نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۶، ص. ۱۶۶۴-۱۶۵۱

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 6, Jan.-Feb. 2018, p. 1651-1664

مقایسه کارآیی دو سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی و جهانی خاک در بیان آلودگی‌های زیست‌محیطی
(مطالعه موردی: منطقه لنجانات اصفهان)

رضا مهاجر[1*]- محمدحسن صالحی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

چکیده

یکی از رسالت‌های مهم سامانه‌های طبقه‌بندی خاک، شناسایی تفاوت ویژگی‌های مهم خاک برای اهداف مدیریتی می‌باشد. در سال‌های اخیر اهمیت مد نظر قرار دادن تأثیر انسان در تغییر ویژگی‌های خاک در آخرین نسخه‌های طبقه‌بندی‌خاک مرسوم مانند رده‌بندی امریکایی و جهانی بیش از گذشته، مطرح و مواردی در این رابطه، اصلاح و یا اضافه شده است. هدف از مطالعه حاضر، مقایسه کارایی دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی در بیان آلودگی‌های زیست‌محیطی خاک‌های بخشی از اراضی کشاورزی منطقه لنجانات اصفهان می‌باشد. نمونه‌گیری از خاک سطحی، محصولات کشاورزی رایج و نیز گوشت دام چرا کرده یا تغذیه شده از منطقه گرفته شد و بعد از رده‌بندی ۳۰ خاک‌رخ و تعیین خاک‌رخ شاهد در هریک از واحدهای نقشه خاک (در مجموع پنج خاکرخ شاهد)، در نهایت هر یک از خاک‌رخ‌های شاهد مطابق با آخرین کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) و طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۵) خاک، طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که خاک‌های مزبور در سامانه آمریکایی در دو رده اریدی‌سول و اینسپتی‌سول و بر اساس سامانه طبقه بندی جهانی خاک در سه گروه مرجع گلی سول، کمبی سول و کلسی سول قرار می‌گیرند. با توجه به وجود آلودگی خاک، محصولات کشاورزی و دامی منطقه به برخی فلزات سنگین، سامانه رده‌بندی آمریکایی حتی با وجود آنکه در آخرین نسخه خود در سطح فامیل، کلاسی برای تاثیرات بشری بر روی خاک‌ها اضافه نموده است ولی نتوانست آلودگی خاک‌های منطقه به عناصر سنگین را نشان دهد ولی سامانه جهانی به‌دلیل وجود توصیف‌کننده توکسیک در بیان شرایط زیست‌محیطی و آلودگی خاک‌های مورد مطالعه از کارایی بیشتری برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، توصیف کننده توکسیک، زهکشی ضعیف، سامانه رده‌بندی

مقدمه

در دهه‌های اخیر نقش انسان در تخریب، تغییر و آلودگی خاک‌ها به عنوان یک موضوع مهم در بین دانشمندان علوم خاک مطرح بوده است. توسعه مناطق صنعتی و شهرنشینی، وجود معادن و فعالیت‌های جانبی آن‌ها و توسعه کشاورزی متراکم موجب تغییرات خاک‌ها در مناطق مختلف شده است (۹). تأثیر انسان بر روی خاک‌ها به حدی قابل توجه بوده است که در اغلب سامانه‌های طبقه‌بندی خاک، نام‌هایی مانند آنتروپیک (۱۹)، آنتروپوسول‌ها (۲۱ و ۱۴)، آنتروسول‌ها (۱۳) و آنتروپوزم (۳۰) که بیانگر تأثیر انسان است مشاهده می‌شود.

یکی از دلایل اصلی ایجاد سامانه‌های طبقه‌بندی خاک، شناسایی تفاوت و ویژگی‌های مهم خاک‌ها برای اهداف مدیریتی است. در سال‌های اخیر اهمیت مدنظر قرار دادن تأثیر انسان در تغییر ویژگی‌های خاک در طبقه‌بندی خاک مانند رده‌بندی امریکایی (۲۰۱۴) و جهانی (۲۰۱۵) بیش از گذشته، مطرح و مواردی در این زمینه اصلاح و یا اضافه شده است.

رده‌بندی خاک‌ها به روش آمریکایی و جهانی، دو شیوه‌ی معمول در دنیا و کشور محسوب می‌شوند و هر دو از مقبولیت عمومی برخوردار هستند. به طور کلی، 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 عیب هر دو سامانه این است که پویایی خاک را نادیده گرفته‌اند و در نتیجه نمی‌توانند رفتار خاک را پیش‌بینی کنند (۳۷).

در نسخه قبلی سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک (۲۰۰۷)، دو گروه

۱- استادیار و عضو هیأت علمی گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: reza.mohajer@pnu.ac.ir)
۲- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.61898

مرجع آنتروسول‌ها[1] و تکنوسول‌ها[2] و پسوند توکسیک[3] و زیر مجموعه آن شامل آنتروتوکسیک[4]، اکوتوکسیک[5]، فیتوتوکسیک[6] و زوتوکسیک[7]برای سه گروه مرجع هیستوسول، تکنوسول و گلی سول تعریف شده بود (جدول ۱) اما در نسخه جدید آن (۲۰۱۵) تغییراتی انجام گرفته است. در این راستا بجای واژه پسوند، توصیف کننده‌های مکمل[8] برای همه گروه مرجع‌ها تعریف شده و پسوند توکسیک و زیر مجموعه آن برای همه گروه‌های مرجع به جز چرنوزم، کاستانوزم و فائیوزم اضافه و تعریف شده است. روزیتر (۳۴) در تحقیق خود بر روی طبقه‌بندی خاک‌های شهری و صنعتی اشاره کرده است که پسوند توکسیک می‌تواند برای سایر گروه مرجع‌ها هم مورد استفاده قرار بگیرد.

در سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۰)، افق M (لایه محدود کننده ریشه به‌دلیل وجود مواد ساخته بشری)، پسوند u (که دلالت بر حضور مواد ساخته بشری مانند چوب، آهن، پلاستیک و غیره را در لایه‌های خاک دارد) و پیشوند هشتگ[9] به‌صورت (^) برای افق‌های آلی و معدنی که بشر در جابجایی مواد آن‌ها نقش داشته است تعریف شده‌اند. در رده‌بندی جدید آمریکایی (۲۰۱۴) در سطح فامیل خاک، کلاس جدیدی تحت عنوان مواد انتقالی و تغییر یافته بشری[10] به کلاس‌های قبلی اضافه شده است که این کلاس بیان کننده اطلاعات مفیدی در رابطه با رفتار و تفسیر استفاده از خاک‌هایی است که بر روی مواد انتقالی یا تغییر یافته بشری تشکیل شده است. همچنین در نسخه جدید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) زیرگروه‌هایی برای خاک‌های جابجا شده و تغییر یافته توسط بشر تعریف شده است که از آن جمله می‌توان به آنتراکوئیک، آنترودنسیک، آنتروپورتیک و آنترآلتیک اشاره نمود که این موارد در نسخه‌های قبلی این سامانه وجود نداشت. با این حال، ضرورت مدنظر قرار دادن فرآیندهای آنتروپوژنیک از جمله خاک‌های آلوده به عناصر سنگین، بیش از پیش، احساس می‌شود. بریان و گالبریت (۶) پیشنهاد کرده‌اند کلاس (رده) مجزایی که نسبت به سایر خاک‌ها در اولویت باشد برای چنین خاک‌هایی تعریف گردد.

بهمنی و همکاران (۵) در مطالعه خود با هدف مقایسه سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی خاک در توصیف ویژگی‌های برخی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی به این نتیجه رسیدند که سامانه طبقه‌بندی جهانی در توصیف ویژگی‌های خاک‌های موردمطالعه تا حدی گویاتر است. هرچند در مطالعه آن‌ها هیچ کدام از سامانه‌ها نتوانستند وجود گچ در افق‌های پائینی خاک را نشان دهند. سرشوق و همکاران (۳۶) در مطالعه خود با هدف مقایسه رده‌بندی خاک به دو شیوه‌ی آمریکایی و جهانی در موقعیت‌های مختلف دو جهت شیب منطقه چلگرد استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که رده‌بندی آمریکایی برای نشان دادن ویژگی‌های بارز خاک‌های کم عمق در مناطق نیمه‌خشک، گویاتر از طبقه‌بندی جهانی است. نتایج اسفندیارپور و همکاران (۱۱) نشان داد که به کارگیری سامانه طبقه‌بندی جهانی برای گروه‌بندی خاک‌های شور موجود در مناطق خشک، به‌دلیل استفاده از توصیف کننده‌های مختلف و انعطاف‌پذیری بالاتر در انعکاس خصوصیات مؤثر در نامگذاری خاک‌ها، بهتر می‌تواند واقعیات صحرا را در هر دو بعد افقی و عمودی خاک به نمایش گذارد. سرمست و همکاران (۳۵) در مطالعه اخیر خود که با هدف مقایسه سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی خاک در توصیف خاک‌های آهکی و گچی منطقه مرکزی ایران انجام شد به این نتیجه رسیدند که سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک بدلیل دارا بودن توصیف کننده‌های مکمل مختلف به خصوص برای خاک‌های شور نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی کارامدتر و مؤثرتر می‌باشد.

از آنجا که اساس سامانه‌های رده‌بندی خاک، به‌خصوص سامانه رده‌بندی آمریکایی، به‌طور عمده بر پایه ویژگی‌های مورفولوژیکی طراحی شده است توانایی آن‌ها در تشخیص خاک‌هایی که به‌دلیل فعالیت‌های بشری، دستخوش تغییر قرار می‌گیرند (خاک‌های آنتروپوژنیک) و در عین حال، در ظاهر

خاک‌رخ آن‌ها، چندان تغییری ایجاد نمی‌شود با مشکلات و ابهاماتی روبه‌رو است (۳۳). به‌طور مثال، در خاک‌هایی که فعالیت‌های صنعتی و یا کوددهی فراوان، باعث اضافه نمودن عناصر سنگین به سطح خاک می‌شوند اگرچه این فرآیند جزو فرآیندهای افزایش به خاک است (۴۰)که به‌وسیله یکی از عوامل پنج‌گانه خاکساز مطرح شده توسط ینی (۲۴)که موجود زنده (انسان) است ایجاد شده، ولی کلاس‌ها و طبقه‌های بسیار اندکی برای تشخیص این خاک‌ها در سامانه‌های رده‌بندی وجود دارد (۱). در اروپا نقشه‌برداری از خاک‌هایی که با عناصر سنگین آلوده هستند از جمله موضوعات قابل بحث می‌باشد (۲۸). وجود آلودگی خاک به دو فلز سرب وکادمیم در برخی از نواحی مرکزی و غربی استان اصفهان (۲) باعث شد که منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی زراعی منطقه لنجانات استان اصفهان انتخاب گردد. نزدیکی این اراضی با کارخانجات صنعتی مهمی چون

1- Anthrosols
2- Technosols
3- Toxic
4- Anthrotoxic
5- Ecotoxic
6- Phytotoxic
7- Zootoxic
8- Supplementary qualifiers
9- Caret
10- Human-altered and human-transported material classes

ذوب آهن، سیمان سپاهان، سیمان اصفهان و معدن سرب و روی، موجب گردیده که اهمیت این منطقه دوچندان شود. با توجه به اهمیت امنیت غذایی و نقش مهمی که علم خاک‌شناسی در بیان وضعیت آلودگی اکوسیستم از جمله خاک دارد طبقه‌بندی خاک‌های این منطقه بر اساس دو سامانه امریکایی و جهانی می‌تواند نقاط قوت و ضعف آن‌ها را مشخص نموده و گامی مهم در جهت آگاهی عمومی افراد جامعه بردارد. بنابراین، هدف از انجام این مطالعه، مقایسه نتایج طبقه‌بندی خاک حاصل از دو سامانه رده‌بندی آمریکایی وجهانی و بررسی میزان کارایی دو سامانه مذکور در بیان آلودگی‌های زیست‌محیطی منطقه لنجانات اصفهان می‌باشد.

جدول ۱- انواع توصیف کننده‌های مکمل تاکسیک در سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک (۲۳)

Table 1- Types of toxic supplementary qualifiers in WRB soil classification system

تقسیم‌بندی پسوند تاکسیک در سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک Categorization of toxic supplementary qualifiers in WRB soil classification system	توضیحات Description
Anthrotoxic	تأثیر مواد سمی بر روی سلامت انسان‌هایی که در تماس با این خاک‌ها هستند. The effect of toxic substances on the health of humans who are in contact with these soils.
Ecotoxic	تأثیر مواد سمی بر روی اکولوژی خاک The effect of toxic substances on the soil ecology
Phytotoxic	تأثیر کمبود و یا زیادبود همه عناصر (به جزء آهن، آلومینیوم، سدیم، کلسیم و منیزیم) بر روی رشد گیاهان The effect of deficiency or high levels of all ions other than Fe, Al, Na, Ca and Mg on plant growth
Zootoxic	تأثیر مواد سمی بر روی سلامت انسان‌ها و حیوانات از جمله دام به‌دلیل مصرف گیاهان و محصولات رشد کرده بر روی این خاک‌ها The effect of toxic substances to the health of animals, including humans, that ingest plants grown on these soils.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

بخشی از اراضی کشاورزی منطقه لنجانات استان اصفهان، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (شکل ۱). این منطقه حد فاصل طول‌های جغرافیایی ″۵۲′۱۲°۵۱ تا ″۴۶′ ۳۳°۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۵۷ ′۲۱°۳۲ تا ″۲۹ ′۳۸°۳۲ شمالی قرار گرفته است و دارای میانگین بارش سالانه‌ی ۵۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۹/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. تشکیلات زمین شناسی غالب در منطقه بیشتر شامل تراس‌های آبرفتی مربوط به دوره زمین‌شناسی کواترنر و قسمت کمی از آن شامل تشکیلات آهکی شامل اوربیتالین و آمونیت مربوط به دوره کرتاسه و همچنین رسوبات قدیمی دوره کواترنری است.

بر اساس گزارش‌های خاک‌شناسی موجود، واحدهای نقشه (که از نوع همگون[1] بودند) به نام‌های لنجان، زاینده‌رود، خمینی‌شهر، نکوآباد و اصفهان انتخاب شدند و شش خاک‌رخ در هر یک از آن‌ها حفر شد (در مجموع، ۳۰ خاک‌رخ). مبنای انتخاب ۶ عدد خاکرخ برای هر واحد نقشه مساحت واحدها بوده که از آنجایی که تقریبا همه واحدها دارای مساحت یکسانی بودند با توجه به محاسبات انجام گرفته این عدد بدست آمد. بعد از تشریح هر یک از خاک‌رخ‌ها بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها در صحرا (۳۸)، خاک‌رخ شاهد در هر یک از واحدها انتخاب (در مجموع ۵ خاک‌رخ شاهد) و بعد از نمونه‌گیری از تمامی افق‌های ژنتیکی آن‌ها و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هر یک از افق‌ها، در نهایت مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی خاک (۲۰۱۴) تا سطح فامیل خاک و بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک (WRB) (۲۰۱۵) تا سطح واحد خاک‌رخ‌های شاهد طبقه‌بندی گردیدند (۲۳ و ۴۲).

بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷)، درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۲۹) و ماده آلی به روش سوزاندن تر (۴۵) اندازه‌گیری شدند. pH نمونه‌ها در سوسپانسیون ۲:۱ آب مقطر به خاک با pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲:۱ آب مقطر به خاک با استفاده از EC متر تعیین شدند.

1- Consociation

جدول ۲- برخی ازویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های شاهد سری‌های لنجان و اصفهان

Table 2- Some of the morphological, physical and chemical properties of the representative pedons in the Lenjan and Isfahanseries

نام سری Name of series	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رنگ مرطوب Moist Colour	پایداری مرطوب Consistency Moist	کربنات کلسیم معادل % Carbonate calcium Equivalent %	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	سنگریزه Rock fragments			بافت Texture	غلظت Concentration	گچ (%) Gypsum	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS/m)	pH گل اشباع	خصوصیات مورفولوژیکی و اکسایش و احیاء Redoximorphic properties
									میلی‌متر (mm)								
									2-5	5-20	20-75						
					(%)												
لنجان	Ap	0-30	10YR 4/2	FR	44	34.5	35	30.5	7		25	Clay loam	-	5	1.2	7.8	-
	Bwg1	30-60	10YR 4/2	FR	43	35	34	31	10		30	Clay loam	-	3	0.5	7.5	c,1,P,FMM
	Bwg2	60-100	10YR 4/2	FI	39	34	36	30	20		33	Clay loam	-	0	0.34	7.5	m,1,P,FMM
	Bwg3	100-140	10YR 5/2	FI	42	43	37	20	10		15	Clay	-	0	0.28	7.6	f,1,F,FMM
اصفهان	Ap	0-27	10YR 5/3	FR	40	31	50	19	5	0	0	Silty clay loam	-	10	1.6	7.5	-
	Bwg1	27-50	2.5Y 5/2	FI	41	35	47	18	10	0	0	Silty clay loam	-	3	1.3	7.5	-
	Bwg2	50-65	10YR 5/1	FI	36	57	33	10	0	25	0	clay	-	0	1.1	7.4	f,1,F,FMM
	Bw	65-100	10YR 6/4	VFI	47	65	27	8	10	0	0	clay	-	0	1.3	7.45	m,2,P,FMM
	Bk	100-165	10YR 5/6	VFI	41	65	25	10	0	2	5	clay	K2fl	0	0.9	7.5	m,2,P,FMM

Firmfi:Fewm: Many1: Fine (size) 2: Medium (size)F: FaintP: Prominent FMM: iron-manganese K2: carbonates .VFI: Very FirmFI,FR:Friable

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاکرخ شاهد سری های زاینده‌رود و نکو آباد

Table 3- Some of the morphological, physical and chemical properties of the representative pedon in the Zayanderoud and Nekoabadseries

نام سری Name of series	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رنگ مرطوب Moist Colour	*CEC ($Cmol^{(+)}kg^{-1}$)	پایداری مرطوب Consistency Moist	کربنات کلسیم معادل % Calcium carbonate equivalent %	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	ذرات particles میلی متر (mm) 0.1-2	ذرات particles میلی متر (mm) 2-75	بافت Texture (%)	گچ Gypsum	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	pH گل اشباع	ویژگی‌های کانی‌شناسی و مورفولوژی Redoximorphic properties
						(%)										
زاینده رود	Ap	0-20	10YR 4/2	34.4	VFI	27	29	25	46	5	25	Sandy clay loam	0	0.95	7.95	-
	Bwg1	20-40	2.5Y 4/2	29.5	FI	23	27	21	52	12	35	Sandy clay loam	0	0.84	7.83	-
	Bwg2	40-75	2.5Y 5.5/3	30.4	VFR	27	24	20	56	15	30	Sandy clay loam	0	0.78	7.2	-
	Bwg3	75-100	2.5Y 5/3	34.7	VFR	27	31	25	44	20	35	clay loam	0	0.6	7.4	f,1,F,FMM
	Bw	100-140	10YR 5/4	27.6	VFR	29	30	26	44	20	30	clay loam	0	0.6	7.4	m,2,P,FMM
نکوآباد	Ap	0-25	10YR 5/4	40.4	VFR	41	60	30	10	5 0	0	clay	0	2.1	7.6	-
	Bwg	25-35	2.5Y 5/2	37.2	VFI	38	57	35	8	2 0	0	clay	0	1.2	7.6	c,2,D,FMM
	Bw1	35-80	10YR 5/6	39.5	FI	39	65	25	10	10 0	0	clay	0	0.86	7.5	m,2,P,FMM
	Bw2	80-120	10YR 5/6	38.5	VFI	38	65	23	12	5 0	0	clay	0	1.5	7.7	m,2,P, FMM

Firm VFR:Very Friablec:Common m: Many1: Fine (size)2: Medium (size)m: ManyD: Distinct F: FaintP: Prominent FMM: iron-manganese :VFI: Very FirmFI

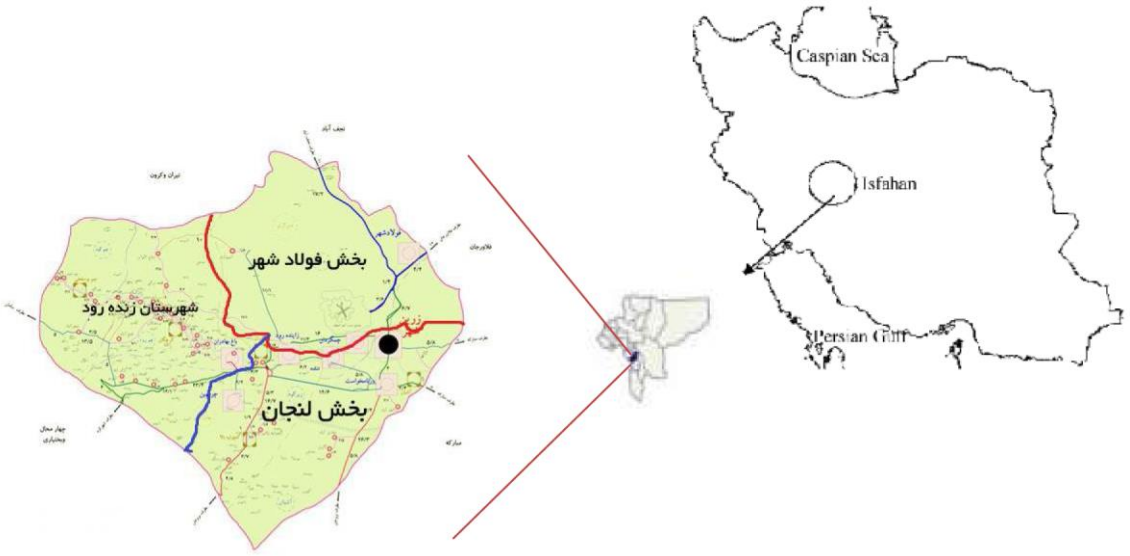
*اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی این خاکرخ برای تعیین کلاس فعالیت تبادل کاتیونی فامیل خاک به‌دلیل دارا بودن کلاس میترالوژی مخلوط ضروری بوده است

جدول ٤- برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاکرخ شاهد سری خمینی‌شهر

Table 4- Some of the morphological, physical and chemical properties of the representative pedon in the Khomeiny shahr series

نام سری Name of series	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رنگ مرطوب Moist Colour	پایداری مرطوب Consistency Moist	کربنات کلسیم معادل % Calcium carbonate equivalent %	سنگریزه Rock fragments (mm) میلی‌متر			بافت Texture	غلظت Concentration	گچ (%) Gypsum	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS/m)	pH گل اشباع	ویژگی‌های اکسیدوریختی Redoximorphic properties
						2-5	5-20	20-75						
					(%)									
خمینی شهر	Ap	0-10	10YR 5/4	VFR	40.5	5	0	0	clay	-	7	2.1	7.6	-
	Bk1	10-35	10YR 6/4	FR	41	5	5	0	clay	k2f1	3	1.95	7.7	-
	Bk2	35-70	10YR 4/6	FR	43.5	5	0	0	clay	k2f1	9	2.2	7.7	-
	Bk3	70-110	10YR 5/2	FI	40.5	5	0	0	clay	k2c2	-	1.86	7.6	c,3,P, FMM
	Bk4	110-150	10YR 6/2	FI	45.5	5	5	0	clay	k2c1	-	2.4	7.7	c,2,P, FMM

Firmf:Few 1: Fine (size) 2: Medium (size)3: Coarse c:Common P: Prominent FMM: iron-manganese K2: carbonates :VFR: Very FriableFI:FR:Friable



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات آمونیوم (۴۴) و گچ به‌روش استون (۲۹) اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که در تعیین کلاس اندازه ذرات فامیل خاک و درصد رس برای تعیین فعالیت تبادل کاتیونی، درصد رس پس از کربنات‌زدایی[1] مد نظر قرار گرفت. برای جداسازی رس نمونه‌ها جهت مطالعه کانی شناسی برای فامیل خاک از روش کیتریک و هوپ (۲۶) استفاده شد.

همچنین به‌منظور برآورد آلودگی خاک، محصولات کشاورزی و گوشت دام منطقه به دو فلز سنگین و خطرناک سرب و کادمیم برای سلامت انسان‌ها و دام، مقدار این فلزات در ۴۰۰ نمونه خاک سطحی به روش هضم اسیدی با اسید نیتریک ۴ مولار (۴۳)، ۷۰ نمونه محصولات مختلف کشاورزی با روش خاکستر خشک و هضم با اسید کلریدریک ۳ نرمال (۴۶)، ۲۰ نمونه گوشت گاو و ۱۰ نمونه گوشت گوسفند به روش هضم با اسید نیتریک خالص غلیظ (۱۲) اندازه‌گیری شد. برای توصیف آماری داده‌ها و بررسی چگونگی و توزیع آن‌ها از آمار کلاسیک استفاده شد. همچنین برای محاسبه شاخص‌های آماری (میانگین، میانه، ضریب تغییرات و انحراف معیار) از نرم‌افزار STATISTICA6استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های شاهد هر واحد نقشه خاک در جدول‌های (۲) تا (۴) آورده شده است. از آن‌جا که گذشت زمان می‌تواند باعث تغییر در ویژگی‌های خاک گردد و همچنین معیارهای هر دو سامانه رده‌بندی دستخوش تغییرات زیادی در طول زمان شده است لذا بایستی به این مطلب اشاره نمود که رده‌بندی خاک‌رخ‌های حفر شده در هر واحد نقشه خاک الزاماً با رده‌بندی‌خاک‌های گزارش شده توسط مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان که در سال‌های ۱۳۵۳ و ۱۳۷۵ تهیه شده یکسان نمی‌باشد.

رده‌بندی هر یک از پروفیل‌های حفر شده در هر واحد نقشه خاک (جدول ۵) نشان می‌دهند که خاک‌های مزبور در سامانه آمریکایی در دو رده آریدی‌سول و اینسپتی‌سول قرار می‌گیرند.

رده‌بندی خاک‌رخ‌ها در هر واحد نقشه خاک نشان می‌دهند که خاک‌های مزبور در سامانه آمریکایی در دو رده اریدی‌سول و اینسپتی‌سول قرار می‌گیرند. بایستی توجه نمود که به‌دلیل نحوه تعریف و اولویت تعریف رده‌های خاک در سامانه آمریکایی، رده خاک‌هایی که دارای زهکشی ضعیف طبیعی یا مصنوعی (خاک‌های احیا و یا دارای رژیم رطوبتی آکوئیک) هستند اجبارا بایستی اینسپتی‌سول انتخاب شود. مطابق تعریف رده‌ها در سامانه امریکایی فقط زمانی این خاک‌ها اریدی‌سول هستند که علاوه بر رژیم رطوبتی آکوئیک، دارای افق سالیک نیز باشند ولی با توجه به اینکه رده اینسپتی‌سول معمولاً در مناطق نیمه‌خشک و مرطوب مشاهده می‌شود و عمده خاک‌های دارای تکامل در مناطق خشک در رده اریدی‌سول قرار می‌گیرند، لذا زیر رده‌ای مانند آکوئیدز[2] برای این نوع خاک‌ها که در حقیقت نوعی اریدی‌سول هستند پیشنهاد می‌شود.

1- Free Carbonate Clay

2- Aquids

جدول ۵- رده‌بندی خاک‌رخ‌های شاهد در هر واحد نقشه خاک در دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و جهانی

Table 5- Classification of the representative pedons in soil units map in ST and WRB systems

نام واحد نقشه خاک Name of soil map unit	فامیل خاک (۴۲) Soil family	سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک (۲۳) WRB soil classification system
لنجان Lenjan	Fine-Loamy, carbonatic, thermic TypicEpiaquepts	CalcaricGleysols (Loamic, Zootoxic)
زاینده‌رود Zayanderuod	Fine-Loamy, mixed, Superactive, calcareous, thermic TypicEpiaquepts	CalcaricGleysols (Loamic, Zootoxic)
نکوآباد Nekooabad	Very fine, mixed, Superactive, thermic, TypicAquicambids	CalcaricCambisols (Clayic, Zootoxic)
اصفهان Isfahan	Fine, carbonatic, thermic, TypicAquicambids	CalcaricCambisols (Loamic, Zootoxic)
خمینی‌شهر Khomeiny shahr	Fine, carbonatic, thermic TypicHaplocalcids	Haplic Calcisols (Clayic, Hypercalcic, Zootoxic)

جدول ٦- مشخصات آماری عناصر سرب و کادمیم (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه خاک سطحی کل منطقه

Table 6- Statistical characteristics of lead and cadmium (mg/kg) in soil surface samples of region

عنصر (Element)	میانگین (Mean)	میانه (Median)	مینیمم (Min)	ماکزیمم (Max)	انحراف استاندارد (SD)	ضریب تغییرات٪ (% CV)	حد استاندارد Estandard limit
کادمیم Cadmium	1.11	1.08	0.18	6.3	0.61	54.95	0.8
سرب Lead	16.86	13.65	1.6	167.8	16.13	95.67	50

جدول ۷- میانگین غلظت سرب وکادمیم و بیشینه رواداری این دو فلز سنگین در محصولات مختلف (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

Table 7- Mean of lead and cadmium concentration and Maximum limit of heavy metals in different crops (mg kg dry weight^{-1})

مشخصات Properties	کاهو Lettuce	کلم Cabbage	چغندر Beetroot	پیاز Onion	شلغم Turnip	یونجه Alfalfa
تعداد نمونه (Samples Number)	15	15	15	10	7	10
میانگین سرب (Mean lead)	4.8±2.8	3.4±1.4	5.4±2.4	2.7±2.3	2.88±1. 95	3.4±2.1
میانگین کادمیم (Mean cadmium)	0.2±0.15	0.14±0.07	0.23±0.08	0.11±0.05	0.11±0.07	0.1±0.06
مینیمم سرب (Minimum lead)	0.55	1.5	1.15	0	0	0
مینیمم کادمیم (Minimum cadmium)	0	0	0.1	0	0	0
ماکزیم سرب (Maximum lead)	8	4.7	8.3	4.3	5.7	7.45
ماکزیمم کادمیم (Maximum lead)	0.7	0.27	0.49	0.25	0.3	0.25
بیشینه رواداری سرب (۲۰) (Maximum limit of lead)	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	-
بیشینه رواداری کادمیم (۲۰) (Maximum limit of cadmium)	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	-
بیشینه مجاز سرب(۷) (Maximum permissible of lead)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	11*
بیشینه مجاز کادمیوم (۷) (Maximum permissible of cadmium)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1*

* بر گرفته از منبع شماره (۱۶)

جدول ۸- مقادیر سرب و کادمیوم (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر) در عضله دو دام گاو و گوسفند

Table 8- Value of lead and cadmium (mg kg wet weight^{-1}) in muscle of cow and sheep

کادمیم Cadmium	سرب Lead	مشخصات‌آماری Statistical characteristics	دام Livestock
0.019	4.8	میانگین (Mean)	عضله گاو (تعداد نمونه= ۲۰) (Muscle of cow) NO=20
0	3.57	حداقل (Min)	
0.04	7.93	حداکثر (Max)	
0.013	0.93	انحراف معیار (SD)	
0.016	4.1	میانگین (Mean)	عضله گوسفند (تعداد نمونه= ۱۰) (Muscle of sheep) No.=10
0	4	حداقل (Min)	
0.035	4.67	حداکثر (Max)	
0.015	0.25	انحراف معیار (SD)	
0.05	0.1	استاندارد ایران و اتحادیه اروپا (۸) (Iran and Europe Union's permissible limit)	

از لحاظ طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۵)، خاک‌ها در سه گروه مرجع کمبی‌سول، گلی‌سول و کلسی‌سول قرار گرفتند. با توجه به اینکه خاک‌رخ‌های مورد مطالعه در سری‌های نکوآباد و اصفهان در گذشته به‌دلیل کشت برنج حداقل چند روزی از سال از آب اشباع می‌شده‌اند رنگ خاک به خاطر احیای آهن و منگنز شرایط گلی بودن را نشان می‌دهد (جدول‌های ۲ و ۳). به همین دلیل، پسوند g برای افق‌های مربوطه به‌کار رفته است ولی در حال حاضر این خاک‌ها به‌دلیل خشکسالی و کمبود آب به کشت برنج اختصاص نمی‌یابند و خاک از آب اشباع نمی‌گردد. بنابراین، انتخاب گروه مرجع گلی‌سول[1] برای این خاک‌ها ممکن نیست. همچنین، در شرایط فعلی، این خاک‌ها برخلاف این‌که دارای شرایط رنگ برای خاک‌های گلی هستند ولی فاقد شرایط احیایی[2] تعریف شده در سامانه جهانی می‌باشند. بنابراین، شرایط برای انتخاب خاک‌های آنتروسولز[3] نیز برای این خاک‌ها برقرار نیست و اجباراً بایستی آن‌ها را در گروه مرجع کمبی‌سول قرار داد.

نکته قابل توجه دیگر در رده‌بندی خاک‌ها وجود یک تفاوت مشخص در دو سامانه رده‌بندی است. همانطور که در نتایج رده‌بندی هر یک از خاک‌رخ‌های شاهد نشان داده شده است بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۵) برای تمامی گروه‌های مرجع پسوند توکسیک به‌صورت زوتوکسیک قابل استفاده است. طبق تعریف پسوند تاکسیک موقعی استفاده می‌شود که در برخی لایه‌ها تا عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین مواد آلی و یا غیر آلی سمی به‌جزء یون‌های آلومینیوم، آهن، سدیم، کلسیم و منیزیم وجود داشته باشد.

این پسوند بسته به تاثیر مواد بر روی سلامت انسان‌ها، تأثیر بر اکولوژی و موجودات خاک، تأثیر کمبود و یا بیش بود عناصر بر رشد گیاهان و همچنین تأثیر این مواد بر روی سلامت انسان‌ها و حیوانات از جمله دام به‌دلیل مصرف گیاهان و محصولات رشد کرده بر روی این خاک‌ها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که جزئیات استفاده از هر یک از این پسوندها در جدول (۱) آورده شده است. در این تحقیق برای حدود آستانه سرب و کادمیم خاک از استاندارد این عناصر در خاک‌های غیرآلوده کشور سوئیس که به ترتیب برابر ۵۰ و ۰/۸ میلی-گرم بر کیلوگرم می‌باشد برای مقایسه استفاده شد (۱۵). براساس نتایج جدول (۶) به‌طور کلی مقدار کادمیم در ۷۰ درصد کل نمونه‌های برداشت شده بالاتر از حد مجاز بودند. در میان واحدهای نقشه خاک، سری زاینده‌رود ۹۲ درصد نمونه‌های خاک آن دارای حد مجازی بالاتر از ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم داشتند. همچنین در واحد نکوآباد تنها ۵۵ درصد نمونه‌ها بیشتر از حد مجاز کادمیوم داشتند. با توجه به نتایج جدول (۶) در کل منطقه، دامنه تقریبی مقادیر میانگین کل سرب خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برابر ۱/۱۸۶ تا ۱۶۷/۸ می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج جدول (۷) همه نمونه‌های گیاهی انتخابی دارای غلظتی بیشتر از بیشینه رواداری سرب در محصولات را دارند؛ به‌گونه‌ای که کاهو، کلم، چغندر، پیاز و شلغم به ترتیب در حدود ۲۴، ۱۱، ۵۴، ۲۷ و ۲۸ مرتبه بیشتر از حد مجاز بیشینه رواداری فلز سرب در خود ذخیره کرده‌اند. بیشینه مقدار سرب در محصولات کشاورزی طبق توصیه FAO-WHO، ۰/۳ می‌باشد (۷). بر این اساس اگر بخواهیم مقایسه‌ای با میزان غلظت سرب در محصولات مطالعه حاضر با مقدار مجاز توصیه شده توسط FAO-WHO داشته باشیم کاهو، کلم، چغندر، پیاز و شلغم به‌ترتیب ۱۶، ۱۱، ۱۸، ۹ و ۹/۵ مرتبه بیشتر از این حد مجاز سرب در خود ذخیره کرده‌اند. لذا مقدار سرب درهر پنج محصول بیشتر از حد هر دو استاندارد ذکر شده است.

1- Gleysols
2- Reducing Conditions
3- Anthrosols

همچنین براساس جدول (۷) همه نمونه‌ها از لحاظ کادمیم دارای غلظتی بیشتر از بیشینه رواداری کادمیم که توسط استاندارد ملی ایران (۲۰) گزارش شده بود هستند. بیشینه مقدار کادمیم در محصولات کشاورزی طبق توصیه FAO-WHO، ۰/۱ است. هرچند اگر این نتایج با مقدار توصیه شده توسط FAO-WHO مقایسه گردد کادمیم کلم، پیاز و شلغم در محدوده این حد و یا پائین‌تر از آن می‌باشند اما غلظت کادمیم دو گیاه کاهو و چغندر در حدود ۲ برابر مقدار توصیه شده توسط FAO-WHO هستند.

نتایج جدول (۸) مقادیر میانگین غلظت دو فلز سرب و کادمیم (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر) را در عضله دو دام گاو و گوسفند نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار میانگین سرب در دو دام گاو و گوسفند بیشتر از حد مجاز استاندارد ایران (۲۰) و اتحادیه اروپا (۸) می‌باشد. بر این اساس مقدار میانگین سرب به ترتیب در عضله گاو و گوسفند ۴۸ و ۴۱ مرتبه بیشتر از مقادیر استاندارد تعریف شده ایران و اتحادیه اروپا می‌باشد. همچنین میانگین سرب عضله دو نوع دام مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار برخی از فلزات سرب و کادمیم در خاک، گیاهان و دام منطقه بیشتر از حد مجاز و برای سلامت انسان‌ها و حیوانات خطرآفرین گزارش شده است. اگر چه اهمیت این موضوع به نحوی در توصیف کننده‌های مکمل تاکسیک در سامانه رده‌بندی جهانی منعکس شده است ولی سامانه رده‌بندی آمریکایی در آخرین نسخه خود (۲۰۱۴) نیز نتوانسته این مسئله زیست‌محیطی مهم را در ارتباط باخاک‌های منطقه بیان نماید. به عقیده گراسیموف (۱۸) از آنجا که در سامانه جهانی خاک‌های متأثر از فعالیت‌های انسانی مدنظر قرار گرفته است، این سامانه بر سامانه آمریکایی برتری دارد. بریان و گالبریت (۶) یکی از نقص‌های سامانه رده‌بندی امریکایی را عدم وجود یک رده مجزا برای شناخت خاک‌هایی دانستند که در آن‌ها فعالیت‌های آنتروپوژنیک وجود دارد. در رده بندی آمریکایی پیشوند زیرگروه‌هایی برای خاک‌های جابجا شده و تغییریافته توسط بشر تعریف شده است که از آن جمله می‌توان به پیشوندهای آنتراکوئیک، آنتروندسیک، آنتروپورتیک و آنترآلتیک اشاره نمود که این موارد در نسخه‌های قبلی این سامانه وجود نداشت. ولی دو اشکال اساسی وجود دارد یکی آنکه زیر گروه‌های جدید برای بعضی از رده‌ها تعریف شده است و برای رده‌ای مانند اریدیسولز تعریف نشده است و دیگر آنکه هیچ کدام از این زیر گروه‌ها جهت آلودگی زیست‌محیطی به فلزات سنگین در خاک، گیاه و دام منطقه تعریف نشده است که ضرورت آن بسیار احساس می‌شود. اسفندیارپور و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای که با هدف مشخص نمودن میزان همبستگی و همخوانی میان دو سامانه طبقه‌بندی جهانی و آمریکایی در رده‌بندی برخی مناطق خاک‌های خشک و نیمه‌خشک ایران انجام دادند به این نتیجه رسیدند که سامانه طبقه‌بندی جهانی نسبت به سامانه رده‌بندی امریکایی بهتر می‌تواند ویژگی‌های خاک‌های آهکی را برای نامگذاری نشان دهد و به عبارت دیگر سامانه طبقه‌بندی جهانی برای خاک‌های مناطق خشک کامل‌تر از سامانه رده‌بندی امریکایی است. نورایی (۳۱) اعتقاد دارد که سامانه طبقه‌بندی جهانی، نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به سامانه‌ی رده‌بندی آمریکایی، دررابطه باکلاس‌بندی خاک‌های منطقه‌ی خشک دشت لوت دردسترس قرار می‌دهد. همچنین نتایجی مشابه با این دو مطالعه، در خاک‌های آهکی و گچی کرمان توسط سرمست و همکاران (۳۵) گزارش شد.

هرچند وجود پسوند گروه تاکسیک و زیرمجموعه‌های آن در سامانه جهانی تا حدی توانسته است آلودگی‌های زیست‌محیطی و خاک را نشان دهد لیکن به نظر می‌رسد که هنوز این سامانه نیز دارای اشکالاتی است. به عنوان مثال، یکی از این اشکالات، عدم ارایه یک تعریف کمّی برای پسوند تاکسیک می‌باشد. همانطور که در جدول (۱) آورده شده همه این توصیف‌کننده‌ها کیفی است و امکان تفکیک نمودن آن‌ها در مواردی از همدیگر مشکل است. به عبارت دیگر، از آنجا که آلودگی به عواملی مانند منشاء، روش تماس و نوع پذیرنده آلودگی بستگی دارد با تعاریف موجود برای هر یک از توصیف کننده‌ها استفاده از آنها با ابهاماتی روبه‌رو است (۲۵). لذا ارایه یک تعریف جامع‌تر و استاندارد از تاکسیک و زیر مجموعه‌های آن، ابهامات موجود را به حداقل می‌رساند.

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه رده‌بندی خاک‌رخ‌ها در دو سامانه نشان داد که سامانه رده‌بندی آمریکایی با وجود اضافه نمودن کلاسی برای تأثیرات بشری بر روی خاک‌ها در سطح فامیل، نتوانست آلودگی خاک‌های منطقه به عناصر سنگین را نشان دهد ولی سامانه جهانی به‌دلیل وجود توصیف کننده توکسیک در بیان شرایط زیست‌محیطی و آلودگی خاک‌های مورد مطالعه از کارایی بیشتری برخوردار بود. در این راستا پیشنهاد می‌شود برای توصیف کننده‌های زیرمجموعه تاکسیک یک تعریف کمّی و استاندارد به‌منظور رفع ابهامات موجود در سامانه طبقه‌بندی جهانی خاک در نسخه‌های آتی ارایه شود تا ضمن ارتقای کیفیت این سامانه، محققان و برنامه‌ریزان بتوانند در راستای مدیریت اراضی و بهبود امنیت غذایی در یک منطقه بهتر تصمیم‌گیری نمایند. لزوم در نظر گرفتن مسایل زیست‌محیطی در رده‌بندی امریکایی بایستی به‌عنوان یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در دستور کار قرار گیرد. تغییر و اصلاح تعاریف خاک‌های با زهکشی ضعیف در هر دو سامانه نیز نیازمند اصلاحات اساسی است.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های اجرای این تحقیق توسط دانشگاه پیام نور استان چهارمحال و بختیاری تأمین شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Ahrens R.J., and Engel R.J. 1999. Soil taxonomy and anthropogenic soils, In: J.M. Kimble, et al. (eds.). Classification, Correlation, and Management of Anthropogenic Soils. Proceedings. Nevada and California, Sept. 21-Oct. 2, 1998. USDA-NRCS, Nat. Soil Survey Center, Lincoln, NE.
2- Amini M. 2004. Modeling Heavy Metal Accumulation and Assessing its Uncertainty in Agro- ecosystems of Isfahan Region. PhD thesis. Isfahan University of Technology. 135 p. (In Persian with English abstract).
3- Amini M., Afyuni M., Fathianpour N., Khademi H., and Fluhler H. 2005. Continuous soil pollution mapping using fuzzy logic and spatial interpolation. Geoderma 124: 223–233.
4- Asadi Z. 2004. Coregeionalization of selected heavy metals concentration in some plants and soils around Isfahan steel factory and foolad mobarakeh steel complex. MSc Thesis. Isfahan University of Technology. 123 p. (In Persian with English abstract).
5- Bahmani M., Salehi M., and Esfandiarpoor I. 2014. Comparison of Soil Taxonomy and WRB for Description of Soil Properties in Some Arid and Semiarid Regions of Central Iran. JWSS - Isfahan University of Technology. 18 (67):11-21. (In Persian with English abstract)
6- Bryant Ray B., and GalbraithJohn M. 2003. Incorporating Anthropogenic Processes in Soil Classification, In: H. Eswaran et al. Soil classification: a global desk reference. CRC.
7- Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO). 2001. Food additives and contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Program 2001; ALINORM 01/12A:1-289.
8- Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO). 2011. Food additives and contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Program Fifth Session CF/5 INF/1.
9- Dudal R., Nachtergaele F.O., and Purnell M.F. 2002. The human factor of soil formation.Proc.17thWorld Congress of Soil Science, Symposium 18, vol.11. Bangkok, Thailand, 93p.
10- Esfandiarpour Boroujeni 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.
11- 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: 5. 1158-1171. (In Persian with English abstract).
12- Fallah A.A, Saei-Dehkordi S.S, Nematollahi A., and Jafari T. 2011. Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. Microchemical Journal 98:275-279.
13- FAO/ISRIC/ISSS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Rep., vol. 84. FAO, Roma.
14- Florea N., and Munteanu I. 2000. Sistemul Român de Taxonomie a Solurilor,(Romanian System of Soil Taxonomy) Univ. "Al. I. Cuza" Iasi. 107 p.
15- FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape), 1998. Commentary on the Ordinance Relating to Pollutants in Soils, VBBo of July 1, Bern.
16- Food quality criteria; EU 2001. EU (2001) No:466.
17- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis, part 1, physical and mineralogical methods Agronomy SSSA, Madison, WI.
18- Gerasimova M. I. 2010. Chinese soil taxonomy: between the American and the international classification systems. Eurasian Soil Science. 43: 945–949.
19- Hewitt A.E. 1993. Methods and rationale of the New Zealand Soil Classification.Landcare Research Science Series, vol. 2. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 71p.
20- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Food & Feed-Maximum limit of heavy metals. 2011. 1st. Edition.No 12968.
21- Isbell R.F. 1996. The Australian Soil Classification. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
22- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2015. No. 106. FAO, Rome.
23- Jenny H. 1941. 'Factors of Soil Formation.' McGraw-Hill Book Company Inc: Dover. 281p.
24- Kirkham MB. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderma 137: (1– 2). 19–32.

25- Kittrick J. A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. Soil Science. 96: 312-325.
26- Lado LR., Hengl T., and Reuter HI. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. Geoderma. 148: 189–199.
27- Maas S., Scheifler R., Benslama M., Crini N., Lucot E., Brahmia Z., Benyacoub S., and Giraudoux P. 2010. Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban andagricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. Environmental Pollution.vol 158: 6. 2294–2301.
28- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P. 181-197. In: A. L. Page, et al. (eds.). Methods of Soil Analysis. Part2. 2nd ed. Agron. Mongor. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
29- Němeček J. 2001. Taxonomický klasifikační system půd České republiky (System of Soil Taxonomy of the Czech republic). ÈZU Praha, 79p.
30- Noraiee K. 2009. Genesis and classification of soils in Sirch-Kaleshur toposequence, Loot desert. MSc thesis Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian).
31- Pere J., Siika-aho M., and Viikari L. 1995. Effects of purified Trichodermaressi cellulose on the fiber properties of kraft pulp. Tappi Journal. 78:6.71-78.
32- Pouyat R.V., and Efland W.R. 1999. The investigation and classification of humanly modified soils in the Baltimore Ecosystem Study, In: J. M. Kimble et al. (eds.). Classification, Correlation, and Management of Anthropogenic Soils. Proceedings Nevada and California, Sept. 21-Oct. 2, 1998. USDA-NRCS, Nat. Soil Surv. Center, Lincoln, NE.
33- Rossiter D. G. 2007. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. J Soils Sediments. 7: 2. 96–100.
34- Sarmast M., Frapoor M.H., and Esfandiarpour Boroujeni I. 2016.Comparing Soil Taxonomy (2014) and updated WRB (2015) for describing calcareous and gypsiferous soils, Central Iran. Catena145: 83-91.
35- Sarshogh M. 2010. The effect of aspect and slope position on soil morphological, physicochemical and mineralogical properties in Chelgerd region. MSc thesis, Shahrekord University, Iran. (In Persian with English abstract).
36- Schad P., and Micheli E. 2010. The next steps in soil classification or how to kill 3 birds with 1 stone: pedons,landscapes, functions. 2010 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. pp: 40-42.
37- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Broderson W.D. (eds.). 2012. Field book for describing and sampling soils, 2nd version. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, USA.
38- Schwartz R., Gerth J., Neumann-Hensel H., and Förstner U. 2006. Assessment of highly polluted Fluvisol in the Spittelwasser floodplain based on national guideline values and MNA-criteria. Journal Soils Sediments 6: 3. 145–155.
39- Simonson R.W. 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. Soil Sci. Soc. Am. Proc.23: 152–156.
40- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th ed. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington DC.
41- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington DC.
42- Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in aird-zone field soils amended sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, Pb in solid phases. Soil Science Society of America journal 46:260-264.
43- Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity, and exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
44- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. 1. Experimental Soil Science 79:459-465.
45- Westerman R.L. 1990."Soil testing and plant analysis", Soil Science Society America, Madison, Wisconsin, USA.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 6, Jan.-Feb. 2018, p. 1651-1664

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۶، ص. ۱۶۶۴-۱۶۵۱

American Soil Taxonomy Compared to World Reference Base for Expressing Environmental Pollution, a Case Study: Lenjanat Region of Isfahan

R. Mohajer [1*]- M.H. Salehi [2]

Received: 26-02-2017
Accepted: 11-09-2017

Introduction: Increasing demand for an international classification system as a unique language in soil science has caused development of different classification systems. Soil classification is a useful tool for understanding and managing soils. In recent decades, the role of human in soil formation has become a matter of great concern among soil scientists. Human is now considered as a soil-forming factor and anthrosolization is recognized as a soil-forming process that consists of a collection of geomorphic and pedological processes resulting from human activities. Industrial developments, mines and their activities and intensive agriculture led to soil changes in urban areas. One of the important missions of soils classification is to identify important properties which have effect on management purposes. In recent years, the importance of human impact on soil properties considered in soil classification systems like American Soil Taxonomy (2014) and World Reference Base (2015) and some revisions and changes have been made in this regard. In this study, the efficiency of American Soil Taxonomy and WRB soil classification systems soils were compared to describe the pollution of soils to heavy metals in Lenjanat region of Isfahan, Iran.

Materials and Methods: Agricultural lands located in Lenjanat region of Isfahan province were selected as the study area. Lenjanat is an industrial region in which intensive agriculture surrounded by different industries like steel and cement making factories and lead mining. Agricultural lands which consisted of five soil map units (Khomeini Shahr, Nekooabad, Isfahan, Lenjan and Zayandehroud) were selected and 400 topsoil samples were randomly collected. Six soil profiles were excavated in each map unit (totally 30 soil profiles) and after describing soil, the classification of soils was determined in the field. Then, representative pedons were chosen for each unit and routine soil morphological, physical and chemical properties were determined using common methods. Finally, the soil profiles were classified according to criteria of Soil Taxonomy up to family level and (WRB) at the second level. The amount of heavy metals was studied in some agricultural crops of the region and livestock muscles in the region. Total Cd and Pb were extracted from the soil samples using concentrated HNO_3. Cadmium and lead of plant samples were prepared according to the procedure of Dry-ashing. Heavy metals were extracted by 3 N HCl. The metal contents of soil and plant samples were determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). Descriptive statistics including mean, variance, maximum, minimum, and coefficient of variation (CV) were calculated using STATISTICA 6.0 software.

Results and Discussion: According to WRB (2015) classification, the soils were classified as 3 reference groups: Cambisols, Gleysols and Calcisols. The soils were also categorized as Aridisols and Inceptisols in Soil Taxonomy system. In this study, the environmental standards based on Swiss Federal Office of Environmental, Forest and Landscape were used for the threshold values of heavy metals pollution in the soils (VBBo). The results also indicate that the amount of cadmium in most of the soil samples was higher than the threshold limit. The amount of lead in soils was below the threshold limit. The results also indicated that all the crops had a lead average higher than the maximum of tolerance. The average of lead in cow and sheep livestock was also above Iran and Europe Union's permissible limit. Despite American soil taxonomy classification system in the last version has a class (Anthraltic, Anthraquic, Anthrodensic, Anthropic) to show human impacts on soils at family level, it could not show the contamination of soils to heavy metals. However, WRB soil classification system defined qualifier "toxic" (Anthrotoxic, Ecotoxic, Phytotoxic, Zootoxic) which can be used in these conditions. Both systems had serious shortcomings to show poor drained soils in this area. Defining the Aquids suborder for Aridiosols in American Soil Taxonomy and revision of the definition of Gleysols, Anthrosols and also aquic conditions in WRB soil classification system are highly recommended.

Conclusion: The results indicated that WRB soil classification system could explain the soils pollution and

1- Assistant Proffesor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: reza.mohajer@pnu.ac.ir)
2- Professor of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord

also their effects on human health for the studied soils. Definition of some quantitative sub qualifiers for toxic can be useful to improve the efficiency of WRB for classifying polluted soils. Incorporating some criteria for pollution hazards in American Soil Taxonomy should be considered in early future.

Keywords: Soil classification, Soil pollution, Toxic qualifiers