

## Investigation of the Relationship between Geopedology and Soil Taxonomy in the Soil-Landscape Models using Conditional Probabilities

MOHSEN BAGHERI BODAGHABADI<sup>1\*</sup>, NORAIR TOOMANIAN<sup>2</sup>

1. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
2. Soil and Water Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Isfahan, Iran

(Received: Nov. 13, 2018- Revised: Dec. 30, 2018- Accepted: Jan. 9, 2019)

### ABSTRACT

Soil maps are basic in any investigation and environmental programming activities. Immense methods try to differentiate more homogenous soil units. The geopedologic soil mapping method assumes that with a categorical disintegration of geoforms, it is enabling to gain harmonized related taxonomic level. The quantitative relationship between geopedologic and taxonomic categorization is not considered in literature, though, this paper uses statistical and conditional probability methods to quantitatively analysis the conformity between the geopedologic approach and Soil Taxonomy levels. Therefore, the geoforms of study area were differentiated and 191 soil samples were excavated and genetically described. The conditional probability of each soil categorical taxa was measured in each geopedologic category. The quantitative results showed that the soils in the studied area were affected less by parent material, or the other soil forming factors had a greater effect than the role of parent materials. Also concordant with pedodiversity analysis, the observability of taxonomic categories versus geopedologic categories is properly related and in each geopedologic category the diversity of taxonomic categories from order to family level increases or homogeneity decreases. But categorical harmonization between them is not fulfilled. In this case, the geopedologic category is not able to differentiate the related taxonomic category properly. Therefore, it is proposed that the family level is differentiated in a lower geopedologic level like phase of geomorphic surfaces. In this level the characteristics like aspect, slope curvature and type of green cover can be considered.

**Keywords:** Soil surveying, Pedodiversity, Soil correlation

## بررسی انطباق ساختار روش زمین‌خاک‌شناسی با سامانه رده‌بندی خاک در مدل‌های خاک - نمای سرزمین با استفاده از احتمالات شرطی

محسن باقری بداغ‌آبادی<sup>۱</sup>، نورایر تومانیان<sup>۲</sup>

۱. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
 ۲. مرکز تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران  
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹)

### چکیده

نقشه‌های خاک، پایه و اساس بسیاری از پژوهش‌ها و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با محیط‌زیست و منابع طبیعی هستند. روش‌های گوناگون جداسازی واحدهای خاک می‌کوشند مرزبندی‌های هرچه خالص‌تری ایجاد کنند. یکی از این روش‌ها که دارای ساختاری سلسله‌مراتبی است روش زمین‌خاک‌شناسی (ژئوپدولوژی) می‌باشد که آن را هم‌تراز ساختار سلسله‌مراتبی سامانه رده‌بندی خاک می‌دانند. از آنجا که ارتباط کمی این دو ساختار با هم کمتر مورد توجه قرار گرفته است در این پژوهش با استفاده از احتمالات شرطی به بررسی کمی رابطه خاک-زمین‌نما پرداخته شده و صحت انطباق این دو ساختار آزمون گردیده است. برای این منظور واحدهای زمین‌ریخت‌شناختی منطقه شرق اصفهان جداسازی شدند و تعداد ۱۹۱ نقطه مطالعاتی بررسی و تجزیه و تحلیل گردید و احتمال شرطی وجود هر خاک به شرط مشاهده زمین‌ریخت‌های مختلف به دست آمد. نتایج به طور کمی نشان دادند خاک‌های منطقه مطالعاتی کمتر تحت تأثیر عامل خاک‌ساز "مواد مادری" قرار گرفته‌اند و یا اینکه عوامل دیگر تأثیرگذاری بیشتری داشته و نقش مواد مادری را کم رنگ نموده‌اند. همچنین بین واگرایی و یا هم‌گرایی خاک‌ها در خلال سلسله مراتب روش زمین‌خاک‌شناسی با سطوح رده‌بندی رابطه نزدیکی وجود دارد و در هر سطح زمین‌خاک‌شناختی از سطح رده به سمت سطح فامیل، واگرایی یا تفرق خاک‌ها افزایش می‌یابد. با این وجود، هم‌ارز بودن سطوح رده‌بندی با سطوح زمین‌ریخت‌شناختی به نظر درست نمی‌آید و سطح زمین‌ریخت دقت کافی برای جداسازی فامیل خاک را ندارد و در بهترین حالت سطح زمین‌ریخت برای جداسازی خاک‌ها در سطح زیرگروه مناسب است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در روش زمین‌خاک‌شناسی برای جداسازی فامیل خاک‌ها طبقات ریزتری مانند «فاز سطح زمین‌ریخت» بکار برده شود که در آن به مواردی چون جهت یا شکل شیب، نوع و تراکم پوشش گیاهی و غیره توجه گردد که در سطوح بالاتر واحدهای زمین‌ریخت‌شناختی مد نظر قرار نگرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: نقشه‌برداری خاک، تفرق خاک، همبستگی خاک

### مقدمه

تلاش دارند، مرزبندی‌های هرچه خالص‌تری را ایجاد کنند؛ یعنی به بیش‌ترین شباهت یا همانندی تغییرات درون گروهی و تضادهای بین گروهی دست یابند. علم زمین‌ریخت‌شناسی<sup>۱</sup> یا ژئومرفولوژی یکی از بهترین روش‌های تفکیک اراضی می‌باشد. در دو دهه گذشته به استفاده از زمین‌ریخت‌شناسی در تفکیک واحدهای اراضی در فرآیند مطالعات خاک‌ها توجه بیشتری معطوف شده است. این فرآیند در روش خاصی از مطالعات خاک‌شناسی به نام روش زمین‌خاک‌شناسی یا ژئوپدولوژی<sup>۲</sup> تاکید بیشتری شده است (Rossiter, 2000). روش زمین‌خاک‌شناسی می‌کوشد تا با تلفیق داده‌های

نقشه‌های خاک به عنوان نقشه‌های پایه، اهمیت زیادی را در بسیاری از پژوهش‌ها و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با محیط زیست و منابع طبیعی دارند. این نقشه‌ها در واقع دستاورد نمایشی یا گرافیکی فرآیند شناسایی خاک‌ها می‌باشند. شناسایی خاک‌ها، روشی برای تعیین الگوی پراکنش، تفسیر، توصیف و نمایش آن‌ها به شکل قابل فهم برای کاربران مختلف است (Dobermann *et al.*, 1997). برای ارزیابی پراکنش واحدهای خاک بر اساس تغییرات طبیعت، احتیاج به تفکیک اراضی طبیعت به صورت همگن می‌باشد. روش‌های تفکیک اراضی

\* نویسنده مسئول: m.baghery@areeo.ac.ir

جدول (۱) در نظر می‌گیرند (Zinck, 1989). از آن‌جا که به کارگیری سطوح پنجم و ششم ساختار ژئوپدولوژی (در جدول ۱)، یعنی محیط ریخت‌زایش<sup>۶</sup> و زمین‌ساختار<sup>۷</sup>، محیط‌های بسیار بزرگ را شامل می‌شوند؛ بنابراین، در مطالعات معمول خاک‌شناسی با استفاده از این رویکرد، سطوح اول تا چهارم این ساختار مد نظر قرار می‌گیرند (Esfandiarpour, 2009). لذا در اجرای طرح‌های منطقه‌ای با تأکید بر اجزای زمین، اراضی مورد مطالعه در چهار سطح از هم تفکیک می‌شوند. این چهار سطح براساس تعاریف آمریکایی: زمین‌نما<sup>۸</sup>، ریخت‌سرزمین<sup>۹</sup>، سنگ‌شناسی<sup>۱۰</sup> و سطح زمین‌ریختی<sup>۱۱</sup> در نظر گرفته می‌شوند. یعنی با حفظ ساختار ارائه شده توسط زینک (۱۹۸۹) مفاهیم امریکائی واحدهای ژئومورفولوژیکی جایگزین مفاهیم اروپائی می‌شوند. سلسله مراتب تعریف شده به روش اروپایی در جدول (۱) ارائه شده است. سطح زمین‌ریخت در پایین‌ترین سطح تقسیم‌بندی قرار می‌گیرد و دارای بالاترین درجه همگنی است. از آنجا که در جغرافیای طبیعی ضمن داشتن ارتباط سیستمیک بین اجزای طبیعت، این اجزاء همگام با هم تکامل می‌یابند (Soil Science Division Staff, 2017)، لذا مرزهای طبیعی واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی بر مبنای مطابق با ساختار سلسله مراتبی سطوح ریخت‌شناسی ترسیم می‌گردند. همچنین شایان ذکر است که این سطوح، وابسته به مقیاس هستند و هر سطحی را در مقیاس معینی می‌توان تفکیک نمود (Bani Neameh, 2003). با این وجود، در روش زمین‌خاک‌شناسی، بین سطوح ادراکی پدیده‌ها و مقیاس نقشه‌ها، رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد که با مفاهیم رده‌بندی خاک، به خوبی هماهنگ است (Udomsri, 2006). وجود چنین روابط و قیاسی بین سطوح زمین‌ریختی و سطوح رده‌بندی در هر مقیاسی که باشد، بدون درک و فهم درست از رابطه خاک-زمین‌نما<sup>۱۲</sup> امکان‌پذیر نیست. در این راستا علوم ریاضی و آمار می‌توانند به درک و فهم بهتر این روابط چه از نظر کیفی و چه کمی کمک بسیاری نمایند.

زمین‌ریختی یا ژئومرفیک (حاصل از علم زمین‌ریخت‌شناسی یا ژئومورفولوژی) و داده‌های زمین‌شناسی و فرایندهای پدولوژیکی (حاصل از علم پدولوژی یا خاکشناسی)، ضمن انتخاب واحدهای نقشه‌ی یکنواخت‌تر، هزینه‌های انجام مطالعات خاک را نیز کاهش دهد (Zinck, 1989). زمین‌ریخت‌شناسی و خاک‌شناسی، علمی هستند که در دامنه‌ی وسیعی از مقیاس‌های زمانی و مکانی فرایندهای تشکیل و تکامل خود دارای همپوشانی هستند (de Boer, 1992). ریخت<sup>۱</sup> یا شکل سطح زمین از برهمکنش فرآیندهای ذاتی داخلی و محیطی خارجی شکل می‌گیرد (Toomanian et al., 2006). خاک‌ها در هر موقعیتی از سرزمین که باشند تحت تأثیر مستقیم یا غیر مستقیم عوامل و فرآیندهای خاک‌سازی یا برهمکنش پیچیده خود با فرآیندهای آب‌شناختی<sup>۲</sup> و زمین‌ریخت‌شناختی<sup>۳</sup> تشکیل و تکامل می‌یابند (Phillips and Marion, 2005). به بیان دیگر، فرآیندهای زمین‌ریختی و خاک‌شناختی، دارای ارتباط بسیار تنگاتنگ می‌باشند؛ چراکه تغییرات مهم ریخت‌سرزمین<sup>۴</sup> می‌توانند پوشش خاک را به طور معنی‌داری تغییر دهند (Phillips, 2001). به همین دلیل انتظار می‌رود در سطوح زمین‌ریخت<sup>۵</sup> یکسان که دارای شرایط مشابه از نظر سنگ‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم و غیره هستند، خاک‌ها دارای نوع و رفتاری مشابه باشند.

بررسی روابط خاک با زمین‌ریخت‌شناسی، مفاهیم درک پراکنش خاک، تشکیل خاک و توصیف تغییرپذیری مکانی خاک‌ها را هر چه بیشتر تشریح می‌نماید (Walker, 1989). مطالعه تشکیل و پراکنش خاک در ارتباط با شکل زمین، درک عمیق‌تری را نسبت به وقتی که خاک، تنها در سطوح رده‌بندی مختلف مورد مطالعه قرار می‌گیرد، ایجاد می‌کند (Graham and Boul, 1990)؛ چراکه ساختار سلسله‌مراتبی زمین‌ریخت‌ها در روش زمین‌خاک‌شناسی با سامانه‌ی رده‌بندی خاک آمریکایی ارتباط سنخیتی ایجاد می‌نماید. در این ساختار، معمولاً شش سطح طبقاتی مختلف زمین‌ریخت را به شرح

"Landscape" نیز "نمای‌سرزمین" معنی شود؛ لیکن چون در بسیاری از مقالات واژه "زمین‌نما" بکار رفته است در این مقاله نیز از این واژه استفاده شد

9. Landform  
10. Lithology  
11. Geomorphic surface  
12. Soil-landscape

1. Morphology  
2. Hydrologic processes  
3. Geomorphologic processes  
4. Landform  
5. Geomorphic surface  
6. Morphogenetic environment  
7. Geostructure  
8. Landscape

(از آنجا که واژه "Land" در فارسی معادل "سرزمین" ترجمه شده است بهتر است

جدول ۱. ساختار کلی سامانه‌ی طبقه‌بندی زمین‌ریخت‌ها (اقتباس از (Esfandiarpour, 2009)

سطح	طبقه‌بندی	مفهوم کلی	تعریف کوتاه
۶	رده	زمین‌ساختار	بخش قاره‌ای وسیعی که از ساختارهای زمین‌شناسی گسترده تشکیل شده است (مانند: زمین‌ناودیس‌ها <sup>۱</sup> و کوردیلرها <sup>۲</sup> ).
۵	زیر رده	محیط ریخت‌زایش	نوع گسترده‌ای از یک محیط بیوفیزیکی که از یک الگوی زمین‌پویای داخلی و یا خارجی، نشأت می‌گیرد و کنترل می‌شود (مانند: ساختاری، رسوبی و فرسایشی).
۴	گروه	نمای‌سرزمین	بخش بزرگی از اراضی که توسط تکرار انواع پستی و بلندی‌های مشابه یا مجموعه‌ای از انواع پستی و بلندی‌های غیرمشابه، مشخص می‌شود (مانند: کوه، تپه، کوه‌پایه، دره، دشت و فلات).
۳	زیر گروه	پستی و بلندی/قالب <sup>۳</sup>	پستی و بلندی توسط ترکیبی از توپوگرافی و ساختارهای زمین‌شناسی مشخص می‌شود (مانند: خرپشته <sup>۴</sup> و فرازمین <sup>۵</sup> ). قالب توسط شرایط ریخت‌اقلیمی ویژه یا فرایندهای ریخت‌زایشی تشخیص داده می‌شود (مانند: دلتا و تراس).
۲	فامیل	سنگ‌شناسی/منشأ <sup>۶</sup>	به خصیصه‌های ذاتی لیتولوژی سنگ‌های سخت و متراکم و رخساره‌های نرم پوشش سطحی آن‌ها اطلاق می‌شود (مانند: ته‌نشست‌های پیرامون یخچالی <sup>۷</sup> ، رسوبات دریاچه‌ای و آبرفتی).
۱	زیر فامیل	شکل اراضی	تیپ اصلی و واضح ژئوform با ساختار منحصر به فرد هندسی، دینامیکی و تاریخی می‌باشد که به منزله‌ی یک واحد عنصری پایه با بالاترین درجه‌ی همگنی، در پایین‌ترین سطح از سطوح سلسله‌مراتب ژئومرفیک قرار گرفته است (مانند: رودکنار یا لوار <sup>۸</sup> و شانه‌ی شیب).

پژوهش‌های بسیاری روی بررسی روابط خاک-نمای‌سرزمین انجام شده است. فیلیپس (Philips, 2009) نشان داد که فرایندهای تکامل دهنده خاک و ریخت‌های سرزمین بر پوشش گیاهی و همچنین تکامل پوشش گیاهی بر تکامل هر دوی آن‌ها تأثیر دارد. استالینز (Stallins, 2006) بیان می‌دارد که برهم‌کنش فرایندهای زمین‌ریختی و اکولوژیک درهم‌تنیدگی ذاتی داشته و همواره طی فرآیند تکامل محیط همدیگر را متأثر می‌نمایند. حتی در خاک‌های غرق شده در مناطق باتلاقی، جزر و مدی یا کنار دریاچه‌ای و دریایی ارتباط خاک با سرزمین فرآیند تکاملی خاک‌ها را کنترل می‌نماید (Osher and Flannagan, 2007). در ایران نیز پژوهش‌های زیادی بر رابطه خاک-زمین‌نما تأکید کرده‌اند. برای نمونه مطالعاتی بر روی ارتباط نوع خاک با زمین‌نما (Keshtkar et al., 2018; Abbaszadeh Afshar et al., 2015; Esfandiarpour Boroujeni and Safari, 2014; Jafari et al., 2013) ، رابطه میکرومورفولوژی بلورهای گچ با زمین‌نما (Farpoor et al., 2003)، ارتباط میزان و نوع رس‌ها با زمین‌نما (Farpoor and Kruse, 2008; Farpoor et al., 2002) ، رابطه توزیع افقی‌های رسی با زمین‌نما (Nadimi and Farpoor, 2013) قابل ذکر می‌باشند. به هر حال می‌توان گفت رابطه منسجمی بین زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی با خاک‌ها و نیز ویژگی‌های کانی‌شناسی، میکرومورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با نمای‌سرزمین وجود دارد (Owliaie et al., 2018). در بیشتر این پژوهش‌ها به طور کیفی به تحلیل این روابط پرداخته‌اند و هرچند در برخی پژوهش‌ها به طور غیرمستقیم و با استفاده از شاخص‌های تفرق این موضوع بررسی شده است (Esfandiarpour Boroujeni and Safari, 2014; Jafari et al., 2013; Esfandiarpour et al., 2006; Toomanian et al., 2009)، اما از نظر کمی، ارتباط خاک-زمین‌نما آنچنان که باید مد نظر قرار نگرفته است. از آنجا که تغییرپذیری<sup>۹</sup>، یک ویژگی مهم خاک‌ها است، تأکید زیادی بر استفاده از ابزارهای آماری و ریاضیاتی به منظور کمی‌سازی و

پژوهش‌های بسیاری روی بررسی روابط خاک-نمای‌سرزمین انجام شده است. فیلیپس (Philips, 2009) نشان داد که فرایندهای تکامل دهنده خاک و ریخت‌های سرزمین بر پوشش گیاهی و همچنین تکامل پوشش گیاهی بر تکامل هر دوی آن‌ها تأثیر دارد. استالینز (Stallins, 2006) بیان می‌دارد که برهم‌کنش فرایندهای زمین‌ریختی و اکولوژیک درهم‌تنیدگی ذاتی داشته و همواره طی فرآیند تکامل محیط همدیگر را متأثر می‌نمایند. حتی در خاک‌های غرق شده در مناطق باتلاقی، جزر و مدی یا کنار دریاچه‌ای و دریایی ارتباط خاک با سرزمین فرآیند تکاملی خاک‌ها را کنترل می‌نماید (Osher and Flannagan, 2007). در ایران نیز پژوهش‌های زیادی بر رابطه خاک-زمین‌نما تأکید کرده‌اند. برای نمونه مطالعاتی بر روی ارتباط نوع خاک با زمین‌نما (Keshtkar et al., 2018; Abbaszadeh Afshar et al., 2015; Esfandiarpour Boroujeni and Safari, 2014; Jafari et al., 2013) ، رابطه میکرومورفولوژی بلورهای گچ با زمین‌نما (Farpoor et al., 2003)، ارتباط میزان و نوع رس‌ها با زمین‌نما (Farpoor and Kruse, 2008; Farpoor et al., 2002) ، رابطه توزیع افقی‌های رسی با زمین‌نما (Nadimi and Farpoor, 2013) قابل ذکر می‌باشند. به هر حال می‌توان گفت رابطه منسجمی بین زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی با خاک‌ها و نیز ویژگی‌های کانی‌شناسی، میکرومورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با نمای‌سرزمین وجود دارد (Owliaie et al., 2018). در بیشتر این پژوهش‌ها به طور کیفی به تحلیل این روابط پرداخته‌اند و هرچند در برخی پژوهش‌ها به طور غیرمستقیم و با استفاده از شاخص‌های تفرق این موضوع بررسی شده است (Esfandiarpour Boroujeni and Safari, 2014; Jafari et al., 2013; Esfandiarpour et al., 2006; Toomanian et al., 2009)، اما از نظر کمی، ارتباط خاک-زمین‌نما آنچنان که باید مد نظر قرار نگرفته است. از آنجا که تغییرپذیری<sup>۹</sup>، یک ویژگی مهم خاک‌ها است، تأکید زیادی بر استفاده از ابزارهای آماری و ریاضیاتی به منظور کمی‌سازی و

1. Geosynclines  
2. Cordillera  
3. Relief/Molding  
4. Hogback  
5. Horst  
6. Lithology/Origin  
7. Periglacial  
8. Levee  
9. Variability

تغییرات ویژگی‌های خاک در زمین‌نماهای مختلف را مورد آزمون قرار داده‌اند (Ovalles and Collins, 1986).

با توجه به آنچه بیان شد می‌توان گفت شناخت روابط خاک- زمین‌نما همگام با تکامل دانش خاک‌شناسی رشد یافته است. در پژوهش‌های خاک، اهمیت زمین‌نما که نخست توسط دانشمندان خاک به طور غیرمستقیم پذیرفته شده بود (King et al., 1983) با بکارگیری علوم ریاضی و آمار به طور مستقیم دیده شد (به منابع بیان شده در بالا رجوع شود). اما موضوعی که چندان مورد توجه قرار نگرفته است بررسی «مستقیم و کمی» رابطه نوع و یا واحدهای خاک (و نه ویژگی‌های آن) با اجزاء زمین-نما و نیز رابطه سطح رده‌بندی خاک با سطح سلسله مراتب ژئوپدولوژی می‌باشد. بنابراین پژوهش کنونی می‌کوشد تا با بکارگیری آمار و احتمال شرطی به بررسی کمی رابطه خاک- زمین‌نما پردازد و صحت ارتباط سامانه سلسله مراتبی روش ژئوپدولوژی با سامانه رده‌بندی آمریکایی ارائه شده در جدول (۱) را آزمون نماید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در ایران مرکزی واقع و وسعتی برابر ۳۰۰۰۰۰ هکتار از اراضی دره زاینده‌رود را شامل می‌شود. این منطقه از نظر جغرافیایی در چهار گوشه  $۱۵^{\circ} ۵۲' - ۵۱^{\circ} ۳۰'$  شرقی و  $۳۲^{\circ} ۵۲' - ۳۲^{\circ} ۳۰'$  شمالی قرار دارد (شکل ۱). می‌انگین تبخیر و تعرق مرجع، دما و بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه بترتیب برابر ۱۵۷۵ می‌لی‌متر، ۱۴ درجه سلسیوس و ۱۰۸ میلی‌متر است (دوره آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۳). ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بیشتر از رسوبات آهکی کرتاسه که روی شیل و ماسه سنگ‌های مزوزوئیک قرار گرفته‌اند تشکیل یافته است. شکل (۲) نقشه برخی از واحدهای زمین‌ریختی منطقه را نشان می‌دهد که شرح هر واحد در جدول (۲) ارائه شده است.

### تهیه نقشه واحدهای زمین‌ریخت

در این مطالعه، با رعایت اساس روش ارائه شده توسط زینک (۱۹۸۹)، برای هماهنگی بیشتر با منابع علمی و نیز سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی، طبقات زمین‌ریختی نیز با سامانه آمریکایی استفاده شده است. در این پژوهش، نخست با استفاده از عکس‌های هوایی ۱/۵۵۰۰۰ منطقه و تفسیر آن‌ها و استفاده از نقشه مواد مادری، توپوگرافی و پوشش گیاهی یا کاربری اراضی،

مدل‌سازی تغییرات خاک شده است و روز به روز این تأکیدها در حال افزایش می‌باشند (Baveye, 2002). در این راستا، رویکرد احتمال شرطی<sup>۱</sup> می‌تواند کمک شایانی به بررسی چنین روابطی بکند؛ چرا که احتمال شرطی برای مجموعه‌ای از مقادیر محاسبه می‌شود که می‌تواند طیف وسیعی از متغیرهای خاک (کمی و کیفی) را دربر بگیرد. مزیت اصلی این رویکرد، توانایی آن برای درنظر گرفتن داده‌های کیفی، مانند نقشه‌های خاک و زمین‌شناسی، افزون بر اندازه‌گیری کمی خود متغیرها است (Journel and Goovaerts, 1995). با توجه به موارد بیان شده می‌توان عبارت «عوامل تشکیل‌دهنده خاک و نیز فرآیندهای خاک‌زایی در سطوح زمین‌ریخت‌ها یکسان عمل می‌نمایند و انتظار بیشترین همگنی در این واحدها می‌رود» را با استفاده از نظریه آمار و احتمالات چنین بیان کرد که «احتمال شرطی مشاهده یک خاک می‌تواند وابسته به واحد زمین‌ریخت باشد»؛ یعنی اینکه در واحد زمین‌ریخت یکسان، انتظار خاک‌های یکسان می‌رود.

پس به زبان ریاضی می‌توان نوشت:

$$P(\text{Soil } A | \text{Geo } A) = \alpha \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (\text{رابطه ۱})$$

یعنی احتمال وجود خاک A به شرط مشاهده واحد زمین‌ریخت A' برابر مقدار  $\alpha$  است. بنابراین، وقتی انتظار می‌رود در سطح زمین‌ریخت، بیشترین همگنی وجود داشته باشد به این معنی است که اگر در این واحد عمده‌تاً یک نوع خاک مشاهده شود مقدار احتمال شرطی برای آن خاک به یک نزدیک می‌شود. نتیجه منطقی، این خواهد بود که اگر احتمال شرطی خاک A به شرط واحد زمین‌ریخت A' برابر یک باشد و یا به زبان ریاضی:

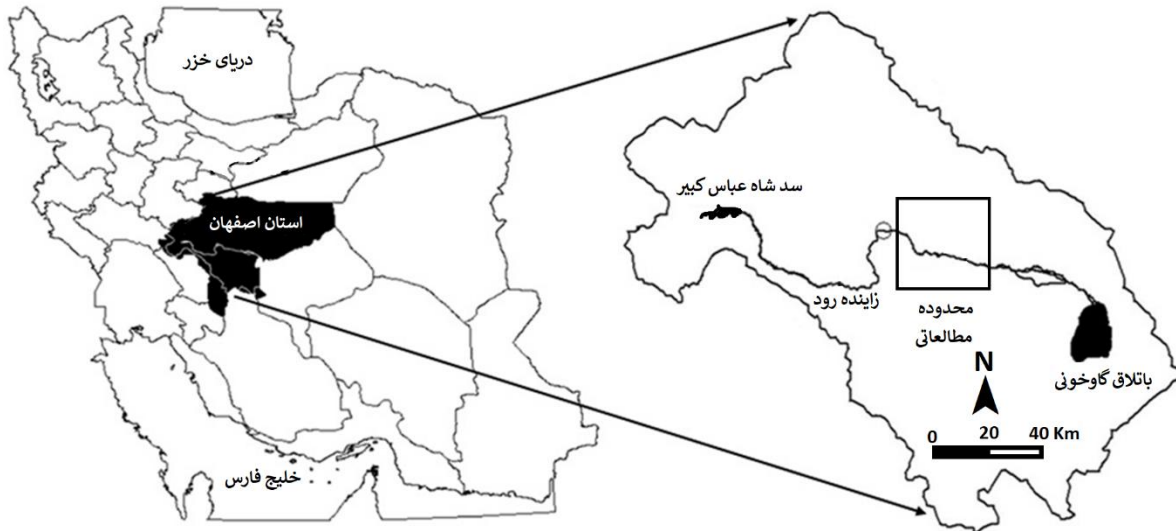
$$P(\text{Soil } A | \text{Geo } A) = 1$$

یعنی بکارگیری زمین‌ریخت‌شناسی و یا به عبارتی واحدهای زمین‌ریخت در فرآیند شناسایی خاک به خوبی توانسته است واحدهای متفاوت خاک را جداسازی کند.

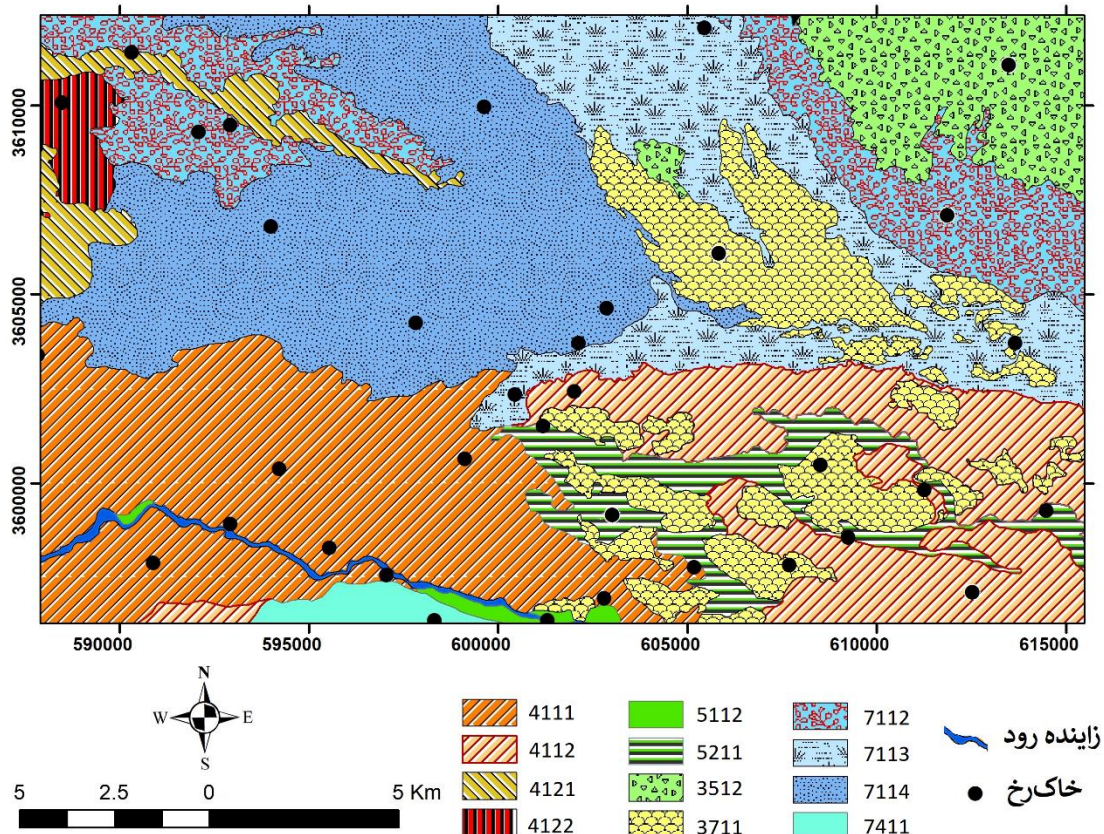
آمار و احتمال شرطی و مدل توسعه یافته‌تر آن یعنی روش بیزین در پژوهش‌های خاک بویژه در نقشه‌برداری خاک استفاده شده است (Hawinkel et al., 2016; Taalab et al., 2015; Weidong et al., 2005; Lagacherie and Voltz, 2000; Bregt et al., 1992). همانطور که چنین پیشینه‌هایی نشان می‌دهند، روابط خاک- زمین‌نما از مدت‌ها پیش در پژوهش‌های گوناگونی بررسی شده‌اند؛ لیکن این پژوهش‌ها بیشتر به صورت کیفی به بررسی روابط خاک-نمای سرزمین پرداخته‌اند (King et al., 1983) و در صورت استفاده از آمار، تنها معنی‌دار بودن یا نبودن

را در گستره مطالعاتی یافت، بر روی عکس‌ها مشخص و نشانه‌گذاری شدند. سپس با انطباق عکس‌های هوایی و نقشه ژئوفرم، این نقاط به نقشه مورد نظر انتقال یافتند و بر اساس آن‌ها عملیات زمین مرجع کردن در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی ایلویس<sup>۳</sup> انجام شد و نقشه مربوطه به صورت رقومی در آمد.

اقدام به جداسازی واحدهای زمین‌ریخت در چهار سطح مزبور برای روش ژئوپدولوژی گردید. به منظور رقومی‌سازی نقشه ژئوفرم به دست آمده، نخست عملیات زمین مرجع نمودن<sup>۱</sup> و انجام تصحیحات هندسی<sup>۲</sup> روی این نقشه انجام شد. برای این منظور حداقل چهار پدیده آشکار که بتوان در مطالعات میدانی نیز آن‌ها



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و استان اصفهان



شکل ۲- برخی از واحدهای زمین‌ریخت منطقه و خاک‌رخ‌های حفر شده (شرح واحدها در جدول ۲)

جدول ۲- راهنمای واحدهای زمین‌ریخت‌شناختی سلسله مراتبی تفکیک شده در منطقه مورد مطالعه.

تعداد مشاهدات	کد واحد	سطح زمین‌ریخت	سنگ‌شناسی	ریخت‌سرزمین	نمای سرزمین
-	1111	سطح سنگی	سنگ آهک مارلی همراه با شیل و آهک تیره	رخنمون بریده شده	کوه (Mo)
-	1121	سطح سنگی	سنگ آهک مارلی		
-	1211	پرتگاه سنگی	شیل و آهک تیره فرسایش یافته	پدیمنت سنگی	
۳	2111	سطحی با شیب مرکب	کنگومرای بازی	رخنمون بریده شده	
۱	2211	سطح سنگی همراه با سیستم زهکشی مشبک	شیل و آهک تیره بریده بریده شده همراه با گچ	رخنمون فرسایش یافته	تپه (Hi)
۱	2311	سطحی با شیب مرکب	بقایای شیل	تپه‌های مرتفع سنگ‌دار	
۱	3111	سطحی با شیب مرکب	بقایای شیل	پدیمنت	
۱	3211	دلتهای دانه درشت	آبرفت دامنه‌ای جدید	فن دلتهای	
۱	3212	دلتهای دانه درشت			
۱	3311	قسمت بالایی	آبرفت آهک فرامینفرال‌دار و کنگومرای بازی		
۶	3321	قسمت‌های بالایی همراه با شیب مرکب	آبرفت شیل و آهک تیره رنگ		
۲۳	3331	سطحی با شیب مرکب	آبرفت سنگ آهک مارلی	فن بادبزی شکل	
۲	3332	سطحی با شیب مرکب، کشت شده			
۲	3341	فن فعال	آبرفت سنگ آهک‌های مختلف		
-	3411	قسمت میانی	آبرفت آهک و کنگومرای بازی و مواد آذرینی		
۳	3421	قسمت بالایی	آبرفت اندزیت، گرانودیوریت و آهک		
۱	3422	قسمت بالایی همراه با شبکه متراکم زهکش			
۲	3431	قسمت بالایی همراه با شبکه متراکم زهکش			
۲	3432	قسمت میانی			
۲	3433	قسمت زیرین با شبکه متراکم زهکش			
-	3434	قسمت زیرین با شبکه متراکم زهکش دانه ریز	آبرفت آهک فرامینفرال‌دار	فن‌های متصل	
-	3435	قسمت زیرین، آهک‌دار			
۱	3436	قسمت زیرین، با کراست نمکی و گچی			
-	3441	قسمت میانی با زهکش کمتر			
۸	3442	قسمت میانی با زهکش‌های موازی	آبرفت آهک مارلی و شیل تیره		
۵	3443	قسمت زیرین با شبکه متراکم زهکش			
۳	3511	تراس قدیمی، پلاتوهای گرده ماهی شکل	آبرفت آهک فرامینفرال‌دار	فن‌های متصل و بریده شده	
۸	3512	تراس قدیمی با شبکه متراکم زهکش‌ها			
۴	3611	تراس قدیمی، صاف و نمکی	رسوبات ریزدانه مارلی و گچ‌دار	فن‌های متصل قدیمی	
۱	3621	تراس قدیمی قسمت زیرین	آبرفت دانه ریز مارلی		
۳	3711	تراس قدیمی، پلاتوهای گچی	آبرفت دانه درشت گچ‌دار	فن‌های متصل گرده ماهی	
۲۷	4111	تراس‌های کشت شده	آبرفت‌های رودخانه زاینده‌رود		
۳	4112	تراس‌های کشت شده و شور شده		دشت آبرفتی (Ap)	
۷	4121	مئاندرهای رودخانه ای	آبرفت‌های رودهای قدیمی	تراس‌های صاف رودخانه‌ای	
۵	4122	تراس‌های قدیمی کشت شده			
۶	5111	رسوبات حاشیه ای رودخانه، کشت شده			
-	5112	رسوبات حاشیه ای رودخانه، شور و کشت شده	آبرفت‌های اخیر	پایین ترین تراس رودخانه	دشت سیلابی (Fi)
۴	5211	آبرفت‌های ریزدانه احیاء شده شور	آبرفت‌های اخیر	دشت سیلابی رود فصلی	
۱	6111	آبرفت‌های داخل رودخانه	آبرفت‌های دانه درشت اخیر	رسوبات رودخانه	رودخانه (Ri)
۵	7111	زون مرطوب، صاف، شور، کشت شده			
۱۳	7112	زون مرطوب، صاف، خیلی شور	رسوبات آبرفتی-لاگونی دانه ریز، به شدت شور و گودی سگری		
۱۱	7113	پهنه رسی نرم، قلیایی، با زه آب بالا	گچی		
۷	7114	پهنه رسی نرم، گچ‌دار، به شدت شور			
۱۲	7211	پهنه رسی، کشت شده	آبرفت‌های دانه ریز، کمی شور	گودی برخوردار	پلایا (Pi)
۴	7311	اراضی پف کرده، لاگونی، گچ‌دار	رسوبات آبرفتی-لاگونی دانه ریز و گچی	گودی مرغ	
۱	7411	پهنه رسی، کشت شده	رسوبات آبرفتی-لاگونی دانه ریز، شدیداً شور و گودی جرقویه گچی		

### نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی

در پژوهش کنونی با توجه به سطوح زمین‌ریخت تفکیک شده تعداد ۱۹۱ نقطه مطالعاتی در کل منطقه حفر و تشریح گردید، به طوری که با توجه به مساحت هر واحد نقشه، در هر واحد دست کم یک نقطه مطالعاتی موجود باشد. موقعیت جغرافیایی خاک‌رخ-ها با استفاده از یک سامانه‌ی مکان‌یاب جهانی<sup>۱</sup> مدل گارمین-اِترکس ویستا<sup>۲</sup> تعیین شده‌اند. تمامی خاک‌رخ‌های حفر شده، بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (Schoeneberger *et al.*, 2002) تشریح و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی معمول بر اساس روش‌های استاندارد (Soil Survey Staff, 1996) بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و رده‌بندی تمامی خاک‌رخ‌ها تا سطح فامیل خاک، بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مطابق با کلید رده-بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) انجام گردید.

### محاسبات آماری

فرض کنید دو پیشامد A و B در فضای نمونه‌ای یکسان داده شده‌اند و احتمال رخداد B بزرگ‌تر از صفر باشد، یعنی  $P(B) > 0$ ، حال احتمال شرطی A زمانی که B رخ داده باشد (یعنی  $P(A|B)$ ) برابر است با خارج قسمت تقسیم احتمال غیرشرطی توزیع احتمال همزمان A و B (یعنی  $P(A \cap B)$ )، بر احتمال غیرشرطی B (یعنی  $P(B)$ )؛ و به بیان ریاضی:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

حال اگر فرض کنیم هر خاک (Si) و واحد زمین‌ریخت (Gj) دو پیشامد در یک زمین‌نما باشند، بر اساس احتمال شرطی می‌توان احتمال وجود خاک (Si) را در حالتی که واحد زمین‌ریخت (Gj) مشاهده شود به صورت زیر نشان داد:

$$P(Si|Gj) = \frac{P(Si \cap Gj)}{P(Gj)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

هر چه مقدار  $P(Si|Gj)$  به یک نزدیک‌تر باشد یعنی مدل خاک- زمین‌نما، بهتر توانسته است واحدها یا نوع خاک‌ها را جداسازی کند. برای نمونه اگر احتمال مشاهده زمین‌ریخت G در یک منطقه برابر ۳۰ درصد و احتمال وجود همزمان خاک S در زمین‌ریخت G برابر ۲۱ درصد باشد، احتمال وجود خاک S به شرط مشاهده زمین‌ریخت G برابر ۷۰ درصد خواهد بود. در مواردی که احتمال وجود یک خاک (S) به شرط مشاهده یک زمین‌ریخت مشخص (G) برابر ۱۰۰ درصد (یا یک) باشد یعنی آن خاک (S) را تنها در همان زمین‌ریخت (G) می‌توان یافت. البته این بدان معنی نیست که در زمین‌ریخت G تنها خاک S وجود

دارد و ممکن است خاک‌های دیگری هم در آن زمین‌ریخت وجود داشته باشند. لیکن خاک مزبور را می‌توان یکی از خاک‌های شاخص آن زمین‌ریخت دانست.

### یافته‌ها

از نظر زمین‌نما، منطقه مطالعاتی شامل موارد زیر می‌شود؛ لیکن شرح کامل واحدهای زمین‌ریخت‌شناختی (ژئومورفیک) منطقه در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

به منظور سهولت در انجام محاسبات، تنها خاک‌های غالب منطقه مد نظر قرار گرفتند و سایر فامیل‌ها همه در یک گروه قرار داده شدند (Pahlavan Rad *et al.*, 2014). جدول (۳) خاک‌های غالب منطقه که در محاسبات استفاده شده‌اند و تعداد هر کدام را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود خاک‌های منطقه در دو رده آرییدی سولز و آنتی سولز رده‌بندی می‌شوند که به ترتیب حدود ۷۹ و ۲۱ درصد مشاهده‌ها را در بر می‌گیرند. برای انجام محاسبات آماری در سطح فامیل، خاک‌هایی که کمتر از هشت مشاهده داشتند وارد محاسبات نشدند. به همین دلیل در سطح فامیل از هفت فامیل خاک که ۸۷ مشاهده را در بر می‌گرفتند استفاده شد. لیکن این تعداد برای سطح زیرگروه، گروه بزرگ و زیررده افزایش یافت به طوری که تعداد کل خاک‌های مورد استفاده در محاسبات در سطح زیررده همان تعداد کل یعنی ۱۹۱ خاک‌رخ بود. شایان ذکر است که برای انجام محاسبات مربوط به احتمالات شرطی هر خاک، فراوانی نسبی مشاهدات هر خاک در هر واحد زمین‌ریختی در نظر گرفته شده است. با وجود آنکه در سطح فامیل خاک‌های با تعداد مشاهده کمتر از هشت نمونه از محاسبات حذف شدند باز هم در برخی از واحدهای زمین‌ریختی تعداد مشاهده‌ها گاه تنها یک عدد بود. هرچند این موضوع اعتبار تعمیم نتایج برای آن نمونه‌ها را با ابهام روبرو می‌کند اما چاره‌ای جز انجام محاسبات نبود، لیکن در تفسیر نتایج و انجام محاسبات پایانی (جدول ۸) چنین مواردی وارد محاسبات نشدند.

جدول‌های (۴، ۵، ۶ و ۷) به ترتیب برای سطوح فامیل، زیرگروه، گروه بزرگ و زیررده مقادیر احتمال شرطی خاک‌ها را برای هر جزء سرزمین نشان می‌دهند. با توجه به نتایج ارائه شده در هر جدول، به طور کلی همان‌طور که انتظار می‌رود، در هر سطح زمین‌ریخت احتمال شرطی مشاهده خاک‌ها در سطوح بالاتر رده‌بندی خاک، افزایش می‌یابد. برای مثال در سطح زمین‌ریخت و در سطح فامیل برای خاک A، احتمال وجود فامیل خاک A در زمین‌ریخت 7113 برابر ۰/۷۳ است و یا به زبان ریاضی:



زمینریخت 7113 (۸ عدد) نسبت به کل مشاهدات (۱۹۱ عدد)، پس داریم:

$$P(\text{FamilyA}) = 8 \div 191 = 4/19 \%$$

بنابراین احتمال وجود خاک فامیل A در زمینریخت 7113 برابر است با خارج قسمت تقسیم احتمال غیرشرطی توزیع احتمال همزمان فامیل A و زمینریخت 7113 (یعنی ۴/۱۹٪)، بر احتمال غیرشرطی زمینریخت 7113 (یعنی ۵/۷۶٪)؛ و به بیان ریاضی:

$$P(\text{FamilyA} | \text{Geo7113}) = 4/19 \div 5/76 = 0/73$$

$$P(\text{FamilyA} | \text{Geo7113}) = 0/73$$

این عدد به صورت زیر محاسبه شده است (محاسبات برای دیگر سطوح نیز به طور مشابه می‌باشند):

احتمال مشاهده زمینریخت 7113 (Geo7113) در کل منطقه برابر است با تعداد مشاهدات این زمینریخت (۱۱ عدد) نسبت به کل مشاهدات (۱۹۱ عدد)، پس داریم:

$$P(\text{Geo7113}) = 11 \div 191 = 5/76 \%$$

و احتمال همزمان خاک فامیل A (FamilyA) در زمینریخت 7113 برابر است با تعداد مشاهدات این خاک در

جدول ۳ - خاک‌های غالب منطقه به همراه تعداد مشاهده هر خاک

Code	Family	Subgroup	Great group	Suborder
A	Fine, mixed, semiactive, thermic Gypsic Haplosalids (۲۰)	Gypsic Haplosalids (۳۲)	Haplosalids (۴۹)	Salids (۴۹)
B	Fine, mixed, semiactive, thermic Typic Haplosalids (۸)	Typic Haplosalids (۱۳)	Haploargids (۲۰)	Argids (۳۵)
C	Fine, mixed, semiactive, thermic Typic Haploargids (۱۹)	Typic Calcicargids (۱۴)	Calcicargids (۱۴)	Gypsid (۴۳)
D	Loamy-skeletal, gypsic, thermic Typic Haplogypsid (۹)	Typic Haplogypsid (۲۴)	Haplogypsid (۳۰)	Calcids (۱۲)
E	Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Haplogypsid (۸)	Typic Haplocalcids (۱۲)	Haplocalcids (۱۲)	Cambids (۱۲)
F	Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Haplocalcids (۹)	Typic Haplocambids (۱۲)	Haplocambids (۱۲)	Orthents (۴۰)
-	Other families of Aridisols (۱۰۴)*	Typic Torriorthents (۴۰)	Torriorthents (۴۰)	
G	Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Torriorthents (۱۴)			

\* شامل همه فامیل‌های خاک که فراوانی کمتر از هشت مشاهده داشتند می‌شود. اعداد داخل پرانتز تعداد مشاهدات در نظر گرفته شده را نشان می‌دهند.

## بحث

Haplosalids (که به دلیل تعداد کم در محاسبات نیامده است)

می‌شود، برآیندی از احتمال تک تک این خاک‌ها می‌باشد.

به منظور مشاهده روند مذکور یک نمونه که کمتر تحت تأثیر محاسبات برای خاک‌های غالب است و این روند را به خوبی نشان می‌دهد خاک فامیل E است. همانطور که می‌توان دید احتمال شرطی این خاک برای زمینریخت 3442 به ترتیب در سطوح فامیل، زیرگروه (SubG-E)، گروه بزرگ (GG-E) و زیررده (SubO-E) به شرح زیر است:

$$P(\text{FamilyE} | \text{Geo3442}) = 0/13$$

$$P(\text{SubG-E} | \text{Geo3442}) = 0/25$$

$$P(\text{GG-E} | \text{Geo3442}) = 0/28$$

$$P(\text{SubO-E} | \text{Geo3442}) = 0/50$$

چنین نتایجی تقریباً برای همه‌ی خاک‌ها و در همه سطوح زمینریختی مشاهده می‌شود. برای نمونه، احتمال شرطی در سطح نمای‌سرزمین دامنه (Geo3) برای خاک D در سطوح فامیل، زیرگروه (SubG-E)، گروه بزرگ (GG-E) و زیررده (SubO-E) به شرح زیر است:

$$P(\text{FamilyD} | \text{Geo3}) = 0/11$$

$$P(\text{SubG-D} | \text{Geo3}) = 0/30$$

همانگونه که پیش از این به عنوان یک نمونه نشان داده شد احتمال وجود فامیل خاک A در زمینریخت 7113 برابر ۰/۷۳ است و یا به زبان ریاضی:

$$P(\text{FamilyA} | \text{Geo7113}) = 0/73$$

برای سطح زیرگروه مربوط به خاک A یا SubG-A (یعنی زیرگروه Gypsi Haplosalids) احتمال وجود خاک SubG-A در زمینریخت 7113 (Geo7113) برابر ۰/۹۱ است و یا به زبان ریاضی:

$$P(\text{SubG-A} | \text{Geo7113}) = 0/91$$

این مقدار برای سطح گروه بزرگ (Haplosalids) باید افزایش یابد، لیکن مقدار آن برابر ۰/۷۳ شده است، چرا که در محاسبات، تنها خاک‌های غالب وارد شده است. برای نمونه، همانطور که در جدول (۴) دیده می‌شود برای فامیل B اصلاً زمینریخت 7113 وجود ندارد اما در جدول (۵) برای سطح زیرگروه Typic Haplosalids این زمینریخت (7113) وجود دارد و مقدار احتمال مربوطه برابر ۰/۰۹ است. حال احتمال شرطی مربوط به سطح گروه بزرگ Haplosalids که شامل زیرگروه‌های Calcic و Gypsic Haplosalids, Typic Haplosalids

$$= P(\text{FamilyE} | \text{Geo51})$$

چنین مواردی در منطقه مطالعاتی برای سطح ریخت‌سرزمین با سطح سنگ‌شناسی در بسیاری از موارد دید می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که خاک‌های منطقه مطالعاتی کمتر تحت تأثیر عامل خاک‌ساز "مواد مادری" قرار گرفته‌اند و یا اینکه عوامل دیگر تأثیرگذاری بیشتری داشته و نقش مواد مادری را کم رنگ نموده‌اند. نتایج همانندی توسط اسفندیارپور و همکاران (Esfandiarpour *et al.*, 2009) برای منطقه بروجن گزارش شده است. برخلاف نقش کم رنگ مواد مادری، نقش ناهمواری‌ها و ریخت‌سرزمین بسیار چشم‌گیر می‌باشد و در تفرق خاک‌ها و تکامل آن‌ها به خوبی با احتمال شرطی هر خاک قابل بررسی است. همانطور که جدول‌های (۴ تا ۷) نشان می‌دهند در بسیاری از موارد مقدار احتمال شرطی بین سطح نمای سرزمین با سطح ریخت‌سرزمین متفاوت می‌باشد و معمولاً این مقدار برای سطح ریخت‌سرزمین بزرگ‌تر از سطح نمای سرزمین است. این موضوع نشان‌دهنده نقش مهم و تأثیرگذار سطح ریخت‌سرزمین (که به ناهمواری‌ها مربوط می‌شود) در تفرق، پراکنش و یا تکامل خاک‌ها می‌باشد. از آنجا که در این منطقه تنوع اقلیمی وجود ندارد و یک منطقه خشک است نقش اقلیم در تکامل و یا تفرق خاک‌ها بایستی ناچیز باشد. اما وجود برخی پدیده‌ها مانند افق تجمع رس و یا آهک و ایجاد خاک‌های متکامل مانند آرجیدها، احتمال اینکه اقلیم گذشته متفاوت از اقلیم کنونی بوده باشد را نشان می‌دهند. پژوهش‌هایی که در این محدوده انجام شده‌اند نقش اقلیم گذشته را در تشکیل خاک‌ها به خوبی نشان داده‌اند (Bayat *et al.*, 2011, Ayoubi *et al.*, 2006)

جدول (۸) میانگین مقادیر احتمال شرطی را برای هر سطح زمین‌ریخت‌شناختی و هر سطح رده‌بندی خاک نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود روند کلی داده‌ها با آنچه مورد انتظار است و به طور کیفی و یا با شاخص‌های تفرق خاک ذکر شده (Esfandiarpour *et al.*, 2009, Jafari *et al.*, 2013, Toomanian *et al.*, 2006) هماهنگ است؛ یعنی در هر سطح زمین‌ریخت‌شناختی برای سطوح رده‌بندی از سطح فامیل به سطح رده همگرایی خاک‌ها افزایش می‌یابد و یا به بیان دیگر تفرق خاک‌ها کاسته می‌شود و یا برعکس، از سطح رده به سمت سطح فامیل واگرایی یا تفرق خاک‌ها افزایش می‌یابد. برای نمونه در سطح زمین‌ریخت از سطح فامیل به زیررده مقدار احتمال شرطی از ۰/۴۱ به ۰/۸۵ افزایش یافته است. بنابراین، آنچه که در مورد تفرق خاک‌ها بیشتر به طور کیفی و گاه با برخی شاخص‌های تفرق خاک پذیرفته شده بود (Esfandiarpour Boroujeni and, )

$$P(\text{GG-D} | \text{Geo3}) = 0/35$$

$$P(\text{SubO-D} | \text{Geo3}) = 0/51$$

وجود چنین روندی برای سطوح رده‌بندی خاک‌ها و سطوح زمین‌ریختی به خوبی بیانگر هم‌خوانی ساختار سلسله مراتبی روش ژئوپدولوژی با ساختار رده‌بندی خاک می‌باشد. از طرف دیگر برای هر خاک (در هر سطح رده‌بندی) احتمال شرطی برای واحدهای زمین‌ریختی در سطح بالاتر کاهش می‌یابد (برخی از ناهمخوانی‌ها به دلیل محاسبات بر اساس خاک غالب هستند). برای نمونه احتمال شرطی خاک Typic Torriorthents (TTs) در سطح زمین‌ریخت تا سطح نمای سرزمین به ترتیب به شرح زیر است:

$$P(\text{TTs} | \text{Geo3443}) = 0/60$$

$$P(\text{TTs} | \text{Geo344}) = 0/38$$

$$P(\text{TTs} | \text{Geo34}) = 0/29$$

$$P(\text{TTs} | \text{Geo3}) = 0/20$$

این موضوع نیز همانطور که انتظار می‌رود، به خوبی تفرق خاک‌ها را در خلال سلسله مراتب زمین‌ریختی نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده توسط شاخص‌های تفرق خاک برای این منطقه نیز تاییدی بر نتایج فوق است (Toomanian *et al.*, 2006). در بررسی تنوع واحدهای نقشه خاک در پژوهش‌های دیگر نیز نتایج مشابهی ارائه شده است (Esfandiarpour, Jafari *et al.*, 2013, *et al.*, 2009).

چنانچه بین دو یا چند سطح زمین‌ریختی برای نمونه بین سطح سنگ‌شناسی با سطح زمین‌ریخت، سطح ریخت‌سرزمین با سطح سنگ‌شناسی و یا سطح زمین‌نما با سطح ریخت‌سرزمین، احتمال شرطی برای یک خاک تغییر نکند این بدان معنی است که در واقع آن سطح نتوانسته است خاک مورد نظر را جداسازی کند. به بیان دیگر، وقتی احتمال شرطی برای یک خاک در سطح زمین‌ریخت‌شناختی پایین‌تر با سطح زمین‌ریخت‌شناختی بالاتر آن برابر باشد یعنی ریزتر شدن سطح زمین‌ریخت‌شناختی هیچ تأثیری در جداسازی خاک‌ها در آن سطح نداشته است و می‌توان چنین گفت که آن سطح در فرآیند خاک‌سازی بی‌تأثیر بوده است. در برخی از خاک‌ها در جدول‌های (۴ تا ۷) مشاهده می‌شود احتمال شرطی وجود یک خاک بین سطوح مختلف تفاوتی ندارد. برای نمونه:

$$P(\text{FamilyA} | \text{Geo711}) = P(\text{FamilyA} | \text{Geo71}) = 0/50$$

$$P(\text{FamilyA} | \text{Geo731}) = P(\text{FamilyA} | \text{Geo73}) = 0/25$$

$$P(\text{FamilyC} | \text{Geo7211}) = P(\text{FamilyC} | \text{Geo721}) = 0/08$$

$$= P(\text{FamilyA} | \text{Geo72})$$

$$P(\text{FamilyE} | \text{Geo5111}) = P(\text{FamilyE} | \text{Geo511}) = 0/33$$

دید برای هر سطح رده‌بندی خاک، از سطح زمین‌ریخت به سمت سطوح بالاتر مقدار احتمال شرطی کاهش یافته است. این موضوع نیز به طور کمی ثابت می‌کند که در سطوح زمین‌ریخت شناختی پایین-تر، خاک‌ها همگنی بیشتر دارند. چنین نتایجی در پژوهش‌های بسیاری به دست آمده است ( Keshtkar *et al.*, 2018; Abbaszadeh Afshar *et al.*, 2015; Esfandiarpour Boroujeni and Safari, 2014, Jafari *et al.*, 2013).

(Safri, 2014) با استفاده از احتمال شرطی با عدد و رقم و به صورت کمی می‌توان نشان داد. شایان ذکر است که شاخص‌های تفرق خاک نیز به صورت عدد و رقم می‌باشند، اما این اعداد و ارقام وقتی نسبت به همدیگر سنجیده می‌شوند قابل تفسیر می‌باشند و یک عدد به تنهایی مفهوم خاصی ندارد؛ ولی عدد احتمال شرطی به تنهایی دارای مفهوم بوده و مقدار احتمال وجود یک خاک را در منطقه مورد نظر بیان می‌کند. براساس جدول (۸) همچنین می‌توان

جدول ۴- مقادیر احتمال شرطی، P(x)، برای سطح فامیل خاک در سطوح زمین‌ریختی متفاوت

Class	Geo	P(x) Lithology	P(x) Landform	P(x) Landscape	P(x)			
Fine, mixed, semiactive, thermic Gypsic Haplosalids	7113	۰/۷۳						
	7112	۰/۳۸	711	۰/۵۰	71	۰/۵۰		
	7114	۰/۷۱			7	۰/۳۸		
	7311	۰/۲۵	731	۰/۲۵	73	۰/۲۵		
	7411	۱/۰۰	741	۱/۰۰	74	۱/۰۰		
Fine, mixed, semiactive, thermic Typic Haploargids	4111	۰/۶۷	411	۰/۶۰	41	۰/۴۳	4	۰/۴۳
	7211	۰/۰۸	721	۰/۰۸	72	۰/۰۸	7	۰/۰۲
Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Torriorthents	3311	۱/۰۰	331	۱/۰۰				
	3321	۰/۱۷	332	۰/۱۷				
	3331	۰/۰۴			33	۰/۱۵		
	3332	۱/۰۰	333	۰/۱۲			3	۰/۱۴
	3421	۰/۳۳	342	۰/۷۵				
	3442	۰/۲۵			34	۰/۲۵		
	3443	۰/۶۰	344	۰/۲۳				
Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Haplogypsid	4121	۰/۱۴	412	۰/۰۸	41	۰/۰۲	4	۰/۰۲
	5111	۰/۳۳	511	۰/۳۳	51	۰/۳۳	5	۰/۲۰
	3511	۰/۶۷					3	۰/۱۱
	3512	۰/۲۵	351	۰/۳۶	35	۰/۳۶		
	3432	۱/۰۰	343	۰/۴۳				
Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Haplocalcids	3431	۰/۵۰			34	۰/۱۷		
	3421	۰/۳۳	342	۰/۲۵				
	3211	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۰/۵۰		
	3331	۰/۱۷	333	۰/۱۶			33	۰/۲۱
Loamy-skeletal, mixed, semiactive, thermic Typic Haplocalcids	3321	۰/۵۰	332	۰/۵۰			3	۰/۱۰
	3431	۰/۵۰	343	۰/۱۴	34	۰/۰۴		
	4111	۰/۰۴	411	۰/۰۳	41	۰/۰۲	4	۰/۰۲
Fine, mixed, semiactive, thermic Typic Haplosalids	5211	۰/۷۵	512	۰/۵۰	51	۰/۵۰	5	۰/۳۰
	7112	۰/۱۵	711	۰/۰۶	71	۰/۰۶		
	7211	۰/۰۸	721	۰/۰۸	72	۰/۰۸	7	۰/۰۶
	4112	۰/۳۳	411	۰/۰۳	41	۰/۰۲	4	۰/۰۲
	3611	۰/۲۵	361	۰/۲۵	36	۰/۲۰	3	۰/۰۱
Loamy-skeletal, gypsic, thermic Typic Haplogypsid	3443	۰/۴۰						
	3442	۰/۱۳	344	۰/۲۳			34	۰/۱۷
	3433	۰/۵۰	343	۰/۱۴				
	3331	۰/۰۹	333	۰/۰۸			33	۰/۰۹
	3321	۰/۱۷	332	۰/۱۷				
	3711	۰/۳۳	371	۰/۳۳	37	۰/۳۳		

جدول ۵- مقادیر احتمال شرطی، P(x)، برای سطح زیرگروه خاک در سطوح زمین‌ریختی متفاوت

Class	Geomorfic	P(x)	Lithology	P(x)	Landform	P(x)	Landscape	P(x)
TypicTorriorthents (Torriorthents) (Orthents) (Entisols)	3111	۱/۰۰	311	۱/۰۰	31	۱/۰۰		
	3311	۱/۰۰	331	۱/۰۰				
	3321	۰/۳۳	332	۰/۳۳	33	۰/۲۴	3	۰/۲۰
	3331	۰/۱۳	333	۰/۲۰				
	3421	۰/۳۳	342	۰/۵۰	34	۰/۲۹		
	3422	۱/۰۰						
	3442	۰/۲۵	344	۰/۳۸				
	3443	۰/۶۰						
	4111	۰/۰۷	411	۰/۱۰	41	۰/۲۶	4	۰/۲۶
	4112	۰/۳۳						
	4121	۰/۸۶						
	4122	۰/۴۰						
	5111	۱/۰۰	511	۱/۰۰	51	۱/۰۰	5	۰/۶۰
	6111	۱/۰۰	611	۱/۰۰	61	۱/۰۰	6	۱/۰۰
7111	۰/۲۰	711	۰/۰۳	71	۰/۰۳	7	۰/۱۱	
7211	۰/۱۷	721	۰/۱۷	72	۰/۱۷			
7311	۰/۷۵	731	۰/۷۵	73	۰/۷۵			
2211	۱/۰۰	221	۱/۰۰	22	۱/۰۰			2
GypsicHaplosalids	3212	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۱/۰۰	3	۰/۰۵
	3436	۱/۰۰	343	۰/۱۴	34	۰/۰۴		
	3611	۰/۲۵	361	۰/۲۵	36	۰/۲۰	7	۰/۵۳
	7112	۰/۶۹	711	۰/۶۹	71	۰/۶۹		
	7113	۰/۹۱						
	7114	۰/۸۶						
	7211	۰/۰۸					72	۰/۰۸
	7311	۰/۲۵	73	۰/۲۵	73	۰/۲۵		
7411	۱/۰۰	741	۱/۰۰	74	۱/۰۰			
TypicHaplogypsid	3211	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۰/۵۰	33	۰/۰۹
	3321	۰/۱۷	332	۰/۱۷				
	3331	۰/۰۹	333	۰/۰۸	34	۰/۴۲	3	۰/۳۰
	3421	۰/۶۷	342	۰/۵۰				
	3431	۰/۵۰	343	۰/۵۷				
	3432	۱/۰۰						
	3433	۰/۵۰						
	3442	۰/۲۸						
	3443	۰/۴۰	344	۰/۳۱				
	3511	۰/۶۷	351	۰/۶۴	35	۰/۶۴		
3512	۰/۶۳							
3711	۱/۰۰	371	۱/۰۰	37	۱/۰۰			
TypicHaploargids (Haploargids)	4111	۰/۶۷	411	۰/۶۰	41	۰/۴۳	4	۰/۴۳
	7211	۰/۱۷	721	۰/۱۷	72	۰/۱۷	7	۰/۰۴
TypicCalciargids (Calciargids)	3331	۰/۲۲	333	۰/۲۰	33	۰/۱۵	3	۰/۱۰
	3442	۰/۲۵	344	۰/۱۵	34	۰/۰۸		
	3621	۱/۰۰	362	۱/۰۰	36	۰/۲۰	7	۰/۱۱
	7111	۰/۲۰	711	۰/۰۳	71	۰/۰۳		
	7211	۰/۴۲	721	۰/۴۲	72	۰/۴۲		
TypicHaplosalids	2111	۰/۶۷	211	۰/۶۷	21	۰/۶۷	2	۰/۴۰
	3512	۰/۱۳	351	۰/۰۹	35	۰/۰۹	3	۰/۰۳
	3611	۰/۲۵	361	۰/۲۵	36	۰/۲۰	4	۰/۰۲
	4112	۰/۳۳	411	۰/۰۳	41	۰/۰۲		

Class	Geomorfc	P(x)	Lithology	P(x)	Landform	P(x)	Landscape	P(x)
	5211	۱/۰۰	521	۱/۰۰	52	۱/۰۰	5	۰/۴۰
	7112	۰/۱۵	711	۰/۰۸	71	۰/۰۸	7	۰/۰۶
	7113	۰/۰۹						
	7211	۰/۰۸	721	۰/۰۸	72	۰/۰۸		
TypicHaplocalcids (Haplocalcids) (Calcids)	3331	۰/۱۷	333	۰/۱۶	33	۰/۲۱	3	۰/۱۰
	3321	۰/۵۰	332	۰/۵۰				
	3431	۰/۵۰	343	۰/۱۴	34	۰/۰۴		
	4111	۰/۰۴	411	۰/۰۳	41	۰/۰۷	4	۰/۰۷
	4122	۰/۴۰	412	۰/۱۷				
	7111	۰/۲۰	711	۰/۰۳	71	۰/۰۳	7	۰/۰۲
TypicHaplocambids (Haplocambids) (Cambids)	4111	۰/۲۲	411	۰/۲۳	41	۰/۲۱	4	۰/۲۱
	4112	۰/۳۳						
	4121	۰/۱۴	412	۰/۱۷	71	۰/۰۶	7	۰/۰۶
	4122	۰/۲۰						
	7211	۰/۰۸	721	۰/۰۸	72	۰/۰۸		

جدول ۶- مقادیر احتمال شرطی برای سطح گروه بزرگ خاک در سطوح زمین‌ریختی متفاوت

Class	Geomorfc	P(x)	Lithology	P(x)	Landform	P(x)	Landscape	P(x)
Haplosalids	2111	۰/۶۷	211	۰/۶۷	21	۰/۶۷	2	۰/۶۰
	2211	۱/۰۰	221	۱/۰۰	22	۱/۰۰		
	3212	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۰/۵۰		
	3436	۱/۰۰	343	۰/۱۴	34	۰/۰۴		
	3512	۰/۱۳	351	۰/۰۹	35	۰/۰۹	3	۰/۰۵
	3611	۰/۲۵	361	۰/۲۵	36	۰/۲۰		
	4112	۰/۳۳	411	۰/۰۳	41	۰/۰۲	4	۰/۱۰
	5211	۰/۷۵	521	۰/۷۵	52	۰/۷۵	5	۰/۳۰
	7112	۰/۳۸	711	۰/۵۰	71	۰/۵۰	7	۰/۴۰
	7113	۰/۷۳						
	7114	۰/۷۱						
	7211	۰/۰۸						
	7311	۰/۲۵	731	۰/۲۵	73	۰/۲۵		
	7411	۱/۰۰	741	۱/۰۰	74	۱/۰۰		
Haplogypsids	2111	۰/۳۳	211	۰/۳۳	21	۰/۳۳	2	۰/۴۰
	2311	۱/۰۰	231	۱/۰۰	23	۱/۰۰		
	3211	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۰/۵۰	3	۰/۳۵
	3321	۰/۱۷	332	۰/۱۷	33	۰/۰۹		
	3331	۰/۰۹	333	۰/۰۸				
	3421	۰/۶۷	342	۰/۵۰				
	3431	۰/۵۰	343	۰/۷۱	34	۰/۴۶	3	۰/۳۵
	3432	۱/۰۰						
	3433	۱/۰۰						
	3442	۰/۲۵	344	۰/۳۱	35	۰/۸۲	35	۰/۸۲
	3443	۰/۴۰						
	3511	۰/۶۷	351	۰/۸۲	35	۰/۸۲	36	۰/۲۰
	3512	۰/۸۸						
	3611	۰/۲۵	361	۰/۲۵	36	۰/۲۰		
3711	۱/۰۰	371	۱/۰۰	37	۱/۰۰			

جدول ۷- مقادیر احتمال شرطی برای سطح زیررده خاک در سطوح زمین‌ریختی متفاوت

Class	Geomorfic	P(x)	Lithology	P(x)	Landform	P(x)	Landscape	P(x)
Salids	2111	۰/۶۷	211	۰/۶۷	21	۰/۶۷	2	۰/۶۰
	2211	۱/۰۰	221	۱/۰۰	22	۱/۰۰		
	3212	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۰/۵۰	3	۰/۰۸
	3436	۱/۰۰	343	۰/۱۴	34	۰/۰۴		
	3512	۰/۱۳	351	۰/۰۹	35	۰/۰۹		
	3611	۰/۷۵	361	۰/۷۵	36	۰/۶۰		
	4112	۰/۳۳	411	۰/۰۳	41	۰/۰۲	4	۰/۰۲
	5211	۱/۰۰	521	۱/۰۰	52	۱/۰۰	5	۰/۴۰
	7112	۱/۰۰					7	۰/۶۶
	7113	۱/۰۰	711	۰/۸۶	71	۰/۸۶		
	7114	۱/۰۰						
	7211	۰/۱۷	721	۰/۱۷	72	۰/۱۷		
	7311	۰/۲۵	731	۰/۲۵	73	۰/۲۵		
	7411	۱/۰۰	741	۱/۰۰	74	۱/۰۰		
Gypsids	2111	۰/۳۳	211	۰/۳۳	21	۰/۳۳	2	۰/۴۰
	2311	۱/۰۰	231	۱/۰۰	23	۱/۰۰		
	3211	۱/۰۰	321	۰/۵۰	32	۰/۵۰	3	۰/۵۱
	3321	۰/۱۷	332	۰/۱۷				
	3331	۰/۴۸	333	۰/۴۴	33	۰/۴۱		
	3341	۱/۰۰	334	۱/۰۰				
	3421	۰/۶۷	342	۰/۵۰				
	3431	۰/۵۰						
	3432	۱/۰۰	343	۰/۷۱	34	۰/۵۴		
	3433	۱/۰۰						
	3442	۰/۵۰						
	3443	۰/۴۰	344	۰/۴۶				
	3511	۰/۶۷						
	3512	۰/۸۸	351	۰/۸۲	35	۰/۸۲		
3611	۰/۲۵	361	۰/۲۵	36	۰/۲۰			
3711	۱/۰۰	371	۱/۰۰	37	۱/۰۰			
Argids	3331	۰/۲۲	333	۰/۲۰	33	۰/۱۵	3	۰/۱۱
	3442	۰/۲۵	344	۰/۱۵	34	۰/۰۸		
	3511	۰/۳۳	351	۰/۰۹	35	۰/۰۹		
	3621	۱/۰۰	362	۱/۰۰	36	۰/۲۰		
	4111	۰/۶۷	411	۰/۶۰	41	۰/۴۳	4	۰/۴۳
	7111	۰/۲۰	711	۰/۰۳	71	۰/۰۳	7	۰/۱۵
	7211	۰/۵۸	721	۰/۵۸	72	۰/۵۸		

جدول ۸ - مقادیر میانگین احتمال شرطی برای سطح زمینریخت‌شناختی و هر سطح رده‌بندی خاک

نمای سرزمین	ریخت سرزمین	سنگ‌شناسی	زمینریخت	فامیل
۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۴۱	فامیل
۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۶۵	زیرگروه
۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۷۶	گروه بزرگ
۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۸۵	زیررده

توسط زینک با طبقات خاک در رده‌بندی آمریکایی (جدول ۱) هم‌ارز نیستند و این واحدهای زمینریختی توان جداسازی همگن طبقات خاک منتصب در آن سطوح زمینریختی را ندارند.

### نتیجه‌گیری

وجود روند هم‌گرایی و یا واگرایی خاک‌ها در خلال سلسله مراتب یک سامانه طبقه‌بندی در بسیاری از پژوهش‌ها به صورت کیفی و گاه به صورت کمی نشان داده شده است. این پژوهش با بکارگیری احتمال شرطی به طور کمی ثابت کرد در هر سطح زمینریخت‌شناختی از سطح رده خاک به سمت سطح فامیل، واگرایی یا تفرق خاک‌ها افزایش می‌یابد. وجود یک روند همانند بین سطوح واحدهای زمینریختی با طبقات رده‌بندی خاک در سامانه آمریکایی نشان از ارتباط نزدیک این دو ساختار دارد. اما بر اساس نتایج، آنچه در مورد هم‌ارز بودن سطوح رده‌بندی خاک با سطوح زمینریخت‌شناختی توسط زینک پیشنهاد شده است، یعنی هم‌ارز بودن طبقات رده‌بندی خاک و سطوح زمینریختی مطابق جدول (۱)، به نظر درست نمی‌آید و در بهترین حالت، سطح زمینریخت برای جداسازی خاک‌ها در سطح زیرگروه مناسب است. بنابراین به نظر می‌رسد برای جداسازی خاک‌ها در سطح فامیل نیاز به سطوح پایین‌تری یا ریزتری برای واحد زمینریخت می‌باشد. برای نمونه می‌توان سطح «فاز زمینریخت» را پیشنهاد کرد که در آن به مواردی چون جهت یا شکل شیب، نوع و تراکم پوشش گیاهی، نوع کاربری سرزمین و غیره توجه شود که در سطوح بالاتر واحدهای زمینریخت‌شناختی مد نظر قرار نگرفته‌اند.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۸)، معلوم می‌گردد که در هر سطح از واحدهای زمینریختی چند درصد از طبقات سامانه رده‌بندی خاک منتصب به آن واحد زمینریختی تفکیک می‌گردند (برای نمونه در سطح زمینریخت تنها ۴۱ درصد از سطح فامیل خاک تفکیک شده است) و برعکس، یعنی چند درصد از طبقات خاک تعریف شده در محدوده مورد مطالعه براساس سامانه رده‌بندی آمریکایی در هر سطوح زمینریخت‌شناختی روش خاک‌زمین‌شناسی قرار می‌گیرند (برای نمونه در سطح فامیل ۴۱ درصد زمینریخت‌ها مناسب جداسازی شده‌اند). از آنجا که در هیچ سطح زمینریختی هیچ طبقه‌ای از رده‌بندی خاک به صد درصد همگنی نمی‌رسد بنابراین روش زمین‌خاک‌شناسی نمی‌تواند اظهار نماید سطوح یا مرزهای جداسازی شده توسط این روش در بر گیرنده توزیع مکانی کاملی از طبقات خاک منتصب به خود می‌باشد. برای نمونه، به لحاظ مفهومی و نظری سطح زمینریخت هم‌تراز سطح زیرفامیل و یا سطح سنگ‌شناسی هم‌تراز با سطح فامیل بیان شده‌اند (جدول ۱)؛ لیکن همان‌طور که در جدول (۸) دیده می‌شود، در همگن‌ترین واحد تفکیک شده در این سامانه که سطح زمینریخت می‌باشد، دقت کافی برای جداسازی فامیل خاک وجود ندارد و حدود ۶۰ درصد واقعیت اراضی مغفول می‌ماند. در بهترین حالت می‌توان گفت سطح زمینریخت برای جداسازی خاک‌ها در سطح زیرگروه مناسب است که ۶۵٪ دقت تفکیک دارد. این نتایج با یافته‌های Jafari *et al.*, 2013 و *et al.*, 2009 Esfandiarpour هم‌خوانی دارند. بر اساس مطالعات نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2016) و تومانیان و اسفندیارپور (Toomanian N. and Esfandiarpour, 2017) هیچ کدام از سطوح زمینریختی تعریف شده

### REFERENCES

- 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. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 5(2), 71-91.
- Ayoubi Sh., M. Karimian Eghbal, A. Jalalian (2006) Study of Micromorphological Evidences of Climate Change During Quaternary Recorded in Paleosols From Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 10 (1) :137-151. (In Persian)
- Bani Neameh, J. (2003) Land evaluation for land use planning with especial attention to sustainable fodder production in the Rouzeh Chai catchment of Orumiyeh area, Iran. MSc. Thesis, International

- Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.
- Baveye, P. (2002) Comment on "Modeling soil variation: past, present and future" by G.B.M. Heuvelink and R. Webster. *Geoderma* 109, 289–293.
- Bayat, O., Karimzadeh. A and Khademi, H. (2011) Clay minerals in two paleosols on geomorphic surfaces in Eastern Isfahan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 19 (1), 45-58. (In Persian)
- Bregt, A.K., Gesink, H.J. and Alkasuma. (1992) Mapping the conditional probability of soil variables. *Geoderma*, 53,15-29.
- de Boer, D.H. (1992) Hierarchies and spatial scale in process geomorphology: a review. *Geomorphology* 4, 303–318.
- Dobermann, A., Goovaerts, P., and Neue, H.U. (1997) Scale-dependent correlations among soil properties in two tropical lowland rice fields. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1483–1496.
- Esfandiarpour Borujeni I. (2009) *Generalization of Geopedological approach in Soil Mapping*. Shahrekord University. (In Persian)
- Esfandiarpour Borujeni I., Toomanian N., Salehi M. H. and 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 (4), 100-114. (In Persian)
- Esfandiarpour Boroujeni I., Y. Safari. (2014) Comparison of Functional Pedodiversity in Two Detailed Soil Map Units (A Case Study: Faradonbeh Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). *Journal of Water and Soil Science*, 18 (67), 267-277. (In Persian)
- Farpoor MH, Khademi H, Eghbal MK (2002) Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces. *Iran Agriculture Research*, 21, 39–60.
- Farpoor M.H., Krouse H.R. (2008) Stable isotopic geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran. *Geoderma* 146:283–290 pp.
- Farpoor MK, Eghbal MK, Khademi H (2003) Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols in different geomorphic surfaces of Rafsanjan area, Iran. *Journal of Science Technology, Agriculture and Natural Resources*, 3,71–80.
- Goovaerts P. and Journel A.G. (1995) Integrating soil map information in modelling the spatial variation of continuous soil properties. *European Journal of Soil Science*, 46, 397-414.
- Graham, R.C., and Boul, S.W. (1990) Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge Front: II. Soil characteristics and pedogenesis. *Soil Science Society of America journal* 54, 1367–1377.
- Hawinkel P., Pauw E. DE and Deckers J. (2016) Probabilistic soil mapping by Bayesian inference to assess suitability for derocking in northwest Syria. *Soil Use and Management*, 32, 137–149.
- Jafari, A., Ayoubi, S., Khademi, H., Finke, P.A., and Toomanian, N. (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.
- Keshtkar S., Jafari A and Farpoor M. H. (2018) The effect of environmental and pedogenic factors on soil diversity in Kerman and Lalehzar regions. *Journal of Soil Management and Sustainable* 8(1), 89-106.
- King C. J., Acton D. F., and Arnaud R. J. ST. (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.
- Lagacherie P. and Voltz M (2000) Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area and digital elevation data: a conditional probability approach. *Geoderma*, 97,187–208.
- Nadimi M, Farpoor MH (2013) Genesis and clay mineralogy of soils on different geomorphic surfaces in Mahan-Joupar area, central Iran. *Arabian Journal of Geoscience*, 6,825–833.
- Nazari, N., Mahmoodi, S. and Masihabadi, M.H. (2016) Employing Diversity and Similarity Indices to Evaluate Geopedological Soil Mapping in Miyaneh, East Azerbaijan Province, Iran. *Open Journal of Geology* , 6, 1221-1239.
- Osher L. J., Flannagan, C. T. (2007) Soil-Landscape Relationships in a Mesotidal Maine Estuary. *Soil Science Society of America Journal* (online SSSAJ), 71 (4), 1323-1334.
- Ovalles, F.A., and M.E. Collins. (1986) Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida. *Soil Science Society of America Journal*, 50:401-408.
- Owliaie H., M. Najafi Ghiri, Sirous Shakeri, (2018) Soil-landscape relationship as indicated by pedogenesis data on selected soils from Southwestern, Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7 (2) 167 – 180.
- Pahlavan Rad, M.R., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C.W., Komaki, C.B., Bogaert, P. (2014) Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. *Geoderma* 232–234, 97–106.
- Phillips, J.D. (2009) "Soils as extended composite phenotypes". *Geoderma*, 149, 43–151.
- Phillips, J.D. (2001) Divergent evolution and the spatial structure of soil landscape variability. *Catena*, 43, 101–113.
- Phillips, J.D., Marion, D. (2005). Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma* , 124, 73–89.
- 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.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. and Broderick W.D. (Eds.). (2002) *Field book for describing and sampling soils, Version ۲/۰*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Science Division Staff. (2017) *Soil survey manual*. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. (1996) *Soil survey laboratory methods manual*. Report No. 42, USDA, NRCS, NCSS, USA.
- Soil Survey Staff. (2014) *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). NRCS, USDA, USA.
- Stallins, J. A. (2006) "Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology". *Geomorphology*, 77, 207–216.
- Taalab K., R. Corstanje, J. Zawadzka, T. Mayr , M.J. Whelan, J.A. Hannam, Creamer. R. (2015) On the application of Bayesian Networks in Digital Soil Mapping. *Geoderma* , (259–260), 134–148.
- Toomanian N. and Esfandiarpour Boroujeni, I. (2017) Outcomes of applying a geopedologic approach to soil survey in Iran. *Desert* 22 (2), 239-247.
- Toomanian Norair, Ahmad Jalalian, Hossein Khademi, Mostafa Karimian Eghbal, Andreas Papritz, 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology* ,81, 376–393.
- Udomsri, S. (2006) Application of computer assisted geopedology to predictive soil mapping and its use in assessing soil erosion prone areas: a case study of Doi Ang Khang, Ang Khang Royal Agricultural Station, Thailand. MSc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.
- Walker, P.H., 1989. Contributions to the understanding of soil and landscape relationships. *Australian Journal of Soil Research* , 27, 589–605.
- Weidong Li, Chuanrong Zhang, James E. Burt, and A-Xing Zhu. (2005) A Markov Chain-Based Probability Vector Approach for Modeling Spatial Uncertainties of Soil Classes. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 1931–1942.
- Zinck, J.A. (1989) *Physiography and soils*. Lecture notes for soil students. Soil Science Division, Soil survey courses subject matter: K6 ITC, Enschede, The Netherlands.