

ارزیابی نقشه برداری خاک به روش ژئوپدولوژی با استفاده از شاخص‌های تفرق و شباهت (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی بروجن، استان چهارمحال و بختیاری)

عیسی اسفندیارپور بروجنی*^۱ - نورایر تومانیان^۲ - محمدحسن صالحی^۳ - جهانگرد محمدی^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۸

تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۱۸

چکیده

ژئوپدولوژی، یک روش سیستماتیک تجزیه و تحلیل سطوح ژئومرفیک برای نقشه برداری خاک است که عملیات صحرایی را عمدتاً بر مبنای کار در منطقه‌ی نمونه پایه‌ریزی می‌کند. هدف از پژوهش حاضر، استفاده از شاخص‌های تفرق و شباهت در یک توالی سلسله مراتبی از سطوح رده‌بندی خاک، به منظور تعیین میزان اعتبار تعمیم‌پذیری نتایج حاصل از نقشه برداری خاک به روش ژئوپدولوژی برای اشکال اراضی مشابه در منطقه‌ی بروجن است. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی تفسیری اولیه بر روی عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، بزرگ‌ترین محدوده‌ی واحد ژئومرفیک Pi111 که بالاترین سطح از منطقه‌ی مطالعاتی را در بر می‌گرفت، انتخاب گردید و تعداد ۱۹ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۱۲۵ متر در این واحد، حفر، تشریح و نمونه‌برداری شدند. میزان اعتبار تعمیم‌پذیری نتایج روش ژئوپدولوژی برای واحد مزبور، از طریق حفر تعداد ۱۵ خاک‌رخ دیگر در یک واحد مشابه موجود در خارج از منطقه‌ی نمونه که منطقه‌ی تعمیم نامیده شده است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص تفرق شانن از سطح رده به سمت فامیل خاک، در هر دو منطقه‌ی نمونه و تعمیم، افزایش می‌یابد؛ لیکن تنها در سطح فامیل، تفاوت معنی‌دار بین میانگین تفرق خاک‌های دو منطقه در سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود دارد. افزایش تفرق خاک‌ها در خلال سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک، حتی با تغییر مقیاس درک و تمرکز بر توالی افق‌های ژنتیکی خاک‌رخ‌های حفر شده در مناطق نمونه و تعمیم نیز به اثبات رسید. شاخص جاکارد و شباهت نسبی نیز نشان داد که روش ژئوپدولوژی می‌تواند به منظور تعمیم نتایج برای واحدهای ژئومرفیک مشابه، تنها تا سطح زیر گروه، مورد استفاده قرار گیرد و برای سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک (فامیل و سری) از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. بنابراین، به منظور افزایش دقت نتایج روش ژئوپدولوژی، استفاده از فازهای شکل اراضی و نیز تعیین فاز فامیل و یا فاز سری برای هر یک از فازهای شکل اراضی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ژئوپدولوژی، تفرق خاک، شاخص شباهت، منطقه‌ی نمونه، منطقه‌ی تعمیم

مقدمه

ژئوپدولوژی، یک روش سیستماتیک تجزیه و تحلیل سطوح ژئومرفیک است (۱۸) که سعی دارد با بررسی جامع روابط بین خاک و ژئومرفولوژی و برهم‌کنش آن‌ها اقدام به نقشه‌برداری خاک نماید و کوچک‌ترین واحد نقشه را که دارای بالاترین مراتب همگنی و یکنواختی می‌باشد، تفکیک و معرفی کند (۱). به طور کلی، هدف اصلی در ژئوپدولوژی، سازمان‌دهی و طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس

شواهد ژئومرفولوژیکی آن‌ها در سطح زمین با استفاده از یک ساختار سلسله‌مراتبی می‌باشد (۳۰) که معمولاً چهار سطح طبقاتی مختلف شامل سیمای اراضی^۵، پستی و بلندی^۶، سنگ‌شناسی^۷ و شکل اراضی^۸ را در این ساختار مد نظر قرار می‌دهند (۱۸). این روش بر اساس میزان درستی فرضیه‌های زیر استوار است (۱۸ و ۳۰):

- ۱- خاک‌ها در سطوح پایین‌تر سلسله‌مراتب ژئوپدولوژی، از یکنواختی بیش‌تری برخوردار هستند.
- ۲- سطوح پایین‌تر سلسله‌مراتب ژئوپدولوژی، بیان‌گر یکسانی واحدهای همنام در منطقه می‌باشند.

۱- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(* - نویسنده مسئول: Email: iesfandiarpour@yahoo.com)

۲- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

۳-۴- استادیار و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

به عنوان معیاری از تغییرپذیری خاک و یا تابعی از فاکتورهای خاک‌سازی تعریف نمود (۱۶).

در دهه‌های اخیر، استفاده از شاخص‌های تنوع زیستی، مانند شاخص شانن^۵، در راستای انجام مطالعات تفرق خاک، مورد توجه قرار گرفته است (۸ و ۱۰). ایبازن و همکاران (۱۱) برای اولین بار استفاده از شاخص‌های تنوع اکولوژیکی را به عنوان معیارهای اندازه‌گیری تفرق خاک معرفی نمودند. این شاخص‌ها شامل غنی‌شدگی^۱، همواری^۲ و تفرق^۳ بودند. غنی‌شدگی، در ارتباط با تعداد پدیده‌های موجود (مانند تعداد کلاس‌های خاک در یک سطح مشخص از سامانه‌ی رده‌بندی خاک) در یک منطقه‌ی مطالعاتی می‌باشد. همواری، بیان‌گر فراوانی نسبی هر کدام از پدیده‌های موجود (مانند مساحت نسبی اشغال شده توسط هر طبقه‌ی خاک) است. تفرق، شاخصی است که در برگیرنده‌ی هر دو شاخص غنی‌شدگی و همواری است و وجود شاخص‌های غنی‌شدگی و همواری بزرگ‌تر، دلیلی بر وجود تفرق بیشتر می‌باشند (۸، ۱۱). تفرق خاک را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف، شامل تفرق رده‌بندی خاک^۴، تفرق ژنتیکی خاک^۵، تفرق کارکردی خاک^۶ و تفرق ویژگی‌های خاک^۷، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (۱۵، ۲۰ و ۲۶).

نتایج تحقیق ایبازن و همکاران (۱۱) نشان داد که با افزایش سطح نمونه‌برداری، میزان غنی‌شدگی طبقات خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه می‌توان تصور نمود که تنوع زیستی و تفرق خاک، دارای رفتار مشابهی هستند. ایبازن و همکاران (۱۰) نشان دادند که مقدار شاخص‌های همواری و تفرق برای نواحی اقلیمی موجود در عرض‌های جغرافیایی متوسط، بیش‌تر از عرض‌های پیرامون مدارهای استوا و شمالی می‌باشند و نتیجه گرفتند که الگوهای خاکی نواحی اقلیمی مختلف، بر اساس یک گرادیان وابسته به عرض جغرافیایی، کاملاً به یک‌دیگر اتصال دارند. سالدانا و ایبازن (۲۰) با کاربرد شاخص‌های غنی‌شدگی و تفرق برای یک ردیف زمانی^۸ خاک تکامل‌یافته بر روی تراس‌های رودخانه‌ای موجود در شمال شرقی مادرید- اسپانیا- ملاحظه کردند که غنای خاک، از سمت تراس پایینی (جوان‌تر) به سمت تراس بالایی (مسن‌تر) افزایش می‌یابد. به علاوه، ایشان بیان کردند که با افزایش دقت طبقه‌بندی و نیز زیادتر شدن مساحت مطالعاتی، تفرق خاک بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین، نتایج

۳- مرزهای ترسیم‌شده توسط تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین، عمده‌ی تغییرات موجود در خاک‌ها را جدا می‌کنند.

۴- منطقه‌ی نمونه^۱، نماینده‌ی درست و واقعی واحدهای مورد مطالعه می‌باشد؛ به طوری که بر اساس الگوی خاک موجود در آن می‌توان واحدهای بازدیدنشده را برون‌یابی کرد.

منظور از منطقه‌ی نمونه، کوچک‌ترین سطحی است که تمام یا بخش‌هایی از انواع واحدهای اراضی تفکیک‌شده در محدوده‌ی مورد مطالعه را پوشش دهد (۲۷). منطقه‌ی نمونه، حدود ۱۰ درصد از کل منطقه‌ی مطالعاتی را می‌پوشاند؛ ولی اگر همه‌ی سیمای اراضی حالت یکنواخت داشته باشد، کمتر از ۱۰ درصد نیز قابل قبول است (۱۸).

یکی از مزایای روش ژئوپدولوژی، صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌های مطالعات می‌باشد؛ چراکه عملیات صحرایی را به طور عمده بر مبنای کار در منطقه‌ی نمونه و تعمیم نتایج آن به مناطق مشابه مطالعه‌نشده پایه‌ریزی می‌کند (۱). بنابراین، برون‌یابی داده‌های کسب‌شده از تمامی واحدهای موجود در مناطق نمونه به واحدهای مشابه خارج از مناطق نمونه، منجر به تولید نقشه‌ی خاک مورد نیاز از منطقه‌ی مطالعاتی می‌شود.

از آن‌جایی که هر کدام از روش‌های نقشه‌برداری، متکی به نگرش خود نسبت به شباهت بین خاک‌ها است (۲۱)؛ توجه به مسائلی هم‌چون شاخص‌های شباهت^۲، تفرق خاک‌ها^۳ و جنبه‌های مختلف آن‌ها می‌تواند به منظور انجام قضاوت‌های کیفی و کمی در رابطه با میزان اعتبار و کیفیت یک نقشه‌ی خاک، مفید واقع شود.

افزایش انقراض گونه‌ها در اثر فشار ناشی از فعالیت‌های انسانی بر روی محیط، تمایل شدید محققان به موضوع ارزیابی و نگهداری تنوع زیستی^۴ را در طی سال‌های اخیر به دنبال داشته است (۸). در نتیجه، بوم‌شناسان با به کارگیری شاخص‌ها و مدل‌های تنوع، فاکتورهای در برگیرنده‌ی ساختار و سازمان اکوسیستم‌ها را در سطوح مختلف تفکیک مکانی، مطالعه نموده‌اند. علی‌رغم پتانسیل زیاد این شاخص‌ها، در موارد نادر، از این راهکارها به منظور مطالعه‌ی ساختارهای غیرزنده‌ی سیمای اراضی استفاده شده است. در همین حال، چنین راهکارهایی ممکن است به منظور کشف، کمی‌سازی و مقایسه‌ی پیچیدگی الگوهای خاکی موجود در محیط‌ها و مناطق مختلف، مورد استفاده قرار گیرند (۱۱). بنابراین، توجه به مفهوم تفرق خاک مهم می‌باشد؛ زیرا عمدتاً به عنوان یک ویژگی از یک جامعه‌ی طبیعی سازمان‌یافته محسوب می‌گردد که در طی فرایندهای تکامل اکولوژیکی، حادث می‌شود (۲۶). به طور کلی، تفرق خاک را می‌توان

5 - Shannon index

6 - Richness

7 - Evenness

8 - Diversity

9 - Taxonomic Pedodiversity

10 - Genetic Pedodiversity

11 - Functional Pedodiversity

12 - Diversity of soil properties

13 - Chronosequence

1 - Sample area

2 - Similarity indices

3 - Pedodiversity or soil diversity

4 - Biodiversity

معنی‌داری با فاصله‌ی بین جوامع مطالعاتی، ماده‌ی مادری و بافت خاک دارد. باربرچک و همکاران (۲) بیان نمودند که استفاده از شاخص شباهت جاکارد می‌تواند تا حدودی تفاوت بین خاک‌های بکر و دست‌خورده را در سه اکوسیستم جنگل، اراضی باتلاقی و زمین‌های زراعی نمایان سازد؛ لیکن استفاده از این شاخص، مستلزم شناسایی دقیق‌تر و جزئی‌تر تمام طبقات خاکی موجود در اکوسیستم‌های مزبور می‌باشد.

این که تعمیم‌پذیری داده‌های خاک حاصل از مطالعه‌ی منطقه‌ی نمونه به خارج از آن، چقدر می‌تواند مفید باشد و واقعیت صحرا را به نمایش گذارد، موضوعی است که باید در مطالعات مختلف مورد آزمون قرار گیرد و قابلیت کاربرد روش ژئوپدولوژی، ارزیابی شود. هدف از پژوهش حاضر، مطالعه‌ی تفرق خاک با استفاده از اندازه‌گیری آن در یک توالی سلسله‌مراتبی از سطوح رده‌بندی خاک و مقایسه‌ی واحدهای مشابه در روش ژئوپدولوژیک با استفاده از شاخص‌های تفرق و شباهت، به منظور بررسی میزان اعتبار تعمیم‌پذیری نتایج این روش برای اشکال اراضی مشابه در منطقه‌ی بروجن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعاتی

پژوهش حاضر در منطقه‌ای به مساحت تقریبی ۱۱۰۰ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۲۷۷ متر از سطح دریا، واقع در چهار کیلومتری جنوب شرقی بروجن انجام شد. این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی $36^{\circ}4'12''$ تا $51^{\circ}15'25/4''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $47^{\circ}4'31''$ تا $37^{\circ}3'56'$ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) و دارای میانگین بارش سالانه‌ی ۲۵۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه‌ی ۱۰/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد (۴). رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه‌ی مطالعاتی، به ترتیب، زریک و مزیک می‌باشند. منطقه‌ی مورد مطالعه، دو سیمای اراضی مختلف شامل اراضی تپه‌ماهوری^۱ و دامنه^۲ را در بر می‌گیرد. دامنه، بخش اعظم این منطقه را تشکیل می‌دهد که توسط جاده‌ی اصلی بروجن-گندمان به دو نوع لیتولوژی مختلف تقسیم می‌شود (شکل ۲ و جدول ۱). بنابراین، جاده‌ی مذکور، مرز اشکال اراضی موجود در دو طرف آن نیز محسوب می‌گردد. کشت گندم آبی و مرتع، مهم‌ترین کاربری‌های اراضی موجود در منطقه را شامل می‌شوند.

تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که تفرق رده‌بندی خاک، متناسب با افزایش سن تراس‌ها زیاد می‌شود؛ در حالی که تفرق ژنتیکی آن، با افزایش سن تراس‌ها کاهش می‌یابد. تومانیان و همکاران (۲۶) با استفاده از یک روش سلسله‌مراتبی ژئومرفیک، تفرق رده‌بندی و ژنتیکی خاک را برای دره‌ی زاینده‌رود مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با پایین رفتن از سطح سیمای اراضی به سمت سطوح ژئومرفیک، شاخص تفرق شان افزایش می‌یابد. هم‌چنین، توالی افق‌های خاک در سطح فامیل نشان داد که فامیل‌های خاک، دارای شاخص‌های تفرق بالایی در درون سطوح ژئومرفیک هستند.

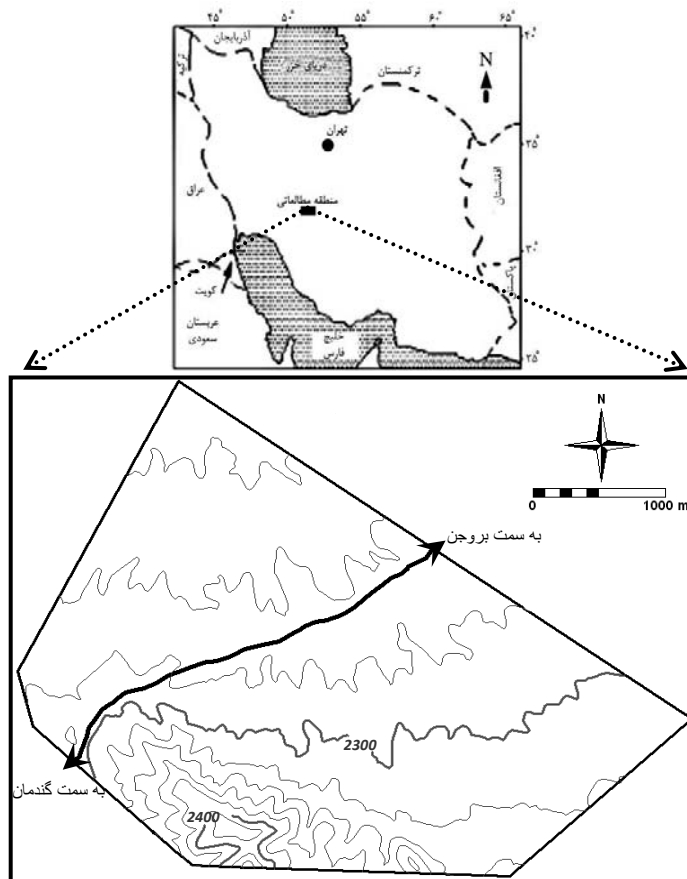
در هر حال، زمانی که جوامع مورد مطالعه، از تفاوت بسیار زیادی برخوردار هستند؛ امکان معنادار نبودن مقایسه‌ی شاخص‌های تفرق وجود دارد. هم‌چنین، شاخص‌های تفرق معمولاً از تغییرپذیری لازم برای مکان‌هایی که دارای گونه‌های مشابه، اما با نسبت‌های متفاوت هستند، برخوردار نمی‌باشند. در چنین مواردی، کاربرد شاخص‌های شباهت می‌تواند موجب رفع کاستی‌های مذکور شود (۲۸).

شباهت، به معنی تغییرات موجود بین اهداف (موجودیت‌های) مختلف می‌باشد. تغییرپذیری نیز بیان‌گر میزان اختلاف موجود بین مقادیر ویژگی‌ها (نمونه‌ها) در مواقعی است که دو یا چند ویژگی (نمونه) با هم‌دیگر مقایسه می‌شوند (۵). به عبارت دیگر، یک شیوه‌ی مناسب برای مقایسه‌ی جوامع، در مکان‌های مختلف و یا در زمان‌های متفاوت، آزمون شباهت جوامع مزبور است (۳). در حقیقت، یک ضریب شباهت، همانندی بین دو فرد (جامعه) را بر اساس حضور یا عدم حضور متغیرها و یا مقادیر کمی یا کیفی ویژگی‌های موجود برای آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند (۷). سوکال و اسنیت (۲۴) فهرستی از شاخص‌های شباهت را تهیه نمودند که در تمامی آن‌ها، محاسبه‌ی شباهت ویژگی‌ها در فواصل نمونه‌ای مختلف، بر پایه‌ی همانندی موجود بین دو نمونه استوار می‌باشد.

شاخص جاکارد^۱، یکی از قدیمی‌ترین و پُر کاربردترین شاخص‌هایی است که به منظور ارزیابی شباهت جوامع مختلف مورد استفاده قرار گرفته است و گاهی اوقات از آن به عنوان "اشتراک گونه‌ای"^۲ یاد می‌کنند. این شاخص بر اساس حضور یا عدم حضور افراد در دو جامعه استوار است و به سادگی قابل محاسبه می‌باشد (۱۳). فریستونه و اینویه (۶) به منظور تجزیه و تحلیل روابط بین تفرق و نایکناختی محیطی، شباهت گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های خاکی موجود در اراضی باتلاقی^۳ را با استفاده از شاخص جاکارد بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که نایکناختی محیطی بر عدم شباهت جوامع مورد نظر تأثیرگذار است و عدم شباهت مزبور نیز هم‌بستگی مثبت و

1 - Jaccard index
2 - Species overlap
3 - Wetlands

4 - Hilly land
5 - Piedmont



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی

مطالعات صحرایی و نمونه برداری خاک

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی ژئوفرم نهایی، منطقه‌ی نمونه طراحی گردید (شکل ۳-الف) و بزرگ‌ترین مرزبندی^۳ واحد Pi111 که تکرارپذیری خوبی را در منطقه نشان می‌داد (شکل ۲) و نیز بالاترین سطح از محدوده‌ی مطالعاتی را در بر می‌گرفت (جدول ۱)، انتخاب گردید (شکل ۳-ب). ابتدا تعداد ۱۹ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۱۲۵ متر در این واحد حفر شدند و سپس، میزان اعتبار تعمیم‌پذیری نتایج روش ژئوپدولوژی برای واحد مزبور، از طریق حفر تعداد ۱۵ خاک‌رخ دیگر در یک واحد مشابه موجود در خارج از منطقه‌ی نمونه، که منطقه‌ی تعمیم^۴ نامیده شده است، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-ب). تمامی خاک‌رخ‌ها بر اساس راهنمای تشریح و نمونه برداری خاک‌ها در صحرا (۲۲) تشریح شدند و مطابق با کلید رده‌بندی امریکایی خاک (۲۳) طبقه‌بندی گردیدند. با انجام نمونه برداری از افق‌های ژنتیکی تمامی خاک‌رخ‌های حفر شده، رده‌بندی خاک‌رخ‌ها (تا سطح فامیل خاک) بر اساس نتایج آزمایشگاهی نهایی شد.

تهیه‌ی نقشه‌ی تفسیری (نقشه‌ی ژئوفرم) منطقه‌ی مطالعاتی

این تفسیر، براساس دیدگاه ژئومرفیک و با توجه به سطوح طبقاتی روش ژئوپدولوژی ارائه‌شده توسط زینک (۳۰) به صورت مرحله‌ای بر روی عکس‌های هوایی با مقیاس "۱:۲۰۰۰۰" و با استفاده از استریوسکوپ انجام شد. سپس، عکس‌های هوایی تفسیرشده، اسکن و وارد محیط نرم‌افزار ایلویس^۱ گردیدند. در مراحل بعد، عکس‌های واردشده به ایلویس، با استفاده از نقاط مرجع برداشت‌شده در صحرا و همچنین با کمک گرفتن از تصویر ماهواره‌ای گرفته‌شده از بخش زمین‌شناسی امریکا و به روش آرتو-فتو-ژئورفرنس^۲ (۱۹)، زمین مرجع شدند. با رقومی کردن مرزهای ترسیم‌شده بر روی تک‌تک عکس‌ها، نقشه‌ی اولیه‌ی اشکال اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آمد. در نهایت، مرز واحدهای موجود در نقشه‌ی تفسیری اولیه در طی عملیات صحرایی، کنترل و تصحیح گردید. نقشه‌ی ژئوفرم نهایی منطقه و راهنمای آن، به ترتیب، در شکل ۲ و جدول ۱ آورده شده‌اند.

3 - Delineation

4 - Generalization or validation area

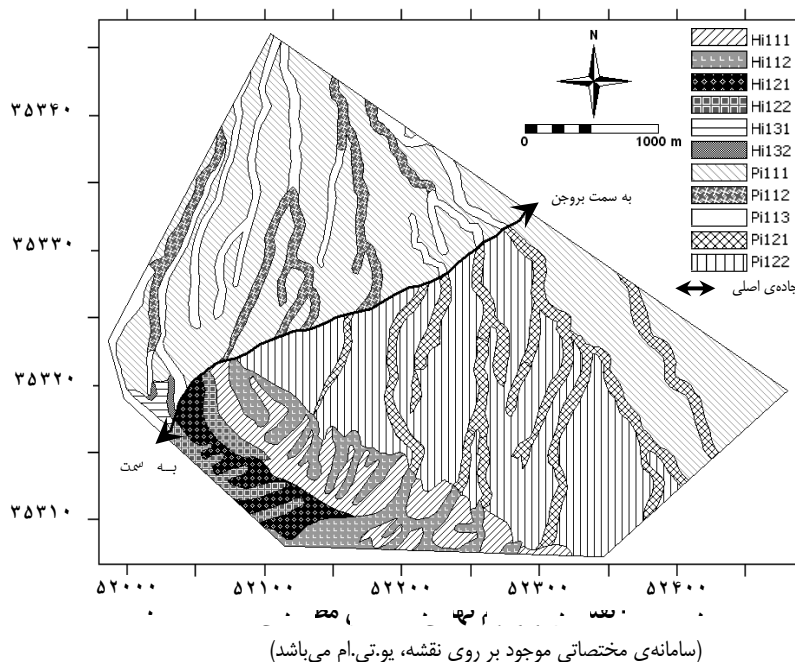
1 - ILWIS3.4

2 - Ortho-Photo-Georeferencing

مطالعات تفرق خاکها

اهمیت غیریکنواختی سیمای اراضی و شناسایی تفرق خاک، در مطالعات مختلف مد نظر قرار گرفته‌اند (۱۰، ۱۱، ۲۰ و ۲۶). در این پژوهش، تفرق رده‌بندی خاک در سطوح مختلف (رده، زیررده، گروه بزرگ، زیرگروه و فامیل) و تفرق ژنتیکی آن در سطح افق‌ها برای مناطق نمونه و تعمیم، برای اولین بار مورد بحث قرار گرفته است.

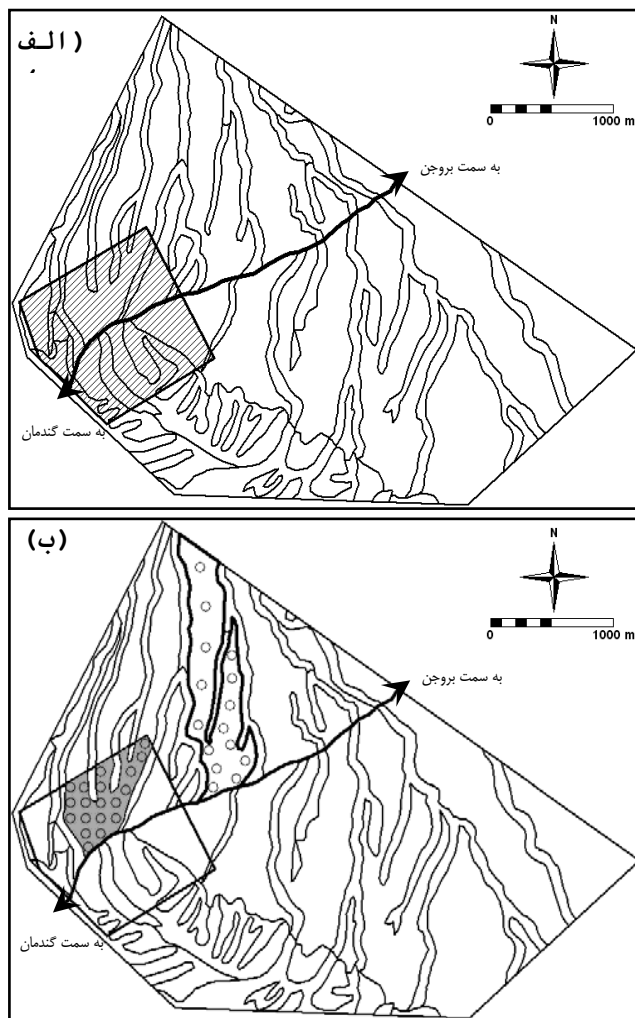
تجزیه و تحلیل تفرق خاکها از طریق محاسبه‌ی شاخص‌های غنی‌شدگی (S)، شانن (H') و همواری (E) برای سطوح مختلف رده-بندی خاک صورت پذیرفت. تعداد طبقات خاک یا اجزای موجود در هر کدام از دو منطقه‌ی نمونه و تعمیم، به عنوان شاخص غنی‌شدگی در نظر گرفته شد.



(جدول ۱) - واحدهای تشخیص داده شده در منطقه‌ی مطالعاتی به روش ژئودولوژی، همراه با مساحت هر کدام از آنها

مساحت (هکتار)	شکل اراضی	لیتولوژی	پستی و بلندی	سیمای اراضی
۶۶/۸۳	Hi111: ترکیبی از شانه و شیب برگشتی	Hi11 (K11m)		
۶۲/۹۲	Hi112: پای شیب	تناوب مارن و سنگ‌آهک مارنی دگرگون‌شده		
۲۹/۴۴	Hi121: ترکیبی از شانه و شیب برگشتی	Hi12 (Plbc)	Hi1	Hi
۲۲/۹۹	Hi122: پای شیب	کنگلومرای ضخیم‌لایه با میان‌لایه‌های مارنی	تپه‌های	اراضی
۴/۲۹	Hi131: ترکیبی از شانه و شیب برگشتی	Hi13 (K21)	کم‌ارتفاع	تپه‌ماهوری
۱/۹۲	Hi132: پای شیب	سنگ آهک توده‌ای تیره‌رنگ پرتگاه‌ساز		
۳۸۸/۹۶	Pi111: ترکیبی از پشته‌ی گلاسی‌ها و شیب‌های کنار آبراهه	Pi11 (K21)		
۵۲/۲۱	Pi112: پادگانه‌ی آبراهه‌ای دارای پوشش سبز چمنی	سنگ آهک توده‌ای تیره‌رنگ پرتگاه‌ساز		
۷۳/۵۶	Pi113: شیب‌های کنار آبراهه		Pi1	Pi
۱۰۳/۲۵	Pi121: شیب‌های کنار آبراهه	Pi12 (K31)	گلاسی*	دامنه
۲۹۶/۲۰	Pi122: ترکیبی از پشته‌ی گلاسی‌ها و شیب‌های کنار آبراهه	سنگ آهک تیره و شیل‌های تیره‌ی اربیتولین‌دار		

* - سطوح بریده بریده‌ی حاصل از ارتفاعات بالا را گلاسی^۱ گویند.



شکل ۳- (الف): موقعیت منطقه‌ی نمونه (قسمت هاشور خورده)؛ (ب): موقعیت بزرگ‌ترین مرزبندی واحد Pi111 در منطقه‌ی نمونه (قسمت تیره-رنگ) و منطقه‌ی تعمیم (ناحیه‌ی دارای مرز ضخیم)، همراه با نقاط مشاهداتی بر روی نقشه‌ی ژئوفورم

که p_i نشان‌گر نسبت اجزای موجود در واحد n است. در حقیقت، مقدار واقعی p_i نامعلوم می‌باشد و در نتیجه، به جای آن از نسبت " n_i/N " استفاده می‌شود که n_i بیان‌گر تعداد اجزای متعلق به n مین واحد می‌باشد و N عبارت از تعداد کل اجزای جمع‌آوری شده است.

حداکثر انتروپی ممکن (H'_{max}) برای شرایط به خصوصی از غنی‌شدگی، در وضعیتی اتفاق می‌افتد که تمام اجزاء (طبقات مختلف)، دارای احتمال‌های برابر باشند (۱۰، ۱۱). به عبارت دیگر، از نظر ریاضیاتی، زمانی این اتفاق رخ می‌دهد که شرط زیر برقرار باشد:

$$H' = H'_{max} = \ln S \quad (2)$$

تحت چنین شرایطی، نسبت تفرق مشاهده‌شده به حداکثر تفرق ممکن، به عنوان معیاری از همواری مد نظر قرار می‌گیرد (۱۰، ۱۱) و (۲۰) که معادله‌ی ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد:

شاخص‌های مبتنی بر فراوانی نسبی موجودیت‌های مورد مطالعه، رایج‌ترین تکنیک برای اندازه‌گیری تفرق می‌باشند (۱۲). یکی از پُر کاربردترین این شاخص‌ها که در اکولوژی، به عنوان معیاری از غیریکنواختی^۱ ساختار یک جامعه استفاده شده است، شاخص شانن نام دارد (۲۰). معادله‌ی این شاخص، بسیار شبیه به معادله‌ی است که توسط بولتزمن^۲ برای تعیین انتروپی سامانه‌های ترمودینامیکی بیان شده است و این دلیلی است بر آن که چرا شاخص شانن را "شاخص انتروپی"^۳ نیز نامیده‌اند (۱۱). بیان ریاضی شاخص شانن به صورت زیر است:

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (1)$$

- 1 - Heterogeneity
- 2 - Boltzmann
- 3 - Entropy index

$$E = H' / H'_{\max} = H' / \ln S \quad (3)$$

شاخص همواری می‌تواند دارای هر مقداری بین صفر و یک باشد. عدد یک، بیان‌گر وضعیتی است که در آن تمام گونه‌ها یا موجودیت‌ها دارای احتمال‌های برابر هستند (به عنوان مثال، زمانی که گونه‌ها یک سطح یکسان را اشغال کنند). عدد صفر، بیان‌گر وضعیتی است که در آن، توزیع شدیداً غیریکنواختی از فراوانی نسبی گونه‌ها قابل رؤیت باشد؛ به عبارت دیگر، زمانی که یک گونه نسبت به کل گونه‌ها غالب باشد (۱۱).

آن گونه که سالدانا و ایبانز (۲۰) اظهار داشته‌اند، اختلافی بین تفرق خاک محاسبه‌شده از روی سطحی که نمونه‌ها نماینده‌ی آن هستند و یا تفرق محاسبه‌شده از روی تعداد آن‌ها وجود ندارد. در نتیجه، در این مطالعه، تعداد کلاس‌های خاک، برای محاسبه و ارزیابی شاخص‌های تفرق رده‌بندی خاک‌ها و تعداد توالی افق‌های خاک در هر سطح رده‌بندی، برای محاسبه‌ی تفرق ژنتیکی خاک‌ها استفاده شدند.

تیلور (۲۵) اشاره نمود که اگر شاخص شانن برای جوامع (واحدهای) مختلف محاسبه گردد، شاخص‌های محاسبه‌شده از توزیع نرمال تبعیت خواهند نمود. این ویژگی، امکان استفاده از آمار کلاسیک در راستای مقایسه‌ی تفرق جوامع مختلف را فراهم می‌سازد. در نتیجه، به منظور آزمون آماری قابلیت اعتماد رویکرد جداسازی واحد Pi111 در دو منطقه‌ی نمونه و تعمیم، از توزیع t به صورت زیر استفاده گردید (۹):

$$t = (H'_1 - H'_2) / (\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^{1/2} \quad (4)$$

که H'_i ، بیان‌گر شاخص تفرق محاسبه‌شده برای واحد i ام است. $\text{Var } H'_i$ ، نشان‌دهنده‌ی واریانس تفرق محاسبه‌شده برای i امین واحد می‌باشد که به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\text{Var } H'_i = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \right)^2 / N \right] / N \right\} + \{ (S-1) / 2N^2 \} \quad (5)$$

در چنین شرایطی، درجه‌ی آزادی لازم برای قرائت t ی جدول، از طریق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$d.f = (\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^2 / \{ [(\text{Var } H'_1)^2 / N_1] + [(\text{Var } H'_2)^2 / N_2] \} \quad (6)$$

که N_i ، عبارت از تعداد نمونه‌های برداشت‌شده از واحد i ام است.

در صورتی که مقدار t ی محاسبه‌شده، بزرگ‌تر از t ی جدول باشد؛ آن‌گاه فرض صفر مبنی بر یکسان بودن میانگین واحد Pi111 در دو منطقه‌ی نمونه و تعمیم، رد می‌شود.

مطالعات شباهت خاک‌ها

یکی از شیوه‌های کشف ساختارهای دینامیکی و پنهان سیمای اراضی‌ها، تجزیه و تحلیل پیدایش مکرر الگوهای بنیادی خاص موجود در آن‌ها است که استفاده از شاخص‌های شباهت می‌تواند در این راستا

کارساز باشد (۲۹). در این رابطه، شاخص شباهت جاکارد (J)، با در نظر گرفتن گونه‌های مشترک بین دو جامعه و نیز تعداد گونه‌های موجود در هر کدام از جوامع مزبور، به راحتی قابل محاسبه است (۵). فرمول زیر، شیوه‌ی محاسبه‌ی این شاخص را نشان می‌دهد:

$$J = a / (a + b + c) \quad (7)$$

ضرایب a ، b و c ی موجود در فرمول بالا، نشان‌گر فراوانی حالت‌های وجود و عدم وجود گونه‌ها هستند. جدول ۲، در برگزیده‌ی چگونگی محاسبه‌ی این ضرایب می‌باشد.

جدول ۲- فراوانی حالت‌های وجود و عدم وجود گونه‌های موجود در دو جامعه (۵)

	جامعه‌ی اول	
	حضور	عدم حضور
جامعه‌ی دوم	a	b
حضور	c	-
عدم حضور		

در هر حال، شاخص جاکارد، تنها بر اساس حضور و یا عدم حضور گونه‌ها استوار است و فراوانی نسبی هر کدام از گونه‌ها را مد نظر قرار نمی‌دهد (۵). یکی از راهکارهای موجود در این رابطه، استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط مانلی (۱۴) می‌باشد. در این صورت، شباهت بین دو جامعه (S) را می‌توان از طریق فرمول زیر تعیین نمود:

$$S = 1 - \sum_{i=1}^k |p_i - q_i| / 2 \quad (8)$$

که p_i و q_i ، به ترتیب، نشان‌دهنده‌ی فراوانی نسبی i امین گونه‌ی موجود در جامعه‌ی اول و دوم می‌باشند.

مقدار عددی شاخص‌های شباهت مذکور در بالا، بین صفر و یک تغییرپذیر می‌باشند. عدد صفر، بیان‌گر آن است که گونه‌های موجود در دو جامعه، کاملاً متفاوت از یکدیگر می‌باشند؛ در حالی که عدد یک، نمایان‌گر شباهت گونه‌ای کامل برای دو جامعه‌ی مورد نظر است.

در تحقیق حاضر، واحد Pi111 موجود در دو منطقه‌ی نمونه و تعمیم، بر اساس شاخص‌های شباهت جاکارد و شباهت نسبی، برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک، مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

شاخص‌های تفرق محاسبه‌شده در سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک برای واحد Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیم در جدول ۳ ارائه شده‌اند. شکل ۴، مقایسه‌ی تفرق شانن برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک را در دو منطقه‌ی مزبور نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل، ملاحظه می‌گردد که شاخص تفرق شانن از سطح رده به سمت فامیل خاک، در هر دو منطقه افزایش می‌یابد و این به خاطر افزایش توأم شاخص‌های غنی‌شدگی و همواری در خلال استفاده از اطلاعات

با تغییر مقیاس درک^۱ و تمرکز بر توالی افق های ژنتیکی خاک رخ های حفر شده در مناطق نمونه و تعمیم نیز ثابت شد. جدول ۵، تفرق ژنتیکی شانن را برای فامیل های مختلف موجود در دو منطقه ی مزبور نشان می دهد (به دلیل محدودیت حجم مقاله، جداول مربوط به سطوح بالاتر از فامیل، نشان داده نشده اند). نتایج به دست آمده در این زمینه، با نتایج مطالعه ی تفرق واحدهای نقشه ی خاک در اسپانیا توسط ایباز و همکاران (۱۱) و نیز اطلاعات کسب شده از مطالعه ی تفرق خاک های دره ی زاینده رود در اصفهان توسط تومانیان و همکاران (۲۶) مطابقت دارند.

شکل ۵، تفرق ژنتیکی شانن را برای واحد Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیم، در سطوح مختلف رده بندی خاک مقایسه نموده است. در سطح رده، تفرق اینسپتی سول های موجود در منطقه ی نمونه، بیش تر از آلفی سول ها است؛ در حالی که در منطقه ی تعمیم، نتیجه ی تفرق محاسبه شده، بر عکس منطقه ی نمونه می باشد. چنین روندی، در سطح زیر رده نیز صدق می کند. گروه بزرگ Calcixerepts، بالاترین تفرق ژنتیکی را در منطقه ی نمونه به خود اختصاص داده است؛ در حالی که گروه بزرگ Haploxeralfs که کم ترین میزان تفرق را در منطقه ی نمونه دارد؛ بیش ترین مقدار تفرق ژنتیکی را در منطقه ی تعمیم دارا می باشد. زیر گروه Typic Calcixerepts و Calcic Haploxeralfs، به ترتیب، دارای بیش ترین و کم ترین میزان تفرق ژنتیکی در منطقه ی نمونه هستند؛ لیکن در منطقه ی تعمیم، زیر گروه Calcic Haploxeralfs از بالاترین میزان تفرق برخوردار است و دو زیر گروه Typic Calcixerepts و Petrocalcic Palexeralfs، پایین ترین میزان تفرق ژنتیکی را دارند.

مقیاس کوچک تر برای تجزیه و تحلیل های مقیاس بزرگ تر^۱ در سلسله مراتب مزبور است (۲۶). ایباز و همکاران (۱۰)، جو و همکاران (۸) و سالدانا و ایباز (۲۰) نیز نشان داده اند که چگونه شاخص های غنی شدگی و شانن در خلال سلسله مراتب رده بندی خاک در مطالعات با مقیاس های کوچک و بزرگ افزایش یافته اند. نکته ی قابل توجه در شکل ۴، این است که تا سطح گروه بزرگ، علی رغم تعداد خاک رخ کم تر در منطقه ی تعمیم (۱۵ خاک رخ) نسبت به منطقه ی نمونه (۱۹ خاک رخ)، تفرق رده بندی محاسبه شده در منطقه ی تعمیم، به دلیل وجود همواری بیش تر، از منطقه ی نمونه بالاتر است؛ حال آن که در سطوح زیر گروه و فامیل خاک، این منطقه ی نمونه است که از تفرق بیش تر برخوردار گردیده است. در واقع، همان گونه که فیلیپس (۱۷) نیز بیان کرده است، اتروپی های محاسبه شده، نماینده ای از ذات درهم و پیچیده ی انواع خاک های موجود در سطوح مختلف رده بندی می باشد که این طبیعت پیچیده، منتج از ترکیب فرایندهایی از محیط است که بخشی به صورت تصادفی و بخش دیگر به طور مشخص رخ می دهد (۲۶).

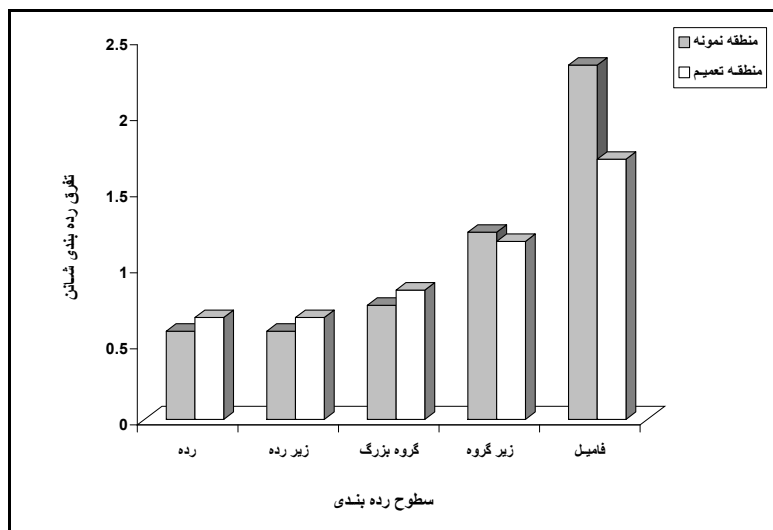
مقایسه ی آماری تفرق رده بندی شانن بین دو واحد مشابه Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیم، نشان داد که تفاوت معنی داری بین میانگین تفرق خاکها در سطح اعتماد ۹۵ درصد برای طبقه ی فامیل موجود می باشد (جدول ۴). به عبارت دیگر، تا سطح زیر گروه، تفرق خاک های موجود در دو منطقه ی مزبور، از نظر آماری یکسان است؛ لیکن در سطح فامیل، به دلیل تغییر در شاخص غنی شدگی، تفاوت خاک های دو واحد مشابه Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیم آشکار می گردد و بالتبع وجود چنین تفاوت هایی برای سطوح پایین تر از فامیل (سری و فاز سری) بارز تر خواهند بود. افزایش تفرق خاکها در خلال سلسله مراتب رده بندی خاک، حتی

جدول ۳- تجزیه و تحلیل تفرق خاکها برای واحد Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیم در سطوح مختلف رده بندی خاک

سطح رده بندی خاک	موقعیت	N	S	H'	H' _{max}	E
رده	منطقه ی نمونه	۱۹	۲	۰/۵۸	۰/۶۹	۰/۸۳
	منطقه ی تعمیم	۱۵	۲	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۹۷
زیر رده	منطقه ی نمونه	۱۹	۲	۰/۵۸	۰/۶۹	۰/۸۳
	منطقه ی تعمیم	۱۵	۲	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۹۷
گروه بزرگ	منطقه ی نمونه	۱۹	۳	۰/۷۵	۱/۱۰	۰/۶۹
	منطقه ی تعمیم	۱۵	۳	۰/۸۵	۱/۱۰	۰/۷۸
زیر گروه	منطقه ی نمونه	۱۹	۴	۱/۲۳	۱/۳۹	۰/۸۹
	منطقه ی تعمیم	۱۵	۴	۱/۱۷	۱/۳۹	۰/۸۴
فامیل	منطقه ی نمونه	۱۹	۱۲	۲/۳۳	۲/۴۸	۰/۹۴
	منطقه ی تعمیم	۱۵	۷	۱/۷۱	۱/۹۵	۰/۸۸

N: کل نمونه ها، S: غنای خاک رخی خاک، H': شاخص تفرق شانن، H'_{max}: تفرق حداکثر، E: همواری

1 - Downscaling
2 - Understanding level



(شکل ۴) - مقایسه‌ی واحد Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیر بر اساس شاخص تفرق شانین برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک

(جدول ۴) - مقایسه‌ی آماری تفرق خاک، بین واحد Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیر برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک

سطح رده‌بندی خاک	تفرق شانین		واریانس تفرق شانین		درجه‌ی آزادی	آماره‌ی t
	منطقه‌ی نمونه	منطقه‌ی تعمیر	منطقه‌ی نمونه	منطقه‌ی تعمیر		
رده	۰/۵۷۶	۰/۶۷۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۳۱	۰/۷۴۰
زیر رده	۰/۵۷۶	۰/۶۷۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۳۱	۰/۷۴۰
گروه بزرگ	۰/۷۵۳	۰/۸۵۳	۰/۰۳۳	۰/۰۲۶	۳۴	۰/۴۱۲
زیر گروه	۱/۲۳۴	۱/۱۷۱	۰/۰۱۹	۰/۰۲۹	۳۱	۰/۲۸۶
فامیل	۲/۳۳۳	۱/۷۰۹	۰/۰۳۲	۰/۰۴۳	۳۲	۲/۲۷۶*

* - در سطح اعتماد ۹۵ درصد، معنی‌دار می‌باشد.

نشان‌دهنده‌ی آن هستند که تا سطح زیر گروه، دو منطقه‌ی مزبور از شباهت کامل و ۱۰۰ درصد برخوردار می‌باشند؛ لیکن در سطح فامیل، میزان شباهت به ۳۶ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۶). در هر حال، شاخص مذکور تنها بر اساس وجود یا عدم وجود انواع خاک‌ها در دو منطقه‌ی مورد نظر استوار است و شباهت را صرف نظر از فراوانی نسبی خاک‌ها مد نظر قرار می‌دهد (۵). برای این منظور، شباهت بین مناطق نمونه و تعمیر با در نظر گرفتن فراوانی نسبی انواع خاک‌های موجود در هر دو منطقه نیز محاسبه شد (شکل ۷). مقایسه‌ی شباهت نسبی مناطق مزبور برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک نشان می‌دهد که سطوح رده و زیر رده از شباهت نسبی یکسانی برخوردار می‌باشند. این موضوع برای سطوح گروه بزرگ و زیر گروه نیز صادق است. مقایسه‌ی شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن فراوانی نسبی انواع خاک‌های موجود در واحد Pi111 مناطق نمونه و تعمیر، شباهت جاکارد از ۱۰۰ درصد به ۸۶ درصد برای سطوح رده و زیر رده، و ۷۷ درصد برای سطوح گروه بزرگ و زیر گروه، کاهش یافته است. هرچند در سطح فامیل، شباهت جاکارد از ۳۶ درصد به ۴۰ درصد افزایش یافته است؛ لیکن شباهت موجود، هنوز کمتر از ۵۰ درصد

در سطح فامیل، هفت خاک (A, C, E, F, G, J, K) در منطقه - ی نمونه قابل تشخیص می‌باشند که این خاک‌ها هرگز در منطقه‌ی تعمیر مرزبندی نشده‌اند. به علاوه، دو فامیل جدید خاک (M و N) در منطقه‌ی تعمیر تشخیص داده شدند که قبلاً در منطقه‌ی نمونه مشاهده نشده بودند. این دو فامیل خاک، متعلق به آلفی‌سول‌ها می‌باشند و نکته‌ی جالب این‌که فامیل N، بیش‌ترین تفرق ژنتیکی را در بین دو منطقه به خود اختصاص داده است. در منطقه‌ی نمونه نیز فامیل A دارای بیش‌ترین مقدار تفرق می‌باشد. در نتیجه، علی‌رغم شباهت واحد ژئومرفیک مورد مطالعه در مناطق نمونه و تعمیر، بررسی تفرق ژنتیکی سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک ارائه‌شده در شکل ۵، وجود تفاوت‌هایی را در رابطه با اطلاعات دریافتی در مورد نوع خاک‌ها و تغییرپذیری آن‌ها آشکار می‌سازد. تنها تا سطح زیر گروه، نوع خاک‌های موجود در منطقه‌ی نمونه و منطقه‌ی تعمیر یکسان هستند؛ لیکن در ارتباط با تفرق ژنتیکی آن‌ها، حتی در بالاترین سطح (رده‌ی خاک)، بین مناطق مزبور، تفاوت مشاهده می‌گردد.

نتایج حاصل از کاربرد شاخص جاکارد به منظور بررسی میزان شباهت موجود بین واحد Pi111 در منطقه‌ی نمونه و تعمیر،

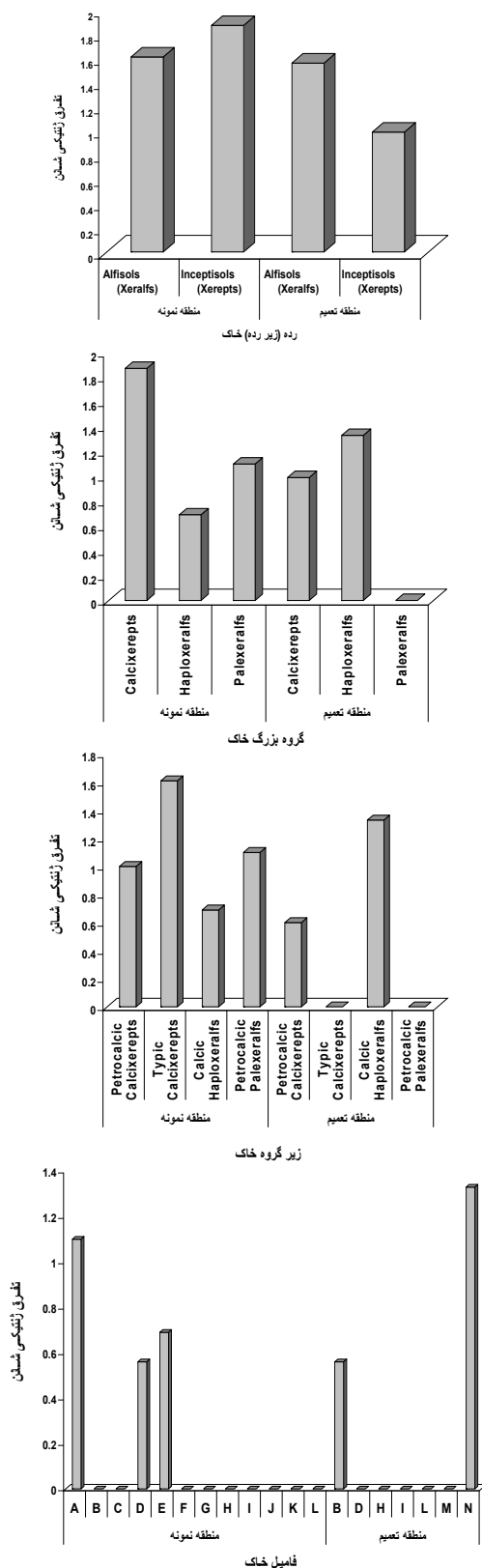
یکسان نمی باشد. در نتیجه مطابق با روش مزبور، نتایج رده بندی حاصل از منطقه ی نمونه، قابل تعمیم به اشکال اراضی مشابه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ نمی باشند. به عبارت دیگر، در خوش بینانه ترین حالت ممکن می توان گفت که روش ژئوپدولوژی برای سطوح بالاتر از فامیل، می تواند به منظور تعمیم نتایج برای واحدهای ژئومرفیک مشابه در مقیاس های بزرگ مورد استفاده قرار گیرد و برای سطوح پایین تر رده بندی خاک (فامیل و سری) از کارایی لازم برخوردار نمی باشد.

می باشد. به عبارت دیگر، اختلاف شباهت محاسبه شده بین سطح زیر گروه و فامیل در هر دوی روش های مورد استفاده (شاخص جاگرد و شباهت نسبی)، فاحش و قابل توجه است. از آن جایی که مناسب ترین مقیاس مطالعاتی برای روش ژئوپدولوژی، نیمه تفصیلی (۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰) تا اجمالی (۱:۱۰۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰۰) بیان شده است (۱۸، ۲۷) و اعتقاد بر این است که به منظور مطالعه در مقیاس های بزرگ تر، نیاز به تغییر و ویرایش راهکار مورد استفاده می باشد (۱۸). انجام پژوهش حاضر در مقیاس تفصیلی (۱:۱۰۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰۰)، خود به نوعی بر گفته های پژوهشگران مذکور صحنه می گذارد و بیان می کند که تغییر پذیری درونی واحدهای نقشه ی مشابه، ثابت و

(جدول ۵) - مقایسه ی تفرق ژنتیکی شانن در واحد Pi111 موجود در مناطق نمونه و تعمیم برای فامیل های مختلف خاک

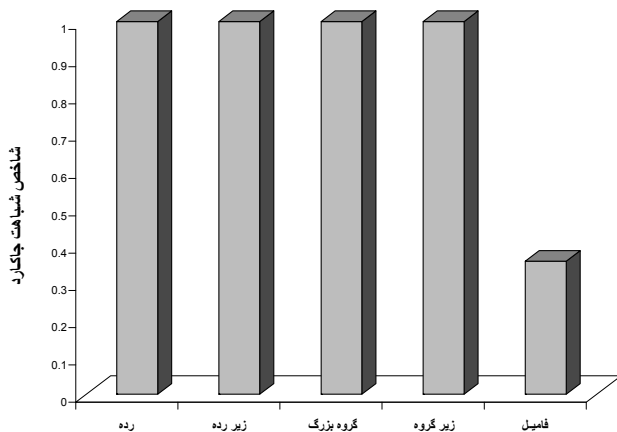
موقعیت	فامیل خاک (علامت)*	توالی افق ها	ni	H'	S	H'm ax	E	
مطلقه ی نمونه	fine, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts (D)	Ap/Bk/Bkm	۳	۰/۵۶	۲	۰/۶۹	۰/۸۱	
		Ap/Bk1/Bk2/Bkm	۱					
	fine, carbonatic, mesic Calcic Haploxeralfs (E)	Ap/Btk/Bk/BkC/Bkm	۱	۰/۶۹	۲	۰/۶۹	۱	
		Ap/Bk1/Bk2/Btk/CBk/Bkm	۱					
	fine, carbonatic, mesic Petrocalcic Palexeralfs (A)	Ap/Btk1/Btk2/Bk/Bkm	۱					
		Ap/Btk/Bkm	۱	۱/۱۰	۳	۱/۱۰	۱	
	مطلقه ی تعمیم	clayey-skeletal, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts (B)	Ap/Btk1/Btk2/Bkm	۱				
			Ap/Bk/Bkm	۲	۰	۱	۰	۰
		fine, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts (F)	Ap/Bk1/Bk2/Bk3/Bk4	۱	۰	۱	۰	۰
			Ap/Bk1/Bk2/Bk3/Bkm	۱	۰	۱	۰	۰
		loamy-skeletal, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts (H)	Ap/Bk/CBk/Bkm	۱	۰	۱	۰	۰
		fine-loamy, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts (I)	Ap/Bk/CBk/CBkm	۱	۰	۱	۰	۰
		clayey-skeletal, mixed, active, mesic Petrocalcic Calcixerepts (J)	Ap/Bk/Bkm/C	۱	۰	۱	۰	۰
		fine, mixed, active, mesic Petrocalcic Calcixerepts (K)	Ap/Bk/Bkm	۱	۰	۱	۰	۰
clayey-skeletal, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts (C)		Ap/Bk1/Bk2/Bk3/CBk	۱	۰	۱	۰	۰	
loamy-skeletal, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts (L)		Ap/Bk/CBk1/CBk2	۱	۰	۱	۰	۰	
مطلقه ی تعمیم	fine, mixed, active, mesic Calcic Haploxeralfs (N)	Ap/Btk1/Btk2/CBk	۲					
		Ap/Btk1/Btk2/Bkm	۱	۱/۳۳	۴	۱/۳۹	۰/۹۶	
		Ap/Btk/Bk	۱					
	clayey-skeletal, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts (B)	Ap/Btk1/Btk2/Bk	۱					
		Ap/Bk/Bkm/C	۱	۰/۵۶	۲	۰/۶۹	۰/۸۱	
	loamy-skeletal, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts (H)	Ap/Bk/Bkm	۳					
		Ap/Bk/Bkm/C	۱	۰	۱	۰	۰	
	fine, carbonatic, mesic Petrocalcic Calcixerepts (D)	Ap/Bk/Bkm	۲	۰	۱	۰	۰	
fine, mixed, active, mesic Petrocalcic Palexeralfs (M)	Ap/Btk/Bkm	۱	۰	۱	۰	۰		
fine-loamy, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts (I)	Ap/Bk/C	۱	۰	۱	۰	۰		
loamy-skeletal, carbonatic, mesic Typic Calcixerepts (L)	Ap/Bk/C	۱	۰	۱	۰	۰		

ni - تعداد تکرار توالی افق ها، H' : شاخص تفرق شانن، S: غنای خاک رخی خاک، H'max: تفرق حداکثر، E: همواری
* - به منظور سهولت ترسیم نمودار تفرق ژنتیکی، هر فامیل با یک حرف لاتین نمایش داده شده است.

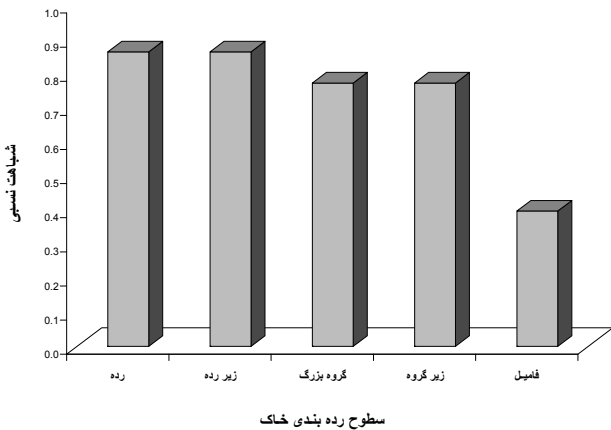


(شکل ۵) - مقایسه‌ی تفرق ژنتیکی شانن در مناطق نمونه و تعمیم برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک

نمی‌دهند (۱۶). از سوی دیگر، شاخص جاگارد به تعداد نمونه‌ها حساس است و چون این شاخص، تنها بر اساس حضور یا عدم حضور گونه‌ها استوار می‌باشد، تخمین‌گرهای دقیق برای آن، دست‌نیافتنی است (۵). بنابراین، توجه به فاصله‌ی رده‌بندی خاک^۳ و ملحوظ نمودن آن در محاسبات تفرق خاک برای مطالعات آتی توصیه می‌گردد؛ چراکه در این صورت، اطلاعات فراوانی نسبی کلاس‌های خاک و تفاوت‌های رده‌بندی بین آن‌ها هم‌زمان و همراه با یک‌دیگر مد نظر قرار خواهند گرفت.



(شکل ۶) - مقایسه‌ی شاخص شباهت جاگارد در مناطق نمونه و تعمیم برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک



(شکل ۷) - مقایسه‌ی شباهت نسبی مناطق نمونه و تعمیم برای سطوح مختلف رده‌بندی خاک

با این وجود، یکی از روش‌های احتمالی به منظور ویرایش راهکار مورد استفاده در روش ژئوپدولوژی برای مقیاس‌های تفصیلی و بزرگ‌تر، تعریف "فازهای شکل اراضی"^۱ می‌باشد؛ بدین معنی که دریافت اطلاعات بیش‌تر به همراه جزئیات دقیق‌تر از مقیاس‌های اخیر می‌تواند تفکیک سیمای اراضی را بهتر و تحت واحدهای یکنواخت‌تر (همگن‌تر) انجام دهد. فازهای شکل اراضی را می‌توان به واسطه‌ی مشاهده‌ی شواهد صحرایی (مانند درصد سنگ و سنگریزه‌ی سطحی، نوع و میزان پوشش گیاهی)، اطلاعات دریافتی از مدل رقمی ارتفاع^۲ و مشتقات آن (مانند نقشه‌ی جهت شیب و نقشه‌ی مقدار شیب) و یا توجه به شرایط هیدرولوژیکی موجود در منطقه‌ی مطالعاتی تعیین نمود.

نتیجه‌گیری

تفکیک و جداسازی واحدهای خاک یکنواخت‌تر و یا افزایش خلوص واحدهای نقشه، تلاشی است که دیدگاه ژئوپدولوژیک از اواخر دهه‌ی نود، در قالب یک ساختار سلسله‌مراتبی مشخص برای نقشه‌برداری خاک‌ها آغاز نموده است. در واقع، روش ژئوپدولوژی می‌کوشد تا کوچک‌ترین واحد نقشه را که دارای بالاترین مراتب همگنی و یکنواختی باشد، تفکیک و معرفی کند. حال آن‌که نیاز به توجه‌ی بیش‌تر به اصول و قواعد کلی ارائه‌شده برای روش مذکور، این پرسش را در ذهن تداعی می‌کند که: "آیا برون‌یابی استفاده‌شده در این روش، چنین دقتی را به ارمغان می‌آورد یا خیر؟". در این راستا، تجزیه و تحلیل غیریکنواختی مکانی سیمای خاک با کاربرد شاخص‌های تفرق و شباهت نشان داد که تنها تا سطح زیر گروه، روش ژئوپدولوژی می‌تواند به منظور تعمیم نتایج برای واحدهای ژئومرفیک مشابه در یک نقشه‌ی خاک با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گیرد و برای سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک (فامیل و سری) از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. به علاوه، محاسبه‌ی شاخص‌های رده‌بندی و ژنتیکی شان، افزایش انترپسی را با پایین رفتن در سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک‌های منطقه به اثبات رساند که این خود، نماینده‌ای از ذات درهم و پیچیده‌ی انواع خاک‌های موجود در سطوح مختلف رده‌بندی می‌باشد. با این وجود، به منظور افزایش دقت نتایج روش ژئوپدولوژی، استفاده از فازهای شکل اراضی و نیز تعیین فاز فامیل و یا فاز سری برای هر یک از آن‌ها توصیه می‌شود. در هر حال، شاخص‌های تفرق معمول، تنها قادر به محاسبه‌ی فراوانی نسبی کلاس‌های خاک هستند و اطلاعات زیادی در رابطه با شباهت رده‌بندی یا تفاوت‌های موجود بین کلاس‌های خاک، در دسترس قرار

1 - Landform phases

2 - Digital Elevation Model; DEM

منابع

- ۱- قلی‌زاده ع. ۱۳۸۰. بررسی کارایی روش ژئوپدولوژیک و روش خاک‌شناسی معمول در ایران برای طبقه‌بندی تناسب اراضی تحت کشت محصولات عمده‌ی منطقه‌ی گنبد قابوس- استان گلستان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد خاک‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۰۶ صفحه.
- 2- Barbercheck M.E., Neher D.A., Anas O., El-Allaf S.M. and Weicht T.R. 2008. Response of soil invertebrates to disturbance across three resource regions in North Carolina. *Environmental Monitoring and Assessment*, Online publication. DOI 10.1007/s10661-008-0315-5.
- 3- Brower J.E. and Zar J.H. 1984. *Field and Laboratory Methods for General Ecology* (2nd ed.). Wm. C. Brown Publishers. Dubuque, IA, 226 pp.
- 4- Chaharmahal and Bakhtiari Meteorological Administration. <http://www.chaharmahalmet.ir/en/dataarchive.asp>.
- 5- Chao A., Chazdon R.L., Colwell R.K. and Shen T.J. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*. 8: 148–159.
- 6- Freestone A.L., and Inouye B.D. 2006. Dispersal limitation and environmental heterogeneity shape scale-dependent diversity patterns in plant communities. *Ecology*, 87: 2425–2432.
- 7- Gower J. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27:857–874.
- 8- Guo Y., Gong P. and Amundson R. 2003. Pedodiversity in the United States of America. *Geoderma*. 117:99–115.
- 9- Hutcheson K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology*. 29: 151–154.
- 10- Ibanez J.J., De Alba S., Ilobo A., and Zucarello V. 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with discussion). *Geoderma* 83: 171–214.
- 11- Ibanez J.J., De Alba S., Bermudes F.F. and Garcia-Alvarez A. 1995. Pedodiversity: concepts and measurements. *Catena* 24: 215–232.
- 12- Magurran A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Chapman and Hall/CRC, London, 179 pp.
- 13- Magurran A.E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell, Oxford, 256 pp.
- 14- Manly B.F.J. 2004. *Multivariate Statistical Methods: A primer* (3rd ed.). Chapman and Hall/CRC, London, 215 pp.
- 15- McBratney A.B. 1995. Pedodiversity. Newsletter of International Society of Soil Science working group on pedometrics. *Pedometron*. 3: 1–3.
- 16- McBratney A.B., and B. Minasny. 2007. On measuring pedodiversity. *Geoderma*. 141: 149–154.
- 17- Phillips J.D. 1996. Deterministic complexity, explanation, and predictability in geomorphic systems. In: Bruce L. Roads and Colin E. Thorn (Eds.). *The scientific nature of geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton symposium in geomorphology*. John Wiley and Sons Ltd, pp. 315–335.
- 18- Rossiter D.G. 2000. *Methodology for soil resource inventories* (2nd ed.). Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
- 19- Rossiter D.G., and Hengl T. 2001. Technical note: creating geometrically-correct photo-interpretation, photo-mosaics, and base maps for a project GIS. <http://www.itc.nl/~rossiter>.
- 20- Saldana A. and Ibanez J.J. 2004. Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terrain of the Henares River (central Spain). *Geoderma* 62: 123–138.
- 21- Sarma V.A.K. 2006. *Mapping of the Soil*. Science Publishers, NH, USA, 411 pp.
- 22- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. and Broderick W.D. (Eds.). 2002. *Field Book for Describing and Sampling Soils* (2nd ed.). Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 228 pp.
- 23- Soil Survey Staff. 2006. *Keys to Soil Taxonomy* (10th ed.). NRCS, USDA, 333 pp.
- 24- Sokal R.R. and Sneath P.H.A. 1963. *Principals of Numerical Taxonomy*. Freeman and Company, San Francisco, 359 pp.
- 25- Taylor L.R. 1978. Bates, Williams, Hutchinson – a variety of diversities. In: I.A. Mound, N. Warloff (Eds.), *Diversity of insect Faunas. Ninth Symposium of the Royal Entomological Society*. Blackwell, Oxford, pp. 1–18.
- 26- Toomanian N., Jalalian A., Khademi H., Eghbal M.K., and Papritz A. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*, 81: 376–393.
- 27- Udomsri S. 2006. Application of computer assisted geopedology to predictive soil mapping and its use in assessing soil erosion prone areas: a case study of Doi Ang Khang, Ang Khang Royal Agricultural Station, Thailand. MSc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.

- 28- Wolda H. 1981. Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, 50: 296–302.
- 29- Yang A.C.C., Goldberger A.L. and Peng C.K. 2005. Genomic classification using an information-based similarity index: application to the SARS corona virus. *Journal of Computational Biology*, 12: 1103–1116.
- 30- Zinck J.A. 1989. *Physiography and soils. Lecture-notes for soil students. Soil Science Division. Soil survey courses subject matter: K6 ITC, Enschede, The Netherlands.*



Assessing Geopedological Soil Mapping Using Diversity and Similarity Indices (A Case Study: Borujen Area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province)

E. Esfandiarpour Borujeni^{1*} - N. Toomanian² - M.H. Salehi³ - J. Mohammadi⁴

Abstract

Geopedology is a systematic approach of geomorphic analysis for soil mapping which focuses the field operation mainly on sample area. The purpose of this study is to determine the credibility of generalization of the results of geopedological approach for similar landforms in the Borujen region, using diversity and similarity indices in a soil taxonomic hierarchical structure. After a primary interpretation of the study area on air photos (1:20000 scale), the largest delineation of Pi111 geomorphic unit was selected and 19 pedons with an approximate 125 m interval were excavated, described and sampled. The credibility of generalizing the results of the geopedological approach for the studied unit was tested by comparison with 15 pedons in a similar unit outside the sample area, named the validation area. Results showed that as the category decreases from order to soil family, the Shannon's diversity index increases in both the sample and validation areas. A significant difference at 95% confidence level was observed for pedodiversity mean values of two areas at family level. Soil diversity also remains high through the soil taxonomic hierarchy when we change the understanding level and consider the horizon/genetic diversity in both the sample and validation areas. Jaccard index and proportional similarity also indicated that up to subgroup level, the geopedological approach can be used for generalization of the similar geomorphic unit results and it does not have a good efficiency for lower soil taxonomic levels (family and series). Therefore, the use of landform phases and also phases of soil families and/or series for each of landform phases is recommended to increase the accuracy of geopedological results.

Key words: Geopedology, Pedodiversity, Similarity index, Sample area, Validation area

1 - Assis. Prof. of Soil Sci., College of Agric., Vali-e-Asr Univ., Rafsanjan
(* - Corresponding author Email: iesfandiarpour@yahoo.com)

2 - Assis. Prof of Agric. and Nat. Resour. Res. Center, Isfahan

3,4 - Assis. Prof. and Assoc. prof. of Soil Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord