



شناسایی نیمه‌خودکار لندفرم‌ها با استفاده از پردازش شیء‌گرا، مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره‌ای مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی 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 مکانی‌زمانی مختلف عمل می‌کنند و شکل‌های زمینی را تولید می‌کنند که در یک سلسله‌مراتب تودرتو ساختاریافته‌اند. شیوه‌ی استخراج نیمه‌خودکار انواع لندفرم‌های منتخب از مدل‌های رقومی ارتفاعی 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 روشنی زمانی، پرهزینه، کم‌دقت و تکرار نشدنی است. در این پژوهش از ۵ مشتق اصلی DEM ۱۲/۵ متری ماهواره ALOS (لایه‌ی شبی، لایه‌ی خمیدگی، لایه‌ی جریان تجمعی و لایه‌ی ارتفاع) و همچنین از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و شاخص پوشش گیاهی NDVI به عنوان 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 دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (محروم‌های شهرستان الیگودرز) اقدام شده است. نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های assign class و Geometry و Layer Values با استفاده از الگوریتم‌های Compactness و Shape Composition of homogeneity criterion و در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از الگوریتم‌های assign class و Layer Values و دستورات Geometry و دستورات Layer Values و دستورات assign class به طبقه‌بندی لندفرم‌های واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (دامنه، یال، پهنه‌های آبی، پرتگاه، قله، خط‌الرأس، دشت‌های پست و دشت‌های مرتفع) با ضریب کاپا ۰/۸۷ و دقต 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 مطالعه را تشکیل داده است.

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

۱- مقدمه

ژئومورفولوژی علمی است که چگونگی شکل‌گیری اشکال زمین (لندرم) را بررسی می‌کند (هوگت^۱، ۲۰۰۷: ۱۴۸). زمین به عنوان بخشی از سطح تماس، حیطه‌ی اصلی مطالعات ژئومورفولوژی است و بدیهی است که شناخت و بررسی دقیق آن، در تحلیل و مدل‌سازی لندرم‌ها و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی نقش بسزایی دارد (پورباقر و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۷۰). لندرم‌ها 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 اتلزملو^۳، ۲۰۰۰: ۳۶). شکل زمین همچون لندرم‌ها، 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 لندرم‌ها و موقعیت نسبی آن‌ها در میان چشم‌اندازها متأثر هستند (بلاشکه^۴ و استروبیل^۵: ۲۰۰۱: ۱۳). شناسایی و طبقه‌بندی لندرم‌ها از مهم‌ترین اهداف و از کارهای پایه‌ای در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی به شمار می‌رود (شايان و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۱). شناسایی لندرم‌ها و طبقه‌بندی زمین بر اساس آن‌ها در علوم مختلف قابل استفاده 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 به منظور تجزیه و تحلیل توپوگرافی و شکل اراضی قابل استفاده است (بی‌شاب^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 لندرم‌ها استفاده کرد. ویژگی‌های به ویژگی‌های اولیه زمین از قبیل شبیه، ارتفاع، انحنای مماس، انحنای سطح شاخص و... بستگی دارد (ویلسون^۸ و گالانت^۹: ۷۵). از این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی لندرم‌ها می‌توان استفاده نمود.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای شاید به عنوان اصلی‌ترین مرحله‌ی پردازش تصاویر محسوب می‌گردد که از طریق امکان تبدیل فضای تصویر (بازتاب‌های ثبت شده 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 نظریه‌بافت، الگو و شکل عوارض (روش شیء‌گرا) انجام می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). استخراج نیمه‌اتوماتیک لندرم‌ها با استفاده از انواع

1-Hugget

6-Bishop

2-Sulebak

7-Shroder

3-Etzelmul

8-Wilson

4-Blaschke

9-Gallant

5-Strobl

مدل‌های سطح زمین همچون، مدل رقومی ارتفاع زمین^۱ شیب و انحنای^۲ از مطالعات ویژه در ژئومورفولوژی، هیدرولوژی 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: گیلس و فرانکلین^۸، ۱۹۹۸، ماتسورا و آنیا^۹، ۲۰۱۲) یا شبکه‌های هیدرولوژیکی (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 سیجمونسرگن^{۱۵}، ۲۰۰۶) که از تحلیلهای شی‌گرا 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 به صرف زمان کم و دقیقی که دارند کار جذابی است (ایسانک^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۰). در رابطه با طبقه‌بندی و شناسایی لندفرم‌ها کارهای مختلفی انجام شده که به برخی از آن‌ها در زیر اشاره شده است. رجی 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 درواقع دره‌های 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 منجاب ارزیابی شد، نتایج طبقه‌بندی نشان داد سطوح دشتی و صاف با ۴۹/۸ درصد بیشترین سطح را به خود اختصاص داده و خط الرأس و دره‌ها در ردۀ بعدی قرار دارند. مکرم و نگهبان (۱۳۹۳)، لندفرم‌های منطقه منجاب را طبقه‌بندی کردند نتیجه پژوهش آن‌ها به صورت نقشه لندفرم‌های منطقه در ۱۰ طبقه ارائه شد. بر

1-Digital elevation model

2-slope and curve

3-Eisank

4-Draguť

5-Fisher

6-Wood

7-Cheng

8-Giles and Franklin

9-Matsuura and Aniya

10-Band

11-MacMillan

12-Miliaresis

13-multiresolution segmentation

14-Drăguť and Blaschke

15-Van Asselen and Seijmonsbergen

16-Eisank

17-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 پرداختند. نتایج به دست آمده از پژوهش شباهت زیادی با الگوهای طبقه‌بندی موجود سراسری و منطقه‌ای داشتند. ستوباتی^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی لندفرم‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ی رودخانه پوناییار^۳ را مورد مطالعه قراردادند. در این پژوهش آن‌ها از تکنیک‌های سنجش‌ازدوری و GIS استفاده کرده و درنهایت نقشه هیدرولوژیومورفولوژی منطقه را تهیه کردند. کاسوک^۴ و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی به طبقه‌بندی شیءگرا از تصاویر ماهواره‌ای اسپات^۵ به جهت نقشه‌کشی زمین‌شناسی و لندفرم‌های آتش‌فشان‌های فعال سیمیرو در اندونزی پرداختند. نتایج به دست آمده از پژوهش الگوی با جزئیات زیاد زمین‌شناسی و اشکال ژئومورفیک منطقه آتش‌فشانی به دست آورد در حالی که در نقشه‌های قدیمی موجود تنها ۱۱ واحد تعیین شده بودند. واز^۶ و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی شنزارهای موجود در دو منطقه‌ی مریخ را مورد مطالعه قرار داده و به صورت اتوماتیک با استفاده از روش‌های شیءگرا نقشه‌های مربوط به آن‌ها را تهیه کردند. پدرسن^۷ (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 داد و نقشه‌ی آن را تهیه کرد. یانوفسکی^۸ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با عنوان اکتشاف اشکال سرزمینی یخ‌بندان به روش شیء محور و تجزیه و تحلیل تصویر و پارامترهای طیفی از مدل رقومی ارتفاع به این نتیجه رسیدند که مدل‌های طبقه‌بندی به دست آمده تا ۹۶ درصد دقیق‌تر که مدل 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 به طور سیستماتیک مورد تجزیه و تحلیل 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 دقیق‌تر کاپا بهبود یافت.

1-Lucian and Clemens

6-spot satellite

2-Shuttle Radar Topography Mission

7-Vaz

3-Sethupathi

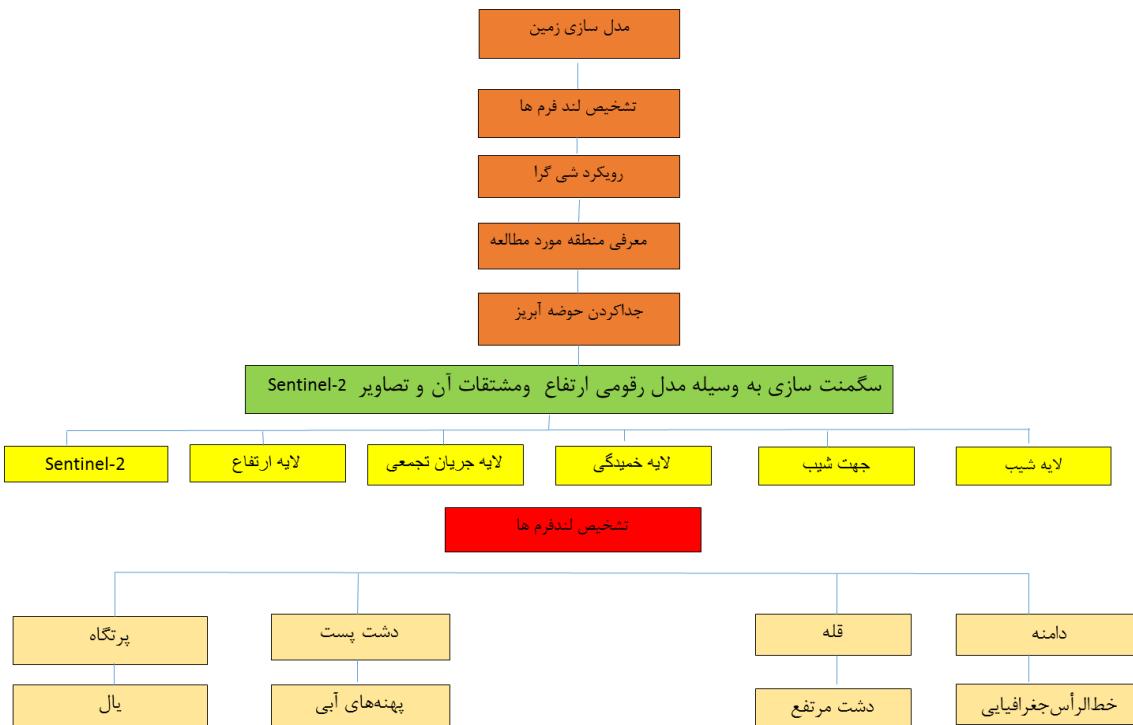
8-Pedersen

4-Ponnaiyar

9-Janowski

5-Kassouk

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 نیمه‌خودکار در شناسایی لندفرم‌ها می‌تواند روش مناسبی جهت پیمایش آن‌ها باشد. در همین راستا برای شناسایی لندفرم‌ها از روش^۱ MRS با استفاده از الگوریتم‌های assign class و Layer Values و دستورات eCognition در نرم‌افزار assign class استفاده گردیده است که به صورت شماتیک مراحل آن در شکل ۱ نمایش داده شده است.

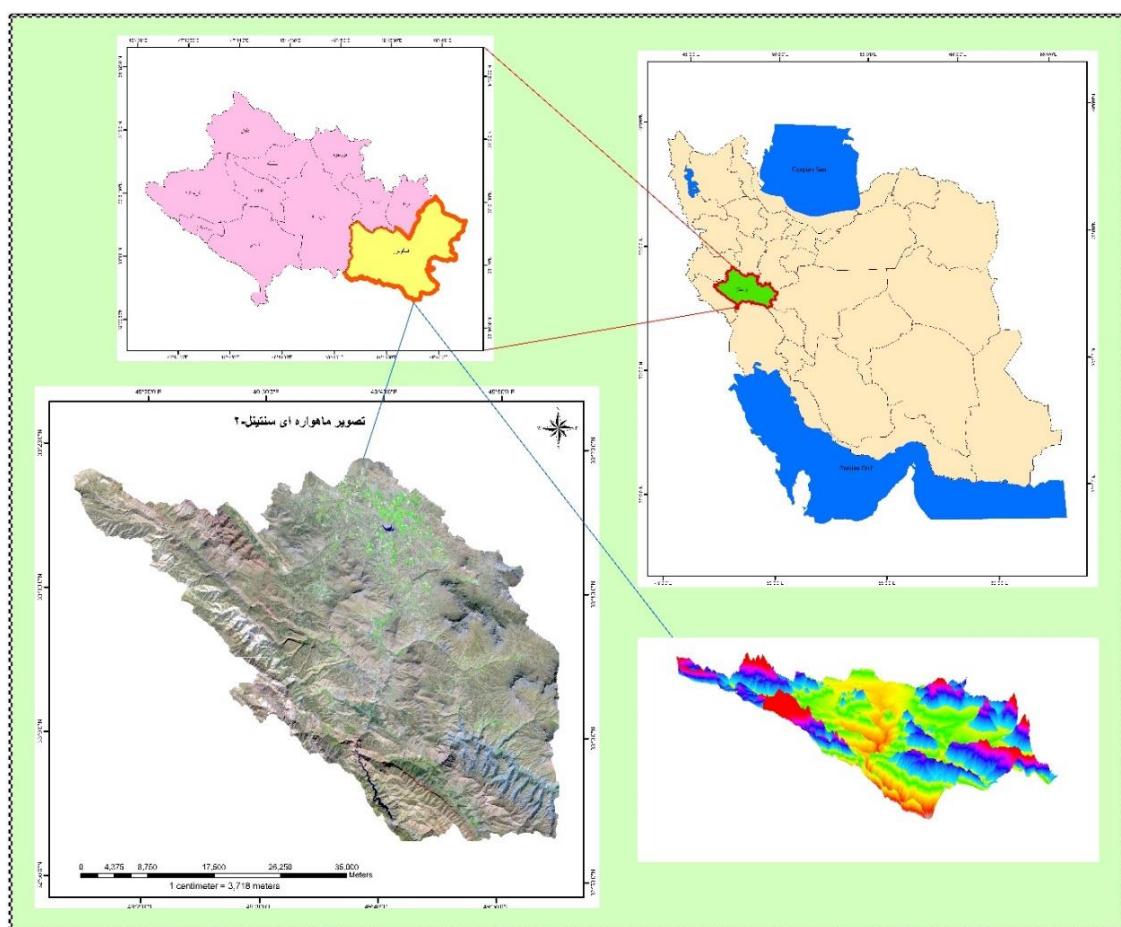


شکل ۱: فلوچارت مراحل مدل‌سازی تشخیص لندفرم‌ها
Fig (1): Flowchart of landform diagnostic modeling steps

۲- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

واحد هیدرولوژیک حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی دز به عنوان یک حوضه‌ی درجه ۳، زیرمجموعه‌های از حوضه‌ی کارون بزرگ محسوب می‌شود. از شهرهای مهم موجود در این حوضه می‌توان به الیگودرز، درود، ازنا، درفول، 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 می‌رond، 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.



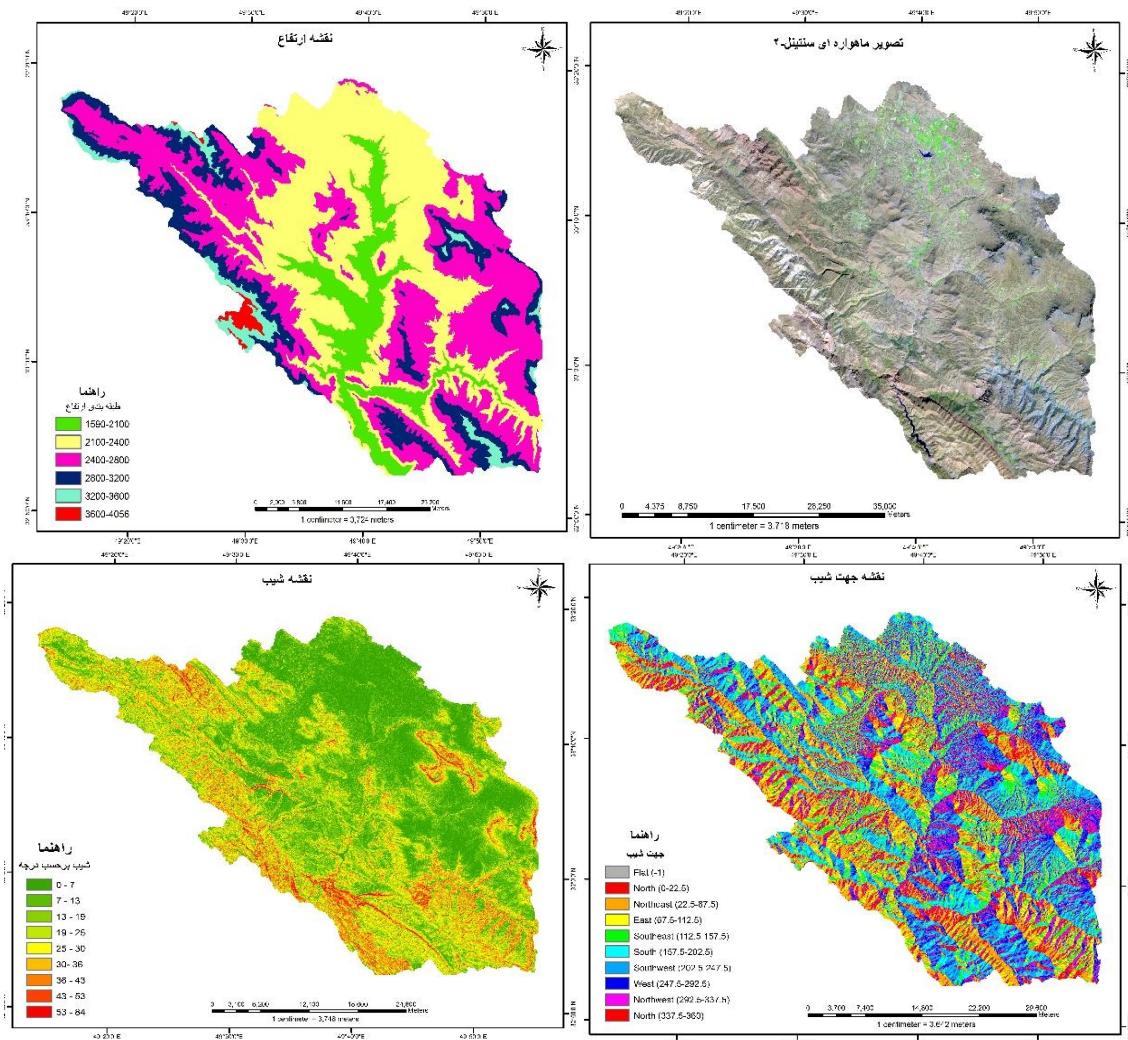
شکل (۲): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه
Fig (2): Geographical location of the study area

۳-مواد و روش

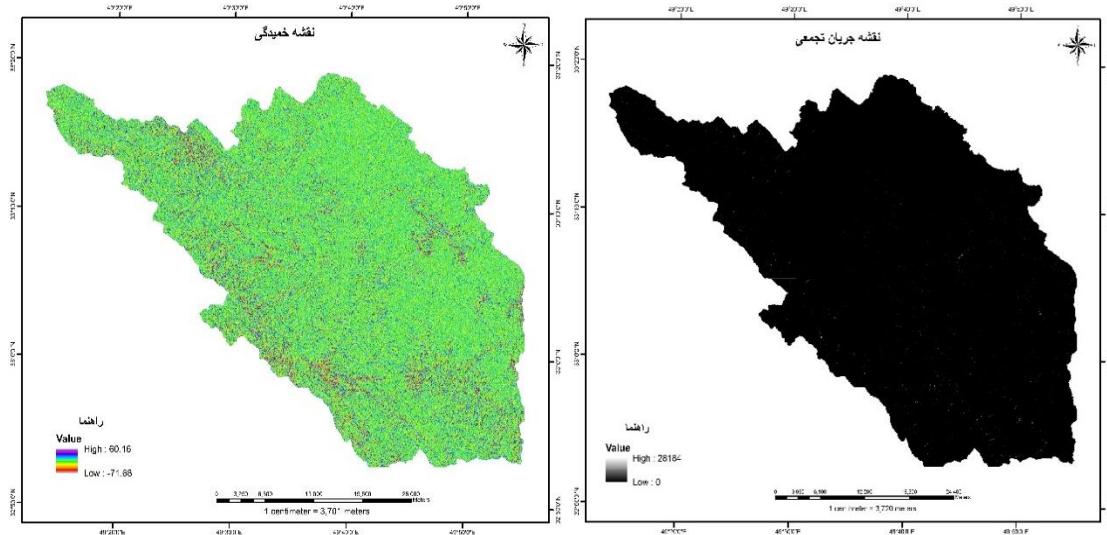
در این مطالعه به منظور شناسایی و استخراج دقیق لندفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از تصاویر-Sentinel 2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر همراه با مشتقات لایه DEM (لایه‌ی شیب، لایه‌ی جهت شیب، لایه‌ی خمیدگی، لایه‌ی جریان تجمعی و لایه‌ی ارتفاع) و همچنین سگمنت سازی که در این منطقه صورت گرفت با استفاده از روش 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 Shape، Composition of homogeneity criterion به ۷/۰ و ۳/۰ Compactness و پارامتر مقیاس ۵۰ در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از الگوریتم‌های Layer assign class و Geometry، Values به طبقه‌بندی لندفرم‌های واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (حدوده‌ی شهرستان الیگودرز) اقدام شده است. همچنین الگوریتم‌هایی که بیشترین درجه عضویت را در طبقه‌بندی و استخراج عوارض زمین داشتند به عنوان عوامل مؤثر در طبقه‌بندی مدنظر قرار داده شدند.

با توجه به اینکه داده‌های ورودی در نرم‌افزار eCognition مشتقات DEM هستند، در این بخش توضیح مختصراً 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 به عنوان 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 رقومی ارتفاع (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2
 Fig (3): Digital Elevation Layer (DEM) Derivatives and Sentinel-2 Satellite Images



ادامه 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

۱-۳-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 سنجش از دور تصاویری هستند که اغلب همگن بوده و به وسیله‌ی سگمنت‌ها مشخص می‌شوند بنابراین تعداد عناصری که برای طبقه‌بندی تصویر نیاز است به طور قابل توجهی کاهش می‌باید. 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 بر عکس با انتخاب عددی کوچک به عنوان مقیاس، سگمنت‌های کوچک‌تری تولید می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷).

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، به منظور

ایجاد تعداد بخش‌های بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشابه سایر مطالعات در مورد عوارض زمین مبتنی بر شیء با داده‌های سنجش از دور 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. بعدازاینکه 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 لایه خمیدگی ارزش ۲ و به بقیه‌ی لایه‌ها ارزش ۱ داده شد و در قسمت Composition of homogeneity criterion، به $0/3$ و $0/7$ Shape criterion، به $0/0$ و $0/0$ Compactness مقياس ۵۰ در نظر گرفته شد (شکل ۴)، سپس هریک از لندرم‌ها با الگوریتم و حد آستانه مناسب استخراج گردیدند (جدول ۱).

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

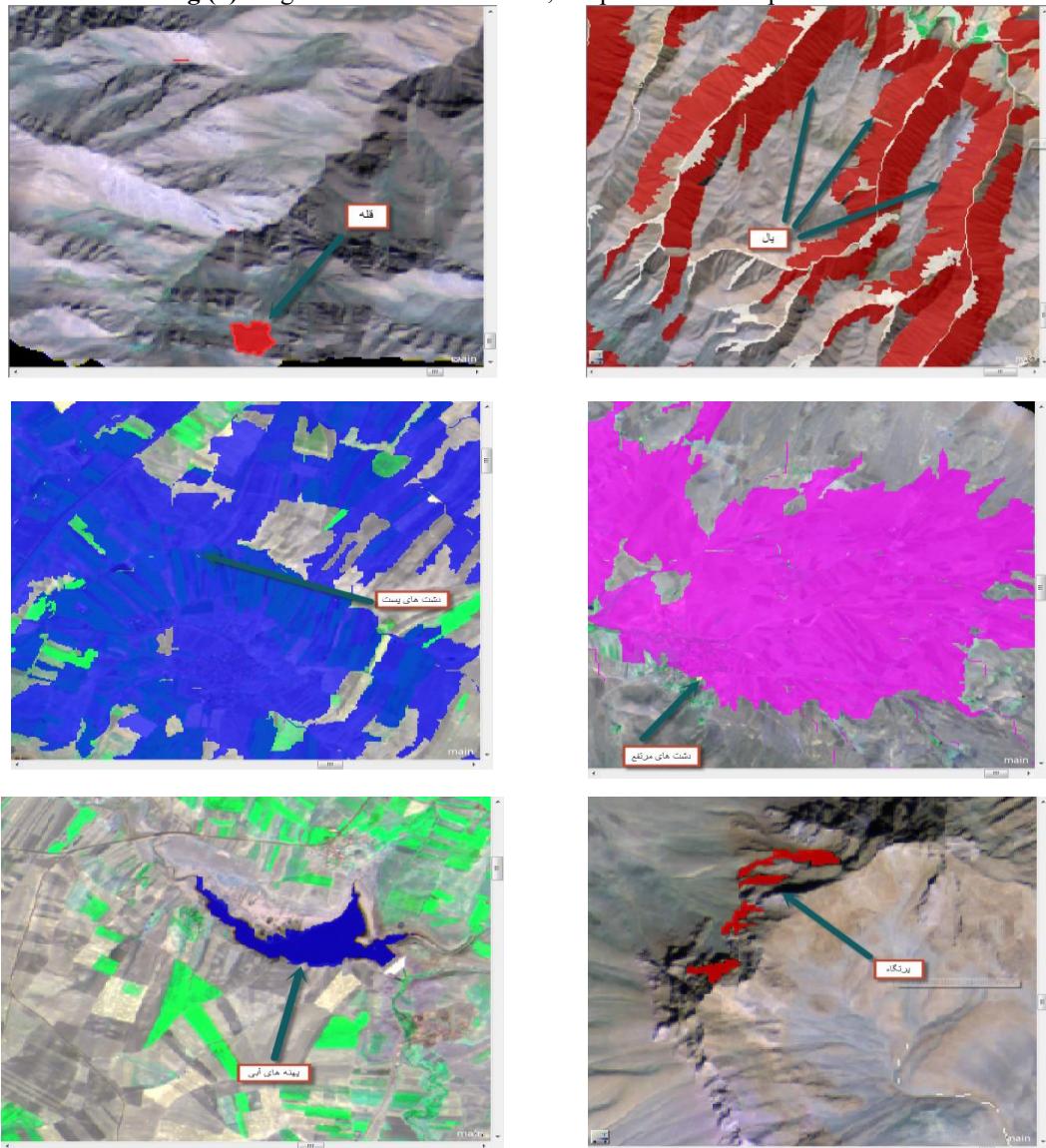
Table (1): Landform type, suitable algorithm and its extraction threshold

| نوع لندرم | شیوه استخراج | |
|----------------------|--|--|
| خطالأس‌های جغرافیایی | با استفاده از الگوریتم assign class و خمیدگی $< -0/5$ | |
| دامنه‌ها | با استفاده از الگوریتم assign class و لایه‌ی خمیدگی $< -0/5$ | |
| قلله‌ها | با استفاده از الگوریتم assign class و ارتفاع < 3000 متر و Rectangular | |
| دشت‌های مرتفع | با استفاده از الگوریتم assign class و ارتفاع > 3000 متر و شیب > 6 درجه | |
| دشت‌های پست | با استفاده از الگوریتم assign class و ارتفاع < 1590 و شیب > 3000 و شیب > 6 درجه | |
| پرتوگاه‌ها | با استفاده از الگوریتم assign class و شیب‌های < 45 درجه | |
| پهنه‌های آبی | با استفاده از الگوریتم assign class و شاخص NDVI (پوشش گیاهی) استخراج شده از تصاویر Sentinel-2 و $> NDVI$ | |
| بال‌ها | با استفاده از الگوریتم assign class و جریان تجمعی > 10 | |



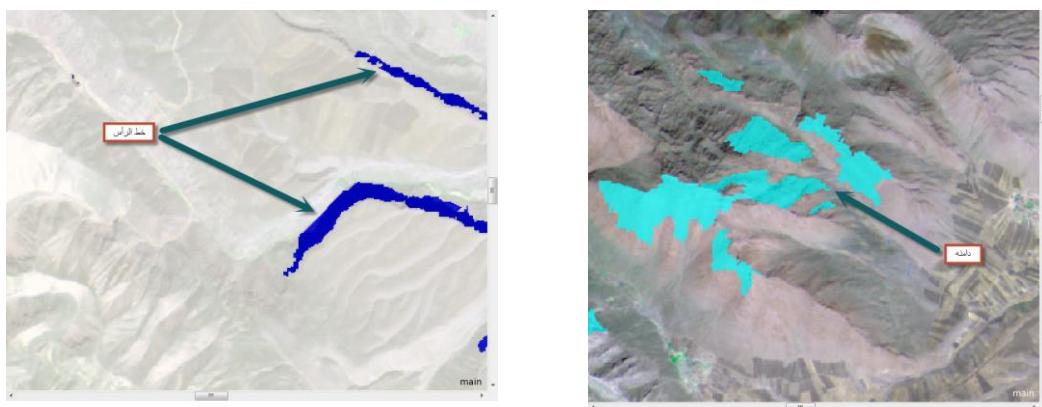
شکل (۴): سگمنت‌سازی با مقياس ۵۰ و $0/7$ Shape و $0/0$ و $0/3$ Compactness

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



شکل (۵): لندفرم‌های استخراج شده به وسیلهٔ مشتقات DEM و تصاویر ماهواره‌ای 2

Fig (5): Landforms extracted by DEM derivatives and Sentinel-2 satellite imagery



ادامه‌ی شکل (۵): لندفرم‌های استخراج شده به وسیله مشتقات DEM و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2

Con. Fig (5): Landforms extracted by DEM derivatives and Sentinel-2 satellite imagery

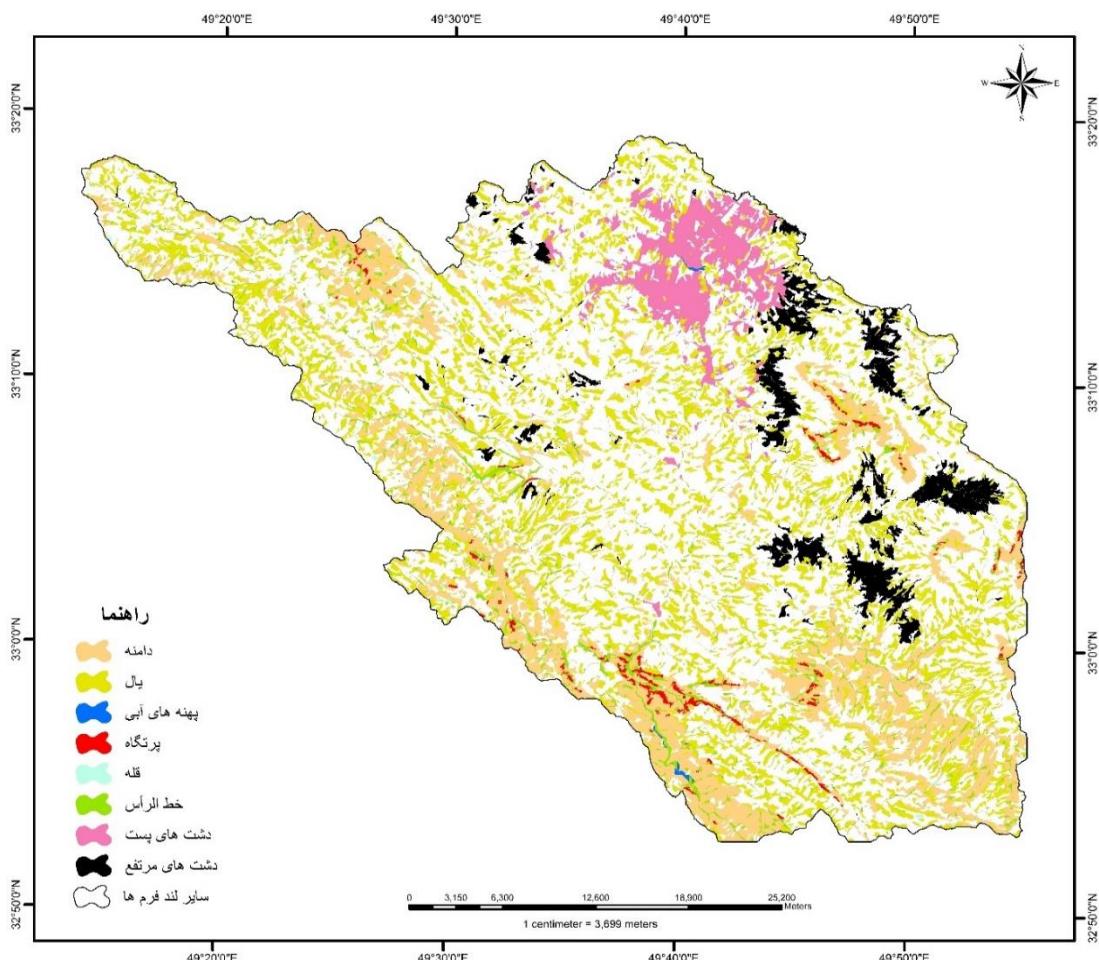
۴- بحث و یافته‌ها

در نهایت با توجه به شکل ۵ میزان مساحت مربوط به هر یک از لندفرم‌ها بر حسب 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 بر حسب مترمربع درصد | مساحت هر لند فرم بر حسب مترمربع | مساحت هر یک از لندفرم‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| ۱ | ۰/۶۷ | ۳۸۳۸۳۶۷۹۱ | خط ارتفاع |
| ۲ | ۰/۱۲ | ۲۱۱۴۵۳۱ | پهنه‌های آبی |
| ۳ | ۰/۶۱ | ۱۰۴۵۷۷۳۴ | پرتگاه‌ها |
| ۴ | ۰/۰۶ | ۱۱۰۱۰۹۳ | قلوه‌ها |
| ۵ | ۳/۵۰ | ۵۹۳۹۳۰۷۵ | خط ارأس جغرافیایی |
| ۶ | ۳/۹۱ | ۶۶۴۷۲۱۰۹ | دشت‌های پست |
| ۷ | ۴/۱۴ | ۷۰۲۲۹۰۶۲ | دشت‌های مرتفع |
| ۸ | ۱۳/۵۶ | ۲۳۰۰۶۵۱۵۶ | دامنه‌ها |
| ۹ | ۵۱/۴۳ | ۸۷۲۳۳۳۴۲۱ | سایر لندفرم‌ها |
| مجموع | | | ۱۶۹۶۰۰۲۹۷۲ |
| ۱۰۰ | | | |



شکل (۶): نقشه‌ی لندفرم‌های منطقه‌ی موردمطالعه

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، خط الرأس، 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 موردمطالعه 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، 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 خط تفاوت معنی‌داری با دیگری داشته باشد، در ارزیابی صحت برای تصمیم‌گیری‌های آماری مورداستفاده 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 خط و تغییرهای صحت که به وسیله‌ی مجموع سطر و ستون نشان داده شده است. شاخص K درواقع شاخص معرف اختلاف بین توافق واقعی در داده‌های مرجع و یک طبقه‌بندی کننده‌ی خودکار و توافق احتمالی بین داده‌های مرجع و طبقه‌بندی کننده‌ی تصادفی است.

دقت کلی طبقه‌بندی بر اساس ماتریس خطاب راورد می‌شود، ماتریس خطاب ماتریسی مربعی می‌باشد که تعداد سطر و ستون آن‌ها مساوی با تعداد رددهایی 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

| | جمع | دامنه‌ها | یال‌ها | پهنه‌های آبی | پرتگاه‌ها | دشت‌های پست | مرتفع | قله | خط الرأس جغرافیایی | خط الرأس جغرافیایی |
|--------------------|-------|----------|--------|--------------|-----------|-------------|-------|-----|--------------------|--------------------|
| خط الرأس جغرافیایی | ۶ | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| قله | . | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶ |
| دشت‌های مرتفع | . | ۰ | ۹ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹ |
| دشت‌های پست | . | ۰ | ۰ | ۶ | ۰ | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹ |
| پرتگاه‌ها | . | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴ |
| پهنه‌های آبی | . | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶ |
| یال‌ها | . | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶ | ۶ |
| دامنه‌ها | . | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸ |
| طبقه‌بندی نشده | . | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| جمع | ۶ | ۶ | ۹ | ۶ | ۴ | ۹ | ۶ | ۰ | ۰ | ۸ |
| دقت | | | | | | | | | | |
| produser | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۶۶۶۶۶۶۷ | ۱ | ۱ | ۱ | |
| User | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۶۶۶۶۶۶۷ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | |
| Hellden | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۸ | ۱ | ۰/۸ | ۱ | ۱ | ۱ | |
| Short | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۶۶۶۶۶۶۷ | ۱ | ۰/۶۶۶۶۶۶۷ | ۱ | ۱ | ۱ | |
| KIA Per Class | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۶۲۵ | ۱ | 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 تهیه‌ی نقشه آن را می‌توان به عنوان زیربنای مطالعات برنامه‌ریزی سرزمنی 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 درنتیجه، تفاوت‌های بزرگ‌تر در تضادها، با چنین تغییراتی DEM‌ها کمتر تحت تأثیر

قرار می‌گیرند و بنابراین در سراسر صحنه‌ها (حداقل برای وضوح‌های فضایی مشابه) قابل مقایسه هستند. این ویژگی ممکن است برای توسعه راه حلی برای تقاضای موجود مفید باشد. در این پژوهش ما سعی کردیم با استفاده از یک روش نیمه اتوماتیک و داده‌های زمینی لندفرم‌های منطقه موردمطالعه 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 سگمنت سازی است. درواقع تجربه و تخصص کاربر در این روش به عنوان 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 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 ذرا واقع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس (محروم‌دی شهرستان الیگودرز) استخراج شدند. هشت نوع لندفرم به نام‌های دامنه، یال، پهنه‌های آبی، پرتگاه، قله، خطالرأس، دشت‌های پست و دشت‌های مرفع 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 موردمطالعه را تشکیل می‌دهند و نتیجه کار به صورت نقشه‌ای که موقعیت لندفرم‌های منطقه‌ی موردمطالعه 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-scaleland 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 Envir onmental 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, 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.
- 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). *Compute. 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.
- Miliaresis, G.C. (2001). Extraction of bajadas from digital elevation models and satellite imagery. *Compute. 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.