

بررسی رابطه شاخص تنوع و تفرق خاک‌ها با تکامل خاک در اقلیم نیمه‌خشک استان چهارمحال و بختیاری

مجتبی زراعت پیشه^{۱،۲}، شمس‌الله ایوبی^{۱*}، حسین خادمی^۱ و اعظم جعفری^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶)

چکیده

زمین‌نماها مجموعه‌ای از واحدهای اراضی متفاوت با اندازه، شکل و آرایش مکانی هستند که دائم تحت تأثیر وقایع طبیعی و فعالیت‌های انسانی قرار دارند. لزوم درک پویایی و نایکنواختی زمین‌نماها و تغییرات محیطی اهمیت بسزایی دارد. به‌منظور آنالیز کمی و تفسیر عامل‌های مؤثر بر تغییرات محیط و تنوع اراضی، شاخص‌های تنوع برای تحلیل زیست‌بوم‌ها استفاده می‌شود. در این مطالعه، روابط بین تکامل خاک و واحدهای ژئومورفیک با استفاده از بررسی شاخص‌های تفرق و تنوع خاک در بخشی از اراضی نیمه‌خشک استان چهارمحال و بختیاری مورد مطالعه قرار گرفت. در محدوده مورد مطالعه سه رده مالی‌سولز، اینسپتی‌سولز و انتی‌سولز شناسایی شده است. تکامل خاک در منطقه مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر پستی و بلندی، مواد مادری و همچنین در برخی از مناطق سطح آب زیرزمینی است به‌نحوی که در مناطق با توپوگرافی زیاد تکامل حداقل و در مناطق مسطح و نسبتاً پایدار خاک‌های متکامل مشاهده شده است و تأثیر واحدهای ژئومورفیک به‌وضوح مشخص است. شاخص‌های تنوع و تفرق با کاهش سطوح سلسله مراتب افزایش می‌یابند و روابط به‌دست آمده روابط غیرخطی هستند. رابطه مثبت و غیرخطی بین شاخص‌های تنوع و تفرق مؤید نظریه سیستم دینامیک غیرخطی در خاک‌های مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: تکامل خاک، نقشه ژئومورفولوژی، شاخص‌های تنوع، توپوگرافی، زمین‌نما

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. گروه علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ayoubi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

طی دوره‌های زمین‌شناسی، فرایندهای متفاوتی مانند حرکت‌های تکتونیکی و توالی فرسایش و رسوب اثر قابل ملاحظه‌ای بر طبیعت تکاملی زمین‌نما گذاشته است (۵ و ۳۲). خاک‌ها همواره تحت تأثیر سیکل‌های خاک‌سازی پیش‌برنده و پس‌برنده، فاکتورها، فرایندها و شرایط دینامیک درون‌زا و برون‌زای خاک‌ها؛ تکامل می‌یابند. به عبارت دیگر، توسعه خاک‌ها تابعی از سیکل‌های خاک‌ساز واگرا (تکامل خاک باعث افزایش تنوع خاک می‌شود) و همگرا (تکامل خاک باعث افزایش یکنواختی خاک می‌شود) است (۲۷). تنوع خاک ممکن است در یک سطح طبقه‌بندی و یا از هر نظر دیگر مورد توجه و بررسی قرار گیرد، ایبازن و همکاران (۱۴) تنوع خاک را به تاکسونومی - طبقه‌بندی (آماری) و کلاس‌های تابعی (قابلیت اراضی) متمایز کردند. به منظور مطالعه تنوع خاک‌ها از شاخص‌های متفاوتی استفاده می‌شود. شاخص‌های تنوع زمین‌ریخت‌ها و خاک‌ها متشکل از K -آنتروپی شانن (Shannon's Entropy)، غنای گونه‌ها و فراوانی نسبی است. مطالعات رابطه خاک-زمین‌نما، مفاهیمی را برای درک توزیع خاک، تشکیل خاک و توصیف تغییرپذیری خاک به وجود می‌آورند (۲۶).

ایبازن (۱۳) بر پایه نقشه‌های خاک موجود، شاخص شانن، غنا و یکسانی گروه‌های خاک اصلی، تنوع خاک در داخل هر قاره را تعیین کرد. تومانیان و همکاران (۳۱) در مطالعه تنوع خاک و پیدایش خاک در دره زاینده‌رود از شاخص‌های تنوع برای بررسی خاک و زمین‌نما استفاده کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند، زمانی که سطوح سلسله مراتبی طبقه‌بندی و ژئومورفیک کاهش می‌یابد، تنوع خاک افزایش می‌یابد. همچنین بیان کردند، افزایش K -آنتروپی خاک و زمین‌نما در طول زمان، فرضیه تکامل واگرایی را تأیید می‌کند.

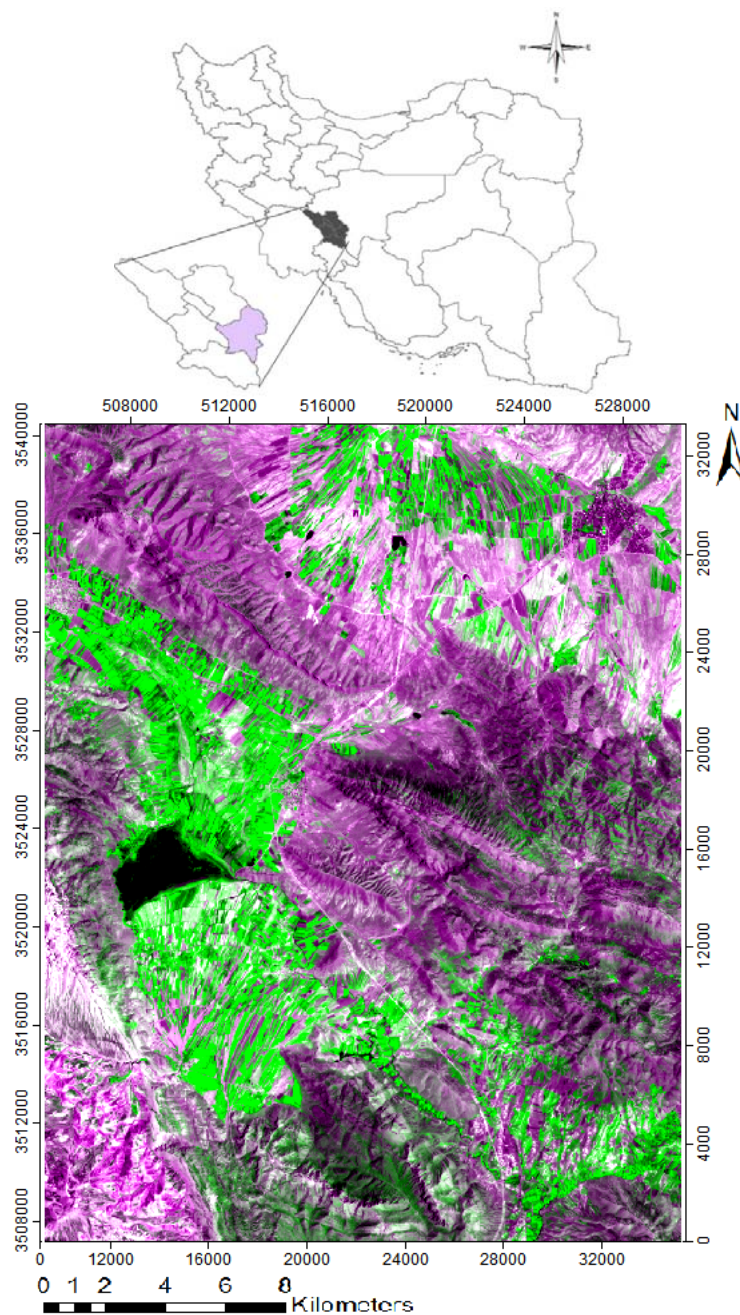
اسفندیارپور و همکاران (۸) در بررسی تنوع خاک نتیجه گرفتند شاخص تفرق شانن از سطح رده به سمت فامیل افزایش می‌یابد و تنها در سطح فامیل تفاوت معنی‌دار بین میانگین تفرق خاک‌های منطقه نمونه و تعمیم وجود دارد. در مطالعه‌ای دیگر

جعفری و همکاران (۱۵) به بررسی شاخص‌های تنوع در یک توالی سلسله مراتبی از سطوح رده‌بندی خاک و واحدهای زمین‌ریختی در منطقه زرنند کرمان پرداختند و نتیجه گرفتند که از سطح رده به فامیل خاک تنوع افزایش می‌یابد که دلیل آن را فعال بودن فرایندهای درون‌زا از قبیل خود سازماندهی خاک بیان کردند. آنها همچنین بیان کردند با افزایش تنوع خاک‌ها خلوص نقشه کاهش می‌یابد و بیشترین خلوص و کمترین آنتروپی، در سطح رده و کمترین خلوص و بیشترین آنتروپی، در سطح زیرگروه مشاهده می‌شود. فلاحتی مروست (۹) در بررسی قابلیت تصاویر گوگل ارث در تفکیک‌پذیری ویژگی‌های خاک و کلاس‌های خاک نتیجه گرفت که شاخص‌های تنوع خاک در خلال یک سلسله مراتب دو سیستم طبقه‌بندی آمریکایی (تاکسونومی) و سیستم مرجع جهانی از سطوح بالا به پایین افزایش می‌یابد و سطوح ژئومورفیک $Pi111$ نسبت به $PI111$ متنوع‌تر است. نتایج عباس‌زاده و همکاران (۱) در بررسی شاخص‌های تفرق خاک و ارتباط تکامل خاک زمین‌نما نشان دادند که تشکیل خاک و خصوصیات آنها تحت تأثیر موقعیت ژئومورفیکی آنها هستند. همچنین دریافتند که شاخص‌های تفرق در هر دو سطح سلسله مراتب طبقه‌بندی و ژئومورفیک با کاهش سطح سلسله مراتب افزایش پیدا می‌کند و این افزایش شاخص‌ها نشان‌دهنده تکامل خاک از نوع واگرا است. تنوع خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به طور عمده متأثر از پستی و بلندی و مواد مادری است، ولی تاکنون توجه کافی به بحث تنوع خاک‌ها در این مناطق به صورت ویژه نشده است. هدف از این پژوهش، مطالعه تنوع خاک و ارتباط خاک با زمین‌نما با استفاده از محاسبه شاخص‌های تنوع در یک توالی سلسله مراتبی از سطوح رده‌بندی خاک و واحدهای زمین‌ریختی در منطقه نیمه‌خشک شهرستان بروجن واقع در استان چهارمحال و بختیاری است.

مواد و روش‌ها

توصیف مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بین طول‌های جغرافیایی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در بخشی از اراضی استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان شهرکرد و بروجن

۱). میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا ۲۰۰۰ متر است. میانگین دمای سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۲۰ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی زیریک (Xeric) و رژیم حرارتی خاک مزیک

۵۰° ۰۰' و ۵۱° ۳۲' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱° ۷۰' و ۳۲° ۰۰' شمالی واقع در استان چهارمحال و بختیاری به مساحت ۸۶۰ کیلومتر مربع در بخشی‌هایی از شهرستان‌های شهرکرد و بروجن در زاگرس مرکزی ایران قرار دارد (شکل

پروفیل‌ها تا عمق ۱۵۰-۱۰۰ سانتی‌متر حفر و بر اساس روش طبقه‌بندی خاک آمریکا تا سطح زیرگروه تشریح و طبقه‌بندی شد (۲۹). شکل (۲) توزیع نقاط نمونه‌برداری شده توسط روش cLHS در نقشه ژئومورفولوژی را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی شامل توزیع اندازه ذرات (۴)، کربنات کلسیم معادل خاک (۲۵) و کربن آلی خاک (۲۳) اندازه‌گیری شدند.

محاسبه شاخص‌های تنوع خاک

شاخص‌های تنوع خاک مشتمل بر شاخص آنتروپی شانن، غنای گونه‌ها و یکسانی برای طبقات ژئومورفیک محاسبه می‌شوند. در هر طبقه زمین‌نما، شاخص‌های زمین‌نماها با همدیگر جمع شده و تشکیل یک شاخص کل در هر طبقه را می‌دهند. برای محاسبه شاخص تنوع در هر زمین‌نما، تعداد مقاطع متعلق به آن (ni) و کل مقاطع مطالعه شده در منطقه (N) در نظر گرفته می‌شود.

شاخص غنای گونه‌ها

تعداد پدیده‌ها و اجزا (مثلاً تعداد فامیل در یک اکوسیستم با محدوده تعریف شده و سطح ژئومورفیک) به عنوان غنای گونه‌ها در نظر گرفته خواهد شد.

شاخص‌های نسبی

شاخص‌های تنوع بر اساس فراوانی نسبی طبقه خاک، نسبت به کل نقاط نمونه‌برداری شده در واحد ژئومورفیک محاسبه می‌شوند (۱۹). یکسانی اجزا نشانگر نسبت فراوانی اجزا است. اساساً وقتی یکسانی اجزا دارای احتمالی واحد باشند و غنای اجزا مورد مقایسه با هم برابر باشد، تنوع حداکثر خواهد بود (۱۹). تفرق، شاخصی است که در برگیرنده هر دو شاخص غنای گونه‌ها و یکسانی است و وجود شاخص‌های غنای گونه‌ها و یکسانی بزرگ‌تر، دلیلی بر تفرق بیشتر است (۱۰). شاخص شانن (H') یکی از رایج‌ترین شاخص‌های فراوانی نسبی است (۱۷).

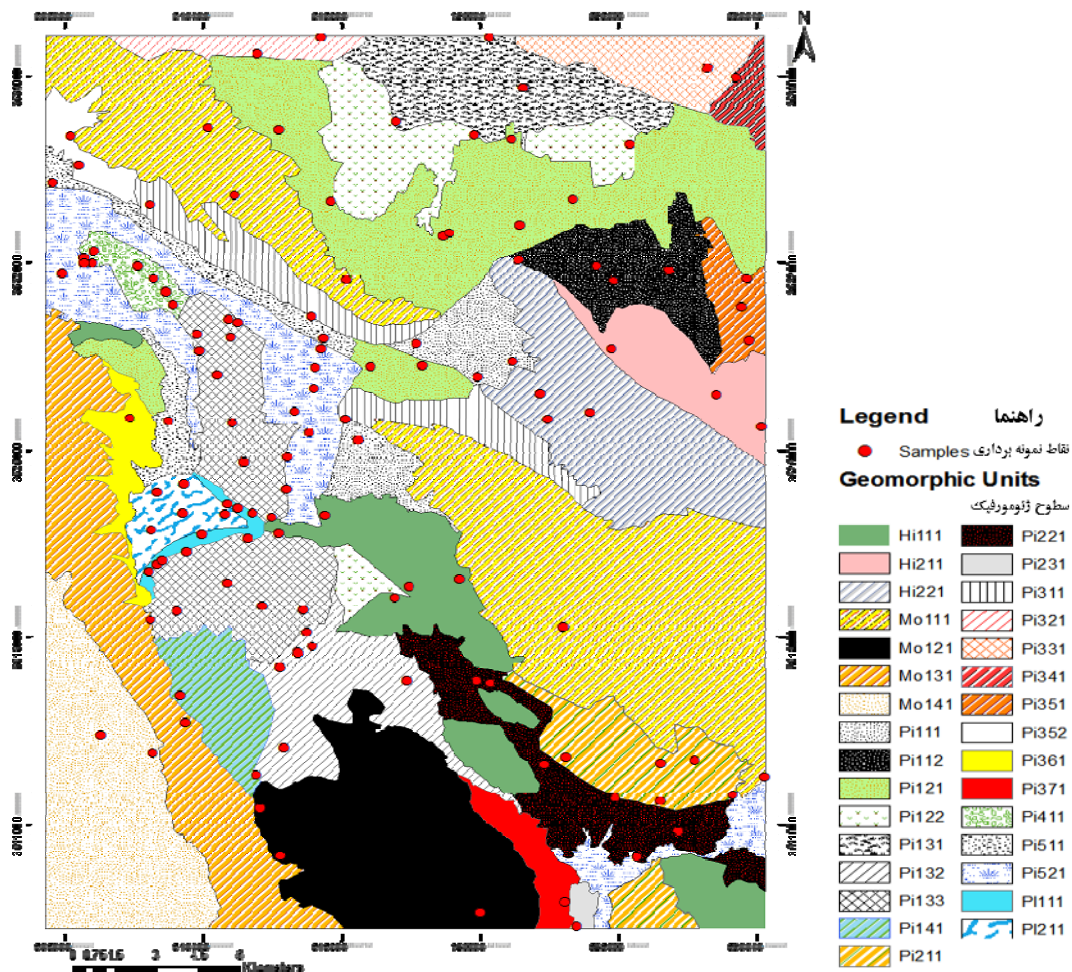
است. کاربری‌های عمده اراضی در منطقه شامل مرتع، دیم، کشت آبی و آیش است. پوشش عمده مراتع گون و بروموس است. کشت دیم عمدتاً به گندم پاییزه اختصاص دارد و کشت آبی آن عمدتاً یونجه است. در بررسی‌های اولیه صورت گرفته در محدوده مورد مطالعه سه رده مالی سولز، اینسپتی سولز و آنتی سولز شناسایی شده است (۲۹). زمین‌نماهای اصلی در این منطقه شامل کوه، تپه، پیدمنت و اراضی پست است.

تهیه و تفسیر نقشه ژئومورفولوژی منطقه

نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ و همچنین با به کارگیری تصاویر گوگل ارث و روش بکاربرده شده توسط فلاح و مروست تهیه شد (۹). واحدهای ژئومورفیک از طریق سلسله مراتبی که توسط مؤمنی و زینک معرفی شد، تفکیک و شناسایی شدند، در این سلسله مراتب ژئومورفیک از چهار سطح شامل زمین‌نما (landscape)، زمین‌ریخت (Landform)، سنگ‌شناسی (Lithology) و سطوح ژئومورفیک (Geomorphic Surface) تشکیل شده است (۲۱). پس از ترسیم نهایی واحدهای ژئومورفیک، مرز واحدها و سطوح ژئومورفیک با بازبازرسی صحرائی مورد بررسی قرار گرفت و در مواردی اصلاحاتی در مرز واحدها انجام شد. در نهایت نقشه ژئومورفولوژی منطقه که در برگیرنده ۳۱ واحد ژئومورفیک است، تهیه شد.

روش نمونه‌برداری مربع لاتین هایپرکیوب شرطی و نمونه برداری صحرائی

در این مطالعه از طرح نمونه‌برداری مربع لاتین هایپرکیوب شرطی (Conditioned Latin Hypercube Sampling) با استفاده از نقشه‌های رقومی زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اطلاعات استخراج شده کمکی از تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع برای تعیین محل ۱۲۵ پروفیل استفاده شد (۳۴).



شکل ۲. توزیع نقاط نمونه‌برداری شده در محدوده مورد مطالعه همراه با نقشه ژئومورفولوژی

شرط زیر برقرار باشد:

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

یکسانی، بیانگر فراوانی نسبی هر کدام از پدیده‌های موجود (مثلاً مساحت نسبی اشغال شده توسط هر طبقه خاک) است، شاخص یکسانی به طریق زیر محاسبه می‌شود:

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

که S غنای گونه‌ها یعنی تعداد اجزا داخل در هر طبقه یا واحد نقشه است. تعداد گونه‌های خاک برای محاسبه و ارزیابی شاخص‌های تنوع تاکسونومیکی خاک‌ها در طبقه‌های سلسله مراتب ژئومورفیک این مطالعه استفاده شدند. روابط تنوع-سطح و تنوع-تعداد نمونه برای نشان دادن چگونگی تغییر تنوع

شاخص تنوع زمین‌ریخت، از مقیاس زمین‌نما تا سطح ژئومورفیک قابل تغییر و محاسبه است. شاخص شانون به صورت معادله زیر تعریف می‌شود (۲۷):

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

که H' نشانگر انتروپی یا تنوع جامعه و p_i نسبت افراد جامعه در واحد نام. در محاسبات به جای p_i نسبت n_i/N استفاده شده است. N_i تعداد و فراوانی اجزا (مقاطع خاک) متعلق به واحد نام بوده و N تعداد کل اجزا موجود در مطالعه است. مقدار H' معمولاً بین ۱/۵ و ۳/۵ است و به ندرت بالای ۴/۵ است. شاخص غنا وقتی تمام اجزا در واحد دارای احتمالی برابر یا Hmax، برای محاسبه شاخص یکسانی E استفاده می‌شود. اگر

زیادی ندارد. همچنین بافت خاک به صورت نسبی سنگین تر می شود به طوری که خاک های واقع شده در واحد کوه سبک ترین کلاس بافتی را دارند و اراضی پست به علت وجود حوضچه رسوبی سنگین ترین کلاس بافتی را دارند. ضریب تغییرات که معیاری از تغییرپذیری نسبی فاکتورها است، برای کربن آلی در زمین نمای پیدمونت بیشترین و برای اندازه ذرات سیلت در زمین نمای تپه کمترین میزان است. به طور کلی بیشترین ضریب تغییرات برای پارامترهای مورد بررسی مربوط به زمین نمای پیدمونت و اراضی پست است. علت این عامل می تواند به تنوع زیاد واحدهای ژئومورفیک و در نتیجه تنوع کلاس های خاک در این زمین نما ارتباط داده شود.

زمانی که منحنی توزیع فراوانی داده ها کاملاً متقارن باشد، چولگی آن برابر صفر می شود. انحراف از وضعیت تقارن منجر به افزایش یا کاهش چولگی می شود. علامت چولگی نیز مهم بوده و بیانگر برای چولگی است. چولگی مثبت بیانگر تجمع داده ها در سمت چپ منحنی توزیع بوده و یا به عبارت دیگر میانه کمتر از میانگین است. عکس مطلب فوق نیز صادق است. بنابراین چولگی انحراف میانگین داده ها از میانه را نشان می دهد. باید توجه کرد که وجود داده های پرت در مجموعه داده ها چولگی را تحت تأثیر خود قرار می دهد. هیستوگرام توزیع فراوانی غیر نرمال اغلب دارای کشیدگی به سمت راست است. کشیدگی به سمت راست ناشی از وجود تعداد محدودی متغیر با ارزش زیاد برای هر ویژگی خاک است.

در منطقه مورد مطالعه، چهار واحد زمین نما شامل کوه، تپه، پیدمونت و اراضی پست تشخیص داده شده است. زمین ریخت های مهم شناسایی شده شامل مخروط افکنه، مخروط افکنه بریده بریده، پدیدمونت، رخنمون سنگی، تپه های فرسایش یافته و توسعه یافته، دشت دامنه ای و رودخانه ای، اراضی مرطوب و تالاب است. تفکیک سطوح ژئومورفیک متفاوت در مرحله تفسیر عکس های هوایی بر اساس دانش ژئومورفولوژی و اطلاعات قابل درک از روی عکس های هوایی منطقه بود و طی بازدیدهای صحرایی بر اساس شیب، میزان

خاک بر اساس مقیاس مکانی و شدت نمونه برداری نیز مورد تجزیه و تحلیل واقع می شود.

یکی دیگر از شاخص های فراوانی نسبی، شاخص اونیل (O'Neill Index) است. شاخص اونیل به منظور بررسی انحراف از شاخص شانن محاسبه شده است که در محاسبه آن حداکثر آنتروپی مورد استفاده قرار می گیرد (۲۴).

$$D = \ln(S) + \sum_i^S p_i * \ln(p_i) \quad (4)$$

S غنای گونه ها در هر واحد و p_i پارامتر استفاده شده در محاسبه شاخص شانن است. دو نمونه دیگر از شاخص های غنا، شاخص مارگالف (۱۸) و شاخص منهینیک (۳۳) هستند که برای محاسبه آنها از تعداد گونه و مجموع تمام گونه ها استفاده می شود. شاخص مارگالف (Dmg) و شاخص منهینیک (Dmn) به ترتیب با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$Dmg = \frac{(S-1)}{\ln N} \quad (5)$$

$$Dmn = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

در این معادلات، S تعداد گونه (به عنوان مثال، نوع خاک) و N تعداد کل گونه است. هر دو شاخص بین صفر تا بی نهایت متغیر هستند (۱۸ و ۳۳).

نتایج و بحث

تکامل خاک - زمین نما

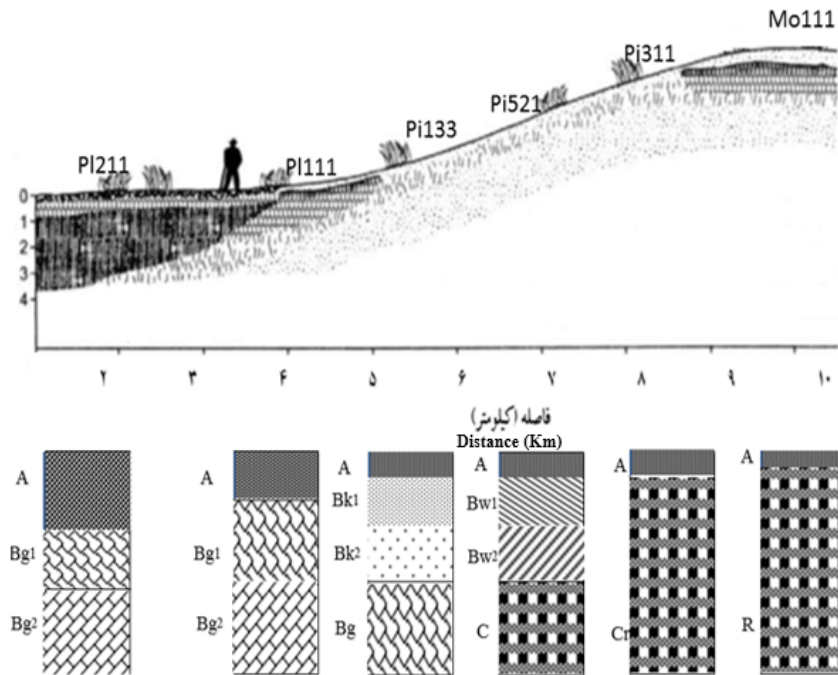
توصیف آماری برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری شده در افق های سطحی نمونه های خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول برخی از مهم ترین مؤلفه های توصیف آماری شامل تعداد نمونه، میانگین، ضریب تغییرات، واریانس، انحراف معیار، میانه، حداکثر، حداقل، کشیدگی و چولگی ارائه شده است. نتایج نشان می دهد میانگین درصد کربن آلی از واحد زمین نمای کوه به سمت واحد زمین نمای اراضی پست کاهش می یابد. به دلیل مواد مادری آهکی تغییرات کربنات کلسیم با واحدهای اراضی تغییر

جدول ۱. توصیف آماری برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در افق‌های سطحی به تفکیک واحدهای زمین‌نما در منطقه مورد مطالعه

| متغیرها | تعداد داده | میانگین | ضریب تغییرات | واریانس | انحراف معیار | میانه | حداکثر | حداقل | چولگی | کشیدگی |
|---------------------------|------------|---------|--------------|---------|--------------|-------|--------|-------|-------|--------|
| کوه Mountain | | | | | | | | | | |
| کربن آلی (%) | ۱۲ | ۰/۵۹ | ۳۰/۸۲ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۵۷ | ۰/۹۵ | ۰/۳۶ | ۰/۸۳ | ۰/۰۴ |
| آهک (%) | ۱۲ | ۳۸/۵۸ | ۲۲/۸۳ | ۷۷/۵۶ | ۸/۸۱ | ۳۵/۹۵ | ۵۶/۰۰ | ۲۵/۳۰ | ۰/۶۴ | -۰/۱۸ |
| شن (%) | ۱۲ | ۲۵/۶۷ | ۳۱/۴۹ | ۶۵/۳۳ | ۸/۰۸ | ۲۵/۰۰ | ۳۹/۰۰ | ۱۲/۰۰ | -۰/۰۶ | -۰/۶۸ |
| سیلت (%) | ۱۲ | ۳۹/۱۷ | ۲۴/۵۸ | ۹۲/۷۰ | ۹/۶۳ | ۳۸/۰۰ | ۵۸/۰۰ | ۲۶/۰۰ | ۰/۷۲ | -۰/۱۰ |
| رس (%) | ۱۲ | ۳۵/۱۷ | ۱۸/۱۰ | ۴۰/۵۲ | ۶/۳۷ | ۳۲/۵۰ | ۵۲/۰۰ | ۳۰/۰۰ | ۲/۰۰ | ۴/۰۸ |
| تپه Hill | | | | | | | | | | |
| کربن آلی (%) | ۱۱ | ۰/۹۵ | ۳۳/۰۱ | ۰/۰۹ | ۰/۳۱ | ۰/۸۳ | ۱/۵۷ | ۰/۵۲ | ۰/۷۷ | -۰/۰۲ |
| آهک (%) | ۱۱ | ۲۴/۱۴ | ۳۹/۳۹ | ۹۰/۴۵ | ۹/۵۱ | ۲۳/۵۶ | ۴۲/۳۰ | ۱۱/۳۰ | ۰/۳۵ | -۰/۳۴ |
| شن (%) | ۱۱ | ۱۸/۹۱ | ۲۳/۱۱ | ۱۹/۰۹ | ۴/۳۷ | ۱۸/۰۰ | ۲۸/۰۰ | ۱۴/۰۰ | ۰/۹۰ | ۰/۳۰ |
| سیلت (%) | ۱۱ | ۴۰/۰۰ | ۱۱/۹۴ | ۲۲/۸۰ | ۴/۷۷ | ۴۱/۰۰ | ۴۹/۰۰ | ۳۲/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۲۵ |
| رس (%) | ۱۱ | ۴۱/۰۹ | ۱۳/۳۵ | ۳۰/۰۹ | ۵/۴۹ | ۴۲/۰۰ | ۵۰/۰۰ | ۳۱/۰۰ | -۰/۷۲ | ۰/۶۵ |
| پیدمنت Piedmont | | | | | | | | | | |
| کربن آلی (%) | ۹۱ | ۱/۲۸ | ۹۰/۱۳ | ۱/۳۳ | ۱/۱۵ | ۰/۸۵ | ۵/۴۰ | ۰/۱۸ | ۲/۱۰ | ۴/۳۸ |
| آهک (%) | ۹۱ | ۳۶/۳۹ | ۳۰/۵۳ | ۱۲۳/۴۳ | ۱۱/۱۱ | ۳۵/۰۰ | ۷۲/۵۰ | ۱/۵۰ | ۰/۴۰ | ۱/۸۴ |
| شن (%) | ۹۱ | ۲۱/۵۰ | ۴۲/۶۰ | ۸۳/۹۴ | ۹/۱۶ | ۲۰/۰۰ | ۵۳/۸۸ | ۴/۰۰ | ۱/۱۸ | ۲/۰۸ |
| سیلت (%) | ۹۱ | ۴۱/۲۹ | ۱۹/۱۰ | ۶۲/۲۲ | ۷/۸۸ | ۴۰/۰۰ | ۶۱/۰۰ | ۲۴/۰۰ | ۰/۴۶ | ۰/۲۶ |
| رس (%) | ۹۱ | ۳۷/۰۵ | ۲۳/۶۳ | ۷۶/۶۹ | ۸/۷۵ | ۳۸/۰۰ | ۵۷/۰۰ | ۱۵/۹۶ | -۰/۲۵ | ۰/۱۲ |
| اراضی پست Low land | | | | | | | | | | |
| کربن آلی (%) | ۱۱ | ۴/۳۶ | ۴۶/۸۱ | ۴/۱۷ | ۲/۰۴ | ۳/۳۳ | ۸/۸۸ | ۱/۵۷ | ۱/۰۹ | ۱/۱۴ |
| آهک (%) | ۱۱ | ۳۷/۷۸ | ۱۶/۰۳ | ۳۶/۶۹ | ۶/۰۶ | ۳۷/۵۰ | ۵۳/۸۰ | ۲۸/۵۰ | ۱/۷۶ | ۵/۸۹ |
| شن (%) | ۱۱ | ۲۲/۶۱ | ۴۱/۱۵ | ۸۶/۵۲ | ۹/۳۰ | ۳۰/۰۰ | ۳۰/۰۰ | ۷/۸۴ | -۰/۷۱ | -۱/۳۲ |
| سیلت (%) | ۱۱ | ۲۴/۸۹ | ۹۳/۸۸ | ۵۴۵/۹۶ | ۲۳/۳۷ | ۶/۰۰ | ۶۱/۳۶ | ۶/۰۰ | ۰/۶۳ | -۱/۵۶ |
| رس (%) | ۱۱ | ۵۲/۵۱ | ۲۷/۸۲ | ۲۱۳/۳۵ | ۱۴/۶۱ | ۶۴/۰۰ | ۶۴/۰۰ | ۲۸/۵۲ | -۰/۷۷ | -۱/۲۱ |

واحد زمین‌نما پوشش خاکی ضعیف است و تکامل پروفیلی کمی رخ داده است. تعداد زیادی از پروفیل‌های مشاهده شده در واحد زمین‌نمای کوه در زیرگروه Lithic Xerorthents و همچنین در واحد زمین‌نمای تپه در زیرگروه‌های Lithic Xerorthents، Typic Xerorthents و در قسمت‌های پایدارتر Typic Haploxerepts، Xerorthents

تجمع مواد دانه‌ریز و دانه‌درشت، میزان رطوبت خاک و سطح آب زیرزمینی بوده و در نهایت ۳۱ واحد ژئومورفیک تشخیص و جداسازی شد (شکل ۲). بخش عمده منطقه به دلیل واقع شدن در رشته کوه‌های زاگرس شامل زمین‌نما کوه و تپه است، به طوری که بیش از ۴۵ درصد مساحت کل منطقه را در برمی‌گیرد. در این دو



شکل ۳. طرح قیاسی واحدهای ژئومورفیک در بخش غربی منطقه مورد مطالعه (برش عرضی منطقه شامل زمین‌نماها و برخی از پروفیل‌های تشریح شده).

های متأثر از آب سطحی یا زیرزمینی بوده است و در زیرگروه‌های Aquic Haploxerepts و Typic Endoaquolls رده‌بندی شده‌اند (۲۹).

مهم‌ترین فرایند تأمین کننده مواد مادری خاک در منطقه مورد مطالعه شامل فرایندهای فرسایشی و رسوبی، واریزه‌ای و آبرفتی است. به منظور درک بهتر، بخشی از منطقه مورد مطالعه که شامل تنوع مناسبی از زمین‌نماها و واحدهای ژئومورفیک شناسایی شده است، طرح شماتیکی برش عرضی به همراه پروفیل‌های حفر شده در شکل (۳) ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌ساختی و زمین‌شناسی جزء ایران مرکزی بوده و در طول دوران زمین‌شناسی از حوادث و رویدادهای ایران مرکزی بی‌تأثیر نبوده است (۲۲). بنابراین، تشکیل و تکامل زمین با روند تکامل ایران مرکزی همخوانی دارد، بدین معنی که در اثر فعالیت‌های کوهزایی (Orogeny) انتهای کرتاسه (Cretaceous) تا میوسن (Miocene) در ایران مرکزی و در نتیجه بالاروی‌ها و چین‌خوردگی‌های این دوران،

تپه‌ها رده نسبتاً متکامل Typic Calcixerepts مشاهده شده است. واحدهای زمین‌نمای پیدمنت به‌طور عمده در محدوده‌های با شیب بسیار کم قرار گرفته‌اند و عرصه‌های مناسبی برای کشاورزی آبی و دیم را فراهم کرده است. این واحد در مجموع در کل منطقه بیش از ۵۰ درصد را اشغال کرده است. پروفیل‌های مشاهده شده در این واحد شامل زیرگروه‌های Aquic Calcixerepts، Aquic Petrocalcic Calcixerepts، Lithic Xerorthents، Haploxerepts، Typic Haploxerepts، Typic Endoaquolls، Typic Calcixerepts و Typic Xerorthents هستند. این واحد زمین‌نما به دلیل اینکه در برگزیده واحدهای متنوع زمین‌ریخت است، دامنه وسیعی از زیرگروه‌ها را شامل شده است و دارای بیشترین تنوع است. فرورفتگی زمین‌شناسی و شیب عمومی منطقه به سمت غرب-جنوب غرب باعث تشکیل واحد زمین‌نما اراضی پست در قسمت غرب منطقه مورد مطالعه شده است. این واحد زمین‌نما به‌عنوان پست‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است. تمامی پروفیل‌های مشاهده شده در این محدوده، خاک

واحد هم صادق است با این تفاوت که بر میزان رسوبات دانه درشت مانند سیلت و شن افزوده شده است و مقدار تجمع کربنات کلسیم افزوده شده است (شکل ۳).

با فاصله از تالاب و همراه با افزایش جزئی شیب اراضی، واحدهای خاک در این بخش در واحد زمین‌نمای پیدمونت قرار می‌گیرند (شکل ۳، واحد ژئومورفیک Pi۱۳۳، Pi۱۵۲۱ و Pi۳۱۱). واحد ژئومورفیک Pi۱۳۳ در زمین‌ریخت مخروط‌افکنه واقع شده است. این خاک‌ها کمتر متأثر از آب زیرزمینی بوده و همچنین به دلیل موقعیت پایدار، به دلیل شیب نسبتاً کم، فرصت رسوب کربنات کلسیم انتقال یافته از افق‌های فوقانی فراهم شده و افق‌های تحتانی کلسیت (Bk) را تشکیل داده‌اند (شکل ۳). مشاهده افق‌های کلسیک و پتروکلسیک در سطح ژئومورفیک مخروط‌افکنه‌ها، بیانگر سطوح پایدار و قدیمی است. زمین‌ریخت‌هایی که حرکت عمودی و توزیع آب خاک را کنترل می‌کنند، تعیین کننده تکامل خاک در طول زمان هستند (۳۰). در این پروفیل شاهد سطح ژئومورفیک Pi۱۳۳ با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی تا حدی پایین هست در اعماق پروفیل سبب بروز شرایط آب‌گرفتگی شده است (افق Bg) و کلاس خاک Aquic Calcixerepts را ایجاد کرده است. در مقایسه با پروفیل‌های واقع شده در واحد زمین‌نمای اراضی پست (سطح ژئومورفیک Pi۱۱۱ و Pi۲۱۱)، دارای درصد شن و سیلت بیشتری است و به تبع آن کلاس خاک تا حدودی سبک‌تر است و همچنین به دلیل شرایط هوزای بهتر، اکسیداسیون بیشتر شده و در نتیجه تجمع ماده آلی کمتر شده است. همه این شرایط به همراه دسترسی راحت‌تر به آب‌های زیرزمینی باعث شده است این واحدها عرصه‌های مناسبی برای کشاورزی فراهم کند. سطح ژئومورفیک Pi۱۳۳ به دلیل استفاده کشاورزی دارای خاک متکامل‌تری نسبت به سطوح دیگر است. با افزایش شیب زمین‌ریخت دشت دامنه‌ای شروع می‌شود. در پروفیل شاهد این واحد ژئومورفیک از تکامل خاک‌ها کم شده به صورتی که شرایط برای تشکیل افق کلسیک مهیا نیست و کربنات کلسیم به صورت اشکال ثانویه مشاهده نشده است و در

دریای تتیس به چندین دریاچه تقسیم می‌شود. با ادامه بالاروی‌ها بر تعداد این دریاچه‌های بسته کوچک افزوده می‌شود و این دریاچه‌ها نهایتاً به آبگیرها و تالاب‌های کنونی پراکنده شده در سراسر ایران تبدیل شدند. پروفیل‌های حفر شده در سطح ژئومورفیک Pi۱۱۱ و Pi۲۱۱ به‌عنوان پست‌ترین بخش منطقه هستند که از بقایای فرورفتگی‌های زمین‌شناسی اتفاق افتاده در فعالیت‌های کوهزایی انتهای کرتاسه تا میوسن است. با توجه به موقعیت تالاب و برای شیب عمومی منطقه، تالاب به عنوان زهکش مناطق بالادست که دارای شیب بیشتر هستند عمل می‌کند (شکل ۳ سطح ژئومورفیک Pi۲۱۱). تجمع ماده آلی، حذف کربنات کلسیم به صورت نسبی از افق‌ها، انتقال ذرات رس به افق‌های پایین‌تر و شرایط اکسید و احیا مهم‌ترین فرایندهای خاک‌سازی است، که تکامل خاک و تشکیل افق‌های ژنتیکی در این واحد ژئومورفیک شده است. مشخص‌ترین افق‌های شناسایی شده در این واحدهای ژئومورفیک افق سطحی مالیک و افق زیرسطحی (Bg) با شرایط اکسید و احیا است. این واحد ژئومورفیک به دلیل اینکه در انتهایی‌ترین محل دریافت رسوبات قرار دارد، بیشتر رسوبات دریافتی ریز بافت بوده به نحوی که سنگین‌ترین کلاس‌های خاک در این برش عرضی در پروفیل شاهد در این واحد مشاهده شده است. در دوران ابتدایی تشکیل تالاب سطح اولیه آب بالاتر بوده با شروع اقلیم خشک و گرم ترشباری (Tertiary)، تبخیر در حوضچه‌ها شدت یافته و بنابراین سطح آب درون آنها پایین می‌رود (۷). همراه با پایین روی سطح آب در اثر تبخیر و کمتر شدن رژیم ورودی آب رودخانه به تالاب سطح ژئومورفیک Pi۲۱۱ کوچک‌تر و محدودتر شده است و فرایندهای رسوبگذاری در حاشیه‌های آن شروع شده به طوری که رسوبات ریز بافت به همراه لایه‌های رسوبی درشت‌بافت در یک توالی عمودی پروفیلی قرار می‌گیرند و به دلیل نزدیکی به تالاب و زهکشی ضعیف متأثر از آب زیرزمینی بوده و تشکیل واحد ژئومورفیک Pi۱۱۱ را می‌دهد (شکل ۳ سطح ژئومورفیک Pi۱۱۱). فرایندهای خاک‌سازی اشاره شده در واحد ژئومورفیک Pi۲۱۱ برای این

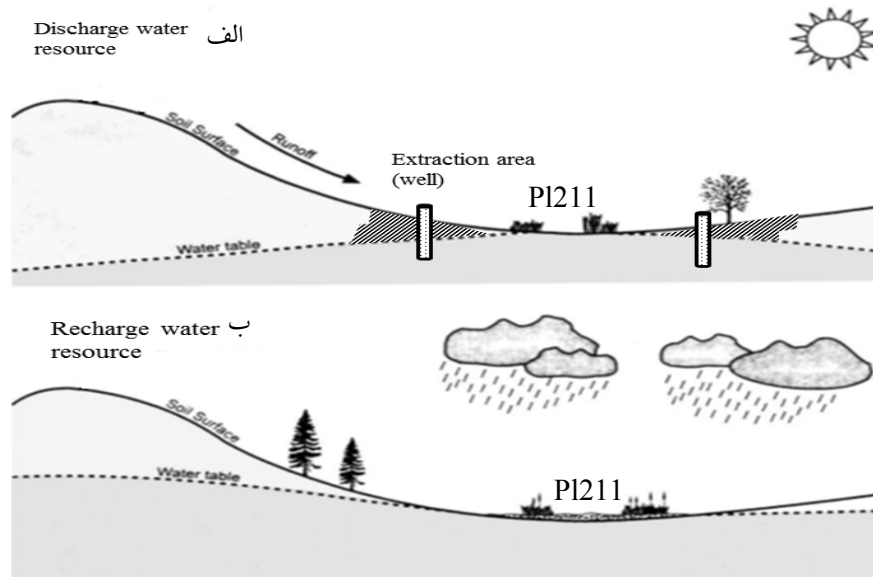
(PI۲۱۱) به شدت متأثر از خشکسالی بوده و حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد این تالاب در وضعیت خشکی قرار گرفته است. شکل (۴) به صورت مختصر اتفاقات رخ داده شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که اشاره شد در اطراف تالاب (سطح ژئومورفیک PI۲۱۱) واحد زمین‌نمای پیدمنت (Pi) واقع شده است و این واحدها، اراضی مناسبی برای توسعه و گسترش کشاورزی بوده، به‌طوری‌که در این محدوده تعداد بسیار زیادی چاه آب زیرزمینی غیرمجاز وجود دارد که بیشتر از مقدار تغذیه سالانه آب استخراج کرده و به مصرف کشاورزی می‌رسانند و در نتیجه سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و موجب کاهش مساحت تالاب می‌شود. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که تغذیه سفره زیرزمینی کمتر از برداشت آب زیرزمینی است. علاوه بر عدم نظارت بر میزان استخراج آب‌های زیرزمینی، به دلیل پوشش ضعیف منطقه بخشی از بارش سالانه به صورت رواناب جاری شده و از این محدوده خارج می‌شود (شکل ۴- الف). ولی در حالت مخالف این وضعیت، شرایطی است که میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی مساوی یا کمتر از تغذیه آن است که این حالت حفظ یا گسترش سطح تالاب را موجب می‌شود (شکل ۴ ب). متأسفانه در منطقه مورد مطالعه حالت (الف) حکمفرما است و باید در آینده نزدیک تصمیم‌گیری جدی و اساسی در مورد این معضل اتخاذ شود.

شکل (۵) نحوه تشکیل سطوح ژئومورفیک مختلف در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای منطقه و تفسیر عکس‌های هوایی، منطقه از لحاظ برای حرکت آبراهه‌ها به دو نیمه شرقی و غربی تقسیم می‌شود. در نیمه غربی منطقه، شیب به سمت سطح ژئومورفیک تالاب (PI۲۱۱) است و باعث تشکیل سطوح رسوبی و تجمع رسوبات دانه ریز در این سطح شده است (شکل ۵). در نیمه شرقی منطقه، شیب عمومی به سمت شرق است و رسوبات و رواناب‌های احتمالی توسط رودخانه‌های فصلی به بیرون از منطقه مورد مطالعه هدایت می‌شوند. کینگ و همکاران (۱۶) بیان کردند الگوهای جریان مواد در زمین‌ریخت‌ها، انرژی و

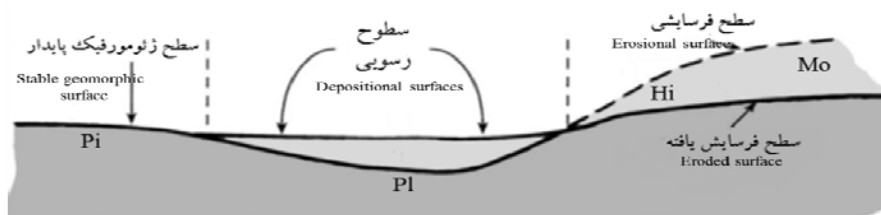
بهترین حالت ساختمان سنگی در بطن لایه‌ها از بین رفته و آثاری از تجمع‌های ابتدایی آهک ثانویه مشاهده شده است و تشکیل افق زیرسطحی کمبیک (Bw_1 و Bw_2) را می‌دهد و کلاس خاک Typic Haploxerepts تشکیل شده است. تمام خاک‌های واقع شده در این واحد دارای زهکشی بسیار مناسب و نسبتاً عمیق هستند و شرایط آب‌گرفتگی زیرسطحی وجود ندارد. آخرین واحد زمین‌ریخت در مجموعه زمین‌نمای پیدمنت، زمین‌ریخت پیدمنت (Pi۳۱۱) است (شکل ۳). این زمین‌ریخت دارای سطوحی نسبتاً ناپایدار است و مهم‌ترین فرایندهای خاک‌سازی، فرایندهای فیزیکی و انتقال واریزه‌ای است، که دارای حداقل تکامل و بسیار کم‌عمق هستند و در کلاس Lithic Xerorthents قرار می‌گیرند.

پروفیل واقع در سطح ژئومورفیک (Mo۱۱۱) در زمین‌ریخت رخنمون سنگی، به‌عنوان جوان‌ترین و کم‌تکامل‌ترین پروفیل حفر شده است (شکل ۳). عمق افق سطحی (A) در این واحد به شدت کم است و در برخی نقاط بیرون‌زدگی‌های سنگی وجود دارد و در نقاطی که لایه‌ای از خاک وجود دارد، لایه سنگ بستر پیوسته وجود دارد. در مجموع، با حرکت از واحد زمین‌نمای کوه به سمت اراضی پست بر عمق خاک افزوده شده و شرایط خاک‌سازی فیزیکی و شیمیایی فعال‌تر می‌شود و عمق خاک افزایش می‌یابد. در ترانسکت شماتیک نشان داده شده در شکل (۳) مواد مادری و توپوگرافی اصلی‌ترین فاکتورهای خاک‌سازی است به‌طوری‌که تفاوت در میزان بارش در فاصله ۱۰ کیلومتر ناچیز است و توپوگرافی، زهکشی خاک‌ها را تحت تأثیر قرار داده است و سبب تشکیل و تمایز خاک شده است. بنابراین می‌توان آن را یک کاتنا (Catena) یا توالی توپوگرافی (Toposequence) نامید.

معضل خشکسالی در سالیان اخیر و عدم تعادل در برداشت و استخراج از سفره‌های آب زیرزمینی و همچنین عدم تغذیه منابع آب زیرزمینی موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در این منطقه شده است. در سال‌های اخیر واحد زمین‌نمای اراضی پست با زمین‌ریخت‌های اراضی خیس (PI۱۱۱) و تالاب



شکل ۴. تغذیه طبیعی واحد ژئومورفیک (PI211) و استخراج از سفره آب زیرزمینی در غرب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. طرح شماتیک نحوه تشکیل سطوح ژئومورفیک مختلف در غرب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه

خاک‌ها نقش دارند. با توجه به اینکه افق‌های زیرسطحی مختلف از جمله افق‌های کلسیک، پتروکلسیک، کمبیک و افق‌های سطحی شامل افق‌های مالیک و اکریک در منطقه مشاهده شده است، عمده فرایندهای اصلی پدوژنیک در منطقه که منجر به تشکیل خاک می‌شوند شامل هوادیدگی‌های فیزیکی و شیمیایی، تجمع کربنات کلسیم (Calcification)، سیمانی شدن افق کلسیک، تجمع ماده آلی، شرایط آب‌گرفتگی (Aquic condition) و اکسیداسیون و احیا است.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های تفرق خاک

نتایج شاخص‌های تنوع و تفرق خاک‌ها در طبقات سلسله مراتب ژئومورفیک در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان

موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تغییر در الگوی زمین‌ریخت باعث تغییرات در الگوی پارامترهای دیگر زمین‌نما مثل خاک، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی می‌شود. آرنت و کوناچر (۲) و کوناچر و دالریمل (۶) نشان دادند که بعد از بالاآمدگی تکتونیکی سطوح زمین، فرسایش رودخانه‌ای و توسعه شبکه رودخانه‌های شرایطی را مهیا می‌کند که غیریکنواختی و یا تعداد سطوح ژئومورفولوژی افزایش یابند.

نتایج نشان داد که همزمان با تشکیل زمین‌ریخت‌ها و فرایندهای مرتبط با تشکیل سطوح ژئومورفیک، این فرایندها باعث تفرق و تکامل خاک‌ها در منطقه شده است. در واقع فرایندهایی که در تکامل زمین‌ریخت‌ها و سطوح ژئومورفیک نقش دارند، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در تشکیل و تکامل

جدول ۲. شاخص‌های غنا و تنوع خاک‌ها بر اساس سلسله‌مراتب به‌کار برده شده در تهیه نقشه ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه

| D | Dmn | Dmg | H _{max} ' | E | S | H' | N | سلسله مراتب ژئومورفیک |
|------|------|------|--------------------|------|----|------|-----|-----------------------|
| ۰/۵۰ | ۰/۳۶ | ۰/۶۲ | ۱/۳۸ | ۰/۶۴ | ۴ | ۰/۸۸ | ۱۲۵ | زمین‌نما |
| ۰/۳۱ | ۰/۸۹ | ۱/۸۶ | ۲/۳۰ | ۰/۸۶ | ۱۰ | ۱/۹۸ | ۱۲۵ | زمین‌ریخت |
| ۰/۵۷ | ۱/۰۷ | ۲/۲۸ | ۲/۴۸ | ۰/۷۷ | ۱۲ | ۱/۹۱ | ۱۲۵ | سنگ‌شناسی |
| ۰/۲۶ | ۲/۷۷ | ۶/۲۱ | ۳/۴۳ | ۰/۹۲ | ۳۱ | ۳/۱۷ | ۱۲۵ | سطوح ژئومورفیک |

شاخص اونیل: D, شاخص منهینیک: Dmn, شاخص مارگالف: Dmg, حداکثر آنتروپی: H_{max}', یکسانی: E, غنا: S, شاخص شانن: H', تعداد: N

جدول ۳. شاخص‌های غنا و تنوع خاک‌ها بر اساس سلسله‌مراتب طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه

| D | Dmn | Dmg | H _{max} ' | E | S | H' | N | سلسله مراتب طبقه‌بندی |
|------|------|------|--------------------|------|----|------|-----|-----------------------|
| ۰/۱۳ | ۰/۲۷ | ۰/۴۱ | ۱/۰۹ | ۰/۸۸ | ۳ | ۰/۹۷ | ۱۲۵ | رده Order |
| ۰/۴۳ | ۰/۴۵ | ۰/۸۳ | ۱/۶۱ | ۰/۷۳ | ۵ | ۱/۱۷ | ۱۲۵ | زیر رده Suborder |
| ۰/۳۹ | ۰/۶۳ | ۱/۲۴ | ۱/۹۴ | ۰/۸۰ | ۷ | ۱/۵۵ | ۱۲۵ | گروه بزرگ Great group |
| ۰/۳۲ | ۱/۰۷ | ۲/۲۸ | ۲/۴۸ | ۰/۸۷ | ۱۲ | ۲/۱۷ | ۱۲۵ | زیرگروه Subgroup |

شاخص اونیل: D, شاخص منهینیک: Dmn, شاخص مارگالف: Dmg, حداکثر آنتروپی: H_{max}', یکسانی: E, غنا: S, شاخص شانن: H', تعداد: N

بزرگ‌تر در سلسله مراتب ذکر کرد (۳۲). مطالعه سالدانا و ایبانز (۲۸) نشان داد که افزایش غیریکنواختی و ناهمگنی خاک در خلال سلسله مراتب ژئومورفیکی، تأییدکننده وجود چرخه واگرا در خاک‌های بررسی شده است. علاوه بر شاخص‌های ذکر شده، شاخص‌های غنای مارگالف (Dmg) و منهینیک (Dmn) نیز در جدول (۲) ارائه شده‌اند. این دو شاخص تفرق رفتار مشابهی با شاخص تفرق شانن نشان می‌دهند با این تفاوت که این دو شاخص در سطح سنگ‌شناسی به‌صورت بهتر و واضح‌تری افزایش تنوع را نشان می‌دهند. شاخص تفرق اونیل (D) در جدول (۲) میزان انحراف شاخص تنوع شانن از حداکثر تنوع را نشان می‌دهد. در بین چهار سطح مورد مطالعه، سطح سنگ‌شناسی بیشترین انحراف را از حداکثر تنوع نشان می‌دهد و دلیل این عامل عدم توزیع یکنواخت و مساوی تعداد نمونه‌ها در کلاس‌های سنگ‌شناسی است. در شرایطی که در همه واحدهای یک نقشه تعداد نمونه یکسان انتخاب شود، مقدار شاخص اونیل برابر با صفر خواهد شد. در واقع در این شرایط مقدار شاخص شانن و حداکثر

می‌دهد با افزایش مقیاس از زمین‌نما به سطوح ژئومورفیک شاخص‌های تفرق و غنا افزایش می‌یابند، یا به عبارت دیگر با کاهش طبقات از زمین‌نما به طرف سطوح ژئومورفیک، شاخص‌های تنوع افزایش می‌یابد. علت افزایش این شاخص تفرق را می‌توان افزایش توأم شاخص‌های غنا (S) و یکسانی (E) در سلسله مراتب ژئومورفیکی بیان کرد. این نتایج با نتایج تومانیان و همکاران (۳۱)، جعفری و همکاران (۱۵) و عباس‌زاده افشار و همکاران (۱) مطابقت دارد. همچنین نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که از طرف سطح زمین‌نما به سطح زمین‌ریخت شاخص تفرق افزایش زیاد دیده می‌شود، ولی از سطح زمین‌ریخت به سطح سنگ‌شناسی (زمین‌شناسی) به مقدار کمی کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند به‌علت نحوه توزیع و تعداد نمونه‌ها در هر سطح زمین‌شناسی حاصل شود.

علت افزایش شاخص‌های تفرق را می‌توان افزایش همزمان شاخص‌های غنا و یکسانی در خلال استفاده از اطلاعات کوچک مقیاس در تجزیه و تحلیل مقیاس‌های

آنتروپی برابر خواهند شد.

جدول (۳) شاخص تفرق و غنای خاک برای هر سطح طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سطح طبقه‌بندی از سطح رده خاک به زیرگروه کاهش می‌یابد و این عامل باعث افزایش تنوع یا به عبارت دیگر مشاهده کلاس‌های متفاوت بیشتر در سطوح پایین‌تر است. با افزایش شاخص غنا (S) شاخص تفرق شانن افزایش پیدا می‌کند. گو و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از شاخص آنتروپی شانن سطوح مختلف طبقه‌بندی شامل رده، زیررده، گروه بزرگ، زیرگروه، فامیل و سری را مطالعه کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که غنای طبقه‌بندی و آنتروپی شانن از سطح رده تا سری خاک افزایش داشت (۱۰).

میناسنی و همکاران (۲۰) گزارش کردند که تعداد کلاس‌های خاک بر شاخص تفرق شانن تأثیر دارد. وقتی تعداد کلاس‌های خاک افزایش می‌یابد، تعداد بیشتری در شاخص شانن جمع می‌شوند؛ بنابراین سطوح ژئومورفیک با غنای بیشتر، تفرق بیشتری دارند، این نتیجه به خوبی در سطوح زیرگروه و گروه بزرگ که تعداد بیشتری کلاس خاک وجود دارد به وضوح دیده می‌شود.

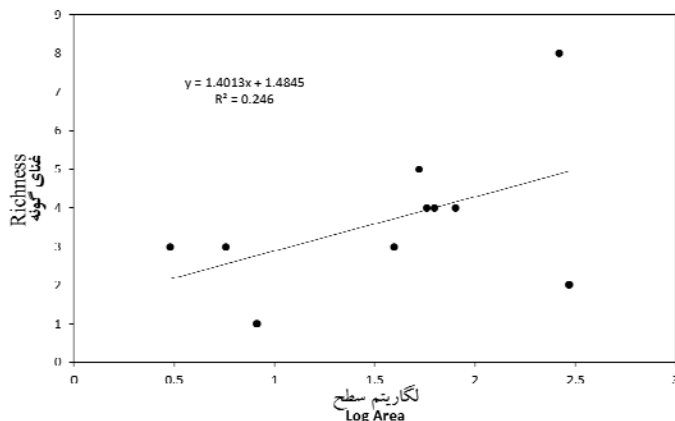
شاخص اونیل (D) که حاصل تفاوت بین شاخص تفرق شانن و حداکثر آنتروپی است، روشی مناسب برای نشان دادن یکسانی گونه‌ها و یا تشخیص گونه غالب است. این شاخص نیز روندی مشابه با شاخص تفرق شانن داشت و با کاهش سطوح طبقه‌بندی از سطح رده تا فامیل خاک افزایش نشان می‌دهد. در مواردی مانند سطح زیرگروه که کاهش می‌یابد، نشان می‌دهد که نمونه‌های استفاده شده به تعداد نسبتاً مناسبی در بین تمامی زیرگروه‌ها پراکنده شده است. هر دو شاخص غنای مارگالف و منهینیک نیز از سطح رده به سطح زیرگروه افزایش می‌یابد. افزایش شدید این دو شاخص از سطح سلسله مراتبی رده به سطح زیرگروه می‌تواند به علت افزایش غنا از ۳ برای سطح رده به ۱۲ برای سطح زیرگروه باشد. افزایش شاخص‌های مارگالف و

منهینیک با نتایج سالدانا و ایبازن (۲۸) و عباس‌زاده افشار و همکاران (۱) مشابه بود.

جدول (۴) شاخص‌های تنوع در سطوح ژئومورفیک بر اساس سلسله مراتب تاکسونومی رده، زیر رده، گروه بزرگ و زیرگروه را به همراه سطح اشغال شده توسط هر یک از واحدهای ژئومورفیک را نشان می‌دهد. در برخی از سطوح ژئومورفیک از قبیل سطح Mo_{121} , Hi_{221} و سایر موارد قابل مشاهده در جدول (۴) به دلیل اینکه تمام مشاهدات انجام شده در یک کلاس رده‌بندی قرار دارند، به تبع آن شاخص تنوع برابر با صفر خواهد شد و همچنین در این حالت شاخص یکسانی قابل محاسبه نخواهد بود. در مواردی که در سطوح پایین‌تر سلسله مراتب تاکسونومی که زیر رده به گروه بزرگ‌های متفاوت تبدیل می‌شوند (Hi_{221})، شاخص تنوع شانن و شاخص یکسانی بزرگ‌تر از صفر حاصل خواهد شد (جدول ۴). به‌طور کلی شاخص‌های تنوع خاک از سطح رده به زیرگروه خاک افزایش می‌یابند، ولی در مواردی مانند Pi_{111} و Mo_{131} این شاخص‌ها با حرکت از سطح رده به زیرگروه ثابت هستند. به دلیل عدم قرارگیری خاک‌ها در کلاس‌های جدید در سطوح پایین‌تر رده‌بندی است. به عنوان مثال در سطح ژئومورفیک Pi_{111} چهار نمونه مشاهده شده در سطح رده در دو رده آنتی سولز و اینسپتی سولز و در سطح زیر رده آنتی سولز در یک زیر رده ($Orthents$) و سطح زیر رده اینسپتی سولز در یک زیر رده ($Xerepts$) قرار می‌گیرند و نهایتاً در سطح زیرگروه تفکیک بیشتر ایجاد نشده و بنابراین طبیعی است که از سطح رده به زیر رده، شاخص‌های تنوع تغییری نداشته و ثابت باشند. از طرف دیگر در اکثر سطوح ژئومورفیک که افزایش غنا از رده به زیرگروه مشاهده شده است، شاخص‌های تنوع از رده به زیر رده با شیب زیادی افزایش یافته است (جدول ۴). این افزایش شاخص‌ها در سطوح ژئومورفیک Pi_{121} و Pi_{133} قابل مشاهده است. افزایش شاخص‌های غنا در منطقه مورد مطالعه مؤید تکامل خاک در منطقه به صورت واگرایی (تکامل خاک باعث افزایش تنوع و تفرق) است. سطوح ژئومورفیکی که

جدول ۴. شاخص‌های غنا و تنوع خاک‌ها بر اساس واحدهای نقشه ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه

| زیرگروه | | | گروه بزرگ | | | زیررده | | | رده | | | تعداد | سطح | سطح |
|----------|------|---|-------------|------|---|----------|------|---|-------|------|---|-------|-------------------------|-----------|
| Subgroup | | | Great group | | | Suborder | | | Order | | | نمونه | (Km ²) Area | ژئومورفیک |
| E | H' | S | E | H' | S | E | H' | S | E | H' | S | | | |
| ۰/۹۶ | ۱/۰۵ | ۳ | ۰/۹۷ | ۰/۶۷ | ۲ | ۰/۹۷ | ۰/۶۷ | ۲ | ۰/۹۷ | ۰/۶۷ | ۲ | ۵ | ۳۹/۲۱ | Hi۱۱۱ |
| ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۳ | ۱۷/۷۷ | Hi۲۱۱ |
| ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۳ | ۴۵/۱۳ | Hi۲۲۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۵ | ۱۳۵/۱۵ | Mo۱۱۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۳ | ۵۵/۰۳ | Mo۱۲۱ |
| ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۲ | ۵۳/۳۶ | Mo۱۳۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۲ | ۴۹/۳۷ | Mo۱۴۱ |
| ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۴ | ۱۸/۱۲ | Pi۱۱۱ |
| ۰/۹۵ | ۱/۰۴ | ۳ | ۰/۹۵ | ۱/۰۴ | ۳ | ۰/۸۱ | ۰/۵۶ | ۲ | ۰/۸۱ | ۰/۵۶ | ۲ | ۴ | ۲۰/۵۹ | Pi۱۱۲ |
| ۰/۸۹ | ۱/۴۳ | ۵ | ۰/۷۷ | ۰/۸۵ | ۳ | ۰/۷۶ | ۰/۵۳ | ۲ | ۰/۷۶ | ۰/۵۳ | ۲ | ۹ | ۸۳/۴۲ | Pi۱۲۱ |
| ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۲ | ۲۷/۷۶ | Pi۱۲۲ |
| ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | - | ۰/۶۴ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۳ | ۲۸/۵۹ | Pi۱۳۱ |
| ۰/۸۳ | ۱/۱۵ | ۴ | ۰/۸۷ | ۰/۹۶ | ۳ | ۰/۸۷ | ۰/۹۶ | ۳ | ۰/۸۷ | ۰/۹۶ | ۳ | ۷ | ۲۵/۳۹ | Pi۱۳۲ |
| ۰/۹۴ | ۱/۵۲ | ۵ | ۰/۹۳ | ۱/۲۹ | ۴ | ۰/۸۷ | ۰/۶۱ | ۲ | ۰/۸۷ | ۰/۶۱ | ۲ | ۱۷ | ۴۳/۸۹ | Pi۱۳۳ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۱ | ۱۴/۵۰ | Pi۱۴۱ |
| ۰/۸۶ | ۰/۹۵ | ۳ | ۰/۷۲ | ۰/۵۰ | ۲ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۵ | ۲۴/۴۵ | Pi۲۱۱ |
| ۰/۹۶ | ۱/۳۳ | ۴ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۶ | ۲۶/۶۶ | Pi۲۲۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۱ | ۱/۴۴ | Pi۲۳۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۳ | ۲۴/۶۰ | Pi۳۱۱ |
| ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۲ | ۶/۸۸ | Pi۳۲۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۱ | ۱۴/۴۷ | Pi۳۳۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۱ | ۴/۳۱ | Pi۳۴۱ |
| ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۳ | ۷/۶۵ | Pi۳۵۱ |
| ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | ۲ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۲ | ۵/۹۷ | Pi۳۵۲ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۱ | ۸/۶۱ | Pi۳۶۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۱ | ۷/۱۱ | Pi۳۷۱ |
| ۰/۸۹ | ۰/۹۷ | ۳ | ۰/۸۹ | ۰/۹۷ | ۳ | ۰/۹۵ | ۰/۶۶ | ۲ | - | ۰ | ۱ | ۸ | ۵/۷۴ | Pi۴۱۱ |
| ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۰/۹۲ | ۰/۶۴ | ۲ | ۳ | ۱۳/۲۲ | Pi۵۱۱ |
| ۰/۹۱ | ۱/۰۰ | ۳ | ۰/۹۹ | ۰/۶۸ | ۲ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۷ | ۴۴/۱۹ | Pi۵۲۱ |
| ۰/۸۶ | ۰/۹۵ | ۳ | ۰/۸۶ | ۰/۹۵ | ۳ | ۰/۸۶ | ۰/۹۵ | ۳ | ۰/۷۲ | ۰/۵۰ | ۲ | ۵ | ۳/۰۲ | PI۱۱۱ |
| - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | - | ۰ | ۱ | ۶ | ۸/۱۶ | PI۲۱۱ |



شکل ۶: رابطه بین لگاریتم مساحت زمین‌ریخت (Log Area) و شاخص غنا در سطوح زمین‌ریخت برای سطح سلسله مراتب زیرگروه خاک

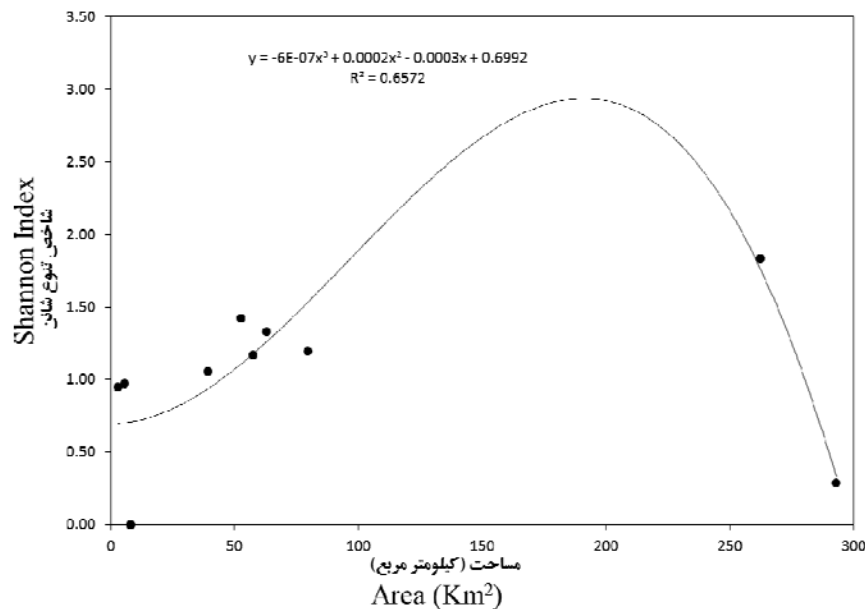
شکل (۶) رابطه خطی غنای گونه و لگاریتم مساحت برای سطوح زمین‌ریخت در برابر غنای سطح زیرگروه را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل رابطه غنا-مساحت در شکل نشان داد که غنای منطقه مورد مطالعه با افزایش مساحت واحدها به‌طور نسبی افزایش می‌یابد. با افزایش مساحت سطح واحد زمین‌ریخت‌ها، تعداد گوناگونی خاک‌ها یا به عبارت دیگر تنوع بیشتر می‌شود و در نتیجه شاخص غنا افزایش می‌یابد. از آنجایی‌که در منطقه مورد مطالعه زمین‌ریخت‌های کوه و تپه بیش از ۴۵ درصد کل منطقه را شامل می‌شوند (جدول ۲)، به‌علت ماهیت کم تکامل این واحدها نباید انتظار داشت در این واحدها تنوع زیاد باشد و این عامل اصلی‌ترین علت برای رابطه نسبتاً ضعیف موجود در شکل (۶) است. در صورتی که این دو واحد که دارای سطح وسیع و تنوع کم هستند، از منطقه مورد مطالعه کنار گذاشته شوند، رابطه به‌خوبی معنی‌دار خواهد شد. در این رابطه مطالعه صورت گرفته توسط ایباز و همکاران (۱۲) نشان داد که با افزایش سطح غنا افزایش می‌یابد و یک رابطه مثبت و معنی‌دار برقرار است.

به‌منظور بررسی پیچیدگی محیطی و اکولوژیکی از ارتباط بین سطح یا مساحت منطقه در برابر شاخص تنوع شانن استفاده می‌شود. شکل (۷) ارتباط بین مساحت سطوح زمین‌ریخت و

دارای تعداد نمونه بیشتری هستند، دارای شاخص‌های تنوع بزرگ‌تر هستند. به‌طورکلی شاخص غنا و تنوع نشان می‌دهد که با افزایش سن سطوح و کاهش سلسله مراتب طبقه‌بندی از رده به زیرگروه، این شاخص‌ها روند افزایش دارند. نتایج به‌دست آمده توسط فیلیپس (۲۷)، تومانیان و همکاران (۳۱) و عباس زاده افشار و همکاران (۱) تأیید کننده نتایج به‌دست آمده در این مطالعه است. نتایج تکامل واگرایی در منطقه زمانی مشهودتر است که بررسی شاخص‌های تنوع خاک در سطح زمین‌ریخت انجام شود.

در سطوح ژئومرفیک Mo۱۱۱، Mo۱۲۱ و Mo۱۴۱ شاخص‌های تنوع بسیار پایین هستند. بهرن و همکاران (۳) بیان کردند شاخص‌های تنوع بسیار کم در مورد مناطق کوهستانی می‌توانند اتفاق بیفتند. به‌علت اینکه معمولاً تنوع خاک در این زمین‌نما به‌دلیل مواد مادری متنوع و یک فاکتور خاک‌سازی خیلی مؤثر مانند پستی و بلندی بالا است. همچنین از دلایل عمده پایین بودن تنوع در این زمین‌نما در منطقه مورد مطالعه، می‌توان به اقلیم خشک تا نیمه‌خشک منطقه مورد مطالعه اشاره کرد.

در مطالعات اکولوژی، ارتباط بین تعداد گونه و مساحت با دو نوع مدل رابطه خطی بین لگاریتم غنا (LogS) و لگاریتم سطح (Log Area) و رابطه خطی غنا با لگاریتم سطح بررسی می‌شود (۱۲).



شکل ۷. رابطه بین مساحت سطوح زمین‌ریخت (Km^۲) و شاخص آنترپوی شانن در سطوح زمین‌ریخت برای سطح سلسله مراتب زیرگروه خاک

می‌دهد. نتایج این شکل نشان می‌دهد یک رابطه مثبت و غیرخطی بین تعداد نمونه و شاخص آنترپوی شانن وجود دارد. این نتیجه همچنین توسط تومانیان و همکاران (۳۱)، ایبازن و همکاران (۱۲)، گو و همکاران (۱۰) و عباس‌زاده افشار و همکاران (۱) نیز به‌دست آمده است.

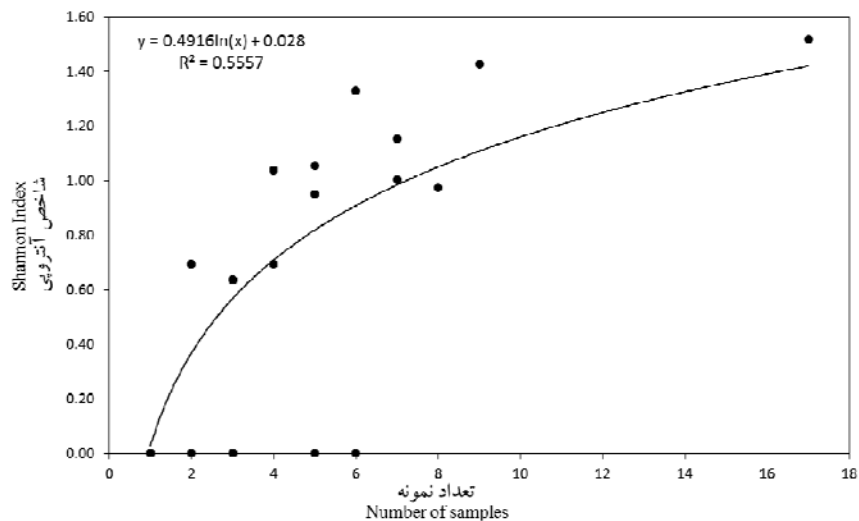
در ارتباط با توانایی یافتن حداکثر تغییرپذیری در خاک می‌توان بیان کرد که هر چه میزان نمونه‌برداری متراکم‌تر باشد، احتمال اینکه خاک‌های متنوع‌تری در منطقه شناسایی شود بیشتر است و این تغییرپذیری در شاخص غنا (تعداد گونه‌ها) نشان داده می‌شود. شکل (۹) رابطه بین تعداد نمونه‌ها و شاخص غنا در سطوح ژئومرفیک برای سلسله مراتب زیر رده خاک را نشان می‌دهد. رابطه موجود نشان می‌دهد که بین تعداد نمونه و شاخص غنا رابطه مثبت و غیرخطی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

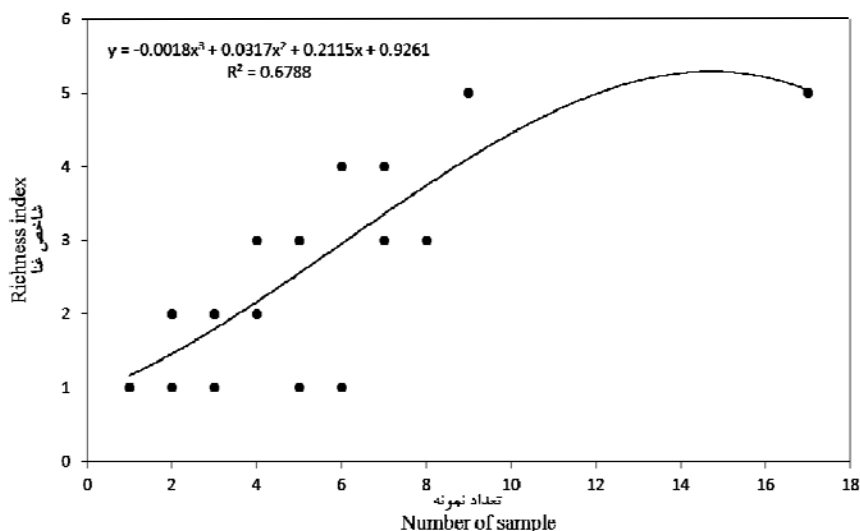
نتایج این تحقیق نشان داد که قسمت عمده منطقه مورد مطالعه

شاخص آنترپوی شانن در سطوح زمین‌ریخت برای سطح سلسله مراتب زیرگروه خاک را نشان می‌دهد. رابطه غیرخطی بین آنترپوی و مساحت سطح زمین‌ریخت به‌دست آمده است. در شکل (۷) هم مانند شکل (۶) به‌علت مساحت زیاد ولی تنوع خیلی کم واحد زمین‌ریخت کوه باعث شده رابطه به‌طور محسوس مثبت نباشد. مطالعه سالدانا و ایبازن (۲۸) نشان داد که شاخص آنترپوی سلسله مراتب طبقه‌بندی با افزایش مساحت سطوح مختلف افزایش می‌یابد. مقایسه نتیجه این تحقیق با نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد واحدهای نامتکامل و با تکامل کم و از طرفی با مساحت زیاد باعث منفی شدن رابطه در قسمتی از نمودار می‌شود. نتایج هوپ (۱۱) نشان داد یک رابطه مثبت بین پیشرفت شبکه رودخانه‌ها، تعداد سطوح ژئومورفولوژی و غنای گونه‌های گیاهی مشاهده شده در سطوح زمین‌ریخت‌ها وجود دارد.

شکل (۸) رابطه بین تعداد نمونه‌ها و شاخص آنترپوی در سطوح ژئومرفیک برای سلسله مراتب زیرگروه خاک را نشان



شکل ۸. رابطه بین تعداد نمونه‌ها و شاخص آنتروپی در سطوح ژئومرفیک برای سلسله مراتب زیرگروه خاک



شکل ۹. رابطه بین تعداد نمونه‌ها و شاخص غنا در سطوح ژئومرفیک برای سلسله مراتب زیرگروه خاک

مسطح و نسبتاً پایدار خاک‌های متکامل مشاهده شده است. به عبارت دیگر تمامی فرایندهایی که در تشکیل و تکامل زمین ریخت‌ها دخالت دارند در دراز مدت به شکل مستقیم و یا غیرمستقیم باعث تشکیل، تکامل و همچنین تفرق خاک‌های قرار گرفته روی این زمین ریخت‌ها شده است. بررسی و تهیه نقشه ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که تشکیل خاک و ویژگی‌های آنها بیشتر تحت تأثیر واحدهای ژئومورفیک

به‌علت برداشت‌های بی‌رویه از سفره آب‌های زیرزمینی و همچنین بر اثر خشکسالی‌های اخیر تحت تأثیر قرار گرفته است. در برخی از مناطق کلاس‌های خاک طی چندین سال اخیر به‌علت تغییر در رژیم آبی منطقه تغییر کرده است. تکامل پروفیلی در این منطقه بیشتر تحت تأثیر پستی و بلندی، مواد مادری و در برخی از مناطق سطح آب زیرزمینی است به‌نحوی که در مناطق با توپوگرافی زیاد تکامل حداقل و در مناطق

کم رابطه موجود در برخی موارد منفی است که با حذف این واحدها رابطه مثبت و قوی حاصل خواهد شد. نتایج تعداد نمونه‌ها با شاخص غنا و آنتروپی شانن در سطوح ژئومورفیک در سلسله مراتب زیرگروه خاک نشان داد که رابطه موجود رابطه مثبت و غیرخطی است و این نتایج مؤید نظریه سیستم دینامیک غیرخطی در خاک‌های مورد مطالعه است. نتایج حاصل از این بخش در تشخیص و تمایز انواع کلاس‌های خاک و نقشه‌برداری خاک کمک خواهد کرد و انتظار می‌رود که با افزایش تنوع در خلال سلسله مراتب طبقه‌بندی، خلوص نقشه‌های تهیه شده کاهش یابد.

است، به‌نحوی که خاک‌های تفکیک شده در واحدها در برخی موارد بیشترین شباهت نسبت به یکدیگر و حداکثر تفاوت با خاک‌های موجود در دیگر واحدها را دارا هستند. در بررسی شاخص‌های تنوع و تفرق خاک در سلسله‌مراتب به‌کار برده شده در تهیه نقشه ژئومورفولوژی، سطوح سلسله مراتب طبقه‌بندی و ژئومرفیک بررسی شدند. نتایج نشان داد که این شاخص‌ها با کاهش سطوح سلسله مراتب افزایش می‌یابند. بررسی شاخص غنا و آنتروپی شانن با لگاریتم مساحت واحدهای زمین‌ریخت نشان داد، علیرغم وجود رابطه مثبت ولی به‌دلیل وجود واحدهای کوه و تپه با مساحت خیلی زیاد و تنوع

منابع مورد استفاده

1. Abbaszadeh Afshar, F., S. Ayoubi, A. Jafari and H. Khademi. 2015. Considering soil diversity index and soil-landscape evolution relationship in the arid region of Bam, southeast Iran. *Journal of Soil Management and Sustainable* 5: 71-91.
2. Arnett, R. and A. Conacher, 1973. Drainage basin expansion and the nine unit landsurface model. *Australian Geographer* 12(3): 237-249.
3. Behrens, T., O. Schneider, G. Lösel, T. Scholten, V. Hennings, P. Felix-Henningsen and R. Hartwich. 2009. Analysis on pedodiversity and spatial subset representativity-the German soil map 1: 1,000,000. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172: 91-100.
4. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
5. Bull, W. B. 1991. *Geomorphic Responses to Climatic Change*. United States.
6. Conacher, A.J., and J.B. Dalrymple. 1977. The nine unit land surface model: an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma* 18: 1-154.
7. Darvish-Zadeh, A. 1992. *Geology of Iran*. Student Publication. Tehran.
8. Esfandiarpour Boroujeni, I., N. Toumanian, M. H. Salehi and J. Mohammadi. 2009. Assessing geopedological soil mapping using diversity and similarity indices (a case study: borujen area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). *Journal of Water and Soil* 23: 100-114.
9. Falahati Marvast, S. 2014. Google Earth images to determine the potential variability of surface soil properties and soil classes in the Marvast area, Yazd Province. MSc Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan.
10. Guo, Y., P. Gong and R. Amundson. 2003. Pedodiversity in the United States of America. *Geoderma* 117: 99-115.
11. Hupp, C. R. 1990. Vegetation patterns in relation to basin hydrogeomorphology. pp. 217-237. In: J. B. Thornes (Ed.). *Vegetation and Erosion: Processes and Environments*. Willey, New York, USA.
12. Ibáñez, J., J. Caniego, F. San Jose and C. Carrera. 2005. Pedodiversity-area relationships for islands. *Ecological Modelling* 182: 257-269.
13. Ibanez, J. J., S. De-Alba, A. Lobo, V. Zucarello. 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales _with discussion. *Geoderma* 83: 171-192.
14. Ibanez, J. J., S. De Alba, A. Lobo and V. Zucarello. 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with discussion). *Geoderma* 83: 171-214.
15. Jafari, A., SH. Ayoubi, H. Khademi, P. A. Finke and N. Toomanian. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: A case study from an Iranian arid region. *Geomorphology* 201: 86-97.
16. King, G., D. Acton and R. St. Arnaud. 1983. Soil-landscape analysis in relation to soil distribution and mapping at a site within the Weyburn Association. *Canadian Journal of Soil Science* 63: 657-670.
17. Longuet-Higgins, M. 1971. On the Shannon-Weaver index of diversity, in relation to the distribution of species in bird censuses. *Theoretical Population Biology* 2: 271-289.

18. Magurran, A. E. 1988. Why diversity? PP. 1-5. *In:* A. E. Magurran (Eds.), Ecological diversity and its measurement. Springer, Dordrecht.
19. Martin, M. A. and J. M. Rey. 2000. On the role of Shannon's entropy as a measure of heterogeneity. *Geoderma* 98: 1-3.
20. Minasny, B., A. B. McBratney and A. E. Hartemink. 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. *Geoderma* 155: 132-139.
21. Moameni, A. and J. Zinck. 1997. Application of statistical quality control charts and geostatistics to soil quality assessment in a semi-arid environment of south-central Iran. *ITC-Journal* 3(4).
22. Nazemzadeh, M. and H. Azizani. 1991. The Report of Geological Deposits during Fourth Era for the Zarand Plain. Geological Management of Southeast Region, Kerman.
23. Nelson, R. 1982. Carbonate and gypsum. PP. 181– 197. *In:* Page A. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison. 24. O'Neill, R. V., J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. Deangelis, B. T. Milne, M. G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale and R. L. Graham. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153-162.
25. Page, A. L. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Vol. ed. No. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
26. Parker, A. J. 1995. Comparative gradient structure and forest cover types in Lassen Volcanic and Yosemite National Parks, California. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 58-68.
27. Phillips, J. D. 2001. Divergent evolution and the spatial structure of soil landscape variability. *Catena* 43: 101-113.
28. Saldaña, A. and J. Ibáñez. 2004. Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain). *Geomorphology* 62: 123-138.
29. Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. U. S. Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, U. S. Government Printing Office, Washington.
30. Sulaeman, Y., Hikmatullah and H. Subagyo. 2005. Modeling soil-landscape relationships. *Journal Ilmu Tanah Dan Lingkungan* 5(2): 1-14.
31. Toomanian, N., A. Jalalian, H. Khademi, M. K. Eghbal and A. Papritz. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, central Iran. *Geomorphology* 81: 376-393.
32. Toomanian N, K. H. and A. Jalalian. 2008. Evolution of zayandeh-rud valley. *Journal of Water and Soil Science* 12: 137-151.
33. Whittaker, R. H. 1977. Evolution of species diversity in land communities (Birds and vascular plants). *Evolutionary Biology* 10: 1-67.
34. Zeraatpisheh, M., S. Ayoubi, A. Jafari and P. Finke. 2017. Comparing the efficiency of digital and conventional soil mapping to predict soil types in a semi-arid region in Iran. *Geomorphology* 285: 186-204.

Investigation of Pedodiversity Indices, Soil Differentiation and Soil-Landscape Evolution in the Semi-Arid Region of Chaharmahal-Va-Bakhtiyari Province

M. Zeraatpisheh^{1,2}, Sh. Ayoubi^{1*}, H. Khademi¹ and A. Jafari³

(Received: March 2-2017; Accepted: February 5-2018)

Abstract

Landscapes are considered as a series of different land units with a size, shape and location arrangement that are permanently under the influence of natural events and human activities. Understanding the dynamics and heterogeneity of landscapes and environmental changes is of great importance. In order to quantitatively analyze and interpret the factors affecting the changes in the environment and terrain diversity, diversity indices were used to analyze the ecosystem. In this study, the relationships between soils evolution and geomorphic surfaces were investigated by applying pedodiversity indices in a part of a semi-arid region of Chaharmahal-Va-Bakhtiyari Province. In the studied area, three orders were recognized: Mollisols, Inceptisols, and Entisols. The results showed that soil evolution in the studied area was mostly influenced by topography, parent material and the underground water level; that is, in the higher lands, the lowest evolution was observed while in the plain ones, the soil of the higher evolution observed. In addition, the effect of geomorphic surfaces were obvious. Pedodiversity indices increased under the decrease of the hierarchy levels. In addition, the obtained equations revealed the nonlinear relationships in the area of geomorphic surfaces. The positive and nonlinear relationship between pedodiversity indices confirmed the nonlinear dynamic system in the studied soils.

Keywords: Pedodiversity indices, Geomorphology map, Topography, Landscape

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Department of Soil Science, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran.
3. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.
*: Corresponding Author, Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir