمها (شکل‌های ۸ و ۹)	۱ و ۲	۱/۶۵	ژئو-آی	ژئو-آی ۱-۱	۱۷ ژوئیه ۲۰۰۹

در این پژوهش از دو رویکرد اصلی در قطعه‌بندی استفاده شده است (راهنمای کاربردی برنامه‌ارتقا یافته E-Cognition، ۲۰۱۲: ۵۴):

الف) رویکرد از بالا به پایین^۱ یا کل به جزء: در این رویکرد، شکل‌ها و اشیای تصویر به قطعات کوچک‌تر از خود تقسیم می‌شود. این رویکرد، رویکردی از کل به جزء است و با استفاده از سه الگوریتم اجرا می‌شود: ۱. الگوریتم چسبورد یا شطرنجی؛ ۲. الگوریتم قطعه‌بندی براساس درخت تعادل؛ ۳. قطعه‌بندی براساس اختلاف کنتراست یا تباین.

ب) رویکرد از پایین به بالا یا از جزء به کل^۲: در این رویکرد، قطعات کوچک تصویر براساس معیارهای مختلف مانند همگنی، ویژگی‌های طیفی، بافت و متن تصویر، مورفولوژی و هندسه و ... با هم ادغام می‌شود تا شکل بزرگ‌تری پدید آید. این رویکرد، رویکردی از جزء به کل است و با استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی چندمقیاسه اجر می‌شود.

در مجموع، چهار روش مختلف قطعه‌بندی در قالب دو رویکرد اصلی بررسی شدند و آن‌گاه برای هر یک از این روش‌های معرفی شده، قابلیت اجرایی آنها نیز بر روی منطقه انتخاب شده، در محیط نرم‌افزاری E-Cognition ارتقا یافته نسخه ۸/۷/۲ آزمایش شد و نقشه‌های خروجی به دست آمده از عملیات قطعه‌بندی، در شناسایی مخروط‌افکنه نیز آورده شد. هر یک از الگوریتم‌های سگمنت‌ساز، مرزهای گسترش یافته شی‌های لندفرمی را براساس معیار همگنی به وسیله پلیگون جدا و شناسایی می‌کند و افزون بر آن، حدود و ثغور گسترش یافته لندفرم‌های مجتمع (باهادای یزد) را از یکدیگر به روشنی نشان می‌دهد. در مفهوم متن تصویری، شی‌های تصویری به گروهی از سلول‌های شبکه‌ای یک داده رستری (گرید یا تقریباً پیکسل) گفته می‌شود که طی پردازش قطعه‌بندی ایجاد می‌شود. شی‌های به دست آمده از قطعه‌بندی در بردارنده اطلاعات کامل‌تری نسبت به پیکسل‌های جداگانه و منفرد است؛ زیرا شی‌های لندفرمی افزون بر اطلاعات طیفی پیکسل‌های جداگانه، در بردارنده اطلاعات تکمیلی دیگری مانند شکل و مورفولوژی، اندازه و نسبیّت، مجاورت یا قرابت، ارتباط توپولوژیکی و همسایگی و دیگر شاخص‌های ژئومورفومتری است که همه این اطلاعات، به شناسایی و تفکیک‌پذیری یا طبقه‌بندی دقیق لندفرم‌ها منجر می‌شود (آسلن و سایمن برژن، ۲۰۰۶: ۳۱۰).



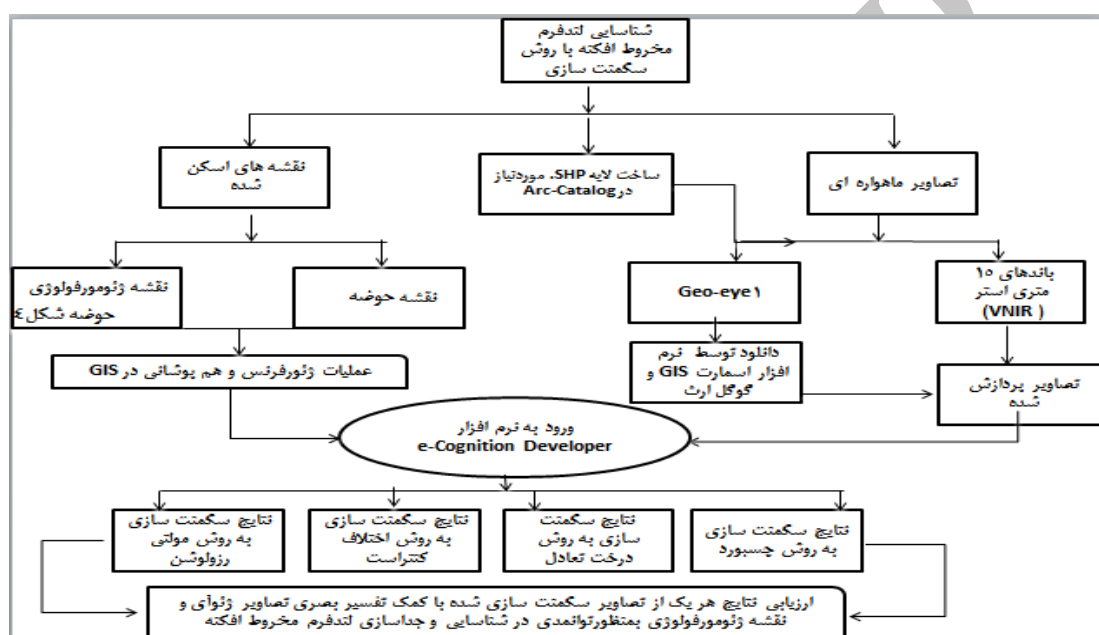
شکل ۴. نقشه ژئومورفولوژی لندفرم‌های کلان حوضه یزد- اردکان و نمایش محل مخروط‌افکنه‌ها

1. Top-down Segmentation
2. Bottom-up Segmentation

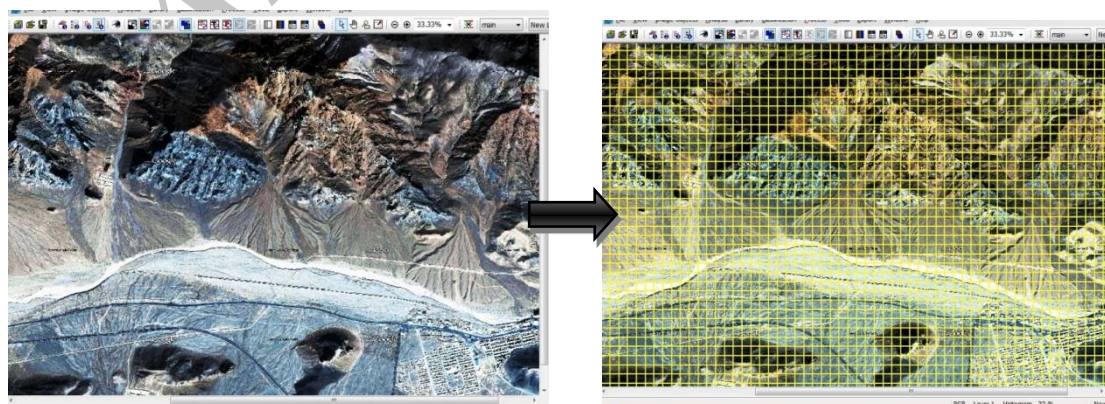
برای ارزیابی بصری بهترین روش‌های قطعه‌بندی در شناسایی و جداسازی لندفرم مورد نظر از پردازش و تفسیر بصری تصاویر با قدرت زیاد جداسازی ژئو-آی و نیز از نقشه‌های ژئومورفولوژی موجود بهره گرفته شد (شکل ۴).

یافته‌های پژوهشی به‌دست‌آمده از قطعه‌بندی بر روی لندفرم مخروط‌افکنه

۱. الگوریتم چسبورد یا شطرنجی^۱: این روش، ساده‌ترین الگوریتم قطعه‌بندی است که در آن، اشیای به‌دست‌آمده به‌صورت مربع‌های مشابه و هم‌اندازه است. این روش برای شناسایی و جداسازی مخروط‌افکنه‌ها براساس خروجی نقشه در شکل ۶، نامناسب و ناکارآمد تشخیص داده شد.



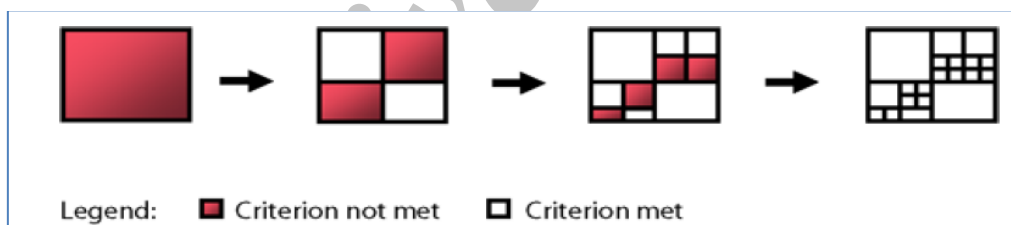
شکل ۵. مراحل انجام گرفتن کار با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و انواع روش‌های قطعه‌بندی به‌منظور شناسایی و جداسازی مخروط‌افکنه حوضه یزد



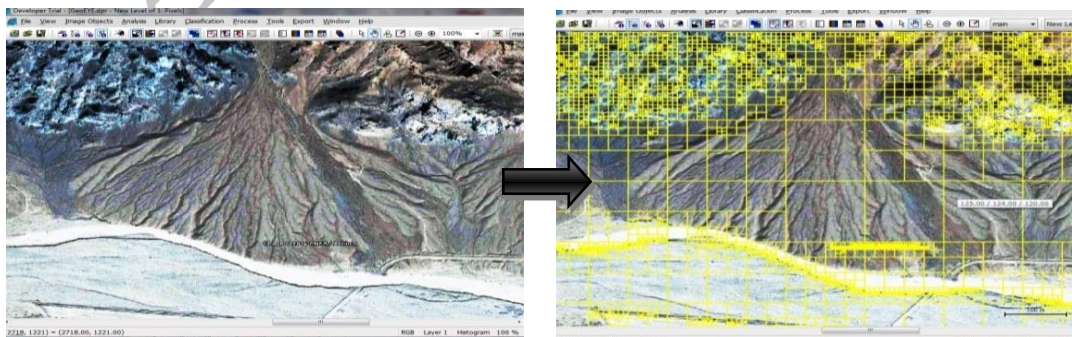
شکل ۶. نتایج قطعه‌بندی به روش شطرنجی برای مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد- اردکان (نگارندگان)

۲. قطعه‌بندی براساس درخت تعادل‌یافته درجه چهار^۱: در این روش، کل تصویر با استفاده از انحراف معیار، به‌مثابه شاخص جداسازی، به چهار مربع اولیه هم‌اندازه تقسیم می‌شود و سپس هر مربع به چهار قسمت کوچک‌تر تقسیم می‌شود تا زمانی که به حد آستانه تعریف‌شده برای انحراف معیار برسد (شکل ۷). براساس شکل ۷، ابتدا محدوده ناهمگن مورد نظر به چهار مربع تقسیم می‌شود؛ در صورتی که هریک از این مربع‌ها به معیار همگنی نرسیده باشد، بار دیگر به چهار مربع کوچک‌تر تقسیم می‌شود تا آنجا که به معیار همگنی برسد. برای عوارضی در تصویر که نسبت طول به عرضشان بسیار بزرگ (مانند مسیر بزرگراه در پایین‌دست مخروط‌افکنه در شکل ۸) است، مربع‌هایی بسیار باریک و نواری تولید می‌شود. این روش براساس اصل تجزیه پی‌درپی فضا به موزایک‌هایی از مربع‌های هم‌اندازه است و این تجزیه تا زمانی ادامه می‌یابد که به ساختار تعادل‌یافته درجه چهار، یعنی به اشیای یکسان، همگن و متعادل برسد (فو و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۲۶۳).

این روش بر روی یکی از مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد- اردکان واقع در شمال شهرستان تفت اجرا شد و نتیجه اجرای آن در شکل ۸ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، این روش عوارض بزرگ و همگن را در مربع‌های جداگانه با ابعاد بزرگ‌تر، ولی عوارض کوچک‌تر و همگن را در مربع‌های کوچک‌تر به‌صورت شیء‌های جداگانه نشان می‌دهد. در این روش، عوارض باریک و نواری، مانند رودخانه‌ها و جاده‌ها، با مربع‌های کوچک، باریک و نواری نشان داده می‌شود.



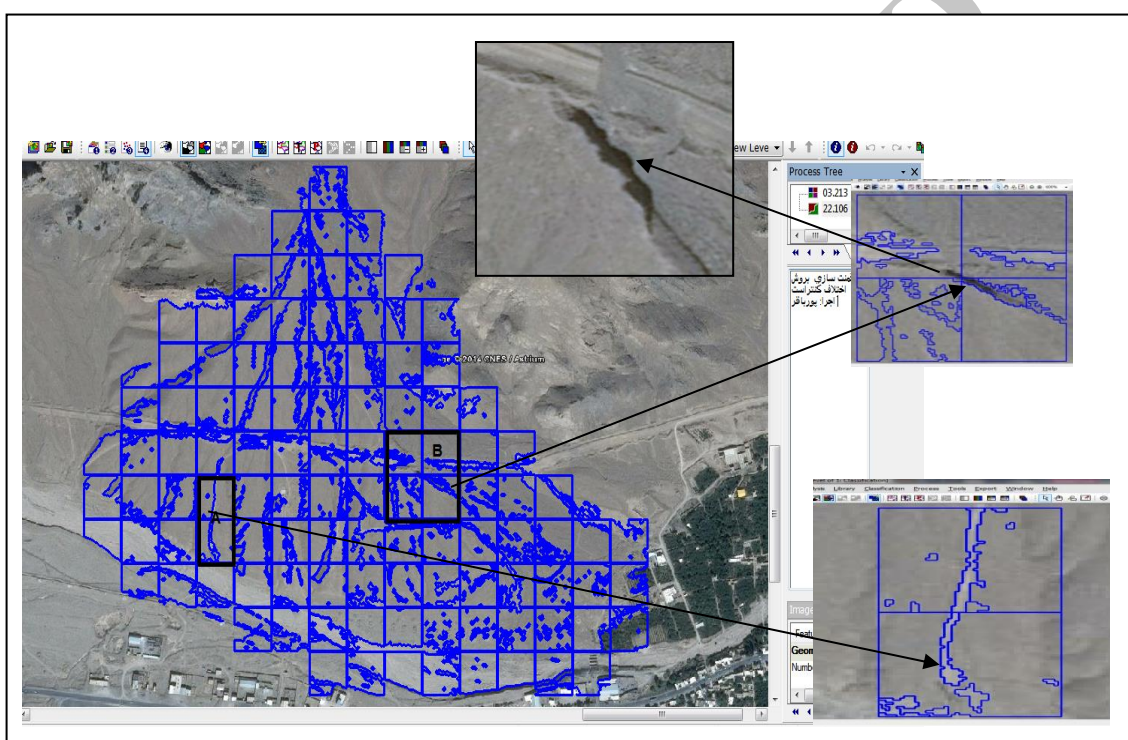
شکل ۷. قطعه‌بندی براساس درخت تعادل‌یافته درجه چهار: مربع با رنگ قرمز غیریکنواخت، معیار ناهمگنی و مربع با رنگ سفید، معیار همگنی را نشان می‌دهد (راهنمای کاربردی برنامه ارتقایافته E-Cognition، ۲۰۱۲: ۵۵)



شکل ۸. نتایج قطعه‌بندی براساس درخت تعادل برای یکی از مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد (نگارندگان)

۳. قطعه‌بندی براساس اختلاف تباین یا کنتراست^۱: الگوریتم قطعه‌بندی براساس کنتراست یا اختلاف بین درجات روشنایی پیکسل‌ها، اشیای تصویری را به محدوده‌های سفید و سیاه تبدیل می‌کند. در این روش، اشیای روشن و تیره براساس مقادیر آستانه به‌وسیله پلگون‌هایی همانند نمونه B در شکل ۹ از هم جدا می‌شود (راهنمای کاربردی برنامه ارتقایافته E-Cognition، ۲۰۱۲: ۳۱)

در این روش، ابتدا تصویر به روش شطرنجی قطعه‌بندی می‌شود و سپس تباین یا اختلاف کنتراست بین پیکسل‌های تیره و روشن در هریک از مربع‌های شطرنجی، به‌وسیله پلگون جداسازی و مشخص می‌شود. در شکل ۹، نمونه‌ای از اجرای این روش برای یکی از مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد آورده شده است.



شکل ۹. اجرای قطعه‌بندی به روش کنتراست یا تباین: نمونه A (تصویر بزرگ‌شده پایینی) بخشی از راه فرعی احداث‌شده بر روی مخروط‌افکنه که با این روش به‌وسیله پلگون شناسایی شده است؛ نمونه B (تصویر بزرگ‌شده بالایی) سایه حاصل از فرسایش خندقی بر بیکره مخروط‌افکنه که با روش قطعه‌بندی کشف شده است (نگارندگان).

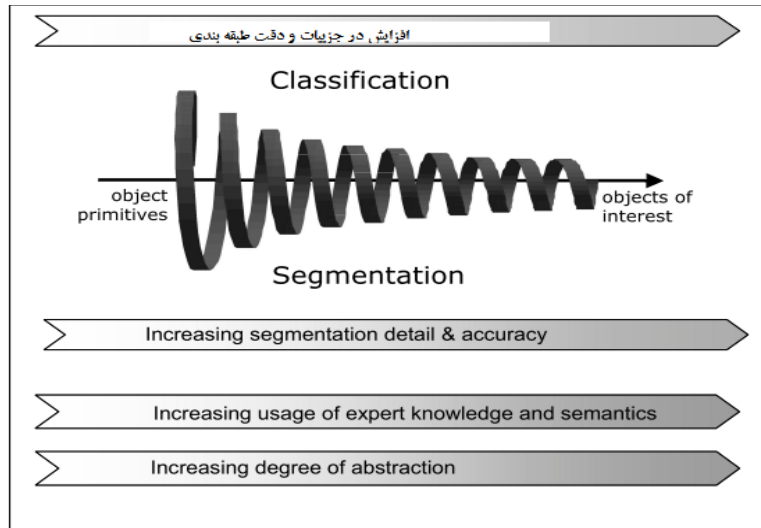
توصیف الگوریتم قطعه‌ساز چندمقیاسه^۲ در نحوه شناسایی لندفرم‌ها و اطلاعات به‌دست‌آمده از آن

الگوریتم قطعه‌ساز^۳ چندمقیاسه، پرکاربردترین روش شناسایی شکل‌ها در رویکرد جزء به کل است (باتز و اسخاپ، ۲۰۰۰: ۱۴). باتز و همکاران (۲۰۰۸) معتقد است با افزایش و ارتقای بار مفهومی و معنایی (مانند افزایش عملکرد الگوهای انتزاعی) می‌توان به اشیای تصویری مطلوبی رسید که بهترین معرف و نمونه در عملیات طبقه‌بندی باشد؛ این مفاهیم در

1. Contrast Split Segmentation
2. Multi-resolution Segmentation algorithm
3. Segmenter

الگوی فنر مارپیچی^۱ باتز در شکل ۱۰ آمده است. براساس این شکل، با در نظر گرفتن مفاهیم معنایی و انتزاعی، مانند روابط مورفولوژی و همسایگی‌ها و الگوهای دانش پایه در قطعه‌بندی می‌توان اشیای دقیق‌تری را برای طبقه‌بندی در گستره مورد نظر شناسایی کرد.

در این روش، فرایند شناسایی و جداسازی اشیای لندفرمی براساس مراحل زیر انجام می‌گیرد (راهنمای کاربردی برنامه ارتقایافته E-Cognition، ۲۰۱۲: ۳۵):

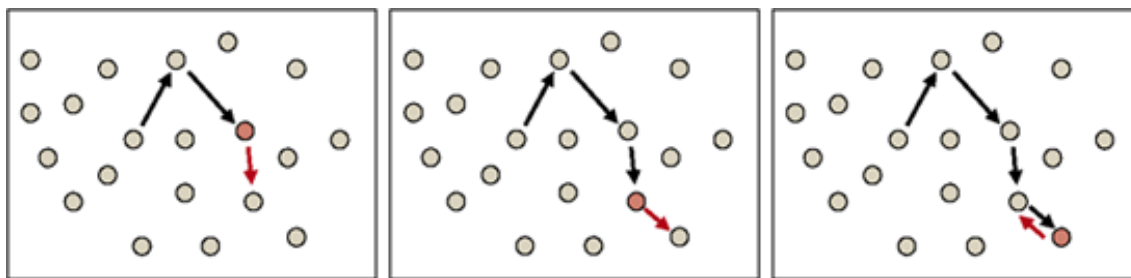


شکل ۱۰. تأثیر الگوهای انتزاعی و مفهومی بر افزایش دقت سگمنت‌سازی (باتز و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۲)

در این روش، فرایند قطعه‌بندی با یک پیکسل یا شیء تصویر منفرد^۲ آغاز می‌شود و به تکرار در چندین مرحله برای رسیدن به واحد شکل بزرگ‌تر (لندفرم) امتزاج و ترکیب می‌شود و این تکرار و امتزاج تا زمانی ادامه می‌یابد که از آستانه تعریف‌شده تجاوز نکند.

۱. در نخستین مرحله از فرایند قطعه‌بندی، نقاط تعلیمی یا پیکسل‌های معلوم در جست‌وجوی بهترین و مشابه‌ترین پیکسل همسایه یا شیء تصویری همسایه برای ادغام شدن با آن است. معیار جست‌وجو برای یافتن بهترین همسایه، شکل، رنگ یا هر معیار ژئومورفومتری است (شکل ۱۱).
۲. در حالت معکوس، اگر بهترین همسایه یافت‌شده، نخستین نقطه مذکور را بهترین همسایه خود از نظر همگنی شناخت، خودش (همسایه نخستین نقطه تعلیمی) نقطه تعلیمی جدید می‌شود و در پی همسایه خود از نظر همگنی می‌گردد؛ این عمل آن قدر تکرار می‌شود تا رابطه دوطرفه^۳ بین نقطه تعلیمی و همسایه‌اش برقرار شود.
۳. زمانی که بین نقاط تعلیمی و همسایه از نظر همگنی رابطه دوطرفه برقرار شد، این دو با هم ادغام می‌شوند و فرم بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند (شکل ۱۱ سمت راست).
۴. این فرایند، زمانی به پایان می‌رسد که همسایه جدیدی برای ادغام شدن یافت نشود.

1. Spiral model
2. image object single
3. Mutual relationship

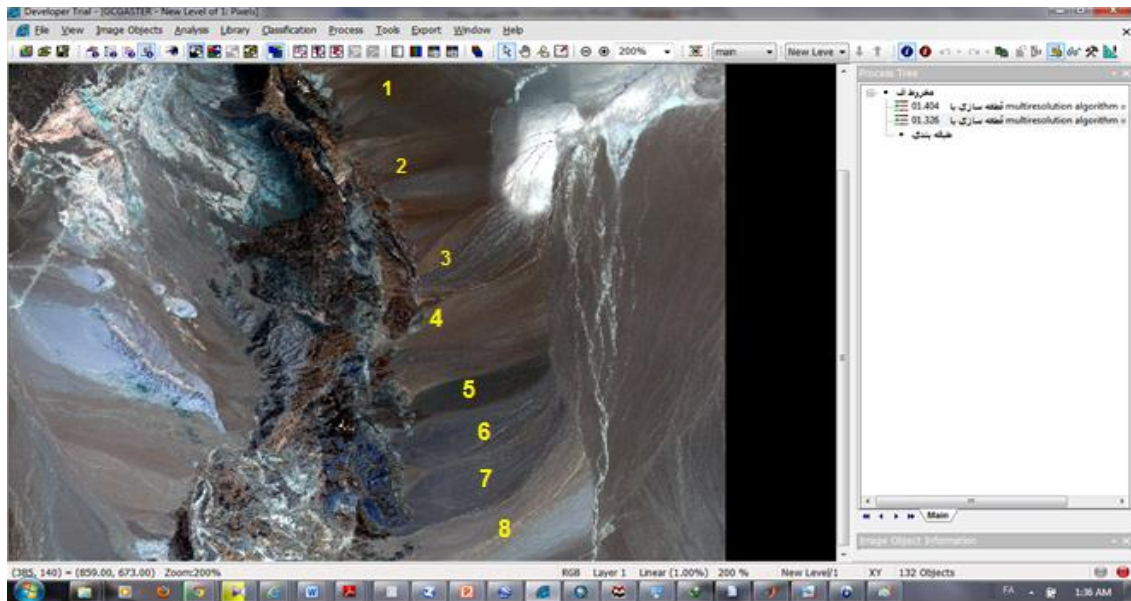


شکل ۱۱. هریک از اشیای تصویری با توجه به معیار همگنی، در جست‌وجوی بهترین همسایه برای ادغام شدن با آن است. دایره قرمز بیان‌کننده نقطه تعلیمی است. پیکان مسیر جست‌وجوی بهترین همسایه را نشان می‌دهد و دایره خاکستری بهترین همسایه را نشان می‌دهد. برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.

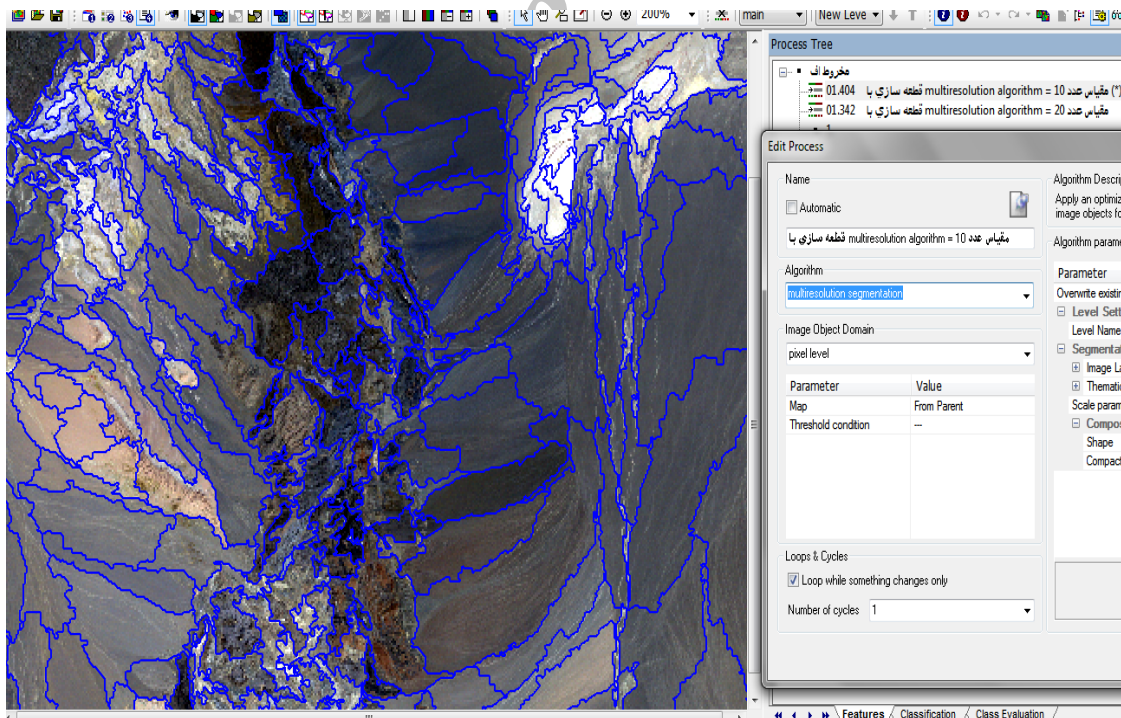
در این الگوریتم، پیکسل‌ها یا اشیای کوچک تصویر، براساس معیار همگنی به‌توالی با پیکسل‌ها یا اشیای همسایه ادغام می‌شود تا به تولید شیء بزرگ‌تر و بامعنا تر از نظر همگنی منجر شود؛ در این روش، معیار همگنی ترکیبی از معیار شکل و طیف (رنگ) است. این الگوریتم یکی از روش‌های جزء به کل یا از پایین به بالاست (راناسینق، ۲۰۰۸: ۳). معیار همگنی در الگوریتم چندمقیاسه، تعیین‌کننده چگونگی ادغام شکل‌های همگن با یکدیگر در فضای تصاویر شیء پایه است. این معیار به‌منظور ادغام شکل‌ها از نظر ویژگی‌های شکل و رنگ در تصاویر چندطیفی سنجش از دور به‌کار می‌رود. همگنی رنگ^۱ براساس انحراف معیار طیف‌های رنگ و همگنی شکل^۲ براساس انحراف معیار فشردگی یا ضریب نرمی شکل بنا می‌شود (راهنمای کاربردی برنامه ارتقایافته E-Cognition، ۲۰۱۲: ۵۷).

در این الگوریتم، مهم‌ترین شاخص کنترل‌کننده در تولید شیء‌های ژئومورفولوژیکی، مقیاس^۳ است؛ به‌طوری‌که مقادیر عددی مقیاس بزرگ‌تر به تولید شیء‌های ژئومورفولوژیکی بزرگ‌تر و کلی‌تر منجر می‌شود و مقادیر مقیاس کوچک‌تر به تولید شیء‌های ژئومورفولوژیکی کوچک‌تر و جزئی‌تر منجر می‌شود. باید اشاره کرد که تعیین مقدار صحیح عدد مقیاس در الگوریتم چندمقیاسه، بر دانش ژئومورفولوژی^۴ و روش سعی و خطا^۵ استوار است. در این پژوهش، برای نشان دادن اثر شاخص مقیاس در قطعه‌بندی برای نمونه از دو عدد مقیاس ۱۰ و ۲۰ (که پیش‌تر به روش سعی و خطا و تفسیر چشمی انتخاب شده بود) برای شناسایی و جداسازی هشت مخروط‌افکنه در حال تکوین یزد استفاده شد (شکل ۱۲). براساس نقشه‌های خروجی، مخروط‌افکنه‌های یادشده با عدد شاخص مقیاس ۲۰ بر روی تصویر مادون قرمز نزدیک استر به‌طور کامل از هم جدا شد و مرز بین آنها به‌وسیله پلیگون به رنگ آبی جداسازی شد (شکل ۱۴)؛ ولی همین مخروط‌افکنه‌ها با عدد مقیاس ۱۰ قابل تشخیص و جداسازی نبودند (شکل ۱۳).

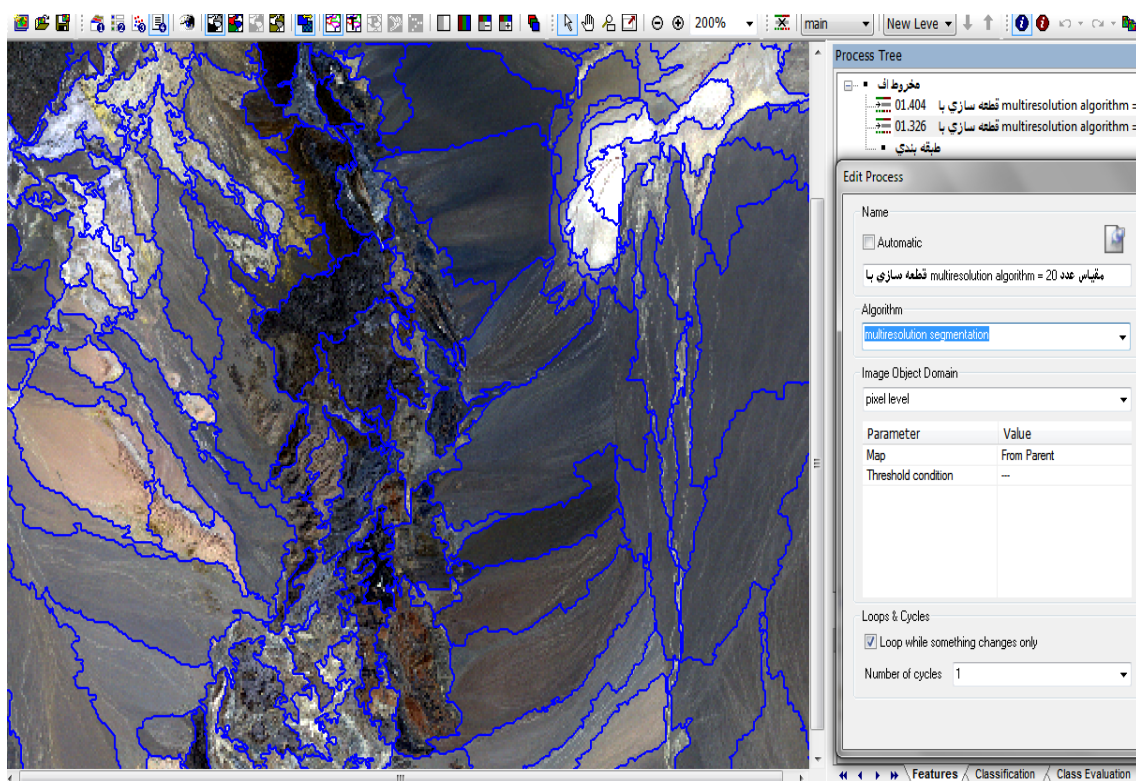
1. Color homogeneity
2. Shape homogeneity
3. Scale Parameter
4. Geomorphology knowledge base
5. trial and error method



شکل ۱۲. نمایش باندهای مادون قرمز نزدیک استر (ASTER-VNIR) از هشت مخروط‌افکنه در حال تکوین یزد در محیط نرم‌افزار ارتقایافته E-cognition. اعداد تعداد مناطقی را نشان می‌دهد که براساس نقشه ژئومورفولوژی در شکل ۴، اغلب فعالیت مخروط‌افکنه‌ای دارد.

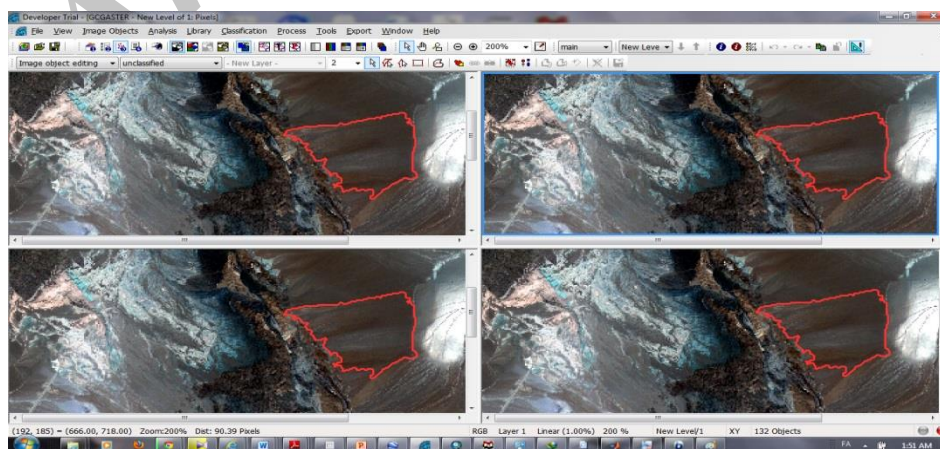


شکل ۱۳. قطعه‌بندی مخروط‌افکنه‌های در حال تکوین یزد با عدد شاخص مقیاس ۱۰ (نگارندگان)



شکل ۱۴. قطعه‌بندی مخروط‌افکنه‌های در حال تکوین یزد با عدد شاخص مقیاس ۲۰ (نگارندگان)

بنابراین، در این روش شکل‌ها و شیء‌های مشابه و همگن از نظر شکل و تن رنگی، با هم یکی شده، واحد شکلی بزرگتری را تشکیل می‌دهند؛ به عبارتی این روش براساس روش رشد ناحیه^۱ عمل می‌کند و یکی از روش‌های قطعه‌بندی از پایین به بالاست. به منظور اجرا و نیز آزمایش قابلیت تعمیم‌پذیری این روش، به تعیین یکی از مخروط‌افکنه‌های خارج از حوضه یزد در تصویر استر اقدام شد که نتیجه آن در هر چهار بار تکرار، یکسان و مشابه بود که در شکل ۱۵ ارائه شده است.



شکل ۱۵. جداسازی، شناسایی و تعیین یکی از مخروط‌افکنه‌های خارج از حوضه یزد به منظور آزمون‌پذیری الگوی چندمقیاسه

1. Region Growing

نتیجه‌گیری

قطعه‌بندی روشی برای شناسایی و جداسازی لندفرم‌ها و شکل‌های ژئومورفولوژیکی است. قطعه‌بندی از مراحل اساسی در شناسایی شیء‌های تصویر و از مراحل پیش از طبقه‌بندی است که به گفته دراگوت و بلاشکی (۲۰۰۶: ۳۳۲) خاصیت اکتشافی لندفرم‌ها را در متن تصویر داراست؛ همان‌طور که در این پژوهش نیز جزئیاتی از سطح مخروط‌افکنه کشف شد. با کمک نقشه‌های خروجی به‌دست‌آمده از اجرای قطعه‌بندی، این نتیجه به‌دست می‌آید که نخست، برای شناسایی جزئیات بیشتر بر روی پیکره مخروط‌افکنه می‌توان از روش قطعه‌بندی براساس اختلاف کنتراست بهره برد. با این روش می‌توان شبکه مسیله‌ها، خشک‌رودها و نیز اثرهای فرسایشی بر پیکره مخروط‌افکنه را بررسی کرد. دوم، الگوریتم چندمقیاسه نسبت به دیگر روش‌های قطعه‌بندی شرح‌شده، بهتر و دقیق‌تر محدوده‌های مرزی هر مخروط‌افکنه را از بین دیگر مخروط‌افکنه‌های مجتمع (باهادای یزد) شناسایی و جدا می‌کند؛ زیرا در این روش از معیارهای مورفولوژی مانند شکل و رنگ استفاده می‌شود. براساس پژوهش‌های سول‌باک و وایند (۲۰۰۳: ۲۲۱) نیز روش‌های چندمقیاسه، ابزاری کارآمد در بررسی جامع روابط فرم- فرایند میان لندفرم‌ها در مقیاس‌های مختلف محسوب می‌شود. یکی از بهترین اعداد مقیاس برای جداسازی و شناسایی مخروط‌افکنه‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای استر، عدد شاخص مقیاس ۲۰ است. در این پژوهش نیز همانند پژوهش‌های آرجیالاس و تزوتسوس (۲۰۱۳) در شناسایی مخروط‌افکنه محدودده دره مرگ آمریکا با استفاده از تصویر استر، عدد شاخص مقیاس ۲۰، نتیجه مناسب داد.

روش‌های قطعه‌بندی براساس الگوریتم چندمقیاسه، به بهبود شناسایی و تحلیل لندفرم منجر می‌شود (راناسینق، ۲۰۰۸). به‌منظور آزمایش الگوریتم چندمقیاسه و قدرت تعمیم‌پذیری آن در شناسایی دیگر مخروط‌افکنه‌های مشابه، به اجرای این روش در خارج از حوضه یزد نیز اقدام شد که نتیجه این آزمون نشان داد که الگوریتم قطعه‌ساز چندمقیاسه در شناسایی و جداسازی مرز دیگر مخروط‌افکنه‌های خارج از حوضه نیز موفق بوده، بنابراین از قابلیت آزمون‌پذیری و اجرای عمومی خوبی برخوردار است؛ به‌طوری که این روش در هر چهار بار تکرار آزمایش، نتیجه یکسان و مشابهی در شناسایی و تعیین مورفولوژی مخروط‌افکنه، به‌ویژه مرزهای هندسی هر یک از آنها به‌دست داد.

منابع

- اختصاصی، م.، احمدی، ح.، فیض‌نیا، س. و بوشه، د. (۱۳۸۳). «فرسایش بادی، رخساره‌ها و خسارات آن در حوضه دشت یزد- اردکان». مجله منابع طبیعی ایران. ج ۵۷. ش ۴. ص ۵۶۷-۵۸۱.
- بهرامی، ش. و بهرامی، ک. (۱۳۹۰). «ارزیابی تکنیک‌های ژئومورفولوژیکی جهت شناسایی مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید به‌منظور تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی در چهار مخروط‌افکنه در زاگرس چین‌خورده». مجله جغرافیا و توسعه. ش ۲۲. ص ۸۹-۱۰۶.
- شایان، س. و زارع، غ. (۱۳۹۰). «تبیین مفهوم فرسایش از دیدگاه ژئومورفولوژی و مقایسه آن با دیدگاه منابع طبیعی». فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی. س ۱. ش ۱. ص ۷۷-۹۲.
- شایان، س.، یمانی، م.، فرج‌زاده، م. و احمدآبادی، ع. (۱۳۹۱). «طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک مرجناب». مجله سنجش از دور و GIS ایران. ش ۲. ص ۱۹-۲۸.
- فیضی‌زاده، ب. و هلالی، ح. (۱۳۸۹). «مقایسه روش‌های پیکسل‌پایه و شیء‌گرا و پارامترهای تأثیرگذار در طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی استان آذربایجان غربی». پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ش ۷۱. ص ۷۳-۸۴.

- گورابی، ا. و کریمی، م. (۱۳۹۱). «روش جدید در استخراج مخروط‌افکنه‌ها از مدل رقومی ارتفاع». مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ش ۳. ص ۸۹-۱۰۰.
- محمدی، ن.، آل‌شیخ، ع.، صداقت، ا. و ملک، م. (۱۳۸۹). «روش جدید در قطعه‌بندی خودکار تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا برای استخراج خطوط ساحلی». مهندسی دریا. ش ۱۱. ص ۲۵-۳۵.
- مقصودی، م.، فاضلی‌نشلی، ح.، عزیزی، ق.، گیلومر، گ. و اشمیت، ا. (۱۳۹۱). «نقش مخروط‌افکنه‌ها در توزیع سکونتگاه‌های پیش از تاریخ از دیدگاه زمین‌باستان‌شناسی». پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ش ۴. ص ۱-۲۲.
- Argialas, D. P. and Tzotsos, A. (2004). "Automatic Extraction of Alluvial Fans from Aster L1 Satellite Data and A Digital Elevation Model Using Object-Oriented Image Analysis". in ISPRS Congress. Pp.1-6.
- Asselen, V. and Seijmonsbergen, S. (2006). "Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM". *Geomorphology*. 78. Pp. 309-320.
- Australian curriculum (2008). "Oxford big ideas geography, chapter 1: landforms and landscapes". Pp. 40-53.
- Baatz, M. and Schöp, A. (2000). "Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation". Heidelberg. Pp. 12-23.
- _____. (1999). "Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks". Proc. of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing August 16th – 20th. Enschede. ITC.
- Baatz, M., Hoffmann, C. and Willhauck, G. (2008). progressing from object-based to object-oriented image analysis. available in www.springer.com online with ISBN: 978-3-540-77057-2.
- Bahrami, sh. and Bahrami, k. (2011). "Geomorphological techniques assessment to identify old and new fans in order to suitable areas most prone to four fans in the Zagros folded". *Geography and Development*. 22. Pp.89-106. (In Persian).
- Definiens, AG. (2006). "User Guide for Definiens Professional 5" . München. Germany.
- Dragut, L. and Blaschke, T. (2006). "Automated classification of landform elements using object-based image analysis". *Geomorphology*. 81. Pp. 330-344.
- Ekhtesasi, M.R., Ahmadi, H., Feiznia, S. and Busche D. (2005). "Wind Erosion, Facies and Damages in Yazd – Ardakan Plain". *Iranian Journal of Natural Resource*. Vol. 57. NO. 4. Pp. 567-581. (In Persian).
- Feizizadeh, B. and Helali, H. (2010). "Comparison of pixel-based and object-oriented and classification parameters in landuse/landcover map Case study: West Azerbaijan Province". *physical geography researches*. NO. 71. Pp. 73-84. (In Persian).
- Fu, G., Zhao, H., Li, Cong. And Shi, I. (2013). "Segmentation for High-Resolution Optical Remote Sensing Imagery Using Improved Quadtree and Region Adjacency Graph Technique". *Remote Sensing*. 5. Pp. 3259-3279.
- Gerçek. D. (2010). "Object-Based Classification of Landforms based On Their Local Geometry and Geomorphometric Context". PhD thesis in GIS. Sup: Dr. Vedat. M.E.T University.
- Goorabi A. and Karimi M, (2013). "New Method for Extraction of Alluvial Fans from Digital Elevation Model" quantitative geomorphological researches . NO. 3. Pp. 89-100. (In Persian).
- Haralick, R., Shanmugan, K. and Dinstein, I. (1973). "Textural features for image classification". *IEEE Trans. Systems Man Cybernetics*. 3. Pp. 610-621.
- Hoffmann, A. and van der Vegt, J.W. (2001). "New sensor systems and new classification methods". *laser and digital camera-data meet object oriented strategies*. 6. Pp. 16-23.
- Macmillan R., Pettapiece W., Nolan, S. and Goddard, T. (2000). "A generic procedure automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic". *Fuzzy sets and Systems*. 113. Pp. 81-109.
- MacMillan, R.A., Pettapiece, W.W., Nolan, S.C. and Goddard, T.W. (2000). "a generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using dems, heuristic rules and fuzzy logic". *Fuzzy Sets and Systems*. Pp. 81-109.

- Maghsoudi, M., Fazeli Nashli, H., Azizi, GH., Gillmore, G. and Schmit, A. (2012). "Geoarchaeology of Alluvial Fans: A Case Study from Jajroud and Hajjarab Alluvial Fans in Iran". physical geography researches. NO. 4. Pp. 1-22. (In Persian).
- Martin, k., Schroeder, W. and Lorensen, B. (2012). "Reference Book for eCognition® Developer 8.7.2". Trimble Germany press. Munich.
- Meinel, G. and Neubert, M. (2004). "A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data". In: Conference of the ISPRS 2004. Istanbul. Turkey. Pp. 19-23.
- Miliaresi, G. (1999). "Automated segmentation of alluvial fans to regions of high to intermediate Flood hazard from landsat thematic mapper imagery". 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing. Netherland. Pp. 1-6.
- Mohammadi, N., Aalesheikh, A., Sedaghat, A. and Malek M.R. (2010). "A novel segmentation approach for coastline extraction from high resolution Sattelite images". Marine Engineering. NO. 11. Pp. 25-35. (In Prsian).
- Prima, O.D.A, Echigo, A., Yokoyama, R. and Yoshida, T. (2006). "Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps". Geomorphology. NO. 78. Pp. 373-386.
- Ranasinghe, A. (2008). "Multi Scale Segmentation Techniques in Object Oriented Image Analysis". proceeding in ACRS2008. Pp. 1-6.
- Richards, J.A. and Jia, X. (2006). "Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction". Springer-Verlag. New York.
- Shayan, S., Yamani, M., Farajzadeh, M. and Ahmadabadi A. (2013). "A Supervised Classification of Geomorphometric Parameters to Extract the Geomorphologic Landforms in Dry Regions. (Case study: Maranjab region)". Iranian Journal of Remote Sensing & GIS. NO. 2, Pp. 19-28. (In Persian).
- Shayan, S. and Zare, GH. (2011). "Geomorphologic Explanation of Erosion Concept and Comparing it to Natural Resources Science Aspects". Environmental Erosion Researches. Pp. 77-92. (In Persian).
- Strobl, J. (2007). "Segmentation-based Terrain Classification". Springer-Verlag. Pp. 125-141.
- Sulebak, J.R and Vind, H. (2003). "Multiresolution Spline Models and Their applications in Geomorphology". Concepts and Modelling in Geomorphology. Tokyo. Pp. 221-237.