

طبقه‌بندی ناهمواری‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی و بررسی ارتباط بین ناهمواری‌ها و سازندهای زمین‌شناسی (بررسی موردی: زیر حوضه بیرانشهر)

علیرضا سپه‌وند^{۱*}، حسن احمدی^۲، علی اکبر نظری سامانی^۳، سادات فیض‌نیا^۲

- ۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
- ۲- استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۳- دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۷/۱۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۷/۵

چکیده

هدف از انجام این تحقیق طبقه‌بندی ناهمواری‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی و بررسی ارتباط بین ناهمواری‌ها و سازندهای زمین‌شناسی بود. در این تحقیق برای طبقه‌بندی ناهمواری‌ها از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) استفاده شد و در ادامه با تغییر فاصله همسایه با روش انحراف ارتفاع متوسط (DEV) به بررسی تغییر مساحت ناهمواری‌ها پرداخته شد. در بخش دیگر تحقیق، ارتباط بین سازندهای زمین‌شناسی و نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه به ترتیب طبقات دره‌های باریک و آبراهه‌ها و طبقات شیب‌های پایینی با ۳۳/۳۷ و ۵/۶۳ درصد، بیشترین و کمترین مساحت را در منطقه دارند. علاوه بر این ناهمواری‌های دشت، شیب‌های باز، شیب‌های میانی، شیب‌های بالایی و یال‌های مرتفع به ترتیب ۱۴/۰۹، ۱۰/۳، ۵/۸ و ۳۰/۷۹ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته‌اند. دیگر نتایج نشان داد که با افزایش فاصله همسایه نقاط مرکزی، مساحت متعلق به لندفرم دره‌های باریک و آبراهه‌ها دارای بیشترین تغییرات بوده است، زیرا این لندفرم با ۲۰/۶۲ درصد (در فاصله ۵۰ متر) به ۵۵/۷ درصد (۷۵۰ متر) رسیده است و در مقابل کمترین درصد تغییر مساحت متعلق به لندفرم زهکش‌های شیب میانی، دره‌های کم‌عمق بوده است، زیرا از ۶/۴ درصد (۵۰ متر) به ۱/۰۱ درصد (۷۵۰ متر) کاهش یافته است. نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) یک‌طرفه سازندهای زمین‌شناسی و نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌های منطقه نشان داد که اثر سازند زمین‌شناسی بر روی ناهمواری‌های منطقه با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است و بیش از ۶۰ درصد سازندهای آهکی منطقه باعث تشکیل لندفرم‌های شیب میانی، شیب بالایی و یال‌ها و قله کوه‌های منطقه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: حوضه بیرانشهر، ژئومورفولوژی، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص انحراف ارتفاع متوسط (DEV).

مقدمه

تکاملی آن‌ها شده است (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳). شناسایی لندفرم‌ها در علوم مختلف از جمله زمین‌شناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست و همچنین در جغرافیای طبیعی به دلیل شناخت انواع خاک‌ها، انواع کاربری‌ها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳). زبری سطح زمین یکی از متغیرهای کلیدی مورد استفاده در علوم زمین می‌باشد که برای تعیین و شناسایی لندفرم‌ها و فرآیندهای مرتبط با آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ژئومورفولوژی، زبری سطح زمین به وسیله سطوح ارتفاعی توصیف شده و برای تعیین خصوصیات لندفرم‌ها در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (گروه‌مانن و ریکومینی، ۲۰۰۹) که با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM: Digital Elevation Model)، می‌توان لندفرم‌ها را به صورت عناصر پستی و بلندی ساده توصیف و کمی کرد. مدل رقومی ارتفاع، مدلی رقومی یا نمایشی سه بعدی از سطح زمین 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 (توکر، ۲۰۰۱). با استفاده از مدل رقومی ارتفاع می‌توان پارامترهای ژئومورفولوژی از جمله شیب، جهت شیب و ... را تهیه کرد و این پارامترها را برای طبقه‌بندی ناهمواری‌ها به کار برد. علاوه بر این سازندهای زمین‌شناسی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر تشکیل انواع ناهمواری‌های سطح زمین می‌باشند. بیش از چند دهه ژئومورفولوژیست‌ها برای توصیف و بررسی لندفرم‌ها از روش‌های کیفی استفاده می‌کردند اما در اوایل دهه ۱۹۶۰، روش‌های کمی وارد مطالعات لندفرم‌ها شد (شایان و همکاران، ۱۳۹۱؛ پاولوپولوس و

لندفرم‌ها یکی از عناصر اصلی چشم اندازهای طبیعی سطح زمین می‌باشند (بارکا و همکاران، ۲۰۱۱) و سطوح پیوسته‌ای از زمین را می‌پوشانند و در نتیجه بستری برای فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک روی سطح زمین محسوب می‌شوند (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳) که عناصر ناهمواری سطح زمین شامل دامنه‌ها، کوه‌ها، قله‌ها، دره‌ها، دشت‌ها، کانیون‌ها و ... می‌باشند (سیف، ۲۰۱۴). کلمه لندفرم به وسیله مدل سازان علم زمین به عنوان بخشی از زمین که از ترکیب کیفیت همگن و پیوسته پستی و بلندی که نتیجه فعالیت مشترک فرآیندهای زمین‌شناسی و شکل‌شناسی زمین است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (بولونگارو و همکاران، ۲۰۰۵). اهمیت مطالعه لندفرم‌ها تا آن‌جاست که امروزه موضوع مطالعه ژئومورفومتری (به عنوان زیر رشته‌ای از ژئومورفولوژی)، توصیف و اندازه‌گیری کمی و کیفی لندفرم‌ها براساس تحلیل تغییرات ارتفاعی تحت تأثیر تابع فاصله است. اصل اساسی که ژئومورفومتری بر آن تأکید دارد، ارتباط بین شکل ناهمواری و پارامترهای عددی مربوط به آن برای توصیف چنین فرآیندهای است که در تشکیل و تحول لندفرم‌ها نقش دارند. مطالعات سنتی لندفرم‌ها بر مورفولوژی و توصیف کیفی اجزای چشم‌اندازها استوار بوده و مهم‌ترین منبع اطلاعات درباره چشم‌اندازها بوده است (شایان و همکاران، ۱۳۹۱). فرآیندهای متفاوتی از قبیل حرکات تکتونیکی و فرسایش بر روی پوسته زمین اثرات قابل ملاحظه‌ای گذاشته‌اند و همچنین تغییر شرایط اقلیمی تغییرات وسیعی روی ژئومورفولوژی و هیدرولوژی برای تکامل لندفرم‌ها بر جای می‌گذارد. بنابراین فعالیت‌های تکتونیکی همراه با فرآیندهای هیدرولوژی و ژئومورفولوژی و همچنین تغییرات اقلیمی منجر به تغییر در لندفرم‌ها و سیر

منطقه شامل ۱۰ نوع لندفرم (آبراهه، دره‌های آبراهه‌های میانی، زهکش‌های مرتفع، بالا رود، دره‌های U شکل، دشت‌های کوچک، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، یال‌های مرتفع، یال‌های شیب-میانی، قله‌کوه) است. بیشترین نوع لندفرم در منطقه مورد مطالعه مربوط به آبراهه ۳۲/۱۹ درصد و بعد از آن قله‌ها ۲۵/۳۶ درصد می‌باشد. تاگیل و جنیس (۲۰۰۸) به طبقه‌بندی لندفرم‌ها و بررسی ارتباط بین لندفرم‌ها و پوشش گیاهی و سازندهای زمین‌شناسی منطقه پلژه یازورن ترکیه پرداختند. آن‌ها از مدل رقومی ارتفاعی با تفکیک مکانی ۲۰ متر استفاده کردند. آن‌ها هم‌چنین برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها از TPI و برای بررسی ارتباط بین لندفرم‌ها و پوشش گیاهی و سازندهای زمین‌شناسی از GIS استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که سازندهای زمین‌شناسی منطقه یکی از مهمترین عوامل در به‌وجود آمدن لندفرم‌های مختلف هستند. ایوانز و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اقدام به تفکیک واحدهای مورد استفاده در تهیه نقشه‌های ژئومرفولوژی نمودند. آن‌ها در این مطالعه جهت تعیین و تفکیک عوارض مختلف از لحاظ ویژگی‌های هندسی، از بسط توابع چند جمله‌ای استفاده کردند. ریو و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی کاربرد شاخص موقعیت توپوگرافی برای طبقه‌بندی لندفرم‌های مختلف در شمال غرب بلژیک پرداختند. آن‌ها در این تحقیق علاوه بر طبقه‌بندی لندفرم‌ها به بررسی کارایی TPI و انحراف ارتفاع متوسط (DEV) پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که DEV از دقت بیشتری نسبت به TPI برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها برخوردار است. سیف (۲۰۱۴) با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی به طبقه‌بندی ناهمواری‌های کوه‌گرین پرداخت. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی با

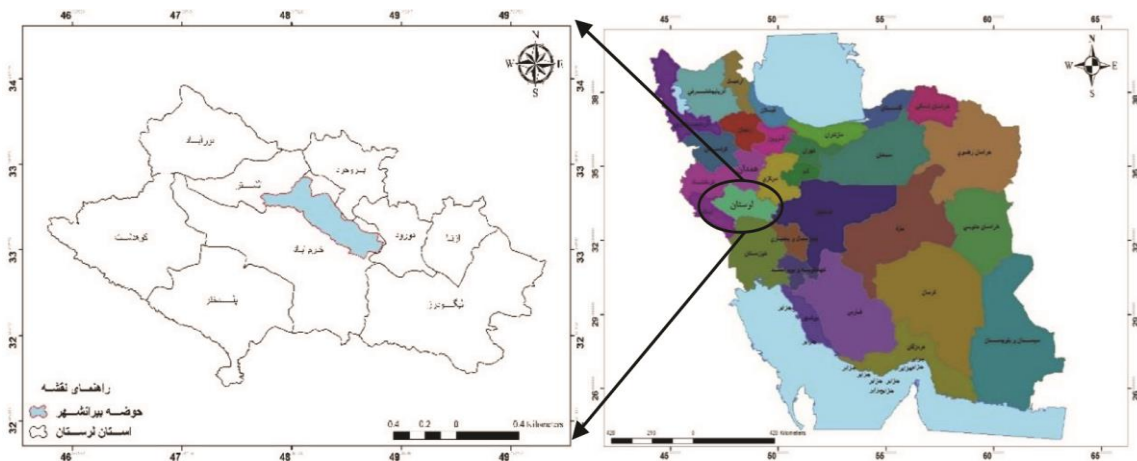
همکاران، (۲۰۰۹). یکی از مطالعات علم ژئومورفولوژی طبقه‌بندی پدیده‌ها و عوارض زمین می‌باشد که هدف اصلی طبقه‌بندی در ژئومورفولوژی، استخراج و طبقه‌بندی تغییرات واحدهای سطح زمین (لندفرم) در اثر فعالیت‌های طبیعی است. برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها روش‌های زیادی وجود دارد که همه این روش‌ها تقریباً مشابه هستند. از جمله می‌توان روش شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI: Topographic Position Index) (تاگیل و جنیس، ۲۰۰۸؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۹؛ ریو و همکاران، ۲۰۱۳؛ مکرم و سیف، ۲۰۱۴؛ سیف، ۲۰۱۴) را نام برد. شاخص موقعیت توپوگرافی در سال ۲۰۰۱ توسط Weiss معرفی شد و ابزاری مفید برای طبقه‌بندی موقعیت شیب و لندفرم‌هاست (ریو و همکاران، ۲۰۱۳). در زمینه طبقه‌بندی ناهمواری‌ها در ایران و سایر نقاط جهان تحقیقاتی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد. تازه (۱۳۹۱) به طبقه‌بندی دشت سرهای مناطق بیابانی براساس پارامترهای مرفومتري و بیوفیزیکی در منطقه خضرآباد یزد پرداختند. در این تحقیق اقدام به معرفی و استفاده از شاخص‌های ژئومرفومتري و تعیین دامنه کمی برای این شاخص‌ها در جهت تفکیک تیپ‌های مختلف دشت سر شد. نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای شیب، انحنای حداقل، انحنای مقطع، انحنای طول و انحنای متقاطع به ترتیب از کارایی بیشتری در تفکیک تیپ‌های مختلف دشت سر می‌باشند. مکرم و نگهبان (۱۳۹۳) به طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی منطقه جنوبی داراب پرداختند. در این تحقیق از روش TPI استفاده شد و داده‌های ورودی در این مدل شامل شیب، انحنای عرضی، انحنای حداقل و انحنای حداکثر است. نتایج طبقه‌بندی مورفولوژیک منطقه مورد مطالعه نشان داد که

ناهمواری‌های آن مورد تحقیق قرار نگرفته‌اند به-
عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی در بخش مرکزی سلسله جبال زاگرس در استان لرستان قرار دارد که خود بخشی از زیر حوزه آبخیز کرخه می‌باشد. زیر حوزه بیرانشهر با مساحت ۱۱۴۴/۹۹ کیلومتر مربع مطابق شکل ۱ بین طول-های جغرافیایی "۴۲° ۱۱' ۴۸" تا "۰۶° ۵۹' ۴۸" شرقی و عرض‌های "۰۶° ۲۳' ۳۳" تا "۱۸° ۵۱' ۳۳" شمالی قرار دارد. بلندترین نقطه حوضه در بخش شمال غربی با ارتفاع ۳۵۵۹ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه حوضه در بخش غربی یعنی خروجی حوضه با ارتفاع ۱۴۸۳ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۲). میانگین بارندگی حوضه بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد می‌باشد.

تفکیک مکانی ۹۰ متر استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر TPI بین ۱۲۸ تا ۱۶۱ متغیر بود که با استفاده از این مقادیر، ناهمواری‌های منطقه در ۹ طبقه قرار گرفتند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته مشخص شد که شاخص TPI یک شاخص مناسب برای طبقه‌بندی ناهمواری‌ها می‌باشد. برتری این تحقیق نسبت به تحقیق‌های انجام شده این است، که علاوه بر شاخص TPI از شاخص انحراف ارتفاع متوسط (DEV) برای طبقه‌بندی ناهمواری‌ها استفاده شده است. علاوه بر این در تحقیقات گذشته ارتباط بین نوع ناهمواری‌ها و سازند زمین-شناسی مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا هدف از انجام این تحقیق طبقه‌بندی ناهمواری‌ها و بررسی ارتباط بین ناهمواری‌ها و سازندهای زمین‌شناسی در زیر حوزه بیرانشهر می‌باشد. لازم به ذکر است که حوضه بیرانشهر به دلیل این که یکی از زیرحوضه‌های بزرگ حوضه کرخه است و این که

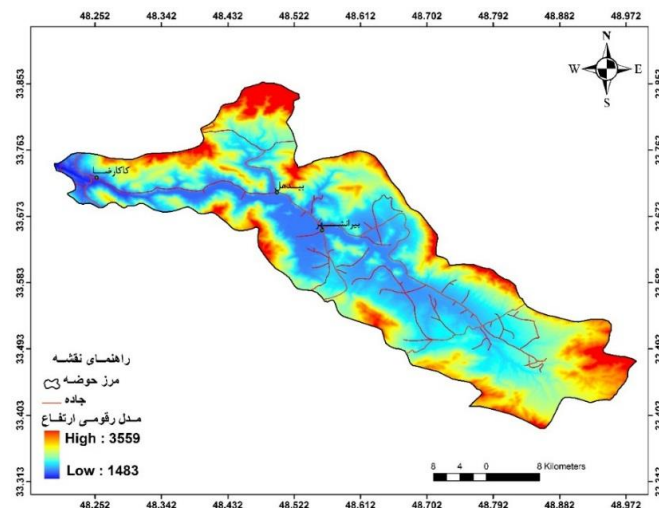


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه روی نقشه استان لرستان

مواد و روش‌ها

نرم افزار (GIS: Geographic Information System) استفاده شد که نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این تحقیق برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها از مدل رقومی ارتفاعی (DEM: Digital Elevation Model) با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر در محیط



شکل ۲: نقشه مدل رقمی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

که در آن: Z_0 : ارتفاع نقطه مورد بررسی، \bar{Z} : ارتفاع میانگین نقاط حاشیه، n : تعداد نقاط اطراف Z_0 که در این تحقیق ۸ نقطه در نظر گرفته شد یعنی از یک شبکه 3×3 با شکل پنجره چهارگوش برای تهیه TPI استفاده شد و R : شعاع تعیین شده برای بررسی نقاط همسایه است (ریو و همکاران، ۲۰۱۳). مطابق رابطه ۱ مقادیر TPI می‌تواند دارای سه حالت منفی، مثبت و صفر باشد. مقادیر مثبت نشان می‌دهند که ارتفاع نقطه مرکزی بیشتر از میانگین ارتفاع نقاط اطرافش است (تپه)، مقادیر منفی نشان می‌دهند که ارتفاع نقطه مرکزی کمتر از میانگین ارتفاع نقاط اطرافش است (دره) و مقادیر صفر یا نزدیک به صفر و شیب کمتر از ۵ درجه باشد نشان دهنده مناطق هموار (دشت) است (شکل ۳B) (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳؛ ریو و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این این محدوده مثبت، صفر و منفی فقط به تفاوت ارتفاع وابسته نیست بلکه به میزان R هم بستگی دارد (گروه‌مانن و ریکومینی، ۲۰۰۹). مقدار بالای R ، واحدهای اصلی را آشکار می‌کند در حالی که مقدار کم R ، اشکال کوچک را نمایان می‌سازد (مانند دره‌های کوچک و لبه‌ها).

شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI: Topographic Position Index)

شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) نشان دهنده ارتفاع هر سلول در یک مدل رقمی ارتفاعی (DEM) که نسبت به میانگین ارتفاع سلول‌های اطراف آن سلول مورد بررسی قرار می‌گیرد (ریو و همکاران، ۲۰۱۳) یا به عبارتی اختلاف بین ارتفاع هر سلول نسبت به میانگین ارتفاع سلول‌های اطراف آن می‌باشد (شکل ۳A) (تاگیل و جنیس، ۲۰۰۸). TPI به وسیله فلس و زوبل (۱۹۹۵) ارائه شد و در سال ۲۰۰۱ توسط Weiss توسعه داده شد.

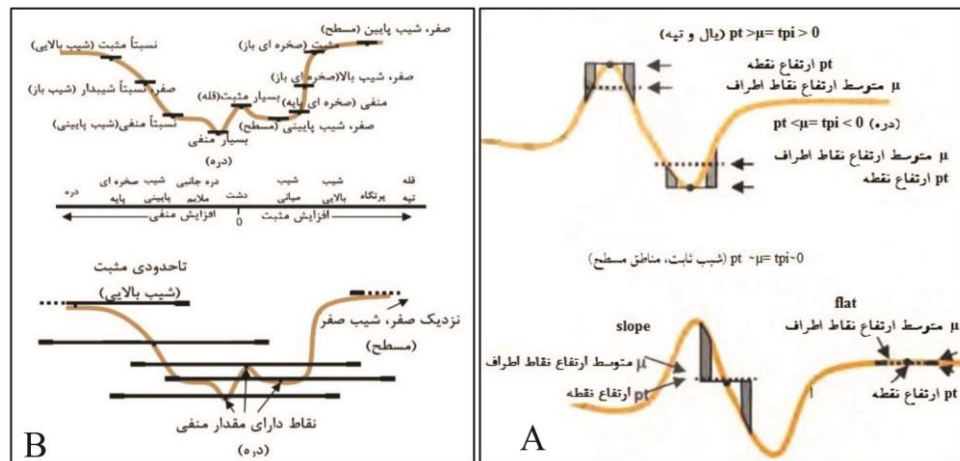
TPI به وسیله برنامه Land Facet Corridor Designer در محیط نرم‌افزار GIS محاسبه می‌شود (جنیس و همکاران، ۲۰۱۳). برای محاسبه شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) از رابطه ۱ و ۲ استفاده می‌شود (ریو و همکاران، ۲۰۱۳).

رابطه ۱)

$$TPI = Z_0 - \bar{Z}$$

رابطه ۲)

$$\bar{Z} = \frac{1}{n_R} \sum i \in R^Z i$$



شکل ۳: (A) نمایش گرافیکی شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، (B) نوع ناهمواری با مقادیر مثبت، منفی و صفر TPI (وایز، ۲۰۰۱)

ارتفاع (SD) (اسکیونه و همکاران، ۲۰۰۸؛ ریو و همکاران، ۲۰۱۳) مطابق رابطه ۳ و ۴ محاسبه می‌کند.

رابطه ۳

$$SD = \frac{("meanDEM" - "DEM")}{"rangeDEM"}$$

رابطه ۴

$$DEV = \frac{TPI}{SD}$$

در رابطه ۳، $meanDEM$ میانگین مدل رقومی ارتفاع، $rangeDEM$ محدوده مدل رقومی ارتفاع و DEM مدل رقومی ارتفاع می‌باشد. شاخص انحراف ارتفاع متوسط (DEV)، موقعیت توپوگرافی را به عنوان بخشی از مقادیر نرمال شده‌ی زیری سطح اندازه‌گیری می‌کند. همانند TPI، مقادیر مثبت DEV نشان دهنده این است که پیکسل مرکزی ارتفاعی بیشتر از پیکسل‌های اطراف دارد و مقادیر منفی نشان دهنده ارتفاع کمتر است. عموماً مقادیر DEV در محدوده +۱ و -۱ می‌باشد و مقادیر خارج از این محدوده می‌توانند ناهمگنی‌های مدل رقومی ارتفاع را نشان دهد (ریو و همکاران، ۲۰۱۳).

طبقه‌بندی لندفرم‌ها: روش‌ها و الگوریتم‌های ژئومورفولوژیک زیادی برای طبقه‌بندی مورفولوژیک

طبقات ناهمواری استفاده شده در این تحقیق مطابق جدول ۱ عبارتند از:

- ۱) دره‌های باریک و آبراهه‌ها، به فرورفتگی‌های میان دو کوه و به محل جریان آب گفته می‌شود.
- ۲) شیب‌های پایینی، در انتهای شیب بوده و مقعر می‌باشند.
- ۳) دشت در ژئومورفولوژی، به مناطق هموار دشت گفته می‌شود. دشت‌ها ممکن است در کف دره‌ها یا در ارتفاعات بالا به وجود آیند.
- ۴) دره معمولاً در اطراف به دره‌ها یا به کوه یا تپه ختم می‌شوند.
- ۵) شیب‌های باز و شیب‌های میانی، بین شیب‌های محدب و مقعر قرار دارند.
- ۶) شیب‌های بالایی، در ابتدای شیب هستند و محدب هستند.
- ۷) پال‌های مرتفع، قله کوه، زمینی نسبتاً بلند است که در یک منطقه گسترده بوده و عموماً بلندتر و شیب‌دارتر از تپه است که ۲۴ درصد خشکی‌های زمین را شامل می‌شوند.

انحراف ارتفاع متوسط (DEV: Deviation from mean elevation)

شاخص انحراف ارتفاع متوسط (DEV) موقعیت توپوگرافی را با استفاده از TPI و انحراف معیار

این تحقیق اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه در محیط نرم‌افزار GIS گردید. واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. در ادامه با تلفیق نقشه زمین‌شناسی و نقشه طبقه‌بندی واحدهای ژئومورفولوژی، درصد سازند زمین‌شناسی هر طبقه تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه از آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) برای آنالیز ارتباط بین نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌ها و سازندهای زمین‌شناسی استفاده شد. برای انجام این بخش ابتدا با استفاده از تابع Zonal Statistics as Table در نرم‌افزار GIS داده‌های نوع ناهمواری و زمین‌شناسی استخراج شدند و برای تجزیه و تحلیل آماری ANOVA: Analysis of Variance از نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد.

سیمای زمین وجود دارد (دنگ، ۲۰۰۷؛ ایواهاشی و پایک، ۲۰۰۷؛ هنگل و روتر، ۲۰۰۹؛ ریو و همکاران، ۲۰۱۳). در این تحقیق روش وایز (۲۰۰۱) که سیمای زمین را با انحراف معیار شاخص موقعیت توپوگرافی به‌طور مستقیم به کلاس‌های موقعیت شیب طبقه‌بندی می‌کند، استفاده شد. علاوه بر این برای تعیین لندفرم‌ها از DEV با فاصله همسایه‌ی در اندازه‌های متفاوت (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰ و ۷۰۰ متر) استفاده شد و نتایج مورد آزمون قرار گرفت که نتایج در ۶ طبقه لندفرم مطابق جدول ۱ برای طبقه‌بندی تعریف شدند. در ادامه ارتباط بین طبقات سیمای زمین (موقعیت شیب و لندفرم‌ها) و خصوصیات توپوگرافی (ارتفاع و شیب) با استفاده از تابع Zonal Statistics نرم‌افزار GIS تعیین شد (تاگیل و جنیس، ۲۰۰۸). در بخش دیگر

جدول ۱: طبقات ناهمواری‌ها براساس روش وایز (۲۰۰۱)

طبقه ناهمواری	وایز (۲۰۰۱)
دره‌های باریک و آبراهه‌ها	$Z_0 < -1SD$
شیب‌های پایینی	$-0.55SD > Z_0 \geq -1SD$
دشت	$0.5SD \geq Z_0 \geq -0.55SD, slope \leq 5^\circ$
شیب‌های باز، شیب‌های میانی	$0.5SD \geq Z_0 \geq -0.55SD, slope > 5^\circ$
شیب‌های بالایی	$1SD \geq Z_0 > 0.55SD$
پال‌های مرتفع، قله کوه	$Z_0 > 1SD$

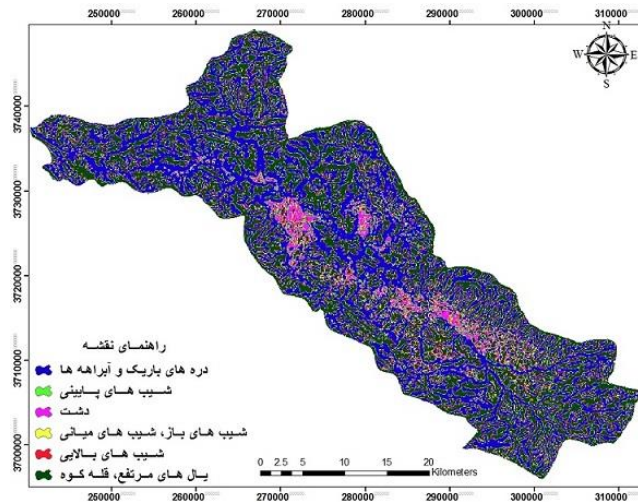
جدول ۲: خصوصیات واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

جنس سازند	خصوصیات	مساحت (درصد)	جنس سازند	خصوصیات	مساحت (درصد)
Jk	آهک دولومیتی بسن مالم - سنومالین	۱/۷۷	TRkh	آهک و شیل دولومیتی	۰/۲
OMI	آهک مرجانی	۰/۴۳	JK	مجموعه سنگ‌های رسوبی - آتشفشانی آندزیت، ریوداسیت	۲/۷۳
EI	آهک مارنی	۲/۳	Jgr-vc	آهک سفید	۰/۳۳
Qt1	مخروط افکنه و پادگانه قدیمی	۰/۷۹	OMas	آهک	۰/۳۴
KI	آهک رودیست دار و اوربیتولین دار	۲/۴۹	Qt2	پادگانه‌ها و مخروطه‌های جوان	۳۰/۲۱
PLb	کنگلومرا	۵/۷۷	Esh	سازند شهبازان-شیل، آهک، دولومیت	۰/۰۸
MPaj	ماسه سنگ، مارن‌های قرمز و کنگلومرا، سنگ آهک، رگه‌های گچ، مارن قرمز و سیلت سنگ	۲/۳۴	Ecgka	کنگلومرای چرت دار، سیلت سنگ، ماسه سنگ	۰/۰۴
TRjm	دولومیت سفید رنگ	۰/۲۱	Kn-m	مارن	۰/۲۶
KEa	شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا	۰/۹۵	Qs	واریزه و سنگریزه	۸/۶۴
K2	آهک مارنی آبی رنگ	۱/۲۸	KI	آهک نازک لایه	۳۸/۶
Mt	ماسه سنگ، ماسه سنگ آهکی، شیل ماسه ای، مارن، آهک مارنی و آهک				۰/۱۵

بحث و نتایج

جدول ۳ خصوصیات آماری نقشه‌های طبقه‌بندی توپوگرافی، شیب، ارتفاع و نسبت مساحت و شکل نقشه ناهمواری‌های منطقه را نشان می‌دهد. مطابق اطلاعات جدول ۳، در منطقه مورد مطالعه به ترتیب طبقات دره‌های باریک و آبراهه‌ها و یال‌های مرتفع و قله کوه با ۳۳/۳۷ و ۳۰/۷۹ درصد بیشترین سطح منطقه را پوشش داده‌اند که این مورد در نقشه نسبت مساحت نشان داده شده است و طبقات شیب‌های پایینی و شیب‌های بالایی با

توجه به نتایج لندفرم‌های دره‌های باریک و آبراهه‌ها و یال‌های مرتفع بیشترین بخش منطقه را تشکیل داده و لندفرم‌های غالب منطقه محسوب می‌شوند و توزیع مناسبی در قسمت‌های مختلف دارد، ولی لندفرم‌های طبقات شیب‌های پایینی با حداقل مساحت فقط بخش محدودی از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.



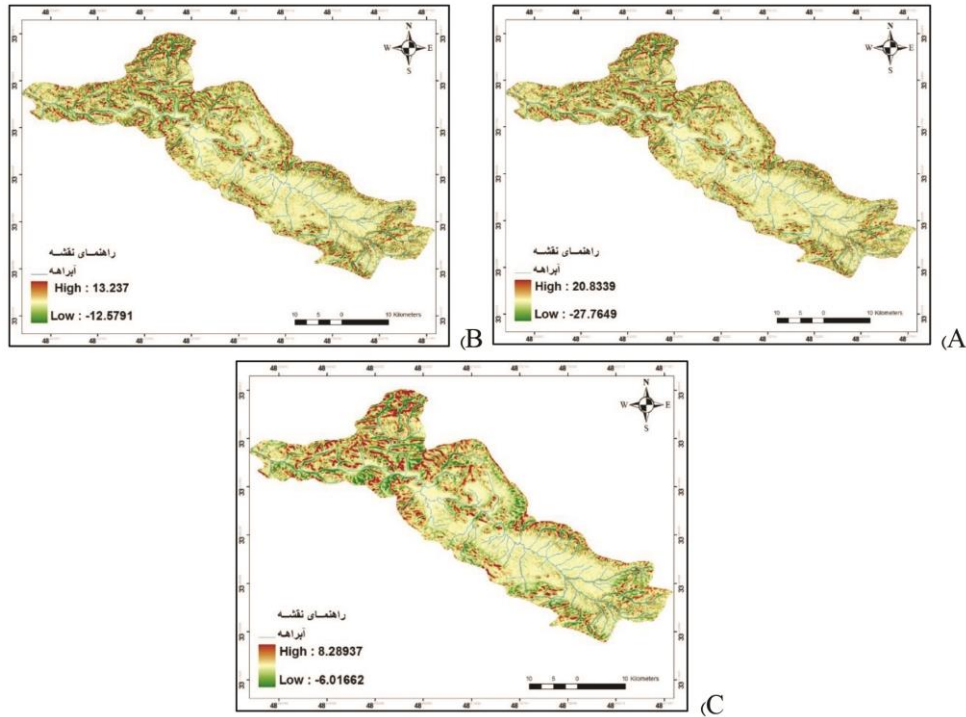
شکل ۴: نقشه ناهمواری‌های منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: خصوصیات آماری نقشه‌های طبقه‌بندی لندفرم‌ها با TPI، شیب، ارتفاع و نسبت مساحت منطقه مورد مطالعه (SD: انحراف معیار)

کلاس لندفرم	مساحت (km ²)	درصد مساحت	شیب SD± میانگین	ارتفاع SD± میانگین
دره‌های باریک و آبراهه‌ها	۳۸۸/۳۱	۳۳/۳۷	۲۴/۶۱±۶	۲۸۸/۷±۴۵/۵
شیب‌های پایینی	۶۵/۵۶	۵/۶۳	۱۹/۹±۱/۳	۲۵۷/۶±۱۴/۵
دشت	۱۶۳/۹۷	۱۴/۰۹	۲/۶۴±۱۶	۱۱۲/۲±۱۳۱
شیب‌های باز، شیب‌های میانی	۱۱۹/۸۶	۱۰/۳	۱۹/۰۲±۰/۴	۲۶۰/۲±۱۷/۱
شیب‌های بالایی	۶۷/۵۲	۵/۸	۱۹/۶۲±۱	۲۴۶/۹±۳/۷
یال‌های مرتفع، قله کوه	۳۵۸/۳۷	۳۰/۷۹	۲۵/۸۱±۷/۲	۲۹۳/۲±۵۰/۱

با افزایش اندازه پنجره، محدوده میزان TPI کاهش می‌یابد. مطابق این نتایج مناطق مرتفع مانند یال و تپه‌ها و قله کوه دارای مقادیر TPI بیشتر از صفر بوده و همچنین مناطق مسطح یا مناطقی با تغییرات شیب کم دارای مقادیر TPI صفر و یا نزدیک صفر می‌باشند. علاوه بر این دره‌ها دارای مقادیر TPI منفی می‌باشند.

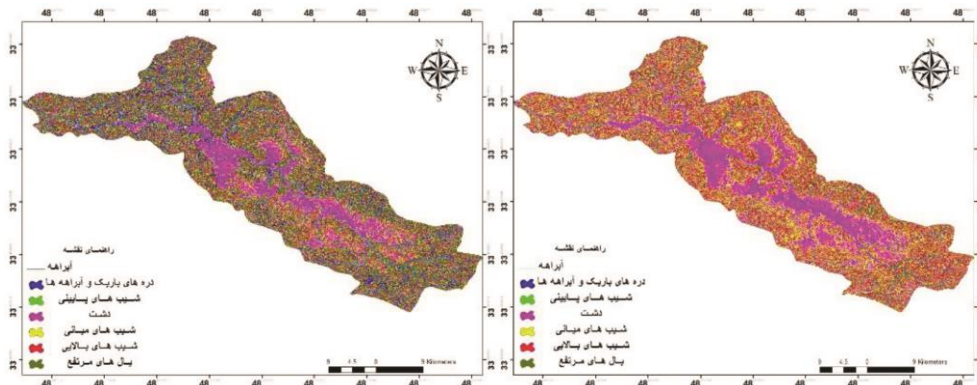
شکل‌های ۵ (A)، (B) و (C)، نقشه شاخص موقعیت توپوگرافی با اندازه پنجره به ترتیب ۳*۳، ۵*۵ و ۱۰*۱۰ منطقه را نشان می‌دهد. نتایج شکل‌های ۵ (A)، (B) و (C)، نشان می‌دهد که مقادیر TPI با اندازه پنجره‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، به ترتیب بین ۲۷/۷۶- تا ۲۰/۸۳، ۱۲/۵۷- تا ۱۳/۲۳ و ۶/۰۱- تا ۸/۲۸ می‌باشد. این نتایج نشان داد که



شکل ۵: نقشه شاخص موقعیت توپوگرافی (A) ۳*۳، (B) ۵*۵ (C) ۱۰*۱۰ منطقه مورد مطالعه

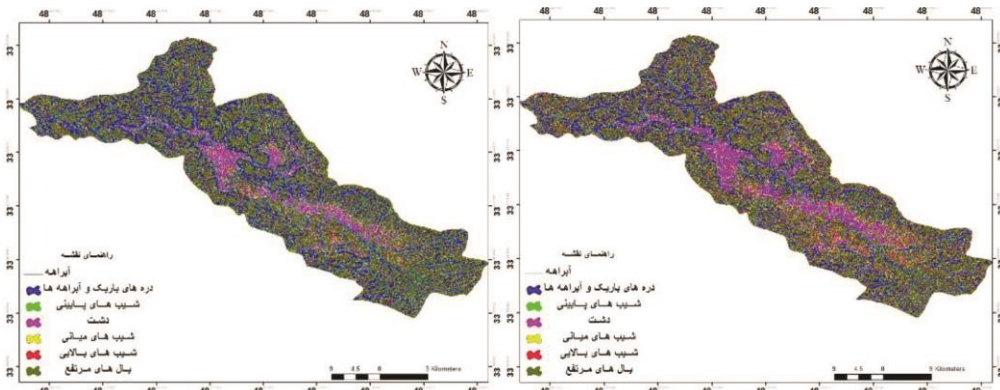
۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰، ۷۰۰ و ۷۵۰ متر آورده شده است.

در زیر شکل‌های ۶ تا ۲۰ نقشه طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از روش DEV با فاصله همسایه ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰،

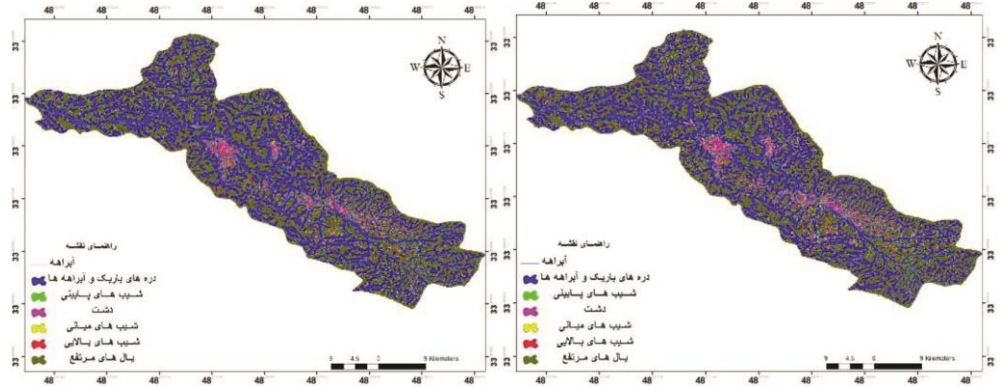


شکل ۷: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۱۰۰ متر

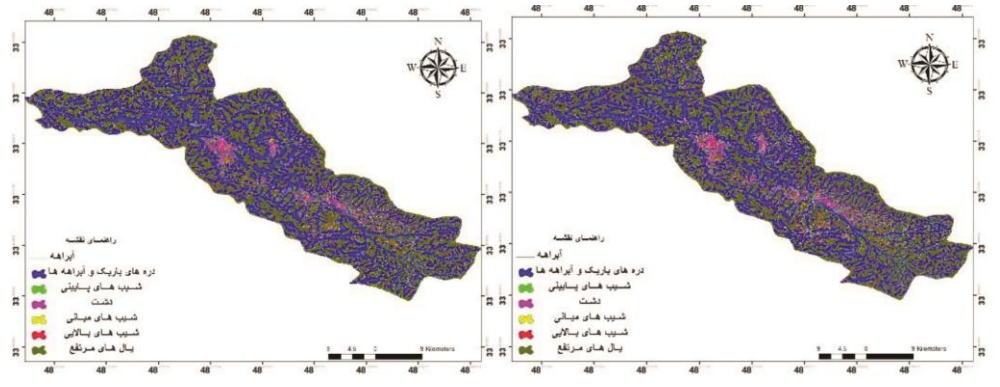
شکل ۶: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۵۰ متر



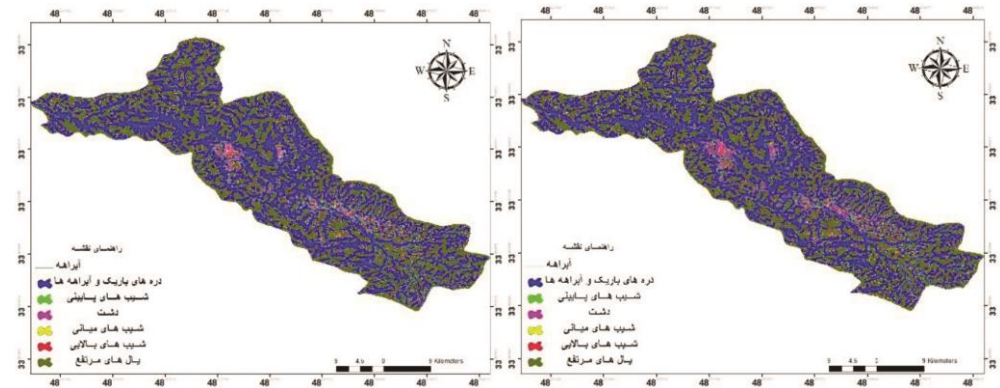
شکل ۸: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۱۵۰ متر
شکل ۹: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۲۰۰ متر



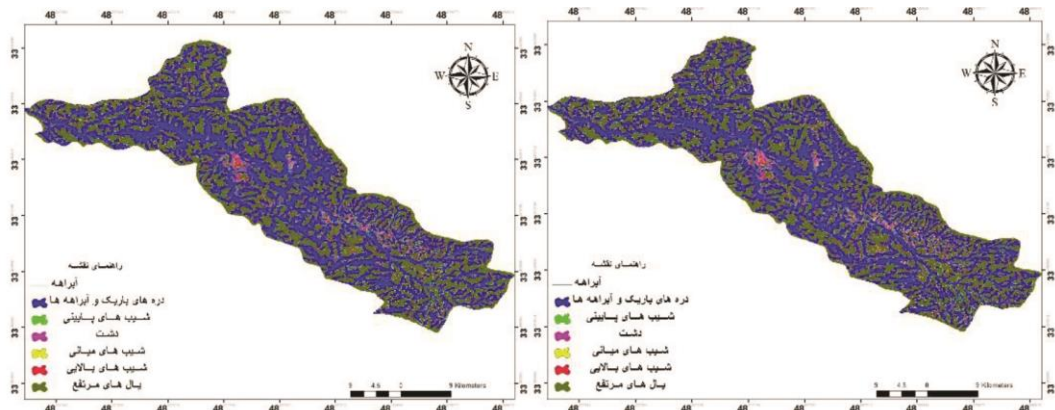
شکل ۱۰: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۲۵۰ متر
شکل ۱۱: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۳۰۰ متر



شکل ۱۲: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۳۵۰ متر
شکل ۱۳: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۴۰۰ متر

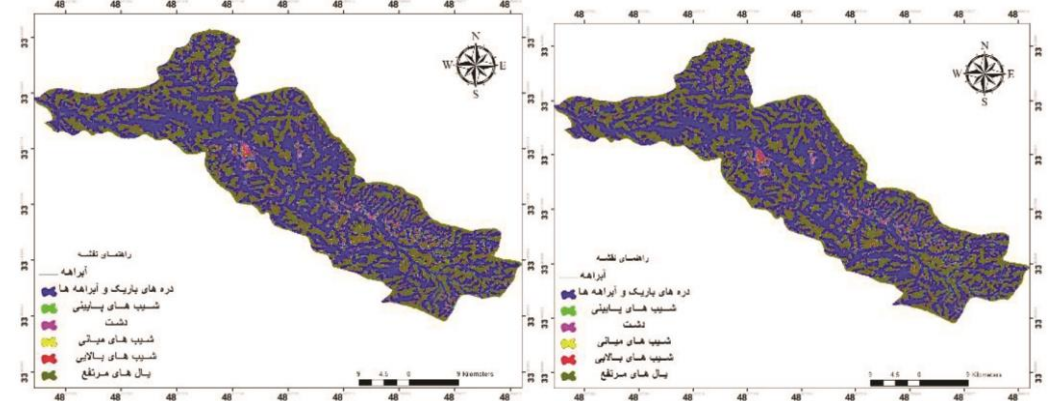


شکل ۱۴: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۴۵۰ متر
شکل ۱۵: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۵۰۰ متر



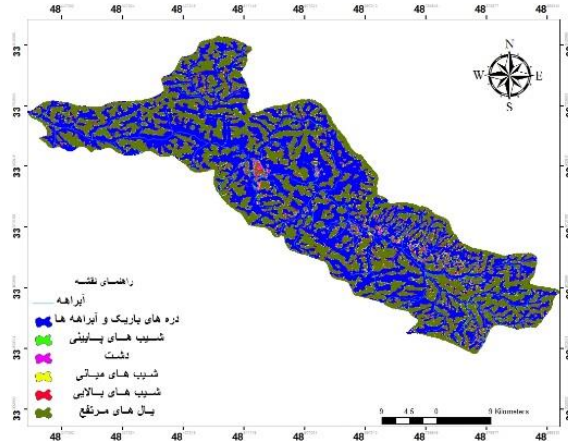
شکل ۱۷: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۶۰۰ متر

شکل ۱۶: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۵۵۰ متر



شکل ۱۹: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۷۰۰ متر

شکل ۱۸: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۶۵۰ متر



شکل ۲۰: طبقه‌بندی لندفرم با اندازه همسایه ۷۵۰ متر

فاصله همسایه ۵۰ متر هر لندفرم بین ۴/۴ تا ۲۴/۶ درصد مساحت منطقه را در بر می‌گیرند که با تأثیر افزایش فاصله همسایه این درصد مساحت افزایش یا کاهش می‌یابد. علاوه بر این لندفرم دره‌های باریک و آبراهه‌ها دارای بیشترین تغییرات درصد مساحت بوده است، زیرا این لندفرم با ۲۰/۶۲ درصد

نتایج شکل‌های ۶ تا ۲۰ و نمودار شکل ۲۱ تغییرات مساحت طبقات مختلف لندفرم‌ها را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به دست آمده با افزایش فاصله همسایه نقاط مرکزی، مساحت لندفرم‌های دره‌های باریک و آبراهه‌ها و قله کوه و پال‌های مرتفع افزایش و مساحت ۴ نوع لندفرم دیگر کاهش می‌یابد. در

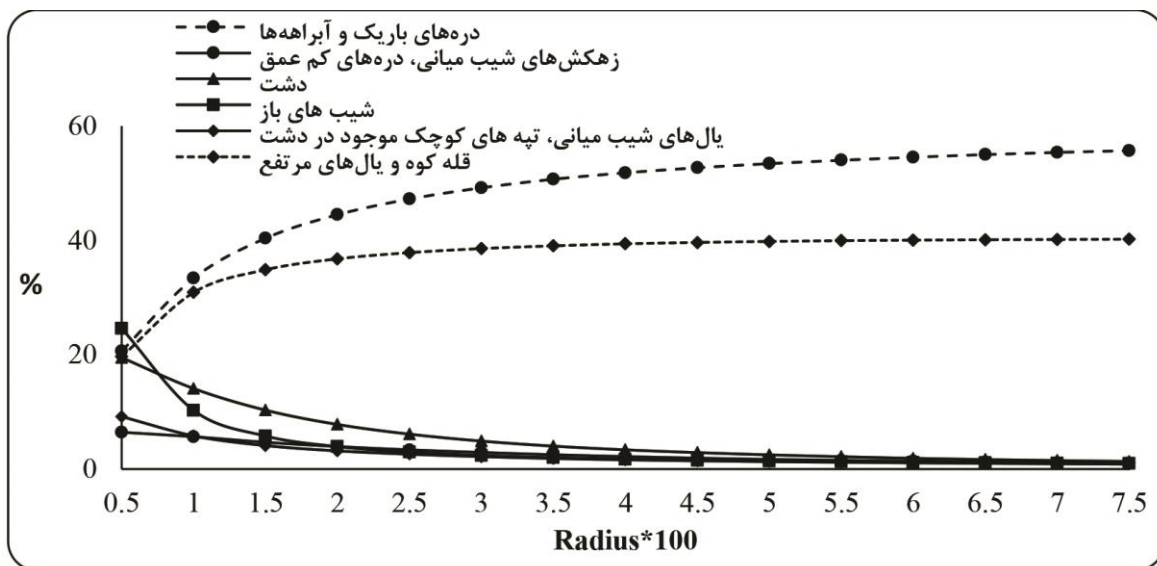
نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌های منطقه را نشان می‌دهد. مطابق نتایج این جدول، مشخص شد که مقدار عامل معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ است که این نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر سازندهای زمین-شناسی بر روی وجود ناهمواری‌ها با احتمال ۹۹ درصد می‌باشد. یا به عبارتی تغییر در نوع سازندها (متغیر مستقل) باعث تغییرات معنی‌دار در نوع ناهمواری‌های منطقه (متغیر وابسته) می‌گردد.

(در فاصله ۵۰ متر) به ۵۵/۷ درصد (۷۵۰ متر) رسیده است و در مقابل کمترین درصد تغییر مساحت به لندفرم زهکش‌های شیب میانی، دره‌های کم عمق بوده، زیرا از ۶/۴ درصد (۵۰ متر) به ۱/۰۱ درصد (۷۵۰ متر) کاهش یافته است. این لندفرم ثابت‌ترین لندفرم در مقابل تغییر فاصله همسایه بوده است. جدول ۴ تحلیل واریانس (ANOVA) یک‌طرفه سازندهای زمین‌شناسی و

جدول ۴: تحلیل واریانس ANOVA یک‌طرفه سازندهای زمین‌شناسی و نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌های منطقه

منابع تغییر	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	آزمون (F)	سطح معنی‌داری
بین گروه	۵/۱۷۲	۱۲	۰/۴۳۱	۵/۹۵۳ ^{ns}	۰/۰۰۰**
داخل گروه‌ها	۰/۹۳۶	۸۲	۰/۰۷۲		
مجموع	۱۱/۱۰۷	۹۴			

** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، ns: عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵



شکل ۲۱: نمودار تغییرات مساحت لندفرم‌ها با فاصله همسایه متفاوت

به دست آمده مشخص شد که حدود ۹۲ درصد دشت‌های منطقه در سازندهای کواترنری یعنی

نتایج جدول ۵ ارتباط بین لندفرم‌ها و سازندهای زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد و مطابق نتایج

تشکیل لندفرم‌های شیب میانی، شیب بالایی و یال-ها و قله کوه‌های منطقه شده‌اند. در بین سازندهای زمین‌شناسی منطقه به ترتیب سازندهای آهک سفید (Jgr-vc) و پادگانه‌ها و مخروطه‌های جوان (Qt2) بیشترین و کمترین درصد ۶۷/۶ و ۳۴/۲ درصد آن‌ها باعث تشکیل لندفرم‌های شیب میانی، شیب بالایی و یال‌ها و قله کوه‌ها شده است (جدول ۵).

پادگانه‌ها و مخروطه‌های جوان، واریزه و سنگریزه و مخروط افکنه و پادگانه قدیمی (Qt1، Qt2، Qs)، حدود ۵ درصد در سازندهای آهکی و حدود ۳ درصد روی بقیه سازندهای منطقه تشکیل شده است. علاوه بر این مشخص شد که حدوداً بیش از ۶۰ درصد سازندهای آهکی منطقه (E1، OMI، TRjm، K2، TRkh، Jgr-vc، OMas، K1) باعث

جدول ۵: ارتباط بین لندفرم و زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه

لندفرم جنس سازند	دره (%)	شیب پایینی (%)	دشت (%)	شیب میانی (%)	شیب بالایی (%)	یال‌ها، قله کوه (%)
Qt2	۱۰/۴	۵/۴	۵۰	۱۸/۷	۷/۷	۷/۸
JK	۳۷/۲	۵	۰/۲	۱۴/۹	۵/۵	۳۷/۳
OMI	۲۲/۷	۶/۹	۵/۶	۲۷/۳	۱۰/۹	۲۶/۵
E1	۲۷	۷/۱	۲/۹	۲۶/۴	۱۰/۲	۲۶/۳
Qt1	۱۷/۸	۶/۵	۱۹/۹	۶	۱۰/۱	۱۵/۱
K1	۲۴/۵	۶/۷	۱/۸	۲۹/۶	۱۱/۳	۲۶/۲
PLb	۲۵/۴	۶/۶	۳/۷	۲۶/۷	۱۰/۶	۲۷/۱
MPaj	۲۴/۱	۷	۵/۳	۳۰/۴	۱۰/۵	۲۲/۷
TRjm	۳۹/۴	۵/۴	۰/۲	۱۳/۶	۵/۵	۳۵/۸
KEa	۲۶/۱	۷/۵	۵/۲	۲۷	۹/۵	۲۴/۶
K2	۳۰/۳	۷	۳/۶	۲۳/۱	۷/۹	۲۸
Esh	۳۰/۶	۶/۸	۰/۱	۲۱/۴	۸/۸	۳۲/۳
TRkh	۳۷/۱	۵/۸	۰/۳	۱۵/۲	۵/۸	۳۵/۷
JK	۲۵/۴	۷	۹/۳	۲۴/۱	۹/۳	۲۴/۷
Jgr-vc	۲۵/۷	۶	۰/۷	۲۸/۵	۱۰/۳	۲۸/۸
OMas	۱۹/۶	۷/۷	۱۹/۴	۲۹	۸/۸	۱۵/۶
Ecgka	۳۳	۷/۷	۰/۶	۲۵/۹	۸/۶	۲۴/۳
Mt	۱۱/۹	۷	۲۱/۹	۳۷/۷	۱۴/۶	۷
Kn-m	۳۴/۳	۷/۹	۱/۲	۲۸	۸/۳	۲۰/۳
Qs	۱۴/۷	۶/۳	۲۴/۴	۲۹/۹	۱۱/۵	۱۳/۲
K1	۲۶/۲	۷/۱	۳/۴	۲۷/۵	۹/۶	۲۶/۲

بحث و نتیجه‌گیری

جغرافیایی (GIS) ابزاری مفید برای مدیریت منابع طبیعی است (تاگیل و جنیس، ۲۰۰۸). در این

بررسی لندفرم‌ها و تکنیک‌های پهنه‌بندی بر پایه ارزیابی ژئومورفولوژیک با سیستم اطلاعات

نشان داد که با افزایش فاصله همسایه نقاط مرکزی، مساحت لندفرم‌های دره‌های باریک و آبراهه‌ها و قله کوه و یال‌های مرتفع افزایش چشمگیری داشته و مساحت لندفرم‌های دیگر کاهش می‌یابد. این نتایج می‌تواند به این دلیل باشد که مساحت این دو لندفرم از بقیه لندفرم‌ها بیشتر است و با افزایش فاصله همسایه بقیه لندفرم‌ها در این فاصله همسایه ناپدید می‌شوند. نتایج این بخش با نتایج ریو و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت ندارد زیرا آن‌ها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله همسایه مساحت شیب‌های بالایی و میانی افزایش و مساحت لندفرم‌های دیگر کاهش می‌یابد. لذا برای تعیین دقیق فاصله همسایه، می‌توان با استفاده از نقشه ژئومرفولوژی و پیمایش صحرایی بهترین اندازه فاصله همسایه را جهت تعیین مساحت هر لندفرم انتخاب کرد. تحلیل واریانس (ANOVA) یک‌طرفه بین سازندهای زمین‌شناسی و نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌های منطقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود یعنی وجود ناهمواری‌های منطقه به طور مستقیم به نوع سازند زمین‌شناسی در ارتباط بوده است و به عبارتی تغییر در نوع سازندها باعث تغییرات معنی‌دار در نوع ناهمواری‌های منطقه می‌گردد. در بخش دیگر نتایج مشخص شد که دشت شامل سازندهای پادگانه‌ها و مخروطه‌های جوان، واریزه و سنگریزه و مخروط افکنه و پادگانه قدیمی و بیش از ۶۰ درصد ناهمواری‌های شیب میانی، شیب بالایی و یال‌ها و قله کوه‌های منطقه از سازندهای آهکی (OMI, El, TRjm, K2, TRkh, Jgr-vc, OMas, K1) تشکیل شده است. علاوه بر این سازندهای کواترنری، یعنی پادگانه‌ها و مخروطه‌های جوان، واریزه و سنگریزه، مخروط افکنه و پادگانه قدیمی (Qt1, Qt2, Qs) بیشترین تأثیر را در به‌وجود آمدن دشت‌های منطقه داشته‌اند. این نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که

تحقیق ابتدا روش TPI برای طبقه‌بندی لندفرم‌های زیر حوضه بیرانشهر مورد استفاده قرار گرفت و سپس از روش DEV برای بررسی تغییر مساحت لندفرم‌ها با فاصله همسایه متفاوت، استفاده شد. نتایج شکل‌های ۵ (A)، (B) و (C)، نقشه طبقه‌بندی ناهمواری‌های منطقه را با شاخص موقعیت توپوگرافی با اندازه پنجره به ترتیب ۳*۳، ۵*۵ و ۱۰*۱۰ را نشان می‌دهد که مطابق نتایج، مقادیر TPI با اندازه پنجره‌های ۳*۳، ۵*۵ و ۱۰*۱۰ منطقه مورد مطالعه، به ترتیب بین ۲۷/۷۶- تا ۲۰/۸۳، ۱۲/۵۷- تا ۱۳/۲۳ و ۶/۰۱- تا ۸/۲۸ می‌باشد. این نتایج نشان داد که با افزایش اندازه پنجره، محدوده میزان TPI کاهش می‌یابد. که این کاهش مقادیر به این دلیل است که با افزایش اندازه پنجره، برخی ناهمواری‌های کوچک حذف می‌شوند. منطقه مورد مطالعه دارای سازندهای کارستی می‌باشد که رخساره‌های کارستی همانند دولین، پلژه، دره کارستی و ... در منطقه وجود دارد و با افزایش اندازه پنجره ممکن است این رخساره‌ها نادیده گرفته شوند و در نتیجه آن، محدوده این شاخص کاهش می‌یابد. لذا برای طبقه‌بندی ناهمواری‌های مناطق کارستی بایستی از TPI با اندازه پنجره کم استفاده شود، زیرا با کاهش اندازه پنجره محدوده شاخص موقعیت توپوگرافی افزایش یافته و جزئیات بیشتری از ناهمواری‌های مناطق کارستی نشان می‌دهد. علاوه بر این، نتایج طبقه‌بندی با TPI و اندازه پنجره ۳*۳ نشان داد که بیشترین و کمترین مساحت لندفرم‌ها به ترتیب به دره‌های باریک و آبراهه‌ها و طبقات شیب‌های پایینی (۳۳/۳۷ و ۵/۶۳ درصد) تعلق دارد و مطابق نتایج درصد زیادی از منطقه کوهستانی می‌باشد. محدوده مقدار TPI تحت تأثیر زبری سطح می‌باشد و برای کاهش این تأثیر، روش انحراف ارتفاع متوسط (DEV) مورد استفاده قرار گرفت (ریو و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج روش DEV

سازندهای زمین‌شناسی می‌تواند به‌عنوان روش مفیدی برای تعیین مرز واحدهای زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این با داشتن نقشه لندفرم‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی می‌توان در مورد خصوصیات خاک منطقه بحث کرد و تهیه نقشه لندفرم‌ها براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه، کمک شایانی به تهیه نقشه پهنه‌بندی خاک و نوع پوشش منطقه می‌کند (بارکا و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، می‌توان از این طبقه‌بندی لندفرم‌ها به‌عنوان یک الگو برای طبقه‌بندی و تعیین لندفرم‌های مناطق مختلف از جمله مناطقی که دارای سازندهای آهکی هستند، و مدیریت منابع طبیعی استفاده کرد.

(مطالعه موردی: استان لرستان) " (کد طرح: ۹۳۰۳۸۰۳۱) می‌باشد که اعتبار آن از سوی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور تامین گردیده است. لذا بدین وسیله از آن سازمان تشکر قدردانی می‌نمایم.

ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک، سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۴، شماره ۱۴، ص ۱۹-۳۰.
-مکرم، م. و نگهبان، س.، ۱۳۹۳. طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۲، ص ۵۷-۶۹.

-Ascione, A., Cinque, A., Miccadei, E., Villani, F. and Berti, C., 2008. The Plio-Quaternary uplift of the Apennine chain: New data from the analysis of topography and river valleys in Central Italy, *Geomorphology*, v. 102, p. 105-118.

دشت‌های منطقه در اثر فرسایش ارتفاعات به‌وجود آمده‌اند. در بین سازندهای زمین‌شناسی منطقه، سازندهای آهک سفید، پادگانه و مخروطه‌های جوان به‌ترتیب بیشترین و کمترین نقش را در تشکیل لندفرم‌های شیب‌میان، شیب بالایی و یال-ها و قله‌ها داشته‌اند. این نتایج با نتایج تاگیل و جنیس (۲۰۰۸) هم‌خوانی دارد، زیرا در منطقه مورد تحقیق آن‌ها، حدود ۴۸ درصد از سنگ آهک منطقه شیب‌های باز و شیب‌های میانی را به‌وجود آورده بود. به‌طور کلی نتایج تحقیق تاگیل و جنیس (۲۰۰۸) نشان داد که سنگ آهک و اگلومرا، ناهمواری‌های منطقه مورد تحقیقشان را تشکیل داده‌اند. بنابراین این نوع طبقه‌بندی سیمای ظاهری زمین و تعیین ارتباط بین واحدهای لندفرم‌ها با

سیاسگزاری

این مقاله حاصل انجام طرح پژوهشی با عنوان "طبقه‌بندی کمی ناهمواری‌ها و تعیین سایش انحلالی و بار محلول در حوضه‌های کارستی

منابع

-تازه، م.، ۱۳۹۱. طبقه‌بندی دشت سرهای مناطق بیابانی براساس پارامترهای مرفومتري و بیوفیزیکی در منطقه خضرآباد یزد، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، ۱۷۲ ص.
-شایان، س.، یمانی، م.، فرج‌زاده اصل، م. و احمدآبادی، ع.، ۱۳۹۱. طبقه‌بندی نظارت شده لندفرم‌های

-Barka, I., Vladovic, J. and Malis, F., 2011. Landform classification and its application in predictive mapping of soil and forest units, *GIS Ostrava*, v. 1, p. 23-34.
-Bolongaro, C.A., Rodriguez, V., Sorani, V., Frame, D. and Ortiz, M.A., 2005. Geomorphometric analysis for

- characterizing landforms in Morelos State, Mexico, *Geomorphology*, v. 67, p. 407-422.
- Deng, Y., 2007. New trends in digital terrain analysis: landform definition, representation, and classification, *Progress in Physical Geography*, v. 31, p. 405-419.
- Fels, J.E. and Zobel, R., 1995. Landscape position and classified land type mapping for statewide DRASTIC mapping project, North Carolina State University Technical Report, VEL.95.1.
- Grohmann, C.H. and Riccomini, C., 2009. Comparison of roving-window and search-window techniques for characterizing landscape morphometry, *Computers & Geosciences*, v. 35, p. 2164-2169.
- Hengl, T. and Reuter, H.I. (Eds.), 2009. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science*, 33, Elsevier, Amsterdam, 227 p.
- Iwahashi, J. and Pike, R.J., 2007. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature, *Geomorphology*, v. 86, p. 409-440.
- Jenness, J., Brost, B. and Beier, P., 2013. *Land Facet Corridor Designer*, Produced with the generous support of USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station and McIntire-Stennis Cooperative Forestry Program and Arizona Board of Forest Research, 110 p.
- Liu, M., Hu, Y., Chang, Y., He, X. and Zhang, W., 2009. Land use and land cover change analysis and prediction in the upper reaches of the Minjiang River, China. *Environmental Management*, v. 43, p. 899-907.
- Mokarram, M. and Seif, A., 2014. GIS-Based Automated Landform Classification in Zagros Mountain, *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, v. 3 (3), p. 20-32.
- Pavlopoulos, K., Evelpidou, N. and Vassilopoulos, A., 2009. *Mapping Geomorphological Environments*, Springer-Verlag Berlin, 227 p.
- Reu, J.D., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., Smedt, P.D., Chu, W., Antrop, M., Maeyer, P.D., Finke, P., Meirvenne, M.V., Verniers, J. and Crombé, P., 2013. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes, *Geomorphology*, v. 186, p. 39-49.
- Seif, A., 2014. Using Topography Position Index for Landform Classification, *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, v. 3 (11), p. 33-39.
- Tagil, S. and Jenness, J., 2008. GIS-based automated landform classification and Topographic, Land cover and Geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey, *Journal of Applied Sciences*, v. 8(6), p. 910-921.
- Tucker, G.E., Catani, F., Rinaldo, A. and Bras, R.L., 2001. Statistical analysis of drainage density from digital terrain data, *Geomorphology*, v. 36, p. 187-202.
- Weiss, A.D., 2001. Topographic position and landforms analysis, Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA.