

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۸
صص. ۵۲-۶۹

بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن بر اساس شاخص GmI

مهران مقصودی* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
ابراهیم مقیمی - استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
مجتبی یمانی - استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
ناصر رضایی - استادیار پژوهشکده گردشگری، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری.
انور مرادی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸

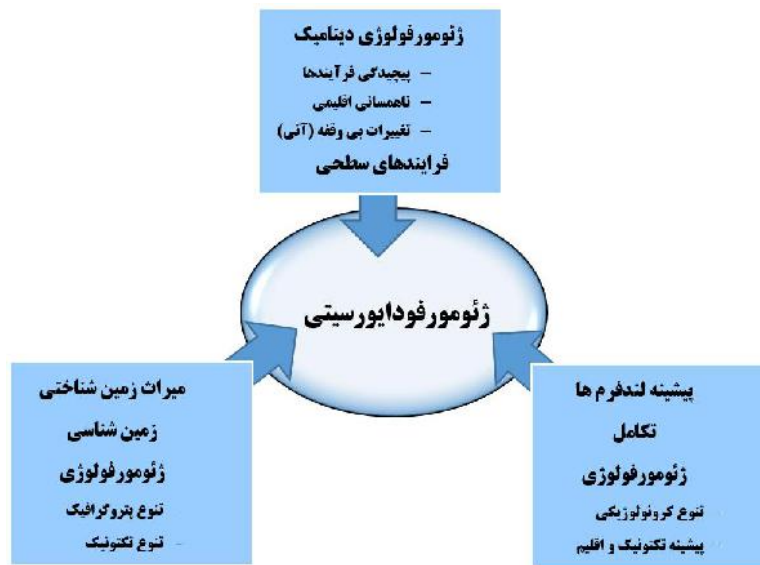
چکیده

ژئومورفودایورسیتی بخشی از ژئودایورسیتی است که به ارزیابی ژئومورفولوژیکی یک قلمرو از نظر کمیت و تعداد انواع مختلف لندفرم‌ها به صورت بیرونی و درونی می‌پردازد. منطقه مورد مطالعه شامل میراث ژئومورفولوژیکی آتشفشان دماوند و پیرامون آن است. هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی ژئومورفودایورسیتی به صورت کمی و تهیه نقشه‌های ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه است. داده‌های تحقیق حاضر شامل زمین‌شناسی، شبکه زهکشی، شیب، زبری ناهمواری و لندفرم‌ها است که با تکامل چشم‌انداز فیزیکی منطقه مورد مطالعه مرتبط هستند. ابزارهای تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های موضوعی، DEM ۱۰ متر و غیره برای دستیابی به اهداف استفاده شده است. در این تحقیق برای ارزیابی از شاخص کمی ژئومورفودایورسیتی (GmI) ملهلی و همکاران (۲۰۱۷) بهره گرفته شده و نتایج از طریق مقایسه با نقشه ژئومورفولوژی و کنترل میدانی اعتبار سنجی شده است. نتایج شاخص ژئومورفودایورسیتی نشان داد که مناطق با ارزش ژئومورفودایورسیتی زیاد بین ۲۰ الی ۲۵ عمدتاً در ضلع شرقی دماوند و در امتداد دره هراز قرار دارد. برعکس، مناطق دارای ژئومورفودایورسیتی کم با ارزش بین ۵ الی ۱۰ مربوط به شمال غرب دماوند در محل دشت سرداغ و مخروط آتشفشان دماوند است. علاوه بر این، دامنه ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه از محل دره‌ها با ارزش حداکثر ۲۵ به سمت قله‌ها با ارزش حداقل ۵ کاهش می‌یابد. نتایج اعتبار سنجی نیز نشان داد که همبستگی فضایی خوبی بین مقادیر شاخص ژئومورفودایورسیتی، تعداد انواع مختلف لندفرم‌ها و میانگین تعداد لندفرم‌ها وجود دارد. مناطق با ژئومورفودایورسیتی زیاد، با یک مجموعه غنی و منحصربه‌فرد از انواع مختلف لندفرم‌ها و فرایندهای ژئومورفولوژیکی، نیازمند توجه ویژه برای استفاده‌های ژئوتوریستی، علمی-آموزشی، میراث ملی و جهانی و ژئوپارک هستند.

واژگان کلیدی: ژئومورفودایورسیتی، لندفرم، میراث ژئومورفولوژیکی، ارزیابی کمی، آتشفشان دماوند.

مقدمه

ژئومورفودایورسیتی^۱ به عنوان "ارزیابی خاص از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی یک قلمرو، با مقایسه آن‌ها به صورت بیرونی (مقایسه با مناطق دیگر) و درونی (تنوع و پیچیدگی لندفرم‌ها در منطقه) و با توجه به سطح کیفیت علمی آن‌ها، مقیاس تحقیق و هدف پژوهش" تعریف شده است (پانیزا^۲، ۲۰۰۹)؛ به عبارت دیگر، ژئومورفودایورسیتی بخشی از ژئودایورسیتی است که با تنوع ژئومورفولوژیکی یا کمیت و تعداد انواع لندفرم‌ها ارتباط دارد (ملهلی و همکاران^۳، ۲۰۱۷). ژئومورفودایورسیتی تابعی از حساسیت چشم‌انداز و واکنش در برابر فرآیندهای غیر خطی و دینامیک در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف (توماس^۴، ۲۰۱۲) است که اجزای آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: اجزای ژئومورفودایورسیتی (توماس، ۲۰۱۲)

مناطق با ژئودایورسیتی زیاد می‌توانند طیف وسیعی از خدمات از جمله تأمین کننده^۵ (تولید کالا و مواد غذایی) تنظیم کننده^۶ (تنظیم فرسایش) و حمایت کننده (زمین و آب به عنوان یک پلت فرم برای فعالیت‌های انسانی) را ارائه دهند (گری^۷، ۲۰۱۱)؛ این خدمات برای ژئومورفودایورسیتی که بخشی از ژئودایورسیتی است نیز صادق است. در سطح منطقه‌ای یا ملی، آن‌ها همچنین می‌توانند خدمات فرهنگی مانند ژئوتوریسم و زیبایی‌های چشم‌انداز (گری، ۲۰۱۲، سارنوووسکی و همکاران^۸، ۲۰۱۶)، الهام هنری (کت^۹، ۲۰۱۷)، دانش درک فرآیندهای فیزیکی و منشأ لندفرم‌ها (گری، ۲۰۱۲) را ارائه دهند. تمام این خدمات فوق‌حاکمی از اهمیت مناطق با ژئومورفودایورسیتی زیاد است. با این حال، چارچوب مفهومی و روش‌شناختی آن هنوز در مرحله اولیه قرار دارد.

^۱ Geomorphodiversity

^۲ Panizza

^۳ Melelli et al.

^۴ Thomas

^۵ Provisioning

^۶ Regulating

^۷ Gray

^۸ Sarnowski et al.

^۹ Kot

در ایران اگر چه مطالعاتی در ارتباط با ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه (منصوریان و همکاران، ۱۳۸۷؛ زارعی نژاد، ۱۳۸۹؛ مقیمی و همکاران، ۲۰۰۸؛ قناتی و همکاران، ۱۳۹۳، مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷) و ژئودایورسیته سایر مناطق در پهنه طبیعی ایران (گلی مختاری و همکاران، ۱۳۹۷؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸) صورت گرفته؛ اما تاکنون مطالعه مدونی در مورد ژئومورفودایورسیته آن صورت نگرفته است. در سال‌های اخیر تعداد کمی از مطالعات خارجی به مسائل روش شناختی مربوط به ارزیابی ژئومورفودایورسیته پرداخته‌اند. مطالعات ژئومورفودایورسیته و به‌طور کلی ژئودایورسیته، شامل مسائل روش شناختی کلیدی همانند آن‌هایی است که برای مشاهدات علمی در ژئومورفولوژی (نمونه‌برداری، اندازه‌گیری، مقیاس، مقیاس بندی، طبقه‌بندی و خطاها) مورد استفاده قرار گرفته است (چورچ^۱، ۲۰۱۱، گری، ۲۰۱۸). ایجاد یک طبقه‌بندی و ارزیابی جامع ژئومورفودایورسیته می‌تواند به‌ویژه در افزایش آگاهی در مورد اهمیت ژئومورفودایورسیته برای مطالعات اکولوژیکی، ارضی و چشم‌انداز و درک ارتباط آن با توسعه انسانی مفید باشد (لوکسی و جاردینو^۲، ۲۰۱۲، گری، ۲۰۱۸). در این دیدگاه، تکنیک‌های نمایه‌سازی و نقشه‌برداری ژئومورفودایورسیته می‌توانند نقش مهمی در ارتقاء یک اکوسیستم جامع و یکپارچه و رویکرد خدمات ژئوسیستم، حمایت از مدیریت پایدار سیستم‌های طبیعی داشته باشند (گوردون و بارون^۳، ۲۰۱۳؛ گوردون و همکاران^۴، ۲۰۱۲؛ گری و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، نمایه‌سازی و نقشه‌برداری ژئومورفودایورسیته برای توسعه گردشگری (به عنوان مثال، ال هادی و همکاران^۵، ۲۰۱۵؛ گوردون، ۲۰۱۲؛ کوه و همکاران^۶، ۲۰۱۴؛ توماس، ۲۰۱۲؛ زولینسکی^۷، ۲۰۱۰؛ زولینسکی و استا شویاک^۸، ۲۰۱۲) مهم است. از نگاهی دیگر، ژئومورفودایورسیته برای مدیریت مناطق حفاظت شده (برای مثال، اسرت و همکاران^۹، ۲۰۱۲؛ بروکس و سمنیوک^{۱۰}، ۲۰۰۷؛ ملهلی، ۲۰۱۴؛ پلیترو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴؛ شارپلس^{۱۲}، ۲۰۰۲)، ارتقاء میراث زمین شناختی و به‌طور خاص میراث ژئومورفولوژیکی (برای مثال اسرت و همکاران، ۲۰۱۲؛ بولاتی و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۵؛ فررو و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۲؛ گری، ۲۰۰۸؛ پیرا و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۳؛ روچا و همکاران^{۱۶}، ۲۰۱۴؛ رینارد و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۶، رینارد و بریلها^{۱۸}، ۲۰۱۸؛ کوراتزا و هوبلی^{۱۹}، ۲۰۱۸) بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر این، شنا سایی و تعیین محدوده‌هایی با ژئومورفودایورسیته زیاد می‌تواند جهت تقویت ارزش‌های ژئوتوریستی مناطق مختلف ایران (امری کاظمی، ۱۳۸۸؛ نکویی صدری، ۱۳۸۸؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۳، ۲۰۱۸؛ مختاری، ۱۳۹۴؛ مرادی پور، ۱۳۹۸) بسیار ارزشمند باشد.

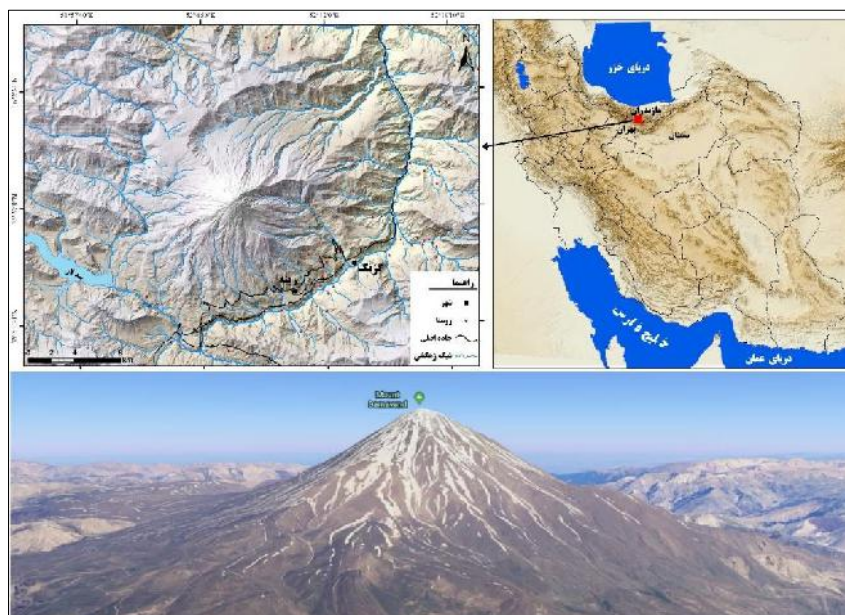
^۱ Church^۲ Lucchesi & Giardino^۳ Gordon & Barron^۴ Gordon et al.^۵ El Hadi et al.^۶ Koh et al.^۷ Zwoliński^۸ Zwolinski & Stachowiak^۹ Asrat et al.^{۱۰} Brocx & Semeniuk^{۱۱} Pellitro et al.^{۱۲} Sharples^{۱۳} Bollati et al.^{۱۴} Ferrero et al.^{۱۵} Pereira et al.^{۱۶} Rocha et al.^{۱۷} Reynard et al.^{۱۸} Reynard & Brilha^{۱۹} Coratza & Hoblea

ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن نیاز به توجه ویژه برای شناسایی، مدیریت و حفاظت، جلوگیری از تخریب و ساخت‌وساز در مناطق آسیب‌پذیر دارد. افزایش شناخت ژئومورفودایورسیتی می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره مدیریت میراث ژئومورفولوژیکی و چگونگی حفاظت بهتر آن‌ها در مقابل فعالیت‌های انسانی تخریب‌گر و مخاطرات محیطی فراهم آورد. همچنین تهیه نقشه‌های ژئومورفودایورسیتی، تشخیص مناطقی که دارای پتانسیل بالای توسعه منطقه‌ای و ژئوتوریسم هستند، فراهم آوردن اطلاعاتی جامع برای طراحان، برنامه‌ریزان و سازمان‌های مسئول در این مناطق و ایجاد راه‌حلی برای پیچیدگی‌های محیطی منطقه مورد مطالعه ضروری است؛ بنابراین هدف اصلی مطالعه حاضر شناسایی و ارزیابی ژئومورفودایورسیتی به صورت کمی و تهیه نقشه‌های ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه است. علاوه بر این، با بهره‌گیری از GIS و مدل‌های ارتفاعی رقومی (DEMs) برای به دست آوردن بیان ریاضی اتوماتیک و بی‌طرفانه و ترکیب آن با نتایج کارهای میدانی، برای نقش ژئومورفودایورسیتی در تهیه برنامه‌های عملیاتی هدفمند به منظور تقویت میراث ژئومورفولوژیکی گامی نو برداشته می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

آتشفشان دماوند در سیزدهم تیرماه سال ۱۳۸۷ به عنوان نخستین اثر طبیعی ایران در فهرست آثار ملی در سازمان میراث فرهنگی به ثبت رسید. منطقه مورد مطالعه شامل میراث طبیعی ملی دماوند و پیرامون آن است (شکل ۴). این منطقه از دیدگاه تقسیمات کشوری، در بخش لاریجان شهرستان آمل در استان مازندران قرار دارد. دماوند در مرکز رشته‌کوه البرز در جنوب دریای مازندران جای دارد. مخروط فعلی دماوند (دماوند جوان) در دوره کواترنر در جنوب دهانه کهن‌تر و فرسایش یافته با نام دماوند کهن ساخته شده است (دیویدسون و همکاران^۱، ۲۰۰۴). علاوه بر فرایندهای درونی (زمین‌ساختی و آذرین)، فرایندهای بیرونی نیز طی دوره کواترنر فعال بوده و موجب شکل‌گیری، تغییر و تحول ژئومورفولوژی منطقه شده است. رودخانه تینه در شمال، رودخانه هراز در جنوب و شرق و رودخانه لار و دیو آ سیاب در غرب منطقه مورد مطالعه جاری هستند. از دماوند در اساطیر ایران (از جمله شاهنامه فردوسی) و آثار ادبی فارسی (از جمله گرشاسپ نامه اسدی طوسی و اشعار ناصرخسرو) فراوان اشاره شده است.

^۱ Davidson et al.



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

داده‌های تحقیق حاضر شامل متغیرهایی است که با تکامل چشم‌انداز فیزیکی منطقه مورد مطالعه مرتبط هستند. این داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در مرحله اول با توجه به بازدیدهای میدانی، تفسیر بصری و طیفی تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نقشه‌های پایه (نقشه زمین‌شناسی، توپوگرافی)، فرم و فرایندهای ژئومورفولوژیکی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس بر اساس شاخص ژئومورفودیورسیتی^۱ (ملهلی و همکاران، ۲۰۱۷) نقشه ژئومورفودیورسیتی به عنوان زیربنای میراث ژئومورفولوژیکی منطقه تهیه شد. این شاخص یک ابزار کلیدی برای ارزیابی پیچیدگی‌های محیطی منطقه است. در ادامه ارزش ژئومورفودیورسیتی منطقه در بخش‌های مختلف به صورت کیفی-کمی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. روش‌های کیفی-کمی مبتنی بر ترکیبی قوی از داده‌های کمی (به عنوان مثال، دیجیتالی) و داده‌های علت-معلول (به عنوان مثال، رابطه‌ای و توضیحی) است. روش‌های کمی-کیفی احتمالاً پیشرفته‌ترین و بهترین راه حل فنی برای ارزیابی ژئومورفودیورسیتی و به‌طور کلی ژئودیورسیتی است (زولینسکی و همکاران، ۲۰۱۸). طبقه‌بندی پارامترهای کمی با استفاده از روش‌های خودکار مانند الگوریتم شکست‌های طبیعی^۲ انجام می‌شود (جنکس، ۱۹۶۷)، از ذهنی بودن ارزیابی اجتناب می‌کند و اجازه بررسی نتایج آن را می‌دهد (زولینسکی و همکاران، ۲۰۱۸). تجزیه و تحلیل فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، هسته این مرحله است. با این حال، محدودیت حل نشده این روش‌ها مشکل اعتبار آن‌هاست که در مطالعه حاضر با تأیید میدانی مستقیم و اعتبار سنجی با استفاده از نقشه ژئومورفولوژی منطقه انجام شده است. نقشه ژئومورفولوژی در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، گوگل ارث، نقشه‌های زمین‌شناسی و پیمایش میدانی منطقه مورد مطالعه تهیه و ترسیم شده است. در مجموعه داده‌های ژئومورفولوژیکی، هر لندفرم به عنوان یک بردار (نقطه، خط یا چند ضلعی) نمایش داده شده است. نقشه ژئومورفولوژی به منظور محاسبه فراوانی لندفرم و مقایسه آن با نقشه ژئومورفودیورسیتی، مورد استفاده قرار گرفته است. رابطه بین تعداد

^۱ Geomorphodiversity index

^۲ Natural Breaks Algorithm

لندفرم و مقادیر ژئومورفودایورسیتی با استفاده از ابزار آمار فضایی (ابزار آمار کانونی در نرم افزار ARC GIS) مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

| منبع | مقیاس/قدرت تفکیک | داده‌ها | |
|-------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| کار میدانی | ۱:۲۵۰۰۰ | لندفرم‌ها | ژئومورفولوژی |
| سازمان نقشه‌برداری کشور | ۱:۲۵۰۰۰ | منحنی میزان با فواصل ۱۰ متر | توپوگرافی |
| | | شبکه زهکشی | |
| سازمان نقشه‌برداری کشور | DEM ۱۰ متر | ناهمواری، شیب، خمیدگی | ژئومورفومتریکی |
| سازمان زمین‌شناسی کشور | ۱:۱۰۰۰۰۰ | لیتولوژی و ساختارها | زمین‌شناسی |
| USGS | ۳۰ متر | لندست ۸ - سنجده OLI | تصاویر ماهواره‌ای |
| گوگل | متغیر | گوگل ارث | |

شاخص ژئومورفودایورسیتی (GmI)

شاخص ژئومورفودایورسیتی (GmI) تو سطر ملهلی و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شده است. ارزش ژئومورفودایورسیتی از مجموع پنج عامل محاسبه می‌شود (معادله ۱)؛ همه آن‌ها شبکه‌های پارامترهای مختلف ناهمواری سطح زمین هستند (شکل ۳).

$$1) \quad GmI = Geo_v + Dd_v + Rg_v + Sp_v + Lc_v$$

که در آن:

- GmI شاخص ژئومورفودایورسیتی^۱ است.
- Geo_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع زمین‌شناسی^۲ است.
- Dd_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع تراکم زهکشی^۳ است.
- Rg_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع زبری ناهمواری^۴ است.
- Sp_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع وضعیت شیب^۵ است.
- Lc_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع طبقه‌بندی لندفرم^۶ است.

تنوع^۷ (V) در این فرمول به پنج طبقه V1 (خیلی کم)، V2 (کم)، V3 (متوسط)، V4 (زیاد) و V5 (خیلی زیاد) طبقه بندی شده است.

فاکتور تنوع زمین‌شناسی (Geo_v)

برای به دست آوردن شاخص ژئومورفودایورسیتی که می‌تواند اثرات فرایندهای مدل سازی را بر ناهمواری بیان کند، لازم است فاکتور بیان کننده تنوع فضایی ویژگی‌های اصلی بستر در نظر گرفته شود (ملهلی و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین،

^۱ Geomorphodiversity index

^۲ Geological diversity factor

^۳ Drainage density diversity factor

^۴ Roughness diversity factor

^۵ Slope position index diversity factor

^۶ Landform category diversity factor

^۷ Variety

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه شامل ۱۲۶۰ ویژگی لیتولوژیکی است، با توجه به نوع سنگ یا رسوبات و ویژگی در شرایط پاسخ توپوگرافیکی (چسبندگی، نفوذپذیری، استایل تکنیکی) به فرایندهای فرسایشی طبقه‌بندی شده‌اند. به این ترتیب ۱۰ طبقه به دست آمد که به ترتیب از ۱ دارای کمترین تا ۱۰ دارای بیشترین شرایط پاسخ توپوگرافیکی هستند: رسوبات آبرفتی محدود به مسیرهای رودخانه (۱)، رسوبات آبرفتی پادگانه‌ای (۲)، رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌ای (۳)، مجموعه آتشفشانی (۹)، مجموعه کربنات‌ها (۵)، مجموعه ترکیبی عمدتاً ماسه سنگ، کنگلومرا، شیل و آهک (۶)، رسوبات واریزه‌ای (۴)، رسوبات یخچالی (۷)، دریاچه (۸) و منطقه مسکونی (۱۰). لایه نهایی به یک شبکه با اندازه سلولی ۲۵ متر تبدیل شد. سپس ارزش تنوع با استفاده از ابزار تابع کانونی^۱ در محیط ARC GIS محاسبه گردید و یک شبکه عدد صحیح با فرمت رستری که در آن ارزش زمین به هر پیکسل یا سلول اختصاص داده شده به دست آمد. این شبکه عدد صحیح از ۱ با کمترین شرایط پاسخ توپوگرافیکی تا ۱۰ با بیشترین شرایط پاسخ توپوگرافیکی زمین شناسی منطقه بدست آمده است. در نهایت بر اساس الگوریتم شکست‌های طبیعی (جنکس، ۱۹۶۷) در پنج کلاس شامل V۱ (۱ و ۲)، V۲ (۳)، V۳ (۴)، V۴ (۵، ۶ و ۷) و V۵ (۸، ۹، ۱۰) طبقه‌بندی شد.

فاکتور تنوع تراکم زهکشی (Ddv)

در این تحقیق استخراج رودخانه‌ها از DEM ۱۰ متر و با استفاده از نرم‌افزار WMS استخراج شده است. خروجی از طریق نقشه‌های توپوگرافی ۲۵۰۰۰ و گوگل ارث کنترل شده است. به این ترتیب یک لایه برداری خطی به دست آمد. روابط توپولوژیکی بین بخش‌های شبکه‌ها با تبدیل لایه به یک لایه برداری سه‌بعدی اضافه شد. برای محاسبه مقدار تراکم زهکشی، ابزار تراکم خطی^۲ در ArcGIS مورد استفاده قرار گرفت. مقدار در هر واحد سطح از ویژگی‌های لایه خطی (رودخانه‌ها) که در اطراف هر یک از سلول‌های رستری خروجی قرار دارد، به عنوان خروجی، داده‌ای شبکه‌ای، به دست آمد. تراکم در واحدهای طول در واحد سطح محاسبه شد. در نهایت به پنج کلاس شامل V۱ (۰-۰/۳۵)، V۲ (۰/۰-۳۵/۶۷)، V۳ (۰/۰-۶۷/۹۶)، V۴ (۰/۱-۹۶/۳۹) و V۵ (۱/۲-۳۹/۱۶) طبقه‌بندی شد.

فاکتور تنوع زبری ناهمواری (Rgv)

زبری ناهمواری^۳، اندازه‌گیری یک سطح توپوگرافی نامنظم است (هانی و همکاران، ۲۰۱۱). مقادیر بالای زبری ناهمواری مشخص‌کننده مناطقی هستند که دره‌ها و یال‌ها اغلب متناوب هستند و با بستر زمین شناسی ناهمگن یا با فعالیت شدید ژئومورفولوژیکی مرتبط هستند (ملهلی، ۲۰۱۴)؛ بنابراین، مقدار زیاد زبری ناهمواری، دارای احتمال بیشتری برای تشخیص لندفرم‌ها است. ویژگی‌های زبری ناهمواری با اندازه سلولی ۲۵ × ۲۵ متر با استفاده از DEM ۱۰ متر استخراج گردید. مساحت برای یک سلول با توجه به ارتفاع این سلول به همراه ارتفاعات ۸ سلول مجاور محاسبه شد (جنس^۴، ۲۰۰۴). فضای سه‌بعدی از نقاط مرکزی هر سلول شروع می‌شود و به ۹ ستون با ارتفاع مناسب با ارزش ارتفاعی هر سلول می‌رسد. سپس فاصله اقلیدسی، در یک فضای سه‌بعدی، بین نقاط مرکز سلول کانونی و نقاط مرکزی هر یک از هشت سلول اطراف محاسبه گردید و به پنج کلاس شامل V۱ (۰-۳۶)، V۲ (۳۶-۷۲)، V۳ (۷۲-۲۶۶)، V۴ (۲۶۶-۶۰۵) و V۵ (۶۰۵-۱۱۵۱) طبقه‌بندی شد.

^۱ Focal function of variety

^۲ Line density

^۳ Roughness

^۴ Jenness

فاکتور تنوع شاخص وضعیت شیب (Scv) و فاکتور تنوع طبقه‌بندی لندفرم (Lcv)

دو مورد آخر در فرمول GmI از یک مقدار معمول مورفومتریک به عنوان یک شاخص موقعیت توپوگرافی^۱ (TPI) تعریف شده است (دریو و همکاران، ۲۰۱۳؛ وایس، ۲۰۰۱). TPI (بین -۱ تا +۱) به عنوان تفاوت بین مقدار ارتفاع سلول و میانگین ارتفاع در یک منطقه مجاور اطراف سلول (انحراف معیار) تعریف شده است. مقادیر TPI مثبت مربوط به ارتفاع بالاتر سلول و TPI منفی با پایین‌ترین و نزدیک به ارتفاع صفر در مناطق مسطح همراه است. لندفرم‌های استخراج شده به ۶ طبقه برای وضعیت شیب (جدول ۲) و به ۱۰ طبقه برای طبقه‌بندی لندفرم تقسیم گردیدند (جدول ۳). برای وضعیت شیب و طبقه‌بندی لندفرم تابع کانونی تنوع اعمال گردید و شبکه‌های حاصل بر اساس الگوریتم شکست طبیعی به ۵ کلاس از V۱ تا V۲ تقسیم شدند.

جدول ۲: طبقات شیب در فاکتور وضعیت شیب (وایس، ۲۰۰۱)

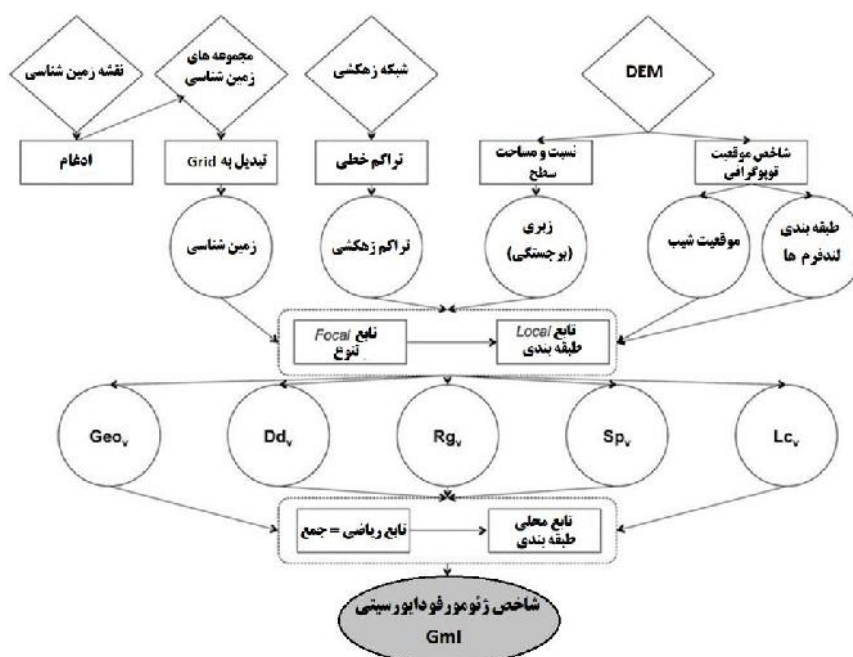
| TPI | طبقات | TPI | طبقات |
|--|--------------|---|-------------|
| $-.5 SD < TPI < .5 SD,$ $Slope > 5^\circ$ | شیب متوسط | $TPI \leq -1 SD^*$ | دره |
| $.5 SD < TPI \leq 1 SD$ | شیب تند | $-1 SD < TPI \leq -.5 SD$ | شیب کم |
| $TPI > 1 SD$ | سستیخ | $-.5 SD < TPI < .5 SD,$ $Slope \leq 5^\circ$ | شیب مسطح |

* SD انحراف معیار است که بین ۱ تا -۱ متغیر است.

جدول ۳: طبقات لندفرم در فاکتور طبقه‌بندی لندفرم (وایس، ۲۰۰۱)

| TPI | واحدهای مورفولوژیکی | TPI | واحدهای مورفولوژیکی |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| $-1 < TPI < 1$ شیب $> 5^\circ$ | دامنه‌های باز | $TPI \leq -1$ | کانیون‌ها و آبراهه‌های عمیق بریده شده |
| $TPI \geq 1$ | دامنه‌های بلند و مزایا | $-1 < TPI < 1$ | زهکشی‌های دامنه‌ای، دره‌های کم عمق |
| $TPI \leq -1$ | قله‌های محلی، دره‌ها و تپه‌ها | $TPI \geq 1$ | زهکش‌های بالادست و سرچشمه‌ها |
| $-1 < TPI < 1$ | یال‌های متوسط شیب و تپه‌های کوچک در دشت‌ها | $TPI \leq -1$ | دره‌های U شکل |
| $TPI \geq 1$ | قله‌های کوه‌ها، یال‌های بلند | $-1 < TPI < 1$ شیب $\geq 5^\circ$ | دشت‌ها |

^۱ Topography position index (TPI)

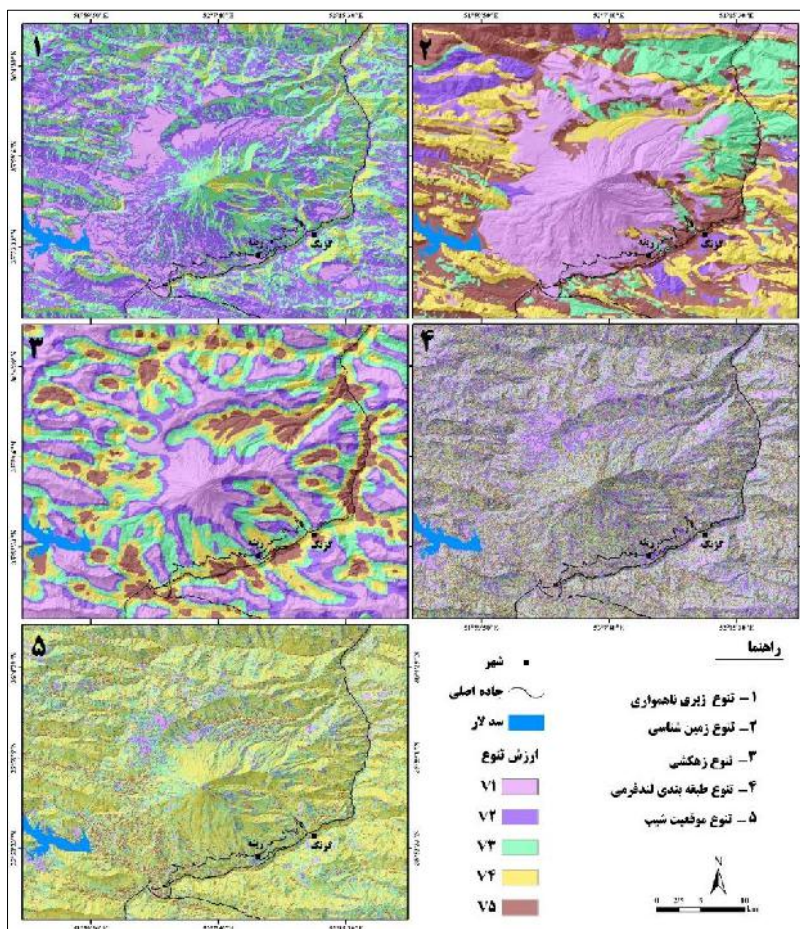


شکل ۳: مراحل اجرای شاخص ژئومورفودایورسیته (ملهلی و همکاران، ۲۰۱۷)

بحث و یافته‌ها

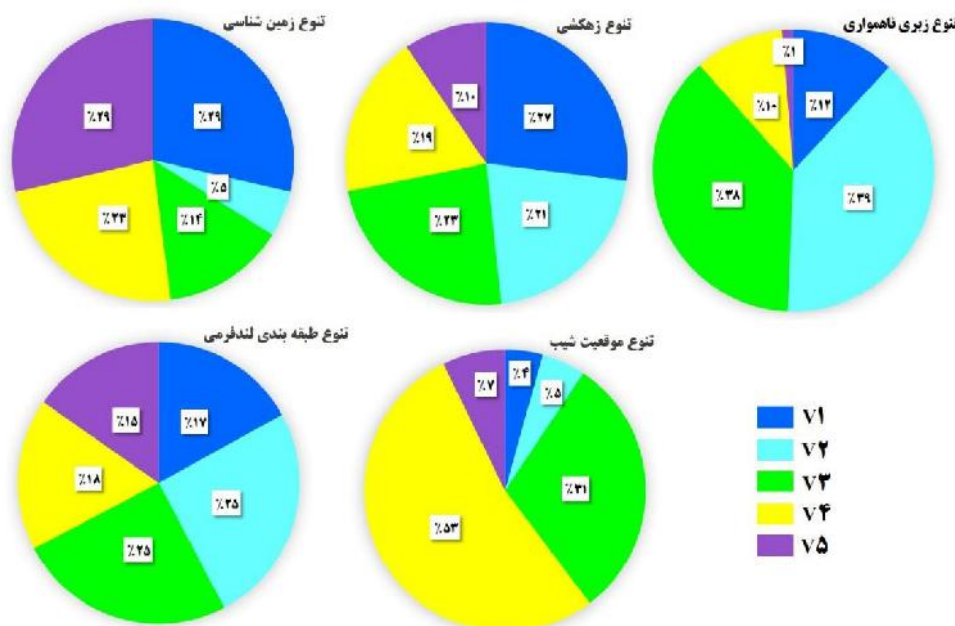
تنوع عوامل مؤثر در ژئومورفودایورسیته منطقه مورد مطالعه در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. هر عامل تنوع (V) به پنج طبقه تقسیم شده است تا وزن یکسان برای هر پارامتر در جمع نهایی مشخص شود. در عامل زبری ناهمواری، کمترین طبقه یعنی V1 برابر ۱۲ در صد؛ V2، ۳۹ در صد؛ V3، ۳۸ در صد؛ V4، ۱۰ در صد و بالاترین طبقه یعنی V5 نیز ۱ در صد از مساحت منطقه را شامل می‌شوند (شکل‌های ۴ و ۵). پنج طبقه زبری با کمترین مقادیر متعلق به توپوگرافی هموار در سطح دشت‌ها (دشت‌های آبرفتی و دشت‌های گدازه‌ای) و فلات‌های دامنه‌ای مطابقت خوبی دارد. برعکس، بیشترین میزان تنوع نیز مربوط به سطوح پرتگاهی با تراکم زیاد در ارتفاعات بالا (شمال شرق مخروط دماوند و ارتفاعات جنوب سد لار و شرق گزنک) توزیع می‌شود.

در تنوع عامل زمین‌شناسی، کمترین تنوع (V1) برابر ۲۵ در صد؛ V2، ۵ در صد؛ V3، ۱۴ در صد؛ V4، ۲۳ در صد و V5 نیز ۲۹ در صد از مساحت منطقه را در بر گرفته است (شکل‌های ۴ و ۵). مقادیر پایین تنوع در این عامل مربوط به بستر زمین‌شناسی مقاوم در برابر فرسایش (مانند گدازه‌های تراکی آندزیتی) و کمترین مقادیر تنوع نیز مربوط به رسوبات آبرفتی در امتداد دره‌ها و مجموعه کربنات‌ها است. تنوع تراکم زهکشی داده‌های اصلی را به پنج طبقه تقسیم می‌کند که در آن V1 برابر ۲۷ در صد؛ V2، ۲۱ در صد؛ V3، ۲۳ در صد؛ V4، ۱۹ در صد و V5، ۱۰ در صد از کل منطقه را نشان می‌دهد (شکل‌های ۴ و ۵). بالاترین مقدار (V4 و V5) به‌طور عمده در امتداد دره هراز و دره ناندل رخ داده است. تنوع زهکشی وابسته به میزان تراکم آبراهه‌های استخراج شده است که در تحقیق حاضر در مقیاس ۲۵۰۰۰ برابر با تراکم آبراهه‌ها در نقشه‌های توپوگرافی ۲۵۰۰۰ در نظر گرفته شده است.



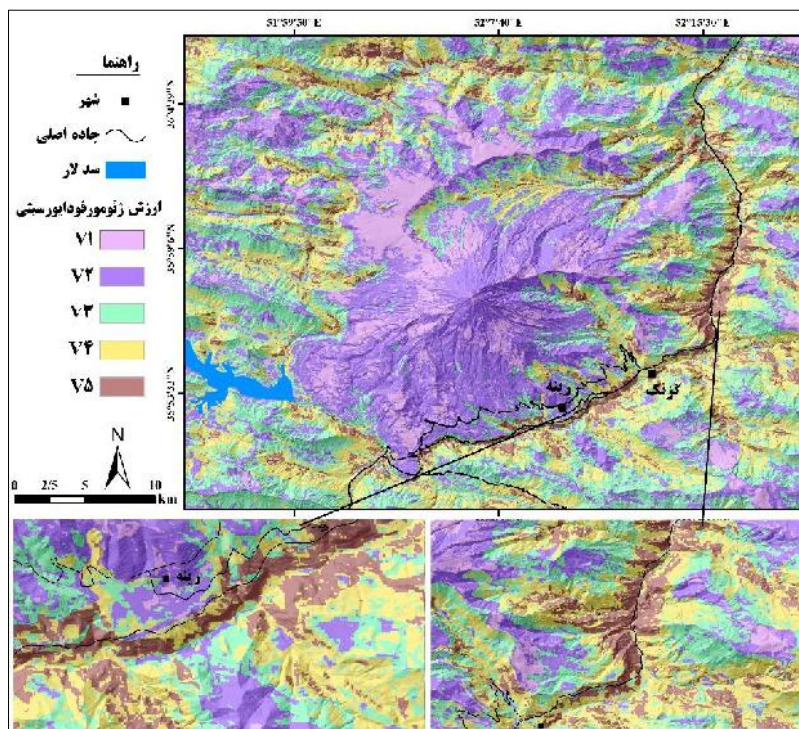
شکل ۴: تنوع عوامل مؤثر در ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه

در تنوع موقعیت شیب ۷۱ برابر ۴ درصد؛ ۷۲، ۵ درصد؛ ۷۳، ۳۱ درصد؛ ۷۴، ۵۳ درصد و ۷۵، ۷ درصد از کل مساحت منطقه را در بر گرفته است (شکل های ۴ و ۵). هر دو ۷۱ و ۷۲ تنها ۹ درصد از منطقه را پوشش می دهند که دلیل آن توپوگرافی ناهموار منطقه و در نتیجه دشت های کوچک و مساحت اندک سطوح کم شیب است. نتایج طبقه بندی لندفرمی بر اساس جدول ۲ نیز به پنج طبقه تقسیم شده است که در آن ۷۱ برابر ۱۷ درصد؛ ۷۲، ۲۵ درصد؛ ۷۳، ۲۵ درصد؛ ۷۴، ۱۸ درصد و ۷۵، ۱۵ درصد از کل مساحت منطقه را شامل می شوند (شکل های ۴ و ۵). شایان ذکر است که در سه عامل زمین شناسی، موقعیت شیب و طبقه بندی لندفرمی، بالاترین درصد مساحت در طبقه های بالای تنوع نسبت به سایر پارامترهای معادله ژئومورفودایورسیتی (معادله ۱) را نشان می دهند. در عامل زمین شناسی به دلیل مساحت زیاد مجموعه های کربناته و آبرفتی است. در دو عامل دیگر، روند متفاوت متغیرها بستگی به منطقه همسایگی مورد استفاده برای برآورد آن ها و همچنین توزیع فضایی متغیرها دارد (ملهلی و همکاران، ۲۰۱۷).

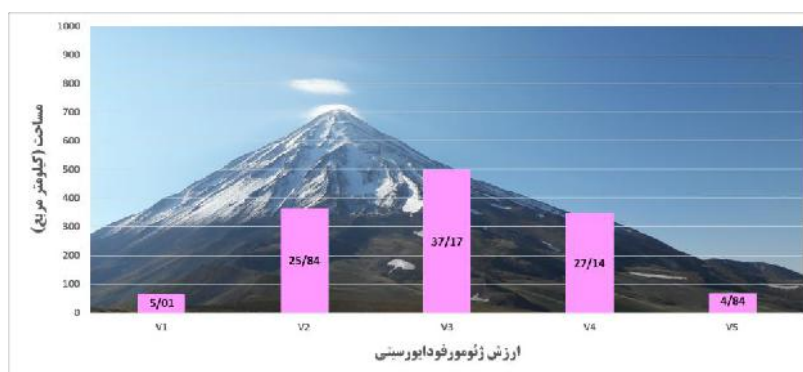


شکل ۵: درصد مساحت تنوع عوامل مؤثر در ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه

نقشه نهایی ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه (شکل ۶) بر اساس معادله ۱ محاسبه شده است. مجموعه داده‌ها در فرمت شبکه‌ای با اندازه سلولی 25×25 متر است که در واقع در یک رزولوشن ۲۵ متری به دست آمده است. ارزش ژئومورفودایورسیتی (شبکه خروجی) از حداقل ۵ تا حداکثر ۲۵ است. سلول‌هایی با مقدار برابر ۵ با حداقل تنوع برای تمام پارامترهای ورودی هستند. مقادیر برابر ۲۵ نشان می‌دهد که تمام داده‌های ورودی حداکثر تنوع را دارند. در محدوده ۵ تا ۲۵ تمام ترکیبات احتمالی وجود دارد. ارزش عددی ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه بر اساس الگوریتم شکست‌های طبیعی (جنکس، ۱۹۶۷)، همانند تمام طبقه‌بندی‌های قبلی که در داده‌های ورودی انجام شده، به ۵ طبقه (V۱ تا V۵) تقسیم شده است (شکل ۶). در ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه طبقه V۱ برابر $5/01$ درصد؛ V۲، $25/84$ درصد؛ V۳، $37/17$ درصد؛ V۴، $22/14$ درصد و V۵، $4/84$ درصد از کل مساحت منطقه را در بر گرفته است (شکل ۷). توزیع ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه عمدتاً با وضعیت توپوگرافی ارتباط دارد؛ به‌طور کلی مقادیر ژئومورفودایورسیتی به سمت دره‌ها (با ناهمواری بالا) افزایش و به سمت قله‌ها و دشت‌های مرتفع کاهش می‌یابد. کمترین مقادیر ژئومورفودایورسیتی (V۱) مربوط به مخروط آتشفشان دماوند به‌ویژه دشت گدازه‌ای در شمال غرب آن است. بیشترین مقادیر ژئومورفودایورسیتی (V۵) نیز مربوط به امتداد دره هراز، جایی که محل تلاقی انواع مختلف فرایندهای ژئومورفولوژیکی از جمله رودخانه‌ای، دامنه‌ای، یخچالی، آتشفشانی و غیره بوده است؛ به عبارت دیگر، افزایش ارزش ژئومورفودایورسیتی در امتداد دره هراز می‌تواند به عنوان نتیجه‌ای از فراوانی حضور فرایندهای ژئومورفولوژیکی تفسیر شود. بی‌نظمی فضایی اجزای ۵ عامل مورد بررسی (ورودی مدل) در طول گذار بین قله کوه‌ها تا خط‌القعر دره‌ها، علت اصلی طبقات مختلف (V۱ تا V۵) ژئومورفودایورسیتی منطقه است. طبقات ژئومورفودایورسیتی V۲، V۳ و V۴ در مناطق تپه‌ای و دامنه‌ای با حضور زهکش‌های دامنه‌ای، حرکات دامنه‌ای، فلات‌های دامنه‌ای و غیره توزیع می‌شوند. طبقه ژئومورفودایورسیتی V۲ در مخروط آتشفشان دماوند نتیجه اثر لایه‌بندی جریان‌های گدازه‌ای بوده است.

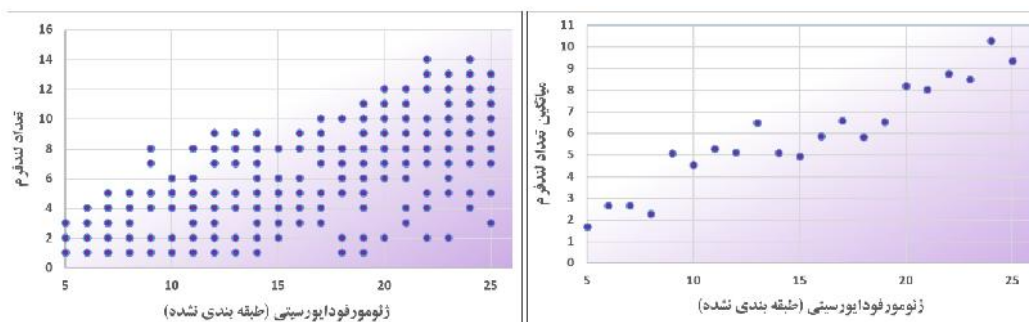


شکل ۶: نقشه نهایی ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه



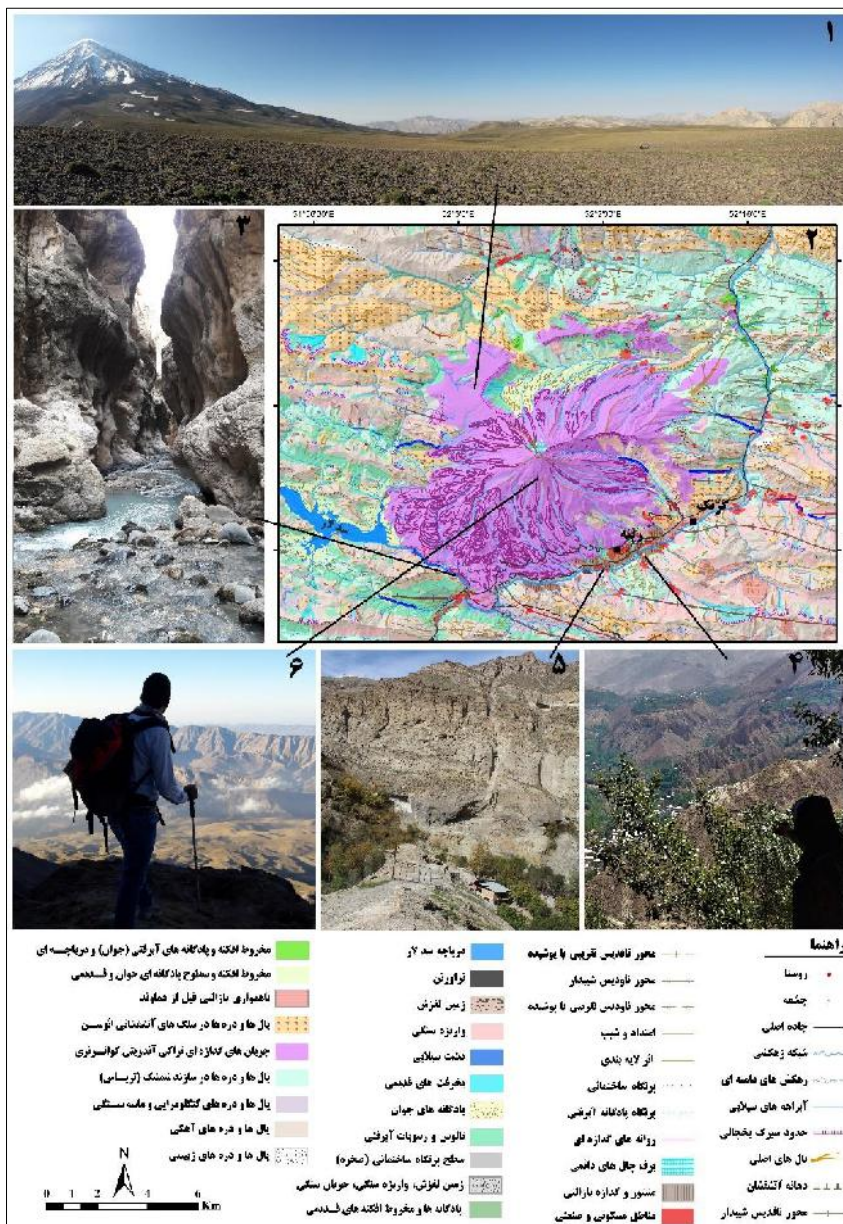
شکل ۷: مساحت طبقات ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه

به منظور اعتبار سنجی نتایج، مقایسه نقشه ژئومورفودایورسیتی با نقشه ژئومورفولوژی و تعداد لندفرم انجام شده و از طریق کارهای میدانی نیز کنترل گردیده است. طبقه‌بندی لندفرم با در نظر گرفتن (۱) تعداد لندفرم و (۲) میانگین تعداد لندفرم در محدوده دایره‌ای با ۱ کیلومتر مربع محاسبه شده است. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، هرچقدر مقادیر ژئومورفودایورسیتی افزایش یافته تعداد لندفرم‌ها نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مقدار ژئومورفودایورسیتی با میانگین تعداد لندفرم ارتباط بسیار خوبی دارد (شکل ۸ الف). نتایج اعتبار سنجی نشان می‌دهد که شاخص ژئومورفودایورسیتی قادر به ارائه بسیار خوب و با درجه بالایی از دقت تنوع لندفرم‌ها ($R^2=0/90$) در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۸: نتایج اعتبارسنجی بین مقادیر ژئومورفودایورسیتی و تعداد انواع مختلف لندفرم (سمت چپ) و میانگین تعداد لندفرم (سمت راست)

در پیمایش میدانی منطقه مورد مطالعه نیز نتایج شاخص ژئومورفودایورسیتی مورد تأیید قرار گرفت. گسترده‌ترین منطقه با کم‌ترین ژئومورفودایورسیتی (شکل ۶) در شمال غرب دماوند و در محل دشت سرداغ (شکل ۹) قرار دارد. برعکس، در امتداد دره هراز که بیشترین مقدار ژئومورفودایورسیتی را دارد، انواع مختلف لندفرم‌ها از جمله، پادگانه‌های رودخانه‌ای، پادگانه‌های دریاچه‌ای، زمین‌لغزش، مخروط‌های واریزه‌ای، منشورهای بازالتی، دره‌های عمیق، لندفرم‌های تراورتنی، تراکم زیاد آبراهه و غیره وجود دارد. علاوه بر این در سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه مناطقی با ژئومورفودایورسیتی زیاد وجود دارد (برای مثال: دره نمارستاق در شمال منطقه و دره لار در جنوب) که در واقعیت نیز تراکم لندفرم‌های آن منطقه زیاد است (شکل ۹). به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه مقادیر بالای ژئومورفودایورسیتی عمدتاً در محل تلاقی گدازه‌های آتشفشانی دماوند با رودخانه‌ها واقع است. مسدود شدن مسیر رودخانه‌ها توسط جریان‌های گدازه‌ای دماوند (تشکیل دریاچه) و سپس رسوب‌گذاری و در مراحل بعدی که بخشی از آن‌ها حمل شده و دره عمیقی توسط رودخانه به وجود آمده، موجب شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای در محل گردیده که بر ژئومورفودایورسیتی ضلع جنوبی و شرقی دماوند بسیار افزوده است. سنگ‌های کربناته سازند لار و تیزکوه یال‌ها دره‌ها، صخره‌ها و دامنه‌های پرشیبی را در منطقه مورد مطالعه تشکیل داده‌اند. در دامنه‌های پرشیب کوه‌ها سنگریزه‌ها در ابعاد مختلف و اغلب منفصل، واریزه‌ها را به وجود آورده‌اند. انواع مختلف لندفرم‌های ناشی از فرایندهای دامنه‌ای از جمله زمین‌لغزش، مخروط واریزه‌ای یا تالوس، جریان سنگی، ریزش‌های بلوکی و غیره به‌وفور قابل مشاهده است. شواهد محلی ژئومورفولوژی نشان می‌دهد که فرایندهای رودخانه‌ای در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه در گذشته و حال فعال بوده است. این فرایندها موجب شکل‌گیری انواع مختلف لندفرم‌های رودخانه‌ای از جمله دره‌های عمیق تا کم‌عمق، مخروط‌افکنه‌های کوچک، پادگانه‌های رودخانه‌ای و غیره شده است (شکل ۹). زهکش‌های دامنه‌ای نیز در اثر بارش باران و ذوب برف در ارتفاعات به صورت موقتی فعال بوده‌اند و مواد تخریبی دامنه‌ای را به پایین دست منتقل کرده‌اند. تجمع جریان در مسیر رودخانه‌ها موجب شکل‌گیری بسترهای سیلابی شده است که در حال حاضر نیز سیلاب‌های مختلفی در منطقه رخ می‌دهد. شواهد فعلی ژئومورفولوژی یخچالی نشان می‌دهد که فرایندهای یخچالی در ارتفاعات اطراف دماوند طی کواترنر فعال بوده‌اند. از جمله این شواهد می‌توان به سیرک‌های یخچالی و یخرفت‌ها اشاره کرد که در دره هراز نیز قابل مشاهده هستند.



شکل ۹: ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه: (۱) دشت سرداغ و دماوند، (۲) نقشه ژئومورفولوژی، (۳) تنگ تارپون، (۴) پادگانه‌های روستای نیاک، (۵) تراورتن آبسک و دخمه‌های سنگی کافر کلی، (۶) نمایی از دره هراز در ارتفاع ۴۶۰۰ متری قله دماوند

همبستگی فضایی خوب بین مقادیر شاخص ژئومورفودایورسیتی، تعداد انواع مختلف لندفرم‌ها و میانگین تعداد لندفرم‌ها، کیفیت و استحکام روش کمی ملهلی و همکاران (۲۰۱۷) را تأیید کرد. با این وجود، نتایج تفاوت‌هایی را با مطالعه موردی ملهلی و همکاران (۲۰۱۷) در منطقه اومبریا (ایتالیا) نشان می‌دهد. برخلاف منطقه اومبریا، در این تحقیق مناطق با ژئومورفودایورسیتی زیاد با مجموعه کربنات‌ها تطابق ندارد و عمدتاً بر بستر زمین‌شناسی آبرفتی در محل تلاقی گدازه‌ها و آبرفت‌ها منطبق است. علاوه بر این، دامنه ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه از محل دره‌ها به سمت قله‌ها کاهش می‌یابد در حالی که در اومبریا از سمت قله‌ها به سمت دشت کاهش می‌یابد. این اختلاف به دلیل تفاوت توپوگرافیکی دو منطقه مورد مطالعه است که در این تحقیق در واحد کوهستان قرار دارد ولی در اومبریا واحد دشت و حوضه‌های انتهایی نیز وجود دارد. علاوه بر این، اینکه در منطقه مورد مطالعه فرایندهای ژئومورفولوژیکی در دره‌ها و ارتفاعات پایین‌تر نقش

بیشتری در افزایش ارزش ژئومورفودیورسیتی کل داشته‌اند، با نتایج مطالعه کت (۲۰۱۷) در حوضه ترونی در کشور لهستان مطابقت دارد. با این وجود، نتایج چندین مطالعه (زولینسکی، ۲۰۱۰، گری و همکاران، ۲۰۱۳؛ کت، ۲۰۱۷) نشان داده است که تنوع لندفرم‌ها و فرایندها در محدوده‌های با ژئودیورسیتی و ژئومورفودیورسیتی زیاد پتانسیل بسیار زیادی برای ارائه خدمات مختلف ژئوسیستمی دارند و می‌توانند به عنوان شاخصی برای شناسایی و ارزیابی تنوع چشم‌انداز مورد استفاده قرار گیرد. آن‌ها نیاز به مدیریت مناسب و حفاظت دارند تا برای نسل‌های آینده حفظ شوند.

نتیجه‌گیری

ژئومورفودیورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن، یکی از مهم‌ترین ثروت‌های این منطقه است. تراکم لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی در این مناطق به حداکثر رسیده و یک مجموعه کم‌نظیر ژئومورفولوژیکی را ارائه می‌دهند. محدوده‌هایی با ژئومورفودیورسیتی زیاد یک مجموعه غنی و منحصر به فرد از انواع مختلف لندفرم‌ها و فرایندهای ژئومورفولوژیکی هستند که نیازمند توجه ویژه برای استفاده‌های ژئوتوریستی، علمی-آموزشی، میراث ملی و جهانی، ژئوپارک و غیره هستند. استفاده از روش‌های ارزیابی ژئومورفودیورسیتی بر مبنای داده‌های مورفومتریکی (حاصل DEM) و نقشه‌های زمین‌شناسی می‌تواند در شناسایی مناطق با ژئومورفودیورسیتی بالا بسیار مؤثر باشد زیرا نقشه‌های ژئومورفولوژیکی در مقیاس بزرگ برای کشور ایران و خیلی از مناطق دیگر جهان تهیه نشده و در دسترس نیست. علاوه بر این، تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی برای مناطق وسیع بسیار پرهزینه و زمان‌بر است. مزیت اصلی استفاده از شاخص مورد استفاده در مطالعه حاضر، در دسترس بودن داده‌های ورودی آن است. هرچقدر داده‌ها دقت بالاتری داشته باشند (برای مثال: DEM با قدرت تفکیک کمتر از ۱۰ متر) شناسایی و ارزیابی ژئومورفودیورسیتی نیز با دقت بیشتری انجام خواهد شد؛ بنابراین دقت نقشه‌های خروجی ژئومورفودیورسیتی وابسته به مقیاس و دقت داده‌های ورودی است. با این وجود، نتایج دقیق شاخص ژئومورفودیورسیتی برای منطقه مورد مطالعه نشان داد که این شاخص دارای انعطاف‌پذیری خوبی برای مناطق کوهستانی است. همبستگی خوب بین چشم‌انداز فیزیکی و عوامل ژئومورفودیورسیتی در منطقه مورد مطالعه تأیید می‌کند که مفهوم ژئومورفودیورسیتی، راه دیگری برای بررسی و تحلیل چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی است. علاوه بر این، تعیین محدوده‌های با ژئومورفودیورسیتی زیاد راه دیگری برای افزودن بر ارزش‌های میراث ژئومورفولوژیکی یک منطقه است؛ به عبارت دیگر، ژئومورفودیورسیتی مبنایی برای شناسایی و ارزیابی میراث ژئومورفولوژیکی برای اهداف مختلف ژئوتوریسم، میراث ملی و جهانی، ژئوپارک، حفاظت از میراث ژئومورفولوژیکی و غیره است. برای اطمینان از اینکه ارزش‌های این مناطق بتواند برای نسل‌های فعلی و آینده حفظ شود، مدیریت و حفاظت از آن‌ها بسیار اهمیت دارد. با این وجود، مطالعات ژئومورفودیورسیتی در مرحله ابتدایی است و نیازمند کمک و بازتاب بیشتری توسط ژئومورفولوژیست‌ها با همکاری سایر محققان علوم زمین است.

سیاس‌گذاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری، مصوب در دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران است. بدینوسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) و پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری جهت حمایت مالی رساله و تحقیق حاضر کمال تشکر را داریم.

منابع

- امری کاظمی، علیرضا، ۱۳۹۱، اطلس میراث زمین شناختی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۹۶ ص.
- زارعی نژاد، مژگان، ۱۳۸۹، شناسایی اشکال ژئومورفولوژیک کوه آتشفشانی دماوند و قابلیت‌های زیست‌محیطی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS، ماهنامه علوم زمین و معدن، سال سوم، شماره ۲۹، صص. ۲۸-۳۰.
- قنواتی، عزت‌اله؛ کرم، امیر؛ فخاری، سعیده، ۱۳۹۳، ارزیابی ژئوکانزرویشن با تأکید بر زمین‌گردشگری (مطالعه موردی: منطقه دماوند)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۳، شماره ۲، صص. ۷۷-۸۹.
- گلی مختاری، لیلیا؛ نگهبان، سعید؛ شفیعی، نجمه، ۱۳۹۷، تحلیل مقایسه ای ژئودایورسیتی (تنوع زمین شناختی) در حوضه‌های شمال غربی استان فارس، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱۶۳-۱۵۱.
- مختاری، داود، ۱۳۹۴، ژئوتوریسم. انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، ۴۲۴ ص.
- مقصودی، مهران؛ برزکار، محسن؛ عباسی، موسی؛ مرادی، انور، ۱۳۹۳، ارزیابی توانمندی‌های ژئوتوریسمی ژئومورفوسایت‌های شهرستان مهاباد، مطالعات مدیریت گردشگری، شماره ۲۵، صص ۸۱-۱۰۸.
- مقصودی، مهران؛ مقیمی، ابراهیم؛ یمانی، مجتبی؛ مرادی، انور، ۱۳۹۷، چالش‌های پیش رو در مدیریت و حفاظت میراث ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: آتشفشان دماوند)، ششمین همایش ملی ژئومورفولوژی و چالش‌های پیش رو، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- منصوریان، علی؛ زارعی نژاد، مژگان؛ مقیمی، ابراهیم؛ امیدیان، صفیه، ۱۳۸۷، ایجاد بانک اطلاعات ژئومورفولوژی - زیست‌محیطی دماوند تحت WebGIS، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، دوره ۱۸، شماره ۶۹، صص. ۷۴-۸۵.
- نکوئی صدری، بهرام (۱۳۸۸). مبانی زمین‌گردشگری با تأکید بر ایران. انتشارات سمت، ۲۱۲ ص.
- Asrat, A., Demissie, M., Mogessie, A., 2012. *Geoheritage conservation in Ethiopia: the case of the Simien Mountains. Quaestiones Geographicae*. 31 (1), pp. 7- 23.
- Bollati, I., Coratza, P., Giardino, M., Laureti, L., Leonelli, G., Panizza, M., Panizza, V., 2015. *Directions in geoheritage studies: suggestions from the Italian Geomorphological Community. Engineering Geology for Society and Territory*, 8, PP. 213-217.
- Brocx, M. and Semeniuk, V., 2007. *Geoheritage and geoconservation history, definition, scope and scale. Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90 (2). pp. 53-87.
- Coratza, P. and Hoblea, F., 2018. *The Specificities of Geomorphological Heritage. In: Reynard, E., Brilha, J., (Eds.). Geoheritage: Assessment, Protection, and Management. Elsevier, Amsterdam, pp. 87-104.*
- Church, M., 2011. *Observations and experiments. In: Gregory, K.J., Goudie, A.S. (Eds.), the SAGE Handbook of Geomorphology. SAGE, London, pp. 121-141.*
- Davidson, J., Hassanzadeh, J., Berzins, R., Stockli, D. F., Bashukooh, B., Turrin, B. and Pandamouz, A., 2004- *The geology of Damavand volcano, Alborz Mountains, northern Iran. Geol Soc Am Bull* 116(1-2): 16-29. *Doi: 10.1130/B25344.1.*
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Van Meirvenne, M., Verniers, J., Crombé, P., 2013. *Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. Geomorphology*, 186, pp. 39-49.
- El Hadi, H., Tahiri, A., Brilha, J., El Maidani, A., Baghdad, B., Zaidi, A., 2015. *Geodiversity examples of Morocco: from inventory to regional geotourism development. Open Journal of Ecology*, 5 (9), pp. 409 -419.

- Ferrero, E., Giardino, M., Lozar, F., Giordano, E., Belluso, E., Perotti, L., 2012. Geodiversity action plans for the enhancement of geoheritage in the Piemonte region (north-west-ern Italy). *Ann. Geophys*, 55 (3), pp. 487–495.
- Gordon, J.E., Barron, H.F., Hansom, J.D., Thomas, M.F., 2012. Engaging with geodiversity-why it matters. *Proc. Geol. Assoc*, 123 (1), pp. 1–6.
- Gordon, J. E. and Barron, H. F., 2011. Scotland's geodiversity: development of the basis for a national framework. *Scottish Natural Heritage Commissioned Report*, No. 417.
- Gordon, J.E., 2012. Rediscovering a sense of wonder: geoheritage, geotourism and cultural landscape experiences. *Geoheritage*. 4 (1), pp. 65- 77.
- Gray, M., 2008. Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm. In: Burek, C.D., Prosser, C.D. (Eds.), *the History of Geoconservation. Special Publication 300. The Geological Society, London*, pp. 3136.
- Gray, M., 2012. Valuing geodiversity in an “ecosystem services” context. *Scottish Geographical Journal*, 128 (3-4), 177-194.
- Gray, M., 2018. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. In: Reynard, E., Brilha, J. (Eds.), *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management. Elsevier, Amsterdam*, pp. 13-25.
- Gray, M., Gordon, J.E., Brown, E.J., 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proc. Geol. Assoc*, 124 (4), pp. 659- 673.
- Hani, A. F. M., Sathyamoorthy, D., Asirvadam, V. S., 2011. A method for computation of surface roughness of digital elevation model terrains via multiscale analysis. *Comput. Geosci*, 37 (2), pp.177–192.
- Jenks, G.F., 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, pp. 186–190.
- Jenness, J.S., 2004. Calculating landscape surface area from digital elevation models. *Wildl. Soc. Bull*, 32 (3), pp. 829–839.
- Koh, Y. K., Oh, K. H., Youn, S. T., Kim, H. G., 2014. Geodiversity and geotourism utilization of islands: Gwanmae Island of South Korea. *J. Marine Island Cult*, 3, pp. 106-112.
- Kot, R., 2017. A comparison of results from geomorphological diversity evaluation methods in the Polish Lowland (Toruń Basin and Chełmno Lakeland), *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 118 (1), pp. 17-35.
- Lucchesi, S. and Giardino, M., 2012. The role of geoscientists in human progress. *Ann. Geophys*, 55 (3), pp.355-359.
- Melelli, L., 2014. Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 13 (1), pp. 2–12.
- Melelli, L., Vergari, F., Liucci, L., Del Monte, M., 2017. Geomorphodiversity index: Quantifying the diversity of landforms and physical landscape. *Science of the Total Environment*, 584–585 (2017), pp. 701–714.
- Maghsoudi, M., Moradi, A., Moradipour, F. & Nezammahalleh M.A., 2018. Geotourism Development in World Heritage of the Lut Desert. *Geoheritage*, (in press). PP, 1-16.
- Moghimi, E., Mansourian A., Zarei Nejad, M. and Saber Moghimi, M., 2008. Utilization of Distributed Architecture Based on Internet GIS for Geomorphologic Data and Environmental Management: Case Study of Damavand Volcano Conic, Iran. *American Journal of Applied Sciences*, 3(10), PP. 1300-1307.
- Panizza, M., 2009. The geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): A key of geoheritage assessment. *Geoheritage*, 1, pp. 33-42.
- Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J., Santhos, L., 2013. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environ. Manag*, 52 (3), pp. 541–552.

- Pellitero, R., Gonzalez-Amuchastegui, M. J., Ruiz-Flaño, P., Serrano, E., 2010. Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage*, 3, pp. 163-174.
- Pellitero, R., Manosso, F. C., Serrano, E., 2014. Mid- and large-scale geodiversity calculation in Fuentes Carrionas (NW Spain) and Serra do Cadeado (Parana, Brazil): methodology and application for land management. *Geografiska Annaler: Series A, Phys. Geogr*, 97, pp. 219-235.
- Reynard, E. and Brilha, J., (Eds.), 2018. *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, Elsevier, Amsterdam, pp. 482.
- Reynard, E., Perret, A., Bussard, J., Grangier, L., Martin, S., 2016. Integrated Approach for the Inventory and Management of Geomorphological Heritage at the Regional Scale, *Geoheritage*, 8 (1), pp. 43-60.
- Rocha, J., Brilha, J., Henriques, M. H., 2014. *Assessment of the geological heritage of Cape Mondego Natural Monument (Central Portugal)*. *Proc. Geol. Assoc.* 125 (1), pp. 107-113.
- Tucker, G. E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R. L., 2001. *Statistical analysis of drainage density from digital terrain data*. *Geomorphology*, 36 (3), pp. 187-202.
- Thomas, M. F. 2012. *A geomorphological approach to geodiversity - its applications to geoconservation and geotourism*. *Quaestiones Geographicae*, 31(1), pp. 81-89.
- Sharples, C., 2002. *Concepts and Principles of Geoconservation (Version 3)*. *Tasmanian Parks & Wildlife Service, Hobart, Tasmania*.
- Sarnowski, L., Podgórski, A., Brykała, D., 2016. *Planning a greenway based on an evaluation of visual landscape attractiveness*. *Moravian Geographical Reports*, 24, PP. 55-66.
- Zwoliński, Z., 2010. *The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts*. *Landform Analysis*, 11, PP. 77-85.
- Zwolinski, Z. and Stachowiak, J., 2012. *Geodiversity map of the Tatra National Park for geotourism*. *Quaestiones Geographical*, 31 (1), pp. 99-107.
- Weiss, A., 2001. *Topographic Position and Landforms Analysis*. *ESRI User Conference, San Diego, CA*.