

## تأثیر عوامل محیطی و خاکساز بر تنوع خاک‌های مناطق کرمان و لاله‌زار

سمیرا کشتکار<sup>۱</sup>، اعظم جعفری<sup>۲</sup> و محمدهادی فرپور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

<sup>۲</sup>استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** مطالعه تنوع خاک منجر به افزایش آگاهی از شرایط و عوامل ایجادکننده تنوع در منطقه می‌گردد. در تکامل خاک، فرآیند توسعه خاک طی مسیرهای خاکسازي پیش‌رونده، مسیرهای خاکسازي کاهنده و عوامل، فرآیندها و شرایط برونزا و درونزا پیش می‌رود و در نتیجه خاک‌های متنوع ایجاد می‌شود. تأثیر و شدت عوامل بیرونی (محیطی) و درونی (فرآیندهای خاکسازي) بر تنوع خاک در محیط‌های مختلف، متفاوت است. این مطالعه سعی دارد کارایی شاخص‌های تنوع در بیان تنوع خاک در محیط‌های با عوامل بیرونی و درونی متفاوت را بررسی کند.

**مواد و روش‌ها:** در پژوهش حاضر، تفکیک لندفرم‌ها به وسیله نرم‌افزار Google Earth و بازدیدهای صحرائی انجام گرفت و در نهایت، ۲۳ خاکرخ حفر، تشریح و نمونه‌برداری شد. برخی خصوصیات خاک شامل pH، EC، CEC، گچ، کربنات کلسیم معادل، بافت و میزان مواد آلی اندازه‌گیری شد و با استفاده از رژیم حرارتی و رطوبتی مناطق مطالعاتی، خاک‌های منطقه به روش USDA (۲۰۱۴) طبقه‌بندی گردید. تفکیک دو منطقه کرمان و لاله‌زار، با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع و خواص هیدرولوژی مناطق و با کمک گرفتن از نرم‌افزار ENVI و ARCMAP انجام گرفت. بر اساس شاخص دومارتن، شاخص گور و شاخص جاکارد، عدم شباهت عوامل خاکسازي اقلیم، توپوگرافی و مواد مادری در مناطق کرمان و لاله‌زار بررسی شد. برای تعیین تفرق رده‌بندی در دو منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های غنا، یکنواختی، شانن و سیمپسون محاسبه گردید. در ادامه از آمار کلاسیک جهت مقایسه تفرق دو منطقه مورد مطالعه در یک حدود اطمینان مشخص استفاده شد. در نهایت با برقراری ارتباط بین تعداد نمونه و سطح اشکال اراضی، اهمیت نسبی منابع درونی و بیرونی در ایجاد تنوع خاک به دست آمد.

**یافته‌ها:** نتایج بیانگر حضور خاک‌های متفاوت و متنوع در دو منطقه بود. اختلاف فاحش عوامل خاکسازي اقلیم، توپوگرافی و مواد مادری منجر به حضور خاک‌های متفاوت در دو منطقه مطالعاتی شده است. در منطقه لاله‌زار خاک هیستوسول و مالی‌سول به‌طور موضعی تشکیل گردیده است. شاخص‌های تنوع خاک از سطح رده به فامیل خاک روند افزایشی نشان دادند. نتایج نشان داد تفرق خاک در هر دو منطقه مطالعاتی، براساس سلسله‌مراتب رده‌بندی در سیستم USDA افزایش می‌یابد. در لندفرم‌های مختلف، بیش‌ترین تنوع در دشت دامنه‌ای و در سطح فامیل مشاهده گردید. با وجود توانمندی دو شاخص سیمپسون و شانن در نمایش روند تنوع براساس سلسله‌مراتب طبقه‌بندی، شاخص

\* مسئول مکاتبه: a.jafari@uk.ac.ir

سیمپسون نسبت به شاخص شانن از نظر آماری کارایی بیشتری داشت، به طوری که تفاوت شاخص تنوع سیمپسون در دو منطقه کرمان و لاله‌زار معنی‌دار گردید. نسبت  $\frac{b_i}{b}$  در کرمان ۱/۲۵ و در لاله‌زار ۰/۴۶ به دست آمد که به ترتیب، نشان‌دهنده تأثیر بیش‌تر عوامل ذاتی و عوامل محیطی در تکامل خاک کرمان و لاله‌زار است.

**نتیجه‌گیری:** در مقیاس مکانی بزرگ تأثیر عوامل محیطی در تکامل خاک مشخص‌تر از عوامل درونی است و با کوچک کردن مقیاس مکانی به تأثیر عوامل درونی پی خواهیم برد. شاخص‌های تفرق در جهت نمایش تنوع خاک به صورت کمی، توانمند و فراهم آورنده اطلاعات مفیدی هستند که در جهت نقشه‌برداری خاک و مدیریت بهینه خاک قابل استفاده می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** لندفرم، شاخص‌های تنوع، عوامل درونی، عوامل محیطی

### مقدمه

با مدیریت مسئولیت‌پذیر منابع خاکی، خاک نقش مهم و حیاتی در بقاء و رونق بسیاری از کشورها در دنیا بازی می‌کند (۲۱). مدیریت مؤثر خاک نیاز به درک مناسبی از چگونگی توزیع انواع خاک‌ها در زمین‌ها یا تغییرپذیری خاک‌ها دارد (۸). مطالعه تغییرپذیری خاک در مقیاس‌های متعدد، در راستای مدل‌سازی و پیشگویی رفتار خاک مفید است (۱۹). با توجه به گرایش مطالعات محیطی از یک حالت کیفی و ذهنی به حالت کمی، برای بیان تغییرپذیری خاک‌ها می‌توان از شاخص‌های تنوع استفاده کرد. شاخص‌های تفرق و مدل‌های توزیع فراوانی، ابزاری آماری در جهت تجزیه و تحلیل قواعد ذاتی اجزاء مختلف محیطی می‌باشد (۳). ایبازن و همکاران (۱۹۹۵ و ۱۹۹۸) برای اولین بار از شاخص‌های تنوع اکولوژیکی به عنوان معیارهای اندازه‌گیری تفرق خاک استفاده کردند (۸ و ۹). تفرق خاک، مفهومی متفاوت برای کمی کردن تغییرپذیری خاک می‌باشد (۱۶). سالدانا و ایبازن (۲۰۰۴) با کاربرد شاخص‌های غنی‌شدگی و تفرق بیان کردند که غنای خاک از خاک‌های جوان به پیر افزایش می‌یابد (۲۱). همچنین با افزایش دقت طبقه‌بندی و مساحت مطالعاتی، تفرق افزایش می‌یابد و اختلاف جزئی در عوامل و

فرآیندهای خاکسازي منجر به تکامل واگرا می‌شود (۱۸ و ۱۹). تئوری پدولوژی بیان می‌کند وقتی کنترل‌کننده‌های برون‌زا و درون‌زا مشابه باشند، خاک‌ها باید مسیر توسعه همگرا را دنبال کنند. ایبازن و همکاران (۲۰۰۵) بر این نکته تأکید داشتند که افزایش غیریکنواختی خاک در خلال سلسه‌مراتب ژئومرفیکی، تأییدکننده وجود سیکل واگرا در خاک‌های مطالعه شده می‌باشد (۷). مطالعات پژوهشگران (۱۸، ۱۹ و ۲۰) پیشنهاد می‌کند که مسیرهای واگرا و همگرایی توسعه خاک ناشی از سه مسأله اصلی است: الف) ارتباط شدید فرایندهای ژئومرفولوژی و خاکساز. وقایع ناگهانی یا تغییرات لندفرم اصلی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای می‌توانند پوشش خاک را تغییر دهند. ب) در توسعه و تکامل خاک‌ها مسیرهای خاکسازي واگرا نسبت به همگرا از اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار است چرا که برگشت توسعه همگرا کاملاً رایج است. ج) خاکسازي در ناپایداری دینامیکی یا شرایط بی‌نظمی اتفاق می‌افتد. بدین معنی که اختلاف کوچک در شرایط ابتدایی (اولیه) و بهم‌خوردگی‌های موضعی کوچک یا کوتاه‌مدت ممکن است به تکامل واگرا منجر شود.

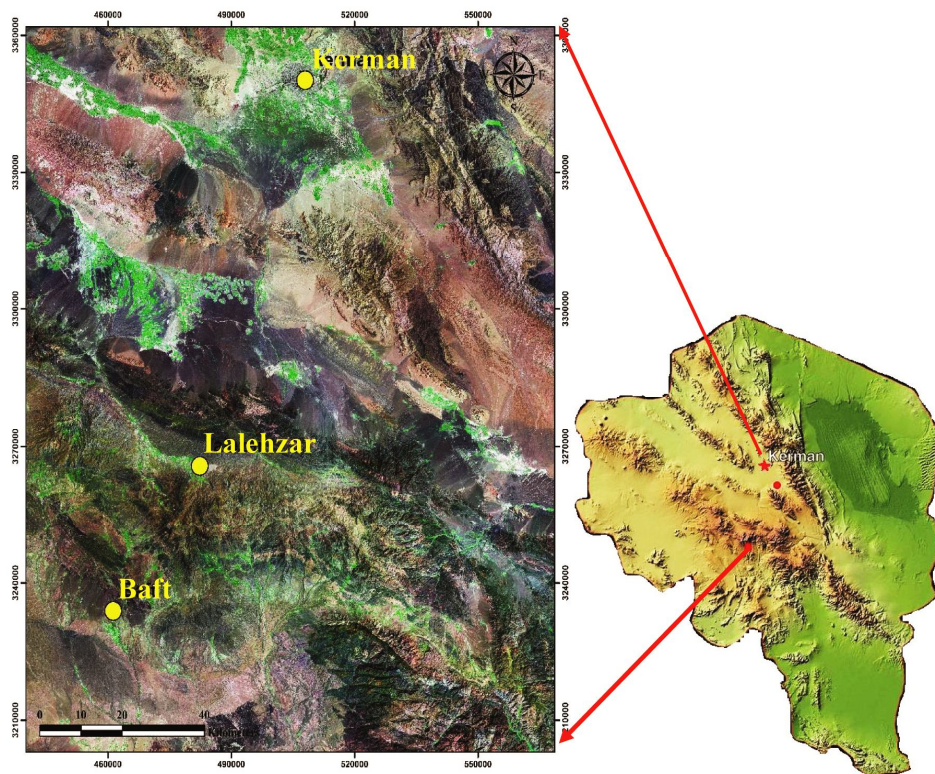
برای پیش‌بینی واکنش واگرا و همگرایی خاک آگاهی و شناخت از تفرق و شباهت فاکتورهای خاکسازي ضروری است. بنابراین قبل از تعیین

دارد ابتدا متفاوت بودن مسیرهای واگرا در جهت تکامل خاکها را بررسی و سپس به تعیین تنوع خاکها و عوامل موثر درونی و بیرونی بر ایجاد تنوع خاکها و کارایی شاخصهای تفرق در بیان تنوع خاکهای با مسیرهای تکاملی متفاوت بپردازد.

### مواد و روشها

منطقه مورد نظر از کرمان تا لاله‌زار با مساحت تقریبی ۱۲۰۰ کیلومترمربع انتخاب گردید. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین طولهای شرقی  $56^{\circ}37'13''/6''$  (لاله‌زار) تا  $57^{\circ}03'35''$  (کرمان) و عرضهای شمالی  $29^{\circ}14'38''$  (بافت) تا  $30^{\circ}11'19''$  (کرمان) قرار دارد (شکل ۱) و دارای رژیم رطوبتی و حرارتی اریدیک و ترمیک در منطقه کرمان و زیریک و مزیک در منطقه لاله‌زار می‌باشد (۱۴).

اختلاف در نوع خاکها یا به عبارتی قبل از بررسی خاکهایی با تکامل متفاوت، بهتر است نسبت به تشخیص مسیرهای واگرای متفاوت عمل شود. به عبارت دیگر بهتر است تفرق فاکتورهای خاکسازی یا همان مسیرهای واگرای مشخص شوند چرا که انتظار داریم با تشخیص مسیرهای واگرای خاکهای تکامل متفاوتی را داشته باشیم. البته ممکن است که مسیرهای واگرا تا سطح مشخصی منجر به تفرق و تنوع خاکها شوند. شاخصهای تفرق، تکنیکهایی برای کمی کردن و تفسیر عوامل مؤثر بر عملکرد زمین‌نما و تنوع خاکها، با تأکید خاص بر ساختار زمین‌نما و الگوهای مکانی هستند که در تجزیه و تحلیل تنوع خاکها استفاده می‌شود. در این راستا، به‌طور واضح مشخص نیست که آیا شاخصهای تنوع توانایی تشخیص تفرق خاکهای با مسیرهای واگرای متفاوت را دارا هستند. بنابراین پژوهش حاضر سعی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه از کرمان تا لاله‌زار.

Figure 1. Location of the study area from Kerman to Lalehzar.



شکل ۲- موقعیت خاکرخواها در لندفرم‌های مختلف.

Figure 2. Position of soil profiles in different landforms.

برای تعیین وضعیت توپوگرافی منطقه مطالعاتی از مدل رقومی ارتفاع و مشتقات حاصل از آن شامل ارتفاع، شیب و شاخص خیزی<sup>۱</sup> استفاده شد و با استفاده از شاخص Gower تفرق توپوگرافی تعیین شد (۶). شاخص Gower بین صفر و یک متغیر است هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، شباهت متغیرها بیشتر می‌باشد؛ که طبق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$S_{ij} = \left(\frac{1}{p}\right) \sum_{k=1}^p \left(1 - \frac{|X_{ik} - X_{jk}|}{range_k}\right) \quad (2)$$

که در آن،  $S_{ij}$  شاخص گور،  $p$  تعداد متغیرها،  $|X_{ik} - X_{jk}|$  تفاوت مطلق متغیرها بین سایت  $i$  و  $j$  و دامنه متغیر می‌باشد.

به منظور تعیین مسیرهای واگرایی و تکاملی متفاوت، مناطق کرمان و لاله‌زار از نظر تفرق فاکتورهای خاکسازی (اقلیم، توپوگرافی و مواد مادری) مقایسه و بررسی شدند. در جهت تعیین نوع آب و هوای منطقه، از میانگین ۱۴ ساله درجه حرارت و میزان بارندگی در ماه‌های مختلف استفاده شد و با شاخص دومارتین اقلیم دو منطقه طبق رابطه زیر تعیین شد:

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

که در آن،  $P$  متوسط بارش و  $T$  متوسط دما سالانه است. همچنین از نمودار والتر برای مقایسه متغیرهای اقلیمی دو منطقه استفاده گردید.

1- Wetness Index

$$S = (1 - \sum_{i=1}^K |p_i - q_i|) / 2 \quad (4)$$

که در آن،  $p_i$  و  $q_i$  به ترتیب نشان‌دهنده فراوانی نسبی آمین گونه موجود در جامعه اول و دوم می‌باشد. طبق این شاخص عدد صفر بیانگر آن است که گونه‌های موجود کاملاً متفاوت هستند و عدد یک شباهت کامل دو گونه را بیان می‌کند.

شباهت یا عدم شباهت مواد مادری بین مناطق با استفاده از دو شاخص جاکارد و مانلی بررسی شد (۱۱). شاخص جاکارد بر حسب حضور و عدم حضور ویژگی (جدول ۱) طبق رابطه ۳ می‌باشد:

$$J = \frac{A}{A+B+C} \quad (3)$$

شاخص مانلی که به صورت نسبی شباهت دو جامعه را مطرح می‌کند به شرح ذیل محاسبه می‌شود:

جدول ۱- فراوانی حالت‌های وجود و عدم وجود گونه‌های موجود در دو جامعه.

Table 1. Frequency of states of the presence or absence of species in the community.

جامعه دوم Second Community	جامعه اول First Community	حضور Presence	عدم حضور Absence
	حضور Presence	A	B
عدم حضور Absence	C	-	

محاسبه می‌گردد (۲۰). متداول‌ترین شاخص‌های فراوانی نسبی، شاخص  $k$ -انتروبی شانن<sup>۱</sup> است که پیچیدگی خاک را نشان می‌دهد (۱۳ و ۲۰) و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (5)$$

که در آن،  $H'$  همان آنتروبی یا تنوع جامعه می‌باشد و  $p_i$  بر اساس  $n_i/N$  بیان می‌گردد. شاخص غنا وقتی تمام اجزاء در واحد دارای احتمال برابر باشند برای محاسبه شاخص یکسانی (Evenness Index) مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴) به این صورت که اگر:

شاخص‌های تنوع خاک: پس از تشخیص مسیرهای واگرایی و تکاملی متفاوت، برای تعیین توانایی شاخص‌های تفرق در بیان تنوع خاک‌ها از شاخص‌های تفرق غنا (۱۴)، یکنواختی (۱۴)، شانن (۲۲) و سیمپسون (۲۳) استفاده گردید که از رایج‌ترین شاخص‌ها جهت تعیین عدم همگنی یک جامعه شناخته شده‌اند. برای محاسبه شاخص تنوع، تعداد مقاطع متعلق به یک منطقه،  $n_i$  و کل مقاطع مطالعه شده در در منطقه،  $N$  در نظر گرفته می‌شود (مثلاً تعداد خاکرخ‌های برداشت شده در سطح ژئومرفیک خاص،  $n_i$  و کل خاکرخ‌های برداشت شده در منطقه  $N$  می‌باشد). شاخص‌های تنوع بر اساس فراوانی نسبی طبقه خاک، نسبت به کل نقاط نمونه‌برداری شده

1- Shannon Index

تیلور (۱۹۷۸) اشاره کرد که با محاسبه شاخص شانن برای جوامع مختلف، دیده می‌شود که از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند (۲۴). این خصوصیت، کمک می‌کند که بتوان از آمار کلاسیک در جهت مقایسه تفرق دو منطقه مورد مطالعه در یک حدود اطمینان مشخص استفاده کرد. همچنین می‌توان کارایی شاخص‌های تفرق در بیان تنوع خاک‌های دو منطقه با مسیرهای واگرایی متفاوت را نشان داد. آزمون آماری مورد استفاده، توزیع  $t$  می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$t = |\mu D1 - \mu D2| / (\text{Var } d1 + \text{Var } d2)^{1/2} \quad (9)$$

که در آن،  $\mu D1$  و  $\mu D2$ ، میانگین تفرق محاسبه شده برای دو منطقه می‌باشند.  $\text{Var } d1$  و  $\text{Var } d2$  نیز به ترتیب، بیانگر واریانس تفرق محاسبه شده برای مناطق متفاوت برای شاخص تفرق شانن ( $\text{var } H_i$ ) و سیمپسون ( $\text{var } Dsi$ ) به روش زیر عمل می‌شود:

$$\text{Var } H_i = \{[\sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)^2 - (\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i)^2 / N] + \{(S - 1) / 2N^2\} \quad (10)$$

$$\text{Var } Dsi = 4[p_i^3 - (p_i^2)^2 / N \quad (11)$$

نحوه محاسبه درجه آزادی برای قرائت مقدار  $t$  از جدول به ترتیب برای شاخص‌های تفرق شانن و سیمپسون:

$$d. f H' = (\text{Var } H_1 + \text{Var } H_2)^2 / \left\{ \left[ \frac{(\text{Var } H_1)^2}{N_1} \right] + \left[ \frac{(\text{Var } H_2)^2}{N_2} \right] \right\} \quad (12)$$

$$d. f Ds = n1 + n2 - 2 \quad (13)$$

کم بودن  $t$  نسبت به  $t$  جدول شرایط در هر دو منطقه یکسان است.

$$H' = H_{\max} = \ln s \quad (6)$$

سپس می‌توان شاخص یکنواختی ( $E$ ) را به صورت ذیل محاسبه کرد:

$$E = H' / \ln s \quad (7)$$

اجزاء در رابطه‌های ۶ و ۷ شامل  $H'$  آنروپی،  $H_{\max}$  ماکزیمم آنروپی و  $S$  غنا می‌باشد. وجود شاخص‌های غنی‌شدگی و همواری بزرگ‌تر، دلیلی بر وجود تفرق بیش‌تر است (۸).

شاخص دیگر مورد استفاده، شاخص سیمپسون (Simpson Index) است:

$$\lambda = [n_i(n_i - 1)] / [N(N - 1)] \quad (8)$$

که در آن،  $n_i$  تعداد افراد گونه  $i$  و  $N$  مجموع تعداد افراد همه گونه‌ها در یک منطقه می‌باشد.

در صورت بیش‌تر بودن  $t$  محاسبه شده نسبت به  $t$  جدول، فرض صفر (نشان‌دهنده یکسان بودن شرایط در دو منطقه مطالعاتی) رد می‌شود و در صورت

روش توسط فیلیپز و ماریون (۲۰۰۵) نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۱۸).

### نتایج و بحث

با تشریح خاکرخ‌های حفر شده و انجام آزمایش‌های مورد نظر و با استفاده از رژیم رطوبتی و حرارتی، خاکرخ‌ها در دو منطقه کرمان و لاله‌زار تا سطح فامیل خاک طبق سیستم طبقه‌بندی آمریکا (USDA) رده‌بندی و در جدول ۲ ارائه شدند.

نتایج بیانگر حضور خاک‌های متفاوت و متنوع در دو منطقه می‌باشد. در منطقه کرمان در تمام اشکال اراضی، تنها یک رده Aridisols و در منطقه لاله‌زار سه رده Histosols, Mollisols و Inceptisols مشاهده گردید. در دشت کرمان، به دلیل بارندگی کم و خشکی هوا، پوشش گیاهی ضعیف و امکان تجمع آهک ثانویه، گچ ثانویه و نمک‌های محلول وجود دارد. به طرف منطقه لاله‌زار به دلیل افزایش رطوبت، نمک‌های محلول، آهک و گچ خاک شسته شده و با حضور پوشش گیاهی غنی به صورت چمنزارها و افزایش ماده آلی خاک (با کربن آلی ۶/۹ درصد)، به طور موضعی خاک‌های مالی‌سول تشکیل شده است. در دامنه کوه‌های لاله‌زار به دلیل تجمع آب به صورت موضعی و اشباع خاک به مدت بیش از ۳۰ روز در سال، شرایط برای تجمع مواد آلی فراهم بود و منجر به تشکیل خاک‌های هیستوسول شده است. معاذاللهی (۱۳۸۸) خاک‌های مالی‌سول و هیستوسول در منطقه لاله‌زار را شناسایی و گزارش کرده است (۱۳). مطالعات در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد که تغییرپذیری گسترده خاک‌ها ناشی از تفاوت در مواد مادری، توپوگرافی و توزیع آب می‌باشد (۲۰). در مطالعه حاضر، از دشت کرمان به سمت مناطق لاله‌زار، تفرق فاکتورهای خاکسازي که به نوعی مسیرهای تکاملی واگرا را نشان می‌دهند، بررسی گردید.

تأثیر نسبی عوامل درونی و بیرونی بر تنوع خاک: جنبه دیگری از تحلیل تنوع خاک در مطالعات تنوع زیستی رابطه غنا-سطح است. ایباز و همکاران (۱۹۹۵) و (۱۹۹۸) در مقیاس جهانی بیان کردند بین غنای خاک و سطح منطقه مورد مطالعه ارتباط معنی‌داری وجود دارد که طبق رابطه زیر می‌باشد (۸ و ۹):

$$S = cA^b \quad (14)$$

که در آن، S تعداد گونه‌ها (نوع خاک)، A مساحت منطقه، c یک مقدار ثابت و b پارامتری که کم‌تر از یک است و معمولاً بین ۰/۵-۰/۱ تغییر می‌کند. رابطه بین تعداد گونه و مساحت یا از طریق رابطه خطی بین LogS و LogA یا از طریق رابطه خطی بین S و LogA تعیین می‌شود (۲۱). اگر کل منطقه را با A نمایش دهیم در این صورت،  $A = \sum A_i$  تعریف می‌شود و اگر تعداد خاک یا خصوصیات خاک در هر واحد را با  $S_i$  نشان دهیم (S نشان‌دهنده گونه خاک است)، رابطه ۱۴ در هر واحد به شکل زیر تغییر می‌کند:

$$S_i = C_i A_i^{b_i} \quad (15)$$

با به دست آوردن نسبت  $\frac{b_i}{b}$ ، میزان اهمیت تنوع ذاتی (درونی) نسبت به تنوع زیست‌محیطی (بیرونی) مشخص می‌گردد. با افزایش این نسبت اهمیت تنوع ذاتی نیز افزایش می‌یابد. نسبت  $\frac{b_i}{b}$  و  $\frac{c_i}{c}$  به صورت کمی، اهمیت نسبی منابع درونی و بیرونی در ایجاد تنوع خاک را به دست می‌آورد. با قرار دادن تعداد نمونه در برابر سطح، یک منحنی ایجاد می‌شود که با استفاده از معادله به دست آمده از این منحنی نسبت  $\frac{b_i}{b}$  و  $\frac{c_i}{c}$  که نشانه‌های کمی از اهمیت نسبی منابع درونی و بیرونی در خاکشناسی را دارد تعیین می‌کنیم. این

جدول ۲- کلاس‌های خاک مشاهده شده در منطقه کرمان و لاله‌زار.

Table 2. The observed soil classes in Kerman and Lalehzar.

لاله‌زار Lalehzar	کرمان Kerman	طبقه خاک Soil Taxa
Inceptisols, Mollisols, Histosols	Aridisols	رده Order
Xerepts, Aquolls, Hemists	Calcids, Gypsid, Salids	تحت رده Suborder
Calcixerepts, Epiaquolls, Haplohemists	Haplocalcids, Haplogypsid, Haplosalids, Natrigypsid, Calcigypsid	گروه بزرگ Great Group
Typic Calcixerepts, Fluventic Epiaquolls, Typic Haplohemists	Typic Haplocalcids, Typic Haplogypsid, Gypsic Haplosalids, Typic Natrigypsid, Typic Calcigypsid	تحت گروه Subgroup
Coarse-Silty, Mixed, Subactive, Mesic, Typic Calcixerepts Fine-Loamy, Mixed, Subactive, Mesic, Typic Calcixerepts Loamy-Skeletal, Mixed, Subactive, Mesic, Typic Calcixerepts Coarse-Silty, Mixed, Superactive, Mesic, Typic Calcixerepts Loamy-Skeletal, Mixed, Superactive, Mesic, Typic Calcixerepts Fine-Silty, Mixed, Superactive, Calcareous, Mesic, Fluventic Epiaquolls Euic, Mesic, Typic Haplohemists	Sandy, Mixed, Thermic, Typic Haplocalcids Sandy-Skeletal, Mixed, Thermic, Typic Haplocalcids Sandy, Mixed, Thermic, Typic Haplogypsid Sandy-Skeletal, Gypsic, Thermic, Gypsic Haplosalids Fine-Silty, Mixed, Active, Thermic, Typic Natrigypsid Sandy, Mixed, Thermic, Typic Calcigypsid Coarse-Silty, Mixed, Subactive, Thermic, Gypsic Haplosalids Coarse-Silty, Mixed, Subactive, Thermic, Typic Calcigypsid Coarse-Silty, Mixed, Thermic, Typic Haplocalcids Coarse-Silty, Gypsic, Thermic, Gypsic Haplosalids Coarse-Silty, Mixed, Subactive, Thermic, Typic Haplogypsid Fine, Gypsic, Thermic, Typic Natrigypsid	فامیل خاک Soil Family

دوره خشکی دو منطقه با علامت G نشان داده شده، که منطقه کرمان حجم بیشتری از خشکی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین میانگین بارندگی سالانه در کرمان ۱۲۰/۵۱ میلی‌متر و در لاله‌زار ۲۳۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه در دشت کرمان  $16.75^{\circ}\text{C}$  و در لاله‌زار  $9.3^{\circ}\text{C}$  می‌باشد (۱۰). با محاسبه شاخص اقلیمی دومارتن، تفاوت اقلیمی دو منطقه کرمان و لاله‌زار به صورت کمی در جدول ۳ ارائه شده است که نشان می‌دهد اقلیم کرمان خشک و لاله‌زار نیمه‌خشک می‌باشد.

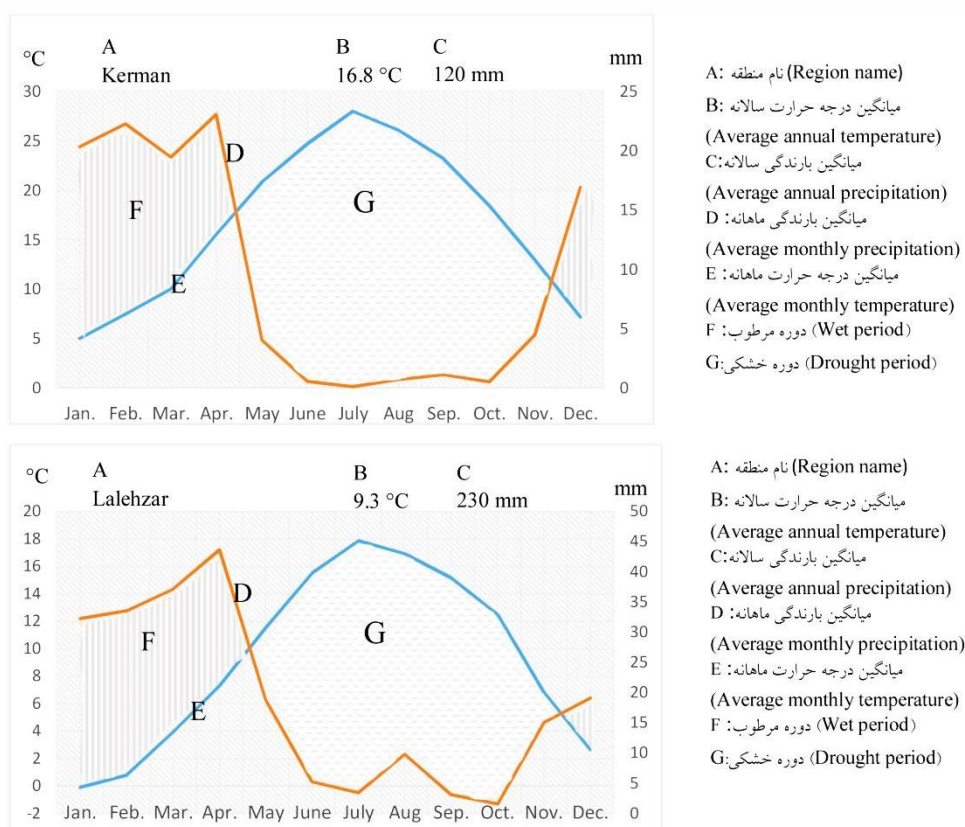
تفرق فاکتورهای خاکسازي در دو منطقه کرمان و لاله‌زار: به‌منظور تعیین مسیرهای تکاملی واگرا و در نهایت، برآورد توانایی شاخص‌های تنوع در بیان تفرق خاک‌های متفاوت، دو منطقه از نظر تفرق فاکتورهای اقلیم، توپوگرافی و موادمادری بررسی گردید. اقلیم نقش مهمی در تسریع فرآیندهای خاکسازي دارد و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر تنوع خاک مؤثر است (۱۳). به‌منظور تعیین تفرق اقلیمی، دیاگرام اقلیمی والتر برای دو منطقه کرمان و لاله‌زار با استفاده از میانگین ۱۵ ساله درجه حرارت و میزان بارندگی در ماه‌های مختلف ترسیم شد (شکل ۳). در این دیاگرام



جدول ۳- اقلیم مناطق مورد مطالعه با استفاده از شاخص دومارتن.

Table 3. Climate of the studied regions by using Domartin index.

	Domarten Index	Range	Climate
کرمان Kerman	4.81	$I < 10$	خشک Dry
لاله‌زار Lalezar	10.11	$10 < I < 20$	نیمه خشک Semi arid



شکل ۳- دیاگرام اقلیمی والتر برای دو منطقه کرمان و لاله‌زار.

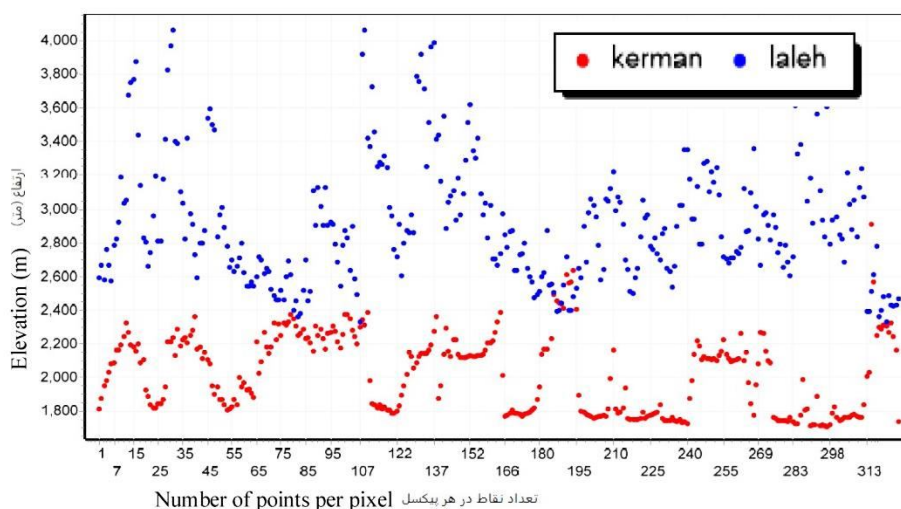
Figure 3. Walter Diagram of climate for Kerman and Lalezar regions.

عددی شاخص گور بین صفر تا یک متغیر است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد تشابه توپوگرافی دو منطقه بیشتر است. مقدار عددی شاخص گور برای شیب ۰/۳۵ و برای ارتفاع ۰/۲۶ به دست آمد. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب تفاوت ارتفاع و شیب و اختلاف فاصله بین نقاط ارتفاعی و شیب در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. نقاط آبی، شیب و ارتفاع در

عامل پستی و بلندی از طریق ویژگی‌هایی هم‌چون شیب، جهت شیب و ارتفاع بر مشخصات خاک‌ها تأثیر می‌گذارند (۱۶). شیب با تأثیر بر فرسایش و جهت شیب بر توزیع اقلیم خرد در زمین‌نما منجر به تفاوت در ویژگی‌های خاک‌ها می‌شوند (۲۵). به منظور بررسی تفرق توپوگرافی دو منطقه، به کمک متغیرهای شیب و ارتفاع، شاخص گور محاسبه شد. مقدار

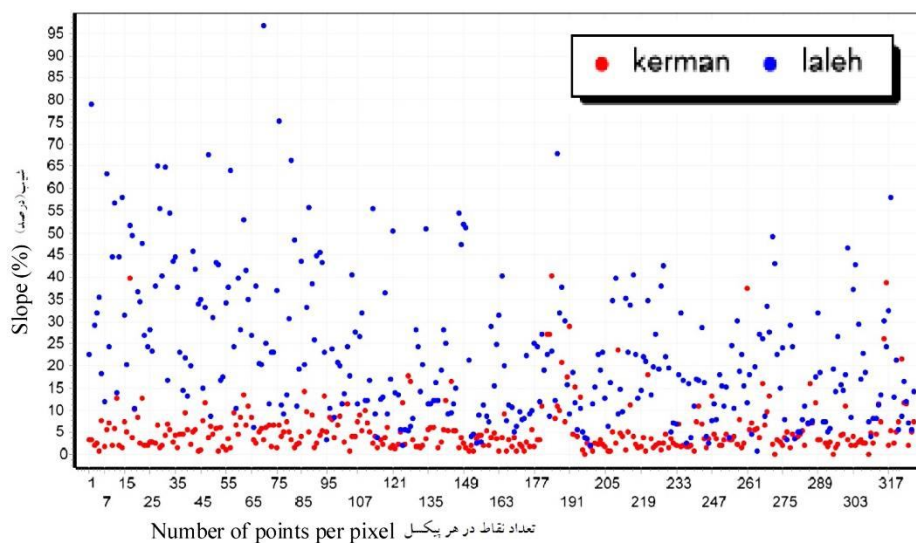
تشابه فاکتورهای خاکسازی از جمله توپوگرافی در تشخیص مناطق گیرنده و پذیرنده در فرایند برون‌یابی استفاده کردند (۱۷). همچنین عباسزاده افشار و همکاران (۲۰۱۸) شاخص گور و نمودارهای تغییرات ارتفاعی و شیب را برای تعیین تفرق توپوگرافی مناطق بم و زرند به کار بردند (۱).

منطقه کرمان و نقاط قرمز، شیب و ارتفاع در منطقه لاله‌زار را نشان می‌دهد. این شکل‌ها نشان می‌دهند دامنه تغییرات ارتفاع و شیب در منطقه لاله‌زار نسبت به کرمان بیشتر است و منطقه لاله‌زار از ارتفاع و شیب بیشتری برخوردار است. به این ترتیب، مناطق مورد مطالعه دارای تفرق توپوگرافی هستند. Mueller و همکاران (۲۰۰۴) از شاخص تشابه گور برای تعیین



شکل ۴- اختلاف ارتفاع در دو منطقه مطالعاتی.

Figure 4. Elevation difference in the studied areas.



شکل ۵- اختلاف شیب در دو منطقه مطالعاتی.

Figure 5. Slope difference in the studied areas.

شباهت مزبور هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با فاصله بین جوامع مطالعاتی و مواد مادری خاک دارد (۴).  
تفرق فاکتورهای خاکسازي و به‌عبارت دیگر مسیرهای تکاملی متفاوت منجر به حضور خاک‌های متفاوت در دو منطقه مطالعاتی شده است که نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردید. فرآیندهای متفاوت هیدرولوژی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی بر روی مواد مادری متفاوت در دو منطقه مطالعاتی رخ داده است. فرآیندهای محیطی متفاوت و به‌عبارت دیگر فاکتورهای محیطی متفاوت منجر به تفاوت و تنوع خاک‌ها به‌عنوان فاز تأثیرپذیر می‌شود. بنابراین ما انتظار داریم با این اختلاف فاحش فاکتورهای خاکسازي در منطقه مطالعاتی، شاخص‌های تنوع توانایی تشخیص تنوع خاک‌ها را داشته باشند و در همه سطوح رده‌بندی خاک، در منطقه با نیروهای بیرونی پیش‌برنده قوی‌تر بیش‌تر باشند.

نقش سنگ بستر<sup>۱</sup> و مواد مادری در تشکیل خاک بر حسب تأثیر سایر عوامل خاکسازي از کم تا زیاد متغیر است. طبق جدول ۴ نوع مواد مادری در هر منطقه نمونه‌برداری‌شده با استفاده از نقشه زمین‌شناسی (۵) مشخص شد. بر اساس دو شاخص شباهت جاکارد و مانلی (۱۱) شباهت دو منطقه از نظر نوع مواد مادری مشخص گردید. مقدار عددی شاخص جاکارد ۰/۴۱ و شاخص مانلی ۰/۴۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده حضور مواد مادری متفاوت در دو منطقه مطالعاتی است. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص جاکارد میزان شباهت بین دو منطقه نمونه و تعمیم را مورد بررسی قرار دادند و اعلام کردند شباهت موجود در سطح فامیل کم‌تر از ۵۰ درصد است اما قابل‌توجه و فاحش می‌باشد (۳). Inouy و Freestone (۲۰۰۶) با استفاده از شاخص جاکارد نتیجه گرفتند که نایکنواختی محیطی بر عدم شباهت خاک‌ها تأثیرگذار است. عدم

جدول ۴- مواد مادری در مناطق نمونه‌برداری‌شده.

Table 4. Parent materials in the sampling point.

مواد مادری Parent material	شماره پروفیل Profile number	منطقه مطالعاتی study area
Sand Cover, Sand dunes, Sand sheet, mostly stabilized	Qs	1
Young grovel Fans and terraces	Q2	2
Young Terraces	TQ2	4, 5, 7, 9, 12, 19
Red and pale green marl, Sand Stone and Conglomerate	Ng	6
Clay and mud Flat	Qm	10,11
Conglomerate	Esc	17
Conglomerate with intercalation of red marl and Sandstone	Ng	18
Young alluvium terraces	Q2t	13,14,20
Younger gravel Fans	Q2	15,16
Conglomerate with intercalations of red marl and Sand Stone	Ng	21
Red Sand Stone and Silt Stone with gypsum (Red Beds Formation)	Gd	22
Conglomerate	Esc	23

1- Bedrock

از سطح رده به فامیل خاک روند افزایشی نشان دادند (جدول ۵). بیشترین مقدار تفرق شانن ۲/۸۱ به دست آمد که مربوط به سطح فامیل خاک است.

**شاخص‌های تفرق خاک:** روند تفرق خاک براساس سلسله‌مراتب طبقه‌بندی از رده تا فامیل با استفاده از شاخص‌های غنا (S)، یکنواختی (E)، شانن (H) و سیمپسون (Ds) محاسبه شد. شاخص‌های تنوع خاک

جدول ۵- شاخص‌های تنوع بر اساس سلسله‌مراتب رده‌بندی آمریکایی (USDA).

Table 5. Diversity indices based on USDA taxonomy hierarchy.

Ds	E	Hmax	H'	S	N	Soil Taxa
0.52	0.65	1.38	0.9	4	23	رده Order
0.79	0.87	1.79	1.56	6	23	زیررده Suborder
0.87	0.92	2.07	1.92	8	23	گروه بزرگ Great Group
0.87	0.92	2.07	1.92	8	23	زیرگروه Subgroup
0.97	0.97	2.89	2.81	18	23	فامیل Family

N: تعداد خاکرخ (number of profile)، S: شاخص غنا (Richness index)، H': شاخص تنوع شانن (Shannon diversity index)، H' max: تفرق حداکثر (maximum diversity)، E: شاخص همواری (Evenness index)، Ds: شاخص سیمپسون (Simpson index).

و به تبع آن شاخص تنوع برابر با صفر و شاخص یکسانی قابل محاسبه نیست. در منطقه لاله‌زار، غنای خاک در طبقه رده خاک، به دلیل تشخیص سه رده (Mollisols, Histosols, Inceptisols) سه به دست آمد. در برخی موارد مقدار شاخص‌ها از سطح رده به زیر گروه ثابت است که به دلیل عدم قرارگیری خاک‌ها در کلاس‌های جدید در سطوح پایین‌تر رده‌بندی می‌باشد. اگرچه تنوع خاک در سطح رده در منطقه لاله‌زار نسبت به منطقه کرمان بیشتر است، در سطح زیررده تنوع در دو منطقه یکسان است. از گروه بزرگ به فامیل خاک روند افزایشی در منطقه کرمان نسبت به لاله‌زار بیشتر است به طوری که بیشترین غنا مربوط به کرمان و در سطح فامیل خاک مشاهده گردید. در منطقه لاله‌زار شاخص غنا از رده تا زیرگروه سه و در فامیل خاک به هشت می‌رسد.

کم‌ترین شاخص غنا در سطح رده و بیشترین غنا در سطح فامیل خاک به دست آمد. افزایش شاخص تفرق شانن به دلیل افزایش توام شاخص تفرق غنا و یکنواختی از رده به فامیل می‌باشد که با مطالعات عباس‌زاده افشار و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد (۲). Ibanez و همکاران (۲۰۰۵) در این راستا نشان دادند که شاخص‌های غنی‌شدگی و شانن در خلال سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک در مطالعات با مقیاس‌های کوچک و بزرگ افزایش یافته‌اند (۷).

افزایش شاخص‌های تنوع خاک براساس سطوح رده‌بندی USDA از سطح رده به فامیل خاک در دو منطقه کرمان و لاله‌زار نیز مشاهده گردید (جدول ۶) که با نتایج اسفندیارپور و همکاران (۲۰۰۹) همخوانی دارد (۳). در منطقه کرمان، شاخص غنا در سطح رده به دلیل حضور تنها یک رده (Aridisols) یک می‌باشد

جدول ۶- تحلیل تفرق خاک‌ها بر اساس سطوح مختلف رده‌بندی خاک (USDA) در کرمان و لاله‌زار.

**Table 6. Analysis of soils diversity based on different levels of soil taxonomy (USDA) in Kerman and Lalehzar.**

Taxa	A	N	S	H'	H'max	E	Ds
رده	کرمان Kerman	15	1	0	0	0	0
Order	لاله‌زار Lalehzar	8	3	0.73	1.09	0.66	0.46
زیررده	کرمان Kerman	15	3	0.97	1.09	0.88	0.62
Suborder	لاله‌زار Lalehzar	8	3	0.73	1.09	0.66	0.46
گروه بزرگ	کرمان Kerman	15	5	1.36	1.60	0.90	0.80
Great Group	لاله‌زار Lalehzar	8	3	0.73	1.09	0.66	0.46
زیرگروه	کرمان Kerman	15	5	1.56	1.60	0.97	0.84
Subgroup	لاله‌زار Lalehzar	8	3	0.73	1.09	0.66	0.46
فامیل	کرمان Kerman	15	10	2.11	2.39	0.92	0.96
Family	لاله‌زار Lalehzar	8	8	1.49	2.60	0.92	0.89

N: تعداد خاکرخ (number of profile)، A: منطقه (Region)، S: شاخص غنا (Richness index)، H': شاخص تنوع شانن (Shannon diversity index)، H'max: تفرق حداکثر (maximum diversity)، E: شاخص همواری (Evenness index)، Ds: شاخص سیمپسون (Simpson index).

خاک‌ها می‌تواند متأثر از عوامل محیطی و حتی ذاتی باشد. به این ترتیب، در سطوح پایین طبقه‌بندی تأثیر عوامل محیطی کم‌رنگ شده و تأثیر عوامل ذاتی بیش‌تر می‌شود. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد وجود نیروهای پیش‌برنده قوی در مقیاس کوچک به منزله تنوع بیش‌تر خاک‌های آن منطقه حداقل در طبقات پایین رده‌بندی نمی‌باشد، بلکه مسیرهای تکامل در مقیاس بزرگ تأثیر قابل‌توجهی دارند.

افزایش شاخص‌های تنوع از سطح رده به فامیل خاک نشان از وجود مسیرهای تکاملی واگرا در هر دو منطقه می‌باشد، منتهی افزایش بیش‌تر شاخص تنوع غنا در سطح فامیل خاک در منطقه کرمان نشان از حضور مسیرهای تکاملی جزئی در مقیاس بزرگ می‌باشد. به‌عبارت دیگر احتمال تأثیر عوامل ذاتی یا درونی در سطوح پایین طبقه‌بندی در منطقه کرمان منجر به تکامل گردیده است و در منطقه لاله‌زار، به‌دلیل حضور نیروهای پیش‌برنده<sup>۱</sup> قوی در مقیاس کوچک، تنوع

1- Driving forces

اختلاف معنی‌دار در سطح رده حاکی از حضور خاک‌های کاملاً متمایز در دو منطقه دارد که توسط آماره  $t$  قابل تشخیص است. در سطوح دیگر، شاید حضور افق‌های کلسیک در هر دو منطقه و تأثیر مسیرهای تکاملی ریز و جزئی باعث عدم اختلاف معنی‌دار شاخص تنوع شده است. به عبارت دیگر تنوع خاک در مقیاس قابل تشخیص توسط آماره  $t$  نیست. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۲۰۰۹) تفاوت معنی‌دار بین میانگین تفرق خاک‌ها را برای طبقه فامیل خاک به‌دست آوردند و گزارش کردند تفرق خاک‌های منطقه مطالعاتی از نظر آماری تا سطح زیرگروه، یکسان است (۳).

با توجه به این‌که بر اساس مقادیر مطلق شاخص‌ها نمی‌توان راجع به معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت‌های موجود در دو منطقه قضاوت کرد؛ بنابراین نتایج مربوط به مقایسه‌های آماری در تعیین تفرق دو منطقه بر اساس دو شاخص شانن و سیمپسون استفاده شد (۱۵). بر خلاف مقادیر متفاوت شاخص‌های تفرق در تمام سطوح طبقه‌بندی، تفاوت آن‌ها از لحاظ آماری توسط شاخص شانن تنها در سطح رده و در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار مشخص گردید (جدول ۷). بنابراین آماره  $t$  برای سطوح دیگر از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. چنین نتیجه‌ای را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که بین شاخص‌های تنوع در سطوح مختلف رده‌بندی، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (۳).

جدول ۷- مقایسه آماره  $t$  شاخص شانن بر اساس سلسله‌مراتب رده‌بندی خاک (USDA).

Table 7. Comparison of t-statistic of Shannon index based on soil classification hierarchy (USDA).

T	df	Variance Shannon		Shannon Index		Taxa
		لاله‌زار Lalehzar	کرمان Kerman	لاله‌زار Lalehzar	کرمان Kerman	
2.44*	8	0.090	0	0.73	0	رده Order
0.70 <sup>ns</sup>	11	0.090	0.018	0.73	0.97	زیررده Suborder
2.08 <sup>ns</sup>	12	0.090	0.027	0.73	1.45	گروه بزرگ Great Group
2.35 <sup>ns</sup>	10	0.090	0.014	0.73	1.56	زیرگروه Subgroup
1.58 <sup>ns</sup>	22	0.060	0.091	1.49	2.21	فامیل Family

\* در سطح ۹۵ درصد، معنی‌دار است (significant at the 95% level probability)، <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار (non-significant)، df: درجه آزادی (degree of freedom)، T: پارامتر آماری (statistic parameter).

شاخص سیمپسون در تشخیص تنوع قابل‌ملاحظه خاک‌ها کارایی بیشتری دارد.

همچنین مقایسه شاخص سیمپسون در دو منطقه نشان داد که تفاوت در هیچ‌یک از سطوح معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۸). بنابراین شاخص شانن نسبت به

جدول ۸- مقایسه آماره  $t$  شاخص سیمپسون بر اساس سلسله مراتب رده بندی خاک (USDA).

**Table 8. Comparison of t-statistic of Simpson index based on soil classification hierarchy (USDA).**

T	df	Variance Simpson		Simpson Index		Taxa
		لاله زار Lalehzar	کرمان Kerman	لاله زار Lalehzar	کرمان Kerman	
1.98 <sup>ns</sup>	21	0.054	0	0.46	0	رده Order
0.57 <sup>ns</sup>	21	0.054	0.026	0.46	0.62	زیررده Suborder
1.28 <sup>ns</sup>	21	0.054	0.014	0.46	0.80	گروه بزرگ Great Group
1.50 <sup>ns</sup>	21	0.054	0.010	0.46	0.84	زیرگروه Subgroup
0.41 <sup>ns</sup>	21	0.024	0.002	0.89	0.96	فامیل Family

<sup>ns</sup> غیر معنی دار (non-significant), df: درجه آزادی (degree of freedom).

منطقه لاله زار نسبت به کرمان اقلیم مرطوب تر و توپوگرافی شدیدتری دارد که تأییدکننده حضور نیروهای پیش برنده قوی تر و در نتیجه، تأثیر عوامل محیطی در تنوع خاک می باشد. با توجه به نسبت  $\frac{bi}{b}$  بر اساس سطوح رده بندی خاک، تنها در سطح رده عوامل محیطی باعث ایجاد تنوع شده و در بقیه سطوح عوامل ذاتی و درونی در ایجاد تنوع خاک مؤثر هستند (جدول ۹). افزایش تنوع از رده به فامیل خاک نشان دهنده فعال بودن فرآیندهای خودسازمان دهی خاک و مسیرهای تکاملی جزئی و ریزمقیاس می باشد (۲۱).

تغییرات خاکها تحت تأثیر فاکتورها و فرآیندهای خاکساز و ویژگی های غیرذاتی (مانند کوددهی و تناوب زراعی) اتفاق می افتد (۱۲). به منظور بررسی تأثیر فرآیندهای بیرونی و درونی در تکامل و تنوع خاک از نسبت  $\frac{bi}{b}$  (رابطه ۱۴) استفاده شد. این نسبت در کرمان ۱/۲۵۷ به دست آمد که نشان دهنده تأثیر بیش تر عوامل ذاتی در مقایسه با عوامل محیطی در تکامل خاک می باشد و در منطقه لاله زار نسبت  $\frac{bi}{b}$  ۰/۴۶ به دست آمد که نشان می دهد عوامل محیطی نسبت به عوامل ذاتی در تکامل خاک مؤثرتر است.

جدول ۹- نسبت  $bi/b$  در سطوح مختلف رده بندی خاک در دو منطقه کرمان و لاله زار.

**Table 9. Ratio  $bi/b$  based on soil taxonomic levels in Kerman and Lalehzar.**

	رده Order	زیررده Suborder	گروه بزرگ Great Group	زیرگروه Subgroup	فامیل Family
کرمان Kerman	0	1.271	1.631	1.681	1.506
لاله زار Lalehzar	0.452	1.393	1.771	1.761	1.423

### نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر، تفرق فاکتورهای خاکسازي، تنوع خاک‌های دو منطقه کرمان و لاله‌زار و در نهایت کارایی شاخص‌های تنوع در بیان تنوع خاک‌های دو منطقه کاملاً متفاوت بررسی گردید. تنوع و تفرق فاکتورهای خاکسازي اقلیم، توپوگرافی و مواد مادری در دو منطقه کرمان و لاله‌زار به‌ترتیب بر اساس دیاگرام والتر، شاخص گور و شاخص‌های جاکارد و مانلی اثبات رسید. شاخص‌های تفرق خاک در هر دو منطقه مطالعاتی از سطح رده به فامیل خاک روند افزایشی نشان دادند. افزایش شاخص غنا در منطقه کرمان بیش‌تر بود به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تنوع خاک در سطح فامیل خاک در منطقه کرمان مشاهده شد. با توجه به نسبت  $\frac{bi}{b}$ ، تنوع خاک در منطقه کرمان عمدتاً

متأثر از عوامل ذاتی و در منطقه لاله‌زار متأثر از عوامل محیطی می‌باشد. با بزرگ کردن مقیاس و بر اساس سلسله‌مراتب رده‌بندی، مشخص شد که تنها در سطح رده، عوامل محیطی باعث ایجاد تنوع و تفرق خاک‌ها شده‌اند. نتایج نشان داد تنوع خاک در مقیاس کوچک و در سطوح رده‌بندی بالا بیش‌تر تحت‌تأثیر نیروهای پیش‌برنده بیرونی قوی است در مقایسه با سطوح پایین‌تر رده‌بندی که نیروهای ذاتی خودسازمان‌دهی خاک ظهور پیدا می‌کند. همچنین تکنیک‌های ریاضی، آماری و عددی می‌توانند برای برطرف کردن عدم قطعیت و پیچیدگی ذاتی سیستم‌های خاک به‌کار گرفته شود.

### منابع

1. Abbaszadeh Afshar, F., Ayoubi, Sh., and Jafari, A. 2018. The extrapolation of soil great groups using multinomial logistic regression at regional scale in arid regions of Iran. *Geoderma*. 315: 36-48.
2. Abbaszadeh Afshar, F., Ayoubi, Sh., Jafari, A., and Khademi, H. 2015. Considering soil diversity index and soil-landscape evolution relationship in the arid region of Bam, southeast Iran. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 52: 71-91. (In Persian)
3. Esfandiarpour Borujeni, E., 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: 100-114.
4. 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.
5. Geographical Organization of Ministry of Defense and Armed Forces. 2003. Culture of settlements geography of Kerman province. 1: 7-8.
6. Gower, J. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*. 27: 857-874.
7. Ibanez, J.J., Caniego, J., San Jose, F., and Carrera, C. 2005. Pedodiversity-area relationships for islands. *Ecological Modelling*. 182: 257-269.
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. Ibanez, J.J., De-Alba, S., Bermudez, F.F., and Garcia-Alvarez, A. 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena*. 24: 215-232.
10. Iran Meteorological Organization, 2015. <http://www.irimo.ir/eng/index.php>.
11. Jaccard, P. 1912. The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytologist*. 11: 37-50.
12. Jafari, M., and Sarmadian, F. 2003. Basics of Soil Classification. Tehran Univ. Press. (In Persian)



13. Maazollahi, M. 2009. Study of soil formation and evolution in a climotoposequence in Lalehzar - Kerman region. Soil science M.Sc. Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, 145p. (In Persian)
14. Magurran, A.E. 1988. Why diversity? Ecological diversity and its measurement, Springer, Pp: 1-5.
15. Martin, M.A., and Rey, J.M. 2000. On the role of Shannon's entropy as a measure of heterogeneity. *Geoderma*. 98: 1-30.
16. McBratney, A.B., and Minasny, B. 2007. On measuring pedodiversity. *Geoderma*. 141: 149-154.
17. Mueller, T.G., Pusuluri, N.B., Mathiasd, K.K., Cornelius, P.I., Barnhisel, R.I., and Shearer, S.A. 2004. Map quality for ordinary and inverse distance weighted interpolation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 2042-2047.
18. Philips, J.D., and Marion, D. 2005. Biomechanical effects, lithological variations and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma*. 124: 73-89.
19. Phillips, J.D. 2001. Divergent evolution and the spatial structure of soil landscape variability. *Catena*. 43: 101-113.
20. Phillips, J.D. 2005. Weathering instability and landscape evolution. *Geomorphology*. 67: 255-272.
21. 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.
22. Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Technic. J.* 27: 379-423.
23. Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*. 163: 688.
24. Taylor, L.R. 1978. Bates, Williams, Hutchinson - a variety of diversities. P 1-28, In: I.A. Mound and N. Warloff (Eds.), *Diversity of insect Faunas*. Ninth Symposium of the Royal Entomological Society. Blackwell, Oxford.
25. White, R.E. 2013. *Principles and Practice of Soil Science: the soil as a natural resource*, John Wiley & Sons.



---

## The effect of environmental and pedogenic factors on soil diversity in Kerman and Lalehzar regions

S. Keshtkar<sup>1</sup>, \*A. Jafari<sup>2</sup> and M.H. Farpoor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 06/20/2017; Accepted: 04/10/2018

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Study of soil diversity leads to an increase of awareness of the conditions and factors creating of diversity in the region. During soil evolution, soil development occurred by progressive and regressive pedogenic pathways and exogenic and endogenic factors, processes and conditions and consequently, it leads to the formation of diversity soils. Effect and intensity of exogenic (environmental) and endogenic (pedogenic processes) factors on soil diversity is distinct in different environments. This study explores the efficiency of diversity indices in expression of soil diversity in environments with external and internal factors.

**Materials and Methods:** The landforms differentiation was done by Google Earth Software and field excursion and then, 23 profiles were drilled, described and sampled. Some soil properties including pH, EC, CEC, soil texture, percentage of gypsum, lime and organic matter were measured and the soils were classified by using soil temperature and moisture regime and USDA (2014). Separation of two study areas; Kerman and Lalehzar, was done by using digital elevation map and hydrological properties and also, ENVI and ARCMAP softwares. Based on the indices of Domartin, Gower and Jaccard, dissimilarity of soil forming factors of climate, topography and parent material was identified in Kerman and Lalehzar regions, respectively. The diversity indices of richness, evenness, Shannon and Simpson were calculated. Then, comparison of soil diversity in two study regions was carried out by using the classical statistics in a specified confidence limit. Finally, the relationship between sample size and landforms area was used for identification of the relative importance of internal and external resources in soil diversity.

**Results:** The results showed the presence of different and diverse soils in both areas. Sharp difference of soil forming factors climate, topography and parent material has led to formation of different soils in two study areas. Histosols and Mollisols are locally composed in Lalehzar region. The results showed that soil diversity increase according to soil taxonomy hierarchy in USDA system. In different landforms, the maximum diversity was observed in piedmont plain and in soil family level. Despite the ability of Shannon and Simpson indices to display soil diversity based on taxonomic hierarchy, Simpson index has statistically more performance than to Shannon index. The Simpson diversity index was significantly difference in two study areas. The ratio of  $\frac{b_i}{b}$  obtained 1.26 for Kerman and 0.46 for Lalehzar, that is stated the effect of inherent and environmental factors on soil evolution in Kerman and Lalehzar, respectively.

**Conclusion:** In large spatial scale, the effect of environmental factors on soil evolution is clearer than inherent factors and with decreasing of spatial scale, the effect of inherent factors is specified. Diversity indices are powerful in the presentation of quantitatively soil diversity and provide useful information for soil mapping and optimum soil management.

**Keywords:** Landforms, Diversity indices, Internal factors, External factors

---

\* Corresponding Author; Email: a.jafari@uk.ac.ir