Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۹ شماره ۳صفحه‌های ۱ تا ۱۱ / سال ۱۳۹۸

بررسی نیمه‌کمّی تکامل خاک با تکیه بر مطالعات مرفولوژیک و میکرومرفولوژیک در منطقه گوهران خوی

سحرمحمدی[1*]، علی‌اصغر جعفرزاده[2]، فرزین شهبازی[3]، حسین رضائی[4]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۵

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
٤- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: saharmohammadi94@ms.tabrizu.ac.ir

چکیده

بررسی تکامل خاک ناشی از اثر فاکتورهای مختلف طی فرآیندهای خاک‌سازی یکی از ضرورت‌های مدیریت اراضی برپایه مطالعات خاک‌شناسی است. با توجه به این مهم ٤ خاکرخ از اراضی گوهران خوی ضمن مطالعه ژنتیکی و رده‌بندی، از نظر تکامل طی روش‌های مرفولوژیکی و میکرومرفولوژیکی به‌منظور بررسی قابلیت این روش‌ها بررسی شدند. پس از تجزیه‌های مرسوم، خاکرخ‌ها براساس نسخه ۱۲ کلید رده‌بندی آمریکایی طبقه‌بندی شدند. جهت بررسی میزان تکامل خاک‌ها از روش‌های نیمه‌کمّی مشتمل بر شاخص‌های هاردن، MISODI و MISECA استفاده شد. نتایج بیان‌گر حضور دو رده اینسپتی‌سول وآلفی‌سول در نتیجه فرآیندهای خاک‌سازی هوادیدگی، تجمع بقایای آلی و آب‌شویی و تجمع آهک ثانویه و رس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شدّت متفاوت فرآیندهای خاک‌سازی منجر به درجات مختلفی از تکامل خاک‌ها شده که براساس نتایج حاصل از سه روش مطالعه تکامل خاک، آلفی‌سول متکامل‌تر از اینسپتی‌سول و ترتیب تکاملی انواع خاک‌های اینسپتی‌سول نیز منطبق با نتایج حاصل از رده‌بندی خاک‌ها است. هر چند رده‌بندی خاک‌های مطالعه شده ترتیب تکاملی آنها را نشان‌داد لیکن ارزیابی نیمه‌کمّی تکامل آنها بیانی از فاصله دقیق خاک‌ها داشته که این امر در جدایش خاک‌هایی با رده‌بندی یکسان بسیار مفید است. به‌طور کلی نتایج یکسان روش‌های نیمه‌کمّی مطالعه‌شده کارآیی یکسان آنها در رتبه‌بندی تکاملی خاک‌های نواحی همچون خوی را می‌رساند، هرچند چنین به‌نظر می‌رسد که نارسایی‌های اندک شاخص MISECA برای رتبه‌بندی خاک‌های دارای نمودهای آهکی ناشی از محدود بودن شواهد آهکی شدن در خاکرخ‌ها است که منجر به عدم ارجحیت آن نسبت به سایر شاخص‌ها شده‌است.

واژه‌های کلیدی: تکامل خاک، شاخص هاردن، میکرومرفولوژی، MISODI، MISECA.

www.SID.ir

Archive of SID

Semi Quantative Review of Soil Evolution Based on Morphological and Micromorphological Studies in Goharan Khoy Region

S Mohammadi[1*], AA Jafarzadeh[2], F Shahbazi[3], H Rezaei[4]

Received: August 23, 2017 Accepted: December 16, 2018
M.Sc. Grad., Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Prof., Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Assoc. Prof., Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Assist. Prof., Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*Corresponding Author Email: saharmohammadi94@ms.tabrizu.ac.ir

Abstract

Investigating of soil evolution as resultant of different factors during soil forming processes is an essential requirement for land management based on soil studies. According to this opportunity, evolution of four soil profiles were studied by morphological and micromorphological methods to evaluate these methods performance beside their genetically assessing and classification in Goharan-Khoy area. After routine analysis, soil profiles were classified based on 12th version of soil taxonomy. Semi-quantitative methods including Harden, MISODI and MISECA indices were qualified to study the soils evolution. The results revealed the presence of Inceptisols and Alfisols due to various soil forming processes such as weathering, littering and humification, calcification and lessivage in the field study area. Different intensity of soil forming processes leads the studies field area to various degrees of soil evolution, so based on the obtained results of all three used soil evolution methods, Alfisols identified as more developed than Inceptisols and evolution of Inceptisols conformed their classification results. Although classification of the studied soils indicated their evolutionary order, but the semi-quantitative assessment of their evolution revealed the exact distance of them, which was absolutely useful in separating the soils with the similar classification. Generally, the same results of the studied semi-quantitative methods showed same closeness efficiencies in evolutionary ranking of soils in areas like Khoy. However, it seems that the slight deficiencies of the MISECA index in ranking the soils with calcite features arising from the limited of calcification evidence in the soil profiles, which has led to its lack of precedence comparing other indices.

Keyword: Harden index, Micromorphology, MISECA, MISODI, Soil evolution.

مقدمه

اهمیت مطالعات مرفولوژی و میکرومرفولوژی در خاک به‌حدی است که در طبقه‌بندی خاک می‌توان از آن به‌عنوان یک روش قابل اطمینان برای شناسایی یک‌سری فرآیندهای خاک‌سازی استفاده کرد. امروزه دانش شناخت میکروسکوپی و فوق‌میکروسکوپی خاک در کنار بسیاری از مطالعات دیگر می‌تواند بسیاری از مشکلات مربوط به تشکیل و رده‌بندی خاک‌ها را حل کند. میکرومرفولوژی علمی است که می‌تواند اجزای سازنده مختلف خاک را تشخیص و روابط متقابل آنها را از نقطه نظر زمانی و مکانی تعیین و دیدی کلی از تکامل خاک در اختیار قرار دهد (فالمر ۱۹۹۸). مهمترین مزیت استفاده از میکرومرفولوژی، دست‌نخورده بودن نمونه‌ها و حفظ حالت طبیعی خاک می‌باشد (استوپس و همکاران ۲۰۱۰). در کنار مطالعات کیفی بررسی تکامل خاک، کمی‌سازی درجه توسعه و تکامل آن می‌تواند منجر به استفاده‌های دقیق‌تر از میزان تکامل یافتگی خاک در عرصه مدیریت آن گردد که این

www.SID.ir

Archive of SID

عمل با برقراری ارتباط بین یک ویژگی از خاک با اجزای موجود در آن صورت می‌گیرد. در دهه‌های اخیر توجه به کمی‌سازی و استفاده از شاخص‌های کمی حاصل از آن توانسته افق‌های جدید و دقیقی از بررسی تکامل خاک را ایجاد کند (شاتزل و آندرسون ۲۰۰۵). شاخص-های مرفولوژیکی از اولین شاخص‌های بررسی تکامل خاک هستند که بر پایه تشریح خاکرخ و مشخصات مرفولوژیکی آن استوار هستند. با استفاده از شاخص-های مرفولوژیکی فالمر (۱۹۹۸) خاک‌ها را در ۱۰ کلاس از نظر تکامل طبقه‌بندی کرد که در کلاس یک هیچ شواهدی از هوادیدگی کانی‌ها نبوده و تنها افق C مشاهده می‌گردد در حالی‌که در کلاس ۱۰ تخریب و هوادیدگی به حداکثر مقدار خود رسیده است. شاتزل و ماکما (۱۹۹۸) شاخص مرفولوژیکی پادزلی شدن[1] را برای میزان تکامل اسپودوسول‌ها[2] به‌کار بردند که برمبنای تحولات افق‌های E و B تعریف شده‌بود. شاخص تکامل غیریکنواختی خاکرخ که حاصل اختلاف عددی بین مشخصات یک خاک با ماده‌مادری است توسط بیرکلند (۱۹۹۱) برای مقایسه خاک‌ها از نظر تکامل به‌کار رفت. در بین شاخص‌های مرفولوژیکی تکامل خاک، شاخص هاردن جامع‌ترین آنها می‌باشد که مقیاس دقیقی از تحولات خاک‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی ارائه نموده و امکان مقایسه خاک‌ها را فراهم می‌سازد (هوگلند و آون‌هوگلند ۲۰۰۸). شاخص‌های میکرومرفولوژیکی نیز از تکنیک‌های مهم دیگر برای شناسایی و تفسیر خاک‌ها در راستای مطالعات اقلیم‌شناسی گذشته خاک می‌باشند که از بررسی نیمه-کمّی و کمّی شاخص‌های مذکور می‌توان در تشخیص افق‌های مشخصه مانند کلسیک و آرجیلیک، تشخیص افق‌های مدفون، شبیه‌سازی رسوب‌گذاری، پیش‌بینی تغییرات اقلیم و دوره‌های خشک و مرطوب گذشته، فرآیند رسوب‌گذاری و فرسایش، بهره گرفت (کریمی و همکاران ۱۳۸۷). از انواع شاخص‌های نیمه‌کمّی میکرومرفولوژیکی تکامل خاک می‌توان به شاخص‌های MISODI[3] و MISECA[4] اشاره نمود که به‌ترتیب برای بررسی تکامل خاک‌های نرمال و آهکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (ماگالدی و تالینی۲۰۰۰، خرمالی و همکاران ۲۰۰۳). غفارپور (۱۳۹۱) برای طبقه‌بندی افق‌های آرجیلیک از شاخص MISECA استفاده نمود و با مقایسه درجه تکامل افق‌های خاک‌های جدید و قدیمی در دو منطقه آق‌بند و مبارک‌آباد نشان داد که افق آرجیلیک خاک‌های قدیمی در منطقه مبارک‌آباد دارای بیشترین درجه تکامل می‌باشند. وی همچنین بیان کرد که با توجه به این موضوع می‌توان از ویژگی‌های خاک-ساختی توالی لس خاک قدیمی جهت بازسازی فرآیندهای خاک‌سازی گذشته حاکم بر خاک استفاده نمود و به‌تبع آن، شرایط اقلیمی زمان تشکیل را بازسازی کرد. ضیایی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از شاخص‌های میکرومرفولوژیکی چند مقطع لسی در گرگان اظهار داشتند که خاک‌های قدیمی از تکامل خاکرخی قابل توجهی برخوردار بودند که در مقاطع نازک آنها شست‌وشوی آهک و همچنین انتقال رس دیده می‌شد. براساس مطالعات شهریاری و همکاران (۱۳۹٤) درمطالعات خاک‌های قدیمی توالی لس و بررسی تکامل در توالی آق‌بند بی‌فابریک غالب از نوع کریستالیک بوده و کریستال‌های عدسی شکل در اکثر افق‌ها حضور داشتند که نشان دهنده اقلیم خشک این منطقه می‌باشد. آنها همچنین بیان کردند که تجمع کربنات کلسیم ثانویه به‌صورت پوشش‌های آهکی، ندول‌های کوچک، آهک سوزنی شکل و پرشدگی‌ها به‌خصوص درافق Bky نشان دهنده شست‌وشو در افق بالایی می‌باشد و با بی‌فابریک افق Bw که در بعضی مناطق به‌صورت لکه‌ای مشاهده می‌شود، هم‌خوانی دارد و بیشترین تکامل را براساس شاخص MISECA افق Bw دارا می‌باشد. طی

1- Podzolation
2- Spodosols
3- Micromorphological Soil Evolution Index (MISODI)
4- Micromorphological Index of soil Evolotion in Calcareous arid to semiarid region (MISECA)

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی‌های صورت گرفته توسط خرمالی و کهل (۲۰۱۱) در جنوب استان گلستان، هم‌بستگی خوبی بین MISECA و ویژگی‌های خاک به‌خصوص زمانی که مقدار قابل دسترس پتاسیم در طول شیب نزولی خاک-های لسی قابل توجه است، دیده می‌شود. قرقره‌چی و همکاران (۱۳۸٦) تکامل افق آرجیلیک خاک‌های آلفی-سول جنوب‌غربی گلستان را بررسی و با استفاده از شاخص تکامل MISECA گزارش‌کردند که علت ناچیز بودن پوشش‌های رس در افق‌های با توسعه کم تا متوسط، ویژگی انبساط و انقباض بیشتر افق‌ها است و دلیل افزایش مقدار نواحی تخلیه آهک، حضور و افزایش پوشش رس در افق آرجیلیک با توسعه خوب، آب‌شویی مطلوب و ضریب انبساط طولی کمتر است. منتخبی و همکاران (۱۳۹٦) در بررسی تکامل خاک‌ها با دو شاخص میکرومرفولوژیکی MISECA و MISODI در سه اقلیم مختلف به این نتیجه رسیدند که هر چند شاخص MISECA برای خاک‌های خیلی آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه گردیده ولی محاسبات نشان می‌دهد که این دو شاخص تطابق بالایی با هم دارند و نتایج تقریباً یکسانی را ارائه می‌دهند، ولی شاخص MISECA به‌دلیل جزئی‌تر بودن تقسیمات به شاخص MISODIارجحیت داده می‌شود.

مطالعه حاضر ضمن ارزیابی وضعیت تکامل خاک‌های منطقه گوهران خوی سعی بر تبیین جایگاه شاخص‌های نیمه‌کمّی تکامل خاک و بیان ارجحیت هر یک به‌منظور استفاده دقیق‌تر و آسان‌تر این شاخص‌ها در مطالعات ژنتیکی خاک دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت خوی در استان آذربایجان‌غربی با مختصات ′۰۰ °٤٥ تا ′۰۳ °٤٥ طول شرقی و ′۳۳ °۳۸ تا ′۳٦ °۳۸ عرض شمالی می-باشد. براساس آمار هواشناسی ۱۰ ساله اخیر ایستگاه خوی منطقه از نظر آب و هوایی دارای زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک و تابستان‌های معتدل با میانگین دمای هوای ۱۱/۸ درجه سیلسیوس و متوسط میزان بارندگی سالانه ۳۳۷ میلی‌متر می‌باشد (بی‌نام ۱۳۹۵). همچنین رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب مزیک و زریک می‌باشد (بنایی ۱۳۷۷). از نظر زمین‌شناسی منطقه شامل کنگلومرای پلی‌ژنیک سست و ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع بوده و از نظر فیزیوگرافی به‌صورت دشت می-باشد (بی‌نام ۱۳۸٤).

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از واحدهای اراضی جدا شده براساس موادمادری و خطوط تراز طی حفر و تشریح خاکرخ براساس روش استاندارد و تهیه نمونه‌های دست‌خورده جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و نمونه‌های دست‌نخورده جهت مطالعات میکرومرفولوژیکی تکمیل گردید (شوئنبرگر و همکاران ۲۰۱۲). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و آماده-سازی آنها تجزیه‌های مرسوم خاک مورد نیاز جهت رده‌بندی و بررسی تکامل خاک‌ها از قبیل بافت خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته، آهک، ظرفیت تبادل‌کاتیونی و میزان مواد آلی مطابق با روش‌های استاندارد انجام شد (بی‌نام ۱۳۸۷). برش‌های نازک جهت انجام مطالعات میکرومرفولوژیک طبق روش ارائه‌شده توسط مورفی (۱۹۸٦) تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان و براساس نظام واژگان بولاک و همکاران (۱۹۸۵)، استوپس (۲۰۰۳)، و استوپس و همکاران (۲۰۱۰) تشریح و تفسیر شدند.

رده‌بندی و تکامل خاک

خاک‌های مطالعه‌شده تا سطح خانواده براساس نسخه ۱۲ کلید رده‌بندی خاک آمریکایی طبقه‌بندی شدند (بی‌نام ۲۰۱٤). جهت بررسی وضعیت تکامل خاک‌های منطقه با استفاده از شاخص هاردن ویژگی‌های

www.SID.ir

Archive of SID

مرفولوژیکی افق‌های خاک از قبیل کلاس بافتی، شکل-پذیری و چسبندگی، نوع و درجه توسعه ساختمان، پایداری خشک و مرطوب، پوشش‌های رسی، تیره رنگ شدن، روشن شدن رنگ و اسیدیته خاک که هر یک ناشی از روی دادن فرآیندی خاص در خاک می‌باشند با افق C مقایسه و به‌صورت کمّی در آمده و پس از نرمال‌سازی شاخص افق تعیین و در نهایت برمبنای ضخامت هر افق شاخص تکامل خاکرخ تعیین گردید (هاردن ۱۹۸۲، هاردن و تیلور ۱۹۸۳). مطالعه نیمه‌کمّی برش‌های نازک مطالعات میکرومرفولوژیک با کاربرد نرم‌افزار Clemex و محاسبه شاخص‌های MISODI و MISECA که طی آنها نمودهای میکرومرفولوژیک از قبیل ریزساختار، بی‌فابریک، پوشش‌ها، ندول‌ها و درجه تغییر و تحول ذرات معدنی با استفاده از جداول مربوطه کمّی‌سازی می‌شوند انجام شد (ماگالدی و تالینی ۲۰۰۰ و خرمالی و همکاران ۲۰۰۳).

نتایج وبحث

ویژگی‌های مرسوم و رده‌بندی خاک‌های مطالعه شده

نتایج مطالعات صحرایی در قالب یافته‌های مرفولوژیکی در جدول شماره ۱ جمع‌بندی شده است که حکایت از وجود افق‌هایی با شواهد خاک‌ساختی متفاوت از قبیل تجمع آهک و رس دارد.

جدول۱- یافته‌های مرفولوژیکی خاکرخ‌های مورد مطالعه.

خاکرخ	افق	عمق (cm)	مرز	رنگ خشک	رنگ مرطوب	پایداری خشک	پایداری مرطوب	ساختمان	منافذ	جوشش با اسید
۱	Ap	٤٠-٠	as	5Y5/2	5Y4/2	sh	vfr	2mgr	2vfdisranv	e
	Bw	٤٠ -٩٠	cw	10YR5/2	10YR4/2	sh	fr	2cabk	2vfconthort	es
	Bk	٩٠ -١٥٠	cw	2.5Y5/2	2.5Y3/2	sh	fi	1mabk	2vfconsrani	es
	C	١٥٠<		10YR6/2	10YR4/2	lo	lo	m	-	ev
۲	Ap	٣٠-٠	cw	10YR4/2	10YR3/2	sh	vfr	3mabk	2vfdisranv	e
	Bt	٣٠ -٨٠	cw	10YR5/2	10YR4/2	sh	vfr	3cabk	2vfconthort	e
	Btk	٨٠ -١٤٠	cw	10YR6/2	10YR4/2	sh	fr	2cabk	2vfconsrani	ev
	C	١٤٠<		5Y6/1	5Y6/1	lo	vfr	sg	-	e
۳	A	٣٠-٠	cw	5Y6/2	5Y4/2	h	fi	1mgr	1mcontrani	es
	Bk1	٨٠-٣٠	cw	5Y5/2	5Y3/2	vh	fi	2cabk	2vfconthort	es
	Bk2	٨٠ -١٢٠	as	5Y6/2	5Y3/2	h	fi	2cabk	2vfconsrani	es
	C1	١٢٠ -١٦٠	as	5Y5/1	5Y4/1	lo	lo	sg		es
	C2	١٦٠ <		5Y5/1	5Y3/1	lo	lo	sg		es
٤	A	٠ -٤٠	cw	5Y4/2	5Y3/2	so	vfr	2fgr	2fdisranv	e
	Bw1	٤٠ -٨٠	cw	5Y5/2	5Y4/2	sh	vfr	2cabk	2mconthort	es
	Bw2	٨٠ -١٤٠	cw	10YR6/2	10YR4/2	sh	fr	2mabk	2mconsrani	es
	C	١٤٠<		10YR6/2	10YR4/3	lo	lo	sg		e

براساس نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، خاک‌های مطالعه شده فاقد شوری بوده و از نظر اسیدیته خنثی هستند. بافت این خاک‌ها متوسط تا ریز بافت و میزان ماده آلی از سطح به عمق در تمامی خاکرخ‌ها کاهش می‌یابد. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها نیز هماهنگ با تغییرات بافت و ماده آلی در افق-های مختلف خاکرخ‌ها متغیر است. همچنین خاک‌های مطالعه شده هم‌چون اغلب خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مقادیر متفاوتی از آهک را دارا هستند (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- یافته‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های مورد مطالعه.

افق	شن	سیلت	رس	بافت	pH	CEC ($Cmol^{+}.kg^{-1}$)	EC ($dS.m^{-1}$)	CCE	OM
	(%)							(%)	
Ap	۸/۷۵	۳۷/۵	۵۳/۷۵	رسی	۸/۰۶	۲۷/۷	۱/۱۷	۱۱	۱/۱۹
Bw	۱۳/۷۵	۳۵	۵۱/۲۵	رسی	۸/۰۰	۲۵/٤	۰/٦٤	۱۵	۰/۷۸
Bk	۱۱/۲۵	٤۵	٤۳/۷۵	رس سیلتی	۸/۰۸	۲٤/۲	۱/۰۲	۱۲	۰/۹۸
C	٤٦/۲۵	۳۷/۵	۱٦/۲۵	لوم	۸/۱۳	–	۰/۷٦	۱٦	۰/۷۱
Ap	۱۸/۷۵	۳۷/۵	٤۳/۷۵	رسی	۸/۰۳	۱۷/۵	۰/۷۳	۸	۰/٤۵
Bt	۱٦/۲۵	۲۵	۵۸/۷۵	رسی	۷/٦۸	۲٦/۵	۰/۷۳	۱٤	۰/۸۵
Btk	۲۳/۷۵	۲۵	۵۱/۲۵	رسی	۷/۹۳	۲۳/۹	۰/٦٦	۲۰	۰/۵۳
C	۷۱/۲۵	۵	۱۳/۷۵	شن لومی	۷/۷۳	–	۰/۵۹	۱۱	۰/۵۲
A	۲۱/۲۵	۳۵	٤۳/۷۵	لوم رسی	۷/۸۰	۲۳/۸	۰/۷۲	۱٤/۵	۰/۹۱
Bk1	۱۸/۷۵	٤۵	۳٦/۲۵	لوم رسی سیلتی	۸/۰۱	۱۹/۷	۰/۸۷	۱۳/۷	۱/۰۵
Bk2	۸/۷۵	۵۷/۵	۳۳/۷۵	لوم رسی سیلتی	۷/٦٤	۱۷/۵	۰/۹۸	۱۲	۰/۹۱
C1	۷۱/۲۵	۷/۵	۱۱/۲۵	شن لومی	۷/۷۱	–	۰/۸۳	۱۵/۵	۰/۷۸
C2	۷۳/۷۵	۱۵	۱۱/۲۵	لوم شنی	۷/۵۵	–	۲/۳۱	۱٤	۰/۷۷
A	٤۱/۲۵	٤۰	۱۸/۷۵	لوم	۸/۱۷	۲۷/۹	۱/٤	۹	۲/۱۷
Bw1	۳۳/۷۵	۳۷/۵	۲٦/۲۵	لوم	۸/۱۱	۲٦/٤	۰/٦۲	۱۲	۱/۱۲
Bw2	٤۸/۷۵	۱۷/۵	۳٦/۲۵	لوم رسی	۸/۲۸	۲٤/۳	۰/۷٤	۱۱	۰/۸۵
C	۳٦/۲۵	۳۷/۵	۲٦/۲۵	لوم	۷/۹۳	–	۰/۸	۷	۰/۸۵

جمع‌بندی مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی حضور افق‌های مشخصه کمبیک به‌واسطه توسعه کم طی فرآیند هوادیدگی و تشکیل ساختمان، کلسیک به‌دلیل تجمع آهک ثانویه طی فرآیند آهکی‌شدن و آرجیلیک در نتیجه حضور رس آب‌شویی یافته طی فرآیند شست-وشو و تجمع در افق‌های مختلف را تأیید نمود که نتیجه حضور این افق‌های مشخصه تشکیل خاک‌های اینسپتی-سول و آلفی‌سول با خانواده‌های مختلف در منطقه است که گزارش دقیق آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است (بیول و همکاران ۲۰۱۱، بی‌نام ۲۰۱٤).

ویژگی‌های میکرومرفولوژیک خاک‌های مطالعه شده

جدول ٤ گزارشی از یافته‌های میکرومرفولوژیکی در خاکرخ‌های مطالعه شده را ارائه می‌نماید. براساس این نتایج در خصوص نحوه آرایش کانال‌های خاک که ناشی از آرایش اجزای بنیادین است مشاهده می‌شود که غالبیت حفرات کانالی به‌عنوان نوع متکامل‌تر حفرات و تشکیل ریزساختار مکعبی در افق‌هایی مشاهده می-شود که نمودهای آهکی در آنها دیده شده‌است (شکل ۱- الف).سطحی دیده می‌شوند که در تشکیل ریزساختار کروی نقش دارند (شکل ۱- ب). بی‌فابریک برش‌های نازک مطالعه شده از نوع بلوری بوده (شکل ۱- پ) که حضور آهک یا کانی‌های اولیه بسته به نوع افق، عامل به‌وجود آمدن این نوع بی‌فابریک می‌باشد (کمپ و همکاران ۲۰۰۳).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- رده‌بندی خاکرخ‌های مورد مطالعه (سیستم رده بندی آمریکایی ۲۰۱۴).

خاکرخ		خانواده خاک
۱		Fine, mixed, active, mesic Typic Haploxerepts
۲	ن	Fine, mixed, active, mesic Calcic Haploxeralfs
۳		Fine, mixed, active, mesic Typic Haploxerepts
۴	مـ	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxerepts

مودهای مرتبط با بقایای آلی عموماً در افق‌های مشاهدات میکروسکوپی نمودهای خاک‌ساختی ناشی از تخلیه، پرشدگی و پوشش آهکی در برش نازک افق‌های خاکرخ‌های ۱، ۲ و۳ ضمن تأیید یافته‌های مرفولوژیکی بیان‌گر این است که فرآیندهای خاک‌ساختی مرتبط با تحولات آهک در این خاکرخ‌ها روی داده لیکن شدّت این فرآیند تنها در خاکرخ ۳ به‌اندازه‌ای بوده که منجر به تشکیل افق مشخصه کلسیک شده است (شکل ۱- ت و ث). روی دادن چنین فرآیندی در این خاکرخ می‌تواند ناشی از فرآیندهای زمین‌شناسی (فیشر و همکاران ۱۹۷۲) و در ادامه انحلال، انتقال و رسوب مجدد آهک به‌شکل ثانویه باشد (روستاد و آرناد ۱۹۸۶). رؤیت پوشش رس بر روی دیواره کانال‌ها و ذرات اولیه در برش‌های نازک مربوط به افق‌های دوم و سوم خاکرخ ۲ حکایت از انتقال و تجمع رس دارد (شکل ۱- ج). با توجه به جنبه‌های کیفی و کمی این تجمع، افق مشخصه آرجیلیک در این خاک گزارش شده که در نهایت منعکس کننده حضور آلفی‌سول‌ها در این بخش است (بیول و همکاران)

جدول ۴- ویژگی‌های میکرومرفولوژیک خاکرخ‌های شاهد.

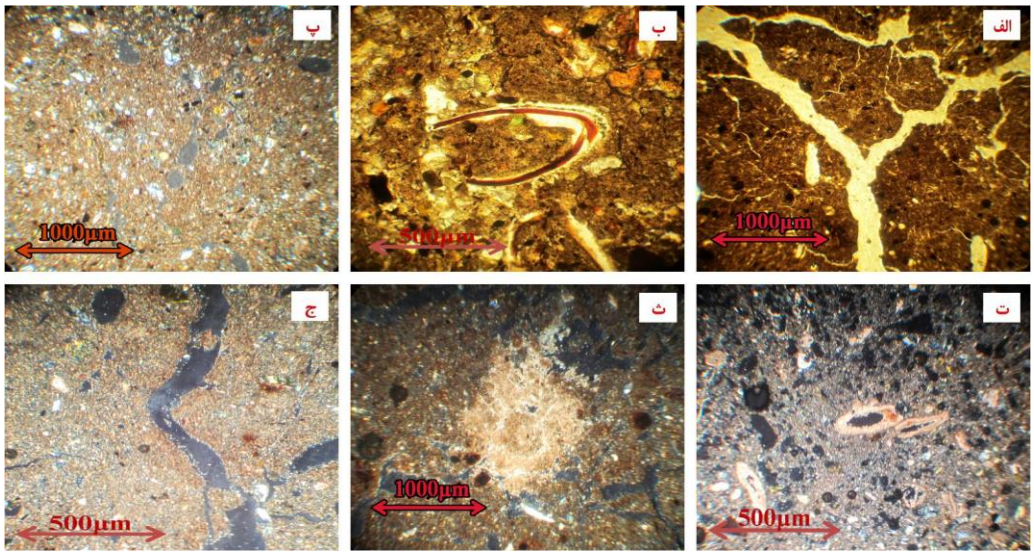
افق	ریزساختار	تخلخل (٪)	حفرات	c/f (20µm)	الگوی پراکنش ارتباطی	بی‌فابریک	بخش ریز	کانی‌های معدنی درشت	نمودهای خاک‌ساختی
خاکرخ ۱									
Ap	Gr, Bl, Sb	۲۰	Sp,Cdp,Chn	۲/۸	Po	Cr	رس		قطعات آلی سالم، نیمه تجزیه شده، جزئی تجزیه شده
Bw	Ab	۱۵	Chn,Sp,Chm	۱/۸	Po	Cr	رس	Qu, Fsp Mi, Cal Srp, Pl Op, Ot	قطعات آلی سالم، نیمه تجزیه شده، جزئی تجزیه شده
Bk	Sb, Ab	۲۰	Chn,Chm	۱/۹	Po, Mo	Cr	رس-آهک		قطعات آلی ساده و نیمه تجزیه شده، پوشش‌ها و پرشدگی آهک
C	Ma	۱۵	Sp, Cdp	۷/۳	Po	Cr	رس-آهک		---
خاکرخ ۲									
Ap	Ab	۲۵	Chn	٤/٦	Po	Cr	رس		جزئی بقایای آلی کاملاً تجزیه شده
Bt	Ab,Sb	۱۰	Chn, Sp	۲/۸	Po	Cr	رس	Qu, Pl, Chl Srp, Cal, Bt Rf, Pyr, Mc Ser, Op, Ot	پوشش رس
Btk	Sb	۱۰	Chn, Sp	٤/٦	Po	Cr	رس-آهک		پوشش رس، پوشش‌ها و پرشدگی آهک
C	Ma	۳۰	Chn, Sp	۸/۲	Mo	Cr	رس-آهک		---
خاکرخ ۳									
A	Gr,Sb	۱۵	Chn,Sp	۲/۸	Po	Cr	رس	Qu, Mi	جزئی بقایای آلی نیمه تجزیه

www.SID.ir

Archive of SID

Bk1	Sb	۱۵	Chn, Sp	۳/۷	Po,Mo	Cr	رس-آهک	Pl, Pyr Cal,Chl Am, Ot	شده جزئی بقایای آلی نیمه تجزیه شده، پوشش‌ها و پرشدگی آهک
Bk2	Sb	۱۰	Chn, Sp	۱/۹	Mo	Cr	رس-آهک		پوشش‌ها و پرشدگی آهک
C1	Gr	۱۵	Sp	۹/۱	Mo	Cr	---------		---------
C2	Gr	۱۵	Sp	۹/۱	Mo	Cr	---------		---------
					خاکرخ ٤				
A	Gr	۳۰	Sp,Cdp	۳/۷	Po	Cr	رس	Qu, Mi Pl, Pyr Cal,Chl Am, Ot	بقایای آلی سالم، نیمه تجزیه شده، کاملاً تجزیه شده
Bw1	Sb.Ab	۲۰	Sp,Cdp,Chn	٤/٦	Po	Cr	رس		بقایای آلی نیمه تجزیه شده
Bw2	Sb.Ab	۲۰	Sp,Chn	٤/٦	Po	Cr	رس		جزئی بقایای نیمه تجزیه شده
C	Ma	٤۰	Sp	۹/۱	Mo	Cr	---------		---------

راهنمای جدول: ریزساختار: Granular –Gr (کروی)، Blocky –Bl (مکعبی)، Subangular blocky –Sb (مکعبی بدون زاویه)، Angular –Ab blocky (مکعبی زاویه‌دار)، Massive –Ma (توده‌ای). حفرات: Chambers – Chm (چمبر)، Channel –Chn (کانال)، Simple packing –Sp (بسته ساده)، Compound packing–Cdp (بسته مرکب). الگوی پراکنش ارتباطی: Porphyric –Po (پورفیریک)، Monic –Mo (مونیک). بی-فابریک: Crystallitic –Cr (بلوری). کانی‌های معدنی درشت: Amphibole-Am (آمفیبول)، Quartz-Qu (کوارتز)، Feldespar-Fsp (فلدسپار)، Mica-Mi (میکا)، Calcit-Cal (کلسیت)، Plagioclase-Pl (پلاژیوکلاز)، Serpantin-Ser (سرپانتین)، Opaques –Op (اوپاک)، Chlorite-Chl (کلرایت)، Rock fragment-Rf (خرده سنگ). Pyrxenes-Pyr (پیروکسن)، Microline-Mc (میکرولین) ، Biotite-Bt (بیوتیت) ، Other-Ot (سایر قطعات).



شکل۱- تصاویر میکروسکوپی خاک‌های مطالعه شده: الف: منافذ کانالی و ریزساختار مکعبی، خاکرخ اول، افق Bk (PPL). ب: بقایای آلی نیمه تجزیه شده، خاکرخ سوم، افق Bk2 (PPL). پ: بی‌فابریک بلوری ، خاکرخ چهارم، افق Bw2 (XPL). ت: پوشش آهک و رس ، خاکرخ دوم، افق Btk (XPL). ث: پرشدگی آهک، خاکرخ اول، افق Bk (XPL). ج: پوشش رس اطراف کانال، خاکرخ دوم، افق Bt (XPL).

میزان تکامل خاک‌های مطالعه شده

تکامل خاک‌های مورد مطالعه براساس روش‌های بحث شده در بخش مواد و روش‌ها بررسی و نتیجه آنها در جدول ۵ جمع‌بندی شده است. نتایج هر سه روش بررسی تکامل خاک، متکامل بودن خاکرخ ۲ را نسبت به سایر خاکرخ‌ها نشان می‌دهد که این امر دقیقاً

www.SID.ir

Archive of SID

منطبق بر منطق رده‌بندی خاک‌ها است که آلفی‌سول‌ها را نسبت به اینسپتی‌سول‌ها خاک‌هایی متکامل معرفی می‌نماید (بی‌نام ۲۰۱٤). حضور و نقش بارز نقل و انتقال و تجمع رس و نیز تشکیل نمودهای خاک‌ساختی آهکی و همچنین تشکیل حفرات کانالی ناشی از فرآیندهای یاد شده که از نوع حفرات متکامل هستند را می‌توان علل متکامل بودن این خاکرخ نسبت به سایر موارد دانست (بیول و همکاران ۲۰۱۱، لیاقت و خرمالی ۱۳۹۰). مشاهده هم‌زمان نمودهای تجمعی رس و آهک بیان‌گر این نکته است که افق آرجیلیک تشکیل شده از تکامل بالایی برخوردار نیست (خرمالی و همکاران ۲۰۰٦) و این امر تأثیر خود را در فاصله تکاملی کمّی اندک بین خاکرخ ۲ با ۱ در جدول ٥ نیز نشان می‌دهد. ترتیب تکاملی خاک‌های مطالعه شده خاکرخ ۱ را نیز مطابق اصول هر سه روش بررسی تکامل در بحث، به‌عنوان دومین خاکرخ متکامل در منطقه معرفی نمود. هر چند این خاکرخ به‌لحاظ رده‌بندی با دو خاکرخ ۳ و ٤ جزو خاک‌های اینسپتی‌سول هستند لیکن تشکیل دو نوع افق Bk و Bw حکایت از متکامل بودن آن نسبت به دو خاکرخ یاد شده دارد چرا که افق‌زایی خود از شواهد متکامل بودن خاک‌ها است (آلکساندرویسکی ۲۰۰۷). از سویی کلاس اندازه ذرات Fine در سطح خانواده خود از دیگر شواهد متکامل بودن این خاکرخ به‌لحاظ ریزبافت بودن است. سومین رتبه تکاملی خاک‌های منطقه متعلق به خاکرخ ۳ می‌باشد. این خاکرخ اگرچه همچون خاکرخ ٤ تنها از یک نوع افق B تشکیل شده لیکن می‌توان تجمع آهک ثانویه هر چند به مقدار کم را عامل متکامل بودن آن نسبت به خاکرخ ٤ دانست که تنها از افق Bw تشکیل شده است. همچنین ریزتر بودن کلاس اندازه ذرات آن در سطح فامیل نیز مؤید این تفاوت تکاملی می‌باشد. مشابه با موارد فوق رضائی و همکاران (۱۳۹٥) نیز ریز بافت شدن خاک و نیز افزایش شدّت و تنوع فرآیندهای خاک‌سازی و در نتیجه افق‌زایی را نشانه متکامل بودن خاک‌ها بیان کرده‌اند.

مقایسه روش‌های تکاملی به‌کار رفته در این تحقیق هم‌سویی نتایج حاصل از آنها و قابلیت یکسان آنها در رتبه‌بندی تکاملی خاک‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک را نشان می‌دهد. هر چند خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) شاخص MISECA را در نواحی خشک و نیمه-خشک نسبت به شاخص MISODI به‌دلیل توجه نمودن به نمودهای خاک‌ساختی آهکی کاراتر معرفی نموده‌اند اما نتایج این تحقیق چنین امری را تأیید نمی‌کند که شاید علت را بتوان در کم بودن تجمعات آهک ثانویه به‌حدی که حتی منجر به تشکیل افق مشخصه کلسیک نشده است دانست.

جدول ٥: محاسبه شاخص‌های مرفولوژیکی و میکرومرفولوژیکی.

خاکرخ	MISODI	MISECA	Harden
۱	۱٦	۱٦	۳۰/۱۲
۲	۱۸	۲۳	۳۳/٦۷
۳	۱٥	۱٤	۲۸/۰۹
٤	۱۰	۱٤	۲٤/۱۲

نتیجه گیری کلی

مطالعات انجام یافته حضور دو رده خاک اینسپتی‌سول و آلفی‌سول را در منطقه نشان داد. ارزیابی نیمه‌کمی نمودهای خاک‌ساختی مرتبط با خاک-های تحت بررسی برپایه مشاهدات مرفولوژیکی و میکرومرفولوژیکی که با استفاده از روش‌های مطالعه تکامل خاک هاردن، MISODI و MISECA صورت گرفت سیر تکاملی یکسانی را برای خاک‌های تحت بررسی منطبق با منطق رده‌بندی خاک‌ها نشان داد. لیکن

www.SID.ir

Archive of SID

نارسایی‌های اندک روش‌های مورد استفاده را می‌توان در ابتدایی بودن نمودهای خاک‌ساختی مورد مشاهده و متکامل نبودن آنها دانست، در حالی‌که روش‌های اصلی کاربرد این روش‌ها در خاک‌هایی با نمودهای متکامل ارزیابی شده‌اند. هر چند مطابقت نتایج رده‌بندی خاک‌ها با روش‌های مورد استفاده در این تحقیق شبهه عدم نیاز به مطالعات پیچیده و پرهزینه تکامل خاک را القا می‌نماید، لیکن توجه به این نکته که شاخص‌های مذکور تفاوت بین دو خاک با رده‌بندی یکسان و نیز حدفاصل دقیق تفاوت‌های دو خاک را به‌صورت کمّی بیان می‌کنند، بیان‌گر اهمیت بالای استفاده از آنها در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی خاک است. در نهایت جهت تکمیل مطالعه حاضر در راستای ارتقای جایگاه مطالعات مرفولوژیک و میکرومرفولوژیک در بررسی تکامل خاک پیشنهاد می‌شود سایر روش‌های بررسی تکاملی خاک نیز انجام و با روش‌های مذکور مقایسه گردد.

منابع مورد استفاده

Alexandrovskiy AL, 2007. Rates of soil-forming processes in three main models of pedogenesis. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 24(2): 283-292.

Anonymous, 2016. Meteorological statistics of the Khoy synoptic station. I.R. of Iran Metrological Organization**.** Department of Meteorology of West Azarbaijan province. (In Persian)

Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy (12th ed.). United States Department of Agriculture, Naturaral Resources Conservation Service, Soil Survey Staff, Washington, DC.

Anonymous, 2008. Laboratory analysis Instructions of water and soil samples. Soil and Water Research Institute. No. 467. Ministry of Agriculture, Iran. (In Persian)

Anonymous, 2005. Geological Map of Iran 1:100000, Sheet 4967. Geological Survey and Mineral Explorations of Iran. Ministry of Industry, Mine and Trade. (In Persian)

Banaei MH, 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran. (In Persian)

Birkeland PW, 1991. Soil and Geomorphology. Pub: Oxford University, New York.

Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, Stoops G and Tursina T, 1985. Handbook for Thin Section Description. Waine Research, England.

Buol SW, Southard RJ, Graham RC and McDaniel PA, 2011. Soil Genesis and Classification. Wiley, Oxford, UK.

Fisher WL, Mc Gowen JH, Brown LF and Groat GG, 1972. Environmental Geologic Atlas of the Texas Coastal Zone-Galveston-Houston Area. Bureau of Economic Geology, University of Texas, Austin, U.S.A.

Follmer LR. 1998. A Scale for judging degree of soil and paleosol development. Quaternary International 51-52: 12-13.

Ghafarpour A, 2012. Comparison of the degree of evolution and characteristics of modern soils with old clay soils under different climatic conditions in Golestan Province. MSc Thesis, Gorhan Agriculture Science and Natural Resources University. (In Persian)

Ghergherechi SH, Khormali F, Mohammadi SH and Ayobi SH, 2007. Micromorphological study of the development of the argilic horizon of alfisols in Southwest of Golestan Province. Pp. 204-205. 10th Soil Science Congress of Iran. Karaj.

Harden JW, 1982. A Quantitative index of soil development from field description: examples from a Chronosequence in Central California. Geoderma 28: 1-28.

Harden JW and Taylor EM, 1983. A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes. Quaternary Research 20: 342-359.

www.SID.ir

Archive of SID

Haugland JE and Owen Haugland BS, 2008. Cryogenic disturbance and pedogenic lag effects as determined by the profile developmental index: The Styggedalsbreen Glacier Chronosequence, Norway. Geomorphology 96(1): 212-220.

Karimi A, Khademi H and Jalali A, 2008. Identification of loess soils and their separation from other soils in south of Mashhad. Journal Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 44 (12): 185-200. (In Persian)

Kemp RA, Toms PS, Sayago JM, Derbyshire E, King M and Wagoner L. 2003. Micromorphology and OSL dating of the basal part of the loess-paleosol sequence at La Mesada in Tucuman province, North-west Argentina. Quaternary International (106-107): 111-117.

Khormali F, Abtahi A, Mahmoodi Sh and Stoops G, 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. Catena 53(3): 273-301.

Khormali F, Abtahi A and Stoops G, 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. Geoderma 132: 31-46.

Khormali F, and Kehl M, 2011. Micromorphology and development of loess-derived surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran. Quaternary International 234: 109-123.

Liaghat M and Khormali F, 2011. Micromorphology of development of some loess-derived soils of western Golestan province along a climo-topo-biosequence. Jornal Water and Soil Conservation 18(1): 100-125. (In Persian)

Magaldi D and Tallini M, 2000. A Micromorphological index of soil development for the quaternary geology research. Catena 41(4): 261-276.

Montakhabi Kalajahi V, Jafarzadeh AA, Rezaei H, 2017. Comparsion of different soils evolution based on argillic horizon development. Journal of Water and Soil Conservation 27(1): 253-265. (In Persian)

Murphy CP, 1986. Thin section preparation of soils and sediments. A and B Academic, Berkhamsted, England.

Rezaei H, Jafarzadeh AA, Alijanpour A, Shahbazi F and Valizadeh Kamran Kh, 2016. Genetically evolution of Arasbaran forests soils along altitudinal transects of Kaleybar Chai Sofla Sub-Basin. Jornal of Water and Soil science. University of Tabriz. 26 (4/1): 151-166. (In Persian)

Rostad HPW and Arnaud RJSt, 1986. The Nature of Carbonates minerals in two Saskatchewan Soils. Canadian Journal of Soil Science 50: 65-70.

Schaetzl RJ and Mokma DL, 1998. A Numerical index of podzol and podzolic soil development. Physical Geography 9(3): 232-246.

Schaetzl RJ, and Anderson Sh, 2005. Soils: Genesis and Geomorphology. Pub: Cambridge University, Cambridge.

Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC and Soil Survey Staff, 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Shahriari A, Khormali F, Karimi AR, Lehndorff E, Tazikeh H. and Kehl M, 2015. Palaeopedological study of loess-palaeosol sequences along a climosequence in Northern Iran. Journal of water and soil conservation 22 (2): 21-39. (In Persian)

Stoops G, 2003. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Section. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Stoops G, Marcelino V and Mees F, 2010. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier's Science and Technology, Oxford, UK.

Ziyaee A, Pashaei A, Khormali F and Roshani MR, 2013. Some physico-chemical, Clay Mineralogical and Micromorphological Characteristics of Loess-Paleosols Sequences Indicators of Climate Change in South of Gorgan. Journal of Water and Soil Conservation 20: 1-28. (In Persian)

www.SID.ir