

## Soil Genesis and Classification of Available Soils Along a Toposequence in Farsarood Region of Darab City, Fars Province

PEGAH KHOSRAVANI<sup>1</sup>, MAJID BAGHERNEJAD<sup>1\*</sup>, SEYED ALI ABTAHI<sup>1</sup>, REZA GHASEMI<sup>1</sup>

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shiraz, Shiraz, Iran

(Received: May. 8, 2019- Revised: June. 28, 2019- Accepted: July. 22, 2019)

### ABSTRACT

Surveying of soils along a toposequence is a primary key for identification of the spatial variability and development of soils that have been performed continuously at a certain direction. The main objective of this study is to assess both clay mineralogy and Sorensen similarity index to describe the genesis and development of soils in Fasarood region. In this context, three major physiographical units were recognized in this area (i.e., Colluvial fan, Piedmont plain and Flood plain). Moreover, nine presentative pedons were digged according to physiographical map units in the direction of NW to SE. Typic Endoaquepts and Oxyaquic Haplustepts are identified as dominant soils in the flood plain in which the redoximorphic and gleyzation processes have been occurred. Fluventic Haplustepts and Typic Calcustepts were recognized in the piedmont plain along with an irregular decrease in organic-carbon content as well as calcic horizon, caused by erosion and sedimentation, respectively. Typic Ustorthents is the major soil of Colluvial fan that have more than 60% coarse fragment in subsurface horizon. The results revealed that smectite, illite, chlorite, palygorskite and kaolinite were dominating minerals in colluvial fan, piedmont plain and flood plain. According to the similarity index, 0.5, 0.54, 0.55, 0.74 and 0.74 were achieved for order, suborder, great group, sub group, and family levels, respectively. Generally, similarity index could better describe soil variation in different slope position than clay mineralogy due to its quantity approach.

**Key words:** Clay mineralogy, Similarity index, Soil classes

## بررسی نحوه تشکیل و طبقه‌بندی خاک‌های موجود در یک ردیف پستی و بلندی در منطقه فسارود داراب (استان فارس)

پگاه خسروانی<sup>۱</sup>، مجید باقرنژاد<sup>۱\*</sup>، سید علی ابطحی<sup>۱</sup>، رضا قاسمی<sup>۱</sup>

۱. بخش علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۳۱)

### چکیده

مطالعه خاک‌ها در امتداد یک ردیف پستی و بلندی، اصل مهمی برای بیان مفهوم تکامل و تغییرپذیری مکانی خاک‌ها است که به صورت پیوسته در امتدادی مشخص تشکیل شده‌اند. هدف اصلی این پژوهش بررسی دو رویکرد کانی‌شناسی رس و شاخص شباهت سورنسون در توصیف تشکیل و تکامل خاک‌های موجود در اراضی منطقه فسارود (داراب) می‌باشد. سه واحد فیزیوگرافی؛ واریزه‌های سنگریزه‌دار، دشت دامنه‌ای و دشت سیلابی در منطقه تعیین شدند. نه بدون مشاهداتی بر اساس نقشه واحدهای فیزیوگرافی منطقه در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی حفر گردیدند. خاک‌های واقع در دشت سیلابی به‌صورت تیپیک اند و اکوئپتیز و اکسی اکوئیک هاپل یوستپز رده‌بندی شده‌اند که فرآیندهای گلی‌زیشن و اکسیداسیون احیاء در آنها رخ داده است. دو زیرگروه خاک فلووننتیک هاپلیوستپز و تیپیک کلسی‌یوستپز در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای شناسایی شدند که به ترتیب وقوع دوره‌ای فرآیندهای فرسایش و رسوب منجر به کاهش نامنظم کربن آلی و تشکیل افق زیر سطحی کلسیک از مهمترین مشخصه‌های آنها می‌باشد. موقعیت واریزه‌های سنگریزه‌دار دارای تیپیک یوست اورتننتز است که خاکی جوان و با بیش از ۶۰ درصد سنگریزه در افق زیر سطحی می‌باشد. کانی‌شناسی رس نشان داد که کانی‌های اسمکتیت، ایلایت، کلرایت، پالیکورسکیت و کائولینیت کانی‌های موجود در موقعیت واریزه‌های سنگریزه‌دار، دشت دامنه‌ای و دشت سیلابی می‌باشند. نتایج شاخص تشابه خاکرخی از سطح راسته، زیرراسته، گروه بزرگ، زیرگروه و فامیل بترتیب ۰/۵، ۰/۵۴، ۰/۵۵، ۰/۷۴ و ۰/۷۴ حاصل شد که دارای روندی افزایشی می‌باشد. به طور کلی رویکرد کمی شاخص تشابه نسبت به کانی‌شناسی رس بهتر توانسته است تغییرات خاک‌ها را در موقعیت‌های مختلف شیب توصیف نماید.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناسی رس، شاخص تشابه، کلاس‌های خاک

### مقدمه

تشکیل و تکامل خاک‌ها تحت تاثیر پنج فاکتور اصلی می‌باشد که شامل پستی و بلندی، ماده مادری، اقلیم، موجودات زنده و زمان است. توپوگرافی به‌عنوان یکی از عوامل موثر در تشکیل خاک‌ها با تاثیر بر ویژگی‌هایی از قبیل درصد شیب و جهت آن، میزان رواناب، فرسایش و رسوب، عمق خاک و نوسانات سطح آب زیرزمینی بر روی تکامل خاک‌ها در موقعیت‌های مختلف شیب موثر می‌باشد، (Schaeztl and Anderson, 2005). توپوگرافی از مهمترین فاکتورهای تشکیل و تکامل خاک است و به آرایش فضایی سطح زمین اطلاق می‌شود که در اثر به هم پیوستن پستی و بلندی‌ها به یکدیگر به وجود می‌آید. پستی و بلندی باعث اختلاف در انرژی پتانسیل (ناشی از انرژی گرانشی) می‌شود که در حرکت آب و رسوب از موقعیت بالای شیب به بخش پایینی آن مؤثر است و بر سرعت واکنش‌های شیمیایی خاک تأثیر زیادی

دارد. (Jiang and Thelen, 2004). بنابراین علی‌رغم اینکه مطالعه انواع خاک‌های تشکیل شده بر روی یک ردیف توپوگرافی یکی از معمولترین و ساده‌ترین روش‌های تعیین ارتباط خاک زمین‌نما می‌باشد اما به‌طور کلی می‌تواند یک دیدگاه جامع را از نظر اثرات متقابل نقش پستی و بلندی در مورد رخداد خاک‌ها ارائه نماید (Manafi, 2012). براساس تحقیق مهاجری و همکاران در منطقه دیلمان گزارش نمودند که در بخش‌های پایینی یک شیب شامل پا و پنجه شیب حداکثر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان کربن آلی مشاهده نمودند در حالی که جرم مخصوص ظاهری بر خلاف سایر پارامترها روند معکوسی داشت و در موقعیت قله شیب بیشتر از موقعیت‌های پایینی شیب بود. همچنین تفاوت معنی‌دار در کیفیت خاک در موقعیت‌های مختلف شیب به‌طور عمده به تفاوت در میزان دریافتی، سرعت فرسایش و تجمع مواد نسبت داده شد (Mohajeri et al., 2016). طی تحقیقی که بر روی بررسی تأثیر ویژگی‌های زمین‌نما (جهت شیب و ارتفاع) بر توزیع مکانی

ویژگی‌ها در فواصل نمونه‌های مختلف، بر پایه‌ی همانندی موجود بین دو نمونه استوار می‌باشد توسط Sokal and Sneath (1963) ارائه شد. یک رویکرد ریاضی برای تجزیه و تحلیل فاصله تاکسونومیک و ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک واحدهای مختلف ژئومورفیک در یک سیستم سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گرفت. این ارتباط با استفاده از مقادیر عددی شاخص شباهت<sup>۱</sup> و فاصله حاصلخیزی<sup>۲</sup>، با تلفیق هشت ویژگی خاک (پ-هاش، کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل جذب، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی رس، درصد رس و درصد اشباع بازی) با فرض تاثیر آن بر روی حاصلخیزی خاک بررسی گردید (Zinck et al., 2016). صابری مقدم و حیدری در بررسی میزان شباهت خاکرخ‌ها با استفاده از روش طبقه‌بندی عددی ارائه شده توسط سورنسون، گزارش نمودند که میزان تشابه خاکرخ‌ها از سطح راسته به سمت فامیل افزایش می‌یابد و با وزن دادن و کمی نمودن خصوصیات خاک امکان مقایسه دقیق‌تر تکامل خاکرخ‌ها در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌گردد (Saberi Moghadam and Haidari 2011). در همین زمینه مطالعات متعددی در خصوص استفاده از شاخص تشابه به‌منظور تعیین ارتباط بین خاکرخ‌ها توسط سایر محققین در ایران و جهان صورت پذیرفته است (Zinck et al., 2016; Brojeni et al., 2010). در همین راستا ضمن توجه به مطالعات صورت پذیرفته توسط محققین پیشین، اما بندرت در آنها به بررسی نقش همزمان کانی-شناسی رس و یکی از شاخص‌های تشابه خاکرخ‌ها با رویکرد بررسی تغییرات خاک‌ها در امتداد یک موقعیت توپوگرافی پرداخته شده است. بنابراین این پژوهش با هدف استفاده از شاخص تشابه خاکرخ‌ها و مطالعات کانی شناسی رس، به ارتباط بین رخدادهای کلاس‌های خاک در موقعیت‌های مختلف یک ردیف پستی و بلندی در منطقه‌ی فسارود داراب می‌پردازد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

مطالعه با وسعت حدود ۲۰۰ هکتار دارای حداقل ارتفاع ۱۰۷۱ متر و حداکثر ارتفاع ۱۱۱۹ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بارش سالیانه و همچنین متوسط دمای سالیانه منطقه به ترتیب ۳۵۰ میلی‌متر و ۲۸ درجه سانتیگراد می‌باشد (Iran Meteorological Organization, 2002-2016). منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی یوستیک و اکوئیک و رژیم حرارتی هایپرترمیک می‌باشد (Van Wambeke, 2000). از نظر تشکیلات

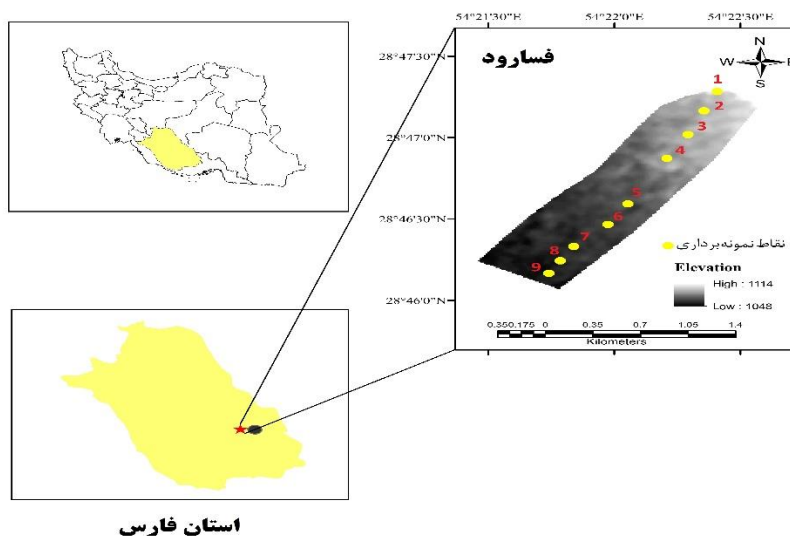
ویژگی‌های شیمیایی خاک های مرتع در منطقه نیمه خشک ایران صورت پذیرفت نتایج نشان داد که بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی خاک سطحی مانند میزان هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب به‌طور معنی داری با درصد شیب ارتباط داشتند (Rezae and Gilkes, 2005). دهکردی اعتدالی و همکاران در بررسی کانی‌های رس موجود در منطقه چلگرد چهارمحال بختیاری وجود کانی‌های رسی اسمکتیت به همراه مقادیری از کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت، کوارتز و کانی‌های مختلط ایلیت - اسمکتیت را اعلام نمودند. طبق نتایج آنها، منشا کانی‌های شناسایی شده در موقعیت های مختلف شیب و مواد مادری بودند. همچنین نتایج این پژوهش نمایانگر نقش پستی و بلندی در تغییرپذیری ویژگی های خاک و رده‌بندی آن در منطقه می‌باشد (Dehkordi Etedali et al., 2017). طبق مطالعه‌ای که بر روی کانی‌شناسی رس در سطوح مختلف ژئومورفیک منطقه جبال بارز - جیرفت صورت پذیرفت، کانی‌های رسی ایلیت، اسمکتیت، کلریت و کائولینیت شناسایی شدند و محققین آن گزارش نمودند که کانی اسمکتیت کانی غالب در خاک‌های سطوح ژئومورفیک پایدار تپه و پدیمنت پوشیده بوده که به دلیل داشتن سطح پایدار و رطوبت بیشتر در طول قرون گذشته و حال حاضر، این کانی از تغییرشکل کانی‌های ایلیت و کلریت تشکیل شده است (Boromand and Sanjari, 2016). سورنسون در طی تحقیقی به تشریح یک روش سیستماتیک تجزیه و تحلیل تنوع جمعیت گیاهی در گروه‌های با دامنه ویژگی‌های یکسان پرداخت و برای رسیدن به یک گروه‌بندی سازگار، اصول تجزیه و تحلیل جوامع گیاهی در شمال شرق گرینلند را مورد بررسی قرار داد. این روش بیانگر حداقل تشابه جوامع منفرد است که این واحد جامعه شناختی گیاهی به‌عنوان گونه ای از جامعه بکار برده می‌شود (Sorensen, 1948).

شباهت، به معنی تغییرات موجود بین موجودیت‌های مختلف می‌باشد. تغییرپذیری نیز بیان‌گر میزان اختلاف موجود بین مقادیر ویژگی‌ها (نمونه‌ها) در مواقعی است که دو یا چند ویژگی (نمونه) با همدیگر مقایسه می‌شوند (Shaw et al., 2004). به عبارت دیگر، یک شیوه مناسب برای مقایسه جوامع، در مکان‌های مختلف و یا در زمان‌های متفاوت، آزمون شباهت جوامع مزبور است (Brower and Zar, 1984). در حقیقت، یک ضریب شباهت، همانندی بین دو فرد (جامعه) را بر اساس حضور یا عدم حضور متغیرها و یا مقادیر کمی یا کیفی ویژگی‌های موجود برای آن‌ها اندازه‌گیری می‌کند (Gower, 1971). فهرستی از شاخص‌های شباهت که در تمامی آن‌ها، محاسبه شباهت

سنگریزه‌دار، دشت‌های دامنه‌ای و دشت‌های سیلابی از مهمترین واحدهای فیزیوگرافی منطقه می‌باشد و کاربری غالب اراضی شامل مرتع، کشت دیم و باغات مرکبات می‌باشد.

مطالعه حاضر در امتداد یک ردیف پستی و بلندی از اراضی منطقه فسارود (داراب) واقع در حدود ۲۰۰ کیلومتری شهر شیراز با موقعیت جغرافیایی ۲۸° ۷۷' تا ۲۸° ۷۸' عرض شمالی و ۳۶' ۵۴° تا ۳۷' ۵۴° طول شرقی صورت پذیرفت (شکل ۱).

زمین‌شناسی شامل حد واسط نهشته‌های آبرفتی جوان و جدید کواترنری است (Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, 1992). منشا این رسوبات عمدتاً بر اثر فرآیندهای فرسایش واحدهای زمین‌نما در مناطق فوقانی و رسوبگذاری آنها در بخش‌های میانی و پای شیب می‌باشد. این رسوبات از نظر تشکیل و تکامل خاکسازي خاک‌های نسبتاً جوان می‌باشند و دارای توان حاصلخیزی مناسبی می‌باشند. واریزه‌های

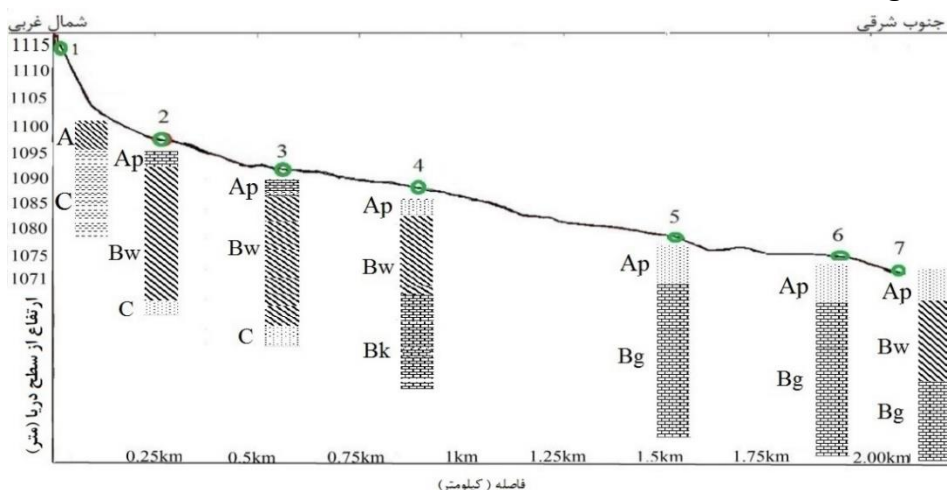


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و خاک‌های شاهد

کاربری زراعت آبی و باغات مرکبات و خاک‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ در دشت‌های سیلابی با کاربری زراعت آبی در جهت شیب شمال شرقی به جنوب غربی تشریح و نمونه‌برداری گردید (جدول ۱). خاک‌های ۸ و ۹ دلیل نداشتن اختلاف ارتفاع زیاد با خاک‌های ۷ در این مقطع ارائه نشده است (شکل ۲).

### مطالعات میدانی و تجزیه‌های آزمایشگاهی

ابتدا به کمک نرم‌افزار گوگل ارث، تصاویر زمین مرجع نرم‌افزار نقشه‌یار نسخه ۳، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی با مقیاس، ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه شناسایی و تعداد ۹ خاک‌خ با فاصله تقریبی ۳۰۰ متر با روش مطالعه شناسایی آزاد در واحدهای فیزیوگرافی مختلف حفر گردید. خاک‌خ ۱ در واریزه‌های سنگریزه-دار با پوشش مرتعی، خاک‌خ ۲، ۳ و ۴ در دشت‌های دامنه‌ای با



شکل ۲: مقطع خاک‌خ‌های مطالعه شده در ارتباط با پستی و بلندی در منطقه‌ی مطالعاتی

آزمایشگاهی، خاکرخ‌های مورد مطالعه بر اساس کلید تاکسونومی خاک‌ها (2014 Soil Survey Staff) تا سطح فامیل رده‌بندی شدند. برای شناسایی انواع کانی‌های رسی در خاک از روش جکسون (Jackson, 1975) و کیتریک و هوپ (Kittrik and Hope, 1963) برای حذف مواد سیمانی و جدا نمودن بخش رس استفاده گردید و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار حرارت ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد بر روی هر یک از نمونه‌ها اعمال گردید. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به‌وسیله‌ی دستگاه پراش پرتو ایکس مدل بروکر D8 در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و آمپراژ ۳۰ میلی‌آمپر در آزمایشگاه کانی‌شناسی بررسی گردیدند.

پس از تشریح کامل تمام خاکرخ‌ها بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (Schoeneberger et al., 2012) از کلیه افق‌های ژنتیکی موجود به مقدار لازم نمونه خاک برداشته شد و جهت انجام آنالیزهای لازم به آزمایشگاه تحقیقاتی پیدایش رده‌بندی خاک دانشگاه شیراز منتقل گردید. در این پژوهش توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، میزان کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، اندازه‌گیری pH در گل اشباع با دستگاه pH سنج مدل Jenwey، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم (Sumner and Miller, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (Nelson, 1982) و همچنین گچ به روش ترسیب با استون، سپس بر اساس مشاهدات صحرائی و تجزیه و تحلیل

جدول ۱: مشخصات عمومی خاکرخ‌های مورد مطالعه در منطقه فسارود داراب

خاکرخ	موقعیت خاکرخ‌ها (UTM)	ارتفاع (متر)	فیزیوگرافی	شیب (%)	زهکشی	کاربری	طبقه بندی Taxonomy (2014)	زون (۴۰)	
								X	Y
۱	۳۱۸۷۳۳۵	۲۴۳۶۰۷	۱۱۱۵	واریزه سنگریزه‌دار	۵ تا ۸	مناسب	Typic Ustorthents	مرتع	
۲	۳۱۸۷۱۱۹	۲۴۳۵۱۷	۱۱۰۵	دشت دامنه‌ای	۲ تا ۵	مناسب	Fluventic Haplustepts	باغ مرکبات	
۳	۳۱۸۶۸۵۲	۲۴۳۴۰۹	۱۰۹۳	دشت دامنه‌ای	۲ تا ۵	مناسب	Fluventic Haplustepts	زراعت آبی	
۴	۳۱۸۶۵۸۵	۲۴۳۲۶۵	۱۰۹۰	دشت دامنه‌ای	۲ تا ۵	مناسب	Typic Calcustepts	باغ مرکبات	
۵	۳۱۸۶۰۷۱	۲۴۳۰۰۲	۱۰۸۹	دشت سیلابی	۲ تا ۵	کم	Typic Endoaquepts	زراعت آبی	
۶	۳۱۸۵۴۴۳	۲۴۲۸۶۹	۱۰۸۵	دشت سیلابی	۲ تا ۵	ضعیف	Typic Endoaquepts	زراعت آبی	
۷	۳۱۸۵۵۹۷	۲۴۲۶۴۳	۱۰۸۰	دشت سیلابی	۲ تا ۵	کم	Oxyaquic Haplustepts	زراعت آبی	
۸	۳۱۸۵۴۳۶	۲۴۲۵۵۱	۱۰۸۰	دشت سیلابی	۲ تا ۵	کم	Oxyaquic Haplustepts	زراعت آبی	
۹	۳۱۸۵۲۹۷	۲۴۲۴۷۵	۱۰۷۹	دشت سیلابی	۲ تا ۵	کم	Oxyaquic Haplustepts	زراعت آبی	

#### مطالعات شباهت خاک‌ها

(2013). مقدار شاخص شباهت، میزان تشابه بین خاکرخ‌های مورد نظر بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید (Zinck et al., 2016) و (Sorensen, 1948).

$$IS = \frac{2C}{A+B} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه:

A: مجموع تمام ویژگی‌های محاسبه شده برای خاکرخ

B: مجموع تمام ویژگی‌های محاسبه شده برای خاکرخ

C: مجموع تمام مقادیر مشابه خاکرخ A و B

زینک در مطالعه خود، ۲۵ ویژگی قابل اندازه‌گیری خاک را

جهت محاسبه شاخص تشابه با سه روش طبقه‌بندی عددی،

یکی از شیوه‌های کشف ساختارهای دینامیکی و پنهان سیمای اراضی، تجزیه و تحلیل پیدایش مکرر الگوهای بنیادی خاص موجود در آن ساختارهاست که استفاده از شاخص‌های تشابه در این زمینه می‌تواند راه‌گشا باشد (Yang et al., 2005). محاسبه شاخص شباهت خاکرخ‌ها این امکان را فراهم می‌نماید تا با استفاده از یکسری ویژگی‌های مشترک و قابل اندازه‌گیری خاک اقدام به بررسی میزان شباهت خاک‌ها از نظر نوع پیدایش و میزان تکامل آنها گردد و مشابه‌ترین خاک‌ها از نظر شاخص تشابه خاکرخ‌ی در واحدهای یکسان نقشه قرار داده شوند (Zinck, 2013).

کلاس در سطح گروه بزرگ شامل پوست‌آورتنتز، هاپلیوستپتز، کلسی‌یوستپتز و اندواکوئپتز و پنج کلاس در سطح زیرگروه شامل تیپیک پوست‌آورتنتز، فلوونتیکی هاپلیوستپتز، تیپیک کلسیوستپتز، تیپیک اندواکوئپتز و اکسی‌اکوئیک هاپلیوستپتز و پنج کلاس در سطح فامیل قرار دارند (جدول ۲). خاکرخ اول در واحد فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار واقع شده است که از نظر تکامل دارای کمترین میزان تکامل می‌باشد و از نظر رده‌بندی در راسته انتی‌سولز قرار می‌گیرد. قابلیت هدایت الکتریکی بسیار پایین و کلاس بافت متوسط (لوم) می‌باشد. این خاکرخ در شیب ۸ درصد واقع شده است و به دلیل رخداد فرآیندهای فرسایش عمدتاً فاقد توسعه عمقی و تکامل قابل توجه است. پایین بودن مقدار شوری خاک در سطوح مخروط افکنه‌ها به دلیل درشت‌تر بودن بافت و در نتیجه شستشوی بیشتر نمک‌های محلول، نمک‌های محلول منجمله سدیم است (Bahoorzahi et al., 2016). Schaefer and Dalrymple, (1996) در مطالعه خاک‌های یک ردیف پستی و بلندی گزارش نمودند که عامل پستی و بلندی سبب شستشوی املاح و کاتیون‌های محلول از قسمت‌های فوقانی شیب به بخش‌های انتهایی آن می‌گردد. خاکرخ‌های دوم، سوم و چهارم در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای با دامنه تغییرات ۲ تا ۵ درصد واقع شده‌اند. کلاس بافت خاک در این خاکرخ‌ها در طول شیب به ترتیب از لوم شنی، لوم رس شنی و لوم متغییر می‌باشد. روند تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و درصد کربن آلی دارای یک روند نامنظم از خاکرخ دوم تا چهارم می‌باشند که عمدتاً وقوع فرآیندهای توام فرسایش و رسوب در این بخش از شیب موجب مشاهده این الگوی نامتوازن شده است. مقادیر کربنات کلسیم بیشتری در خاکرخ چهارم نسبت به دو خاکرخ دیگر در این واحد فیزیوگرافی مشاهده شد که منجر به تشکیل افق کلسیک در این خاکرخ گردیده است و از طرفی دلیل آنرا می‌توان به وجود مواد مادری آهکی در خاک‌های مورد مطالعه نسبت داد (جدول ۲). خاکرخ‌های واقع در این واحد دارای افق‌های کمبیک و کلسیک است. خاکرخ‌های پنجم، ششم، هفتم، هشتم و نهم در واحد فیزیوگرافی دشت سیلابی واقع شده‌اند. به‌طور کلی بر میزان درصد رس در این بخش از شیب افزوده شده است و متعاقب آن درصد شن کاهش یافته است. به‌نحوی که بافت خاک در این بخش لوم رسی و رسی می‌باشد که نشان‌دهنده انتقال و جابجایی رس از بخش‌های فوقانی و رسوب آن در بخش‌های پایینی شیب گردیده است. Salehi et al. (2008) بیان نمودند که در اثر فرسایش خاک و انتقال ذرات رس و سیلت خاک در افق‌های سطحی موقعیت‌های بالایی شیب موجب سنگین‌تر شدن بافت خاک بخش‌های پایینی

طبقه‌بندی خاکرخ خاک و طبقه‌بندی شکل سرزمین پیشنهاد نمودند که در این مطالعه از روش طبقه‌بندی خاکرخ با انتخاب هشت ویژگی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در همه خاکرخ‌ها، برای محاسبه شاخص شباهت استفاده گردید (Zinck, 1989). از میان ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در هر یک از خاکرخ‌ها بر اساس نظر کارشناس، هشت ویژگی زیر جهت محاسبه شاخص شباهت خاکرخ انتخاب گردیدند که شامل درصد شن، درصد رس، عمق خاک، درصد آهک، درصد کربن آلی، pH، عصاره اشباع خاک، قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشند. پس از تعیین ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص شباهت خاکرخ‌های خاک، به‌منظور نرمال‌سازی همه آنها در ابتدا بر اساس حداقل و حداکثر مقدار خود بین دامنه اعداد ۰ تا ۱۰۰ وزن‌دهی شدند تا همه ویژگی‌ها بی‌واحد شوند، بدین صورت که وزن‌دهی بر مبنای کمترین و بیشترین تاثیر آن ویژگی بر روی تکامل خاک صورت پذیرفت. به‌عنوان نمونه برای درصد رس که ما بین ۱۵ تا ۴۱ درصد متغیر می‌باشد به‌علت اینکه افزایش درصد رس با تکامل خاک رابطه مستقیم دارد به ترتیب مقادیر حدواسط حداقل تا ۱۰۰ داده شد و برای پارامترهایی که افزایش آنها با تکامل خاک رابطه معکوس دارد مانند درصد شن یا سنگریزه برای کمترین مقدار وزن ۱۰۰ و برای بیشترین مقدار وزن حداقل یا نزدیک به صفر لحاظ گردید. بدین ترتیب برای مقادیر حدواسط حداقل و حداکثر مقادیر وزنی درونی‌یابی صورت گرفت. سپس بر اساس رابطه (۱) مقادیر شاخص شباهت بصورت مقایسه زوجی ویژگی‌های خاکرخ‌ها با یکدیگر محاسبه گردید. کلیه محاسبات شاخص شباهت خاکرخ‌ها در قالب زبان برنامه‌نویسی Visual Basic for Application در محیط نرم‌افزار Excel 2016 بصورت یک ماتریس زوجی محاسبه گردید.

#### طبقه‌بندی شاخص شباهت خاکرخ‌ها

Zinck (1989) گروه‌بندی زیر را برای کلاسه‌بندی میزان شباهت در بین خاکرخ‌ها مورد استفاده قرار داد. بنابراین خاکرخ‌ها به سه دسته، شباهت زیاد (ضریب شباهت بیش از ۰/۷)، دسته شباهت متوسط (ضریب شباهت بین ۰/۷-۰/۵) و دسته با شباهت کم (ضریب شباهت کمتر از ۰/۵) طبقه‌بندی گردیدند.

#### نتایج و بحث

##### خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و طبقه‌بندی خاک‌ها

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. خاک‌ها از نظر رده‌بندی در دو راسته‌ی انتی‌سولز و اینسپتی‌سولز، سه زیرراسته ارتنتز، یوستپز<sup>۱</sup> و اکوئپتز<sup>۲</sup>، چهار

بالاتر از ۱۷ آنگستروم در حالتی که از تیمار منیزیم گلیکول استفاده شود وجود رس اسمکتیت را تایید می کند. بنابراین با توجه به وجود منحنی در محدوده ۱۴ تا ۱۵ آنگستروم و مشاهده منحنی بالاتر از ۱۷ آنگستروم در نمونه اشباع از منیزیم و گلیکول دال بر وجود این رس در تمام نمونه های خاک می باشد. تشخیص رس کائولینیت نیز به کمک وجود منحنی های ۷/۱۵ آنگستروم و ۳/۵۷ آنگستروم و ۲/۳۸ آنگستروم انجام می شود. بنابراین با توجه به وجود این منحنی ها حضور کانی کائولینیت در نمونه ها نیز قطعی می باشد. همچنین تشخیص رس کلرایت به کمک منحنی های ۱۴/۲ آنگستروم و ۷/۱ آنگستروم و ۴/۷۵ آنگستروم و ۳/۵۷ آنگستروم انجام می گردد، بنابراین با توجه به وجود این منحنی ها در تمام نمونه ها وجود کانی رس از نوع کلرایت نیز در فرآیند شناسایی کانی ها معین می گردد. در صورتی که در نمونه ها شواهدی از حضور کانی های رس کلرایت و کائولینیت وجود داشته باشد به ویژه در مواقعی که کانی کلرایت از نوع کلرایت آهن دار باشد، کمی دشوار می باشد. پیک دوم کلرایت آهن دار و پیک چهارم آن با پیک اول و دوم کائولینیت مشابه است. در این صورت باید تشخیص نهایی این دو کانی بر اساس پیک سوم کائولینیت (۲/۳۸ آنگستروم) و پیک سوم کلرایت (۴/۷۵ آنگستروم) انجام گردد. معمولا کلرایت آهن دار دارای پیک دوم قوی در رده دوم (۷/۲ آنگستروم) و رده چهارم (۴/۷۵ آنگستروم) می باشد. کائولینیت نیز دارای دو پیک قوی در رده اول (۷/۲ آنگستروم) و دوم (۳/۵۷ آنگستروم) و منحنی ضعیف در رده سوم (۲/۳۸ آنگستروم) می باشد. بنابراین تشخیص این دو کانی از یکدیگر بر مبنای وجود پیک ۴/۷۵ آنگستروم برای کانی کلرایت و وجود پیک ۲/۳۸ برای تشخیص کائولینیت می باشد. در نهایت وجود کانی کوآرتز با مشاهده منحنی ۳/۳۴ آنگستروم نهایی گردید.

نتایج پراش نگاشت های اشعه ایکس در مورد کانی های رسی موجود در خاک های مورد مطالعه در شکل (۳) ارائه شده است. نتایج کانی شناسی افق (A) خاکرخ اول (۱) واقع در واحد فیزیوگرافی واریزه های سنگریزه دار، حاکی از وجود کانی های اسمکتایت، ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت، کائولینیت و کوآرتز می باشد (شکل ۳-الف). (Barnhisel and Bertsch (1989 عقیده دارند که امکان هوادیدگی کلرایت در مناطق خشک و نیمه خشک وجود ندارد، زیرا برای هوادیدگی آن وجود شرایطی از قبیل آبشویی شدید، pH کمتر از ۶، حرارت زیاد و در نتیجه خروج هیدروکسیدهای بین لایه ای لازم می باشد. بنابراین به دلیل عدم امکان هوادیدگی این کانی در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک، قسمت اعظم کلرایت در این خاک ها موروثی است. (Farpoor and Irannejad (2012 در مطالعه مخروط افکنه

و میانی شیب می گردد. مقادیر بالای رس در موقعیت های پایینی شیب عمدتاً تحت تأثیر جریان های رواناب و فرآیندهای فرسایش از بخش های فوقانی شیب و رسوب ذرات رس در این موقعیت ها می باشد (Sarshoghe et al., 2012). مشخصه عمومی این خاکرخ ها نوسانات سطح آب زیرزمینی در برخی از ماه های سال می باشد اما در مورد خاکرخ های هفتم، هشتم و نهم و وجود اکسیداسیون و احیا و در مورد خاکرخ های پنجم و ششم مشاهده رژیم رطوبتی اکوئیک در مقطع کنترلی در سطح فامیل می باشد. روند تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی در موقعیت های مختلف شیب هم راستا با تغییرات درصد رس و کربن آلی می باشد. در موقعیت های میانی و پایینی شیب بدلیل افزایش درصد رس و همچنین قابل توجه بودن مقادیر کربن آلی خاک ها این افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی قابل توجه می باشد. طبق جدول (۲) بیشترین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به افق سطحی خاکرخ ۶ با ۳۱/۲۰ سانتی مول بار بر کیلوگرم و همچنین حداکثر مقدار آن در افق های زیر سطحی خاکرخ های ۶، ۷ و ۹ با مقدار ۳۵ سانتی مول بار بر کیلوگرم می باشد. حداقل مقدار آن نیز در خاکرخ ۱ مشاهده گردید. از دلایل بالا بودن مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در بخش های پایینی شیب می توان به نتایج کانی شناسی رس نیز اشاره نمود که بدلیل غالب بودن کانی رس اسمکتیت در خاک های مورد مطالعه و هم افزایی اثر آن با درصد کربن آلی به عنوان اجزای کلئیدی خاک قلمداد نمود. (Ziyae et al. (2013 بیان داشتند که ظرفیت تبادل کاتیونی خاک تحت تأثیر مواد آلی و درصد کانی های رسی خاک است که افزایش میزان رس سیلیکاتی و ماده آلی در نهایت سبب افزایش در میزان ظرفیت تبادل کاتیونی می شود.

#### کانی شناسی رس

نتایج شناسایی انواع کانی های رس موجود در خاک های مورد مطالعه به کمک پراش پرتو ایکس (XRD) نشان داد که بطور کلی شناسایی کانی رس ایلات از روی XRD، در صورت وجود این رس دو منحنی قوی در ناحیه ۱۰ آنگستروم و ۵ آنگستروم مشاهده می گردد. تقریباً تمام پنج پراش نگار ارائه شده در این تحقیق دارای این دو منحنی هستند، بنابراین در تمام نمونه ها، رس ایلات وجود دارد. همچنین با توجه به اینکه تشخیص وجود رس پالیگورسکیت از روی XRD نیازمند دقت و تجربه بالا می باشد، معمولاً تشخیص این نوع رس عمدتاً به کمک میکروسکوپ الکترونی صورت می پذیرد لیکن در صورت استفاده از نتایج XRD وجود پیک ۱۰/۵ و ۶/۳۷ آنگستروم نیز وجود این نوع رس را تایید می نماید. بنابراین وجود منحنی ۱۰/۵ آنگستروم تایید بر وجود این رس در نمونه ها می باشد. وجود رس های گروه اسمکتیت بدلیل مشاهده منحنی در محدوده ۱۴ آنگستروم و منحنی های

گیودری رفسنجان، وجود کانی‌های رسی کلرایت و ایلیت را در این خاک‌ها گزارش نمودند. حضور کانی‌های کائولینیت، ایلیت و کلرایت در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران دارای منشا توارثی می‌باشد، حضور کانی کائولینیت نشان از شرایط اقلیمی مناسب برای تشکیل این کانی در گذشته است.

به‌علت اینکه این خاکرخ در واحد فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار قرار دارد، عواملی از قبیل توپوگرافی و وقوع فرآیندهای رواناب سطحی، انتقال مواد و فرسایش به‌صورت دائم در این اراضی منجر به تکامل کم خاک‌ها در آن شده است.

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به‌همراه رده‌بندی خاکرخ‌های مورد مطالعه در منطقه فسارود

عمق افق	رس	شن	کربن آلی	EC	واکنش خاک (pH)	کلسیم کربنات معادل	ظرفیت تبادل کاتیونی	افق
(cm)			(dS/m)			%	Cmol (+)/kg <sup>-1</sup>	
<b>خاکرخ ۱: (Fragmental, mixed, superactive, hyperthermic, shallow, Typic Ustorthents)</b>								
۱۰-۰	۱۴/۲۲	۵۷/۷۸	۲/۲۷	۰/۸۸	۷/۵۶	۹/۲۵	۱۸/۶۸	A
۱۰-۴۵	۱۶/۲۲	۴۹/۷۸	۱/۹۷	۰/۹۳	۷/۵۵	۱۳	۱۵/۳۵	C
<b>خاکرخ ۲: (Fine loamy, mixed, superactive, hyperthermic, Fluventic Haplustepts)</b>								
۱۰-۰	۱۸/۲۲	۶۱/۷۸	۱/۸۳	۱/۱۲	۷/۴۸	۱۰/۵	۲۴/۰۸	Ap
۹۰-۱۰	۱۷/۲۲	۶۵/۷۸	۱/۹۵	۱/۱۱	۷/۷۳	۱۶/۷	۲۱/۰۹	Bw
۱۰۰-۹۰	۱۷/۲۲	۶۵/۷۸	۰/۱۳	۱/۰۱	۷/۵۵	۲۱/۷	۲۰/۰۲	C
<b>خاکرخ ۳: (Fine loamy, mixed, superactive, hyperthermic, Fluventic Haplustepts)</b>								
۱۵-۰	۱۹/۲۲	۶۳/۷۸	۱/۵۳	۰/۷۷	۷/۸۹	۹/۲۵	۲۹/۵	Ap
۹۰-۱۵	۲۶/۲۲	۵۵/۷۸	۱/۶۸	۰/۷۷	۷/۶۶	۱۳	۲۴/۸	Bw
۱۰۰-۹۰	۲۴/۲۲	۶۵/۷۸	۱/۱۰	۰/۶۸	۷/۷۲	۱۵/۵	۲۱/۳	C
<b>خاکرخ ۴: (Fine loamy, mixed, superactive, hyperthermic, Typic Calcustepts)</b>								
۱۰-۰	۲۰/۲۲	۴۱/۷۸	۱/۰۸	۱/۸۵	۷/۵۰	۵۳	۲۲/۶۵	Ap
۵۰-۱۰	۲۰/۲۲	۴۹/۷۸	۱/۵۶	۰/۷۷	۷/۶۱	۳۳	۲۵/۵۷	Bw
۱۲۰-۵۰	۲۰/۲۲	۵۱/۷۸	۱/۲۲	۰/۸۵	۷/۲۵	۴۱/۷	۲۷/۵۵	Bk
<b>خاکرخ ۵: (Fine, carbonatic, superactive, hyperthermic, Typic Endoaquepts)</b>								
۲۵-۰	۳۰/۲۲	۴۳/۷۸	۱/۸۲	۰/۸۵	۷/۶۱	۲۸	۲۹/۲۹	Ap
۱۲۰-۲۵	۳۸/۲۲	۳۷/۷۸	۱/۵۱	۰/۶۱	۷/۳۳	۴۰/۵	۳۰/۳۳	Bg
<b>خاکرخ ۶: (Fine, carbonatic, superactive, hyperthermic, Typic Endoaquepts)</b>								
۲۵-۰	۳۸/۲۲	۲۹/۷۸	۲/۷۰	۱/۴۸	۷/۲۷	۶۶/۷	۳۱/۲	Ap
۱۲۰-۲۵	۴۲/۲۲	۲۸/۷۸	۲/۲۴	۱/۴۰	۷/۵۸	۵۴/۲	۳۵/۴۴	Bg
<b>خاکرخ ۷: (Fine, carbonitic, hyperthermic, Oxiaquic Haplustepts)</b>								
۲۰-۰	۲۴/۲۲	۳۳/۷۸	۲/۸۵	۰/۷۳	۷/۵۵	۵۳	۲۵/۳۳	A
۵۰-۲۰	۳۰/۲۲	۳۱/۷۸	۱/۲۹	۰/۴۸	۷/۷۳	۵۸	۳۰/۳۲	Bw
۱۲۰-۵۰	۴۶/۲۲	۲۵/۷۸	۱/۰۹	۰/۳۲	۷/۷۵	۳۴	۳۵/۴۴	Bg
<b>خاکرخ ۸: (Fine, carbonitic, hyperthermic, Oxiaquic Haplustepts)</b>								
۱۰-۰	۲۲/۲	۳۷/۸	۲/۹۹	۳/۲۰	۷/۲۰	۶۰	۲۰/۴۴	A
۳۰-۱۰	۳۲/۲	۳۷/۸	۱/۸۳	۲/۲۰	۷/۲۹	۴۶/۲	۲۸/۴۴	Bw
۱۲۰-۳۰	۴۲/۲	۲۷/۸	۱/۵۴	۲	۷/۷۳	۴۲/۵	۳۰/۳۶	Bg
<b>خاکرخ ۹: (Fine, carbonitic, hyperthermic, Oxiaquic Haplustepts)</b>								
۲۵-۰	۳۲/۲۲	۳۳/۷۸	۱/۵۸	۲/۶۶	۷/۲۸	۳۰	۲۸/۱۵	A
۸۰-۲۵	۳۰/۲۲	۳۵/۷۸	۱/۱۱	۲/۴۴	۷/۳۲	۳۵	۲۹/۲۶	Bw
۱۲۰-۸۰	۴۴/۲۲	۲۳/۷۸	۰/۷۵	۱/۵۵	۷/۶۳	۵۱/۲	۳۵/۸۶	Bg

اسمکتیت، ایلایت، کلرایت، پالیگورسکیت، کائولینیت و کوراتز می‌باشد. با این تفاوت که پیک‌های مشاهده شده در افق Bk نسبت به افق Bw دارای وضوح بیشتری است (شکل ۳ ب و پ).

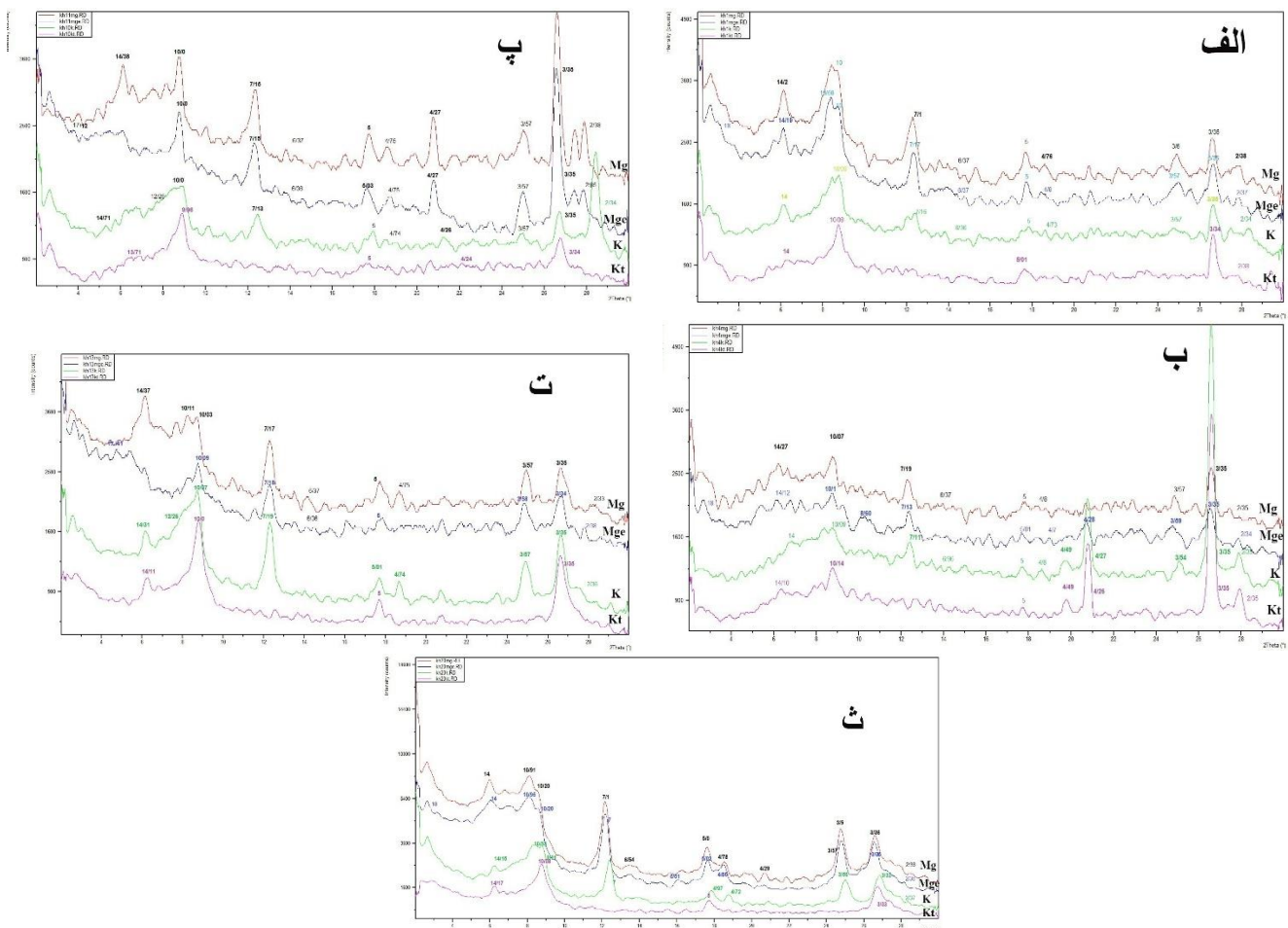
نتایج کانی‌شناسی رسی افق‌های (Bk و Bw) واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای که خاکرخ‌های دوم، سوم و چهارم (۴،۳،۲) بر روی آن واقع شده‌اند، نشان‌دهنده وجود کانی‌های



سیلیسیم و پایین بودن کاتیون های بازی صورت می گیرد. همچنین کائولینیت از هوادیدگی فلدسپات ها و میکاها در شرایط فعالیت پایین یون  $K^+$  و فعالیت زیاد یون  $H^+$  نیز به وجود می آید. این شرایط در مناطق مرطوب حاره ای و نیمه حاره ای وجود دارد (Khormali et al., 2012). همچنین کانی اسمکتیت در افق در هر پنج شکل مشاهده گردید (شکل ۳ الف، ب، پ، ت و ث). (Khormali and Abtahi (2003) در مطالعات خود بیان نمودند که مقادیر کم رطوبت و حضور آهک و گچ، زیادی سیلیسیم و منیزیم، محیط مناسبی برای تشکیل اسمکتیت است که این شرایط محیطی در این خاکرخ حاکم بوده و به همین دلیل به نظر میرسد منشأ اصلی اسمکتیت موجود در این خاکرخ پدوژنیک بوده و احتمالاً حاصل هوادیدگی ایلیت و کلرایت باشد. گارسیا و همکاران در مطالعه خاک های مالانگا که دارای منشأ آهکی، مارن و کنگلوکرا بودند نشان دادند که نوع کانی های رس این خاکها اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت و کلرایت را گزارش نمودند (Garcia et al., 2002).

پایدار ماندن دامنه قله ۱۴ تا ۱۴/۳ انگستروم در کلیه تیمارها، تاییدکننده حضور کانی کلرایت در افقها می باشد که منشأ مواد مادری را می توان برای این کانی در خاک های منطقه، مورد انتظار داشت (Sanjari and Boromand, 2014; Chardot et al., 2007). تکامل خاکها در این واحد فیزیوگرافی به دلیل اینکه تحت تاثیر ته-نشست های رسوبات ریز رودخانه های فصلی و پای ارتفاعات و بعضاً واریزه ها قرار دارند نسبت به واحد فیزیوگرافی واریزه های سنگریزه دار بیشتر می باشد، به طوریکه مشاهده افق های زیر سطحی کمبیک و کلسیک تاییدکننده فراهم بودن شرایط لازم برای تکامل آنها در این موقعیت از ردیف توپوگرافی مورد مطالعه می باشد.

افق  $B_g$  خاکرخ های پنجم، ششم، هفتم، هشتم و نهم (۹،۸،۷،۶،۵) واقع در واحد فیزیوگرافی دشت سیلابی دارای کانی های اسمکتیت، ایلایت، کلرایت، پالیگورسکیت، کائولینیت و کوراتز می باشند (شکل ۳ ت و ث). کائولینیت نیز از کانی های رسی متداول مناطق حاره ای و شبه حاره ای است و به طور کلی حضور آن در خاک های مناطق خشک منشأ ارثی دارد. رسوب کائولینیت از محلول خاک در شرایط اسیدی و غلظت متوسط



شکل ۳: به ترتیب الف: پراش نگار خاکرخ ۱ افق A، ب: پراش نگار خاکرخ ۲ افق B<sub>w</sub>، پ: پراش نگار خاکرخ ۴ افق B<sub>r</sub>، ت: پراش نگار خاکرخ ۵ افق B<sub>g</sub>، ث: پراش نگار خاکرخ ۷ افق B<sub>g</sub>

در مجموع مطالعه‌ی کانی‌های رسی به کمک پراش پرتو ایکس (XRD) نشان می‌دهد که در دیگرام‌های نمونه رس تهیه شده از رس‌های (الف، ب، پ، ت، ث) از نظر کیفی به لحاظ نوع رس‌ها از قبیل اسمکتیت، ایلایت، کلرایت، پالیگورسکیت، کائولینایت و کوارتز در موقعیت‌های مختلف پستی و بلندی مورد مطالعه مشابه‌اند ولی به لحاظ فراوانی نسبی متفاوت می‌باشند.

#### شاخص تشابه خاکرخی

به منظور تعیین شاخص تشابه خاکرخی‌ها ابتدا اقدام به کمی نمودن درجات ویژگی‌های منتخب گردید که در جدول (۳) بر اساس سیمونسون، نتایج درجات تعلق یافته به هر یک از ویژگی‌ها در خاکرخی‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

#### ماتریس شاخص تشابه

در جدول (۴) نتایج محاسبه ماتریس شاخص تشابه برای کلیه

خاکرخی‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

با توجه به اینکه خاک‌های منطقه در دو راسته انتی‌سول و اینرسی‌سول قرار دارند نتایج شاخص شباهت برای این سطح تاکسونومیک ۰/۵۰ حاصل گردید (جدول ۵-۱) که بیانگر کلاس شباهت متوسط بین دو رده خاک می‌باشد که بر اساس اصول تاکسونومیک ارائه شده در سامانه رده‌بندی آمریکایی در بیان شرایط اختصاصی راسته‌های خاک، خاک‌ها بر اساس ویژگی‌های کلی خود جداسازی می‌شوند در نتیجه دامنه تغییرات زیاد در نتیجه ناخالصی بین خاک‌های موجود در یک راسته زیاد و شباهت آنها کاهش می‌یابد. نتایج درجات شاخص تشابه برای سطح رده-بندی راسته، زیر راسته، گروه بزرگ، زیرگروه و فامیل خاک بترتیب در جدول‌های (۵، ۶، ۷، ۸ و ۹) ارائه شده است (Soil survey staff, 2014).

جدول ۳: مقادیر درجات وزنی هر یک از ویژگی‌های انتخابی خاک

کلسیم	کربنات معادل	پهش	درصد کربن آلی	هدایت الکتریکی خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی	قابلت	شن	عمق رس	خاکرخی
۴۰	۹۵	۱۰۰	۹۰	۶۵	۱۰	۲۲	۶۰	۱	
۸۲	۹۲	۹۷	۸۷	۴۳	۲	۲۵	۹۰	۲	
۸۵	۹۳	۹۲	۹۲	۶۰	۴	۶۰	۹۰	۳	
۵۵	۹۴	۱۰۰	۸۹	۶۱	۱۲	۴۰	۹۰	۴	
۵۳	۹۶	۸۰	۹۵	۹۵	۲۰	۹۱	۱۰۰	۵	
۱۸	۹۵	۱۰۰	۹۳	۶۲	۲۱	۱۰۰	۱۰۰	۶	
۲	۹۲	۹۴	۵۸	۸۴	۲۱	۹۵	۱۰۰	۷	
۲۲	۹۳	۹۹	۸۰	۱۰۰	۲۱	۱۰۰	۱۰۰	۸	
۵۰	۹۶	۱۰۰	۷۰	۹۰	۲۸	۹۱	۱۰۰	۹	

جدول ۴: ماتریس شاخص تشابه خاکرخی

خاکرخی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۱								
۲	۰/۷۳	۱							
۳	۰/۷۵	۰/۸۴	۱						
۴	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۶۱	۱					
۵	۰/۳۶	۰/۳	۰/۲۹	۰/۴۳	۱				
۶	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۱			
۷	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۶۳	۱		
۸	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۷۵	۱	
۹	۰/۳۱	۰/۳	۰/۲۸	۰/۴	۰/۶۶	۰/۶	۰/۸۷	۰/۷۱	۱

جدول ۵: شاخص تشابه خاکرخی در سطح راسته

راسته های خاک	خاکرخیها	سطوح تشابه (%)	
		دامنه تغییرات	میانگین (I <sup>-</sup> )
انتهی سول <sup>۱</sup>	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
اینسپتی سول <sup>۲</sup>	۶-۷-۸-۹-۴-۵-۲-۳	۲۸-۸۰	۵۰
کل راسته ها	-	۲۸-۸۰	۵۰

جدول ۶: شاخص تشابه خاکرخی در سطح تحت راسته

تحت راسته های خاک	پروفیل ها	سطوح تشابه (%)	
		دامنه تغییرات	میانگین (I <sup>-</sup> )
ارتنتز ۱	۱	۱۰۰	۱۰۰
یوستپز ۱	۲،۳،۴،۷،۸،۹	۲۸-۸۷	۴۷
اکوئپتزا ۱	۵،۶	۶۲	۶۲
کل تحت راسته ها	-	۴۵-۸۷	۵۴

جدول ۷: شاخص تشابه خاکرخی در سطح گروه بزرگ

گروه بزرگ خاک	پروفیل ها	سطوح تشابه (%)	
		دامنه تغییرات	میانگین (I <sup>-</sup> )
یوست ارتنتز ۱	۱	۱۰۰	۱۰۰
هاپلیوستپز ۱	۲،۳،۷،۸،۹	۲۸-۸۷	۴۹
کلسی یوستپز ۱	۴	۱۰۰	۱۰۰
اندواکوئپتزا ۱	۵،۶	۶۲	۶۲
کل گروه های بزرگ	-	۴۵-۸۷	۵۵

جدول ۸: شاخص تشابه خاکرخی در سطح زیرگروه های خاک

زیر گروه خاک	پروفیل ها	سطوح تشابه (%)	
		دامنه تغییرات	میانگین (I <sup>-</sup> )
تیپیک یوست اورتننتز ۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
فلوونتیپک هاپل یوستپز ۱	۲،۳	۸۴	۸۴
تیپیک کلسی یوستپز ۱	۴	۱۰۰	۱۰۰
تیپیک اندواکوئپتزا ۱	۵،۶	۶۲	۶۲
اکسی اکوئیک هاپل یوستپز ۱	۷،۸،۹	۷۱-۸۷	۷۷
کل زیر گروه ها	-	۷۲-۸۷	۷۴

جدول ۹: شاخص تشابه خاکرخی در سطح فامیل

فامیل خاک	خاکرخواها	سطوح تشابه (%)	
		دامنه تغییرات	میانگین (x̄)
Fragmental, mixed, superactive, hyperthermic, shallow, Typic Ustorthents	۱	۱۰۰	۱۰۰
Fine loamy, mixed, superactive, hyperthermic, Fluventic Haplustepts	۳ و ۲	۸۴	۸۴
Fine loamy, mixed, superactive, hyperthermic, Typic Calcustepts	۴	۱۰۰	۱۰۰
Fine, carbonatic, superactive, hyperthermic, Typic Endoaquepts	۶ و ۵	۶۲	۶۲
Fine, carbonitic, hyperthermic, Oxiaquic Haplustepts	۷ و ۸ و ۹	۷۱ - ۸۷	۷۷
کل فامیل‌های خاک	-	۷۲ - ۸۷	۷۴

نتایج شاخص شباهت در راستای تایید اثر موقعیت مختلف شیب بر روی جداسازی خاک‌هایی با حداکثر یکنواختی می‌باشد. زینک در مطالعه‌ای خود در ونزوئلا بترتیب مقادیر شاخص تشابه ۴۲، ۶۲، ۷۵ و ۸۲ درصد را برای سطوح راسته، زیرراسته، گروه‌بزرگ و زیر گروه خاک گزارش نمودند (Zinck, 1972). در مطالعات دیگری نیز توسط محققین گزارش شده است که با افزایش تعداد کلاس‌های خاک در سطوح پایینتر تاکسونومیک بدلیل دخیل شدن فاکتورهای بیشتر در رده‌بندی خاک‌ها میزان شباهت کلاس‌ها ارتقاء می‌یابد (Jafari et al., 2013; Pahlavan Rad et al., 2014). به طوری که در موقعیت بالایی شیب یک

خاک انتی‌سول با فامیل Fragmental, mixed, superactive, hyperthermic, shallow, Typic Ustorthents به خوبی با یک درجه تشابه بسیار پایین (میانگین تشابه ۳۷/۸ درصد) نسبت به سایر خاکرخواهای واقع در بخش انتهایی شیب از یکدیگر تفکیک شده‌اند. همچنین در بخش میانی شیب که شامل واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای می‌باشد، نتایج خاکرخواهای ۲ و ۳ که در یک کلاس فامیل خاک قرار دارند حاکی از آن است که این دو خاکرخواه از نظر طبقه‌بندی درجات شاخص تشابه دارای نسبت درجه تشابه ۸۴٪ می‌باشند و در کلاس تشابه بالا قرار می‌گیرند و با خاکرخواه شماره ۴ که در همین واحد فیزیوگرافی قرار دارد، دارای درجه تشابه متوسط بوده که به خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند و دلیل آنرا از نظر تشکیل و تکامل خاک می‌توان به حضور افق مشخصه زیر سطحی کلسیک در خاکرخواه ۴ نسبت داد که باعث کاهش شباهت نسبی آن با دو خاکرخواه ۲ و ۳ گردیده است (جدول ۹). در موقعیت انتهایی شیب که خاکرخواهای ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ بر روی واحد فیزیوگرافی دشت سیلابی واقع شده‌اند، دو خاکرخواه ۵ و ۶ در یک کلاس فامیل خاک قرار دارند که بدلیل حاکم بودن شرایط اکوتیک در این خاکرخواه‌ها نسبت به سه خاکرخواه

نتایج شاخص تشابه خاکرخواها در سطوح بالای رده‌بندی به سمت سطوح پایین‌تر به ترتیب ۰/۵، ۰/۵۴، ۰/۵۵، ۰/۷۴ و ۰/۷۴ می‌باشد که دارای یک روند افزایشی می‌باشد. دلیل اصلی آن این است که با طبقه‌بندی خاک‌ها در سطوح پایین‌تر رده‌بندی، معیارهای بیشتری از خاک با دامنه تغییرات کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند در نتیجه شباهت خاک‌ها نسبت به هم افزایش می‌یابد (Salehi et al., 2016). دلیل یکسان شدن شاخص تشابه خاکرخی در سطح زیرگروه و فامیل این است که در این دو سطح، کلاس خاک جدیدی تعریف نشده است و مقادیر نهایی شاخص تشابه در آنها یکسان بدست آمده است. به ترتیب خاک‌ها در سه سطح مختلف رده‌بندی شامل راسته، زیرراسته و گروه بزرگ دارای کلاس تشابه متوسط و در دو سطح زیر گروه و فامیل خاک دارای درجه تشابه زیاد می‌باشند. از آنجا که هر گونه بهره‌برداری از خاک‌ها منوط به طبقه‌بندی خاک‌ها در سطوح پایین‌تر (فامیل، سری) می‌باشد بنابراین هر چه میزان شباهت خصوصیتی که بر روی مدیریت و بهره‌برداری از این خاک‌ها در موقعیت‌های مختلف شیب به یکدیگر نزدیکتر باشد، اجرای هر گونه عملیات مدیریتی و بهره‌برداری از کاربری‌های اراضی سهل‌الوصول‌تر و دقیق‌تر می‌باشد (Mosleh et al., 2017). Saberi Moghadam and Haidari (2011) در مطالعه خاک‌های واقع بر روی سازند توف سبز کرج گزارش نمودند که درصد تشابه خاکرخواها از سطح کتگوری راسته به سمت فامیل افزایش می‌یابد و با وزن دادن و کمی نمودن خصوصیات خاک امکان مقایسه دقیق‌تر تکامل خاکرخی در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌گردد. در همین راستا نتایج استفاده از شاخص شباهت خاکرخی در این مطالعه با یک رویکرد کمی منجر به جداسازی خاک‌ها با خصوصیات مشترک در سطح مدیریتی فامیل گردید و بر اساس موقعیت رخدادی هر یک از خاکرخواه‌ها در موقعیت‌های مختلف شیب می‌توان بیان داشت که

کانی‌شناسی رس دانست و با توجه به اینکه هیچ کدام از کانی‌های رسی شناسایی شده به‌طور غالب نتوانستند تعیین‌کننده کلاس مینرالوژی خاک‌ها در سطح طبقه‌بندی فامیل باشند و کلاس مینرالوژی غالب خاک‌ها مخلوط گردید که می‌توان برای مطالعات آتی پیشنهاد نمود که اگر امکان کمی کردن نتایج مینرالوژی نیز امکان‌پذیر گردد، امکان استفاده از نتایج کانی‌شناسی رس در جهت توجیه تشکیل و تکامل خاک‌ها در موقعیت‌های مختلف شیب استفاده بیشتری نمود. روند تغییرات شاخص شباهت خاک‌ری نشان داد که از سطوح بالایی تاکسونومیک به سمت پایین دارای یک روند افزایشی می‌باشد به‌طوری‌که این افزایش موجب افزایش شباهت خاک‌ها به یکدیگر در موقعیت‌های مختلف شیب و تأثیر موقعیت مختلف شیب بر روی جداسازی خاک‌های با خصوصیات مشابه و یکنواخت و با حداکثر تنوع را فراهم می‌سازد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی از سایر شاخص‌های تشابه و تکامل خاک نیز جهت بررسی میزان شباهت بین کلاس‌های خاک در طول یک ردیف پستی و بلندی استفاده شود و نتایج آن با شاخص مورد استفاده در این پژوهش مورد مقایسه قرار گیرد.

## REFERENCES

Bahoorzahi, M. A., Farpoor, M. H., and Jafari, A. (2016). Genesis and development of soils along different geomorphic surfaces in Kouh Birk Area, Mehrestan City. *Journal of Water and Soil*, 30(2).

Barnhisel, R. I and Bertsch, P. M. (1989) Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. *Minerals in soil environments*, (mineralsinsoile), 729-788.

Boromand, N., and Sanjari, S. (2016). Clay mineralogy studies of soils located on different geomorphic surfaces in Jabalbarez-Jiroft area. *Journal of Water and Soil*, 30(4).

Brojeni, I. E., Mohammadi, J., Salehi, M. H., Toomanian, N., & Poch, R. M. (2010). Assessing geopedological soil mapping approach by statistical and geostatistical methods: a case study in the Borujen region, Central Iran. *Catena*, 82(1), 1-14.

Brower, J. E. and Zar, J. H. (1984) *Field and laboratory methods for general ecology* (2nd ed.). Wm. C. Brown Publishers. Dubuque, IA, 226 pp.

Chardot, V., Echevarria, G., Gury, M., Massoura, S. and Morel, J.L. (2007). Nickel bioavailability in an ultramafic toposequence in the Vosges Mountains (France). *Plant and Soil*, 293:7-21.

Etedali Dehkordi, S., Abtahi, S.A., Salehi, M.H., Givi, J., Farpoor, M. H., and Baghernejad, M. (2017). Studying of the formation and development of soils in a toposequence in Chelgerd region, Chaharmahal-va-Bakhtiari province. *Journal of*

۷، ۸ و ۹ که تحت تاثیر شرایط اکسیداسیون احیا قرار دارند با درجه تشابه متوسط از یکدیگر تفکیک گردیده‌اند. برخی از ناهمگنی‌های مشاهده شده درون هر یک از سطوح تاکسونومیک از قبیل (کلاس توزیع اندازه ذرات، موقعیت نسبی در سیمای اراضی، اختلاف سن نسبی) موجب کاهش درجه تشابه خاک‌ری-های موجود در یک واحد سیمای اراضی می‌گردد (Zinck, 1989). اما سه خاک‌ری ۷، ۸ و ۹ نسبت به یکدیگر دارای درجه تشابه ۷۷٪ و در کلاس تشابه بالا قرار دارند که در این موقعیت شیب نیز همانند نتایج دو خاک‌ری ۲ و ۳، نتایج تاکسونومی خاک‌ها با نتایج شاخص تشابه خاک‌ری همسو عمل نموده است (جدول ۹).

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه این مطالعه بر مبنای دو هدف کلی طرح‌ریزی شده بود، نتایج نشان داد که رویکرد استفاده از شاخص تشابه خاک‌ری نسبت به مطالعات کانی‌شناسی رس بهتر توانست ارتباط و نحوه‌ی تشکیل خاک‌ری‌ها را در موقعیت‌های مختلف شیب نسبت به یکدیگر توجیه نماید که به احتمال قریب می‌توان رویکرد کمی متابانه روش شاخص تشابه خاک‌ری را نسبت به نتایج کیفی

*Soil Management and Sustainable Production*, Vol. 7(4).

Farpoor, M. H. and Irannejad M. (2012). Genesis, clay mineralogy and micromorphology of Paleosols located on Givdaryalluvial fan, Rafsanjan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 19(4): 761-772.

Garcia F.J.A., Martin M. M. and Galindo, A.L. (2002). Clay mineralogy of the Tertiary sediments in the internal subbetic of Malaga Province Spain: Implications for geodynamic evolution. *Clay Miner*, 36:615-620.

Gee, G.W. and Bauder., J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute A (ed) *Methods of soil analysis*. *Am Soc Agron, Madison*, pp 383-411.

Gower, J. C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 857-871.

Iran Meteorological Organization. (2016). *Climate Information, Darab synoptic station*, Fars, Iran.

Jackson, M. L. (2005). *Soil chemical analysis: Advanced course*. UW-Madison Libraries Parallel Press.

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.

Jiang, P. and Thelen, K. D. (2004). Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-

- central corn–soybean cropping system. *Agronomy Journal*, 96(1), 252-258.
- Khormali F., and Abtahi A. (2003). Origin and distribution of clay minerals in soils of different climatic areas of Fars Province. *In Proceedings of the 8th Soil Science Congress of Iran.*, 127-129 (in Persian).
- Khormali, F., Abtahi, S.A., and Tazikeh, H. (2012). Clay mineralogy (characteristics and identification). *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources* 322.
- Kittrick, J. A. and Hope, E. W. (1963). A procedure for the particle-size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96(5), 319-325.
- Manafi, S. H. (2012). Study of physical and chemical properties and classification of soils during a toposequence in the Rashtkan area of Urmia. *National Soil Conference*. Malayer University. 8 march 2014.
- Mohajeri, P., Alamdari, P. and Golchin, A. (2016). Effect of slope positions on physicochemical properties of soils located on a toposequence in Deilaman area of Guilan province. *Journal of Water and Soil*, 30(1), 162-171.
- Mosleh, Z., Salehi, M. H., Jafari, A., Borujeni, I. E. and Mehnatkesh, A. (2017). Identifying sources of soil classes variations with digital soil mapping approaches in the Shahrekord plain, Iran. *Environmental earth sciences*, 76(21), 748.
- Nelson, R.E. (1982) Carbonate and gypsum. In: Page AL (ed) *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, pp 181–197.
- Pahlavan Rad, M.R., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C.W., Komaki, C.B. and 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
- Rezae, S. A. and Gilkes, R. J. (2005). The effects of landscape attributes and plant community on soil physical properties in rangelands. *Geoderma*, 125(1-2), 145-154.
- Saberi Moghadam, A. and Haidari, A. (2011). *Spatial variation of the spatial characteristics of the soils formed on the green tuff of Karaj*. Master of science theses of Soil and engineering department. Tehran University.
- Salehi, M. H., Jazini, F. and Mohammadkhani, A. (2008). The Effect of Topography on Soil Properties with a Focus on Yield and Quality of Almond in the Saman Area, Shahrekord.
- Salehi, M. H., Karimi, A., Esfandiarpour Boroujeni, E. and Mosleh, Z. (2016). *Fundamentals of Soil Genesis and Classification* (1<sup>st</sup>). Shahrekord University.
- Sanjari S., and Boromand, N. (2014). Study of clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Sardoeieh-Jiroft. *Journal of soil science*, 28: 209-219.
- Sarshoghe, M., Salehi, M. H. and Baigi, H. (2012). The effect of aspect and slope position on the distribution of particle size of soils in Chehelgard region of Chaharmahal va Bakhtiari province. *Water and soil conservation journal*. 19 (3): P.77-98.
- Schaefer, C. E., & Dalrymple, J. (1996). Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. *Geoderma*, 71(1-2), 1-17.
- Schaetzl, R., and Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University, Cambridge, England.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C. (2012). *Soil Survey Staff, Field book for describing and sampling soils*, 3rd version. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center, Lincoln.
- Shaw, J. N., West, L. T., Bosch, D. D., Truman, C. C., & Leigh, D. S. (2004). Parent material influence on soil distribution and genesis in a Paleudult and Kandudult complex, southeastern USA. *Catena*, 57(2), 157-174.
- Soil Survey Staff. (2014) *Keys to soil taxonomy*. 12th edn. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Sokal, R. R., & Sneath, P. H. (1963) Principles of numerical taxonomy. *Principles of numerical taxonomy*.
- Sorensen, T. (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Biol. Skr., K. danske Vidensk. Selsk.* 5 (4): 1–34.
- Sumner, M. E. and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis part 3—chemical methods*, (methodsofsoilan3), 1201-1229.
- Van Wambeke, A. R. (2000) *The Newhall Simulation Model for estimating soil moisture and temperature regimes*. Department of Crop and Soil Sciences. Cornell University, Ithaca, NY. USA.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Yang, A.C.C., Goldberger, A. L. and Peng, C. K. (2005). Genomic classification using an information-based similarity index: application to the SARS coronavirus. *Journal of Computational Biology*, 12(8), 1103-1116.
- Zinck, J. A. (1989). Physiography and soils. Lecture notes for soil students. *Soil Science Division, Soil Survey Courses Subject Matter K*, 6.
- Zinck, J. A. (2013). Geopedology. Elements of geomorphology for soil and geohazard studies. ITC Special Lecture Notes Series, Enschede.
- Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G., and Del Valle, H. F. (2016) *An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer.
- Zinck, J.A. (1972) Ensayo de clasificación numérica de

algunos suelos del Valle Guarapiche, Estado Monagas, Venezuela. IV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (resumen).

Ziyae, A., Pashaei, A., Khormali, F and Roshani, M R. 2013. Some physico-chemical, clay mineralogical

and micromorphological characteristics of loess-paleosols sequences indicators of climate change in south of Gorgan. *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 20(1), 2013. <http://jwsc.gau.ac.ir>.