

شاخص ژئومورفودایورسیتی: کمی کردن تنوع چشم انداز طبیعی و لندفرم‌های کوهستان میشو، شمال غرب ایران

داود مختاری* - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز.
محمد حسین رضایی مقدم - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز.
مهديه اسفندیاری - دانشجوی دکتری، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴

چکیده

ارزیابی ژئودایورسیتی یکی از مراحل اولیه و اصلی در توسعه اقدامات حفاظت از زمین است. این پژوهش سعی دارد معیاری را برای اندازه گیری تنوع ژئومورفولوژیکی در منطقه کوهستان میشو به کار برده و اندازه بگیرد. هدف اصلی مطالعه حاضر ارزیابی کمی تنوع زمینی توده کوهستانی است که از شدت نمایان بودن و حضور مورد اغفال قرار گرفته است. در این پژوهش از مدل ارائه شده توسط ملی بنام GMI پیروی شده است. پارامترهای مورد استفاده در این مدل عبارت است از: تنوع تراکم زهکشی، تنوع زمین شناسی، تنوع طبقه بندی لندفرم، تنوع وضعیت شیب، تنوع شدت ناهمواری. در این مقاله شاخص کمی GMI با متغیرهای توپوگرافی مشتق شده از مدل‌های ارتفاعی دیجیتال در محیط GIS برآورد شده است. در این رویکرد هر سلول با یک مقدار جبری برچسب گذاری می شود که با درجه تنوع افزایش می یابد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد دامنه ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه از سمت قله‌ها به سمت دشت کاهش می‌یابد و مناطق دارای ارزش ژئومورفودایورسیتی کم در دشت واقع شده است. همچنین کم‌ترین تنوع (V1) متشکل از نهشته‌های کواترنری است و بیشترین تنوع (V4 و V5) از تشکیلات کربناتی، توده‌های نفوذی و ترکیبات آتشفشانی تشکیل شده است زیرا نادرترین نوع سنگ‌ها در سراسر سطح زمین هستند، که عمدتاً در قسمت‌های میشو شرقی قرار گرفته است. مقادیر بالای تنوع در عامل زمین‌شناسی مربوط به بستر زمین‌شناسی مقاوم در برابر فرسایش (مانند ترکیبات آتشفشانی و توده های نفوذی) و کم‌ترین مقادیر تنوع نیز مربوط به نهشته‌های دوره کواترنر در امتداد دره‌ها و دشت‌ها است. بیشترین شدت ناهمواری در تشکیلات قم واقع شده است. عامل زمین‌شناسی، شبکه آبراه‌ای و طبقه‌بندی لندفرمی، بالاترین درصد مساحت را در طبقه‌های بالای تنوع نسبت به سایر پارامترهای معادله ژئومورفودایورسیتی (معادله ۱) نشان می‌دهد. نتایج از طریق مقایسه با نقشه ژئومورفولوژی و کنترل میدانی اعتبار سنجی شده است. نقشه تولید شده برای ارزیابی مرحله اول ژئومورفودایورسیتی هر منطقه ساده و مفید است. این نقشه‌ها می‌توانند در انتخاب ژئوسایت‌های جدید و ارزیابی میراث زمین مناطق طبیعی و همچنین در مدیریت حفظ و حراست از آن که در مرحله آخر به نفع ژئوتوریسم خواهد بود، کمک کند.

واژگان کلیدی: ژئومورفودایورسیتی، GMI، کمی سازی تنوع زمینی، کوهستان میشو، شمال غرب ایران .

مقدمه

از آغاز قرن بیستم، مفهوم فیزیوگرافی، از ایده تقسیم جغرافیایی چشم انداز، گسترش یافت. رویکرد تقسیم سطح زمین در نواحی همگن که با فرآیندهای خاص و شکل‌های زمین مشخص می‌شود هنوز موضوع اصلی زمین‌شناسان است. طبقه بندی و تقسیم مناطق با ژئومورفولوژی مشابه، مبنای برنامه‌ریزی صحیح قلمرو برای مدیریت و بهره برداری است. برای این منظور، تحلیل فضایی و اندازه‌گیری‌های کمی متغیرهای محیطی، مبنایی برای رویکردی نوآورانه جهت بررسی روابط متقابل بین اجزای مختلف اکوسیستم است (بتارد^۱؛ ۲۰۱۳؛ هجورت و لوتو^۲؛ ۲۰۱۰؛ هجورت و همکاران، ۲۰۱۲). تعریف و ارزیابی اجزای غیر زنده گامی اساسی در جهت مقایسه و مدلسازی سیر تکاملی اکوسیستم است. بنابراین، از دهه گذشته، جامعه علمی شروع به توسعه زمینه تحقیقاتی خاص در علوم زمین با هدف تعریف و اندازه‌گیری، در دیدگاه کمی، تنوع اجزای غیر زنده یا ژئودایورسیتی^۳ کرده است (مللی^۴ و همکاران ۲۰۱۷). جهان پیرامون ما تقریباً به تمام معناها متنوع است (گری، ۲۰۰۴). "ژئودایورسیتی" در زیر پاهای ما و در داخل محیط زیست، چشم انداز اطراف ما را شکل می‌دهد، به گذشته صنعتی ما کمک می‌کند، تنوع زیستی را پشتیبانی می‌کند و بر هنر، معماری و طراحی تأثیر می‌گذارد. ژئودایورسیتی به عنوان جنبه‌ای مهم حفاظت از طبیعت به خودی خود شناخته شده است و مورد ملاحظه مادی در تصمیمات برنامه‌ریزی در کشورهای توسعه یافته است (دانلوپ^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات در مورد ژئودایورسیتی می‌تواند به ابزاری ارزشمند در مدیریت اکوسیستم و ارائه خدمات اکوسیستم از جمله ژئوتوریسم پایدار تبدیل شود (کولتا^۶؛ ۲۰۱۸). در دهه‌های اخیر بسیاری از محققین توجه خود را به موضوع تعریف ژئودایورسیتی و روابط آن با تنوع زیستی، حفاظت از محیط زیست طبیعی، خدمات اکوسیستم و ژئوتوریسم معطوف کرده‌اند (گری، ۲۰۰۴). در علم گسترده در حال ظهور ژئودایورسیتی، ژئومورفودایورسیتی^۷ (تنوع ژئومورفولوژیکال) شکل ویژگی‌های سطحی یک مکان یا منطقه را ارزیابی می‌کند. لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مختلف ممکن است در یک محیط جغرافیایی ایجاد شود که تنوع شکل زمین را ایجاد می‌کند که به آن ژئومورفودایورسیتی می‌گویند (کوری^۸ و همکاران، ۲۰۱۹). سیستم‌های ژئومورفیک ممکن است رفتار بسیار متغیر در فضاهای کم عرض به ویژه در محیط‌های کوهستانی داشته باشند. این تنوع را می‌توان به عنوان ژئومورفودایورسیتی در نظر گرفت "ژئودایورسیتی با توجه به ژئومورفولوژی" به طوری که غنای ژئومورفولوژیکی مناطق را می‌توان با در نظر گرفتن مقیاس بررسی، هدف تحقیق و سطح کیفیت علمی مقایسه کرد. ژئومورفودایورسیتی معمولاً با شمارش متفاوت کمی عناصر ژئومورفیک موجود در سلول‌هایی با اندازه معین با روش‌های مستقیم یا استنباط غیرمستقیم از ویژگی‌های ریخت سنجی برجستگی‌ها محاسبه می‌شود. از این رو ژئومورفودایورسیتی، منعکس کننده تنوع رفتار دینامیکی سیستم‌های ژئومورفیک در رابطه با ویژگی‌های توپوگرافی است (بولاتی و کاوالی^۹؛ ۲۰۲۰).

در ایران اگرچه مطالعات زیادی در ارتباط با ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه صورت گرفته (مختاری، ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲؛ پیر علیلو و همکاران، ۱۳۹۳)؛ اما تاکنون مطالعه مدونی در مورد ژئومورفودایورسیتی منطقه صورت نگرفته است. در سال‌های اخیر تعداد کمی از مطالعات به مسائل روش‌شناختی مربوط به ارزیابی ژئومورفودایورسیتی پرداخته‌اند.

1. Bétard
2. Hjort and Luoto
3. Geodiversity
4. Melelli
5. Dunlop
6. Kuleta
7. Geomorphodiversity
8. Kori
9. Bollati & Cavalli

کارهای اخیر که بر روی رویکردی نیمه کمی متمرکز شده اند، وجود و عدم وجود ژئوسایت‌ها (رینارد و کوراتزا^۱، ۲۰۰۷) و فراوانی و غنای آن‌ها را به عنوان شاخص‌هایی با رتبه‌های بالای ژئودایورسیتی در نظر می‌گیرند (به نقل از مللی، ۲۰۱۷) اخیراً در زمینه ژئودایورسیتی، چندین نویسنده شاخص‌های مبتنی بر ویژگی‌های توپوگرافی را استفاده و مورد آزمایش قرار داده‌اند. این مطالعات فرسایش ناهمواری را به عنوان یک عنصر ساختاری چشم انداز (زوالنسکی، ۲۰۰۴)، ناهمواری توپوگرافی به عنوان ضریب اندازه گیری واحدهای همگن نقشه‌های اساسی و داده‌های مورفومتری را به روش‌های مختلف جهت کمی کردن تنوع (ستوس^۲ و همکاران ۲۰۱۷، کالوو^۳ و همکاران ۲۰۰۹، پیرا^۴ و همکاران ۲۰۱۳) و ایجاد الگوریتم اقدام برای ارزیابی ژئودایورسیتی لندفرم زمین با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک و بر تحلیل‌های فضایی شاخص‌های حاصل از DEM معرفی نموده‌اند (نجوار و زوالنسکی^۵، ۲۰۱۵، زوالنسکی و گودویچ^۶، ۲۰۱۶، مللی و همکاران، ۲۰۱۷، سیلوا و همکاران ۲۰۱۷، کت ۲۰۱۸، مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸، حق جو و مختاری، ۱۳۹۹).

مقیاس‌های متفاوتی برای مطالعه انتخاب شده است گروهی مقیاس کوهستان (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸ مختاری و حق جو، ۱۳۹۹) تعدادی واحد دشت را انتخاب کرده اند (کت، ۲۰۱۷)، عده ای در مقیاس پارک طبیعی (بالاتی و کاوالی ۲۰۲۰) به بررسی پرداخته اند.

هدف این بررسی، ارائه شاخصی از ژئومورفودایورسیتی، تلاش برای جایگزینی لندفرم‌ها با پارامترهای مورفومتریک مشتق از DEM است و در نهایت تهیه نقشه‌های ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه است؛ همچنین گسترش روشی است که از GIS و مدل‌های ارتفاعی دیجیتال برای به دست آوردن شاخص ژئومورفودایورسیتی (GmI) استفاده می‌کند. DEM به عنوان تنها داده ورودی، این رویکرد امکان دستیابی به متغیرهای توپوگرافی با وضوح افقی و دقت عمودی متفاوت و آزمایش بیش از یک داده توپوگرافی برای یک منطقه را فراهم می‌کند. این نشان دهنده تفاوت اصلی بین مدل عددی ارائه شده در این کار و فرمول‌های موجود در ادبیات علمی است. به این ترتیب، روش GmI از داده‌های ژئومورفولوژیکی فقط برای اعتبارسنجی نتیجه و نه به عنوان پارامترهای ورودی استفاده می‌کند تا از محدودیت‌های ذکر شده در نقشه‌برداری موضوعی ژئومورفولوژیکی جلوگیری کند.

کوهستان میشو با توجه به شرایط سوق الجیشی خود گردنه‌ای بوجود آورده که راهی را برای عبور و مرور به غرب و کشورهای دارای منافع مشترک و اروپا گشوده است؛ کوهستان میشو شامل پدیده‌های متنوع ژئومورفولوژیکی نظیر دره، تراس رودخانه، مخروطه افکنه، چشمه‌ها و پرتگاه‌ها است. مناطق خوش بیابانی این کوهستان امروزه در میان مناطق مختلف به علت تخریب زیستگاه‌ها و انهدام گونه‌ها رغبت کمتری را برمی‌انگیزد، در گذشته در شبکه منطقه ای جزو ارزشمندترین‌های کشور بوده و منطقه‌ای غیرقابل جانشین به حساب می‌رفت. به واسطه خشکسالی‌های چند ساله اخیر و نیز عدم وجود برنامه‌های مدیریتی مدون و نیز به علت کم توجهی در کنترل و نظارت نسبت به استخراج کنندگان معادن و نیز از عمده ترین تعارضات در کوهستان میشو می‌توان به عدم تعادل دام و مرتع اشاره نمود، این منطقه در طول سال‌های گذشته شاهد تخریب‌های بسیاری بوده است. به طور عمده ژئودایورسیتی منطقه کوهستان میشو در توسعه اش نقش داشته است که هم فرصت‌ها و هم محدودیت‌هایی را فراهم می‌کند که نیاز است مدیریت و فهمیده شود. با ظهور رویکردهای جدید در ژئودایورسیتی می‌توان از فضاهای جغرافیایی مثل کوهستان میشو به نحو احسن استفاده نمود.

1. Reynard & Kurtza

2. Santos

3. Calvo

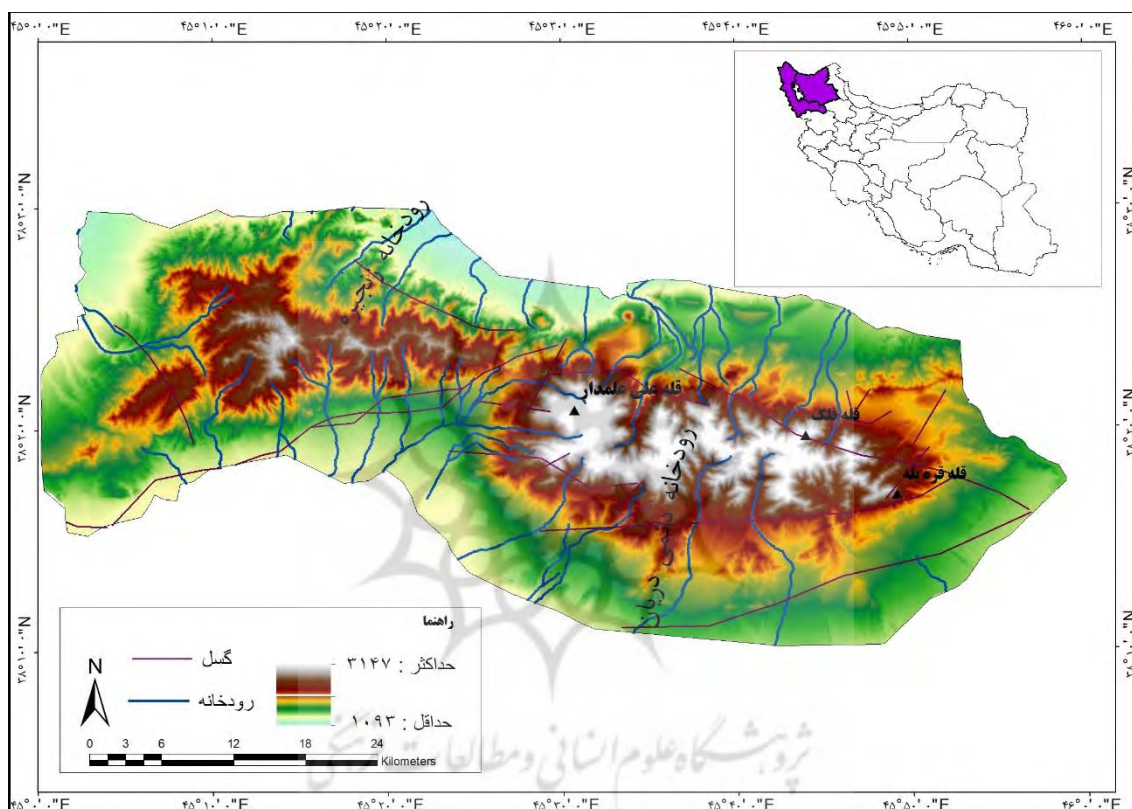
4. Pereira

5. Najwer & Zwoliński

6. Godoich

منطقه مورد مطالعه

کوهستان میشو نام یکی از رشته کوه های استان آذربایجان شرقی است که حد فاصل شهرستان شبستر و شهرستان مرند است. بلندترین قله آن علی علمدار با ارتفاع ۳۱۵۵ متر می باشد. این کوهستان بصورت یک هورست در بین چاله تکتونیکی مرند و دریاچه ارومیه بالا آمده است. این رشته کوه با ارتفاع بیش از ۱۶۰۰ متر، تصویری از ژئومورفولوژی را در منطقه ایجاد می کند. از نظر ویژگی های مورفولوژیکی و زمین شناسی به دو بخش میشو شرقی و میشو غربی تقسیم می شود. جهت گیری شرقی-غربی آن تعاملی عظیم و منحصر به فرد جو زمین را در منطقه ایجاد می کند. شکل شماره ۱.



شکل شماره ۱: منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

ارزیابی ژئومورفودایورسیتی تنها به دو نوع داده و دو نوع نرم افزار برای تهیه و محاسبه نیاز دارد: نقشه زمین شناسی مدل ۱:۱۰۰۰۰۰ با ایجاد یک فایل با فرمت شیپ فایل با استفاده از ابزار ترسیم در نرم افزار GIS جهت ترسیم نقشه سنگ شناسی مورد استفاده قرار گرفت. DEM مدل ارتفاعی دیجیتال ۱۲٫۵ متری که در سایت vertex.daac.asf.alaska.edu در دوره های زمانی متوالی بارگزاری شده است.

نرم افزار محبوب GIS و SAGA GIS.

در این مطالعه برای ارزیابی از شاخص کمی ژئومورفودایورسیتی GMI^۱ که توسط مللی و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شده، استفاده می شود. تجزیه و تحلیل شاخص ها و با استفاده از نرم افزارهای پیشرفته مثل نرم افزار GIS و نرم افزار Land

^۱. Geomorphodiversity Index

Face و SAGA باعث افزایش اعتبار یافته‌ها و نتایج پژوهش می‌شود. این تجزیه و تحلیل شامل پنج عامل برگرفته شده از مللی و همکاران است که مجموع این پنج پارامتر میزان ژئومورفودایورسیتی منطقه را نشان می‌دهد (معادله ۱).

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

GmI شاخص ژئومورفودایورسیتی^۱

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 شاخص وضعیت شیب^۵ است.

Lc_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع طبقه‌بندی لندفرم^۶ است.

ذکر این نکته ضروری است که به جز فاکتور نقشه زمین‌شناسی، در سایر فاکتورها نقشه‌ها دو مرحله پردازش را طی کردند. مرحله اول استخراج از داده‌های خام است. مرحله دوم نرمال سازی با استفاده از گسست‌های طبیعی است (جنکس ۱۹۶۷). این الگوریتم واریانس درون گروه‌ها را کاهش می‌دهد و واریانس بین آن‌ها را به حداکثر می‌رساند. نرمال سازی از ابزار طبقه‌بندی مجدد ArcGIS 10.7 برای ایجاد پنج کلاس برای هر عامل استفاده می‌کند. V1 کمترین در حالی که V5 بالاترین کلاس تنوع^۷ (V) است. در این فرمول به پنج طبقه (خیلی کم) تا (خیلی زیاد) طبقه‌بندی شده است. هر یک از شاخص‌های مذکور با استفاده از دستورات زیر در نرم افزار GIS و افزونه Land Facet و SAGA محاسبه می‌شود. کانون روش تحقیق این مدل تحلیل‌های فضایی شاخص‌های حاصل از Dem 12.5 متر است. به منظور ارزیابی تنوع هر پارامتر، یک تابع کانونی (تابع آمار همسایگی) در نتیجه تنوع اعمال می‌شود.

فاکتور تنوع زمین‌شناسی (Geo_v)

به منظور به دست آوردن شاخص ژئومورفودایورسیتی، که قادر به بیان اثرات فرآیندهای مدل سازی بر روی نقش برجسته، لازم است عاملی برای بیان تغییرات فضایی ویژگی‌های اصلی سنگ بستر در نظر گرفته شود. به همین دلیل یک عامل زمین‌شناسی به داده‌های ورودی اضافه شده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، نقشه لیتولوژی ترسیم شد. فاکتور تنوع زمین‌شناسی یا تنوع فضایی ویژگی‌های اصلی بستر که می‌تواند اثرات فرآیندهای مدل سازی را بر ناهمواری بیان کند، جهت به دست آوردن شاخص ژئومورفودایورسیتی در نظر گرفته شد. ویژگی لیتولوژیکی منطقه، با توجه به مقاومت سنگ یا رسوبات و عکس‌العمل یکسان در برابر فرآیندهای فرسایشی طبقه‌بندی شد. بنابراین ویژگی لیتولوژیکی منطقه، با توجه به نوع سنگ یا رسوبات و پاسخ توپوگرافیکی آن‌ها به فرآیندهای فرسایشی (چسبندگی، نفوذپذیری، استایل تکتونیکی) طبقه‌بندی شد. طبقه‌بندی بالا را در محیط Arc map بر روی نقشه لیتولوژی اعمال کرده و یک لایه پولیگونی به دست آورده، سپس لایه بدست آمده را به یک شبکه با اندازه سلولی ۲۵ متر تبدیل کرده و آن را در پنج کلاس طبقه‌بندی می‌کنیم. بر اساس این طبقه‌بندی، V₁ شامل (نهشته‌های کواترنری)، V₂ شامل (ترکیبات آواری یا واریزه‌ای)، V₃ شامل (تشکیلات قم)، V₄ شامل (رسوبات کربناتی) و در نهایت V₅ شامل (ترکیبات آتشفشانی) می‌باشد.

1. Geomorphodiversity index

2. Geological diversity factor

3. Drainage density diversity factor

4. Roughness diversity factor

5. Slope position index diversity factor

6. Landform category diversity factor

7. Variety

فاکتور تنوع تراکم شبکه آبراهه‌ای (Dd)

در حالی که ویژگی‌های توپوگرافی و شاخص‌های مشتق شده برای برجسته کردن تنوع ژئومورفولوژیکی در کوه‌ها و تپه‌ها کافی هستند در مناطق مسطح ناکارآمد می‌شوند. در مناطق دشتی، تفاوت کم یا صفر در ارتفاع، کارایی پارامترهای شیب را کاهش می‌دهد و در نتیجه بر توانایی آن‌ها برای توصیف ویژگی‌های مورفومتریکی تأثیر می‌گذارد (مللی و همکاران، ۲۰۱۷). مناطق مسطح منطقه مورد مطالعه با رسوبات آبرفتی، رودخانه‌ای و رسوبات مخروطه افکنه‌ای مطابقت دارد. تراکم زهکشی^۱، میزان توسعه شبکه آبراهه‌های یک حوضه نسبت به مساحت آن حوضه است. تراکم زهکشی پارامتر کمی مهمی برای آنالیز لندفرم‌ها است. همچنین عملکرد اقلیم، سنگ‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی و ناهمواری منطقه و تأثیرات آن‌ها بر لندفرم‌ها، به طور غیر مستقیم توسط این شاخص ارزیابی می‌گردد. در حوضه‌های با سازندهای نفوذپذیر، پوشش گیاهی مناسب و ناهمواری متوسط میزان تراکم زهکشی کمتر بوده و میزان تغذیه ی آب‌های زیرزمینی زیاد می‌باشد (پروین، ۱۳۹۹). تراکم زهکشی یا بافت به خطوط زهکشی میان واحد مساحت گفته می‌شود که دارای سه نوع دسته‌بندی درشت، متوسط و بافت زهکشی ریز است (آبدیده و همکاران، ۱۳۹۰). در دشت‌های آبرفتی فعال، فرآیندهای ریخت‌زایی می‌تواند سریع باشد، به ویژه در نزدیکی کانال‌های جویبار، و تعداد زیادی لندفرم‌های فرسایشی و رسوبی ایجاد می‌کنند. از این رو، شبکه زهکشی ممکن است یک پارامتر ورودی معتبر باشد که برای ارزیابی ژئومورفودایورسیتی مفید است. به منظور یافتن یک ویژگی عددی کارآمد برای پیوند وجود و عدم وجود شبکه رودخانه برای ژئومورفولوژی، تراکم زهکشی (Dd) در نظر گرفته شده است (تاکر^۲ و همکاران، ۲۰۰۱). پارامتر چگالی زهکشی (هورتن^۳، ۱۹۴۵) تابعی از فرسایش پذیری و نفوذپذیری است و بنابراین می‌توان آن را به درجه شکستگی نیز مرتبط کرد. بسیاری از مطالعات بر روی تغییرات فضایی مقادیر Dd، سودمندی آن‌ها را در شناسایی مناطق با ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مختلف برجسته کردند (دل مونته^۴، ۱۹۹۶؛ لویپا پالمیری^۵ و همکاران، ۲۰۰۱؛ استرالر، ۱۹۵۸). Dd که به عنوان کل طول شبکه رودخانه‌ای کامل در یک حوضه زهکشی تقسیم بر مساحت حوضه تعریف می‌شود، بستگی به شرایط آب و هوایی، زاویه شیب، کاربری زمین و پوشش زمین دارد. بنابراین، این یک پارامتر عالی برای شناسایی و برجسته کردن روابط بین مؤلفه هیدروگرافی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی یک منطقه است (به نقل از: مللی و همکاران، ۲۰۱۷).

شبکه آبراهه‌ای منطقه با استفاده از 12.5 متر استخراج و رودخانه با طول بیش از ۱۰۰ متر با استفاده از دستور Flow Accumulation استخراج شد. برای محاسبه مقدار تراکم زهکشی، ابزار تراکم خطی^۶ در ArcGIS مورد استفاده قرار گرفت.

فاکتور شدت ناهمواری (Rg)

زبری سطح، که در اینجا مترادف بافت سطح در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند نقش متمایزی در تشخیص فرآیندها و عوامل مختلف ژئومورفیک داشته باشد. اغلب، مورفولوژی محلی، در مقیاس‌های مختلف، ویژگی‌های ناهمسازگردی را ارائه می‌دهد که می‌تواند هنگام محاسبه یا اندازه‌گیری زبری سطح در نظر گرفته شود. برخی از پارامترها برای درک بهتر ویژگی‌های آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است با توجه به محیط توپوگرافی، به ویژه زمانی که آن‌ها از مدل‌های زمین دیجیتال با وضوح بالا استخراج شده‌اند. زبری سطح یکی از امیدوارکننده‌ترین داده‌ها است. به منظور به دست آوردن خواص

1. Drainage Density (Dd)

2. Tacker

3. Horton

4. Del Monte

5. Palmiry

6. Line Density

ناهمسانگرد و چند مقیاسی این ویژگی، تلاش‌هایی انجام شده است (ترویسنی و کاوالای، ۲۰۱۶). مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده، با ابعاد ۱۲/۵ متر است. ابعاد پنجره محاسباتی 25×25 است برای بدست آوردن زبری ناهمواری (میزان تغییرات ارتفاع) از ابزار آنالیز محلی (Focal Statistic) استفاده شد و حداقل، حداکثر و میانگین محاسبه شد. دستور همسایگی اجرا و فرمول زیر در Raster Calculator محاسبه شد:

$$\frac{(\text{sum dem} - \text{min dem})}{(\text{max dem} - \text{min dem})}$$

فاکتور تنوع شاخص وضعیت شیب (Sp_v) و فاکتور تنوع طبقه بندی لندفرم (Lc_v)

مفهوم کلی و کاربرد شاخص موقعیت توپوگرافی TPI^2 به این است که صورت دقیق و غیر توصیفی مرز لندفرم‌هایی مانند: ارتفاعات، شیب تند، مناطق مسطح، دره و ... را با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به صورت اتوماتیک و سریع، تعریف و تعیین نماید. به عبارت دیگر مدل TPI راهکار نوینی جهت تعیین کمی لندفرم‌ها است. اما وابستگی و تابعیت مستقیمی با رزولوشن و شعاع پیکسل‌های همسایه دارد. برای جدا سازی واحدهای منطقه از مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن ۱۲,۵ متر استفاده شد. برای محاسبه TPI طبق معادله و این ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی با میانگین ارتفاع سلول‌های همسایه بررسی شد در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع مرکز کم شد (مختاری، ۱۳۹۷). TPI مثبت یعنی سلول مورد نظر بالاتر از میانگین سلول‌های اطراف خود است و می‌تواند بیانگر این باشد که مکان مورد نظر یک تپه یا پشته است. و همچنین TPI منفی نشان دهنده پایین بودن مکان مورد نظر از اطراف خود است که می‌تواند یک دره باشد. TPI نزدیک به صفر مناطق مسطحی را نشان می‌دهد که شیب در آنجا بسیار کم و نزدیک به صفر است. لندفرم‌های استخراج شده در نرم افزار Land Facet به ۱۰ طبقه برای طبقه بندی لندفرم‌ها تقسیم شد.

جدول شماره ۱: کلاس‌های لندفرم

شماره	واحدهای مورفولوژیکی
۱	دره‌ها به همراه جریان‌های عمیق تراش خورده
۲	دره‌های کم عمق به همراه زهکشی‌هایی با شیب متوسط
۳	زهکشی‌های بالایی و سرچشمه‌ها
۴	دشت‌ها
۵	دامنه‌های باز
۶	دامنه‌های فوقانی
۷	پشته‌ها و یا تپه‌های محلی
۸	پشته‌ها با شیب متوسط و تپه‌های کوچک در دشت‌ها
۹	قله‌های کوهستانی و پشته‌های مرتفع
۱۰	برجستگی‌های باریک بالای قله‌ها

جهت بررسی موقعیت شیب بر اساس TPI ، از طبقه بندی که وایس در مقاله خود تحت عنوان "موقعیت توپوگرافی و تجزیه و تحلیل لندفرم‌ها" نشان داده، استفاده شد. در این روش موقعیت شیب در شش طبقه (دره، شیب پایین، شیب تخت، شیب میانی، شیب بالایی و خط الراس) نشان داده شده است. جدول شماره ۲.

1. Trevisani & Cavalli

2. Topography Position Index

جدول شماره ۲: موقعیت شیب

طبقات	شروط	موقعیت شیب
۱	اگر $TPI > 1$	خط الراس
۲	اگر $0.5 < TPI < 1$	شیب کم
۳	اگر $TPI = 0.5$	شیب تند
۴	اگر $TPI < 0.5$ و $Slope > 5 \text{ deg}$	شیب میانی
۵	اگر $TPI = 0.5$ و $Slope = 5 \text{ deg}$	شیب مسطح
۶	اگر $TPI < 1$	دره

این استخراج ها در SAGA GIS انجام شد. در نهایت، تابع کانونی^۱ برای موقعیت شیب اعمال گردید و سپس شبکه بدست آمده در پنج کلاس طبقه بندی شد. مدل مفهومی مطالعه حاضر در شکل شماره ۲ به نمایش درآمده است.



شکل شماره ۲: مدل مفهومی تهیه نقشه ژئومورفودایورسیتی

یافته‌های تحقیق

الگوریتم پیشنهادی در این کار از بیان سرانو و فلانو (۲۰۰۷) که در آن ژئودایورسیتی از ضرب بین N و R ، تقسیم بر $\ln S$ محاسبه می‌شود، الهام گرفته شده است. در این فرمول N مجموع حسابی عناصر فیزیکی، R زبری و S سطح واقعی است. لگاریتم ناپری برای عادی سازی نتیجه با مساحت واحد معرفی شده است. در معادله ارائه شده در اینجا (معادله ۱) فقط مجموع حسابی عناصر طبیعی در نظر گرفته شده است. دلیل آن این است که در این کار فقط ژئومورفودایورسیتی ارزیابی شده است. بنابراین، پارامترهای مورفومتریک به عنوان مهم‌ترین عوامل برای تحلیل در نظر گرفته می‌شوند. تنها پارامتری که کاملاً مورفومتریک نیست، پارامتر زمین شناسی است. انتخاب این پارامتر براین مبتنی است که انواع سنگ‌ها بر پاسخ برجستگی به عوامل ژئومورفیک و در نتیجه لندفرم‌های حاصل تأثیر می‌گذارند. مزیت اصلی این فرمول تنوع هر داده ورودی است که از قبل معیاری برای اندازه گیری تنوع اجزای غیر زنده هستند. این نکته بسیار مهمی است زیرا صرفاً مقادیری را که معمولاً در بیشتر رویکردهای علمی قبلی اعمال می‌شود، جمع نمی‌کند. عملکرد کانونی امکان اندازه گیری تنوع را در مناطق اطراف کاملاً مشخص می‌دهد، بنابراین اطلاعات اولیه زمین را به یک مرحله میانی تبدیل می‌کند؛ که

¹ Focal Analysis

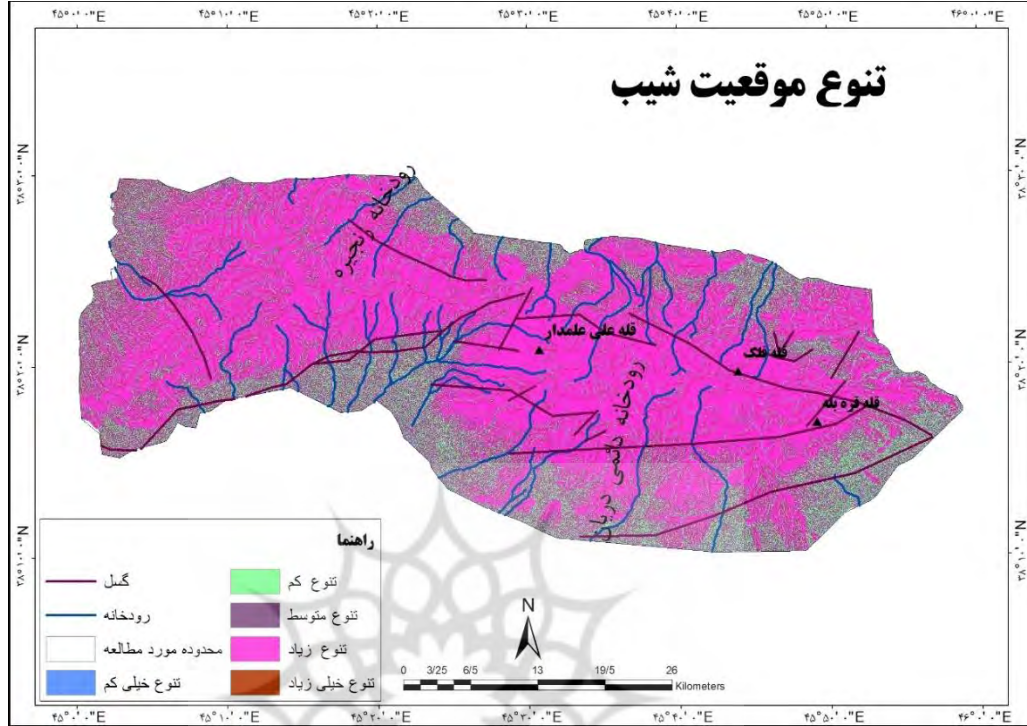
منجر به پردازش داده‌ها از نظر «تنوع» می‌شود. علاوه بر این، منبع داده‌های ورودی (به جز لایه زمین‌شناسی) شبکه DEM است. در دسترس بودن زیاد DEM‌های مشتق شده از سنجش راه دور تجزیه و تحلیل مناطق بزرگ را اجازه می‌دهد، در حالی که داده‌های زمین (به عنوان مجموعه داده‌های ژئومورفولوژیکی یا زمین‌شناسی) همیشه در دسترس نیستند و همیشه یکنواخت نیستند. با این حال، کیفیت تجزیه و تحلیل DEMs به وضوح فضایی بستگی دارد. به ویژه برخی از پارامترهای ورودی در معادله (۱) به مقیاس تجزیه و تحلیل بستگی دارد. این‌ها شامل ناهمواری، طبقه بندی شیب و طبقه بندی لندفرم است. برای به حداقل رساندن این مشکل توافقی خوب صورت گرفته است، اندازه سلول DEMs با وضوح متوسط (یعنی از چند ده متر تا چند صد متر) انتخاب می‌شود؛ که می‌تواند دقت مورد نیاز را برای کاربرد این روش فراهم نماید. این روش با استفاده از نقشه‌های ژئومورفولوژیکی سنتی مورد تایید واقع شد. اگرچه نقشه‌های موضوعی به عنوان داده‌های ورودی حذف می‌شوند. هدف مقایسه طبقه‌بندی کیفی چشم انداز بر اساس لندفرم‌ها و فرآیندهای شکل‌دهی با روش کمی GMI است. این شاخص در مقایسه با سایر روش‌های عددی دو تفاوت عمده دارد. اولین مورد این است که در مجموع نهایی فرمول، اضافات منفرد از مجموع مقداری از عناصر (یعنی تعداد لیتوتیپ‌های زمین‌شناختی در یک پیکسل) مانند بسیاری از فرمول‌بندی‌های دیگر به دست نمی‌آیند (پیریرا و همکاران، ۲۰۱۳، هجورت و لوتو، ۲۰۱۰، زولینسکی ۲۰۱۰) در این فرمول اضافات شبکه‌هایی با مقادیر ۱ تا ۵ هستند که تنوع پارامتر ورودی را اندازه‌گیری می‌کنند. به این ترتیب یک تابع کانونی خاص با هدف ارزیابی تنوع در هر پیکسل (یا سلول) استفاده می‌شود. تفاوت اصلی دوم این است که روش پیشنهادی، به استثنای لایه زمین‌شناسی، از مدل‌های ارتفاعی دیجیتال برای استخراج تمام پارامترهای ورودی بهره می‌برد. مدل‌های دیجیتال ارتفاع به طور گسترده برای مناطق بزرگ در دسترس هستند و اغلب برای دانلود رایگان در دسترس هستند. روش کمی پیشنهاد شده در این کار و نتایج از نظر تنوع فضایی می‌تواند پارامتر ارزشمندی در تعریف واحدهای فیزیوگرافیک باشد (مللی و همکاران، ۲۰۱۷).

هدف اساسی این کار، ارائه شاخصی از ژئومورفودایورسیتی، تلاش برای جایگزینی لندفرم‌ها با پارامترهای مورفومتریک مشتق از DEM است. همچنین تهیه نقشه‌های ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه و در نهایت گسترش روشی است که از GIS و مدل‌های ارتفاعی دیجیتال (DEM) برای به دست آوردن بیان ریاضی خودکار و منصفانه برای مؤلفه مورفولوژیکی GI، شاخص ژئومورفودایورسیتی (GMI) استفاده می‌کند. تحلیل‌های فضایی شاخص‌های حاصل از dem کانون روش تحقیق این پژوهش است. نقشه نهایی GMI (شکل ۵) نتیجه اعمال معادله است (۱). نقشه GMI مجموع تنوع هر پارامتر زمین در نظر گرفته شده است. هر گرید تنوع به پنج کلاس طبقه بندی می‌شود تا وزن یکسان برای هر پارامتر در مجموع نهایی مشخص شود. شکل شماره ۳ همچنین درصد کلاس‌های تنوع در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است.

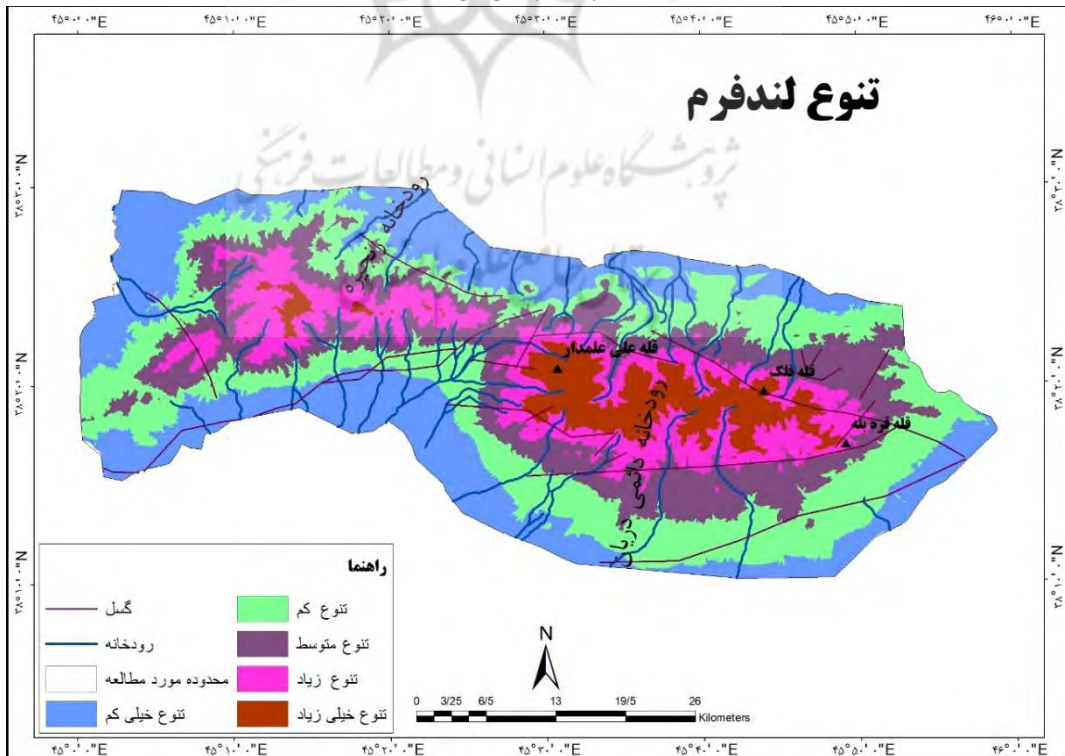
زاویه شیب بیشتر تنوع بیشتری را در منطقه ایجاد می‌کند (شکل ۳) و به همین ترتیب هرچه ارتفاع منطقه بالاتر باشد تنوع لندفرم مشاهده شده نیز بیشتر می‌شود و به میزانی که از ارتفاع کاسته می‌شود تنوع لندفرم‌های ایجاد شده در منطقه کم‌تر می‌شود (شکل ۴). که این ارتباط مستقیم بین ارتفاع و ژئودایورسیتی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تعداد جریان‌ها در دامنه‌ها بیشتر می‌شود تنوع تراکم زهکشی در دامنه‌ها بیشتر می‌شود (شکل ۵). در نقشه تنوع زمین‌شناسی مکان‌های واقع در بسترهای آتشفشانی از تنوع بالاتری برخوردار هستند ولی مکان‌های واقع در رسوبات کواترنری از تنوع کم‌تری برخوردار هستند (شکل ۶).

مقادیر بالای تنوع در عامل زمین‌شناسی مربوط به بستر زمین‌شناسی مقاوم در برابر فرسایش (مانند ترکیبات آتشفشانی و توده‌های نفوذی) و کم‌ترین مقادیر تنوع نیز مربوط به نهشته‌های دوره کواترنر در امتداد دره‌ها و دشت‌ها است. بیشترین شدت ناهمواری در تشکیلات قم واقع شده است (شکل ۷). عامل زمین‌شناسی، شبکه آبراهه‌ای و طبقه‌بندی لندفرمی، بالاترین درصد مساحت را در طبقه‌های بالای تنوع نسبت به سایر پارامترهای معادله ژئومورفودایورسیتی (معادله ۱) نشان

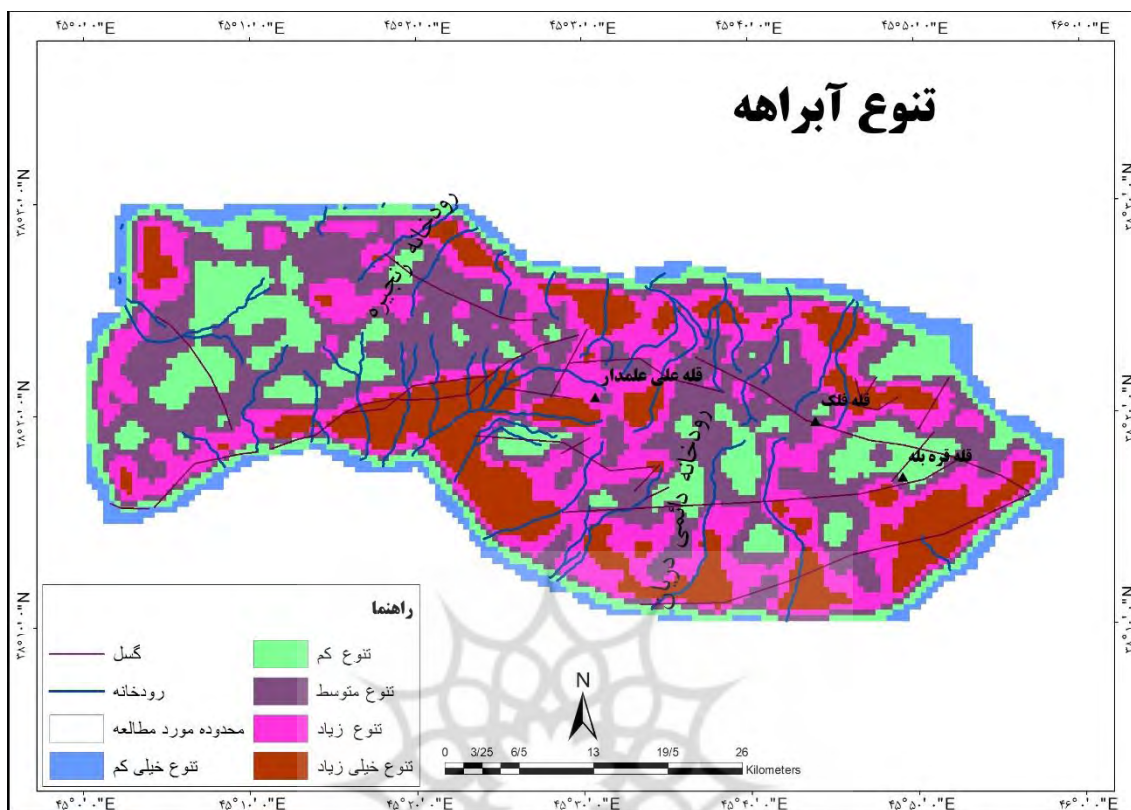
می‌دهد. در عامل زمین‌شناسی به دلیل مساحت زیاد مجموعه‌های کربناته و آبرفتی است. در دو عامل دیگر، روند متفاوت متغیرها بستگی به منطقه همسایگی مورد استفاده برای برآورد آن‌ها و همچنین توزیع فضایی متغیرها دارد.



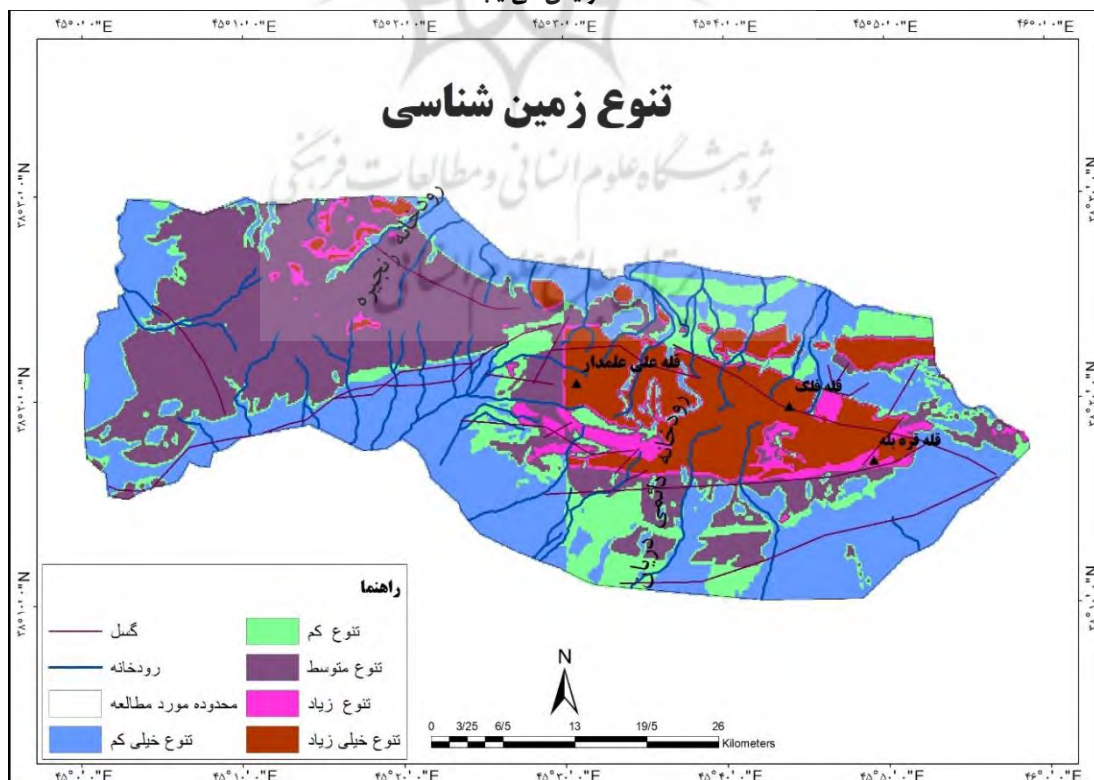
شکل شماره ۳: نقشه ی تنوع موقعیت شیب در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



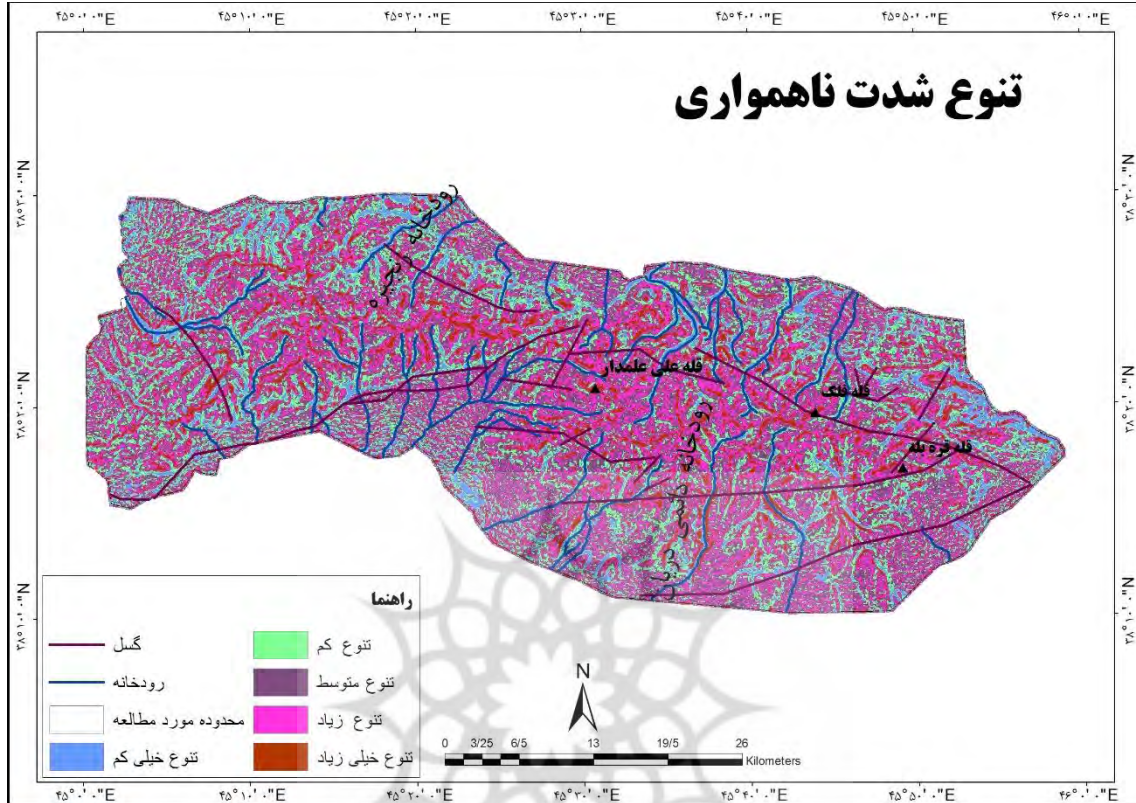
شکل شماره ۴: نقشه ی تنوع لندفرم در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



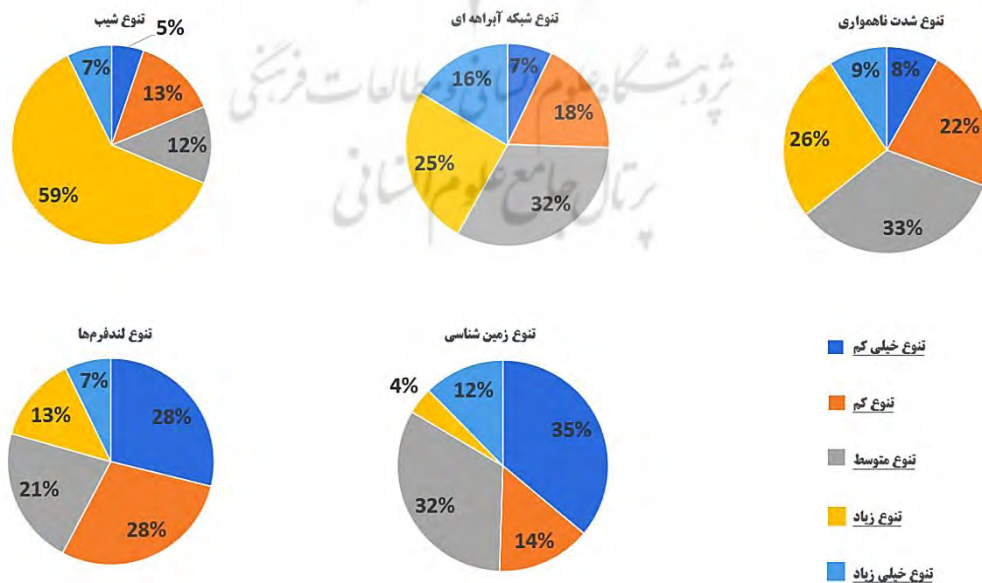
شکل شماره ۵: نقشه‌ی تنوع آبراهه در فرمت شبکه. رنگ‌ها نشان‌دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می‌یابد.



شکل شماره ۶: نقشه‌ی تنوع زمین شناسی در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.

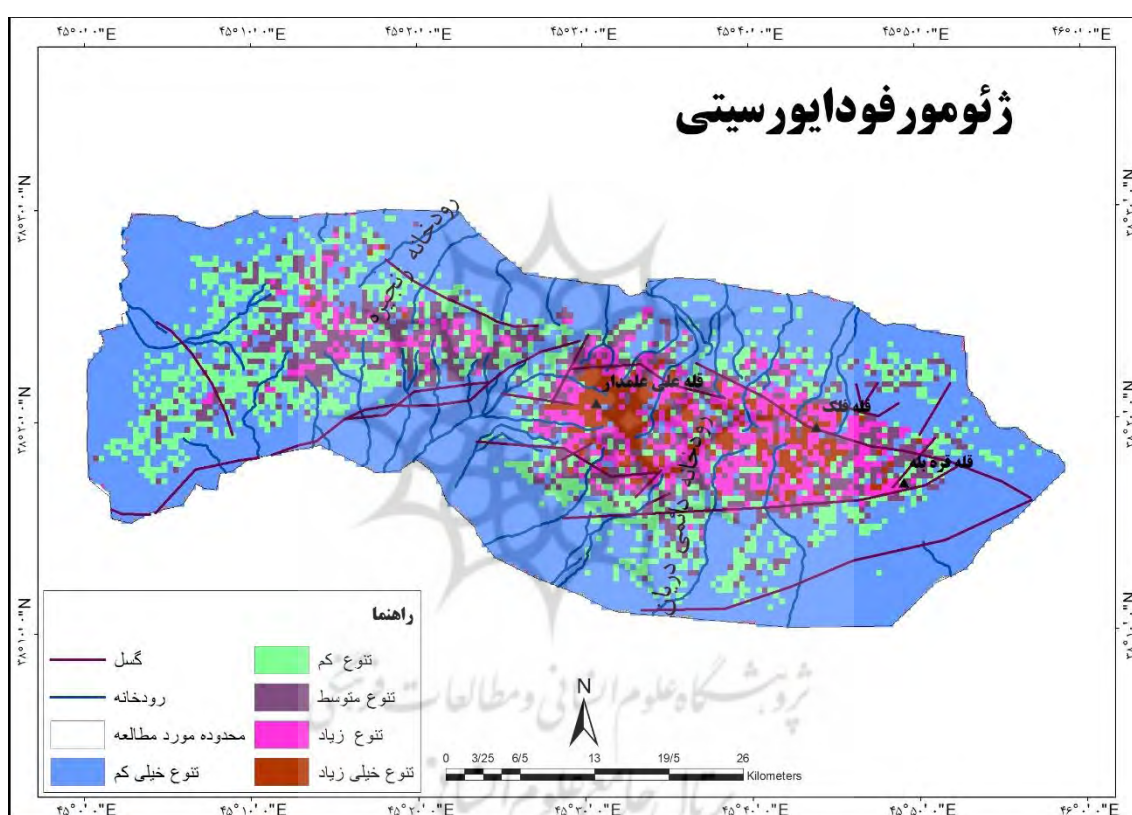


شکل شماره ۷: نقشه‌ی تنوع شدت ناهمواری در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



شکل شماره ۸: نمودارهای دایره‌ای که درصدی از هر کلاس تنوع را برای نقشه‌های نشان داده شده در شکل شماره ۳ نمایش می‌دهد.

تنوع ارزش در نقشه نهایی GmI نشان داده شده است. همانطور که در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود. درصد کلاس‌های تنوع عبارت است از: کم‌ترین تنوع، ۵۹ درصد و بالاترین تنوع، ۳ درصد است. روند متفاوت متغیرها به منطقه همسایه مورد استفاده برای برآورد آن‌ها بستگی دارد. کم‌ترین تنوع در امتداد دره‌ها توزیع می‌شود که متشکل از نهشته‌های کواترنری است و بیشترین تنوع (زیاد و خیلی زیاد) از تشکیلات کربناتی، توده‌های نفوذی و ترکیبات آتشفشانی تشکیل شده است زیرا نادرترین نوع سنگ‌ها در سراسر سطح زمین هستند، که عمدتاً در قسمت‌های میسو شرقی قرار گرفته است. کم‌ترین مقدار تنوع شبکه آبراهه‌ای نیز در بالای قله‌ها و ارتفاعات وجود دارد. جدول شماره ۳ میزان درصد شاخص ژئومورفودایورسیتی را در کلاس‌های تنوع نمایش می‌دهد.



شکل شماره ۹: نقشه شاخص ژئومورفودایورسیتی (GmI)

در پیمایش میدانی کوهستان میشو نتایج شاخص ژئومورفودایورسیتی مورد تایید قرار گرفت. در شکل ۱۰ مواردی از تصاویر ژئودایورسیتی منطقه مورد مطالعه را می‌توان مشاهده نمود.



ب



الف



ت



پ



ج

شکل شماره ۱۰: تصاویری از ژئودایورسیته منطقه مورد مطالعه (شکل الف: دره گزافر شکل ب: استوک گچی قلعه سی. شکل پ: بدلندهای نهشته های کواترنر. شکل ت: آبشار عیش آباد. شکل ج: چشمه های آهندار محدوده گرانیته میشو)

جدول شماره ۳: میزان درصد شاخص ژئومورفودایورسیتی در کلاس‌های تنوع

شاخص	تنوع خیلی کم	تنوع کم	تنوع متوسط	تنوع زیاد	تنوع خیلی زیاد
GMI	۵۹٪	۱۶٪	۱۱٪	۷٪	۳٪

بحث

در این بررسی تنوع زمین بر اساس حضور ژئوسایت‌ها ارزیابی نمی‌شود. انگیزه این انتخاب این است که چشم انداز را می‌توان دارای ارزش بالایی از ژئودایورسیتی بدون میزبانی هیچ ژئوسایتی در نظر گرفت زیرا شناسایی یک ژئوسایت مستلزم عناصری است که مستقیماً با ژئودایورسیتی به عنوان ارزش‌های فرهنگی و زیبایی شناختی مرتبط نیست. پس از جداسازی تنوع زمین از ژئوسایت‌ها، نکته دوم این است که چگونه می‌توان ارزیابی اجزای غیر زنده را بهبود بخشید و به سمت ارزیابی کمی حرکت کرد. این روش آخر چندین مزیت دارد. اول آنکه روش‌های کمی معمولاً نتایج دقیقی را ارائه می‌دهند (به عنوان یک اثر پردازش عددی) که قابل تأیید هستند و می‌توانند دوباره به پارامترهای ورودی تبدیل شوند. مهم‌ترین مزیت استفاده از روش‌های کمی تکرارپذیری نتایج در تحلیل مناسب چند مقیاس است و عینی بودن ارزیابی نسبتاً بالا، جدا از مسائل مربوط به انتخاب معیارهای ارزیابی است (زولینسکی و همکاران، ۲۰۱۸). دوم، یک مقدار شاخص ژئودایورسیتی (GI^۱) را می‌توان به مساحت پلانیمتر پیوست داد، معمولاً مربوط به یک سلول مربع در یک لایه شطرنجی است، به طوری که مناطق بزرگ ممکن است در مناطقی با مقادیر GI مشابه زون بندی شوند. علاوه بر این، این رویکرد امکان همپوشانی GI را به سایر اطلاعات زمین فضایی برای اهداف مختلف می‌دهد.

شاخص ژئودایورسیتی عمدتاً برای مطالعات مقیاس منطقه‌ای اجرا شده که تعداد و کیفیت موارد تاریخی را در سال‌های اخیر بهبود بخشیده است (بنیتو-کالوو^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ هجورت و لوتو، ۲۰۱۰؛ ملی، ۲۰۱۴؛ پیرا و همکاران، ۲۰۱۳. سرانو و رویز-فلانو^۳، ۲۰۰۷؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ورگاری، ۲۰۰۹؛ زولینسکی، ۲۰۱۰). در این زمینه، شاخص ژئودایورسیتی اخیراً با تکنیک جدید تصویرسازی زمین به منظور بهبود در کارتوگرافی دیجیتال و نمایش مجازی سه بعدی مرتبط شده است (مارتینز گرانا^۴ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ملی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین عملیات مفیدی برای طیف گسترده‌ای از اهداف، مانند ژئوپارک‌ها و توصیف میراث زمین (فررو^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ پانیزا و پیاستته^۶، ۲۰۰۹، اریکستاد^۷ ۲۰۱۳) یا برای ارزیابی و پیشگیری از خطر (گوردون^۸ و همکاران، ۲۰۱۲) پیشنهاد شده است. روش کمی برای ارزیابی شاخص ژئودایورسیتی به طور کلی از چندین پارامتر زمین، مانند مجموعه داده‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروگرافی و توپوگرافی گزارش می‌شود. در این میان، داده‌های ژئومورفولوژیکی برای گنجاندن در روشی خودکار سخت‌ترین هستند. اگرچه تولید نقشه‌های ژئومورفولوژیکی هم تراز با تکنیک‌های دیجیتال جدید است (گوستاوسون^۹ و همکاران، ۲۰۰۶)، در حال حاضر مشخصه‌های ژئومورفولوژیکی به ویژه به دلیل فقدان نقشه‌های ژئومورفولوژیکی برای مناطق بزرگ، هنوز سخت‌ترین هستند. علاوه بر این، اطلاعات ژئومورفولوژیکی بسیار پیچیده است بنابراین به دلیل حجم عظیمی از داده‌های مرتبط که نشان داده می‌شود

1. Geodiversity Index

2. Benito-Calvo

3. Serrano & Ruiz-Flaño

4. Martinez-Graña

5. Ferrero

6. Panizza & Piacente

7. Erikstad

8. Gordon

9. Gustavsson

در نتیجه نقشه ای به وجود می آید که به راحتی به فرمت دیجیتال تبدیل نمی شود (کارتون^۱ و همکاران، ۲۰۰۵؛ مللی و همکاران، ۲۰۱۲) (به نقل از مللی، ۲۰۱۷).

نقشه برداری فضایی ابزاری برای ایجاد فهرستی از تمام مواردی که به تنوع زمین کمک می کنند، فراهم می کند. تنوع ژئومورفولوژیکی یکی از عوامل اصلی تنوع زمین است و دسته مهمی از لندفرم های همه جا حاضر که باید ارزیابی شوند، کوهها هستند. که در سرزمین پهناور ایران انگشت شمار به این مهم پرداخته شده است. منطقه کوهستانی میشو منطقه ای آزمایشی عالی برای ارزیابی ژئومورفودایورسیتی با روش آسان و کاربردی در این مقاله است. در این منطقه رابطه ای به خوبی تعریف شده ای بین آرایش توپوگرافی و موقعیت زمین شناسی در کل منطقه وجود دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد دامنه ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه از سمت قله ها به سمت دشت کاهش می یابد و مناطق دارای ارزش ژئومورفودایورسیتی کم در دشت واقع شده است. نتایجی که مقصودی و همکاران در کوهستان دماوند بدان رسیده اند نیز نشان می دهد که مناطق دارای ژئومورفودایورسیتی کم با ارزش بین ۵ الی ۱۰ مربوط به شمال غرب دماوند در محل دشت سرداغ و مخروط آتشفشان دماوند است. مللی و همکاران (۲۰۱۷) در منطقه اومبریا (ایتالیا) در پژوهش خود به این نتیجه رسیده است که ژئومورفودایورسیتی زیاد با مجموعه کربنات ها تطابق دارد ولی در منطقه کوهستانی دماوند به نتیجه ای بر خلاف این رسیده اند که ژئومورفودایورسیتی زیاد با مجموعه کربنات ها تطابق ندارد و عمدتاً بر بستر زمین شناسی آبرفتی در محل تلاقی گدازه ها و آبرفت ها منطبق است. علاوه بر این، دامنه ژئومورفودایورسیتی کوهستان دماوند از محل دره ها به سمت قله ها کاهش می یابد در حالی که در اومبریا از سمت قله ها به سمت دشت کاهش می یابد. این اختلاف به دلیل تفاوت توپوگرافی دو منطقه مورد مطالعه است که در کوهستان دماوند تحقیق در واحد کوهستان قرار دارد ولی در اومبریا واحد دشت و حوضه های انتهایی نیز وجود دارد. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه نیز دشت و حوضه های انتهایی نیز مورد بررسی قرار گرفته اند به نتایجی به نسبت مشابه با نتایج مللی رسیده است؛ برخلاف مطالعه حاضر در پژوهش کوهستان دماوند مشخص شد که فرایندهای ژئومورفولوژیکی در دره ها و ارتفاعات پایین تر نقش بیشتری در افزایش ارزش ژئومورفودایورسیتی کل داشته اند، 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 لندفرم ها و فرایندها در محدوده های با ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی زیاد پتانسیل بسیار زیادی برای ارائه خدمات مختلف ژئوسیستمی دارند و می توانند به عنوان شاخصی برای شناسایی و ارزیابی تنوع چشم انداز مورد استفاده قرار گیرد. آن ها نیاز به مدیریت مناسب و حفاظت دارند تا برای نسل های آینده حفظ شوند. در پایان نامه ای که حق جو (۱۳۹۹) در منطقه یام انجام شده نشان می دهد که تنوع زمین شناسی می تواند مهم ترین نقش را در تولید سایر شاخص های ژئومورفودایورسیتی داشته باشد. تقریباً همه شاخص ها وابسته به جنس سنگ و لیتولوژی منطقه هستند و سیستم شبکه آبراهه ای، شدت تغییر ناهمواری، شیب و لندفرم ها تابع زمین شناسی منطقه هستند. گسل شمالی میشو که یک عامل زمین شناسی مهم محسوب می شود، بیشترین تاثیر را در افزایش تنوع ژئومورفودایورسیتی در منطقه یام داشته است. این نتیجه کاملاً بر نتایج این پژوهش نیز منطبق است که وجود گسل شمالی و جنوبی میشو باعث افزایش ارزش ژئومورفودایورسیتی هسته مرکزی میشو شده است. به طور کلی هسته مرکزی میشوداغ (حداصل گسل های شمالی و جنوبی میشو) دارای تنوع ژئودایورسیتی گسترده تری است.

با این حال در بسیاری از موارد، ژئودایورسیتی بالا ممکن است هیچ ارتباطی با ترجیحات انسانی، یا زمین شناسی یا ژئومورفولوژی متنوع نداشته باشد. به عنوان مثال، سرزمینی با ارزش های زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی پایین ممکن است صحنه فعالیت گسترده انسانی باشد. به عنوان بازتابی از این موضوع مناطق واقع در نهشته های کواترنری میشو داغ که ارزش تنوع ۱ را در مدل این پژوهش کسب کرده است، بستری برای توسعه چشم گیر جوامع کشاورزی و روستایی تا

¹. Carton

جوامع شهری فراهم می‌کند. از این جهت می‌توان با زاویه دید دیگری شاید با دیدی فرهنگی، شهری و... به بررسی ژئودایورسیتی در منطقه پرداخت و البته این بستگی به هدف مدیریتی مد نظر دارد. چنین تنوع ژئومورفولوژیکی همچنین مستلزم تحقیقات بیشتر با تمرکز بر عوامل خاص برای ترویج میراث زمین و آموزش زمین به جوامع محلی است. علاوه بر این، ارزیابی زمین شناسی و ژئومورفولوژیک هسته طبیعت غیر زنده هستند، اما به تنهایی عناصر کافی برای درک منحصر به فرد بودن هر قلمرو نیستند. مهم است ذکر شود که روش ما در مرحله توسعه است، که هدف آن بهبود در تحقیقات بیشتر با استفاده از کالیبراسیون داخلی است.

مزیت عمده این روش، منبع داده‌های ورودی (به جز لایه زمین شناسی) شبکه DEM است. در دسترس بودن زیاد مدل‌های ارتفاعی دیجیتال مشتق شده از سنجش از راه دور تجزیه و تحلیل مناطق بزرگ را امکان پذیر می‌کند، در حالی که داده های زمین (به عنوان مجموعه داده های ژئومورفولوژیکی یا زمین شناسی) همیشه در دسترس نیستند و همیشه یکنواخت نیستند. بنابراین پارامترهای مورفومتریکی به عنوان مهم‌ترین عوامل برای تحلیل در نظر گرفته می‌شوند. عملکرد کانونی که در این پژوهش استفاده شده است، امکان اندازه گیری بر اساس متوسط اندازه محدوده اطراف را فراهم می‌کند که نوعی یکنواختی و حد تعادل را در اندازه داده‌ها بوجود می‌آورد. عملکرد کانونی امکان اندازه‌گیری تنوع را در مناطق اطراف کاملاً مشخص می‌دهد، بنابراین اطلاعات اولیه زمین را به یک مرحله میانی تبدیل می‌کند، که منجر به پردازش داده‌ها از نظر «تنوع» می‌شود. در مجموع نهایی فرمول، هر یک از پیکسل‌ها از مجموع مقادیری از عناصر (مانند لیتو تایپ‌های زمین شناسی) ناشی نمی‌شوند بلکه عناصر شبکه‌های متشکل از مقادیر ۱ تا ۵ هستند که تنوع پارامتر ورودی را اندازه‌گیری می‌کنند. به این ترتیب عملکرد کانونی خاص با هدف ارزیابی تنوع در هر سلول استفاده می‌شود.

با توجه به اینکه روش‌های ارزیابی ژئودایورسیتی در سراسر دنیا به شکل استاندارد در نیامده است سعی بر آنست که در تحقیقات آتی، مقادیر اضافی در مدل GMI گنجانده و این مدل را با سایر روش‌های ارزیابی ژئودایورسیتی مورد مقایسه قرار داد، تا استانداردهای لازم برای ارزیابی ژئودایورسیتی بهبود داده شود. در همین حال، مناطق منتخب که ارزش بالایی برای ژئودایورسیتی قائل شده‌اند، برای تأکید بر منحصر به فرد بودن آن‌ها مورد مطالعه دقیق‌تری قرار می‌گیرند که اولین گام در ایجاد آموزش زمین‌شناسی، ژئوتوریسم و برنامه‌ریزی حفاظت از زمین برای این مناطق خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از اطلاعات مورفومتریکی پایه، چارچوب مفهومی ژئومورفودایورسیتی کوهستان میشو برای تخمین مقادیر تنوع زمین استفاده شد. روش پیشنهادی در این پژوهش از دسترسی آسان به داده‌های مورفومتریکی حاصل از مدل رقمی ارتفاع استفاده می‌کند. فرمولی ساده به کار برده شد که از طریق جمع مقادیر عناصر تراکم زهکشی، وضعیت شیب، طبقه بندی لندفرم، شدت ناهمواری و سنگ شناسی محاسبه می‌شود. با استفاده از نرم افزارهای در دسترس عموم مانند GIS و SAGA GIS با موفقیت نقشه ژئومورفودایورسیتی ایجاد شد. نتیجه این است که نقشه تولید شده برای ارزیابی مرحله اول هر منطقه ساده و به ظاهر مفید است.

از کل حوزه تحقیقاتی، سه منطقه دارای ارزش کافی در زمین شناسی و ژئومورفولوژی هستند که برای موارد بیشتر تحقیق و مطالعه عمیق پیشنهاد می‌شوند. علاوه بر این، به روشی پرداخته شد که اکنون می‌تواند برای ارزیابی مکان‌های دیگر در ایران برای مقایسه نتایج از طریق تحقیقات بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب قلمروها بر اساس دسترسی به داده‌های مورد نیاز و ارتباط با برخی از محققان یا مؤسساتی است که می‌تواند مکان‌های ارزیابی شده را بررسی کند. علاوه بر این، معادله باید با سایر مقادیر اصلی ژئودایورسیتی (هوازگی توده سنگ و خاک) و مقادیر اضافی بهبود یابد. مانند هیدرولوژی و آب و هوا این کمک می‌کند تا ژئودایورسیتی در یک مکان پیچیده تر ارزیابی شود. ژئودایورسیتی راهی برای برجسته

کردن جنبه‌ها و ارزش‌های منحصر به فرد مکان‌های بی شماری است. اعتبار سنجی بر اساس نقشه‌های ژئومورفولوژی سنتی انجام گردیده است.

منابع

- گنجی، م.، ۱۳۶۷، جغرافیا در ایران از دارالفنون تا انقلاب اسلامی، چاپ اول، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد .
- مانی، م.، پیرانی، پ؛ مرادی پور، ف.، شعبانی ع؛ گورابی، ا.، ۱۳۹۳. ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل حرکات دامنه‌ای تافدیس سیاه کوه، غرب ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۱۷۰-۱۴۷.
- آبدیده، م؛ قرشی منوچهر؛ رنگزن، ک؛ آرین؛ م. (۱۳۹۰)، ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت سنجی، بررسی موردی حوضه آبریز رودخانه دز، جنوب باختری ایران تابستان، سال بیستم، شماره ۸۰، صص ۳۳-۴۶.
- پروین، م. (۱۳۹۹) بررسی ارتباط بین شرایط مورفومتریک حوضه و منابع آب زیرزمینی: مطالعه‌های موردی حوضه کامیاران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، صص ۱۸-۳۳.
- پیرعلیلو، ح؛ رحیم زاده، ع. (۱۳۹۳). شناسایی جاذبه‌های ژئوتوریسمی با استفاده از روش پراولنگ (موردی، میشو داغ مرند)، اولین کنگره تخصصی مدیریت شهری و شوراهای شهر، ساری، مرکز همایش‌های توسعه ایران.
- خیام، م؛ مختاری، د؛ (۱۳۸۲) ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها) مورد نمونه: مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشو داغ) پژوهش‌های جغرافیای شماره ۴۴ صص ۱-۱۰
- رضایی مقدم، م؛ خیریزاده، آ؛ منصور؛ سرافروزه، س. (۱۳۹۲) ارزیابی تکتونیک فعال در دامنه جنوبی میشو داغ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۴۱-۱۵۸.
- مختاری، د. (۱۳۸۲)، تحلیل روابط ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها با حوضه‌های آبریز مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ها و مخروطه افکنه‌های دامنه‌ی شمالی میشو داغ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۸۷، دوره ۱۸ صص ۳۶-۴۶.
- مختاری، د. (۱۳۸۴)، نقش نوزمین‌ساخت در تکامل سامانه‌های رودخانه‌ای در کواترنر (مطالعه موردی: رودخانه‌های دامنه شمالی میشو داغ) علوم زمین، دوره ۱۵ شماره ۵۷، صص ۶۴-۷۷.
- مختاری، د. (۱۳۸۵) کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها (مورد نمونه: گسل شمالی میشو)، علوم زمین، دوره ۱۵، شماره ۵۹، صص ۷۰-۸۰.
- مختاری، د؛ کرمی، ف؛ بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۶)، اشکال مختلف مخروط افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشو داغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آن‌ها، مدرس علوم انسانی، دوره ۱۱، شماره ۵۶، صص ۲۵۷-۲۹۲.
- مختاری، د؛ (۱۳۸۸) نقش عوامل غیر رودخانه‌ای در تغییرات مورفولوژی مسیر آبراهه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه باغ‌لار در دامنه شمالی میشو داغ)، مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۶.
- مختاری، داود. (۱۳۹۰). شناسایی اشکال مورفوتنیک فعال در گردنه پیام باهدف برنامه‌ریزی ژئوتوریسم. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۶(۴)، ۶۷-۹۲.
- مختاری، د. (۱۳۹۹)، بررسی شاخص‌های ژئومورفودایورسیتی گردنه پیام (شمال‌غرب ایران) بر اساس شاخص GMI، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

• مقصودی، م؛ مقیمی، ا؛ یمانی، م؛ رضایی، ن؛ مرادی، ا. (۱۳۹۸)، بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن بر اساس شاخص GmI، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۱، صص ۶۹-۵۲.

- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., Meza, P., 2009. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surf. Process. Landf.* 34 (10), 1433–1445.
- Bollati, M., Irene, Cavalli., M. (2020). Geomorphic systems, sediment connectivity and geomorphodiversity: relations within a small mountain catchment in the Lepontine Alps. *Geomorphometry*, 50- 54.
- Brilha J., Gray M., Pereira D., Pereira P., (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy* 86: 19–28.
- Bétard, F., 2013. Patch-scale relationships between geodiversity and biodiversity in hard rock quarries: case study from a disused quartzite quarry in NW France. *Geoheritage* 5 (2), 59–71.
- Calvo, B , A., Pérez-González A., Magri O., Meza P., (2009), Assessing regional geodiversity: The Iberian Peninsula, *earth Surface Process and Landforms*, No. 34, PP. 1433- 1445.
- Dunlop, L., Jonathan, G Larwood., Burek ,V.(2019). *Geodiversity Action Plans – A method to facilitate, structure, inform and record action for geodiversity.*
- 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-western Italy)*. *Ann. Geophys.* 55 (3), 487–495.
- Gray, M., 2004. *Geodiversity Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, U.K.
- Gustavsson, M., Kolstrup, E., Seijmonsbergen, A.C., 2006. A new-symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: renewal of a scientific discipline for understanding landscape development.. *Geomorphology* 77 (1), 90–111.
- Kot, R.(2017) *A comparison of results from geomorphological diversity evaluation methods in the Polish Lowland (Toruń Basin and Chelmino Lakeland)*, Pages 17-35.
- Kori, E, Beneah D, Onyango O ,Hector C. A (2019) *geomorphodiversity map of the Soutpansberg Range, South Africa* *Landform Analysis* 38: 13–24.
- Da Silva, Manoel, J, França ., Cordeiro S, Leonardo José ., Oka □Fiori, Chisato. (2019). *Spatial correlation analysis between topographic parameters for defining the geomorphometric diversity index: application in the environmental protection area of the Serra da Esperança (state of Paraná, Brazil)*. *Environmental Earth Sciences*, 1-15.
- Hjort, J., Heikkinen, R.K., Luoto, M., 2012. Inclusion of explicit measures of geodiversity improve biodiversity models in a boreal landscape. *Biodivers. Conserv.* 21 (13), 3487–3506
- Hjort, J., Luoto, M., 2010. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology* 115 (1–2), 109–116.
- Najwer, A., Zwoliński, Z. (2015). *Geomorphometry-based method of landform assessment for geodiversity*. *Geophysical Research Abstracts*, 17.
- Kuleta, Magdalena,(2018), *Geodiversity Research Methods in Geotourism, Geosciences* 2018, 8, 197.
- Melelli, L., 2014. Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *GeoJournal of Tourism and Geosites* 13 (1), 2–12.

- Melelli, L., Taramelli, A., 2010. Criteria for the elaboration of susceptibility maps for DGSD phenomena in central Italy. *Geogr. Fis. Din. Quat.* 33 (2), 179–185.
- Melelli, L., Gregori, L., Mancinelli, L., 2012. The use of remote sensed data and GIS to produce a digital geomorphological map of a test area in Central Italy. In: Chemin, Y. (Ed.), *Remote Sensing of Planet Earth*. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 97–116.
- Melelli, L., Pucci, S., Saccucci, L., Mirabella, F., Pazzaglia, F., Barchi, M., 2014. Morphotectonics of the Upper Tiber Valley (Northern Apennines, Italy) through quantitative analysis of drainage and landforms. *Rendiconti Lincei* 25 (2), 129–138.
- 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, pp. 701–714.
- Martínez-Graña, A.M., Goy, J.L., Cimarra, C., 2014. 2D to 3D geologic mapping transformation using virtual globes and flight simulators and their applications in the analysis of geodiversity in natural areas. *Environ. Earth Sci.* <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3959-1>.
- Panizza, M., Piacente, S., 2009. Cultural geomorphology and geodiversity. In: Reynard, E., Coratza, P., Regolini-Bissig, G. (Eds.), *Geomorphosites*. Pfeil Verlag, Munich, pp. 35–48.
- Pereira, D.I., Pereira, P., Brilha, J., Santhos, L., 2013. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environ. Manag.* 52 (3), 541–552.
- Serrano, E., Ruiz-Flaño, P., 2007. Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geogr. Helv.* 62, 140–147.
- Trevisani, S., Cavalli, M., (2016). Topography-based flow-directional roughness: potential and challenges. *Earth Surf. Dyn.* 4, 343–358.
- Zwolinski, Z., Najwer, A., Marco, G., Giardino, (2018). Methods for assessing geodiversity.
- Zwoliński, Z., 2010. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. *Landf. Anal.* 11, 77–85.