پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال یازهم، شماره ۳، زمستان ۱۴۰۱
صص. ۲۱۹- ۲۰۰

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.
مهدیه اسفندیاری– دانشجوی دکتری، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲ تائید 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 مللی 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 (V4وV5) 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 دشت ها است. بیشترین شدت ناهمواری در تشکیلات قم واقع شده است. 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. 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 ژئوسایت های 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 .

* نویسنده مسئول: E-mail: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

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[1]، ۲۰۱۳؛ هجورت و لوتو[2]، 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 اندازه گیری، در دیدگاه کمی، تنوع اجزای غیر زنده یا ژئودایورسیتی[3] کرده است(مللی[4] و همکاران۲۰۱۷). 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 می دهد، به گذشته صنعتی ما کمک می کند، تنوع زیستی را پشتیبانی می کند 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 برنامه ریزی در کشورهای توسعه یافته است(دانلوپ[5]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[6]، 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[7](تنوع ژئومورفولوژیکال) شکل ویژگی‌های سطحی یک مکان یا منطقه را ارزیابی می‌کند. لندفرم های ژئومورفولوژیکی مختلف ممکن است در یک محیط جغرافیایی ایجاد شود که تنوع شکل زمین را ایجاد می‌کند که به آن ژئومورفودایورسیتی می‌گویند(کوری[8] 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 روش های 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 ویژگی های توپوگرافی است (بولاتی و کاوالی[9] 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 ژئوسایت ها (رینارد و کوراتزا[1]، 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 شاخص های مبتنی بر ویژگی های 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(سنتوس[2] و همکاران ۲۰۱۷، کالوو[3] و همکاران ۲۰۰۹، پریرا[4] و همکاران ۲۰۱۳) و ایجاد الگوریتم اقدام برای ارزیابی ژئودایورسیتی لندفرم زمین با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک و بر تحلیل‌های فضایی شاخص های حاصل از DEM معرفی نموده‌اند(نجوار و زوالنسکی[5] ۲۰۱۵، زوالنسکی و گودویچ[6] 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 (بلاتی 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.

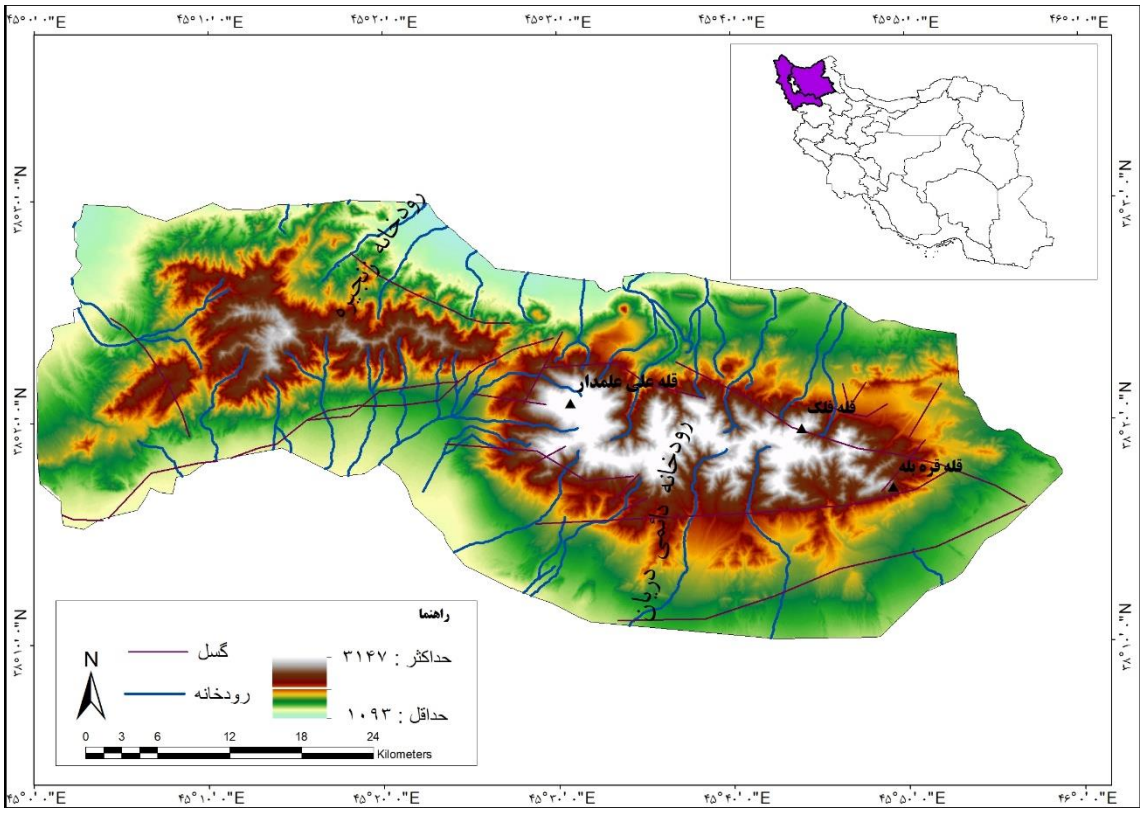
کوهستان میشو با توجه به شرایط سوق الجیشی خود گردنه‌ای بوجود آورده که راهی را برای عبور و مرور به غرب و کشورهای دارای منافع مشترک و اروپا گشوده است؛ کوهستان میشو شامل پدیده های متنوع ژئومورفولوژیکی نظیر دره، تراس رودخانه، مخروطه افکنه، چشمه‌ها و پرتگاه‌ها است. مناطق خوش ییلاقی این کوهستان امروزه در میان 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 می توان 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 می توان از فضاهای جغرافیایی مثل کوهستان میشو به نحواحسنت استفاده نمود.

---

1. Reynard & Kurtza
2. Santos
3. Calvo
4. Pereira
5. Najwer & Zwoli´nski
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 ۳۱۵۵متر می‌باشد. 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 می‌کند. از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و زمین شناسی به دو بخش میشو شرقی و میشو غربی تقسیم می‌شود. 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 GISو SAGA GIS.

در این مطالعه برای ارزیابی از شاخص کمی ژئومورفودایورسیتی GMI[1] 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

[1]. Geomorphodiversity Index

Faceو SAGA باعث افزایش اعتبار یافته ها و نتایج پژوهش می شود. 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) .

$$GmI = Geo_v + Dd_v + Rg_v + Sp_v + Lc_v \quad (۱)$$

GmI شاخص ژئومورفودایورسیتی[1]

Geo_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع زمین‌شناسی[2] است.

Dd_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع تراکم زهکشی[3] است.

Rg_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع زبری ناهمواری[4] است.

Sp_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع شاخص وضعیت شیب[5] است.

Lc_v نقشه رستری طبقه‌بندی شده فاکتور تنوع طبقه‌بندی لندفرم[6] است.

ذکر این نکته ضروری است که به جز فاکتور نقشه زمین شناسی، در سایرفاکتورها نقشه ها دو مرحله پردازش را طی کردند. مرحله اول استخراج از داده های خام است. مرحله دوم نرمال سازی با استفاده از گسست‌های طبیعی است (جنکس ۱۹۶۷). این الگوریتم واریانس درون گروه ها را کاهش می دهد و واریانس بین آن‌ها را به حداکثر می رساند. نرمال سازی از ابزار طبقه بندی مجدد ArcGIS 10.7 برای ایجاد پنج کلاس برای هر عامل استفاده می‌کند. V1کمترین در حالی که V5بالاترین کلاس تنوع[7] (V) است. در این فرمول به پنج طبقه (خیلی کم) تا (خیلی زیاد) طبقه بندی شده است. هر یک از شاخص های مذکور با استفاده از دستورات زیر در نرم افزار GIS و افزونه Land Facet و SAGA محاسبه می‌شود. کانون روش تحقیق این مدل تحلیل های فضایی شاخص های حاصل از Dem 12.5 متر است. به منظور ارزیابی تنوع هر پارامتر، یک تابع کانونی(تابع آمار همسایگی) در نتیجه تنوع اعمال می شود.

فاکتور تنوع زمین شناسی(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 ویژگی های اصلی سنگ بستر در نظر گرفته شود. به همین دلیل یک عامل زمین شناسی به داده های ورودی اضافه شده است. بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰منطقه، نقشه لیتولوژی ترسیم شد. فاکتور تنوع زمین شناسی یا تنوع فضایی ویژگی های اصلی بستر که می‌تواند اثرات فرایندهای 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 عکس العمل یکسان در برابر فرآیندهای فرسایشی طبقه بندی شد. بنابراین ویژگی لیتولوژیکی منطقه، با توجه به نوع سنگ یا رسوبات و پاسخ توپوگرافیکی آن‌ها به فرآیندهای فرسایشی (چسبندگی، نفوذپذیری، استایل تکتونیکی) طبقه بندی شد. طبقه بندی 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 طبقه بندی می‌کنیم. بر اساس این طبقه بندی، V_1 شامل (نهشته‌های کواترنری) ، V_2 شامل (ترکیبات آواری یا واریزه ای) ، V_3 شامل (تشکیلات قم) ، V_4 شامل (رسوبات کربناتی) و در نهایت V_5 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 ویژگی های توپوگرافی و شاخص های 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 مورفومتریک تأثیر می‌گذارد(مللی و همکاران، ۲۰۱۷). مناطق مسطح منطقه مورد مطالعه با رسوبات آبرفتی، رودخانه‌ای و رسوبات مخروطه افکنه‌ای مطابقت دارد. تراکم زهکشی[1]، میزان توسعه شبکه آبراهه های یک حوضه نسبت به مساحت آن حوضه است. تراکم زهکشی پارامتر کمی مهمی برای آنالیز لندفرم ها است. همچنین عملکرد اقلیم، سنگ شناسی و ساختارهای زمین شناسی و ناهمواری منطقه و تاثیرات آن‌ها بر لندفرم ها، به طور غیر مستقیم توسط این شاخص ارزیابی می گردد. در حوضه‌های با سازندهای نفوذپذیر، پوشش گیاهی مناسب و ناهمواری متوسط میزان تراکم زهکشی کمتر بوده و میزان تغذیه ی آب های زیرزمینی زیاد می‌باشد(پروین، ۱۳۹۹). تراکم زهکشی یا بافت به خطوط زهکشی میان واحد مساحت گفته می شود که دارای سه نوع دسته بندی 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[2] و همکاران، ۲۰۰۱). پارامتر چگالی زهکشی (هورتن[3]، ۱۹۴۵) تابعی از فرسایش پذیری و نفوذپذیری است و بنابراین می توان 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 زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی مختلف برجسته کردند (دل مونته[4]، ۱۹۹۶؛ لوپیا پالمیری[5] و همکاران، ۲۰۰۱؛ استرالر، ۱۹۵۸).Dd که به عنوان کل طول شبکه رودخانه‌ای کامل در یک حوضه زهکشی تقسیم بر مساحت حوضه تعریف می شود، 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 آبراهه ای منطقه با استفاده از Dem12.5 متر استخراج و رودخانه با طول بیش از ۱۰۰متر با استفاده از دستور Flow Accumulation استخراج شد. برای محاسبه مقدار تراکم زهکشـــی، ابزار تراکم خطی[6] در ArcGIS مورد اســـتفاده 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 ناهمسان‌گردی را ارائه می‌دهد که می‌تواند هنگام محاسبه یا اندازه گیری زبری سطح در نظر گرفته شود. برخی از پارامترها برای درک بهتر ویژگی های آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است با توجه به محیط توپوگرافی، به ویژه زمانی که آن‌ها از مدل های زمین دیجیتال با وضوح بالا استخراج شده اند. زبری سطح یکی از امیدوارکننده ترین 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، تلاش هایی انجام شده است (ترویسنی و کاوالای[1]، ۲۰۱۶). مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده، با ابعاد۱۲/۵ متر است. ابعاد پنجره محاسباتی25×25 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 درRaster Calculator محاسبه شد:

(sum dem-min dem)/(max dem – mindem)

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

مفهوم کلی و کاربرد شاخص موقعیت توپوگرافی [2](TPI) 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 TPIراهکار نوینی جهت تعیین کمی لندفرم ها است. اما وابستگی و تابعیت مستقیمی با رزولوشن و شعاع پیکسل‌های همسایه دارد. برای جدا سازی واحدهای منطقه از مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن۱۲,۵ متر استفاده شد. برای محاسبه TPIطبق معادله وایز 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 سلول های اطراف خود است و می تواند 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 می تواند 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 : کلاس های لندفرم

شماره	واحدهای مورفولوژیکی
۱	دره ها به همراه جریان های عمیق تراش خورده
۲	دره های کم عمق به همراه زهکشی هایی با شیب متوسط
۳	زهکشی‌های بالایی و سرچشمه ها
۴	دشت ها
۵	دامنه های باز
۶	دامنه های فوقانی
۷	پشته ها و یا تپه های محلی
۸	پشته ها با شیب متوسط و تپه های کوچک در دشت ها
۹	قله های کوهستانی و پشته های مرتفع
۱۰	برجستگی های باریک بالای قله ها

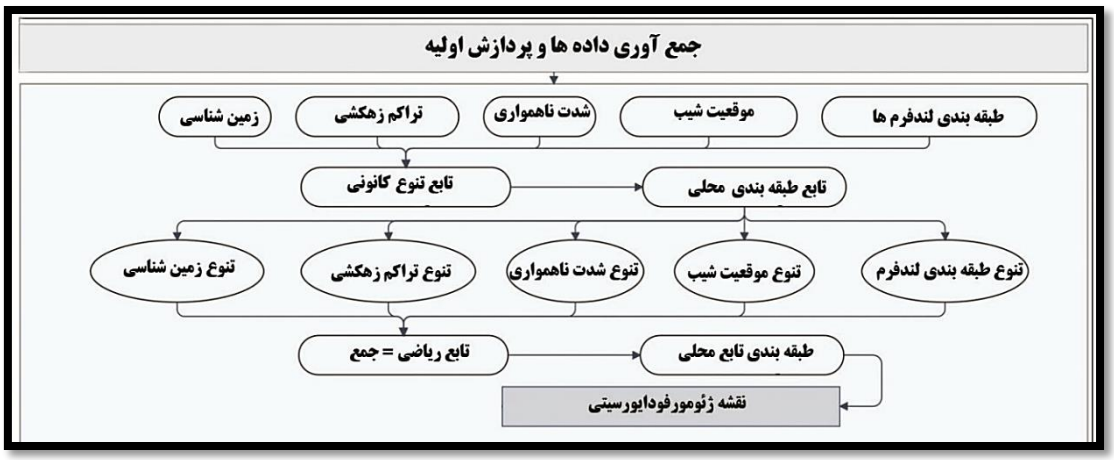
جهت بررسی موقعیت شیب بر اساس TPI، از طبقه بندی که وایس در مقاله خود تحت عنوان "موقعیت توپوگرافی و تجزیه و تحلیل لندفرم ها" نشان داده، استفاده شد. در این روش موقعیت شیب در شش طبقه (دره، شیب پایین، شیب تخت، شیب میانی، شیب بالایی و خط الراس) نشان داده شده است. جدول شماره ۲.

1. Trevisani & Cavalli
2. Topography Position Index

جدول شماره ۲ : موقعیت شیب

طبقات	شروط	موقعیت شیب
۱	اگر ۱< TPI	خط الراس
۲	اگر ۰,۵> TPI => -۱	شیب کم
۳	اگر ۱ >=TPI=< ۰,۵	شیب تند
۴	اگر ۰,۵> TPI <۰,۵- و Slope >۵deg	شیب میانی
۵	اگر ۰,۵>= TPI =<۰,۵- و Slope=< ۵ deg	شیب مسطح
۶	اگر ۱>TPI	دره

این استخراج ها در SAGA GIS انجام شد. در نهایت، تابع کانونی[1] 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 شماره۲: مدل مفهومی تهیه نقشه ژئومورفودایورسیتی

یافته‌های تحقیق

الگوریتم پیشنهادی در این کار از بیان سرانو و فلانو(۲۰۰۷) که درآن ژئودایورسیتی از ضرب بین N و R، تقسیم بر lnS 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 می گذارند. مزیت اصلی این فرمول تنوع هرداده 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 اندازه‌گیری تنوع را در مناطق اطراف کاملاً مشخص می‌دهد، بنابراین اطلاعات اولیه زمین را به یک مرحله میانی تبدیل می‌کند؛ که

1. Focal Analaysis

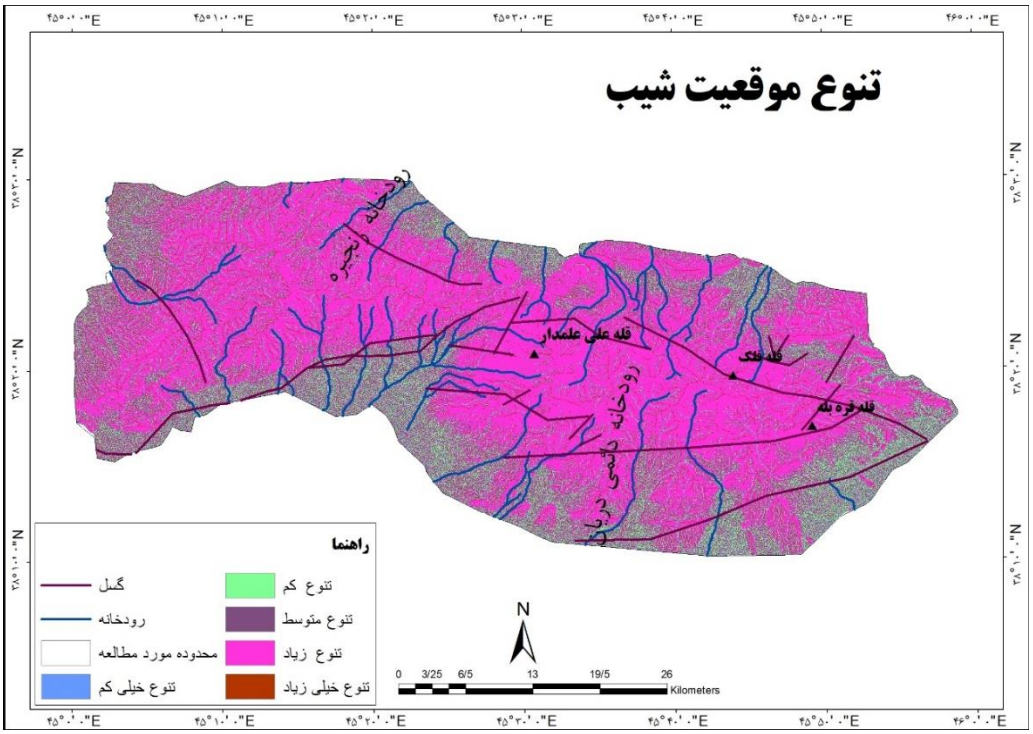
منجر به پردازش داده‌ها از نظر «تنوع» می‌شود. علاوه بر این، منبع داده های ورودی (به جز لایه زمین شناسی) شبکه DEM است. در دسترس بودن زیاد DEM های مشتق شده از سنجش راه دور تجزیه و تحلیل مناطق بزرگ را اجازه می دهد، در حالی که داده های زمین (به عنوان مجموعه داده‌های ژئومورفولوژیکی یا زمین شناسی) همیشه در 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 می شود؛ که می تواند 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 روش های 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(پریرا 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 می شود. 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 (DEMs) برای به دست آوردن بیان ریاضی خودکار و منصفانه برای مؤلفه مورفولوژیکی GI، شاخص ژئومورفودایورسیتی (GmI) استفاده می‌کند. تحلیل‌های فضایی شاخص های حاصل از dem کانون روش تحقیق این پژوهش است. نقشه نهایی GmI (شکل۵) 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.

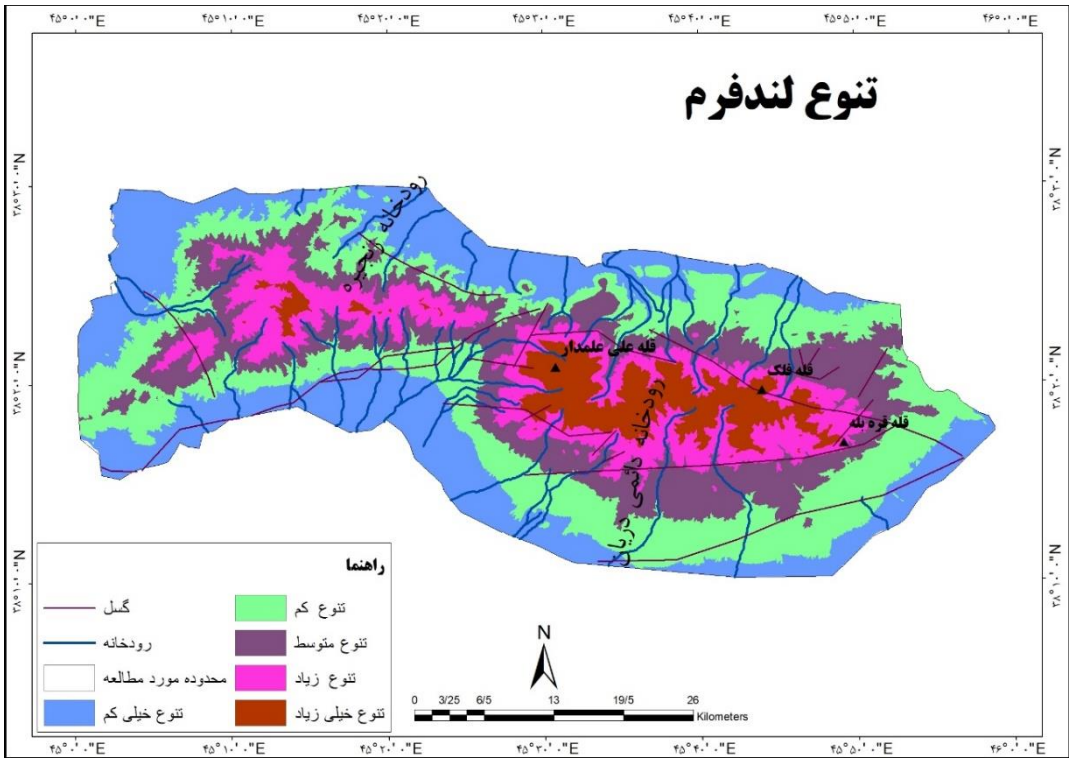
زاویه شیب بیشتر تنوع بیشتری را در منطقه ایجاد می‌کند(شکل۳) و به همین ترتیب هرچه ارتفاع منطقه بالاتر باشد تنوع لندفرم مشاهده شده نیز بیشتر می‌شود و به میزانی که از ارتفاع کاسته می‌شود تنوع لندفرم‌های ایجاد شده در منطقه کم‌تر می‌شود(شکل ۴). که این ارتباط مستقیم بین ارتفاع و ژئودایورسیتی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تعداد جریان‌ها در دامنه‌ها بیشتر می‌شود تنوع تراکم زهکشی در دامنه‌ها بیشتر می‌شود(شکل ۵). در نقشه تنوع زمین شناسی 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 توده های نفوذی) و کم‌ترین مقادیر تنوع نیز مربوط به نهشته‌های دوره کواترنر در امتداد دره‌ها و دشت ها 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

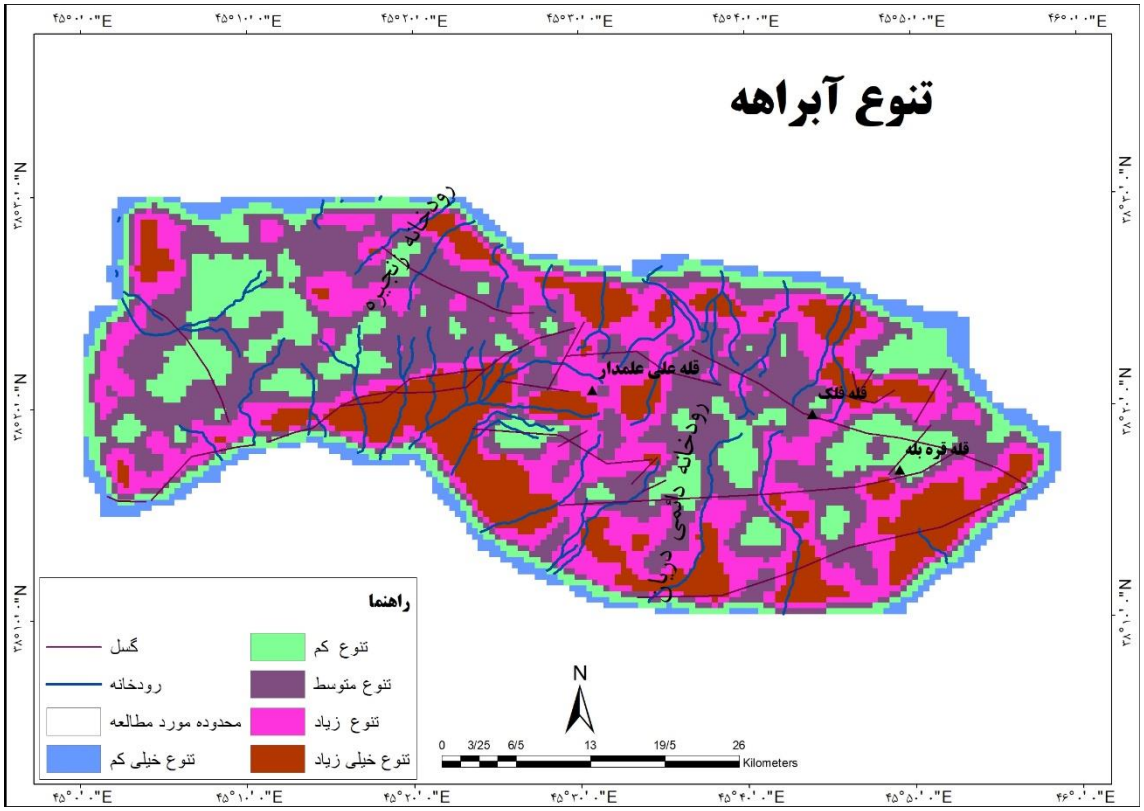
می‌دهد. در عامل زمین‌شناسی به دلیل مساحت زیاد مجموعه‌های کربناته و آبرفتی است. در دو عامل دیگر، روند متفاوت متغیرها بستگی به منطقه همسایگی مورد استفاده برای برآورد آن‌ها و همچنین توزیع فضایی متغیرها دارد.



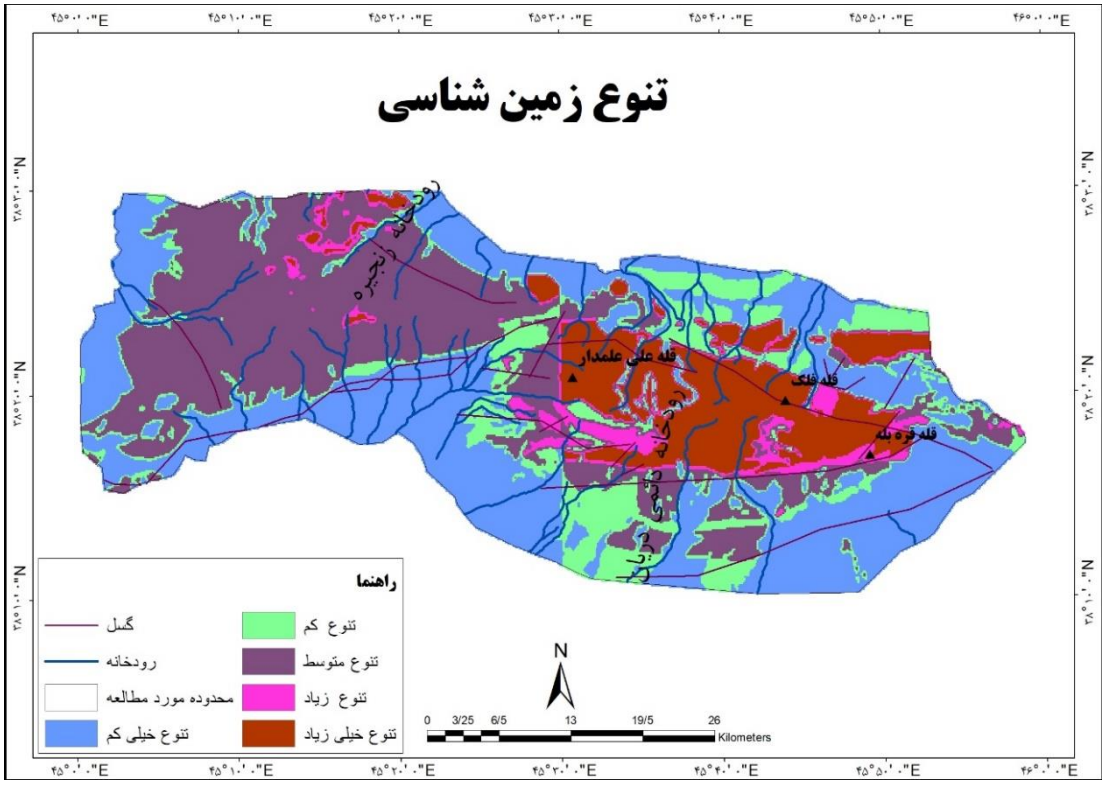
شکل شماره ۳: نقشه ی تنوع موقعیت شیب در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



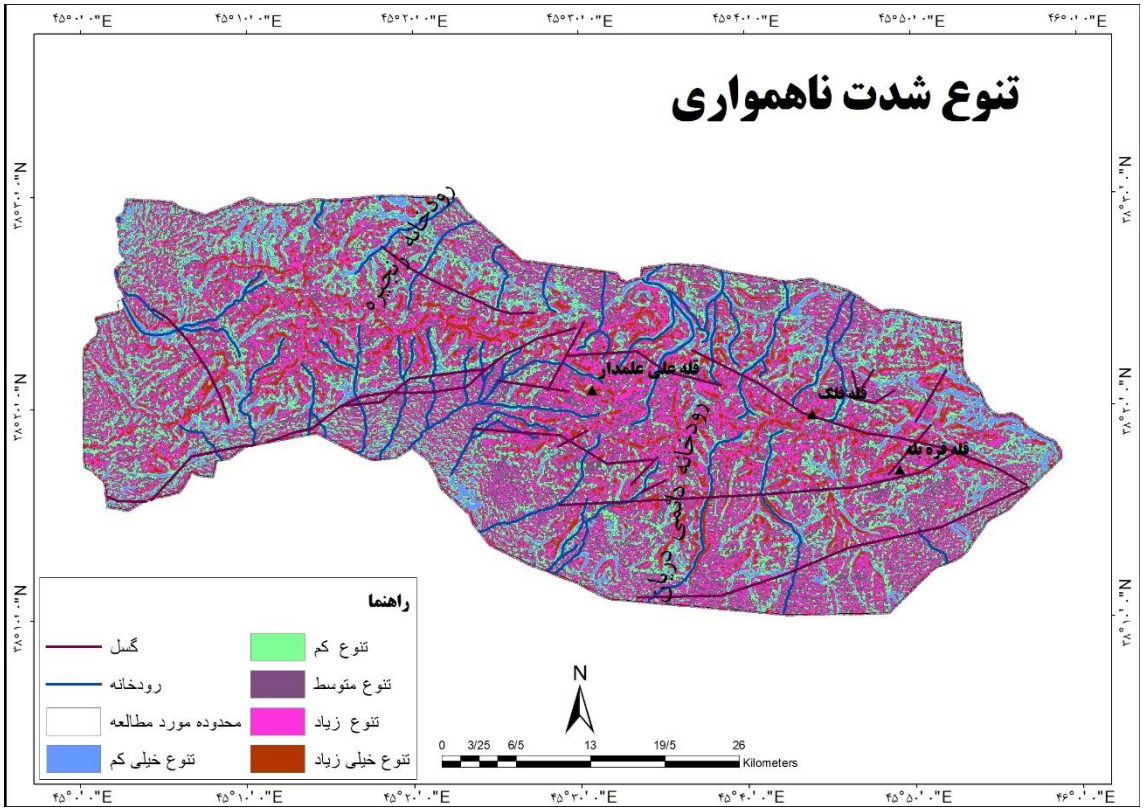
شکل شماره ۴: نقشه‌ی تنوع لندفرم در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



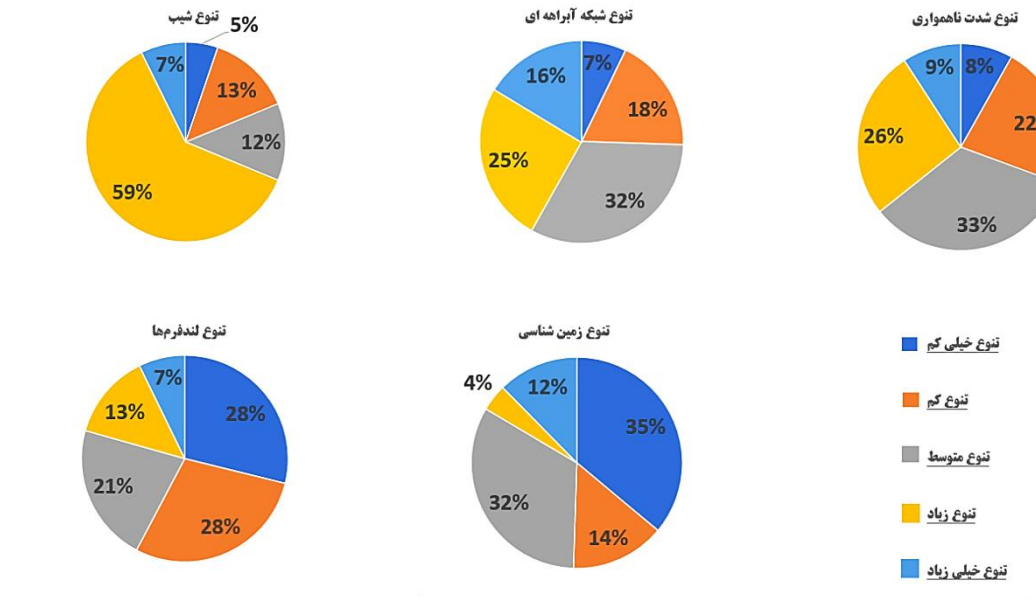
شکل شماره ۵ : نقشه‌ی تنوع آبراهه در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



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.

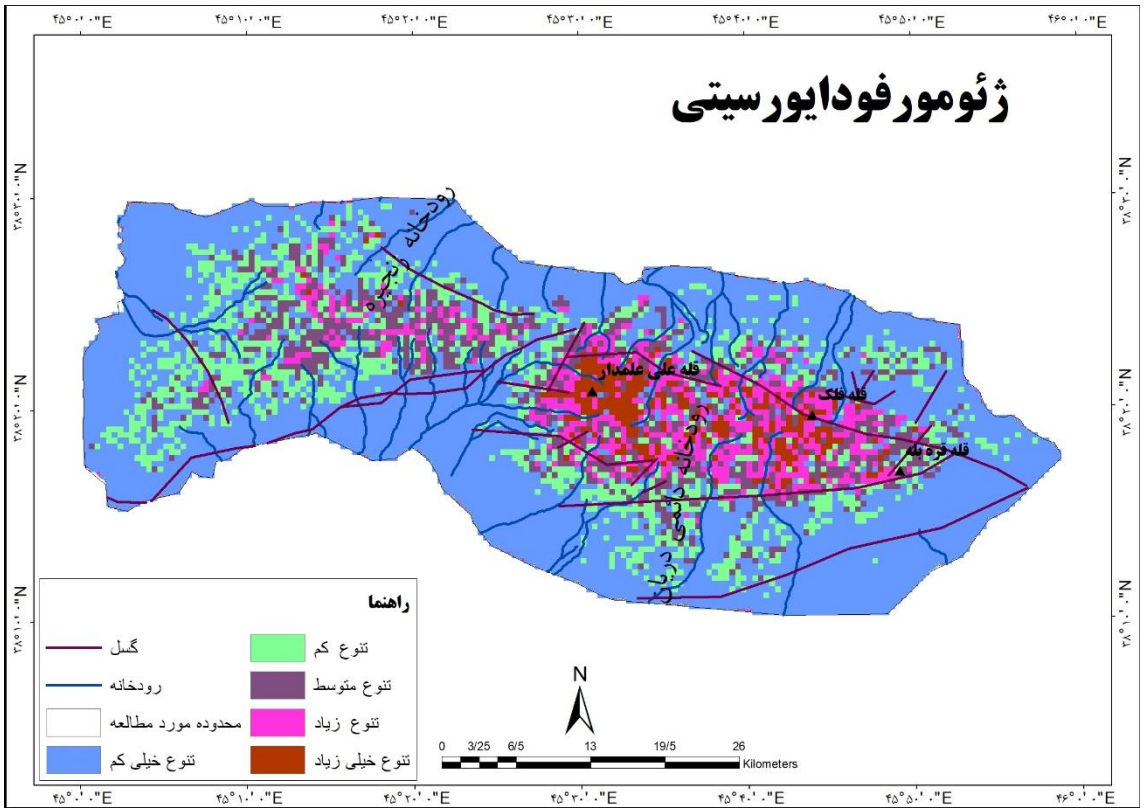


شکل شماره ۷: نقشه‌ی تنوع شدت ناهمواری در فرمت شبکه. رنگ ها نشان دهنده تنوع هستند که از کلاس خیلی کم تا خیلی زیاد افزایش می یابد.



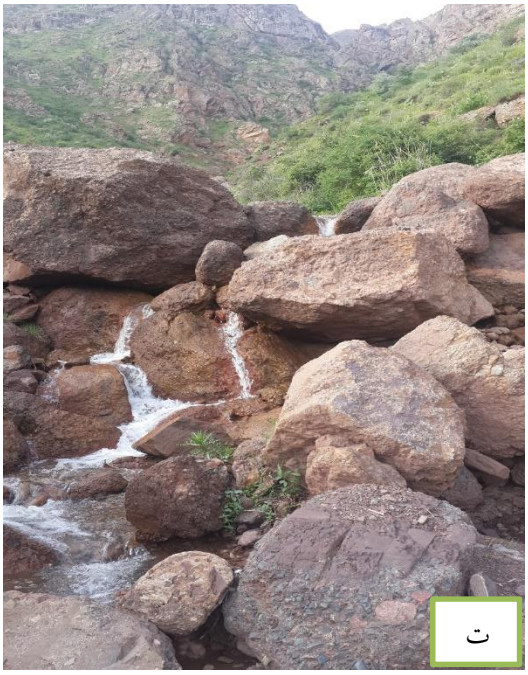
شکل شماره ۸: نمودارهای دایره ای که درصدهای هر کلاس تنوع را برای نقشه‌های نشان داده شده در شکل شماره ۳ نمایش می‌دهد.

تنوع ارزش در نقشه نهایی GmI نشان داده شده است. همانطور که در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود. درصد کلاس های 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 میشو 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.



شکل شماره ۱۰: تصاویری از ژئودایورسیتی 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 گرانیت 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 ژئوسایت ها ارزیابی نمی شود. انگیزه این انتخاب این است که چشم انداز را می توان 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 ارزش های فرهنگی و زیبایی شناختی مرتبط نیست. پس از جداسازی تنوع زمین از ژئوسایت ها، نکته دوم این است که چگونه می توان ارزیابی اجزای غیر زنده را بهبود بخشید و به سمت ارزیابی کمی حرکت کرد. این روش آخر چندین مزیت دارد. اول آنکه روش های کمی معمولاً نتایج دقیقی را ارائه می دهند (به عنوان یک اثر پردازش عددی) که قابل تأیید هستند و می‌توانند دوباره به پارامترهای ورودی تبدیل شوند. مهم ترین مزیت استفاده از روش های 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[1]) 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 می دهد.

شاخص‌ژئودایورسیتی عمدتاً برای مطالعات مقیاس منطقه‌ای اجرا شده که تعداد و کیفیت موارد تاریخی را در سال‌های اخیر بهبود بخشیده است (بنیتو–کالوو[2] و همکاران، ۲۰۰۹؛ هجورت و لوتو، ۲۰۱۰؛ مللی، ۲۰۱۴؛ پریرا و همکاران، ۲۰۱۳. سرانو و رویز–فلانو[3]، ۲۰۰۷؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ورگاری، ۲۰۰۹؛ زولینسکی، ۲۰۱۰). در این زمینه، شاخص‌ژئودایورسیتی اخیراً با تکنیک جدید تصویرسازی زمین به منظور بهبود در کارتوگرافی دیجیتال و نمایش مجازی سه بعدی مرتبط شده است (مارتینز گرانا[4] و همکاران، ۲۰۱۴؛ مللی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین عملیات مفیدی برای طیف گسترده‌ای از اهداف، مانند ژئوپارک‌ها و توصیف میراث زمین(فررو[5] و همکاران ۲۰۱۲، پانیزا و پیاسنته[6] ۲۰۰۹، اریکستاد[7] ۲۰۱۳) یا برای ارزیابی و پیشگیری از خطر(گوردون[8] و همکاران، ۲۰۱۲) پیشنهاد شده است. روش کمی برای ارزیابی شاخص ژئودایورسیتی به طور کلی از چندین پارامتر زمین، مانند مجموعه داده‌های زمین شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروگرافی و توپوگرافی گزارش می‌شود. در این میان، داده های ژئومورفولوژیکی برای گنجاندن در روشی خودکار سخت‌ترین هستند. اگرچه تولید نقشه‌های ژئومورفولوژیکی هم تراز با تکنیک‌های دیجیتال جدید است(گوستاوسون[9] و همکاران، ۲۰۰۶)، در حال حاضر مشخصه‌های ژئومورفولوژیکی به ویژه به دلیل فقدان نقشه‌های ژئومورفولوژیکی برای مناطق بزرگ، هنوز سخت ترین 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 نمی‌شود (کارتون[1] 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 می‌کنند، فراهم می‌کند. 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 منطقه‌ای آزمایشی عالی برای ارزیابی ژئومورفودایورسیتی با روش آسان و کاربردی در این مقاله است. در این منطقه رابطه‌ی به خوبی تعریف شده‌ای بین آرایش توپوگرافی و موقعیت زمین‌شناسی در کل منطقه وجود دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد دامنه ژئومورفودایورسیتی منطقه مورد مطالعه از سمت قله‌ها به سمت دشت کاهش می‌یابد و مناطق دارای ارزش ژئومورفودایورسیتی کم در دشت واقع شده است. نتایجی که مقصودی و همکاران در کوهستان دماوند بدان رسیده اند نیز نشان می‌دهد 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 کربنات‌ها تطابق دارد ولی در منطقه کوهستانی دماوند به نتیجه‌ای بر خلاف این رسیده‌اند که 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 کوهستان دماوند 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 کوهستان دماوند تحقیق در واحد کوهستان قرار دارد ولی در اومبریا واحد دشت و حوضه‌های 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 دره‌ها و ارتفاعات پایین‌تر نقش بیشتری در افزایش ارزش ژئومورفودایورسیتی 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 ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی 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. در پایان نامه ای که حق جو(۱۳۹۹)در منطقه یام انجام شده نشان می‌دهد که تنوع زمین شناسی می‌تواند مهم‌ترین نقش را در تولید سایر شاخص‌های ژئومورفودایورسیتی داشته باشد. تقریباً همه شاخص‌ها وابسته به جنس سنگ و لیتولوژی منطقه هستند و سیستم شبکه آبراهه ای، شدت تغییر ناهمواری، شیب و لندفرم‌ها 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 کاملا 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(حدفاصل گسل‌های 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 ارزش‌های زمین شناسی و ژئومورفولوژیک پایین ممکن است صحنه فعالیت گسترده انسانی باشد. به عنوان بازتابی از این موضوع مناطق واقع در نهشته‌های کواترنری میشو داغ که ارزش تنوع ۱ را در مدل این پژوهش کسب کرده است، بستری برای توسعه چشم‌گیر جوامع کشاورزی و روستایی تا

[1]. Carton

جوامع شهری فراهم می‌کند. از این جهت می توان 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 مورفومتریک 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 می آورد. 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 پیکسل ها 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 اندازه گیری می‌کنند. به این ترتیب عملکرد کانونی خاص با هدف ارزیابی تنوع در هر سلول استفاده می شود.

با توجه به اینکه روش‌های ارزیابی ژئودایورسیتی در سراسر دنیا به شکل استانداری درنیامده است سعی برآنست 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 منحصربه‌فرد 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 مورفومتریک پایه، چارچوب مفهومی ژئومورفودایورسیتی کوهستان میشو برای تخمین مقادیر تنوع زمین استفاده شد. روش پیشنهادی در این پژوهش از دسترسی آسان به داده های مورفومتریک حاصل از مدل رقومی ارتفاع استفاده می کند. 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 می شوند. 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 می تواند مکان های ارزیابی شده را بررسی کند. علاوه بر این، معادله باید با سایر مقادیر اصلی ژئودایورسیتی (هوازدگی 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 منحصربه‌فرد مکان‌های بی شماری است. اعتبار سنجی بر اساس نقشه های 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 دامنه ای تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا، دروه ۱۸، شماره ۳، صص ۱۷۰-۱۴۷.
- آبدیده، م؛ قرشی منوچهر؛ رنگزن، ک؛ آرین؛ م. (۱۳۹۰)، ارزیابی‌نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت سنجی، بررسی‌موردی 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: مطالع های موردی حوضه کامیاران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هشتم، شماره ۴، صص ۱۸-۳۳ .
- پیرعلیلو, ح؛ رحیم زاده، ع. (۱۳۹۳). شناسایی جاذبه های ژئوتوریسمی با استفاده از روش پرالونگ (موردی، میشو داغ مرند)، اولین کنگره تخصصی مدیریت شهری و شوراهای شهر، ساری، مرکز همایش‌های توسعه ایران.
- خیام، م؛ مختاری، د؛ (۱۳۸۲) ارزیابی عملکرد فعالیت های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه ها(مورد نمونه: مخروط افکنه های دامنه شمالی میشو داغ) پژوهش های جغرافیای شماره ۴۴صص۱- ۱۰
- رضایی مقدم، م؛ خیریزاده، آ؛ منصور ؛ سرافروزه، س. (۱۳۹۲) ارزیابی تکتونیک فعال در دامنهٔ جنوبی میشوداغ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۴۱-۱۵۸.
- مختاری، د. (۱۳۸۲)، تحلیل روابط ویژگی های مورفومتری مخروط افکنه ها با حوضه های آبریز مطالعه ی موردی: حوضه ها و مخروطه افکنه های دامنه ی شمالی میشو داغ، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۸۷، دوره ۱۸صص۴۶- ۳۶.
- مختاری، د. (۱۳۸۴)، نقش نوزمین‌ساخت در تکامل سامانه‌های رودخانه‌ای در کواترنر (مطالعهٔ موردی: رودخانه‌های دامنهٔ شمالی میشوداغ) علوم زمین، دورهٔ ۱۵ شمارهٔ ۵۷، صص ۶۴-۷۷.
- مختاری، د. (۱۳۸۵)کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها (مورد نمونه: گسل شمالی میشو)، علوم زمین، دورهٔ ۱۵، شمارهٔ ۵۹، صص۷۰-۸.
- مختاری، د؛ کرمی، ف؛ بیاتی خطیبی، م.(۱۳۸۶)، اشکال مختلف مخروط افکنه‌ای در اطراف تودهٔ کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آن‌ها، مدرس علوم انسانی، دوره۱۱، شماره ۵۶، صص ۲۵۷- ۲۹۲.
- مختاری، د؛ (۱۳۸۸) نقش عوامل غیر رودخانه ای در تغییرات مورفولوژی مسیر آبراهه‌ها (مطالعهٔ موردی: رودخانه‌باغلار در دامنهٔ شمالی میشوداغ)، مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۶.
- مختاری، داود. (۱۳۹۰). شناسایی اشکال مورفوژنتیک فعال در گردنه پیام باهدف برنامه‌ریزی ژئوتوریسم. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.۲۶(۴)،۹۲-۶۷.
- مختاری، د. (۱۳۹۹)، بررسی شاخص های ژئومورفودایورسیتی گردنه پیام (شمالغرب ایران) بر اساس شاخص GMI، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

- مقصودی، م؛ مقیمی، ا؛ یمانی، م؛ رضایی، ن؛ مرادی، ا. (۱۳۹۸)، بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن بر اساس شاخصGmI ، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، 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 Chełmno 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., Zwoli´nski, 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.*
- *Martinez-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., 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.*