پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوازدهم، شماره ۲، پاییز ۱۴۰۲
صص. ۱۹-۱

ارزیابی ژئودایورسیتی با استفاده از شاخص کیفی–کمی GI (مطالعه موردی: استان لرستان)

مهران مقصودی * – دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
شیرین محمدخان– استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
سیامک شرفی – دانشیار گروه علوم جغرافیایی، دانشگاه لرستان.
پویا کامرانی– دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱ تائید نهایی: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

چکیده

تنوع عناصر غیر جاندار کره زمین و فرآیند های مرتبط با آنان که در مقیاس های گوناگون عمل می کنند، ژئودایورسیتی نام دارد. به طور کلی ارزیابی ژئودایورسیتی با استفاده از روش های کمی، کیفی و کمی-کیفی انجام می شود. هر یک از این روش ها، با گذر زمان و برای ارزیابی های ژئودایورسیتی توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته اند. به این صورت که در روش کیفی-کمی هر یک از زیر شاخص ها بر اساس میزان تاثیر گذاری بر ژئودایورسیتی وزن دهی می شود، که نتایج حاصل از آن نسبت به بقیه روش ها به واقعیت نزدیکتر است. با توجه به این مورد که تاکنون ارزیابی هایی که در درون کشور از ژئودایورسیتی مناطق مختلف انجام شده، کمی-کیفی نبوده است به همین منظور در این پژوهش اطلاعات مربوط به تنوع های ژئومورفولوژیکی، سنگ شناسی، واحد های خاک شناسی و هیدروژئولوژیکی تهیه و با استفاده از شاخص کیفی-کمی (GI) که مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و استفاده از پرسشنامه می باشد برای بررسی ژئودایورسیتی استان لرستان مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از بازدید های میدانی، پدیده های ژئومورفولوژیکی و زمین شناختی منطقه مورد مطالعه بررسی و با خروجی شاخص (GI) مقایسه و صحت سنجی شدند. نتایج نشان می دهد که مناطق جنوب غربی (پلدختر)، غربی (کانیون شیرز) و شرقی (اشتران کوه و قالی کوه) استان لرستان در طبقات ژئودایورسیتی بالا قرار می گیرند. مناطق اشاره شده می بایست به منظور بهره بندی از خدمات ژئوسیستمی آنان، مورد حفاظت زمین شناختی قرار بگیرند.

واژگان کلیدی: تنوع زمین شناختی، شاخص های ژئودایورسیتی، مدیریت حفاظت زمین شناختی، استان لرستان.

* نویسنده مسئول: E-mail: maghsoud@ut.ac.ir

مقدمه

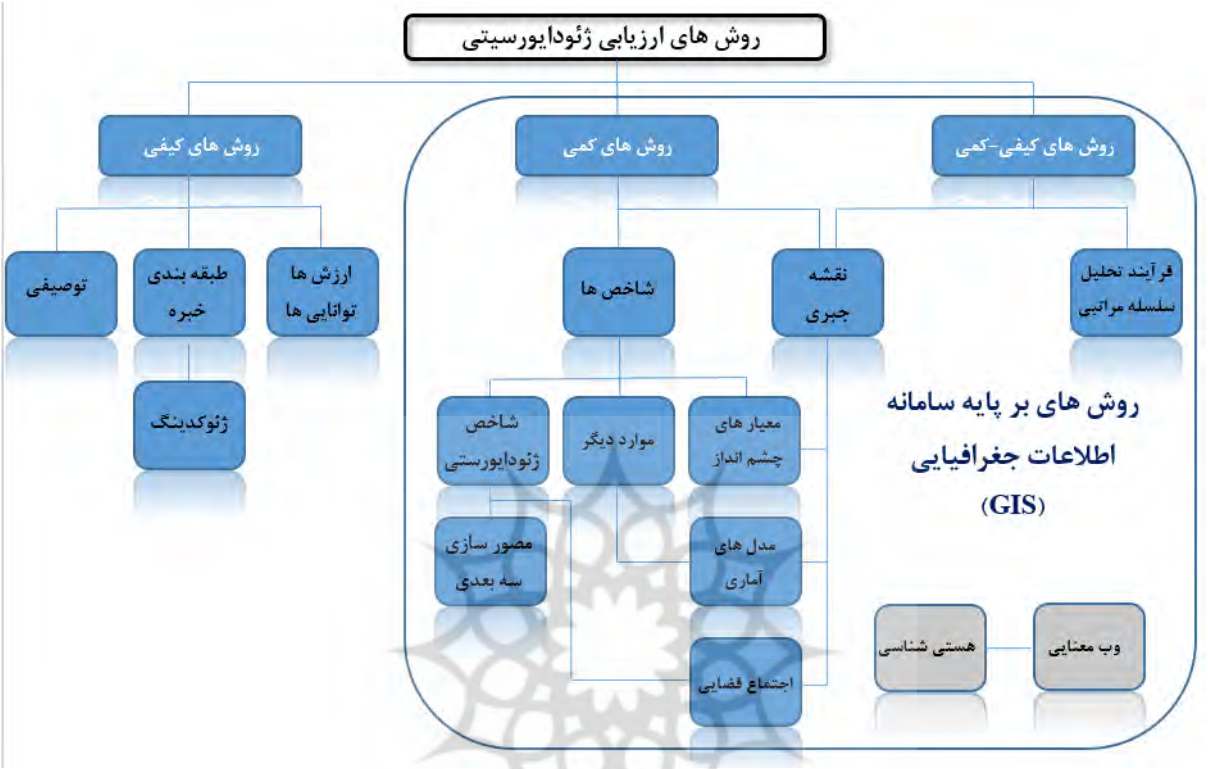
توجه به تنوع پدیده های طبیعی زمین در دهه های گذشته افزایش یافته است؛ و به طور اساسی این گوناگونی ها با وجود وابستگی به یکدیگر به دو دسته بیودایورسیتی و ژئودایورسیتی تقسیم می شود (هیوت و لیوتو ،۲۰۱۰). ژئودایورسیتی نخستین بار در سال ۱۹۹۶ میلادی در تاسمانی بکار گرفته شد و توسط کشور های نوردیک [۱](دانمارک، فنلاند، ایسلند، نروژ و سوئد)، ابعاد نظری و کاربردی آن گسترش یافت (توماس[۲]، ۲۰۱۲)؛ که اشاره به گوناگونی های طبیعی مرتبط با عوامل زمین شناختی (سنگ ها، کانی ها و فسیل ها)، ژئومورفولوژیکی (لندفرم ها)، دیرینه شناسی، معدنی، تکتونیکی، خاک، توپوگرافی و هیدرولوژیکی دارد (شارپلس[۳]، ۱۹۹۵؛ توماس، ۲۰۱۲؛ گری، ۲۰۱۹؛ مانوسو و همکاران[۴]، ۲۰۲۱)، همچنین این علم به فرآیند هایی که مناظر زمین را شکل می دهند توجه خاصی دارد (کزلوفسکی[۵]، ۲۰۰۴). به طور کلی در ادبیات حفاظت زمین شناختی دو دیدگاه اصلی در مورد ژئودایورسیتی مطرح است؛ دیدگاه اول که منسوخ شده و غیر اکادمیک است به این موضوع می پردازد که ژئودایورسیتی تنها تنوع عوامل زمین شناختی، ژئومورفولوژیکی و خاک شناسی در یک منطقه است و از نظر کاربردی ارزشی ندارد؛ اما دیدگاه دوم بیان می کند که ژئودایورسیتی پایه تنوع های طبیعی موجود بر روی کره زمین است (باروسا[۶]، ۱۹۹۲؛ وودکوک[۷]، ۱۹۹۴؛ فوستر[۸]، ۱۹۹۷؛ گری[۹]، ۲۰۱۳؛ کروفتس و گوردن[۱۰] ،۲۰۱۵؛ بیر و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۵؛ چان و همکاران [۱۲]، ۲۰۱۶؛ پیکولو[۱۳]، ۲۰۱۷؛ گری، ۲۰۱۸؛ بریلها و همکاران[۱۴] ، ۲۰۱۸؛ رینارد و گیوستی[۱۵]، ۲۰۱۸؛ روبن و همکاران[۱۶]؛ ۲۰۲۰؛ چاکرابورتیا و گری[۱۷]، ۲۰۲۰؛ راجریگس و همکاران[۱۸]، ۲۰۲۱) و علاوه بر ارزش ها و خدماتی که برای جوامع طبیعی و انسانی دارد، میراثی است که می بایست برای جوامع امروزی و نسل های آینده مورد حفاظت زمین شناختی قرار بگیرد (شارپلس[۱۹]، ۲۰۰۲؛ گوردن[۲۰]، ۲۰۱۹؛ فاکس و همکاران[۲۱]، ۲۰۲۲).

به طور کلی ژئودایورسیتی به سه روش کیفی، کمی و کیفی-کمی (شکل۱-۱) مورد ارزیابی قرار می گیرد (رینارد و بریلها[۲۲]، ۲۰۱۸)؛ و مشکل بزرگ داده های کمی و کیفی-کمی، مسئله اعتبار سنجی آن ها است؛ که باید خروجی کار با روش هایی مانند مشاهدات میدانی و نقشه های زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی مورد مقایسه و صحت سنجی قرار بگیرند (مللی و همکاران[۲۳]، ۲۰۱۷). در واقع مشخص کردن مناطقی که از تنوع های زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی برخوردار

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Nordic countries
2. Thomas
3. Sharples
4. Manosso & et al
5. Kozlowski
6. Bourassa
7. Woodcock
8. Foster
9. Gray
10. Crofts & Gordon
11. Beier and et al
12. Chan and et al
13. Piccolo
14. Brilha & et al
15. Reynard & Giusti
16. Ruban & et al
17. Chakraborty & Gray
18. Rodrigues & et al
19. Sharples
20. Gordon
21. Fox & et al
22. Reynard & Brilha
23. Melelli & et al

هستند گامی مهم در جهت مدیریت این نواحی به منظور حفاظت از میراث زمین شناختی به شمار می رود (داسیلوا و همکاران[1]، ۲۰۱۹).



شکل۱: روش های ارزیابی ژئودایورسیتی (رینارد و بریلها، ۲۰۱۸)

روش های کمی بر پایه مجموعه ای از شاخص ها و متغیر ها استوار است که با استفاده از آنان ژئودایورسیتی یک منطقه مورد سنجش قرار می گیرد (بریلها و همکاران، ۲۰۱۸). در واقع اساس این مدل ها بنیان های ریاضی و زمین آماری هستند؛ که تفاوت مهم موجود در بین آنان، به شیوه های کارتوگرافیکی بکار گرفته شده بستگی دارد (کوزلوسکی[2]، ۲۰۰۴؛ رینارد و همکاران[3]، ۲۰۰۷؛ کوت[4]، ۲۰۱۴، داپائولا سیلوا و همکاران[5]، ۲۰۱۴). روش های کیفی دارای رویکردی توصیفی هستند و برای داده هایی مناسب می باشند که از نظر آماری دارای ویژگی های اسمی و ترتیبی باشند؛ که در تفسیر آنان اغلب نظر و سلیقه شخص ارزیاب دخیل می شود. روش های کیفی-کمی نیز ناشی از ترکیب داده های کمی (مانند: مدل های رقومی) و داده های کیفی (پرسشنامه ای) هستند؛ که از نتایج قابل اعتمادتری در ارزیابی ژئودایورسیتی برخوردار است که گسترش آنان در آینده می بایست بر پایه هستی شناسی و وب معنایی (شکل ۱) به پیش برود. (رینارد و بریلها، ۲۰۱۸). در مورد مسائل مربوط به ژئودایورسیتی و ارزیابی آن در سطح بین الملل، می توان به برخی از پژوهش های انجام شده توسط سرانو و فلانو[6](۲۰۰۷)، توماس (۲۰۱۲)، اریکستاد[7] (۲۰۱۳)، بریلها و همکاران (۲۰۱۸)، گری (۲۰۱۹)، بتارد و

1. Da Silva et al
2. Kozlowski
3. Reynard and et al
4. Kot
5. De Paula Silva and et al
6. Serrano E, Ruiz-Flaño
7. Erikstad

پیولواست[1] (۲۰۱۹)، کریسپ و همکاران[2] (۲۰۲۰)، فاکس و همکاران (۲۰۲۰)، احمدی و همکاران[3] (۲۰۲۱)، مورا و موتاگارسیا[4] (۲۰۲۱)، کوبالیکوا و همکاران[5] (۲۰۲۱)، مورا و همکاران (۲۰۲۱) و تاکائوکا و همکاران[6] (۲۰۲۲) اشاره کرد؛ که از بنیان های نظری ژئودایورسیتی و سنجش کیفی آن به ارزیابی کمی و سپس کیفی–کمی رسیده اند و در حال حاضر تمرکز بر روی ارتباط متقابل ژئودایورسیتی و خدمات اکوسیستمی ناشی از آن است. در سطح داخلی، می توان به کارهای انجام شده توسط گلی مختاری و همکاران (۱۳۹۷)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۸)، سیستانی بدوئی و همکاران (۱۴۰۰)، صالحی پور میلانی (۱۴۰۰) و قهرودی تالی و همکاران (۱۴۰۱) اشاره کرد که با استفاده از روش های کمی به ارزیابی ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی بعضی از مناطق ایران پرداخته اند؛ اما تاکنون در درون کشور مطالعه ای با استفاده از روشی کمی–کیفی، ژئودایورسیتی را مورد ارزیابی قرار نداده است.

یکی از روش های کمی–کیفی در زمینه ارزیابی ژئودایورسیتی، مدل (GI[7]) است که دارای چهار زیر شاخص تنوع ژئومورفولوژیکی، تنوع سنگ شناسی، تنوع هیدروژئولوژیکی و تنوع واحد های چشم انداز خاک است که در سال ۲۰۲۱ توسط فراندو و همکاران[8] معرفی و کارایی آن در کشور ایتالیا و منطقه ساحلی لیگوریا[9] اثبات شد. این پژوهش به دنبال آن است که علاوه بر بکار گیری این شاخص در یکی از مناطق کوهستانی ایران (استان لرستان)، ژئودایورسیتی آن را نیز به منظور اهداف حفاظت زمین شناختی و بهره مندی از ارزش ها و خدمات ژئوسیستمی آن مورد ارزیابی قرار دهد.

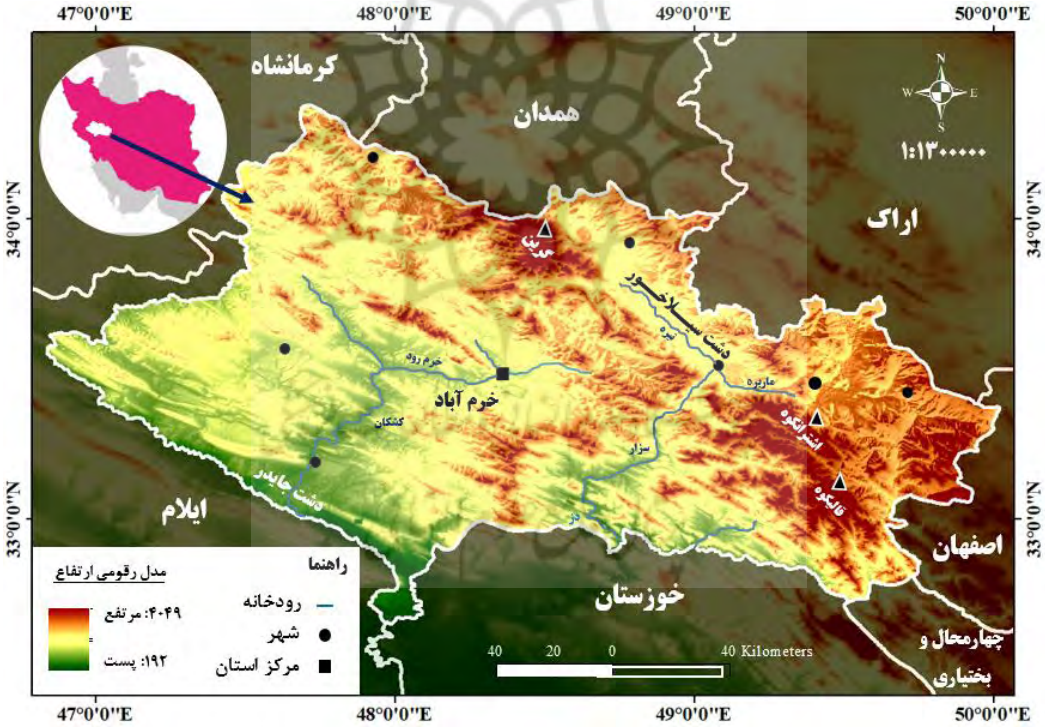
منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در غرب فلات و کشور ایران قرار گرفته است که بخشی از رشته کوه های زاگرس است. به طور کلی مرتفع ترین و پست ترین نقاط به ترتیب در مناطق شمالی و جنوبی این استان قرار دارد. بیشتر مساحت استان لرستان را ناهمواری های رشته کوه زاگرس تشکیل داده است. میانگین ارتفاع این استان از سطح دریا ۱۷۲۰ متر می باشد. بر پایه تقسیم بندی اشتوکلین (۱۹۶۸)، استان لرستان در سه واحد ساختاری زمین شناسی (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ درویش زاده و محمدی، ۱۳۸۹) (شکل ۲) واقع شده است که بخش هایی از شمال غرب استان یعنی جنوب شهر بروجرد و حوالی ارتفاعات گرین، منطبق بر آمیزه های رنگین (افیولیت ملانژها) به سن ماشتریشتین است که حاوی فسیل های پالئوزوئیک تا کرتاسه است (قرشی و آرین، ۱۳۸۹). دو گروه اصلی سنگ شناسی به دلیل واقع بودن استان لرستان بر دو منطقه ساختاری زمین ساختی (سنندج – سیرجان و زاگرس) مشاهده می شود. شدت و طول موج چین خوردگی سازند های استان لرستان در همه جا یکسان نیست؛ بلکه هر چه از قسمت های جنوب غربی به سمت شمال–شرقی پیش می رویم از نظم چینه شناسی (حالت ژورایی) کاسته شده و در نواحی شمالی و شمال شرقی استان سازند ها به شدت گسل خوردگی پیدا کرده اند. بر اساس سیستم رده بندی جامع خاک های ایران (موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۹۴) خاک های استان لرستان را براساس صفات و عواملی که در تشکیل و تکامل خاک ها و توان آن ها برای رشد و نمو گیاهان تاثیر گذار و قابل اندازه گیری می باشند را می توان به ۵ رده اصلی اینسپتی سویل، ورتی سویل، بدلند، آنتی سویل با رخنمون سنگی و اینسپتی سویل با رخنمون سنگی تقسیم کرد.

---

1. Betard & Peulvast
2. Crisp & et al
3. Ahmadi & et al
4. Moura & Motta Garcia
5. Kubalíková & et al
6. Takaoka & et al
7. Geodiversity Index
8. Ferrando and et al
9. Liguria

از نظر ژئومورفولوژی این استان دارای اشکال متنوعی مانند لندفرم های آبرفتی (مخروط افکنه ها، پادگانه ها، دشت های آبرفتی) لندفرم های یخچالی (یخرفت ها، سیرک های یخچالی، دره های یخچالی، دریاچه های یخچالی)، لندفرم های ناشی از حرکات دامنه ای (ریزش، خزش، لغزش)، لندفرم های کارستیک (دره های طولی و عرضی، تنگ ها، کانیون ها، غارها، آبشارها، چشمه ها، هوگ بک ها، اشکال شبه کواستا، اشکال کوچک مقیاس کارستیک) و ژئوهیدرولوژیکی (دریاچه های سدی، تالاب های طبیعی و رودخانه ها) است (به طور مثال: ابرلندر، ۱۳۷۹؛ معیری و محمودی، ۱۳۸۵؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مقیمی، ۱۳۹۲؛ یاراحمدی و بیرانوند، ۱۳۹۳؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۴؛ شرفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ یاراحمدی و شرفی، ۱۳۹۵؛ احمد آبادی و فتح الله زاده، ۱۳۹۷؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷؛ رامشت و باباجمالی، ۱۳۹۸؛ یمانی و هداوند، ۱۴۰۰؛ علائی طالقانی، ۱۴۰۰؛ جداری عیوضی، ۱۴۰۰). همچنین از نظر اقلیمی و با استفاده از تحلیل خوشه ای، استان لرستان را می توان به چهار ناحیه: ۱- نیمه مرطوب با زمستان بسیار سرد (شهرستان های ازنا و الشتر)، ۲- نیمه مرطوب با تابستان نسبتا گرم و زمستان سرد (شهرستان های الیگودرز و بروجرد)، ۳- نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان معتدل (شهرستان های خرم آباد و کوهدشت)، ۴-نیمه خشک با تابستان بسیار گرم و زمستان نسبتا سرد (شهرستان پلدختر) تقسیم کرد (رضائی بنفشه و کاکولوند، ۱۳۹۲).



شکل۲: نقشه استان لرستان (منطقه مورد مطالعه)

موارد و روش ها

نوع تحقیق کاربردی- توسعه ای و روش آن تحلیلی- میدانی می باشد. این پژوهش به دلیل استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی به منظور بهبود روش های ارزیابی و پاسخ دهی به نیازهای مدیریتی و حفاظتی در حوزه تحقیقات کاربردی-توسعه ای قرار گرفته است؛ و همچنین به دلیل استفاده از مدل های ارزیابی و صحت سنجی آنان به صورت میدانی دارای روش تحلیلی- میدانی می باشد. با توجه به این نکته که بیشتر پژوهش های صورت گرفته در زمینه ارزیابی های مربوط به ژئودایورسیتی، توسط پژوهشگران خارجی انجام شده است، از منابع کتابخانه ای لاتین نیز استفاده بیشتری شده است.

همچنین از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ الشتر، الیگودرز، بروجرد، دورود، هرسین، کبیرکوه، خرم آباد، کوهدشت، ملایر، پلدختر، نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، نقشه ۱:۳۰۰۰۰۰ رده های اصلی خاک های لرستان تهیه شده توسط موسسه خاک و آب و داده های ماهواره Sentinel-2 A پوشش استان لرستان به عنوان داده های تصویری در قسمت های مختلف این پژوهش استفاده شده است.

با توجه به این نکته که بسیاری از روش هایی که برای ارزیابی ژئودایورسیتی مورد استفاده دیگر پژوهشگران قرار گرفته اغلب روش هایی کیفی یا کمی بوده است؛ به دلیل دقت، قابلیت اعتماد، عدم دخالت سلیقه های شخصی و سادگی، اکثر این پژهش ها از روش های کمی به منظور سنجش ژئودایورسیتی نواحی مورد مطالعه خود استفاده کرده اند (زولینسکی و همکاران، ۲۰۱۸؛ مانوسو و همکاران[1]، ۲۰۲۱). در این میان روشی که اساس آن به طور همزمان کیفی و کمی باشد، خروجی صحیح تری از ژئودایورسیتی می تواند ارائه دهد (رینارد و بریلها، ۲۰۱۸). به همین دلیل این پژوهش از شاخص (GI[2]) که روشی کمی- کیفی و بر پایه استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و پرسشنامه می باشد به منظور ارزیابی ژئودایورسیتی استان لرستان استفاده کرده است. حجم نمونه ها نیز با استفاده از فرمول کوکران مورد محاسبه قرار گرفت. در واقع این شاخص مبتنی بر مدلی است که اولین بار توسط پریرا[3] (۲۰۱۳) پیشنهاد شد و زیر شاخص های آن مطابق با اجزای اصلی ژئودایورسیتی یعنی: تنوع سنگ شناسی، تنوع ژئومورفولوژیکی، تنوع هیدروژئولوژیکی و تنوع واحد های چشم انداز خاک می باشند (فراندو و همکاران[4]،۲۰۲۱). برای سنجش تنوع ژئومورفولوژیکی که یکی از زیر شاخص های مدل ارزیابی ژئودایورسیتی است، از شاخص (GmI[5]) استفاده گردید که توسط مللی و همکاران[6] در سال ۲۰۱۷ معرفی شده است.

شاخص ژئودایورسیتی

این شاخص دارای ۴ زیر شاخص (زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و چشم انداز های خاک) می باشد (رابطه ۱). در این شاخص با توجه به مدل رقومی ارتفاع و مساحت منطقه مورد مطالعه، هر زیر شاخص به یک نقشه رستری تبدیل شد و سپس با یک شبکه با اندازه پیکسلی ۲۰۰۰*۲۰۰۰ که متناسب با داده های ورودی است پوشیده شده و در نهایت برای هر یک از سلول های شبکه، از تابع تنوع موجود در ابزار "Zonal Statistics" استفاده گردید. نتایج حاصل از عملگر "تنوع" برای هر شاخص به پنج طبقه بر اساس خطوط شکست طبیعی جنکس[7] (۱۹۶۷) یعنی طبقه های: ۱-ژئودایورسیتی خیلی کم ۲-ژئودایورسیتی کم ۳-ژئودایورسیتی متوسط ۴-ژئودایورسیتی بالا و ۵-ژئودایورسیتی خیلی بالا تقسیم می شود.

$$GI = Wg \times Geo\ Index + Wm \times Geomorph\ Index + Wh \times Hodro\ Index + Ws \times soil\ LU\ Index$$ رابطه (۱)

1. Manosso & et al
2. Geodiversity Index
3. Pereira
4. Ferrando
5. Geomorphodiversity Index
6. Melelli & et al
7. natural breaks jenks

که Geo Index شاخص ژئودایورسیتی، Geomorph Index شاخص تنوع ژئومورفولوژیکی، Hodrogeo Index شاخص تنوع هیدروژئولوژیکی و SLU Soil Index شاخص تنوع چشم انداز واحد های خاک است. همچنین Wh،Wm،Wg و Ws وزن هایی است که برای هر شاخص بر اساس نظرات کارشناسی خبرگان و بر پایه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) در نظر گرفته می شود و در نهایت چهار زیر شاخص ژئودایورسیتی با توجه به وزن های دریافتی با یکدیگر جمع می شوند. خروجی ایجاد شده دوباره به پنج طبقه از ۱ (ژئودایورسیتی خیلی کم) تا ۵ (ژئودایورسیتی خیلی بالا) بر اساس الگوریتم شکست طبیعی جنکس (۱۹۶۷) تقسیم و نقشه نهایی ژئودایورسیتی منطقه مورد مطالعه تهیه می شود. در ادامه به بررسی هر یک از زیر شاخص های مدل ارزیابی ژئودایورسیتی پرداخته می شود.

زیر شاخص های ژئودایورسیتی

شاخص تنوع سنگ شناسی (Geo Index)

این شاخص بر اساس محاسبه تنوع سنگ شناسی (بدون نظر گرفتن فرسایش پذیری) است. روش کار به این صورت است که نقشه های زمین شناسی یک منطقه تهیه می شوند و اطلاعات مربوط به سازند های زمین شناسی و سنگ شناسی به یک لایه رستری تبدیل شده و در انتها بر اساس تابع "تنوع" گوناگونی های مربوط به عامل زمین شناسی به پنج طبقه تقسیم می شود (فراندو و همکاران، ۲۰۲۱).

شاخص تنوع هیدروژئولوژیکی (Hydrogeological Index)

با توجه به نقشه های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، یک طبقه بندی به منظور مشخص کردن مجموعه های هیدروژئولوژیکی بر اساس انواع نفوذ پذیری سازند های زمین شناسی استان انجام شد، که طبقات آن عبارتند از: ۱) سنگ های کارستیک ۲) سنگ های متخلخل و رسوبات ۳) سنگ های شکسته شده با نفوذ پذیری کم ۴) سنگ های شکسته شده با نفوذ پذیری متوسط ۵) سنگ های شکسته شده با نفوذ پذیری بالا. تعیین رتبه نفوذ پذیری سازند های زمین شناسی استان لرستان بر اساس مراجعه به برخی از منابع کتابخانه ای (فرهادی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶؛ قبادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ دهداری فر و همکاران، ۱۳۹۸؛ سعیدیان و مرادی، ۱۳۹۲؛حسنوند و همکاران، ۱۴۰۰) تعیین شد.

شاخص تنوع ژئومورفولوژیکی (Geomorphology Index)

مدل GmI[2] از مجموع پنج زیر شاخص موثر بر ژئومورفودایورسیتی که توسط مللی در سال ۲۰۱۷ معرفی شد، محاسبه می شود (رابطه ۲).

$$GmI = (Geo)\ V + (Dd)\ V + (Rg)\ V + (Sp)\ V + (Lc)\ V$$ رابطه (۲)

زیر شاخص های ژئومورفودایورسیتی عبارتند از:

- عامل V (Geo) نقشه رستری طبقه بندی شده تنوع زمین شناسی
- عامل V (Dd) نقشه رستری طبقه بندی شده تنوع زهکشی

[1]. Analytic hierarchy process
[2]. Geomorphodiversity Index

- عامل v (Rg) نقشه رستری طبقه بندی شده تنوع زبری زمین
- عامل v(Sp) نقشه رستری طبقه بندی شده تنوع وضعیت شیب
- عامل v (Lc) نقشه رستری طبقه بندی شده تنوع لندفرمی

گوناگونی عوامل (V) مربوط به هر نقشه ی رستری به V1 (بسیار کم) V2 (اندک) V3 (متوسط) V4 (زیاد) و V5 (بسیار زیاد) با استفاده از الگوریتم شکست طبیعی (جنکس، ۱۹۶۷) طبقه بندی شدند. برای سنجش ژئومورفودایورسیتی یک منطقه لازم است تنوع فضایی مربوط به ویژگی های زمین شناسی یک منطقه مورد ارزیابی قرار بگیرد. برای دستیابی به این هدف رسوبات و سنگ ها (بر اساس فرسایش پذیری) به پنج طبقه (به ترتیب از فرسایش پذیری کم تا فرسایش پذیری زیاد) تقسیم شده است.[۱] برای محاسبه کمی تنوع شبکه زهکشی یک منطقه ابتدا لایه رستری شبکه آبراهه ها تهیه و سپس لایه تولیدی وارد نرم افزار Arc GIS شده و با استفاده از ابزار line Density تراکم خطی رودخانه ها مشخص و طبقه بندی شد. سومین عامل مورد نیاز برای تهیه نقشه ژئومورفودایورسیتی، نقشه طبقه بندی شده زبری زمین است که با استفاده از آن می توان احتمال وجود یا عدم وجود لندفرم را در یک پهنه ی جغرافیایی سنجید (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۸). در این مطالعه برای محاسبه زبری زمین از شاخص ERR[۲] (پیک و ویلسون[۱]، ۱۹۷۱) استفاده شده است (رابطه، ۳).

(۳) رابطه $ERR = (z(mean) - z(min))/(z(max) - z(min))$

پس از ایجاد نقشه رستری زبری زمین، خروجی آن به پنج طبقه تقسیم می شود. همچنین به منظور ارزیابی کمی وضعیت شیب و تنوع لندفرمی، از شاخص موقعیت توپوگرافی TPI[۳] (رابطه ۴) استفاده شد (ویس،۲۰۰۱). در نهایت بر اساس مقادیر به دست آمده بر پایه جدول طبقات شیب در فاکتور وضعیت شیب و طبقات لندفرم در فاکتور طبقه بندی لندفرمی که توسط ویس در سال ۲۰۰۱ معرفی شد، نتایج به ۶ کلاس برای وضعیت شیب و ۱۰ کلاس برای طبقه بندی لندفرم تقسیم و برای هر یک تابع کانونی تنوع اعمال می شود. سپس لایه های رستری پنج عامل مرتبط با ژئومورفودایورسیتی با یکدیگر جمع و نقشه ایجاد شده برای استفاده در شاخص ژئودایورسیتی به طور مجدد به سه طبقه تقسیم می شود.

(۴) رابطه $TPI_{pt} = H_{pt} - \mu_{pt}$

که:

H_{pt} = مقدار ارتفاع در هر سلول

μ_{pt} = میانگین ارتفاع در همسایگی هر سلول

پس از ایجاد نقشه رستری شاخص موقعیت توپوگرافی، اطلاعات به پنج دسته بر اساس روش طبقه بندی شکست های طبیعی جنکس[۴] تقسیم شد، که عبارتند از:

---

[۱] *در هردو شاخص ژئودایورسیتی (GI) و ژئومورفودایورسیتی (GmI)، تنوع سنگ شناسی مورد ارزیابی قرار می گیرد؛ اما تفاوت مهم در این است که سنگ ها و رسوبات در شاخص ژئومورفودایورسیتی بر اساس فرسایش پذیری و در شاخص ژئودایورسیتی بدون در نظر گرفتن عامل فرسایش طبقه بندی می شوند و سپس عملگر تنوع بر روی سلول های نقشه های رستری ایجاد شده، اعمال می شود.*

2. Elevation Relief Ratio
3. Topographic position Index
4. Jenks natural breaks classification method

- دره < -۱
- -۱ ≤ دامنه ≤ -۰.۵
- -۰.۵ ≤ سطح مسطح ≤ ۰.۵
- ۰.۵ ≤ دامنه ≤ ۱
- ۱ ≤ یال

شاخص واحد های چشم انداز خاک (Soil Landscape Unites Index)

به منظور محاسبه این شاخص اطلاعات کاربری اراضی و رده های اصلی خاک استان با یکدیگر ترکیب و نقشه رستری واحد های چشم انداز خاک تشکیل و در نهایت تابع تنوع برای اطلاعات آن اعمال شد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

برای تعیین وزن های مربوط به هر زیر معیار شاخص ژئودایورسیتی، استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سودمند خواهد بود (سنتوس و همکاران، ۲۰۱۷). این روشی توانمند به منظور کار با فرآیند های چند معیاره و چند منظوره است؛ که شیوه ای سازگار با معیارها و اهداف چندگانه در مسائل مربوط به تصمیم گیری است (کریمی و همکاران، ۱۳۸۸؛ ساعتی، ۱۹۹۰). به همین منظور برای بدست آوردن وزن های مربوط به هر یک از زیر شاخص های ژئودایورسیتی، پرسشنامه ای تهیه شد و در اختیار افراد خبره قرار گرفت و سپس نتایج حاصله وارد نرم افزار Expert choice 11 شده و پس از محاسبه نرخ ناسازگاری، وزن هر یک از زیر معیار ها مشخص شدند.

شکل ۳: مدل فرآیندی پژوهش

بحث

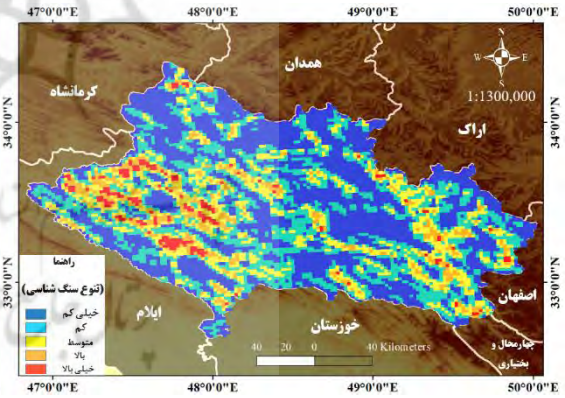
ارزیابی ژئودایورسیتی استان لرستان

زیر شاخص های ژئودایورسیتی

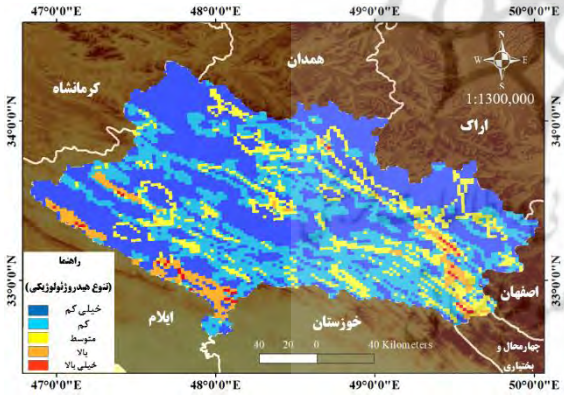
در شکل های ۴-۵-۶-۷ به ترتیب شاخص های تنوع سنگ شناسی، تنوع هیدروژئولوژیکی، واحد های چشم انداز خاک و ژئومورفولوژی بر اساس خطوط شکست طبیعی به پنج طبقه تنوع خیلی کم (V1) تنوع کم (V2) تنوع متوسط (V3) تنوع زیاد (V4) و تنوع خیلی زیاد (V5) تقسیم شده اند.

زیر شاخص تنوع سنگ شناسی

بر اساس شکل-۴ حدود ۵٪ از مساحت استان که بیشتر شامل قسمت های غربی می باشند، در طبقه تنوع بسیار بالای سنگ شناسی قرار گرفته اند. این مناطق شامل مله کوه و مناطق شمالی آن، رشته کوه هشتاد پهلو و مناطق غربی و شمال غربی شهر کوهدشت به ویژه ارتفاعات دارتاوی، بلوران و شیرز است؛ که دارای تنوع در سنگ های شیل آهکی، انیدریت، رس آهکی، آهک خاکستری و آهک قهوه ای سازند های آسماری، شهبازان، کندوان، گچساران، تله زنگ و نهشته های آبرفتی دوران چهارم زمین شناسی می باشد. طبقات تنوع های بالا و متوسط به ترتیب با پوشش ۷٪ و ۱۸٪ مساحت استان بیشتر منطبق بر سفید کوه خرم آباد، کوه خرگوشان پلدختر و دامنه های شمالی و جنوبی ارتفاعات اشتران کوه و قالی کوه است. سایر قسمت های استان که اغلب شامل دشت ها و مناطق شمالی استان هستند، در طبقات تنوع کم و خیلی کم تنوع سنگ شناسی به ترتیب با ۳۱٪ و ۴۱٪ قرار گرفته اند.



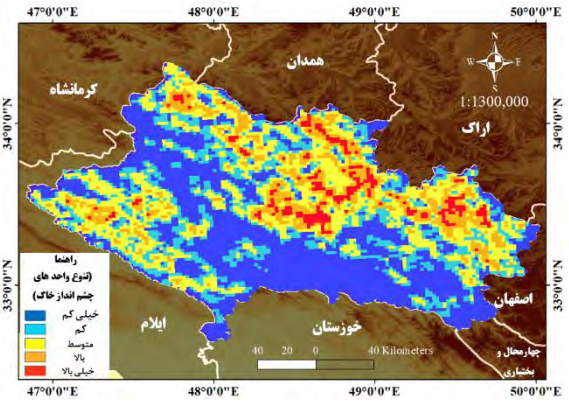
شکل ۴: شاخص تنوع سنگ شناسی استان لرستان



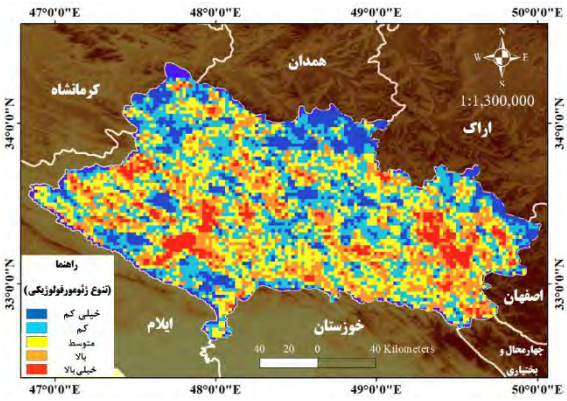
شکل ۵: شاخص تنوع هیدروژئولوژی استان لرستان

زیر شاخص تنوع هیدروژئولوژی

دیگر زیر شاخص مورد مطالعه تنوع هیدروژئولوژیکی (شکل ۵) است که طبقه V5 آن کمتر از ۱٪ مساحت استان را در برگرفته است. این مناطق شامل تالاب ها و تاقدیس چناره، تنگ فنی، کانیون خزینه، تنگ پاعلم، ساحل شمالی سد سیمره و دامنه های شمالی اشتران کوه است؛ که دارای سنگ های متخلخل و تراوای گروه آسماری، دهرم، بنگستان، خامی و دیگر سازند ها و نهشته های کربناته است. طبقه های V4 و V3 به ترتیب با ۵٪ و ۱۴٪ پوشش مساحت استان، بیشتر بر ارتفاعات اطراف شهرهای الشتر و خرم آباد، دره وندی در غرب کوهدشت، دامنه های جنوبی اشتران کوه و ارتفاعات قالی کوه منطبق است. طبقات V2 و V1 نیز به طور مشترک ۸۱٪ از مساحت استان لرستان را زیر پوشش دارند.



شکل ۶: شاخص تنوع واحد های چشم انداز خاک استان لرستان



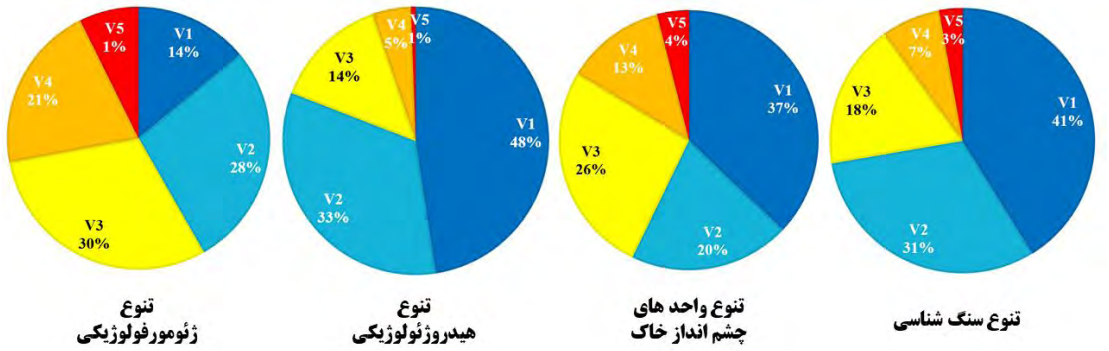
شکل ۷: شاخص تنوع ژئومورفولوژی استان لرستان

زیر شاخص تنوع واحد های چشم انداز خاک

بر اساس شاخص تنوع واحد های چشم انداز خاک (شکل ۶) مناطق شمالی و شمال شرقی استان لرستان که شامل دشت های ازنا، الیگودرز، دورود، بروجرد و خرم آباد می شوند، در طبقه تنوع خیلی بالا (V5) قرار گرفته اند؛ که ۴٪ از کل مساحت استان را در بر گرفته است. در واقع تنوع در رده های اصلی خاک (اینسپتی سول، ورتی سول، آنتی سول با رخنمون سنگ و اینپستی سول با رخنمون سنگ) و کاربری اراضی (زمین های کشاورزی آبی، دیم و پراکنده، باغ ها، جنگل، مرتع و شهری) باعث گوناگونی خیلی بالای واحد های چشم انداز خاک در این نواحی شده است. طبقه تنوع بالا (V4) با ۱۳٪ از مساحت استان، بیشتر بر قسمت های جنوب غربی و شمال شرقی استان و دشت بروجرد منطبق است و طبقات V3، V2 و V1 که در مجموع ۸۷ ٪ از مساحت زمین های استان را در بر می گیرد، اغلب منطبق بر ناهمواری ها و کوهستان های استان لرستان می باشند.

زیر شاخص تنوع ژئومورفولوژیکی

با توجه به شکل (۷) می توان دریافت که استان لرستان دارای تنوع ژئومورفولوژیکی بالایی است؛ به بیان دیگر، بیش از نیمی از استان (۵۲٪) در طبقات تنوع خیلی بالا (V5)، بالا (V4) و متوسط (V3) قرار گرفته اند. مناطقی که در طبقه تنوع خیلی بالا (V5) قرار دارند، عبارتند از: دشت دالانی الیگودرز، دامنه های جنوبی اشتران کوه، کانیون دائی و دریاچه گهر، برفچال های دامنه های شمال غربی اشتران کوه، ارتفاعات سپیدشت و کوه پریز در جنوب شهر دورود، دره دیالی و شیرز واقع در شمال غربی کوهدشت، تنگ ملاوی و تنگ پلدختر. در واقع تنوع های مربوط به خطوط زهکشی، موقعیت توپوگرافی، زبری زمین، لندفرمی و رسوبی در افزایش ارزش ژئومورفودایورسیتی مناطق اشاره شده تاثیر گذار بوده است. درصد هر یک از طبقات در زیر شاخص های ژئودایورسیتی در شکل (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۸: نمودار دایره ای درصد هر یک از طبقات در زیر شاخص های ژئودایورسیتی استان لرستان

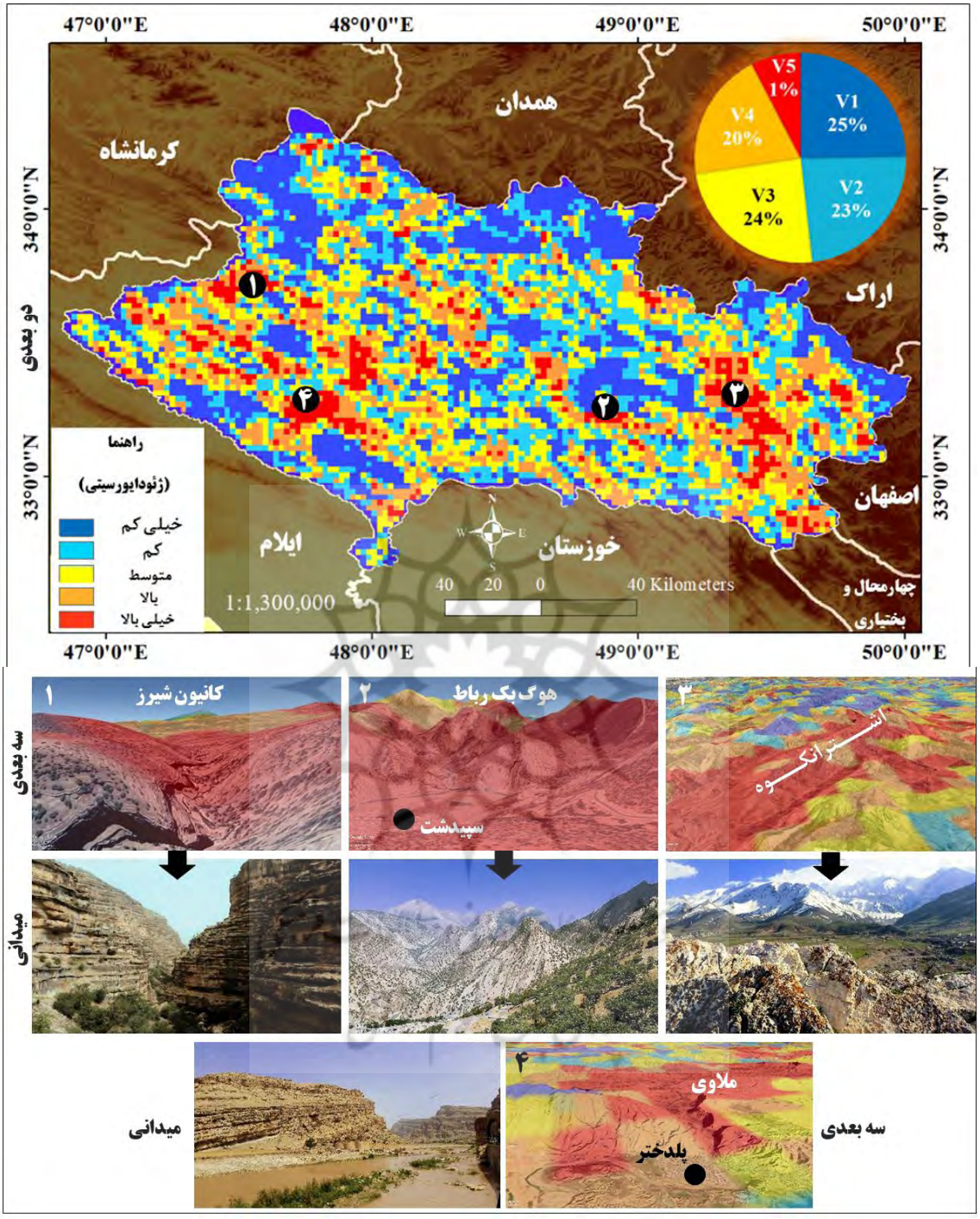
ارزیابی نهایی ژئودایورسیتی استان لرستان با استفاده زیر شاخص های وزن دهی شده

به منظور محاسبه نهایی ژئودایورسیتی استان لرستان به هر یک از شاخص های تنوع با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1] وزن هایی اختصاص داده شد. به این صورت که ارجحیت هر یک از ۴ شاخص تنوع بر اساس پرسشنامه ای که دارای اعداد ۱ تا ۹ بود در بین کارشناسان آشنا به مسائل ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی توزیع شد؛ و پس از دریافت بازخورد ها، نتایج وارد نرم افزار Expert choice 11 شدند. با ایجاد ماتریس مقایسه زوجی در نرم افزار نامبرده شده و قرار داشتن نرخ ناسازگاری ماتریس در محدوده مجاز (۰/۰۴) (شکل ۹) وزن های هر یک از زیر معیار های ارزیابی ژئودایورسیتی بدون حذف یکی از آن ها بدست آمد.

شکل ۹: ایجاد ماتریس مقایسه زوجی و نمایش نرخ ناسازگاری (تصویر راست) و محاسبه وزن هر یک از زیر معیار های ژئودایورسیتی (تصویر چپ) در نرم افزار Expert choice 11

نتایج بدست آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد (شکل ۹) که شاخص های تنوع ژئومورفولوژیکی، تنوع سنگ شناسی، تنوع هیدروژئولوژیکی و تنوع واحد های چشم انداز خاک به ترتیب وزن های ۰/۵۶۵، ۰/۲۶۲، ۰/۱۱۸ و ۰/۰۵۵ دریافت کرده اند؛ که بیانگر اهمیت بالای تنوع های ژئومورفولوژیکی و سنگ شناسی در ارزیابی ژئودایورسیتی یک منطقه است؛ پس هر یک از زیر شاخص های تنوع ژئودایورسیتی در وزن های خود ضرب و در نهایت نقشه ارزیابی ژئودایورسیتی استان لرستان (شکل ۱۰) تهیه شد.

1. Analytical Hierarchy process



شکل ۱۰: نتایج حاصل از شاخص ارزیابی ژئودایورسیتی استان لرستان و نمای سه بعدی و میدانی از مناطق دارای ژئودایورسیتی خیلی بالا (V5)

با توجه به شکل(۱۰) می توان دریافت که ۱٪ (۶۷۹ کیلومتر مربع) از مساحت استان در طبقه ژئودایورسیتی خیلی بالا (V5) قرار دارد؛ که این مناطق عبارتند از: کانیون شیرز، مجموعه های چین خورده سپیدشت و هوگ بک رباط، منطقه حفاظت شده اشترانکوه و شمال پلدختر. کانیون شیرز به دلیل دارا بودن اشکال متنوع کارستیک (برج و هودو آهکی، تافونی ها، لاپیه ها، دیگ جن، استالاکتیت و دیگر لندفرم های کارستیک) و تنوع سنگ شناسی، ارتفاعات سپیدشت به دلیل تنوع

سنگ شناسی، هیدروژئولوژیکی و ژئومورفولوژیکی (زبری بالای زمین، تراکم زهکشی (به هم پیوستن چهار رودخانه دائمی سزار، زز، آب واکس و مامون در این محل) و تنوع در لندفرم های آبرفتی و ساختمانی (تنوع چینه شناسی)، اشترانکوه به دلیل تنوع های سنگ شناسی، هیدروژئولوژیکی، واحد های چشم انداز خاک و ژئومورفولوژیکی (وجود پادگانه های رودخانه ای و دریاچه ای، گوناگونی در لندفرم های یخچالی و مجاور یخچالی مانند: سیرک ها، دره های یخچالی، مورن های میانی، کناری و انتهایی، اسکر ها، سنگ های سرگردان و پشت گوسفندی، واریزه های یخچالی، دریاچه های کاسکیدی گهر کوچک و گهر بزرک و حرکات دامنه ای مانند زمین لغزش های گسترشی دیرینه و حرکات خزشی فعال در عهد حاضر ناشی از سولیفلکسیون های مناطق شمالی اشتران کوه) و اشکال کارستیک و متاثر از پویایی تکتونیکی منطقه مانند: لاپیه ها، درز و شکاف ها، آبشار ها، سراب ها، کانیون ها) و منطقه ملاوی و پلدختر به دلیل تنوع های سنگ شناسی، هیدروژئولوژیکی و ژئومورفولوژیکی (تنوع در لندفرم های آبرفتی و ساختمانی مانند: پادگانه های رودخانه ای و دریاچه ای، هوگ بک ها، تیغه های هوموکلینال، پرتگاه های ساختمانی، پیچان رود ها، شبکه های زهکشی طولی، ناودیس معلق، تنوع چینه شناسی، فرسایش های شیمیایی و فیزیکی)، دارای بالاترین ژئودایورسیتی می باشند. ۲۰٪ از کل مساحت استان (۶۲۴۷ کیلومتر مربع) در طبقه ژئودایورسیتی بالا (V4) قرار دارد که در مناطق با طبقه (V5) ژئودایورسیتی مشاهده می شوند. طبقات ژئودایورسیتی متوسط تا ژئودایورسیتی خیلی کم نیز در مجموع ۲۲۳۸۱ کیلومتر مربع (۷۲٪) از استان را شامل می شود؛ که اغلب منطبق بر دشت های استان، پهنه دگرگونی و تپه ماهوری سنندج–سیرجان و ارتفاعات زاگرس چین خورده در جنوب و مرکز استان است.

نتیجه گیری

شاخص های ارزیابی ژئودایورسیتی به سه دسته کمی، کیفی و کمی–کیفی تقسیم می شوند (رینارد و بریلها، ۲۰۱۸) که روش کیفی–کمی برای ارزیابی ژئودایورسیتی محدوده مورد مطالعه بر اساس روش معرفی شده توسط فراندو و همکاران (۲۰۲۱) به دو دلیل انتخاب شد، که عبارتند از:

۱–توانایی ارزیابی یک پهنه به وسعت ۲۸۲۹۴ کیلومتر مربع با دقت و سرعت بالا، عدم دخالت سلیقه های محقق، امکان انجام تحلیل های فضایی و آماری بر روی نتایج

۲–امکان وزن دهی به هر یک از زیر شاخص ها بر اساس نظر کارشناسان که نسبت به سایر روش ها اعتبار بیشتری دارد (رینارد و بریلها، ۲۰۱۸)

خروجی شاخص ارزیابی ژئودایورسیتی و زیر شاخص های مربوط به آن، بر اساس خطوط شکست طبیعی به پنج طبقه: خیلی کم (V1)، کم (V2)، متوسط (V3)، زیاد (V4) و خیلی زیاد (V5) تقسیم شدند. بر اساس خروجی زیر شاخص تنوع سنگ شناسی، ۵٪ از مساحت استان در طبقه تنوع خیلی بالا (V5) قرار گرفته است؛ که شامل کانیون شیرز، رشته کوه هشتاد پهلو و مناطق غربی و شمال غربی شهر کوهدشت به ویژه ارتفاعات دارتاوی و بلوران، مله کوه و مناطق شمالی آن است؛ که دارای طیف متنوعی از سنگ های شیل آهکی، فسیل آهکی، انیدریت، رس آهکی، آهک خاکستری و آهک قهوه ای سازند های آسماری، شهبازان، کندوان، گچساران، تله زنگ و نهشته های آبرفتی دوران چهارم زمین شناسی می باشند. طبقه تنوع بالا (V4) حدود ۷٪ از مساحت استان را زیر پوشش دارد که شامل نواحی سفید کوه خرم آباد، کوه خرگوشان پلدختر و ارتفاعات اشتران کوه و قالی کوه است. کمتر از ۱٪ مساحت استان در طبقه خیلی بالای تنوع هیدروژئولوژیکی قرار دارد؛ که بیشتر منطبق بر نواحی جنوب غربی استان یعنی تالاب ها و تاقدیس چناره، تنگ فنی، کانیون خزینه، کانیون پا علم، ساحل شمالی سد سیمره و دامنه های شمالی اشترانکوه است؛ که دارای سنگ های متخلخل و تراوای گروه آسماری، دهرم، بنگستان، خامی و دیگر سازند ها و نهشته های کربناته است. بر اساس نتایج زیر شاخص

تنوع خاک شناسی ۴٪ مساحت استان در طبقه تنوع خیلی بالا قرار دارد؛ که این مناطق شامل نواحی غربی و شمال شرقی استان و دشت بروجرد است. تنوع ژئومورفولوژیکی استان لرستان بالا است؛ زیرا بر اساس خروجی شاخص ژئومورفودایورسیتی بیش از نیمی از مساحت استان (۵۲٪) در طبقات متوسط (V3)، بالا (V4) و خیلی بالا (V5) قرار دارند. به منظور ارزیابی نهایی ژئودایورسیتی استان لرستان، با استفاده از نظر کارشناسی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن هر یک از معیار ها محاسبه شد؛ سپس لایه های اطلاعاتی هر یک از زیر شاخص های مربوط به تنوع سنگ شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و خاک شناسی بر اساس وزن ها با یکدیگر جمع و نقشه ژئودایورسیتی استان لرستان ایجاد شد. بر اساس وزن های دریافتی توسط هر یک از زیر شاخص های ارزیابی ژئودایورسیتی، تنوع ژئومورفولوژیکی و تنوع سنگ شناسی به ترتیب بیشترین امتیاز ها را کسب کرده اند که بیانگر نقش بالای این دو عامل در ارزیابی ژئودایورسیتی یک منطقه است. نتایج کسب شده از ارزیابی ژئودایورسیتی نشان دهنده قرار داشتن ۱٪ از مساحت استان لرستان (۶۷۹ کیلومتر مربع) در طبقه تنوع خیلی بالا ژئودایورسیتی (V5) است؛ که عبارتند از: کانیون شیرز، مجموعه های چین خورده سپیدشت، منطقه حفاظت شده اشترانکوه و شمال شهرستان پلدختر. همچنین سفید کوه خرم آباد و قالی کوه الیگودرز نیز در طبقه تنوع بالای ژئودایورسیتی (V4) قرار دارند.

منابع

- ابرلندر، ت. (۱۳۷۹)، رودخانه های زاگرس از دیدگاه ژئومورفولوژی. مترجمان: احمد عباس نژاد؛ معصومه رجبی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز.
- احمد آبادی، ع؛ فتح الله زاده،م. (۱۳۹۷)، بررسی تغییرات برف مرز در منطقه اشتران کوه از کواترنر پسین تا کنون. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۱.ص ۱۸۰-۱۹۲.
- آقانباتی، ع. (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران. چاپ اول، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جداری عیوضی، ج. (۱۴۰۰)، ژئومورفولوژی ایران. چاپ بیست و یکم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- جمشیدی، م؛ افتخاری، ک؛ نویدی، م؛ مومنی، ع. (۱۳۹۴). چهل سال مطالعات خاک شناسی در موسسه تحقیقات خاک و آب. نشر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- حسنوند، ش؛ سپه وند، ع؛ ترنیان، ف؛ سیهاک، پ. (۱۴۰۱)، ارزیابی مدل های نفوذپذیری در خاک سطحی سازندهای زمین شناسی در آبخیز الشتر، استان لرستان. پژوهش های آبخیزداری، دوره ۳۴، شماره ۴، صص، ۱۶۴-۱۵۰
- درویش زاده، م؛ محمدی، م. (۱۳۸۹)، زمین شناسی ایران (رشته جغرافیا). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- دهداری فر، م؛ فرجی، م؛ صالحی ویسی، م؛ احسانی، جهانبخش. (۱۳۹۸)، مقایسه مقاومت سنگ های آهک آسماری، میشان، آغاجاری و انیدریت گچساران به روش سایش لس آنجلس. پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و ششم، شماره پنجم، صص ۲۰۹-۱۹۷.
- رامشت، م؛ باباجمالی، ف. (۱۳۹۸)، ژئومورفولوژی تحلیلی ایران .چاپ اول. تهران، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه ها (سمت).
- سیستانی بدوئی، م؛ فتوحی، ص؛ نگارش، ح؛ رامشت، م؛ روستایی، م. (۱۴۰۰)، بررسی تفاوت ژئودایورسیتی و ژئومورفودایورسیتی منطقه ساحلی دریای عمان و زون مکران از دماغه جاسک تا خلیج گواتر. جغرافیا و توسعه، سال نوزدهم، شماره ۶۳، صص ۶۶-۳۹.

- شرفی، س؛ یمانی، م؛ مقصودی، م. (۱۳۹۵)، بازسازی دیرینه مورفومتری دریاچه های سدی ناشی از رخداد زمین لغزش کبیرکوه (مطالعه موردی: دریاچه جایدر). پژوهش های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۶، صص. ۷۰-۷۸.
- صالحی پور میلانی، ع؛ صدوق، ح؛ رفیعی، ر. (۱۴۰۰). ارزیابی ژئودایورسیتی حوضه های آبریز مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان. پژوهش های ژئومورفولوی کمی، سال هشتم، شماره ۲، صص ۱۰۵-۸۴.
- علائی طالقانی، م. (۱۴۰۰)، ژئومورفولوژی ایران. چاپ نهم، نشر قومس، تهران.
- فرهادی نژاد، ط؛ پیروان، ح؛ داودی، ع؛ غیومیان، ج؛ پیامنی، ک؛ حسنوند، ع. (۱۳۹۶)، طبقه بندی و تعیین شاخص های فرسایش پذیری مارن های استان لرستان. تهران، پژهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.ش طرح: ۸۲-۰۵۰۰۱۱۸۰۰۰-۰۴
- قبادی، م؛ قربانی صابر، ا؛ محسنی، ح؛ ارومیه ای، ع. (۱۳۹۳)، مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ آهک سازند های ایلام-سروک در شهرستان خرم آباد. زمین شناسی مهندسی، شمار ۴، صص. ۲۴۶۳-۲۴۸۶
- قرشی، م؛ آرین، م. (۱۳۸۹)، تکتونیک ایران. چاپ اول، انتشارات مربع آبی.
- قهرودی تالی، م؛ علی نوری، خ؛ فرجادی نیا، س. (۱۴۰۱)، کاربرد ژئودایورسیتی در مدیریت محیط (مطالعه موردی حوضه بالادست سد کرج). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۴، شماره پیاپی ۴۰، ص۱۷-۱
- کریمی، عبدالرضا؛ مهردادی، ناصر؛ هاشمیان، سید جمال الدین؛ ، نبی بید هندی، غلامرضا؛ توکلی مقدم، رضا؛ ۱۳۸۸. "انتخاب فرآیند بهبنه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP ، آب و فاضلاب، دوره ۲۱، شماره ۴، صص ۲ تا ۱۲
- گلی مختاری، ل: نگهبان، س؛ شفیعی، ن .(۱۳۹۷)، تحلیل مقایسه ای ژئودایورسیتی (تنوع زمین شناختی) در حوضه های شمال غربی استان فارس. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۳، صص ۱۵۱-۱۶۳.
- گلی مختاری، ل؛ بیرامعلی، ف. ۱۳۹۷. محاسبه و تحلیل تنوع زمین (ژئودایورسیتی) (مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد). پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۲، صص۳۲۲-۳۰۷.
- مرادی، س؛ مرادی، ح. (۱۳۹۲)، بررسی فرسایش و رسوب در کاربردی های مختلف روی نهشته های آغاجاری، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک/سال هفدهم/شماره شصت و چهارم، صص ۲۰۹-۲۲۰
- معیری، م؛ محمودی، ا. (۱۳۸۵)، شکل گیری مدنیت ازنا بر بستر دریاچه ای کهن. سپهر، دوره ۱۵، شماره ۵۷، صص. ۲۶-۲۹.
- مقصودی، م؛ شرفی، س؛ یمانی، م؛ مقدم، ع؛ زمانزاده، س (۱۳۹۴)، تغییرات محیطی بعد از رخداد زمین لغزش کبیرکوه و تاثیر آن در شکل گیری محوطه های باستانی محدوده دریاچه جایدر. کواترنری ایران، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۴-۱.
- مقصودی، م؛ مقیمی، ا؛ یمانی، م؛ رضایی، ن؛ مرادی، ا، (۱۳۹۸). بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن بر اساس شاخص GmI،پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۱، صص. ۵۲-۶۹.
- مقصودی، م؛ یمانی، م؛ مقیمی، ا؛ رضوانی، م؛ بهاروند، م. (۱۳۹۷). شناسایی و ارزیابی ژئومورفوسایت های کارستی با استفاده از مدل تلفیقی کوبالیکوا و کرچنر (نمونه موردی: ژئومورفوسایت های کارستی شهرستان پلدختر-استان لرستان). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۱، صص ۱۲-۱.

- مقیمی، ا. (۱۳۹۲)، ژئومورفولوژی ایران. چاپ دوم. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- یاراحمدی، د؛ بیرانوند، ح. (۱۳۹۳)، جغرافیای طبیعی لرستان، چاپ اول، خرم آباد، انتشارات دانشگاه لرستان.
- یاراحمدی، د؛ شرفی، س. قابلیت سنجی امکانات و جذابیت های ژئوتوریستی در دره شیرز به عنوان ژئوپارک. فضای گردشگری زمستان ۱۳۹۵ – شماره ۲۱ (صفحه از ۱۹ تا ۴۰)
- یمانی، م؛ عظیمی راد، ص؛ سیدشکری، س. (۱۳۹۱)، بررسی قابلیت های ژئوتوریسمی ژئومورفوسایت های منطقه ی سیمره با استفاده از روش پرالونگ. جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲، صص ۸۸-۶۹.
- یمانی، م؛ هداوند، م. (۱۴۰۰)، ارتباط توالی جریان های یخچالی اشترانکوه و تشکیل و تحول دریاچه های کاسکیدی دره گهر. هشتمین همایش ملی ژئومورفولوژی، تهران، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران.

- *Ahmadi, M; Mokhtari, D; Khodadadi,M; Shahabi, H. (2021). Geodiversity evalution and geoconservation using grid analysis: case study, north of Ilam Province. Applied Geomatics, 13, pp 537-553. DOI:10.1007/s12518-021-00377-0*
- *Beier, P; Hunter, M; Anderson, M. (2015). Special Section: Conserving Nature's Stage. Conservation Biology, Conservation Biology 29 (3), pp. 36-49. DOI:10.1111/cobi.12511*
- *Betard, F; Peulvast, J. (2019). Geodiversity Hotspots: Consept, Method and Crtographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. Enviromental Management, 63, pp 822-834. DOI:10.1007/s00267-019-01168-5*
- *Bourassa, S.C. (1992) The Aesthetics of Landscape. Bellhaven Press, London.*
- *Brilha, J., Gray, M., Pereira, D.I., Pereira, P., (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. Environ. Sci. Policy 86, pp 19–28. https://doi.org/10.1016/j*
- *Chakraborty, A; Gray, M (2020). A call for mainstreaming geodiversity in nature conservation research and praxis. Journal for Nature Conservation,Volume 56, pp. 245-273. DOI:10.1016/j.jnc.2020.125862*
- *Chan, K. M., Balvanera, P., Benessaiah, K., Chapman, M. J., Díaz, S., Gómez-Baggethun, E., et al. (2016). Opinion: Why protect nature? Rethinking values and the environment. Proceedings of the National Academy of Sciences-Biology, 113, pp 1462–1465. DOI:10.1073/pnas.1525002113*
- *Crisp, J; Ellison, J; Fischer, A. (2020). Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. Earth and Environment, 11, pp. 514-540. DOI:10.1177/0309133320967219*
- *Crofts, R. and Gordon, J.E. (2015) Geoconservation in Protected Areas. In Book: Protected Area Governance and Management. Published by IUCN, 18, pp 61-76. DOI:10.2305/IUCN.CH.2014.PARKS-20-2.RC.en*
- *De Paula Silva, J; Rodrigues, C; Pereira, D. (2014). Mapping and Analysis of Geodiversity Indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. Geoheritage 7(4):pp 1-14. DOI:10.1007/s12371-014-0134-8*
- *De Paula Silva, M, Do Nascimento, M, Leite Mansur, K. (2019), Quantitative Assessments of Geodiversity in the Area of the Seridó Geopark Project, Northeast Brazil: Grid and Centroid Analysis. Geoheritage, Published online, pp. 1177–1186. https://doi.org/10.1007/s12371-019-00368-z*
- *Erikstad, l., (2013). Geoheritage and Geodiversity Management – the Questions for Tomorrow. Proceedings of the Geologists Association. Elsevier, Amsterdam, 124 (4): pp.713–719. DOI:10.1016/j.pgeola.2012.07.003*
- *Ferrando, A: Faccini, F; Paliaga, G; Coratza, P. (2021). A Quantitative GIS and AHP Based Analysis for Geodiversity Assessment and Mapping. Sustainability 2021, 13, pp. 2-18. DOI:10.3390/su131810376*
- *Foster, J. (ed) (1997) Valuing Nature? Routledge, London.*

- *Fox, n; Graham, L; Eigenbrod, F; Bullock, J; Parks, K, (2022). Geodiversity Supports Cultural Ecosystem Services: an Assessment Using Social Media. Geoheritage pp. 14-27. DOI:10.1007/s12371-022-00665-0*
- *Gordon, J.E., Barron, H.F., Hansom, J.D., Thomas, M.F., (2012). Engaging with Geodiversity-why it Matters. Proc. Geol. Assoc, 123 (1), pp.1–6. DOI:10.1016/j.pgeola.2011.08.002*
- *Gray, M., (2013). Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature. Wiley-Blackwell, London: p 512. ISBN: 978-0-470-74215-0*
- *Gray, M., (2018). Geodiversity: the Backbone of Geoheritage and Geoconservation. Elsevier, Amsterdam, pp. 13-25. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00001-0*
- *Gray, M., (2019). Geodiversity, Geoheritage and Geoconservation for Society. International Journal of Geoheritage and Parks. Elsevier, Amsterdam, p. 226-236. DOI:10.1016/j.ijgeop.2019.11.001*
- *Hjort,J., Luoto,M, (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in Northern Finland. Geomorphology.Elsevier, Amsterdam,. 115, pp. 109–116. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.09.039*
- *Kot, R. (2015). The Point Bonitation Method for Evaluating Geodiversity: A Guide with Examples (Polish Lowland). Volume 97, Issue 2, pp. 375-393. DOI:10.1111/geoa.12079*
- *Kozlowski, S. (2004). Geodiversity: The concept and scope of geodiversity. Przeglad Geologiczny 52(8): pp.833-837.*
- *Kubalíková, L. (2013). Geomorphosite assessment for geotourism purposes. Czech Journal of Tourism, 2(2), pp. 80-104. DOI:10.2478/cjot-2013-0005*
- *Kubalíková, L.; Bajer, A.; Balková, M, (2021). Brief Notes on Geodiversity and Geoheritage Perception by the Lay Public. Geosciences, 11, 54, pp. 1-10. DOI:10.3390/geosciences11020054*
- *Manosso, F; Zowlinski, Z; Najwer, A; Basso, B; Santos, D, (2021). Spatial pattern of geodiversity assessment in the Marrecas River drainage basin, parana, Brazil. Ecological Indicators 126 pp. 1-12. DOI:10.1016/j.ecolind.2021.107703*
- *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, 584–5, pp. 701–714. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.101*
- *Moura, P; Motta Garcia, M; brilha, J. (2021). Guidelines for Management of Geoheritage: an Approach in the Seratao Central, Brazilian Northeastern Semiarid. Geoheritage, 13, (2).45-60. DOI:10.1007/s12371-021-00566-8*
- *Pereira, D.I.; Pereira, P.; Brilha, J.; Santos, L. (2013), Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): An innovative approach. Environ. Manag. 52, pp.541–552. DOI:10.1007/s00267-013-0100-2*
- *Piccolo, J. (2017), Intrinsic values in nature: Objective good or simply half of an unhelpful dichotomy?, Journal for Nature Conservation 37, pp. 8–11. DOI:10.1016/j.jnc.2017.02.007*
- *Pike, R. J., Wilson, S. E., (1971), Elevation Relief Ratio, Hypsometric Integral, and Geomorphicarea Altitude Analysis, Bull, Geol. Soc. Am, 82: pp. 1079-1084.*
- *Reynard, E. and Brilha, J., (Eds.), (2018). Geoheritage: Assessment, Protection, and Management, Elsevier, Amsterdam, p. 482.*
- *Reynard, E., & Giusti, C. (2018). The landscape and the cultural value of geoheritage. In E. Reynard, & J. Brilha (Eds.), Geoheritage: Assessment, protection, and management , pp. 147–166. Amsterdam: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00008-3*
- *Reynard, E; Fontana, G; Kozlik, L; Scapozza, C. (2007). A method for assessing "scientific" and "additional values" of geomorphosites. Geographica Helvetica 62(3):pp.148-158. DOI:10.5194/gh-62-148-2007*

- *Rodrigues, J; Carvalho, C; Ramos, M; Ramos, R, Vinagre, A; Vinagre, H. (2021). Geoproducts – Innovative development strategies in UNESCO Geoparks: Concept, implementation methodology, and case studies from Naturtejo Global Geopark, Portugal. International Journal of Geoheritage and Parks, pp. 108–128. DOI:10.1016/j.ijgeop.2020.12.003*
- *Ruban, D; Sallam, E; Ermolaev, V; Yashalova, N. (2020), Aesthetic Value of Colluvial Blocks in Geosite BasedTourist Destinations: Evidence from SW Russia. Geosciences, pp. 1-8, 2005; DOI:10.3390/geosciences10020051*
- *Saaty, T.L., (1990). Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world, Volume 48, Issue 1, 5 ,Pages 9-26. https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I*
- *Santos, P; Neves, S; Sant Anna, D; Oliveira, C; Carvalho, H. (2018), The Analytic Hierarchy Process Supporting Decision Making For Sustainable Development: An Overview Of Applications. Journal of Cleaner Production 212:pp.119-138, DOI:10.1016/j.jclepro.2018.11.270*
- *Serrano E, Ruiz-Flaño P (2007) Geodiversity. A theoretical and applied concept. Geogr Helv 62(3):pp.140–147. DOI:10.5194/gh-62-140-2007*
- *Sharples, C. (2002). Consepts and Principles of Geoconservation. Published electronically on the Tasmanian Parks & Wildlife Service website September 2002 (Version 3).*
- *SHARPLES, C., (1995): A Reconnaissance of Landforms and Geological Sites of Geoconservation Significance in the State Forests of Eastern Tasmania; Report to Forestry Tasmania, Hobart (2 vols).*
- *Stöcklin J. (1968). Structural history and tectonic of Iran: A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52: pp.1229-1258.*
- *Takaoka, S. (2022). Four Types of Geodiversity for Nature Conservation with a Focus on the Relationship Between Landform and Vegetation. Geoheritage volume 14, Article number: 70, pp. 117-130. DOI:10.1016/j.pgeola.2014.03.006*
- *Thomas M.F. (2012), A geomorphological approach to geodiversity – its applications to geoconservation and geotourism. Quaestiones Geographicae 31(1), pp. 81–89. 8 Figs. DOI:10.2478/v10117-012-0005-9*
- *Weiss, A., (2001), "Topographic Position and Landforms Analysis", Poster Presentation, ESRI User Conference, U.S.A, San Diego, CA, 3, p.1-3. DOI:10.18509/AGB.2018.01*
- *Woodcock, N. (1994), Geology and the Environment in Britain and Ireland. UCL Press, London.*
- *Zwolinski, ´ Zb., Najwer, A., Giardino, M., (2018). Methods for assessing geodiversity. In: E. Reynard, J. Brilha (Eds), Geoheritage: Assessment, Protection, and Management, Elsevier, Amsterdam, pp 27-52. DOI:10.1016/B978-0-12-809531-7.00002-2*