



شناسایی نیمه خودکار لندفرم‌ها با استفاده از پردازش شیء‌گرا، مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه‌ی دز واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس

وحید رحمتی‌نیا^۱، بختیار فیضی‌زاده^{۲*}

۱- دانش‌آموخته کارشناس ارشد GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار و عضو هیئت‌علمی گروه GIS دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

چکیده

فرآیندهای سطح زمین در مقیاس‌های مکانی-زمانی مختلف عمل می‌کنند و شکل‌های زمینی را تولید می‌کنند که در یک سلسله‌مراتب تودرتو ساختار یافته‌اند. شیوه‌ی استخراج نیمه‌خودکار انواع لندفرم‌های منتخب از مدل‌های رقومی ارتفاعی DEM از اهمیت بالایی برخوردار است. لندفرم یک عارضه ژئومورفیک از سطح زمین است که خصوصیات ظاهری خاص داشته و شکل آن را می‌توان تشخیص داد. در حال حاضر طبقه‌بندی لندفرم‌ها عموماً مبتنی بر تشخیص کارشناسی است که به طریق دستی و با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و برداشت‌های صحرایی انجام می‌گیرد که روشی زمان‌بر، پرهزینه، کم‌دقت و تکرار نشدنی است. در این پژوهش از ۵ مشتق اصلی DEM ۱۲/۵ متری ماهواره ALOS (لایه‌ی شیب، لایه جهت شیب، لایه‌ی خمیدگی، لایه‌ی جریان تجمعی و لایه‌ی ارتفاع) و همچنین از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و شاخص پوشش گیاهی NDVI به‌عنوان لایه‌های کمکی استفاده گردیده، سگمنت‌سازی که در این منطقه صورت گرفت با استفاده از روش multi resolution segmentation انجام شد. در این سگمنت‌سازی به لایه ارتفاع، ارزش ۳ و به لایه خمیدگی ارزش ۲ و به بقیه‌ی لایه‌ها ارزش ۱ داده شد و در قسمت Composition of homogeneity criterion، به Shape ۰/۷ و Compactness ۰/۳ و پارامتر مقیاس ۵۰ در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از الگوریتم‌های Layer Values و Geometry و دستورات assign class به طبقه‌بندی لندفرم‌های واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (محدوده‌ی شهرستان الیگودرز) اقدام شده است. نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های Layer Values و Geometry و دستورات assign class توانایی خوبی در جداسازی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها دارند، به‌گونه‌ای که ۸ نوع لندفرم (دامنه، یال، پهنه‌های آبی، پرتگاه، قله، خط‌الرأس، دشت‌های پست و دشت‌های مرتفع) با ضریب کاپا ۰/۸۷ و دقت کلی ۹۱/۷۱ درصد استخراج گردید. لندفرم‌های یال بیشترین بخش منطقه را تشکیل داده و لندفرم‌های غالب منطقه محسوب می‌شوند و توزیع مناسبی در قسمت‌های مختلف دارند ولی لندفرم‌های قله با حداقل مساحت فقط بخش محدودی از منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده است.

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی، لندفرم، مدل رقومی ارتفاع، شیء‌گرا، رشته‌کوه زاگرس.

۱-مقدمه

ژئومورفولوژی علمی است که چگونگی شکل‌گیری اشکال زمین (لندفرم) را بررسی می‌کند (هوگت^۱، ۲۰۰۷: ۱۴۸). زمین به‌عنوان بخشی از سطح تماس، حیطه‌ی اصلی مطالعات ژئومورفولوژی است و بدیهی است که شناخت و بررسی دقیق آن، در تحلیل و مدل‌سازی لندفرم‌ها 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 (سولباک^۲ و اتزلمول^۳، ۲۰۰۰: ۳۶). 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 (بلاشکه^۴ و استروبل^۵، ۲۰۰۱: ۱۳). 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 بر اساس آن‌ها در علوم مختلف قابل‌استفاده است. شناسایی خاص‌ترین اشکال هندسی پدیده‌های ژئومورفیک، از مهم‌ترین مواردی است که توسط طبیعت تعریف می‌شود. مدل رقومی ارتفاعی، مدلی دیجیتال یا نمایشی سه‌بعدی از سطح زمین، ماه یا دیگر سیاره‌ها است که معمولاً برای نمایش ناهمواری‌های زمین و با استفاده از داده‌های ارتفاع از سطح دریا تهیه می‌شود. این مدل به‌منظور تجزیه و تحلیل توپوگرافی و شکل اراضی قابل‌استفاده است (بی‌شاپ^۶ و شرودر^۷، ۲۰۰۰: ۱۸۱). از مشتقات مدل رقومی ارتفاع این است که از طریق آن می‌توان پارامترهای ژئومورفولوژی را استخراج و از آن در طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده کرد. ویژگی‌های به ویژگی‌های اولیه زمین از قبیل شیب، ارتفاع، انحنای مماس، انحنای سطح شاخص و... بستگی دارد (ویلسون^۸ و گالانت^۹، ۲۰۰۰: ۷۵). از این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها می‌توان استفاده نمود.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای شاید به‌عنوان اصلی‌ترین مرحله‌ی پردازش تصاویر محسوب می‌گردد که از طریق امکان تبدیل فضای تصویر (بازتاب‌های ثبت‌شده در باندهای مختلف) به فضای واقعی (نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی) ممکن می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷). در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یا بر اساس ارزش عددی پیکسل‌ها (روش‌های پیکسل پایه) یا بر اساس استفاده از اطلاعاتی نظیر بافت، الگو و شکل عوارض (روش شیء‌گرا) انجام می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). استخراج نیمه‌اتوماتیک لندفرم‌ها با استفاده از انواع

1-Hugget
 2-Sulebak
 3-Etzelmül
 4-Blaschke
 5-Strobl

6-Bishop
 7-Shroder
 8-Wilson
 9-Gallant

مدل‌های سطح زمین همچون، مدل رقومی ارتفاع زمین^۱ شیب و انحنا^۲ از مطالعات ویژه در ژئومورفولوژی، هیدروولوژی و علوم مشابه است (آیسانک^۳، دراگوت^۴ و بلاشکه، ۲۰۱۰). ترسیم و طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از مدل‌های سطح زمین به دلیل تغییرات طبیعی مرز بین لندفرم‌ها از چالش‌های اساسی در این علوم است (فیشر^۵، وود^۶ و چنگ^۷، ۲۰۰۴: ۲۹). به‌طور کلی الگوریتم‌های موجود برای بخش‌بندی زمین در دو گروه عمده تقسیم می‌شوند، حاشیه مبنا و ناحیه مبنا، الگوریتم‌های حاشیه مبنا ساختار ناپیوستگی‌های توپوگرافیک همچون شکستگی‌های دامنه (برای مثال: گیلز و فرانکلین^۸، ۱۹۹۸، ماتسورا و آنیا^۹، ۲۰۱۲) یا شبکه‌های هیدروولوژیکی (برای مثال باند^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۰، مک میلان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴) سطح زمین را در قطعاتی مجزا تعیین می‌کنند. در مقابل الگوریتم‌های ناحیه مبنا بخش‌بندی زمین را به‌وسیله‌ی ترکیب شبکه‌ای از سلول‌ها که از نظر مورفومتری به هم شبیه هستند، انجام می‌دهد (برای مثال میلیاریسیس^{۱۲}، ۲۰۰۱). یکی از الگوریتم‌های ناحیه مبنا که استفاده گسترده‌ای در بخش‌بندی سطوح زمین دارد الگوریتم تقسیم‌بندی چند تحلیله (MRS^{۱۳}) است (دراگوتو بلاشک^{۱۴}، ۲۰۰۶، ون اسلن و سیجموسبرگن^{۱۵}، ۲۰۰۶) که از تحلیل‌های شیء‌گرا از تصاویر ماهواره‌ای کاربرد دارد. تعیین حدود لندفرم‌ها به‌وسیله‌ی تقسیم‌بندی سطح زمین (مانند الگوریتم MRS) و روش‌های اتوماتیک در قطعات و نواحی مجزا با توجه به‌صرف زمان کم و دقتی که دارند کار جذابی است (آیسانک^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۴: ۲). در رابطه با طبقه‌بندی و شناسایی لندفرم‌ها کارهای مختلفی انجام شده که به برخی از آن‌ها در زیر اشاره شده است. رجبی و بیاتی (۱۳۸۷)، لندفرم دره‌های یخچالی سهند را بررسی کردند، بر اساس نتایج تحقیق در تعدادی از دره‌های کوهستان سهند شواهدی از توسعه‌ی یخچال‌های دره‌ای موجود است و دروازه‌های شمالی و غربی این توده کوهستانی در بالادست از ویژگی دره یخچالی برخوردارند. شایان و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی کارایی شاخص‌های ژئومورفومتریک در طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک با استفاده از روش وود^{۱۷} پرداختند. در این تحقیق کارایی روش وود در شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه خشک کویر مرنجاب ارزیابی شد، نتایج طبقه‌بندی نشان داد سطوح دشتی و صاف با ۴۹/۸ درصد بیشترین سطح را به خود اختصاص داده و خط‌الرأس و دره‌ها در رده بعدی قرار دارند. مکرم و نگهبان (۱۳۹۳)، لندفرم‌های منطقه مرنجاب را طبقه‌بندی کردند نتیجه پژوهش آن‌ها به‌صورت نقشه لندفرم‌های منطقه در ۱۰ طبقه ارائه شد. بر

1-Digital elevation model
2-slope and curve
3-Eisank
4-Drăguț
5-Fisher
6-Wood
7-Cheng
8-Giles and Franklin
9-Matsuura and Aniya

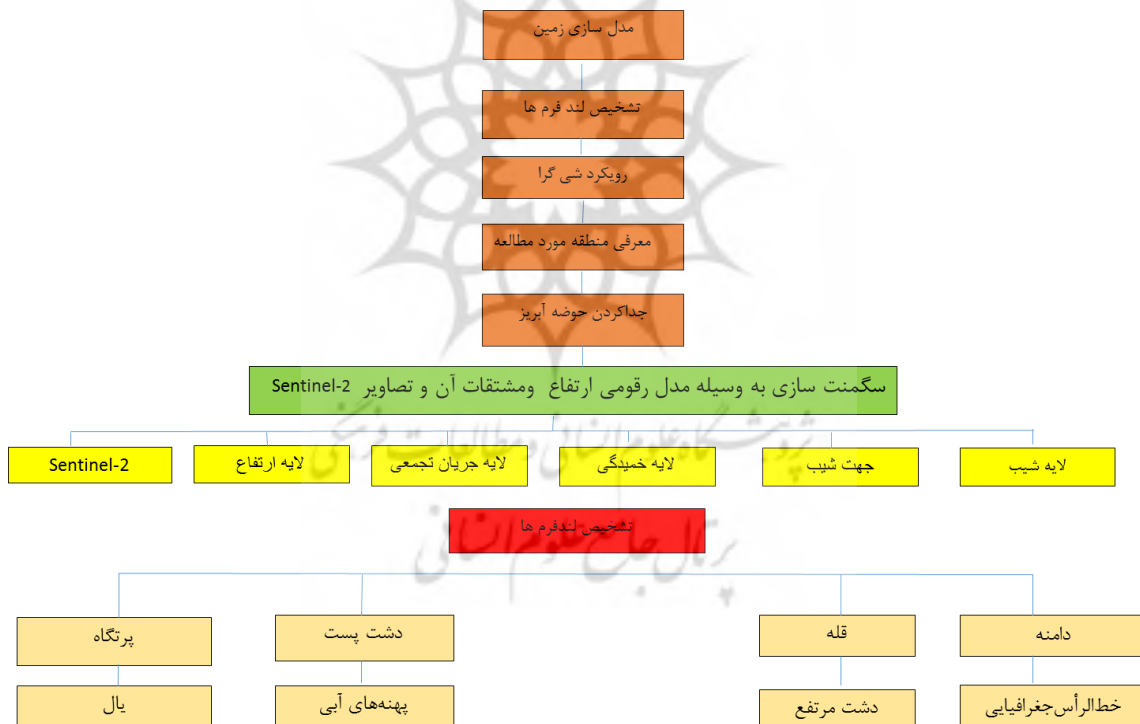
0 -Band
11-MacMillan
22-Miliaresis
33-multiresolution segmentation
55-Drăguț and Blaschke
55-Van Asselen and Seijmonsbergen
66-Eisank
77-wood

اساس نتایج بیشترین نوع لندفرم در منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به آبراهه (۳۲/۱۹) درصد و بعد از آن قله‌ها (۲۵/۳۶) درصد بود. لوسین و کلمنز^۱ (۲۰۱۱)، در پژوهشی با استفاده از روش اتوماتیک شیء‌گرا به طبقه‌بندی توپوگرافی زمین با استفاده از داده‌های SRTM^۲ پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش شباهت زیادی با الگوهای طبقه‌بندی موجود سراسری و منطقه‌ای داشتند. ستوباتی^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی لندفرم‌های هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌ی رودخانه پوناییار^۴ را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش آن‌ها از تکنیک‌های سنجش‌ازدوری و GIS استفاده کرده و در نهایت نقشه هیدروژئومورفولوژی منطقه را تهیه کردند. کاسوک^۵ و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی به طبقه‌بندی شیء‌گرا از تصاویر ماهواره‌ای اسپات^۶ به جهت نقشه‌کشی زمین‌شناسی و لندفرم‌های آتش‌فشان‌های فعال سیمپرو در اندونزی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش الگوی با جزییات زیاد زمین‌شناسی و اشکال ژئومورفیک منطقه آتش‌فشانی به دست آورد در حالی که در نقشه‌های قدیمی موجود تنها ۱۱ واحد تعیین شده بودند. واز^۷ و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی شنزراه‌های موجود در دو منطقه‌ی مریخ را مورد مطالعه قرار داده و به‌صورت اتوماتیک با استفاده از روش‌های شیء‌گرا نقشه‌های مربوط به آن‌ها را تهیه کردند. پدرس^۸ (۲۰۱۶)، با استفاده از روش شیء‌گرا لندفرم‌های آتشفشانی-یخچالی را مورد مطالعه و شناسایی قرار داد، او در این تحقیق لاواها و دشتهای موجود در بخش جنوب غربی کشور ایسلند را مورد شناسایی قرار داده و نقشه‌ی آن را تهیه کرد. یانوفسکی^۹ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با عنوان اکتشاف اشکال سرزمینی یخبندان به روش شیء محور و تجزیه‌وتحلیل تصویر و پارامترهای طیفی از مدل رقومی ارتفاع به این نتیجه رسیدند که مدل‌های طبقه‌بندی به‌دست‌آمده تا ۹۶ درصد دقت کلی دارند، همچنین این مطالعه نشان داد که شکل‌های یخبندان با استفاده از روش‌های مختلف قابل تشخیص است و نیز نقشه‌های موضوعی شکل‌های یخبندان که ممکن است قابل تکرار و قابل انتقال به مناطق مختلف یخچالی در سراسر جهان باشند. چنگ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با عنوان یادگیری عمیق بافت تصویر DEM برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها در منطقه شاندونگ چین، ویژگی‌های شکل زمین به‌طور سیستماتیک مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. رابطه‌ی بین بافت و نوع شکل زمین مورد بررسی قرار گرفت؛ در حالی که ضریب کاپا به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۴۰ است، با ضوابط سنتی بدون نظارت مقایسه شد، نتایج طبقه‌بندی شکل زمین و برتری طبقه‌بندی شبکه عصبی کانولوشن بود که تأیید شد، تقریباً ۶ درصد دقت کلی و ۰/۴ ضریب کاپا بهبود یافت.

1-Lucian and Clemens
 2-Shuttle Radar Topography Mission
 3-Sethupathi
 4-Ponnaiyar
 5-Kassouk

6-spot satellite
 7-Vaz
 8-Pedersen
 9-Janowski

هدف اصلی در این پژوهش شناسایی لندفرم‌ها با استفاده از پردازش شیء‌گرا، مدل رقومی ارتفاع، تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی‌های رستری است. از آنجایی که به علت شرایط سخت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، امکان دسترسی به تمام مناطق وجود ندارد تا بتوانیم تمامی این لندفرم‌ها را از طریق پیمایش‌های میدانی شناسایی کنیم، استفاده از مدل‌های خودکار و نیمه خودکار در شناسایی لندفرم‌ها می‌تواند روش مناسبی جهت پیمایش آن‌ها باشد. در همین راستا برای شناسایی لندفرم‌ها از روش MRS^۱ با استفاده از الگوریتم‌های Layer Values و Geometry و دستورات assign class در نرم‌افزار eCognition استفاده گردیده است که به صورت شماتیک مراحل آن در شکل ۱ نمایش داده شده است.

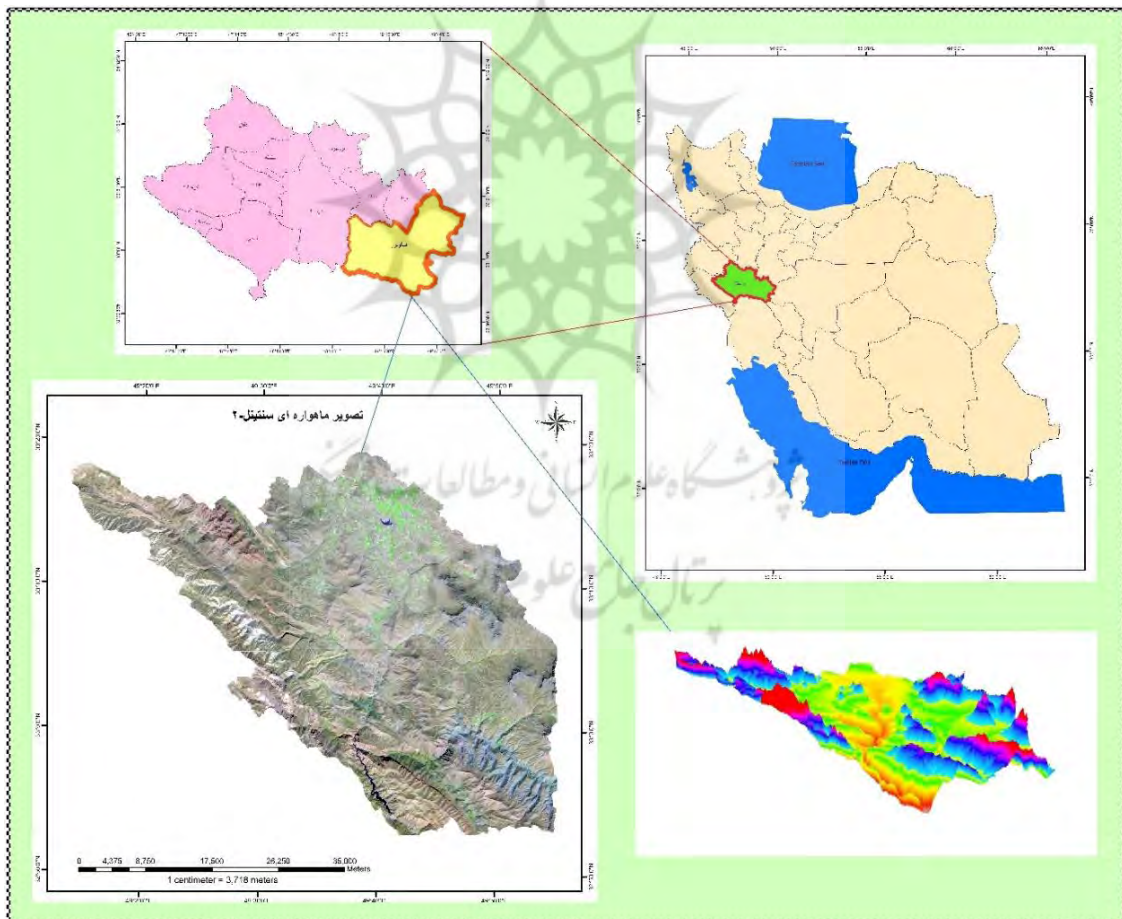


شکل ۱: فلوچارت مراحل مدل‌سازی تشخیص لندفرم‌ها
 Fig (1): Flowchart of landform diagnostic modeling steps

۲- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

واحد هیدرولوژیک حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی دز به‌عنوان یک حوضه‌ی درجه ۳، زیرمجموعه‌ای از حوضه‌ی کارون بزرگ محسوب می‌شود. از شهرهای مهم موجود در این حوضه می‌توان به الیگودرز، درود، ازنا، دزفول، اندیمشک

و شوش اشاره کرد. منطقه‌ی مورد مطالعه از زیر حوضه‌های آبریز رودخانه‌ی دز در شهرستان الیگودرز از توابع استان لرستان، با مساحت ۱۶۹۶۰۰۲۹۷۲ مترمربع در موقعیت جغرافیایی، ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. در ارتفاعات دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس که جزء مناطق پرباران کشور به شمار می‌روند، بخش عمده بارش‌های جوی در فصل‌های پاییز و زمستان به صورت برف است و آب شدن آن‌ها از اواخر فصل زمستان تا اواخر بهار، بخش عمده آب سالانه رواناب‌های سطحی این حوضه را تأمین می‌کند.



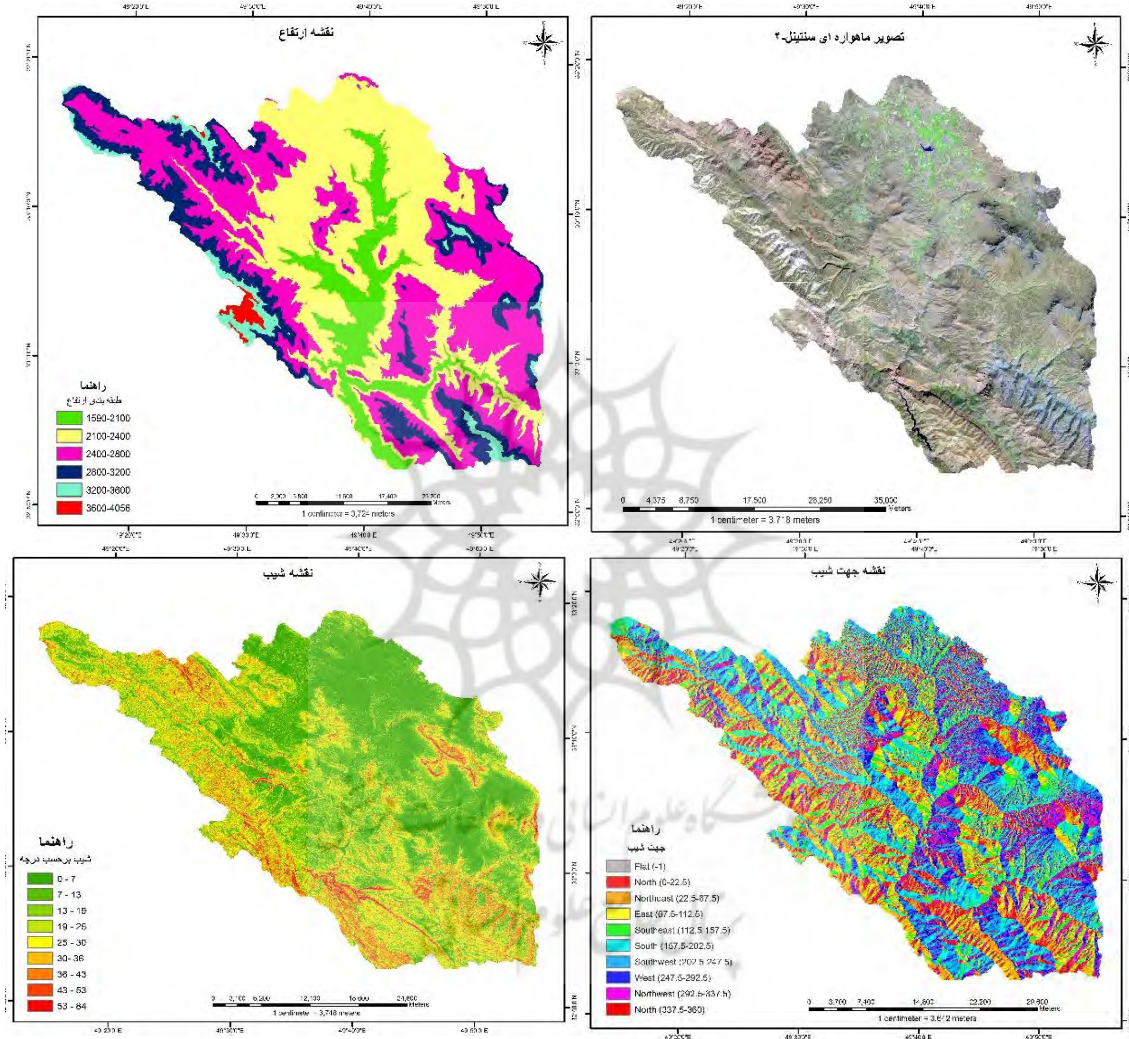
شکل (۲): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه
Fig (2): Geographical location of the study area

۳- مواد و روش

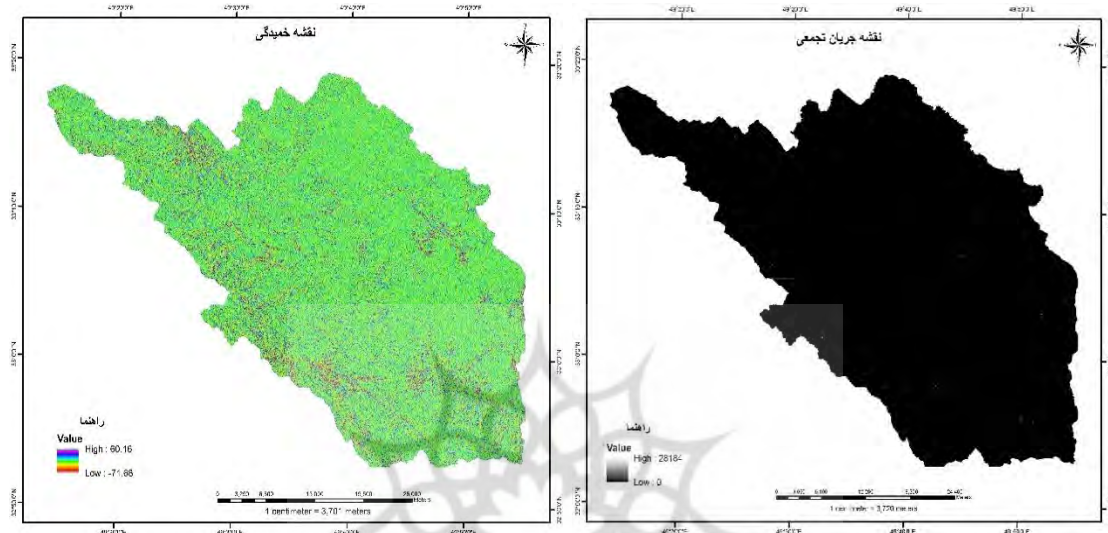
در این مطالعه به منظور شناسایی و استخراج دقیق لندفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از تصاویر Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر همراه با مشتقات لایه DEM (لایه‌ی شیب، لایه جهت شیب، لایه‌ی خمیدگی، لایه جریان تجمعی و لایه ارتفاع) و همچنین سگمنت‌سازی که در این منطقه صورت گرفت با استفاده از روش segmentation multi resolution انجام شد. در این سگمنت‌سازی به لایه‌ی ارتفاع، ارزش ۳ و به لایه‌ی خمیدگی ارزش ۲ و به بقیه‌ی لایه‌ها ارزش ۱ داده شد و در قسمت Composition of homogeneity criterion، به Shape 7/0 و Compactness 3/0 پارامتر مقیاس ۵۰ در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از الگوریتم‌های Layer Geometry, Values و assign class به طبقه‌بندی لندفرم‌های واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (محدوده‌ی شهرستان الیگودرز) اقدام شده است. همچنین الگوریتم‌هایی که بیشترین درجه عضویت را در طبقه‌بندی و استخراج عوارض زمین داشتند به‌عنوان عوامل مؤثر در طبقه‌بندی مدنظر قرار داده شدند.

با توجه به اینکه داده‌های ورودی در نرم‌افزار eCognition مشتقات DEM هستند، در این بخش توضیح مختصری در مورد مشتقات DEM ارائه شده است. در این مطالعه از ۵ مشتق اصلی DEM ۱۲/۵ متری ماهواره ALOS^۱ (لایه‌ی شیب، لایه‌ی جهت شیب، لایه‌ی خمیدگی، لایه‌ی جریان تجمعی و لایه‌ی ارتفاع) استفاده گردیده است. همچنین از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و شاخص پوشش گیاهی NDVI به‌عنوان لایه‌های کمکی استفاده گردیده. شکل ۳ مشتقات لایه‌ی رقومی ارتفاع به همراه تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 را نشان می‌دهد.

فرایند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل اجرا است که شامل سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد. به منظور سگمنت‌سازی در این پژوهش از روش سگمنت‌سازی چند تفکیکی^۴ استفاده شده است. این تکنیک فرایندی 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.



شکل (۳): مشتقات لایه‌ی رقمی ارتفاع (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای سنپتل-۲
Fig (3): Digital Elevation Layer (DEM) Derivatives and Sentinel-2 Satellite Images



ادامه‌ی شکل (۳): مشتقات لایه‌ی رقومی ارتفاع (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2
Con. Fig (3): Digital Elevation Layer (DEM) Derivatives and Sentinel-2 Satellite Images

۳-۱- سگمنت‌سازی

سگمنت‌سازی اولین و مهم‌ترین مرحله، در ریز طبقه‌بندی تصویر به واحدهای تصویری مجزا می‌باشد (هوانگ^۱ و نی^۲، ۲۰۰۸). سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آن‌ها است (فیضی‌زاده، ۱۳۸۶). تصاویر موضوعی در سنجش‌ازدور تصاویری هستند که اغلب همگن بوده و به‌وسیله‌ی سگمنت‌ها مشخص می‌شوند بنابراین تعداد عناصری که برای طبقه‌بندی تصویر نیاز است به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. در طول فرآیند سگمنت‌سازی، تمام تصویر سگمنت‌سازی شده و شیء‌های تصویری بر اساس معیار همگنی در رنگ و شکل تولید می‌شوند. تنظیم پارامتر مقیاس مستقیماً در میانگین اندازه‌ی شیء‌های تصویری تأثیر می‌گذارد و ارزش بزرگ اجازه ایجاد شیء‌های تصویری بزرگ را داده و برعکس با انتخاب عددی کوچک به‌عنوان مقیاس، سگمنت‌های کوچک‌تری تولید می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷).

۳-۲- انتخاب مقیاس بهینه برای انجام پردازش شیء‌گرا

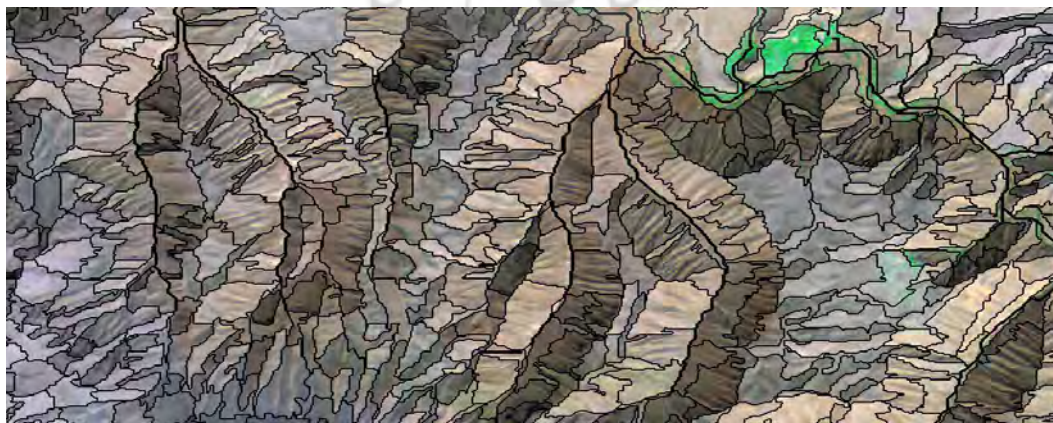
در تقسیم‌بندی eCognition با مقیاس، رنگ و شکل کنترل می‌شود (eCognition, 2012: 87). پارامتر مقیاس، تابعی از وضوح تصویر است و برای کنترل حداکثر ناهمگنی مجاز در اشیاء، با پارامتر مقیاس کمتر، به‌منظور

ایجاد تعداد بخش‌های بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشابه سایر مطالعات در مورد عوارض زمین مبتنی بر شیء با داده‌های سنجش‌ازدور اپتیکی، حداکثر وزنی را برای ناهمگنی طیفی در نظر گرفته شد، چون شکل و اندازه در ویژگی‌های طبیعی مانند اشکال زمین به خوبی متمایز هستند. بعد از اینکه لایه‌ها وارد نرم‌افزار شد در مرحله اول سگمنت سازی برای منطقه‌ی مورد مطالعه انجام گرفت. سگمنت‌سازی که در این منطقه صورت گرفت از روش multi resolution Segmentation انجام شد. در این سگمنت‌سازی به لایه‌ی ارتفاع، ارزش ۳ و به لایه‌ی خمیدگی ارزش ۲ و به بقیه‌ی لایه‌ها ارزش ۱ داده شد و در قسمت Composition of homogeneity criterion، به ۰/۷ Shape و ۰/۳ Compactness و پارامتر مقیاس ۵۰ در نظر گرفته شد (شکل ۴)، سپس هریک از لندفرم‌ها با الگوریتم و حد آستانه مناسب استخراج گردیدند (جدول ۱).

جدول ۱: نوع لندفرم، الگوریتم مناسب و حد آستانه‌ی استخراج آن

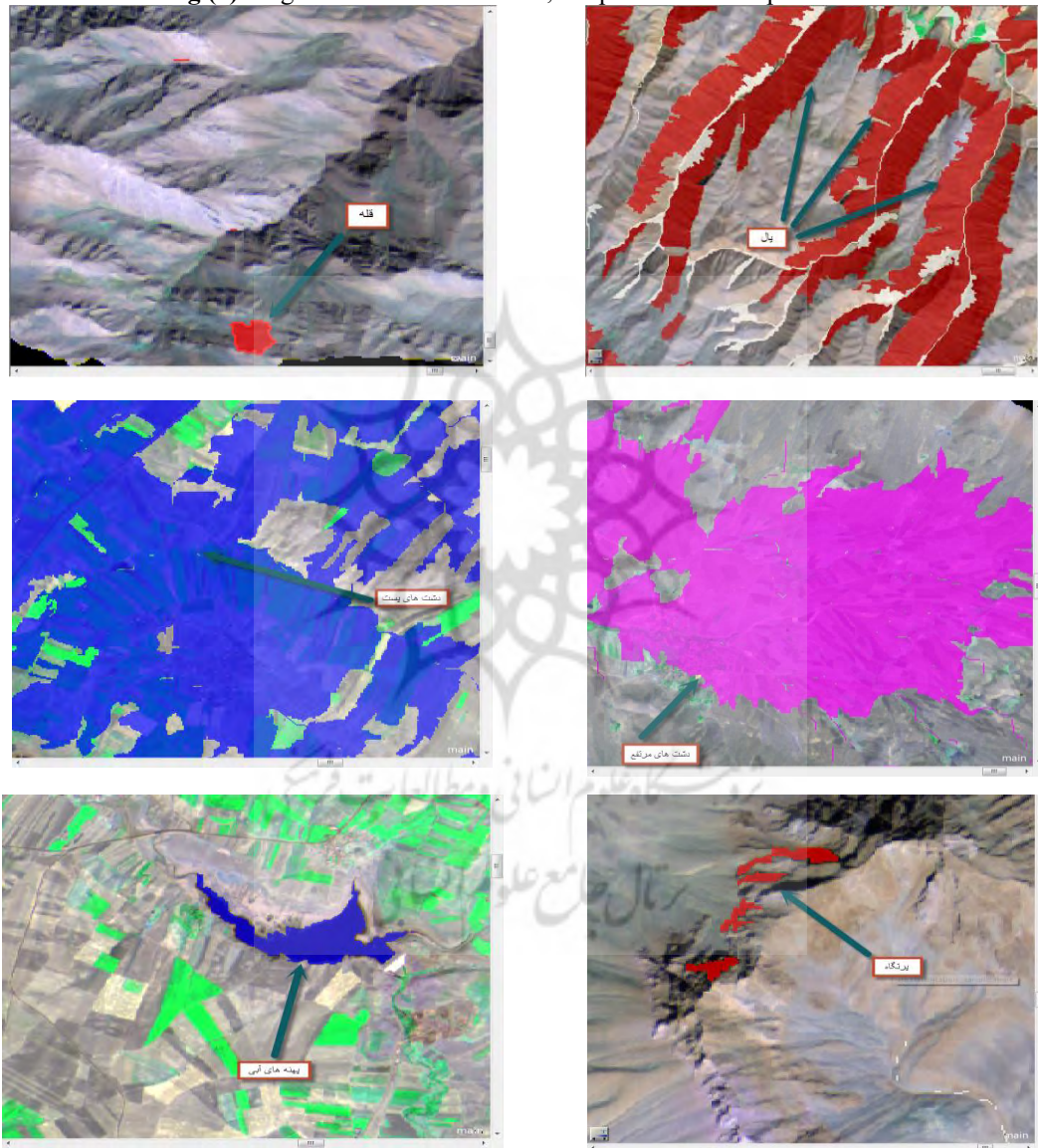
Table (1): Landform type, suitable algorithm and its extraction threshold

شیوه استخراج	نوع لندفرم
با استفاده از الگوریتم assign class و خمیدگی $> 0/5$	خط‌الرأس‌های جغرافیایی
با استفاده از الگوریتم assign class و لایه‌ی خمیدگی $< 0/5$	دامنه‌ها
با استفاده از الگوریتم assign class و ارتفاع < 3000 متر و Rectangular $< 0/9$	قله‌ها
با استفاده از الگوریتم assign class و ارتفاع < 3000 متر و شیب > 6 درجه	دشت‌های مرتفع
با استفاده از الگوریتم assign class و ارتفاعات > 1590 و شیب > 6 درجه	دشت‌های پست
با استفاده از الگوریتم assign class و شیب‌های < 45 درجه	پرتگاه‌ها
با استفاده از الگوریتم assign class و شاخص NDVI (پوشش گیاهی) استخراج‌شده از تصاویر Sentinel-2 و $> NDVI$	پهنه‌های آبی
با استفاده از الگوریتم assign class و جریان تجمعی > 10	یال‌ها

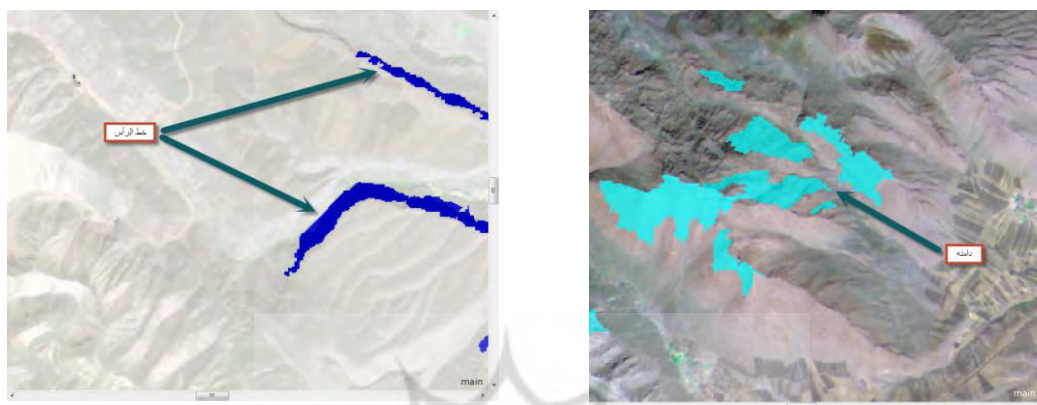


شکل (۴): سگمنت‌سازی با مقیاس ۵۰ و ۰/۷ Shape و ۰/۳ Compactness

Fig (4): Segmentation with 50 scale, Shape 0.7 and Compactness 0.3



شکل (۵): لندفرم‌های استخراج‌شده به‌وسیله‌ی مشتقات DEM و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2
 Fig (5): Landforms extracted by DEM derivatives and Sentinel-2 satellite imagery



ادامه‌ی شکل (۵): لندفرم‌های استخراج‌شده به‌وسیله مشتقات DEM و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2
Con. Fig (5): Landforms extracted by DEM derivatives and Sentinel-2 satellite imagery

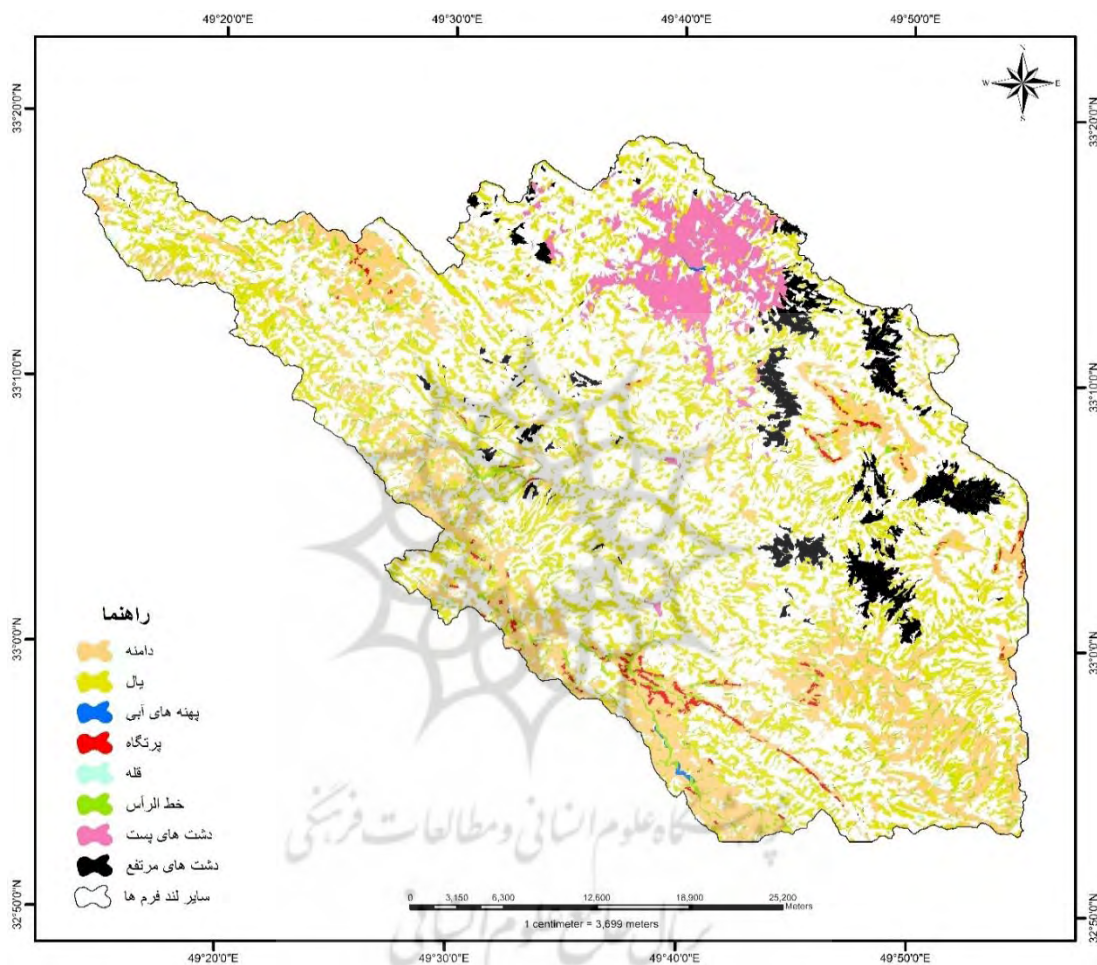
۴- بحث و یافته‌ها

در نهایت با توجه به شکل ۵ میزان مساحت مربوط به هر یک از لندفرم‌ها برحسب مترمربع در جدول ۲ مشخص شده است. پس از انجام طبقه‌بندی به روش شیء‌گرا تعداد ۸ لندفرم مطابق شکل ۶ استخراج گردید.

جدول (۲): مساحت هر یک از لندفرم‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

Table (2): Area of each landform in the study area

نوع لندفرم	مساحت هر لند فرم برحسب مترمربع	مساحت هر لند فرم برحسب درصد
۱ یال‌ها	۳۸۳۸۳۶۷۹۱	۲۲/۶۷
۲ پهنه‌های آبی	۲۱۱۴۵۳۱	۰/۱۲
۳ پرتگاه‌ها	۱۰۴۵۷۷۳۴	۰/۶۱
۴ قله‌ها	۱۱۰۱۰۹۳	۰/۰۶
۵ خط‌الرأس جغرافیایی	۵۹۳۹۳۰۷۵	۳/۵۰
۶ دشت‌های پست	۶۶۴۷۲۱۰۹	۳/۹۱
۷ دشت‌های مرتفع	۷۰۲۲۹۰۶۲	۴/۱۴
۸ دامنه‌ها	۲۳۰۰۶۵۱۵۶	۱۳/۵۶
۹ سایر لندفرم‌ها	۸۷۲۳۳۳۴۲۱	۵۱/۴۳
مجموع	۱۶۹۶۰۰۲۹۷۲	۱۰۰



شکل (۶): نقشه‌ی لندفرم‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (6): Map of landforms in the study area

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده است، هشت نوع لندفرم به نام‌های دامنه، یال، پهنه‌های آبی، پرتگاه، قله، خط‌الرأس، دشت‌های پست و دشت‌های مرتفع در منطقه شناسایی شد. لندفرم‌های یال بیشترین بخش منطقه را تشکیل داده و لندفرم‌های غالب منطقه محسوب می‌شوند و توزیع مناسبی در قسمت‌های مختلف دارد ولی لندفرم‌های قله با حداقل مساحت فقط بخش محدودی از منطقه‌ی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

۴-۱- ارزیابی صحت

هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است تکمیل نیست و برای کسب اطمینان از نسبت صحت تصویر طبقه‌بندی شده دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد (لیلسند^۱، ۲۰۰۱:۳۶). دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به تصویر طبقه‌بندی شده می‌باشد (اندرسون و همکاران، ۱۹۷۶). در طبقه‌بندی شیء‌گرا می‌توان با استفاده از دقت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا به ارزیابی دقت طبقه‌بندی پرداخت. ضریب کاپا تکنیک چندمتغیره گسسته‌ای است که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معنی‌داری با دیگری داشته باشد، در ارزیابی صحت برای تصمیم‌گیری‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد (رسولی، ۱۳۸۴:۷۸) نتیجه تحلیل کاپا شاخص KHAT یا K می‌باشد که شاخصی است برای اندازه‌گیری صحت طبقه‌بندی بر اساس تفاوت بین صحت واقعی در ماتریس خطا و تغییرهای صحت که به وسیله‌ی مجموع سطر و ستون نشان داده شده است. شاخص K در واقع شاخص معرف اختلاف بین توافق واقعی در داده‌های مرجع و یک طبقه‌بندی‌کننده‌ی خودکار و توافق احتمالی بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی‌کننده‌ی تصادفی است.

دقت کلی طبقه‌بندی بر اساس ماتریس خطا برآورد می‌شود، ماتریس خطا ماتریسی مربعی می‌باشد که تعداد سطر و ستون آن‌ها مساوی با تعداد رده‌هایی است که دقت طبقه‌بندی آن‌ها بررسی شده است. در این نوع ماتریس پیکسل‌های واقع بر روی قطر اصلی، آن دسته از پیکسل‌هایی هستند که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و پیکسل‌هایی که خارج از قطر اصلی ماتریس هستند، به درستی طبقه‌بندی نشده‌اند. دقت کلی طبقه‌بندی عبارت است از نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده. پس از انجام طبقه‌بندی شیء‌گرا در محیط نرم‌افزار eCognition برای ارزیابی صحت هر کدام از طبقه‌بندی‌ها با استفاده از دستگاه GPS به صورت تصادفی اقدام به جمع‌آوری نقاط حقایق زمینی شده و با پیاده‌سازی نقاط کنترل برداشت شده پارامترهای آماری ارزیابی دقت شامل ضریب کاپا و دقت کلی نقشه استخراج شد که در جدول ۳ آورده شده است. ضریب کاپا که دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی تصادفی مورد ارزیابی قرار می‌دهد، بین صفر و یک قرار دارد که صفر نشانگر طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و یک نشانگر طبقه‌بندی کاملاً صحیح است (لیلسند، ۲۰۰۱:۲۰۵).

جدول (۳): نتایج ارزیابی صحت روش طبقه‌بندی شیء‌گرا

Table (3): Results of evaluating the accuracy of the object-oriented classification method

	خط الرأس جغرافیایی	قله	دشت‌های مرتفع	دشت‌های پست	پرتگاه‌ها	پهنه‌های آبی	یال‌ها	دامنه‌ها	جمع
خط الرأس جغرافیایی	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶
قله	۰	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶
دشت‌های مرتفع	۰	۰	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۹
دشت‌های پست	۰	۰	۰	۶	۰	۳	۰	۰	۹
پرتگاه‌ها	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۴
پهنه‌های آبی	۰	۰	۰	۰	۰	۶	۰	۰	۶
یال‌ها	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶	۰	۶
دامنه‌ها	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸	۸
طبقه‌بندی نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جمع	۶	۶	۹	۶	۴	۹	۶	۸	
دقت									
producer	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۱۶۶۶۶۶۶۷	۱	۱	
User	۱	۱	۱	۰.۱۶۶۶۶۶۶۷	۱	۱	۱	۱	
Hellden	۱	۱	۱	۰.۱۸	۱	۰.۱۸	۱	۱	
Short	۱	۱	۱	۰.۱۶۶۶۶۶۶۷	۱	۰.۱۶۶۶۶۶۶۷	۱	۱	
KIA Per Class	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۱۶۲۵	۱	۱	
جمع کل									
دقت کلی - درصد						۹۱/۷۱			
ضریب کاپا						۰/۸۷			

۵- نتیجه‌گیری

در حال حاضر مطالعات برای برنامه‌ریزی روی لندفرم‌ها، چشم‌اندازها و کاربری اراضی در کلیه سطوح ملی، منطقه‌ای، ناحیه‌ای و محلی یکی از اهرم‌های توسعه پایدار محسوب می‌شود. با توجه به این ملاحظات لندفرم و اشکال سطح زمین و تهیه نقشه آن را می‌توان به‌عنوان زیربنای مطالعات برنامه‌ریزی سرزمین محسوب کرد. نقشه‌برداری دیجیتال شکل زمین را می‌توان در موارد مختلف انجام داد. داده‌های نوری مانند تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی اغلب حاوی مقادیر متغیر (طیفی) برای موارد مختلف است. صحنه‌ها به دلیل تفاوت در وضعیت نور و در نتیجه، تفاوت‌های بزرگ‌تر یا کوچک‌تر در تضادها، با چنین تغییراتی DEM ها کمتر تحت تأثیر

قرار می‌گیرند و بنابراین در سراسر صحنه‌ها (حداقل برای وضوح‌های فضایی مشابه) قابل‌مقایسه هستند. این ویژگی ممکن است برای توسعه راه‌حلی برای تقاضای موجود مفید باشد. در این پژوهش ما سعی کردیم با استفاده از یک روش نیمه اتوماتیک و داده‌های زمینی لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه را شناسایی کنیم. مسئله اساسی که در استخراج لندفرم‌ها باید مدنظر قرارداد شناخت مورفومتری آن‌ها، تعریف این مشخصه در نرم‌افزار و به دست آوردن مقیاس بهینه برای سگمنت‌سازی است. در واقع تجربه و تخصص کاربر در این روش به‌عنوان روشی نیمه اتوماتیک بسیار حائز اهمیت است. داشتن مدل رقومی با قدرت تفکیک مکانی بالا همچون ۱۲/۵ متر قابلیت استخراج لندفرم‌ها را بسیار بهبود بخشید و امکان تعیین حدود و مرزبندی لندفرم‌ها با دقت بالایی صورت پذیرفت. مقایسه نتایج بدست آمده و تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با قدرت تفکیک ۱۰ متر و تصاویر Google earth نشان می‌دهد تا درجه زیادی استفاده از الگوریتم‌های Layer Values و Geometry و دستورات assign class در نرم‌افزار eCognition توانسته اهداف موردنظر در پژوهش را برآورد سازد. در این پژوهش با رویکردی نیمه اتوماتیک و با استفاده از پردازش شیء‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 لندفرم‌های حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی دز واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (محدوده‌ی شهرستان الیگودرز) استخراج شدند. هشت نوع لندفرم به نام‌های دامنه، یال، پهنه‌های آبی، پرتگاه، قله، خط‌الرأس، دشت‌های پست و دشت‌های مرتفع در منطقه شناسایی شد. لندفرم‌های یال بیشترین بخش منطقه را تشکیل داده و لندفرم‌های غالب منطقه محسوب می‌شوند و توزیع مناسبی در قسمت‌های مختلف دارد، ولی لندفرم‌های قله با حداقل مساحت فقط بخش محدودی از منطقه‌ی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند و نتیجه کار به‌صورت نقشه‌ای که موقعیت لندفرم‌های منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد ارائه شد (شکل ۶). همچنین برای کسب اطمینان از نسبت صحت تصویر طبقه‌بندی شده دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد که در این پژوهش ارزیابی دقت طبقه‌بندی شامل ضریب کاپا ۰/۸۷ و دقت کلی نقشه ۹۱/۷۱ درصد استخراج شد.

۶-منابع

- Anderson, J.R. Hardy, E.E. Roach, J.T. Witmer, R.E. (1976). A Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, United States Government Printing Office, Washington.
- Band, L. Tague, C. Brun, S. Tenenbaum, D. Fernandes, R. 2000. Modelling watersheds as spatial object hierarchies: structure and dynamics. *Trans. GIS* 4, 181–196.
- Bishop, MP. & Shroder, JF. (2000). Remote sensing and geomorphometric assessment of topographic complexity and erosion dynamics in the Nanga Parbat massif. *Geological Society London*, Special Publication, 170: 181-199.
- Blaschke T & Strobl J 2001. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GIS – Zeitschrift für Geoinformations systeme* 6:12-17.
- Cheng, Y & Xu, Y. Zhu, H. Hu, C. Liu, H. (2021). Deep learning of DEM image texture for landform classification in the Shandong area, China. *Frontiers of Earth Science*, 1-16.
- Drăguț, L. Blaschke, T. (2006). Automated classification of landform elements using object based image analysis. *Geomorphology* 81, 330–344.
- Drăguț, L. Clemens Eisank (2011). Automated object-based classification of topography from SRTM data, *Geomorphology* 141-142(2012)21–33.
- 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.
- Eisank, C. Drăguț, L. Götz, J. and Blaschke, T. (2010). Developing a semantic model of glacial landforms for object-based terrain classification - the example of glacial cirques. In: Addink, E.A. and F.M.B. Van Coillie (Eds.) GEOBIA 2010-Geographic Object-Based Image Analysis. Ghent University, Ghent, Belgium, 29 June – 2 July. ISPRS Vol. No. XXXVIII-4/C7, Archives ISSN No 1682-1777.
- Eisank, C. Smith, M. Hillier, J. (2014). Assessment of multiresolution segmentation for delimiting drumlins in digital, *Geomorphology*, GEOMOR-04677; No of Pages 13
- Etzelmüller, 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,
- Feizizadeh, Bakhtiar (2007). Comparison of basic and object-oriented pixel methods in the preparation of land use maps, Master Thesis, University of Tabriz, Faculty of Humanities and Social Sciences.
- Feizizadeh, Bakhtiar, Jafari, Firooz, Nazmfar, Hossein (2008). The use of remote sensing data in detecting changes in urban land uses Case study of green space in Tabriz, *Journal of Fine Arts*, No. 34.

- Fisher, P. Wood, J. and Cheng, T. (2004). Where is Helvellyn Fuzziness of multi-scale land scape morphometry, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 29(1), pp.106-128.
- Giles, P.T. Franklin, S.E. (1998). An automated approach to the classification of the slope units using digital data. *Geomorphology* 21, 251–264.
- Huang, L. Ni, L. (2008). Object-oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy, *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Shanghai, P. R. China, pp 211-218.
- Huggett RJ (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge, London, UK.448p.
- Janowski, L. Tylmann, K. Trzcinska, K. Rudowski, S. & Tegowski, J. (2021). Exploration of glacial landforms by object-based image analysis and spectral parameters of digital elevation model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- Kassouk, C. & Willhauck, 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.
- Lillesand, T. Kiefer, R.W. Chipman, J. (2001). *Remote sensing and image interpretation*, 6th Edition, Wiley Publication, Washington.
- MacMillan, R.A. Jones, R.K. McNabb, D.H. (2004). Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modeling using digital elevation models (DEMs). *Comput. Environ. Urban. Syst.* 28, 175–200.
- Makram, Marzieh, Neghaban, Saeed (2014). Classification of Land Forms Using Topographic Position Index (TPI) Case Study: Southern Region of Darab County, *Geographical Information Winter* 2014, 23(92): 57-65.
- Matsuura, T. Aniya, M. (2012). Automated segmentation of hillslope profiles across ridges and valleys using a digital elevation model. *Geomorphology* 177 (178): 167–177.
- Miliareisis, G.C. (2001). Extraction of bajadas from digital elevation models and satellite imagery. *Comput. Geosci.* 27, 1157–1167.
- Pedersen, G.B.M. (2016). Semi-automatic classification of glaciovolcanic landforms: An object-based mapping approach based on geomorphometry, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 311(1): 29–40, February 2016.
- Poor Baqer Kurdi, Qanavati, Karam, Saffari; Seyed Mehdi, Ezatollah, Amir, Amir (2015). Application of spectral image segmentation methods in the identification and separation of alluvial fans of Yazd-Ardakan basin, *Journal of Natural Geography Research*, 47(3): 383-367, Fall 2015.
- Rajabi, Masoumeh, Bayati, Maryam (2008). Landform study of glacial valleys, Case study: Sahand mountain glacial valleys, *Geographical research: Summer* 2008, 4(6)4: 105-121.

- Rasouli, Ali Akbar (2005). *An Analysis of GIS Technology*, First Edition, Tabriz: Tabriz University Press.
- Rasouli, Ali Akbar (2008). *Principles of Applied Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing*, University of Tabriz, Faculty of Humanities and Social Sciences.
- Siavash, Shayan, Mojtaba, Yamani, Manouchehr Farajzadeh, Ali Ahmadabadi (2012). Supervised Classification of Geomorphological Landforms of Dry Areas Using Geomorphometric Parameters (Case Study: Maranjab Region), *Quarterly Journal of Surveillance and GIS*, Fourth Year, No. 14: 19-28.
- Van A, S. Seijmonsbergen, A.C. (2006). Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. *Geomorphology* 78, 309–320.
- Vaz, D.A. Sarmento, P.T.K, Barata, M.T. Fenton, L.K. Michaels, T.I. (2015). Objectbased. Dune Analysis: Automated dune mapping and pattern characterization for Ganges Chasma and Gale crater, Mars, *Geomorphology*, Volume 250, 1 December 2015, Pages 128–139.
- Wilson, JP. And Gallant, JC. (2000). *Terrain analysis principles and applications*. ISBN 0-471-32188-5, John Wiley and Sons, Inc.