

## بررسی برخی خصوصیات میکرومورفولوژیک توالی لس - پالئوسول منطقه ناهارخوران گرگان

\* رضا قازانچایی<sup>۱</sup>، عباس پاشایی اول<sup>۲</sup>، فرهاد خرمالی<sup>۳</sup> و شمس‌ا... ایوبی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستاد گروه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup> دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه خاکشناسی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۴/۲/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۶/۵

### چکیده

خصوصیات میکرومورفولوژیک یک توالی لس - پالئوسول در منطقه ناهارخوران در جنوب گرگان به منظور ارزیابی شرایط اقلیمی گذشته، مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، ۱۷ پروفیل در دیواره توالی تشخیص و خصوصیات مورفولوژیک آنها ثبت گردید و از افق‌های آن نمونه‌های دست‌نخورده برای تهیه مقاطع نازک برداشته شد. مشاهدات میکرومورفولوژیک، شواهد مختلفی از وقوع فرآیندهای پدوژنیک را در این توالی نشان داد. وجود هیپوکوتینگ‌ها و نودول‌های اکسیدهای آهن و منگنز نشان داد که این توالی دارای نوسانات متناوب در شرایط رداکس بوده است. از دیگر خصوصیات این توالی، وجود شواهدی از فعالیت بیولوژیک از جمله فضولات جانوری و بقایای ریشه در حفرات و نیز اثرات بیوتورباسیون نظیر میکروساختمان کروی است. حضور بقایای غلاف آهکی نرم‌تنان، حاکم بودن شرایط سرد و خشک در طی فرآیند تجمع لس‌ها را نشان می‌دهد. کلسیت سیتومورفیک و سوزنی شکل در پالئوسول‌ها، از دیگر نشانه‌های شرایط محیطی مناسب و تجزیه مواد آلی است. کوتینگ‌ها و هیپوکوتینگ‌های رسی در پالئوسول‌ها، شواهدی از وجود بارندگی کافی و شرایط اقلیمی مرطوب برای آب‌شویی و انتقال رس می‌باشند. حضور پدوفیچرهای مرکب، شامل کوتینگ‌های رس و کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن و منگنز به شکل جاکستاپوز و سوپرایمپوز در لایه‌های پالئوسول، نشان‌دهنده پلی‌ژنتیک بودن این خاک‌ها می‌باشد. به‌طور کلی از شواهد و مشاهدات میکرومورفولوژیک ذکر شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که توالی لس - پالئوسول در ناهارخوران گرگان، نشان‌دهنده تکرار دوره‌های سرد و خشک و گرم و مرطوب در این خاک‌ها می‌باشد. لس‌ها معرف اقلیم سرد و خشک بوده در حالی که پالئوسول‌ها نشان‌دهنده شرایط جغرافیایی گرم و مرطوب‌تری می‌باشند. بدین ترتیب تشکیل لس و پالئوسول مورد مطالعه، به ترتیب در ادوار یخچالی و بین یخچالی و در شرایط آب و هوایی و اقلیمی متفاوت انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: میکرومورفولوژی خاک، لس - پالئوسول، آب و هوای قدیمی، خاک‌های پلی‌ژنتیک

## مقدمه

عقب‌نشینی یخچال‌های کوتاه‌تر از ارتفاعات البرز به سبب اختلاف دمای این ارتفاعات با فرورفتگی خزر در ترکمنستان، موجب پیدایش طوفان‌های بسیار شدید از سمت شمال شده که پس از گذشتن از کویرهای ترکمنستان و ایجاد تپه‌های ماسه‌ای وسیع در آنجا، مقادیر زیادی ذرات ریز و سیلنتی را به صورت معلق به طرف جنوب انتقال داده است و این طوفان‌ها پس از برخورد به ارتفاعات کپه‌داغ در بخش شمال‌شرقی و ارتفاعات البرز در جنوب گرگان و دشت، قدرت انتقال خود را از دست داده و مواد سیلنتی معلق را به صورت سفره‌ای در سراسر منطقه گرگان و دشت به جای گذاشته‌اند.

کود- گوسن (۱۹۹۰) معتقد است پالئوسول‌ها از طریق توقف در رسوب‌گذاری بادی ایجاد نمی‌شوند بلکه در طول دوره‌هایی که شدت رسوب‌گذاری گرد و غبار آهسته شده و تأثیر فرآیندهای پدوژنیک (در شرایطی که پایداری شیب بیشتر می‌شود) افزایش می‌یابد، تشکیل می‌شوند و زمانی باقی مانده و حفظ می‌شوند که دفن شدگی سریع در اثر افزایش رسوب‌گذاری لس، به وقوع پیوسته باشد.

یکی از تکنیک‌های مهم و حتی شاید ضروری در مطالعه پالئوسول‌ها که توسط اکثر محققین به کار می‌رود، مطالعات میکرومورفولوژی<sup>۴</sup> می‌باشد. میکرومورفولوژی عبارت است از روش مطالعه نمونه‌های خاک دست نخورده با استفاده از تکنیک‌های میکروسکوپی و اولترامیکروسکوپی به منظور تشخیص اجزای سازنده مختلف آن و تعیین روابط متقابل آن از نقطه نظر زمانی و مکانی (استوپس، ۲۰۰۳). کمپ و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی میکرومورفولوژیک توالی لس- پالئوسول در آرژانتین، پراکنش عمقی میکروساختمان، پوشش‌های رسی و کربنات‌های ثانویه را سه نوع از مهم‌ترین ویژگی‌های میکرومورفولوژیک دانستند که بازسازی رویدادهای خاکی- رسوبی را که مسئول گسترش توالی هستند امکان‌پذیر می‌نمایند.

بدیهی است که شرایط امروزی زمین راهنمایی برای درک شرایط گذشته آن است. اقلیم و شرایط اکولوژیک زمین در طی دوران‌های مختلف زمین‌شناسی، دچار تغییرات و نوسانات شدیدی شده و از این نظر، تغییرات ایجاد شده در دوران چهارم زمین‌شناسی، شواهد مختلفی روی زمین به ودیعه گذارده که ما را در شناخت پدیده‌های گذشته یاری می‌نماید. دوره کوتاه‌تر را از نظر آب و هوایی می‌توان به دوره‌های سرد و گرم تقسیم‌بندی نمود. دوره‌های سردتر کوتاه‌تر، دوره‌های یخچالی<sup>۱</sup> و دوره‌های گرم‌تر کوتاه‌تر، دوره‌های بین یخچالی<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند (معتد، ۱۹۹۷).

از فرآیندهای مهم در کوتاه‌تر ایران، فرآیند انتقال و تجمع لس‌ها می‌باشد که مهم‌ترین نهشته‌های خشکی در کوتاه‌تر بوده و اکثریت آنها متعلق به پلیستوسن<sup>۳</sup> هستند. رسوبات لسی از توالی‌های ضخیم لس و پالئوسول تشکیل شده و به عنوان شاهد مهمی، تغییرات شرایط آب و هوایی را در طی ۲/۵ میلیون سال اخیر ثبت کرده‌اند. تشکیل لس در دوره‌های سردتر صورت گرفته است درحالی‌که پالئوسول‌های مدفون در بین لایه‌های لس، نشان‌دهنده دوره‌های کاهش رسوب‌گذاری لس و افزایش خاک‌سازی می‌باشد. چیرگی نسبی هر یک از شرایط سرد و خشک که باعث انتقال گرد و غبار شده و یا شرایط گرم و مرطوب که باعث افزایش خاک‌سازی گردیده، این موازنه خاکی- رسوبی را تنظیم می‌نماید. از این رو می‌توان لایه‌های مختلفی از لس را که روی هم قرار گرفته و مربوط به دوره‌های مختلف هستند را، از هم تشخیص داد (احمدی و فیض‌نیا، ۱۹۹۹).

پاشایی (۱۹۹۷) اظهار می‌دارد سازند به هم پیوسته‌ای از جنس لس که به صورت تپه ماهور در منطقه گرگان و دشت وجود دارد، حاصل نهشته‌های بادی از آخرین پسروری یخچالی دوره کوتاه‌تر می‌باشند. بدین صورت که با

- 1- Glacial
- 2- Interglacial
- 3- Pleistocene

مشاهدات میکرومورفولوژیک تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید.

نمونه‌های دست‌نخورده جهت خشک شدن، در هوای آزاد قرار داده شدند تا هوا خشک گردند. در نهایت ۲۵ نمونه دست‌نخورده جهت تهیه مقاطع نازک انتخاب گردید. جهت اشباع نمونه‌ها از رزین پلی‌استر به نسبت ۶۰ درصد رزین، ۴۰ درصد استون به‌عنوان رقیق‌کننده، ۱۴ قطره سخت‌کننده متیل‌اتیل‌کتون پراکسید و ۷ قطره اکتوات کبالت به‌عنوان کاتالیست استفاده گردید. اشباع‌سازی نمونه‌ها در شرایط خلأ و طی چند مرحله با افزودن تدریجی رزین انجام گردید و زمان سخت شدن نمونه‌ها حدود ۴ هفته به طول انجامید. برش و تهیه مقاطع در آزمایشگاه تهیه مقاطع میکروسکوپی سازمان زمین‌شناسی کشور انجام گردید. مقاطع تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد بررسی قرار گرفته و تشریح مقاطع نازک براساس روش و تعاریف استوپس (۲۰۰۳) انجام گردید.

## نتایج

**میکروساختمان و حفرات:** بررسی میکروساختمان توالی‌ها نشان داد که لایه‌های لس و افق‌های Bk و Bw دارای میکروساختمان مکعبی بدون زاویه با تمایز ضعیف تا متوسط پدها بودند. اکثر افق‌های Bt و Bss با داشتن میکروساختمان مکعبی زاویه‌دار و تمایز خوب پدها، شواهدی از تکامل بیشتر را نشان دادند. وجود این میکروساختمان به‌علت انقباض و انبساط خاک در نتیجه خشک شدن و خیس شدن می‌باشد (فانینگ و فانینگ، ۱۹۸۹). در ۷ پروفیل، میکروساختمان کروی مشاهده شد. این میکروساختمان ناشی از فعالیت جانوران خاکزی در خاک بوده و نشانه‌ای از فرآیند اختلاط بیولوژیک<sup>۳</sup> در خاک می‌باشد (کمپ و همکاران، ۲۰۰۳؛ زاراته و همکاران، ۲۰۰۲).

برخلاف وجود تحقیقات و مطالعات بسیار زیاد در مورد توالی‌های لس-پالئوسول در جهان، هیچ‌گونه مطالعه کامل و جامع میکرومورفولوژیک در مورد این توالی‌ها در ایران انجام نگرفته است. با توجه به نکات فوق، این تحقیق به‌منظور دستیابی به اهداف زیر در توالی لس-پالئوسول در منطقه ناهارخوران گرگان به انجام رسیده است:

- ۱- تشخیص خصوصیات میکرومورفولوژیک توالی‌های لس-پالئوسول و شناخت تفاوت‌های آنها از یکدیگر.
- ۲- استفاده از خصوصیات میکرومورفولوژیک برای اطلاع از نوع فرآیندهای پدوژنیک در منطقه.
- ۳- به‌دست آوردن اطلاعاتی از شرایط اقلیمی گذشته با استفاده از شواهد میکرومورفولوژیک.

## مواد و روش‌ها

مقطع مورد مطالعه در دره ناهارخوران در جنوب شهر گرگان و در تپه صدا و سیما واقع شده است. در این منطقه نهشته‌های لسی مربوط به دوران کواترنری به‌صورت تپه‌هایی تجمع یافته‌اند. متوسط درجه حرارت در این منطقه حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه در حدود ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی به‌ترتیب زیریک<sup>۱</sup> و ترمیک<sup>۲</sup> بوده و ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۳۵۰ متر می‌باشد. شیب عمومی منطقه بین ۲۵ تا ۳۰ درصد و رو به شمال بوده و پوشش گیاهی این منطقه به‌طور عمده به‌صورت جنگلی است (خلیلی‌زاده، ۲۰۰۳).

در عملیات صحرائی، پس از تعیین محل مناسب، ۱۷ پروفیل در طول دیواره توالی‌های لسی (متشکل از چهار دیواره لسی به ضخامت‌های ۵/۱۵، ۷/۵، ۵/۸ و ۹/۵ متر) تشخیص داده شد. هر کدام از پروفیل‌ها براساس راهنمای تشریح پروفیل خاک (Soil Survey Staff, 1996) تشریح و از کلیه افق‌های پروفیل، یک نمونه دست‌نخورده به‌صورت کلوخه و یا توسط قالب‌های ویژه، جهت

1- Xeric  
2- Thermic

3- Bioturbation

بررسی حفرات در مقاطع تهیه شده از توالی نشان داد که بیشترین حفرات به ویژه در پالئوسول‌ها از نوع کانال بوده و حفرات واگ<sup>۱</sup> در رده بعدی قرار دارند. حفرات کانال مربوط به رشد و نفوذ ریشه در خاک بوده (کوایسترا، ۱۹۷۸؛ کمپ و همکاران، ۲۰۰۴) و فراوانی این حفرات در پالئوسول‌ها وجود شرایط مساعد را برای رشد و نمو گیاهان آشکار می‌سازد.

**گراندمس<sup>۲</sup> و بی- فابریک<sup>۳</sup>:** الگوی پراکنش نسبت ذرات درشت به ریز<sup>۴</sup> در تمام لایه‌های لس و پالئوسول از نوع پورفیری<sup>۵</sup> و اندازه حد میان ذرات درشت به ریز ۲۰ میکرون بود. اصلی‌ترین کانی درشت در تمام مقاطع، از ذرات معدنی کوارتز زاویه‌دار یا بدون زاویه به قطر ۴۰-۸۰ میکرون تشکیل شده بود. مشاهدات ذکر شده حکایت از یکنواختی و دانه‌بندی یکسان مواد مادری دارد. اکثریت افق‌های Bk, Bw, C و Ck دارای بی- فابریک غالب لکه‌ای<sup>۶</sup> بوده و فقط در بعضی نقاط مقطع، به دلیل اشباع‌شدگی با آهک میکریتیک، بی- فابریک کریستالیتیک<sup>۷</sup> مشاهده شد. فیتزپاتریک (۱۹۹۳) تشکیل بی- فابریک لکه‌ای را نتیجه قرارگیری سوسپانسیون و یا فلوکوله شدن مواد ریز ماتریکس خاک در طی رسوب‌گذاری می‌داند. کمپ و همکاران (۲۰۰۴) نیز چنین بی- فابریک را از لایه‌های پالئوسول توالی‌های آرژانتین گزارش کرده‌اند. افق‌های Bt و Bss به‌طور عمده دارای هر دو نوع بی- فابریک لکه‌ای و رگه مانند<sup>۸</sup> بودند.

#### بررسی پدوفیچرها<sup>۹</sup>:

کلسیت سوزنی‌شکل<sup>۱۰</sup>: از مجموع ۲۵ مقطع تهیه شده فقط در ۵ مقطع، آهک سوزنی‌شکل به‌صورت کوتینگ<sup>۱۱</sup> و

یا پرشدگی<sup>۱۲</sup> در پالئوسول‌ها و لس‌ها مشاهده گردید (شکل‌های ۱ و ۲). مواد آلی نقش زیادی در تشکیل سوزن‌ها دارد (کوبینا، ۱۹۳۸). منشاء این سوزن‌ها را به معدنی شدن بیولوژیک<sup>۱۳</sup> در داخل دستجات میسلیم قارچ‌ها نسبت می‌دهند. بدین ترتیب آنها نشانگر حضور مواد آلی تجزیه‌پذیر در خاک بوده و همچنین نشان‌دهنده وجود رطوبت کافی در خاک هستند (بژدک و همکاران، ۱۹۹۷). حضور کلسیت سوزنی در مواد لسی آهکی، برخلاف داشتن شرایط سرد و خشک، نشان‌دهنده حضور پوشش گیاهی محدود در طی رسوب‌گذاری لس‌ها می‌باشد (بژدک و همکاران، ۱۹۹۷).

**کلسیت سیتومورفیک<sup>۱۴</sup> یا سلول‌های ریشه کلسیتی<sup>۱۵</sup>:** این نوع کلسیت در ۶ افق از پالئوسول‌ها به‌صورت پرشدگی کامل و غیرکامل و نیز کوتینگ مشاهده گردید (شکل ۳). نکته قابل توجه در توزیع کلسیت سیتومورفیک در این تحقیق، عدم وجود آنها در لایه‌های لس بود، به‌طوری‌که این نوع پدوفیچر فقط در پالئوسول‌ها مشاهده گردید. مکانیسم تشکیل این نوع کلسیت را چنین بیان می‌کنند که کربنات کلسیم در ماتریکس خاک توسط ترشح اسیدهای آلی از ریشه، حل شده و با جذب یون کلسیم توسط سلول‌های ریشه، در داخل واکوئل‌ها به‌صورت کربنات کلسیم تجمع می‌یابد. فراوانی سلول‌های ریشه کلسیتی را به‌علت ثبات تقریباً طولانی سطح زمین تحت شرایط مساعد اقلیمی می‌دانند (بژدک و همکاران، ۱۹۹۷).

**پوشش‌های رسی<sup>۱۶</sup>:** پوشش‌های رسی در خاک، شواهدی از انتقال رس از افق‌های بالایی به افق‌های تحتانی در نتیجه نفوذ آب هستند. فاکتور کلیدی جهت تجمع رس، وجود دوره‌های خشکی است تا رس منتقل شده نگهداری شود (مک‌کیگو، ۱۹۸۳؛ فدروف و همکاران، ۱۹۹۰).

مشاهدات نشان داد که تمام افق‌های Bt و Bss دارای کوتینگ‌های رس تپیک و یا هیپوکوتینگ‌ها در سطح

- 1- Vugh
- 2- Groundmass
- 3- b-fabric
- 4- c/f related distribution pattern
- 5- Porphyric
- 6- Speckled
- 7- Crystallitic
- 8- Striated
- 9 - Pedofeatures
- 10- Needle-fiber calcite
- 11- Coating

- 12- Infilling
- 13- Biomineralization
- 14- Cytomorphc calcite
- 15- Calcified root cells
- 16- Clay coatings

حفرات و پدها بودند (شکل‌های ۴ و ۵). از پدوفیچرهای جالب توجه در این مطالعه، وجود پدوفیچرهای مرکب به صورت هم‌جواری کوتینگ رس و کربنات کلسیم در کنار هم به شکل جاکستاپوز<sup>۱</sup> در افق‌های Bt از پروفیل‌های ۱۰ و ۱۴ بود. وجود بعضی کوتینگ‌های کلسیتی بر روی کوتینگ‌های رس، نشان‌دهنده کلسیت‌زدایی افق‌های فوقانی و انتقال بعدی کلسیت است (خرمالی و همکاران، ۲۰۰۳). در افق Bt از پروفیل ۱۲ یک پدوفیچر سوپرایمپوز<sup>۲</sup> به صورت کوتینگ رس و هیپوکوتینگ اکسیدهای آهن و منگنز در حفره مشاهده گردید، به طوری که ابتدا تجمع رس روی سطح حفره انجام گردیده و سپس اکسیدهای آهن و منگنز به صورت هیپوکوتینگ بر روی کوتینگ رس قرار گرفته است (شکل ۶). در افق Bt از پروفیل ۱۳ نیز یک پدوفیچر مرکب<sup>۳</sup> دیده شد که شامل کوتینگ رس در حفره، پرشدگی حفره با آهن میکریتیک و هیپوکوتینگ اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشد (شکل ۷). این ویژگی‌ها موجب می‌شود که چنین خاکی را پلی‌ژنتیک<sup>۴</sup> نامند. خاک‌های پلی‌ژنتیک خاک‌هایی خاک‌هایی هستند که چندین سیکل تکامل را در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی پشت سر گذاشته‌اند (دوچافور، ۱۹۸۲).

در افق Bss از پروفیل‌های ۱۵ و ۱۶ کوتینگ‌های رسی قوی و لایه‌لایه و دارای شکستگی در حفرات دیده شدند (شکل ۸). این شکستگی نشان‌دهنده وجود فرآیندهای انقباض و انبساط ناشی از خشک و خیس شدن‌های متوالی و تخریب فیزیکی کوتینگ‌ها است (فیتز پاتریک، ۱۹۹۳؛ خرمالی و همکاران، ۲۰۰۳؛ نورت و همکاران، ۲۰۰۴).

اکسیدهای آهن و منگنز: اکسیدهای آهن و منگنز به دو شکل هیپوکوتینگ و انواع نودول‌ها مشاهده گردید (شکل ۹). ویژگی مهم این هیپوکوتینگ‌ها، افزایش اشباع‌شدگی با

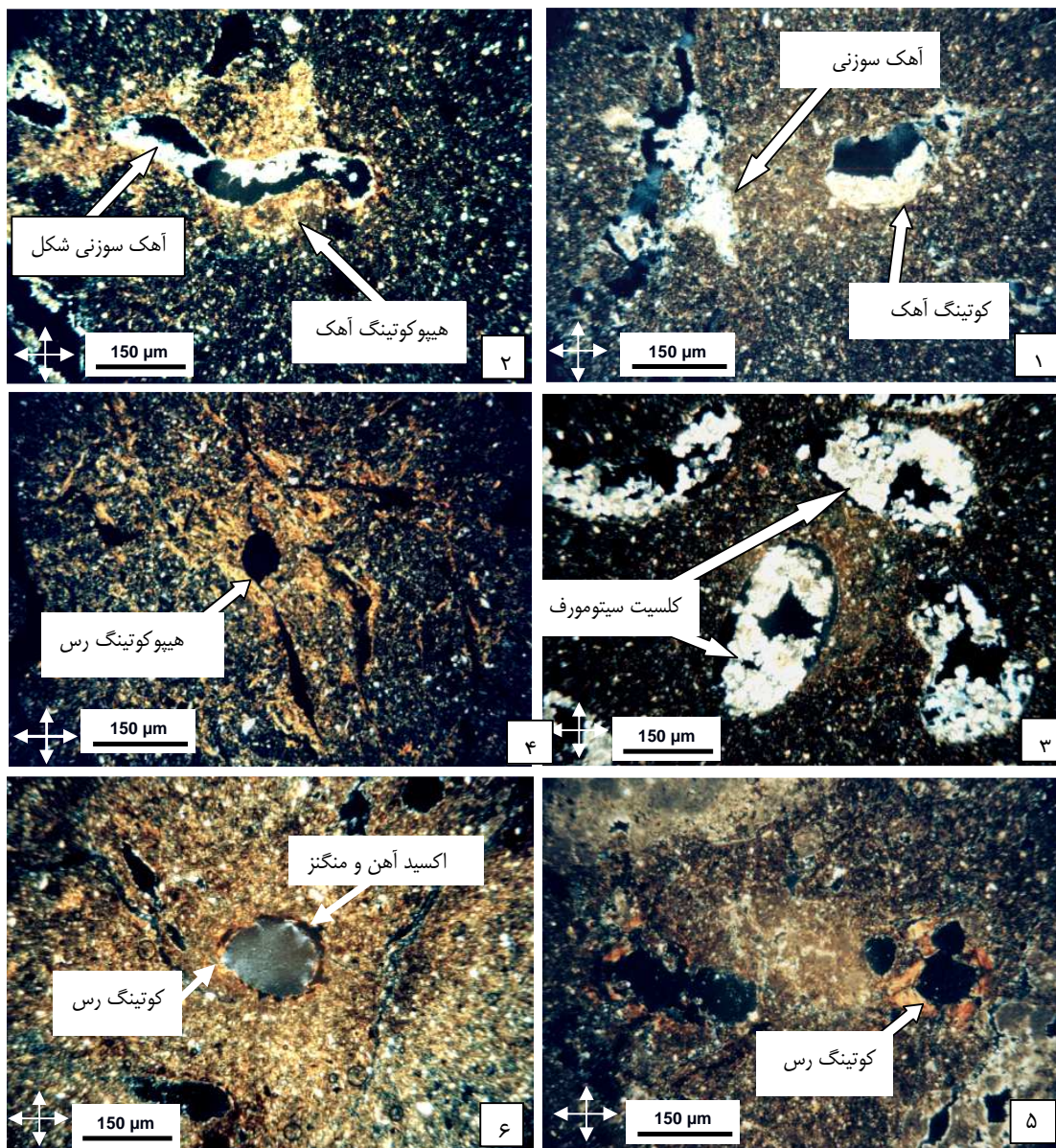
نزدیک شدن به سمت حفره می‌باشد. هیپوکوتینگ‌های اکسیدهای آهن و منگنز در حفرات، نتیجه تفاوت در شرایط رداکس و زهکشی نامناسب خاک همراه با دوره‌های خشکی می‌باشد. این پدوفیچرها زمانی تشکیل می‌شوند که آب غنی از آهن و منگنز در طول دیواره میکروپوره‌های غنی از هوا عبور می‌کند (مک‌کارتی و همکاران، ۱۹۹۸).

موقعیت نودول‌های اکسید آهن و منگنز که بیشتر در اطراف حفرات و به فاصله کمی از آن بود می‌تواند نشانگر این باشد که در فضای خلل و فرج، شرایط احیاء و در ماتریکس خاک، شرایط اکسیدتری حاکم بوده، لذا اکسیدهای محلول با حرکت به طرف ماتریکس خاک و برخورد با شرایط اکسید، به صورت نامحلول درآمده و به صورت نودول رسوب و تجمع پیدا کرده‌اند. شواهد فوق نشان می‌دهد که حفرات موجود در توالی‌های مورد مطالعه، به طور متناوب در زمان‌هایی از سال با آب اشباع بوده و سپس حالت غیراشباع غالب بوده است. نتایج فوق با مطالعات زاراته و همکاران (۲۰۰۲) و مک‌کارتی و همکاران (۱۹۹۸) مطابقت دارد.

**پدوفیچرهای ناشی از فعالیت‌های بیولوژیک:** از نشانه‌های وجود فعالیت بیولوژیکی و جانوری در توالی‌های لس- پالئوسول، وجود میکروساختمان‌های کروی، فضولات جانوری و بقایای ریشه‌های گیاهی در داخل حفرات است (کمپ و همکاران، ۲۰۰۳؛ زاراته و همکاران، ۲۰۰۲). فراوانی میکروساختمان کروی در پالئوسول‌های توالی مورد مطالعه، نشان‌دهنده شرایط مناسب محیطی برای فعالیت بیولوژیکی بوده و کم بودن آن در لایه‌های لس، محدودیت فعالیت جانوری را در زمان رسوب‌گذاری این لایه‌ها آشکار می‌سازد. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین فراوانی فضولات جانوری در پالئوسول‌های آهنی بود (شکل ۱۰). نکته جالب توجه عدم وجود این ویژگی در افق‌های Bt بود. این امر می‌تواند نشانگر این باشد که جانوران تولیدکننده این فضولات، جهت فعالیت خود نیاز به شرایط آهنی دارند.

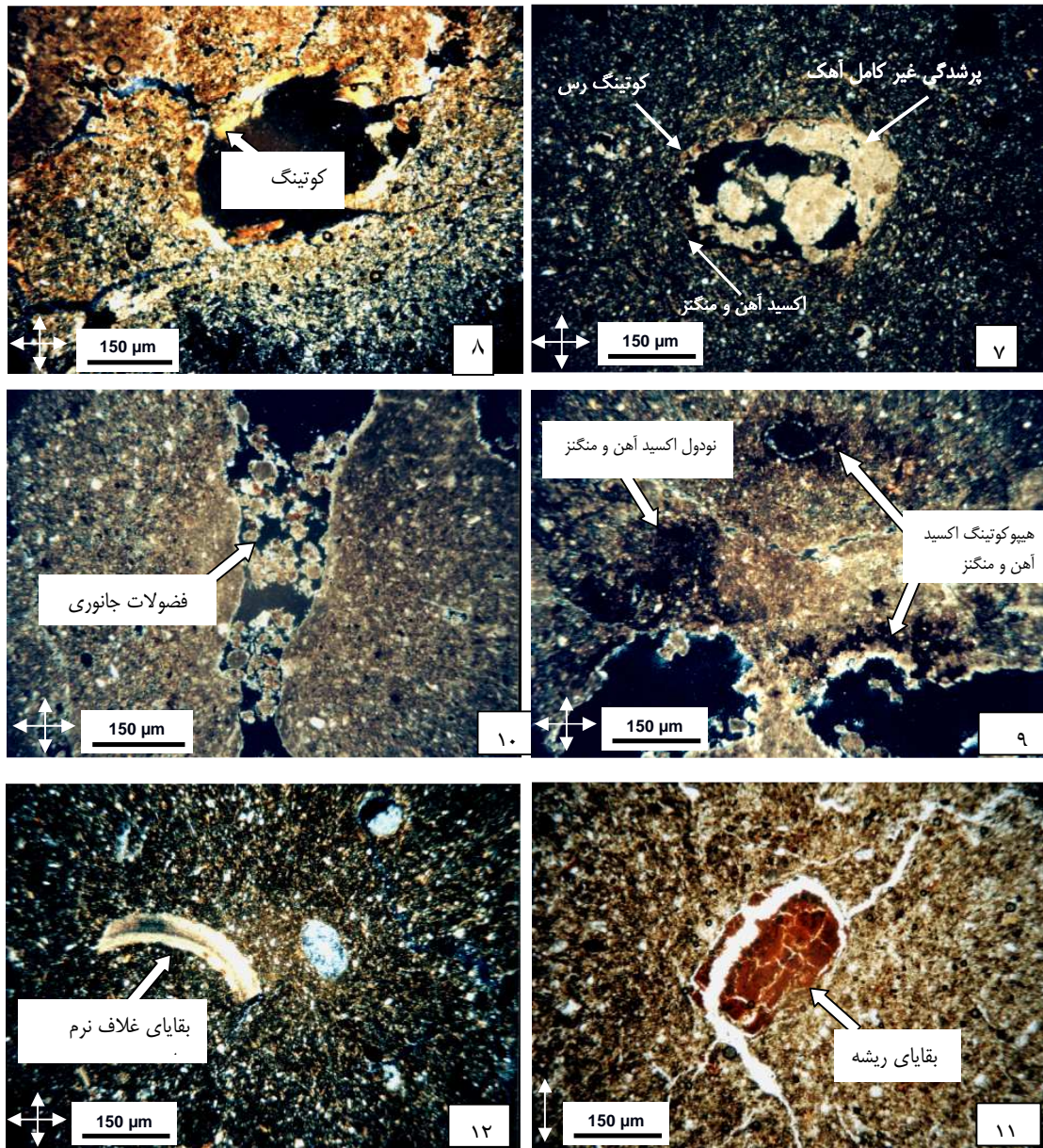
- 1- Juxtapose
- 2- Superimpose
- 3- Compound pedofeature
- 4- Polygenesis





- شکل ۱- کوتینگ هلالی آهک میکریتیک در حفره واگ و پرشدگی غیرکامل آهک سوزنی در حفره کانال، افق Ck پروفیل ۷.
- شکل ۲- هیپوکوتینگ آهک میکریتیک و کوتینگ آهک سوزنی در حفره کانال، افق Bk پروفیل ۹.
- شکل ۳- آهک سیتومورفیک به صورت پرشدگی غیرکامل در حفرات کانال، افق Bk پروفیل ۹.
- شکل ۴- هیپوکوتینگ رس در حفره واگ، پروفیل Bt پروفیل ۱۳.
- شکل ۵- کوتینگ لایه لایه رس با زاویه خاموشی مشخص در حفره واگ، افق Bt پروفیل ۱۴.
- شکل ۶- کوتینگ رس و هیپوکوتینگ اکسید آهن و منگنز به صورت سوپرایمپوز، افق Bt پروفیل ۱۲.





شکل ۷- کوتینگ رس، پرشدگی غیر کامل آهک و هیپوکوتینگ اکسید آهن و منگنز به صورت جاکستاپوز و سوپرایمپوز، افق Bt پروفیل ۱۳.

شکل ۸- کوتینگ تپیک شکسته شده رس در حفره کانال، افق Bss پروفیل ۱۵.

شکل ۹- هیپوکوتینگ اکسید آهن و منگنز در حفرات کانال و نودول ارتیک با اشباع‌شدگی ضعیف تا متوسط در گراندمس و در کنار حفره

کانال، افق Ck پروفیل ۱۰.

شکل ۱۰- فضولات جانوری در حفره کانال، افق Bk پروفیل ۸

شکل ۱۱- بقایای ریشه گیاهان در حفرات کانال، افق A از پروفیل ۹.

شکل ۱۲- بقایای غلاف آهکی نرم‌تنان، افق Ck از پروفیل ۷.

با توجه به نتایج فوق، حضور این ویژگی در پالئوسول‌ها، شاهدهی بر وجود فعالیت بیولوژیک بیشتر و در نتیجه، نشانه‌ای از ثبات تقریباً طولانی سطح زمین تحت شرایط مساعد زیستی است (آمیوتی و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین وجود بقایای ریشه‌های گیاهی در حفرات کانال و گاهی بقایای بافت گیاهی در گراندمس، که در پالئوسول‌ها به مراتب بیشتر از لایه‌های لس بود، نشان‌دهنده حاکمیت شرایط مناسب برای رشد و نمو گیاهان است (شکل ۱۱). از دیگر شواهد فعالیت بیولوژیکی در مقاطع مورد مطالعه، حضور بقایای غلاف آهکی نرم‌تنان در لایه‌های مختلف توالی به‌خصوص در لایه‌های لس است (شکل ۱۲). فریابی (۲۰۰۴) طی تحقیقی در توالی لس-پالئوسول ناهارخوران گرگان، اظهار داشت که این‌گونه شکم پایان در زمان رسوب‌گذاری لس‌ها که شرایط آب و هوایی سرد و خشک حاکم بوده، در این منطقه حضور داشتند. لذا فراوانی بقایای غلاف آهکی شکم‌پایان در لایه‌های لسی، نشان‌دهنده حاکمیت شرایط اقلیمی سرد و خشک در زمان رسوب‌گذاری لس‌های مقطع ناهارخوران می‌باشد. نتایج این بخش از تحقیق با مطالعات پاشایی (۱۹۹۷) نیز مطابقت دارد.

### بحث و نتیجه‌گیری

وجود لایه‌های متناوب لس و پالئوسول در توالی مورد مطالعه، نشان‌دهنده تحولات کلی شرایط جغرافیایی و آب و هوایی در زمان تجمع لس‌ها است که موجب شده بیشتر خصوصیات این لایه‌ها تغییر کرده و در نهایت، اثرات شرایط فوق در زمان‌های مختلف، خاکی را بر جای گذاشته که ترکیبی از شواهد اقلیمی و خاک‌سازی متناوب را در خود نشان می‌دهد.

شواهد مختلف میکرومورفولوژیک نشان داد که این توالی در طی زمان‌های مختلف، شاهد نوسانات متناوب در اشیاع‌شدگی با آب و وجود انقباض و انبساط در نتیجه خشک شدن و خیس شدن متوالی بوده است. از دیگر خصوصیات این توالی، وجود شواهدی از فعالیت بیولوژیک و فرآیندهای اختلاط بیولوژیک می‌باشد.

حضور بقایای غلاف آهکی نرم‌تنان نشان‌دهنده حاکم بودن شرایط سرد و خشک در طی فرآیند تجمع لس‌ها می‌باشد. همچنین فراوانی بقایای ریشه گیاهی در حفرات کانال در پالئوسول‌ها نسبت به لایه‌های لس، نشان‌دهنده شرایط مناسب اقلیمی جهت فعالیت بیولوژیک در پالئوسول‌ها است. از شواهد دیگر برای فعالیت بیولوژیک در این توالی، حضور کلسیت سیتومورفیک و کلسیت سوزنی شکل می‌باشد.

وجود انواع کوتینگ‌ها و هیپوکوتینگ‌های رسی در پالئوسول‌ها شواهدی از وجود بارندگی کافی برای آب‌شویی و انتقال رس است. این امر همچنین نشان‌دهنده ثبات تقریباً طولانی سطح زمین تحت شرایط مناسب اقلیمی و نیز وجود دوره‌های خشکی جهت تجمع رس می‌باشد (مک‌کیگو، ۱۹۸۳). حضور پدوفیچرهای مرکب نشان‌دهنده پلی‌ژنتیک بودن این خاک‌ها و پشت سر گذاردن چندین سیکل تکامل در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی می‌باشد.

به‌طورکلی از شواهد و مشاهدات میکرومورفولوژیک ذکر شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که توالی لس-پالئوسول دره ناهارخوران گرگان، نشان‌دهنده تکرار دوره‌های سرد و خشک و گرم و مرطوب در این خاک‌ها می‌باشد. لس‌ها معرف اقلیم سرد و خشک بوده درحالی‌که پالئوسول‌ها نشان‌دهنده شرایط جغرافیایی گرم و مرطوب‌تری می‌باشند. در این توالی، انواع ژنتیکی مختلفی از لایه‌های لس و پالئوسول یافت می‌شوند که معرف شرایط جغرافیایی دیرینه و اقلیم متفاوت می‌باشند. با توجه به مطالعات و مشاهدات محققین مختلف در توالی‌های لس-پالئوسول موجود در نقاط مختلف جهان (بژدک و همکاران، ۱۹۹۷؛ کمپ و همکاران، ۲۰۰۱؛ کمپ و همکاران، ۲۰۰۳؛ زاراته و همکاران، ۲۰۰۲)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در توالی مورد مطالعه، افق‌های پالئوسول و لس، دلیلی بر وجود دوره‌های یخبچالی و بین‌یخبچالی و شرایط آب و هوایی و اقلیمی متفاوت است.



## منابع

- 1-Ahmadi, H., Feiznia, S. 1999. Quaternary formations, Theoretical and applied fundamental in natural resources. Tehran university publications. 120 pp.
- 2-Amiotti, N., Blanco, M. del C., and Sanchez, L.F. 2001. Complex pedogenesis related to differential Aeolian sedimentation in micrienvironmentals of the southern part of the semiarid region of Argentina. *Catena*, 43:137-156.
- 3-Becze-Deak, J., Langhor, R., and Verrechia, E. P.1997. Small scale secondary CaCo<sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt. *Geoderma*. 76: 221-252.
- 4-Coude-Gaussen, G. 1990. The loess and loess-like deposits along the sides of the western Mediterranean sea: genetic and paleo climatic significance. *Quaternary International*. 5:1-8.
- 5-Duchaufour, P. 1982. *Pedology*. George Allen and Unwin, London. 310 pp.
- 6-Fanning, D.S., and Fanning, M.C.B. 1989. *Soil morphology, genesis and classification*. Wiley, New York.
- 7-Fariabi, A. 2004. Paleoenviromental determination of Paleosols by using from *Fusarium* species and different forms of iron in NE Iran. M.s thesis in soil science. Gorgan university of agricultural & natural resources. 128 pp.
- 8-Fedoroff, N., Courty, M.A. and Thompson, M.L. 1990. Micromorphological evidence of paleoenviromental change in Pliestocene and Holocene paleosols. In: Douglas, L.A.<sup>(ed)</sup>. *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Developments in soil science 19. Elsevier. 716 pp.
- 9-Fitzpatrick, E.A. 1993. *Soil microscopy and micromorphology*. Wiley, New York. 168 pp.
- 10-Kemp, R.A., Derbyshire, E., and Meng, X. 2001. A high-resolution micromorphological record of changing land scape and climates on the westwrn loess plateau of China during oxygen isotope stage 5. *PALAEO*, 170: 157-169.
- 11-Kemp, R.A., Toms, P.S., Sayago, J.M., 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, Northwest Argentina. *Quaternary international*.vol. 106-107: 111-117.
- 12-Kemp, R.A., Toms, P.S., King, M., and Kröhling, D.M. 2004. The pedosedimentary evolution and chronology of Tortugas, a late Quaternary type-site of northern Pampa, Argentina. *Quaternary Tnternational*, 114: 101-112.
- 13-Khalilizadeh, M. 2003. Evaluation of flood hazard and management in Gorgan city. Master of science thesis. Gorgan university of agricultural & natural resources. 117 pp.
- 14-Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, S., and Stoops, G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena*, 53: 273-301.
- 15-Kooistra, M.J. 1978. Soil development in recent marine sediments of the intertidal zone in the Oosterschelde—the Netherlands: a soil micromorphological approach. *Soil survey papers* 14, Netherlands soil survey institute, Wageningen.
- 16-Kubierna, W.L. 1938. *Micropedology*. Collegiate Press, Ames, IA. 235 pp.
- 17-McCarthy, P.J., Martini, I.P., and Leckie, D.A. 1998. Use of micromorphology for paleoenviromental interpretation of complex alluvial paleosols: an example from the Mill Creek Formation (Albian), southwestern Alberta, Canada. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*. 143:87-110.
- 18-McKeague, J.A. 1983. Clay skins and argillic horizons. In: Bullock P., and C.P. Murphy (eds). *Soil micromorphology*, Vol. 2. Soil genesis. Proc. 6th Int. Work. Meet. Soil micromorphology, London. 17-21 Aug. 1081. AB Academic publishers, Bekhamsted, UK.
- 19-Motamed, A. 1997. *Quaternary, Geology of fourth Era*. Tehran university publications. 328 pp.
- 20-Nordt, L.C., Wilding, L.P., Lynn, W.C., and Crawford, C.C. 2004. Vertisol genesis in humid climate of the coastal plain of Texas, U.S.A *Geoderma*, 122: 83-102.
- 21-Pashaei, A. 1997. Study of physical and chemical characteristics and the source of loess deposits in Gorgan and plain region. *Earth science journal, Iranian geology organization*, 23-24: 67-78.
- 22-Soil Survey Staff. 1996. *Soil survey laboratory methods manual*. Soil survey investigations report No. 42, version 3.0. United States department of agriculture, Soil conservation service, National soil survey center, NE, 716 pp.
- 23-Stoops, G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section. Soil science society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 184 pp.
- 24-Zárate, M.A., Kemp, R.A., and Blasi, A.M. 2002. Identification and differentiation of Pleistocene paleosols in northern Pampas of Bueneos Aires, Argentina. *Journal of south American earth sciences*, 15: 303-313.

## **Investigation on micromorphological properties of a loess-paleosol sequence in Naharkhoran, Gorgan**

**\*R. Ghazanchaei<sup>1</sup>, A. Pashaei<sup>2</sup>, F. Khormali<sup>3</sup> and Sh. Ayoubi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. graduated Student Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>2</sup>Professor Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>3</sup>Associate Prof. Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>4</sup>Assistant Prof. Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Iran

---

### **Abstract**

Micromorphological properties of a loess-paleosol sequence in Naharkhoran area, south of Gorgan were studied in order to assess the paleoenvironmental conditions of the area. Seventeen soil successions were observed across Naharkhoran loess sequence and their morphological properties were described. The undisturbed samples for the preparation of thin sections were collected. The micromorphological observations revealed many evidences on the occurrence of pedogenic processes. The existence of hypocoatings and nodules of Fe and Mn oxides, indicates that the studied sequence had periodic fluctuations of redox conditions. Other characteristics of this succession are evidences of biological activity such as faunal excrements, root residues in channels and bioturbation evidences as granular microstructure. The presence of gastropoda shells, possibly points to the dominance of dry-cool climatic conditions during loess accumulation. Biogenic calcite of cytomorphic and needle-shaped types in paleosols are other indicators for favorable climatic conditions and the consequent decay of organic matter. Clay coating and hypocoating are present only in paleosols, which is the evidence for adequate rainfall and moist climatic conditions, enough for leaching and translocation of clay. The presence of compound pedofeatures such as clay and carbonate and Fe and Mn oxides as juxtaposed and superimposed coatings or hypocoatings in paleosols, probably show that these soils are polygenetic. As a conclusion, Naharkhoran loess-paleosol sequence is an indicator for periodic dry-cool and moist-warm conditions. The loess layers are representative of dry-cool climate, whereas the paleosols are indicators of the moist-warm conditions. Formation of the studied loess and paleosols, have probably taken place in glacial and interglacial cycles with different climatic conditions, respectively.

**Keywords:** Soil micromorphology, Loess-paleosol, Paleoenvironment, Polygenetic soils

---

\*- Corresponding Author; Email: rezaghazanchaii@gmail.com