نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۱۹۱-۱۱۸۰

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1180-1191

# مقایسه‌ی توانایی روش‌های رقومی در پیش‌بینی کلاس‌های خاک بر مبنای سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و جهانی (مطالعه‌ی موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری)

زهره مصلح[1*]- محمدحسن صالحی[2]- اعظم جعفری[3]- عیسی اسفندیارپور بروجنی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵

## چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سامانه‌های رده‌بندی و روش‌های رقومی مختلف بر صحت نتایج پیش‌بینی کلاس‌های خاک در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر، تشریح و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. بر اساس اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی، رده‌بندی خاک‌رخ‌ها بر مبنای سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (تا سطح فامیل) و جهانی (تا سطح واحد) نهایی گردید. پیش‌بینی کلاس‌های خاک در هر سطح بر مبنای دو سامانه‌ی رده‌بندی و با استفاده از مدل‌های شبکه‌ی عصبی- مصنوعی، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، رگرسیون درختی توسعه‌یافته و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که سامانه‌ی آمریکایی برای رده‌بندی خاک‌ها و ایجاد نقشه‌های رقومی کلاس‌های خاک از کارایی بالاتری نسبت به سامانه‌ی جهانی برخوردار است. در تمامی مدل‌ها و بر مبنای دو سامانه‌ی رده‌بندی، مقدار صحت عمومی از سطوح بالای رده‌بندی به سمت سطوح پایین‌تر کاهش یافت؛ ولی صحت مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در هر یک از سطوح رده‌بندی آمریکایی تقریبا یکسان بود. در رابطه با سامانه‌ی جهانی در سطح گروه مرجع، مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای کارایی بالاتری داشت. در بین پارامترهای محیطی وارد شده به مدل‌های مختلف در سطوح مختلف دو سامانه‌ی رده‌بندی، اجزای سرزمین مهم‌ترین پارامترها در پیش‌بینی کلاس‌های خاک بودند. سطح و سامانه‌ی رده‌بندی مورد نظر، میزان تنوع و مساحت (فراوانی) هر یک از خاک‌ها، توزیع مکانی خاک‌ها، تراکم نمونه‌برداری و نوع پارامترهای محیطی مورد استفاده از مهم‌ترین عواملی می‌باشند که می‌توانند صحت پیش‌بینی کلاس‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهند.

**واژه‌های کلیدی:** اجزای سرزمین، خاک‌رخ، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، سامانه‌های رده‌بندی خاک، صحت عمومی

## مقدمه

با توجه به اینکه تغییرات مکانی خاک تأثیر زیادی بر مدیریت اراضی و تخصیص منابع دارد؛ تعیین دقیق و قابل اعتماد پراکنش خاک و ویژگی‌های آن می‌تواند در بهره‌برداری مناسب از اراضی مؤثر واقع شود. طبقه‌بندی خاک، فرآیندی است که به موجب آن تفاوت‌های اساسی بین کلاس‌های خاک آشکار می‌شود (۵).

سامانه‌های رده‌بندی مختلفی برای طبقه‌بندی خاک‌ها پیشنهاد شده‌اند ولی دو سامانه‌ی رده‌بندی خاک آمریکایی و رده‌بندی جهانی، از استقبال عمومی بالاتری در بین کشورهای مختلف، از جمله ایران، برخوردار می‌باشند. رده‌بندی جهانی همان‌گونه که از نام آن مشخص است مورد قبول تمامی کشورها می‌باشد و رده‌بندی آمریکایی در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود (۸).

هر کدام از این سامانه‌ها از نقاط ضعف و قوت خاصی برای بیان ویژگی‌های خاک‌ها برخوردار هستند. گراسیمو (۹) بیان می‌کند که رده‌بندی خاک آمریکایی نیز تقریباً به صورت واحد در ۴۵ کشور استفاده می‌شود و در ۸۰ کشور، این سامانه‌ی طبقه‌بندی به همراه سامانه‌ی طبقه‌بندی جهانی به کار برده می‌شود. بهمنی و همکاران (۲) نشان دادند که سامانه‌ی جهانی قابلیت بیش‌تری در بیان ویژگی‌های خاک‌های مناطق خشک (اصفهان) و نیمه‌خشک (شهرکرد) دارد. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۷) همخوانی بین

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: Mosleh.zohreh@yahoo.com)
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

رده‌بندی خاک آمریکایی و سامانه‌ی رده‌بندی جهانی در طبقه‌بندی خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که سامانه‌ی رده‌بندی جهانی، با به کار بردن ترکیبی از توصیف‌کننده‌ها، توانایی بالاتری در منعکس کردن ویژگی‌های این خاک‌ها دارد. اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۶) بیان کردند که سامانه‌ی رده‌بندی جهانی، اطلاعات بیشتر و مفیدتری در رابطه با ویژگی‌های خاک‌های شور نسبت به رده‌بندی آمریکایی در اختیار قرار می‌دهد. سرشوق و همکاران (۱۸) بیان نمودند که سامانه‌ی آمریکایی برای نشان دادن ویژگی‌های خاک‌های کم‌عمق در مناطق نیمه‌خشک، گویاتر از رده‌بندی جهانی است.

تعمیم نتایج حاصل از خاک‌رخ‌های شاهد به کل واحد نقشه، بدون در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی خاک، نیازمندی به حفر تعداد زیاد خاک‌رخ، مبتنی بودن بر میزان دانش و تجربه‌ی کارشناس، مطالعات آزمایشگاهی گسترده و زمان‌بر بودن از مهم‌ترین محدودیت‌های نقشه‌برداری سنتی خاک می‌باشند (۱۷). به همین منظور در راستای کاهش هزینه و زمان اجرای مطالعات خاکشناسی و نیز افزایش دقت آن‌ها، در سال‌های اخیر استفاده از روش نقشه‌برداری رقومی خاک رو به گسترش بوده است. نقشه‌برداری رقومی خاک، بر اساس ویژگی‌های محیطی که به‌سادگی قابل دست‌یابی هستند؛ کلاس‌های خاک یا ویژگی‌های آن را پیش‌بینی می‌کند. در واقع، در هر موقعیت مشاهده‌ی خاک، تعدادی از متغیرهای محیطی وجود دارند که همبستگی بالایی با کلاس‌ها یا ویژگی‌های خاک نشان می‌دهند که یافتن این ارتباط و پیش‌بینی کلاس و ویژگی‌های خاک در نقاط دیگر، پایه و اساس نقشه‌برداری رقومی خاک است (۱۴). بخش مهمی از فرآیند نقشه‌برداری رقومی، انتخاب مدل مناسب برای ایجاد ارتباط بین کلاس‌های خاک و پارامترهای محیطی می‌باشد (۴). تاکنون روش‌های مختلفی از جمله رگرسیون لاجیستیک و چند-جمله‌ای (۱۰ و ۱۲)، درختان تصمیم‌گیری تصادفی (۱۵)، شبکه‌های عصبی- مصنوعی (۳ و ۱۳) و درخت تصمیم (۲۲ و ۴) برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده شده‌اند.

اکثر مطالعات در زمینه‌ی نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در جهان و ایران در سطوح بالای رده‌بندی و با استفاده از سامانه‌ی رده-بندی آمریکایی انجام شده‌اند. این در حالی است که برتری هر یک از سامانه‌های رده‌بندی برای طبقه‌بندی، به ویژگی‌های خاک مورد مطالعه بستگی دارد. با استفاده از دو سامانه‌ی رده‌بندی (آمریکایی و جهانی) با شناخت و آگاهی دقیق از شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان کلاس‌های خاک را در سطوح بالا با اطمینان قابل قبولی بدون مطالعات آزمایشگاهی و در مواردی حتی بدون مطالعات صحرایی، پیش‌بینی نمود. بنابراین، بر مبنای هر کدام از سامانه‌های رده‌بندی، چالش اساسی در رابطه با تهیه‌ی نقشه خاک در سطوح پایین‌تر می‌باشد که از نظر مدیریتی قابل اهمیت هستند. به دلیل پیچیدگی زیاد خاک در سطوح پایین رده‌بندی و نیازمندی به انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی زیاد، اطلاعات کم‌تری از خاک در این سطوح در دسترس می‌باشند. تاکنون تأثیر سامانه‌های رده‌بندی بر میزان صحت روش‌های نقشه‌برداری رقومی مورد توجه کافی قرار نگرفته است. بنابراین، در پژوهش حاضر توانایی هر یک دو سامانه‌ی آمریکایی و جهانی برای تفکیک و بیان ویژگی‌های خاک‌ها، تأثیر هر کدام از این سامانه‌ها بر صحت نتایج پیش‌بینی و کارایی مدل‌های مختلف رقومی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

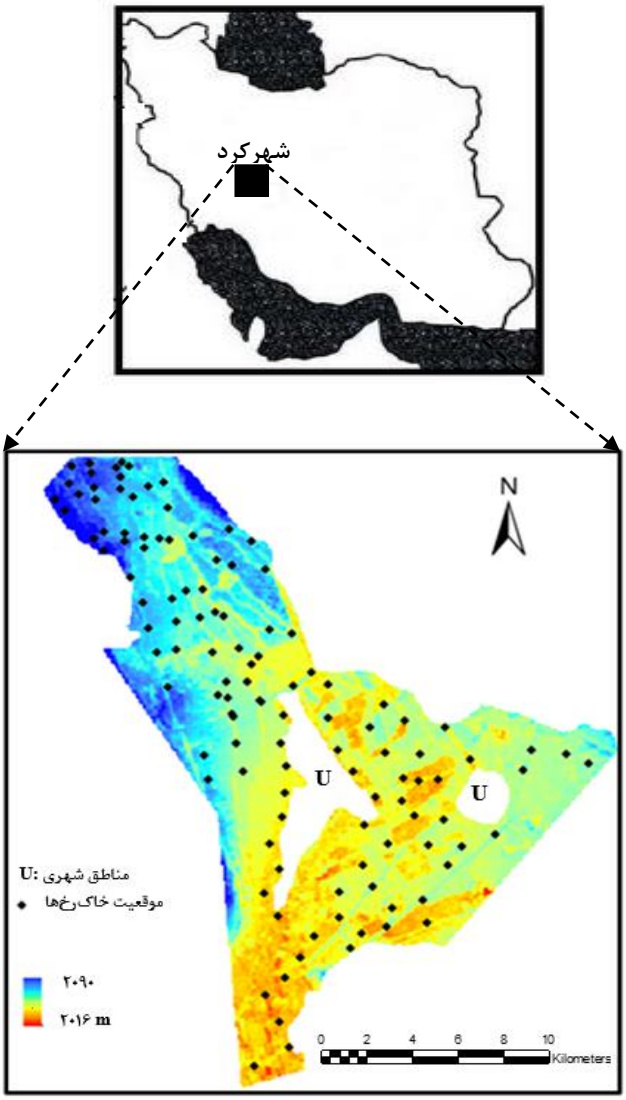
### معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۸۸۰۰ هکتار، شامل بخشی از دشت شهرکرد می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی ´۴۷ °۵۰ تا ´۰۰ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۱۳ °۳۲ تا ´۲۳ °۳۲ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین ارتفاع از سطح دریا، بارندگی و دمای سالیانه‌ی منطقه به ترتیب، ۲۰۵۰ متر، ۳۲۲ میلی‌متر و ۱۲/۵ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی، به‌ترتیب، زریک و مزیک می‌باشند.

خاک‌های این منطقه به‌طور عمده بر روی رسوبات رسی و سیلتی مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی (دوره‌ی کواترنری) تشکیل شده‌اند و بخش اعظم این دشت به‌واسطه‌ی وجود زمین‌های حاصلخیز، تحت کشت قرار دارد. کاربری عمده‌ی اراضی در این منطقه، کشت آبی گندم، یونجه و ذرت می‌باشد.

### مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و رده‌بندی خاک‌ها

بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی (۱۶)، ۱۲۰ خاک‌رخ با فواصل تقریبی ۷۵۰ متر حفر و تمامی خاک‌رخ‌های حفرشده، بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (۱۹) تشریح گردیدند و از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک، بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند و بر اساس اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرایی و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، رده‌بندی خاک‌رخ‌ها بر مبنای سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (۲۰) تا سطح فامیل و سامانه‌ی جهانی (۱۱) تا سطح واحد نهایی گردید.




**شکل ۱- منطقه‌ی مورد مطالعه به همراه موقعیت خاک‌رخ‌ها**

**Figure 1- Location of the study area with pedons position**

## جمع‌آوری پارامترهای محیطی

بر اساس مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر که از وب‌سایت مدل رقومی ارتفاع جهانی استر تهیه گردید (۲۴)، ویژگی‌های اولیه و ثانویه‌ی مدل رقومی ارتفاع شامل درصد شیب[1]، جهت شیب[2]، انحنای خالص[3]، انحنای نیم‌رخ[4]، انحنای سطحی[5]، جهت جریان[6]، تجمع جریان[7]، تابش مستقیم[8]، مدت تابش[9]، تابش پخشیده[10]، شاخص قدرت جریان[11]، شاخص خیسی[12] و شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا[13] با استفاده از نرم‌افزار SAGA تعیین گردیدند. شاخص‌های سنجش از دور (شامل شاخص گیاهی

1- Slope
2- Aspect
3- Curvature
4- Profile curvature
5- Plan curvature

6- Flow direction
7- Flow accumulation
8- Direct radiation
9- Duration radiation
10- Diffuse radiation
11- Stream power index
12- Wetness index
13- Multi-resolution valley bottom flatness index

تفاضلی نرمال شده، شاخص گیاهی عمودی، شاخص رس و شاخص کربنات) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ (سال ۲۰۱۴) بدست آمدند. همچنین، نقشه‌ی زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، نقشه‌ی خاک موجود در منطقه (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) و نقشه‌ی ژئومورفولوژی منطقه (با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰)، به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت، مطابق با اندازه‌ی پیکسلی پیشنهاد شده برای نقشه‌برداری در سطح نیمه‌تفصیلی (۱۴) تمامی پارامترهای کمکی به نقشه‌هایی با اندازه‌ی پیکسل ۵۰ متر تبدیل شدند.

### روش‌های نقشه‌برداری رقومی

در این پژوهش، مدل‌های رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه‌های عصبی- مصنوعی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده شدند. کلاس‌های خاک در سطوح مختلف بر اساس هر یک از سامانه‌های رده‌بندی به همراه پارامترهای محیطی برای مدل‌ها تعریف شدند و سپس، پیش‌بینی بر اساس ارتباط آن‌ها با پارامترهای محیطی انجام گردید. مدلسازی با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری caret و در نرم‌افزار R انجام شد. برای تمامی مدل‌ها، با استفاده از شاخص تأثیر نسبی، سهم هر متغیر در پیش‌بینی مشخص شد.

### ارزیابی صحت مدل‌ها

داده‌ها به‌طور تصادفی به داده‌های آموزشی (۸۰ درصد) و اعتبارسنجی (۲۰ درصد) تقسیم شدند. مدل‌های مختلف با داده‌های آموزشی برازش داده شدند و سپس پیش‌بینی بر اساس داده‌های اعتبارسنجی انجام شد. ارزیابی صحت مدل‌ها در پیش‌بینی کلاس‌های خاک بر اساس دو سامانه در تمامی سطوح با مقایسه‌ی کلاس‌های خاک مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده، با استفاده از شاخص‌های صحت عمومی (رابطه ۱) و Brier score (رابطه ۲) انجام شد (۴):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_{ii}}{N} \quad (۱)$$

که در آن، OA صحت عمومی و N تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

$$\text{Brier score} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{r}\sum_{i=1}^{n}(F_{ij} - E_{ij})^2 \quad (۲)$$

که در آن، r، n و $F_{ij}$، به‌ترتیب، عبارت‌اند از تعداد کلاس‌ها، تعداد مشاهدات و احتمال تخمین اینکه مشاهده‌ی $n_i$ به کلاس $r_j$ متعلق باشد. اگر کلاس مشاهده شده با کلاس پیش‌بینی شده یکی شود، $E_{ij}$ برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

در نهایت، مدلی با بالاترین مقدار صحت عمومی و کم‌ترین مقدار Brier score، به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک بر مبنای هر سامانه و در هر سطح رده‌بندی در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

نتایج رده‌بندی خاک‌رخ‌ها نشان داد که بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی در منطقه‌ی مورد مطالعه در سطح رده، تحت‌رده، گروه بزرگ، تحت‌گروه و فامیل، به‌ترتیب، ۲، ۳، ۵، ۸ و ۴۷ نوع خاک وجود دارد در حالی‌که بر اساس سامانه‌ی رده‌بندی جهانی، خاک‌ها به‌ترتیب در سطح گروه مرجع و واحد، به ۳ و ۹۰ نوع خاک طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین، نتایج نشان داد که در رابطه با خاک‌های مورد مطالعه، سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی توانایی بهتری در بیان ویژگی‌های خاک، نسبت به سامانه‌ی جهانی دارد. به دلیل تعداد زیاد پروفیل، فقط رده‌بندی برخی از پروفیل‌ها برای نمونه آورده شده است (جدول ۱). به‌عنوان مثال، در رابطه با توصیف کم‌عمق بودن برخی از خاک‌رخ‌ها که سامانه‌ی جهانی در به‌کارگیری گروه مرجع لپتوسول یا حتی پیشوند لپتیک ناتوان است؛ سامانه‌ی آمریکایی در سطح فامیل این مطلب را با بیان کلاس Shallow نشان می‌دهد (خاک‌رخ شماره ۴). مسئله‌ی دیگری که به‌وفور در رابطه با خاک‌رخ‌های مورد مطالعه، مشاهده می‌شود؛ کاربرد کلاس فعالیت تبادل کاتیونی می‌باشد که اطلاعاتی در رابطه با حاصلخیزی خاک بیان می‌کند ولی این موضوع به هیچ عنوان در سامانه‌ی جهانی مدنظر قرار نگرفته است (خاک‌رخ‌های شماره ۱ و ۴). استفاده از رژیم‌های رطوبتی و حرارتی در سامانه‌ی جهانی هیچ جایگاهی ندارد در حالی‌که سامانه‌ی آمریکایی با به‌کار بردن رژیم‌های رطوبتی به ویژه در سطح تحت‌رده و بیان رژیم حرارتی در سطح فامیل، تلاش می‌کند تا توصیف بهتری از شرایط خاک را از نظر رطوبت و دما برای کاربران ارایه نماید (تمامی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه). در رابطه با برخی از خاک‌رخ‌ها، سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی وجود افق آرجیلیک در خاک را با به‌کار بردن رده‌ی آلفی‌سولز به‌خوبی نشان می‌دهد و این در حالی است که سامانه‌ی جهانی از توصیف‌کننده‌ی اصلی لوویک استفاده می‌کند و این ویژگی در سطح گروه مرجع ارایه نمی‌شود (خاک‌رخ شماره ۳).

بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی، مقادیر صحت عمومی برای مدل‌های مورد بررسی در سطوح رده، تحت‌رده، گروه بزرگ، تحت‌گروه و فامیل، به‌ترتیب از ۰/۹۵ تا ۱، ۰/۷۹ تا ۰/۸۷، ۰/۵ تا ۰/۶۶، ۰/۳۷ تا ۰/۵ و ۰/۰۸ تا ۰/۱۲ تغییر می‌کند (جدول ۲) در حالی‌که مقادیر صحت عمومی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک با استفاده از سامانه‌ی جهانی در مدل‌های مختلف در سطح گروه مرجع از ۰/۶۶ تا ۰/۷۹ متغیر است.

**جدول ۱- رده‌بندی برخی از خاک‌رخ‌ها بر مبنای سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و جهانی**

**Table 1- Classification of some pedons based on Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources systems**

| شماره پروفیل Pedons Number | سامانه‌ی رده‌بندی Classification System | |
|---|---|---|
| | آمریکایی (۲۰۱٤) Soil Taxonomy (2014) | جهانی (۲۰۱٤) World Reference Base for Soil Resources (2014) |
| ۱ | Fine, Mixed, Semiactive, Mesic Typic Calcixerepts | Haplic Calcisols (Aric, Clayic, Loamic, Ochric) |
| ۲ | Fine-silty, Carbonatic, Mesic Typic Calcixerepts | Haplic Calcisols (Aric, Hypercalcic, Loamic) |
| ۳ | Fine, Carbonatic, Mesic Calcic Haploxeralfs | Luvic Calcisols (Aric, Clayic) |
| ۴ | Fine-silty, Mixed, Active, Mesic, Shallow Petrocalcic Calcixerepts | Petric Calcisols (Aric) |

در سطح واحد، مقدار صحت عمومی برای مدل‌های رگرسیون درختی توسعه‌یافته و شبکه‌ی عصبی- مصنوعی برابر صفر است و مدل‌های جنگل‌های تصادفی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای اصلا قادر به پیش‌بینی کلاس‌های خاک در این سطح نیستند (جدول ۳) که این موضوع احتمالا به دلیل وجود کلاس‌های خاک زیاد در این سطح و عدم توانایی این مدل‌ها در پیش‌بینی کلاس‌های خاک مربوط می‌باشد. بنابراین، صحت نتایج برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی جهانی حتی در سطح گروه مرجع هم کم‌تر از صحت پیش‌بینی بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی در سطح رده می‌باشد.

**جدول ۲- ارزیابی مدل‌ها برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی**

**Table 2- Performance of models to predict soil classes at different taxonomic levels based on Soil Taxonomy**

| نوع مدل Type of model | شاخص صحت Accuracy index | رده Order | تحت‌رده Suborder | گروه بزرگ Great group | تحت‌گروه Subgroup | فامیل Family |
|---|---|---|---|---|---|---|
| درختان تصمیم‌گیری تصادفی Random forest | OA | 1.0 | 0.79 | 0.5 | 0.5 | 0.08 |
| | Brier score | 0.02 | 0.25 | 0.6 | 0.66 | - |
| رگرسیون درختی توسعه‌یافته Boosted regression tree | OA | 1.0 | 0.83 | 0.62 | 0.37 | 0.12 |
| | Brier score | 0.04 | 0.31 | 0.56 | - | - |
| شبکه عصبی-مصنوعی Artificial neural networks | OA | 0.95 | 0.87 | 0.58 | 0.41 | 0.04 |
| | Brier score | 0.08 | 0.26 | 0.58 | - | - |
| رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای Multinomial logistic regression | OA | 0.95 | 0.83 | 0.66 | 0.5 | 0.08 |
| | Brier score | 0.09 | 0.29 | 0.54 | 0.73 | - |

صحت به‌دست آمده در سطح گروه مرجع، تقریبا مشابه با نتایجی است که در سطح تحت‌رده بر مبنای سامانه‌ی آمریکایی به‌دست آمده است. بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی در سطح تحت‌رده، خاک‌های منطقه شامل زرپتز، اکوئپتز و زرالفز می‌باشند که فراوانی آن‌ها به‌ترتیب، ۷۸، ۹ و ۱۳ درصد می‌باشد. بر مبنای سامانه‌ی جهانی، خاک‌ها در سطح گروه مرجع شامل کلسی‌سول، کمبی‌سول و لووی‌سول هستند که فراوانی آن‌ها به‌ترتیب عبارت از ۷۰، ۲۷ و ۲ درصد است. باتوجه به این نتایج، می‌توان گفت که سامانه‌ی آمریکایی خاک‌های منطقه را همگن‌تر (یکنواخت‌تر) طبقه‌بندی می‌کند و شاید صحت مدل متأثر از نوع سامانه‌ی رده‌بندی و معیارهای قراردادی است که هر کدام از این سامانه‌ها برای رده‌بندی خاک در نظر می‌گیرند. به عبارت دیگر، هر چه سامانه‌ی رده‌بندی مورد استفاده بتواند توزیع خاک‌ها را در منطقه‌ی مورد مطالعه بهتر بیان کند در این شرایط مدل می‌تواند ارتباط قوی‌تری با پارامترهای محیطی برقرار نماید و صحت پیش‌بینی نیز افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که اگر تعداد کلاس‌های خاک در هر دو سامانه یکسان باشد الزاما به صحت یکسانی در پیش‌بینی منجر نمی‌گردد بلکه توزیع خاک‌ها در بین کلاس‌ها نیز نقش مهمی بر صحت نتایج دارد.

در هر دو سامانه‌ی رده‌بندی، صحت پیش‌بینی برای سطوح مختلف رده‌بندی متفاوت می‌باشد و مقدار صحت عمومی از سطوح

بالای رده‌بندی به سمت سطوح پایین‌تر کاهش می‌یابد و میزان این کاهش در سطوح پایین‌تر بیشتر قابل مشاهده است (جدول‌های ۲ و ۳) که این امر احتمالا می‌تواند به دلایل زیر مربوط باشد:

در سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک، معمولا تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی افزایش می‌یابد. برای مثال، در منطقه‌ی مورد مطالعه، بر مبنای سامانه‌ی آمریکایی، تعداد کلاس‌ها از ۲ کلاس در سطح رده به ۴۷ کلاس در سطح فامیل افزایش یافته است (جدول ۲). با استفاده از سامانه‌ی جهانی، تعداد کلاس‌ها در سطح واحد ۳۰ برابر نسبت به گروه مرجع افزایش نشان می‌دهد (جدول ۳). پژوهشگران مختلفی نشان داده‌اند که فراوانی کلاس‌های خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه، فاکتور مهمی در تعیین خلوص نقشه‌های خاک بر مبنای روش نقشه‌برداری رقومی می‌باشد (۱۳، ۱۵ و ۲۳).

**جدول ۳- ارزیابی مدل‌ها برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف سامانه‌ی رده‌بندی جهانی**

**Table 3- Performance of models to predict soil classes at different levels of soil classification based on World Reference Base for Soil Resources**

| نوع مدل<br>Type of model | شاخص صحت<br>Accuracy index | سطح گروه مرجع<br>Reference Soil Groups level | سطح واحد<br>Unit level |
|---|---|---|---|
| درختان تصمیم‌گیری تصادفی<br>Random forest | OA | 0.66 | ۰ |
| | Brier score | 0.54 | - |
| رگرسیون درختی توسعه‌یافته<br>Boosted regression tree | OA | 0.7 | ۰ |
| | Brier score | 0.37 | - |
| شبکه عصبی- مصنوعی<br>Artificial neural networks | OA | 0.66 | ۰ |
| | Brier score | 0.44 | - |
| رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای<br>Multinomial logistic regression | OA | 0.79 | ۰ |
| | Brier score | 0.28 | - |

در سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک، معمولا تعداد مشاهدات در هر کلاس طبقه‌بندی کم می‌شود. به‌عنوان مثال، در رابطه با خاک‌های مورد مطالعه، در سطح فامیل سامانه‌ی آمریکایی و یا گروه مرجع در رده‌بندی جهانی برای هر کلاس در بسیاری از مواقع تنها یک مشاهده وجود دارد که این امر باعث می‌شود که فرآیند آموزش مدل و درک روابط بین پارامترهای محیطی و کلاس‌های خاک به‌خوبی انجام نشود. استوروگل و همکاران (۲۱) بیان کردند که در مناطقی با وجود داده‌های محدود، صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده به‌عنوان چالشی برای این‌گونه مطالعات به‌حساب می‌آید.

نتایج نشان می‌دهند که مدل‌های مختلف مورد بررسی، توانایی یکسانی در پیش‌بینی کلاس‌های خاک بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی در این منطقه دارند (جدول ۲). بنابراین، می‌توان بیان نمود که در این پژوهش بر مبنای سامانه‌ی آمریکایی، نوع مدل استفاده شده تأثیری در صحت پیش‌بینی نداشته است در حالی‌که بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی جهانی، بالاترین صحت عمومی و پایین‌ترین مقدار Brier score برای مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای بدست آمده است (جدول ۳). در تمامی مدل‌ها بر مبنای سامانه‌ی رده‌بندی جهانی در سطح واحد یا اصلا مدل‌ها قادر به پیش‌بینی کلاس‌های خاک نبودند یا اینکه پیش‌بینی، قابل اعتماد نبوده است (صحت عمومی که نشان‌دهنده‌ی تعداد کلاس‌هایی است که به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند؛ برابر با صفر به‌دست آمده است). بر مبنای سامانه‌ی آمریکایی در تمامی مدل‌ها، از سطوح بالای رده‌بندی به سمت سطوح پایین‌تر، مقادیر شاخص Brier score افزایش می‌یابند که حاکی از افزایش عدم قطعیت در سطوح پایین رده‌بندی (تحت‌گروه و فامیل) است (جدول ۲). مقادیر Brier score از صفر تا ۲ تغییر می‌کند و مقادیر کم‌تر آن نشان‌دهنده‌ی کارایی بهتر مدل در پیش‌بینی می‌باشد (۴). برای تمامی مدل‌ها در دو سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی و جهانی برای سطوح پایین رده‌بندی، محاسبه‌ی شاخص Brier score امکان‌پذیر نبود زیرا برخی از مدل‌ها برای اینکه بتوانند احتمال تخمین کلاس‌ها را بدست آورند به بیش از سه مشاهده در هر کلاس نیاز دارند (۴) ولی در مطالعه‌ی حاضر در سطوح پایین رده‌بندی برای اکثر کلاس‌های خاک، کمتر از دو مشاهده وجود داشت.

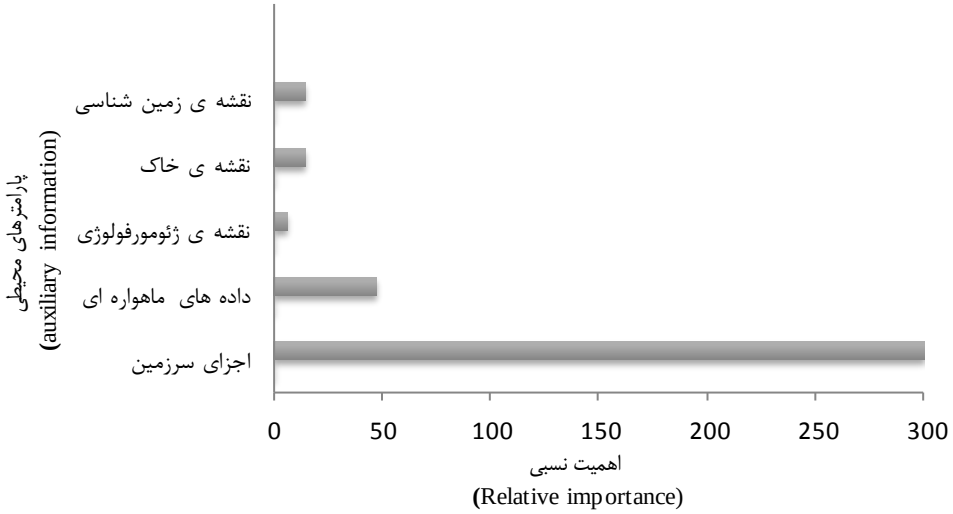
برای اکثر مدل‌ها و در سطوح مختلف هر دو سامانه‌ی رده‌بندی، در بین پارامترهای محیطی استفاده‌شده، اجزای سرزمین مهم‌ترین پارامترها در پیش‌بینی کلاس‌های خاک بودند (شکل ۲ و جدول ۴) در حالی‌که در مدل‌های شبکه‌ی عصبی- مصنوعی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای، شاخص‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مانند شاخص‌های گیاهی، شاخص رس و شاخص کربنات

به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای محیطی شناخته شدند. بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان بیان نمود که مدل‌های مختلف هر کدام، پارامترهای محیطی مختلفی را برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک استفاده نموده‌اند و در چنین شرایطی (وجود مدل‌هایی با صحت یکسان) مدلی از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد که از پارامترهای محیطی سهل‌الوصول‌تر و ارزان‌تر استفاده نماید. این مسئله لزوم بررسی مدل‌های دیگر را در مناطق دیگر ایجاب می‌کند و هنوز نمی‌توان با اطمینان، مدل مشخصی را برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در مناطق دیگر توصیه نمود. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۳) توانایی مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک را در استان کردستان مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که مدل‌های شبکه‌های عصبی- مصنوعی و درخت تصمیم، بالاترین صحت را برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک تا سطح فامیل داشته‌اند.

اجزای سرزمین با تأثیر بر درجه حرارت، میزان رطوبت و میزان پوشش گیاهی بر فرآیندهای خاک‌سازی تأثیرگذار هستند و توزیع مکانی خاک‌ها را کنترل می‌نمایند. باقری بداغ‌آبادی و همکاران (۱) بیان کردند که شاخص خیسی، مدت تابش، شیب و شاخص رسوب، مهم‌ترین ویژگی‌های توپوگرافیکی تأثیرگذار بر توزیع خاک‌ها در منطقه‌ی بروجن استان چهارمحال و بختیاری بوده‌اند. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۳) بیان کردند که اجزای سرزمین مهم‌ترین پارامترها در توجیه پراکنش خاک‌ها در منطقه‌ی بانه در استان کردستان هستند.

## نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش حاکی از آن است که اگرچه سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی شرایط خاک‌های مورد مطالعه را بهتر توصیف می‌کند اما با استفاده از تکنیک‌های رقومی نمی‌توان نتایج قابل قبولی را در سطوح پایین این رده‌بندی به‌دست آورد. در شرایطی که تنوع کلاس‌های خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه زیاد باشد؛ علاوه بر آنکه تهیه‌ی نقشه‌های پیش‌بینی کلاس خاک در سطوح پایین رده‌بندی که بیش‌تر با نحوه‌ی مدیریت خاک در ارتباط می‌باشند از صحت بالایی برخوردار نیستند بلکه شاید به دلیل بومی نبودن سامانه‌های رده‌بندی و در نظر نگرفتن معیارهای متناسب با نوع خاک‌ها در یک منطقه، از ضعف‌هایی برای بیان واقعیت خاک‌های منطقه برخوردار می‌باشند. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که تهیه‌ی نقشه‌های ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های رقومی به‌شرطی که از صحت تخمین بالایی برخوردار باشند مناسب‌تر از تهیه‌ی نقشه‌های کلاس‌های خاک باشد. سطح و سامانه‌ی رده‌بندی مورد نظر، میزان تنوع و مساحت خاک‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه و توزیع مکانی آن‌ها، تراکم نمونه‌برداری و نوع پارامترهای محیطی استفاده شده از مهم‌ترین عواملی می‌باشند که می‌توانند صحت پیش‌بینی کلاس‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین، استفاده از روش‌های نقشه‌برداری رقومی همچنان نیازمند بررسی بیش‌تری در سایر نقاط جهان می‌باشد.




**شکل ۲- اهمیت نسبی پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح گروه مرجع با استفاده از مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای**

**Figure 2- Relative importance of auxiliary information used to predict soil classes at Reference Soil Groups level using multinomial logistic regression model**

**جدول ٤- پارامترهای محیطی انتخاب شده توسط هر مدل برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی**

**Table 4- The auxiliary information selected by each model to predict soil classes at different taxonomic levels**

| سطوح رده‌بندی Taxonomic levels | مدل‌های مورد استفاده Using models | | | |
|---|---|---|---|---|
| | درختان تصمیم‌گیری تصادفی Random forest | رگرسیون درختی توسعه‌یافته Boosted regression tree | شبکه عصبی- مصنوعی Artificial neural networks | رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای Multinomial logistic regression |
| رده Order | جهت شیب، تابش مستقیم و انحنای سطحی Aspect, Direct radiation, Plan curvature | جهت شیب، شاخص گیاهی عمودی، انحنای خالص و شاخص همواری دره با درجه‌ی تفکیک بالا Aspect, Perpendicular vegetation index, Curvature, Multi-resolution valley bottom flatness index | شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده و انحنای سطحی Normalized difference vegetation index, Plan curvature | شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص رس و شاخص کربنات Normalized difference vegetation index, Clay index, Carbonate index |
| تحت‌رده Suborder | ارتفاع، جهت شیب، شاخص خیسی و تابش مستقیم Elevation, Aspect, Wetness index, Direct radiation | تابش مستقیم و ارتفاع Direct radiation, Elevation | شیب و شاخص کربنات Slope, Carbonate index | شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص رس و شاخص کربنات Normalized difference vegetation index, Clay index, Carbonate index |
| گروه بزرگ Great group | ارتفاع و تابش مستقیم Elevation, Direct radiation | ارتفاع، تابش مستقیم، شاخص قدرت جریان و شاخص همواری دره با درجه‌ی تفکیک بالا Elevation, Direct radiation, Multi-resolution valley bottom flatness index | شاخص گیاهی عمودی و تجمع جریان Perpendicular vegetation index, Flow accumulation | شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، شاخص رس و شاخص کربنات Normalized difference vegetation index, Clay index, Carbonate index |
| تحت‌گروه Subgroup | ارتفاع، تابش مستقیم، جهت شیب و شاخص همواری دره با درجه‌ی تفکیک بالا Elevation, Direct radiation, Aspect, Multi-resolution valley bottom flatness index | ارتفاع، تابش مستقیم و شیب Elevation, Direct radiation, Slope | تجمع جریان و شاخص گیاهی عمودی Flow accumulation, Perpendicular vegetation index | شاخص کربنات، شاخص رس و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده Carbonate index, Clay index, Normalized difference vegetation index |
| فامیل Family | جهت شیب، جهت جریان و انحنای سطحی Aspect, Flow direction, Plan curvature | شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، ارتفاع و تجمع جریان Normalized difference vegetation index, Elevation, Flow accumulation | ارتفاع و جهت شیب Elevation, Aspect | ارتفاع و شاخص قدرت جریان Elevation, stream power index |

پیشنهاد می‌گردد که تهیه‌ی نقشه‌های رقومی در مناطق دیگر کشور با استفاده از هر دو سامانه مورد بررسی قرار گیرد تا با اطمینان بیش‌تری بتوان در رابطه با کاربرد این تکنیک‌ها برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در کشورهایی که هنوز یک سامانه‌ی محلی برای

طبقه‌بندی خاک‌های آن‌ها وجود ندارد اظهار نظر نمود. از طرفی، هر کدام از سامانه‌های آمریکایی و جهانی به طور نسبی ممکن است خاک‌های یک منطقه را بهتر بتوانند توصیف نمایند. بنابراین، وجود سامانه‌ی رده‌بندی محلی یکی از راهکارهایی است که ممکن است این ایرادات را به حداقل برساند.

## منابع


1- Bagheri Bodaghabadi M., Salehi M.H., Martinez-Casasnovas J., Mohammadi J., Toomanian N., and Esfandiarpoor Borujeni I. 2011. Using Canonical Correspondence Analysis (CCA) to identify the most important DEM attributes for digital soil mapping applications. Catena, 86: 66- 74.

2- Bahmani M., Salehi M.H., and Esfadiarpoor I. 2014. Comparison of Soil Taxonomy and WRB for description of soil properties in some arid and semiarid regions of Central Iran**.** Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science, 18: 11- 21. (in Persian with English abstract)

3- Behrens T., Forster H., Scholten T., Steinrucken U., Spies E.D., and Goldschmitt M. 2005. Digital soil mapping using artificial neural networks. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168: 21– 33.

4- Brungard C.W., Boettinger J.L., Duniway M.C., Wills S.A., and EdwardsJr T.C. 2015. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. Geoderma, 239– 240: 68– 83.

5- Cline M.G. 1949. Basic principles of soil classification. Soil Science, 67: 81– 91.

6- Esfandiarpour Boroujeni I., Farpoor M.H., and Kamali A. 2011. Comparison between soil taxonomy and WRB for classifying saline soils of Kerman province. Journal of Water and Soil, 25: 1158- 1171. (in Persian with English abstract)

7- Esfandiarpour Borujeni I., Salehi M.H., Karimi A., and Kamali A. 2013. Correlation between soil taxonomy and World Reference Base for soil resources in classifying calcareous soils: (A case study of arid and semi-arid regions of Iran). Geoderma, 197- 198: 126- 136.

8- Eswaran H., Rice T., Ahrens R., and Stewart B.A. 2002. Soil Classification: A Global Desk Reference. CRC Press, Boca Raton.

9- Gerasimova M.I. 2010. Chinese soil taxonomy: between the American and the international classification systems. Eurasian Soil Science, 43: 945– 949.

10- Hengl T., Toomanian N., Reuter H.I., and Malakouti M.J. 2007. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: lessons from Iran. Geoderma, 140: 417– 427.

11- IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

12- Jafari A., Finke P.A., Van deWauw J., Ayoubi S., and Khademi H. 2012. Spatial prediction of USDA-great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. European Journal of Soil Science, 63: 284– 298.

13- Jafari A., Ayoubi S., Khademi H., Finke P.A., and Toomanian N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: a case study from an Iranian arid region. Geomorphology, 201: 86– 97.

14- McBratney A.B., Mendonc M.L., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma, 117: 3– 52.

15- Pahlavan Rad M.R., Toomanian N., Khormali F., Brungard C.W., Komaki, C.B., and Bogaert P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. Geoderma, 232– 234: 97– 106.

16- Rossiter D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories. Soil Science Division, International institute for Aerospace Survey & Earth Science (ITC). 2nd Revised Version.

17- Salehi M.H., and Khademi H. 2008. Fundamentals of soil survey. Isfahan University of Technology Publication. (In Persian).

18- Sarshogh M. 2009. The effect of aspect and position on some of morphological, physical, chemical and mineralogical properties of soils in Chelgerd region, Chaharmahal–va- Bakhtiari province. M.Sc. thesis, Shahrekord university. (In Persian).

19- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils. 3nd Version. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center. Lincoln, NE.

20- Soil Survey Staff. 2014. Soil Taxonomy: A basic systems of soil classification for making and interpreting soil surveys. Twelfth Edition. NRCS. USDA.

21- Stoorvogel J., Kempen J., Heuvelink B., and Bruin S. 2009. Implementation and evaluation of existing knowledge for digital soil mapping in Senegal. Geoderma, 149: 161- 170.

22- Taghizadeh-Mehrjard R., Minasny B., McBratney A.B., Triantafilis J., Sarmadian F., and Toomanian, N. 2012. Digital soil mapping of soil classes using decision trees in central Iran. p. 197– 202. In B. Minasny et al. (eds.)

Digital Soil Assessments and Beyond: Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping. CRC Press, Sydney.

23- Taghizadeh-Mehrjardi R., Nabiollahi K., Minasny B., and Triantafilis J. 2015. Comparing data mining classifiers to predict spatial distribution of USDA-family soil groups in Baneh region, Iran. Geoderma, 253–254: 67– 77.

24- The Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (METI) and the National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2009. Aster Global Digital Elevation Model (Aster GDEM). NASA Official. http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1180-1191

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۱۹۱-۱۱۸۰

# Comparison of Capability of Digitizing Methods to Predict Soil Classification According to the Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources

**Z. Mosleh[1*]- M. H. Salehi[2]- A. Jafari[3]- I. Esfandiarpoor Borujeni[4]**

Received: 04- 07-2015
Accepted: 26-12-2015

**Introduction:** Soil classification generally aims to establish a taxonomy based on breaking the soil continuum into homogeneous groups that can highlight the essential differences in soil properties and functions between classes.The two most widely used modern soil classification schemes are Soil Taxonomy (ST) and World Reference Base for Soil Resources (WRB).With the development of computers and technology, digital and quantitative approaches have been developed. These new techniques that include the spatial prediction of soil properties or classes, relies on finding the relationships between soil and the auxiliary information that explain the soil forming factors or processes and finally predict soil patterns on the landscape. These approaches are commonly referred to as digital soil mapping (DSM) (14). A key component of any DSM mapping activity is the method used to define the relationship between soil observation and auxiliary information (4). Several types of machine learning approaches have been applied for digital soil mapping of soil classes, such as logistic and multinomial logistic regressions (10,12), random forests (15), neural networks (3,13) and classification trees (22,4). Many decisions about the soil use and management are based on the soil differences that cannot be captured by higher taxonomic levels (i.e., order, suborder and great group) (4). In low relief areas such as plains, it is expected that the soil forming factors are more homogenous and auxiliary information explaining soil forming factors may have low variation and cannot show the soil variability.

**Materials and Methods:** The study area is located in the Shahrekord plain of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. According tothe semi-detailed soil survey (16), 120 pedons with approximate distance of 750 m were excavated and described according to the "field book for describing and sampling soils" (19). Soil samples were taken from different genetic horizons, air dried and grounded. Soil physicochemical properties were determined. Based on the pedon description and soil analytical data, pedons were classified according to the ST (20) and WRB (11). Terrain attributes, remote sensing indices, geology, soil and geomorphology map were considered as auxiliary information. All of the auxiliary information were projected onto the same reference system (WGS 84 UTM 39N) and resampled to 50×50 m according to the suggested resolution for digital soil maps (14). Four modeling techniques (multinomial logistic regression (MLR), artificial neural networks (ANNs), boosted regression tree (BRT) and random forest (RF)) were used for each taxonomic level to identify the relationship between soil classes and auxiliary information in each classification system. The models were trained with 80 percent of the data (i.e., 96 pedons) and their validation was tested by remaining 20 percent of the dataset (i.e., 24 pedons) that split randomly. The accuracy of the predicted soil classes was determined by using overall accuracy and Brier score.For each classification system, the model with the highest OA and the lowest BS values were considered as the most accurate model for each taxonomic level.

**Results and Discussion:** The results confirmed that ST showedmore accessory soil properties compared to WRB. The ST described the cation-exchange activity, soil depth classes, temperature and moisture regime. The different models had the same ability for prediction of soil classes across all taxonomic levels based on ST. Among the studied models, MLR had the highest performance to predict soil classes based on WRB. For all the studied models and both classification system, OA values showed a decreasing trend with increasing the taxonomic levels. Predicted soil classes based on the ST had the higher accuracy. Different models selected different auxiliary information to predict soil classes. For most of the models and both classification systems, the terrain attributes were the most important auxiliary information at each taxonomic level.

**Conclusion:** Results demonstrated that although ST showed more accessory soil properties compared to WRB, the DSM approaches have not enough accuracy for prediction of the soil classes at lower taxonomic levels. More investigations are needed in this issue to make a firm conclusion whether DSM approaches are appropriate for prediction of soil classes at the levels that are important for soil management. Prediction accuracy

1 and 2- Ph.D. Student and Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord
(*- Corresponding Author Email: Mosleh.zohreh@yahoo.com)
3- Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman
4- Associate Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan

of soil classes can be influenced by the target taxonomic level and classification system, soil spatial variability in the study area, soil diversity, sampling density and the type of auxiliary information.

**Keywords:** Overall accuracy, Pedon, Random forests, Soil classification systems, Terrain attributes