

ارزیابی ژئودایورسیتی حوضه های آبریز مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

علیرضا صالحی پور میلانی* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
سید حسن صدوق - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
رسول رفیعی - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۵/۱۴

چکیده

امروزه مفاهیم و رویکرد مطالعات ژئودایورسیتی به سرعت در بین محققین علوم زمین رواج یافته است که تاکید بر ارزیابی تنوع پدیده های غیر زیستی در سیاره ما دارد. از این رو گسترش مطالعات مرتبط با ژئودایورسیتی به خصوص در ایران که از غنای زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی فراوانی برخوردار است، می تواند دریچه ای جدید را در زمینه شناخت پتانسیل های طبیعی مناطق مختلف کشور، بگشاید. هدف این تحقیق بررسی ژئودایورسیتی در حوضه های آبریز مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان است که با توجه به قرار گیری در منطقه ای با تنوع زمین شناختی و ژئومورفولوژی، از اهمیت طبیعی ممتازی برخوردار است. ارزیابی ژئودایورسیتی واحد های مورد مطالعه با استفاده از دو شاخص ژئودایورسیتی و سنجه های سیمای سرزمین، انجام گرفت. به منظور ارزیابی دقیق تر منطقه مورد مطالعه، در قالب چهار ناحیه و ۹ واحد مجزا طبقه بندی و ویژگی های ژئودایورسیتی آنها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از ۶ متغیر زمین شناسی، گسل، لندفرم، شبکه آبراهه، کاربری اراضی و خاک استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان می دهد که بیشینه ارزش در شاخص ژئودایورسیتی در بین محدوده های مورد مطالعه مربوط به ناحیه ۴ با میانگین ارزش ژئودایورسیتی ۲/۵۵ است. از دیدگاه سنجه های سیمای سرزمین ناحیه ۲ با ثبت بالاترین مقادیر در سنجه های RPR، SHDI، SIDI و MSIDI، بیشترین تعداد سنجه های سیمای سرزمین را در به خود اختصاص داده است و بعد از آن ناحیه ۳ با دو سنجه SHDI و MSIEI و ناحیه ۱ در سنجه PRD و ناحیه ۴ در سنجه SIEI هر کدام با یک سنجه در رتبه های بعدی قرار گرفته اند.

واژگان کلیدی: ژئودایورسیتی، شاخص ژئودایورسیتی، سنجه های سیمای سرزمین، دریاچه نمک، حوض سلطان.

مقدمه

امروزه مطالعات علمی گسترده ای در زمینه ژئودایورسیتی در دست انجام است که اهمیت روز افزون شناسایی و محافظت از این میراث‌های زمین شناختی را به جامعه جهانی، یاد آوری می‌نماید. از این رو گسترش مطالعات در این حوزه نظری می‌تواند زمینه را برای شناخت بهتر جاذبه های غیر زیستی ایران، فراهم آورد. حوضه های آبریز و نواحی کوهستانی مسط به دریاچه های نمک و حوض سلطان از جمله مناطقی هستند که از زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی بسیار متنوعی برخوردار هستند، از این رو انجام مطالعات این مناطق با رویکرد های ژئودایورسیتی و ارزش گذاری آن با استفاده از شاخصه های ژئودایورسیتی و همچنین سنجها سیمای سرزمین علاوه بر اینکه رویکردی نو را در زمینه مطالعات طبیعی در این مناطق ایجاد می‌کند، این امکان را در اختیار مدیران سرزمین قرار می‌دهد که در زمینه حفاظت بهتر از این مناطق برنامه ریزی مدونی داشته و همچنین در رابطه با برنامه ریزی های توسعه ای به خصوص گردشگری و آموزشی، تصمیم سازی های مناسبی را طراحی نمایند.

امروزه مطالعه ژئودایورسیتی در حوزه های تصمیم گیری علمی و سیاسی به رسمیت شناخته شده است (گری^۱، ۲۰۰۸، گوردن^۲ و همکاران، ۲۰۱۲، اریک استات^۳، ۲۰۱۳). مفهوم ژئودایورسیتی به عنوان بخش جدایی ناپذیر طبیعت بر ویژگی های غیر زنده محیط تمرکز دارد (گری، ۲۰۱۳). همانند بیودایورسیتی، ژئودایورسیتی نیز به دلیل فعالیت گسترده و فشار بسیار زیادی که بر زمین در طول قرن گذشته وارد شده، در معرض تهدید است (گری، ۲۰۱۳، گوردن و مک فادین^۴، ۲۰۰۱). تنوع زمین ممکن است به عنوان نوعی میراث یا به عنوان منبعی که حفاظت از آن از نظر اصولی موجه است، مورد بررسی قرار گیرد (همانند ژئوسایت های محافظت شده و یا مدیریت شده) (بریلها^۵، ۲۰۰۲، پرورز^۶ و همکاران، ۲۰۱۰، فورتنو گوتیرز و فرناندز-ملرتینز^۷ همکاران، ۲۰۱۲). در بررسی ژئودایورسیتی دو رویکرد کیفی و کمی وجود دارد. توصیف کیفی ژئودایورسیتی شامل توصیفی از عناصر تنوع جغرافیایی در یک منطقه مشخص و در نهایت توضیح در مورد ارزش های آن هاست (بریلها و همکاران، ۲۰۱۸). ولی در رویکرد کمی، تنوع مکانی عناصر جغرافیایی را به صورت عینی تر مورد بررسی قرار می‌دهد. با اینکه برخی از پارامترها ممکن است از طریق اندازه گیری های میدانی و از سنجش از دور مورد بررسی قرار گیرند، ولی اکثر آن ها از روش های کمی به تجزیه و تحلیل نقشه تنوع، فراوانی و توزیع عناصر ژئودایورسیتی در یک منطقه مشخص می‌پردازند (کارکاوایلا^۸ و همکاران، ۲۰۰۷). روش های کمی امکان بررسی کمی و مقایسه ویژگی های ژئودایورسیتی را در مناطق یا واحد های طبیعی (سرانو و رویز فلانو^۹، ۲۰۰۷ a، بنیتو کالوو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹) یا سلول های شبکه ای که در این نقشه ها تولید می‌شوند را، امکان پذیر می‌نماید (جورت و لوتو^{۱۱}، ۲۰۰۹ و پریرا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از محبوب ترین روش های کمی، استفاده از شاخص های ژئودایورسیتی است. بیشتر مطالعاتی که از این روش استفاده می‌کنند، بر اساس مفهومی است که در اصل توسط سرانو و رویز فلانو (۲۰۰۷ a,b) و ۲۰۰۹ منتشر شده است. این دو

1. Gray

2. Gordon

3. Erikstad

4. Gordon and MacFadyen

5. Brillha

6. Prosser

7. Fuertes-Gutiérrez and Fernández-Martínez

8. Carcavilla

9. Serrano and Ruiz-Flan˜o

10. Benito-Calvo

11. Hjort and Luoto

12. Pereira

محقق این روش را برای تایرمس-کاراسنا^۱ (مرکز اسپانیا) مورد استفاده قرار دادند و خصوصیات منطقه کوهستانی با انرژی بالا را مشخص نمودند.

در ارزیابی تنوع جغرافیایی ممکن است از سنج‌های سیمای سرزمین^۲ نیز استفاده شود (ایبانز^۳، ۱۹۹۵، کوت و لس‌نیاک، ۲۰۰۶، مالینوفسکا و زامچر^۴، ۲۰۱۳ و یابوکی^۵ و همکاران، ۲۰۰۹). سنج‌های سیمای سرزمین یکی از مواردی است که در تحلیل تنوع چشم انداز استفاده می‌شود و ایبانز و همکاران (۱۹۹۵) و یاکوبی و همکاران (۲۰۰۹) از این روش برای آزمایش تنوع خاک استفاده کرد. جولیانای بی سیلوا در مقاله‌ای (۲۰۱۳) برای ارزیابی تنوع زمینی حوضه زهکشی زنگینگ برزیل از پنج شاخص زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک، دیرینه‌شناسی و مواد معدنی استفاده کرد و به بررسی مناطق با ارزش ژئودایورسیتی پرداخت. در زمینه استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین مطالعات متعددی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیق جوهان چوردن-های اف بران^۶ از اسکاتلند (۲۰۱۲) اشاره نمود که در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که علاوه بر ارزش ذاتی علمی و آموزشی، تنوع ژئودایورسیتی اسکاتلند بخش جدایی‌ناپذیر از تنوع گسترده تر در طبیعت است که اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را فراهم می‌کند. و همچنین مطالعه دیگری در استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین توسط کوه^۷ و همکاران (۲۰۱۴) در کره جنوبی انجام گرفت که در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره و جی‌ای‌اس و نقشه خاک و زمین‌شناسی جزیره گرانا تنوع سیمای سرزمین را بررسی نمودند و نتایج نشان داد که برای حفاظت از ژئودایورسیتی و ارزش‌های آن بازیگران اصلی، جوامع محلی و ساکنان سایت‌های زمین‌شناختی هستند. شاخص ژئودایورسیتی نیز یکی از شاخص‌ها مهم در مطالعات تنوع سرزمین و ارزیابی ژئودایورسیتی است. در زمینه استفاده از شاخص ژئودایورسیتی میللی^۸ (۲۰۱۴) در ایتالیا مطالعه پرداخت و منطقه مورد نظر را به سلول‌های کوچک تقسیم و با استفاده از فرمول دایورسیتی آن‌ها را مقایسه کرده است. همچنین زیبیگنوزولوسکی^۹ (۲۰۱۰) نیز از این شاخص در مطالعه منطقه‌ای در لهستان استفاده نمود که در آن با جی‌ای‌اس مناطق را به پنج طبقه تقسیم نمود و تقسیم بندی و عوامل ژئودایورسیتی را نسبت به هم سنجیده است. مطالعه دیگری که در زمینه استفاده از شاخص ژئودایورسیتی انجام گرفته است مربوط به دکتر سورانو ورزین فلانو (۲۰۰۷) می‌باشد که با تهیه نقشه ژئودایورسیتی از واحدهای ژئومورفولوژی و استفاده از فرمول ژئودایورسیتی و ایجاد ۵ لایه ارزشی از بسیار کم تا خیلی زیاد به توصیف ارزش ژئودایورسیتی پرداختند. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه ژئودایورسیتی انجام گرفته است. همانطور که پیشتر اشاره شد استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در حوزه مطالعات ژئودایورسیتی، طرفداران فراوانی دارد و از این روش در ایران نیز از این روش استفاده شده است در زمینه استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در توصیف مطالعه ژئودایورسیتی می‌توان به مطالعات گلی مختاری و همکاران (۱۳۹۷) اشاره نمود که به بررسی تنوع زمین‌شناختی حوضه‌های شمال غربی استان فارس پرداخت و با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و متغیرهای میزان شیب و درجه انحنای اقلیم به ارزش‌گذاری و بررسی رابطه شیب و ژئودایورسیتی منطقه پرداخت. مهرنوش حیدری (۱۳۹۷) نیز با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین شاخص‌های ژئومورفولوژی دینامیک و همچنین با در نظر گرفتن قطعه بندی لندفرم به عنوان عامل تأثیرگذار، نقشه پراکندگی ژئودایورسیتی حوضه لار به دست آورد و در روش دوم با استفاده از محاسبه شاخص‌های تنوع در نرم افزار FRAGSTATS

1. Tiermes-Caracena

2. landscape metrics

3. Ibañez,

4. Malinowskaand Szumacher

5. Yabuki

6. Gordon, J. E., & Barron

7. Koh

8. Melelli

9. Zwoliński

به بررسی پراکندگی ژئودایورسیتی در واحدهای زمین‌شناسی حوضه، با دخالت مورفومتریک و مورفوکلیماتیک به عنوان عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری ناهمواری‌ها، پرداخته شده است. انصاری فر و همکاران (۱۳۹۲) نیز با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین به بررسی ژئودایورسیتی منطقه تفتان با استفاده از شیب، تکتونیک و نقشه های گوگل ارث و جی ای اس پرداخت و منطقه را برای ژئودایورسیتی ارزش گذاری کرد.

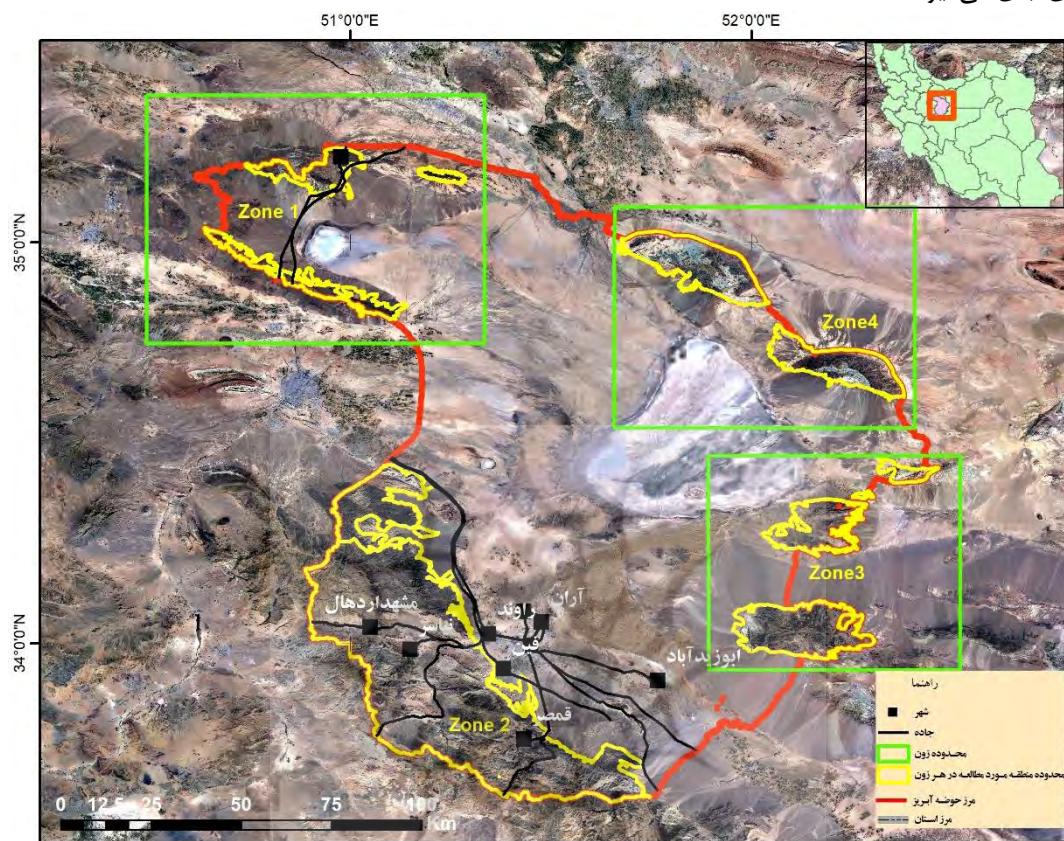
استفاده از شاخص ژئودایورسیتی نیز در توصیف ژئودایورسیتی مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به مطالعه گلی مختاری و بیرامعلی (۱۳۹۷) در بررسی شهرستان اشتهارد از لحاظ زمین‌شناختی اشاره نمود که منطقه مورد مطالعه خود را به ۳ قسمت تقسیم و با استفاده از فرمول ژئودایورسیتی مورد ارزش‌یابی و بررسی قرار داد. سپهر (۲۰۱۳) مخاطرات محیطی و تنوع زمین‌شناختی را دو میراث ژئومورفولوژی نامید. باتجربه و همکاران (۱۳۹۴) ارتفاعات مناطق کارستی و آهکی مشهد را با استفاده از شاخص ژئودایورسیتی بررسی نمود و مناطق دارای بیشترین درجه ژئودایورسیتی معرفی کردند. یزدی و دبیری (۱۳۹۴) نیز با استفاده از این شاخص به بررسی ژئودایورسیتی به عنوان پایه ای بر ژئوتوریسم پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در ژئودایورسیتی ارزش‌ها از جمله ارزش ذاتی، فرهنگی، زیباشناسی، اقتصادی و عملکردی و... همچنین تهدیدهای این حوزه از قبیل تراکم شهرنشینی مجاور ژئوسایت‌ها با هم مرتبط هستند و باید مدیریت ژئوسایت، با تنوع زمین‌شناختی تنظیم و اجرا گردد. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) نیز با استفاده از شاخص GLM به بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن پرداختند. همان‌طور که در پیشینه تحقیق مشاهده می‌شود، مطالعات بر روی ژئودایورسیتی در کشور در ابتدای راه است و هنوز مناطق بسیار زیادی از ایران و همچنین رویکردهای متنوعی از مطالعات دیدگاه ژئودایورسیتی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف این تحقیق بررسی ژئودایورسیتی ارتفاعات مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان و تعیین ارزش‌های ژئودایورسیتی این مناطق با بهره‌گیری از شاخص ژئودایورسیتی^۱ و همچنین هشت سنجه سیمای سرزمین است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل حوضه های آبریز و ارتفاعات مشرف به دریاچه های حوض سلطان و دریاچه نمک است که بین $50^{\circ}31'22''$ تا $52^{\circ}25'11''$ طول جغرافیایی و از $33^{\circ}35'18''$ تا $52^{\circ}35'15''$ و شامل ارتفاعات شمال غرب منطقه و مشرف به حوض سلطان (واحد ۱) است. واحد ۲ جنوب غرب دریاچه نمک قرار دارد. واحد شماره ۳ شامل ارتفاعات جنوب شرق دریاچه نمک و در برگیرنده سه بخش مجزا است و یخاب از مهم‌ترین ارتفاعات این بخش به شمار می‌آید. واحد چهارم در شرق و شمال شرق دریاچه نمک قرار گرفته است و دربرگیرنده دو واحد است. مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه در حدود ۴۱۵۵ کیلومتر مربع است که ناحیه ۱ با ۳۰۸ کیلومتر مربع و ناحیه ۴ با ۲۵۷۱ کیلومتر مربع به ترتیب کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین ناحیه منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه در حدود ۱۰۰۰ متر است و بیشترین ارتفاع در ناحیه ۲ و با ارتفاع ۳۵۹۰ متر مربوط به کوه چال و بعد از آن متعلق به قله برف انبار با ارتفاع ۳۲۵۰ متر است. آب و هوای غالب منطقه مورد مطالعه در طبقه بندی اقلیمی کشور در زمره آب و هوای نیمه بیابانی (جزو اقلیم کویری و خشک) محسوب می‌شود چون نزدیک به منطقه بیابانی مرکز ایران است. تابستان‌های آن گرم و خشک و زمستان‌های آن کم و بیش سرد است. اختلاف دمای سالانه نسبتاً زیاد و در اغلب اوقات خشکی هوا غلبه دارد. بخش جنوب غربی و غرب ناحیه کوهستانی است و از آب و هوای نیمه خشک برخوردار است، در صورتی که بخش شمال شرقی و شرق آن آب و هوای گرم و خشک کویری دارد (روحانی و همکاران، ۱۴۰۰). این محدوده بخشی از حوضه آبریز دریاچه نمک (کویر نمک) را تشکیل داده است و رودخانه‌هایی که بیشتر فصلی هستند به سمت کویر جریان یافته و پس

¹: Geodiversity Indices

از پیمودن مسافتی، در آبرفت‌های بستر خود، فرو می‌روند. به غیر از ارتفاعات ناحیه ۳ که روندی شمال شرق-جنوب غربی دارند، سایر رشته کوه‌های ناحیه با راستای شمال باختری- جنوب خاوری قرار گرفته‌اند و از لحاظ ساختاری محدوده ایران مرکزی جای می‌گیرند.



شکل ۱: جایگاه ارتفاعات مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان در ایران و نواحی مطالعاتی

روش تحقیق

این پژوهش، توصیفی، تحلیلی و کمی می‌باشد. مرز حوضه‌های آبریز واحد‌های مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی Alos-Plasar با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و با بهره‌گیری از افزونه ArcHydro در نرم افزار ArcGis 10.7 تهیه گردید. در این تحقیق شش معیار برای ارزیابی ژئودایورسیتی مورد استفاده قرار گرفت که عبارتند از سنگ شناسی، گسل، لندفرم، کاربری اراضی، نقشه خاک و شبکه آبراهه. نقشه سنگ شناسی و گسل‌ها از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آران، کهک، کاشان، نطنز، یخاب، قم، زاویه و رباط کریم در نرم افزار Arcgis رقومی و استخراج گردید. به منظور تهیه نقشه لندفرم از شاخص موقعیت توپوگرافی^۱ (TPI) استفاده شد. موقعیت توپوگرافی با استفاده از داده‌های مدل ارتفاعی رقومی AlosPlasar و در نرم افزار Saga2.12 تهیه گردید. دامنه، مقادیری بین -۱ تا +۱ دارد و از محاسبه تفاوت بین مقدار ارتفاع سلول و میانگین ارتفاع در یک منطقه مجاور اطراف سلول به دست می‌آید. اعداد منفی مربوط به اختلاف ارتفاع صفر و مناطق مسطح است و اعداد مثبت مربوط به ارتفاعات بالاتر سلول است. با تقسیم بندی شاخص موقعیت توپوگرافی به ده طبقه به شرح جدول ۱ لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه طبقه بندی می‌شوند (وایس^۲، ۲۰۰۱).

1. Topographic Position Index

2. Weiss

جدول ۱: تقسیم بندی TPI بر مبنای واحد های مورفولوژیکی (وایس، ۲۰۰۱)

TPI	واحد های مورفولوژیکی	TPI	واحد های مورفولوژیکی
$-1 < TPI < 1$ شیب $> 5^\circ$	دامنه های باز	$TPI \leq -1$	کانیون ها و آبراهه های عمیق بریده شده
$TPI \geq 1$	دامنه های باز مزا	$-1 < TPI < 1$	زهکشی دامنه ای، دره های عمیق
$TPI \leq -1$	قله های محلی، دره ها و تپه ها	$TPI \geq 1$	زهکش های بالا دست و سرچشمه ها
$-1 < TPI < 1$	یال های متوسط شیب و تپه های کوچک در دشت ها	$TPI - 1 \leq$	دره های U شکل
$TPI \geq 1$	قله های کوه ها، یال های بلند	$-1 < TPI <$ شیب $\geq 5^\circ$	دشت ها

نقشه شبکه زهکشی آبراهه ها با استفاده از داده های رقومی AlosPlasar و در Archydro تهیه گردید. نقشه های کاربری اراضی منطقه از نقشه های ۱:۱۰۰۰۰۰ کاربری اراضی سازمان جنگل ها و مراتع و همچنین نقشه خاک نیز با استفاده از نقشه های خاک ایران استفاده شد. در سنجه های سیمای سرزمین نیازمند داده های رستری است. از این رو داده ها از وکتور به رستر تبدیل گردید و به جای داده های گسل و شبکه زهکشی از تراکم شبکه زهکشی و تراکم گسل استفاده شد. به منظور تحلیل ژئودایورسیتی در منطقه مورد مطالعه از مجموعه روش های کمی، شاخص های ژئودایورسیتی و سنجه های سیمای سرزمین استفاده گردید. در تحلیل شاخص ژئودایورسیتی (GD) از روش سرانو و همکاران ۲۰۰۹ و فرمول ۱ بکار برده شد.

$$(1) \quad Gd = \frac{Eg.R}{LnS}$$

Gd = شاخص ژئودایورسیتی، Eg تعداد عناصر غیر زنده (متغیر های غیر زیستی)، R زبری ناهمواری و LnS لگاریتم مساحت سلول است. استفاده از لگاریتم در فرمول ۱ اثر مساحت را برای تحلیل ژئودایورسیتی کاهش می دهد. زبری ناهمواری نشان دهنده نامنظم بودن یک سطح توپوگرافی است (هانی و همکاران، ۲۰۱۱). پایک و ویلسون (۲۰۱۴) از انتگرال هیپسومتریک برای محاسبه ضریب زبری استفاده نمودند (فرمول، ۲). زمانی که مقدار زبری در یک منطقه افزایش می یابد نشان دهنده این است که در آن منطقه دره ها و یال های متعددی وجود داشته و منطقه از سنگ شناسی متنوعی برخوردار است و به تبع آن فرایند های ژئومورفولوژیکی فعالیت بیشتری در آن منطقه دارند (ملهلی، ۲۰۱۴). این شاخص با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی Alos-Palsar و با بهره گیری از فرمول ذیل محاسبه گردید.

$$R = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (2)$$

مبنای روش شاخص ژئودایورسیتی (GD)، شبکه بندی منطقه و محاسبه فراوانی هر متغییر (عنصر) در هر یک از شبکه ها است، از این رو هر یک از ناحیه های مطالعاتی ابتدا یک شبکه بندی $250 * 250$ متر برای آن اعمال گردید و شاخص ژئودایورسیتی برای هر یک از این شبکه ها محاسبه گردید. در محاسبه سنجه های سیمای سرزمین از هشت شاخص شامل تراکم ناهمواری هر قطعه^۱ (PRD)، غنای نسبی هر قطعه (RPR)، شاخص ناهمواری سیمپسن^۲ (SIEI)، شاخص ناهمواری

1. Patch Richness Density

2. Simpson's Evenness Index

شانون^۱ (HEI)، شاخص دایورسیتی شانون^۲ (SHDI)، شاخص دایورسیتی سیمپسن^۳ (SIDI)، شاخص اصلاح شده ضربی ناهمواری سیمپسون^۴ (SIEI)، شاخص دایورسیتی اصلاح شده سیمپسون^۵ (MSIDI) استفاده گردید (جدول ۲).

جدول ۲: ساختار سنج‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در این مطالعه (بینو کالوو و همکاران، ۲۰۰۹)

واحد	فرمول	دامنه	شاخص
عدد بر ۱۰۰ هکتار	$PRD = m/A(10^4) (10^2)$	$PRD > 0$, without limit	تراکم ناهمواری هر قطعه (PRD)
درصد	$RPR = m/m_{max}(100)$	$0 < \leq 100$ RPR	غنای نسبی هر قطعه (RPR)
-	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (pi \ln pi)$	$SHDI > 0$ without limit	شاخص دایورسیتی شانون (SHDI)
-	$SHEI = - \sum_{i=1}^m (pi \ln pi) / \ln m$	$0 \leq SHEI \leq 1$	شاخص ناهمواری شانون ^۶ (SHEI)
-	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m (pi^2)$	$0 \leq SIDI \leq 1$	شاخص دایورسیتی سیمپسون (SIDI)
-	$SIEI = 1 - \sum_{i=1}^m \left(\frac{pi^2}{1} - \left(\frac{1}{m} \right) \right)$	$0 \leq SIEI \leq 1$	شاخص ناهمواری سیمپسون ^۷ (SIEI)
-	$MSIDI = - \ln \sum_{i=1}^m (pi^2)$	$0 \leq MSIDI \leq 1$	شاخص دایورسیتی اصلاح شده سیمپسون ^۸ (MSIDI)
-	$MSIEI = \left(\frac{- \ln \sum_{i=1}^m pi^2}{\ln m} \right)$	$MSIEI > 0$, without limit	شاخص اصلاح شده ضربی نا همواری سیمپسون ^۹ (MSIEI)

P_i = بخشی از چشم‌انداز که توسط نوع کلاس اشغال شده است $M = \sum$ تعداد کلاس‌هایی که در چشم‌انداز وجود دارند، شامل مرز چشم‌انداز (در صورت وجود
= مساحت کلی واحد)

سنج‌های سیمای سرزمین با استفاده از نرم افزار Fragstats v4.2.1 محاسبه گردید. این نرم افزار در برگیرنده یک برنامه تجزیه تحلیل الگوی فضایی که با هدف کمی نمودن ساختار سیمای سرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

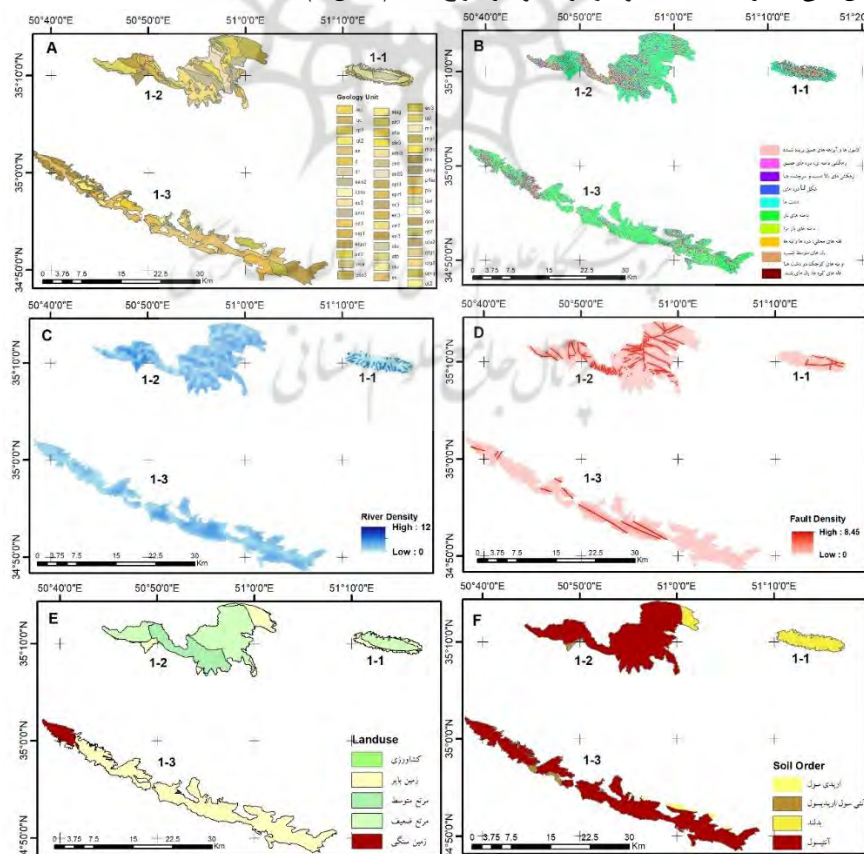
1. Shannon's Evenness Index
2. Shannon's Diversity Index
3. Simpson's Diversity Index
4. Simpson's Simpsons Diversity Index
5. Modified Simpsons Diversity Index
6. Shannon's Evenness Index
7. Simpson's Evenness Index
8. Modified Simpsons Diversity Index
9. Simpson's Diversity Index

بحث

در این تحقیق منطقه مورد مطالعه به چهار واحد تقسیم بندی گردید و ویژگی های هر یک از این مناطق از لحاظ زمین شناسی، تراکم شبکه آبراهه، تعداد و تراکم گسل، کاربری اراضی، لندفرم و خاک به شرح ذیل به شرح ذیل است.

ناحیه ۱

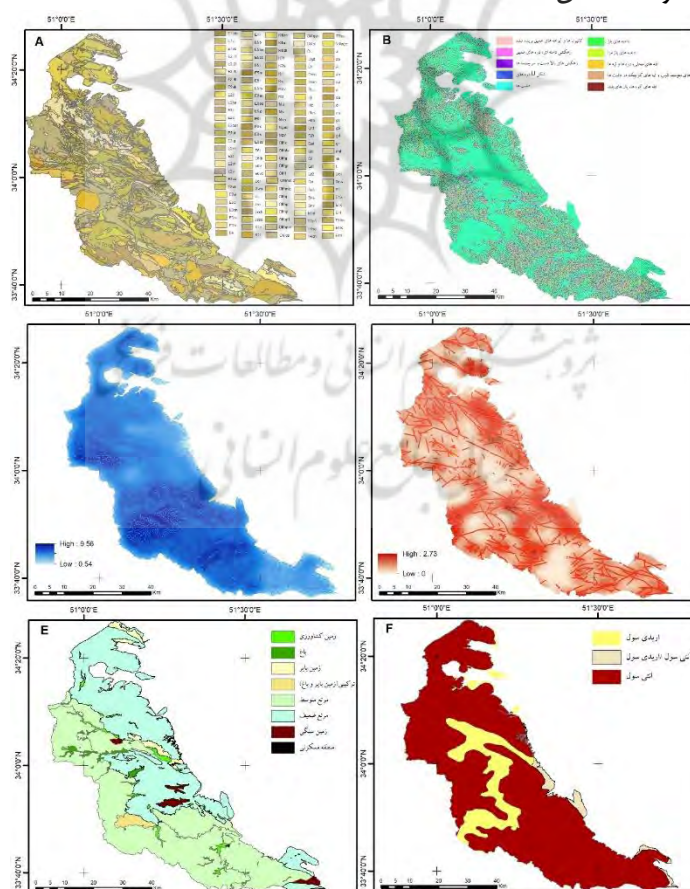
واحد ۱ در شمال و شمال غرب و جنوب غرب دریاچه حوض سلطان قرار گرفته است. مساحت این واحد ۳۰۸ کیلومتر مربع است و از لحاظ جغرافیایی به سه بخش کوه مری (۱-۱)، کوه قرمز (۱-۲) و چشمه پلنگ (۱-۳) تقسیم می شود. حداقل ارتفاع ۸۲۱ متر، حداکثر ارتفاع ۱۹۱۷ متر و میانگین ارتفاعی منطقه ۱۱۹۱ متر می باشد. این منطقه از مجموعه ای از سنگ های رسوبی شامل: ماسه سنگ، تراس های آبرفتی گراولی، سنگ آهک و آهک نومولیتی، مارن و ژپس، شیل، دولومیت و کائولینیت تشکیل شده است و همچنین سنگ های آذرین همانند: آندزیت، برش و توف، کوارتز، اسکارن، دیوریت، سیلتستون، کنگلومرا، ریولیت، ایگنمبریت، پیرو کلاستیک، گابرو، میکرو کوارتز دیوریت، گرانیت و گرانول، اپیدوتیت، بازالت، داسیت و آپلیت نیز در این واحد مشاهده می شود. کاربری اراضی در این واحد شامل کشاورزی، زمین بایر، مرتع متوسط، مرتع ضعیف و زمین سنگی است و از لحاظ خاک شناسی منطقه به واحد های اریدی سول، آنتیسول/اریدیسول، بدلند و آنتیسول تقسیم بندی می گردد. از لحاظ لندفرم نیز در این منطقه و تمامی واحد های دیگر مورد مطالعه همه طبقات را در بر می گیرد که شامل دامنه های باز، دامنه های باز مزه، قله های محلی، دره ها و تپه ها، یال های متوسط شیب و تپه های کوچک در دشت ها، قله های کوه ها، یال های بلند، کانیون ها و آبراهه های عمیق بریده شده، زهکشی دامنه ای، دره های عمیق، زهکش های بالا دست و سرچشمه ها، دره های U شکل و دشت ها می شود. تراکم شبکه آبراهه بین صفر تا ۱۲ و تراکم گسل بین صفر تا ۸/۴۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع است (شکل، ۴).



شکل ۱: متغیر های مورد مطالعه در واحد ۱، A: زمین شناسی، B: لندفرم، C: شبکه آبراهه و تراکم آبراهه، D: گسل و تراکم گسل، E: کاربری اراضی، F: خاک

ناحیه ۲

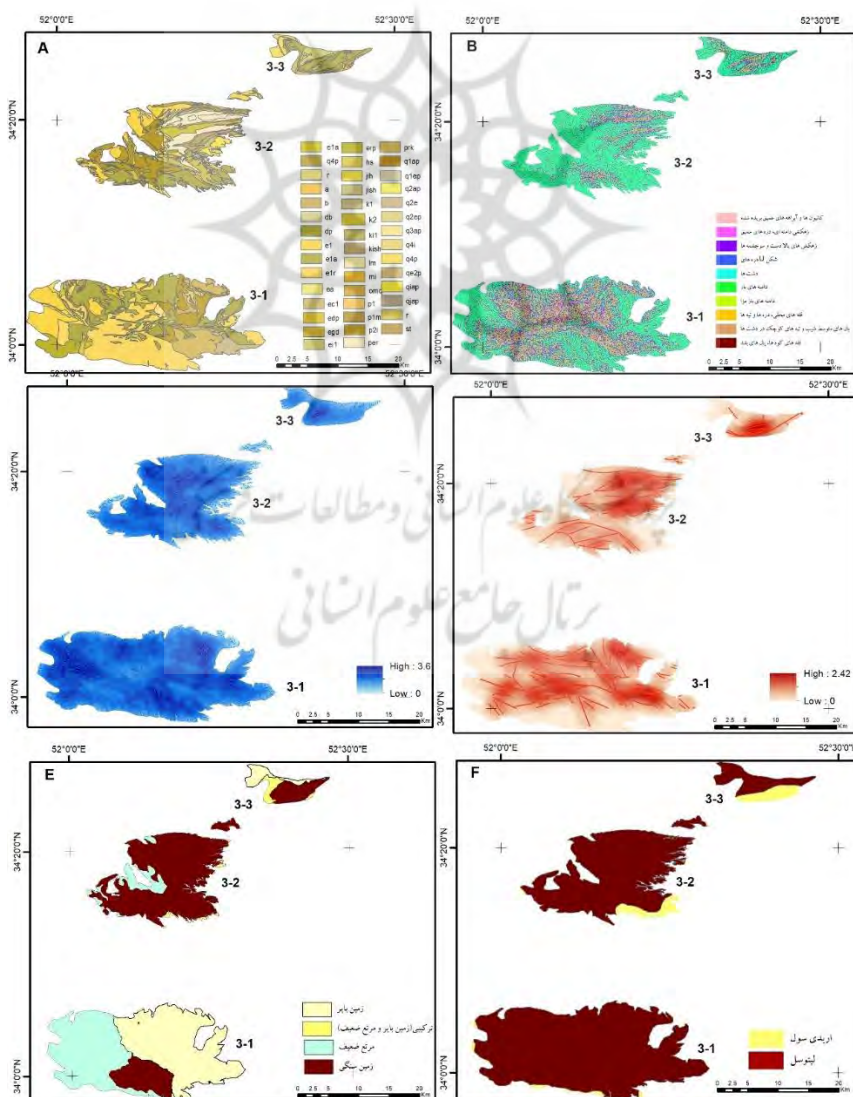
وسعت منطقه مورد مطالعه ۲۶۴۴ کیلومتر مربع است و در جنوب شرق دریاچه نمک و غرب کاشان قرار گرفته است. حداقل ارتفاع ۸۹۰ متر، حداکثر ارتفاع در حدود ۳۵۹۴ متر و ارتفاع میانگین منطقه مورد مطالعه ۱۹۶۹ متر است. مجموعه ای از واحد های سنگی و رسوبات غیر منفصل در این منطقه مشاهده می‌شود که سنگ‌های رسوبی همانند ماسه سنگ، تراورتن، تراس‌های آبرفتی گراولی، سنگ آهک و آهک اوریتولین دار، آهک نومولیتی، مارن و ژپیس، دولومیت، شیل و کائولینیت می‌توان را در بر می‌گیرد و همچنین شامل سنگ‌های آذرینی شامل: برش و توف، آندزیت، کوارتز، دیوریت، اسکارن، سیلتستون، کنگلومرا، ریولیت، ایگنمبریت، پیرو کلاستیک، گابرو، میکرو کوارتز دیوریت، گرانیت و گرانول، اپیدوتیت، بازالت، داسیت و آپلیت است. البته واحد های بسیار زیادی در زیر مجموعه های واحد های سنگی فوق وجود دارد که این مجموعه‌ها را به زیر واحد های متنوعی تقسیم بندی نموده است. با توجه به تقسیم بندی لندفرم، بیشترین واحدها مربوط به واحد دشت با ۸۹۴ کیلومتر مربع و بعد از آن دامنه های باز است و قله کوه‌ها و یال‌های بلند کمترین وسعت را به خود با ۷ کیلومتر مربع اختصاص داده‌اند. تراکم شبکه آبراهه بین ۰/۵۴ تا ۹/۵۶ و تراکم گسل‌ها بین صفر تا ۲/۷۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع است. از لحاظ کاربری اراضی شامل واحد های زمین کشاورزی، باغ، زمین بایر، زمین بایر و باغ، مرتع ضعیف و متوسط و منطقه مسکونی است و بیشترین مساحت به واحد مرتع متوسط با ۱۳۰۴ کیلومتر مربع اختصاص دارد. واحد های خاکی لیتوسول، آنتی سول/اریدی سول و اریدی سول واحد های غالب در این منطقه هستند و آنتی سول بیشترین گستردگی را در منطقه به خود اختصاص داده است.



شکل ۲: متغیر های مورد مطالعه در واحد ۲، A: زمین شناسی، B: لندفرم، C: شبکه آبراهه و تراکم آبراهه، D: گسل و تراکم گسل، E: کاربری اراضی، F: خاک

ناحیه ۳

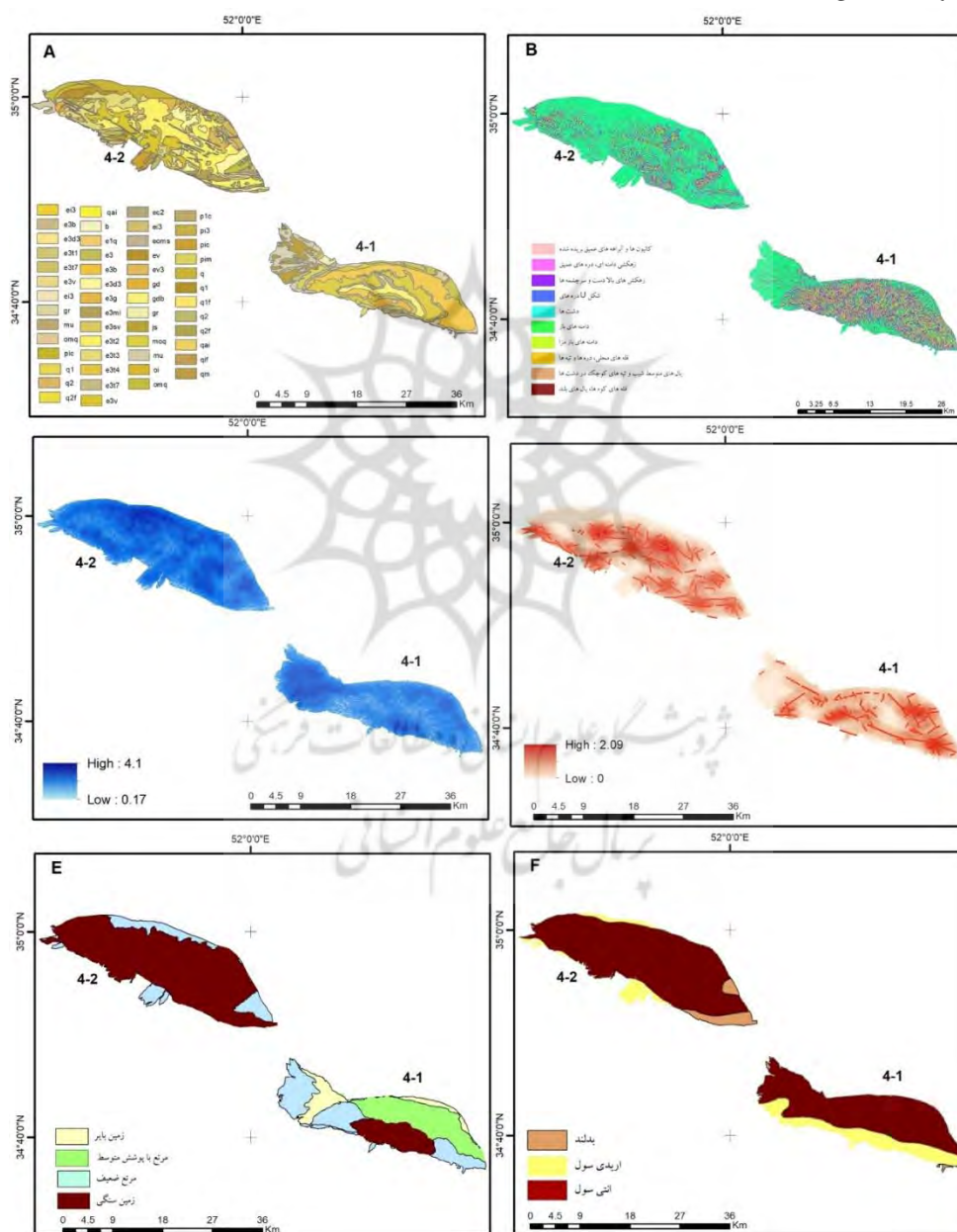
این واحد در جنوب و جنوب شرق دریاچه نمک قرار دارد و وسعتی در حدود ۶۰۸ کیلومتر دارد و به دلیل وسعت زیاد این منطقه و با هدف تحلیل بهتر ژئودایورسیتی، به سه واحد کاری تقسیم بندی شد. واحد ۱-۳ که در بخش جنوبی وسعتی در حدود ۳۵۰ کیلومتر مربع دارد. بالاترین ارتفاع این منطقه ۲۲۸۰ متر و در حدود ۱۱۷۳ متر از مناطق مجاور خود مرتفع تر است. واحد ۲-۳ در بخش میانی این ناحیه قرار دارد و ارتفاع این واحد بین ۸۱۰ تا ۲۲۸۰ متر و ارتفاع متوسط آن در حدود ۱۳۴۰ متر است. کوه یخاب مهم ترین ارتفاع این منطقه به شمار می آید. از لحاظ سنگ شناسی شامل واحدهایی از سنگ های رسوبی آهکی، کنگلومرا، مارن، سیلتستون به همراه رسوبات آبرفتی رودخانه ای است. همچنین سنگ های آذرین توف، دیاباز، ریولیت نیز در این واحد مشاهده می شود. از لحاظ لندفرم بیشترین مساحت منطقه به دره های باز با ۱۴۸ کیلومتر مربع اختصاص دارد. تراکم شبکه آبراهه بین صفر تا ۳۶ و تراکم گسل ها بین صفر تا ۲/۴۲ کیلومتر در کیلومتر مربع است. واحدهای کاربری اراضی در این واحد شامل زمین کشاورزی، زمین بایر، زمین بایر و مرتع ضعیف و زمین سنگی است و بیشترین مساحت مربوط به واحد سنگی با مساحتی معادل ۲۵۹ کیلومتر مربع است. از لحاظ خاک نیز اریدی سول و لیتوسل است.



شکل ۳: متغیر های مورد مطالعه در واحد ۳، A: زمین شناسی، B: لندفرم، C: شبکه آبراهه و تراکم آبراهه، D: گسل و تراکم گسل، E: کاربری اراضی، F: خاک

ناحیه ۴

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق دریاچه نمک قرار گرفته و وسعت آن در حدود ۵۹۳/۷ کیلومتر مربع است. در این واحد نیز دشت‌ها و دامنه‌های باز بیشترین مساحت لندفرمی را به خود اختصاص داده‌اند. تراکم زهکشی در این واحد بین ۰/۱۷ تا ۴/۱ و تراکم گسل‌ها بین صفر تا ۲/۰۹ کیلومتر در کیلومتر مربع است. واحد‌های کاربری اراضی شامل زمین‌های بایر، مرتع متوسط و مرتع ضعیف است و زمین سنگی نیز بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. علاوه بر آن واحد‌های خاکی بدلدن، اریدی سول و لیتوسول در منطقه مشاهده می‌شود و واحد لیتوسول بیشترین مساحت را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است.



شکل ۷: متغیرهای مورد مطالعه در واحد ۴: A: زمین شناسی، B: لندفرم، C: شبکه آبراهه و تراکم آبراهه، D: گسل و تراکم گسل، E: کاربری اراضی، F: خاک

نتایج

ارزیابی ژئودایورسیتهی با استفاده از شاخص ژئودایورسیتهی (GD)

در این مطالعه در تحلیل شاخص ژئودایورسیتهی (GD) از روش سرانو و همکاران ۲۰۰۹ استفاده شد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در هر یک از واحدها، فراوانی عناصر غیر زنده (Eg) موجود در هر یک از سلول‌ها متفاوت می‌باشد. از لحاظ سنگ شناسی بیشترین فراوانی واحدها در هر پیکسل در ناحیه ۲ با ۷ واحد مشاهده می‌شود. بیشینه تعداد گسل‌ها در یک سلول مربوط به ناحیه ۲ با ۱۱ گسل است. از لحاظ لندفرم نیز در اکثر واحدها محدود سلول‌هایی وجود دارند که بیشینه تراکم ۱۰ واحد لندفرم را در خود جای داده باشند. بیشترین تراکم شبکه آبراهه‌ها به ترتیب در ناحیه ۲ با ۳۴ و بعد از آن در واحد های ۱-۴ با ۲۱ آبراهه در سلول مشاهده می‌شود. تفاوت واحدها در کاربری اراضی و خاک کمتر می‌باشد و بیشترین فراوانی واحد کاربری اراضی با ۴ واحد در یک سلول مربوط به واحد ۱-۴ است.

جدول ۳: تعداد عناصر غیر زنده (Eg) در هر سلول در حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

تغییر	ناحیه ۱						ناحیه ۲	
	واحد ۱-۱		واحد ۱-۲		واحد ۱-۳		Min	Max
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
زمین شناسی	۱	۴	۱	۵	۱	۵	۱	۷
گسل	۰	۳	۰	۳	۰	۱	۰	۱۱
لندفرم	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰
شبکه آبراهه	۰	۱۰	۰	۲۰	۰	۱۲	۰	۳۴
کاربری اراضی	۱	۲	۱	۳	۱	۳	۱	۳
خاک	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۳

تغییر	ناحیه ۳				ناحیه ۴					
	واحد ۳-۱		واحد ۳-۲		واحد ۳-۳		واحد ۴-۱		واحد ۴-۲	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
زمین شناسی	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵
گسل	۰	۴	۰	۳	۰	۲	۰	۲	۰	۳
لندفرم	۱	۱۰	۱	۱۰	۰	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰
شبکه آبراهه	۰	۲۰	۰	۲۰	۰	۱۸	۰	۲۱	۰	۱۷
کاربری اراضی	۱	۳	۱	۳	۱	۳	۱	۴	۱	۳
خاک	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۳	۱	۳

ضریب زبری برای تمامی واحدها محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که اعداد ضریب زبری تقریباً برای تمامی واحدها در یک دامنه نزدیک به هم قرار دارد و دامنه ای بین ۰/۱۱ تا ۰/۸۹ را شامل می‌شود و میانگین ضریب زبری برای واحدها نیز بین ۰/۴۷ تا ۰/۵ است (جدول ۴). با ضرب تعداد عناصر غیر زنده (Eg) در ضریب زبری و همچنین تقسیم نتیجه آن بر لگاریتم مساحت هر سلول، مقادیر ژئودایورسیتهی هر شاخص در واحد محاسبه گردید (جدول ۴). با بررسی میانگین ژئودایورسیتهی متغییر زمین شناسی مشاهده می‌شود که واحد ۲-۳ با ۰/۸۶ بیشترین ارزش ژئودایورسیتهی را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است و این امر نشان می‌دهد که هرچند مساحت این واحد زمین شناسی بسیار کمتر از واحد ۲ است ولی در میانگین با ارزش ژئودایورسیتهی ۰/۸۶ بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است، تنوع واحدها در این محدوده زیاد تر از سایر مناطق مورد مطالعه است. علاوه بر آن بیشینه میانگین ژئودایورسیتهی در گسل‌های واحد های منطقه مورد مطالعه با ۰/۱۵ مربوط به واحد ۳-۳ است که نشان دهنده حضور عناصر تکتونیکی بیشتر در این منطقه نسبت به سایر واحدها است. از لحاظ لندفرم واحد ۱-۴ با ۷/۶۶ بیشترین تنوع را به خود اختصاص داده است. از لحاظ شبکه آبراهه نیز واحد ۲-۴ با ارزش ژئودایورسیتهی ۲/۴۱ بیشترین ارزش را دارا می‌باشد. وجود واحد های سنگ

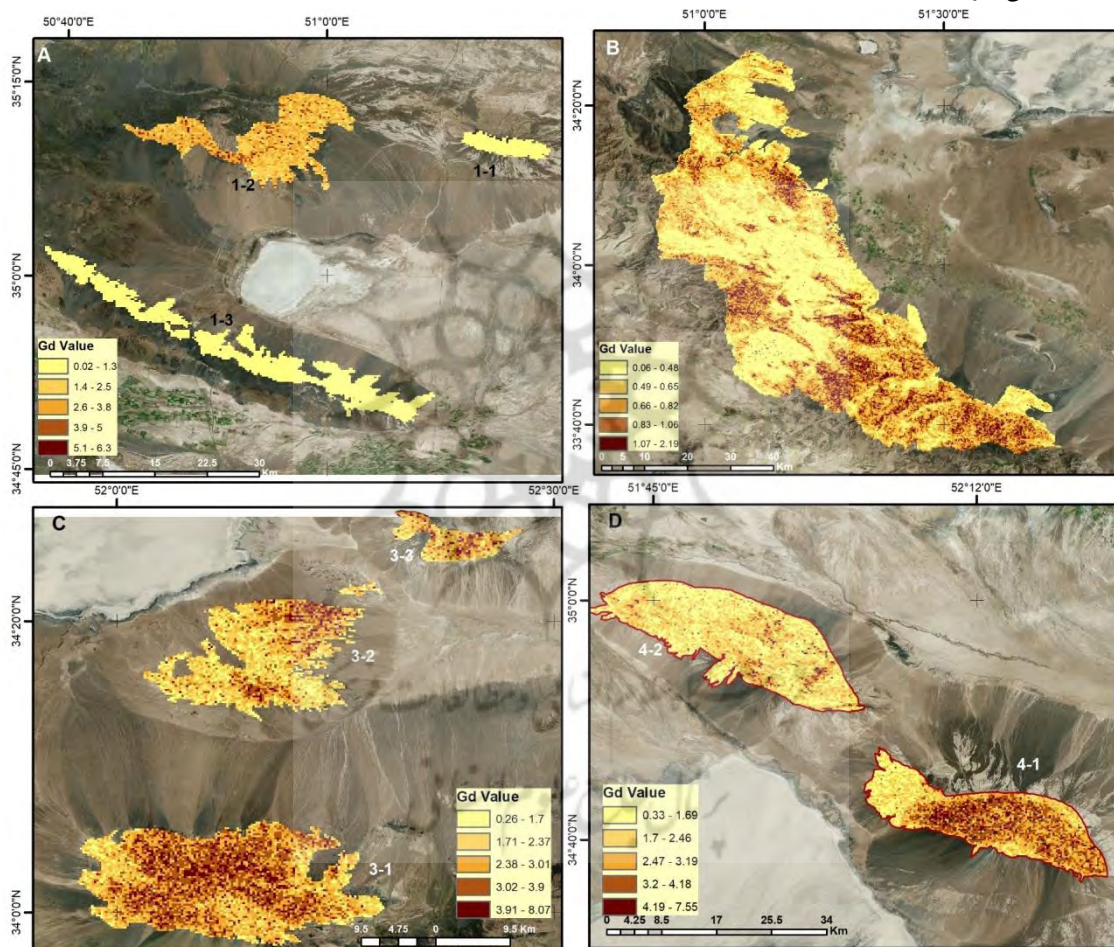
شناسی متنوع در این منطقه، که بخشی از آن جزو واحد های سنگی زود فرسا هستند از جمله عواملی است که منجر شده این منطقه از دیدگاه متغیر های شبکه آبراهه فراوانی بیشتری داشته و همچنین لندفرم نیز تنوع بیشتری داشته باشد. از لحاظ کاربری اراضی بیشترین میانگین ارزش مربوط به واحد ۲-۴ با ژئودایورسیتی ۰/۵۹ می‌باشد و در رابطه با خاک نیز بیشترین مقادیر میانگین ژئودایورسیتی مربوط به واحد ۳-۳ با ۰/۵۳ است.

جدول ۴: ژئودایورسیتی و ضریب زبری تغییرها در حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

	ناحیه ۱									ناحیه ۲		
	واحد ۱-۲			واحد ۱-۲			واحد ۱-۱			Min	Max	Mean
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean			
زبری ناهمواری	۰/۱۱	۰/۸۷	۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۸۷	۰/۵۰	.	۰/۸۲	۰/۴۷	۰/۱۱	۰/۸۷	۰/۴۹
زمین شناسی	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۰۷
گسل	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۰۵	.	۰/۰۷	.	.	۰/۵۵	۰/۰۱
لندفرم	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۳۴	۰/۱۲	۲/۹۸	۱/۱۶	.	۰/۶۰	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۸۲	۰/۲۶
شبکه آبراهه	.	۰/۴۲	۰/۱۰	.	۳/۲۶	۰/۷۴	.	۰/۷۶	۰/۱۰	.	۱/۶۰	۰/۲۲
کاربری اراضی	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۶۰	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۵
خاک	۰/۱۴	۰/۸۰	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۶۳	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۴
میانگین			۰/۱۵۶			۰/۴۴۱			۰/۱۹۸			۰/۱۶۲

	ناحیه ۳									ناحیه ۴					
	واحد ۳-۱			واحد ۳-۲			واحد ۳-۳			واحد ۴-۱			واحد ۴-۲		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
زبری ناهمواری	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۴۹	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۴۹	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۴۹
زمین شناسی	۰/۱۱	۲/۶۷	۰/۷۲	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۸۶	۰/۱۱	۲/۳۳	۰/۷۹	۰/۱۱	۳/۱۱	۰/۷۵	۰/۱۱	۳/۵۶	۰/۸۰
گسل	.	۱/۹۳	۰/۱۲	.	۱/۵۸	۰/۱۳	.	۱/۶۷	۰/۱۵	.	۱/۲۶	۰/۰۹	.	۰/۷۸	۰/۱۱
لندفرم	۰/۳۳	۰/۷۸	۳/۵۴	۰/۳۳	۷/۱۱	۲/۷۱	۰/۴۴	۷	۲/۹۸	۰/۳۳	۷/۲۲	۷/۶۶	۰/۲۲	۷/۱۱	۲/۶۸
شبکه آبراهه	.	۱۲/۳۸	۲/۳۲	.	۱۴/۴۴	۲/۳۷	.	۱۱/۵۶	۲/۲۶	.	۱۰/۸۹	۲/۳۹	.	۱۲/۴۴	۲/۴۱
کاربری اراضی	۰/۱۱	۱/۷۸	۰/۵۲	۰/۱۱	۱/۷۸	۰/۵۴	۰/۱۱	۱/۷۸	۰/۵۶	۰/۱۱	۳/۵۶	۰/۵۸	۰/۱۱	۳/۵۶	۰/۵۹
خاک	۰/۱۱	۱/۵۶	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۷۸	۰/۵۰	۰/۱۱	۱/۵۶	۰/۵۳	۰/۱۱	۱/۷۸	۰/۵۲	۰/۱۱	۱/۷۸	۰/۵۲
میانگین			۱/۱۷۴			۱/۰۸۶			۱/۱۰۸			۱/۷۸۳			۱/۰۸۵

به منظور تعیین مقادیر ژئودایورسیتی هر یک از واحد های منطقه مورد مطالعه مقادیر ژئودایورسیتی هر یک از متغیرها در هر واحد با یکدیگر جمع شده تا ژئودایورسیتی هر واحد به طور مستقل تعیین گردد (جدول، ۵). بیشینه مقدار ژئودایورسیتی در بین واحد های مورد مطالعه به ترتیب مربوط به واحد های ۳-۲، ۸/۰۷، ۶-۲، ۷/۵۵ و ۴-۱ با ۶/۶۱ است. ولی در صورتی که بخواهیم قضاوتی در رابطه با هر یک از واحدها به عنوان یک کل در نظر بگیریم، میانگین واحد می تواند قضاوتی بهتر را در اختیار قرار دهد. بررسی های نتایج میانگین ژئودایورسیتی بیانگر این مسئله است که مقادیر بیشترین میانگین ژئودایورسیتی در بین واحد های مورد مطالعه متعلق به واحد ۴-۱ با ارزش ژئودایورسیتی ۲/۸۵ است و بعد از آن به ترتیب ۳-۱ با ۲/۶ و ۳-۳ با ۲/۴۷ در رتبه های بعدی قرار دارند و کمترین مقدار میانگین در بین واحدها به واحد ۱-۱ با ۰,۱۵۶ تعلق دارد.

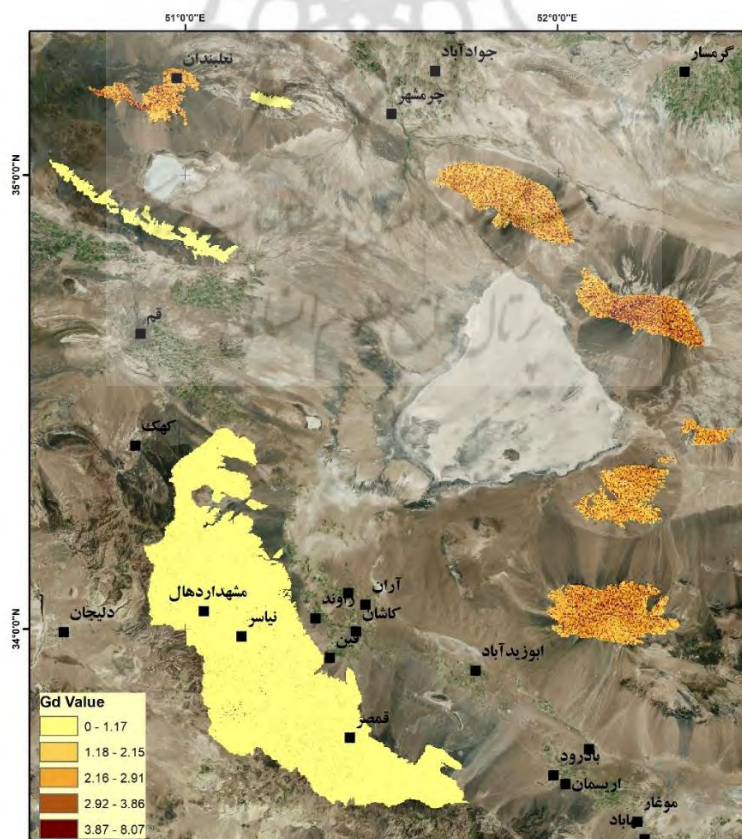


شکل ۸: ژئودایورسیتی حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان A: واحد ۱، B: واحد ۲، C: واحد ۳، D: واحد ۴

علاوه بر آن جمع بندی نتایج نشان می‌دهد در حوضه های آبریز مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان واحد ۴ با میانگین ارزش ژئودایورسیتی ۲/۵۵ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و بعد از آن به ترتیب واحد ۳ با ارزش ۲/۴۹، واحد ۱ با ارزش ۱/۲۵ و در انتها واحد ۲ با ارزش ۰/۶۶ در رتبه های بعدی قرار گرفته‌اند(شکل، ۹).

جدول ۵: ژئودایورسیتی حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

ناحیه	ناحیه ۱									ناحیه ۲					
	واحد ۱-۲			واحد ۱-۲			واحد ۱-۱			Min	Max	Mean			
دامنه	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean				Min	Max	Mean
زبری ناهمواری	۰/۱۳	۱/۱۵	۰/۶۳	۰/۴۶	۳/۴۶	۲/۶۱	۰/۰۲	۱/۵۲	۰/۵۱	۰/۰۶	۲/۱۹	۰/۶۶			
میانگین کل	۱/۲۵									۰/۶۶					
ناحیه	ناحیه ۳									ناحیه ۴					
	واحد ۳-۱			واحد ۳-۲			واحد ۳-۳			واحد ۴-۱			واحد ۴-۲		
دامنه	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
زبری ناهمواری	۰/۳۳	۶/۶۰	۲/۶۱	۰/۳۰	۸/۰۷	۲/۴۱	۰/۲۶	۵/۷۷	۲/۴۷	۰/۳۳	۳/۳۳	۲/۸۵	۰/۳۴	۷/۵۵	۲/۲۵
میانگین کل	۲/۴۹۶									۲/۵۵					



شکل ۹: طبقه بندی ارزش ژئودایورسیتی در کل واحد های مطالعاتی حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

ارزیابی ژئودایورسیتی با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین

بررسی سنجه های سیمای سرزمین نشان می دهد که از لحاظ زمین شناسی بالاترین مقادیر در سنجه PRD مربوط به واحد ۳-۵ با ۰/۳۵۸ است و واحد ۴ در سنجه های RPR (۱۴۷)، SHDI (۳/۸۸)، SIDI (۰/۹۵۹)، MSIEI (۰/۹۷) و MSIDI (۳/۲۰) و همچنین واحد ۲-۱ در سنجه های MSIEI (۰/۷۵) و SHEI (۰/۸۲۴) بالاترین مقادیر را کسب نموده اند.

از لحاظ تراکم گسل واحد ۱-۱ در شاخص های PRD (۰/۳۷) و RPR (۹)، واحد ۲-۱ در سنجه های SHDI (۱/۱۵)، و SIDI (۰/۶۳)، واحد ۳-۵ در سنجه های SHEI (۰/۸۵)، MSIEI (۰/۷۵۷)، MSIEI (۰/۷۴۵) مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده اند.

از لحاظ لندفرم در تمامی سنجه ها واحد ۱-۱ سنجه ها PRD (۰/۴۱)، RPR (SHDI) (۲/۰۹)، SIDI (۰/۸۶۲)، MSIDI (۱/۹۸)، SHEI (۰/۹۰)، SIEI (۰/۹۵) و MSIEI (۰/۸۶) بالاترین مقادیر را دارا هستند. از لحاظ تراکم زهکشی واحد ۱-۱ در سنجه های PRD (۰/۷۴)، RPR (۱۸)، SIDI (۰/۸۹۸)، MSIDI (۲/۲۸)، SIEI (۰/۹۵۱)، SHDI (۲/۳۹۱) و واحد ۵-۱ در سنجه SHEI (۱/۰۹) و واحد ۳-۵ در سنجه MSIEI (۰/۸۴۶) بالاترین مقادیر را به خود اختصاص داده است. از لحاظ کاربری اراضی واحد ۱ در سنجه های PRD (۰/۸۲)، واحد ۴ در RPR (۸) و واحد ۱-۶ سنجه های SHDI (۱/۳۲)، SIDI (۰/۰۷۱۹)، MSIDI (۱/۲۷۱)، SHEI (۰/۹۵۵)، SIEI (۰/۹۵۹) و MSIEI (۰/۹۱۶) بیشترین مقادیر را دارند.

همچنین از منظر خاک واحد ۳-۵ در سنجه های SHDI (۰/۶۹)، SIDI (۰/۴۱)، MSIDI (۰/۵۴۲)، SIEI (۰/۸۳۶)، SHEI (۰/۸۷۹) و MSIEI (۰/۷۵)، و واحد ۱ در سنجه PRD (۰/۰۴۲)، واحد های ۱-۳، ۱-۲، ۴ و ۲-۶ مشترک در سنجه RPR با ارزش ۳ بیشترین مقادیر متعلق به این واحدها است.

با هدف رتبه بندی واحدها از دیدگاه سنجه های سیمای سرزمین میانگینی از تمام متغیر در هر واحد محاسبه گردید (جدول ۵). بر این مبنا از دیدگاه سنجه PRD واحد ۱ با میانگین ۰/۳۲۹ بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. در سنجه های RPR (۳۰/۳۳)، SHDI (۱/۶۴۰) و MSIDI (۱/۳۶۶) بیشترین ارزش ها به واحد ۴ تعلق دارد و واحد ۳-۵ در سنجه های SIEI (۰/۸۱۴)، SHEI (۰/۸۶۲)، MSIEI (۰/۷۲۱) و در سنجه SIDI (۰/۶۶) بالاترین مقادیر متعلق به واحد ۱-۶ است.

جدول ۴: مقادیر سنجه های سیمای سرزمین در حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

ناحیه	واحد	عنصر	PRD	RPR	SHDI	SIDI	MSIDI	SHEI	SIEI	MSIEI
ناحیه ۱	واحد ۱-۱	زمین شناسی	۰/۲۳	۸	۱/۵۳۹	۰/۷۲	۱/۲۷	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۶۱۱
		گسل	۰/۲۷	۹	۰/۷۱۸	۰/۳۱	۰/۳۶۵	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۱۶۶
		لندفرم	۰/۴۱	۱۰	۲/۰۹۴	۰/۸۶	۱/۹۸	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۸۶
		شبکه آبراهه	۰/۷۴	۱۸	۲/۳۹۱	۰/۰۹	۲/۲۸۱	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۷۸۹
		کاربری اراضی	۰/۰۸	۲	۰/۶۴۵	۰/۶	۰/۶۰۳	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۷
		خاک	۰/۰۴	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	واحد ۱-۲	میانگین	۰/۳۳	۸	۱/۲۳۱	۰/۵۷	۱/۰۸۳	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۵۴۹
		زمین شناسی	۰/۲۲	۳۱	۲/۸۲۹	۰/۹۲	۲/۵۷۴	۰/۸۲	۰/۹۶	۰/۷۵
		گسل	۰/۰۴	۶	۱/۱۵۴	۰/۶۴	۱/۰۱	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۵۶۴
		لندفرم	۰/۰۷	۱۰	۱/۹۰۹	۰/۸۳	۱/۷۴۳	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۷۵۷
		شبکه آبراهه	۰/۰۸	۱۱	۱/۷۷۴	۰/۸	۱/۶۲۱	۰/۷۴	۰/۸۸	۰/۶۷۶
		کاربری اراضی	۰/۰۲	۳	۰/۹۵۳	۰/۵۷	۰/۸۴۱	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۷۶۵
	واحد ۱-۳	خاک	۰/۰۲	۳	۰/۲۷۲	۰/۱۲	۰/۱۳۱	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۱۹
		میانگین	۰/۰۸	۱۰/۶۷	۱/۵۴۷	۰/۶۵	۱/۳۲	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۶۰۵
		زمین شناسی	۰/۱	۱۴	۱/۷۶۵	۰/۷۶	۱/۴۲۱	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۵۳۸
		گسل	۰/۰۱	۲	۰/۵۲۴	۰/۳۴	۰/۴۱۶	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۶۰۱
		لندفرم	۰/۰۳	۱۰	۱/۸۲	۰/۸۱	۱/۶۴۵	۰/۷۹	۰/۹	۰/۷۱۸
		شبکه آبراهه	۰/۰۶	۱۳	۱/۹۰۸	۰/۸۲	۱/۶۹۲	۰/۷۴	۰/۸۸	۰/۶۶
	ناحیه ۲	کاربری اراضی	۰/۰۱	۲	۰/۲۹۴	۰/۱۶	۰/۱۷۲	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۲۴۷
		خاک	۰/۰۲	۳	۰/۲۵۷	۰/۱۱	۰/۱۱۵	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۰۵
		میانگین	۰/۰۴	۷/۳۳۳	۱/۰۹۵	۰/۵	۰/۹۱۲	۰/۶	۰/۶۳	۰/۴۸۷
		زمین شناسی	۰/۰۲	۱۴۷	۳/۸۸	۰/۹۶	۳/۲	۰/۷۷	۰/۹۷	۰/۶۴
			گسل	0	۴	۰/۷۹	۰/۴۷	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۴۶

نوع کاربری	نوع کاربری	نوع کاربری	نوع کاربری									
			میانگین	حاک	کاربری اراضی	شبکه آبراهه	لندفرم	زمین شناسی	گسل			
نوع کاربری ۱	واحد ۱-۱	میانگین	۰/۶۹	۰/۸۹	۰/۷۸	۱/۰۹	۰/۸	۱/۸	۱۰	۰	لندفرم	
			۰/۷۲	۰/۹	۰/۷۹	۱/۶۵	۰/۸۱	۱/۸۱	۱۰	۰	شبکه آبراهه	
			۰/۴۱	۰/۶۶	۰/۵۱	۰/۸۶	۰/۵۸	۱/۰۶	۸	۰	کاربری اراضی	
	واحد ۱-۲	میانگین	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۵	۳	۰	حاک	
			۰/۵۳	۰/۷۴	۰/۶۴	۱/۳۷	۰/۶۵	۱/۶۴	۳۰/۳۳	۰/۰۱	میانگین	
			۰/۵۶	۰/۸۶	۰/۶۷	۱/۷۲	۰/۸۲	۲/۰۸	۲۲	۰/۰۶	زمین شناسی	
	واحد ۱-۳	میانگین	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۵۴	۰/۸۷	۳	۰/۰۱	گسل	
			۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۸۹	۰/۸۵	۲/۰۲	۱۰	۰/۰۳	لندفرم	
			۰/۵۲	۰/۷۶	۱/۰۹	۰/۶۶	۰/۶۶	۱/۳۶	۸	۰/۰۲	شبکه آبراهه	
	نوع کاربری ۲	واحد ۲-۱	میانگین	۰/۶۱	۰/۷۹	۰/۶۸	۱/۰۸	۰/۶۶	۱/۲۳	۶	۰/۰۲	کاربری اراضی
				۰/۴۴	۰/۶	۰/۱۱	۰/۳	۰/۰۳	۰/۰۸	۲	۰/۰۱	حاک
				۰/۵۴	۰/۶۹	۰/۷	۱/۱	۰/۵۹	۱/۲۷	۸/۵	۰/۰۲	میانگین
واحد ۲-۲		میانگین	۰/۶۵	۰/۹۲	۰/۷۴	۲/۱۴۴	۰/۸۸	۲/۴۲۵	۲۷	۰/۱۳	زمین شناسی	
			۰/۷۵۰	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۲۹	۰/۵۶	۰/۹۱۴	۳	۰/۰۱	گسل	
			۰/۶۲۳	۰/۸۵	۰/۷۱	۱/۴۳۴	۰/۷۶	۱/۶۳۶	۱۰	۰/۰۵	لندفرم	
واحد ۲-۳		میانگین	۰/۷۰۳	۰/۸۸	۰/۸	۱/۴۶۲	۰/۷۷	۱/۶۸۸	۸	۰/۰۴	شبکه آبراهه	
			۰/۲۱۷	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۳۹	۰/۲۱	۰/۴۰۷	۳	۰/۰۱	کاربری اراضی	
			۰/۱۷۸	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲	۰/۲۳۲	۲	۰/۰۱	حاک	
نوع کاربری ۳		واحد ۳-۱	میانگین	۰/۵۲۱	۰/۶۷	۰/۶۱	۱/۰۳۸	۰/۵۵	۱/۲۱۴	۸/۸۳۳	۰/۰۴	میانگین
				۰/۴۷	۰/۷۸	۰/۶۱	۱/۳۲۳	۰/۷۴	۰/۳۶	۱۷	۰/۳۶	زمین شناسی
				۰/۷۵۷	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۳۲	۰/۵۷	۰/۹۳۸	۳	۰/۰۶	گسل
	واحد ۳-۲	میانگین	۰/۶۹۵	۰/۸۹	۰/۷۷	۱/۶	۰/۸	۱/۷۶۷	۱۰	۰/۲۱	لندفرم	
			۰/۸۴۶	۰/۹۴	۰/۹	۱/۶۴۶	۰/۸۱	۱/۷۴۲	۷	۰/۱۵	شبکه آبراهه	
			۰/۷۷۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۵۵	۰/۵۸	۰/۹۶۴	۳	۰/۰۶	کاربری اراضی	
	واحد ۳-۳	میانگین	۰/۷۸۱	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۵۴۲	۰/۴۲	۰/۶۰۹	۲	۰/۰۴	حاک	
			۰/۲۲۱	۰/۸۶	۰/۸۱	۱/۱۳۴	۰/۶۵	۱/۲۹۳	۷	۰/۱۵	میانگین	
			۰/۵۸۴	۰/۹	۰/۷۲	۲/۰۴۲	۰/۸۷	۲/۵۱	۳۳	۰/۱۳	زمین شناسی	
	نوع کاربری ۴	واحد ۴-۱	میانگین	۰/۵۸۹	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۶۴۷	۰/۴۸	۰/۶۷۷	۳	۰/۰۱	گسل
				۰/۸۳۳	۰/۹۵	۰/۸۹	۱/۹۱۷	۰/۸۵	۲/۰۴۵	۱۰	۰/۰۴	لندفرم
				۰/۵۶۱	۰/۷۹	۰/۶۸	۱/۱۶۶	۰/۶۹	۱/۴۱۸	۸	۰/۰۳	شبکه آبراهه
واحد ۴-۲		میانگین	۰/۹۱۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۱/۲۷۱	۰/۷۲	۱/۳۲۳	۴	۰/۰۲	کاربری اراضی	
			۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۴۹۵	۰/۳۹	۰/۶۰۶	۳	۰/۰۱	حاک	
			۰/۶۵۶	۰/۸۲	۰/۷۴	۱/۲۵۶	۰/۶۷	۱/۴۳	۱۰/۱۷	۰/۰۴	میانگین	
واحد ۴-۳		میانگین	۰/۶۱	۰/۹۱	۰/۷۴	۲/۱۷۲	۰/۸۹	۲/۶۷۸	۳۷	۰/۱۱	زمین شناسی	
			۰/۶۵۸	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۷۲۳	۰/۵۲	۰/۷۷۵	۳	۰/۰۱	گسل	
			۰/۶۲۴	۰/۸۵	۰/۷۱	۱/۴۳۷	۰/۷۶	۱/۶۳	۱۰	۰/۰۳	لندفرم	
واحد ۴-۴		میانگین	۰/۵۷۲	۰/۸۱	۰/۶۷	۱/۲۵۸	۰/۷۲	۱/۴۷	۹	۰/۰۳	شبکه آبراهه	
			۰/۲۶۷	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۲۹۴	۰/۲۵	۰/۴۲۲	۳	۰/۰۱	کاربری اراضی	
			۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۵۰۴	۳	۰/۰۱	حاک	
میانگین	۰/۴۹۸	۰/۶۸	۰/۶۱	۱/۰۲۹	۰/۵۶	۱/۲۴۷	۱۰/۸۳	۰/۰۳	میانگین			

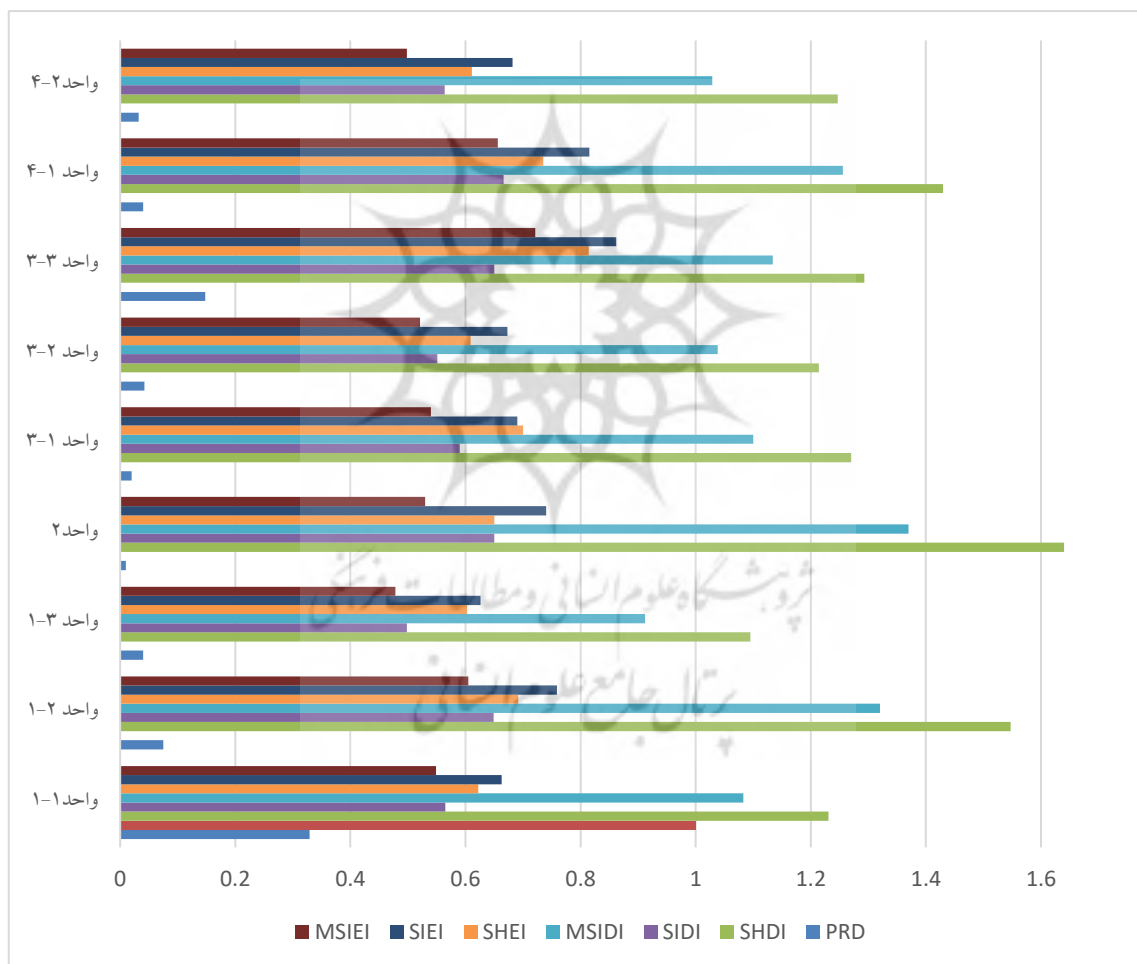
با هدف رتبه بندی واحدها از دیدگاه سنجه های سیمای سرزمین میانگینی از تمام متغیر در هر واحد محاسبه گردید (جدول ۶). بر این مبنا از دیدگاه سنجه PRD واحد ۱-۱ با میانگین ۰/۳۳۹ بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. در سنجه های SHDI (۱/۶۴۰) و MSDI (۱/۳۳۶) و در سنجه RPR بیشترین ارزش ها به واحد ۲-۲ تعلق دارد و واحد ۳-۳ در سنجه های SIEI (۰/۸۱۴)، SHEI (۰/۸۶۲)، و MSIEI (۰/۷۲۱) و در سنجه SIDI (۰/۶۶) بالاترین مقادیر متعلق به واحد ۴-۱ است.

در مجموع با توجه به بررسی میانگین کل هر ناحیه، ناحیه ۲ با ثبت بیشترین مقادیر در سنجه های SHDI، RPR، SIDI و MSDI از دیدگاه سنجه های سیمای سرزمین بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است و بعد از آن ناحیه ۳ با دو سنجه SHDI و MSIEI و ناحیه ۱ در سنجه PRD و ناحیه ۴ در سنجه SIEI با یک سنجه در رتبه های بعدی قرار گرفته اند.

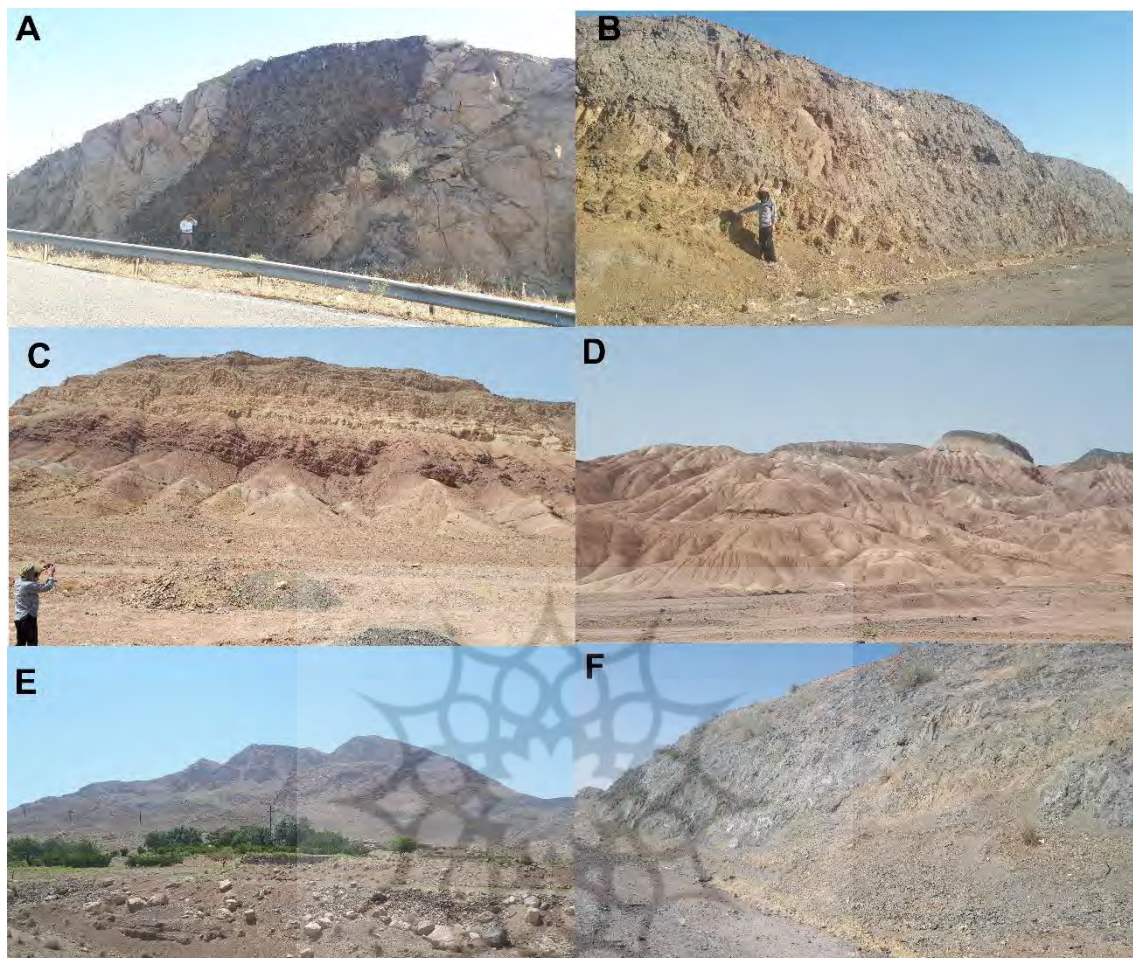
جدول ۴: میانگین مقادیر سنجه های سیمای سرزمین در حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان

	PRD	RPR	SHDI	SIDI	MSDI	SHEI	SIEI	MSIEI
واحد ۱-۱	۰/۳۲۹	۸	۱/۲۳۱	۰/۵۶۵	۱/۰۸۳	۰/۶۲۲	۰/۶۶۳	۰/۵۴۹
واحد ۱-۲	۰/۰۷۵	۱۰۰/۶۶۷	۱/۵۴۷	۰/۶۴۹	۱/۳۲۰	۰/۶۹۲	۰/۷۵۹	۰/۶۰۵
واحد ۱-۳	۰/۰۴۰	۳	۱/۰۹۵	۰/۴۹۸	۰/۹۱۲	۰/۶۰۳	۰/۶۲۶	۰/۴۷۸

میانگین کل ناحیه	۰/۱۴۸	۷/۲۲۲	۱/۲۹۱	۰/۵۷۱	۱/۱۰۵	۰/۶۳۹	۰/۶۸۳	۰/۵۴۴
واحد ۲	۰/۰۱۰	۲۲	۱/۶۴۰	۰/۶۵۰	۱/۳۷۰	۰/۶۵۰	۰/۴۷۰	۰/۵۳۰
واحد ۱-۳	۰/۰۲۰	۸/۵	۱/۲۷۰	۰/۵۹۰	۱/۱۰۰	۰/۷۰۰	۰/۶۹۰	۰/۵۴۰
واحد ۲-۳	۰/۰۴۲	۸/۸۳۳	۰/۲۱۴	۰/۵۵۱	۱/۰۳۸	۰/۶۰۹	۰/۶۷۲	۰/۵۲۱
واحد ۳-۳	۰/۱۴۸	۷	۱/۲۹۳	۰/۶۵۰	۱/۱۳۱	۰/۸۱۴	۰/۸۶۲	۰/۷۲۱
میانگین کل ناحیه	۰/۰۷۰	۸/۱۱۱	۱/۲۵۹	۰/۵۹۷	۱/۰۹۱	۰/۷۰۸	۰/۷۴۲	۰/۵۹۴
واحد ۱-۴	۰/۰۴۰	۱۰/۱۶۷	۱/۴۳۰	۰/۶۶۶	۱/۲۵۶	۰/۷۳۵	۰/۸۱۵	۰/۶۵۶
واحد ۲-۴	۰/۰۳۲	۱۰/۸۸۳	۱/۲۴۷	۰/۵۶۴	۱/۰۲۹	۰/۶۱۱	۰/۶۸۲	۰/۴۹۸
میانگین کل ناحیه	۰/۰۳۶	۱۰/۵	۱/۳۳۹	۰/۶۱۵	۱/۱۴۳	۰/۶۷۳	۰/۷۴۹	۰/۵۵۷



شکل ۱۰: نمودار مقادیر میانگین سنجه های سیمای سرزمینی در حوضه های مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان



شکل ۱۰. A: توده نفوذی دایک در بین رسوبات آهکی، واحد ۱-۲، جاده قدیم تهران، قم، B: توالی لایه های رسوبی و آذرین واحد ۱-۲، C: پرتگاه های سنگی و تولی لایه های رسوبی ماسه سنگ، آهکی و مارن، جاده قم کاشان (واحد ۲)، D: گنبد های نمکی و بدلند در جاده قم کاشان، واحد ۲، E: ناهمواره های مسلط به دره قمصر کاشان، به عنوان یکی از مناطق با ارزش ژئودایورسیتی بالا در واحد ۲ و F: رخنمون سنگ های آذرین از جنس بازالت در واحد ۳-۱

نتیجه گیری

در این پژوهش سعی شد با استفاده از شاخص ژئودایورسیتی و مجموعه ای از سنجه های سیمای سرزمین در حوضه های آبریز مشرف به دریاچه نمک و حوض سلطان، مطالعه ای مقایسه ای و دقیق تر، با رویکرد ژئودایورسیتی انجام پذیرد. نتایج نشان دهنده تنوع بسیار زیاد واحد های زمین شناسی، کاربری اراضی، شبکه زهکشی، لندفرم و خاک در هر یک از حوضه های مورد مطالعه است، از این رو هر واحد امکان دارد از دیدگاه یک یا چند متغیر، ارزش ژئودایورسیتی بالاتری را داشته باشد. از دیدگاه شاخص ژئودایورسیتی (GD) واحد ۴ در رتبه اول قرار دارد و از دیدگاه سنجه های سیمای سرزمین واحد ۲ بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. در بررسی و مقایسه این دو مجموعه شاخص می توان مزایایی را برای هر یک از این روش های ارزش گذاری مطرح نمود. یکی از مهم ترین مزایای شاخص ژئودایورسیتی نسبت به سنجه های سیمای سرزمین را می توان بخش بندی مناطق مختلف یک نقشه بر مبنای واحد سلول دانست که امکان نمایش بهتر ارزش ژئودایورسیتی هر سلول را فراهم می آورد. از این رو علاوه بر امکان نمایش بصری ارزش های ژئودایورسیتی در قالب نقشه در هر واحد، امکان پهنه بندی بخش های مختلف یک واحد را از دیدگاه ژئودایورسیتی فراهم می آورد و تحلیل جزئی تر را از ارزش های ژئودایورسیتی در هر واحد در اختیار محققین قرار می دهد و این در حالی است که سنجه های سیمای

سرزمین یک واحد را به عنوان یک کل در نظر گرفته و تنها توانایی ارائه ارزش های ژئودایورسیتی برای یک واحد ارائه می دهد. علاوه بر آن در نظر گرفتن ضریب زبری در شاخص ژئودایورسیتی همزمان با عنصر مورد مطالعه، می تواند نقش عامل توپوگرافی را در تحلیل بهتر ژئودایورسیتی هر سلول وارد معادله نموده و ارزیابی بهتری را نسبت به سنجه سیمای سرزمین ارائه نماید. انتخاب واحد ۴ به عنوان واحد برتر از دیدگاه شاخص ژئودایورسیتی را می توان به واسطه حضور تعداد زیاد عناصر در این منطقه و ضریب زبری بیشتر آن دانست. نتایج این تحقیق نشان می دهد که سنجه های سیمای سرزمین به دلیل تنوع شاخص های مورد استفاده و امکان بررسی همزمان چندین شاخص با رویکرد های مختلف، می تواند طیف گسترده تری از تفسیرها را در اختیار محققین قرار دهد و این مسئله مزیتی برای این روش محسوب می شود. علاوه بر آن در زمانی که تفسیر یک مجموعه به عنوان یک کل مورد نظر باشد امکان بررسی سریع تنوع جغرافیایی و ژئودایورسیتی را در یک منطقه امکان پذیر می نماید. با توجه به بررسی های انجام شده در این تحقیق واحد ۲ از دیدگاه چهار شاخص مقادیر بالاتری دارد. این شاخص ها که شامل غنای نسبی هر قطعه (RPR)، شاخص دایورسیتی شانون (SHDI)، شاخص دایورسیتی سیمپسون (SIDI) و شاخص دایورسیتی اصلاح شده سیمپسون (MSIDI) می شود و دلیلی که باعث شده است که این شاخص ها مقادیر بیشتری را نشان دهند، عدم در نظر گرفتن مساحت واحد در محاسبات است. به خصوص در زمانی که مقایسه چندین واحد با مساحت های مختلف در یک منطقه (همانند منطقه مورد مطالعه) مورد بررسی قرار می گیرد، می تواند خطاهایی را متوجه نتایج بنماید. زمانی می توانیم بگوییم تنوع ژئودایورسیتی و تنوع جغرافیایی در یک منطقه بیشتر است که تأثیر مساحت هر واحد را در محاسبات نیز در نظر گرفت. زیرا احتمال دارد واحدی همانند واحد ۲ به دلیل مساحت زیاد خود که شامل بیش از ۵۰ درصد وسعت کل ناحیه های منطقه مورد مطالعه است، عناصر بیشتری را در خود جای داده باشد ولی اگر نسبت به مساحت آن در نظر بگیریم تنوع آن زیادی نباشد و واحدهایی همانند ۳ و ۴ با وجود تعداد عناصر کمتر نسبت به واحد ۲ ولی به دلیل فراوانی و پراکندگی بیشتر این عناصر در مساحتی کمتر تنوع ژئودایورسیتی بیشتری داشته باشند. از این رو می توان نتیجه گرفت که عملکرد شاخص ژئودایورسیتی به واسطه در نظر گرفتن رابطه تعداد عناصر موجود در سلول و مساحت هر سلول برتری هایی نیز نسبت به سنجه های سیمای سرزمین داشته باشد.

منابع

- باتجربه، م.، سپهر، ع. و حسین زاده، س. ر. (۱۳۹۴). شناسایی و اولویت بندی مناطق با تنوع زمینی بالا با رویکرد گسترش ژئوتوریسم پایدار (مطالعه موردی شهرستان مشهد)، دومین همایش بین المللی و پنجمین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست پایدار. همدان، ۹ اسفند.
- سپهر، ع. (۱۳۹۱). مخاطرات محیطی و تنوع زمینی، اولین همایش ملی انجمن ژئومورفولوژی: ژئومورفولوژی و زیستگاه انسان. دانشگاه تهران، ۹ اسفند.
- حیدری، م.، قهرودی، م. (۱۳۹۷). ارزیابی ژئودایورسیتی در حوضه لار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- روحانی، ن.، رجایی، ط.، مجردی، ب.، جباری، ا.، شفیعی دارابی، ا.، و حیدر بنی، م. (۱۴۰۰). مطالعه اقلیمی تغییرات منابع عمده آب در استان قم با استفاده از داده های ماهواره ای و فناوری های سنجش از دور. فصلنامه علوم محیطی، ۱۹(۱)، صص ۲۳۹-۲۵۸.
- 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، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱۵۱-۱۶۳.

- گلی مختاری، ل.، بیرامعلی، ف. (۱۳۹۷)، محاسبه و تحلیل تنوع زمینی (ژئودایورسیتی) (مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۸، صفحه ۳۰۷-۳۲۲.
- مقصودی، م.، مقیمی، ا.، یمانی، م.، رضایی، ن.، و مرادی، انور. (۱۳۹۸). بررسی ژئومورفودایورسیتی آتشفشان دماوند و پیرامون آن بر اساس شاخص *GmI*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۲۹)، صص ۵۲-۶۹.
- یزدی، ع.، دبیری، (۱۳۹۴). درآمدی بر ژئودایورسیتی به عنوان پایه ای برای ژئوتوریسم، یافته‌های نوین زمین شناسی کاربردی، سال ششم، شماره ۱۸، صص ۸۳-۷۴.
- Benito Calvo, A., Pérez González, A., Magri, O., & Meza, P. 2009. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth surface processes and landforms*, 34(10), 1433-1445.
- 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. *Environmental Science & Policy*, 86, 19-28.
- Brilha, J. 2002. Geoconservation and protected areas. *Environmental conservation*, 29(3), 273-276.
- Carcavilla, L., López-Martínez, J., Durán, J.J., 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España, Serie Cuadernos del Museo Geominero, Madrid, PP. 360
- Erikstad, L. 2013. Geoheritage and geodiversity management—the questions for tomorrow. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124(4), 713-719.
- Fuertes-Gutiérrez, I., & Fernández-Martínez, E. 2012. Mapping geosites for geoheritage management: a methodological proposal for the regional park of Picos de Europa (León, Spain). *Environmental management*, 50(5), 789-806.
- Gordon, J. E., & Barron, H. F. 2013. The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scottish Journal of Geology*, 49(1), 41-58.
- Gordon, J.E., MacFadyen, C.C.J., 2001. Earth heritage conservation in Scotland: State, pressures and issues. In: Gordon J.E., Leys K.F. (eds) *Earth science and the natural heritage*. Stationary Office Books, Edinburgh, PP 130-144
- Gray, M., 2013. *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. 2nd edn. John Wiley & Sons Ltd, Chichester
- Gray, M. 2008. Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(3-4), 287-298.
- Hani, A. F. M., Sathyamoorthy, D., & Asirvadam, V. S. 2011. A method for computation of surface roughness of digital elevation model terrains via multiscale analysis. *Computers & Geosciences*, 37(2), 177-192.
- Hjort, J., & Luoto, M. 2012. Can geodiversity be predicted from space?. *Geomorphology*, 153, 74-80.
- Ibañez, J. J., De-Albs, S., Bermúdez, F. F., & García-Álvarez, A. 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena*, 24(3), 215-232.
- Koh, Y. K., Oh, K. H., Youn, S. T., & Kim, H. G. 2014. Geodiversity and geotourism utilization of islands: Gwanmae Island of South Korea. *Journal of Marine and Island Cultures*, 3(2), 106-112.
- Kot, R. 2006. Geornorodno problem jej oceny i zastosowania w ochronie i kszatowaniu rodowiska na przykladzie fordo-skiego odcinka Doliny Dolnej Wisy i jej otoczenia. *Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Sectio C (Geographia et Geologia)*, 11(2), 1190.

- Malinowska, E., & Szumacher, I. 2013. Application of landscape metrics in the evaluation of geodiversity. *Miscellanea Geographica*, 17(4), 28-33.
- Melelli, L. 2014. Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *Geojournal of tourism and geosites*, 1(13), 27-37.
- Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J., & Santos, L. 2013. Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environmental management*, 52(3), 541-552.
- Pike, R. J., & Wilson, S. E. 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079-1084.
- Prosser, C. D., Burek, C. V., Evans, D. H., Gordon, J. E., Kirkbride, V. B., Rennie, A. F., & Walmsley, C. A. 2010. Conserving geodiversity sites in a changing climate: management challenges and responses. *Geoheritage*, 2(3-4), 123-136.
- Serrano, E., Ruiz-Flaño, P., & Arroyo, P. 2009). Geodiversity assessment in a rural landscape: Tiermes-Caracena area (Soria, Spain). *Memorie Descrittive Della Carta Geologica d'Italia*, 87, 173-180.
- Serrano, E., Ruiz-Flaño, P., 2007a. Geodiversity. A theoretical and applied concept, *Geogr. Helv*, No. 62, PP. 140-147.
- Serrano Cañadas, E., & Ruiz Flaño, P. (2007b). Geodiversity: Concept, assessment and territorial application. The case of Tiermes-Caracena (Soria). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (45), 79-+.
- Weiss, A. 2001. Topographic position and landforms analysis. In *Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200)*.
- Yabuki, T., Matsumura, Y., & Nakatani, Y. 2009. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy. *arXiv preprint arXiv:0905.2821*.
- Zwoliński, Z. 2009. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. *Landform Analysis*, 11, 77-85.