

## تهیه نقشه تنوع زمینی شهرستان مشهد بر پایه اختلاف حساسیت پذیری لندفرم‌ها

ملیحه باتجربه - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.

عادل سپهر\* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد.

سیدرضا حسین زاده - دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۹      تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۷/۱۸

### چکیده

تنوع زمینی مرهون تفاوت در خواص سنگ مادری، شرایط اقلیمی و حساسیت‌پذیری لندفرم‌ها است. در این پژوهش با هدف شناسایی عوامل تأثیرگذار بر تنوع زمینی، نقشه تنوع زمینی شهرستان مشهد بر پایه حساسیت‌پذیری لندفرم تهیه شده است. این مطالعه مبتنی بر دو روش مجزا شامل روش همپوشانی لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش ماتریس تصمیم ویکور صورت گرفته است. در گام اول پس از تعیین شاخص‌ها لایه‌های اطلاعاتی از فرمت وکتوری به رستری تبدیل شدند، سپس تمامی لایه‌های رستری امتیازدهی و طبقه‌بندی مجدد صورت گرفت، در ادامه با ادغام لایه‌ها نقشه تنوع زمینی تهیه گردید. نتایج این مرحله نشان داد با افزایش میزان حساسیت‌پذیری در منطقه میزان تنوع زمینی نیز افزایش می‌یابد، بطوریکه بالاترین میزان تنوع زمینی در نیمه شمالی شهرستان عمدتاً بر روی سازندهای آهکی و دولومیتی مزدوران قرار گرفته است. در گام دوم با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری ویکور، ابتدا از هر معیار نسبت به لایه پلیگونی طبقات ارتفاعی و دهستان‌ها میانگین گرفته شد و پس از تشکیل ماتریس تصمیم و نرمال‌سازی ماتریس اولیه، مقدار مثبت و منفی ایده‌آل محاسبه و با استفاده از مقدار مثبت و منفی، میزان سودمندی و تأسف مشخص شد و در نهایت با محاسبه شاخص ویکور پهنه‌بندی تنوع زمینی در سه گروه (زیاد، متوسط و کم) انجام و نقشه تنوع بر اساس رتبه شاخص ویکور برای طبقات ارتفاعی و دهستان‌ها استخراج شد. نتایج حاصل از مدل ویکور با واقعیت انطباق بیشتری داشته، به طوری که مشاهدات میدانی مؤید آن است به همین دلیل بالاترین میزان تنوع زمینی در محدوده دهستان کارده و ارتفاعات بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار گرفته است. در نهایت سه نقشه تنوع زمینی ساخته شده با هم مقایسه شدند. در هر سه نقشه تنوع، نواحی که دارای بیشترین تنوع زمینی بوده دارای انطباق بالایی می‌باشند.

واژگان کلیدی: تنوع زمینی، حفاظت زمینی، میراث زمین‌شناسی، حساسیت لندفرم، روش ویکور.

## مقدمه

نخستین گام در بررسی‌های مشتمل بر ارزیابی‌های توصیفی شناخت ادبیات آن است. در ارزیابی تنوع زمینی لازم است واژه‌شناسی آن و عبارتی چون میراث زمین‌شناسی و حفاظت زمین‌شناسی مرور شوند (موحد، ۱۳۹۱، ۲). تنوع‌زمینی به محدوده‌ی تنوع طبیعی، ویژگی‌های زمین‌شناسی (سنگ بستر)، لندفرم‌ها، خاک و فرایندهای ساخته دست بشر گفته می‌شود (زاوالنسکی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹: ۷۸). فرایندهای ژئومورفیک همچون فرایندهای دینامیک (بیرونی) و فرایندهای درونی که در تغییر شکل ناهمواری‌ها مؤثرند، باعث ایجاد اشکال متنوع زمینی و توسعه تنوع‌زمینی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌شوند. از دیدگاه ژئومورفولوژی، تنوع عوارض سطح زمین نتیجه عملکرد سه عامل اصلی تکتونیک، سنگ‌شناسی و شرایط اقلیمی مسلط است. سازوکار و ماهیت این سه عامل در قلمروهای متفاوت یکسان نیست و از تفاوت‌های زیادی برخوردار است. تحت این شرایط لندفرم‌های ایجاد شده نیز تنوع بسیار زیادی دارند. اصل اساسی و مهم در ژئومورفولوژی ثابت می‌کند که هیچ پدیده‌ی ژئومورفیک در سطح زمین ثابت و پایدار نیست و همه چیز با گذشت زمان تغییر یافته و متحول می‌شود. بر این اساس تفاوت در لندفرم‌های هر محیط تابع تفاوت در ساختمان، فرایند و زمان تغییرات است (یمانی، ۱۳۹۲: ۲۹).

در دو دهه گذشته در جهان، گرایش به سوی توصیف و ارزیابی تنوع طبیعی نسبت به تنوع زیستی قوی‌تر بوده بنابراین برخی از محققین به سرعت متوجه شدند که باید به ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی به همان اندازه زیست‌شناسی توجه شود. از آنجا که سیاره زمین متشکل از سنگ‌هایی با خواص مادری متفاوت و به دنبال آن درجه حساسیت متفاوت است، درجات متفاوتی از تنوع ناهمواری‌ها و اشکال زمینی را در خود جای داده است، اشکالی که میراث زمین‌شناسی محسوب شده و در بررسی، تکوین و شناخت دوران زمین‌شناختی و حفظ محیط طبیعی نقش برجسته‌ای دارند. بنابراین مفهوم تنوع زمینی که اغلب در تضاد با تنوع زیستی است بعنوان ابزاری برای مدیریت مناطق حفاظت شده بکار گرفته می‌شود (فلانو<sup>۲</sup> و سرانو، ۲۰۰۷: ۱۴۵). ساده‌ترین فرمولی که برای نیاز حفاظتی ارائه می‌دهند از ارزش باضافه تهدید حاصل می‌شود (گری، ۲۰۰۴: ۴۳۴). اگر شناخت میراث زمین را در ایران مترادف با زمین‌گردشگری بدانیم می‌توان نگرش به میراث زمین‌شناسی را عمدتاً در محدوده معرفی، توصیف زمین‌شناسی و بازشناسی پدیده‌های جاذبه‌مند محصور کرد (امری کاظمی، ۱۳۸۸: ۲۰). بطور کلی تنوع زمین‌شناسی کیفیتی است که برای حفظ آن کوشش می‌شود، حفاظت زمین‌شناسی نیز کوشش برای ابقای آنچه که در حفاظت آن می‌کوشیم است. در حال حاضر برای مفهوم میراث زمین‌شناسی از اصطلاح ژئومورفوسایت<sup>۳</sup> استفاده می‌شود (شارپلز، ۱۹۹۳: ۲۵).

تنوع زمینی<sup>۴</sup> بطور عام توسط گری<sup>۵</sup> (۲۰۰۴)، زاوالنسکی (۲۰۰۴)، سرانو و رویز فلانو<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) بیان و رایج‌ترین مفهوم آن توسط منشور میراث طبیعی استرالیا ارائه شده است. تنوع زمینی پراکنش طبیعی از پدیده‌های زمین‌شناسی (سازندها، کانی‌ها، فسیل‌ها)، ژئومورفولوژی (لندفرم‌ها، فرایندها) و خاکشناسی است که اولین بار در تاسمانیا (استرالیا) در اواسط دهه ۹۰ بکار گرفته شده است (زاوالنسکی ۲۰۰۹، ۷۸). در دهه اخیر مفهوم تنوع زمینی با تنوع زیستی جای خود را در مطالعات ژئومورفولوژی و محیط زیست بویژه در ارتباط با ژئوتوریسم<sup>۷</sup> باز کرده است. تنوع زمینی بازتاب پیچیدگی سیستم‌های فرایندی و زمان وقوع فرایندها و تابعی از حساسیت چشم اندازه‌ها، واگرایی در پاسخ به تغییرات غیرخطی و فرایندهای دینامیک در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت است. تنوع زمینی از دیدگاه‌های مختلف نظیر دیدگاه‌های ذاتی، زمین

1 Zowolinski

2 Flano

3 Geomorphosite

4 Geodiversity

5 Gary

6 Flano Serrano

7 Geotourism

شناسی، ژئومورفولوژی، محیط زیست، میراث زمین شناختی و همچنین علمی و آموزشی، اجتماعی، فرهنگی، گردشگری و غیره حائز اهمیت است. از اینرو، لندفرم‌های با تنوع زمین شناختی برجسته بایستی مورد حفاظت زمین‌شناسی برای نسل‌های آینده و حال قرار گیرند.

امروزه حفاظت زمین شناسی در دنیا بعنوان نگرشی نو و برای حفظ میراث زمین‌شناسی که بخشی از میراث طبیعی محسوب می‌شوند، گسترش وسیعی یافته است. در ایران نه تنها روش‌های حفاظت زمین‌شناسی مدون نشده‌اند، بلکه روش‌های ارزیابی و توصیف میراث‌های زمین شناسی نیز تهیه نشده‌اند. علاوه بر این تنوع‌زمینی شامل شواهد محیط‌های گذشته و حال در تاریخ زمین است، به عبارتی از یک سو به فرایندهای فعال کنونی و اشکال ایجاد شده توسط آن‌ها توجه دارد و از سوی دیگر، در ارتباط با اشکال و لندفرم‌هایی است که میراث دوره‌های گذشته‌اند. چنین لندفرم‌ها و سایت‌های زمین-شناختی، نشان‌دهنده‌ی شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، اقلیمی و زیستی زمان خود هستند و هرگونه تخریب، به ناپایداری و نابودی همیشگی آن‌ها منجر می‌شود؛ بنابراین، درک اهمیت این اسناد و حفظ آنچه که میراث مشترک بشریت نامیده می‌شود، بسیار ضروری است. حفاظت زمینی رویکردی برای مدیریت حفاظت از سنگ‌ها، سایت‌های فسیل‌دار، لندفرم‌ها و خاک‌هاست و با این اندیشه که تنوع پدیده‌های علوم زمین یکی از ارزش‌های مهم حفاظت از طبیعت است، تدوین شده است. حفاظت از طبیعت از این دیدگاه که ضرورتاً هر دو بخش تنوع زمینی و تنوع زیستی را باید دربرگیرد، رویکردی جامع و فراگیر را مهیا می‌کند. پس تنوع زمینی با افزایش درک درباره‌ی زمین و قدرت استفاده‌ی انسان از سیاره زمین را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه اساسی‌ترین متغیرهای پیشرفت و توسعه‌ی همه جانبه هر کشوری، شناسایی، ثبت و نگهداری از میراث متعلق به مردم آن کشور است، در نتیجه مطالعه تنوع زمینی در جهت حفظ و شناسایی میراث زمین‌شناسی امری ضروریست (نکویی صدر، حاج علیلی، ۱۳۹۰: ۱۴۷). همچنین تنوع زمینی در بعضی موارد توسط تفریحات سالم و گردشگری، استخراج مواد معدنی، تهیه کلکسیون (فسیل، کانی، سنگ)، کاربری زمین و شهرسازی تهدید می‌شود. از اینرو لازم است با اقداماتی نظیر بهره‌برداری پایدار، حفاظت، کاربری صحیح اراضی، سیاست‌های مناسب و وضع قانون و معرفی پدیده‌های با ارزش میراث طبیعی تأثیر تهدیدهای فوق را کاهش دهیم (قنوتی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۸). در ایران با طبیعتی بی‌نظیر، اقلیم و توپوگرافی متنوع، ویژگی‌های زمین‌شناسی گوناگون، تنوع زمین‌شناختی و وسعت زیاد می‌توان از پدیده‌های زمین‌شناختی (ژئوتوپ‌ها)<sup>۱</sup> در سراسر کشور بعنوان میراث‌های زمین شناختی در قالب ژئوسایت‌های بالقوه متعدد پس از تدارک زیرساخت‌های گردشگری بهره برداری نمود و به عنوان ابزاری کارساز از آن در راستای توسعه ژئوتوریسم و تأسیس ژئوپارک‌ها<sup>۲</sup> استفاده نمود. در این بین استان خراسان رضوی و همچنین شهرستان مشهد نیز مستثنی از این موضوع نمی‌باشد. به طور کلی این استان در گذر دوران‌های زمین شناختی، دستخوش دگرگونی‌های بسیار شده است، از سنگ‌های بسیار کهن تا جدیدترین آن‌ها در تشکیل این سرزمین نقش داشته‌اند و محل بسیار مناسبی را جهت دیدن عارضه‌های زمین شناختی بوجود آورده است. از این رو هدف اصلی این پژوهش تهیه نقشه تنوع زمینی شهرستان مشهد بر پایه تفاوت در حساسیت‌پذیری لندفرم‌ها به فرایندهای ژئومورفیک می‌باشد.

در رابطه با مطالعه تنوع لندفرم‌ها مطالعات فراوانی صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. در ایران سپهر و همکاران ژئومورفوتوریسم کوهستان کلات و همبستگی میان چشمه‌ها و سازندهای زمین‌شناسی را بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که اکثر قلمروهای دارای قابلیت بالا در مظاهر ژئومورفوتوریستی چشمه‌ها، بر روی سازندهای ضخیم لایه آهکی و کارستی بوده و غالباً بر محدوده جاذبه‌های گردشگری و ژئومورفوتوریستی موجود در منطقه انطباق داشته-اند (سپهر، ۱۳۹۱: ۷۹-۹۰). همچنین عباس نژاد و همکاران با بررسی تأثیر تنوع کانی‌شناسی زمین بر تنوع زمینی، نتیجه گرفتند که کانی‌ها نقش مهمی اغلب به صورت غیر مستقیم در تنوع‌زمینی و زیستی این سیاره داشته‌اند (عباس نژاد و

1 geotop

2 Geopark

همکاران، ۱۳۹۱: ۴). سپهر با بحث بر روی وراثت ژئومورفولوژیک، مخاطرات و تنوع زمینی، به این نتیجه رسید که یکنواختی در فرایندها و اطلاعات ژئومورفولوژیکی درون سیستم، سیستم را در برابر تغییرات محیطی بسیار آسیب‌پذیر می‌کند و پاسخ چنین ژئوسیستم‌هایی با تنوع زمینی یا ژئومورفولوژی گاهی باعث ثبات تا مرحله فروپاشی سیستم می‌شود (سپهر، ۱۳۹۱: ۱۰-۱۲). موحد در پژوهشی برای ارزیابی و توصیف میراث زمین‌شناسی و تنوع زمینی، از مضامین مختلف زمین‌شناسی استفاده و بر اساس یک سیستم باز، ارزیابی انجام شد و با نگرشی یکپارچه و بر مبنای دو محور درجه ارتباط و درک انتزاعی رتبه‌های مختلفی برای ارزیابی ارائه داد. همچنین روش‌های حفاظت زیستی و گسترش زمین گردشگری در ایران بررسی و پیشنهاد گردیده‌اند (موحد، ۱۳۹۱: ۱-۷). یزدی و همکاران بر اساس تفسیر و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و مشاهده مستقیم آثار و پدیده‌ها به مطالعه تنوع زمینی جنوب کشور پرداخته‌اند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که با توجه به اهمیت جهانی صنعت ژئوتوریسم، جزیره هرمز که یکی از گنبد‌های نمکی واقع در تنگه هرمز است، دارای پتانسیل بالایی برای توسعه ژئوتوریسم می‌باشد (یزدی، ۲۰۱۴: ۷۰۳-۷۱۴). قنوتی و همکاران در پژوهشی به تحلیل و ارزیابی حفاظت زمینی و جاذبه‌های زمین گردشگری منطقه دماوند پرداخته‌اند. در این تحقیق با استفاده از مدل تاپسیس<sup>۱</sup> و رینارد<sup>۲</sup> به ارزیابی حفاظت زمینی ۱۶ ژئومورفوسایت منطقه با تأکید بر زمین گردشگری بر اساس شاخص‌های زیبایی، اکولوژیکی، اقتصادی، فرهنگی، علمی، کمیابی، حفاظت و شاخص بودن پرداخته‌اند (قنوتی، ۱۳۹۳: ۷۷-۸۹).

در رابطه با تنوع زمینی در سطح جهانی مطالعاتی صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: زوالنسکی<sup>۳</sup> در مطالعه‌ای روشی برای استخراج نقشه تنوع زمینی شناختی لندفرم‌های کوه‌های کارپات ارائه داده است که در این روش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> نقشه تنوع زمینی بوسیله همپوشانی نقشه‌های انرژی، خردشدگی و حفاظت لندفرم‌ها تهیه شده است (زوالنسکی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹۹-۲۰۷) گری<sup>۵</sup> پس از تعریف و توصیف تنوع زمینی، به مقایسه و ادغام تنوع زیستی و تنوع زمینی پرداخته و در نهایت پس از بررسی ارزش و اهمیت تنوع زمینی و تهدیداتش، رویکردهایی برای حفاظت و مدیریت تنوع زمینی ارائه داده است. (گری، ۲۰۰۴: ۴۳۴) کوزلووسکی در پژوهشی به تعریف تنوع نظیر آنچه که برای تنوع زیستی آمده پرداخته و ژئوزولوژی<sup>۶</sup> را بعنوان علمی که در رابطه با محافظت و نجات زمین تمرکز دارد بیان کرده است (کوزلووسکی، ۲۰۰۴: ۸۳۳-۸۳۶). فلنو و کانداز<sup>۷</sup> در مقاله‌ای یک شاخص برای ارزیابی شاخص تنوع زمینی تعریف کرده‌اند که می‌تواند برای سرزمین‌های با ویژگی‌های متفاوت بکار گرفته شود. این روش برای یک چشم انداز روستایی در جنوب حوضه دوترو (ایالت سوریا، اسپانیا) اعمال شد و نقشه تنوع زمینی با استفاده از ترکیب رابطه بین عناصر فیزیکی و زبری و واحد سطح تهیه کرده‌اند، در این مطالعه عناصر فیزیکی از طریق نقشه‌های خاک، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، سیستم‌های ریخت‌شناسی و فرایندهای فرسایشی و زبری از طریق نقشه شیب محاسبه شد (فلنو و سرانو، ۲۰۰۷: ۱۴۷-۱۴۰). کالو و همکاران<sup>۸</sup> کمیت تنوع زمینی را تعیین و تنوع زمینی را در مناطق مختلف ژئودینامیک در شبه جزیره ایبری<sup>۹</sup> مقایسه کرده‌اند. برای این منظور، در این مطالعه یک روش سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای انجام یک طبقه‌بندی زمین - منطقه‌ای بر اساس عوامل تنوع زمینی توسعه داده‌اند. فرایند طبقه‌بندی به تولید یک نقشه مورفومتریک (۱۰ کلاس) - یک نقشه مورفوکلیماتیک (۵ کلاس) و یک نقشه زمین‌شناسی (۱۵ طبقه) منجر شد، در نهایت این سه نقشه با استفاده از

1 Topsis

2 Reynard

3 Zowolinski

4 GIS

5 Murray Gray

6. Geosozology

7 Felano &amp; candas

8. Calva Et All

9 Iberisch

یک عملیات همپوشانی<sup>۱</sup> ( ) برای تولید نقشه نهایی تنوع زمینی ترکیب شدند (کالو، ۲۰۰۹: ۲). لوتو و هجورت<sup>۲</sup> در مطالعه‌ای بصورت سیستماتیک فهرست تنوع زمینی و پارامترهای توپوگرافی را در فنلاند به وسعت ۲۸۵ کیلومتر مربع بررسی کرده‌اند و کمیت متغیرهای فضایی تنوع زمینی را با استفاده از چهار واحد مختلف و تجزیه و تحلیل رابطه بین تنوع زمینی و توپوگرافی با استفاده از یک سیستم شبکه فضایی در مقیاس چشم‌انداز (۵۰۰\*۵۰۰ متر) تعیین کرده‌اند (لوتو و هجورت، ۲۰۰۹: ۱۰۹-۱۱۶). انجی<sup>۳</sup> در تحقیق خود به آسیب‌ها و اختلالاتی که تنوع زمینی و میراث زمین‌شناسی هنگ کنک را تهدید می‌کنند پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که این آسیب‌ها از عوامل تهدید کننده توسعه شهری هنگ کنک و همچنین پروژه‌های اخیر احیا شده در بندرگاه ویکتوریا بوده که نه تنها به محیط زیست بلکه به میراث ارزشمند زمین‌شناسی و خاک آسیب رسانده است؛ و در نهایت چون برخی از ویژگی‌های زمین‌شناسی هنگ کنک حتی در سطح جهانی می‌تواند در نظر گرفته شود لذا استراتژی‌هایی که توسط موری گری اصلاح شده بود، برای مدیریت حفاظت زمینی و عناصر مختلف تنوع زمینی با حساسیت‌های متنوع پیشنهاد دادند (انجی، ۲۰۰۸: ۳۰۰-۳۱۲). فلنو و سرانو<sup>۴</sup> به بررسی و ارزیابی تنوع زمینی و ژئومورفوسایت‌های بکار گرفته شده برای یک منطقه طبیعی حفاظت شده آب‌رودن پارک طبیعی (اسپانیا) پرداخته‌اند. هدف این پژوهش معرفی یک رشته و مجموعه‌ای از ابزارهایی بوده که می‌توان از آن‌ها برای ادغام جنبه‌های غیر زنده در ارزیابی و حفاظت از مناطق با تنوع برجسته و قابل توجه به لحاظ میراث زمین‌شناسی استفاده کرد (فلنو و سرانو، ۲۰۰۹: ۱۸۰-۱۷۳). ارهارتیک و زورن<sup>۵</sup> در تحقیقی با در نظر گرفتن سه مرحله در طول زمان به مفهوم حفاظت و مدیریت منابع طبیعی در اسلوانی پرداخته‌اند و با ارزش گذاری تنوع و میراث زمینی روشی برای تأیید شدن میراث زمینی خاص که شایستگی حفاظت و حمایت قانونی را دارند ارائه داده‌اند (ارهارتیک و زورن، ۲۰۱۲: ۵۱-۶۳). زاوالنسکی و نجور<sup>۶</sup> در مطالعه‌ای یک روش جدید برای ارزیابی اجزای محیط طبیعی در پاسخ به تعریف تنوع زمینی ارائه داده‌اند. اساس این ارزیابی انتخاب پارامترهای ژئومورفیک است. با در نظر گرفتن یکسری فاکتورها از قبیل توپوگرافی، شاخص همگرایی ارتفاع نسبی، انرژی لندفرم‌ها، زمین‌شناسی، اصول هیدروگرافی و ارزش دادن به آن‌ها با استفاده از روش ارزیابی معیارهای معیاره (MCDM) و تولید نقشه نهایی لندفرم‌های تنوع زمینی در محیط GIS به این نتیجه رسیدند که دو دره ایل گرابن و دربرانس در کوه‌های سوئیس و لهستان می‌توانند بعنوان ژئومورفوسایت‌هایی با اهمیت طبیعی در نظر گرفته شوند (زاوالنسکی و نجور، ۲۰۱۴: ۵۲-۶۲).

#### محدوده مورد مطالعه

شهرستان مشهد در شمال شرق کشور و در محدوده خراسان رضوی قرار گرفته است. این شهرستان با مساحت ۹۱۴۱ کیلومتر مربع بین ۵۹°۰۳' تا ۶۰°۳۵' طول شرقی و ۳۵°۴۲' تا ۳۶°۵۹' عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع آن از حداقل ۶۸۸ متر تا حداکثر ۳۰۲۶ متر در تغییر است. شهرستان مشهد از شمال به شهرستان‌های کلات و درگز، از غرب به شهرستان‌های بینالود و چناران، از جنوب به شهرستان فریمان، تربت حیدریه و از شرق و جنوب شرقی با شهرستان‌های سرخس و تربت‌جام هم‌مرز است. رود اصلی و مهم آن کشف رود است که از شمال غرب شهرستان وارد شده و پس از طی ۱۴۶ کیلومتر از بخش جنوب شرقی آن خارج می‌شود و رادکان، طرهبه، جاقرق، دهبار، زشک، گلستان و دولت آباد از شاخه‌های مهم آن هستند. قسمت اعظم شهرستان مشهد را زمین‌های آبرفتی تشکیل می‌دهند. دشت مشهد با پهنای ۲۵ کیلومتر و آبرفت‌هایی که مربوط به دوره کواترنری هستند یک دشت گرابنی (چاله زمین ساختی) است. شهرستان مشهد

1 union

2. Luoto & Hjort

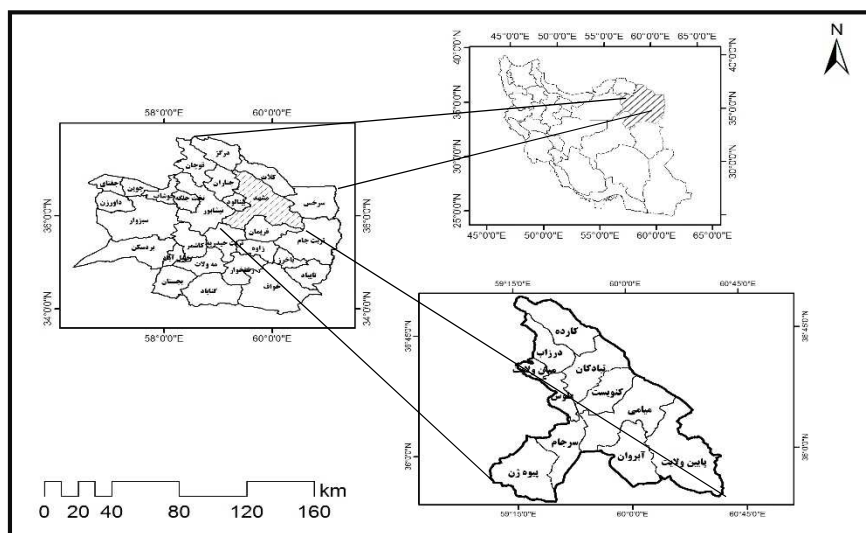
3. Marfa & Ng

4 Felano & serano

5 Erhartic & Zoren Felano & serano

۶ zowolinski & najwer

از شمال توسط ارتفاعات هزار مسجد و کپه داغ و از جنوب غرب توسط کوه‌های بینالود و آلاداغ احاطه شده است. واحد کپه داغ با مجموعه چین‌های تاقدیسی و ناودیسی به لحاظ ساختمانی شبیه زاگرس است. مخروط افکنه‌ها، دره‌های ناودیسی، گسلها و چین‌های طاقدیسی و ناودیسی، اشکال مثلثی، اشکال کارستی (حفرات انحلالی، کارن و دولین‌ها و غارچه آهکی ( سنگ‌لغزه و تالوس و بطور کلی حرکات دامنه‌ای از دیگر ظواهر ژئومورفولوژیکی منطقه‌اند. عمده اشکال و پدیده‌های حرکات دامنه‌ای در ناهمواری‌های شمال شرقی شهرستان و در مسیر مشهد به کلات مشاهده می‌شوند. همچنین این پدیده را در قسمت‌های شرقی شهرستان که مربوط به ناهمواری‌های بینالود می‌باشند می‌توان مشاهده کرد. مخروط افکنه‌های شهرستان عمدتاً از پای ارتفاعات بینالود شروع شده و در سطح دشت مشهد گسترش یافته‌اند. از نکات قابل توجه که به آن می‌توان اشاره کرد این است که کاربری‌های مسکونی بر روی این مخروط افکنه‌ها توسعه پیدا کرده‌اند. پادگانه‌های آبرفتی رودخانه کشف رود در شهرستان مشهد را بطور کلی از نظر نوع رسوبات و توپوگرافی، می‌توان به دو نوع قدیم و جدید طبقه بندی نمود. در پادگانه‌های جدید که در کرانه‌های رودخانه قرار دارند رسوبات عمدتاً درشت دانه و شامل قلوله سنگ، شن و ماسه درشت می‌باشد اما پادگانه‌های قدیمی، تناوبی از رسوبات درشت‌دانه و ریزدانه بر روی لایه‌های مارن و یا شیل و آهک قرار دارد که معمولاً هر جا شیب بستر رودخانه کاسته شده و همچنین عرض دره‌ها پهن تر شده‌اند این اشکال قابل مشاهده است. در ارتفاعات شمال شرقی و جنوبی شهرستان به دلیل وجود سازندهای آهکی و همچنین ارتفاع بالا، آب و هوا سردتر است و در نتیجه هوازگی فیزیکی از نوع انحلال موثرتر می‌باشد. بنابراین می‌توان اشکال مختلف کارستی را مشاهده کرد. از دیگر فرم‌های مشاهده شده می‌توان دایک‌های آتشفشانی را نام برد که در قسمت‌های غربی و جنوب شهرستان مشاهده می‌شوند. همچنین بدلندها که در اثر فرسایش در زمین‌های بدون پوشش گیاهی یا با پوشش پراکنده ایجاد می‌شوند و دارای سازندهای حساس به فرسایش می‌باشند، این عوارض در قسمت‌های جنوب شرقی و در بخش‌های داخلی منطقه به سمت شمال شرق دیده می‌شوند.



شکل ۱: موقعیت شهرستان مشهد در استان خراسان رضوی

### روش تحقیق

با توجه به اهداف تعیین شده در این پژوهش روش تحقیق مورد استفاده از نوع توصیفی - کمی می‌باشد. در مرحله اول تحقیق ابتدا با بررسی منابع کتابخانه‌ای به جمع‌آوری کتب و مقالات مربوطه، گزارشات مجلات و سایر منابع در دسترس و مرتبط با موضوع پرداخته شده است اطلاعات پایه و اولیه جمع‌آوری و شاخص‌های مورد نظر انتخاب گردید. در ادامه با همپوشانی مرز محدوده مورد مطالعه و با نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور،

نقشه زمین‌شناسی و سازندهای شهرستان مشهد تهیه گردید. برای تهیه نقشه ژئومورفولوژی شهرستان مشهد از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سال ۲۰۱۴) و نقشه‌های توپوگرافی س. ۵۰۰۰:۱ ازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. همچنین در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع<sup>۱</sup> شهرستان مشهد برای تهیه نقشه انرژی لندفرم<sup>۲</sup> در خصوص ایجاد تنوع زمینی استفاده شد، از نقشه ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و انرژی برای تهیه مدل خردشدگی<sup>۳</sup> (نقشه پتانسیل هوازدگی) و از نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۴</sup> و کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۲۰۱۴) برای تهیه نقشه حفاظت لندفرم<sup>۵</sup> استفاده شد. جهت دستیابی به اهداف مورد نظر از نرم افزارهای Google Earth7، Arc GIS10.3 و Vikor جهت تهیه نقشه و تجزیه و تحلیل داده استفاده شد. بطور کلی این در سه مرحله به شرح زیر صورت گرفته است:

۱- تهیه نقشه‌ی تنوع‌زمینی بر پایه درجه حساسیت‌پذیری و درجه حفاظت لندفرم (رویکرد کمی)

جهت تهیه نقشه تنوع زمینی از ۵ معیار تأثیرگذار شامل سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، انرژی (تهیه نقشه حساسیت)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده و کاربری اراضی (نقشه حفاظت) استفاده شد. سپس با توجه به این که لایه تهیه شده از نوع وکتوری بوده با استفاده از توابع مناسب در نرم افزار ArcGIS به لایه‌های رستری تبدیل شد. در مرحله بعد هر یک از لایه‌های رستری را جهت یکسان سازی ارزش‌های سلولی، طبقه‌بندی و سپس امتیازدهی مجدد صورت گرفت و در پایان با استفاده از روش Weighted Sum ادغام لایه‌ها صورت گرفت.

جدول ۱: نحوه امتیازدهی و طبقه‌بندی معیارهای مورد استفاده در تنوع زمینی

کلاس طبقه بندی		معیارهای مؤثر در تنوع‌زمینی				
		حساسیت لندفرم			حفاظت لندفرم	
کلاس کمی	کلاس کیفی	ژئومورفولوژی	زمین‌شناسی	انرژی	شاخص پوشش گیاهی	کاربری اراضی
I	کم	اثرات انسانی	آذرین دگرگونی	< ۱۵۰۰	۰/۳_۰/۶	کشاورزی، سکونتگاه شهری
II	متوسط	اشکال فرسایش آبی، بادی	رسوبی	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۰/۰۰_۰/۳	مرتع، بیشه زار
III	زیاد	گسل، کارست، مخروط افکنه، حرکات دامنه‌ای	کربناته	> ۲۰۰۰	-۰/۵_۰/۰۰	رخنمون سنگی، جنگل، رودخانه بستر

جدول ۲: نحوه طبقه‌بندی و امتیازدهی لایه تنوع‌زمینی

لایه تنوع زمینی		کلاس طبقه بندی		لایه‌ها	
کلاس کیفی	تنوع زمینی	کلاس کمی	کلاس کیفی	حساسیت	حفاظت
کم	< ۳	۱	کم	۳-۴	< ۳
متوسط	۳-۴	۲	متوسط	۴-۶	۳-۴
زیاد	۴-۶	۳	زیاد	۶-۹	۴-۶

1 Digital model elevation

2 Landform Energy

3 Fragmentation models

4 Normalized Difference Vegetation Index

5. Landform Preservation

۲- طبقه‌بندی تنوع‌زمینی شهرستان مشهد بر اساس ماتریس رتبه‌ای ویکور و تغییرات ارتفاعی در این روش ابتدا با استفاده از دستور zonal statistic میانگین هر یک از معیارهای تنوع‌زمینی در هر طبقه ارتفاعی محاسبه شد. سپس ماتریس تصمیم اوزان برای انجام الگوریتم ویکور بر اساس رابطه زیر ایجاد شد (رابطه ۱)

$$D = \begin{matrix} A_1 & C_1 & \dots & C_5 \\ \vdots & a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_5 & a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{matrix}$$

جدول ۳: تشکیل ماتریس تصمیم مربوط به طبقات ارتفاعی

شاخص‌ها	پوشش گیاهی	زمین شناسی	کاربری اراضی	ژئومورفولوژی	انرژی
گزینه‌ها					
< ۱۰۰۰	۱/۲۷	۳۲/۱	۵۴/۱	۹۹/۱	۱/۰۰
۱۰۰۰ - ۱۵۰۰	۶/۱	۱۹/۱	۵۴/۱	۰۱/۲	۱/۰۰
۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۴۰/۱	۵۳/۱	۸۶/۱	۲۵/۲	۱/۹۹
۲۰۰۰ - ۲۵۰۰	۷۹/۱	۴۹/۱	۹۹/۱	۴۶/۲	۰۰/۳
> ۲۵۰۰	۹۴/۱	۰۸/۱	۱۲/۲	۵۸/۲	۰۰/۳

پس از تشکیل ماتریس وزنی، بر اساس رابطه ۲ هر یک از مقادیر نرمال شد.

رابطه ۲)

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_j^n x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

در این پژوهش، پس از تهیه ماتریس وزنی، مقادیر ماتریس با استفاده از رابطه ۲ نرمال شدند. بعد از نرمال سازی، مقادیر سودمندی و پیشیمانی بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی ویکور تعیین و انجام گرفت. در ادامه بهترین و بدترین مقدار که به ترتیب \*fj و fi نامیده می‌شوند، از بین بیشترین و کمترین مقادیر نرمال شده برای هر معیار مطابق روابط ۳ و ۴ به دست آمد.

$$f_j^* = \text{Max} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه ۳}$$

$$f_j^- = \text{Min} f_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۴}$$

این مقادیر برای محدوده مورد مطالعه در جدول ۴ آورده شده است

جدول شماره ۴: بیشترین و کمترین مقادیر نرمال شده‌ی هر یک از معیارها

شاخص‌ها	شاخص پوشش گیاهی	زمین شناسی	کاربری اراضی	ژئومورفولوژی	انرژی
fj*	۰/۵۶۳	۰/۹۹۹	۰/۵۱۹	۰/۵۰۸	۰/۶۱۲
fj-	۰/۳۳۶	۰/۰۰۷	۰/۳۷۷	۰/۳۹۲	۰/۲۰۴



در پایان با توجه به مقادیر مثبت و منفی محاسبه شده در مرحله قبل، فاصله هر گزینه از راه حل برتر و سپس حاصل جمع آن‌ها برای ارزش نهایی براساس روابط ۵ و ۶ محاسبه شد. به بیانی دیگر در این مرحله سودمندی و پشیمانی حاصل از انتخاب یک گزینه، به منزله رتبه ایده‌آل (گزینه برتر) است که کمترین پشیمانی و بیشترین سودمندی را به همراه دارد.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{w_j (f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad \text{رابطه ۵}$$

$$R_i = \text{Max} \left[ \frac{w_j (f_j - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad \text{رابطه ۶}$$

همانگونه که در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود، برترین رتبه بر اساس ارزش  $S_i$  و بدترین رتبه بر اساس ارزش  $R_i$  به دست می‌آید.

جدول شماره ۵: ضریب سودمندی و تأسف

گزینه‌ها	<1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 2500	>2500
$S_i$	۴/۱۲	۳/۹۶	۱/۸۲	۲/۲۳	۲/۰۰
$R_i$	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۵	۰/۹۹	۱/۰۰

در نهایت پس از محاسبه مقادیر سودمندی و پشیمانی شاخص ویکور ( $Q_i$ ) برای هر گزینه (طبقات ارتفاعی) به صورت مجزا و بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد.

$$Q_i = v \left[ \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[ \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad \text{رابطه ۷}$$

در این رابطه:  $S^- = \text{Max} S_i$ ،  $S^* = \text{Mini} S_i$ ،  $R^- = \text{Max} R_i$ ،  $R^* = \text{Mini} R_i$  و  $v$  معرف تعداد گزینه‌ها (طبقات ارتفاعی) است. جدول شماره ۶ مقادیر ضریب ویکور را برحسب طبقات ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول شماره ۶: مقدار ضریب ویکور برای هر گزینه

گزینه‌ها	<1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 2500	>2500
شاخص ویکور	۱	۰/۹۹	۰	۰/۵۹	۰/۵۴
رتبه	۵	۴	۱	۳	۲

۳- اولویت‌بندی تنوع‌زمینی تقسیمات اداری - سیاسی شهرستان مشهد بر پایه الگوریتم ویکور  
برای تهیه نقشه تنوع‌زمینی در محدوده دهستان‌ها همانند روش دوم، در وهله اول مقدار میانگین هر یک از معیارهای مورد نظر در سطح دهستان‌های شهرستان مشهد محاسبه شد. و هر یک از مراحل روش ویکور در رابطه با دهستان‌ها اجرا شد که جهت جلوگیری از تکرار مطالب به ارائه نتایج بسنده شده است.

شاخص‌ها	شاخص پوشش گیاهی	ژئومورفولوژی	زمین شناسی	کاربری اراضی	انرژی
کارده	۱/۰۸	۱/۷۵	۲/۴۸	۱/۹۱	۲/۴۵
درازآب	۱/۳۵	۱/۲۴	۲/۱۸	۱/۴۰	۱/۲۳
میان ولایت	۱/۵۵	۱/۳۵	۲/۰۰	۱/۰۴	۱/۰۰
پایین ولایت	۱/۰۷	۱/۱۰	۲/۰۱	۱/۸۱	۱/۰۱
سرچام	۱/۱۷	۱/۵۳	۱/۷۸	۱/۵۰	۱/۲۲
آبروان	۱/۲۰	۱/۳۳	۱/۹۰	۱/۳۲	۱/۰۶

۱/۵۰	۱/۶۵	۱/۹۸	۱/۱۱	۱/۱۲	پیوه ژن
۱/۰۴	۱/۴۵	۲/۰۹	۱/۱۶	۱/۱۷	میامی
۱/۰۰	۱/۰۴	۲/۰۰	۱/۶۳	۱/۵۰	طوس
۱/۰۵	۱/۳۷	۲/۰۹	۱/۳۰	۱/۲۲	کنویست
۱/۳۰	۱/۴۹	۲/۲۲	۱/۲۱	۱/۳۶	تبادکان

جدول شماره ۷: ماتریس تصمیم مربوط به دهستان‌ها

جدول شماره ۸: بیشترین و کمترین مقادیر نرمال شده هر یک از معیارها

شاخص‌ها	انرژی	کاربری اراضی	زمین شناسی	ژئومورفولوژی	شاخص پوشش گیاهی
$f_j^*$	۰/۵۵	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۲۵
$f_j$	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۳۶

جدول شماره ۹: مقدار سودمندی و تأسف

گزینه‌ها	کارده	درازآب	میان ولایت	پایین ولایت	سرجام	آبروان	پیوه ژن	میامی	طوس	کنویست	تبادکان
$S_i$	۰/۰۲	۳/۲۲	۴/۳۰	۲/۷۷	۲/۸۶	۳/۳۸	۲/۷۵	۳/۱۷	۳/۷۶	۳/۱۴	۳/۰۸
$R_i$	۰/۰۲	۰/۸۴	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۳

جدول شماره ۱۰: مقدار ضریب ویکور برای هر گزینه

گزینه‌ها	کارده	درازآب	میان ولایت	پایین ولایت	سرجام	آبروان	پیوه ژن	میامی	طوس	کنویست	تبادکان
شاخص ویکور	۰	۰/۷۷	۱	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۸۶	۹۹/۹۴	۰/۸۵	۰/۷۸
رتبه	۱	۲	۱۱	۴	۶	۹	۵	۸	۱۰	۷	۳

## بحث و نتایج

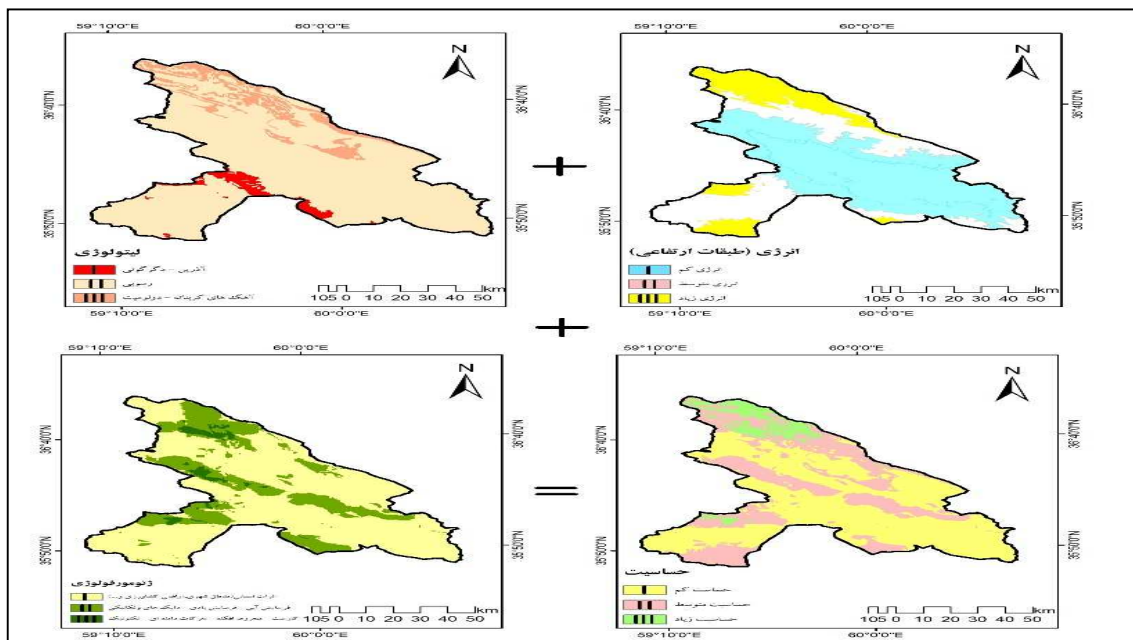
### تهیه لایه حساسیت

همانطور که قبلاً بیان شد در این پژوهش نقشه حساسیت از ترکیب سه معیار زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و انرژی لندفرم تهیه شد. سه لایه فوق، برای همپوشانی به لایه رستری تبدیل شده و در سه کلاس طبقه‌بندی شدند. در نقشه ژئومورفولوژی، نقش انسان را بعنوان یک موجود زنده در تخریب بیولوژیکی و فرسایشی پوسته زمین مورد توجه قرار داده ایم. در این نقشه کلاس ۳ دارای بیشترین امتیاز بوده و کلاس ۱ که شامل اثرات انسانی است بدلیل از بین رفتن اشکال و لندفرم‌های ژئومورفیک دارای کمترین امتیاز تنوع است. نقشه انرژی با در نظر گرفتن نقش تغییر شرایط اقلیمی در سطوح ارتفاعی شهرستان مشهد به سه کلاس طبقه بندی شد که بیشترین میزان تنوع زمینی مربوط به کلاس ۳ نقشه انرژی با ارتفاع  $> 2000$  است و شامل ارتفاعات کپه داغ در شمال و بینالود در جنوب غربی شهرستان است، انرژی متوسط یا تنوع متوسط مربوط به طبقه ارتفاعی  $1500 - 1000$  است و طبقه ارتفاع  $< 1000$  که دارای کمترین امتیاز تنوع است در قسمت‌های داخلی منطقه واقع شده است در طبقه‌بندی نقشه سنگ‌شناسی کلاس یک که شامل سنگ‌های آذرین و دگرگونی است دارای کمترین امتیاز مربوط به تنوع زمینی است، کلاس ۳ که شامل سازندهای آهکی و دولومیتی است به دلیل حساسیت بالای این نوع از سنگ‌ها در برابر انحلال و اهمیت آن‌ها در ویژگی ناهمواری‌ها و پیدایش اشکال خاصی که اصطلاحاً کارستی نامیده می‌شوند دارای بیشترین امتیاز تنوع بوده و کلاس متوسط مربوط به سایر سنگ‌های رسوبی است. با توجه به جدول شماره ۱۱ بیشترین امتیاز تنوع زمینی مربوط به کلاس ۳ با دامنه عددی بین ۹ تا ۶ می‌باشد، به این معنی که این محدوده دارای ارتجاع پایین یا حساسیت بالا است و به عبارتی از تنوع زمینی یا سیستم‌ها و فرم‌های

پیچیده‌تری برخوردار می‌باشد کلاس متوسط حساسیت بین ۴ تا ۶ بوده و کمترین امتیاز تنوع‌زمینی مربوط به کلاس یک با دامنه عددی بین ۳ تا ۴ است، با توجه به نتایج حاصله، حساسیت بالا ۳۲/۷۹ درصد از منطقه را در بر گرفته است و حدود ۶۰/۱۹ درصد دارای حساسیت متوسط و کمترین درصد مساحت مربوط به حساسیت کم می‌باشد

جدول ۱۱: طبقه‌بندی و درصد مساحت کلاس‌های مربوط به حساسیت

کلاس کمی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	شاخص حساسیت
۴-۳	۶۳۳/۶۸	۷/۰۲	حساسیت کم
۶-۴	۵۴۲۸/۸۷	۶۰/۱۹	حساسیت متوسط
۹-۶	۲۹۵۷/۷۶	۳۲/۷۹	حساسیت زیاد

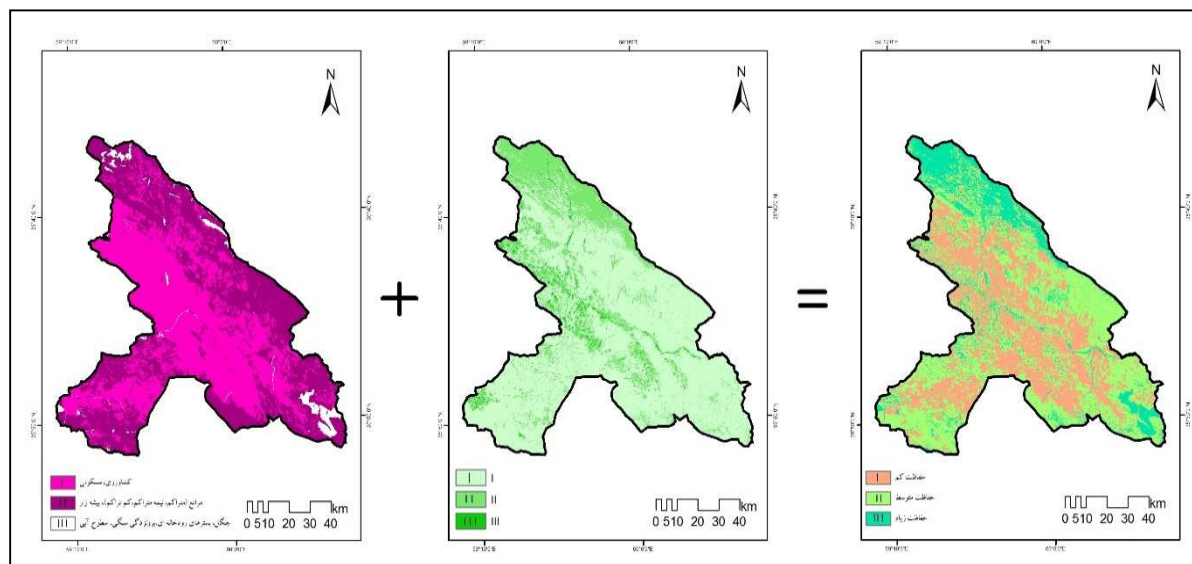


شکل ۲: فرایند تهیه نقشه حساسیت لندفرم

### تهیه لایه حفاظت

همانطور که پیش‌تر بیان شد نقشه حفاظت لندفرم‌ها پس از پردازش رقومی نقشه پوشش، با توجه به انواع پوشش طبیعی زمین و نقشه‌ی کاربری اراضی ساخته شده است. شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استخراج شد. در ادامه لایه‌های رستری کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی در سه کلاس طبقه‌بندی و امتیازدهی شده است. بر اساس شاخص پوشش گیاهی نرمال شده کمترین مقدار شاخص پوشش گیاهی در این پژوهش ۰/۳- بوده است که بدلیل اثر معکوس پوشش گیاهی در تحول لندفرم‌ها (اشکال کارستی و غیره) می‌توان

گفت که این محدوده دارای تنوع بالا است و بیشترین مقدار شاخص پوشش گیاهی ۰/۶ است که دارای کمترین میزان

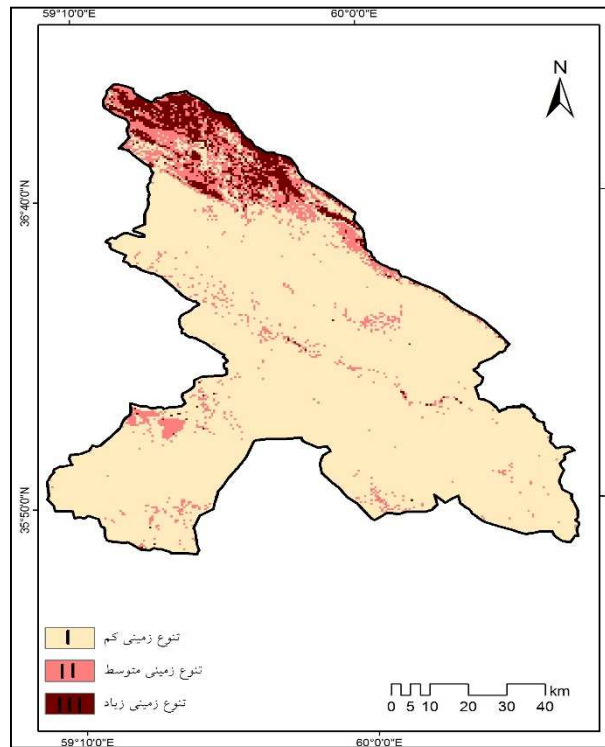


شکل ۳: فرایند تهیه نقشه حفاظت لندفرم

تنوع است. در تهیه نقشه کاربری اراضی کلاس ۳ مربوط به کاربری‌های می باشد که سطح مورفولوژی کمترین تبدیل را به واسطه فرایندهای ریختزایی داشته و تقریباً توسط فرایندهای ساخته دست بشر دست نخورده باقی مانده است. بعنوان نمونه جنگل‌ها، سطوح آبی و غیره کلاس ۱ و دارای کمترین امتیاز مربوط به تنوع و دارای سطح ضعیفی از حفظ برجستگی است، یعنی تبدیل کامل توسط انسان یا تبدیل‌هایی که می‌توان گفت غیرقابل برگشت‌اند مانند مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و غیره. نتیجه ادغام این لایه‌ها با یکدیگر نشان داد که حدود ۴۷/۸۵ درصد از وسعت شهرستان دارای حفاظت زیاد، ۳۶/۴۳ درصد دارای حفاظت متوسط و ۱۵/۷۲ درصد منطقه را حفاظت کم در بر گرفته است. مقدار حفاظت بیشتر دربخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه گسترش دارند که منطبق بر محدوده‌ایی است کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده دارای بیشترین امتیاز هستند.

تهیه نقشه تنوع زمینی مرحله اول

از هم‌پوشانی دو نقشه حفاظت و حساسیت، نقشه تنوع‌زمینی در سه کلاس تولید شد. بالاترین میزان تنوع زمینی در شهرستان مشهد در نیمه شمالی شهرستان قرار دارد. قرارگیری در عرض‌های جغرافیایی، نوع سازندهای زمین شناسی که عمدتاً شامل سازندهای آهکی و دولومیتی مزدوران، نوع اقلیم و وجود ناهمواری‌ها از عوامل اصلی در شکل‌گیری تنوع‌زمین می‌باشد. در نقشه تنوع‌زمینی به دست آمده مشخص شد که لندفرم‌های شهرستان مشهد عمدتاً تحت نفوذ طبقه اول یعنی تنوع‌زمینی کم قرار دارد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد در حدود ۸۶/۱۶ درصد از وسعت شهرستان مشهد دارای تنوع-زمینی کم که عمدتاً شامل نواحی سکوتگاهی و اراضی کشاورزی می‌باشند. همچنین ۸/۴۵ درصد از وسعت منطقه دارای تنوع متوسط و ۵/۳۹ درصد نیز دارای تنوع بالا می‌باشد که این محدوده عمدتاً بر روی سازندهای ضخیم لایه آهکی و کارستی منطقه کلات منطبق شده‌اند.



شکل ۴: نقشه تنوع زمینی شهرستان مشهد

## تهیه نقشه تنوع با روش ویکور (مرحله دوم)

قرارگیری گزینه‌ها با توجه به کاهش مقادیر R,S,Q است، به طوری که کمترین مقدار Q بالاترین رتبه ارزیابی از حیث تنوع زمینی را خواهد داشت. با توجه به مقادیر Q,R,S در جدول شماره ۱۲ گزینه‌ها در سه گروه مرتب شدند و در نهایت گزینه‌ای که در هر سه گروه گزینه برتر شناخته شده است، بعنوان گزینه برتر انتخاب شد. نتایج بررسی گروه‌بندی شاخص ویکور (Q)، سودمندی (S) و پشیمانی (R) نشان داد که گزینه سه (سطح ارتفاعی ۲۰۰۰ - ۱۵۰۰) در منطقه مطالعاتی، دارای بالاترین درجه تنوع است. همانطور که شکل ۵ نشان می‌دهد، توان و استعداد طبقات ارتفاعی در منطقه با افزایش میزان Q کاهش می‌یابد.

جدول ۱۲: رتبه‌بندی مقادیر Q,R,S برای طبقات ارتفاعی شهرستان مشهد

سطوح ارتفاعی	گزینه‌ها	ضریب سودمندی (S)	ضریب تأسف (R)	مقدار شاخص ویکور (Q)	رتبه
< ۱۰۰۰	گزینه یک	۴/۱۲	۱/۰۰	۱	۵
۱۰۰۰ - ۱۵۰۰	گزینه دو	۳/۹۶	۱	۰/۹۹	۴
۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	گزینه سه	۱/۸۲	۰/۵۵	۰	۱
۲۰۰۰ - ۲۵۰۰	گزینه چهار	۲/۲۳	۰/۹۹	۰/۵۹	۳
> ۲۵۰۰	گزینه پنج	۲/۰۰	۱	۰/۵۴	۲

## تهیه نقشه تنوع بر اساس تقسیمات اداری - سیاسی

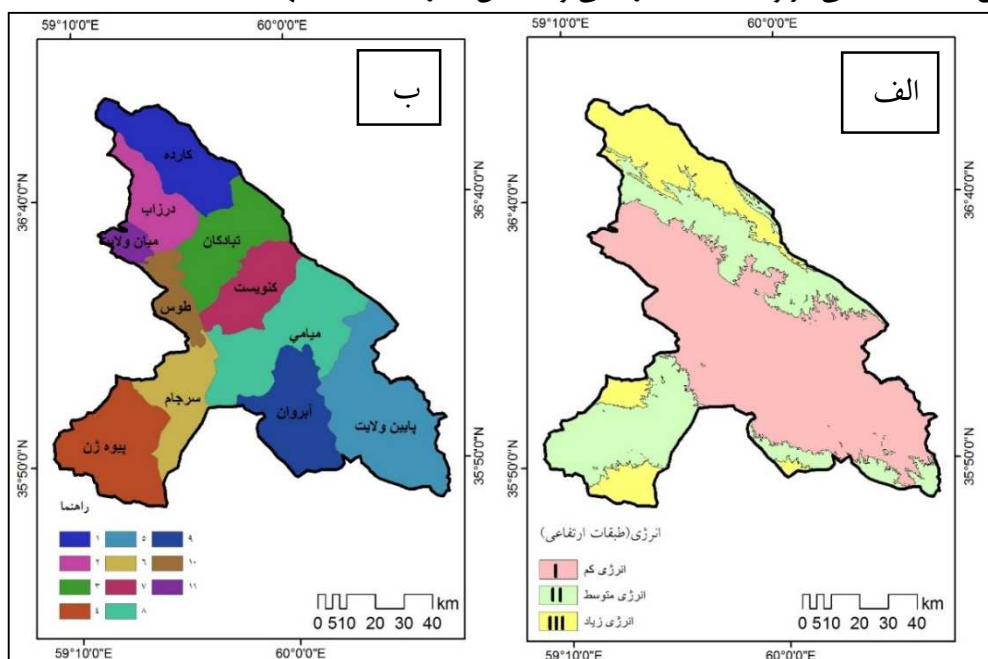
نتایج بررسی گروه‌بندی شاخص ویکور (Q)، سودمندی (S) و پشیمانی (R) نشان داد که دهستان کارده در منطقه مطالعاتی، دارای بالاترین درجه تنوع است. همچنین پس از دهستان کارده، دهستان درازآب و تبادکان، به ترتیب با مقدار شاخص

$Q=0/77$ ،  $Q=0/78$  از استعداد زیاد یا درجه تنوع زمینی بالایی برخوردارند. همانطور که در جدول شماره ۱۳ نشان می‌دهد، توان و استعداد دهستان‌ها در منطقه با افزایش میزان  $Q$  کاهش می‌یابد. با این وصف، همانطور که در روند افزایشی شاخص ویکور مشخص است، دهستان میان ولایت، با حداکثر شاخص بهینه‌سازی ( $Q$ ) و حداکثر فاصله از مقدار ایده‌آل، دارای پایین‌ترین درجه حساسیت یا استعداد نسبت به تنوع زمینی است.

جدول ۱۳: رتبه‌بندی مقادیر  $Q, R, S$  برای دهستان‌های شهرستان مشهد

رتبه	مقدار شاخص ویکور ( $Q$ )	رتبه	ضریب تأسف ( $R$ )	رتبه	ضریب سودمندی ( $S$ )	گزینه‌ها
۱۱	۱	۱	۱	۱	۴/۳۰	میان ولایت
۱۰	۹۴/۹۹	۳	۰/۹۹	۲	۳/۷۶	طوس
۹	۰/۸۸	۷	۰/۹۵	۳	۳/۳۸	آبروان
۲	۰/۷۸	۸	۰/۸۴	۴	۳/۲۲	درازآب
۸	۰/۸۶	۱۰	۰/۷۸	۵	۳/۱۷	میامی
۷	۰/۸۵	۶	۰/۹۶	۶	۳/۱۴	کنویست
۳	۰/۷۷	۹	۰/۸۳	۷	۳/۰۸	تبادکان
۶	۰/۸۴	۲	۱	۸	۲/۸۶	سرجام
۵	۰/۸۳	۴	۰/۹۹	۹	۲/۷۷	پایین ولایت
۴	۰/۸۲	۵	۰/۹۸	۱۰	۲/۷۵	پیوه زن
۱	۰	۱۱	۰/۰۲	۱۱	۰/۰۲	کارده

پس از تعیین رتبه  $Q$  و دسته‌بندی آن مقادیر  $R, S$  برای تهیه نقشه تنوع زمینی بر پایه مقادیر شاخص بهینه‌سازی ویکور ( $Q$ )، مناطق بر اساس شاخص ویکور امتیازدهی شدند، در نهایت بر اساس مقادیر کمی  $Q$  و رتبه‌بندی شاخص ویکور، نقشه تنوع زمینی منطقه مطالعاتی مربوط به طبقات ارتفاعی و دهستان‌ها در محیط GIS تهیه شد.

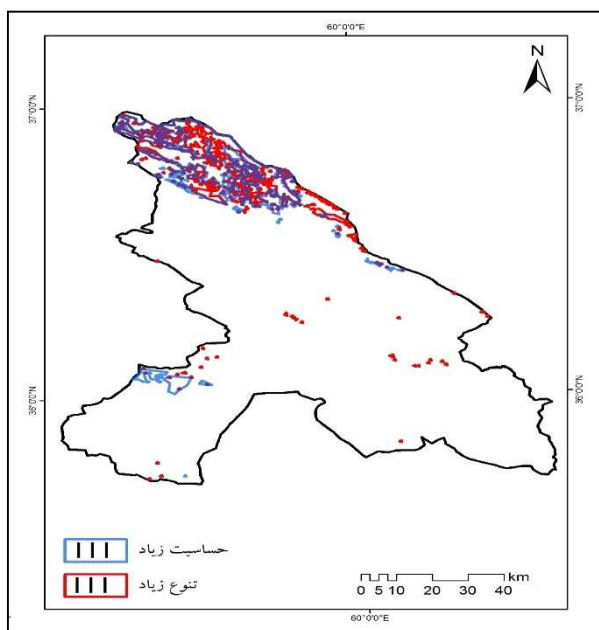


شکل ۵: نقشه تنوع زمینی شهرستان مشهد بر اساس روش ویکور الف: طبقات ارتفاعی، ب: دهستان‌ها

مقایسه نقشه‌های تنوع‌زمینی نشان دهنده آن است که روش اختلاف حساسیت و حفاظت لندفرم‌ها، نتایج مشابه‌ای با روش ویکور نشان داده است، بطوریکه مناطق با درجه ارتفاعی بالاتر منطبق با بیشترین کلاس تنوع‌زمینی بوده که بطور عمده در قسمت‌های شمالی شهرستان مشهد واقع شده‌اند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به تأثیر شاخص‌های انتخاب شده از قبیل کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و انرژی بر روی تنوع زمینی، نقشه تنوع طی سه مرحله یعنی همپوشانی لایه‌های ذکر شده در محیط GIS، روش ویکور در رابطه با دهستان‌ها و روش ویکور مربوط به طبقات ارتفاعی استخراج شد و در کل شهرستان مشهد مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج بدست آمده و تولید نقشه تنوع در مرحله اول نشان می‌دهد که نقشه تنوع‌زمینی بسیار شبیه نقشه انرژی می‌باشد، اما لازم به تأکید است که مطالب اطلاعاتی آن بطور قابل ملاحظه‌ای از نقشه حساسیت لندفرم غنی شده است. این در حالی است که، نقشه‌ی حفظ لندفرم نقش بسزایی در شناسایی مناظر و انواع لندفرم‌های ساخته‌ی دست بشر دارد. همانطور که قبلاً به آن اشاره شد حدود ۸۶/۱۶ درصد از وسعت شهرستان مشهد دارای تنوع زمینی کم بوده که عمدتاً شامل نواحی سکونتگاهی و اراضی کشاورزی است. همچنین ۸/۴۵ درصد از وسعت منطقه دارای تنوع متوسط و ۵/۳۹ درصد نیز دارای تنوع بالا می‌باشد که این محدوده عمدتاً در نیمه شمالی شهرستان و بر روی سازندهای ضخیم لایه آهکی و اشکال کارستی منطقه کلات قرار گرفته است که با نقشه تنوع استخراج شده توسط روش ویکور طی دو مرحله منطبق است. تنوع زمین‌شناسی که ما در این پژوهش بررسی کردیم یک تنوع پویا است زیرا که برای پیشرفت و تغییر لندفرم‌ها زمان زیادی لازم است و تشخیص این نوع تنوع بدلیل پیچیدگی فرایند تکامل ناهمواری دشوار است. طبق پژوهشی که زاولنسکی (۲۰۰۹) انجام داده می‌توان گفت که در نظر گرفتن شاخص‌های فوق نتایج قابل قبولی در رابطه با تهیه نقشه تنوع به دست می‌دهند همچنین با استفاده از GIS بهتر می‌توان به ترکیب و تجسم میزان تنوع‌زمینی پرداخت. با این وجود، پتانسیل آنالیز اطلاعات زمین‌شناختی به منظور مطالعه تنوع و پویایی آن، بسیار فراتر از آنالیزهایی است که در این پژوهش ارائه شده است. استخراج نقشه تنوع در مرحله دوم و با استفاده از روش ویکور نشان داد دهستان کارده و طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ - ۱۵۰۰ متر، در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه، دارای بیشترین میزان تنوع‌اند که این نتیجه منطبق بر نتایج بدست آمده از مرحله یک است. همچنین بررسی نقشه تنوع‌زمینی و بازدیدهای میدانی و مقایسه با نتایج تحقیقات زاولنسکی و نجور (۲۰۱۴) مؤید کارایی مناسب الگوریتم ویکور در رتبه‌بندی و درجه استعداد منطقه به تنوع زمینی بود. نتایج این پژوهش و روش پیشنهادی استفاده شده می‌تواند در مطالعات بعدی راه‌گشا و نیز، مورد ارزیابی و مقایسه با سایر روش‌های برآورد تنوع‌زمینی قرار گیرد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از مدل ویکور می‌توان اینگونه استنباط نمود در شهرستان مشهد دهستان کارده که از تنوع زمینی بالایی برخوردار می‌باشد با برنامه ریزی و مدیریت صحیح می‌توان زمینه توسعه گردشگری ژئوتوریسم را فراهم آورد. در عین حال شهر و شهرستان مشهد سالانه پذیرای میلیون‌ها نفر گردشگر و زائر می‌باشد که با ایجاد سایت‌های گردشگری ویژه ژئوتوریسم در محدوده با تنوع زمینی بالا می‌توان نقش مهمی در افزایش تعداد گردشگران ژئوتوریسم داشت. همچنین از طریق درآمدهای حال از این بخش می‌توان نقش تعیین‌کننده در توسعه پایدار منطقه داشته باشد



شکل ۶: همپوشانی و انطباق نقشه تنوع زمینی و حساسیت لندفرم‌ها



شکل ۷: تصویری از الف) تاق‌دیس، ب) فرسایش، ج) نمایی از لایه بندی با شیب ملایم در منطقه

## منابع

- بهنیاfer، ابوالفضل و سپهر، عادل و منصوری، محمد رضا، ۱۳۹۱، ژئومورفوتوریسم کوهستان کلات: همبستگی میان چشمه‌ها و سازندهای زمین شناسی، مطالعه موردی: کلات، مجله علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۴، صص. ۷۰-۷۹.
- حاج علیلو، بهزاد و نکویی صدر، بهرام، ۱۳۹۰، ژئوتوریسم، چاپ اول، انتشارت دانشگاه پیام نور تهران، ص ۲
- سپهر، عادل و بهنیاfer، ابوالفضل و محمدیان، عباسعلی و عبدالهی، ابوالفضل، ۱۳۹۱، تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه سازی توافقی ویکور، مجله علمی - پژوهشی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره یک، صص ۱۰-۱۲.
- عباس نژاد، احمد، ۱۳۹۱، بررسی تأثیر تنوع کانی شناسی زمین بر تنوع زمینی و تنوع زیستی، همایش میراث زمین شناختی ایران، صص ۵-۱



- قنواتی، عزت ا... و کرم، امیرو فخاری، سعیده، ۱۳۹۳، ارزیابی ژئوکانسرویشن با تاکید بر زمین گردشگری، مطالعه موردی: منطقه دماوند، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره دوم، صص ۸۹ - ۷۷.
- موحد، عطا، ۱۳۹۱، میراث زمین شناسی و توسعه گردشگری در ایران، همایش میراث زمین شناختی ایران، صص ۸ - ۱
- یمانی، مجتبی، ۱۳۹۲، نقشه‌های ژئومورفولوژی روش‌ها و تکنیک‌ها، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران. ص ۱۴۱
- Benito-Calvo, A., Perez-Gonzalez, A., Magri, O., 2009. 'Assessing Regional Geodiversity: The Iberian Peninsula,' *Earth Surf. Process. Landforms* 34, PP1433-1445
- Erhartič, B., Zorn, M., 2012, *Geodiversity and Geomorphosite: A Case Study in Slovenia*, *Geografski Vestnik* 84-1, PP51-63.
- Gray M., 2004, *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*, John Wiley, Chichester, department of geography, vol1, p411.
- Kozowski, K., 2004, *Geodiversity. The Concept and Scope of Geodiversity*, *Przegld Geologiczny*, vol. 52, P 835
- Ng, S. L., Marafa, L., M., 2008, *Geodiversity, Geoconservation and Susdevelopment. Paleogeography as geological heritage: Developing geosite classification*, *Earth-Science Reviews* 138 , pp 300-312.
- Ruiz-Flano, P., Serrano, E., Arroyo, P., 2009, *Geodiversity Assessment in a Rural Landscap: Tiermes-Caracena Area (Soria, Spain) . Geoheritage* vol 12, pp 173-180
- Serrano, e, Ruiz-Flano, P., 2007, *Geodiversity. theoretical and applied concept*, vol62, PP140-147
- Sharples, C., 1993, *Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes*. Hobart, Tasmania: Forestry Commission vol 8 P, 25
- Yazdi, A., Arian, M., Rezapour Tabari, M., 2014, *Geological and Geotourism Study of Iran Geology Natural Museum: A Casestudy Hormoz Island*, *Open Journal of Ecology*, vol 4, PP703-714.
- Zwolinski, Z., 2009. "The Routine of Landform Geodiversity Map Design: A Case Study the Polish Carpathian Mts," *Landform Analysis*, vol 11, pp 77-85
- Najwer, A., Zwolinski, Z., 2014, *GIS and Multi-Criteria Evaluation MCE) For Landform Geodiversity Assessment: A Case Study in Swiss Alps*, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16, P1.