Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 37, No. 4, Sep.-Oct. 2023, p. 603-620

Comparing Soil Taxonomy and WRB Efficiency for the Classification of Gypsiferous-Calcareous Soils in the West of Kohgiluye-Boyerahmad Province

H.R. Owliaie[1*]

Received: 19-08-2023
Revised: 13-09-2023
Accepted: 19-09-2023
Available Online: 18-09-2023

How to cite this article:
Owliaie, H.R. (2023). Comparing soil taxonomy and WRB for the classification of gypsiferous-calcareous soils in Kohgiluye-Boyerahmad province. *Journal of Water and Soil, 37*(4), 603-620. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84009.1326

Introduction

Soil classification is the systematic categorization of soils based on distinguishing soil characteristics, aiding in the comprehension of soil properties through soil surveys, and establishing suitable strategies for effective soil utilization and management. One of the main reasons for creating soil classification systems is to identify the differences in important soil characteristics for management purposes. Globally, Soil Taxonomy (ST) and the World Reference Base for soil resources (WRB) are widely used for soil classification. However, these two classification systems have varying criteria which can pose difficulties when exchanging classification results. After years of intensive worldwide testing and data collection, new versions of the ST and WRB systems have been released. In its current state, ST has a strong hierarchy with six categorical levels: order, suborder, great group, subgroup, family, and series (Soil Survey Staff, 2022), while the WRB has a flat hierarchy with only two categorical levels: reference soil groups and soil units (IUSS Working Group WRB, 2022). Several scientists have endeavored to evaluate the merits and demerits of these soil classification systems and offer recommendations for their enhancement. The arid and semi-arid regions located in the western and southwestern parts of Kohgiluyeh and Boyerahmad Province, distinguished by their considerable diversity in parent materials, topography, climate, and land use, present an excellent opportunity for scrutinizing and contrasting the effectiveness of soil classification systems. Remarkably, no prior research has delved into this subject in this specific geographical area. Consequently, this research aims to compare the effectiveness of the ST and WRB systems in characterizing soil attributes. Furthermore, it seeks to analyze the alterations that these two systems have undergone during an eight-year period, spanning from 2014 to 2022.

Materials and Methods

This study was conducted in the western and southwestern regions of Kohgiluyeh and Boyerahmad Province, specifically in the divisions of Gachsaran, Basht, Choram and Kohgiluyeh. A total of 26 soil profiles were excavated, described, and sampled based on aerial photos, satellite images, topographical and geological maps, as well as field observations. These profiles were selected following the soil description guide provided by the Department of Soil Conservation of the US Department of Agriculture. Subsequently, after reviewing the preliminary results and aligning with the research objectives, 12 representative soil profiles were chosen for further analysis. Soil samples were collected from all genetic horizons and transferred to the laboratory. After air-drying, the samples were passed through a two-millimeter sieve and the routine physical and chemical analyses were conducted, including soil texture, pH, electrical conductivity (EC), calcium carbonate equivalent (CCE), organic carbon, cation exchange capacity (CEC), and gypsum analyses. For mineralogical studies, soil clay minerals were separated and identified using standard methods. Additionally, soil thin sections were prepared from intact soil samples of selected soil horizons and examined under a polarizing microscope. Finally, the soil profiles were classified based on the criteria outlined in Soil Taxonomy (2022) and WRB (2022).

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Yasouj University, Yasouj, Iran
(*- Corresponding Author Email: owliaie@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.2023.84009.1326

Results and Discussion

Soil Taxonomy and WRB, as the two most popular classification systems, aim to encompass as many soil characteristics as possible. According to the ST classification, the soils were classified into four orders: Entisols, Inceptisols, Alfisols, and Mollisols. In the WRB system, they were grouped into seven reference soil groups: Regosols, Flovisols, Luvisols, Cambisols, Kastanosems, Gypsysols and Glysols. The results revealed that WRB was significantly more effective in describing the characteristics of the studied soils. One of the key advantages of this two-level system is its flexibility, allowing for the inclusion of additional principal and supplementary qualifiers to cover all essential soil characteristics. Moreover, in many cases, WRB exhibits better prioritization compared to ST. For example, the presence of gypsic, combic, calcic horizons, as well as fluvic and gley properties, can allocate the soil to the reference groups of Gypsisols, Cambisols, Calsisols, Fluvisols, and Gleysols, respectively. However, a limitation of the WRB system is the absence of mineralogical information in soil classification. Enhancing this classification system's quality and making it more appealing to planners could be achieved by incorporating suitable mineralogical attributes for the reference groups or criteria that express soil fertility conditions with relatively straightforward measurements. In addition, it is proposed to add three subgroups to ST: Gypsic Haplustalfs, Fluventic Gypsiustepts and Cambic Haplustolls. Similarly, following the WRB model, it is recommended to introduce a qualifier in ST to indicate the presence of lithological discontinuity. Regarding the WRB system, suggestions include adding qualifiers such as "Cutanic" to gypsisols with clay films, "hypercalcic" to reference groups of Kastanozems and Luvisols with a calcic horizon comprising more than 50% of calcium carbonate, and "aridic" for better expression of soil characteristics with Aridic-Ustic moisture regimes.

Conclusion

The results of this research demonstrated that WRB is more effective in describing the conditions and characteristics of the studied soils. The WRB system, through its diverse set of qualifiers, is capable of representing field conditions more efficiently. However, it is suggested that the surveyors have the freedom to select an appropriate qualifier from the list provided by WRB without limitation, which can enhance its success in practical applications. Furthermore, it is recommended that both classification systems be used to categorize soils, not only to evaluate their efficiency for the soils in other regions but also to gain a comprehensive understanding of their suitability for different contexts.

Keywords: Arid and semi-arid regions, Classification system, Clay mineralogy, Soil

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۲، ص۶۲۰-۶۰۳

مقایسه کارایی سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (ST) و جهانی (WRB) در گروه‌بندی خاک‌های گچی- آهکی غرب استان کهگیلویه و بویراحمد

حمیدرضا اولیایی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

طبقه‌بندی خاک، فرایند گروه‌بندی واحدهای خاک به کلاس‌های کم و بیش یکنواخت، با در نظر گرفتن اهدافی مشخص می‌باشد. یکی از دلایل اصلی ایجاد سامانه‌های طبقه‌بندی خاک، شناسایی تفاوت ویژگی‌های مهم خاک‌ها برای اهداف مدیریتی است. از میان سامانه‌های رده‌بندی در دنیا و ایران، دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (ST) و جهانی (WRB) بیشترین کاربرد را دارند. این مطالعه به‌منظور مقایسه کارایی سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و جهانی در گروه‌بندی و بیان ویژگی‌های خاک‌های گچی- آهکی غرب استان کهگیلویه و بویراحمد انجام گرفت. دوازده خاک‌رخ شاهد در بخش‌های مختلف منطقه مطالعاتی، حفر، تشریح و نمونه‌برداری گردیدند و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی آنها در آزمایشگاه تعیین شدند. تمامی خاک‌رخ‌ها بر اساس دو سامانه مذکور رده‌بندی شدند. خاک‌ها بر اساس رده‌بندی آمریکایی، در چهار رده انتی‌سولز، اینسپتی‌سولز، آلفی‌سولز و مالی‌سولز و بر اساس طبقه‌بندی جهانی در هفت گروه مرجع رگوسولز، فلاوی‌سولز، لووی‌سولز، کمبی‌سولز، کاستانوزمز، جیپسی‌سولز و گلی‌سولز قرار گرفتند. با توجه به مطالعه انجام‌شده، سه زیرگروه Gypsic Haplustalfs، Fluventic Gypsiustepts و Cambic Haplustolls برای افزوده شدن به سامانه آمریکایی (ST) پیشنهاد می‌شوند. همچنین افزودن مشخصه‌ای به سامانه آمریکایی برای بیان ویژگی انقطاع سنگی همچون WRB پیشنهاد می‌شود. در ارتباط با سامانه جهانی، افزودن صفت Cutanic به جیپسی‌سول‌های دارای پوسته رسی، صفت hypercalcic به گروه‌های کاستانوزمز و لووی‌سولز دارای افق کلسیک با بیش از ۵۰ درصد کربنات و افزودن صفت aridic به‌منظور بیان بهتر ویژگی خاک‌های با رژیم‌های اریدیک-یوستیک پیشنهاد می‌گردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی (WRB) در بیان شرایط و ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه از کارایی بیشتری برخوردار بوده است. توصیه می‌شود در سایر مناطق با شرایط متفاوت، طبقه‌بندی خاک‌ها توسط هر دو سامانه رده‌بندی انجام شود تا نقاط ضعف و قوت آنها برای خاک‌های مناطق مختلف تعیین گردد.

واژه‌های کلیدی: سامانه رده‌بندی، کانی‌شناسی رس، مناطق خشک و نیمه‌خشک، همبستگی خاک

مقدمه

خاک به‌عنوان زمینه تعامل مهم‌ترین اجزای ساختارهای موجود در سطح زمین، شاخصی مناسب از چگونگی کیفیت زیست‌بوم بوده و مطالعه و شناسایی آن از ملزومات اجرای برنامه‌های مدیریت پایدار اکوسیستم است (Toomanian, 2006). بر این اساس، رده‌بندی خاک به‌عنوان یک روش تکنیکی با ارزش برای انتقال مفید و پربازده از مجموعه داده‌های خام، راهکاری ضروری در پهنه‌بندی ویژگی‌های

۱- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: owliaie@gmail.com

DOI: 10.22067/jsw.2023.84009.1326

خاک و مدیریت پایدار آن محسوب می‌گردد. طبقه‌بندی خاک، فرایند گروه‌بندی واحدهای خاک (خاکفردها) به کلاس‌های کم و بیش یکنواخت و با در نظر گرفتن اهدافی مشخص می‌باشد که به موجب آن، اختلاف‌های آشکاری در ویژگی‌ها و وظایف خاک بین کلاس‌ها آشکار می‌شود (Cline, 1967). رده‌بندی خاک یکی از زیرشاخه‌های اصلی دانش خاک‌شناسی است که هدف از آن، تعیین یک روش ساختارمحور جهانی، به‌منظور دسترسی سریع به ویژگی‌های پدوژنیک خاک و شناخت منابع خاک است. بر این اساس، مدیریت پایدار منابع خاک، تعیین کاربری خاک و نقشه‌برداری از واحدهای خاک، به شکل قابل قبولی انجام می‌شود. سامانه‌های رده‌بندی مختلف خاک به‌منظور پوشش پیوسته‌ای از خاک معرفی شدند و رده‌های نسبتاً یکنواختی را پیشنهاد کردند که اختلاف‌های ساختاری در ویژگی‌های خاک قابل تشخیص بود (Cline, 1967).

سامانه‌های رده‌بندی مختلفی برای گروه‌بندی خاک‌ها پیشنهاد شده‌اند و کشورهای متفاوت، سامانه‌هایی را پذیرفته‌اند که با خاک‌ها و روش‌های مطالعه آنها، هماهنگی و همخوانی بیشتری داشته‌اند (Eswaran *et al*., 2002). اساس سامانه‌های رده‌بندی، مشابه بوده و مبنای آن بر رده‌بندی خاک‌ها در طبقاتی با مشابهت و همگونی قابل قبول است (Gerasimova, 2010). بر خلاف این اصل، هر سامانه دارای ویژگی‌های منحصر به فرد در طبقه‌بندی است که موجب ضعف یا قوت آن در اجرای اهداف کاربردی و یا تحقیقاتی می‌گردد (Eswaran *et al*., 2002).

سامانه‌های طبقه‌بندی خاک آمریکایی (ST) و پایگاه مرجع جهانی منابع خاک (WRB) از جمله متداول‌ترین سامانه‌های طبقه‌بندی خاک در جهان هستند. برای طبقه‌بندی خاک به روش آمریکایی، سیزده کلید تاکسونومی (از ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۲) و برای طبقه‌بندی به روش سامانه جهانی، چهار نسخه (از ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲) برای توصیف بهتر ویژگی‌های خاک منتشر شده‌اند. عمده تفاوت‌های ساختاری این دو سامانه، شامل سطوح طبقه‌بندی نامساوی (۳۲ گروه خاک مرجع WRB در مقایسه با ۱۲ رده در ST)، عدم نیاز به اطلاعات اقلیمی در سامانه WRB، سطوح نامساوی سلسله مراتب (دو سطح در WRB در مقایسه با شش سطح در ST)، اختلاف در تعداد افق‌ها، ویژگی‌ها و مواد مشخصه بین دو سامانه و یکنواخت نبودن دو سامانه در تعریف افق‌های انتخابی مشابه خاک، همگی منجر به انجام پژوهش‌های مختلف در سراسر جهان (به‌ویژه ایران) به‌منظور بررسی و مقایسه کارایی این دو سامانه گردید (Brevik *et al*., 2016; Sarmast *et al*., 2016; Esfandiarpour Boroujeni *et al*., 2018; Lee *et al*., 2013; Rasooli *et al*., 2021; Lee *et al*., 2023; Sanjari *et al*., 2021).

هر چند دو سامانه آمریکایی و جهانی در نقشه‌برداری خاک از قابلیت خوبی برای مباحث نقشه‌برداری برخوردار هستند، ولی سامانه جهانی در طبقه‌بندی خاک، دارای توان بیش‌تری می‌باشد. البته ذکر این نکته لازم است که هر دو سامانه دارای معایبی بوده که از آن جمله نادیده گرفتن پویایی خاک و پیش‌بینی نکردن رفتار خاک در اینده می‌باشد (Schoeneberger *et al*., 2012). تأکید بیشتر سامانه جهانی بر مورفولوژی خاک و تلاش آن در راستای مختصر نمودن استفاده از تجزیه‌های آزمایشگاهی برای طبقه‌بندی خاک‌ها (Roca and Pazos, 2002)، کاربرد سامانه طبقه‌بندی جهانی را برای مناطقی که از امکانات نسبتاً کمتری برخوردار می‌باشند؛ مناسب‌تر ساخته است. برخلاف این‌که سامانه جهانی ابتدا برای نقشه‌برداری خاک، در نظر گرفته نشده بود، ولی در برخی از کشورها از آن به‌منظور پهنه‌بندی خاک‌ها استفاده شده است (IUSS Working Group WRB, 2022). برخی معتقدند که سامانه طبقه‌بندی جهانی می‌تواند با به‌کارگیری اطلاعات آزمایشگاهی کمتر نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی، برای نقشه‌برداری خاک استفاده شود؛ زیرا تعیین فامیل و سری خاک، نیازمند هزینه و وقت زیادتری می‌باشد (Schad and Micheli, 2010).

پژوهش‌های زیادی (Toomanian *et al*., 2003; Sarshogh *et al*., 2012; Esfandiarpour Boroujeni *et al*., 2013; Sarmast *et al*., 2016; Esfandiarpour Boroujeni *et al*., 2018) سازگاری کم بین این سامانه‌های طبقه‌بندی خاک را اعلام کردند. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (Esfandiarpour-Borujeni *et al*., 2018) به‌طور خلاصه، تفاوت در سطوح طبقه‌بندی و تعداد گروه‌های خاک در بالاترین سطح، تفاوت در تعریف افق‌ها یا ویژگی‌هایی با مشخصات یکسان و تأکید بیشتر بر رژیم‌های دمایی و رطوبتی خاک در ST در مقایسه با WRB را از جمله دلایل کم بودن همبستگی بین این دو سامانه برشمردند.

بهمنی و همکاران (Bahmani *et al*., 2014) در پژوهشی به‌منظور مقایسه این دو سامانه در برخی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی به این نتیجه رسیدند که سامانه طبقه‌بندی جهانی در توصیف ویژگی‌های خاک‌ها تا حدی گویاتر است. هرچند در پژوهش آنها هیچ‌کدام از سامانه‌ها نتوانستند وجود گچ در افق‌های پایینی خاک را نشان دهند. سرشوق و همکاران (Sarshogh *et al*., 2012) در پژوهشی به‌منظور مقایسه رده‌بندی خاک به دو روش آمریکایی و جهانی در وضعیت‌های مختلف دو جهت شیب در استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که رده‌بندی آمریکایی برای نشان دادن ویژگی‌های بارز خاک‌های کم‌عمق در مناطق نیمه‌خشک، گویاتر از طبقه‌بندی جهانی است. لی و همکاران (Lee *et al*., 2023) در بررسی خاک‌های متأثر از فعالیت انسانی در کشور کره جنوبی، سامانه طبقه‌بندی جهانی را به‌دلیل اختصاص دو گروه مرجع آنتروسولز و تکنوسولز، دارای کارایی بهتری نسبت به سامانه آمریکایی اعلام و پیشنهاد تجدید نظر در رده‌بندی این خاک‌ها در کشور کُره را نمودند.

اسفندیارپور بروجنی و همکاران (Esfandiarpour Boroujeni

(*et al.*, 2011) اظهار داشتند که استفاده از سامانه جهانی برای جداسازی خاک‌های شور مناطق خشک، به‌دلیل استفاده از توصیف کننده‌های بیشتر و انعطاف‌پذیری بالاتر در بیان ویژگی‌های مؤثر در طبقه‌بندی خاک‌ها، بهتر می‌تواند واقعیات اراضی را در ابعاد افقی و عمودی خاک نشان دهد. در مطالعه‌ای که اخیراً در کشور چین به‌منظور مقایسه کارایی دو سامانه مزبور در خاک‌های شنی انجام گرفت، سامانه جهانی (WRB) به‌دلیل بررسی جامع‌تر ویژگی‌هایی از خاک مانند ضخامت لایه‌های خاک، افق فریک، رنگ خاک، تغییرات بافت و کربنات، دارای کارایی بهتر تشخیص داده شد (Meng *et al.*, 2023).

مطالعه‌ای توسط صالحی (Salehi, 2018) به‌منظور تبیین تفاوت‌ها و شباهت‌های بین این دو سامانه در چهار پدون شاهد در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران صورت گرفت. نتایج نشان داد که WRB می‌تواند وضعیت خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را از طریق صفت toxic و زیرشاخه‌های آن نشان دهد. از سوی دیگر، ST توانایی نشان دادن وضعیت خاک‌های کم‌عمق را دارد، اما به‌دلیل تفاوت معیارهای افق سالیک با WRB، قادر به نشان دادن شرایط Gleyic و وجود افق سالیک نبود. وی پیشنهاد کرد که تلاش ویژه‌ای برای تعیین کمیت فعالیت‌های مرتبط با انسان در نسخه‌های آینده هر دو سامانه طبقه‌بندی صورت گیرد.

هوایی و همکاران (Havaee *et al.*, 2019) سامانه‌های طبقه‌بندی جهانی و آمریکایی را برای طبقه‌بندی خاک‌های دارای افق تجمع رس مقایسه کردند و اظهار داشتند که سامانه طبقه‌بندی جهانی مزایایی چون توصیف‌کننده‌های Clayic، Cutanic، Ochric، Ruptic و Endocalcaric، نیاز به داده‌های آزمایشگاهی کم‌تر برای توصیف ویژگی‌های خاک، بسیار موفق‌تر بوده، اما همچنان توانایی نمایش تفاوت در توالی افق‌های مشخصه تمامی خاک‌رخ‌های موجود در مطالعات نیمه‌تفضیلی را نداشته است. آنها نتیجه گرفتند که میزان کارآیی هر یک از سامانه‌های طبقه‌بندی جهانی و آمریکایی، بسته به نوع هدف و مقیاس مطالعه، متفاوت خواهد بود.

سرمست و همکاران (Sarmast *et al.*, 2016) در پژوهشی به‌منظور مقایسه این دو سامانه در توصیف خاک‌های آهکی و گچی منطقه مرکزی ایران به این نتیجه رسیدند که سامانه جهانی خاک به‌دلیل دارا بودن توصیف‌کننده‌ها و تمایزدهنده‌های مکمل به‌خصوص برای خاک‌های شور، نسبت به سامانه آمریکایی کارامدتر می‌باشد. به عقیده چاد و میشل (Schad and Micheli, 2010) کم بودن سطوح طبقه‌بندی در سامانه جهانی دو مزیت اصلی دارد: ۱- تعداد توصیف‌کننده‌های هر پدون خاک این اطمینان را حاصل می‌کند که همه ویژگی‌های آن پدون در نام آن منعکس شده است و ۲- تعریف‌کردن توصیف‌کننده‌ها در یک لیست مشترک، باعث آسانی تسلط بر آنها خواهد شد. ایشان هم‌چنین معتقدند که این دو سامانه طبقه‌بندی، دارای ساختار متفاوتی هستند و در نتیجه دارای نقاط ضعف و قوت مختلفی می‌باشند. از نظر آنها سامانه جهانی در طبقه‌بندی و سامانه آمریکایی در نقشه‌برداری خاک‌ها قوی‌تر هستند.

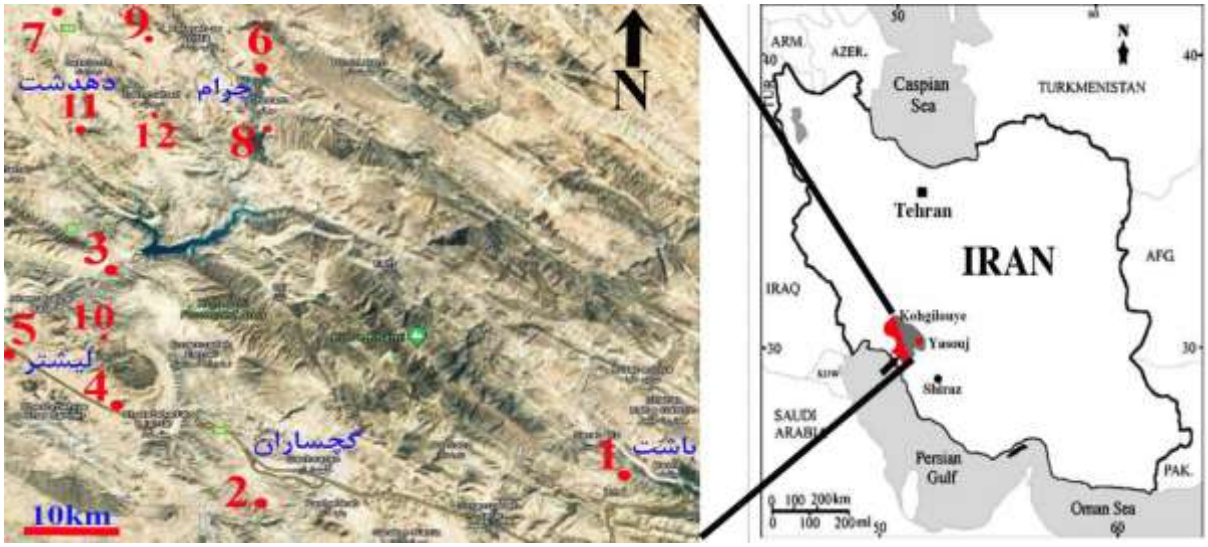
مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری غرب و جنوب غرب استان کهگیلویه و بویر احمد، با تنوع زیاد از نظر مواد مادری به‌ویژه رسوبات تبخیری، پستی و بلندی، تنوع نسبی اقلیمی و کاربری، موقعیت خوبی برای بررسی و مقایسه کارایی سامانه‌های طبقه‌بندی فراهم آورده است. تا کنون پژوهشی در این منطقه در ارتباط با این هدف انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف مقایسه نتایج طبقه‌بندی خاک حاصل از دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و جهانی و بررسی میزان کارایی دو سامانه مذکور در توصیف ویژگی‌های خاک و همچنین بررسی تغییرات ایجاد شده در دو سامانه مذکور در یک بازه هشت ساله (۲۰۲۲-۲۰۱۴)، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و مطالعات صحرایی انجام‌شده در آن

این پژوهش در منطقه غرب و جنوب غرب استان کهگیلویه و بویراحمد در شهرستان‌های گچساران، باشت، چرام و کهگیلویه با وسعت تقریبی ۳۸۰ هزار هکتار صورت گرفت (شکل ۱). رژیم حرارتی خاک‌های مطالعه‌شده همگی هایپرترمیک (میانگین دمای سالیانه خاک بیش از ۲۲ درجه سلسیوس) و رژیم رطوبتی آنها شامل اریدیک-یوستیک (بخش‌های جنوب‌غربی در مجاورت استان بوشهر با ارتفاع کمتر) و یوستیک (بخش‌های غربی تا شمال غربی با ارتفاع بیشتر) می‌باشد؛ به‌جز خاک‌رخ ۳ که دارای رژیم رطوبتی اکوییک است (Banaie, 1998). ارتفاع خاک‌های مطالعه‌شده در دامنه ۳۹۰ تا ۱۳۹۰ متر از سطح دریا بوده است. خاک‌های مطالعه‌شده در فیزیوگرافی‌های دشت دامنه‌ای، دشت رسوبی رودخانه‌ای، دشت مرتفع و واریزه‌های رسوبی قرار داشته‌اند. مواد مادری خاک‌های مطالعه‌شده در بخش‌های جنوب غربی شامل مناطق لیشتر و گچساران عمدتاً شامل سازندهای گچی (از جمله سازندهای گچساران، آغاجاری، رازک و میشان) و در بقیه مناطق عمدتاً سازندهای آهکی (از جمله سازندهای آسماری، جهرم، پابده-گورپی، سروک، ایلام، بختیاری و رسوبات کواترنری) می باشد. کاربری خاک‌های مطالعه‌شده شامل اراضی مرتعی (با تراکم کم تا زیاد) و اراضی زراعی بوده است.

با توجه به عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی، ۲۶ خاک‌رخ حفر، تشریح و نمونه‌برداری شدند (Soil Survey Staff, 2014).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان کهگیلویه و بویراحمد به همراه موقعیت خاک‌رخ‌های مطالعه شده

Figure 1- Location of the study area is in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province along with the location of the studied profiles

با توجه به نتایج اولیه به‌دست آمده، در نهایت ۱۲ خاک‌رخ که تفاوت‌های بارزتری با سایر خاک‌رخ‌ها از نظر ویژگی‌های افق‌ها، رده بندی و تکامل داشتند، برای اهداف مرتبط با این پژوهش انتخاب شدند (شکل ۱). خاک‌رخ‌ها بر مبنای راهنمای تشریح خاک‌رخ اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (Soil Science Division Staff, 2017) تشریح شدند. از تمامی افق‌های ژنتیکی، نمونه‌برداری صورت گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد.

مطالعات آزمایشگاهی

نمونه‌ها پس از هواخشک کردن از الک دو میلیمتری عبور داده شده و آزمایش‌های مورد نظر بر روی آنها انجام گرفت.

بافت خاک به‌روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986) اندازه گیری شد. پ‌هاش در خمیر اشباع خاک و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره خمیر اشباع (Rhoades, 1996) تعیین شدند. کربنات کلسیم معادل پس از تیمار نمونه‌ها با HCl و تیتراسیون توسط NaOH محاسبه شد (Nelson, 1982). کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Page *et al.*, 1982; Nelson and Sommers, 1982) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم نرمال اندازه‌گیری شد (Chapman, 1965). گچ نیز به روش رسوب توسط استون اندازه‌گیری گردید (Salinity Laboratory Staff, 1954).

مطالعات کانی‌شناسی رس

پس از طی مراحل آماده‌سازی به روش جکسون (Jackson, 1975) و کیتریک و هوپ (Kittrick and Hope, 1963)، بخش رس موجود در نمونه‌های خاک با استفاده از سانتریفیوژ جدا و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس تهیه شد. نمونه‌های آماده شده به‌وسیله دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Bruker در زاویه ۲θ بین صفر تا ۴۰ درجه در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر بررسی و نمودارهای پراش پرتو ایکس مربوطه حاصل شد. در نهایت، مقادیر نیمه‌کمی کانی‌های رسی بر اساس روش جونز و همکاران (Johns *et al.*, 1954) برآورد شد.

مطالعات میکرومورفولوژی

به‌منظور انجام مطالعات میکرومورفولوژی خاک، در زمان تشریح خاک‌رخ‌ها، بسته به میزان پایداری واحدهای ساختمانی خاک، کلوخه های دست‌نخورده با دست و یا جعبه‌های کوبینا از افق‌های مورد نظر تهیه گردید. مقاطع نازک تهیه‌شده (Murphy, 1986) با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل Lite مورد مطالعه و تشریح (Stoops, 2003) قرار گرفتند و در دو حالت نور پولاریزه صفحه‌ای (PPL[1]) و متقاطع (XPL[2]) مورد مطالعه و از قسمت‌های مورد نظر، به‌وسیله دوربین دیجیتالی عکسبرداری گردید.

1- Plane Polarized Light

2- Cross Polarized Light

جدول ۱- مشخصات کلی مناطق و رده‌بندی خاک‌های مطالعه شده

Table 1- General characteristics of the regions and classification of the studied soils

خاکرخ Profile No.	موقعیت Location	ارتفاع Elevation (m)	فیزیوگرافی Physiography	کاربری Land use	رژیم رطوبتی و حرارتی خاک Soil Moisture & Temperature	سامانه آمریکایی (۲۰۱۴) Soil taxonomy (2014)	سامانه آمریکایی (۲۰۲۲) Soil taxonomy (2022)	سامانه جهانی (۲۰۱۴) WRB (2014)	سامانه جهانی (۲۰۲۲) WRB (2022)
1	Basht	845	Piedmont Plain	Pasture	Aridic-ustic, Hyperthermic	Loamy-skeletal, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustorthents	Loamy-skeletal, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustorthents	Calcaric Skeletic Regosols (Loamic, aridic, Humic)	Calcaric Skeletic Regosols (Loamic, Humic)
2	Gachsaran	450	River Alluvial Plain	Pasture	Aridic-ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustifluvents	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustifluvents	Calcaric Fluvisols (Loamic, Humic)	Calcaric Fluvisols (Loamic, Humic)
3	Kheyrabad	390	River Alluvial Plain	Rice farm	Ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Fluvaquentic Epiaquolls	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Fluvaquentic Epiaquolls	Calcaric Fluvic Mollic Gleysols (Loamic, Humic)	Calcaric Fluvic Mollic Gleysols (Loamic, Humic)
4	Gachsaran	510	Plateau	Pasture	Aridic-ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs	Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs	Calcic Luvic Gypsisols (Loamic, Ochric, Aridic, Hypergypsic)	Calcic Luvic Calcaric Gypsisols (Loamic, Ochric, Hypergypsic)
5	Gachsaran	530	Alluvial fan	Pasture	Aridic-ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Fluventic Haplustepts	Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Fluventic Haplustepts	Haplic Gypsisols (Loamic, Aridic, Ochric, Raptic, Fluvic)	Calcaric Gypsisols (Loamic, Raptic, Ochric, Fluvic)
6	Choram	740	Piedmont Plain	Farm	Aridic-ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Haplustepts	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Haplustepts	Calcaric Cambisols (Loamic, Ochric, Aridic)	Calcaric Cambisols (Loamic, Ochric)
7	Dishmuk	1065	Alluvial fan	Pasture	Ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Petrocalcic Calciustepts	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Petrocalcic Calciustepts	Petric Cambic Calcisols (Loamic, Fluvic, hypercalcic, Ochric)	Petric Cambic Calcisols (Loamic, Fluvic, hypercalcic, Ochric)
8	Fashian	700	Piedmont Plain	Pasture	Aridic-ustic, Hyperthermic	Fine, carbonatic, hyperthermic, Aridic Calciustolls	Fine, carbonatic, hyperthermic, Aridic Calciustolls	Calcic Kastanozems (Clayic)	Calcic Cambic Kastanozems (Clayic)
9	Charusa	1350	Alluvial fan	Pasture	Ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Typic Haplustolls	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Typic Haplustolls	Haplic Kastanozems (Clayic, Cambic, Hyperhumic)	Cambic Kastanozems (Clayic)
10	Lishter	530	Plateau	Pasture	Aridic-ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcidic Haplosalfs	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs	Calcic Luvisols (Loamic, Aridic, Cutanic, Ochric)	Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Ochric)
11	Manjegan	690	Plateau	Pasture	Ustic, Hyperthermic	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs	Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Fluvic,Ochric)	Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Fluvic, Ochric)
12	Dehdasht	790	Plateau	Fallow	Ustic, Hyperthermic	Fine, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs	Fine, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs	Calcic Luvisols (Clayic, Cutanic, Fluvic, Ochric)	Calcic Luvisols (Clayic, Cutanic, Fluvic, Ochric)

جدول ۲- برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه

Table 2- Selected morphological properties of the studied pedons

خاک‌رخ	افق	عمق	مرز افق	رنگ color		پایداری Consistency[2]		ساختمان	میزان جوشش	پوشش‌ها و تجمعات
Pedon	Horizon	Depth (cm)	Boundary[1]	خشک Dry	مرطوب Moist	خشک Dry	مرطوب Moist	Structure[3]	Effervescence[4]	Coatings and Concentrations[5]
1	A	0-20	A, S	7.5YR 5/3	7.5YR 4/3	S	L	sg	VS	-
	C1	20-50	G, S	7.5YR 6/5	7.5YR 6/4	MH	FR	m	ST	-
	C2	50-100	-	7.5YR 7/3	7.5YR 6/5	SH	FR	m	ST	-
2	A	0-25	A, S	10YR 5/3	10YR 4/3	S	L	sg	ST	-
	C1	25-65	G, S	10YR 7/2	10YR 5/2	SH	FR	m	ST	-
	C2	65-130	-	10YR 7/2	10YR 5/2	S	FR	m	VE	-
3	Ap	0-30	A, S	10YR 4/3	10YR 3/3	S	L	sg	ST	-
	Cg1	30-55	G, W	5Y 5/2	5Y 5/2	VH	VFI	m	ST	-
	Cg2	55-100	-	5Y 5/2	5Y 5/2	H	VFI	m	ST	-
4	A	0-25	A, S	7.5YR 6/3	7.5YR 4/3	S	L	sg	ST	F, 2, GYX
	Bty	25-50	G, S	7.5YR 6/3	7.5YR 4/3	S	VFR	1 f sbk	ST	m, 2, GYX, FCFP
	Byyk	50-85	G, S	7.5YR 6/3	7.5YR 4/3	S	VFR	1 f sbk	VS	m, 3, CAN, GYX, BRF
	Byym	85-125	-	7.5YR 6/3	7.5YR 4/3	HA	VFR	1 f sbk	VS	m, 3, GYX, BRF
5	A	0-25	A, S	10YR5/3	10YR4/3	S	L	sg	ST	-
	By	25-75	C, W	10YR6/4	10YR5/4	SH	VFR	1 f sbk	ST	m, 2, GYX
	2By	75-125	-	10YR6/4	10YR5/4	S	FR	m	ST	m, 3, GYX, GYM
6	Ap	0-25	A, S	7.5YR5/3	7.5YR4/3	S	L	sg	ST	-
	Bw	25-60	G, S	10YR6/4	10YR4/4	SH	FR	2 f abk	ST	-
	Bkm	60-120	-	10YR6/4	10YR5/4	EM	VFR	m	VE	M, 2, CAN
7	A	0-30	A, S	10YR5/3	10YR4/3	S	L	sg	VS	-
	Bw1	30-75	G, S	10YR5/4	10YR4/4	SH	VFR	2 f sbk	ST	-
	Bkkm	75-135	-	7.5YR6/4	7.5YR4/4	SH	VFR	1 f sbk	ST	-
8	A	0-30	A, S	10YR 4/3	10YR 3/3	S	L	sg	ST	-
	AB	30-55	G, S	10YR 6/3	10YR 4/3	SH	FR	sg	ST	-
	Bw	55-80	G, S	10YR 6/4	10YR 4/4	MH	FI	2 m abk	ST	-
	Bkk	80-125	-	10YR 6/4	10YR 4/4	SH	FI	2 m abk	ST	m, 3, CAN, MAT
9	A	0-30	A, S	7.5YR 3/3	7.5YR 3/2	S	L	sg	VS	-
	Bw	30-80	C, W	7.5YR 5/3	7.5YR 4/2	SH	FR	1 f abk	ST	-
	C	80-125	-	10YR 7/2	10YR 5/2	S	FR	m	ST	-
10	A	0-30	A, S	7.5YR5/4	7.5YR4/4	S	L	sg	ST	-
	Btkk	30-75	C, S	7.5YR6/4	7.5YR4/4	MH	FI	2 m sbk	ST	f, 1, CAN, CCFP
	Bkk	75-130	-	7.5YR6/4	7.5YR4/4	MH	FR	1 m sbk	ST	c, 2, CAN, MAT
11	A	0-25	A, S	10YR5/3	10YR4/3	S	L	sg	VS	-
	Btkk	30-75	G, S	7.5YR5/4	7.5YR4/4	SH	FI	2 m abk	ST	f, 1, CAN, CCFP
	Bkk	75-125	-	7.5YR6/4	7.5YR4/4	MH	FR	1 m sbk	VE	c, 2, CAN, MAT
12	Ap	0-30	A, S	10YR 5/3	10YR 4/2	S	L	sg	ST	-
	Btk	30-55	C, S	10YR 6/2	10YR 5/2	MH	FI	2 m abk	ST	f, 1, CAN, MAT, CCFP
	Bkk1	55-85	G, S	10YR 7/2	10YR 5/2	MH	FR	1 m sbk	ST	c, 2, CAN, MAT
	Bkk2	85-120	-	10YR 6/2	10YR 5/2	SH	FR	1 m sbk	ST	m, 3, CAN, CAM, MAT

[1]Boundary: distinctness (A: abrupt, C: clear, G: gradual); topography (S: smooth, W: wavy); [2]Consistency: dry (L: loose, S: soft, SH: slightly hard, MH: moderately hard, HA: hard, EM: extremely hard); moist (L: loose, VFR: very friable, FR: friable, FI: firm, VFI: very firm); 3Structure: grade (1: weak, 2: moderate); size (f: fine, m: medium); type (abk: angular blocky, sbk: subangular blocky, gr: granular, sg: single grain, m: massive); 4Effervescence: class (VS: very slightly effervescent, ST: strongly effervescent, VE: Violently Effervescent); chemical agent (H2: normal hydrochloric acid); [5]Concentrations: quantity (c: common, m: many); size (1: fine, 2: medium, 4: very coarse); kind (FDC: finely disseminated carbonates, CAM: carbonate masses, GYM: gypsum masses, CAN: carbonate nodules, GYX: gypsum crystals, FCFP: few clay film on ped, CCFP: common clay film on ped); location (MAT: in the matrix), BRF - on bottom of rock fragments).

جدول ۳- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه

Table 3- Selected physical and chemical properties of the studied pedons

خاک‌رخ Pedon	افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کلاس بافتی Textural class	درصد اشباع SP (%)	پتانش pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	گچ Gypsum (%)	کربن آلی OC (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($cmolkg^{-1}$)
1	A	0-20	39.0	33.6	27.4	CL	48.5	8.0	0.6	35.2	0.4	1.56	22.6
	C1	20-50	36.3	30.3	33.4	CL	36.2	8.1	0.4	43.3	ng	0.98	19.2
	C2	50-100	60.0	16.6	23.4	SCL	33.1	8.1	0.3	64.6	0.6	0.47	12.4
2	A	0-25	41.0	41.6	17.4	L	37.8	7.7	0.7	52.1	0.5	1.16	9.3
	C1	25-65	41.0	27.6	31.4	CL	42.5	8.0	0.8	50.3	0.3	0.95	10.1
	C2	65-130	40.0	35.3	24.7	L	39.0	8.1	0.7	65.7	0.6	0.72	8.8
3	Ap	0-30	18.3	46.3	35.4	SiCL	56.8	7.4	2.3	61.1	0.4	1.45	11.6
	Cg1	30-55	36.0	34.3	29.7	CL	54.2	7.7	1.5	67.3	ng	0.71	10.2
	Cg2	55-100	32.0	36.3	31.7	CL	57.2	7.8	1.4	69.4	ng	1.06	9.5
4	A	0-25	36.9	40.7	22.4	L	37.6	7.4	1.5	56.2	1.9	0.54	11.2
	Bty	25-50	22.0	32.3	45.7	C	48.7	7.6	1.9	58.7	8.9	0.44	9.6
	Byyk	50-85	53.3	16.3	30.4	SCL	44.6	7.7	1.7	29.6	51.4	0.48	6.2
	Byym	85-125	32.0	44.3	23.7	L	62.3	7.6	1.9	33.3	56.5	0.25	11.9
5	A	0-25	37.3	44.3	18.4	L	34.2	7.5	2.2	65.3	0.5	0.85	7.8
	By	25-75	29.3	34.3	36.4	CL	48.3	7.7	0.5	58.8	6.9	0.92	9.6
	2By	75-125	72.0	18.3	9.7	SL	42.0	7.8	3.8	69.1	16.8	0.56	7.1
6	Ap	0-30	36.0	28.3	35.7	CL	41.3	7.9	0.6	71.1	0.4	1.32	15.2
	Bw1	30-75	53.3	11.0	35.7	SC	40.1	8.1	0.3	68.5	0.6	0.65	12.3
	Bw2	75-120	47.3	24.3	28.4	SCL	37.1	8.4	0.3	82.0	0.3	0.22	7.9
7	A	0-25	31.3	41.0	27.7	CL	44.1	7.7	0.5	48.6	0.6	1.02	16.2
	Bw	25-60	43.3	29.0	27.7	CL	40.2	7.8	0.4	52.2	0.4	0.75	12.1
	Bkkm	60-120	28.3	32.3	39.4	CL	46.6	7.9	0.4	67.2	0.5	0.96	20.0
8	A	0-30	18.0	40.3	41.7	C	55.2	8.1	0.5	36.3	ng	1.96	22.3
	AB	30-55	26.0	31.6	42.4	C	52.4	7.8	1.2	51.5	ng	0.72	17.2
	Bw	55-80	25.3	35.3	38.4	CL	56.3	8.1	0.4	50.2	0.4	0.35	12.9
	Bkk	80-125	28.0	35.6	36.4	CL	50.1	8.4	0.2	59.2	ng	0.17	12.5
9	A	0-30	37.3	36.4	26.3	CL	71.3	7.4	0.3	36.6	ng	5.12	32.1
	Bw	30-80	37.3	33.0	29.7	CL	46.8	7.9	0.3	55.1	ng	1.88	22.1
	C	80-125	34.0	38.3	27.7	CL	41.2	8.0	0.2	68.2	ng	0.65	10.8
10	A	0-30	38.0	35.6	26.4	CL	71.5	7.5	2.0	35.2	0.6	1.1	8.9
	Btkk	30-75	34.0	30.3	35.7	CL	48.2	7.8	2.5	51.3	0.5	0.75	9.5
	Bkk	75-130	29.3	48.3	22.4	L	45.2	7.9	3.1	66.2	1.4	0.53	6.3
11	A	0-25	45.3	36.3	18.4	L	36.2	8.2	0.5	64.3	0.4	0.82	10.5
	Btkk	30-75	23.3	40.3	36.4	CL	52.1	7.9	1.2	66.2	0.5	0.66	11.9
	Bkk	75-125	36.0	17.6	26.4	SCL	41.2	8.2	0.6	68.2	0.5	0.45	9.5
12	Ap	0-30	17.3	46.3	36.4	SiCL	46.2	7.5	0.2	42.1	ng	1.54	16.8
	Btk	30-55	15.3	33.0	51.7	C	48.6	7.7	0.7	48.3	ng	0.85	14.6
	Bkk1	55-85	11.3	39.0	49.7	C	44.4	8.0	1.2	55.5	ng	0.62	16.1
	Bkk2	85-120	22.9	28.6	48.5	C	41.9	7.8	2.1	58.2	ng	0.61	11.0

پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی، میکرومورفولوژیکی و کانی‌شناسی رس، خاک‌رخ‌های منطقه مطالعاتی توسط سامانه رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014; Soil Survey Staff, 2022) و طبقه‌بندی جهانی (IUSS Working Group WRB, 2014; IUSS Working Group WRB, 2022) رده‌بندی شدند.

نتایج و بحث

جدول ۱ مشخصات کلی مناطق و رده‌بندی خاک‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. جدول ۲ برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی خاکرخ‌های مورد مطالعه از جمله مرز افق‌ها، رنگ، ساختمان، پایداری، میزان جوشش با اسید و نوع و مقدار تجمعات را نشان می‌دهد. تجمعات در خاک‌های با تکامل متوسط تا زیاد عمدتاً شامل تجمعات آهکی، گچی به شکل‌های رشته‌ای (میسلیوم)، تجمعات نرم، سخت‌دانه و آویزه‌های گچی و همچنین در خاک‌های با افق آرجیلیک، پوشش‌های رسی بر روی واحدهای خاکدانه مشاهده شد. در مناطق با پوشش متراکم مرتعی و به‌صورت موضعی (خاک‌رخ‌های ۳، ۸ و ۹) اپی‌پدون مالیک در سطح خاک تشکیل شده و خاک‌های مالی‌سولز یا کاستانوزمز را ایجاد نموده است. بر اساس رده‌بندی آمریکایی، خاک‌ها در چهار رده انتی‌سولز، اینسپتی‌سولز، آلفی‌سولز و مالی‌سولز و بر اساس طبقه‌بندی جهانی در هفت گروه مرجع رگوسولز، فلاوی‌سولز، لووی‌سولز، کمبی‌سولز، کاستانوزمز، جیپسی‌سولز و گلی‌سولز قرار گرفتند.

جدول ۳ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها در دامنه ۰/۲ تا ۳/۸ دسی‌زیمنس بر متر و پ‌هاش آنها در دامنه ۷/۴ تا ۸/۴ بوده است. مقدار رس در دامنه ۹ تا ۵۱ درصد و مقادیر گچ و کربنات کلسیم معادل به‌ترتیب در دامنه‌های صفر تا ۵۶ و ۲۹ تا ۸۲ درصد بوده است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها نیز در دامنه ۶/۲ تا ۳۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک بوده است.

جدول ۴ فراوانی نسبی کانی‌های رسی در خاک‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، کانی‌های پالیگوسکیت، اسمکتیت، ایلیت و کلریت به‌عنوان کانی‌های غالب و در مقادیر کمتر ورمیکولیت، کائولینیت و مخلوط‌لایه‌ها حضور دارند (شکل ۲). براساس مطالعات صورت‌گرفته در ارتباط با کانی‌شناسی خاک‌های این منطقه، منشاء اصلی کانی پالیگورسکیت در درجه اول پدوژنیک (نوتشکیلی در رسوبات تبخیری حاوی گچ و آهک)، سپس تغییر شکل از اسمکتیت و در مقادیر کمتر، منشاء توارثی برای آن در نظر گرفته شده است (Owliaie *et al.*, 2018a). منشاء اسمکتیت در خاک‌ها نیز تغییر شکل از کانی‌های میکایی و به ارث رسیدن از سنگ‌های مادر (به‌ویژه سازندهای مارنی میوسن) اعلام شده است (Owliaie *et al.*, 2018b)

به‌منظور بررسی رده‌بندی خاک‌ها، آنها را بر اساس رده‌بندی آمریکایی در چهار بخش بررسی می‌نماییم:

الف) رده انتی‌سولز (خاک‌رخ‌های ۱ و ۲)

خاک‌رخ ۱: این خاک در منطقه باشت قرار داشته و دارای رژیم رطوبتی اریدیک-یوستیک می‌باشد. این خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی به‌صورت Loamy-skeletal, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustorthents و در سامانه طبقه‌بندی جهانی به‌صورت Calcaric Skeletic Regosols (Loamic, Humic) رده‌بندی شد. در هر دو سامانه تغییری در رده‌بندی بین نسخه‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ در این خاک مشاهده نشد. البته صفت skeletic در نسخه ۲۰۰۶ سامانه طبقه‌بندی جهانی به‌صورت صفت فرعی به‌کار می‌رفت که در نسخه‌های بعدی نظر به اهمیت میزان بالای سنگریزه در مدیریت و کاربری خاک به صفت اصلی تبدیل شد. صفت humic در طبقه‌بندی جهانی برای خاک‌هایی که میزان کربن آلی آنها در ۵۰ سانتی‌متر سطح خاک بیش از یک درصد است، به‌کار می‌رود که اطلاعات بیشتری از این خاک را نسبت به سامانه آمریکایی نشان می‌دهد. در حالی‌که رده‌بندی آمریکایی، ویژگی اریدیک را در سطح زیرگروه بیان می‌کند. نسخه ۲۰۱۴ طبقه‌بندی جهانی، ویژگی اریدیک را به‌صورت صفت فرعی بیان نموده در حالی‌که این صفت در نسخه ۲۰۲۲ حذف شده است. ویژگی اریدیک، خصوصیاتی مانند میزان کربن آلی، رنگ خاک، درصد اشباع بازی و شواهدی از فرسایش بادی را در بر می‌گرفت که با این توجیه که شامل ترکیبی غیرسیستماتیک از ویژگی‌های مختلف بود، از نسخه ۲۰۲۲ طبقه‌بندی جهانی حذف شد، گرچه مفهوم اریدیک در رده‌بندی آمریکایی مرتبط با مقدار رطوبت در مقطع کنترل رطوبتی خاک بوده است. همانگونه که قبلاً ذکر شد سامانه جهانی غیر وابسته به رژیم‌های اقلیمی بوده و از جمله موارد مهمی است که با سامانه آمریکایی متمایز است. در پژوهش اخیر وجود صفت اریدیک می‌توانست به تفکیک بهتر خاک‌های مورد مطالعه کمک نماید. هوایی و همکاران (Havaee *et al.*, 2019) اشاره نمودند که سامانه آمریکایی بر خلاف سامانه جهانی، با بهره‌گیری از رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک، توصیف بهتری از شرایط محیطی ارایه می‌نماید. جدول ۵ خلاصه مقایسه کارایی دو سامانه رده‌بندی مزبور و موارد پیشنهاد شده در ارتباط با خاک‌رخ‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

خاک‌رخ ۲: این خاک در منطقه گچساران قرار داشته و دارای رژیم رطوبتی اریدیک-یوستیک می‌باشد. این خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustifluvents و در سامانه طبقه‌بندی جهانی به‌صورت Calcaric Fluvisols (Loamic, Humic) رده‌بندی شد. تغییری در

رده‌بندی این خاک در دو نسخه ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ رده‌بندی‌های جهانی و آمریکایی به‌وجود نیامده است. در این خاک، ویژگی فلوویک در رده بندی آمریکایی در سطح زیررده، حال آنکه این ویژگی در طبقه‌بندی جهانی، در سطحی بالاتر (گروه مرجع) آمده است. صفت فرعی هیومیک نیز در طبقه‌بندی جهانی اطلاعات بیشتری از این خاک را نسبت به سامانه آمریکایی بیان می‌کند. مشابه با خاک‌رخ قبل، در این خاک‌رخ نیز ویژگی اریدیک در سامانه آمریکایی در سطح زیرگروه آمده در حالی‌که این ویژگی در نسخه ۲۰۲۲ سامانه جهانی با دلایلی که ذکر شد، حذف شده است (جدول ۵).

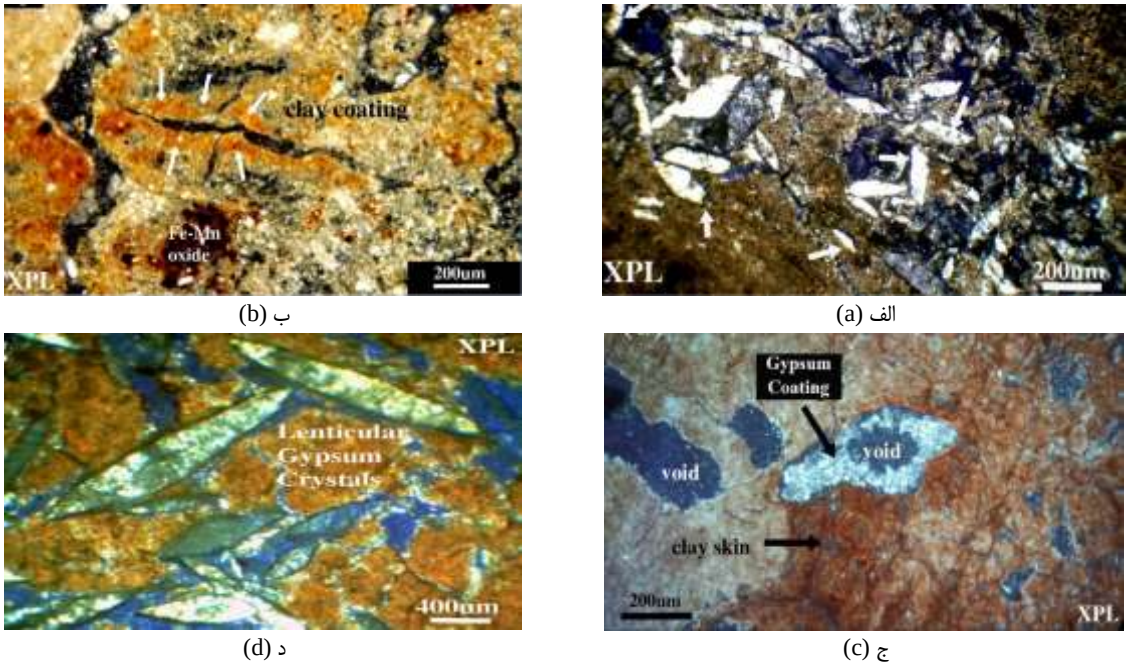
ب) رده اینسپتی‌سولز (خاک‌رخ‌های ۵، ۶ و ۷)

خاک‌رخ ۵: این خاک دارای رژیم رطوبتی اریدیک–یوستیک و افق جیپسیک و ویژگی فلوویک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Fluventic Haplustepts و در سامانه جهانی به‌صورت Calcaric Gypsisols (Loamic, Ochric, Raptic, Fluvic) می‌باشد. صفت اصلی calcaric در نسخه ۲۰۲۲ سامانه جهانی برای جیپسی‌سول‌ها افزوده شده است. در سامانه آمریکایی (نسخه ۲۰۲۲ و ۲۰۱۴)، در شرایطی که ویژگی فلوویک و افق جیپسیک توأمان وجود داشته باشند، تقدم بر ویژگی فلوویک است و بنابراین زیرگروه Fluventic با گروه بزرگ Haplustepts همراه می‌شود. در حالی‌که در سامانه جهانی، وجود افق جیپسیک بر ویژگی فلوویک اولویت داشته و خاک در گروه مرجع Gypsisols رده‌بندی و ویژگی Fluvic به‌عنوان صفت فرعی افزوده می‌شود. نظر به اثرگذاری بیشتر حضور گچ بر ویژگی‌های کاربردی و مدیریتی خاک در ارتباط با این خاک، رده‌بندی سامانه جهانی نسبت به سامانه آمریکایی منطقی‌تر می‌باشد و پیشنهاد افزودن زیرگروه Fluventic Gypsiustepts برای خاک‌های با رژیم رطوبتی یوستیک، افق جیپسیک و شرایط فلوونتیک داده می‌شود. صفت Raptic بیانگر وجود انقطاع سنگی در ۱۰۰ سانتی‌متر سطح خاک می‌باشد که به‌صورت یک صفت فرعی به نام خاک افزوده می‌شود. این ویژگی در رده‌بندی سامانه آمریکایی وجود ندارد و فقط تغییر ناگهانی بافت[1] برای خاک‌های دارای افق تجمع رس مانند آرجیلیک، ناتریک و کندیک در نظر گرفته شده است. پیشنهاد می‌گردد در سامانه آمریکایی ویژگی انقطاع سنگی مانند سامانه جهانی در نظر گرفته شود. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (Esfandiarpour-Borujeni *et al.*, 2018) در مطالعه مقایسه دو سامانه رده‌بندی مزبور در ارتباط با دو ویژگی انقطاع سنگی و تغییر ناگهانی بافت در خاک‌های اصلی ایران اظهار داشتند که هر دو رده‌بندی در ارتباط با این دو ویژگی کمبود زیادی داشته و پیشنهاد افزودن ویژگی Raptic به تمام زیرگروه‌ها در سامانه آمریکایی و صفت Abruptic به گروه‌های مرجعی مانند چرنوزمز، کلسی‌سولز و جیپسی‌سولز را ارایه نمودند. شکل‌های (۳ الف) و (۳ د) بلورهای عدسی‌شکل گچ مشاهده شده در افق‌های جیپسیک و پتروجیپسیک این خاک را در مقاطع نازک تهیه‌شده نشان می‌دهد. صالحی (Salehi, 2018) افزودن گروه بزرگ Gypsicalcids به سامانه رده‌بندی آمریکایی را برای خاک‌های با افق‌های جیپسیک در عمق ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر به‌دلیل امکان اثرگذاری این افق بر گیاهان با ریشه عمیق و یا درختان پیشنهاد نموده است. در مورد گروه مرجع کلسی‌سولز نیز پیشنهاد افزودن صفت "Bathygypsic" برای خاک‌های با افق جیپسیک در حد فاصل عمق ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر از سطح خاک، داده شده است.

خاک‌رخ ٦: این خاک دارای رژیم رطوبتی اریدیک–یوستیک و افق کمبیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Haplustepts و در سامانه جهانی به‌صورت Calcaric Cambisols (Loamic, Ochric) می‌باشد. نسخه ۲۰۱۴ طبقه‌بندی جهانی ویژگی اریدیک را به‌صورت صفت فرعی برای این خاک بیان نموده، در حالی‌که این صفت در نسخه ۲۰۲۲ حذف شده است. رده‌بندی این خاک در نسخه‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ سامانه آمریکایی تغییری نداشته است.

خاک‌رخ ۷: این خاک در منطقه چرام قرار داشته و دارای رژیم رطوبتی یوستیک و افق‌های کمبیک و پتروکلسیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Petrocalcic Calciustepts و در سامانه جهانی به‌صورت Petric Cambic Calcisols (Loamic, Fluvic, hypercalcic, Ochric) می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های توأم کمبیک، پتروکلسیک و فلوویک در این خاک در سامانه جهانی (WRB)، تقدم ابتدا برای کلسی‌سولز و سپس برای فلووی‌سولز می‌باشد و ویژگی‌های کمبیک و فلوویک به‌ترتیب به‌عنوان صفت‌های اصلی و فرعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه دو سامانه، این بار نیز سامانه جهانی توصیف بهتر و کاملتری از این خاک داشته و ویژگی‌هایی چون فلوویک، کمبیک و اکریک در خود جای داده است. صفت فرعی hypercalcic در طبقه‌بندی جهانی فقط برای خاک‌های کلسی‌سولز با افق کلسیک که دارای کربنات کلسیم معادل بیش از ۵۰ درصد است به‌کار می‌رود؛ در حالی‌که پیشنهاد می‌گردد که برای سایر خاک‌ها از جمله لووی‌سولز و کاستانوزمز که دارای افق کلسیک با کربنات کلسیم معادل بیش از ۵۰ درصد می‌باشند (خاک‌رخ‌های ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲)، به‌عنوان یک صفت فرعی به‌کار روند (جدول ۵).

1- Abrupt Textural Change



(a) الف (b) ب

(c) ج (d) د

شکل ۳- مقاطع نازک (الف) افق By خاک‌رخ ۵، (ب) افق Btkk خاک‌رخ ۱۱،(ج) افق Bty خاک‌رخ ٤، (د) افق 2By خاک‌رخ ۵

Figure 3– Thin sections of (a) By horizon, pedon 5 (b) Btk1 horizon, pedon 11 (c) Bty horizon, pedon 4 (d) 2By horizon 5

ج) رده مالی‌سولز (خاک‌رخ‌های ۳، ۸ و ۹)

خاک‌رخ ۳: این خاک در منطقه خیرآباد چرام قرار داشته و دارای رژیم رطوبتی اکوییک و اپی‌پدون مالیک و ویژگی فلوویک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Fluvaquentic Epiaquolls و در سامانه جهانی به‌صورت Calcaric Fluvic Mollic Gleysols (Loamic, Humic) می‌باشد. تغییری در رده‌بندی این خاک در دو نسخه ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ رده‌بندی‌های جهانی و آمریکایی به‌وجود نیامده است. در سامانه جهانی، ویژگی اکوییک در سطح بالاتر در گروه مرجع آمده و نسبت به مالی‌سولز (کاستانوزمز) تقدم دارد، حال آنکه در سامانه آمریکایی ویژگی مالیک در سطح رده و ویژگی اکوییک در سطح زیر رده بیان می‌شود که اهمیت کمتری دارد. صفت اصلی calcaric در سامانه جهانی و مینرالوژی carbonatic در سامانه آمریکایی هر دو بیان مشابهی از آهکی بودن این خاک‌رخ هستند. با توجه به محدودیت بیشتر شرایط اکوییک نسبت به‌وجود اپی‌پدون مالیک، سامانه جهانی این خاک را به نحو مطلوب‌تری معرفی می‌نماید. مطالعاتی مرتبط با رده‌بندی خاک‌های شالیزاری (Paddy soils) در کره جنوبی انجام شد که در آن پیشنهادهایی بر مبنای درجه زهکشی خاک برای طبقه‌بندی تخصصی این خاک‌ها ارایه شد که اطلاعات بهتری از خاک به کشاورزان به‌منظور مدیریت پایدار خاک ارایه دهد (Lee *et al*., 2022).

خاک‌رخ ۸: این خاک در منطقه فشیان قرار داشته و دارای رژیم رطوبتی اریدیک-یوستیک، اپی‌پدون مالیک و افق‌های کلسیک و کمبیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine, carbonatic, hyperthermic, Aridic Calciustolls و در سامانه جهانی به‌صورت Calcic Cambic Kastanozems (Clayic) می‌باشد. حضور افق کمبیک در سامانه جهانی به‌صورت صفت اصلی نشان داده شده است، در حالی‌که در سامانه آمریکایی نمودی ندارد. با توجه به رژیم رطوبتی این خاک، صفت اریدیک در نسخه ۲۰۲۲ سامانه جهانی وجود ندارد.

خاک‌رخ ۹: این خاک در منطقه چاروسا قرار داشته و دارای رژیم رطوبتی یوستیک، اپی‌پدون مالیک و افق کمبیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Typic Haplustolls و در سامانه جهانی به‌صورت Cambic Kastanozems (Clayic) می‌باشد. زیرگروه Cambic Haplustolls برای خاک‌های با اپی‌پدون مالیک و رژیم رطوبتی یوستیک و یک افق کمبیک پیشنهاد می‌شود تا از خاک‌های دارای افق مالیک بدون تکامل خاک‌رخ متمایز شوند. در نسخه ۲۰۲۲ سامانه جهانی، صفت cambic به‌صورت صفت اصلی و در نسخه ۲۰۱۴ به‌صورت صفت فرعی آمده بود. همچنین صفت hyperhumic در نسخه ۲۰۱۴ برای خاک‌هایی با کربن آلی بیش از ۵ درصد در سطح به‌کار برده می‌شد، که در نسخه ۲۰۲۲ حذف شده است.

د) رده آلفی‌سولز (خاک‌رخ‌های ۴، ۱۰، ۱۱ و ۱۲)

خاک‌رخ ٤: این خاک در منطقه گچساران و بر روی مواد مادری شدیداً گچی تشکیل شده است. رژیم رطوبتی آن اریدیک–یوستیک و افق‌های جیپسیک، پتروجیپسیک، کلسیک و آرجیلیک می‌باشد. رده بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs و در سامانه جهانی به‌صورت Calcic Luvic Calcaric Gypsisols (Loamic, Ochric, Hypergypsic) می‌باشد. مشاهدات صحرایی افق‌های این خاک، پوشش رسی را در مقدار متوسط بر روی واحدهای خاکدانه در افق Bty نشان داد (جدول ۲). مقاطع نازک تهیه‌شده از نمونه‌های دست‌نخورده این افق پوشش رسی را در زمینه و اطراف حفرات به همراه بلورهای کلسیت و جیپسوم نشان می‌دهد (شکل ۳ج). کانی‌شناسی رس این خاک‌رخ نیز کانی سوزنی‌شکل پالیگورسکیت را به‌عنوان کانی غالب این خاک نشان داد (جدول ۴). در حالی‌که در بخش مینرالوژی فامیلی خاک‌ها در سامانه آمریکایی خاک‌های با کانی غالب کایولینیت، اسمکتیت، ایلیت و وریکولیت متمایز شده‌اند برای خاک‌هایی با رس غالب پالیگوسکیت، عنوانی مشخص نشده است که پیشنهاد افزودن عنوان palygorskitic به این بخش پیشنهاد می‌شود. با توجه به وقت گیر و هزینه‌بر بودن آزمایش‌های کانی‌شناسی رس، در نظر گرفتن معیارهایی که با اندازه‌گیری نسبتاً آسان به‌نحوی وضعیت حاصلخیزی خاک را بیان کنند، موجب ارتقای کیفیت سامانه‌های رده‌بندی و افزایش علاقه‌مندی کاربران و برنامه‌ریزان از آنها خواهد شد (Bahmani *et al*., 2014).

در نسخه ۲۰۲۲ سامانه آمریکایی، زمانی که ویژگی افق آرجیلیک، کلسیک و جیپسیک در رژیم یوستیک–اریدیک وجود داشته باشد، خاک در زیررده Ustalfs طبقه‌بندی شده و بین ویژگی‌های کلسیدیک و اریدیک تقدم با کلسیدیک بوده و ویژگی مهم جیپسیک لحاظ نمی‌شود. بنابرین پیشنهاد می‌شود که زیرگروه Gypsic Haplustalfs به این سامانه رده‌بندی افزوده شود؛ اگرچه این ویژگی در نام فامیلی و در بخش کانی‌شناسی خاک می‌تواند لحاظ شود، اما حضور افق گچی در مدیریت خاک باید در سطوح بالاتر رده‌بندی نشان داده شود (جدول ۵).

جدول ٤– فراوانی نسبی کانی‌های رسی در خاک‌های مطالعه‌شده

Table 4- Relative abundance of clay minerals [a] (<2 µm)

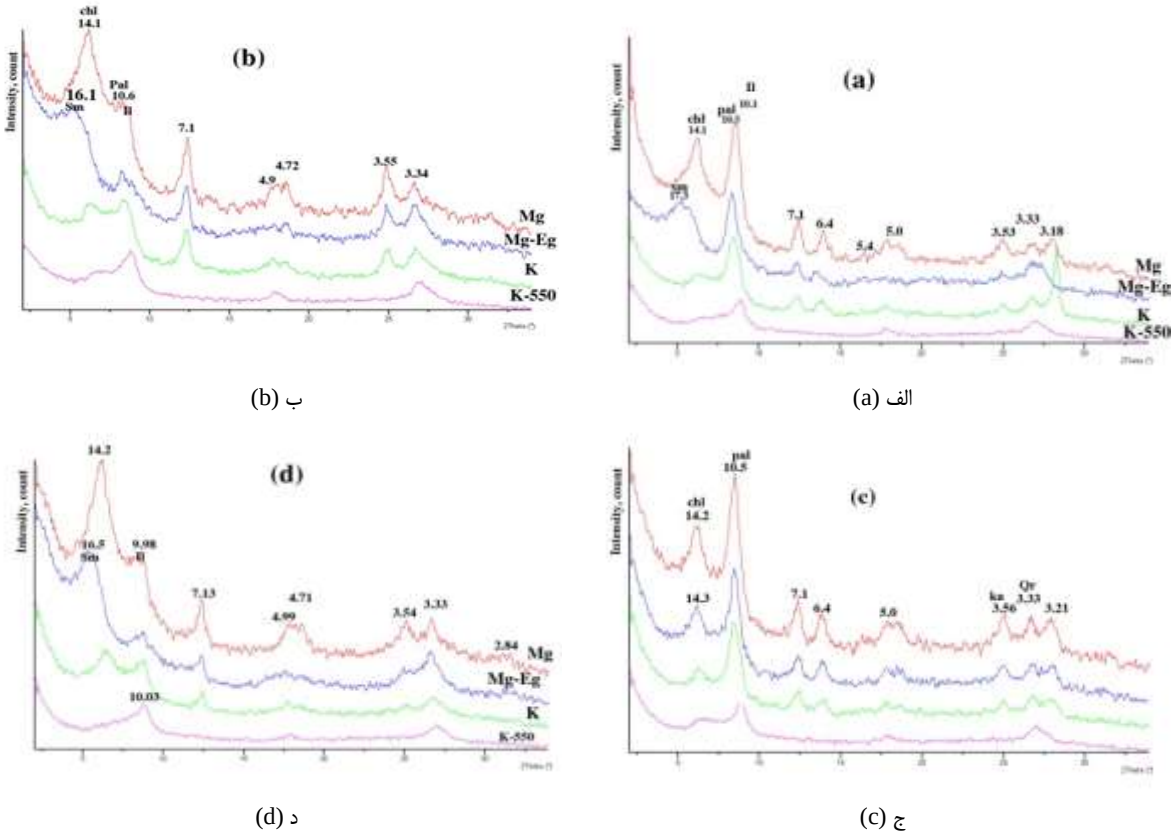
Pedon/Horizon خاک‌رخ/افق	Sm. اسمکتیت	Il.	ایلیت	کلریت Chl.	Ve. ورمیکولیت	Ka. کایولینیت	Pa. پالیگورسکیت	Is. مخلوط لایه
1- A	++	+++	++	-	-	+++	-	
1- C1	++	++	++	-	-	++++	-	
2- A	++	++	++	+	++	+	+	
2-C1	++	+++	++	+	++	++	+	
3-Ap	+++	++	++	-	+	++	-	
3- Cg1	++	++	++	-	+	+++	-	
4- A	+	++	++	-	-	++++	-	
4- By2	+	+	++	-	+	+++++	-	
5- A	+	+++	+	-	-	+++	-	
5- By	+	++	++	-	-	++++	-	
6- Ap	+++	+	-	++	+	+	-	
6- Bw	++	++	+++	+	-	++	-	
7- A	+++	+	-	++	+	+	-	
7- Bw1	+++	+	-	++	+	++	-	
8- A	+++	++	++	+	+	++	++	
8- Bk	+++	+	++	-	+	++	+	
9- A	+++	++	++	+	++	-	-	
9- Bw	+++	++	++	-	++	-	-	
10- A	+++	++	++	+	++	++	++	
10- Btk	++++	+	+	-	-	+	+	
11- A	+++	++	++	-	+	+++	-	
11- Btk	+++	++	-	-	+	+++	-	
12- Ap	+++	++	++	+	+	++	-	
12- Btk	+++	+	++	-	+	++	-	

+: Relative abundance of minerals

[a]Ch, chlorite; Il, illite; Sm, smectite; Pa, palygorskite; Ka, kaolinite; Qr, quartz; Ve, vermiculite; Is, Interstratified minerals.

در سامانه طبقه‌بندی جهانی (۲۰۲۲) زمانی که افق‌های جیپسیک، کلسیک و آرجیلیک همزمان در خاک حضور دارند اولویت با افق جیپسیک بوده و خاک در گروه مرجع جیپسی‌سولز رده‌بندی می‌شود و ویژگی‌های دیگر به‌صورت صفات اصلی Calcic و Luvic افزوده می شوند. همچنین پیشنهاد افزودن صفت پسوندی Cutanic در گروه جیپسی‌سولز برای خاک‌های گچی با افق آرجیلیک دارای پوشش رسی داده می‌شود. همچنین صفت فرعی hypergypsic برای افق‌های جیپسیک با میزان گچ بیش از ۵۰ درصد به‌کار رفته است.

خاک‌رخ ۱۰: این خاک‌رخ در منطقه لیشتر و بر روی مواد مادری آهکی تشکیل شده است. رژیم رطوبتی آن اریدیک-یوستیک و دارای افق‌های کلسیک و آرجیلیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs و در سامانه جهانی به‌صورت Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Fluvic, Ochric) می‌باشد. در این خاک نیز سامانه جهانی اطلاعات بیشتری به‌صورت صفت فرعی (اکریک و فلوویک) ارایه می‌دهد (جدول ۵).



الف (a) ب (b)

ج (c) د (d)

شکل ۲- پراش‌نگارهای پرتو ایکس نمونه‌های رس خاک

الف) افق Bw خاک‌رخ ۶، ب) افق Bk خاک‌رخ ۸، ج) افق By2 خاک‌رخ ۴ و د) افق Btk خاک‌رخ ۱۰. تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg)، منیزیم و اتیلن گلیکول (Mg-Eg)، اشباع با پتاسیم (K) و پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس (K-550).

Figure 2- X-Ray diffractograms of the clay fraction

a) Bw horizon of pedon 6, b) Bk horizon of pedon 8, c) By2 horizon of pedon 4, d) Btk horizon of pedon 10, Sm: Smectite, I: Illite, Pa: Palygorskite, Ch: Chlorite, Ka: Kaolinite. Mg=Mg saturated; Mg-Eg=Mg saturated with Ethylene glycol; K=K saturated; K-550=K saturated and heated to 550 °C.

جدول ۵- خلاصه مقایسه کارایی دو سامانه رده‌بندی و موارد پیشنهاد شده

Table 5- Summary of the comparison of the efficiency of the two classification systems and the suggested items.

Pedon	سامانه آمریکایی (۲۰۲۲) Soil taxonomy (2022)	سامانه جهانی (۲۰۲۲) WRB (2022)	مقایسه دو سامانه رده‌بندی Comparison of two classification systems
Pedon 1	Loamy-skeletal, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustorthents	Calcaric Skeletic Regosols (Loamic, Humic)	تفاوت نه چندان زیاد بین دو سامانه. وجود صفت humic در طبقه‌بندی جهانی. حذف صفت اریدیک از سامانه جهانی (۲۰۲۲). Not much difference between the two systems. The presence of the humic qualifier in WRB. Removal of Aridic qualifier from WRB (2022).
Pedon 2	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Ustifluvents	Calcaric Fluvisols (Loamic, Humic)	کارایی بهتر سامانه جهانی در توصیف این خاک. اولویت دادن به ویژگی فلوویک به‌عنوان گروه مرجع، همچنین وجود صفت هیومیک. Better efficiency of WRB in describing this soil. Prioritizing the fluvic qualifier as the reference group, as well as the presence of the humic qualifier
Pedon 3	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Fluvaquentic Epiaquolls	Calcaric Fluvic Mollic Gleysols (Loamic, Humic)	کارایی بهتر سامانه جهانی در توصیف این خاک به‌دلیل اولویت دادن به ویژگی اکوییک نسبت به حضور اپی‌پدون مالیک. Better efficiency of WRB in describing this soil due to prioritizing the aquic property over the presence of Mollic Epipedon.
Pedon 4	Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs	Calcic Luvic Calcaric Gypsisols (Loamic, Ochric, Hypergypsic)	کارایی بهتر سامانه جهانی به‌دلیل قرار دادن آن در گروه gypsisols، عدم حضور ویژگی جیپسیک تا سطح زیرگروه در سامانه آمریکایی. پیشنهاد افزودن زیرگروه Gypsic Haplustalfs به سامانه آمریکایی، پیشنهاد افزودن صفت پسوندی Cutanic به گروه جیپسی‌سولز در سامانه جهانی. Better efficiency of WRB, due to its inclusion in Gypsisols, Absence of gypsic property at subgroup level in Taxonomy. Suggetion for inclusion of "Gypsic Haplustalfs" subgroup to Taxonomy.
Pedon 5	Fine-loamy, gypsic, hyperthermic, Fluventic Haplustepts	Calcaric Gypsisols (Loamic, Raptic, Ochric, Fluvic)	کارایی بهتر سامانه جهانی به‌دلیل افزودن صفات کلکریک، رپتیک و اکریک. کارایی ضعیف سامانه آمریکایی به‌دلیل عدم حضور ویژگی حضور افق گچی تا سطح زیر رده و عدم توانایی در نشان دادن ویژگی انقطاع سنگی. پیشنهاد افزودن زیر گروه Fluventic Gypsiustepts به سامانه آمریکایی Better efficiency of WRB due to the addition of "calcaric, reptic, and ochric" qualifiers. Poor efficiency of Taxonomy, due to the absence of gypsic horizon at sub-order category, as well as its disability in expressing of lithological discontinuity. Suggestion for inclusion of "Fluventic Gypsiustepts " subgroup to Taxonomy.
Pedon 6	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Aridic Haplustepts	Calcaric Cambisols (Loamic, Ochric)	به‌جز وجود صفت کمبیک در سامانه جهانی تفاوت زیادی در کارایی دو سامانه وجود ندارد. Except for cambic qualifier in WRB, there is no great difference in the efficiency of the two systems
Pedon 7	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Petrocalcic Calciustepts	Petric Cambic Calcisols (Loamic, Fluvic, hypercalcic, Ochric)	کارایی بیشتر سامانه جهانی به‌دلیل ارایه ویژگی‌هایی چون فلوویک، کمبیک و اکریک به نام خاک. Better efficiency of WRB due to the addition of "fluvic, cambic, and ochric" qualifiers.
Pedon 8	Fine, carbonatic, hyperthermic, Aridic Calciustolls	Calcic Cambic Kastanozems (Clayic)	کارایی بیشتر سامانه جهانی به‌دلیل حضور ویژگی کمبیک به‌صورت صفت اصلی. حذف صفت اریدیک در سامانه جهانی (۲۰۲۲). پیشنهاد افزودن صفت فرعی hypercalcic به گروه کاستانوزمز در طبقه‌بندی جهانی Better efficiency of WRB due to the presence of cambic property as principle qualifier. Removal of Aridic qualifier in WRB (2022). Suggestion for inclusion of "hypercalcic" qualifier to reference group of "Kastanozems" in WRB.
Pedon 9	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Typic Haplustolls	Cambic Kastanozems (Clayic)	کارایی بیشتر سامانه جهانی به‌دلیل حضور ویژگی کمبیک به‌صورت صفت اصلی. پیشنهاد افزودن زیرگروه Cambic Haplustolls به سامانه آمریکایی. Better efficiency of WRB due to the presence of cambic property as principle qualifier. Suggestion for inclusion of "Cambic Haplustolls" subgroup to Taxonomy.
Pedon 10	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcidic Haplustalfs	Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Ochric)	سامانه جهانی اطلاعات بیشتری به‌صورت صفت‌های فرعی اکریک و فلوویک ارایه می‌دهد. پیشنهاد افزودن صفت فرعی hypercalcic به گروه لووی‌سولز در طبقه‌بندی جهانی. WRB, provides more information as supplementary qualifiers of ochric and fluvic. Suggestion for inclusion of supplementary qualifier of "hypercalcic' to Luvisols in WRB.
Pedon 11	Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs	Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Fluvic, Ochric)	سامانه جهانی اطلاعات بیشتری به‌صورت صفت‌های فرعی اکریک و فلوویک ارایه می‌دهد. پیشنهاد افزودن صفت فرعی hypercalcic به گروه لووی‌سولز در طبقه‌بندی جهانی. WRB, provides more information as supplementary qualifiers of ochric and fluvic. Suggestion for inclusion of supplementary qualifier of hypercalcic to Luvisols in WRB.
Pedon 12	Fine, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs	Calcic Luvisols (Clayic, Cutanic, Fluvic, Ochric)	سامانه جهانی اطلاعات بیشتری به‌صورت صفت‌های فرعی اکریک و فلوویک ارایه می‌دهد. پیشنهاد افزودن صفت فرعی hypercalcic به گروه لووی‌سولز در طبقه‌بندی جهانی. WRB, provides more information as supplementary qualifiers of ochric and fluvic. Suggestion for inclusion of supplementary qualifier of hypercalcic to Luvisols in WRB.

خاک‌رخ ۱۱: این خاک‌رخ در منطقه منجگان و بر روی مواد مادری آهکی تشکیل شده است. رژیم رطوبتی آن یوستیک و دارای افق‌های کلسیک و آرجیلیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine-loamy, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs و در سامانه جهانی به‌صورت Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Fluvic, Ochric) می‌باشد. در حالی‌که سامانه جهانی برای خاک‌های لوویسولز صفت فرعی فلوویک وجود دارد، سامانه آمریکایی فاقد این ویژگی برای خاک‌های آلفی‌سول می‌باشد. شکل ۳ب مقطع نازک افق Btk این خاک‌رخ را نشان می‌دهد. پوسته‌های رسی، بلورهای کلسیت و تجمعات اکسید آهن و منگنز از عوارض پدوژنیک مشاهده شده در این افق بوده است. دلایل حضور توأم پوسته‌های رسی و عوارض آهکی در افق‌های Btk توسط پژوهشگران مختلف بررسی شده است (Owliaie, 2014; Khademi and Mermut, 2003; Khormali *et al.*, 2006).

خاک‌رخ ۱۲: این خاک‌رخ در منطقه دهدشت و بر روی مواد مادری آهکی تشکیل شده است. رژیم رطوبتی آن یوستیک و دارای افق‌های کلسیک و آرجیلیک می‌باشد. رده‌بندی این خاک در سامانه آمریکایی به‌صورت Fine, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustalfs و در سامانه جهانی به‌صورت Calcic Luvisols (Loamic, Cutanic, Fluvic, Ochric) می‌باشد. افق‌های کلسیک این خاک‌رخ و دو خاک‌رخ قبلی دارای کربنات کلسیم بیش از ۵۰ درصد بوده و پیشنهاد افزودن صفت فرعی هایپرکلسیک برای لوویسول‌هایی با این ویژگی، همچون کلسی‌سول‌ها داده می‌شود. منتخبی کلجاهی و همکاران (Montakhabi Kalajahi *et al.*, 2018) در پژوهشی در توصیف ویژگی‌های خاک‌های شور و گچی استان آذربایجان شرقی اشاره نمودند که سامانه رده‌بندی مرجع جهانی به‌صورت ساده‌تر با استفاده از دو سطح مختلف (گروه مرجع و استفاده از توصیف‌کننده‌های متنوع) برای رده‌بندی خاک، آسان‌تر، دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر از سامانه آمریکایی به‌نظر می‌رسد. در سامانه آمریکایی با وجود ویژگی‌های جزیی‌تر در سطح فامیلی و استفاده از رژیم‌های رطوبتی و حرارتی در رده‌بندی خاک، باز کاستی‌هایی در نمایش ویژگی‌های اصلی خاک و برخی از افق‌های مشخصه که همزمان در یک خاک‌رخ اتفاق می‌افتند، وجود دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد که سامانه طبقه‌بندی جهانی (WRB) در مجموع کارایی بسیار بهتری در توصیف ویژگی‌های خاک‌های منطقه داشته است. بزرگترین مزیت این سامانه دو سطحی، امکان افزودن صفت‌های اصلی و فرعی با تعدادی بیشتر به‌منظور پوشش تمامی ویژگی‌های مهم خاک می‌باشد. همچنین در بسیاری موارد اولویت‌بندی بهتری در سامانه جهانی نسبت به سامانه آمریکایی وجود دارد از جمله برتری دادن به ویژگی‌هایی که خاک واجد آن ویژگی را به یک گروه مرجع تبدیل می‌کند؛ در حالی‌که آن ویژگی در سامانه آمریکایی در سطوح پایین‌تر (مانند زیرگروه و فامیلی) نشان داده می‌شود؛ از جمله افق جیپسیک (گروه مرجع Gypsisols)، شرایط فلوویک (گروه مرجع Fluvisols)، شرایط احیایی (گروه مرجع Gleysols)، وجود افق کمبیک (گروه مرجع Cambisols) و وجود افق کلسیک (گروه مرجع Calsisols). یکی از کمبودهای سامانه جهانی، نبود اطلاعات کانی شناسی در رده‌بندی خاک می‌باشد. انتخاب صفت‌های مناسب کانی‌شناسی برای گروه‌های مرجع و یا معیارهایی که با اندازه‌گیری نسبتاً آسان، شرایط حاصلخیزی خاک را بیان کند، موجب بهبود کیفیت سامانه‌های این رده‌بندی و افزایش علاقه‌مندی کاربران و برنامه‌ریزان از آن خواهد شد. همچنین با توجه به نتایج و بررسی‌های صورت‌گرفته، زیرگروه‌های زیر به‌منظور افزودن به سامانه آمریکایی پیشنهاد می‌شوند:

۱- زیرگروه Gypsic Haplustalfs برای خاک‌های آلفی‌سول با رژیم رطوبتی یوستیک که دارای افق جیپسیک در ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک باشند.

۲- زیرگروه Fluventic Gypsiustepts برای خاک‌های با رژیم رطوبتی یوستیک و افق جیپسیک که دارای ویژگی فلوونتیک باشند.

۳- زیرگروه Cambic Haplustolls برای خاک‌های با رژیم رطوبتی یوستیک و افق مالیک که دارای افق کمبیک باشند.

۴- سامانه رده‌بندی آمریکایی فاقد مشخصه‌ای است که ویژگی انقطاع سنگی را به مانند سامانه جهانی بیان کند. پیشنهاد می‌شود در سطح زیرگروه این ویژگی نشان داده شود.

همچنین موارد زیر در ارتباط با سامانه طبقه‌بندی جهانی پیشنهاد می‌گردند:

۱- پیشنهاد افزودن صفت فرعی Cutanic به گروه مرجع جیپسی-سولز برای خاک‌های دارای پوسته رسی در افق آرجیک.

۲- پیشنهاد افزودن صفت فرعی hypercalcic به گروه‌های مرجع کاستانوزمز و لووی‌سولز که دارای افق کلسیک با میزان کربنات کلسیم معادل بیش از ۵۰ درصد هستند.

۳- افزودن مجدد صفت اریدیک به‌منظور بیان بهتر ویژگی خاک‌های با رژیم اریدیک-یوستیک.

هنوز مطالعات مرتبط با مقایسه کارایی این دو سامانه در بسیاری از مناطق کشور انجام نشده است. توصیه می‌شود در مطالعات آینده، طبقه بندی خاک‌ها توسط هر دو سامانه رده‌بندی انجام شود تا نقاط ضعف و قوت آنها برای خاک‌های مناطق مختلف تعیین گردد و با توجه به آن موارد، تدوین سامانه رده‌بندی ملی خاک برای کشور انجام شود.

منابع

1. Bahmani, M., Salehi, M.H., & Esfandiarpour Boroujeni, I. (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. (In Persian with English abstract)
2. Banaie, M.H. (1998). Soil moisture and temperature regimes map of Iran. Soil and Water Research Institute of Iran, Iran.
3. Brevik, E.C., Calzolari, C., Miller, B.A., Pereira, P., Kabala, C,. Baumgarten, A., & Jordán, A. (2016). Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. *Geoderma, 264*, 256-274. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.017
4. Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. In: Black CA, editor. Methods of soil analysis. Part 2. Madison (WI): American Society of Agronomy. p. 891–901.
5. Cline, M.G. (1967). Basic principles of soil classification. *Soil Science*, *67*(2), 81–91.
6. Esfandiarpour Boroujeni, I., Farpoor, M.H., & Kamali, A. (2011). Comparison between soil taxonomy and WRB for classifying saline soils of Kerman province. *Journal of Water and Soil, 25*(5), 1158-1171. (In Persian)
7. Esfandiarpour Boroujeni, I., Mosleh, Z., & Farpoor, M.H. (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, 165,* 63-71. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.018
8. Esfandiarpour, I., Salehi, M.H., Karimi, A., & Kamali, A. (2013). Correlation between Soil Taxonomy and world reference base for soil resources in classifying calcareous soils: (a case study of arid and semiarid regions of Iran). *Geoderma, 197,* 126–136. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.002
9. Eswaran, H., Rice, T., Ahrens, R., & Stewart, B.A. (Eds.). (2002). *Soil Classification*: A Global Desk Reference. CRC Press, Boca Raton, FL.
10. Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). *Particle-size analysis*. In 'Methods of soil analysis, Part 1. Agronomy Monograph, Vol. 9'. 2nd edn. (Ed. A Klute) pp. 383–411. (American Society of Agronomy: Madison, WI, USA)
11. Gerasimova, M.I. (2010). Chinese soil taxonomy: between the American and the international classification systems. Eur. *Soil Science, 43*(8), 945–949.
12. Havaee, Sh., Kamali, A., & Toomanian, N. (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),* 181-189. (In Persian with English abstract)
13. IUSS Working Group WRB, (2014). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. In: World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
14. IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
15. Jackson, M.L. (1975). *Soil Chemical Analysis*. Advanced Course Univ. of Wisconsin, College of Agric., Dept. of Soils, Madison, WI. 894 pp.
16. Johns, W.D., Grim, R.E., & Bradley, F. (1954). Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sedimentary Petrology, 24(4),* 242-251.
17. Khademi, H., & Mermut, A.R. (2003). Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena, 54,* 439–455.
18. Khormeli, F., Abtahi, A., & Stoops, G. (2006). Micromorphology of calcitic pedofeatures in highly calcareous soils of Fars province, Southern Iran. *Catena, 132,* 3-46.
19. Kittrick, J.A., & Hope, E.W. (1963). A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science, 96(5),* 319–325.
20. Lee, D.B., Kim, Y.-N., Sonn Y.-K., & Kim, K. H. (2022). Comparison of Soil Taxonomy (2022) and WRB (2022) Systems for classifying Paddy Soils with different drainage grades in South Korea. *Land, 12,* 1204. https://doi.org/10.3390/land12061204
21. Lee, D.B., Seo, B.H., Go, W.R., Cho, S.R., & Sonn, Y.K. (2023). Comparison among Soil Taxonomy (2014), WRB (2014), and WRB (2022) Systems on Anthropogenic Soils in Korea. *Korean Journal Soil Science Fertility, 56(1),* 68-76. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.1.068
22. Lee, S.B., Chun, H.C., Cho, H.J., Hyun, B.K., Song, K.C., Zhang, Y.S., Sonn, Y.K., & Park, C.W. (2013). Soil classification of anthropogenic soils in a remodeled area using soil taxonomy and world reference base for soil resources. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, (6),* 536-541. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2013.46.6.536
23. Meng, Q., Li, S., Liu, B., Hu, J., Liu, J., Chen, Y, & Ci, E. (2023). Appraisal of soil taxonomy and the world reference base for soil resources applied to classify purple soils from the Eastern Sichuan Basin, China. *Agronomy, 13(7),* 1837. https://doi.org/10.3390/agronomy13071837
24. Montakhabi Kalajahi, V., Jafarzadeh, A.A., Oustan, Sh., Shahbazi, F., & Arabi Belaghi, R. (2018). Soil Taxonomy (ST) and World Reference Base (WRB) systems proficiency to describe saline and gypsiferous soils properties in some region of east Azerbaijan. *Water and Soil Science, 28,* 55-67. (In Persian with English abstract)

25. Murphy C.P. (1986). *Thin Section Preparation of Soils and Sediments*. AB Academic Publishers, Berkhamsted, Herts, UK.
26. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). *Total carbon, organic carbon, and matter*. In 'Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy Monograph, Vol. 9'. 2nd edn. (Eds AL Page, RH Miller, DR Keeney) pp. 539–577. American Society of Agronomy: Madison, WI, USA.
27. Nelson, R.E. (1982). *Carbonate and gypsum*. In 'Methods of soil analysis. Part 2'. (Eds AL Page, RH Miller, DR Keeney) pp. 181–197. (American Society of Agronomy: Madison, WI, USA).
28. Owliaie, H.R. (2014). Soil Genesis along a Catena in Southwestern Iran: A Micromorphological Approach. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *60*(4), 471-486. https://doi.org/10.1080/03650340.2013.796587
29. Owliaie, H.R. Najafi Ghiri, M., &Shakeri, S. (2018a). Soil-landscape relationship as indicated by pedogenesis data on selected soils from Southwestern, Iran. *Eurasian Journal of Soil Science, 7*(2), 167–180. https://doi.org/10.18393/ejss.376284
30. Owliaie, H.R., Najafi Ghiri, M., Adhami, E., & Shakeri, S. (2018b). Pedological investigation of a Litho-Toposequencen a semi-arid region of Southwestern Iran. *Eurasian Soil Science, 51*(12), 1447–1461. https://doi.org/10.1134/S1064229318130033
31. Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). *Methods of Soil Analysis*, Second edition. Part 2: Chemical and Biological Properties. Soil Science Society of America Journal Publisher.
32. Rasooli, N., Farpoor, M.H., Mahmoodabadi, M., & Esfandiarpour Borujeni, I. (2021). Capability of Soil Taxonomy (2014) compared to updated WRB (2015) in describing Lut Desert soils. *Desert*, *26*(2), 219-235. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2021.318248.1006804
33. Rhoades, J.D. (1996). *Salinity: Electrical Conductivity and total dissolved solids*. P. 417- 436. In: Sparks D.L. et al., (eds) Methods of soil analysis. Part 3. Am. Soc. Agron., Madison. WI.
34. Roca P.N., & Pazos M.S. (2002). *The WRB applied to Argentinian soils: two case studies*. European Soil Bureau, Research Report NO. 7. Latvia University of Agriculture, Jelgava, Latvia. pp. 191-197.
35. Salehi, M.H. (2018). *Challenges of Soil Taxonomy and WRB in classifying soils: Some examples from Iranian soils*. *Bull.* Geogr. Phys. Geogr. Ser. 2018, 63–70. https://doi.org/10.2478/bgeo-2018-0005
36. Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, Agriculture Handbook vol. 60 (Department of Agriculture, Washington).
37. Sanjari, S., Farpoor, M.H., Mahmoodabadi, M., & Barkhori, S. (2021). Soil Taxonomy and WRB comparison to classify soils with different climatic conditions in Kerman province**.** *Agricultural Engineering, 43*(4), 479-493. (In Persian). https://doi.org/10.22055/AGEN.2021.34266.1575
38. Sarmast, M., Farpoor, M.H., & Esfandiarpour Boroujeni, I. (2016). Comparing Soil Taxonomy (2014) and updated WRB (2015). for describing calcareous and gypsiferous soils, Central Iran. *Catena, 145*, 83–91. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.026
39. Sarshogh, M., Salehi, M.H., & Beigie, H. (2012). The effect of slope aspect and position on Soils particle size distributionin Chelgerd region, Chaharmahal-va-Bakhtiari province. *Journal Water Soil Conservation, 19*, 77-97. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.23222069.1391.19.3.5.0
40. Schad, P., & Micheli, E. (2010). *The next steps in soil classification or how to kill 3 birds with 1 stone: pedons, landscapes, functions.* 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. pp: 40–42.
41. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., & Broderson, W.D. (2012). *Field book for describing and sampling soils*, 2nd version. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, USA.
42. Soil Science Division Staff. (2017). *Soil Survey Manual*. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds). U.S. Department of Agriculture Handbook 18. Government Publishing Ofce, Washington, D.C.
43. Soil Survey Staff, (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
44. Soil Survey Staff, (2022). *Keys to Soil Taxonomy*. 1th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
45. Soil Survey Staff. (2014). *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
46. Stoops, G. (2003). *Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
47. Toomanian, N. (2006). *How to develop land, soil diversity and quantitative mapping of some pedogenic characteristics in some parts of Central Iran*. Ph.D. Thesis, Soil Science Dept. College of Agriculture, Isfahan University of Technology.
48. Toomanian, N., Jalalian, A., & Eghbal, M.K. (2003). Application of the WRB (FAO) and US taxonomy systems to gypsiferous soils in Northwest Isfahan. *Iran Journal Agriculture Science Technology, 5*, 51-66.