نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

مطالعه خاک‌شناسی پارینه در توالی‌های لس- خاک قدیمی در طول یک ردیف اقلیمی در شمال ایران

علی شهریاری[۱]، *فرهاد خرمالی[۲]، علیرضا کریمی[۳]، ایوا لهندورف[۴]، حسین تازیکه[۵] و مارتین کهل[۶]

[۱]دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [٤]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه بُن، [٥]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [٦]استاد انستیتوی جغرافیا دانشگاه کُلن

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/٤/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: رسوبات لسی موجود در دامنه رشته‌کوه‌های البرز در شمال ایران یکی از مهم‌ترین بایگانی‌های زمینی نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی می‌باشند و پلی ارتباطی بین رسوبات لسی جنوب‌شرقی اروپا و رسوبات لسی آسیای میانه را فراهم می‌کنند. این رسوبات به‌دلیل حفظ خاک‌های قدیمی جهت بازسازی فرایندهای خاکسازی گذشته حاکم بر خاک و به تبع آن، شرایط اقلیمی زمان تشکیل، دارای اهمیت بسیاری هستند. از این‌رو، این پژوهش با هدف مطالعه خاک‌شناسی پارینه در سه توالی لس- خاک قدیمی (آق‌بند، مبارک‌آباد و نکا) برای بازسازی فرایندهای خاک‌سازی گذشته در طول یک ردیف اقلیمی در شمال ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها: سه توالی لس- خاک قدیمی شامل آق‌بند، مبارک‌آباد و نکادر استان‌های گلستان و مازندران در شمال ایران مورد مطالعه قرار گرفتند. توالی آق‌بند در بخش غربی پلاتوی لسی شمال ایران واقع شده است. مقطع مبارک‌آباد که در اثر برش عمیق جاده‌ای پدیدار شده، در حاشیه شمالی رشته‌کوه البرز واقع شده است. توالی لس- خاک قدیمی نکا در بالای یک معدن عمیق سنگ آهک در حدود ۱۰ کیلومتری شرق شهر نکا، واقع شده است. تعداد ٦ خاکرخ با مواد مادری لسی (برای مقایسه) از خاک‌هایی که در شرایط کنونی محیطی تشکیل شده‌اند نیز در طول این ردیف اقلیمی جهت مقایسه حفر شد که در چهار رده انتی‌سول، انسپتی‌سول، مالی‌سول و آلفی‌سول طبقه‌بندی شدند. نمونه‌برداری خاک‌ها در چندین نوبت عملیات صحرایی در اسفندماه سال ۱۳۹۰ و فروردین و اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۱ انجام شد. پس از نمونه‌برداری و تشریح صحرایی خاک‌ها، برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که سیلت، ذره غالب در این توالی‌های لسی و خاکرخ‌های مدرن بوده (بیش از ۵۰ درصد) که بیانگر منشأ بادرفتی داشتن رسوبات لسی دارد. به‌صورت کلی مقدار رس از سمت آق‌بند به‌سمت مبارک‌آباد و نکا بیش‌تر شده و از مقدار سیلت کاسته می‌شود که این مسأله می‌تواند به‌دلیل هوادیدگی و یا انتقال رس و فاصله از منشأ برداشت باشد. مقدار کربنات کلسیم معادل در افق‌های مختلف متفاوت بوده (حدود

* مسئول مکاتبه: khormali@yahoo.com

۲۰-۱۵ درصد) که شرایط اقلیمی و فعالیت‌های خاک‌ساز را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که توالی لس- خاک قدیمی آق‌بند تنها یک دوره ابتدایی خاک‌سازی را در گذشته نشان می‌دهد، در صورتی‌که توالی مبارک‌آباد حدود ۵ دوره و نکا حداقل ٦-٤ دوره مختلف خاک‌سازی با درجه تکاملی مختلف و بیش‌تر را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری: با حرکت در طول ردیف اقلیمی میزان تکامل و تنوع افق‌ها (در خاک‌های قدیمی و همچنین در خاک‌های مدرن) که نتیجه فعالیت‌های پدوژنیک بوده و با اقلیم رابطه مستقیم دارند، بیش‌تر می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که شیب اقلیمی موجود (به‌خصوص در مورد بارندگی) در منطقه مورد مطالعه در طول زمان وجود داشته و تغییرات اقلیم کنترل‌کننده میزان و شدت فعالیت‌های خاک‌ساز بوده است.

واژه‌های کلیدی: اقلیم گذشته، پیدایش خاک، آق‌بند، مبارک‌آباد، نکا

مقدمه

از مهم‌ترین کاربردهای خاک استفاده از آن به‌عنوان پنجره‌ای به شرایط اقلیمی و محیطی گذشته از طریق خاک‌های قدیمی می‌باشد. خاک‌های قدیمی مدفون، در شرایط محیطی گذشته تشکیل شده و تکامل یافته‌اند ولی توسط رسوبات جوان‌تر مانند لس‌ها، رسوبات انتقال‌یافته یخچالی و رسوبات آبرفتی دفن شده‌اند و به همین دلیل، به‌راحتی قابل شناسایی هستند (۱۷). از سویی دیگر یکی از فرآیندهای دوره کواترنر، دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی است که در دوره‌های یخچالی رسوب لس و در دوره‌های بین‌یخچالی خاک‌های قدیمی در رسوبات لسی تشکیل شده‌اند (۱۱). از این‌رو توالی‌های لس- خاک قدیمی در فراهم آوردن اطلاعات و داده‌های مختلف در مورد اقلیم و محیط گذشته می‌توانند به‌کار گرفته شوند (۱۷).

همان‌طور که اشاره شد با استفاده از تغییرات پیدایشی و تکاملی خاک‌های قدیمی می‌توان به تغییرات اقلیمی و محیطی گذشته پی برد، به‌گونه‌ای که جاکوبز و ماسون (۲۰۰٤) در مطالعه مورفولوژیکی و خاک‌شناسی پارینه[1] چندین خاک قدیمی مربوط به دوره هولوسن در منطقه نبراسکای ایالات متحده آمریکا دریافتند که این رسوبات نشان‌دهنده سه دوره (فاز) رسوب‌گذاری و تشکیل خاک می‌باشند (٤). آن‌ها بیان کردند که این سه دوره در نتیجه تغییرات محیطی (اقلیمی و پوشش گیاهی) در منطقه مورد مطالعه‌شان رخ داده است. همچنین مطالعات تبور و همکاران (۲۰۱۱) بر روی مورفولوژی، پتروگرافی (بررسی اشکال کربنات کلسیم و گچ پدوژنیک) و کانی‌شناسی خاک قدیمی مربوط به دوره پرمین در نیجر و مقایسه آن با خاک‌های مدرن استرالیا و آمریکا نشان داد که خاک قدیمی مورد مطالعه در شرایط خشک (ارید) و بسیار خشک (هایپر ارید) تشکیل شده است (۱۹).

رسوبات لسی شمال ایران، منعکس‌کننده چندین چرخه تغییر اقلیم و تکامل سیمای سرزمین برای دوره میانی تا انتهایی کواترنری هستند. در این منطقه توالی‌های لس- خاک قدیمی یکی از مهم‌ترین بایگانی‌های زمینی نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی می‌باشند و پلی ارتباطی بین رسوبات لسی جنوب‌شرقی اروپا و رسوبات لسی آسیای میانه را فراهم می‌کنند. تغییر اقلیم در ارتفاعات ایران و مناطق اطراف آن در اواسط و اواخر دوره

1- Palaeopedology

کواترنری بسیار بحث‌برانگیز بوده و در گذشته بر اساس دوره‌های بارندگی و بین‌بارندگی یا یخچالی و بین‌یخچالی مورد بحث قرار گرفته است (٦).

مطالعات خاک‌شناسی پارینه و سن‌سنجی کهل و همکاران (۲۰۰۵) بر روی سه توالی لس- خاک قدیمی (آق‌بند، نوده و نکا) در طول یک شیب اقلیمی در شمال ایران نشان داد که در دوره میانی و پایانی پلیستوسن در این منطقه اقلیم سرد و خشک جای خود را به اقلیمی کمابیش گرم و مرطوب می‌دهد توالی نوده ۹ دوره تجمع و رسوب‌گذاری لس را که به‌وسیله دوره‌های بین‌یخچالی و به احتمال زیاد انترستادیال[1] (شرایط گرم و مرطوب و مناسب برای تشکیل و تکامل خاک) قطع شده‌اند را نشان می‌دهد (۸). از این‌رو این پژوهشگران بیان نمودند که توالی‌های لس- خاک قدیمی شمال ایران نمونه‌ای فوق‌العاده برای مطالعه تغییرات اقلیم گذشته می‌باشند.

ضیایی و همکاران (۲۰۱۲) نیز با مطالعه یک توالی لس- خاک قدیمی در منطقه نهارخوران گرگان دریافتند که تشکیل این توالی لسی در اثر دوره‌های مختلف یخچالی و بین‌یخچالی می‌باشد. این پژوهشگران بیان نمودند که رنگ‌های تیره‌تر خاک‌های قدیمی، مقدار بیش‌تر رس و حضور ساختمان منشوری در مقایسه با افق‌های لس با رنگ روشن‌تر، مقدار رس کم‌تر و ساختمان توده‌ای نشان‌دهنده شرایط مناسب برای هوادیدگی و در نتیجه افزایش پروسه‌های خاکساز در زمان تشکیل و تکامل خاک‌های قدیمی می‌باشد. به‌عبارت دیگر تغییرات پدوژنیکی و تکاملی خاک‌های قدیمی موجود در این مقطع لسی نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی متناوب در طول دوره پلیستوسن در این منطقه است (۲۲). خرمالی و کهل (۲۰۱۱) نیز پس از مطالعه تغییرات مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی خاک‌های مدرن و خاک‌های قدیمی در طول یک ردیف اقلیمی در شمال ایران بیان نمودند که مطالعات پیدایشی توأم خاک‌های مدرن و خاک‌های قدیمی برای داشتن تصویری واقعی‌تر از شرایط اقلیمی بهتر بوده و به‌نظر می‌رسد که بازسازی شرایط اقلیمی گذشته بر اساس خصوصیات خاک در این منطقه قابل انتظار می‌باشد (۹).

مطالعه و پژوهش بر روی توالی‌های لس- خاک قدیمی به‌عنوان یک از منابع قابل اعتماد بازسازی شرایط محیط گذشته در سراسر دنیا مورد توجه می‌باشد ولی در ایران پژوهشگران بومی کم‌تر به این پتانسل طبیعی موجود پرداخته‌اند و بیش‌تر پژوهشگران خارجی در این زمینه و به‌خصوص یافتن و معرفی توالی‌های لسی پیشرو بوده‌اند. از سوی دیگر با توجه به این موضوع که می‌توان از خصوصیات پدولوژیکی توالی‌های لس- خاک قدیمی جهت بازسازی فرایندهای خاک‌سازی گذشته حاکم بر خاک استفاده نمود و به تبع آن، شرایط اقلیمی زمان تشکیل را بازسازی کرد، این پژوهش با هدف مطالعه خاک‌شناسی پارینه سه توالی لس- خاک قدیمی برای بازسازی فرایندهای خاک‌سازی گذشته و تغییرات شرایط اقلیمی گذشته در طول یک ردیف اقلیمی در رسوبات لسی شمال ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) در شمال کشور واقع و دارای مواد مادری لسی و مشتق از لس است. مناطق مورد مطالعه شامل توالی‌های لس- خاک قدیمی در سه منطقه آق‌بند، مبارک‌آباد (استان گلستان) و نکا (استان مازندران) می‌باشند (جدول ۱).

1- Interstadial

جدول ۱- اطلاعات عمومی توالی‌های لس- خاک قدیمی مورد مطالعه.

Table 1. General information of the studied loess-palaeosol sequences.

منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	متوسط بارندگی سالیانه	متوسط دمای سالیانه	پوشش گیاهی فعلی
Region	Longitude	Latitude	Altitude (m a.s.l.)	Mean annual precipitation (mm)	Mean annual temperature (°C)	Present vegetation cover
آق‌بند	۵۵° ۰۹′ ٤۲″	۳۷° ۳۷′ ۱۰″	۱۷۰	۳۵۰	۱۷	مرتع
Agh Band	55° 09′ 42″E	37° 37′ 10″N	170	350	17	Grassland
مبارک‌آباد	۵۵° ۱۸′ ۱٤″	۳۷° ۰۹′ ۳۳″	۳۱۰	٦۷۰	۱۷	بوته‌زار
Mobarak Abad	55° 18′ 14″E	37° 09′ 33″N	310	670	17	Shrub land
نکا	۵۳° ۲۰′ ٤٦″	۳٦° ۳۹′ ۳۷″	۱۱٦	۷۵۰	۱٦/۵	بوته‌زار
Neka	53° 20′ 46″E	36° 39′ 37″N	116	750	16.5	Shrub land

منطقه آق‌بند در ابتدای پلاتوی لسی شمال ایران قرار داشته و دارای میزان بارندگی کم‌تری نسبت به دو منطقه دیگر است و به‌عبارت دیگر در خشک‌ترین قسمت این شیب اکولوژیکی قرار داشته و کل مقطع حدود ٤۰ متر ضخامت داشته و تنها یک خاکرخ قدیمی در این مقطع یافت شد. توالی مبارک‌آباد در نزدیکی روستایی به همین نام در جاده آزادشهر به گنبد کاووس واقع شده است. بر روی این توالی (همچنین توالی آق‌بند) مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی دقیق و همچنین بررسی خاک‌شناسی پارینه کلی (تعداد محدودی کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی) توسط غفارپور (۲۰۱۲) انجام شده است و دوره‌های مختلف تغییر اقلیم در آن مشخص می‌باشد (۳). نکته شایان ذکر نحوه نمونه‌برداری از این توالی است. با توجه به این‌که جاده منتهی به روستای مبارک‌آباد، تپه‌ای که این مقطع در آن قرار دارد را به دو نیم کرده و از سوی دیگر وجود زمین‌های کشاورزی بر روی تپه امکان حفر ترانشه‌ای مستقیم را سلب می‌نمود، از این‌رو با حرکت در طول جاده و رعایت چینه‌شناسی خاکی[1] از خاکرخ‌های مختلف با شرایطی که در بخش نمونه‌برداری ذکر می‌شود، به‌صورت دیواره نمونه‌برداری شد.

توالی لس- پالئوسول نکا برای نخستین بار در این پژوهش معرفی می‌شود. این توالی در ۱۰ کیلومتری شهر نکا در جاده بهشهر به نکا واقع شده است. در زیر این توالی معدن سنگ آهک (بر اساس نظر کهل و همکاران (۲۰۰۵) سنگ آهک مربوط به دوره ژوراسیک) وجود داشته و در بالای تپه اراضی کشاورزی (باغ) و در حاشیه آن بوته‌زارهای تمشک قرار دارد. در این توالی نیز به‌علت شرایط ذکر شده امکان حفر ترانشه‌ای مستقیم نبود و مانند توالی مبارک‌آباد با حرکت در طول توالی و رعایت چینه‌شناسی خاکی از خاکرخ‌های مختلف با شرایطی که در بخش نمونه‌برداری ذکر می‌شود، به‌صورت دیواره و ترانشه‌های کوچک نمونه‌برداری شد. باید اشاره نمود که کهل و همکاران (۲۰۰۵) در دو منطقه آق‌بند و نکا جهت سن‌سنجی رسوبات لسی شمال ایران در دو توالی دیگر، مطالعاتی را انجام داده‌اند که آن دو توالی با توالی‌های مطالعه شده در این پژوهش متفاوت می‌باشند.

1- Pedostratigraphy

جهت نمونه‌برداری، ابتدا پس از کنار زدن خاک رویی (حداکثر تا نیم متر)، ترانشه‌هایی در محل ایجاد شد و پس از حصول اطمینان از دست‌نخورده بودن خاک، اقدام به تشریح بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری صحرایی خاک (۱۳) و نمونه‌برداری از افق‌ها خاک انجام شد. شایان ذکر است که از خاکرخ‌هایی که تنها شامل مواد مادری لسی (بدون حضور خاک قدیمی) بودند نمونه‌برداری نشد و از لایه های حاوی خاک قدیمی و بخشی از مواد مادری لسی در بالا و زیر خاک قدیمی نمونه تهیه شد. برای مقایسه تغییرات پیدایشی و پدولوژیکی خاک‌ها در گذشته با شرایط موجود اقلیمی، تعداد ٦ خاکرخ (خاکرخ نکا در بالای توالی لسی- خاک قدیمی این منطقه؛ خاکرخ ۱ نکا) از خاک‌هایی که در شرایط کنونی محیطی تشکیل شده‌اند (با مواد مادری لسی)، در طول یک ردیف اقلیمی[1] حفر و به‌صورت مشابه با خاک‌های قدیمی‌ها تشریح و نمونه‌برداری و بر اساس سیستم تاکسونومی (۲۰۱٤) طبقه‌بندی شدند (۱۸) (جدول ۲). رژیم حرارتی این خاکرخ‌ها ترمیک بوده و رژیم رطوبتی آن‌ها از اریدیک تا زریک مرطوب متغیر می‌باشد.

جدول ۲- خصوصیات عمومی خاکرخ‌های مدرن[2] مورد مطالعه.

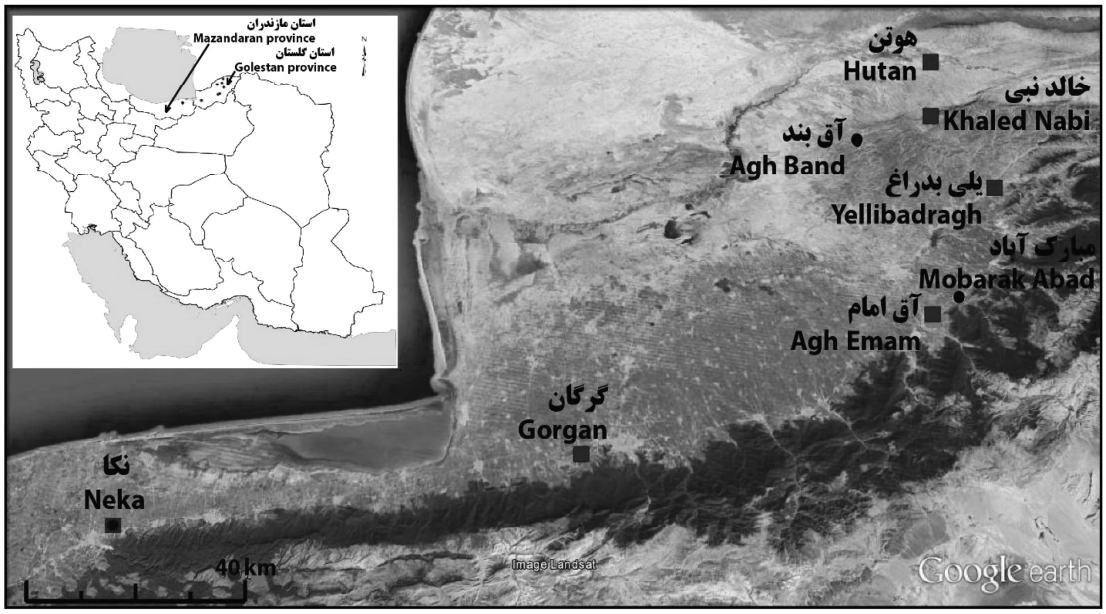
Table 2. General properties of the studied modern soil profiles.

رده‌بندی خاک	پوشش گیاهی	متوسط دمای سالیانه	متوسط بارندگی سالیانه	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیای	طول جغرافیای	منطقه
Soil classification*	Vegetation cover	Mean annual temperature (°C)	Mean annual precipitation (mm)	Altitude (m a.s.l.)	Latitude	Longitude	Region
Typic Xerorthents	مرتع	۱۸	۲۰۰	۱٤۲	۳۷° ۵۵´ ۲۲˝	۵۵° ۲۸´ ۲۹˝	هوتن
	Grassland	18	200	142	37°55′22″N	55°28′29″E	Hutan
Typic Haploxerepts	مرتع	۱۷/۵	۳۳۰	۳۸۰	۳۷° ٤۲´ ۱˝	۵۵° ۲٤´ ۳۰˝	خالد نبی
	Grassland	17.5	330	380	37°42′01″N	55°24′30″E	Khaled Nabi
Typic Calcixerolls	مرتع	۱۷	٤۸۰	۲۰۳	۳۷° ۲۸´ ۳۸˝	۵۵° ۳۰´ ۵٤˝	یلی‌بدراغ
	Grassland	17	480	203	37°28′38″N	55°30′54″E	Yellibadragh
Calcic Pachic Argixerolls	بوته‌زار	۱۷	٦۰۰	۳۲۰	۳۷° ۰٦´ ٤٤˝	۵۵° ۱۳´ ۰˝	آق امام
	Shrub land	17	600	320	37°06′44″N	55°13′00″E	Agh Emam
Calcic Haploxeralfs	جنگل	۱۷	٦۷۰	۲۱۸	۳٦° ٤۷´ ۵۷˝	۵٤° ۲۰´ ۳۹˝	گرگان
	Forest	17	670	218	36°47′57″N	54°20′39″E	Gorgan
Typic Argixerolls	بوته‌زار	۱٦/۵	۷۵۰	۱۱٦	۳٦° ۳۹´ ۳۷˝	۵۳° ۲۰´ ٤٦˝	نکا
	Shrub land	16.5	750	116	36°39′37″N	53°20′46″E	Neka

* Key to soil Taxonomy (۱۸)

1- Climosequence

۲- منظور از خاک مدرن در این مطالعه، خاکی است که در شرایط اقلیمی کنونی تشکیل شده‌اند.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه: محل توالی‌های لس- خاک قدیمی (دایره‌ها) و خاکرخ‌های مدرن (مربع‌ها).

Figure 1. Study area: location of loess-palaeosol sequences (circles) and modern soil profiles (rectangles).

همه نمونه‌ها به‌منظور آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی هوا خشک گردیده و پس از کوبیده شدن از الک ۲ میلی‌متری (شماره ۱۰) عبور داده شدند و مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از روش‌های ذیل انجام شد. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری (۲)، کربن آلی خاک توسط دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ اکسیداسیون آن صورت گرفته، سپس توسط آمونیوم فرو سولفات نیم نرمال در مجاورت معرف ارتوفنانترولین با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (۲۱). اندازه‌گیری واکنش خاک (pH) در گل اشباع، هدایت الکتریکی (عصاره گل اشباع) و کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش خنثی کردن مواد خنثی شونده با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۱٤) و گچ با استقاده از روش رسوب به‌وسیله استن (۲۰) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات مورفولوژیکی و نتایج مطالعات صحرایی مقاطع لسی مورد مطالع در جداول ۳، ٤ و ۵ ارائه شدند. در همه مقاطع از تغییر رنگ، بافت و ساختمان خاک در مقایسه با افق C خاک مدرن برای شناسایی خاک‌های قدیمی استفاده شد.

در توالی آق‌بند (جدول ۳) تنها یک خاک قدیمی با افق کمبیک و کلسیک دیده می‌شود. تکامل این خاک قدیمی نسبت به خاک مدرن بالایی از نظر پدوژنیک بیش‌تر است. تغییرات رنگ و ساختمان مشخص‌کننده این خاک قدیمی است و نشان‌دهنده شرایط محیطی مناسب‌تر از شرایط امروزی (دما و به‌خصوص بارندگی) می باشد (۳). مطالعات کهل و همکاران (۲۰۰۵) نیز در منطقه‌ای نزدیک به مقطع مورد مطالعه نشان از یک دوره خاک‌ساز اصلی در گذشته و پیش از دوره آخرین یخبندان بیشینه[1] (بیش از ۱۸۰۰۰ سال پیش) دارد (۸).

1. Last Glacial Maximum (LGM)

اما در مقطع مبارک‌آباد (جدول ٤) و نکا (جدول ٥) افق‌های شناسایی موجود در خاک‌های قدیمی نشان‌دهنده تکامل بسیار بیش‌تر از مقطع آق‌بند است. علاوه بر افق‌های شناسایی کمبیک و کلسیک (در برخی موارد پتروکلسیک)، حضور افق آرجلیک با ساختمان و رنگ متمایز، نشان از درجه تکاملی بیش‌تری در این مقاطع است (شکل ۲). افق‌های کمبیک توسعه‌یافتگی بیش‌تری از نظر رنگ و ساختمان در مقطع مبارک‌آباد نسبت به مقطع آق‌بند دارد و از سوی دیگر عدم حضور این افق در مقطع نکا (شکل ۳) و حضور بیش‌تر افق‌های کلسیک و آرجلیک می‌تواند گواه بر تکامل بیش‌تر این مقطع نسبت به مقطع مبارک‌آباد باشد. افق‌های کلسیک و پتروکلسیک موجود در مقاطع مبارک‌آباد و نکا حاوی اشکال مختلف کربنات کلسیم ثانویه (نودول، سخت‌دانه و در برخی موارد عروسک‌های لسی) هستند در حالی‌که در مقطع آق‌بند تنها شکل پودری آهک در افق کلسیک مشاهده شد. باید به این نکته اشاره نمود که رسوبات لسی نکا بر روی سنگ آهک دوره ژوراسیک قرار دارند (۸) و آخرین افق این مقطع (2Crtk) در واقع ساپرولیت این سنگ آهک بوده و کربنات موجود در این افق (۷۰ درصد) منشأ ژئوژنیک دارد (شکل ۳).

بر اساس خصوصیات مورفولوژیکی، افق های آرجلیک موجود در دو مقطع مبارک‌آباد و نکا، در دوره‌های مختلف خاک‌سازی دارای درجه تکاملی و توسعه‌یافتگی متفاوتی هستند که می‌توان گفت متأثر از شرایط محیطی زمان تشکیل آن‌ها می‌باشد. نکته قابل‌توجه حضور افق آرجلیک با توسعه‌یافتگی بالا و ضخامت زیاد (١٦٠ سانتی‌متر) در خاکرخ ٥ مقطع مبارک‌آباد می‌باشد که در هیچ‌یک از خاکرخ‌های مدرن افق آرجلیکی با این ضخامت مشاهده نشده است (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد در این دوره خاک‌سازی شرایط اقلیمی بسیار متفاوت بوده است. غفارپور (۲۰۱۲) بر اساس نتایج مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی این افق بیان نمود که احتمالاً میزان متوسط سالیانه بارندگی در زمان تشکیل این افق بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر بوده است (۳). این میزان بارندگی در حال حاضر بیش‌تر در استان گیلان مورد انتظار می‌باشد. در مقطع نکا نیز در خاکرخ شماره ٥ افق آرجلیک با ضخامت زیاد (۱۷۰ سانتی‌متر) مشاهده شد (در مجموع سه افق Btkc، ABtkc و Btkg) که البته با توجه به این‌که در طول افق دیگر خصوصیات آن هم‌چون رنگ، ساختمان (جدول ۳)، اندازه ذرات و میزان کربنات کلسیم معادل (شکل ٤) تغییر می‌کند و از سوی دیگر وجود یک افق A کاملاً تیره رنگ و مشخص در بین دو افق B، به نظر می‌رسد این افق‌ها حداقل در دو دوره متفاوت خاکساز تشکیل شده‌اند.

کهل (۲۰۱۰) عدم حضور افق های A را در خاک‌های قدیمی به فرسایش شدید در اثر تغییرات شدید اقلیمی در دوره‌های یخچالی و از دست رفتن این افق‌های نسبت می‌دهد (۷). کریمی و همکاران (۲۰۱۱) نیز بر این باور هستند که در رسوبات لسی جنوب مشهد، پس از یک دوره مناسب خاک‌سازی در آخرین دوره بین‌یخچالی، فرسایش باعث ازبین‌رفتن بخش رویی خاک قدیمی و حتی بخشی از افق آرجیلیک شده است (٥). از این‌رو، در مقطع مبارک‌آباد افق A کاملاً متمایز (از نظر مورفولوژیکی) مشاهده نشد و عموماً همراه با افق B بودند. به همین دلیل، می‌توان گفت این مقطع در مقایسه با آق‌بند در هنگام تغییرات اقلیمی شرایط مناسب‌تری را داشته

است. اما حضور و حفظ افق‌های A کاملاً مشخص (به‌خصوص از نظر رنگ) در خاک‌های قدیمی مقطع نکا می‌تواند بیانگر میزان فرسایش کم‌تر که در نتیجه تغییرات محیطی کم‌تر در طول دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی است، باشد. به‌نظر می‌رسد مناطق لسی مبارک‌آباد و نکا که در حال حاضر در اقلیم مرطوب‌تری قرار دارند، نسبت به مناطق با اقلیم خشک‌تر، مانند آق‌بند و جنوب مشهد، در گذشته کم‌تر تحت‌تأثیر فرسایش قرار گرفته‌اند.

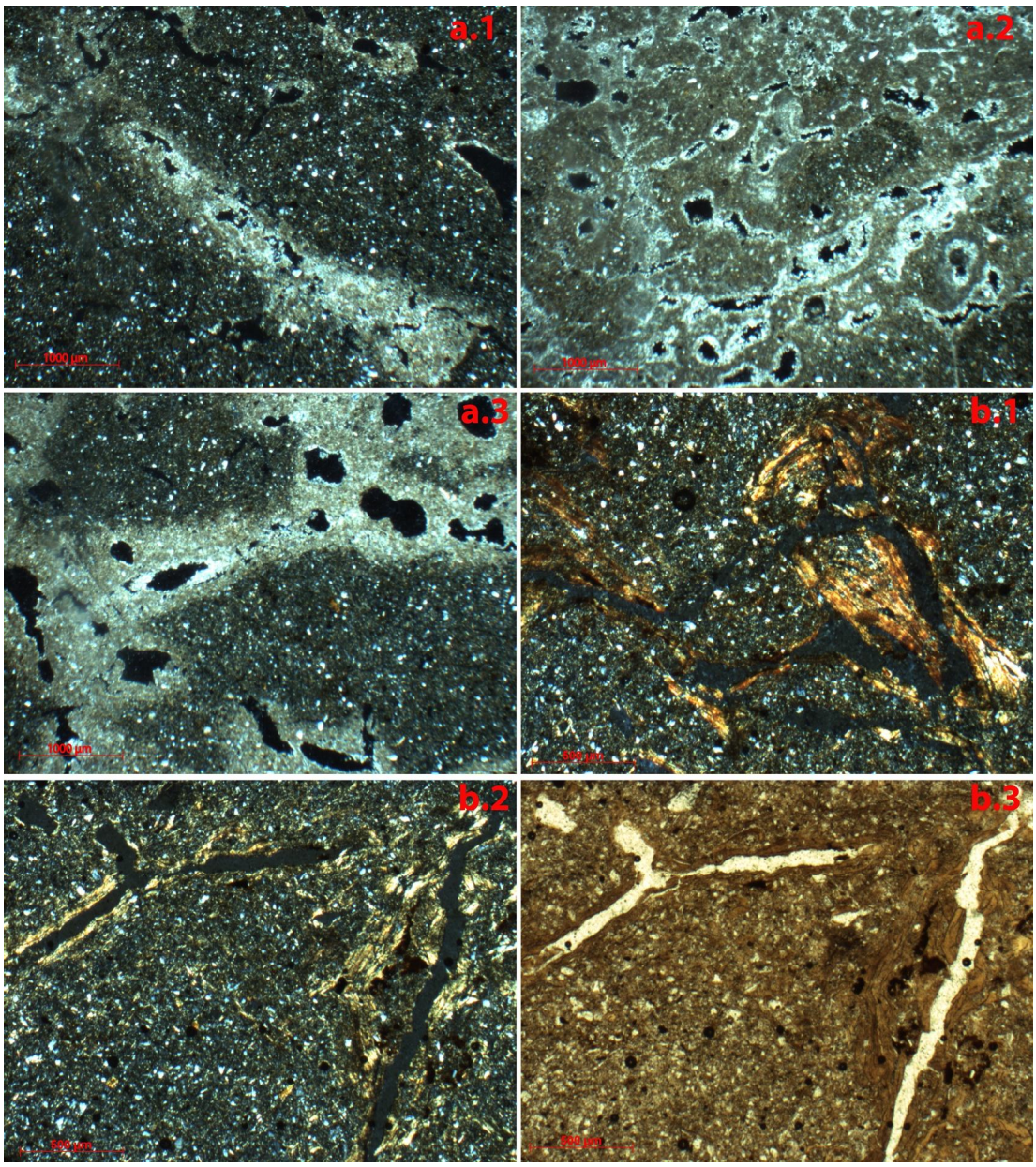
نتایج آزمایش‌های برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی توالی‌های لسی- خاک قدیمی مورد مطالعه (شکل ٤، ٥ و ٦) با مطالعات مورفولوژیکی این توالی‌ها همخوانی داشت. مقدار واکنش خاک (pH) در بیش‌تر خاک‌های قدیمی بین ۷ تا ۸ واحد است؛ به‌جز توالی آق‌بند که در این توالی از ۸ واحد بیش‌تر بوده و همچنین هدایت الکتریکی (EC) بسیار بالای در این توالی مشاهده شد. با توجه به مطالعات صحرایی به‌نظر می‌رسد دلیل بالا بودن هدایت الکتریکی به‌علت موقعیت این توالی که در حقیقت در کناره جاده (دیواره جاده) واقع شده است باشد. با توجه به اقلیم (دما، میزان بارندگی و تبخیر و تعرق) حرکت افقی نمک به‌سمت دیواره‌ها باعث ایجاد این مقدار واکنش خاک و هدایت الکتریکی شده‌اند. اما در توالی مبارک‌آباد که دارای موقعیت مشابهی می‌باشد ولی به‌دلیل اقلیم متفاوت شاهد افزایش EC به این میزان نبوده و در بیش‌ترین حالت از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کم‌تر است. همان‌طور که گفته شد مقدار واکنش خاک ۸-۷ بوده که با تغییرات این پارامتر در خاکرخ‌های مدرن (جدول ٦) همخوانی دارد و عموماً با افزایش کربنات کلسیم افزایش می‌یابد. نکته قابل‌توجه، pH کم‌تر از ۷ افق‌های Bt مدرن است (جدول ٦) در حالی‌که در افق‌های مشابه خاک‌های قدیمی این پارمتر بیش از ۷ می باشد. بنابراین بر اساس نظر غفارپور (۲۰۱۲) می‌توان نتیجه گرفت که این افق‌ها در زمان رسوب‌گذاری لس، تا حدی تحت‌تأثیر رسوبات لسی روی خود قرار گرفته و در اثر دریافت مجدد کربنات‌ها، pH در آن‌ها افزایش یافته است. به عبارت دیگر، در حقیقت pH این افق‌ها در زمان تشکیل و تکامل‌شان، کم‌تر از pH امروزه آن‌ها بوده است (۲).

جدول ۳- برخی خصوصیات مورفولوژیکی توالی لس- خاک قدیمی آق‌بند.

Table 3. Some morphological properties of Agh Band loess-palaeosol sequence.

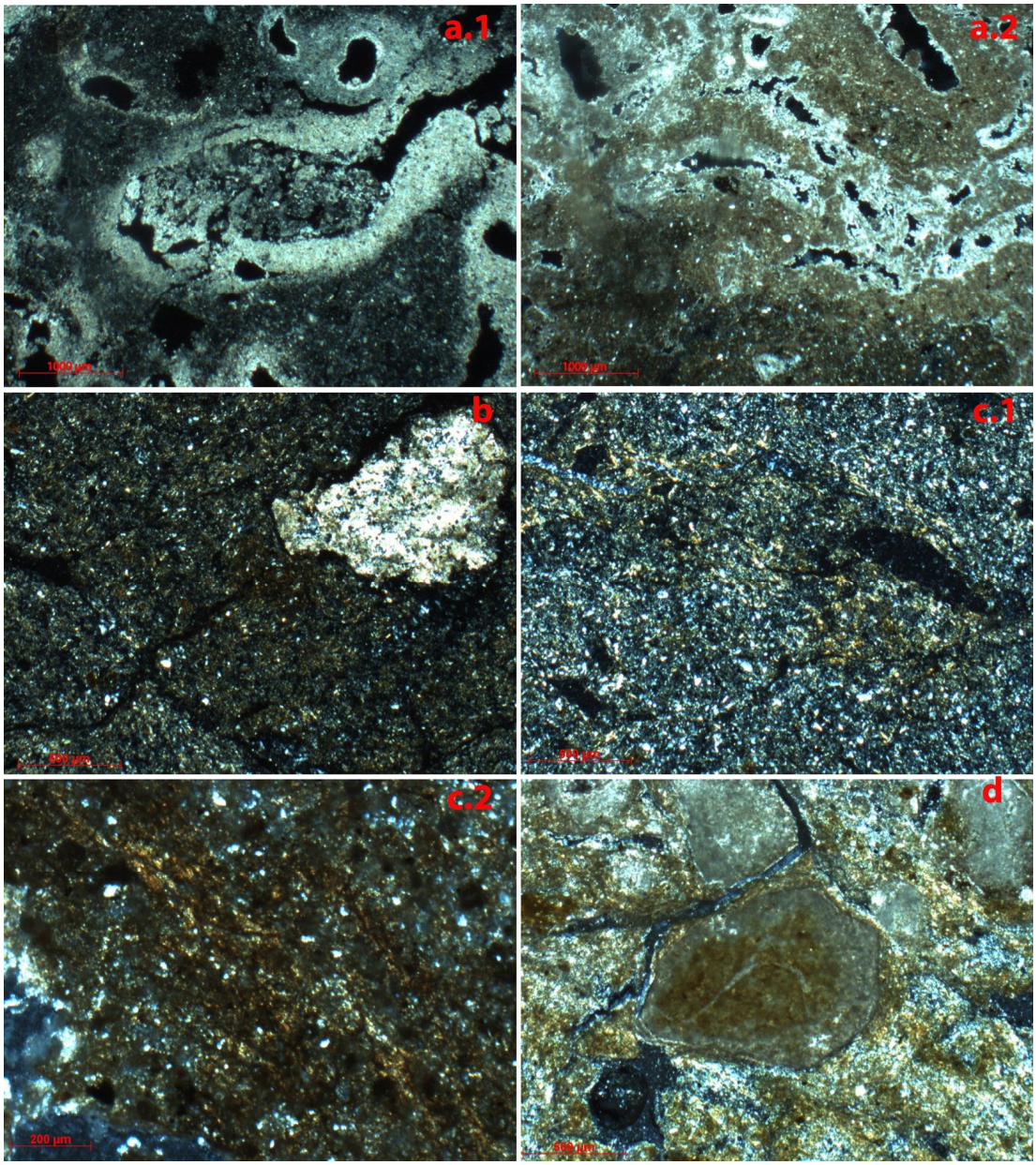
واکنش به اسید*	کلاس بافت*	ساختمان*	مرز*	رنگ مرطوب	رنگ خشک	عمق	خاکرخ/ افق
HCL reaction	Soil texture class	Structure	Boundary	Moist color	Dry color	Depth (cm)	Profile/ horizon
SL	SiL	m	gs	10YR 6/3	10YR 7/2	0-35	1/ A
SL	SiL	m	gw	10YR 6/4	10YR 7/3	35-70	1/ C
SL	SiL	1, f, sbk	gs	10YR 5/6	10YR 6/5	70-150	1/ Bw
ST	SiL	1, f, abk	gs	10YR 6/4	10YR 7/3	150-220	1/ Bk
SL	SiL	m	-	10YR 6/3	10YR 7/3	220-250	1/ C

* Field book for describing and sampling soils (۱۳)



شکل ۲- تصاویر میکرومورفولوژیکی از افق‌های آرجیلیک (پوشش‌های رسی بر روی خاکدانه‌ها در طول حفرات)، کلسیت و پتروکلسیت (تجمع اشکال پدوژنیک آهک) در مقطع مبارک‌آباد؛ a.1) افق Bk در خاکرخ ۱، a.2) افق Bkkm در خاکرخ ٤، a.3) افق Bk در خاکرخ ٦، b.1) افق Bt خاکرخ ٥، b.2) افق Bt خاکرخ ٥، b.3) افق Bt خاکرخ ٥ در نور معمولی (بقیه تصاویر در نور متقاطع هستند).

Figure 2. Mocromorphological images of Argillic horizon (clay films on peds surfaces and along porses), Calcic and Petrocalcic horion (pedogenic carbonate features) in Mobarak Abad section; a.1) Bk horizon in profile 1 (XPL). a.2) Bkkm horizon in profile 4 (XPL). a.3) Bk horizon in profile 6 (XPL). b.1) Bt horizon in profile 5 (XPL). b.2) Bt horizon in profile 5 (XPL). b.3) Bt horizon in profile 5 (PPL).



شکل ۳- تصاویر میکرومورفولوژیکی از افق‌های آرجیلیک (پوشش‌های رسی بر روی خاکدانه‌ها در طول حفرات)، کلسیت و پتروکلسیت (تجمع اشکال پدوژنیک آهک) در مقطع نکا؛ a.1) افق Bk در خاکرخ ۳، a.2) افق Bkkm در خاکرخ ٤، b) افق Btkg در خاکرخ ٥، c.1) افق Bt خاکرخ ۱، c.2) افق Bt خاکرخ ٤، d) افق 2Crtk خاکرخ ٦ (همه تصاویر در نور متقاطع هستند).

Figure 2. Mocromorphological images of Argillic horizon (clay films on peds surfaces and along porses), Calcic and Petrocalcic horion (pedogenic carbonate features) in Neka section; a.1) Bk horizon in profile 3 (XPL). a.2) Bkkm horizon in profile 4 (XPL). b) Btkg horizon in profile 5 (XPL). c.1) Bt horizon in profile 1 (XPL). c.2) Bt horizon in profile 4 (XPL). d) 2Crtk horizon in profile 5 (XPL).

جدول ٤- برخی خصوصیات مورفولوژیکی توالی لس- خاک قدیمی مبارک‌آباد.

Table 4. Some morphological properties of Mobarak Abad loess-palaeosol sequence.

واکنش به اسید*	کلاس بافت*	ساختمان*	مرز*	رنگ مرطوب	رنگ خشک	عمق	خاکرخ/ افق
HCL reaction	Soil texture class	Structure	Boundary	Moist color	Dry color	Depth (cm)	Profile/ horizon
NE	SiCL	m	cs	3/3 10YR	5/3 10YR	0-40	1/ A
NE	SiCL	2, f, abk	gs	4/3 7.5YR	5/4 7.5YR	40-80	1/Bt
ST	L	2, f, sbk	gs	4/4 10YR	5/4 10YR	80-140	1/ Bk
SL	SiL	1, f, sbk	gs	4/4 10YR	5.5/3 10YR	140-200	1/ ABk
SL	SiCL	1, f, sbk	-	4/4 10YR	6/4 10YR	200-340	1/ BAk
SL	SiL	m	gw	4/4 10YR	6/3 10YR	0-40	2/ CBk
SL	CL	1, f, sbk	gw	4/4 10YR	6/4 10YR	40-120	2/ ABk
SL	SiCL	m	-	5/4 10YR	7/3 10YR	120-160	2/ C
SL	SiCL	1, vf, sbk	gs	5.5/4 10YR	7/3 10YR	0-25	3/ CBk
VS	SiCL	1, vf, sbk	cs	4/5 10YR	6/4 10YR	25-130	3/ BA
VS	CL	1, f, sbk	as	4/6 10YR	6/4 10YR	130-170	3/ Bw
VE	L	m	cs	5.5/6 10YR	7/3 10YR	170-180	3/ Bkk
VE	SiL	1, f, sbk	-	6/4 10YR	7/3 10YR	180-200	3/ Bk
SL	SiL	m	cw	6/4 10YR	7/3 10YR	0-40	4/ CBk
VS	SiCL	1, vf, sbk	cw	4/4 10YR	5/4 10YR	40-100	4/ BA
VS	SiCL	1, f, sbk	cw	4/6 10YR	6/4 10YR	100-130	4/ BAk
VS	SiCL	1, f, sbk	vs	4/6 10YR	5/6 10YR	130-160	4/ Bw
VE	SL	m	vs	7/4 10YR	8/2 10YR	160-170	4/ Bkkm
VE	L	1, f, sbk	-	5/6 10YR	7/3 10YR	170-200	4/ Bk
VS	SiL	m	cw	7/4 10YR	8/2 10YR	0-25	5/ C
VS	SiCL	2, m, abk	di	4/5 7.5YR	5/6 7.5YR	25-65	5/ Bt
NE	CL	1, m, abk	di	5/4 7.5YR	6.5/4 7.5YR	65-160	5/ Bt
NE	SiCL	2, m, abk	aw	5/5 7.5YR	6/4 7.5YR	160-225	5/ Bt
ST	L	m	-	6/4 10YR	7/3 10YR	225-270	5/ Ck
SL	SiL	m	cw	5/6 10YR	7/3 10YR	0-35	6/ CBk
VS	SiCL	1, vf, sbk	cw	5/4 7.5YR	5.5/4 7.5YR	35-120	6/ ABk
NE	SiCL	2, m, abk	cw	4/6 10YR	5/6 10YR	120-180	6/ Bt
SL	CL	1, f, sbk	-	5/6 10YR	7/3 10YR	180-280	6/ Bk

* Field book for describing and sampling soils (۱۳)

جدول ۵- برخی خصوصیات مورفولوژیکی توالی لس- خاک قدیمی نکا.

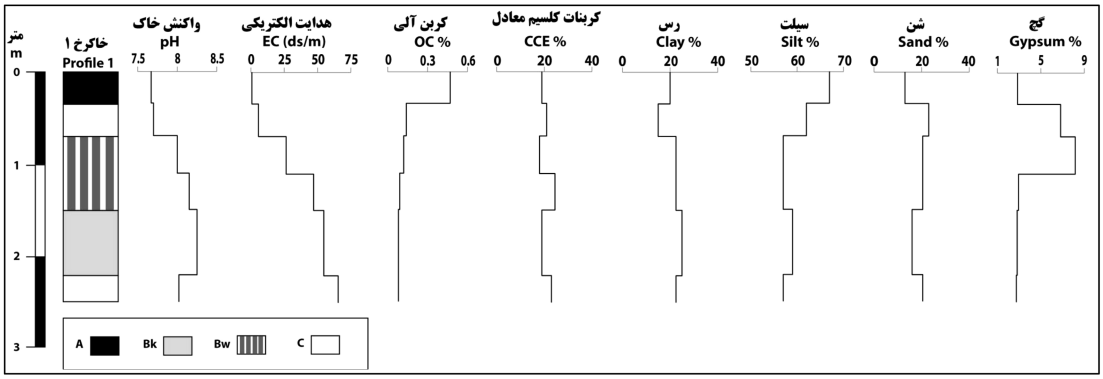
Table 5. Some morphological properties of Neka loess-palaeosol sequence.

خاکرخ/ افق	عمق	رنگ خشک	رنگ مرطوب	مرز*	ساختمان*	کلاس بافت*	واکنش به اسید*
Profile/ horizon	Depth (cm)	Dry color	Moist color	Boundary	Structure	Soil texture class	HCL reaction
1/ A	0-20	5/4 10YR	3/3 10YR	cs	2, f, abk	SiC	NE
1/ Bt	20-110	5/4 7.5YR	4/4 7.5YR	gs	2, m, abk	C	NE
1/ Btk	110-150	7.5YR6/3.5	5/4 7.5YR	-	1, f, sbk	SiCL	ST
2/ Ck	0-25	7/3 10YR	6/4 10YR	gs	M	SiCL	SL
2/ Bk	25-60	7/3 10YR	4.5/6 10YR	dw	1, f, sbk	SiCL	SL
2/ BAk	60-100	7/3 10YR	5.5/4 10YR	cw	1, f, sbk	SiCL	SL
2/ CBk	100-180	7.5/3 10YR	6.5/4 10YR	-	m	SiCL	SL
3/ C	0-40	7.5/2 10YR	7/3 10YR	gw	m	SiCL	SL
3/ BCk	40-100	6/4 10YR	5/4 10YR	gw	1, vf, sbk	SiCL	VS
3/ Bt	100-135	6/3 10YR	5/4 10YR	cs	1, f, sbk	SiCL	NE
3/ ABt	135-195	5/4 7.5YR	4/4 7.5YR	gs	1, vf, sbk	SiCL	NE
3/ Bk	195-230	6/2 10YR	5/3 10YR	-	1, f, sbk	CL	ST
4/ C	0-30	7.5/2 10YR	6.5/4 10YR	gw	m	SiCL	SL
4/ Ck	30-60	7/2 10YR	5.5/4 10YR	cw	m	SiL	SL
4/ Bt	60-95	7/3.5 10YR	5/6 10YR	gw	1, f, abk	SiL	VS
4/ BCk	95-110	6.5/3 10YR	5/4 10YR	cw	1, vf, sbk	SiCL	NE
4/ Bt	110-130	6/3 10YR	4/4 10YR	aw	2, m, abk	SiCL	NE
4/ A	130-185	5/4 10YR	3/4 10YR	aw	2, f, abk	SiCL	NE
4/ BAtk	185-230	6/4 10YR	4/6 10YR	as	1, f, abk	SiCL	NE
4/ Bkkm	230-240	7/2.5 10YR	6/4 10YR	as	m	SiL	ST
4/ BAk	240-280	7/2.5 10YR	6/3.5 10YR	-	1, f, sbk	SiL	SL
5/ Ck	0-45	7/3 10YR	6/3 10YR	cs	m	SiCL	ST
5/ CBkc	45-90	7/3 10YR	6/4 10YR	gs	m	SiCL	SL
5/ Btkc	90-130	6/4 7.5YR	5/4 7.5YR	as	1, f, sbk	SiCL	VS
5/ ABtkc	130-170	4/4 7.5YR	3/4 7.5YR	as	1, f, abk	SiC	NE
5/ Btkg	170-260	5/5 7.5YR	4/6 7.5YR	vs	2, m, abk	SiC/SiCL	NE
2Crtk	260-300	8/2 10YR	8/3 10YR	-	m	L	VE

* Field book for describing and sampling soils (۱۳)

میزان هدایت الکتریکی در خاک‌های قدیمی عموماً کم‌تر از ٤ (مرز خاک شور) به‌جز در توالی آق‌بند که به چرایی این اتفاق پیش از این اشاره شد. در خاک‌های مدرن در خاکرخ‌های مدرن نیز شرایط مشابهی مشاهده شد، به‌جز افق‌های عمقی خاکرخ‌های هوتن و خالدنبی که این مقدار با توجه به حضور بیش‌تر نمک‌های محلول در این خاک‌ها بیش‌تر می‌باشد.

از جمله فرآیندهای بارز خاک‌سازی در خاک‌های لسی، حرکت و آبشویی کربنات کلسیم در عمق نیمرخ خاک و تجمع مواد آلی بیش‌تر در سطح می‌باشند (۱). مقدار کربنات کلسیم معادل در افق‌های مختلف متفاوت بوده که شرایط اقلیمی را نشان می‌دهد. همچنین پاشایی (۱۹۹۷) از ویژگی‌های نهشته‌های لسی جوان فراوانی کربنات کلسیم با حدود ۱۵–۱۰ درصد در آن‌ها می داند و معتقد است که این نسبت می‌تواند در مناطق مدیترانه به ٤۰ درصد هم برسد (۱۵). از سوی دیگر نیز با توجه به‌نظر پیچی (۱۹۹۰) حضور حدود ۲۰ درصد کربنات جزء خصوصیات اصلی مواد لسی است (١٦). با تکامل افق‌ها و شستشو و انتقال کربنات‌ها این مقدار کاهش (به‌خصوص در افق‌های Bt) و در افق‌های تجمعی افزایش می‌یابد تا جایی‌که افق‌های Bkkm با ۵۰ درصد کربنات تشکیل شده است. به‌عبارت دیگر کاهش میزان کربنات کلسیم نشان‌دهنده افزایش رطوبت (افزایش بارندگی) در زمان تشکیل و تکامل افق‌ها بوده (۲۲) که این روند تغییرات در خاکرخ‌های مدرن نیز صادق است. مقدار کربن آلی خاک با توجه به خاکرخ‌های مدرن بسیار وابسته به اقلیم و پوشش گیاهی بوده و بین ٥/٧٦–۰/۱۱ درصد متغیر می‌باشد و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که خاک‌های قدیمی نیز بیش‌تر از افق‌های زیرسطحی تشکیل شده‌اند مقدار این پارمتر بین ۰/۵–۰ درصد در این افق‌ها متغیر بوده و حتی در افق‌های A با رنگ تیره (10YR 3/4) در مقطع نکا نیز از این مقدار تجاوز نمی‌کند.



شکل ٤- نتایج آزمایش‌های برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مقطع آق‌بند.

Figure 4. Result of some physico-chemical properties of Agh Band section.

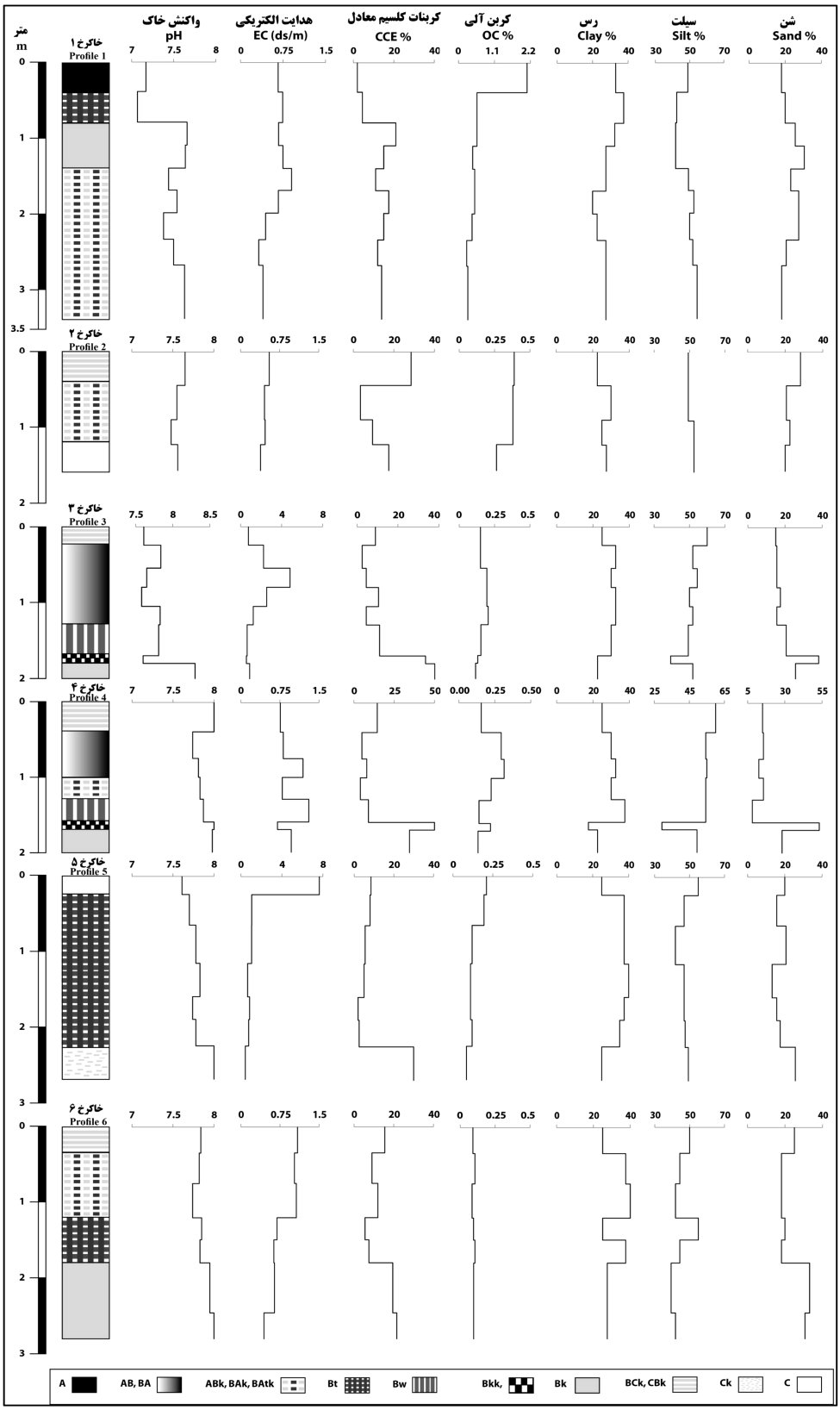
سیلت، ذره غالب در این توالی‌های لسی و خاکرخ‌های مدرن بوده که در بیش‌تر افق‌ها بیش از ۵۰ درصد ذرات را تشکیل می‌دهد. با توجه به منشا بادرفتی رسوبات لسی، غالب بودن سیلت مورد تأیید بسیاری از پژوهشگران می‌باشد و جزء خصوصیات اصلی این خاک‌ها می‌باشد (۲۲، ۱۲). بعد از سیلت ذرات رس بیش‌ترین مقدار را دارند به‌صورت میانگین حدود ٤۰–۲۰ درصد رس در افق‌های مختلف

مشاهده شد، البته با توجه به الگوی تغییرات کربنات کلسیم معادل مشاهده می‌شود که با کاهش این پارامتر مقدار رس عموماً در افق‌ها افزایش می‌یابد که نشان از شستشو و تخلیه آهک از این افق‌ها و در نتیجه تجمع و انتقال رس می‌شود. به‌عبارت دیگر، مقدار رس از سمت آق‌بند به‌سمت مبارک‌آباد و نکا بیش‌تر شده و از مقدار سیلت کاسته می‌شود. این مسأله می‌تواند به‌دلیل هوادیدگی و یا انتقال رس باشد. البته، شاید این مسأله به‌دلیل فاصله از منشأ برداشت باشد (۱۰). موس (۲۰۱۳) نیز افزایش میزان رس در توالی‌های لس- خاک قدیمی را هم نتیجه انتقال رس و هم نتیجه هوادیدگی به‌خصوص در بخش خاک‌های قدیمی می‌داند (۱۲). مقایسه رسوبات لسی تحول نیافته در این مناطق می‌تواند بیش‌تر نشان‌دهنده فاصله از منشأ برداشت باشد. این روند در خاکرخ‌های مدرن نیز دیده می‌شود.

جدول ٦- نتایج برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاکرخ‌های مدرن مورد مطالعه.

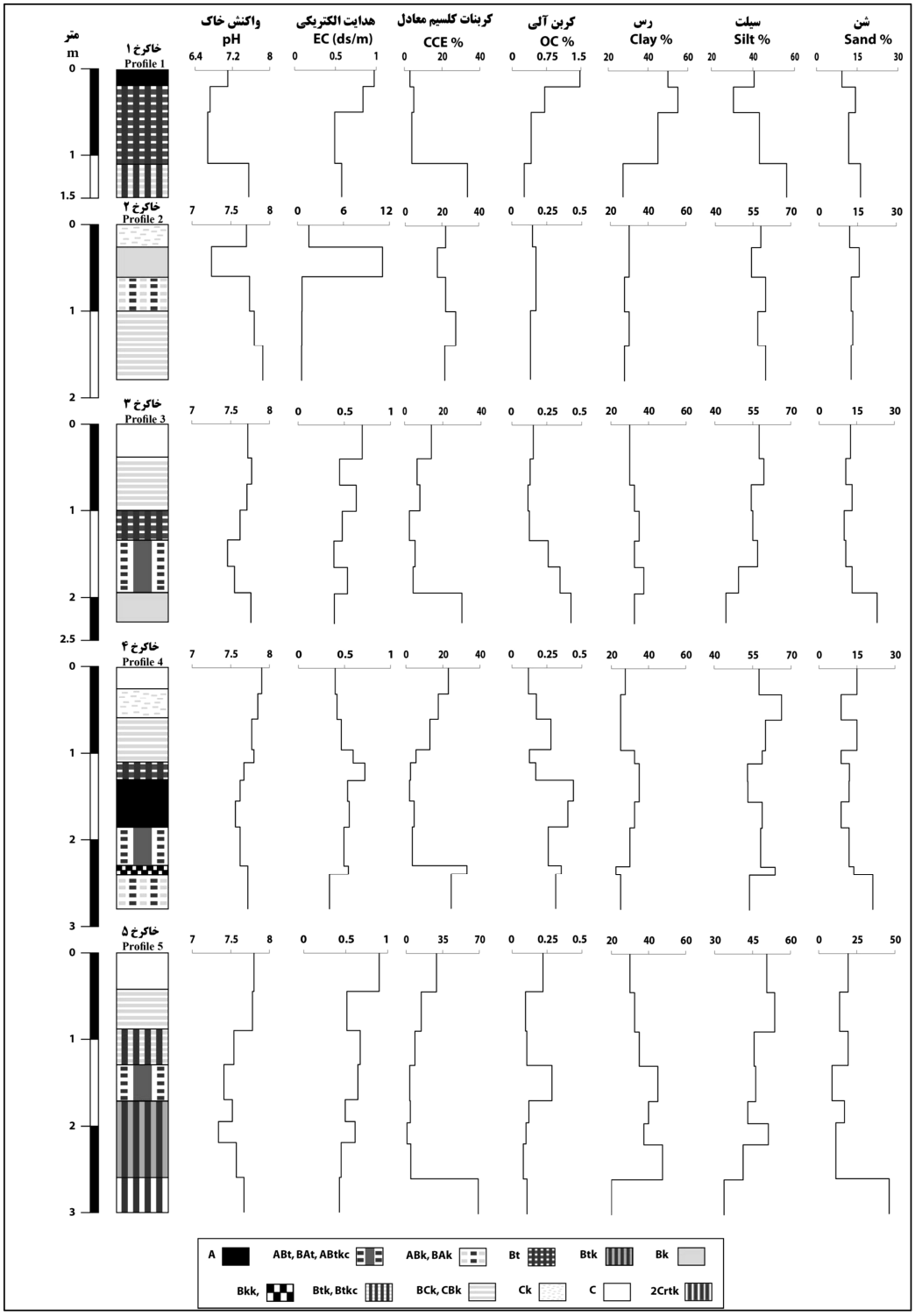
Table 6. Result of some physico-chemical properties of modern soil profiles.

گچ	شن	سیلت	رس	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	هدایت الکتریکی	واکنش خاک	عمق	افق	منطقه
Gypsum	Sand	Silt	Clay	OC	CCE	EC (dS/m)	pH	Depth (cm)	Horizon	Region
%										
2.88	21.2	61.3	17.5	0.32	24.5	1.8	7.7	0-28	A	هوتن Hutan
4.3	21.2	63.8	15	0.14	25	19.9	7.9	28-52	Cy	
3.56	23.7	61.3	15	0.13	21.5	25.4	8	52-85	C	
2.94	11.2	73.8	15	0.75	15	1.8	7.4	0-10	A	خالد نبی Khaled Nabi
2.87	16.2	68.8	15	0.4	15.5	0.8	7.7	10-40	Bw	
2.83	16.2	68.8	15	0.24	24.5	3.6	7.6	40-90	C	
5.1	16.2	71.3	12.5	0.11	20	9.6	7.8	90-110	Cy	
-	13.7	63.8	22.5	2.55	7	1.1	7.1	0-20	A	یلی‌بدراغ Yellibadragh
-	13.7	61.3	25	0.96	7.5	0.6	7.3	20-40	AB	
-	13.7	58.8	27.5	0.45	21.5	0.4	7.6	40-80	Bk1	
-	16.2	61.3	22.5	0.21	18.5	1.1	7.5	80-130	Bk2	
-	16.9	43.1	40	1.9	-	1.4	6.8	0-30	A	آق‌امام Agh Emam
-	11.2	46.3	42.5	1.7	6.5	1.3	6.3	30-80	AB	
-	8.7	48.8	42.5	1.04	4	0.8	6.7	80-110	Bt	
-	18.7	56.3	25	0.44	29.5	0.5	7.5	110-150	Bk	
-	19.3	40.7	40	5.76	7	1.1	6.6	0-10	A	گرگان Gorgan
-	13.7	46.3	40	1.68	8	0.6	6	10-28	Bw	
-	16.9	43.1	40	0.68	7	1	6.5	28-65	Bt	
-	16.2	53.8	30	0.73	19	0.6	7.5	65-90	Btk	
-	13.7	53.8	32.5	0.55	18.5	0.3	7.6	90-120	Bk	
-	18.7	56.3	25	0.38	32	0.4	7.6	120-160	Ck	



شکل ۵- نتایج آزمایشات برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مقطع مبارک آباد.

Figure 5. Result of some physico-chemical properties of Mobarak Abad section.



شکل ٦- نتایج آزمایشات برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مقطع نکا.

Figure 6. Result of some physico-chemical properties of Neka section.

گچ تنها در توالی آق‌بند مشاهده شد و در دیگر توالی‌ها حضور نداشت. با توجه به این‌که حضور گچ در خاک‌های مدرن کاملاً وابسته به اقلیم (دما، بارندگی و تبخیر و تعرق) بوده و با حرکت در طول ردیف اقلیمی مورد مطالعه از منطقه خشک به مرطوب گچ ناپدید می‌شود. همان‌طور که پژوهشگران دیگر نیز اشاره نموده‌اند مقدار pH، EC و گچ در خاک‌های قدیمی و مواد مادری می‌تواند به‌گونه‌ای نشان‌دهنده شیب اقلیمی موجود باشد (۹، ۷). چنان‌که اشاره شد این تغییرات در خاکرخ‌های مدرن با حرکت در طول شیب اقلیمی کاملاً مشخص است. از سوی دیگر در سه توالی لس- خاک قدیمی نیز خود را به‌خوبی نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال می‌توان به حضور گچ در توالی آق‌بند و عدم حضور آن در دو توالی دیگر اشاره نمود.

نتایج فیزیکوشیمیایی به‌دست آمده با یافته‌های دیگر پژوهشگران که در این توالی‌ها و توالی‌های مشابه در منطقه انجام شده است (۲۲، ۹، ۸، ۷، ۳)، مشابه بودند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر اساس مشاهدات مورفولوژیکی و نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی می‌توان گفت که با مقایسه خاک قدیمی مقطع آق‌بند با خاکرخ‌های مدرن به‌نظر می‌رسد که از نظر تکاملی شباهت بیش‌تری با خاکرخ خالد نبی داشته و بسیار کم نیز نزدیک به خاکرخ یلی‌بدراغ می‌باشد. همچنین با توجه به خاک‌های قدیمی مقطع مبارک‌آباد که دارای درجات مختلف پدولوژیکی و تکاملی می‌باشند و مقایسه آن‌ها با خاکرخ‌های مدرن، می‌توان حدود ۵ دوره خاک‌سازی (تغییرات اقلیمی) را برای این مقطع متصور بود. با توجه به مورفولوژی خاک‌های قدیمی خاکرخ‌های ٤ و ٥ مقطع نکا به‌نظر می‌رسد که این خاکرخ‌ها دو دوره خاک‌سازی را تجربه نموده‌اند. در خاکرخ ٤ با توجه به حضور افق‌های CB دوره‌ای یخچالی و در خاکرخ ٥ به‌دلیل عدم حضور این افق (با تکامل کم و نزدیک به مواد مادری) احتمالاً دوره‌ای سرد در دوران بین‌یخچالی[1] از نظر اقلیمی وجود داشته و با مقایسه آن با خاکرخ‌های مدرن می‌توان گفت این مقطع حداقل ٤ الی ٦ دوره مختلف خاک‌ساز را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که مقطع لسی که با نام نکا توسط کهل و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت، ۲ تا ٤ دوره خاک‌ساز را نشان می‌داد و هیچ‌گونه افق A متمایز در آن مشاهد نشده است (۸). در صورتی‌که مقطع معرفی شده در این پژوهش به‌نظر کامل‌تر می‌رسد و افق‌های A موجود برای بازسازی پوشش گیاهی، اقلیم گذشته و حتی آتش‌سوزی گذشته (با اندازه‌گیری کربن سیاه) منطقه بسیار دارای اهمیت هستند. بدیهی است که مطالعات دقیق سن‌سنجی در این مقاطع می‌تواند به بازسازی بهتر اقلیم گذشته، درک بهتر دوره‌های مختلف خاک‌ساز و همچنین مقایسه شرایط اقلیمی در زمان‌های مشخص با مناطق دیگر دنیا کمک کند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که گرادیان اقلیمی موجود در منطقه مورد مطالعه در طول زمان وجود داشته است که این یافته با نتایج خرمالی و کهل (۲۰۱۱) همخوانی دارد (۹) و تغییرات اقلیمی و اقلیم کنترل‌کننده میزان و شدت فعالیت‌های خاک‌ساز در منطقه مورد مطالعه در دوره‌های مختلف زمانی بوده است.

1- Stadial

منابع

1.Amini Jahromi, H., Naseri, M.Y., Khormali, F., and Movahedi Naeini, S.A.R. 2008. Clay mineralogy of the soil formed on loess parent material in two regions of Golestan Province. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15: 5. 18-27. (In Persian)

2.Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.

3.Ghafarpour, A. 2012. Evolution and characteristics of modern soils compared to underlain paleosols in a precipitation gradient in Golestan province. M.Sc. Thesis. Soil science Dep. Gorgan University of agriculture sciences and natural resources. 82p.

4.Jacobs, P.M., and Mason, J.A. 2004. Paleopedology of soils in thick Holocene loess, Nebraska, USA. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 21: 1. 54-70.

5.Karimi, A., Frechen, M., Khademi, H., Kehl, M., and Jalalian, A. 2011. Chronostratigraphy of loess deposits in northeast Iran. Quaternary International, 234: 124-132.

6.Kehl, M. 2009. Quaternary climate change in Iran-the state of knowledge. Erdkunde, 63: 1-17.

7.Kehl, M. 2010. Loess, loess-like sediments, soils and climate change in Iran. Relief, Boden, Paläoklima 24, 208p.

8.Kehl, M., Sarvati, R., Ahmadi, H., Frechen, M., and Skowronek, A. 2005. Loess paleosol-sequences along a climatic gradient in Northern Iran. Eiszeitalter und Gegenwart, 55: 149-173.

9.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.

10.Lateef, A.S.A. 1988. Distribution, provenance, age and paleoclimatic record of the loess in Central North Iran. In: Eden, D.N. & Furkert, R.J. (Eds.): Loess - Its distribution, geology and soils. Proc. of an Internat. Symp. on Loess, New Zealand, 14.-21. Feb. 1987, 93-101, 6 Fig.; Rotterdam (Balkema).

11.Liu, T.S., Ding, Z., and Rutter, N. 1999. Composition of Milankovitch periods between continental loess and deep sea records over the least 2.5 Ma. Quat. Sci. Rev. 18: 1205-1212.

12.Muhs, D.R. 2013. The geologic records of dust in the Quaternary. Aeolian Research, 9 :3-48.

13.National soil survey center. 2012. Field book for describing and sampling soils, Ver. 3. U.S. department of agriculture, Natural resources conservation service.

14.Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum, P 181-197. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

15.Pashaei, A. 1997. Study of physico-chemical characteristics and the source of loess deposits in Gorgan plain region. Earth Science Journal, Iranian Geology Organization, 23-24: 67-68.

16.Pécsi, M. 1990. Loess is not just the accumulation of dust. Quaternary International, 78: 1-12.

17.Schaetzl, R.J., and Anderson, S. 2005. Soils: Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press. 833p.

18.Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil Taxonomy, 12th ed. U.S. department of agriculture, Natural resources conservation service.

19.Tabor, N.J., Smith, R.M.H., Steyer, J.S., Sidor, C.A., and Poulsen, C.J. 2011. The Permian Moradi Formation of northern Niger: Paleosol morphology, petrography and mineralogy. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 299: 200-213.

20.U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture Handbook No. 60Washington, DC.

21.Walkley, A., and Blak, I.A. 1934. An Examination of the method for determining Soil organic matter and a proposed modification of the Chromic Acid titration method. Soil Sci. 34: 29-38.

22.Ziyaee, A., Pashaei, A., Khormali, F., and Roshani, M.R. 2012. Sign of Pedogenesis in loess-paleosol sequences as indicator of paleocilmate, Golestan Province, Iran. Inter. Res. J. Appl. Bas. Sci. 3: 9. 1802-1812.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Palaeopedological study of loess-palaeosol sequences along a climosequence in northern Iran

A. Shahriari[1], *F. Khormali[2], A.R. Karimi[3], E. Lehndorff[4], H. Tazikeh[5] and M. Kehl[6]

[1]Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, [4]Professor, Institute for Crop Science and Resource Conservation-Soil Science, Bonn University, [5]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [6]Professor, Institute of Geography, Cologne University

Received: 01/24/2014; Accepted: 07/02/2014

Abstract

Background and Objectives: Loess deposits on the slopes of Alborz Mountain in northern Iran represent the most important geoarchive of climate change in the region and provide an important link between loess deposits in Southeastern Europe and Central Asia. These deposits are so important because of preserving palaeosols to reconstruction of past soil formation processes and consequently, climate condition on formation time. Therefore, this study for palaeopedological investigation on three loess-palaeosol sequences (Agh Band, Mobarak Abad and Neka) to reconstruction of past pedogenesis processes was done along a climosequence in northern Iran.

Materials and Methods: Three loess-palaeosol sequences including Agh Band, Mobarak Abad and Neka sections were studied in Golestan and Mazandaran provinces in northern Iran. Agh Band section is located in the westernmost part of the Northern Iranian loess plateau. The section at Mobarak Abad is exposed in a deep road cut located on the northernmost ridge of the Alborz Mountains. Neka loess-palaeosol sequence located on the top of a deep Iimestone quarry about 10 km east of Neka. Soils sampling was done in several field campaigns in spring 2012. After soil sampling and field description, some physic-chemical properties was analyzed. Six modern soil profiles (for comparison) were dug along this climosequence which classified as Entisols, Inceptisols, Mollisols and Alfisols.

Results: Results of physico-chemical analyses show silt particles were dominant particle (more than 50 percent) in the loess-palaeosol sequences and modern soils which confirmed aeolian source of loess deposit. Clay content increased from Agh Band to Mobarak Abad and Neka section while silt content decrease which it may reflected weathering processes of clay and/or it's translocation and the distance from loess source. Carbonates amount were variant in different horizon (about 15-20 percent) which reflected climate condition and pedogenesis activity. Results shows one preliminary soil formation stage in Agh Band section whereas Mobarak Abad shows about 5 periods and Neka at least 4-6 periods in different pedogenesis levels and soil develop degrees.

Conclusion: Soil development and variation in soil horizons increase (in both palaeosols and modern soils) along of climosequence (from dry to moist region) that reflected pedogenic activity which has direct relation with climate. These results show the modern climate gradient (especially for precipitation) existed during the time and climate change control amount and intensity of soil formation processes.

Keywords: Palaeoclimate, Soil genesis, Agh Band, Mobarak Abad, Neka

* Corresponding Author; Email: khormali@yahoo.com