

تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یک نقشه خاک با استفاده از شاخص‌های مجاورت تاکسونومیکی و تفرق خاک

*عیسی اسفندیارپور بروجنی^۱ و محسن باقری بداغ‌آبادی^۲

^۱دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان،

^۲استادیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: مطالعات شناسایی، نقشه‌برداری و ارزیابی خاک، همواره از کشمکش بین خاک‌ها یا ویژگی‌هایی از آن‌ها که به‌طور ممتد در طول سیمای اراضی تغییرپذیر می‌باشند و ضرورت استفاده از یک سامانه طبقه‌بندی خاک (به‌منظور تعریف یک‌سری واحدهای گسسته) برخوردار بوده‌اند. به دیگر سخن، تفکیک طبقات خاک به‌طور معمول در برگیرنده توجه به یک‌سری مقادیر حد آستانه قراردادی برای ویژگی‌های خاک است. در این راستا، عدم قطعیت، یک بخش جدایی‌ناپذیر و چسبیده به پدیده‌ها، داده‌ها و اطلاعات مکانی خواهد بود. بنابراین، هر پروژه نقشه‌برداری خاک، دارای برخی از نقیصه‌ها و عدم قطعیت‌ها است که در ارتباط با اندازه‌گیری‌های ناکامل و ناقص صحرایی و محدودیت‌های نمایش کارتوگرافیکی خاک‌ها می‌باشند. این مقاله بر مبنای مفاهیم مجاورت تاکسونومیکی و تفرق خاک، تغییرپذیری بالقوه و عدم قطعیت مرتبط با مرزهای اختیاری یا حدود آستانه تعریف‌شده برای معیارهای طبقه‌بندی خاک را در دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی، مورد مقایسه قرار داده است.

مواد و روش‌ها: پس از تهیه نقشه تفسیری اولیه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) بخشی از اراضی لاله‌زار استان کرمان بر مبنای روش ژئوپدولوژی، حدود مرز واحدهای تفکیک‌شده در این نقشه، متناسب با مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک در صحرا کنترل و تصحیح شدند. سپس، به حفر خاک‌رخ در هر کدام از ژئوفرم‌ها اقدام گردید و در نهایت ۲۰ خاک‌رخ در منطقه تشریح و نمونه‌برداری شدند. پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم بر روی نمونه‌ها، طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰) و طبقه‌بندی جهانی (۲۰۰۷) نهایی شد. در ادامه، با به‌کارگیری تئوری نمودار جبری، ماتریس مجاورت تاکسونومیکی خاک‌های مطالعاتی بر مبنای طبقات جداسازی شده در دو سامانه طبقه‌بندی مزبور تهیه شد. سپس، از بزرگ‌ترین مقدار ویژه این ماتریس (شعاع طیفی) برای محاسبه شاخص مجاورت تاکسونومیکی نقشه خاک منطقه استفاده شد. به‌علاوه، تفرق خاک‌های منطقه با استفاده از شاخص تفرق شانن محاسبه شد و با شاخص مجاورت تاکسونومیکی مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که خاک‌های منطقه بر مبنای سامانه رده‌بندی آمریکایی در سه رده انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول قرار گرفته‌اند؛ حال آن‌که بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی، گروه‌های مرجع رگوسول، کمبی‌سول، کلسی‌سول و لووی‌سول، خاک‌های غالب منطقه را شامل می‌شوند. همچنین، عدم قطعیت بیشتری در گروه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی بر اساس معیارهای سامانه رده‌بندی آمریکایی نسبت به سامانه طبقه‌بندی جهانی وجود

* مسئول مکاتبه: esfandiarpoor@vru.ac.ir

داشت. با توجه به تفاوت در واحدهای ژئومورفیک، سامانه طبقه‌بندی جهانی، کم بودن مجاورت تاکسونومیکی در خاک‌های منطقه را بهتر نشان داد.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج حاصل از شاخص مجاورت تاکسونومیکی با نتایج به دست آمده از شاخص تفرق شانن نیز نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی در تفکیک واحدهای خاک و نمایش تفرق خاک‌ها بهتر از سامانه رده‌بندی آمریکایی عمل نموده است. به‌طورکلی، در منطقه مورد مطالعه، ارتباط مجاورت تاکسونومیکی و سیمای اراضی، به خوبی قابل مشاهده بود.

واژه‌های کلیدی: تفرق خاک، طبقه‌بندی خاک، عدم قطعیت، ماتریس مجاور

مقدمه

مطالعات شناسایی، نقشه‌برداری و ارزیابی خاک، همواره از کشمکش بین خاک‌ها یا ویژگی‌هایی از آن‌ها که به‌طور ممتد در طول سیمای اراضی^۱ تغییرپذیر می‌باشند و ضرورت استفاده از یک سامانه طبقه‌بندی خاک (به‌منظور تعریف یک‌سری واحدهای گسسته) برخوردار بوده‌اند. به بیان دیگر، تفکیک طبقات خاک به‌طور معمول در برگیرنده توجه به یک‌سری مقادیر حد آستانه برای ویژگی‌های مورد نظر (مانند عمق تا سنگ بستر، ضخامت افق سطحی، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار رس و یا واکنش خاک) می‌باشد. در این صورت، ممکن است دو خاک که تنها از لحاظ چند سانتی‌متر عمق با هم تفاوت دارند یا تنها در یکی دو درصد رس با یکدیگر اختلاف دارند، در دو طبقه مختلف قرار گیرند. در مقایسه با دامنه تغییرات تعریف‌شده برای ویژگی‌هایی که به‌منظور تفکیک طبقات مختلف خاک در یک سامانه طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، این پرسش مطرح است که تا چه میزان، تغییرات موجود در یک نوع خاک، می‌تواند بیانگر تغییرات موضعی عوامل خاک‌سازی^۲ یا شرایط خاص محلی آن خاک باشد؟

بر خلاف محدودیت‌های ذاتی طبقه‌بندی‌های گسسته، طبقات تاکسونومیکی خاک اغلب نشان‌دهنده

مقدار زیادی از اطلاعات کیفی محلی یا منطقه‌ای مهم می‌باشند. به‌عنوان مثال، سری خاک^۳ در سامانه رده‌بندی آمریکایی^۴ نه تنها بر اساس ترکیب ویژه‌ای از خصوصیات خاک، حالت منحصر به فرد دارد؛ بلکه اغلب نشانگر خصوصیات محیطی خاص محلی و منطقه‌ای یا تاریخچه سیمای اراضی می‌باشد (۱۸). در هر حال، هر پروژه نقشه‌برداری محیطی، خواه بر اساس مفاهیم گسسته و خواه پیوسته، دارای برخی از نقیصه‌ها و عدم قطعیت‌ها^۵ است که در ارتباط با اندازه‌گیری‌های ناکامل و ناقص صحرایی و محدودیت‌های نمایش کارتوگرافیکی خاک‌ها می‌باشند (۶). به دیگر سخن، در چارچوب علوم و فناوری‌های مکانی، عدم قطعیت، سنجشی از درجه و میزان تردید کاربران از سرشت واقعی دنیای پیرامونی را آرایه می‌کند. بدین ترتیب، عدم قطعیت، یک بخش جدایی‌ناپذیر و چسبیده‌شده به پدیده‌ها، داده‌ها و اطلاعات مکانی است. اکتشاف و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، بستگی به چگونگی مشاهده و اندازه‌گیری، پردازش و مدل‌سازی و نمایش واقعیت مکانی مورد نظر دارد (۱۱).

هر چند به‌منظور تعیین عدم قطعیت و میزان همپوشانی^۶ طبقات خاک و معیارهای طبقه‌بندی خاک بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی^۷، جبر بولی^۸ و

3- Soil series
4- Soil Taxonomy (ST)
5- Uncertainties
6- Overlap
7- Fuzzy sets theory
8- Boolean algebra

1- Landscape
2- Soil forming factors

خاک، ۲) مقایسه عدم قطعیت معیارهای طبقه‌بندی مورد استفاده در دو سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی و جهانی برای تفکیک واحدهای نقشه خاک مزبور، می‌باشند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی: قسمتی از اراضی لاله‌زار استان کرمان واقع در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی با مساحتی حدود ۱۰۰۰ هکتار برای این پژوهش انتخاب شد (شکل ۱). طبق آمار ۲۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۲) ایستگاه هواشناسی لاله‌زار، منطقه دارای میانگین دما و بارش سالیانه به ترتیب ۹/۹ درجه سلسیوس و ۲۳۰/۱ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی (۱۹)، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های لاله‌زار، به ترتیب، زریک^۶ و مزیک^۷ هستند. درختان سرو کوهی (أرس)، بادام جنگلی، ارژن و زرشک وحشی، پوشش گیاهی طبیعی این منطقه را تشکیل می‌دهند. عمده تشکیلات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، مربوط به میوسن میانی است که از ماسه‌سنگ، سیلت‌استون، کنگلومرا، سنگ آهک، ریولیت و جریان‌های آندزیتی تشکیل شده‌اند (۱).

تهیه نقشه خاک منطقه مطالعاتی: پس از تدارک لوازم و اطلاعات مورد نیاز شامل عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، بر مبنای روش ژئوپدولوژی^۸ (۲۲)، نقشه تفسیری

روش بیز^۱ از تکنیک‌های مختلفی در مباحث پدومتری و نقشه‌برداری رقومی خاک^۲ استفاده شده است (مانند ۲ و ۲۱)؛ ولی در این مقاله از یک روش متفاوت بر مبنای محاسبه عدم قطعیت معیارهای تاکسونومیکی مورد استفاده در سامانه‌های رده‌بندی خاک آمریکایی و جهانی^۳ برای تفکیک واحدهای نقشه استفاده گردیده است. به عبارت دیگر، این مقاله بر مبنای مفهوم مجاورت تاکسونومیکی^۴ و تفرق خاک^۵، تغییرپذیری بالقوه و عدم قطعیت مرتبط با مرزهای اختیاری طبقه‌بندی یا حدود آستانه تعریف‌شده برای معیارهای رده‌بندی خاک‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد.

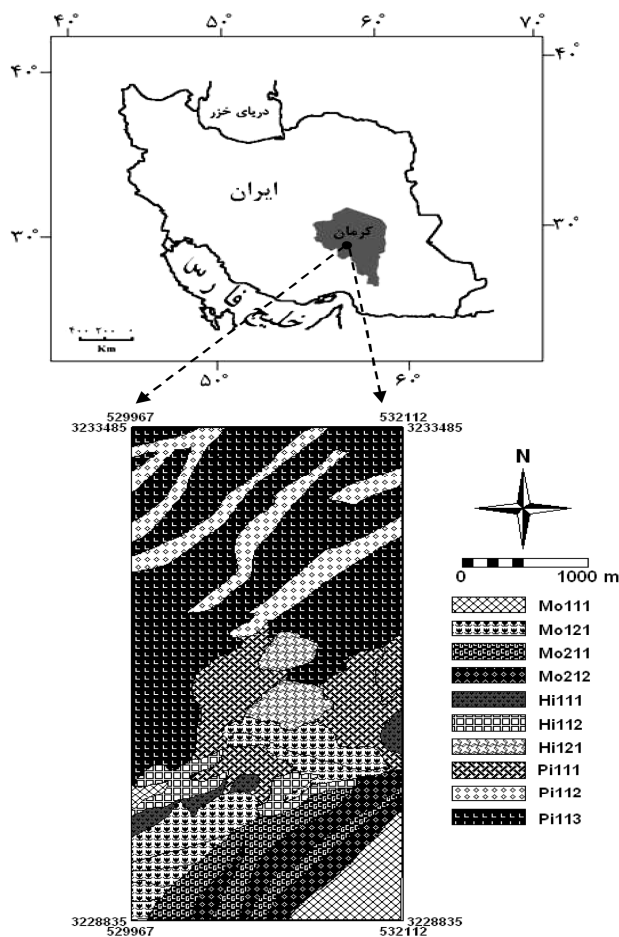
اگر خاک‌ها تنها در یک معیار مشخصه با یکدیگر تفاوت داشته باشند از مجاورت تاکسونومیکی برخوردار خواهند بود. به دیگر سخن، در صورتی که معیارهای تفاوت بین دو خاک، بیش از یک ویژگی باشند؛ این دو خاک از نظر تاکسونومیکی، مجاور محسوب نمی‌شوند (۱۲). همچنین، مجاورت تاکسونومیکی می‌تواند در ارتباط با وجود یا عدم وجود یک ویژگی مشخصه، مد نظر قرار گیرد (مانند مقادیر مربوط به تجمع رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل که در رابطه با تعریف افق‌های مشخصه، مورد استفاده قرار می‌گیرند). مجاورت تاکسونومیکی خاک‌ها می‌تواند در سطوح مختلف رده‌بندی متفاوت باشد. به عنوان مثال، ممکن است دو خاکی که در سطح سری، مجاور تاکسونومیکی محسوب می‌شوند در یک فامیل قرار گرفته باشند. بر همین اساس، اهداف اصلی پژوهش حاضر شامل (۱) کمی‌سازی عدم قطعیت موجود در یک نقشه خاک تفصیلی بر اساس شاخص‌های مجاورت تاکسونومیکی و تفرق

- 1- Bayesian method
- 2- Digital soil mapping
- 3- World Reference Base (WRB)
- 4- Taxonomic adjacency
- 5- Pedodiversity

- 6- Xeric
- 7- Mesic
- 8- Geopedology approach

منطقه مورد مطالعه ایجاد شد (شکل ۱ و جدول ۱). پس از کنترل و تصحیح صحرایی حدود مرز واحدهای تفکیک شده در نقشه ژئو فرم، متناسب با مطالعات نیمه تفصیلی خاک (۱۴)، به حفر خاک رخ در هر کدام از ژئو فرمها اقدام گردید و در نهایت ۲۰ خاک رخ در منطقه تشریح و نمونه برداری شدند. پس از انجام آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی لازم بر روی نمونهها، طبقه بندی خاکها بر اساس دو سامانه رده بندی آمریکایی (۱۹) و طبقه بندی جهانی (۹) نهایی شد.

اولیه منطقه مطالعاتی از طریق تفسیر استریوسکوپی عکسهای هوایی تهیه شد. سپس، عکسهای تفسیر شده، اسکن و وارد محیط نرم افزار ایلوپس^۱ شدند. در مراحل بعد، عکسهای وارد شده به این محیط، با استفاده از نقاط مرجع برداشت شده در صحرا و همچنین با کمک گرفتن از تصاویر ماهواره ای اخذ شده از بخش زمین شناسی آمریکا و به روش "اورتو- فتو- ژئورفرنس"^۲ (۱۵) زمین مرجع شدند. با رقومی کردن مرزهای ترسیم شده بر روی عکسها، نقشه اولیه اشکال اراضی (نقشه ژئو فرم)



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی به همراه نقشه ژئو فرم آن.

Figure 1. Location of the study area along with its geoform map.

- 1- ILWIS
- 2- Ortho-Photo-Georeferencing

جدول ۱- توصیف ژئوformهای منطقه مطالعاتی، همراه با مساحت هر کدام از آنها.

Table 1. Geofoms description of the study area, with an area of each of them.

ژئوform	توصیف	مساحت
Geoform	Description	Area (ha)
Mo111	کوه‌های آندزیتی با ارتفاع و رخنمون سنگی زیاد در جهت شیب شرقی	49.2
	Andesitic mountains with high altitude and rock outcrop on the eastern slope	
Mo121	کوه‌های سنگ آهکی با ارتفاع و رخنمون سنگی زیاد در جهت شیب شرقی	98.2
	Lime stone mountains with high altitude and rock outcrop on the eastern slope	
Mo211	کوه‌های آندزیتی با ارتفاع و رخنمون سنگی کم در جهت شیب شرقی	68.7
	Andesitic mountains with low altitude and rock outcrop on the eastern slope	
Mo212	کوه‌های آندزیتی با ارتفاع و رخنمون سنگی کم در جهت شیب غربی	68.9
	Andesitic mountains with low altitude and rock outcrop on the western slope	
Hi111	ترکیبی از شانه و شیب برگشتی تپه‌های ریولیتی و سنگ آهکی	20.8
	Shoulder and back slope combination of riolithic and lime stone hills	
Hi112	پای شیب تپه‌های ریولیتی و سنگ آهکی	35.0
	Foot slope of riolithic and lime stone hills	
Hi121	کمپلکس اجزای مختلف شیب تپه‌های ماسه سنگی	34.1
	Slope facet complex of sandstone hill-lands	
Pi111	پشته کشت شده گلاسی های * آهکی مخروط افکنه‌ها و تراس های آبرفتی جوان	113.8
	Cultivated tread of carbonatic glacis of alluvial fans and young alluvial terraces	
Pi112	شیب‌های کنار آبراه‌های مخروط افکنه‌ها و تراس های آبرفتی جوان	116.5
	Waterway slopes of alluvial fans and young alluvial terraces	
Pi113	ترکیبی از پشته گلاسی های آهکی و شیب‌های کنار آبراه‌های مخروط افکنه‌ها و تراس های آبرفتی جوان	392.7
	A combination of carbonatic glacis' tread and waterway slopes of alluvial fans and young alluvial terraces	

* سطوح بریده بریده حاصل از ارتفاعات بالا را گلاسی گویند.

* Dissected levels of high altitudes is called glacis.

نقشه، نقش گره‌ها یا رئوس نمودار را بازی می‌کنند. در چنین حالتی، مجاورت تاکسونومیکی، نشانگر یال‌های نمودار مزبور خواهد بود. در نتیجه، ماتریس مجاورت^۵ برای یک نمودار دارای n رأس، به صورت یک ماتریس $n \times n$ خواهد بود که درایه‌های^۶ آن را اعداد صفر (عدم وجود مجاورت تاکسونومیکی برای دو خاک) و یک (وجود مجاورت تاکسونومیکی برای دو خاک) تشکیل خواهند داد. به دیگر سخن، اگر i اُمین رأس (خاک) با j اُمین رأس از طریق یک یال به

مجاورت تاکسونومیکی: هر نمودار ریاضی، شامل مجموعه‌ای از نقاط (که رأس^۱ یا گره^۲ نامیده می‌شوند) و خطوط (که یال^۳ نامیده می‌شوند) است که در آن، یال‌ها ارتباط‌دهنده برخی از رئوس به همدیگر می‌باشند. دو رأسی که توسط یک یال به هم متصل می‌شوند، رئوس مجاور^۴ نامیده می‌شوند. بر این اساس، انواع خاک‌های موجود در یک منطقه، شبیه یک نمودار ریاضی می‌باشند که در آن، واحدهای

- 1- Vertex
- 2- Node
- 3- Edge
- 4- Adjacent vertices

5- Adjacency matrix

6- Elements

نقشه برخوردار باشد. در چنین شرایطی، خواهیم داشت:

$$\lambda_{\max} = N - 1 \quad (2)$$

به طور کلی، برای هر نقشه خاکی که حداقل یک جفت خاک دارای مجاورت تاکسونومیکی داشته باشد، مقدار λ بین ۱ و $N-1$ تغییرپذیر خواهد بود ($1 \leq \lambda \leq N-1$). در نتیجه، شاخص مجاورت تاکسونومیکی (TAI) برای یک نقشه خاک از رابطه زیر به دست می آید (۱۲):

$$TAI = \frac{\lambda}{N-1} \quad (3)$$

که در آن، مقدار TAI بین صفر و یک متغیر است. در عمل، دسترسی به مرز بالایی هر خاک دارای مجاورت تاکسونومیکی با یک خاک دیگر، بسیار غیرمحمول است. در نتیجه، مقادیر TAI به طور نرمال، کم تر از یک خواهند بود. یک گزینه مناسب در چنین وضعیتی، استفاده از نمودار چرخه‌ای^۴ است. در این نمودار، هر رأس دقیقاً با دو رأس دیگر پیوند برقرار می کند و مقدار λ ای آن مساوی ۲ خواهد بود. بنابراین، یکی دیگر از شاخص‌های مجاورت تاکسونومیکی به صورت $\lambda/2$ خواهد بود که حداکثر مقدار آن برابر $(N-1)/2$ می باشد. از طرفی، در یک سامانه طبقه بندی عددی پیوسته که یک ویژگی کمی را به طبقه‌های مجزا تفکیک می کند، می توان از نمودار خطی ترتیبی^۵ بهره گرفت. شعاع طیفی چنین نموداری بین یک تا دو ($1 < \lambda < 2$) تغییرپذیر می باشد.

لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر، بزرگترین مقدار ویژه (شعاع طیفی) ماتریس‌های مجاورت با استفاده از نرم افزار بلوبیت^۶ محاسبه شد.

همدیگر متصل شده باشند، آن گاه مقدار عددی درایه مورد نظر برابر با یک خواهد بود. در صورتی که بین رأس‌های (خاک‌های) مزبور، یالی موجود نباشد، مقدار صفر را در ماتریس مجاورت برای آن درایه در نظر می گیرند. تقابل هر رأس (هر خاک) با خودش به عنوان مجاورت تاکسونومیکی محسوب نمی شود؛ بنابراین درایه‌های موجود بر روی قطر این ماتریس، همواره دارای مقدار صفر خواهند بود.

بزرگترین مقدار ویژه^۱ (λ) ماتریس مجاورت، شعاع طیفی^۲ نمودار نامیده می شود. شعاع طیفی، تعیین کننده بسیاری از ویژگی‌های مهم نمودار (مانند میزان پیچیدگی ساختار نمودار، تعداد یا شدت چرخه‌های نمودار و چگونگی ارتباط آن‌ها) می باشد (۳ و ۲۰). زمانی که تمام درایه‌های موجود در ماتریس مجاورت برابر صفر باشند، مقدار λ نیز مساوی صفر خواهد بود. در چنین شرایطی، عدم قطعیت‌های احتمالی موجود در یک نقشه خاک، ارتباطی با حدود آستانه تعریف شده برای طبقه بندی ویژگی‌های ممتد خاک در سامانه مورد نظر نخواهند داشت (۱۲). در صورت وجود تنها یک جفت خاک دارای مجاورت تاکسونومیکی، مقدار λ برابر یک خواهد بود. در هر حال، مرز بالایی شعاع طیفی هر نمودار (λ_{upper}) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\lambda_{upper} = \left[\frac{2m(N-1)}{N} \right]^{0.5} \quad (1)$$

که در آن، m بیانگر تعداد یال‌ها و N تعداد رئوس (تعداد واحدهای نقشه) می باشد.

حداکثر λ (λ_{\max}) زمانی اتفاق می افتد که هر نوع خاک موجود در یک نقشه خاک، از مجاورت تاکسونومیکی با دیگر انواع خاک‌های موجود در این

3- Taxonomic Adjacency Index

4- Cyclical graph

5- Linear sequential graph

6- Bluebit (<http://www.bluebit.gr/matrix-calculator/>)

1- Eigen value

2- Spectral radius

استفاده می‌شود که n_i بیانگر تعداد اجزای متعلق به i امین واحد می‌باشد و N عبارت از تعداد کل اجزای جمع‌آوری شده است.

حداکثر مقدار تفرق (H'_{max}) برای شرایط به‌خصوصی از غنی‌شدگی، در وضعیتی اتفاق می‌افتد که تمام اجزاء (طبقات مختلف)، دارای احتمال‌های برابر باشند (۸). به عبارت دیگر، از نظر ریاضی، زمانی این اتفاق رخ می‌دهد که شرط زیر برقرار باشد:

$$H' = H'_{max} = \ln S \quad (5)$$

تحت چنین شرایطی، نسبت تفرق مشاهده‌شده به حداکثر تفرق ممکن، به‌عنوان معیاری از همواری مد نظر قرار می‌گیرد (۱۶) که معادله ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$E = H' / H'_{max} = H' / \ln S \quad (6)$$

شاخص همواری می‌تواند دارای هر مقداری بین صفر و یک باشد. عدد یک، بیانگر وضعیتی است که در آن تمام گونه‌ها یا کلاس‌های خاک، دارای احتمال‌های برابر هستند (به‌عنوان مثال، زمانی که تمام کلاس‌های خاک، یک سطح یکسان را اشغال کنند). عدد صفر، بیانگر وضعیتی است که در آن، توزیع شدیداً غیریکنواختی از فراوانی نسبی کلاس‌های خاک قابل رؤیت باشد. به عبارت دیگر، زمانی که یک کلاس خاک نسبت به کل کلاس‌ها غالب باشد (۷).

نتایج و بحث

شکل ۲ نقشه خاک منطقه مطالعاتی را بر اساس دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۹) و طبقه‌بندی جهانی (۹) نشان می‌دهد. خاک‌های نقشه‌برداری شده به‌همراه انواع خاک‌های دارای مجاورت تاکسونومیکی نیز در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که خاک‌های منطقه بر مبنای سامانه رده‌بندی

تفرق خاک: از آنجا که هر کدام از روش‌های نقشه‌برداری، متکی به نگرش خود نسبت به شباهت بین خاک‌ها است (۱۷)؛ توجه به مسایلی هم‌چون تفرق خاک‌ها و جنبه‌های مختلف آن‌ها می‌تواند به‌منظور انجام قضاوت‌های کیفی و کمی در رابطه با میزان اعتبار و کیفیت یک نقشه خاک، مفید واقع شود (۴). به‌طورکلی، تفرق خاک را می‌توان به‌عنوان معیاری از تغییرپذیری خاک و یا تابعی از فاکتورهای خاک‌سازی تعریف نمود (۱۰). در این پژوهش، تجزیه و تحلیل تفرق تاکسونومیکی خاک‌ها از طریق محاسبه شاخص‌های غنی‌شدگی^۱ (S)، شانن^۲ (H') و همواری^۳ (E) برای خاک‌های طبقه‌بندی‌شده در دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۹) و طبقه‌بندی جهانی (۹) صورت پذیرفت.

شاخص غنی‌شدگی (S)، در ارتباط با تعداد پدیده‌های موجود در یک منطقه مطالعاتی (مانند تعداد کلاس‌های خاک) می‌باشد که در این پژوهش، برای سامانه رده‌بندی آمریکایی در سطح فامیل و برای سامانه طبقه‌بندی جهانی در سطح دوم (استفاده از پیشوند و پسوند) محاسبه شد.

شاخص شانن، یکی از پرکاربردترین شاخص‌های تنوع در مباحث اکولوژیکی می‌باشد که به‌عنوان معیاری از غیریکنواختی ساختار یک جامعه محسوب می‌شود (۱۶). بیان ریاضی شاخص شانن به صورت زیر است:

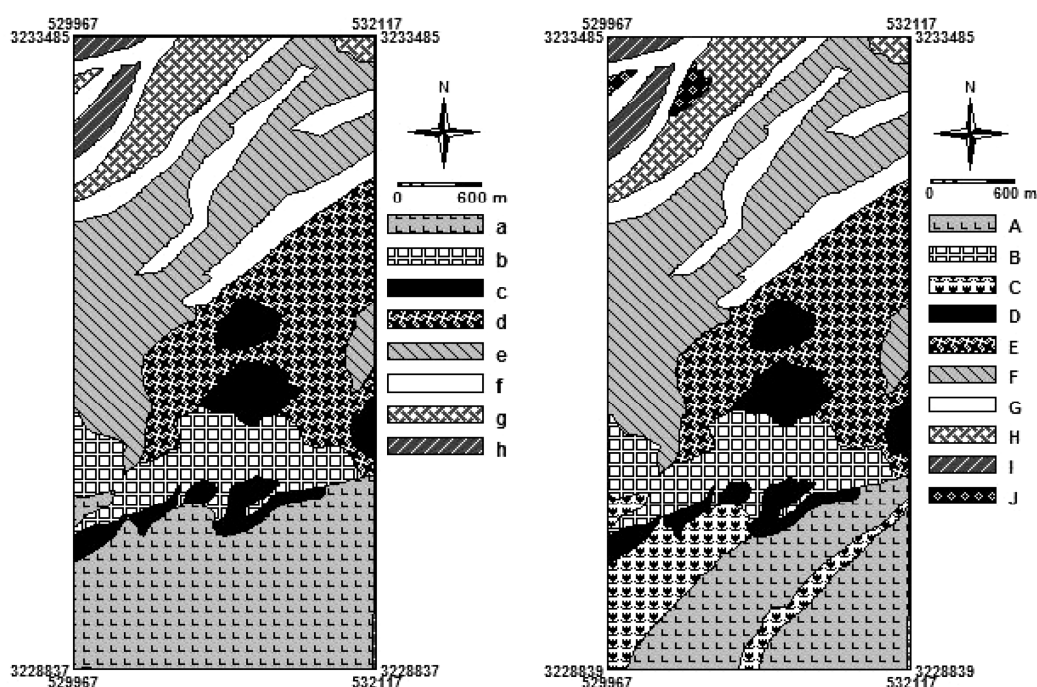
$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (4)$$

که در آن، p_i نشانگر نسبت اجزای موجود در واحد i ام است. در حقیقت، مقدار واقعی p_i نامعلوم می‌باشد و در نتیجه، به‌جای آن از نسبت n_i/N

- 1- Richness
- 2- Shannon
- 3- Evenness

طبقه‌بندی نموده است؛ در صورتی که در پایین‌ترین سطح سامانه طبقه‌بندی جهانی، خاک‌های منطقه در ۸ گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۲ و جدول‌های ۲ و ۳). به‌علاوه، در صورت استفاده از سطح سری خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی، می‌توان تفکیک‌های بیش‌تر خاک‌ها را انتظار داشت.

آمریکایی در سه رده انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول قرار گرفته‌اند. حال آن‌که بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی، گروه‌های مرجع رگوسول، کمبی‌سول، کلسی‌سول و لووی‌سول، خاک‌های غالب منطقه را شامل می‌شوند. در مقابل، سامانه رده‌بندی آمریکایی، خاک‌های منطقه مطالعاتی را در ۱۰ فامیل مختلف



شکل ۲- نقشه‌های خاک منطقه مطالعاتی بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (سمت راست) و سامانه طبقه‌بندی جهانی (سمت چپ).

Figure 2. Soil maps of the study area based on the Soil Taxonomy (right) and WRB (left) systems.

دیگر، مشاهده می‌شود که در سامانه رده‌بندی آمریکایی برای برخی دیگر از خاک‌ها ارتباط‌های زیادی موجود است. به دیگر سخن، خاک‌های A، B و C دارای مجاورت تاکسونومیکی به صورت یک نمودار چرخه‌ای هستند. وجود حداکثر مقدار ویژه (λ) برابر ۲ بر مبنای سامانه رده‌بندی آمریکایی خاک (جدول ۴)، تأییدی بر حضور چنین نمودار چرخه‌ای می‌باشد (۱۲). در مقابل، چنین مجاورت شدیدی در نمودار مجاورت تاکسونومیکی ترسیم‌شده بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی (قسمت "ب" شکل ۳) دیده نمی‌شود. در

شکل ۳ نمودارهای مجاورت تاکسونومیکی خاک‌های مطالعاتی را بر اساس دو سامانه مذکور نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در هر دو سامانه طبقه‌بندی مورد استفاده، برای برخی خاک‌ها هیچ‌گونه مجاورت تاکسونومیکی وجود ندارد. به عبارت دیگر، فامیل‌های خاک E و H (بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی) با هیچ خاکی مجاورت تاکسونومیکی ندارند یا فاصله تاکسونومیکی زیادی با دیگر خاک‌ها دارند؛ اما در سامانه طبقه‌بندی جهانی، تنها یک خاک (خاک C) از چنین شرایطی برخوردار است. از سوی

"ب" شکل ۳) وجود ندارد؛ چرا که سامانه طبقه‌بندی جهانی، ویژگی‌های ذاتی این خاک‌ها را در سطوح بالاتر در نظر گرفته است و بنابراین با قطعیت بیش‌تری خاک‌ها را گروه‌بندی نموده است. به همین دلیل، هر چند سامانه رده‌بندی آمریکایی تعداد خاک بیش‌تری را در سطح فامیل گروه‌بندی کرده است اما در سطح رده، تعداد خاک‌ها کم‌تر است (جدول ۲). نتایج حاصل از مطالعات فیلیپس و ماریون (۲۰۰۷) نیز نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی و طبقه‌بندی ژئومورفیک (که خاک‌ها را بر اساس برخی ویژگی‌های ژئومورفیک و پدوژنیک طبقه‌بندی می‌کند) نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی که به ویژگی‌های اقلیمی اهمیت زیادی می‌دهد نتایج با عدم قطعیت کم‌تری را به‌دست می‌دهد (۱۳).

واقع، وجود شعاع طیفی (λ) برابر ۱/۴۱۴ بر مبنای سامانه اخیر (جدول ۴)، نشانگر حضور یک نمودار خطی ترتیبی در رابطه با مجاورت تاکسونومیکی محاسبه‌شده برای این سامانه است. نکته قابل‌توجه دیگر در نمودارهای مجاورت تاکسونومیکی ترسیم‌شده برای هر دو سامانه مزبور (شکل ۳)، آن است که سطر اول این نمودارها، خاک‌های جوان و تکامل‌نیافته را شامل می‌شود؛ در حالی‌که سطر دوم، خاک‌های با تکامل بیش‌تر هستند که عمدتاً متأثر از رس و آهک می‌باشند. در نمودار سامانه رده‌بندی آمریکایی، یک تداخل بین خاک‌های جوان و نسبتاً تکامل‌دیده می‌شود (خاک‌های D و G) که به‌دلیل افق کلسیک است. چنین تداخلی در نمودار مربوط به سامانه طبقه‌بندی جهانی (قسمت

جدول ۲- طبقه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰).

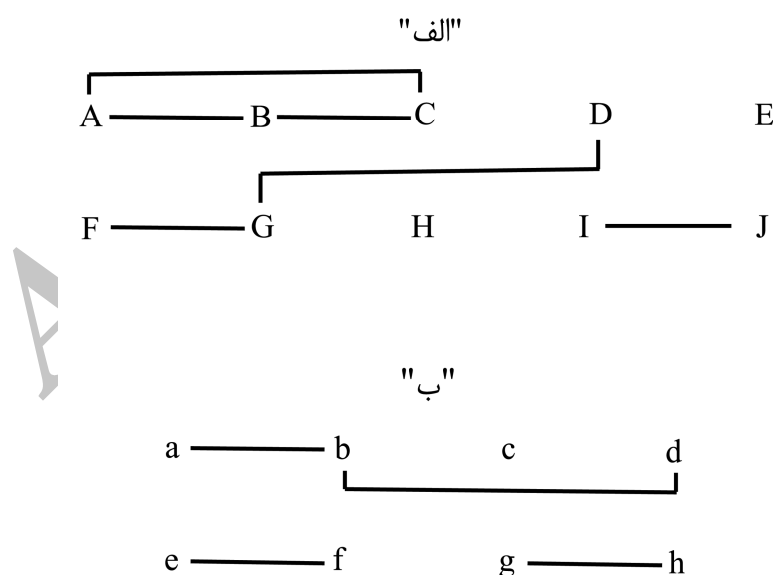
Table 2. Soils classification of the study area based on the Soil Taxonomy system (2010).

فامیل‌های دارای مجاورت تاکسونومیکی و معیار تفکیکی آن‌ها Soil families have taxonomic adjacency and their differentiate criterion	فامیل خاک Soil family	علامت خاک Soil symbol
B و C: کلاس اندازه ذرات B and C: Particle size class	Loamy-Skeletal, mixed, superactive, calcareous, mesic Lithic Xerorthents	A
A و C: کلاس اندازه ذرات A and C: Particle size class	Fine-Loamy, mixed, superactive, calcareous, mesic Lithic Xerorthents	B
A و B: کلاس اندازه ذرات A and B: Particle size class	Coarse-Loamy, mixed, superactive, calcareous, mesic Lithic Xerorthents	C
G: افق کلسیک G: Calcic horizon	Loamy-Skeletal, mixed, superactive, mesic Typic Haploxerepts	D
فاقد مجاورت تاکسونومیکی Without taxonomic adjacency	Fine-Loamy, mixed, superactive, mesic Calcic Haploxerepts	E
G: کلاس اندازه ذرات G: Particle size class	Coarse-Loamy, mixed, superactive, mesic Typic Calcixerepts	F
F: کلاس اندازه ذرات؛ D: افق کلسیک F: Particle size class, D: Calcic horizon	Loamy-Skeletal, mixed, superactive, mesic Typic Calcixerepts	G
فاقد مجاورت تاکسونومیکی Without taxonomic adjacency	Fine, carbonatic, mesic Calcic Haploxeralfs	H
J: افق کلسیک J: Calcic horizon	Fine-Loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxeralfs	I
I: افق کلسیک I: Calcic horizon	Fine-Loamy, mixed, superactive, mesic Calcic Haploxeralfs	J

جدول ۳- طبقه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی (۲۰۰۷).

Table 3. Soils classification of the study area based on the WRB system (2007).

علامت خاک	نوع خاک	خاک‌های دارای مجاورت تاکسونومیکی و معیار تفکیکی آنها
Soil symbol	Soil type	Soils have taxonomic adjacency and their differentiate criterion
a	Leptic Regosols (Eutric, Skeletic)	b: درصد ذرات درشت b: Coarse fragments percentage
b	Leptic Regosols (Eutric)	a: درصد ذرات درشت؛ d: افق کمبیک a: Coarse fragments percentage, d: Cambic horizon
c	Haplic Cambisols (Eutric, Skeletic)	فاقد مجاورت تاکسونومیکی Without taxonomic adjacency
d	Leptic Cambisols (Eutric)	b: افق کمبیک b: Cambic horizon
e	Hypocalcic Calcisols (Siltic)	f: سنگ سخت ممتد f: Continuous hard rock
f	Hypocalcic Leptic Calcisols (Siltic)	e: سنگ سخت ممتد e: Continuous hard rock
g	Calcic Leptic Luvisols (Hypereutric, Clayic)	h: سنگ سخت ممتد h: Continuous hard rock
h	Calcic Luvisols (Hypereutric, Clayic)	g: سنگ سخت ممتد g: Continuous hard rock



شکل ۳- نمودار مجاورت تاکسونومیکی در دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (الف) و طبقه‌بندی جهانی (ب) (حروف انگلیسی، نشانگر نوع خاک طبقه‌بندی شده بر اساس جدول‌های ۱ و ۲ می‌باشند).

Figure 3. Taxonomic adjacency chart in both Soil Taxonomy (a) and WRB (b) systems (English letters indicate the classified soil type according to Tables 1 and 2).

جدول ۴- تجزیه و تحلیل تفرق خاک‌های منطقه مطالعاتی در سامانه‌های طبقه‌بندی خاک آمریکایی و جهانی.

Table 4. Pedodiversity analysis of the studied soils in Soil Taxonomy and WRB systems.

$\lambda/2$	TAI	λ	E	H'max	H'	S	N	سامانه طبقه‌بندی Classification system
1	0.222	2	0.85	2.30	1.96	10	20	آمریکایی Soil Taxonomy
0.707	0.202	1.414	0.86	2.08	1.79	8	20	جهانی WRB

N: کل خاک‌رخ‌ها، S: غنای کلاس‌های خاک، H': شاخص تفرق شانن، H'max: تفرق حداکثر، E: همواری، λ : شعاع طیفی، TAI: شاخص مجاورت تاکسونومیک.

N: total soil profiles, S: richness of soil classes, H': Shannon index, H'max: maximum entropy, E: evenness, λ : spectral radius, TAI: taxonomic adjacency index.

ویژگی‌های پدوژنیک اهمیت بیش‌تری می‌دهد که بالطبع این ویژگی‌ها در واحدهای ژئومورفیک مختلف، تفاوت دارند و خاک‌های گوناگونی ایجاد می‌کنند اما در سامانه رده‌بندی آمریکایی به ویژگی‌های اقلیمی اهمیت زیادی می‌دهد (۱۳) و بالطبع در یک منطقه خاص که تغییرات رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های آن زیاد نیستند، خاک‌ها دارای مجاورت تاکسونومیک بیش‌تری خواهند بود. در هر حال، بالاتر بودن شاخص مجاورت تاکسونومیک در سامانه رده‌بندی آمریکایی، به‌طور ضمنی دلیل بر وجود عدم قطعیت بیش‌تر در گروه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی بر اساس معیارهای تاکسونومیک است. به دیگر سخن، به‌نظر می‌رسد که معیارهای مورد استفاده در سامانه طبقه‌بندی جهانی نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی، در تفکیک واحدهای خاک، موفقیت بیش‌تری داشته‌اند. اسفندیارپور و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی سامانه رده‌بندی آمریکایی و سامانه طبقه‌بندی جهانی در مناطق خشک دریافتند که سامانه طبقه‌بندی جهانی بهتر از سامانه رده‌بندی آمریکایی، فرایندهای خاک را نشان می‌دهد و خاک‌ها را مناسب‌تر گروه‌بندی می‌کند (۵).

با توجه به تدریجی بودن تغییرات خاک، انتظار می‌رود در خاک‌های یک منطقه همگن (یک واحد نقشه) مجاورت تاکسونومیک وجود داشته باشد. این بدان معنی است که انتظار می‌رود شاخص مجاورت تاکسونومیک (TAI) برای مناطق همگن‌تر بزرگ‌تر باشد. در منطقه مطالعاتی همان‌طور که شکل ۱ و جدول ۱ نشان می‌دهند واحدهای ژئومورفیک متفاوتی وجود دارند. بنابراین انتظار می‌رود که شاخص مجاورت تاکسونومیک کل منطقه، کوچک باشد. بر اساس اطلاعات جدول ۴ مشاهده می‌شود که در هر دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی، مقدار شاخص مجاورت تاکسونومیک (TAI) کم است؛ ولی مقدار شاخص مجاورت تاکسونومیک برای سامانه طبقه‌بندی جهانی (۰/۲۰۲)، کوچک‌تر از سامانه رده‌بندی آمریکایی (۰/۲۲۲) است. به عبارت دیگر، با توجه به تفاوت در واحدهای ژئومورفیک، سامانه طبقه‌بندی جهانی، کم‌بودن مجاورت تاکسونومیک در خاک‌های منطقه را بهتر نشان می‌دهد. در حالی که سامانه رده‌بندی آمریکایی، مجاورت تاکسونومیک بیش‌تری را ارایه داده است. این موضوع با ماهیت و اساس معیارهای طبقه‌بندی خاک‌ها در این دو سامانه هماهنگ است؛ چرا که سامانه طبقه‌بندی جهانی به

طبقه‌بندی جهانی نشان می‌دهد. همچنین، شاخص مجاورت تاکسونومیک بزرگ‌تر برای سامانه رده‌بندی آمریکایی با شاخص تفرق شانن و تفرق حداکثر بزرگتر و همواری کوچکتر نسبت به سامانه طبقه‌بندی جهانی هماهنگ می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعات فیلیپس (۲۰۱۳) نیز نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی در نمایش تفرق خاک‌ها بهتر از سامانه رده‌بندی آمریکایی عمل نموده است (۱۲).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، میزان کارایی دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۹) و طبقه‌بندی جهانی (۹) در تهیه یک نقشه خاک تفصیلی، بر مبنای مفاهیم مجاورت تاکسونومیک و تفرق خاک (به‌عنوان شاخص‌های تعیین عدم قطعیت)، مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که عدم قطعیت بیش‌تری در گروه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی بر اساس معیارهای سامانه رده‌بندی آمریکایی نسبت به سامانه طبقه‌بندی جهانی وجود دارد. مقایسه نتایج حاصل از شاخص مجاورت تاکسونومیک با نتایج به‌دست آمده از شاخص تفرق شانن نیز نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی در نمایش تفرق خاک‌ها بهتر از سامانه رده‌بندی آمریکایی عمل نموده است. به‌طورکلی، در منطقه مورد مطالعه، ارتباط مجاورت تاکسونومیک و سیمای اراضی، به خوبی قابل مشاهده بود.

از سوی دیگر، محاسبه مجاورت تاکسونومیک برای خاک‌های یک منطقه که بر اساس دو سامانه طبقه‌بندی مختلف (مانند سامانه رده‌بندی آمریکایی و جهانی) گروه‌بندی شده‌اند می‌تواند در رابطه با ارزیابی تفرق خاک‌های آن منطقه مفید واقع شود (۱۲). در واقع، معیارهای مبتنی بر محاسبه شعاع طیفی (۸)، در برگیرنده اطلاعات تکمیلی در مورد شاخص غنی‌شدگی (S) می‌باشند. غنای گونه‌ای مشاهده‌شده در هر منطقه با تغییراتی که بر مبنای تعریف حدود آستانه قراردادی موجود در هر سامانه طبقه‌بندی (که برای گروه‌بندی ویژگی‌های پیوسته خاک در نظر می‌گیرد)، مرتبط می‌باشد. اگر شعاع طیفی برابر صفر باشد، نشان‌دهنده آن است که تمامی خاک‌های شناسایی‌شده در یک منطقه، حداقل بر اساس قوانین مورد استفاده در سامانه طبقه‌بندی مورد نظر، به‌عنوان موجودیت‌های مستقل عمل می‌کنند. بر اساس نتایج جدول ۴، ملاحظه می‌شود که شاخص تفرق شانن محاسبه‌شده برای سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱/۹۶)، بزرگ‌تر از مقدار این شاخص در سامانه طبقه‌بندی جهانی (۱/۷۹) است. مقایسه تفرق حداکثر (H'_{max}) و همواری (E) نیز نتایج مشابهی را به‌دست می‌دهد. بنابراین در منطقه مورد مطالعه، شاخص مجاورت تاکسونومیک (TAI) با شاخص تفرق شانن، تفرق حداکثر (H'_{max}) و همواری (E) نتایج یکسانی را هم در سامانه رده‌بندی آمریکایی و هم در سامانه

منابع

1. Afsharianzadeh, A., Etemadi, N., and Ghomashi, A. 1992. Geological map of Iran, 100,000 series, Sheet 7335- Bardsir. Geological Survey of Iran.
2. Bogaert, P., and D'Or, D. 2002. Estimating soil properties from thematic soil maps: the Bayesian maximum entropy approach. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66: 1492-1500.
3. Duan, Z.S., Wang, W.X., Liu, C., and Chen, G.R. 2009. Are networks with more edges easier to synchronize or not? *Chinese Physics.* 18: 3122-3130.
4. Esfandiarpour Borujeni, I., Toomanian, N., Salehi, M.H., and Mohammadi, J. 2009. Assessing geopedological soil mapping using diversity and similarity indices (a case study: Borujen area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). *J. Water Soil.* 23: 4. 100-114.

5. Esfandiarpour, I., Salehi, M.H., Karimi, A.R., and Kamali, A. 2013. Correlation between Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources in Classifying Calcareous Soils: A Case Study of Arid and Semi-arid Regions. *Geoderma*. 197-198: 126-136.
6. Holmes, K.W., Odgers, N.P., Griffin, E.A., and van Gool, D. 2014. Spatial disaggregation of conventional soil mapping across Western Australia using DSMART. In: Arrouays, D., McKenzie, N., Hempel, J., de Forges, A.R., and McBratney, A.B. (Eds.), *Global Soil Map: Basis of the global spatial soil information system*. Taylor and Francis Group, London. 494p.
7. Ibanez, J.J., De Alba, S., Bermudes, F.F., and Garcia-Alvarez, A. 1995. Pedodiversity: concepts and measurements. *Catena*. 24: 215-232.
8. Ibanez, J.J., De Alba, S., Lobo, A., and Zucarello, V. 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with discussion). *Geoderma*. 83: 171-214.
9. IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports No. 103*. FAO, Rome.
10. McBratney, A.B., and Minasny, B. 2007. On measuring pedodiversity. *Geoderma*. 141: 149-154.
11. Mohammadi, J. 2007. Error and uncertainty analysis and management. Pelk Publication, Tehran, Iran. 356p.
12. Phillips, J.D. 2013. Evaluating taxonomic adjacency as a source of soil map uncertainty. *Europ. J. Soil Sci.* 64: 391-400.
13. Phillips, J.D., and Marion, D.A. 2007. Soil geomorphic classification, soil taxonomy, and effects on soil richness assessments. *Geoderma*. 141: 89-97.
14. Rossiter, D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories, Lecture notes, 2nd Revised Version. Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
15. Rossiter, D.G., and Hengl, T. 2001. Technical notes: creating geometrically correct photo-interpretation, photo-mosaics and base maps for a project GIS. <http://www.itc.nl/rossiter>.
16. 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.
17. Sarma, V.A.K. 2006. *Mapping of the Soil*. Science Publishers, NH, USA, 411p.
18. Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2nd ed., U.S. Department of Agriculture Handbook 436. Washington, D.C.: Natural Resources Conservation Service.
19. Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy* (11th ed.). NRCS, USDA, USA.
20. Yuan, W.J., Luo, X.S., Jiang, P.Q., Wang, B.H., and Fang, J.Q. 2008. Transition to chaos in small-world dynamical network. *Chaos, Solitons Fractals*. 37: 799-806.
21. Zhu, A.X., Qi, F., Moore, A., and Burt, J.E. 2010. Prediction of soil properties using fuzzy membership values. *Geoderma*. 158: 199-206.
22. Zinck, J.A. 2013. *Geopedology: elements of geomorphology for soil and geohazard studies*. ITC Special Lecture Notes Series. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands.



Analysis of uncertainty of a soil map using taxonomic adjacency and pedodiversity indices

***I. Esfandiarpour Borujeni¹ and M. Bagheri Bodaghabadi²**

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

²Assistant Prof., Dept. of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Received: 09/03/2014; Accepted: 02/09/2015

Abstract

Background and Objectives: Soil survey, mapping and evaluation studies has long been characterized by tension between the recognition that soils or soil properties vary continuously across the landscape and the necessity in soil classification of defining discrete entities. On the other hand, soil classes are usually separated by arbitrary threshold values for soil properties. In this regard, uncertainty will be an integral and attached part to phenomena, data and spatial information. Therefore, each soil mapping project has some deficiencies and uncertainties associated with incomplete and imperfect field measurements and limitations of soil cartographic representation. This paper is concerned with the concept of taxonomic adjacency and pedodiversity to compare the potential variability and uncertainty associated with arbitrary classification boundaries or thresholds in taxonomic criteria of both Soil Taxonomy and WRB systems.

Materials and Methods: After preparing the primary interpretative map (1:50,000 scale) for part of the Lalehzar region (Kerman province), based on the geopedologic approach, separated unit boundaries on the map were controlled and corrected in the field according to the semi-detailed soil surveys. Then, soil profiles were dug in each of the geomorphic units and finally 20 soil profiles were described and sampled in the study area. After necessary physical and chemical analyses on the samples, soils classification was finalized based on both Soil Taxonomy (2010) and WRB (2007) systems. Afterwards, based on the separated soil classes in both mentioned classification systems, the taxonomic adjacency matrix of studied soils were prepared using algebraic graph theory. Then, the largest eigenvalue of the matrix (the spectral radius) was used for calculating taxonomic adjacency index of soil map of the region. Besides, the diversity of the soils of the area was calculated using Shannon diversity index and is compared with the taxonomic adjacency index.

Results: Results showed that according to the Soil Taxonomy system, soils of the area were in three Entisol, Inceptisol and Alfisol orders; however, based on the WRB system, Regosol, Cambisol, Calcisol and Luvisol reference groups were the dominant soils of the area. Besides, Soil Taxonomy criteria have greater degree of uncertainty in the classification of the soils of the studied area compared to the WRB system. Due to differences in the geomorphic units, the WRB system showed better the small amount of taxonomic adjacency in the soils of the area.

Conclusion: Comparison of the taxonomic adjacency index results with those of the Shannon diversity index in showing the diversity of the soils indicated that the WRB system has acted more accurately than the Soil Taxonomy system. In general, the relationship between taxonomic adjacency and landscape was clearly visible in the study area.

Keywords: Pedodiversity, Soil classification, Uncertainty, Adjacency matrix

* Corresponding Authors; Email: esfandiarpour@vru.ac.ir