

شناسایی نیمه خودکار لندفرم‌ها با استفاده از پردازش فازی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: شهرستان ماکو

کیوان محمدزاده^۱

سید احمد حسینی^۲

مهدی صمدی^۳

ایلیا لعلی نیت^۴

مسعود رحیمی^۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸

چکیده

زمین به عنوان یک سطح پیوسته می‌تواند به واحدهای دارای خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی مشترک طبقه‌بندی شود که ممکن است به عنوان یک شرط مرزی برای طیف گسترده‌ای از حوزه‌های کاربردی باشد. این مطالعه روشی برای طبقه‌بندی فرم زمین ارائه می‌دهد که ژئومورفومتری عمومی چشم‌انداز را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر شهرستان ماکو در آذربایجان غربی بنا به شرایط خاص منطقه از نظر مورفولوژی و محیط پیرامونی انتخاب و برای استخراج لندفرم‌ها از روش فازی شیء‌گرا استفاده شد. به منظور انجام پردازش، مشتقات لایه رقومی ارتفاع (شیب، بافت انحنای حداکثر، حداقل، مسطح و انحنای پروفیل) به همراه تصویر ماهواره سنتینل 2A مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام مراحل پیش‌پردازش، ابتدا مقیاس بهینه سگمنت‌سازی با استفاده از افزونه ESP پیش‌بینی گردید و سپس اشیاء تصویر برای انجام پردازش با مقیاس ۹ و ۱۷ و ۲۷ ایجاد شد. به منظور استخراج لندفرم‌ها از تعداد ۱۶۰ نمونه زمینی استفاده و درجه عضویت الگوریتم‌های مختلف محاسبه گردید و الگوریتم‌هایی که بیشترین درجه عضویت را داشتند برای طبقه‌بندی استفاده شدند. در این تحقیق تعداد ۱۴ نوع لندفرم در منطقه مطالعه شناسایی و استخراج گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش فازی شیء‌گرا توانسته است با دقت کلی ۸۷ درصد و شاخص کاپای ۸۵ درصد لندفرم‌ها را طبقه‌بندی کند. مزیت روش‌های شیء‌گرا این است که خیلی سریع بوده و نتایج دارای دقت خوب و بالایی هستند.

واژه‌های کلیدی: استخراج لندفرم‌ها، سنجش از دور، شیء‌گرا، تصاویر سنتینل 2A، مشتقات DEM، شهرستان ماکو

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز Keyvan.mohammadzade@yahoo.com

۲- دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول) ahmad.hosseini2011@yahoo.com

۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران M.Samadi@ut.ac.ir

۴- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی ilia_Laali@yahoo.com

۵- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز Masoud.rahimi90@ac.ir

۱- مقدمه

ژئومورفولوژی علمی است که چگونگی شکل‌گیری اشکال زمین (لندفرم) را بررسی می‌کند، (Hugget; 2007:148) در تعریفی ژئومورفولوژی علم مطالعه لندفرم‌ها و فرآیندهایی عنوان شده که آن‌ها را به وجود آورده‌اند.

زمین به‌عنوان بخشی از سطح تماس، حیطه اصلی مطالعات ژئومورفولوژی است و بدیهی است که شناخت و بررسی دقیق آن، در تحلیل و مدل‌سازی فرم‌ها و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی نقش بسزایی دارد (پورباقر و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۷۰). لندفرم‌ها بیانگر فرآیندهای تأثیرگذار بر عوارض سطح زمین در گذشته و حال هستند و اطلاعات مهمی در مورد ویژگی‌ها و پتانسیل‌های زمین فراهم می‌کنند (Sulebak; 2000:36&Etzel Müller).

شکل زمین همچون لندفرم‌ها، در جریان سطوح آبی، انتقال رسوبات، تولید خاک و تعیین اقلیم در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای اثر می‌گذارد، علاوه بر این پدیده‌های طبیعی مثل پوشش گیاهی، مستقیماً توسط الگوی لندفرم‌ها و موقعیت نسبی آن‌ها در میان چشم‌اندازها متأثر هستند (Blaschke & Strobl; 2001:13). شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها از مهم‌ترین اهداف و از کارهای پایه‌ای در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی به شمار می‌رود (شایان و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۱). شناسایی لندفرم‌ها و طبقه‌بندی زمین براساس آن‌ها در علوم مختلف قابل‌استفاده است. شناسایی خاص‌ترین اشکال هندسی پدیده‌های ژئومورفیک، از مهم‌ترین مواردی است که توسط طبیعت تعریف می‌شود.

دو نمونه از این موارد شامل شناسایی مرزها و محدوده‌های طبیعی پدیده‌های ژئومورفیک، با حداکثر تغییرات در شکل‌گیری و هندسه آن‌ها و دیگری اختصاص الگوریتم‌های واضح برای تفکیک عوارض مختلف سطح زمین با حداقل تعداد پارامترها می‌باشد. حداکثر تشابه در محدوده داخل هر عارضه و حداکثر اختلاف در مرز با محدوده مجاور، از موارد مهم در مدل‌ها و نظریه‌های

ژئومورفولوژیکی می‌باشد (Hammond; 1964:197). دست‌یابی به یک طبقه‌بندی مناسب و دقیق از لندفرم‌ها که به‌خوبی نشانگر ویژگی‌های مورفومتریک و فرآیندهای تشکیل‌دهنده آن باشد همواره موردتوجه ژئومورفولوژیست‌ها بوده است. در گذشته تحلیل‌های ژئومورفومتریک با استفاده از پارامترهای مورفومتریک موضعی عمده تمرکزشان بر روی قطعه‌بندی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها بوده است و تحقیقات ژئومورفولوژیک و علم GIS به‌طور مؤثری بر روی ارتباط بین فرم و فرآیندهای مرتبط تمرکز نکرده‌اند و به‌اندازه کافی نیز تحلیل‌های چند مقیاسه موردتوجه قرار نگرفته‌اند (Dragut and Blaschke; 2006:331, Klingseisen et al, 2008:111).

امروزه پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه نظریه‌های فضایی، داده‌های مکانی و فناوری اطلاعات به دانشمندان اجازه داده است که مدل‌های روش‌شناختی پیچیده‌تری را ایجاد کنند (Bishop, 2003:346&Shroder). مطالعاتی زیادی در خصوص استخراج لندفرم‌ها صورت گرفته است که به خلاصه‌ای از آن‌ها در ذیل اشاره می‌گردد:

مکرم و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی ارتباط ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبخیز و فرسایش‌پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی را با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی در حوضه آبخیز نازلو چای مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که به کمک ویژگی‌های مورفومتری می‌توان میزان حساسیت لندفرم‌ها به فرسایش را در منطقه مشخص نمود. به طوریکه بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. رعیتی و همکاران (۱۳۹۵)، کارایی برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعه تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد- اردکان را مقایسه نمودند.

آن‌ها در این تحقیق از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM و OLI ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ در بازه زمانی ۳۰ ساله استفاده نمودند. نتایج ارزیابی

سطحی انجام شد و نقشه نهایی نشان‌دهنده توپوگرافی عمومی ویژگی‌های لندفرم‌های ارمنستان بود.

در تحقیق حاضر با توجه به کوهستانی بودن شهرستان ماکو و موقعیت خاص آن و وجود انواع لندفرم‌ها در این منطقه، سعی شده است با انجام تحلیل‌های چندمقیاسه و شیء‌گرا زمینه جدیدی برای کشف ارتباط بین مورفومتری عوارض و لندفرم‌ها با فرآیندهای سطحی ایجاد شود. اینکه بتوان لندفرم‌های سطحی را با استفاده از یک روش نیمه‌خودکار با بیشترین دقت ممکن طبقه‌بندی کرد مسئله‌ای است که همواره مورد توجه ژئومورفولوژیست‌ها بوده است. استخراج و طبقه‌بندی لندفرم‌ها به‌ویژه در مناطق کوهستانی که به دلیل برخورداری از شرایط خاص فیزیکی و اقلیمی از مناطق پویا می‌باشند اهمیت زیادی دارد. چراکه این نوع مناطق اغلب دورافتاده و گاهی ناشناخته بوده و امکان دسترسی محدودی نیز به موجب توپوگرافی کوهستانی دارا می‌باشند؛ اما همین مناطق به دلیل تأثیری که در یک سیستم کلان ناحیه‌ای و منطقه‌ای دارند از اهمیت زیادی برخوردارند. از این‌رو شناخت نوع لندفرم‌ها از نظر ژئومتری و مشخصه سازی آن‌ها و نیز فرآیندهای حاکم در آن‌ها از موارد مهمی است که باید مدنظر قرار گیرد؛ بنابراین شناخت و استخراج نیمه‌خودکار لندفرم‌های موجود در منطقه با استفاده از پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات مربوط به توپوگرافی نظیر DEM هدف اصلی تحقیق حاضر می‌باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه

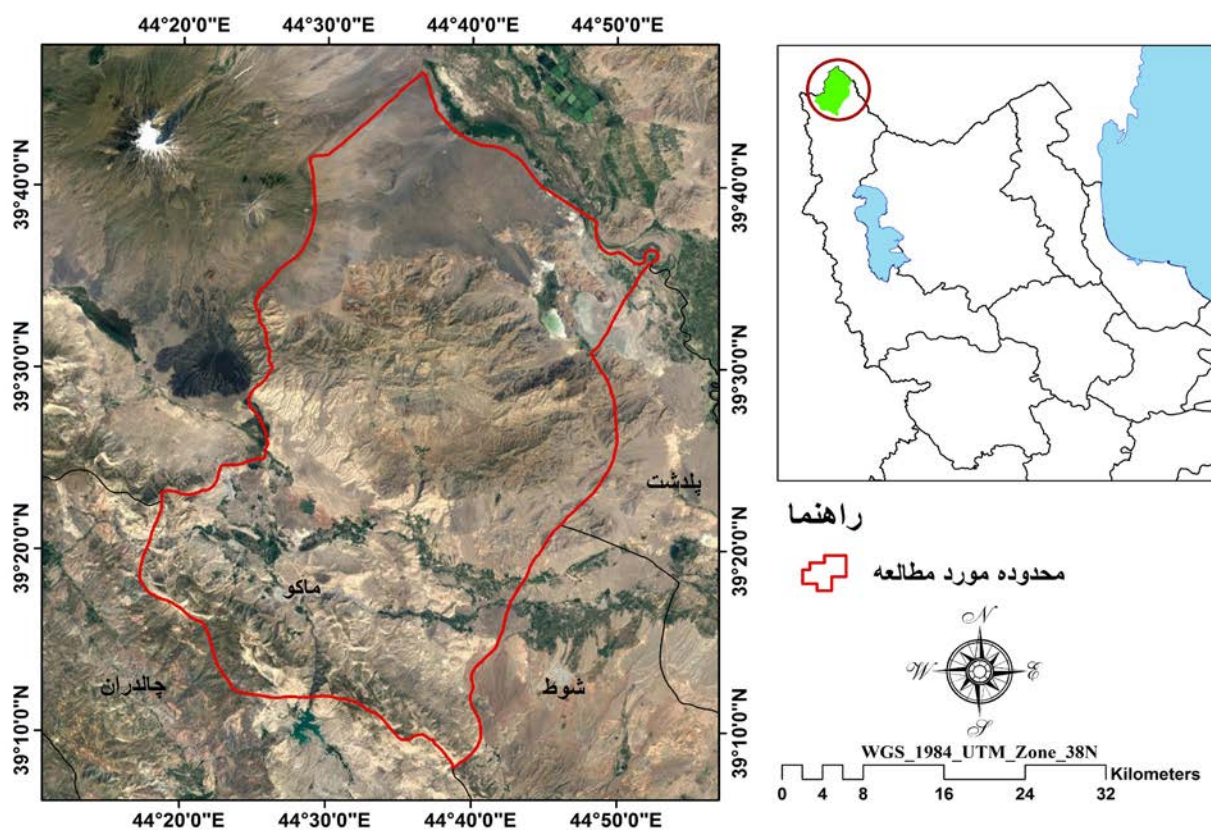
شهرستان ماکو در شمال غرب ایران (استان آذربایجان غربی) قرار گرفته است که از شمال به رودخانه قره‌سو و کشور ترکیه، از شرق به رودخانه ارس و جمهوری آذربایجان و از مغرب به کشور ترکیه و از جنوب به شهرستان شوط محدود است. شهرستان ماکو بین طول شرقی ۴۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۵۲ دقیقه و عرض شمالی ۳۹ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه از توابع استان آذربایجان

دقت تصاویر طبقه‌بندی نشان داد الگوریتم حداکثر شباهت در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ به ترتیب با دقت کلی ۹۱/۵۰، ۹۳/۲۲ و ۹۳/۳۵ و ضریب کاپا ۰/۸۷، ۰/۸۹ و ۰/۸۹ نسبت به دو الگوریتم دیگر عملکرد بهتری در تهیه نقشه ژئومورفولوژی و تغییرات آن داشت. همچنین نتایج طبقه‌بندی و تحلیل تغییرات لندفرم‌ها طی ۳۰ سال با روش الگوریتم حداکثر شباهت نشان داد که لندفرم‌های موجود بر روی دشت سرپوشیده به‌جز تپه‌های ماسه‌ای موج دارای روند نزولی تا سال ۲۰۱۶ بودند و در تغییرات لندفرم‌های بیابانی منطقه عوامل طبیعی توأم با عوامل انسانی نقش داشتند. علاوه بر این مرز لندفرم‌ها در شرق و غرب منطقه تغییر کرده است.

(Uzar (۲۰۱۴)، در پژوهشی اقدام به استخراج خودکار عوارض سطحی با استفاده از طبقه‌بندی دانش‌پایه و داده‌های چند طیفی لیدار نمود. در این پژوهش از داده‌های لیدار و نیز تصاویر دیجیتالی و سامانه موقعیت‌یاب جهانی برای استخراج داده‌ای اولیه استفاده شده و در ادامه با استفاده از طبقه‌بندی دانش‌پایه اقدام به استخراج عوارض سطحی گردید و برای افزایش دقت عملکردی طبقه‌بندی از الگوریتم‌های فازی استفاده شد.

این پژوهش که در سیواس ترکیه صورت گرفت در مقایسه با داده‌های زمینی، دقت عملکردی ۸۱/۷۰ درصدی و دقت نهایی ۸۷/۶۴ درصدی را کسب نمود. آرتاک (۲۰۱۷) Piloyan & Konečný پژوهشی باهدف طبقه‌بندی نیمه‌خودکار عناصر لندفرم در کشور ارمنستان با استفاده از لایه رقومی ارتفاع و با رویکرد طبقه‌بندی نظارت‌نشده انجام دادند.

آن‌ها ابتدا چندین لایه مشتق از DEM از جمله ارتفاع، شیب، انحنا (profile curvature)، انحنا (plan curvature) و طول مسیر جریان (flow path length) استخراج کردند سپس الگوریتم K میانگین جهت طبقه‌بندی عوارض زمین بر اساس ویژگی‌های مورفومتریک انجام دادند و تعداد هفت عارضه طبقه‌بندی شد. به‌طور کلی، طبقه‌بندی در قالب یک سلسله‌مراتب سه



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مختلف که در استخراج لندفرم‌ها بهتر عمل می‌کنند استفاده و به عنوان لایه‌های کمکی در روش شیء‌گرا به کار گرفته شدند. همچنین الگوریتم‌هایی که بیشترین درجه عضویت را در طبقه‌بندی و استخراج عوارض زمین داشتند به عنوان عوامل مؤثر در طبقه‌بندی مدنظر قرار داده شدند. تصاویر تهیه‌شده توسط ماهواره سنتینل به علت قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریکی مناسب (قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی) جزئیات مختلف و فراوانی را از پدیده‌های سطح زمین فراهم کرده و بیشترین کاربردهای این سنجنده در زمینه‌های پایش محیط‌زیست زمین می‌باشد.

تصویر مورد استفاده در این پژوهش شهرستان ماکو در شمال استان آذربایجان غربی را شامل می‌شود. جدول ۱ مشخصات تصویر ماهواره‌ی سنتینل 2A را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه داده‌های ورودی در روش فازی شیء‌گرا، مشتقات DEM هستند، در این بخش توضیح

غربی در شمال غربی‌ترین نقطه کشور قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در دوره ترشیاری، در نتیجه فشارهای وارده بر قفقاز و آسیای صغیر شکل گرفته و از لحاظ تقسیم‌بندی جزء زون البرز آذربایجان محسوب می‌شود. این منطقه در شمال غربی ایران و با جمهوری خودمختار نخجوان و ترکیه هم‌مرز می‌باشد. نگاره (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۳- مواد و روش

در این مطالعه به منظور شناسایی و استخراج دقیق لندفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر (سنتینل 2A) همراه با مشتقات لایه DEM (شیب، انحنای حداکثر، انحنای حداقل، انحنای پروفیل عرضی و انحنای مسطح) و روش‌های شیء‌گرا استفاده شد. برای افزایش دقت استخراج از لایه‌های اطلاعاتی

(Sarkar 1995:73). به‌منظور سگمنت سازی در این پژوهش از روش سگمنت سازی چند تفکیکی ۴ استفاده شده است. این تکنیک فرآیندی از پایین به بالا می‌باشد که با شیء‌های یک پیکسل آغاز شده و در مراحل بعدی، شیء‌های تصویری کوچک در داخل یک شیء تصویری بزرگ‌تر ادغام می‌شود. منظور از ادغام ترکیب اشیا بر اساس نزدیک‌ترین شیء موردنظر می‌باشد. در هر مرحله که زوجی از شیء‌های تصویری ادغام می‌شوند، به‌صورت رشدی کوچک در ناهمگنی معین نشان داده می‌شود. اگر این رشدی کوچک از آستانه‌ی تعریف‌شده به‌وسیله پارامتر مقیاس تجاوز کند، فرآیند سگمنت سازی متوقف خواهد شد.

در طول فرآیند سگمنت سازی، تمام تصویر سگمنت سازی شده و شیء‌های تصویری بر اساس معیار همگنی در رنگ و شکل تولید می‌شوند. تجزیه و تحلیل نتایج سگمنت سازی تصویر با پارامترهای مقیاس متفاوت صورت گرفته و نتایج بهینه عملیات سگمنت‌سازی با مقیاس ۹ ضریب شکل ۰/۹ و ضریب فشردگی ۰/۱ انتخاب و در نگاره شماره ۳ نشان داده شده است.

مختصری در مورد مشتقات DEM ارائه شده است. در این مطالعه از ۵ مشتق اصلی DEM (حداکثر انحناء، حداقل انحناء، شیب، انحنای پروفیل و انحنای سطح و DEM ۱۰ متری استفاده شده است همچنین از تصاویر ماهواره سنتینل و شاخص زبری زمین (TRI) و پوشش گیاهی NDVI به‌عنوان لایه‌های کمکی استفاده گردید. نگاره (۲) مشتقات لایه رقومی ارتفاع به همراه تصویر ماهواره سنتینل 2A را نشان می‌دهد.

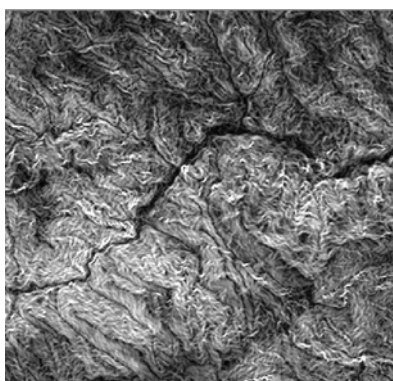
فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل اجرا است که شامل سگمنت سازی (قطعه‌بندی ۲)، طبقه‌بندی ۳ و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد. سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت‌هایی نظیر ارزش عددی و بافت، مهم‌ترین معیار مشترک میان آن‌ها می‌باشد (Szuster, 2011:527; Baatz et al, 2014:103). شیء‌های تصویری حاصل از فرآیند سگمنت‌سازی، مبنای طبقه‌بندی شیء‌گرا هستند و آن‌ها دارای حجم زیادی از مشخصات و ویژگی‌های پدیده‌های زمینی متناظرشان در سطح تصویر می‌باشند (Chaudhuri and

جدول ۱: مشخصات تصویر ماهواره‌ی سنتینل 2A

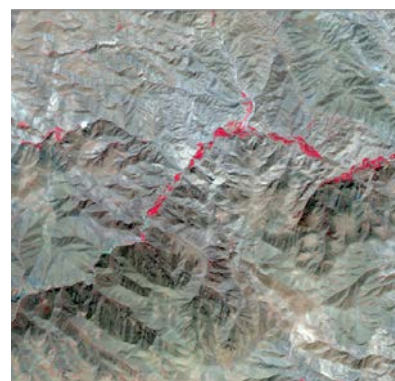
Band	Spatial Resolution	Wavelength	Description
B1	60 m	443 nm	(Coastal and Aerosol) blue-Ultra
B2	10 m	490 nm	Blue
B3	10 m	560 nm	Green
B4	10 m	665 nm	Red
B5	20 m	705 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Short Wave Infrared (SW)



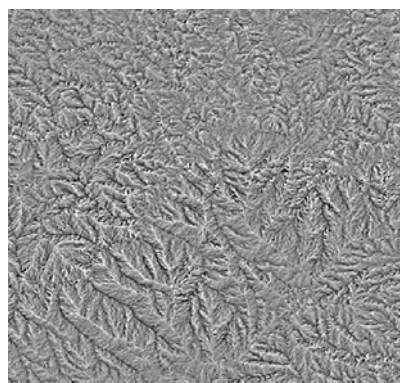
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)



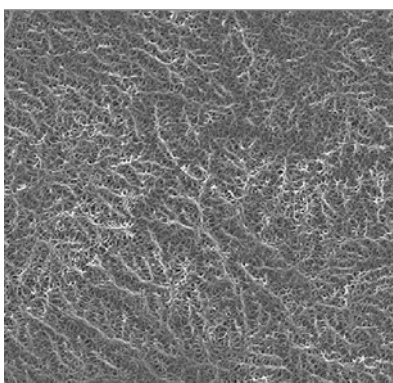
شاخص TRI



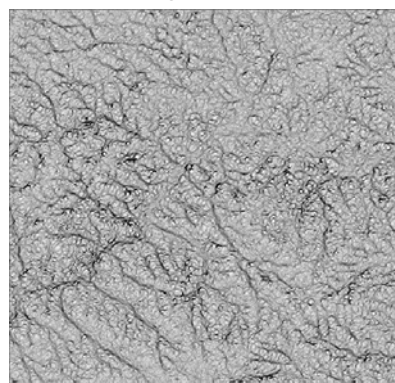
تصویر سستینل A2



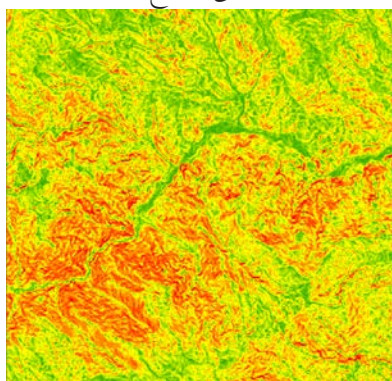
انحنای مسطح



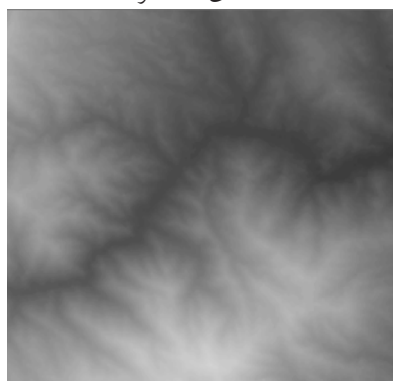
انحنای حداکثر



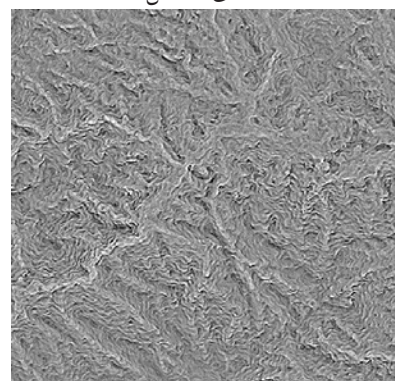
انحنای حداقل



شیب



ارتفاع



انحنای پروفیل

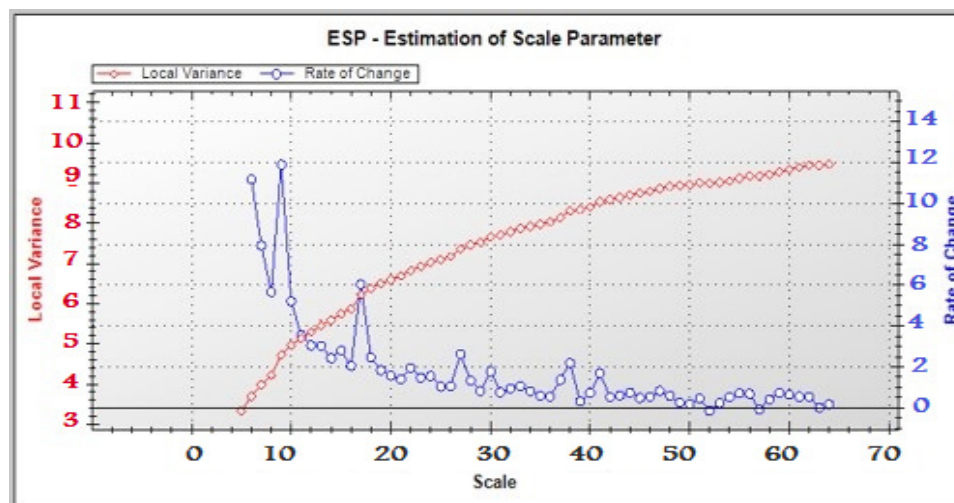
نگاره ۲: مشتقات لایه رقومی ارتفاع (DEM)

تشخیص نواحی شور است تا دخالت انسان به حداقل برسد. هدف روش بهینه‌سازی معمولی، به حداقل رساندن تقسیم‌بندی زیاد یا کم برای افزایش کارایی و دقت روش طبقه‌بندی است.

تقسیم‌بندی در eCognition، با مقیاس، رنگ و شکل کنترل می‌شود، (eCognition, 2012;87). پارامتر مقیاس، تابعی

۳-۱- انتخاب مقیاس بهینه برای انجام پردازش شیء‌گرا

هدف اصلی این بخش، بهینه‌سازی مرزهای تقسیم با ترکیبی از الگوریتم‌های مختلف تقسیم‌بندی و روش‌های بهینه‌سازی آماری است تا لندفرم‌ها با شکل و اندازه متغیر به صورت خودکار تعیین شوند. هدف دیگر، بکار بردن روش آستانه داده محور نظارت‌نشده در پارامترهای



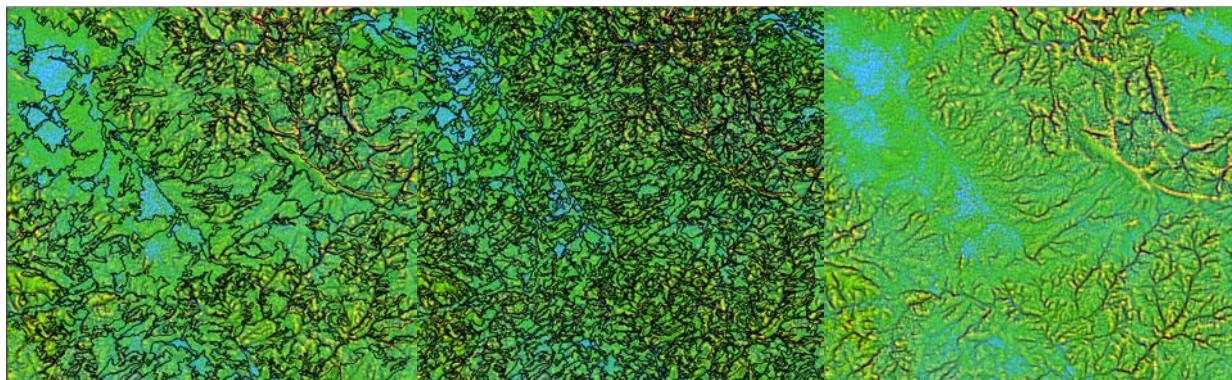
نگاره ۳: مقیاس بهینه
 پیش‌بینی شده با استفاده از
 الگوریتم (ESP)

مقیاس‌های بزرگ‌تر پنهان هستند. نمودار ROC-LV دارای نوسانات ناگهانی بیشتری بین نقطه ماکسیمم و مینیمم بوده درحالی‌که نمودار LV بسیار صاف و نرم است. از لحاظ تئوری، قله در یک منحنی ROC-LV نشان می‌دهد که در آن سطح، منحنی LV اشیاء مطابق با معادل خود در جهان واقعی در روی زمین، افزایش می‌یابد. با این حال، تنوع ناشی از تقسیم‌بندی پس‌زمینه نیز در منحنی، تولید نقطه پیک می‌کند و در نتیجه پیچیدگی تفسیر نمودارها، متناسب با پیچیدگی منظره است (Hall et al., 2004:67; Less, 2006: 5). در پژوهش حاضر، از مفهوم واریانس محلی استفاده کرده و از یک ابزار خودکار که به راحتی به محیط نرم‌افزار eCognition افزوده می‌شود، برای تشخیص مناسب‌ترین محدوده پارامتر مقیاس که در آن تقسیم‌بندی تصویر انجام می‌گیرد، استفاده نمودیم. در این پژوهش، مناسب بودن ابزار پیش‌بینی پارامتر مقیاس (ESP) برای تعریف پارامترهای مقیاس سگمنت سازی معنادار روی تصاویر مورد آزمون قرار گرفت. منحنی فوق برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از افزونه ESP در ۱۰۰ سطح مقیاس تهیه شد، (نگاره ۴). نتایج حاصل نشان داد که مقیاس‌های ۱۷،۹ و ۲۷ بهترین تناسب را برای سگمنت‌سازی دارند. با توجه به نوع لندفرم‌های استخراجی و همچنین انجام فرآیند آزمون و خطا مقیاس ۹ با ضرایب شکل و فشردگی به ترتیب ۰/۹ و ۰/۱ برای تصاویر به عنوان مقیاس مناسب به منظور سگمنت‌سازی و ایجاد اشیاء

از وضوح تصویر است و برای کنترل حداکثر ناهمگنی مجاز در اشیاء، با پارامتر مقیاس کمتر، به منظور ایجاد تعداد بخش‌های بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشابه سایر مطالعات در مورد عوارض زمین مبتنی بر شیء با داده‌های سنجش‌ازدور اپتیکی، حداکثر وزنی برای ناهمگنی شکل و حداقل وزنی را برای ناهمگنی طیفی در نظر گرفته شد، چون شکل و اندازه در ویژگی‌های طبیعی مانند اشکال زمین به خوبی متمایز هستند. در پژوهش حاضر، برای پیدا کردن عینی مقیاس‌های متعدد بهینه و بهبود کیفیت سگمنت‌سازی، با استفاده از الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه (ESP)، مقیاس مناسب برای استخراج عارضه‌های مورد نظر پیش‌بینی شد. نتیجه حاصل از پیش‌بینی مقیاس مناسب برای استخراج عارضه‌های مورد نظر مطابق نگاره (۳) به دست آمد.

درحالی‌که منحنی واریانس محلی به طور ناگهانی با افزایش اندازه سگمنت در مقیاس‌های پایین افزایش می‌یابد منحنی نرخ تغییرات واریانس محلی در روندی مخالف کاهش می‌یابد. این الگو مرحله تغییر از پیکسل‌ها به کوچک‌ترین اشیاء تصویر مورد نظر را نشان می‌دهد. نمودار نشان می‌دهد که LV به تنهایی نمی‌تواند مقیاس معنی‌دار اشیاء تصویر را نشان دهد.

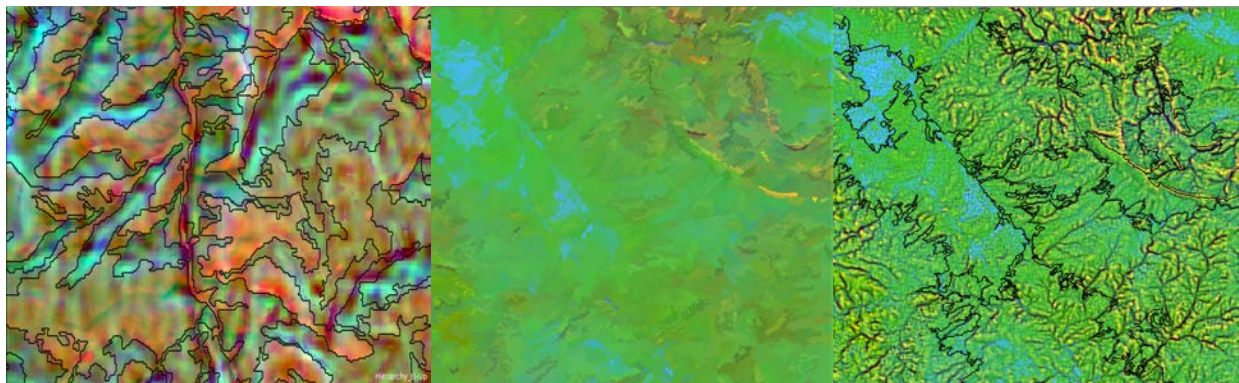
به دلیل تفاوت‌های بزرگ در مقادیر ROC-LV در مقیاس‌های کوچک‌تر، تغییرات در منحنی ROC-LV در



سگمنت در سطح دوم

سگمنت در سطح اول

تصویر اولیه



اشیاء تصویر در حالت بزرگنمایی

اشیاء تصویری ایجادشده

سگمنت در سطح سوم

نگاره ۴: قطعه‌بندی تصویر با مقیاس ۹ (ضریب شکل: ۰/۹ و ضریب فشردگی: ۰/۱)

قابل‌پردازش و نیز استخراج عارضه‌های تصویر انتخاب گردید. نگاره (۴) قطعه‌بندی تصویر با مقیاس ۹ (ضریب شکل: ۰/۹ و ضریب فشردگی: ۰/۱) را نشان می‌دهد.

۲-۳- طبقه‌بندی فازی شیء‌گرا

این روش ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر طبقه تبدیل می‌کند. تبدیل ارزش عوارض به ارزش فازی اجازه همگون سازی و ترکیب عوارض در دامنه‌های متفاوت را فراهم می‌آورد. طبقه‌بندی فازی انطباق و وفق پذیری توصیفات عوارض را نیز فراهم می‌آورد (Benz et al., 2004:243).

در این روش هر طبقه دارای توصیفات خاص خود بوده و این توصیفات مشتمل بر مجموعه‌ای از شرایط است که بر اساس عملگرهای فازی (& (aritm), OR, AND, MEAN) را تعریف نماید (Zhang and Maxwell, 2006:2).

این روش ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر طبقه تبدیل می‌کند. تبدیل ارزش عوارض به ارزش فازی اجازه همگون سازی و ترکیب عوارض در دامنه‌های متفاوت را فراهم می‌آورد. طبقه‌بندی فازی انطباق و وفق پذیری توصیفات عوارض را نیز فراهم می‌آورد (Benz et al., 2004:243).

در این روش هر طبقه دارای توصیفات خاص خود بوده و این توصیفات مشتمل بر مجموعه‌ای از شرایط است که بر اساس عملگرهای فازی (& (aritm), OR, AND, MEAN) را تعریف نماید (Zhang and Maxwell, 2006:2).

و ... اشاره کرد. نتایج حاصل از اعمال برخی از این توابع به صورت موردی در نگاره شماره (۵) ارائه داده شده است.

۴-۲- طبقه‌بندی با روش فازی شیء‌گرا

در طبقه‌بندی فازی هر کلاس به صورت مجموعه‌ای از توابع فازی مطرح شده که امکان بررسی پدیده‌های مشخص را از طریق ارزیابی ارزش‌های آن‌ها، در محدوده ۰ تا ۱ ممکن می‌سازد. تعریف اطلاعات و شرایط برای کلاس‌ها، به صورت توابع عضویت صورت می‌گیرد؛ به طوری که پدیده‌های مستقر در فضای نمونه‌ها، از درجه عضویت بالایی برای آن کلاس‌ها برخوردار هستند. در پژوهش حاضر ابتدا نمونه‌ها معرفی گردید، سپس وزن‌های درجه عضویت بر اساس توابع فازی محاسبه شده (نگاره ۶) و برای کلاس‌های موردنظر تعریف شدند. پس از انجام طبقه‌بندی به روش فازی شیء‌گرا، تعداد ۱۴ لندفرم مطابق نگاره (۹) استخراج گردید.

جدول ۲: مساحت و درصد لندفرم‌های موجود در منطقه

نوع لندفرم	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
آبراهه	۱۸/۲	۰/۹۴۹۸
آبرفتی	۲/۸۸۵	۰/۱۵۰۶
آتش‌فشانی	۲۴۰/۷۳	۱۲/۵۶۳۱
دره U شکل	۴۱/۳۹۴	۲/۱۶۰۲
دره V شکل	۱۰۷/۶۳۲۷	۵/۶۱۷
خط الرأس	۲۲۵/۱۷۹۲	۱۱/۷۵۱۵
پرتگاه	۰/۹۴۸۱	۰/۰۴۹۴
قله	۶/۵۹۲۶	۰/۳۴۴
گودال	۴/۶۹۵۷	۰/۲۴۵۰۶
دشت	۱۹۹/۷۱۵۹	۱۰/۴۲۲۶
شیب بالا	۴۳۹/۹۶۶۲	۲۲/۹۶۰۷
شیب باز	۶۲۵/۵۷۲۵	۳۲/۶۴۷۰
تپه شاهد	۲/۴۴۸۵	۰/۱۲۷۷
واریزه	۰/۲۰۴۵	۰/۰۱۰۶۷
مجموع	۱۹۱۶/۱۶۷۷	۱۰۰

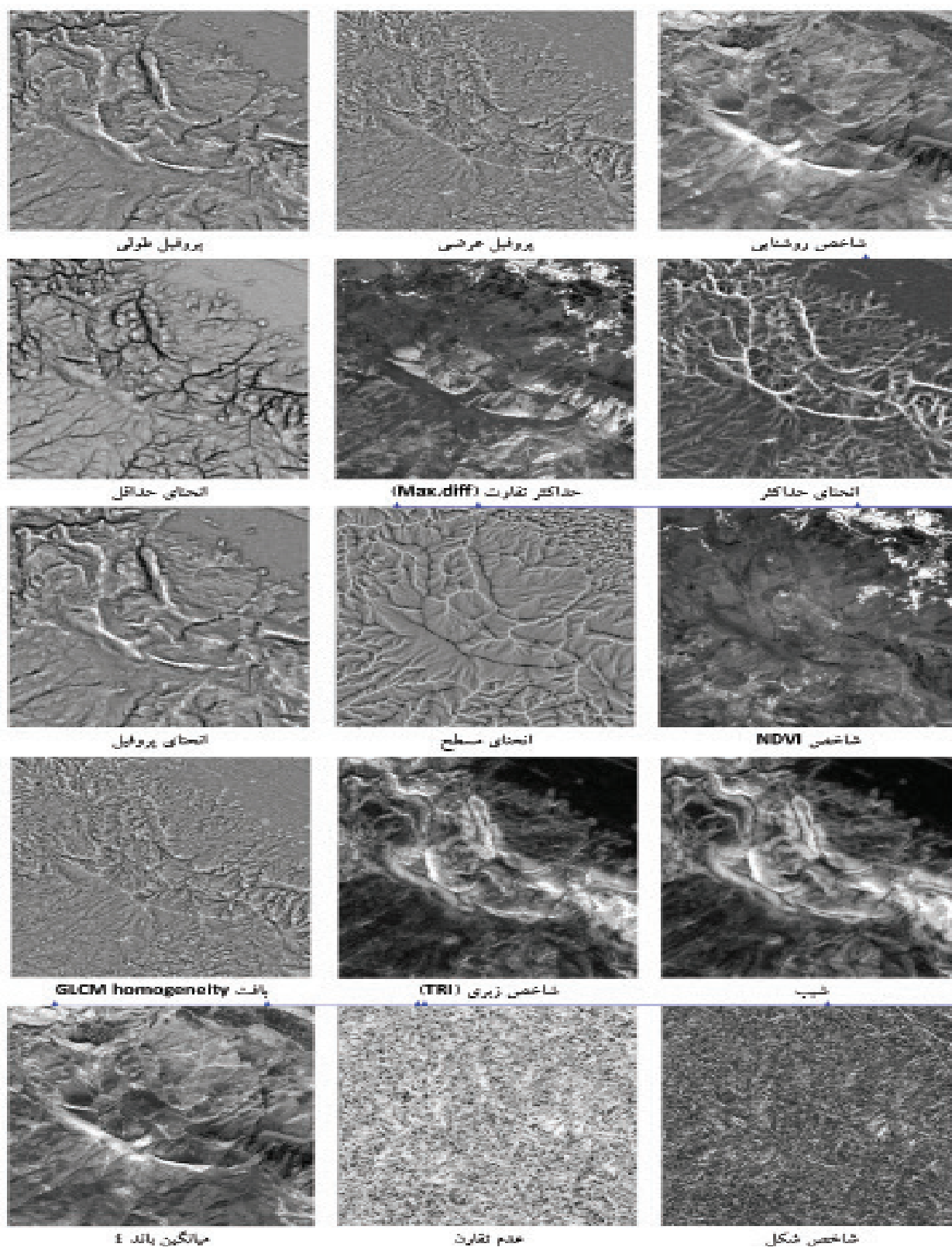
۳-۳- ارزیابی صحت طبقه‌بندی

صحت طبقه‌بندی از طریق مقایسه نمونه اشیاء طبقه‌بندی شده با اطلاعات زمینی حاصل می‌گردد و مشخص‌کننده کیفیت اطلاعات استخراج شده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد. ارزیابی صحت می‌تواند کیفی یا کمی، سریع یا وقت گیر، پربازده یا به صورت تصادفی باشد. در ارزیابی صحت به صورت کمی هدف مشخص نمودن و اندازه‌گیری خطاهای نقشه می‌باشد. به طور کلی در ارزیابی صحت، نقشه‌های موضوعی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای از طریق ماتریس خطا، خطای حذف شده، خطای گماشته شده، صحت تولیدکننده، صحت کاربر، صحت کل و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Navulur., 2006:58). ماتریس خطا که گاهی اوقات ماتریس ابهام یا جدول احتمالی نیز نامیده می‌شود؛ کلاس به کلاس روابط بین داده‌های مرجع (واقعیت زمینی) و نتایج متناظر حاصل از طبقه‌بندی را مقایسه می‌کند. ماتریس خطا به صورت مربعی بوده که به تعداد کلاس‌ها دارای سطر و ستون بوده و از روی آن ارزیابی صحت انجام می‌شود (Drăguț and Blaschke, 2006: 339). تحلیل کاپا یک تکنیک چند متغیره گسسته بوده که از نظر آماری برای مشخص کردن اختلاف اساسی ماتریس خطا در ارزیابی صحت استفاده می‌شود (et al., 2014:109 Fassnacht). ضریب کاپا نشان‌دهنده یک اختلاف معنی دار میان ماتریس ابهام با نتایج حاصل از یک طبقه‌بندی تصادفی است.

۴- یافته‌های تحقیق

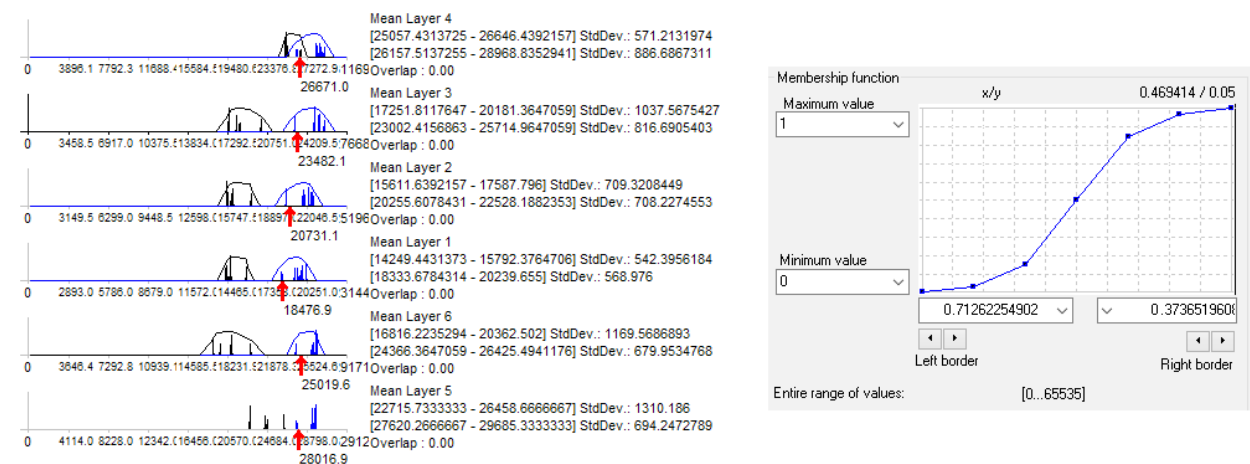
۴-۱- استفاده از الگوریتم‌های شیء‌پایه

در پژوهش حاضر از توابع مختلف و قابلیت‌های متنوع تکنیک‌های OBIA برای استخراج اشکال زمین با دقت بالا استفاده شده است؛ از جمله این توابع می‌توان به اطلاعات بافتی (GLCM)، میانگین باندهای تصویر، اطلاعات هندسی (شکل، فشردگی، تراکم و عدم تقارن)، شاخص روشنایی، شاخص زبری زمین (TRI)، انحنای حداکثر و حداقل، بافت

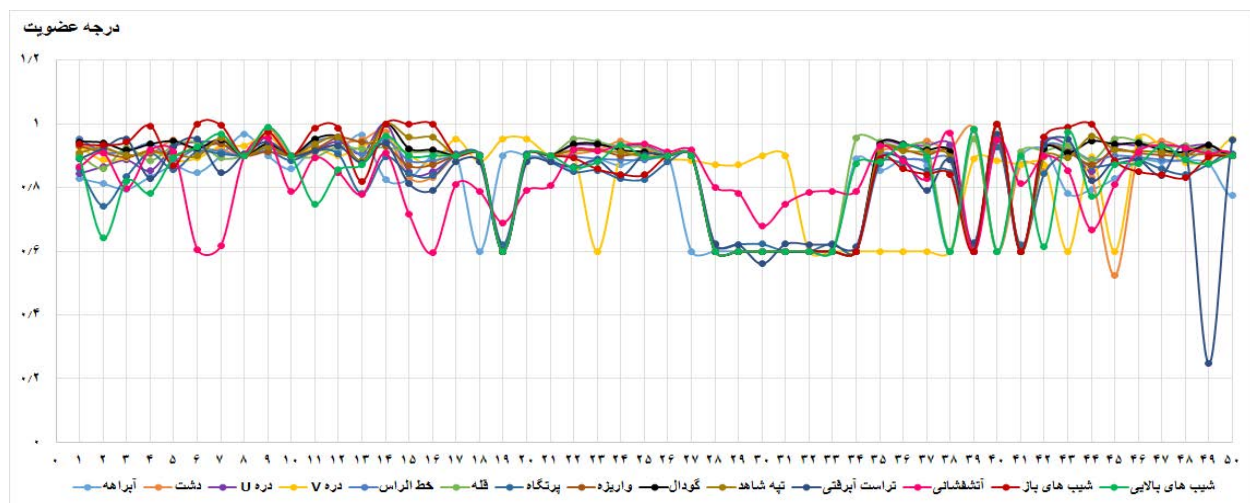


نگاره ۵: اعمال شاخص‌های مختلف روی تصاویر

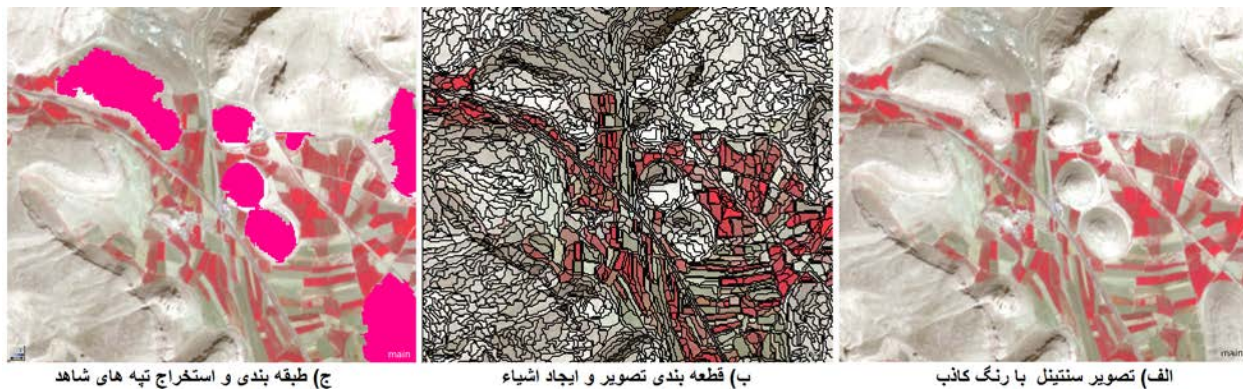
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 شناسایی نیمه خودکار لندفرم‌ها با استفاده از پردازش ... / ۸۷



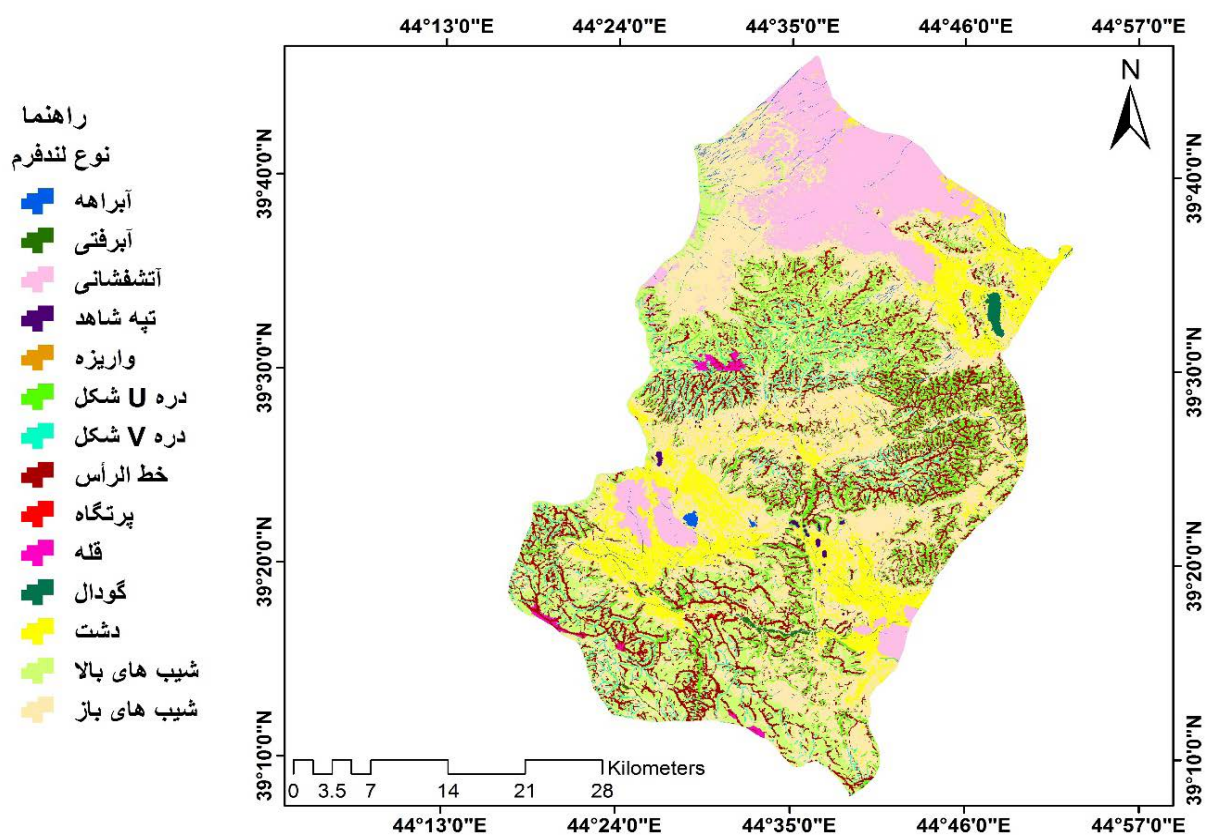
نگاره ۶: سمت چپ توابع فازی و سمت راست محاسبه درجه عضویت



نگاره ۷: نمودار درجه عضویت



نگاره ۸: استخراج تپه‌های شاهد



نگاره ۹: لندفرم‌های استخراج شده با روش فازی شی‌اگرا

در مطالعات از اهمیت خاصی برخوردار است. در تحقیق حاضر به منظور طبقه‌بندی و استخراج لندفرم‌ها از روش پردازش شی‌اگرای تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. به همین منظور مشتقات لایه رقومی ارتفاع (شیب، بافت انحنا، حداکثر، حداقل، مسطح و انحنا، پروفیل) به همراه تصویر ماهواره سنتینل 2A مورد استفاده قرار گرفت.

روش فازی به دلیل شرایط مرزی، تعریف تابع عضویت و در نظر گرفتن تغییرات به‌طور پیوسته در تعریف کلاس‌های لندفرم روش ایده آلی به نظر می‌رسد (مکرم و مکاران، ۱۳۹۵). با استفاده از رویکرد OBIA، در این مطالعه از دو نوع داده (داده‌های تصاویر ماهواره‌ای و مشتقات لایه رقومی ارتفاع) جهت استخراج لندفرم‌ها استفاده گردید. ۵ مشتق از DEM که شامل شیب، انحنا، حداکثر، انحنا، حداقل، انحنا، پروفیل عرضی و انحنا، مسطح است، تهیه

براساس نمونه‌های زمینی که با استفاده از دستگاه GPS برداشت شده بود دقت کلی و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از محاسبه این دقت‌ها، ضریب کاپا برای طبقه‌بندی فازی شی‌اگرا برابر ۸۷ درصد و دقت کلی برای استخراج لندفرم‌ها ۸۵ درصد محاسبه شد. با توجه به نتایج فوق مشخص می‌گردد که روش فازی شی‌اگرا در استخراج لندفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه دارای دقت بیشتری است.

۵- بحث

منظور از لندفرم‌ها، تقسیماتی از سطح زمین است که در بسیاری خصوصیات یکنواخت و همگن هستند و طبیعی است که واحدهای همگن برنامه‌ریزی و مدیریت یکنواختی را می‌طلبند. به همین دلیل شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها

علت عملکرد خوب رویکرد OBIA این است که امکان ترکیب خصوصیات طیفی انواع مختلف داده‌ها (تصاویر و داده‌های ارتفاع) و مشتقات آن‌ها، تجزیه و تحلیل شکل قطعه، اندازه و بافت و توزیع مکانی بخش‌ها با توجه به طبقه‌بندی و سایر بخش‌های همسایه فراهم است (کورزینیوسکا، ۲۰۱۷؛ چنگ و هان، ۲۰۱۶).

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با رویکردی نیمه خودکار با استفاده از روش شیء‌گرا لندفرم‌های بخش مرزی استان آذربایجان غربی استخراج شدند.

مقایسه نتایج به دست آمد با بازدیدهای میدانی انجام شده و تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای سنتینل با قدرت تفکیک ۱۰ متر و Google earth نشان می‌دهد که تا حدود زیادی روش فوق توانسته اهداف موردنظر در پژوهش را برآورد سازد. با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص‌های صحت، دقت و کیفیت مشخص گردید که استخراج همه عوارض به‌جز واریزه، با توجه به قدرت تفکیک تصویر مورد استفاده در حد قابل قبولی است.

از دلایل پایین بودن شاخص‌ها برای استخراج واریزه می‌توان به این نکته اشاره کرد که واریزه‌ها غالباً پهنه کوچکی را دربر می‌گیرند و دلیل دوم اینکه چون واریزه‌ها غالباً در دامنه ارتفاعات با شیب زیاد هستند، معمولاً از دید قائم تصویر سنتینل تا حد زیادی پنهان می‌مانند.

نتایج این تحقیق مشخص می‌سازد که نقشه‌های حاصل از تصاویر سنتینل در مقایسه با روش نقشه‌برداری زمینی برای استخراج عوارض و پدیده‌های سطح زمین، دارای دقت قابل قبول و از نظر زمانی و هزینه مقرون به صرفه است. نتایج حاصل از این تحقیق سازگار با نتایج مطالعات محققینی همچون دراگوت و ایسانک (۲۰۱۲)، راجش و همکاران (۲۰۱۱) و ساها و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه شناسایی لندفرم‌ها می‌باشد.

شد. پس از تقسیم‌بندی چند تفکیکی، روش طبقه‌بندی دانش‌محور برای استخراج لندفرم‌ها بر روی داده‌ها اجرا گردید.

روش شیء‌گرا با وجود مزایای زیاد، معایبی هم دارد که در ارتباط با مقیاس و ضریب شکل قطعه‌بندی تصویر می‌باشد و در مطالعات چنگ و هان (۲۰۱۶)، نیز بدان اشاره شده است. به طوریکه انتخاب نادرست هرکدام از پارامترهای مقیاس، شکل، رنگ، نرمی و فشردگی می‌تواند امکان تشخیص صحیح اشیاء در مراحل بعد را تحت تأثیر قرار دهد. همان‌طور که در مطالعات (دراگوت و همکاران، ۲۰۱۰؛ مارتا و همکاران، ۲۰۱۱) نیاز به استفاده از یک ابزار بهینه‌سازی خودکار برای به حداقل رساندن انجام بیش از حد فرآیند تقسیم‌بندی هنگام استفاده از الگوریتم تقسیم‌بندی چند تفکیکی نشان داده شده است.

در این تحقیق نیز از ابزار ESP برای بهینه‌سازی مقیاس سگمنت‌سازی استفاده گردید؛ و مقیاس‌های ۹، ۱۷ و ۲۷ مطابق نگاره (۳) انتخاب و اشیاء تصویر در سه سطح ایجاد شدند. علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات هندسی نظیر (ضریب شکل و فشردگی، عدم تقارن، نسبت طول به عرض و مساحت) و اطلاعات بافتی نظیر بافتی GLCM همگنی، کنتراست و آنتروپی نیز استفاده گردید. همچنین از شاخص‌های دیگر نظیر شاخص زبری زمین (TRI)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص پستی و بلندی (Relief) برای بهبود دقت نتایج به عنوان اطلاعات جانبی استفاده شد.

طبقه‌بندی لندفرم‌ها بر مبنای تئوری فازی ما را قادر به جمع‌آوری اطلاعات بیشتری از سطح زمین می‌نماید. در این روش ابتدا منطقه از لحاظ شیب به اراضی مسطح (بدون شیب) و شیب‌دار تقسیم و سپس ۱۴ ویژگی سطح زمین، مورد مطالعه و طبقه‌بندی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش فازی شیء‌گرا توانسته است با دقت کلی ۸۷ درصد و شاخص کاپای ۸۵ درصد لندفرم‌ها را طبقه‌بندی کند.

production in high mountains. *Geomorphology*, 55(1-4), 345-361.

8. Blaschke T & Strobl J 2001. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GIS - Zeitschrift für Geoinformationssysteme* 6:12-17.

9. Chaudhuri, B. B. & Sarkar, N. (1995). Texture segmentation using fractal dimension. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 17(1), 72-77.

10. Cheng, G., & Han, J. (2016). A survey on object detection in optical remote sensing images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 11-28.

11. Drăguț, L. & Blaschke, T. (2006). Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, 81(3), 330-344.

12. Drăguț, L., & Eisank, C. (2012). Automated object-based classification of topography from SRTM data. *Geomorphology*, 141, 21-33.

13. Drăguț, L., Tiede, D., & Levick, S. R. (2010). ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(6), 859-871.

14. ECognition. 2012. *Ecognition User Guide and Reference book*. <http://www.Definiens-imaging.com> (Munich, Germany: Definiens Imaging) Published by: Trimble Germany GmbH, Arnulfstrasse 126, D-80636 Munich, Germany. 441p.

15. Etzelmueller, B., Sulebak, J.S., 2000, Developments in the Use of Digital Elevation Models in Periglacial Geomorphology and Glaciology, *Physische Geographie*, Vol. 41, PP. 35-58. Baatz, M., Hoffmann, C., & Willhauck,

16. Fassnacht, F. E., Hartig, F., Latifi, H., Berger, C., Hernández, J., Corvalán, P. & Koch, B. (2014). Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote Sensing of Environment*, 154, 102-114.

17. Hall, O., Hay, G. J., Bouchard, A., and Marceau, D. J. . 2004. Detecting dominant landscape objects through

۷- منابع و مآخذ

۱. پورباقر کردی، قنوتی، کرم، صفاری؛ سیدمهدی، عزت‌الله، امیر، امیر (۱۳۹۴) کاربرد روش‌های قطعه‌بندی تصاویر طیفی در شناسایی و جداسازی مخروط افکنه‌های حوضه یزد-اردکان، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۳۶۷-۳۸۳.

۲. رعیتی شوازی، کرم، غفاریان مالمیرا، سپهر؛ منیره، امیر، حمیدرضا، عادل. (۱۳۹۵). مقایسه کارایی برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعه تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد-اردکان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال ۸، شماره ۱. صص ۷۳-۵۷.

۳. شایان، یمانی، فرج‌زاده، احمدآبادی؛ سیاوش، مجتبی، منوچهر، علی. (۱۳۹۱)، طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک (مطالعه موردی: منطقه مرنجاب)، فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره ۲ (پیاپی ۱۴). صص ۱۹-۲۸.

۴. مکرم، درویشی بلورانی، نگهبان؛ مرضیه، علی، سعید. ۱۳۹۶. ارتباط ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبخیز و فرسایش‌پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) مطالعه موردی: حوضه آبخیز نازلوچای. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۶. شماره ۱۰۱. صص ۱۳۱-۱۴۲.

5. Baatz, M., Hoffmann, C., & Willhauck, Fassnacht, F. E., Hartig, F., Latifi, H., Berger, C., Hernández, J., Corvalán, P. & Koch, B. (2014). Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote Sensing of Environment*, 154, 102-114.

6. Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(3), 239-258.

7. Bishop, M. P. Shroder Jr, J. F. & Colby, J. D. (2003). Remote sensing and geomorphometry for studying relief

29. Szuster, B. W., Chen, Q. & Borger, M. (2011). A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*, 31(2), 525-532.
30. Uzar, M., 2014, Automatic Building Extraction with Multi-sensor Data Using Rule-based Classification. *European Journal of Remote Sensing*, 47:1-18. doi: 10.5721/EuJRS20144701.
31. Zhang, Y. & Maxwell, T. (2006, May). A fuzzy logic approach to supervised segmentation for object-oriented classification. In *ASPRS 2006, Annual Conference Reno, Nevada May* (pp. 1-5).
- multiple scales: an integration of object-specific methods and watershed segmentation. *Landscape Ecology*, 19:1. 59-76.
18. Hammond, E.H., 1964. Analysis of properties in land form geography: an application to broad-scale land form mapping. *Annals of the Association of American Geographers* 54, 11-19.
19. Huggett RJ (2007): *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge, London, UK .448p.
20. Huggett RJ (2007): *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge, London, UK
21. Kaushal, A., & Singh, Y. (2006). Extraction of geomorphological features using radarsat data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 34(3), 299-307.
22. Klingseisen, B. Metternicht, G. Paulus, G. 2008. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach. *Environmental Modeling and Software* 23, 109-121.
23. Klingseisen, B., Warren, G., & Metternicht, G. (2008). LANDFORM-GIS based generation of topographic attributes for landform classification in Australia. na.
24. Korzeniowska, K. (2017). Object-based image analysis for detecting landforms diagnostic of natural hazards.
25. Lees, B. 2006. The spatial analysis of spectral data: Extracting the neglected data. *Applied GIS*, 2:2. 14-1.
26. Martha, T. R., Kerle, N., van Westen, C. J., Jetten, V., & Kumar, K. V. (2011). Segment optimization and data-driven thresholding for knowledge-based landslide detection by object-based image analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(12), 4928-4943.
- Navulur, K. (2006). *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC press.
27. Piloyan, A., & Konečný, M. (2017). Semi-automated classification of landform elements in Armenia based on SRTM DEM using k-means unsupervised classification. *Quaestiones Geographicae*, 36(1), 93-103.
28. Saha, K., Wells, N. A., & Munro-Stasiuk, M. (2011). An object-oriented approach to automated landform mapping: A case study of drumlins. *Computers & geosciences*, 37(9), 1324-1336.

