مقایسه کارایی سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و جهانی در بررسی تغییرات خاک‌های واقع در موقعیت‌های مختلف شکل زمین

پگاه خسروانی، مجید باقرنژاد*، سیدعلی ابطحی و رضا قاسمی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴)

چکیده

طبقه‌بندی خاک در یک سیستم استاندارد عموماً طبق اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک در واحدهای نقشه‌برداری مختلف تعریف می‌شود. این تحقیق با هدف مقایسه کارایی سامانه‌های رده‌بندی جهانی خاک (WRB) و آمریکایی (ST) در توصیف ویژگی‌های ژنتیکی و مورفولوژیکی خاک‌ها انجام شد. از نه خاکرخ مطالعاتی، شش خاکرخ شاهد انتخاب و در واحدهای فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار، دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی حفر شدند، سپس خاکرخ‌ها بر اساس الگوی دو سامانه کلاس‌بندی شدند. همچنین از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین برای کمی کردن تغییرات ویژگی‌های مورد نظر خاک استفاده شد. نتایج تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از موقعیت‌های مختلف شیب بر اساس تجزیه واریانس اثر واحدهای فیزیوگرافی و عمق خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج کلاس‌بندی خاک‌ها نشان داد که طبق WRB در سطح گروه مرجع با جداسازی چهار گروه Regosol، Cambisol، Calcisol و Gleysol نسبت به ST با شناسایی دو راسته Entisols و Inceptisols خاک‌های متنوع‌تری را شناسایی کرده است. خاک‌های واقع در دشت آبرفتی با سطح آب زیرزمینی بالا در WRB به‌دلیل ایجاد شرایط محدودیت زهکشی برخلاف ST که در سطح زیرراسته با عنوان Aquepts نامیده شده‌اند، در یک سطح بالاتر با عنوان گروه مرجع Gleysol طبقه‌بندی شدند. از دیگر سو ST برخلاف WRB با بهره‌گیری از معیار Shallow در سطح فامیل توصیفی از کم عمق بودن خاک‌ها و محدودیت توسعه ریشه را ارائه کرد. به‌طور کلی میزان کارایی هر یک از سامانه‌ها، با وجود تفاوت‌های ذاتی در ساختار آنها بسته به هدف به‌کارگیری از آنها متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: سطوح ژئومورفیک، طبقه‌بندی خاک، کانی‌شناسی رس، ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک

۱. گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: majidbaghernejad@yahoo.co.uk

مقدمه

طبقه‌بندی خاک‌ها در یک سیستم رده‌بندی استاندارد، شامل ترسیم محدوده تغییرات خاک‌ها روی واحدهای نقشه، ذخیره اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات خاک‌ها در یک پایگاه داده و فراهم کردن شرایط لازم برای پیش‌بینی مناسب بودن یا محدودیت‌های آنها برای کاربری‌های چندگانه با تأکید بر پاسخگویی به استفاده از آنها در سیستم‌های مدیریتی تعریف می‌شود (۳۴). پیدایش و تکامل خاک‌ها متأثر از فاکتورهای خاکسازی از قبیل توپوگرافی، مواد مادری، اقلیم، موجودات زنده و زمان است که این عوامل به‌عنوان شرایط محیطی عمل کرده و در تشکیل و تکامل خاک‌های مختلف با درجه تکامل متفاوت نقش مهمی را ایفا می‌کنند (۱۵). مطالعات متعددی تحت عنوان تغییرات، تشکیل و تکامل خاک‌ها در سطوح مختلف ژئومورفیک (Geomorphic) توسط محققین در سراسر دنیا صورت گرفته است (۶، ۱۷، ۲۰ و ۲۳). آنجلوس و همکاران (۱) با بررسی خاک‌های مختلف بیان کردند، که شدت خاکسازی تا حد زیادی به خصوصیات سطوح ژئومورفیک وابسته است و خصوصیات این سطوح باعث تغییر در میزان هوادیدگی، میزان شستشوی املاح محلول خاک، مراحل فرایندهای شستشو و انتقال مواد، عمق تجمع املاح و درنهایت عمق سولوم می‌شود. در کار سرمدیان و همکاران (۲۹) در واحدهای ژئومورفیک همگن می‌توان خاک‌هایی با رده‌بندی و خصوصیات مشابه مشاهده کرد. به‌دلیل وجود همبستگی بالای بین خاک‌ها و واحدهای سیمای اراضی (۲۳) و فهم روابط بین فاکتورهای تشکیل دهنده خاک، گروه‌بندی این پهنه‌های طبیعی به‌وسیله یک‌سری از کلاس‌های خاک با رفتار و ویژگی‌های مشابه می‌تواند در رابطه با مدیریت و استفاده از آنها مفید و مؤثر واقع شود (۵). بنابراین طبقه‌بندی خاک‌ها فعالیتی معنادار و هدفمند است. در این راستا طبقه‌بندی خاک به‌عنوان تکنیکی ارزشمند برای انتقال مفید و مختصر مجموعه پرحجمی از داده‌های خام و تجربه‌های کارشناسی (۵)، ابزاری ضروری در پهنه‌ها و برنامه‌های مدیریتی خاک محسوب می‌شود. این موضوع اهمیت کارایی و توانایی سیستم رده‌بندی در نمایش ویژگی‌های درونی و بیرونی خاک را آشکار کرده و سبب افزایش تمایل به انتخاب کارآمدترین سامانه طبقه‌بندی شده است. از بین سامانه‌های رده‌بندی متعدد موجود در دنیا دو سیستم طبقه‌بندی مبنای جهانی (World Reference WRB:Base) و سامانه آمریکایی رده‌بندی خاک‌ها (Soil ST: Taxonomy) نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی از مقبولیت و استقبال بیشتری برخوردار هستند (۲۷). طبقه‌بندی خاک‌ها در گروه‌ها و طبقات همگن اساس این روش‌ها است (۱۰). با وجود این هر یک از این روش‌ها دارای ویژگی‌های منحصربفرد در طبقه‌بندی است (۸) که سبب قوت و یا ضعف آن در قبال اهداف مختلف پژوهشی و یا کاربردی است. مطالعات متعددی توسط محققین در ایران و جهان (۶، ۱۰، ۱۲، ۲۰، ۲۲ و ۳۷) در مورد مقایسه دو رویکرد طبقه‌بندی خاک ST و WRB به‌منظور بررسی چالش‌ها و کمبودهای این دو روش در گروه‌بندی خاک‌های موجود در یک منطقه مطالعاتی پرداخته‌اند. هوایی و همکاران (۱۲) معتقدند که، میزان کارایی هر یک از سامانه‌های طبقه‌بندی جهانی و آمریکایی بسته به نوع به‌کارگیری آنها متفاوت خواهد بود و در مجموع هر دو سامانه دارای مزایا و کمبودهایی در ارتباط با نمایش ویژگی‌های درونی و محیطی خاک‌های مطالعاتی بوده‌اند همچنین بیان داشتند که با وجود اینکه WRB به‌دلیل نیاز کمتر به داده‌های آزمایشگاهی برای اهداف مدیریتی مناسب‌تر است، اما در موارد مرتبط با شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی با چالش جدی همراه است. در مطالعهٔ دیگری که به مقایسه دو سیستم ST و WRB به توصیف خاک‌های آهکی و گچی جنوب ایران پرداخته شد گزارش کردند که سامانه جهانی طبقه‌بندی خاک‌ها با بهره‌گیری از توصیف کننده‌های اصلی و مکمل در طبقه‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی به‌ویژه خاک‌های شور بسیار مؤثرتر از ST عمل می‌کند (۳۰). موراند (۲۲) نیز گزارش کردند که سیتم طبقه‌بندی WRB به‌دلیل داشتن الگوی طبقه‌بندی مناسب‌تر و تعداد گروه مرجع بیشتر و استفاده کمتر از اطلاعات آزمایشگاهی قابلیت

کاربردی و مدیریتی بیشتری دارد. از طرفی روکا و پازوس (۲۷) با بررسی میزان همخوانی بین دو سامانه رده‌بندی آمریکایی خاک و طبقه‌بندی جهانی برای خاک‌های آرژانتین بیان داشتند که همبستگی به‌نسبت خوبی بین اسامی خاک در سطح زیرگروه (Sub great group) ST با واحدهای خاک تعریف شده در سطح دوم سامانه طبقه‌بندی جهانی وجود دارد. این تحقیق با هدف بررسی کارایی دو سامانه رده‌بندی آمریکایی خاک و سامانه مبنای جهانی و مقایسه عملکرد آنها در توصیف ویژگی‌های ژنتیکی و مورفولوژیکی (Morphological) بخشی از خاک‌های واقع در یک ردیف پستی و بلندی با اقلیم گرم و نیمه‌خشک در منطقه فسارود- داراب در شرق استان فارس صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

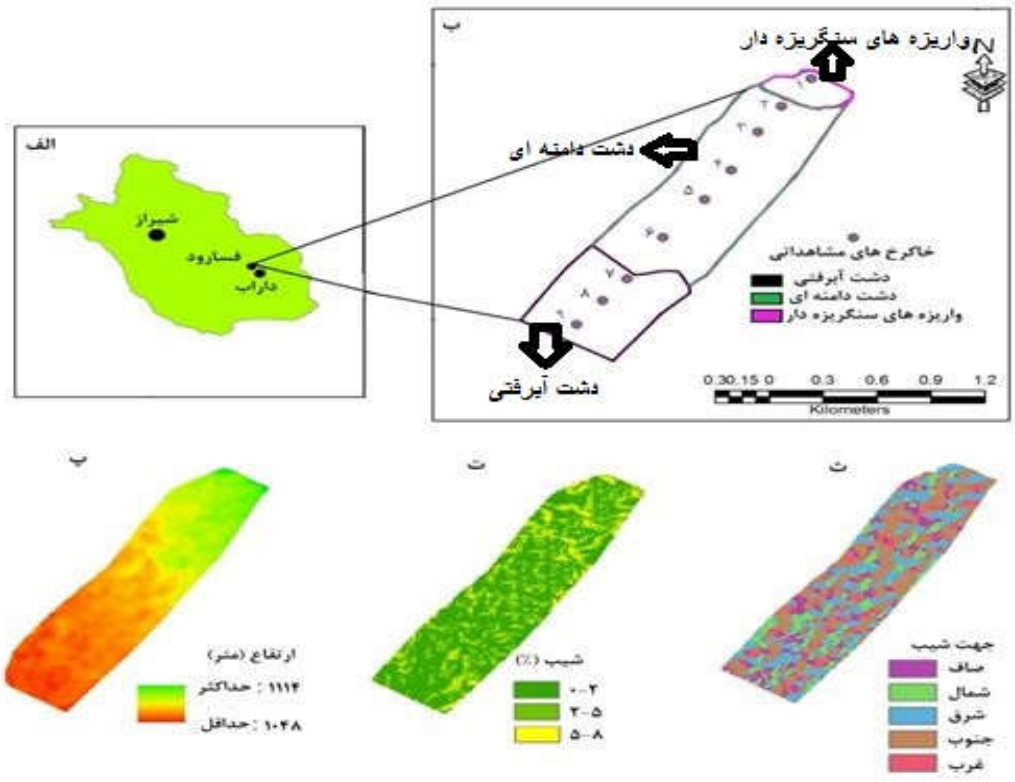
منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در امتداد یک ردیف پستی و بلندی از اراضی منطقه فسارود (داراب) واقع در حدود ۲۰۰ کیلومتری شهر شیراز و جنوب ایران با موقعیت جغرافیایی ´۷۷ °۲۸ تا ´۷۸ °۲۸ عرض شمالی و ´۳۶ °۵۴ تا ´۳۷ °۵۴ طول شرقی صورت پذیرفته است (شکل ۱- الف و ۱- ب). منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۲۰۰ هکتار با دامنه تغییرات ارتفاع ۱۰۷۱ تا ۱۱۱۹ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱- پ) بخش غالب منطقه در کلاس شیب ۲-۰ و ۲ تا ۵ درصد واقع (شکل ۱- ت) و بیشترین مساحت منطقه از نظر جهت شیب در بخش جنوبی (شکل ۱- ث) قرار دارند. میانگین بارش و متوسط دمای سالیانه به‌ترتیب ۳۵۰ میلی‌متر و ۲۸ درجه سانتی‌گراد است (۱۴). منطقه مورد مطالعه دارای رژیم رطوبتی یوستیک (Ustic moisture regime) و اکوئیک (Aquic moisture regime) و رژیم حرارتی هایپرترمیک (Hyperthermic Thermal regime) است (۳۸). از نظر تشکیلات زمین‌شناسی شامل نهشته‌های آبرفتی جوان و جدید کواترنری است. منشأ این رسوبات عمدتاً بر اثر فرایندهای فرسایشی واحدهای زمین‌نما در مناطق فوقانی و رسوبگذاری آنها در بخش‌های میانی و پای شیب است. این رسوبات از نظر تشکیل و تکامل خاکسازی خاک‌های به‌نسبت جوان هستند و دارای توان حاصلخیزی به‌نسبت مناسبی هستند. دشت‌های آبرفتی، دشت‌های دامنه‌ای و واریزه‌های سنگریزه‌دار از مهم‌ترین واحدهای فیزیوگرافی منطقه هستند و کاربری غالب اراضی شامل مرتع، کشت دیم و باغات مرکبات است.

مطالعات میدانی و آزمایشگاهی

در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث، تصاویر ماهواره‌ای موجود از منطقه مطالعاتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر (Sentinel-2)، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰و زمین‌شناسی موجود از منطقه با مقیاس، ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه شناسایی و تعداد ۹ خاکرخ (Profile) با متوسط فاصله ۳۰۰ متر با روش مطالعه شناسایی آزاد در واحدهای فیزیوگرافی شناسایی شده و تا عمق ۲ متر یا بالای لایه محدوده کننده حفر شدند. از نظر موقعیت قرارگیری، خاکرخ ۱ در واریزه‌های سنگریزه‌دار با پوشش مرتعی (شکل۲- الف) ، خاکرخ ۲، ۳ و ۴ در دشت‌های دامنه‌ای با کاربری زراعت آبی و باغات مرکبات (شکل ۲- ب) و خاکرخ‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ در دشت‌های آبرفتی با کاربری زراعت آبی (شکل ۲ - ج) در جهت شیب شمال شرقی به جنوب غربی تشریح و نمونه‌برداری شد (شکل ۱- ث).

پس از تشریح کامل تمام خاکرخ‌ها بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (۳۲) از کلیه خاکرخ‌های مشاهداتی اطلاعات ژنتیکی و مورفولوژیکی برداشت شد و در ادامه نمونه‌های جمع‌آوری شده برای انجام آنالیزهای لازم به آزمایشگاه منتقل شد. پس از هوا خشک کردن و عبور نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری، توزیع اندازه ذرات به‌روش هیدرومتری (۹)، میزان کربن آلی خاک به‌روش واکلی و بلک (۳۹)، pH در گل اشباع با دستگاه pH سنج مدل Jenwey، ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش استات آمونیوم (۳۶)، کربنات کلسیم معادل



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه مطالعاتی نسبت به مرکز استان، شهرستان داراب و شهر فسارود، ب) محدوده مطالعاتی و خاکرخ‌های مشاهداتی، پ) ارتفاع از سطح دریا، ت) تغییرات دامنه شیب و ث) جهت شیب (رنگی در نسخه الکترونیکی)

(ج) (ب) (الف)

شکل ۲. نمایی از خاکرخ‌های حفر شده در هر یک از واحدهای فیزیوگرافی (رخساره‌ها): الف) خاکرخ ۱ در واحد فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار، ب) موقعیت حفر خاکرخ ۳ در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای و ج) خاکرخ ۸ در واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی

به‌روش تیتراسیون برگشتی (۲۵) و همچنین گچ به‌روش ترسیب با استون (۲۴) اندازه‌گیری شدند. برای شناسایی انواع کانی‌های رسی در خاک از روش جکسون و کیتریک و هوپ برای حذف مواد سیمانی و جدا کردن بخش رس استفاده شد، و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم در درجه حرارت ۵۵۰ سانتی‌گراد روی هر یک از نمونه‌ها اعمال شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به‌وسیلهٔ دستگاه پراش پرتو ایکس مدل بروکر D8 در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و آمپراژ ۳۰ میلی‌آمپر در آزمایشگاه کانی‌شناسی بررسی شدند. بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی، رده‌بندی خاک‌ها مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی (soil survey staff, 2014) و سامانه طبقه‌بندی جهانی (WRB 2015) نهایی شد.

تحلیل آماری

در این بخش از پژوهش برای ارائه نتایج دقیق‌تر و ارائه نتایج موثق‌تر از تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد(خاکرخ‌های شماره ۱،۲،۳،۴،۶،۹) شامل درصد کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، درصد رس، درصد کربن آلی خاک و pH به بررسی ارتباط اثرات متقابل واحدهای فیزیوگرافی و همچنین عمق خاک از آنالیز واریانس یک‌طرفه در سطح معنی‌داری ۱ درصد و مقایسه میانگین در سطح معنی داری ۵ درصد در محیط نرم‌افزار استاتیستیکس(Statistix) نسخه ۸ استفاده شد. گفتنی است با توجه به اینکه در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای چهار خاکرخ شاهد (شماره ۲، ۳، ۴ و ۶) انتخاب شده بود بنابراین به تغییرات ویژگی‌های خاک در بین خاکرخ‌های واقع در یک واحد فیزیوگرافی نیز پرداخته شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شمیایی و مورفولوژیکی خاکرخ‌های شاهد

در جدول ۱ برخی از ویژگی‌های مورفولوژیک خاکرخ‌های شاهد شامل وضعیت رنگ خاک در دو حالت خشک و مرطوب، ساختمان خاک، جوشش با اسید، تغییرات مرز افق‌های افق‌های ژنتیکی در ارتباط با عمق آنها ارائه شده است. جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد را به تفکیک نشان می‌دهد. بافت خاک منطقه به‌طور کلی سبک تا بسیار سبک بوده (به‌جز خاکرخ‌های ۶ و ۹ که در موقعیت‌های دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی قرار دارند و دارای بافت متوسط تا سنگین هستند) (جدول ۲). بیشترین میزان رس مربوط به خاکرخ‌های ۶ و ۹ در موقعیت دشت دامنه‌ای (۴۲/۲) و دشت آبرفتی (۴۴/۲) مشاهده شد (جدول ۲). پ‌هاش خاک‌ها نیز در دامنه ۷/۲۵ تا ۷/۸۹ گزارش شد. بر اساس نتایج جدول ۲ میزان پ‌هاش در دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی ۷/۸۹ و ۷/۶۳ و در واحد واریزه‌های سنگریزه‌دار ۷/۵۵ بوده است که نشان‌دهنده تجمع و یا انتقال املاح در این دو واحد فیزیوگرافی نسبت به خاکرخ واقع در واحد مخروط‌افکنه سنگریزه‌دار است. هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های منطقه در دامنه ۴/۰۵ تا ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. خاک‌های شور منطقه در موقعیت دشت آبرفتی با زهکشی به‌نسبت ضعیف قرار داشتند. مقدار میانگین گچ در خاک‌های منطقه ۰/۱۴ درصد و در دامنه مقادیر ناچیز تا ۰/۳۱ درصد متغیر بوده است. مقادیر کربن آلی خاک نیز از ۰/۱۳ تا ۲/۷۰ متغیر بود. نکته قابل توجه تغییرات نامنظم کربن آلی با عمق در بسیاری از خاکرخ‌ها به‌ویژه در واحد دشت دامنه‌ای بوده که بیانگر رسوبگذاری‌های متوالی در دوره‌های گذشته بوده است (مواد مادری آبرفتی). حداکثر میزان میانگین کربن آلی در افق سطحی خاکرخ شماره ۶ واقع در واحد اراضی دشت دامنه‌ای ۲/۴۷ درصد و حداقل آن در واحد دشت آبرفتی به میزان ۰/۷۵ درصد بود. در واحدهای دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی میزان سنگریزه بسیار ناچیز بود اما در واحد واریزه‌های سنگریزه‌دار حداکثر مقدار درصد سنگریزه ۲۵ درصد در سطح بودند که با افزایش عمق مقدار آن افزایش می‌یابد.

جدول ۱. ویژگی‌های مورفولوژیک خاکرخ‌های شاهد

خاکرخ شاهد	افق	عمق (cm)	مرز	رنگ		جوشش با اسید اسید کلریدریک	ساختمان
				خشک	مرطوب		
۱	A	۱۰-۰	[۱]CW	۴/۷YR ۱۰	۶/۵YR ۱۰	[۵]ev	[۷]1 fgr
	Cr	۴۵-۱۰	-	۲/۸YR ۱۰	۶/۴YR ۱۰	ev	rock structure
	Ap	۱۰-۰	[۲]CS	۲/۶YR ۱۰	۲/۳YR ۱۰	Ev	1fgr
۲	Bw	۹۰-۱۰	CS	۲/۵YR ۱۰	۲/۳YR ۱۰	Ev	[۸]Abk
	Cr	۱۰۰-۹۰	-	۳/۶YR ۱۰	۳/۳YR ۱۰	[۶]es	rock structure
۳	Ap	۱۵-۰	[۳]GS	۳/۶YR ۱۰	۲/۳YR ۱۰	Ev	1vfgr, sbk
	Bw	۹۰-۱۵	CS	۳/۶YR ۱۰	۳/۴YR ۱۰	ev	abk
	Cr	۱۰۰-۹۰	-	۳/۷YR ۱۰	۴/۴YR ۱۰	es	rock structure
۴	Ap	۱۰-۰	GS	۳/۴YR۱۰	۳/۳YR ۱۰	Ev	1fgr
	Bw	۵۰-۱۰	CS	۳/۵YR ۱۰	۳/۴YR ۱۰	ev	abk
	Bk	۱۲۰-۵۰	-	۳/۶YR ۱۰	۳/۵YR ۱۰	es	[۹]sbk
۶	Ap	۲۵-۰	GS	۲/۷YR ۱۰	۲/۶YR ۱۰	Ev	1vfgr
	Bg	۱۲۰-۲۵	-	۲/۵YR ۱۰	۲/۴YR ۱۰	Es	Abk
۹	Ap	۲۵-۰	CW	۱/۵YR ۱۰	۱/۳YR ۱۰	Ev	1fgr
	Bw	۸۰-۲۵	[۴]AW	۱/۶YR ۱۰	۱/۳YR ۱۰	ev	abk
	Bg	۱۲۰-۸۰	-	۱/۷YR ۱۰	۱/۵YR ۱۰	es	sbk

[۱] مرز مشترک واضح و موج‌دار ، [۲] مرز مشترک تدریجی و صاف، [۳] مرز مشترک تدریجی و موج‌دار، [۴]مرز مشترک خیلی واضح و موج‌دار، [۵]جوشش خیلی زیاد، [۶]جوشش زیاد، [۷] ساختمان کروی ریز، [۸] ساختمان بلوکی زاویه‌دار، [۹] ساختمان بلوکی بدون زاویه

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد

خاکرخ شاهد	فیزیوگرافی	افق	عمق	رس	سنگریزه	گچ	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	قابلیت هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	واکنش خاک	بافت
			(Cm)		(%)		(cmol/kg)		(dS.m^{-1})			
۱	واریزه‌های سنگریزه‌دار	A	۱۰-۰	۲/۱۴	۲۵	۱۴/۰	۲۵/۹	۲۷/۲	۰۵/۴	۶/۱۸	۵۶/۷	SiL[a]
		Cr	۴۵-۱۰	۲/۱۶	۷۰	۱۳/۰	۱۳	۹۷/۱	۴۸/۴	۳/۱۵	۵۵/۷	L[b]
۲	دشت دامنه‌ای	Ap	۱۰-۰	۲/۱۸	۱۰	۱۶/۰	۵/۱۰	۸۳/۱	۶۵/۴	۰/۲۴	۴۸/۷	SiL
		Bw	۹۰-۱۰	۲/۱۷	۱۵	۳۱/۰	۷/۱۶	۹۵/۱	۹۸/۵	۰/۲۱	۷۳/۷	SiL
		Cr	۱۰۰-۹۰	۲/۱۷	-	۱۳/۰	۷/۲۱	۱۳/۰	۷۸/۴	۰/۲۰	۵۵/۷	SiL
۳	دشت دامنه‌ای	Ap	۱۵-۰	۲/۱۹	۱۰	۱۴/۰	۲۵/۹	۵۳/۱	۲/۵	۵/۲۹	۸۹/۷	SiCL[c]
		Bw	۹۰-۱۵	۲/۲۶	۱۲	۱۳/۰	۱۳	۶۸/۱	۴/۵	۸/۲۴	۶۶/۷	SiCL
		Cr	۱۰۰-۹۰	۲/۲۴	-	۲۶/۰	۵/۱۵	۱۰/۱	۰۲/۵	۳/۲۱	۷۲/۷	L
۴	دشت دامنه‌ای	Ap	۱۰-۰	۲/۲۰	۵	۱۳/۰	۵۳	۰۸/۱	۷/۴	۶/۲۲	۵۰/۷	L
		Bw	۵۰-۱۰	۲/۲۰	۱۲	۱۹/۰	۳۳	۵۶/۱	۱/۵	۵/۲۵	۶۱/۷	L
		Bk	۱۲۰-۵۰	۲/۲۰	۱۰	۱۴/۰	۴۱	۲۲/۱	۴/۵	۵/۲۷	۲۵/۷	L
۶	دشت دامنه‌ای	Ap	۲۵-۰	۲/۳۸	-	۱۳/۰	۷/۶۶	۷۰/۲	۳/۴	۲/۳۱	۲۷/۷	CL[d]
		Bg	۱۲۰-۲۵	۴۲/۲	-	۱۹/۰	۲/۵۴	۲۴/۲	۸/۴	۴/۳۵	۵۸/۷	C[e]
۹	دشت آبرفتی	Ap	۲۵-۰	۲/۳۲	-	۰۵/۰	۳۰	۵۸/۱	۶/۴	۱/۲۸	۲۸/۷	CL
		Bw	۸۰-۲۵	۲/۳۰	-	۰۵/۰	۳۵	۱۱/۱	۰۲/۵	۲/۲۹	۳۲/۷	CL
		Bg	۱۲۰-۸۰	۲/۴۴	-	۰۶/۰	۲/۵۱	۷۵/۰	۲/۵	۸/۳۵	۶۳/۷	C

a Silty Loam b Loam c Silty Clay Loam d Clay Loam e Clay

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

بر اساس جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر واحدهای فیزیوگرافی و عمق خاک روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از خاکرخ‌های شاهد نشان داد که اثرات اصلی فیزیوگرافی و عمق و همچنین برهم‌کنش آنها بر ویژگی‌های کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، سنگریزه، pH و کربن آلی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار است. در همین راستا با توجه به اینکه دو ویژگی درصد گچ و قابلیت هدایت الکتریکی دارای تغییرپذیری محسوسی در کل منطقه مورد مطالعه نبودند تجزیه و تحلیل آماری آنها در این بخش لحاظ نشده‌است.

نتایج مقایسه میانگین اثر نوع واحد فیزیوگرافی (واریزه‌های سنگریزه‌دار، دشت دامنه‌ای، دشت آبرفتی) و عمق خاکرخ شاهد (سطحی و زیر سطحی) بر هر یک از ویژگی‌های فیزیکی و

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل واحد فیزیوگرافی و عمق بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از خاکرخ‌های شاهد

منابع تغییرات	درجه آزادی	کربنات کلسیم	ظرفیت تبادل کاتیونی	رس	سنگریزه	pH	کربن آلی خاک
فیزیوگرافی	۵	۲۳۸۱**	۱۹۶/۶**	۴۹۲/۵**	۱۹۱۱**	۰/۱۵۸۷**	۱/۲۳۹**
عمق	۱	۸۶/۴۹**	۵/۴۴**	۳۸/۰۲**	۹۰۰/۰**	۰/۰۶۴۱**	۰/۱۱۷۸**
فیزیوگرافی×عمق	۵	۱۸۴/۴**	۱۱/۶۰**	۱۳/۳۵**	۴۵۵/۴**	۰/۰۵۵۷**	۰/۲۵۱۱**
خطا	۲۲	۱/۳۷	۰/۷۰۲	۰/۳۶۸	۰/۴۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۲
ضریب تغییرات		۴/۱۱	۳/۳۶	۲/۴۹	۴/۸۲	۰/۱۴	۳/۲۲

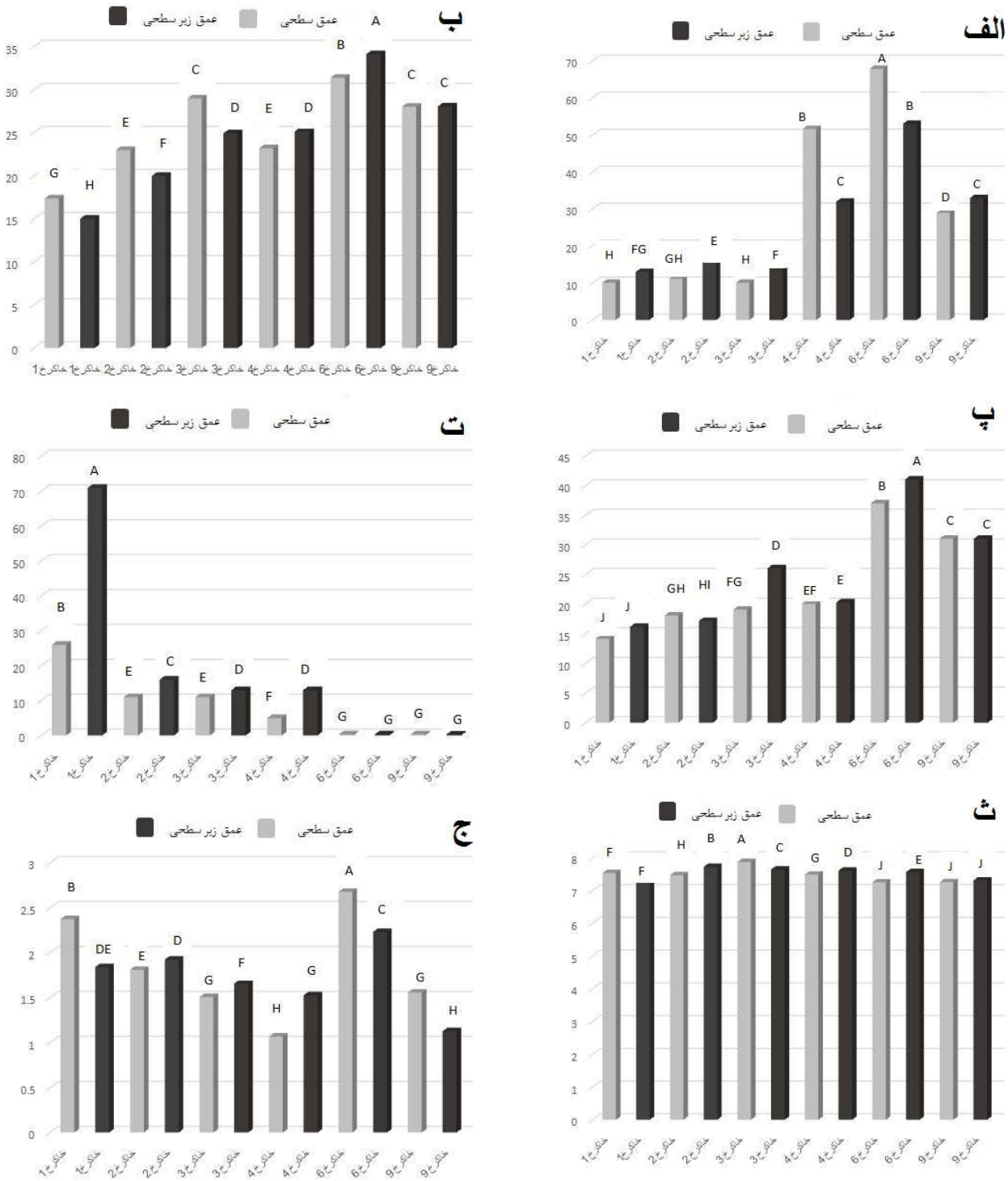
** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

شیمیایی مورد نظر با استفاده از آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد در شکل ۳ ارائه شده است. در مورد تغییرات عمقی قابل ذکر است که کلیهٔ افق‌های مشخصهٔ سطحی در این تحقیق تحت عنوان "عمق سطحی" و مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در افق ژنتیکی یا لایهٔ زیرین تحت عنوان "عمق زیر سطحی" برای تسهیل در تفسیر نتایج لحاظ شدند. بر اساس (شکل ۳- الف) نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین تغییرات کربنات کلسیم معادل در کلیهٔ خاکرخ‌های شاهد در دو عمق سطحی و زیرسطحی است همچنین در مورد اثر فیزیوگرافی نتایج بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تغییرات کربنات کلسیم معادل در عمق سطحی خاکرخ ۹ واقع در واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی نسبت به دو واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای و واریزه‌های سنگریزه‌دار است. در مقابل تغییرات کربنات کلسیم معادل در افق سطحی خاکرخ ۱ واقع در واریزه‌های سنگریزه‌دار با افق سطحی خاکرخ ۲ و ۳ در دشت دامنه‌ای تغییرات معنی‌داری از خود نشان ندادند و همین رابطه نیز در مورد عمق زیرسطحی خاکرخ ۹ واقع در فیزیوگرافی دشت آبرفتی با خاکرخ ۴ در فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای نیز صادق است. تغییرات کربنات کلسیم معادل در درون واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای نیز بیانگر این است که به‌جز در مورد عمق سطحی دو خاکرخ ۲ و۳ همچنین عمق سطحی خاکرخ ۴ و عمق زیرسطحی خاکرخ ۶ در مابقی عمق‌ها تغییرات کربنات کلسیم معادل دارای تغییرات معنی‌دار در سطح ۵ درصد است. تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی بر اساس شکل ۳- ب در بین کلیهٔ خاکرخ‌های واقع در سه واحد فیزیوگرافی به‌جز در دو خاکرخ ۲ و ۴ معنی‌دار شد در مورد تغییرات این ویژگی در عمق زیرسطحی نیز در کلیهٔ خاکرخ‌ها به‌جز خاکرخ ۳ و خاکرخ ۴ یک اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در خصوص تغییرات رس نیز شکل ۳- پ نشان داد که در روند تغییرات عمق سطحی از الگوی مشابه با CEC پیروی می‌کند، همچنین تغییرات عمق زیرسطحی رس نشان داد که در کلیهٔ واحدهای فیزیوگرافی مورد نظر معنی‌دار است. درضمن تغییرات رس در افق سطحی و زیرسطحی خاکرخ ۱ (واقع در واریزهٔ سنگریزه‌دار) خاکرخ ۴ (واقع در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای) و خاکرخ ۹ (واقع در دشت آبرفتی) معنی‌دار نشد. تغییرات درصد سنگریزه نیز بر اساس شکل ۳- ت در بین خاکرخ‌های واقع در دو واحد فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار و دشت آبرفتی کاملاً معنی‌دار است. همچنین نشان می‌دهد که تغییرات عمق سطحی و زیرسطحی برای دو خاکرخ ۶ (دشت دامنه‌ای) و خاکرخ ۹ (دشت آبرفتی) معنی‌دار نیست، تغییرات در درون واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای نیز حاکی از آن است که دو خاکرخ ۲ و ۳ در عمق سطحی و دو خاکرخ ۳ و۴ نیز در عمق زیرسطحی تغییرات معنی‌داری را نشان نمی‌دهند. شکل ۳- ث نیز حاکی از تغییرات پ‌هاش است که نشان می‌دهد در درون دو واحد فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار و دشت آبرفتی تغییرات معنی‌داری رخ نداده است، اما بررسی تمامی عمق‌های سطحی واحدهای فیزیوگرافی حاکی از آن است که به‌جز خاکرخ‌های ۶ و ۹ در مابقی خاکرخ‌ها تغییرات معنی‌داری مشاهده شد. بررسی

تغییرات عمق زیرسطحی نیز در هر سه واحد فیزیوگرافی نشان داد که در تمامی خاکرخ‌ها تغییرات معنی‌دار وجود دارد. تغییرات درصد کربن آلی خاک بر اساس شکل ۳- ج در عمق زیرسطحی سه واحد فیزیوگرافی به‌جز خاکرخ ۱ و ۲ تغییرات معنی‌داری را بیان می‌کند، همچنین تغییرات کربن آلی خاک در عمق زیرسطحی هر سه واحد فیزیوگرافی نیز تغییرات معنی‌داری را برای تمام خاکرخ‌ها به‌غیر از ۳ و ۹ نشان می‌دهد. گل‌محمدی و همکاران (۱۱) ضمن بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (پ‌هاش، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کاتیون‌های تبادلی، آهن بی‌شکل و آزاد در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر در منطقه جنگلی ارسباران بیان داشتند که تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های تشکیل شده روی موقعیت‌های مختلف شیب با مواد مادری متنوع در هر دو عمق مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ هستند. همچنین ایشان معتقدند که توپوگرافی و شرایط آب وهوا سبب اختلاف در نحوه تشکیل خاک‌های تشکیل شده بر روی دو نوع ماده مادری مختلف در سطح راسته و زیرراسته شده است. همسو با نتایج این تحقیق در ارتباط با بررسی اثر توپوگرافی روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نتایج نشان داد که تغییرات کربنات کلسیم و کربن آلی خاک در شیب‌های مختلف دارای اختلاف معنی-دار در سطح ۵ درصد بود. حداقل مقدار کربنات کلسیم در شیب کمتر از ۵ درصد و جهت شیب جنوبی و بیشترین مقدار آن را در شیب جنوبی با بیش از ۵۰ درصد مشاهده شد. همچنین ایشان کمترین مقدار کربن آلی خاک را در شیب بیش از ۵۰ درصد و بیشینه مقدار آن در شیب کمتر از ۵ درصد جنوبی مشاهده کردند و درنهایت وجود یک تفاوت معنی‌دار بین تغییرات کربن آلی و کربنات کلسیم در دو جهت شیب و در درجات مختلف شیب گزارش کردند. در مورد اجزا بافت خاک نیز بیان داشتند که با افزایش شیب درصد ذرات درشت‌تر افزایش و درصد ذرات ریزتر کاهش یافت (۲۶). ملکی و همکاران (۱۸) نیز در بررسی اثر و موقعیت شیب روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیای خاک، دریافتند در قسمت‌های پایینی شیب دارای بیشترین مقدار رس، کربن آلی، پایداری خاکدانه و کمترین مقدار کربنات کلسیم است و کربن آلی به‌عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی اثر موقعیت زمین‌نما بر کیفیت خاک است. مهاجری و همکاران (۲۱) در مطالعه اثر موقعیت‌های مختلف شیب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیای خاک نشان دادند که با افزایش عمق از میزان پایداری خاکدانه‌ها، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل جذب و نیتروژن کل خاک کاسته می‌شود، درحالی که میزان رس روند معکوسی داشت و با افزایش عمق میزان آن افزایش یافت. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کیفیت خاک در موقعیت‌های مختلف شیب را به‌طور عمده به‌دلیل تفاوت در میزان رطوبت دریافتی، سرعت فرسایش و تجمع مواد نسبت دادند.

مقایسه کارکرد دو سامانه رده‌بندی

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، سامانه طبقه‌بندی جهانی در سطح گروه مرجع موفق به جداسازی چهار گروه رگوسول (Regosol)، کمبی‌سول (Cambisol)، کلسی‌سول (Calcisol) و گلی‌سول (Gleysol) شد که نسبت به سیستم رده‌بندی آمریکایی با شناسایی دو راسته خاک انتی‌سول (Entisols) و اینسپتی‌سول (Inceptisols) تنوع بیشتری از خاک‌ها را با درنظر گرفتن معیارهای مورفولوژی شناسایی نماید. سکو و همکاران (۳۳) اظهار می‌دارند از آنجایی که سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک تلاش می‌کند، تا تمامی انواع خاک‌های موجود در جهان را پوشش دهد، بنابراین از تنوع افق بالاتری نسبت به سامانه خاک آمریکایی برخوردار است و تأکید بیشتری روی مورفولوژی و تشکیل خاک دارد. خاک‌های با سطح بالای آب زیرزمینی و دارای شرایط خیسی در واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی در سیستم رده‌بندی جهانی به‌دلیل ایجاد محدودیت‌هایی از قبیل توسعه سیستم ریشه، تهویه و



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در دو عمق سطحی و زیرسطحی خاکرخ‌های شاهد در هر یک از واحدهای فیزیوگرافی به‌ترتیب: الف) درصد کربنات کلسیم معادل، ب) ظرفیت تبادل کاتیونی، پ) درصد رس، ت) درصد سنگریزه، ث) پ‌هاش و ج) درصد کربن آلی خاک

زهکشی خاک برخلاف روش رده‌بندی خاک آمریکایی که در سطح زیر راسته با عنوان اکوئپتز (Aquepts) قرار گرفته است، در یک سطح بالاتر با عنوان گروه مرجع گلی‌سول (Gleysol) رده‌بندی شده‌اند. خاک‌های واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای در سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی با داشتن افق‌های کلسیک و یا کمبیک در محدوده ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک در زیرراسته اینسپتی‌سول (Inceptisols) طبقه‌بندی می‌شوند، درحالی که در سیستم رده‌بندی مبنای جهانی، مشاهده افق کلسیک در این عمق به‌صورت یک گروه مرجع مجزا با نام کلسی‌سولز (Calcisol) رده‌بندی شده است و قرار گرفتن افق کلسیک در عمق ۵۰ سانتی‌متر از سطح خاک، اهمیت حضور کربنات کلسیم و خطر آن در تغذیه گیاهان زراعی و باغی در سطح بالاتری را نشان می‌دهد. تومانیان و همکاران (۳۷) نیز معتقدند که WRB دارای توانایی بیشتری در طبقه‌بندی ویژگی‌های جزئی‌تر خاک نسبت به ST است. روکا و پازوس (۲۷) نیز معتقدند که در مقایسه WRB و ST، سیستم WRB با بهره‌گیری از توصیف کننده‌ها، انعطاف‌پذیری و حساسیت بیشتری در انعکاس ویژگی‌های خاک، در قالب نام ارائه می‌کند. خاک‌های واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی بر اساس سامانه مبنای جهانی در دو گروه مرجع متفاوت بر خلاف سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی که هر دو خاک در راسته اینسپتی سول (Inceptisols) قرار دارند، رده‌بندی شده‌اند. خاک واحد فیزیوگرافی مخروط‌افکنه سنگریزه‌دار در سامانه جهانی خاک در سطح توصیف کننده اصلی با عنوان Collvic که بیانگر نقش واحد فیزیوگرافی بر تشکیل این خاک است را ارائه می‌کند، که برخلاف سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی اثرات توزیع اندازه ذرات درشت و واریزه را در سطح فامیل ارائه کرده، دارای برتری است. کم عمق بودن خاک‌ها و حضور لایه محدود کننده رشد برای توسعه سیستم ریشه در سطح گروه مرجع و توصیف کننده‌های اصلی و مکمل در سامانه جهانی خاک مشاهده نمی‌شود، درحالی که در سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی، خاک واحد فیزیوگرافی مخروط‌افکنه سنگریزه‌دار در سطح فامیل، کم‌عمق بودن خاک را با معیار Shallow نشان داده است. در مطالعه‌ای که در مرکز ایران صورت پذیرفت محققین بیان کردند که سامانه آمریکایی برای نشان دادن ویژگی خاک‌های کم‌عمق در مناطق نیمه‌خشک نسبت به‌روش WRB توانمندتر عمل می‌کند (۳۱ و ۴۱). در خاک‌های واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای با وجود حضور لایه محدود کننده پارالیتیک در عمق ۹۰ سانتی-متری (جدول ۱) از سطح خاک در هیچ کدام از دو سامانه، صفت کم عمق بودن خاک قابل مشاهده نیست و این محدودیت روی رشد ریشه به‌ویژه در گیاهان چند ساله از قبیل محصولات باغی و زراعی چند ساله تأثیر مهمی خواهد داشت.

خاکرخ‌های شماره ۲ و ۳ در واحد دشت دامنه‌ای (جدول ۳) در سطح زیرگروه سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی دارای تغییرات نامنظم کربن آلی هستند که در اثر رسوبگذاری متوالی در دوره‌های مختلف فرسایش و رسوب به‌وجود آمده است که با ویژگی Fluventic توصیف شده‌اند درحالی که در سیستم طبقه‌بندی جهانی این مشخصه در هیچ کدام از دو سطح گروه مرجع و توصیف کننده‌های اصلی و مکمل مشاهده نمی‌شود، در همین راستا مواد مشخصه Fluvic که بیانگر رسوبات آبرفتی با حالت لایه‌لایه هستند و دارای تغییرات نامنظم کربن آلی با عمق هستند، می‌تواند در آینده به‌عنوان یک توصیف کننده اصلی یا مکمل برای بیان اهمیت این تغییرات به جدول‌ها توصیف کننده‌های مکمل به گروه مرجع Cambisols اضافه شود. توصیف کننده Dystric که نشان‌دهنده درصد اشباع بازی کمتر از ۵۰ درصد است در سطح دوم سامانه مبنای جهانی به‌عنوان توصیف کننده اصلی مورد استفاده قرار گرفته که در سامانه رده‌بندی آمریکایی به این مشخصه توجهی نشده است. اسفندیارپور و همکاران (۷) معتقدند که اسامی خاک‌ها در سامانه طبقه‌بندی جهانی، نسبت به ST، اطلاعات بیشتری را در مورد ویژگی‌ها و خصوصیات درونی خاک‌ها به‌ویژه خاک‌های دارای محدودیت شوری ارائه می‌کند. همچنین سامانه WRB قادر به نمایش ویژگی‌های بیشتری نسبت به رده‌بندی آمریکایی است. خاکرخ ۴ در هر دو سامانه رده‌بندی، دارای افق Calcic

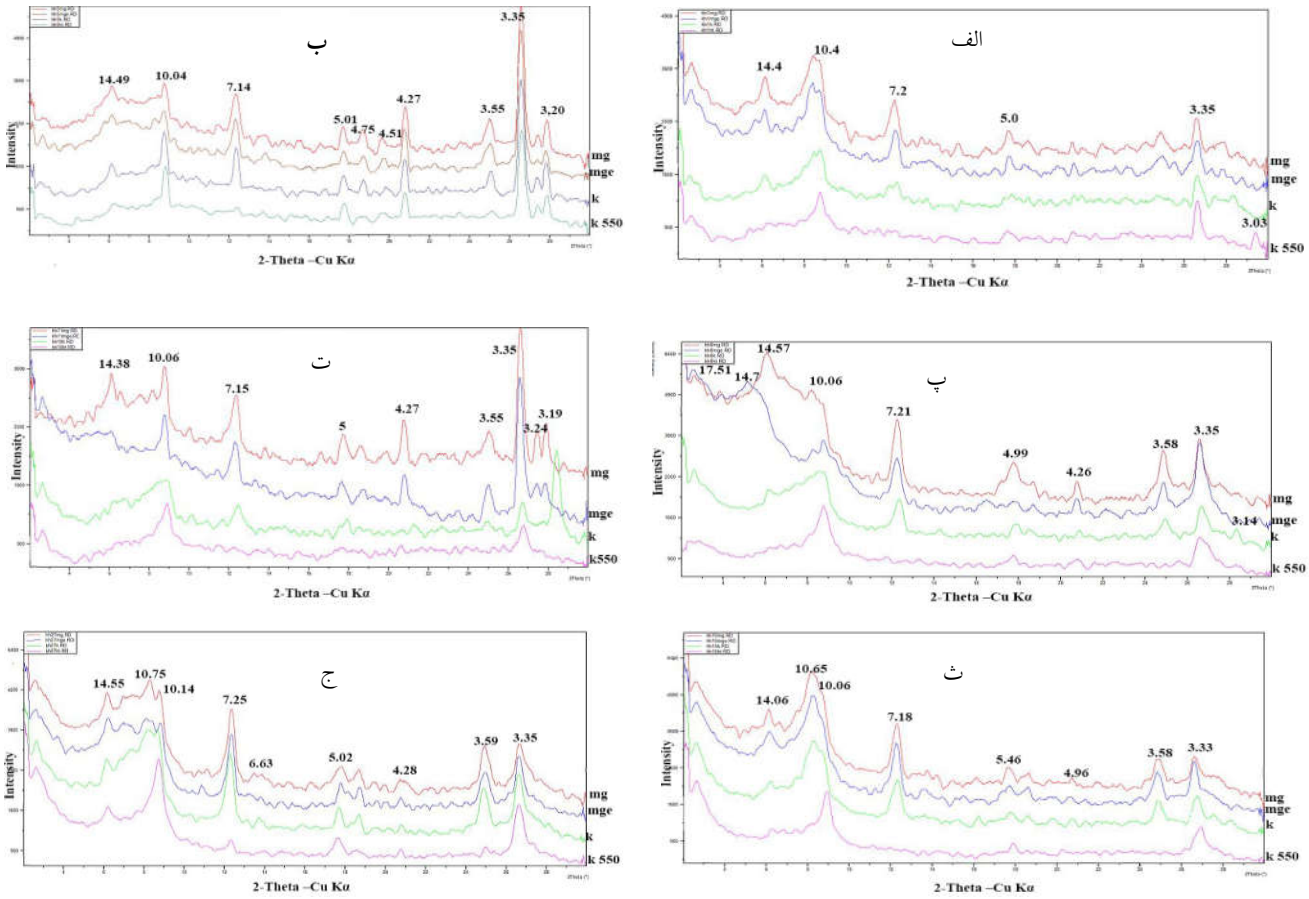
در مرز بالای ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک هستند، اما رده‌بندی آن طبق ST در سطوح بالای رده‌بندی متفاوت است. درصورتی که در سامانه WRB در گروه مرجع و سطح اول رده‌بندی مورد اشاره واقع شده است. نتایج مشابهی در همین راستا توسط بهمنی و همکاران (۲) نیز اشاره شده است. کلاس کانی‌شناسی بخش رس خاک به‌همراه کلاس فعالیت تبادل کاتیونی در خاک‌های واحد فیزیوگرافی مخروط‌افکنه سنگریزه‌دار و دشت دامنه‌ای در سطح فامیل به‌صورت mixed و superactive که روی مدیریت خاک اثرگذار باشند در سامانه رده‌بندی آمریکایی بر خلاف سیستم جهانی مورد بررسی قرار گرفته است و در خاک‌های اراضی دشت آبرفتی کلاس مینرالوژی بخش رس با دارا بودن بیش از ۴۰ درصد کربنات کلسیم معادل carbonatic نامگذاری شده است، که می‌تواند نشان‌دهنده برتری ST در نشان دادن ویژگی‌های مدیریتی خاک نسبت به سیستم مبنای جهانی برای طبقه‌بندی خاک‌ها باشد. خاک‌های دشت آبرفتی در سامانه رده‌بندی آمریکایی در سطح فامیل با دارا بودن بیش از ۳۵ درصد رس در بخش کنترل اندازه ذرات (۱۰۰-۲۵ سانتی‌متری) در کلاس توزیع اندازه ذرات Fine قرار گرفته‌اند، درحالی که دارا بودن افقی با کلاس بافتی clay در سیستم طبقه‌بندی جهانی در ۱۰۰ سانتی‌متری با بیش از ۳۰ سانتی‌متر ضخامت در خاکرخ ۶ با استفاده از توصیف کننده مکمل Clayic در سطح دوم طبقه‌بندی بر خلاف سامانه رده‌بندی آمریکایی که در سطح فامیل خاک به اهمیت توزیع اندازه ذرات مورد اشاره واقع می‌شود، بلافاصله در سطح دوم رده‌بندی لحاظ شده است. خاکرخ شماره ۹ در این واحد فیزیوگرافی (دشت آبرفتی) تنها به‌دلیل نداشتن ضخامت ۳۰ سانتی‌متر با وجود دارا بودن کلاس بافت رسی با توصیف کننده مکمل Loamic بر خلاف سیستم رده‌بندی امریکایی که با استفاده از متوسط وزنی اندازه ذرات رس در عمق کنترل اندازه ذرات با بیش از ۳۵ درصد رس که به‌صورت کلاس توزیع اندازه Fine به مانند خاکرخ شماره۶ طبقه‌بندی شده است. در سطوح پایین‌تر رده‌بندی نیز تفاوت‌های چشمگیری وجود دارد که مهم‌ترین آنها مربوط به کلاس رژیم حرارتی به‌عنوان یکی از پارامترهای اقلیمی و بیانگر نقش عوامل محیطی است که در سطح فامیل خاک و با تأثیر بر مدیریت خاک‌ها بر خلاف سیستم مبنای جهانی مورد استفاده قرار گرفته است. نوع رژیم رطوبتی (Ustic) در سطح زیرراسته و رژیم حرارتی (Thermic) در سطح فامیل برای تمامی خاکرخ‌های مطالعاتی مشخص شده است. اما در سیستم WRB نه در سطح گروه مرجع و نه در سطح دوم کلاس‌بندی خود (توصیف کننده‌های اصلی و مکمل) هیچ اشاره‌ای به آنها نشده است. در واقع این سامانه جهانی، اطلاعات اقلیمی را فقط برای تفسیر نتایج شناسایی خاک به‌کار می‌گیرد (۴۰). بهمنی و همکارن (۲) بیان کردند که سامانه WRB اعتقادی به استفاده از اطلاعات اقلیمی برای نامگذاری خاک‌ها ندارد و به‌طور غیرمستقیم به نقش عوامل اقلیمی در تفسیر مطالعات شناسایی خاک‌ها می‌پردازد. هوایی و همکاران (۱۲) توجه به جایگاه اطلاعات اقلیمی به‌عنوان یک فاکتور خاکساز در تشکیل خاک‌ها، کمکی ارزنده در جهت تصمیم‌گیری پیرامون نوع کاربری مناسب و مدیریت خاک‌ها ارائه می‌کند. سایر ویژگی‌های مهم و کلیدی خاک از قبیل درصد کربن آلی خاک و هدایت الکتریکی با مقادیر بیشتر از ۱ درصد و ۲ دسی‌زیمنس بر متر که نقش بسیار مهمی را روی میزان حاصلخیزی و بهبود شرایط فیزیکی خاک ایفا می‌کنند، هیچ کدام از این دو سامانه در رده‌بندی خاک‌ها لحاظ نشد.

کانی‌شناسی رس

نوع و میزان کانی‌های رسی، بیانگر بسیاری از ویژگی‌های مربوط به تشکیل و تکامل خاک‌ها در زمان گذشته و اقلیم دیرینه آنها می‌تواند باشد و از طرفی با تأثیر روی ویژگی‌هایی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی و در دسترس بودن عناصر مغذی نقش مهمی را در حاصلخیزی خاک‌ها ایفا می‌کنند (۱۶) که تحت عنوان کلاس کانی‌شناسی در سطح فامیل سامانه ST و

به‌صورت غیرمستقیم در ویژگی‌های برخی از افق‌های سامانه مبنای جهانی مدنظر قرار گرفته است. در شکل ۳ نتایج پراش‌نگاشت مربوط به افق‌های مختلف خاکرخ‌های مطالعاتی در منطقه فسارود- داراب ارائه شده است. به‌طور کلی سه کانی ایلایت، کائولینایت و کوارتز به‌عنوان کانی‌های غالب منطقهٔ مطالعاتی شناسایی شدند که در هر سه واحد فیزیوگرافی مشاهده شدند. پراش‌نگاشت افق A مربوط به خاکرخ ۱ که در واحد فیزیوگرافی واریزه‌های سنگریزه‌دار واقع شده است (شکل ۳ - الف) بیانگر وجود کانی‌های کائولینیت، اسمکتایت، پالیگورسکایت، ایلیت و کوارتز است. نتایج پراش‌نگاشت‌های افق C خاکرخ‌های ۲ و ۳ (شکل ۳- ب و ۳- پ) که در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای واقع شده‌اند شامل کائولینیت، کلریت، ایلیت، کوارتز و کائولینیت، اسمکتیت، ایلیت و کوارتز است که هر دو خاکرخ طبق جدول ۳ در یک کلاس رده‌بندی در سطح فامیل طبق سامانه ST و گروه مرجع یکسان در WRB قرار دارند، اما با توجه به نقاط فراز پراش‌نگاشت‌های آنها می‌توان بیان کرد که در خاکرخ ۲ وجود کانی کلریت و در خاکرخ ۳ وجود کانی رسی اسمکتیت بوده، که یکی از تفاوت‌های بارز در بین خاک‌های این دو واحد فیزیوگرافی است که توسط هیچ‌یک از دو سامانه رده‌بندی (ST,WRB) مدنظر واقع نشده است. کانی‌های رسی موجود در افق Bk خاکرخ ۴ (شکل ۳- ت) شامل کائولینیت، اسمکتایت، ایلیت و کوارتز هستند، که همانند دو نیمرخ ۲ و ۳ در یک واحد فیزیوگرافی قرار دارد.

پراش‌نگاشت نمونهٔ رس افق Bg خاکرخ ۶ در (شکل ۳- ث) نشان داده شده است. با توجه به نقاط فراز (پیک) این پراش‌نگاشت می‌توان نتیجه گرفت که کانی‌های غالب در این خاکرخ شامل کائولینیت، اسمکتایت، پالیگوریسکایت، ایلیت و کوارتز هستند. طبق شکل (شکل ۳- ج) کانی‌های غالب افق Bw خاکرخ ۹ شامل کائولینیت، پالیگورسکایت، ایلیت و کوارتز هستند. با وجود اینکه دو خاکرخ ۶ و ۹ در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی واقع شده‌اند؛ در دو خاکرخ ۶ و ۹ به‌صورت مشترک کانی پالیگورسکایت مشاهده شد اما کلاس مینرالوژی فامیل خاک carbonatic است که به‌دلیل غالب بودن کربنات کلسیم معادل (بیش از ۴۰٪ و مجموع گچ) نامگذاری شده است. البته یکی از دلایل نامگذاری carbonatic می‌توان به غالب نبودن کانی پالیگورسکایت و فراوانی کم آن در این موقعیت فیزیوگرافی نیز اشاره کرد. همچنین با توجه به محل رخداد این دو خاکرخ به‌ترتیب خاکرخ ۶ در انتهای دشت دامنه‌ای و خاکرخ ۹ در دشت آبرفتی باتوجه به کاهش درصد شیب و همچنین مشاهده علائم خیسی و سطح آب زیرزمینی بالا بر اساس مشاهدات میدانی معاذالهی و فرپور (۱۹) نیز بیان داشتند که کانی پالیگورسکایت به‌دلیل همراهی با کریستال‌های آهک و گچ به‌ویژه در بخش‌های انتهایی شیب به‌دلیل حلالیت بالای گچ و همچنین خیسی خاک مشاهده نشد. در همین راستا مقبلی و همکاران (۲۰) در تحقیقی تغییرات کانی‌های خاک را در یک منطقهٔ خشک در جنوب استان کرمان روی اشکال مختلف اراضی شامل مخروط‌افکنه، دشت رسوبی، اراضی پست و تپه بیشترین میزان پالیگورسکایت را در خاکرخ‌های واقع در واحدهای فیزیوگرافی تپه و مخروط‌افکنه مشاهده کردند و بیان داشتند با حرکت به‌سمت واحدهای اراضی واقع در بخش‌های مرکزی دشت از میزان این کانی کاسته و فراوانی کانی رسی اسمکتایت افزایش یافت. در مطالعه کانی‌شناسی رسی دیگری که روی سطوح ژئومورفیک صورت پذیرفت نتایج حاکی از آن بود که کانی‌های پالیگورسکایت در سطوح پایدار پدیمنت پوشیده، ورمی‌کولایت و اسمکتایت در اراضی پست مشاهده شد که در بخش کانی‌های رسی بر خلاف نتایج این تحقیق کانی اسمکتایت بیشتر در بخش‌های مربوط به واحدهای مخروط‌افکنه و دشت دامنه‌ای مشاهده شد (۳). سنجری و همکارن (۲۸) در جنوب شرق ایران گزارش کردند که با حرکت از سمت واحدهای مخروط‌افکنه به‌سمت دشت‌های دامنه‌ای و دشت‌های آبرفتی به‌دلیل افزایش سطح آب زیرزمینی، از پایداری پالیگورسکایت کاسته و اسمکتایت کانی غالب بخش رس خاک می‌شود. به‌طور کلی هر دو سامانه در بیان تفاوت



شکل ۴. پراش نگاشت اشعه X برای کانی شناسی رس. الف) افق A خاکرخ ۱، ب) افق C خاکرخ ۲، پ) افق C خاکرخ ۳، ت)افقBk خاکرخ ۴ ث) افق Bg خاکرخ ۶ و ج) افق Bw خاکرخ ۹

ویژگی‌های کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه به‌ویژه در شرایطی که هیچ‌یک از کانی‌های رسی به‌صورت غالب وجود ندارد و تحت عنوان mixed نامگذاری می‌شوند از توانایی کافی برخوردار نیستند. با توجه به وقت‌گیر و هزینه‌بردار بودن مطالعات کانی‌شناسی رس، درنظر گرفتن معیارهایی که با اندازه‌گیری به‌نسبت آسان به‌نحوی وضعیت حاصلخیزی خاک را بیان کند، می‌تواند برای بهره‌برداری از خاک‌ها بسیار مفید باشد (۲ و ۳۵).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق بیانگر این است بر اساس تحلیل آماری تجزیه واریانس اثر متقابل واحدهای فیزیوگرافی و عمق خاک روی تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در هر یک از خاکرخ‌های شاهد نشان داد که اثرات اصلی فیزیوگرافی و عمق و همچنین برهم‌کنش آنها بر ویژگی‌های کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، سنگریزه، pH و کربن آلی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج مقایسه میانگین تغییرات دو ویژگی رس و درصد سنگریزه در عمق سطحی و زیرسطحی که روی رده‌بندی خاک‌ها نیز مؤثر است، به‌طور کلی مشاهده شد که دو ویژگی روند کاملاً عکسی نسبت به یکدیگر در واحدهای فیزیوگرافی مورد مطالعه ارائه کردند. به‌نحوی که تفاوت معنی‌دار و قابل مشاهده‌ای بین تغییرات این دو ویژگی (رس و سنگریزه) در دو واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی و واریزه‌های سنگریزه‌دار مشاهده شد. در مورد کارایی هر یک از دو سامانه بستگی به نوع هدف و

به‌کارگیری آنها متفاوت است و به‌طور کلی هر کدام از آنها دارای نقاط قوت و ضعف مرتبط با خود هستند. نتایج نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک‌ها با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژیک در سطوح اول رده‌بندی موفق به جداسازی ۴ گروه مرجع خاک کمبی‌سولز (Cambisols)، کلسی‌سولز (Calcisols)، گلی‌سولز (Gleysols) و رگوسولز (Regosols) شد که نسبت به سامانه ST فقط دو راسته انتی‌سولز (Entisols) و اینسپتی‌سولز (Inceptisols) را شناسایی کرد که این بیانگر اینست که این سامانه در سطوح معادل راسته با ST با استفاده از توصیف کننده‌های اصلی و مکمل و بهره‌گیری کمتر از امکانات آزمایشگاهی می‌تواند اطلاعات مفید و کاربردی را در مورد شناسایی خاک‌ها ارائه کند. اما با توجه به اینکه این روش به‌طور مستقیم اطلاعات اقلیمی را مدنظر قرار نمی‌دهد در شرایطی که عامل اقلیم بر روی تشکیل و تکامل خاک‌ها مؤثر باشد از توانمندی خوبی برای تفکیک کلاس‌های خاک برخوردار نیست. در مورد اعمال نقش نوع کانی رس نیز نتایج این تحقیق مؤید این بود که سامانه رده‌بندی ST با لحاظ کردن کلاس مینرالوژی mixed و بهره‌گیری از کلاس ظرفیت تبادل کاتیونی تأثیر کانی-شناسی رس را در شناسایی خاک‌های منطقه در سطح رده-بندی فامیل ارائه می‌کند و همچنین ST توانست خاک‌های تحت تأثیر رسوبات دوره‌ای که بیشتر متأثر از وقوع فرسایش در بخش‌های فوقانی‌تر شیب (کوه، تپه و فلات) هستند، که به‌دلیل دریافت رسوبات دوره‌ای دارای تکامل کم تا متوسط هستند را با ویژگی Fluventic در سطح زیرگروه شناسایی کند درحالی که سیستم WRB قادر به شناسایی آن نبود، بنابراین پیشنهاد می‌شود برای افزایش کارایی سامانه رده‌بندی جهانی صفت مکمل Fluvic به گروه مرجع Cambisols در ویرایش‌های آتی آن اضافه شود.

منابع مورد استفاده

1. Anjos L. H., M. R. Fernandes, M. G. Pereira and D. P. Franzmeier. 1998. Landscape and pedogenesis of an oxisols inceptisols-ultisols sequence in Southeastern Brazil. *Soil Science Society of America Journal* 62: 1651-1659.
2. Bahmani, M., M. H. Salehi and I. Esfandiarpour Boroujeni. 2014. Comparison of American soil taxonomy and WRB classification systems in describing the properties of some soils in arid and semi-arid regions of central Iran. *Journal of Agricultural and Natural Resources Sciences and Technology* 67: 11-21.
3. Bahoorzehi, M. A., M. H. Farpoor and A. Jafari. 2016. Genesis and development of soils along different geomorphic surfaces in Kouh Birk Area, Mehrestan City. *Journal of Water and Soil* 30: 555-568. (In Farsi).
4. Buol, S. W. 2003. Soil Genesis and Classification (5th ed.). Iowa State University Press, Amesterdam.
5. Cline, M. G. 1949. Basic principles of soil classification. *Soil Science* 67(2): 81-91.
6. Esfandiarpour Boroujeni, I., M. H. Farpoor and A. Kamali. 2011. Comparison between soil taxonomy and WRB for classifying saline soils of Kerman Province. *Journal of Water and Soil* 25: 1158-1171. (In Farsi).
7. Esfandiarpour-Borujenia, I., Z. Mosleh and M. H. Farpoor. 2018. Comparing the ability of soil taxonomy (2014) and WRB (2015) to distinguish lithologic discontinuity and an abrupt textural change in major soils of Iran. *Catena* 63-71.
8. Eswaran, H., T. Rice, R. Ahrens and B. A. Stewart (Eds.). 2002. Soil Classification: A Global Desk Reference. CRC Press, Boca Raton, FL.
9. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-Size Analysis 1. Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods, (Methods of Soil Analysis).
10. Gerasimova, M. I. 2010. Chinese Soil Taxonomy: between the American and the international classification systems. *Eurasian Soil Science* 43(8): 945-949.
11. Golmohammad, H., H. Ramezanpour and S. Rezapour. 2016. Study on some soil properties as affected by different slope position and aspect in mountainous landform with different parent materials in Masouleh. *Water and Soil Science* 26(2-2): 53-66.
12. Havaee, S., A. Kamali and N. Toomanian. 2019. Appraisal of the world reference base for soils (WRB) and US soil taxonomy for classification of developed soils of Zayandeh-rud River's upper Terrace. *Journal of Water and Soil* 33(1). (In Farsi).
13. Hudson, B. D. 1990. Concepts of soil mapping and interpretation. *Soil Survey Horizons* 31: 63-73.

14. Iran Metrological Organization. 2018. Iran Meteorological Organization, Climate Information, Qazvin synoptic station, Qazvin, Iran. Available at: http://www.irimo.ir/eng/index.php.
15. Jenny, H. 2011. Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology. Dover Inc, New York.
16. Karimi A., H. Khademi and A. Jalalian. 2009. Genesis and distribution of palygorskite and associated sediments of southern Mashhad. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 16: 545-558. (In Farsi).
17. Khosravani, P., M. Baghernejad, A. Abtahi and R. Ghasemi. 2019. Investigation and identification of different clay minerals along a toposequence (A case study: Fasarood-Darab city). 16th Iranian soil congress. University of Zanjan. Soil Genesis and Classification Section. (In Farsi).
18. Maleki, S., F. Khormali, F. Kiani and A. Karimi. 2019. Effect of slope direction and position on some physical and chemical properties of soil in sloping loamy lands, Toshan region, Golestan province. *Soil and Water Conservation Research* (*Agricultural Sciences and Natural Resources*) 20(3): 93 -112.
19. Moazallahi, M. and M. H. Farpoor. 2012. Soil Genesis and Clay Mineralogy along the Xeric-Aridic Climotoposequence in South Central Iran.
20. Moghbeli, Z., H. R. Owliaie, S. Sanjari and E. Adhami. 2019. Genetic study of soil-landscape relationship in arid region of faryab, Kerman province. *Journal of Water and Soil* 33(2): 333-347. (In Farsi).
21. Mohajeri, P., P. Alamdari and A. Golchin. 2016. The effect of slope positions on physical and chemical properties of soils on low and high rows in Deilman region of Guilan province. *Journal of Water and Soil* 30(1): 162-171.
22. Morand, D. T. 2010. The world reference base for soils (WRB) and soil taxonomy: an initial appraisal of their application to the soils of the Northern Rivers of New South Wales. In Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science; Soil Solutions for a Changing World (pp. 1-6).
23. Mousavi, S., R. Sarmadian, F. Alijani and Z. Abass Taati. 2017. Land suitability evaluation for irrigating wheat by geopedological approach and geographic information system: A case study of Qazvin plain, Iran. *Eurasian Journal of Soil Science* 6(3): 275-284.
24. Muir, J. W. 1962. The general principles of classification with reference to soils. *Journal Soil Science* 13(1): 22-30.
25. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. PP. 181-197. *In*: Page, A. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison.
26. Pajand, M. J., H. Emami and A. Astaraee. 2015. Relationship between topography and some soil properties. *Water and Soil* 29(6): 1699-1710.
27. Roca, P. N. and M. S. Pazos. 2002. The WRB applied to Argentinian soils: two case studies. European Soil Bureau, Research Report No. 7. Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia.
28. Sanjari, S., M. H. Farpoor, M. K. Eghbal and I. Esfandiarpoor. 2011. Genesis, micromorphology and clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Jiroft area. *Journal of Water and Soil* 25: 411-425. (In Farsi).
29. Sarmadian, F., S. R. Mousavi, M. Iqbal, A. Keshavarzi and M. Sadeghnejad. 2014. Investigation the variation of soil mapping units using geopedological approach. *Acta Advances in Agricultural Sciences* 2 (5): 1-9.
30. Sarmast M., M. H. Farpoor and I. Esfandiarpour Boroujeni. 2016. Comparing soil taxonomy (2014) and updated WRB (2015) for describing calcareous and gypsiferous soils, Central Iran. *Catena* 145: 83-91.
31. Sarshoghe, M. 2010. The Effect of aspect and slope position on soil morphological, physicochemical and mineralogical properties in chelgerd region. Shahrekord University, Iran (MSc thesis).
32. Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki and E. C. Benham. 2012. Soil Survey Staff. Field book for describing and sampling soils, 3nd version. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center, Lincoln.
33. Secu, C. V., C. Patriche and I. Vasiliniuc. 2008. Aspects regarding the correlation of the Romanian soil taxonomy system (2003) with WRB (2006). *Грунтознавство* 9: 56-62.
34. Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual." USDA handbook.
35. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy.11th ed., NRCS, USDA, USA.
36. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, (Methodsofsoilan3).
37. Toomanian N., A. Jalalian and M. K. Eghbal. 2003. Application of the WRB (FAO) and US taxonomy systems to gypsiferous soils in Northwest Isfahan. *Iranian Journal of Agriculture Science of Technology* 5: 51-66.
38. 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.
39. Walkley, A. and I. A. Black. 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.
40. Wondzell, S. M., C. L. Cunningham and D. Bachelet. 1996. Relationships between landforms, geomorphic processes, and plant communities on a watershed in the northern Chihuahuan Desert. *Landscape Ecology* 11: 351-362.
41. WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soilclassification system for naming soils and creating legends for soil maps. World SoilResources Reports No. 106. FAO, Rome.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 3, Fall 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Comparison of the Efficiency of Soil Taxonomy (2014) and WRB (2015) Systems in the Study of Soil Variations in Different Landform Positions

P. Khosravani, M. Baghernejad*, A. Abtahi and R. Ghasemi[1]

(Received: April 23-2020; Accepted: January 13-2021)

Abstract

Soil classification in a standard system is usually defined based on information obtained from properties and their variations in different map units. The aim of this study was to compare soil genesis and morphological characteristics in different landforms with WRB and Soil Taxonomy (ST) Systems. From nine studied profiles, six profiles were selected as representative profiles and dug in Colluvial fans, Piedmont plain, and Alluvial plain physiographic units, respectively. Then, the soils were classified according to the pattern of the two systems. Also, variation analysis of variance (ANOVA) and comparing means were used to quantify interested soil properties. The results of soil physio-chemical properties at different landform positions were significant based on analysis of variance of the effect of physiographic units and soil depth at the level of 1 %. Soil classification results based on WRB indicated that WRB were recognized four reference soil groups (RSG) included Regosols, Cambisols, Calcisols, and Gleysols at the first level of WRB classification in comparison of ST with recognizing two order Entisols and Inceptisols could separate more soils. The soils were located on the alluvial plain with a high groundwater level in the WRB due to the creation of restrictive conditions for root development in contrast to the ST called "Aquepts" in the suborder level but in a WRB is classified as the "Gleysols" RSG. On the other hand, ST, unlike WRB, used the Shallow criteria at the family level to describe the shallowness of soils and the limitations of root development. Generally, the efficiency of each system varies despite the differences in their structure and depending on the purpose of using them.

Keywords: Geomorphic surface, Soil classification, Clay mineralogy, Soil morphological properties

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.
Corresponding author, Email: majidbaghernejad@yahoo.co.uk