پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال یازهم، شماره ۳، زمستان ۱۴۰۱
صص. ۱۰۲-۸۸

شناسایی نقاط داغ ژئودایورسیتی حوضه آبریز رودخانه درونگر با استفاده از یک روش کمی

ملیحه باتجربه- دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه فردوسی مشهد.
سید رضا حسین زاده*- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه فردوسی مشهد.
ندا محسنی رود پشتی- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات، دانشگاه فردوسی مشهد.
امیر لکزیان- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷ تائید نهایی: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴

چکیده

تنوع زمینی از موضوعات مهم علوم جغرافیایی است که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. تغییرات شدید کاربری و بهره‌برداری‌های بیش از حد انسان از منابع محیطی، بیودایورسیتی و ژئودایورسیتی را به شدت تحت تاثیر قرار داده‌اند. در این تحقیق برای ارزیابی تنوع زمینی از شاخص کمی تنوع زمینی رویز- فلنو استفاده شده و نتایج از طریق مشاهدات میدانی و مقایسه با نقشه ژئومورفولوژی اعتبارسنجی شده است. منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی ساختمانی در زون کپه داغ- هزار مسجد و در شمال‌شرق ایران قرار گرفته است. این منطقه با دارا بودن سه پارک حفاظت شده و با کمترین تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسان در محدوده پارک‌ها، امکان مقایسه مناسبی را با سایر نواحی فراهم آورده است. حوضه آبریز درونگر در نقطه پیچیده و پر تنش از دیدگاه فرآیندها و رویدادهای زمین شناختی قرار دارد و شواهد ژئومورفولوژیکی حوضه مورد بحث، حاکی از ادامه فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دوران پلیو-کواترنر دارد. هدف اصلی مقاله حاضر ارزیابی کمی تنوع زمینی حوضه آبریز رودخانه درونگر با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های GIS و مبتنی بر شاخص ژئودایورسیتی است. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل مدل رقومی ارتفاع نوع ASTER، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث بوده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که حدود ٦٠ درصد از وسعت حوضه دارای تنوع زمینی کم بوده که شامل نواحی دشتی و با ارتفاع کم است، ۲۹ درصد از وسعت منطقه دارای تنوع متوسط و ۱۱ درصد نیز دارای تنوع بالا با میانگین ارتفاع ۲۰۰۰ متر می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیق سازمان‌های مسئول مانند محیط زیست، منابع طبیعی، راه و شهرسازی و... از طریق هماهنگ سازی فعالیت‌ها و برنامه‌های خود با سطح تنوع ژئودایورسیتی می توانند در جهت ارتقای آن با انجام فعالیت‌های مکانیکی و بیولوژیکی مناسب گام‌های مهمی را بردارند.

واژگان کلیدی: تنوع زمینی، حوضه آبریز رودخانه درونگر، مناطق حفاظت شده، میراث زمین شناسی.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: srhosseinzadeh@um.ac.ir

مقدمه

مفهوم تنوع زمینی[۱] در دهه ۱۹۹۰ مطرح و پذیرفته شد. واژه یاد شده طبق تعریف سرانو[۲] و رویز–فلنو[۳] (۲۰۰۷: ۱۴۳) شامل شاخص‌هایی مانند توپوگرافی[۴]، زمین شناسی، ژئومورفولوژی[۵]، هیدرولوژی[۶]، خاک و زیر شاخص‌هایی مانند انرژی و زبری سطح، مواد زمینی (فسیل، سنگ شناسی، رسوبات سطحی)، میکرولندفرم‌ها[۷]، لندفرم‌های[۸] فرسایشی یا تراکمی و فرایندها، عناصر هیدرولوژی و همچنین رده و زیر رده خاک می‌باشد. طبق تعریف پریرا[۹] و همکاران (۲۰۱۳: ۵۴۴) تنوع زمینی به معنای پراکنش طبیعی از پدیده‌های زمین شناسی (سازندها، کانی‌ها، فسیل‌ها)، ژئومورفولوژی (چشم‌اندازها، فرآیندها) و خاک شناسی، می‌باشد که در اواسط دهه ۹۰ میلادی در تاسمانیای استرالیا به کار گرفته شده است. تنوع زمینی از طرفی به فرآیندهای فعال کنونی و شکل‌های ایجاد شده توسط آن‌ها توجه داشته و از سوی دیگر در ارتباط با شکل‌ها و چشم‌انداز-هایی می‌باشد که از دوره‌های گذشته زمین باقیمانده‌اند و اصطلاحا به آن‌ها چشم‌اندازهای فسیل یا میراث‌های پیکر اقلیمی گفته می‌شود (ملیلی[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۷: ۷۰۳). با این حال به رسمیت شناختن آن توسط مخاطبان و جامعه علمی بزرگتر احتمالاً به دلیل فقدان یک چارچوب مفهومی و روش شناختی تثبیت شده، هنوز در مراحل اولیه است (نجور[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۰).

روش‌های ارزیابی تنوع زمینی به سه صورت کمی، کیفی و کمی–کیفی است (زاوالنسکی[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۶). بررسی تنوع زمینی در مقیاس منطقه‌ای و محلی با تکنیک‌های نقشه‌برداری سنتی و بصورت کیفی اغلب یک کار دشوار و پرهزینه است و مدل‌سازی آماری که جز روش‌های کمی است به‌عنوان یک رویکرد مناسب در تحلیل و نقشه‌برداری تنوع زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت نقشه‌های خروجی تنوع زمینی وابسته به مقیاس و دقت داده‌های ورودی است با این حال، تاکنون، تنوع زمین عمدتاً در مقیاس‌های فضایی نسبتاً بزرگ، بین مقیاس‌های حوزه آبخیز، چشم‌انداز و منطقه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (پلیترو[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۲۲؛ توماس[۱۴]، ۲۰۱۲: ۱۹۷). با گذشت زمان مدل‌های ارزیابی برای اندازه‌گیری تنوع زمینی به تدریج تکامل یافته است (پائولا سیلوا[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۴۲). بسیاری از آنها براساس منابع نقشه‌کشی و پایگاه داده فضایی هستند (پرز اومانا[۱۶] و همکاران، ۲۰۲۰: ۳۵؛ کوآسادارومان[۱۷] و پرزاومانا، ۲۰۲۰: ۶۰) و تعدادی از مطالعات تنوع زمینی، شامل مسائل روش شناختی کلیدی همانند آن‌هایی است که برای مشاهدات علمی (مقیاس، رتبه‌بندی، نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و خطاها) در ژئومورفولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد (چورچ[۱۸]، ۲۰۱۱: ۱۲۴). زاوالانسکی و استاچوبیاک[۱۹] (۲۰۱۲: ۱۰۵) چارچوبی را برای ارزیابی تنوع زمینی با دو روش توصیف کردند.

---

[1] –Geodiversity
[2]- Serrano
[3] - Ruiz-Flaño
[4]- Topogeraphy
[5] -Geomorphology
[6] -Hydrology
[7] -Microlandform
[8] -Landform
[9]- Pereira
[10]- Melelli
[11]- Najwer
[12]- Zwoliński
[13]- Pellitero
[14]- Thomas
[15]- de Paula Silva
[16]- Pérez-Umaña
[17]- Quesada-Román
[18]- Church
[19]- Stachowiak

روش اول مستقیم مبتنی بر مشاهده و کار میدانی با جمع‌آوری و اندازه‌گیری عناصر محیط‌های طبیعی مانند سنگ‌ها، خاک‌ها، انواع لندفرم‌ها و غیره است. سپس در روش دوم از روش‌های تحلیلی برای ایجاد یک دید دقیق از تنوع زمینی منطقه استفاده می‌شود. در برزیل، پریرا[1] و همکاران. (۲۰۱۳: ۵۴۵) روشی را برای نقشه برداری شاخص‌های تنوع جغرافیایی با وزن‌های مساوی برای عناصر تنوع جغرافیایی توسعه دادند. کریسپ[2] و همکاران (۲۰۲۰: ۵۲۲) روندهای روش‌شناختی و فضایی در ادغام ارزیابی کمی تنوع زمینی را بررسی کرد. فورته[3] و همکاران (۲۰۱۸: ۲۱۰) با استفاده از نگاشت چگالی چند ضلعی عناصر تنوع زمینی از طریق تخمین چگالی هسته، روش جدیدی را بر اساس تجزیه و تحلیل مرکزها توسعه داد. گونزالس تروبا[4] (۲۰۰۷) دریاها و اقیانوس‌ها و عناصر فیزیکی و فرآیندهای درون آن‌ها را بخش مهمی از تنوع زمینی می‌داند که منجر به گسترش این تعریف از لیتوسفر به هیدروسفر و جو شد. پس از آن، گری (۲۰۱۸) ادعا کرد که تنوع زمین شامل محدوده طبیعی (تنوع)، زمین شناسی (سنگ، کانی، فسیل)، ژئومورفولوژی (فرم‌های زمین، توپوگرافی، فرآیند-های فیزیکی)، خاک و ویژگی‌های هیدرولوژیکی است. بریلها[5] و همکاران (۲۰۱۸: ۲۰)، اهمیت تنوع زمینی را خاطر نشان کرد و دلیل این امر را این گونه بیان کرد که طبیعت زنده و غیر زنده عناصر اصلی پایداری جامعه بشری هستند. همچنین (لوکسی۶ و جاردینو۷، ۲۰۱۲: ۳۵۵) بیان کردند ایجاد یک طبقه‌بندی و ارزیابی جامع ژئودایورســـیتی می‌تواند به ویژه در افزایش آگاهی در مورد اهمیت ژئودایورسیتی برای مطالعات اکولوژیکی، میراث‌های زمین شناسی و چشم‌اندازهای فسیل و درک ارتباط آن با توسعه انسانی در جهت حفاظت زمینی مفید باشد. کورف[8] (۲۰۲۰) در پایان نامه دکترای خود ارزیابی کمی تنوع جغرافیایی قلمرو Verhnia Chui در ژئوپارک آلتای، روسیه را انجام داد. هدف اصلی این پروژه توسعه روشی برای ارزیابی اهمیت عناصر تنوع جغرافیایی برای ژئوتوریسم در قلمرو تعریف شده بود. در نهایت این محقق انواع و زیرشاخه‌های عناصر تنوع جغرافیایی را تعریف کرده که شامل عناصر تنوع زمین‌شناسی مانند عوامل بیولوژیکی، چینه‌شناسی، ژئومورفولوژی، زمین‌باستان‌شناسی، زمین‌شناسی، منابع آبی و مجموعه این عوامل بودند.

تنوع زمینی ایران در دنیا بینظیر بوده و در مقام مقایسه به جرات می‌توان گفت هیچ کشوری در دنیا از این سطح تنوع برخوردار نیست. این شرایط حاصل موقعیت جغرافیایی، موقعیت تکتونیکی و زمین شناسی، توپوگرافی، ژئومورفولوژی و همچنین قرار گرفتن در یک نوار انتقالی از اقلیم بیابانی عرض‌های پایین به مناطق معتدله است. طی چند دهه اخیر محیط طبیعی کشور تحت تاثیر کشاورزی گسترده و غیراصولی، تغییرات شدید کاربری اراضی، معدن کاری، نابودی منابع آب و... به شدت تخریب گردیده و بالطبع ژئودایورسیتی آن در معرض آشفتگی شدید قرار گرفته است. در چنین شرایطی ارزیابی ژئودایورسیتی مناطق مختلف می‌تواند وضعیت موجود را به تصویر کشیده و مناطق با ژئودایورسیتی بالا را به عنوان مناطق با اولویت حفاظت بیشتر در کانون توجه سازمان‌های مسئول قرار دهد. همچنین با شناخت مناطق تغییر یافته نسبت به برنامه‌ریزی برای بازسازی شرایط پایدار تلاش نماید. در ایران بعضی از علاقه‌مندان آغاز ژئوتوریسم ایران را پیشنهاد نبوی برای رویکرد زیبایی شناختی به پدیده‌های زمین شناختی و به عبارت دیگر تنوع زمینی مبتنی بر زمین شناسی می‌دانند، همچنین حریریان در ۱۳۶۹ جز اولین کسانی بود که تعریفی از تنوع زمینی ارائه کرد. پس از آن یزدی و دبیری (۷۸:۱۳۹۴) به بررسی درآمدی بر ژئودایورسیتی به عنوان پایه‌ای برای ژئوتوریسم، پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در ژئودایورسیتی باید به ارزش‌ها از جمله ارزش‌های ذاتی، فرهنگی، زیبا شناسانه، اقتصادی، عملکردی و... هم چنین تهدیدهای این حوزه

1- Pereira
2- Crisp
3- Forte
4- González Trueba
5- Brilha
6- Lucchesi
7- Giardino
8- Krof

از قبیل تراکم شهرنشینی مجاور ژئوسایت‌ها، ازدحام بازدید کننده‌ها، کمبود آگاهی توجه ویژه نمود همچنین مدیریت در ژئوتوریسم ژئوپارک‌ها و فعالیت‌های تفریحی مرتبط می‌بایست متناسب با تنوع زمین شناختی تنظیم و اجرا گردد. بطور کلی در ایران پژوهش‌های اندکی در این زمینه انجام شده است و سابقه پژوهش در این رابطه بصورت محدود در دسترس می‌باشد، که در بخش بعدی به این فعالیت‌ها اشاره خواهد شد. به عنوان مثال مختاری و همکاران (۱۳۹۷: ۳۱۵) در مقاله‌ای گزارش کردند که به علت عدم حفاظت پدیده‌های زمینی در شهرستان اشتهارد بخشی از این منابع در حال تخریب است، به نظر می‌رسد توجه به ارزش‌های مربوط به تنوع زمینی در این منطقه گامی در جهت جلب توجهات بیشتر در زمینه حفاظت از منطقه باشد.

مختاری و همکاران (۱۳۹۷: ۱۵۸) در پژوهشی به تحلیل ژئومورفولوژیک تشکیل و تکامل خاک شهرستان جغتای پرداخته‌اند و نتایج آن‌ها نشان داد که در هر بخش از ناهمواری، نوع خاک متفاوتی تشکیل می‌شود و این خاک‌ها از نظر بافت کاملا متمایزند. همچنین نتایج آن‌ها به خوبی نقش عوامل توپوگرافی، ژئومورفولوژی و نیز هیدرولوژی را در تشکیل خاک منطقه نشان داد. در مطالعه دیگری باتجربه و همکاران (۱۳۹۶: ۱۱۰) به تهیه نقشه تنوع زمینی در شهرستان مشهد بر پایه دو شاخص حفاظت و حساسیت پذیری لندفرم‌ها پرداخته و گزارش کردند که با افزایش میزان حساسیت پذیری در منطقه، میزان تنوع زمینی نیز افزایش پیدا کرده است. در بررسی ژئومورفودایورسیتی[1] آتشفشان دماوند براساس شاخص GMI[2] که توسط مقصودی و همکاران (۱۳۹۸: ۶۰) انجام شد، نتایج نشان داد که همبستگی فضایی خوبی بین شاخص ژئومورفودایورسیتی، انواع و میانگین تعداد لندفرم‌ها وجود دارد.

توجه جامعه علمی و بخصوص ژئومورفولوژیستها به ژئودایورسیتی دو دلیل عمده دارد، اول اینکه ژئودایورسیتی از نظر زیبایی شناختی، علمی، فرهنگی، معنوی، تفریحی و گردشگری ارزشمند بوده و بستر مناسب فعالیتهای مذکور را فراهم می آورد و دوم این که توسط طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های انسانی تهدید می‌شود، پس میتوان گفت چشم‌اندازها و سایت‌های زمین شناسی نمایانگر شرایط زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی، اقلیمی و زیستی زمان خود هستند و هرگونه تخریب به ناپایداری و نابودی همیشگی آن‌ها منجر می‌شود (گری[3]، ۲۰۰۴). سازگاری با تغییرات محیط برای داشتن آینده‌ای پایدارتر به رهیافت یکپارچه‌تری در رابطه با تنوع زمینی، تنوع زیستی[4]، حفاظت و مدیریت چشم‌انداز نیاز دارد (گری و همکاران ۲۰۱۳). در این راستا با انجام مطالعات تخصصی‌تر می‌توان به ارتباط عمیق تنوع زمینی با حفاظت (زیستی و زمینی) پی برد. علی رغم اینکه نتایج عالی توسط تحقیقات علمی ملی و بین المللی در این زمینه بدست آمده است و تعریف، ارزیابی و شناخت تنوع زمینی از مهم ترین اهداف علوم زمین است لیکن ارزیابی کمی این پارامتر هنوز یک موضوع گسترده است و کاربرد مفهوم تنوع زمینی قطعا به کمی سازی آن نیاز دارد به این دلیل که کمی سازی تنوع بما نشان می‌دهد چه عواملی نقش موثرتر و درجه اهمیت بیشتری در هر واحد خواهند داشت. در این مقاله برای اولین بار از روش اصلاح شده رویز– فلنو برای ارزیابی و طبقه‌بندی شاخص تنوع زمینی با رویکرد حفاظت زمینی و اقدامات مدیریتی در راستای افزایش ارتجاع پذیری چشم‌اندازها استفاده شده است. در واقع هدف از این پژوهش ارزیابی شاخص‌های تنوع زمینی و شناخت پتانسیل‌های زمینی و استفاده اصولی از این پتانسیل‌ها در راستای توسعه پایدار در سطوح اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و به‌ویژه زیست‌محیطی منطقه مطالعاتی می‌باشد.

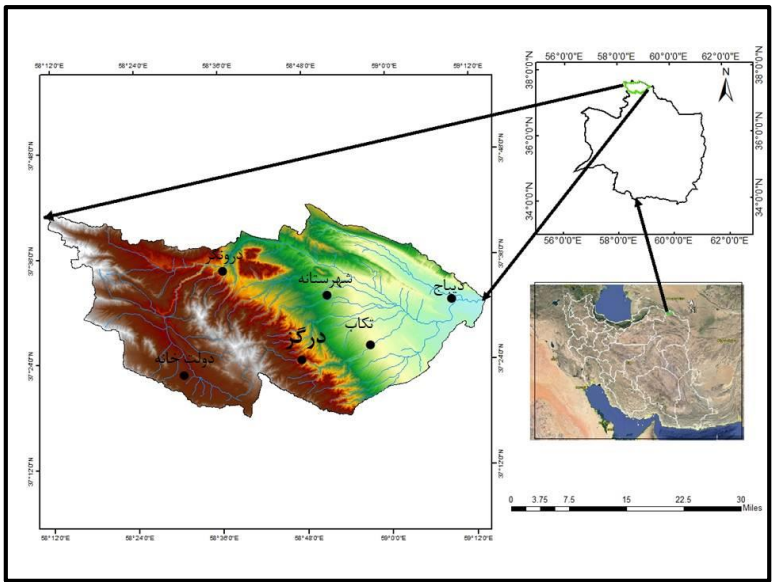
---

[1]-Geomorphodiversity
[2]- Geomorphodiversity Index
[3]- Gray
[4] -Biodiversity

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز درونگر است که در رشته چین خورده کپه داغ در شمال شرق کشور و در شمال استان خراسان رضوی واقع گردیده است. محدوده مورد مطالعه، بخشی از حوضه آبریز قره قوم در شمال شهرستان قوچان بوده که با وسعت ۳۲۶۴ کیلومترمربع، بین مختصات جغرافیایی ″ ۵۵ ′ ۱۱ °۳۷ تا ″ ۱۸ ′ ۴۲ °۳۷ عرض شمالی و ″ ۳۰ ′ ۱۱ °۵۸ تا ″ ۲۴ ′ ۲۷ °۵۹ طول شرقی واقع شده است که در بخش شمالی با کشور ترکمنستان هم مرز است. لازم به ذکر است در این منطقه سه پارک تندوره، دربادام، قارچوغه که جز پارک‌های ملی حفاظت شده‌اند قرار گرفته دارد (شکل ۱). در ادامه چند تصویر از منطقه مورد مطالعه نیز نشان داده شده است (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شکل ۲: تصاویری از منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

ارزیابی شاخص تنوع زمینی

روش مورد استفاده برای انجام این تحقیق از نوع توصیفی–تحلیلی و کمی است که با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، نقشه‌های کاربری اراضی، مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی انجام شده است. در تعیین میزان تنوع زمینی از شاخص اصلاح شده سرانو و رویز– فلنو (۲۰۰۷: ۱۴۲) استفاده کرده‌ایم که در مرحله اول براساس مولفه‌های موجود در فرمول ابتدا شاخص کاربری اراضی، ژئومورفولوژی و لایه ارتفاعی و زمین شناسی تهیه شده است. سپس با توجه به این که لایه‌ها از نوع وکتوری بوده با استفاده از توابع مناسب در نرم‌افزار ArcGIS به لایه‌های رستری تبدیل و هر یک از لایه‌های رستری جهت یکسان سازی ارزش‌های سلولی، طبقه‌بندی و امتیازدهی مجدد شدند. بطور کلی فعالیت‌های انسانی نه تنها در برخی موارد نقاط تعادل مورفوژنز – پدوژنز را بر هم زده است، بلکه بعضی اشکال و لندفرم‌های ویژه و استثنایی را که جزیی از یک موزه تاریخ طبیعی به شمار می‌آیند، منهدم ساخته است (زمردیان ۱۳۸۱). با توجه به توضیحات فوق، در نقشه کاربری اراضی کلاس سه دارای بیشترین امتیاز بوده وکلاس یک با بیشترین تاثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی دارای کمترین امتیاز تنوع است (جدول ۱).

جدول ۱: نحوه امتیازدهی و طبقه‌بندی معیارهای مورد استفاده در تنوع زمینی (باتجربه و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۵)

شاخص‌های مؤثر در تنوع زمینی

تابع تغییرپذیری		تنوع ژئومورولوژیکی	کلاس‌های طبقه‌بندی	
کاربری اراضی	زمین شناسی	ژئومورفولوژی	کلاس کیفی	کلاس کمی
کشاورزی، باغات، سکونتگاه شهری	آذرین دگرگونی	اثرات انسانی، مخروط افکنه، انواع دشت‌ها، تراس‌های آبرفتی	کم	I
مرتع، (ضعیف، متوسط،خوب)، بیشه‌زار	رسوبی	اشکال فرسایش آبی، بادی،	متوسط	II
رخنمون سنگی، جنگل، رودخانه	کربناته	گسل، کانیون، کوهستان‌های ریزشی و ساختمانی، حرکات دامنه‌ای	زیاد	III

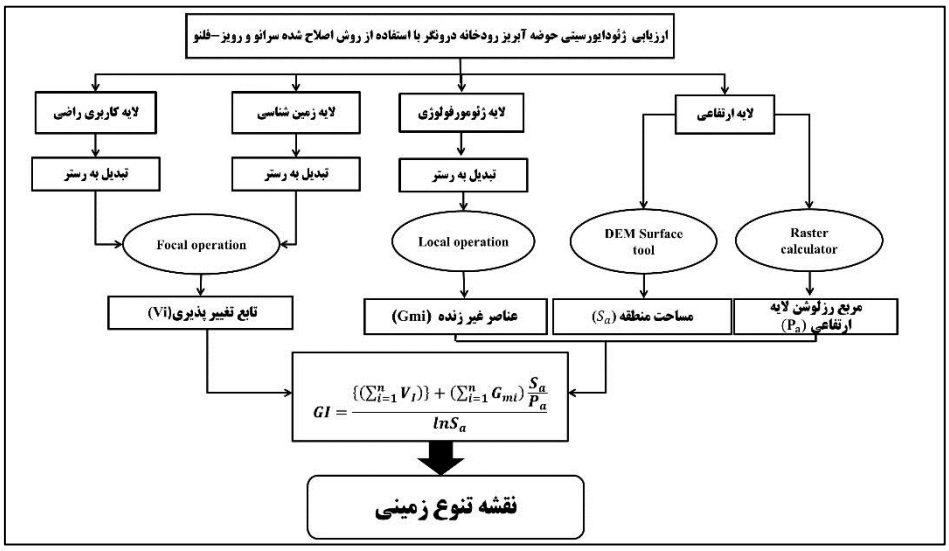
در گام دوم نقشه‌های مورد نیاز در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و ترسیم و با تصاویر حاصل از بازدید میدانی مقایسه شدند. در مرحله سوم یکپارچه‌سازی و کمی کردن عناصر با استفاده از فرمول سرانو و رویز–فلنو (۲۰۰۷: ۱۴۲) به شرح زیر انجام شد:

$$GI = \frac{\{(\sum_{i=1}^{n} V_I)\} + (\sum_{i=1}^{n} G_{mi})\frac{S_a}{P_a}}{lnS_a}$$

GI: شاخص ژئومورفولوژی، VI: شاخص تغییرپذیری، GMI: شاخص ژئومورفودایورسیتی، Sa: مساحت منطقه و Pa: محیط منطقه

گام نهایی ارائه تصویر و نقشه تنوع زمینی از منطقه، مقایسه و ارزیابی شاخص تنوع زمینی بوده است.

مراحل محاسبه شاخص‌های تنوع زمینی در شکل شماره (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار مسیر و روش تحقیق

در زیر به تشریح و تبیین اجزاء فرمول سرانو و رویز– فلنو پرداخته می شود:

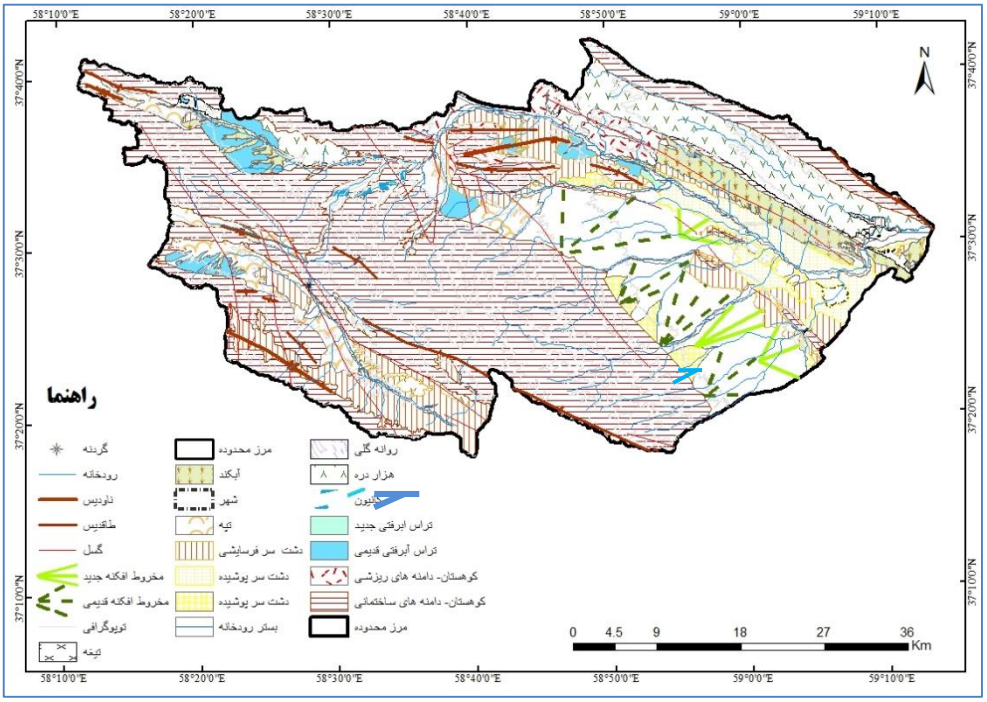
GMi (ژئومورفودایورسیتی)

این متغیر هر یک از عوامل غیر زنده را در بر می‌گیرد که در تعریف تنوع زمینی نقش داشته و با ویژگی‌های ذاتی در فرایند نقشه‌برداری ارتباط فضایی ندارد. ژئومورفودایورسیتی تحت تاثیر حساسیت چشم‌انداز بوده و تابعی از واکنش در برابر فرآیندهای غیر خطی و دینامیک در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است (توماس، ۲۰۱۲: ۲۰۱) که با تنوع ژئومورفولوژیکی یا کمیت و تعداد انواع لندفرم‌ها و عناصر غیر زنده ارتباط دارد (ملیلی و همکاران، ۲۰۱۷: ۷۰۶).

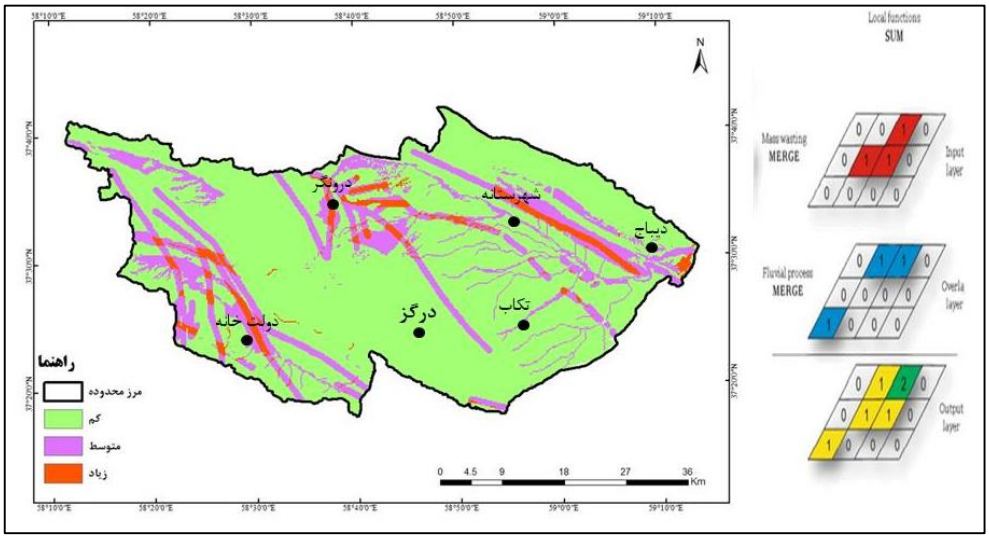
به عبارت دیگر ژئومورفودایورسیتی (یا همان تنوع ژئومورفولوژیکی) به عنوان "ارزیابی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی یک منطقه، با مقایسه آن‌ها به صورت بیرونی (مقایسه با مناطق دیگر) و درونی (تنوع و پیچیدگی لندفرم‌ها در منطقه) تعریف شده است (پانیزا[1]، ۲۰۰۹: ۳۶).

بعد از تهیه تمام لایه‌های وکتوری نقشه ژئومورفولوژی که شامل واحد کوهستان، تپه‌ماهور و انواع دشت‌سرها، عوارض ساختمانی ژئومورولوژی، فرایندهای دامنه‌ای و اشکال تراکمی (مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی) بود تهیه شد (شکل ۴). سپس لایه‌ها با استفاده از دستور Euclidean distance به رستر تبدیل و در نهایت با استفاده از دستور local operation جمع‌بندی شدند و لایه خروجی در سه کلاس تنوع زمینی کم – متوسط و زیاد طبقه‌بندی شده است (شکل ۵).

[1]- Panizza



شکل ٤: نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه



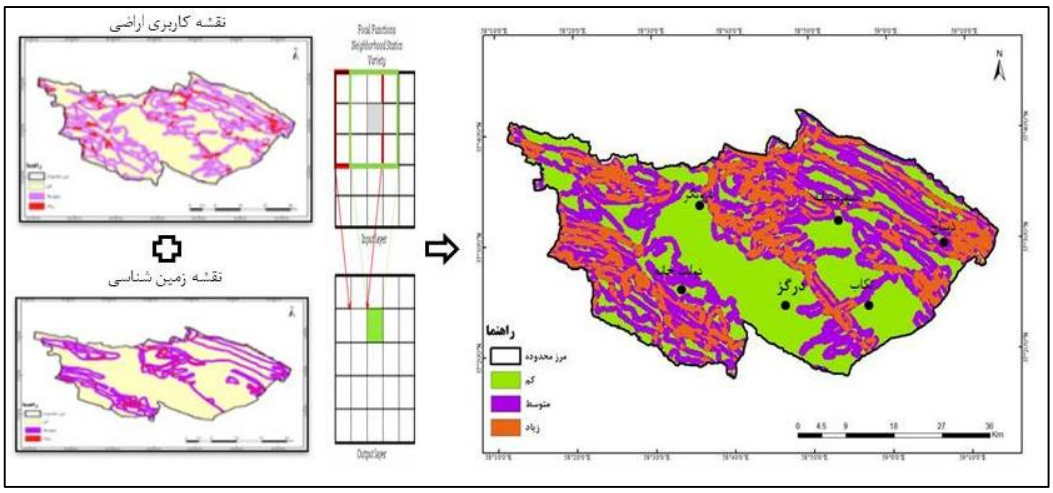
شکل ٥: شاخص تنوع ژئومورفیک (GMi)

Vi (تابع تغییرپذیری)

تابع تغییرپذیری شامل هر یک از عوامل غیر زنده‌ای می‌شود که در تعریف تنوع زمینی نقش داشته و با ویژگی‌های ذاتی آن ارتباط فضایی دارد. در واقع این فاکتور بیان کننده تنوع فضایی ویژگی‌های اصلی بستر است (ملیلی و همکاران، ۲۰۱۷: ۷۰۷). داده‌های مورد استفاده برای محاسبه Vi شامل: داده‌های زمین شناسی و کاربری اراضی در قالب فرمت برداری هستند که به رستر تبدیل می‌شوند. در این مرحله از تجزیه و تحلیل همسایگی[1] استفاده شد. تحلیل همسایگی یعنی

[1] -neighborhood function

استخراج گروهی از سلول‌ها که در شعاع تعیین شده یک سلول مرکزی انتخاب می‌شوند. انواع الگوهای آن شامل انتخاب در قالب یک چهارگوش، دایره، حلقه و گوه یا مخروط است (حسین زاده، ۱۳۹۷). در این مقاله از الگوی دایره‌ای استفاده شد و تنوع داده‌ها در یک پنجره متحرک (دایره‌ای با شعاع معادل ۳ متر) برای هر سلول تکرار و محاسبه شد (شکل ۶).



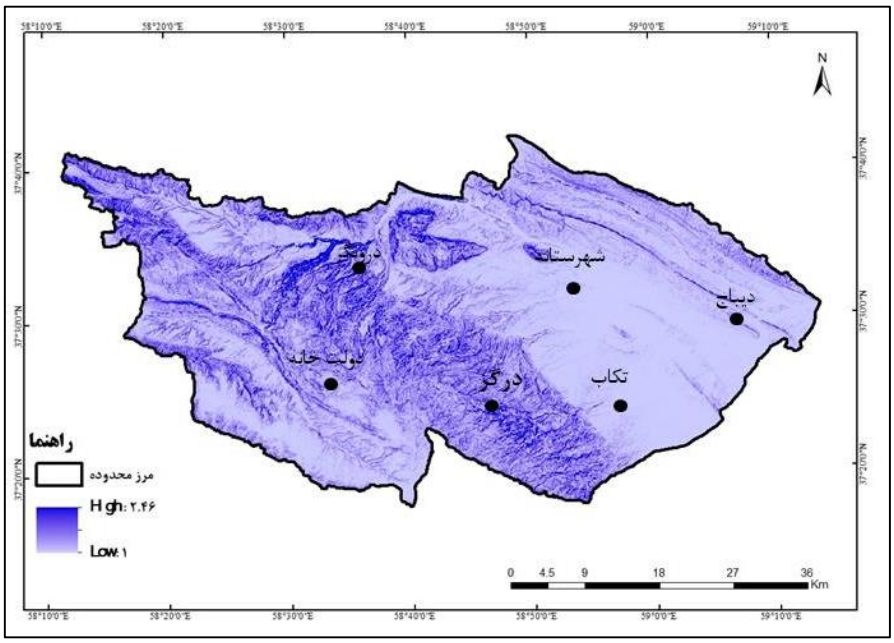
شکل ٦: نقشه شاخص تغییرپذیری (Vi)

شاخص‌های توپوگرافی ($\frac{S_a}{P_a}$)

S_a (مساحت منطقه) یک رستر است که در آن مقادیر سلول نشان دهنده سطح توپوگرافی واقعی در آن سلول است. مستقیماً متناسب با بی‌نظمی زمین بوده و بنابراین در مناطق کوهستانی دارای مقادیر بیشتر و در مناطق مسطح کمتر است. p_a (محیط منطقه) با مربع وضوح مدل رقومی ارتفاع (DEM) مطابقت دارد.

این دو فاکتور با استفاده از ابزارهای Surface Area & Ratio tool در محیط GIS محاسبه شدند (جنس[1]، ۲۰۰۴: ۸۳۰). در واقع نسبت $\frac{S_a}{P_a}$ به‌عنوان معیاری برای بی‌نظمی توپوگرافی یا زبری در نظر گرفته می‌شود، زبری ناهمواری، اندازه‌گیری یک سطح توپوگرافی نامنظم است (هانی[2] و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۸۰). مقادیر بالای زبری ناهمواری مشخص کننده مناطقی هستند که دره–ها و یال–ها اغلب متناوب هستند و با بستر زمین شناسی ناهمگن یا با فعالیت شدید ژئومورفولوژیکی مرتبط هســـتند (ملیلی، ۲۰۱۴: ۵). بنابراین، مقدار زیاد زبری ناهمواری، دارای احتمال بیشـــتری برای تشخیص لندفرم‌ها است به‌طور خلاصه: هرچه زبری بیشتر باشد، شدت فرسایش بیشتر است و بنابراین، چگالی لندفرم‌ها بیشتر خواهد بود (شکل ۷).

1- Jenness
2- Hani



شکل ۷: نقشه زبری ناهمواری ($\frac{S_a}{P_a}$)

بحث و یافته‌ها

طبق تعریف بتارد و پولواست (۲۰۱۹: ۸۲۸) نقاط داغ مناطقی با تنوع زمینی بالا هستند که به چهار گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

I. مناطقی از قاره‌ها با تاریخ طولانی و پیچیده زمین شناسی.

II. حاشیه صفحات همگرا که در آن سنگ‌های جدید توسعه فعال دارند و شکل زمین توسط فرآیندهای شدید برون‌زا (فرسایش) و درون‌زا (تکتونیک، آتشفشان) تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

III. مناطق با برجستگی‌های بالا (مانند مناطق کوهستانی، دره‌های اصلی)

IV. سواحل، به دلیل وجود دریابارها و تا حدی به دلیل طیف وسیعی از فرآیندها، رسوبات و فرم‌های زمینی تولید شده در محیط‌های ساحلی.

علاوه بر این عوارض ژئومورفولوژی به عنوان شاخصی از تنوع زمینی در نواحی دارای فعالیت تکتونیکی، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تاثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته‌ای و فرسایش و رسوب‌گذاری توسط فرآیندهای سطحی است (ایوانس و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۵).

در منطقه مورد مطالعه نیز، شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از ادامه فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دوران پلیو–کواترنر در این حوضه است که تعدد اشکال تقریبا اصلی مانند طاق ها، ناوها، پرتگاه‌های گسلی، دره‌های عمیق با منشا خط گسل، تیغه‌ها و دیواره‌ها گواهی بر این موضوع است. نقشه‌های مستخرج از تلفیق متغیرهای مورد استفاده در پهنه بندی میزان ژئودایورسیتی نشان می‌دهد که عمدتا ژئودایورسیتی منطقه به ترتیب تحت تاثیر لندفرم‌ها و فرایندها و سپس نوع سنگ‌های زیربناست. باتوجه به نقشه شماره ۴ که واحدها و عوارض ژئومورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد بخش وسیعی از آن در قلمرو کوهستان‌های مرتفع و در سنگ‌های آهکی دوران دوم شکل گرفته است. حد شمالی توده کوهستانی معروف به الله اکبر گسل مهمی به همین نام است که این توده را از دشت درگز جدا می‌نماید و اختلاف سطح بین این دو منطبق بر پرتگاه‌های خط گسل مستقیمی است که در امتداد شمال‌غرب به جنوب‌شرق همچنان فعال باقی مانده‌اند. پرتگاه‌های عظیم

و بسیار مرتفعی نیز در داخل واحد کوهستان تاحد زیادی بر خطوط گسلی تطابق داشته و حاصل عملکرد تکتونیک و ضخامت چینه‌های آهکی است. کانیون‌های منحصر به فردی در واحد کوهستان و در محل خطوط گسلی چشم اندازهای مهمی را بوجود آورده که شاهکار فرایندهای دینامیک درونی و بیرونی در منطقه محسوب می‌گردد. از مهمترین آن‌ها میتوان به دره شمخال و دره شاه رگ اشاره نمود که طی سالهای اخیر جزو مقاصد مهم ژئوتوریسم کشور بشمار می رود. وفور پرتگاه‌های آهکی و تخریب بر اثر یخبندان در واحد کوهستان پدیده ریزش و سقوط سنگ‌ها را بعنوان یکی از مهمترین فرایندهای حمل روی دامنه‌ها درآورده و محصول این فرایند بصورت مواد ریزشی، مخروطهای واریزه و واریزه های آزاد در بیشتره دره‌ها و کانیون‌های آهکی بر سطح ژئودایورسیتی واحد کوهستان افزوده است. همچنین انحلال سنگ‌های آهکی اشکال کارستی مانند لاپیه‌های خطی و لاپیه‌های مدور، فروچاله ها و غارهای متعددی را توسعه داده، که بر میزان ژئودایورسیتی واحد کوهستان خصوصا در بخش‌های مرتفع تر آن افزوده است. بر سطح دامنه‌های منظم و سطوح کم شیب، انحلال و تجزیه سنگ آهک منجر به تشکیل قشری از خاکهای آهک زدایی شده گردیده که پدیده‌های لغزش و سولی‌فلوکسیون با تنوع زیاد را بدنبال داشته است. در واحد کوهستان مرتفع سولی‌فلوکسیون‌های پشته ای با هسته‌های سنگی[1] جزو عوارض منحصر به فرد دیگر منطقه است. تنوع در عوارض ساختمانی، ویژگی‌های سنگ شناسی و فرایندهای دینامیک بیرونی واحد کوهستان مرتفع را در زمره مناطق با بالاترین میزان ژئودایورسیتی قرار داده است. به همین دلیل ملاحظه می‌شود که در نقشه شماره ۸ این مناطق جزو محدوده‌های مشخص با بالاترین سطح ژئودایورسیتی قرار دارند. برای درک ساده‌تر موضوع می‌توان نقشه ژئودایورسیتی منطقه مورد مطالعه را با نقشه شماره ۵ یعنی نقشه شاخص تنوع ژئومورفولوژی تطبیق داد تا به نقش برتر ژئومورفولوژی در ژئودایورسیتی منطقه پی برد.

با توجه به تنوع لندفرمها و فرایندها در واحد کوهستان و محاسبه شاخص ژئودایورسیتی در این واحد ژئومورفولوژی به جرات می توان گفت که نتایج بدست آمده در تطابق با کارهای سایر محققین (کوبالیکووا[2] و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۷؛ پلیترو[3] و همکاران، ۲۰۱۴) می‌باشد. گزارش این محققین نشان داده که این شاخص دارای انعطاف‌پذیری خوبی برای مناطق کوهستانی با تعدد عوارض ژئومورفولوژیکی است. علاوه بر این تنوع زمینی تابع تعداد عناصر غیرزنده بوده و با زبری و خشونت ناهمواری نیز رابطه مستقیم دارد. در منطقه مورد مطالعه نیز شاخص تنوع زمینی به دلیل فرم تیغه‌ای کوه‌ها و نوع سازند (عمدتا آهکی) منطبق بر مناطق کوهستانی بوده و با شاخص زبری رابطه مستقیم داشت.

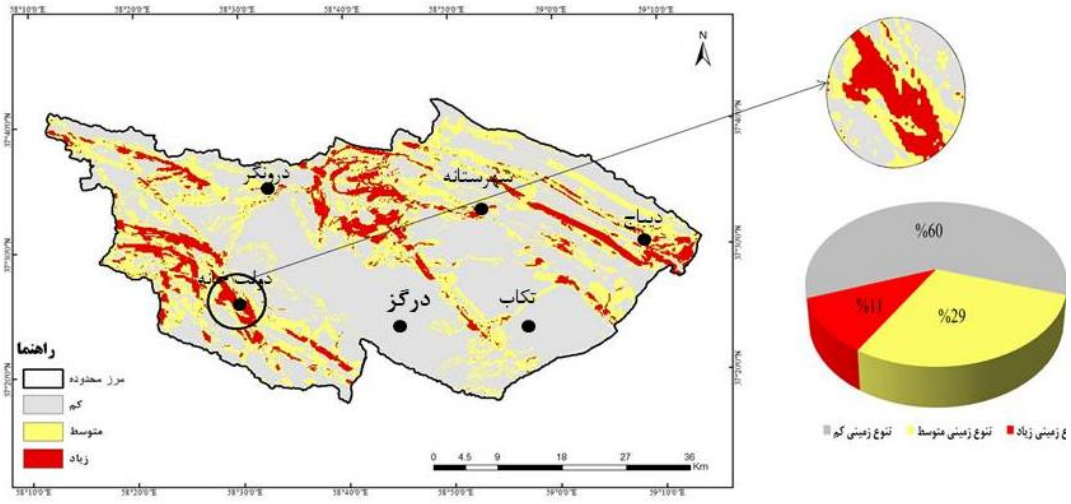
پس از واحد ژئومورفولوژی کوهستان پر حجم و مرتفع الله اکبر، مناطق با ژئودایورسیتی بالا شامل تیغه‌ها و دیواره‌های مرتفع کوهستان‌های داخلی واقع در قلمرو دشت، دیواره‌های مرتفع شمال حوضه منطبق بر خط الراس مرزی بین ایران و ترکمنستان و همچنین اراضی بدلندی حد فاصل این مجموعه‌هاست. کوهستان‌های داخلی بصورت تیغه‌های طولی کم عرض به موازات روند واحد کوهستان است که بصورت باقیمانده چین خوردگی های دوران سوم، در سطح دشت یکپارچگی آن را بر هم می‌زند. گسترش اراضی بدلندی حاصل فرسایش آب‌های جاری در سازندهای قرمز رسی–ژیپسی و مارن‌های سبزرنگ نئوژن در بخشهای وسیعی از نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه بر میزان ژئودایورسیتی افزوده است. در همین سازندها وقوع سایر حرکات دامنه‌ای از جمله لغزش، خزش و سولی‌فلوکسیون عامل دیگر تنوع بخشی به این مناطق است. با کاهش ارتفاع و شیب و تغییر کاربری‌های طبیعی میزان ژئودایورسیتی ابتدا به متوسط و سپس در سطح وسیعی از قلمرو دشت به درجه کم تغییر می‌یابد. این مناطق عمدتا شامل مخروط افکنه‌ها و دشت تراکمی است که البته مخروط افکنه‌ها در نسل‌های مختلف میتواند تفاوت‌هایی را در مقیاس بزرگتر بوجود آورد اما در روش موجود این تفکیک میسر نبوده و لذا همه در محدوده ژئودایورسیتی پایین قرار گرفته است. گرچه تنوع ژئومورفولوژیکی پایه اصلی تنوع زمینی در منطقه مورد

---

[1]- Stone banket
[2]- Kubalíková
[3]- Pellitero

مطالعه است، لیکن در جهت تامین روش مورد استفاده در این پژوهش و همچنین تدقیق پهنه بندی ژئودایورسیتی، نقشه‌های ژئومورفولوژی، زمین شناسی و کاربری اراضی با یکدیگر ترکیب و نقشه ژئودایورسیتی منطقه تهیه گردید.

نتایج به‌دست آمده در شکل ۸ نشان می‌دهد در حدود ۶۰ درصد از وسعت حوضه دارای تنوع زمینی کم که عمدتاً شامل نواحی دشتی و با ارتفاع کم و سنگ‌های نرمی مانند شیل و مارن بوده که غالبا دارای شیب ملایم با اشکال تپه ماهور است و مناطق پست حوضه را تشکیل می‌دهند، ۲۹ درصد از وسعت منطقه دارای تنوع متوسط با تراکم بالایی از اشکال فرسایش آبی مانند بدلند و حرکات سطح بسیار بالایی از حفظ برجستگی و منطبق بر واحد دامنه‌ای بالاخص سولی‌فلکسیون بوده و ۱۱ درصد نیز دارای تنوع بالا کوهستانی با میانگین ارتفاع ۲۰۰۰ متر می‌باشد که عوامل ژئومورفولوژی در این گونه ناهمواری‌ها از شدت بیشتری برخوردار هستند. تیرگان است که دارای حساسیت بالا در مقابل انحلال و همچنین به لحاظ زمین شناسی این محدوده شامل سازندهای آهکی فرایندهای فرسایشی میباشد.



شکل ۸: نقشه شاخص تنوع زمینی (GI)

در ادامه برخی از عوارض موجود در منطقه نیز نشان داده شده است (شکل ۹).

شکل ۹: الف) دیواره، ب) سولیفلکسیون، ج) گسل د) گالی، ه) هزار دره و) بستر رودخانه و تراس آبرفتی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با روشی جدید (در مطالعات انجام شده در ایران) به تهیه نقشه ژئودایورسیتی حوضه آبریز رودخانه درونگر پرداختیم که مشخص شد در بین تمام متغیرهای تعیین کننده سطح ژئودایورسیتی، متغیر ژئومورفولوژی بیشترین نقش را داشته و پیشنهاد می‌شود واحدها و عوارض ژئومورفولوژی در چنین مطالعاتی بعنوان نقشه پایه مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر تنوع خاکشناسی و حتی سطح بیودایورسیتی تابع شرایط ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. این شرایط در مناطق مرطوب قطعا متفاوت خواهد بود و تفوق و برتری با پوشش گیاهی متراکم خواهد بود. در این مطالعه نتایج نشان داد که در نقشه ژئومورفولوژی، مناطق پست، انرژی (حاصل از نیروی ثقل) کمتری داشته و این امر باعث می‌شود که نقش هر گونه عوامل مورفوژنیک به حداقل خود برسد و کمترین امتیاز مربوط به تنوع را دارا باشند در واقع این مناطق، محدودهایی با تنوع ژنی پایین (هموژن) بوده‌اند. میزان تنوع بالا مربوط به مناطق کوهستانی و مرتفع با حساسیت بالا و ارتجاع پایین بوده و می‌توان گفت در این محدوده سیستم هتروژن، دارای تنوع ژنی بالا و پیچیده بوده است و افزایش تنوع زمینی را در یک چشم انداز ژئومورفیک به همراه داشته است.

در مناطقی با امتیاز بالای کاربری اراضی، تاثیر بر عرصه‌های طبیعی به همراه بهره‌برداری غیر اصولی کم بوده، بالطبع تغییر و تخریب کاربری‌ها و پوشش و اکوسیستم‌ها کمتر بوده است، در مناطق با امتیاز پایین کاربری اراضی، اثرات انسانی است به دلیل از بین رفتن اشکال و لندفرم‌های ژئومورفیک حداکثر بوده و بیشترین تخریب و تغییر کاربری‌ها و پوشش وجود داشته است. کلاس با تنوع متوسط مربوط به سنگ‌های رسوبی است که مارن و شیل درصد عمده مربوط سنگ‌های رسوبی را در این منطقه پوشش می‌دهند، این سازندهای ریزدانه به دلیل ساختار خاص خود تراکم کافی و لازم جهت مقاومت در مقابل اثر عوامل آب و هوایی را نداشته و در صورت مواجهه با شرایط نامساعد به سرعت تخریب و فرسایش می‌یابند. کلاس سه شامل سازندهای آهکی و دولومیتی است و به دلیل حساسیت بالای این نوع از سنگ‌ها در برابر انحلال، اهمیت آن‌ها در ویژگی ناهمواری‌ها و پیدایش اشکال خاص دارای بیشترین امتیاز تنوع بوده است. همان‌طور که قبلا بیان شد در منطقه مورد مطالعه می‌توان بر روی مباحث مربوط به حفاظت زمینی به دلیل برخورداری از سه پارک ملی حفاظت شده از جمله پارک ملی تندروره به‌عنوان یکی از ذخایر طبیعی و حیاتی، و پدیده‌های ارضی و دیگر ویژگی‌های خاص متمرکز شد. همچنین با آگاهی از اهمیت پدیده‌های غیر زنده در این منطقه از تاثیرات انسانی مانند کاهش زیبایی شناختی چشم‌اندازهای دست نخورده، تغییر در فرم‌ها، فرایندهای طبیعی و چهره توپوگرافی، نابودی و آلودگی منابع سطحی و زیرزمینی، کاسته شده و اقدامات حفاظتی و امنیتی در جهت استفاده از ظرفیت‌های بالقوه در زمینه اقتصادی، کاربردی، آموزشی و زیبایی شناختی و صنعت توریسم انجام گیرد با توجه به مطالعات انجام شده پیشنهاد می‌گردد مرز مناطق حفاظت شده مانند پارک ملی تندوره توسعه بیشتری یابد و بر مرز مناطق با ژئودایورسیتی بالا در این پژوهش تطبیق یابد. همچنین با توجه به زیبایی اراضی بدلندی بخش شمالی منطقه و همچنین طیف رنگی سفید تا سبز و خاکستری آن‌ها می‌توان این مناطق را در زمره اراضی معروف به کوهای مریخی قرار داد و با توجه به دورافتادگی این مناطق و فقدان سکونتگاه‌های انسانی، محیطی بسیار آرام را برای فعالیت‌های تفریحی فراهم آورده که پیشنهاد می‌شود این اراضی بعنوان نواحی مناسب بازدیدهای ژئوتوریسمی معرفی گردد.

منابع

- باتجربه، م.، سپهر، ع. و حسین زاده، ر.، ۱۳۹۶. تهیه نقشه تنوع زمینی شهرستان مشهد بر پایه اختلاف حساسیت پذیری لندفرم‌ها، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال ششم، پاییز ۱۳۹۶، شماره ۲، صص ۱۱۵-۹۹.
- زمردیان، م. ج.، ۱۳۹۳. ژئومورفولوژی ایران (فرایندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی)، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
- حریریان، م.، ۱۳۶۹.کلیات ژئوموروفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی.
- حسین زاده، ر.، ۱۳۹۷. مبانی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- مختاری، ل. و بیرامعلی، ف.، ۱۳۹۶. محاسبه و تحلیل تنوع زمینی (تنوع زمینی، مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۵۵ ، شماره۲، صص ۳۲۲-۳۰۷.

- مختاری، ل.، نگهبان، س. و شفیعی، ن.، ۱۳۹۷. تحلیل مقایسه‌ای تنوع زمینی (تنوع زمین شناختی) در حوضه‌های شمال غربی استان فارس، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۳ صص ۱۶۳-۱۵۱.
- مقصودی، م.، مقیمی، الف.، یمانی، م.، رضایی، ن. و مرادی، الف.، ۱۳۹۸. بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن براساس شاخص GMI. پژوهش‌های مورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۱، صص ۶۹-۵۲.
- محمودی، ف.، ۱۳۸۵، ژئومورفولوژی ساختمانی، انتشارات دانشگاه پیام نور تهران.
- یزدی، عبدالله رحیم، دبیری، ،۱۳۹۴. درآمدی بر ژئودایورسیتی به عنوان پایه‌ای برای ژئوتوریسم، یافته‌های نون زمینشناسی کاربردی، سال ششم، شماره ۱۸، صص ۸۳-۷۴.
- *Betard, F. and Peulvast, J. P., 2019. Geodiversity hotspots: Concept, method and cartographic application for geoconservation purposes at a regional scale. Environmental management, 63(6), pp. 822-834.*
- *Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I. and 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.*
- *Church, M., 2011. Observations and experiments. In: Gregory, K.J., Goudie, A.S. (Eds.), the SAGE Handbook of Geomorphology. SAGE, London, pp. 121-141.*
- *Crisp, J. R., Ellison, J. C. and Fischer, A., 2021. Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 45(4), 514-540.*
- *de Paula Silva, J., Rodrigues, C. and Pereira, D. I., 2015. Mapping and analysis of geodiversity indices in the Xingu River basin, Amazonia, Brazil. Geoheritage, 7(4), 337-350.*
- *Forte, J. P., Brilha, J., Pereira, D. I. and Nolasco, M., 2018. Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. Geoheritage, 10(2), 205-217.*
- *Korf, E.D., 2020. Ocenka geoturisticheskoj znachimosti elementov georaznoobrazija na primere bassejna Verhnej Chui. 23.*
- *Ioannis, M. T., Ioannis, K. K. and Pavlides, S., 2006. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Boeotia central Greece). Tectonophysics, 453 (1-4), pp. 211-232.*
- *González Trueba, J.J., 2007. El Macizo Central de los Picos de Europa: geomorfología y sus implicaciones geoecológicas en la alta montaña cantábrica. PhD Thesis, Universidad de Cantabria.*
- Gray, M., 2004. Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature, John Wiley, Chichester, pp 434.
- *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., Gordon, J. E. and Brown, E. J., 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. Proceedings of the Geologists' Association, 124 (4), 659- 673.*
- *Gray, M., 2018. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. In: Geoheritage. Elsevier.*
- *Hani, A. F. M., Sathyamoorthy, D. and Asirvadam, V. S., 2011. A method for computation of surface roughness of digital elevation model terrains via multiscale analysis. Computers & Geosciences, 37 (2), pp. 177–192.*
- Jenness, J. S., 2004. Calculating landscape surface area from digital elevation models. *Wildlife Society Bullettin*, *32*(3), pp. 829-839.

- *Kubalíková, L., Bajer, A. and Balková, M., 2021. Brief notes on geodiversity and geoheritage perception by the lay public. Geosciences, 11(2), pp. 54-62.*
- *Lucchesi, S. and Giardino, M., 2012. The role of geoscientists in human progress. Annals of Geophysics, 55 (3), pp. 355-359.*
- Melelli, L., Vergari, F., Liucci, L. and Del Monte, M., 2017. Geomorphodiversity index: Quantifying the diversity of landforms and physical landscape. *Science of the Total Environment*, *584(1),* pp. 701-714.
- Melelli., L., 2014. Geodiversity: A New Quantitative Index For Natural Protected Areas ENHANCEMENT. *GeoJournal of Tourism and Geosites 1*(13), pp. 2-12.
- *Najwer, A., Borysiak, J., Gudowicz, J., Mazurek, M. and Zwoli´nski, Z., 2016. Geodiversity and biodiversity of the postglacial landscape (De¸bnica river catchment, Poland). Quaestiones Geographicae, 35 (1), pp. 5_28.*
- *Panizza, M., 2009. The geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): A key of geoheritage assessment. Geoheritage, 1(5), pp. 33-42.*
- *Pellitero, R., Manosso, F. C. and Serrano, E., 2014. Mid- and large-scale geodiversity calculation in Fuentes Carrionas (NW Spain) and Serra do Cadeado (Paraná, Brazil): methodology and application for land management. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography,*
- *Pellitero, R., Manosso, F. C. and Serrano, E., 2015. Mid- and large-scale geodiversity calculation in Fuentes Carrionas (NW Spain) and Serra do Cadeado (Parana, Brazil): methodology and application for land management. Annals of Geophysics, 97 (2), 219–235*.
- *Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J. and Santos, L., 2013. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. Environmental management, 52(3), pp. 541-552.*
- *Pérez-Umaña, D., Quesada-Román, A. and Tefogoum, G. Z., 2020. Geomorphological heritage inventory of Irazú volcano, Costa Rica. International Journal of Geoheritage and Parks, 8(1), 31-47.*
- *Quesada-Román, A. and Pérez-Umaña, D., 2020. Tropical paleoglacial geoheritage inventory for geotourism management of Chirripó National Park, Costa Rica. Geoheritage, 12(3), 1-13.*
- *Ruban, D. A., 2010. Quantification of geodiversity and its loss. Proceedings of the Geologists' Association, 121(3), 326–333*
- Serrano, E. and Ruiz-Flaño, P., 2007. Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica* no. 62(3), pp. 140–147.
- *Silva, J. P., Pereira, D. I., Aguiar, A. M. and Rodrigues, C., 2013. Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. Journal of Maps, 9(2), pp. 254–262*.
- *Stepišnik, U. and Trenchovska, A., 2018. A new quantitative model for comprehensive geodiversity evaluation: the Škocjan Caves Regional Park, Slovenia. Geoheritage , 10(1), pp. 39–48*.
- *Thomas, M. F., 2012. Geodiversity and landscape sensitivity: a geomorphological perspective. Scott. Geography Journal, 128(3-4), 195–210*.
- *Zwoliński, Z., Najwer., A. and Giardino, M., 2018. Methods for assessing geodiversity. In: Reynard E, Brilha J (eds) Geoheritage: assessment, protection, and management. Elsevier Inc., Amsterdam, pp. 27–52*.
- *Zwoliński, Z. and Stachowiak, J., 2012. Geodiversity map of the Tatra National Park for geotourism. Quaetiones Geographicae. 31:99–107.*