



مدل سازی تشخیصی و تفکیک ساختار سلسله مراتبی فرم شناسی در دانش ژئومورفولوژی

دکتر رسول صمدزاده^{۱*}، فاطمه نعمت اللهی^۲، سینا صلحی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

تنوع و گستردگی پژوهش‌های کاربردی در حوزه علم ژئومورفولوژی منجر به قطع ارتباط معنایی و مفهومی این گونه پژوهش‌ها با مبانی نظری و ایده‌های فکری تغذیه‌کننده آن‌ها شده است. امروزه ضرورت دارد که بین پژوهش‌های کاربردی حوزه علم ژئومورفولوژی و مکاتب فکری پشتیبان آن‌ها، ارتباط شفاف‌تری برقرار شود که این مسئله توجیه‌کننده ضرورت پژوهش حاضر است؛ بنابراین در جهت دستیابی به اهداف کلیدی این پژوهش، ایده‌های نظری مطرح شده در مکاتب نظری و فلسفی ژئومورفولوژی ایران مورد کاوش قرار گرفت؛ از این رو با اتکا به ریشه‌های نظری و بنیادین مطرح شده در نظام فرم شناسی دانش ژئومورفولوژی و با روشی تحلیلی، عملیات مصداق سازی و کمی سازی ایده‌های بنیادین، با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های مرفومتريک تبیین شد.

در نتیجه، هفت سطح زمین معنا، زمین فضا، زمین متن، زمین منظر، زمین شکل، زمین عارضه و زمین شیء، پیکربندی، مصداق سازی و در حوزه ژئومورفولوژی، کمی، بصری و کاربردی شد. بدین معنا که با ایجاد یک حلقه واسط، فضای نظری با روش‌ها و تکنیک‌های کمی، مصداق سازی و کاربردی شد.^۴

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۷، تابستان ۱۴۰۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۶
صفحات: ۱۸۳-۲۰۹



واژه‌های کلیدی:
مدل سازی، فرم شناسی، ژئومورفولوژی،
ساختار سلسله مراتبی.

مقدمه

زمین شکل، زمین عارضه و زمین شیء تبیین و تشریح کرده‌اند. پیش از این، رامشت (۱۳۸۴)، در کتاب نقشه‌های ژئومورفولوژی نمادها و مجازها به اصول فرم شناسی در ژئومورفولوژی پرداخته است و مبنای طبقه بندی واحدهای فرمی در ژئومورفولوژی را نظریه سلسله مراتبی می‌داند (رامشت، ۱۳۸۴: ۱۵). در این شیوه، هر واحد تقسیمی مرکب از چند واحد کوچک تر است و در زمره اجزای آن تلقی می‌شود؛ به عبارت دیگر این نوع طبقه بندی از نظر ساختاری با طبقه بندی‌هایی که در گیاه شناسی، جانور شناسی و خاک شناسی به کار می‌رود، مشابه است. بزرگترین واحد فرمی در این طبقه بندی چشم انداز است و هر چشم اندازی شامل چند منظر می‌شود. مناظر ژئومورفیک شامل سطوح

صمدزاده و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعات خود تعریفی نو از ساختار فرم شناسی در دانش ژئومورفولوژی مطرح کرده‌اند. در این پژوهش به این نکته اشاره شده است که اهمیت مفاهیم و نقش آن‌ها بر ترسیم فضای فکری بر کسی پوشیده نیست و تأکید شده که تغییر در مفاهیم بنیادین و نظری علوم، مجال نگرش‌های نوین و خلق مفاهیم نظری جدید، در یک نظم علمی را ایجاد می‌کند و از طرف دیگر این تغییر، نیاز به تغییرات اصطلاح شناسی داشته تا از همپوشانی ذهنیت جامعه علمی با مفاهیم پیشین جلوگیری کند؛ از این رو، یک ساختار سلسله مراتبی فرم شناسی در هفت سطح شامل زمین معنا، زمین فضا، زمین منظر،

می‌کند که ویژگی مشترک این فرم‌ها در مقیاس‌های فضایی مختلف، همزیستی آن‌ها در فضا است، اگرچه از لحاظ مقیاس زمانی متفاوت هستند. فرم‌هایی که دارای مقیاس فضایی بزرگ‌تری هستند را پایدارتر و فرم‌های مقیاس فضایی کوچک را زودگذر و ناپایدار می‌داند (Starkel, 1999: 61). این پژوهش که نوعی پیوند بین یک پژوهش بنیادین در ارائه ساختار نوین فرم‌شناسی و مصداق‌سازی کاربردی آن در ژئومورفولوژی را نشان می‌دهد، سعی دارد با کمی‌سازی ایده‌های بنیادین در جهت زایایی علم ژئومورفولوژی در حیطه سیستم‌های طبقه‌بندی فرم‌شناسی عمل کند.

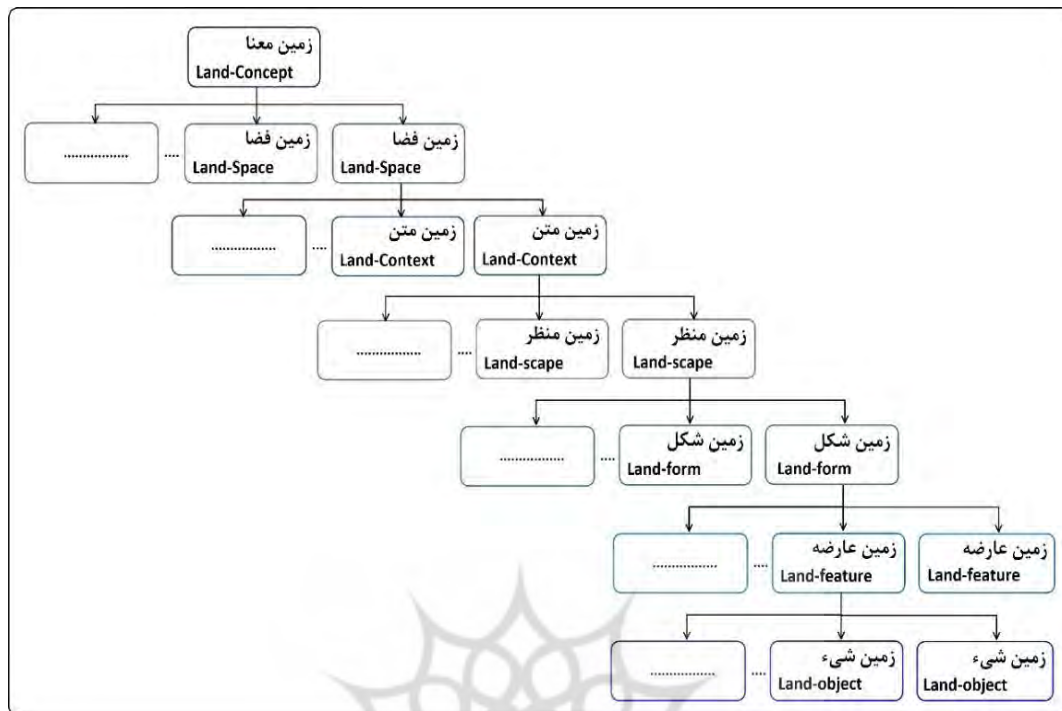
مبانی نظری

در مطالعات پیشین، نظام فرمی در علم ژئومورفولوژی براساس واحدهای چشم‌انداز، منظر، زمین‌نما و فرم ارضی در نظر گرفته شده است (رامشت، ۱۳۸۴: ۱۵)؛ اما مقوله‌بندی واحدهای فرمی مورد توجه در این پژوهش، دارای قدرت تفکیک ساختارهای فرمی و سطح‌بندی متفاوتی با طبقه‌بندی‌های قبلی است. صمدزاده و همکاران (۱۴۰۰) با هدف توسعه اصطلاح‌شناسی و توسعه ریشه‌های نظری علم ژئومورفولوژی در قالب یک پژوهش بنیادین و به‌طور کلی در جهت ارائه یک بازتعریف از ساختار سلسله‌مراتبی فرم‌شناسی در علم ژئومورفولوژی گام جدیدی برداشته‌اند. این سیستم سلسله‌مراتبی نوین فرم‌شناسی در ژئومورفولوژی در شکل ۱ ارائه شده است. ویژگی بارز ساختار این مقوله‌بندی، در قدرت تفکیک بالاتر و نیز معنایی بودن این ساختار است. در صورتی که وجه اشتراک ساختار فرمی آن با طبقه‌بندی پیشین، در سلسله‌مراتبی بودن آن است.

ارضی است. واحد سوم در طبقه‌بندی فرمیک، زمین‌نما است. این واحد تأثیرپذیری فرم‌ها از بافت و جنس ارضی را بر مبنای مقاومت آن‌ها در برابر فرسایندهای بیان می‌دارد و کوچک‌ترین و آخرین واحد تقسیمی در این تقسیم‌بندی فرم ارضی است. زمین دارای سطحی پیوسته است که دارای چشم‌اندازها و لندفرم‌های مختلفی است. طبقه‌بندی و قطع‌بندی لندفرم‌های زمین به چندین طبقه و کلاس به هنگام مطالعه و بررسی آن‌ها ضروری است. چشم‌اندازها و لندفرم‌ها معمولاً با سلسله‌مراتبی از مقیاس‌ها و ابعاد، شناسایی و تعیین می‌شوند (Hammond, 1964:11; Meijerink, 1988:23; Mulla, 1988: 389; Pike, 1988:491; Dikau, 1989:51; Guzzetti & Reichenbach, 1994: 57; Suryana & de Hoop, 1994: 869; Fels & Matson, 1996; Lloyd & Atkinson, 1998; Schmidt, Merz, & Dikau: 1998:56; Etzelmueller & Sulebak, 2000:40; Lucieer, Fisher & Stein, 2003:1

شوم و لیختی (۱۹۶۵: ۱۱۲) و فیلیپس (۱۹۸۸: ۳۱۰) در مطالعات خود، نقش مقیاس‌های مکانی-فضایی و زمانی را در ژئومورفولوژی و سیستم‌های ژئومرفیک به‌وضوح بیان کرده‌اند. دی‌بوئر (۱۹۹۲: ۳۰۳)، نظریه سلسله‌مراتبی و مقیاس مکانی-فضایی را در ژئومورفولوژی فرایندی مورد بررسی قرار داده و از نظر وی سیستم‌های ژئومورفیک دارای ساختاری تودرتو و سلسله‌مراتبی هستند: هر سیستم ژئومورفیکی از سلسله‌مراتبی از سیستم‌های سطح پایین‌تر و هرچند کوچک‌تر تشکیل شده است. استارکل (۱۹۹۹: ۶۱) نیز با ارائه مقاله‌ای با عنوان مقیاس‌های مکانی و زمانی در ژئومورفولوژی، با استفاده از سیستم اصطلاح‌شناسی مطرح‌شده توسط برانسدن (۱۹۹۶: ۲۲۴)، فرم‌های مگا، ماکرو، مزو، میکرو، نانو، و پیکو^۱ را به‌صورت سلسله‌مراتبی در بحث مقیاس‌های فضایی مشخص کرده است. وی بیان

1. Mega-macro- meso- micro- nano- and pico-forms.



شکل ۱: سیستم سلسله‌مراتبی نوین فرم‌شناسی بنیادین در ژئومورفولوژی

مأخذ: صمدزاده و همکاران، ۱۴۰۰

معنای مرتفع‌بودن می‌تواند فلات یا کوهستان و... را دربرگیرد. درواقع معنای مرتفع‌بودن، هم در فلات و هم در کوهستان مستتر است. در نتیجه کوهستان یک زمین‌فضا و فلات یک زمین‌فضای دیگری است. وقتی به سطح زمین‌فضا می‌رسیم، از درجه معنایی کاسته و به درجه فرمی افزوده می‌شود. کوهستان که یکی از زمین‌فضاهای زمین‌معنای مرتفع‌بودن است، شامل زمین‌متن‌های مختلفی است؛ به‌عنوان مثال زمین‌متن کوه‌های منفرد، یا زمین‌متن کمربند کوهستانی. اکنون وقتی کمربند کوهستانی را یکی از زمین‌متن‌های زمین‌فضای کوهستانی در نظر بگیریم، بسته به زاویه دید، مقطع و نوع نگاه ما، زمین‌منظرهای مختلفی را در دل خود جای می‌دهد؛ به‌طورمثال یک دره یخچالی یا یک رشته‌کوه، زمین‌منظرهای مختلف زمین‌متن کمربند کوهستانی هستند. به تعبیر دیگر، یک دره یخچالی یا یک دره رودخانه‌ای، معنای مرتفع‌بودن را حمل می‌کند، در فضای کوهستان قرار دارد و جزئی از زمین‌متن کمربندهای کوهستانی هستند؛ اما مناظر

به‌طوری که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، این نظام دارای ساختار سلسله‌مراتبی بوده و هر واحد فرمی می‌تواند دربرگیرنده تعدادی زیرواحد دیگر باشد. از ترکیب هفت واحد سلسله‌مراتبی فرم‌معنایی، ساختار فرم‌شناسی نوین در ژئومورفولوژی تدوین شده است که بزرگترین واحد فرمی در این ساختار زمین‌معنا و کوچک‌ترین واحد آن زمین‌شیء است. در ادامه به توضیح مختصری از هر یک از سطوح فرم‌شناسی بنیادین در ژئومورفولوژی بر مبنای روش پیشنهادی صمدزاده و همکاران (۱۴۰۰) می‌پردازیم (جدول ۱).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با اتکا به سیستم سلسله‌مراتبی نوین فرم‌شناسی در ژئومورفولوژی و با روش کمی، به‌صورت مصداقی تمامی سطوح مدل فرم‌شناسی، تشخیص و تفکیک شد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، زمین‌معنا می‌تواند «مرتفع‌بودن» باشد،

اصلی که یال‌های اصلی تشکیل‌دهنده قله است، زمین‌عارضه نامیده می‌شود. اگر خط‌الرأس‌ها یا یال‌های اصلی تشکیل‌دهنده یک قله را زمین‌عارضه بنامیم، خط‌الرأس‌های فرعی یا شیارها و شکاف‌های کوچکی که بر روی آن دیده می‌شود، به نام زمین‌شیء نامیده خواهد شد که کوچک‌ترین واحد فرمی در این نظام طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی است و در مقیاس مطالعاتی ژئومورفولوژی کوچک‌ترین واحد فرم‌شناسی را به خود اختصاص می‌دهد.

متفاوتی از یک رشته‌کوه را دارند. در نتیجه در سایر اجزاء مشترک، اما از نظر منظر متفاوت هستند. اکنون رشته‌کوه یکی از زمین‌منظرهای این نظام سلسله‌مراتبی را در نظر بگیرید، لندفرم‌ها یا زمین‌شکل‌های مختلفی در یک رشته‌کوه یا زمین‌منظر وجود دارد. نمونه‌هایی از این لندفرم‌ها، قله، گردنه، سیرک یخچالی و مواردی از این دست هستند. در نتیجه قله یکی از لندفرم‌های زمین‌منظر رشته‌کوه به حساب می‌آید. اکنون لندفرم قله، خود دارای عوارضی دیگر است؛ به عنوان مثال یکی از این عوارض خط‌الرأس‌های اصلی است که اسکلت یک قله را تشکیل داده است؛ به طور مثال خط‌الرأس‌های

جدول ۱: شرح مفاهیم سطوح فرم‌شناسی

شرح مفاهیم	سطوح فرم‌شناسی
مجموعه‌ای از معانی، مفاهیم، ویژگی‌ها، صفات و خواص و به‌طور کلی هویت مکانی حاکم بر قسمتی از زمین را، زمین‌معنا می‌نامیم که این معانی در تمامی سلسله‌مراتب فرم‌شناسی ساری و جاری است.	زمین‌معنا ^۱
هر زمین‌معنایی، با توجه به نحوه و نوع چیدمان، قرارگیری، تلفیق و ترکیب در فضاهای مختلف جغرافیایی، مفهومی به نام زمین‌فضا ایجاد می‌کند. در نتیجه معنای زمین با توجه به الگوی چیدمانی به صورت زمین‌فضاهای مختلف می‌تواند متجلی شود.	زمین‌فضا ^۲
بعد از شکل‌گیری یک زمین‌فضا، معنای جلوه‌گر می‌شوند و در نتیجه، تمایل به تجسد تقویت شده و وجوه مرتبط با فرم تقویت می‌شود. در سلسله‌مراتب فرم‌شناسی بنیادین از معنای به فرم می‌رسیم، یعنی سیر نماد به نمود در این سلسله‌مراتب وجود دارد. زمانی که معنای زمین، هویت فضا را بسته به نوع و الگوی چیدمانی خاص خود دریافت کند و نیز تجسد و نمود بیشتری پیدا کند، مفهوم زمین‌متن تشکیل می‌شود. در نتیجه متأثر از معنای زمین و از تلاقی خواص فضایی، مکانی و فیزیکی در یک موقعیت خاص جغرافیایی، زمین‌متن‌های مختلفی ایجاد می‌شوند.	زمین‌متن ^۳
اگر برشی از یک زمین‌متن زده شود و از زاویه یا نگاه خاصی به آن نگریسته شود، مفهوم زمین‌منظر نمایان خواهد شد. زمین‌منظر و تعریف آن به شدت تحت تأثیر نگرش محقق، کاربردها، خواسته‌ها و اهداف فرایند پژوهش خواهد بود. زمین‌منظر در مسیر سلسله‌مراتبی فرم‌شناسی بنیادین به نسبت سطوح مافوق خود، تجسد بیشتری پیدا کرده است.	زمین‌منظر ^۴
در برشی که بر زمین‌منظر زده شود، زمین‌شکل معنا پیدا می‌کند. در نتیجه زمین‌شکل تحت تأثیر زمین‌منظر است و تغییر در زمین‌منظر به شدت زمین‌شکل را متأثر می‌سازد. هر زمین‌منظر می‌تواند نماینده زمین‌شکل‌های متنوعی باشد. درجه تکامل یا نمود فرم‌شناسی به نسبت سطوح قبلی تکامل بیشتری می‌یابد و تجسد معنا به فرم، بیشتر آشکار خواهد شد.	زمین‌شکل ^۵
زمانی که یک ویژگی برجسته شود، عارضه نامیده می‌شود. در صورتی که این ویژگی یا صفت غالب، تواتر یا تکرار فراکتالی یابد، زمین‌عارضه را به وجود می‌آورد. در نتیجه زمین‌شکل، مجموعه‌ای از صفات غالب با فراکتالی است که کاملاً متجسد و صلب شده‌اند.	زمین‌عارضه ^۶
هر زمین‌عارضه از عناصر یا اجزای همگن و متجانسی تشکیل شده که به آن‌ها زمین‌شیء گفته می‌شود. درباره زمین‌شیء، معنا به‌طور کامل متجسد شده و تجانس و همگنی آن، در نظام سلسله‌مراتبی فرم‌شناسی مورد بحث در این پژوهش، به حداکثر رسیده است.	زمین‌شیء ^۷

مأخذ: صمدزاده و همکاران، ۱۴۰۰

- 1.Land-Concept
- 2.Land-Space
- 3.Land-Context
- 4.Landscape
- 5.Land-From
- 6.Land-Feature
- 7.Land-Object

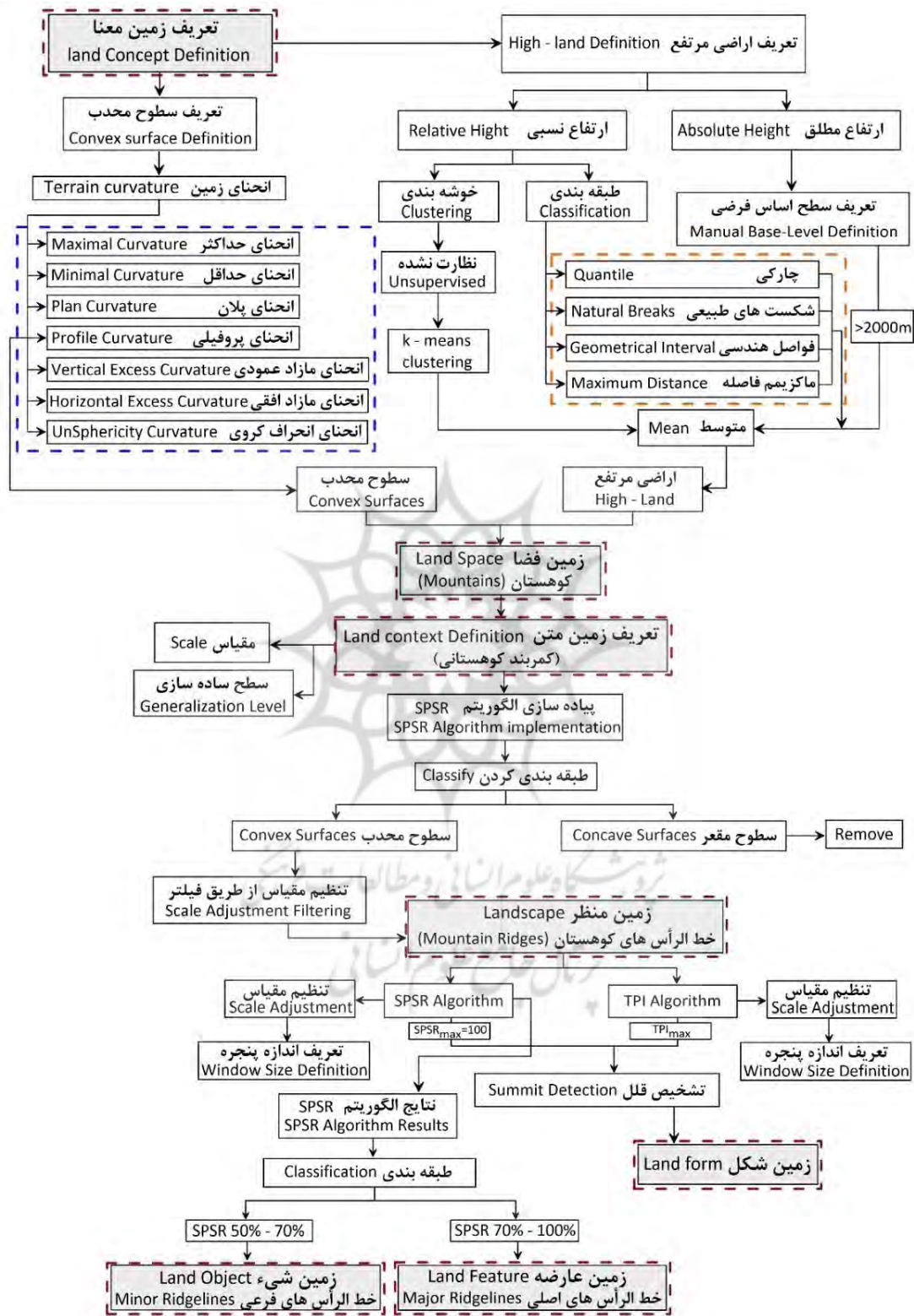


شکل ۲: مصادیق سطوح مدل فرم‌شناسی
 مأخذ: صمدزاده و همکاران، ۱۴۰۰

نقشه‌های موضوعی تهیه و ترسیم شدند. به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش فرایند زیر طراحی شده‌است (شکل ۳).

سطوح سلسله‌مراتبی فرم‌شناسی با استفاده از روش‌ها، مدل‌ها و تکنیک‌های کمی، گام‌به‌گام، شناسایی و تفکیک شده و در نهایت به‌صورت

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳: روند نمای پژوهش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

گام نخست: تعریف زمین معنا

گام نخست در خلق ساختار سلسله‌مراتبی فرم‌شناسی، تعیین معنای زمین است. در این پژوهش معنای زمین به صورت مصداقی، مرتفع و محدب بودن در نظر گرفته شد. به بیان دیگر معنای زمین^۱ براساس دو معنای محدب بودن و مرتفع بودن تعریف شد. در نتیجه بایستی به لحاظ کمی، در یک فاز، معنای مرتفع بودن^۲ و در فاز دیگر معنای محدب بودن زمین^۳ تعریف شود.

- تعیین معنای مرتفع بودن زمین با روش طبقه‌بندی چارکی

روش طبقه‌بندی چارکی یک روش طبقه‌بندی داده‌است که مقادیر عددی را به گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند به طوری که دارای تعداد یکسانی باشند. رابطه (۱)، تعداد داده‌هایی که مطابق با روش چارکی در هر کلاس قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد؛ به طوری که در این رابطه، Q تعداد مشاهدات هر کلاس، T تعداد کل مشاهدات و N تعداد کلاس‌ها است.

$$Q = \frac{T}{N} \quad \text{رابطه (۱):}$$

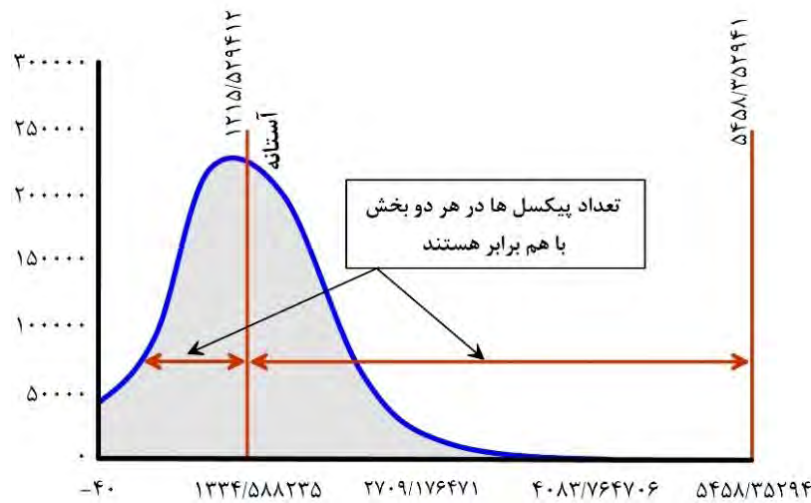
در این روش هیچ کلاسی بدون عضو نخواهد بود و همچنین محدودیتی در حد بالا و پایین تعداد اعضای هر کلاس نیز وجود ندارد (سایت رسمی شرکت Esri^{۱۱}). روش طبقه‌بندی چارکی، تعداد کلاس‌ها در بخش بالایی و میانی داده‌ها را یکسان در نظر می‌گیرد و هر کلاس به طور یکسان نمایش داده می‌شود. در مواقعی که با داده‌های ترتیبی^{۱۲} روبه‌رو هستیم، این روش بسیار مفید و مؤثر است. هنگام استفاده از این روش بین داده‌ها امکان ایجاد فاصله^{۱۳} وجود دارد که این فواصل خالی بعضی مواقع می‌توانند منجر به وزن‌دهی بیش از حد به داده‌های پرت^{۱۴} و خارج در آن کلاس شود (شکل ۴).

- تعریف معنای مرتفع بودن زمین

برای تعریف معنای مرتفع بودن، از دو ارتفاع مطلق و نسبی^۴ استفاده شد. در تعیین ارتفاع مطلق یا همان حد بین معنای مرتفع و غیرمرتفع بودن، از یک سطح مبنای فرضی و براساس نظر کارشناسی استفاده شد. این آستانه مطلق می‌تواند بسته به شرایط سرزمینی یک کشور یا منطقه تعریف شود. برای تعیین حد، با توجه به شرایط سرزمینی ایران و نظر کارشناسی آستانه ۲۰۰۰ متر تعیین شد. از طرف دیگر برای تعیین معنای مرتفع بودن از طریق ارتفاع نسبی نیز اقدام شد. در این راستا دو محور طبقه‌بندی^۵ و خوشه‌بندی^۶ مورد نظر قرار گرفت. در بخش طبقه‌بندی از روش‌های طبقه‌بندی چارکی^۷، شکست‌های طبیعی^۸، فواصل هندسی^۹ و روش ماکزیمم فاصله^{۱۰} و در بخش خوشه‌بندی از روش نظارت‌نشده K-means Clustering استفاده شد.

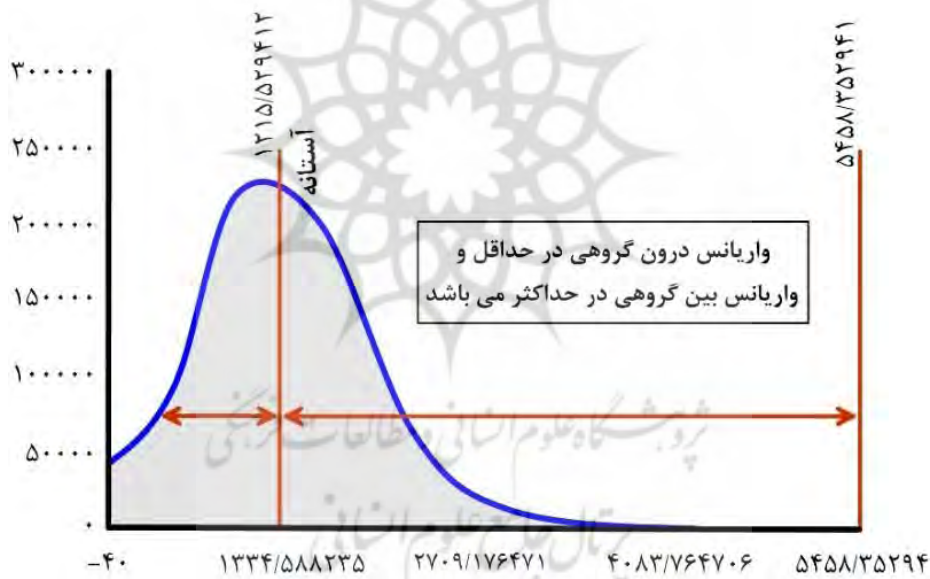
1. Land-Concept Definition
2. High-land Definition
3. Convex-surface Definition
4. Absolute and Relative Height
5. Classification
6. Clustering
7. Quantile
8. Natural Break
9. Geometrical Interval
10. Maximum Distance (Dmax)

11. WWW.Esri.com
12. Ordinal
13. Gap
14. Outlier



شکل ۴: روش طبقه‌بندی چارکی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۵: روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

آیتم‌های شبیه به هم است که یک گروه طبیعی درون مجموعه داده را تشکیل می‌دهند (Jenks, 1967:188). این روش طبقه‌بندی به دنبال مینیمم کردن، انحراف متوسط از میانگین کلاس است، در حالی که انحراف از میانگین با سایر کلاس‌ها به ماکزیمم برسد. این روش واریانس درون گروهی را کاهش و واریانس بین گروهی را افزایش می‌دهد (شکل ۵) و معمولاً به نام GVF^1 نامیده

- تعیین معنای مرتفع بودن زمین با روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی

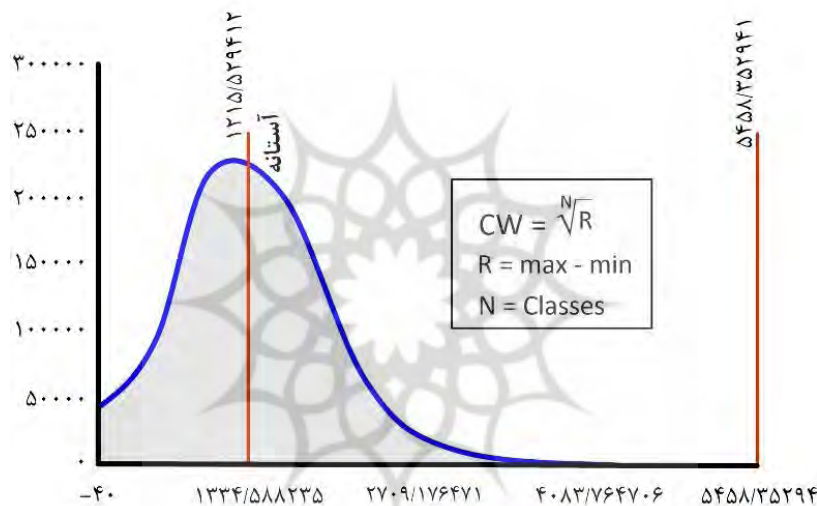
روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی یک سیستم طبقه‌بندی داده برای بهینه‌سازی آرایش مجموعه‌های داده در کلاس‌های طبیعی است. یک کلاس طبیعی بهینه‌ترین دامنه کلاس است که به صورت طبیعی در یک ست داده، می‌توان یافت. دامنه هر کلاس، ترکیبی از

از سری هندسی هستند. این روش طبقه‌بندی، برای نمایش داده‌هایی که کاملاً به صورت نرمال توزیع نشده‌اند، مناسب است یا زمانی که توزیع داده‌ها به شدت دارای چولگی هستند. روش طبقه‌بندی فواصل هندسی، از روش چارکی در نمایش سطوح پیش‌بینی شده، که اغلب دارای توزیع نرمال نیستند، بهتر است. فواصل هندسی، زمانی که داده‌ها در بخش وسیعی پراکنده شده‌اند و دارای توزیع خوبی نیستند، بهترین عملکرد را دارد (سایت رسمی شرکت Esri).

می‌شود که برابر با تفاضل $SDCM^2$ از $SDAM^3$ است (Jenks & Caspall, 1971:228).

- تعیین معنای مرتفع بودن زمین با روش طبقه‌بندی فواصل هندسی

روش طبقه‌بندی فواصل هندسی نوعی الگوی طبقه‌بندی توزیع مقادیر عددی، براساس سری هندسی^۴ است. در این طرح طبقه‌بندی، آستانه‌های طبقه‌بندی یا حد بین کلاس‌ها، براساس فواصل پی‌درپی به‌دست‌آمده



شکل ۶: روش طبقه‌بندی فواصل هندسی، در تعیین آستانه طبقه‌بندی توزیع داده‌های ورودی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

فرمول براساس روابط فیزیکی فشار هوا را با استفاده از ارتفاع زمین تخمین می‌زند.

$$p = (e^b) \quad \text{رابطه (۲):}$$

به‌طوری‌که در این رابطه p فشار هوا بر حسب میلی‌متر جیوه، e عدد نپرین تقریباً معادل $۲/۷۱۸۲۸$ است و b با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$b = 6.63 - \frac{h}{7941} \quad \text{رابطه (۳):}$$

در مرحله بعدی در بازه ارتفاعی منطقه مورد نظر، از حداقل ارتفاع تا حداکثر ارتفاع، فشار هوای متناظر به‌دست آمد و در نموداری که در شکل ۷، نشان داده

- تعیین معنای مرتفع بودن زمین با روش طبقه‌بندی ماکزیمم فاصله

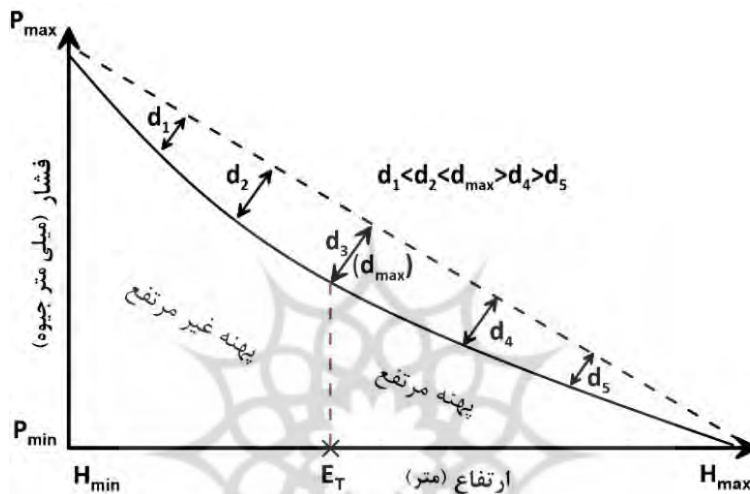
در این روش برای تعیین معنای مرتفع بودن زمین از مفهوم رابطه بین فشار هوا و ارتفاع زمین استفاده شده‌است. رابطه (۲)، فشار هوا بر حسب میلی‌متر جیوه را با استفاده از ارتفاع زمین محاسبه می‌کند. این

1. Goodness of Variance Fit (GVF)
2. Sum of squared deviations for class means
3. Sum of squared deviations for array mean

۴. در ریاضیات سری هندسی (Geometric Propagation)، که البته به نام توالی هندسی (Geometric Sequences) نیز شناخته می‌شوند، رشته‌ای از اعداد است که تمامی اعداد بعد از اولین عدد، در عددی ثابت غیر صفر به نام ضریب مشترک (Common Ratio) ضرب می‌شوند.

استفاده از نتایج به دست آمده از شکل ۷، فاصله مستقیم بین تمامی نقاط بر روی منحنی تغییرات فشار-ارتفاع با خط $P_{max} - H_{max}$ مشخص شده و براساس ماکزیمم فاصله (D_{max})، آستانه ارتفاعی (E_T) مبنای تعریف معنای مرتفع بودن مشخص می‌شود.

شده، ترسیم شد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، رابطه تغییرات ارتفاع با فشار هوا در ارتفاعات مختلف حالت غیرخطی دارد. در ارتفاعات پایین، تغییرات ارتفاع منجر به تغییرات شدید فشار هوا می‌شود و در ارتفاعات بالا شیب تغییرات فشار هوا بسته به تغییرات ارتفاع، کاهش می‌یابد. اکنون با



شکل ۷: سیستم تعریف معنای مرتفع بودن براساس رابطه تغییرات ارتفاع با فشار هوا تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

هدف اصلی این روش در بخش‌بندی n مشاهده در k خوشه است؛ به طوری که هر مشاهده مرتبط با نزدیک‌ترین فاصله با مرکز ثقل خوشه باشد. در نهایت، ادامه این روند منجر به بخش‌بندی یا خوشه‌بندی تمامی مشاهدات در خوشه‌ها خواهد شد. در این مدل تنها تعداد خوشه‌ها تعیین شده و الگوریتم به طور خودکار تمامی مشاهدات را در آن خوشه‌ها (k) خوشه‌بندی می‌کند (Forgy, 1965:775).

در این پژوهش دو خوشه مرتفع و غیرمرتفع براساس ارتفاع سطوح اراضی تعیین شد که این مدل خوشه‌بندی به صورت نظارت‌نشده، معنای مرتفع بودن را تعیین می‌کند. تعداد خوشه‌ها $k=2$ تعیین شد و مدل خوشه‌بندی k -means Clustering با استفاده از کتابخانه

برای محاسبه فاصله عمودی نقاط از منحنی ارتفاع-فشار تا خط $P_{max} - H_{max}$ از رابطه (۴)، استفاده شد.

$$d = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

براساس رابطه (۴)، ابتدا معادله خط $P_{max} - H_{max}$ به دست آمده و سپس فاصله عمودی بین نقاط روی منحنی ارتفاع-فشار با خط $P_{max} - H_{max}$ به دست می‌آید.

– تعیین معنای مرتفع بودن زمین با استفاده از روش خوشه‌بندی نظارت‌نشده K-means Clustering
روش k -means Clustering یک روش بهینه‌سازی برداری است که در اصل ریشه در پردازش سیگنال دارد (MacQueen, 1967:291).

مقادیر r, s, t, p, q در ساختار پردازش‌های رستری با پنجره متحرک به ابعاد ۳ در ۳ سطر و ستون (شکل ۸) و با استفاده از روابط (۶) تا (۱۰) به دست آمدند.

Z1	Z2	Z3
Z4	Z5	Z6
Z7	Z8	Z9

شکل ۸: پنجره متحرک به منظور پردازش رستری با ابعاد ۳ در ۳ سطر و ستون تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

رابطه (۶):

$$r = \frac{Z_1 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_9 - 2 \cdot (Z_2 + Z_5 + Z_8)}{3 \cdot \Delta s}$$

رابطه (۷):

$$s = \frac{Z_3 + Z_7 - Z_1 - Z_9}{4 \cdot \Delta s^2}$$

رابطه (۸):

$$t = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9 - 2 \cdot (Z_4 + Z_5 + Z_6)}{3 \cdot \Delta s^2}$$

رابطه (۹):

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Z_3 + Z_6 + Z_9 - Z_1 - Z_4 - Z_7}{6 \times \Delta s}$$

رابطه (۱۰):

$$q = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 - Z_7 - Z_8 - Z_9}{6 \times \Delta s}$$

با توجه به نشان‌گذاری‌های فوق، انحنای پروفیلی^۱ با استفاده از رابطه (۱۱) (Young, M., & Evans, ۱۱) استفاده از رابطه (۱۱) (Krcho, 1973: 278; 1978:3) به دست آمد.

رابطه (۱۱):

$$\text{Profile Curv} = -\frac{p^2 \cdot r + 2 \cdot p \cdot q \cdot r \cdot s + q^2 \cdot t}{(p^2 + q^2) \cdot \sqrt{(1 + p^2 + q^2)}}$$

Scikit-learn زبان برنامه‌نویسی پایتون پیاده‌سازی و اجرا شد و در نهایت از این طریق معنای مرتفع‌بودن زمین تعریف و تعیین شد. نتایج به دست آمده از تمامی روش‌های فوق‌الذکر میانگین‌گیری شد و بدین صورت معنای مرتفع‌بودن زمین به صورت واحد تعریف و تعیین شد.

تعریف معنای محدب‌بودن زمین

گام دوم در تعیین معنای زمین، تعریف معنای محدب‌بودن زمین با استفاده از مدل‌ها و روش‌های کمی بود. بدین منظور از هفت مدل ریاضی محاسبه انحنای زمین در ساختارهای شبکه‌ای استفاده شد. با استفاده از این هفت روش و به کمک مدل رقومی ارتفاعی، سطوح محدب یا معنای محدب‌بودن زمین نیز تعریف شد. هفت مدل انحنای سطحی شامل انحنای حداکثر، حداقل، پلان، پروفیل، مازاد عمودی و مازاد افقی و انحراف کروی از مدل رقومی زمین استخراج شد و با تجمیع نتایج به دست آمده از این مدل‌ها، معنای محدب‌بودن زمین نیز تعریف شد.

- تعیین معنای محدب‌بودن زمین با استفاده از مدل‌های انحنای سطحی

برای تعیین معنای محدب‌بودن زمین از مدل‌های انحنای سطحی استفاده شد. برای محاسبه انحنای سطحی زمین نیاز به محاسبه مؤلفه‌های r, s, t, p, q است (Rana, 2006:892). برای محاسبه این مؤلفه‌ها از رابطه (۵)، استفاده شد.

رابطه (۵):

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}, \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2},$$

$$p = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad q = \frac{\partial z}{\partial y}$$

انحنای انحراف کروی، نشان دهنده اختلاف سطح به نسبت کره است و در نتیجه دارای مقدار ۰ برای شکلی کروی است. انحنای دیفرانسیلی به صورت نیمی از تفاضل بین انحنای افقی و عمودی تعریف می شود. برای محاسبه این نوع انحنای از رابطه (۱۵) استفاده شد (Shary, 1995:378).

رابطه (۱۵):

$$\text{Differential Curv} = \frac{q^2.r - 2.p.q.s + p^2.t}{(p^2 + q^2).(1 + p^2 + q^2)^2} - \frac{(1 + q^2).r - 2.p.q.s + (1 + p^2).t}{2.(1 + p^2 + q^2)^{3/2}}$$

از سه انحنای متوسط، انحراف کروی و دیفرانسیلی سایر انحنای شامل: انحنای حداکثر، حداقل، مازاد افقی و عمودی، گوسی، تجمعی کل، دایره ای کل و انحنای خطوط جریانی، با استفاده از روابط (۱۶) تا (۱۹) (Shary, Sharaya & Mitusov, 2002:27; Shary, 1995:382) محاسبه شدند.

رابطه (۱۶):

$$\text{Minimal Curv} = \text{Mean Curv} - \text{Unspphericity Curv}$$

رابطه (۱۷):

$$\text{Maximal Curv} = \text{Mean Curv} + \text{Unspphericity Curv}$$

رابطه (۱۸):

$$\text{Horizontal excess Curv} = \text{Unspphericity Curv} - \text{Differential Curv}$$

رابطه (۱۹):

$$\text{Vertical excess Curv} = \text{Unspphericity Curv} + \text{Differential Curv}$$

انحنای کانتوری که به انحنای پلان^۱ نیز معروف است از رابطه (۱۲) (Hengl, T, & Reuter, 2008:151) محاسبه شد. رابطه (۱۲):

$$\text{Plan Curv} = - \frac{q^2.r - 2p.q.s + q^2.t}{\sqrt{(1 + p^2 + q^2)^3}}$$

انحنای متوسط^۲ عبارت است از میانگین انحنای متعامد در همه منحنی های تماس که می تواند از انحنای پروفیلی و تانژانتی محاسبه شود (Young, 1805:72). رابطه ۱۳ روش محاسبه انحنای متوسط را نشان می دهند.

رابطه (۱۳):

$$\text{Mean Curv} = \frac{q^2.r - 2.p.q.s + p^2.t}{(p^2 + q^2).\sqrt{1 + p^2 + q^2}} - \frac{(1 + q^2).r - 2.p.q.s + (1 + p^2).t}{2.(1 + p^2 + q^2)^{3/2}}$$

انحنای متوسط نشان دهنده متوسط تحدب زمین بوده که می تواند به طور خاص برای مطالعات ژئومورفولوژیکی استفاده شود. مقادیر مثبت انحنای متوسط در ارتباط با مناطق دارای تجمع سطحی بوده در حالی که مقادیر منفی در مناطق دارای واگرایی نمایش داده می شوند (Shary, 1995:378). Shary سیستمی از ۱۲ نوع انحنای پیشنهاد می کند که سه انحنای متوسط، غیرکروی و دیفرانسیلی برای محاسبه ۹ انحنای دیگر استفاده می شود. انحنای انحراف کروی براساس روش شری با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه شد.

رابطه (۱۴):

$$\text{Unspphericity Curv} = \frac{\left(r.\sqrt{\frac{1+q^2}{1+p^2}} - t.\sqrt{\frac{1+p^2}{1+q^2}} \right)^2.(1+p^2+q^2) + \left(p.q.r.\sqrt{\frac{1+p^2}{1+q^2}} - 2.s.\sqrt{(1+q^2).(1+p^2)} + p.q.t.\sqrt{\frac{1+p^2}{1+q^2}} \right)^2}{2.(1+p^2+q^2)^{3/2}}$$

گام دوم: تشخیص زمین‌فضا

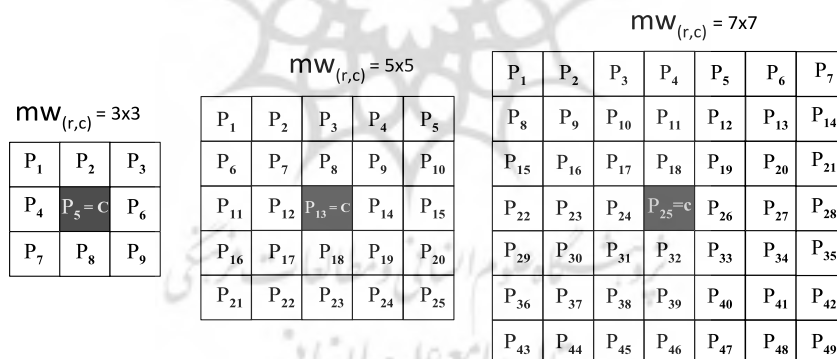
در سلسله‌مراتب فرم‌شناسی بنیادین در سطح بعدی با زمین‌فضا روبه‌رو می‌شویم. در این سلسله‌مراتب طبق معانی در نظر گرفته شده در بخش زمین‌معنا، زمین‌فضای کوهستان مطرح می‌شود. با در نظر گرفتن زمین‌معنای مرتفع و محدب‌بودن که در مرحله پیشین، به دست آمد این دو زمین‌معنا با یکدیگر جمع شده و زمین‌فضای کوهستان را متجلی می‌سازد. به طوری که در زمین‌فضای کوهستان هر دو معنای مرتفع‌بودن و محدب‌بودن مستتر است.

گام سوم: تشخیص زمین‌متن

در سطح بعد، برای تعریف و تشخیص زمین‌متن از زمین‌فضای کوهستان با اعمال مقیاس و سطحی از جنرالیزاسیون زمین‌متن تشخیص داده و تهیه و ترسیم شد.

گام چهارم: تشخیص زمین‌منظر

در گام چهارم، برای تعیین زمین‌منظر، ابتدا از الگوریتم SPSR (شیرانی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۳)، استفاده شد. با استفاده از نتایج الگوریتم SPSR که بر روی مدل رقومی ارتفاعی اعمال می‌شود، مقادیر بالاتر از ۵۰ درصد انتخاب و مقادیر پایین‌تر، حذف شد. سپس با اعمال یک فیلتر، زمین‌منظر خط‌الرأس‌های کوهستانی استخراج شد. الگوریتم SPSR با استفاده از تعریف یک پنجره متحرک بر روی شبکه رستری پیکسل‌های موجود در پنجره متحرک mw با ابعاد سطر و ستونی، r, c را به‌طور زوجی مقایسه کرده (شکل ۹) و در نهایت با استفاده از رابطه (۲۰)، درصد SPSR را محاسبه می‌کند.



شکل ۹: نحوه توزیع پیکسل‌ها در الگوریتم تشخیص تک‌نقطه‌ای SPSR

تهیه و ترسیم: شیرانی و همکاران، ۱۴۰۰

در این رابطه در صورتی که ارزش ارتفاعی پیکسل مرکزی (C) در هر زوج مقایسه بیشتر از ارزش ارتفاعی سایر پیکسل‌های پنجره متحرک $mw_{(r,c)}$ با ابعاد سطر و ستونی (r, c) باشد، یک واحد به مقدار m اضافه می‌شود. تعداد کل حالات مقایسه‌ای محتمل (n) برابر با ضرب تعداد سطر و ستون پنجره متحرک منهای یک واحد است. بعد از محاسبه مقدار m و n با استفاده از رابطه ۲۱ درصد شباهت به عارضه قله و خط‌الرأس

الگوریتم تشخیص تک‌نقطه‌ای قله با استفاده از رابطه ۲۱ پیاده‌سازی و با نماد ریاضی نشان داده شده‌است. رابطه (۲۰):

$$mw_{(r,c)} = \begin{cases} m = \sum_{i=1}^n C > P_i \\ n = (r \times c) - 1 \end{cases}$$

شد. بدین منظور مقادیر SPSR بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی و تفکیک شد و بدین صورت زمین‌عارضه خطالرأس‌های اصلی استخراج و ترسیم شد.

گام هفتم: تشخیص زمین‌شیء

برای تشخیص و تفکیک خطالرأس‌های فرعی از نتایج الگوریتم SPSR استفاده شد. در این بخش با طبقه‌بندی نتایج SPSR بین مقادیر ۵۰ تا ۷۰ درصد، زمین‌شیء خطالرأس‌های فرعی نیز تشخیص، تفکیک و ترسیم شد.

بحث و یافته‌ها

با توجه به توضیحاتی که در بخش روش‌شناسی پژوهش درباره روش تشخیص و ترسیم سطوح نظام فرم‌شناسی بنیادین، ارائه شد. هریک از سطوح فرم‌شناسی، تشخیص، تفکیک و ترسیم شدند. در گام نخست با تعیین دو معنای مرتفع‌بودن و محدب‌بودن، زمین‌معنا تعریف شد. معنای مرتفع‌بودن با استفاده از دو ارتفاع مطلق و نسبی تعریف شد. ارتفاع مطلق ۲۰۰۰ متر با توجه به موقعیت و شرایط ژئومورفولوژیکی سرزمین ایران و با مشاوره با متخصصان با روش کارشناسی تعیین شد. بر مبنای این سطح فرضی سطوح با معنای مرتفع و کم‌ارتفاع تعیین شد. در شکل ۱۰ زمین‌معنای مرتفع‌بودن با تعیین آستانه فرضی ارتفاع مطلق برای سرزمین ایران تهیه و ترسیم شد.

براساس الگوریتم تشخیص تک‌نقطه‌ای قلیل (SPSR) به‌دست می‌آید.
رابطه (۲۱):

$$S.S_{SPSR} = \left(\frac{m}{n}\right) \times 100$$

گام پنجم: تشخیص زمین‌شکل

در این گام برای تشخیص و تمیز زمین‌شکل از نتایج الگوریتم TPI و SPSR استفاده شد. در بخش قبلی به روش محاسبه الگوریتم SPSR از مدل رقومی ارتفاعی پرداخته شد. الگوریتم TPI یا شاخص موقعیت توپوگرافی یکی از شاخص‌های مطرح در بخش ژئومرفومتری است. الگوریتم TPI، تفاضل بین ارتفاع پیکسل یا نقطه مرکزی پنجره متحرک با متوسط پیکسل‌های مجاور در یک شعاع مشخص است (گالانت و ویلسون، ۲۰۰۰؛ ویس، ۲۰۰۱) مقدار TPI با استفاده از روابط ۲۲ و ۲۳ از مدل رقومی ارتفاعی محاسبه شد.

$$TPI = Z_0 - \bar{Z} \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{n_R} \sum_{i \in R} Z_i \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

در نهایت از ماکزیمم مقدار TPI و ماکزیمم مقدار SPSR که برابر با ۱۰۰ بود در تشخیص و ترسیم زمین‌شکل قله، استفاده شد.

گام ششم: تشخیص زمین‌عارضه

با طبقه‌بندی نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم SPSR، زمین‌عارضه خطالرأس‌های اصلی تشخیص و تفکیک



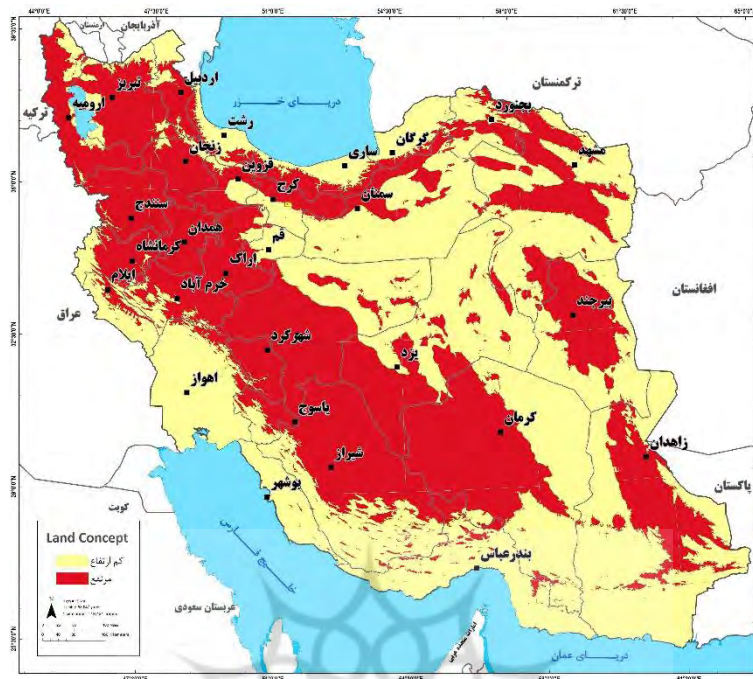
شکل ۱۰: تعیین زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از روش تعیین ارتفاع مطلق
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

فواصل هندسی و نیز روش ماکزیمم فاصله با احتساب دو کلاس (مرتفع و کم ارتفاع) معنای مرتفع بودن زمین را تعریف کردند. در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ نتایج این روش‌ها نشان داده شده‌است.

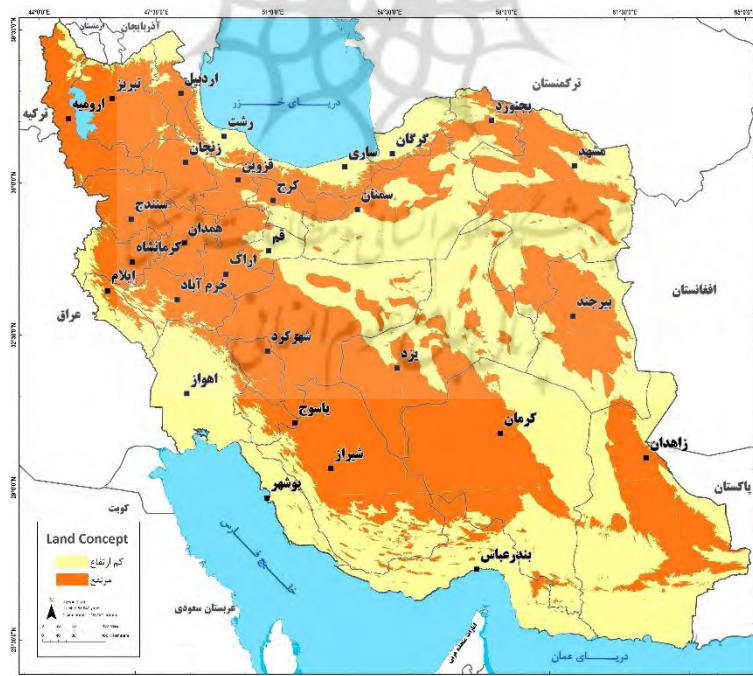
در گام دوم، معنای مرتفع بودن زمین با استفاده از یک حد ارتفاعی نسبی تعیین شد. در این روش از دو رویکرد طبقه‌بندی و خوشه‌بندی استفاده شد. روش‌های طبقه‌بندی چارکی، شکست‌های طبیعی و



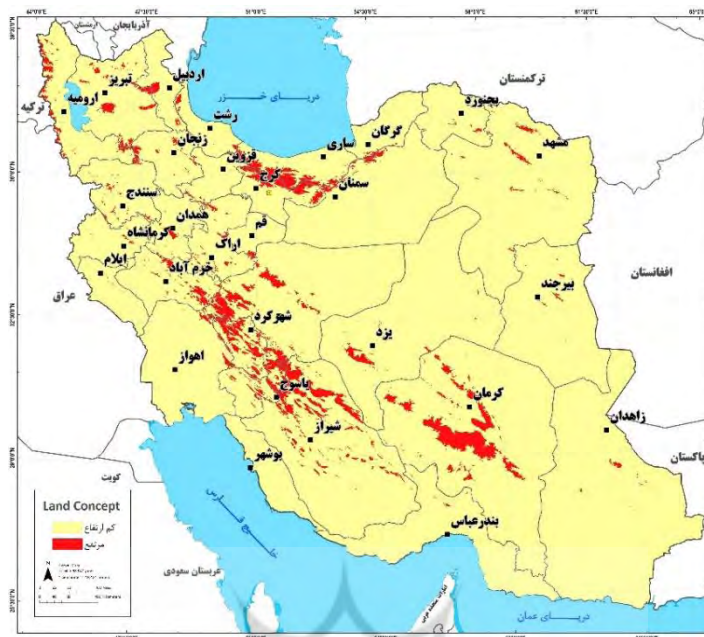
شکل ۱۱: تعیین زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از روش طبقه‌بندی چارکی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۱۲: تعیین زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از روش طبقه بندی شکست های طبیعی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

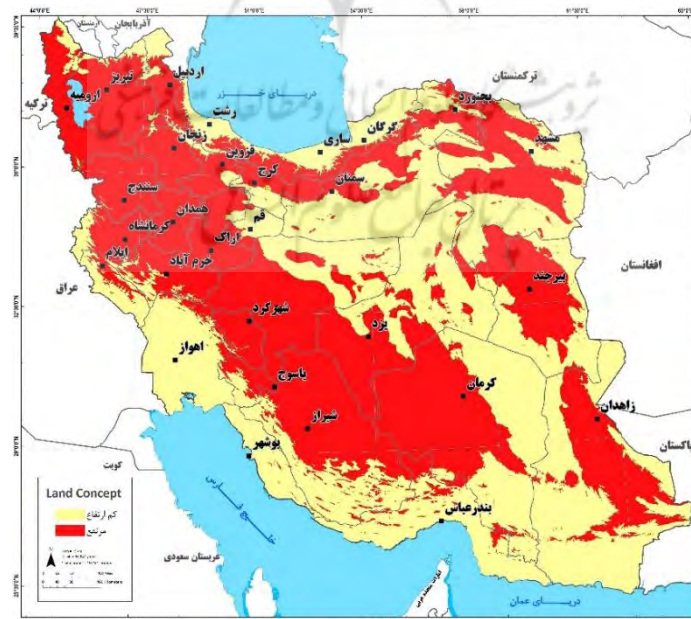


شکل ۱۳: تعیین زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از روش طبقه بندی فواصل هندسی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۱۴: تعیین زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از روش طبقه‌بندی D_{max}
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

روش دیگری که جزء روش‌های خوشه‌بندی محسوب می‌شود، برای تعیین معنای مرتفع بودن زمین مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱۵ نتیجه تعیین معنای زمین با استفاده از روش خوشه‌بندی k-means clustering را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵: تعیین زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means Clustering
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

در جدول ۲، لیستی از روش‌های طبقه‌بندی و با ارتفاع محاسبه‌شدهٔ هر یک نشان داده شده‌است. خوشه‌بندی مربوط به تعریف زمین‌معنای مرتفع‌بودن

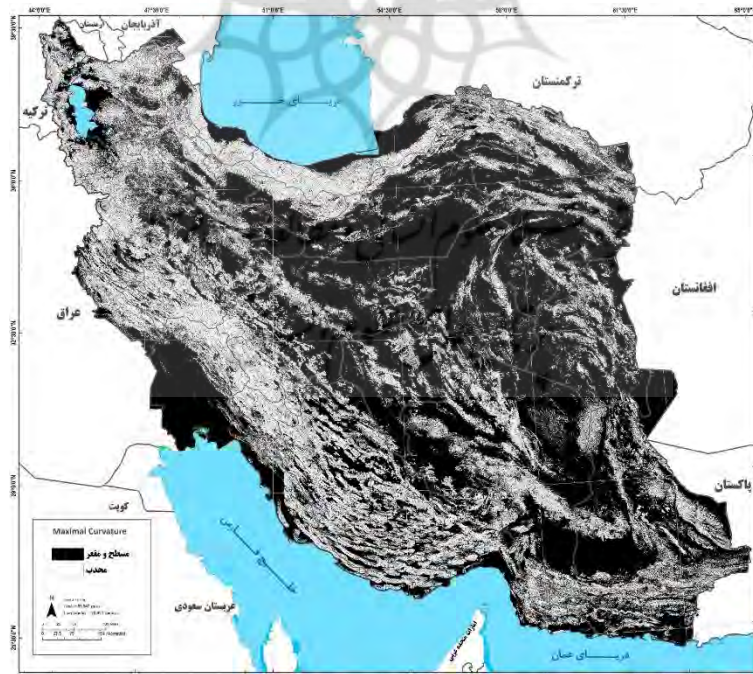
جدول ۲: متدهای تعریف زمین‌معنای مرتفع‌بودن و آستانه‌های ارتفاعی محاسبه‌شده

آستانهٔ ارتفاع (m)	مبنای ارتفاعی	روش عملکرد	متد تعریف زمین‌معنای مرتفع‌بودن
۱۲۳۶	نسبی	طبقه‌بندی	چارکی
۱۲۹۶	نسبی	طبقه‌بندی	شکست‌های طبیعی
۱۱۷۰	نسبی	طبقه‌بندی	فواصل هندسی
۱۲۰۰	نسبی	خوشه‌بندی	روش K-means Clustering
۲۴۳۰	نسبی	طبقه‌بندی	روش D_{max}
۲۰۰۰	مطلق	طبقه‌بندی	روش حد ارتفاعی کارشناسی

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۱

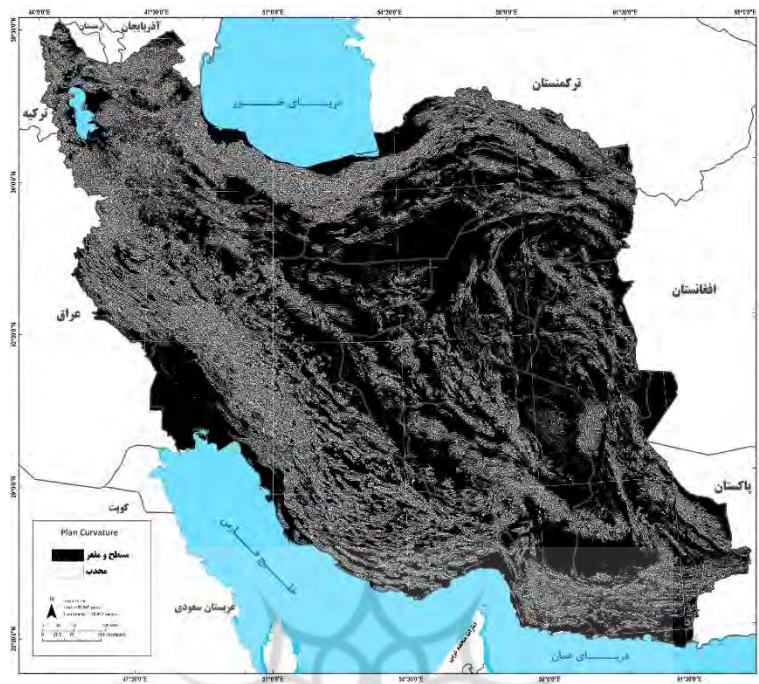
مدل‌ها شامل مدل انحنای حداکثری، پلان، مازاد افقی، پروفیلی، حداقلی، ناکروی و مازاد عمودی بودند. در اشکال ۱۶ تا ۲۲ زمین‌معنا براساس معنای محدب‌بودن ترسیم و نمایش داده شده‌است.

در گام دوم، زمین‌معنا براساس معنای محدب‌بودن تعریف شد. برای تعریف معنای محدب‌بودن از میان مدل‌های چهارده‌گانهٔ تشخیص تحدب سطحی، هفت روش که عملکرد متناسب‌تری داشت، انتخاب شد. این

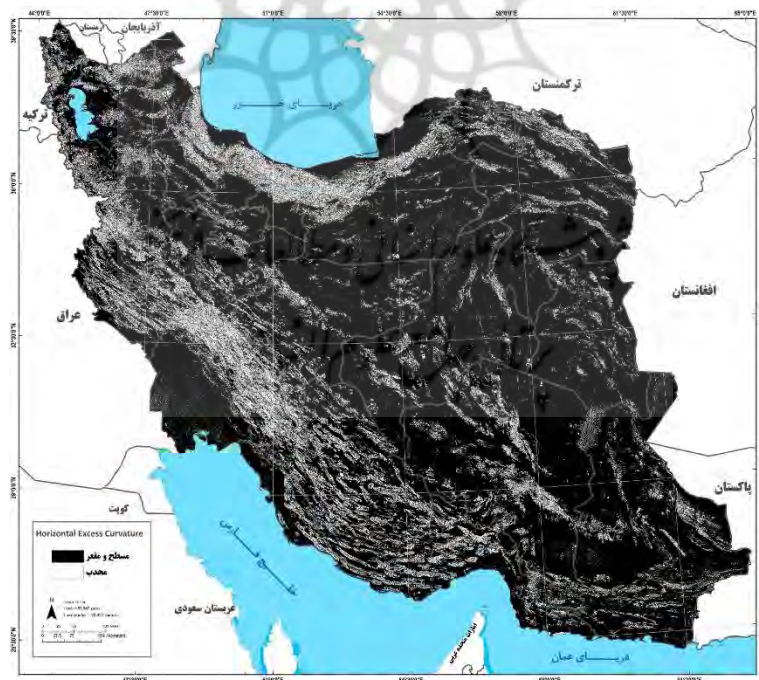


شکل ۱۶: تعیین زمین‌معنای محدب‌بودن با استفاده از انحنای حداکثری

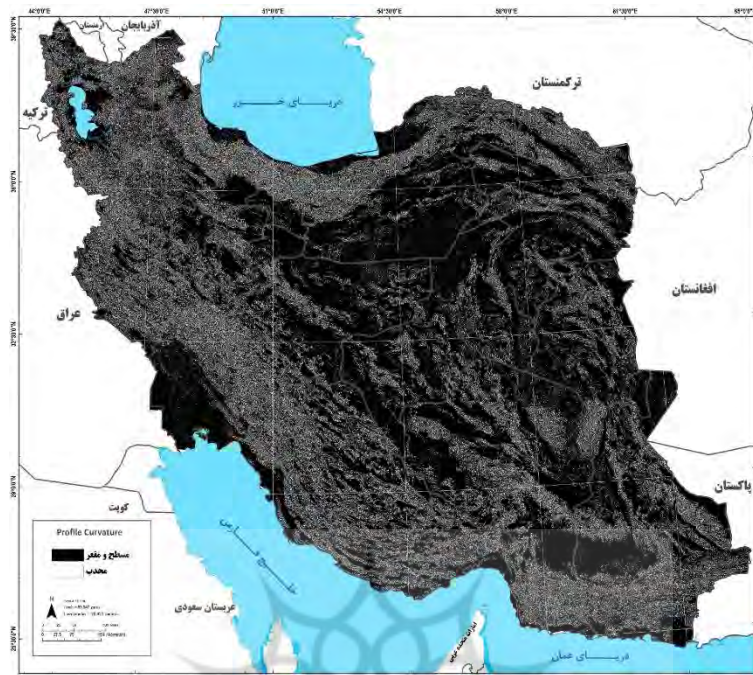
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۱۷: تعیین زمین‌معنای محدب‌بودن با استفاده از انحنای پلان
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

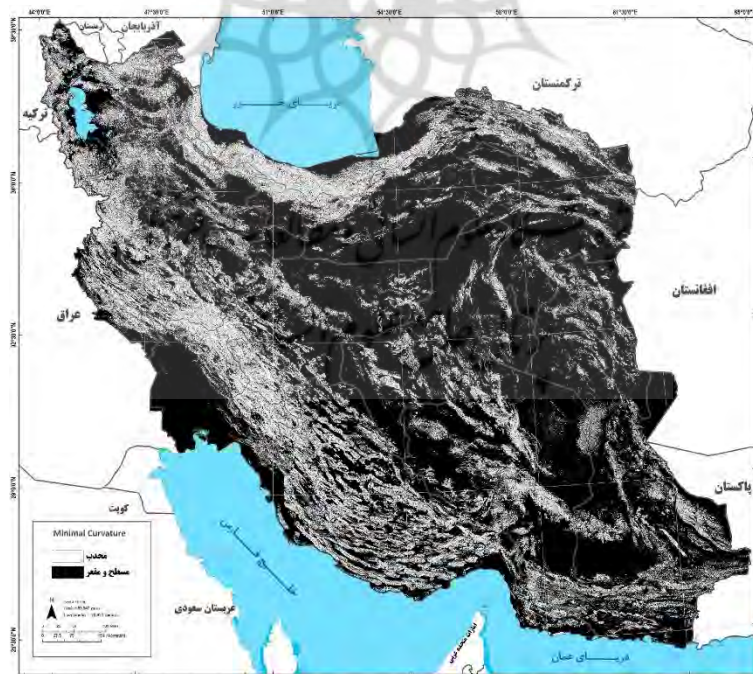


شکل ۱۸: تعیین زمین‌معنای محدب‌بودن با استفاده از انحنای مازاد افقی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



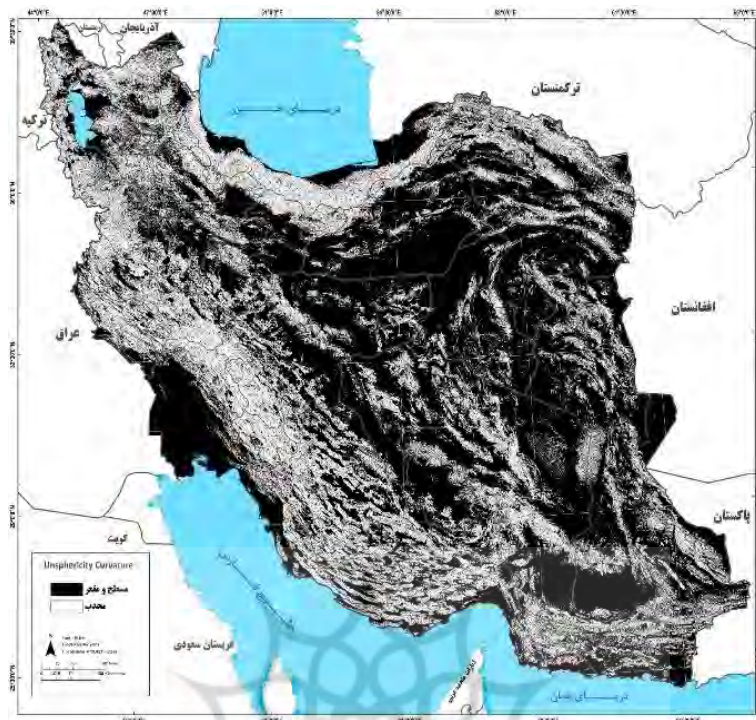
شکل ۱۹: تعیین زمین معنای محدب بودن با استفاده از انحناى پروفیلی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

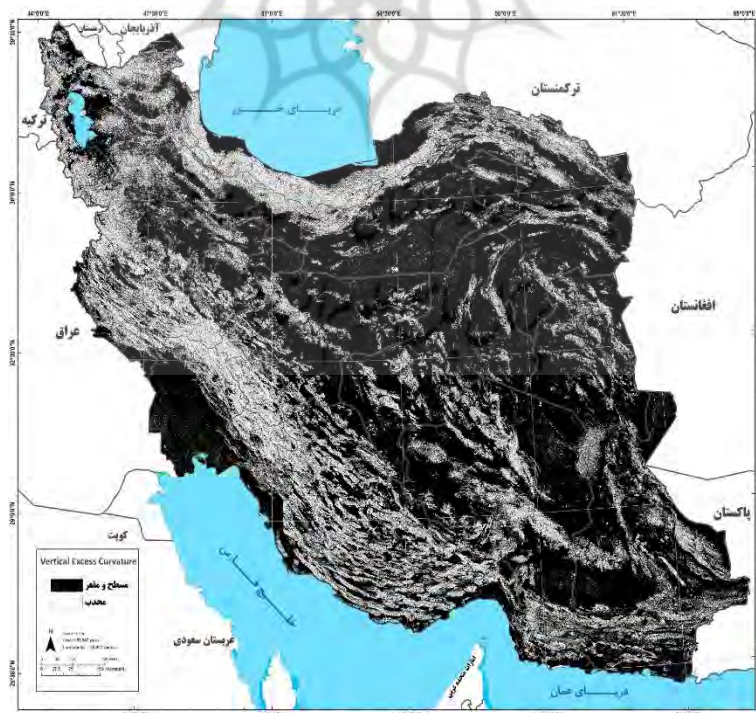


شکل ۲۰: تعیین زمین معنای محدب بودن با استفاده از انحناى حداقلی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



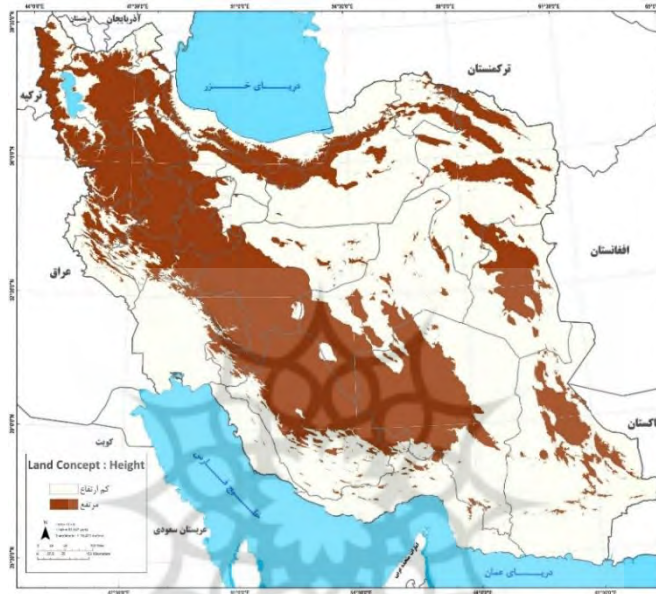
شکل ۲۱: تعیین زمین معنای محدب بودن با استفاده از انحنای ناکروی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱



شکل ۲۲: تعیین زمین معنای محدب بودن با استفاده از انحنای مازاد عمودی
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

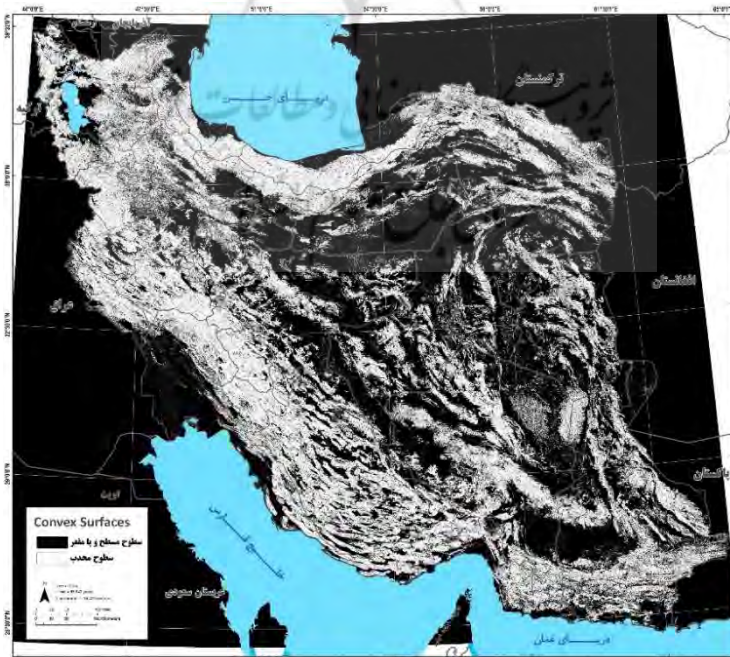
انحنای سطحی به دست آمد. سپس تمامی این هفت نقشه با یکدیگر تلفیق و نقشه نهایی زمین معنای محدب بودن ترسیم شد که نتیجه در شکل ۲۴ نشان داده شده است.

بعد از تهیه نقشه زمین معنای مرتفع بودن با استفاده از شش متد مختلف (جدول ۲)، نتایج آن با هم تلفیق و نقشه نهایی زمین معنای مرتفع بودن ترسیم شد که در شکل ۲۳ نشان داده شده است. نقشه زمین معنای محدب بودن نیز با استفاده از هفت متد محاسبه



شکل ۲۳: نقشه نهایی زمین معنای مرتفع بودن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

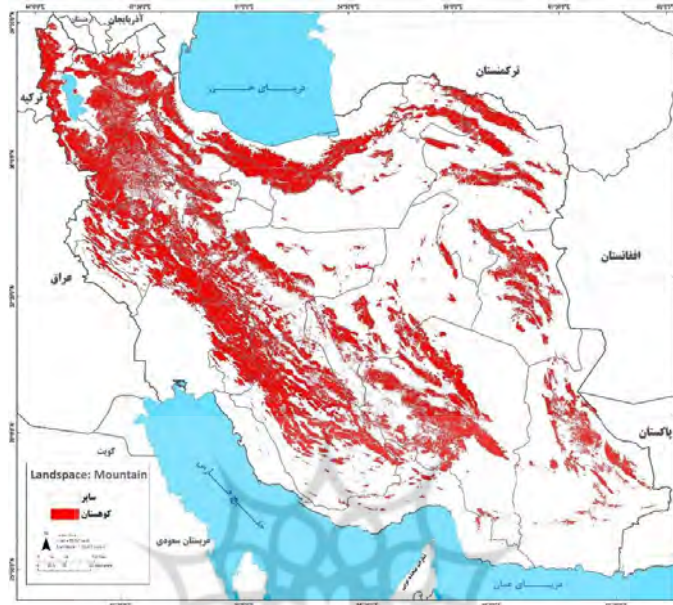


شکل ۲۴: نقشه نهایی زمین معنای محدب بودن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

زمین فضای کوهستان به دست آمد که نتایج در شکل ۲۵ نمایش داده شده است.

بعد از تهیه نقشه زمین معنا با دو معنای مرتفع و محذب بودن، براساس ترکیب این دو زمین معنا، نقشه

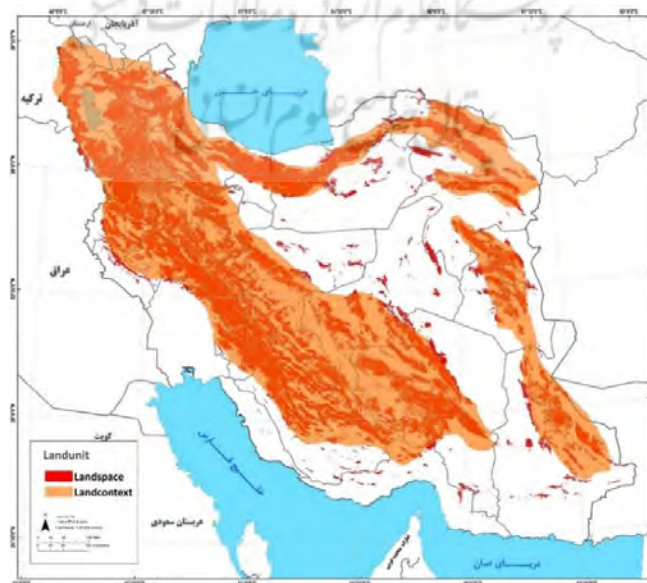


شکل ۲۵: زمین فضای کوهستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

همان طور که در شکل ملاحظه می شود، سه زمین متن اصلی زاگرس، البرز و کمربند شرقی نشان داده شده است.

در ادامه براساس زمین فضای کوهستان که در مرحله پیش به دست آمده بود، زمین متن کمربند کوهستانی به صورت نظارت شده و با نظر کارشناسی تهیه و ترسیم شد که نتیجه در شکل ۲۶ نشان داده شده است.

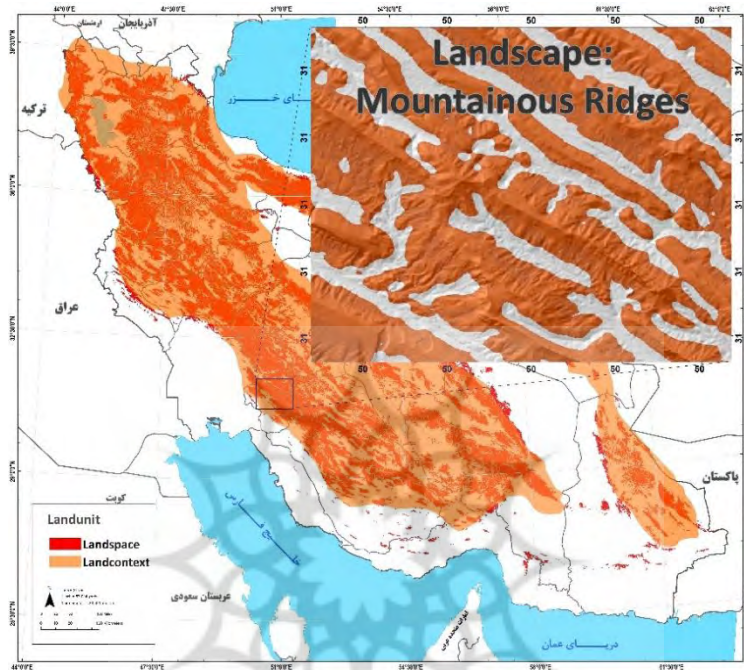


شکل ۲۶: نقشه نهایی زمین متن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

که در روش‌شناسی به آن اشاره شد، زمین‌منظر رشته‌های کوهستانی از درون، زمین‌متن استخراج و ترسیم شد که در شکل ۲۷ نشان داده شده‌است.

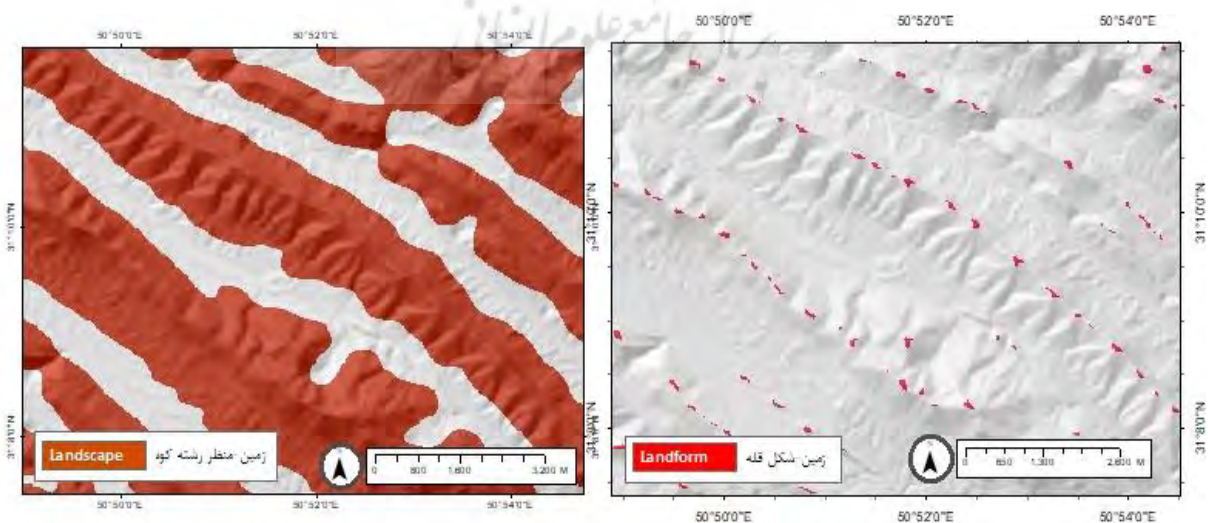
بعد از استخراج زمین‌متن، در سلسله‌مراتب فرم‌شناسی بنیادین مورد نظر، نوبت به استخراج زمین‌منظر رسید. با طبقه‌بندی نتایج الگوریتم SPSR و اعمال فیلتر تنظیم‌کننده و تنظیم مقیاس به شرحی



شکل ۲۷: نقشه زمین‌منظر رشته‌های کوهستانی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

در سطح بعدی، براساس نتایج الگوریتم TPI و SPSR، نقشه زمین‌شکل قله تهیه و ترسیم شد. نقشه زمین‌شکل قله در شکل ۲۸ نشان داده شده‌است.

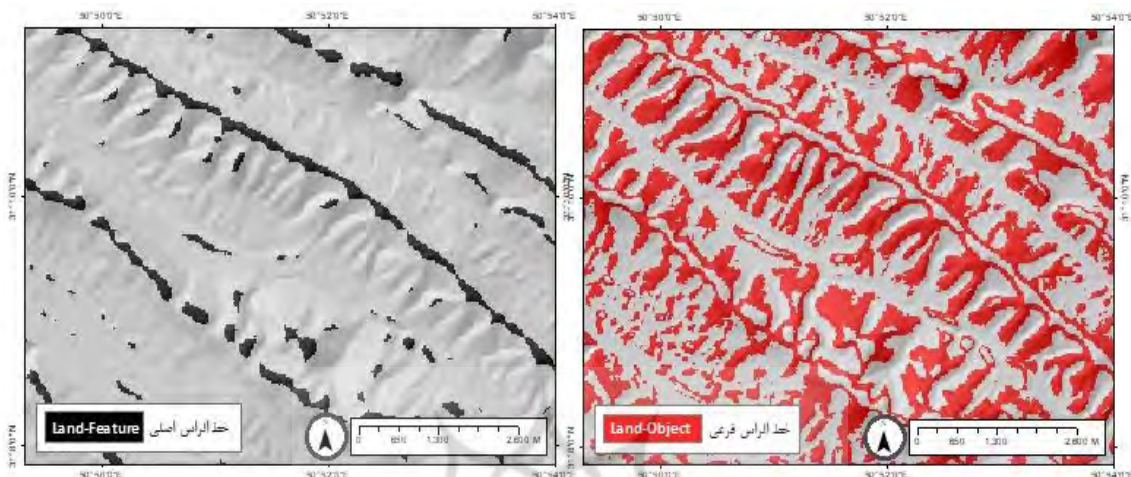


شکل ۲۸: نقشه زمین‌شکل قله

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

شکل ۲۹ نقشه زمین‌عارضه و زمین‌شیء نشان داده شده‌است.

در نهایت نقشه زمین‌عارضه و زمین‌شیء براساس طبقه‌بندی نتایج الگوریتم SPSR به شرحی که در روش‌شناسی به آن اشاره شد، تهیه و ترسیم شد.



شکل ۲۹. نقشه زمین‌عارضه خط‌الرأس‌های اصلی و زمین‌شیء خط‌الرأس‌های فرعی و یال‌های عرضی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

باشند تا موجب معنابخشی، پویایی و باروری بیشتر نظام‌های علمی و فکری شوند. در ضمن کمی‌سازی معانی و ایده‌های پژوهش‌های بنیادین منجر به خلق فضای کارکردی منعطف و قدرتمندی می‌شود که نیازهای کاربردی و کارکردی حوزه ژئومورفولوژی و مدیریت محیطی را به‌طور مؤثرتری تأمین خواهد کرد.

در این پژوهش از مبانی نظری خلق شده در درون مکاتب فکری ژئومورفولوژی ایران بهره گرفته شد تا این ایده‌های فکری با زبان بصری و با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مطالعات کمی، بومی‌سازی و کاربردی شود. در نتیجه در راستای هدف فوق‌الذکر عمل شد. نظام نوین فرم‌شناسی بنیادین مطرح‌شده در مکاتب بومی ژئومورفولوژی ایران مورد کاوش قرار گرفت، با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های کمی، سیر نماد به نمود دنبال شد و نتایج در غالب تصاویر و نقشه‌ها نشان داده شد. به پژوهندگان آتی توصیه می‌شود که در جهت اتصال معانی و مبانی نظری به روش‌ها و تکنیک‌های کاربردی گام بردارند و در صورت امکان در فضای بینابینی حوزه ایده‌پردازی نظری و کاربردهای عملی حرکت کنند.

نتیجه

مطالعات حوزه ژئومورفولوژی عمدتاً در دو محور اصلی دنبال می‌شود. یکی حوزه مطالعات نظری و بنیادین و دیگری که حجم و فرکانس بیشتری را به خود اختصاص داده، حوزه پژوهش‌های کاربردی است. جای مطالعات بینابینی یا واسط بین این دو حوزه مطالعاتی خالی است. در پژوهش‌های کاربردی عمدتاً اتصال یا ارتباط بین روش‌شناسی تحقیق و روش تحقیق، به‌خوبی و آشکارا بیان نشده‌است و در بسیاری موارد اتصال معناداری بین مبانی نظری و فکری پشت‌زمینه روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده، برقرار نشده‌است. پژوهش حاضر که در اصل در ادامه یک پژوهش بنیادین و نظری است که توسط همین نویسندگان انجام گرفته است، پیوند بین یک حوزه نظری و کاربردی در ژئومورفولوژی ایران است. نکته قابل توجه در این زمینه آن است که این پژوهش با هدف کاربردی کردن و کمی‌سازی ایده‌های نظری ناب در ژئومورفولوژی ایران دنبال شده‌است و قصد طرح این موضوع را داشته که پژوهش‌های کاربردی لازم است که ارتباط شفاف و روشنی با مبانی نظری و فکری داشته

منابع

- رامشت، محمدحسین (۱۳۸۴). نقشه‌های ژئومورفولوژی، نمادها و مجازها، انتشارات سمت. صفحه ۱۹۰.
<https://samta.samt.ac.ir/content/10974>
- شیرانی، کورش؛ سینا صلحی؛ فاطمه نعمت‌اللهی (۱۴۰۱). تشخیص خودکار لندفرم‌های زمین با استفاده از تحلیل مکانی الگوی کرنل، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۱۳. شماره ۱. شماره پیاپی ۴۶.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.1.4.2>
- صمدزاده، رسول؛ سینا صلحی؛ فاطمه نعمت‌اللهی (۱۴۰۰). نوتریفی از ساختار فرم‌شناسی بنیادین در دانش ژئومورفولوژی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۱۰. شماره ۲. پیاپی ۳۸.
[DOI: 10.22034/GMPJ.2021.276105.1260](https://doi.org/10.22034/GMPJ.2021.276105.1260)
- References:**
- Brunsdn, D. (1996). Geomorphological events and landform change. The Centenary Lecture to the Department of Geography, University of Heidelberg. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 40(3), 273-288.
[DOI: 10.1127/zfg/40/1996/273](https://doi.org/10.1127/zfg/40/1996/273)
- De Boer, D. H. (1992). Hierarchies and spatial scale in process Geomorphology: a review. *Geomorphology*, 4(5), 303-318.
[DOI:10.1016/0169-555X\(92\)90026-K](https://doi.org/10.1016/0169-555X(92)90026-K)
- Dikau, R. (1989). The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J.F. (Ed.), *Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems*, Taylor & Francis, London, PP. 51-77.
[DOI:10.1201/9781003069454-5](https://doi.org/10.1201/9781003069454-5)
- Etzelmüller, B. and Sulebak, J.S. (2000). Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology, *Physische Geographie*, 41: 35-58.
https://www.researchgate.net/publication/285427262_Developments_in_the_use_of_digital_elevation_models_in_periglacial_geomorphology_and_glaciology
- Fels, J.E. and Matson, K.C. (1996). A cognitively based approach for hydro-geomorphic land classification using digital terrain models, in: *Proceedings of the 3rd International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, Santa Fe, NM, January 21-25, 1996, National Centre for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA, USA.
http://www.ncgia.ucsb.edu/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/fels_john/fels_and_matson.html
- Forgy, E. W. (1965). Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications. *biometrics*, 21, 768-780.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Cluster-analysis-of-multivariate-data-%3A-efficiency-Forgy/5c4feeae0d911e30866b7149c1195cd8c007199b>
- Gallant, J.C., Wilson, J.P., (2000). Primary topographic attributes. In: Wilson, J.P., Gallant, J.C. (Eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Wiley, New York, pp. 51-85.
https://www.researchgate.net/publication/303543730_Primary_topographic_attributes
- Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (1994). Toward the definition of topographic divisions for Italy, *Geomorphology*, 11: 57-75.
[https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)90042-6](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)90042-6)
- Hammond, E.H. (1964). Analysis of properties in land form geography: An application to broad-scale land form mapping, *Annals of the Association of American Geographers*, 54: 11-19.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1964.tb00470.x>
- Hengl, T., & Reuter, H. I. (Eds.). (2008). *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Newnes.
<https://libgen.is/book/index.php?md5=2B87E41FF2E1DA7AE0D7C081739F8FF1>
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International yearbook of cartography*, 7, 186-190.
https://archives.lib.ku.edu/repositories/3/archival_objects/382862
- Jenks, G. F., & Caspall, F. C. (1971). Error on choroplethic maps: definition, measurement, reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), 217-244.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1971.tb00779.x>

- Krcho, J (1973). Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory (=Acta Geographica Universitatis Comenianae). Geographico-physica, P 425.
<https://www.amazon.com/Morphometric-geographica-Universitatis-Comenianae-Geographico-physica/dp/B0006CGVMI>
- Lloyd, C.D. and Atkinson, P.M. (1998). Scale and the spatial structure of landform: optimizing sampling strategies with geostatistics. In: Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation, University of Bristol, United Kingdom, 17-19 September 1998, University of Bristol, Bristol, UK, 16 pp.
http://www.geocomputation.org/1998/15/gc_15.htm
- Lucieer, A.; Fisher, P. and Stein, A. (2003). Texture-based segmentation of high-resolution remotely sensed imagery for identification of fuzzy objects, In: Proceedings of the Seventh International Conference on Geocomputation, University of Southampton, Southampton, UK, 9pp.
<http://www.geocomputation.org>
- MacQueen, J (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability (Vol. 1, No. 14, PP. 281-297).
<https://www.cs.cmu.edu/~bhiksha/courses/mlsp.fall2010/class14/macqueen.pdf>
- Meijerink, A.M.J. (1988). Data acquisition and data capture through terrain mapping units, ITC Journal, 1:23-44.
<https://library.wur.nl/WebQuery/groenekennis/746977>
- Mulla, D.J. (1988). Using geostatistics and spectral analysis to study spatial patterns in the topography of southeastern Washington State, USA, Earth Surface Processes and Landforms, 13: 389-405.
<https://doi.org/10.1002/esp.3290130505>
- Phillips, J. D. (1988). The role of spatial scale in geomorphic systems. Geographical Analysis, 20(4), 308-317.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1988.b00185.x>
- Pike, R.J. (1988). The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from Digital Elevation Models, Mathematical Geology, 20: 491-511.
<https://doi.org/10.1007/BF00890333>
- Rana, S., 2006, Use of Plan Curvature Variations for the Identification of Ridges and Channels on DEM, in: Progress in Spatial Data Handling, edited.
https://doi.org/10.1007/3-540-35589-8_49
- Schmidt, J.; Merz, B. and Dikau, R (1998). Morphological structure and hydrological process modelling, Zeitschrift für Geomorphologie NF, 112: 55-66.
https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/item_226915
- Schumm, S. A., and Lichty, R. W. (1965). Time, Space, and Causality in Geomorphology. American Journal of Science 263(2), 110-119.
 DOI: <https://doi.org/10.2475/ajs.263.2.110>
- Shary, P. A. (1995). Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures. Mathematical geology, 27(3), 373-390.
<https://doi.org/10.1007/BF02084608>
- Shary, P. A., Sharaya, L. S., & Mitusov, A. V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma, 107(1-2), 1-32.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00136-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00136-7)
- Starkel, L. (1999). Space and time scales in geomorphology. Fourth International Conference on Geomorphology - Plenary Lecture, Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 61-66.
 DOI: [10.1127/zfgsuppl/115/1999/19](https://doi.org/10.1127/zfgsuppl/115/1999/19)
- Suryana, N. and de Hoop, S. (1994). Hierarchical structuring of terrain mapping units. In: Proceedings of the Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS 94, EGIS Foundation, Utrecht, The Netherlands, 1: 869-877.
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/26931>
- Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. In Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200).
aweiss@tnc.org
- Young, M., & Evans, I. S. (1978). Statistical Characterization of Altitude Matrices by Computer. Report 5. Terrain Analysis: Program Documentation. Durham Univ (United Kingdom) Dept of Geography, 1-26.
 DOI: [10.21236/ADA086793](https://doi.org/10.21236/ADA086793)
- Young, T. (1805). III. An essay on the cohesion of fluids. Philosophical transactions of the royal society of London, (95), 65-87.
<https://doi.org/10.1098/rstl.1805.0005>