

## بررسی تغییرات اندازه ذرات با استفاده از روش نوین پراش لیزری و کانی‌شناسی رسی خاک‌های مدرن لسی در طول گرادیان اقلیمی در شمال ایران

جعفر شریفی گرم دره<sup>۱</sup> - فرهاد خرمالی<sup>۲\*</sup> - کریستین رلف<sup>۳</sup> - مارتین کهل<sup>۳</sup> - علی شهریاری<sup>۳</sup> - مانفرد فرشن<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۵

### چکیده

مطالعه لس‌های شمال ایران به دلیل قرار گرفتن در میانه کمربند لسی آسیا و اروپا دارای اهمیت بسزایی است. علاوه بر این لس‌ها به دلیل قرار گرفتن در یک شیب اقلیمی که از شمال به جنوب و از غرب به شرق میزان بارندگی در آن افزایش می‌یابد و تقریباً دما در آن ثابت است برای بررسی تغییرات اقلیمی و شرایط محیطی بسیار مناسب است. هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات اندازه ذرات در این شیب اقلیمی و استفاده از اندازه ذرات و کانی‌شناسی رسی و پذیرفتاری مغناطیسی برای تعیین منشأ رسوبات خاک‌های مدرن بود. از این رو، ۶ خاکرخ در طول گرادیان اقلیمی با بارندگی‌های مختلف از حدود ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد و آنالیزهای اندازه ذرات و کانی‌شناسی رسی بر روی آنها انجام شد. نتایج نشان داد که میانه اندازه ذرات و U-ratio به سمت مناطق با بارندگی بیشتر کاهش و مقدار رس و سیلت ریز افزایش یافت. میکا و کلریت و کائولینیت کانی‌های بخش رس و کوارتز و پلاژیوکلاز کانی‌های بخش سیلت مواد مادری در طول گرادیان اقلیمی مقدارشان ثابت بود. تغییرات اندازه ذرات نشان داد که با دور شدن از منطقه با بارش کمتر در شمال منطقه از منبع اصلی دور شده و روند کانی‌شناسی رسی نشان دهنده وجود منبع مشترک بین خاک‌های مدرن بود؛ با این تفاوت که اقلیم تغییراتی در مقدار برخی کانی‌ها در سولوم خاک ایجاد کرده است.

**واژه‌های کلیدی:** بارندگی، پذیرفتاری مغناطیسی، کانی‌های سیلتی و رسی، منشأ رسوبات لسی

### مقدمه

کانی‌های رسی و میزان کانی‌های مغناطیسی خاک می‌شود (۱۴) و (۲۲). هوادیدگی و تشکیل خاک در شرایط زهکشی مناسب باعث تشکیل اکسیدهای آهن مغناطیسی می‌شود (۳). از اینرو پذیرفتاری مغناطیسی در مدل چینی در پالئوسول‌ها بیشتر از مواد مادری است (۱۱) و با افزایش بارندگی مقدار پذیرفتاری مغناطیسی افزایش می‌یابد (۲۰ و ۲۳) از طرفی تحت شرایط احیایی مقدار پذیرفتاری مغناطیس کاهش پیدا می‌کند (۱۱ و ۳۳) علاوه بر این گیلسجو و آرنولد (۷) بیان کردند در طی هوادیدگی، تخریب و تشکیل کانی‌ها می‌تواند باعث تشکیل کانی‌های مختلف رسی در محیط‌های اقلیمی متفاوت گردد و با بررسی کانی‌هایی با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر میتوان بهتر تغییرات در مناطق منبع، فرآیندهای انتقال (شدت باد) و رژیم هوادیدگی (بارش و دما) در طول زمان را درک کرد، همچنین تغییرات وابسته به مناطق منبع، فرآیند انتقال و رژیم هوادیدگی در طول زمان در تغییرات کانی‌شناسی ثبت می‌شود بطوریکه این محققین در توالی رس قرمز-لس لینگتای در فلات لسی چین پیشنهاد کردند که مقدار بالای کائولینیت، کلریت و کوارتز در رس قرمز رنگ، با تغییرات شدید در مقدار نسبی کانی‌ها در مرز بین رس قرمز-لس در ۲/۶ میلیون سال پیش دلیل بر تغییر در منبع می‌باشد. آن‌ها همچنین بیان کردند که روند کانی‌شناسی و تفاوت بین واحدهای لس-پالئوسول نشان داد که

لس‌های شمال ایران قطعه گمشده‌ای از کمربند لسی آسیا و اروپا می‌باشند از اینرو آنالیز و اندازه گیری رسوبات و خصوصیات مختلف توالی‌های آن‌ها به فهم و ارتباط یافته‌های گوناگون قبلی هر دو کمربند لسی کمک می‌کند (۱ و ۲). اندازه ذرات، ترکیب کانی‌شناسی و پذیرفتاری مغناطیسی به تغییرات اقلیمی حساس هستند و از این خصوصیات برای فهم بهتر محیط و اقلیم گذشته استفاده می‌شود (۱۷ و ۲۷). اقلیم از طریق رطوبت و دما می‌تواند اثر مستقیمی بر روی خصوصیات خاک داشته باشد. با افزایش بارندگی میزان تشکیل و تکامل خاک افزایش می‌یابد و موجب افزایش مقدار رس و تغییر در

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(\*) نویسنده مسئول: (Email: fkhormali@gau.ac.ir)

۳- استاد گروه مغناطیس، موسسه ژئوفیزیک کاربردی لیننیز، هانوفر، آلمان

۴- استاد انستیتوی جغرافیا، دانشکده آمار و علوم طبیعی، دانشگاه کلن، آلمان

۵- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۶- استاد گروه زمین کرونولوژی، موسسه ژئوفیزیک کاربردی لیننیز، هانوفر، آلمان

اکثر لس‌های این منطقه در ارتفاعی کمتر از ۵۰۰ متر قرار دارند (۱۸) به احتمال زیاد بیشتر گرد و غبار موجود در شمال ایران از دشتهای سیلابی منطقه‌ای رودهای اترک و گرگان گرفته شده است. برخی از مواد رسوبی توسط رود گرگان و اترک وارد دریای خزر شده، علاوه بر این رسوبات ایجاد شده در قله البرز به سمت دریای خزر حرکت کرده و طی عقب نشینی‌های دریای خزر بصورت تپه‌های دریایی به عنوان منبعی از رسوبات بادی در معرض قرار می‌گیرد (۵). بر اساس مطالعات خرمالی و همکاران (۱۵) کانی‌های رسی ایلیت، کلریت و کائولینیت و اسمکتیت در مواد مادری این خاک‌ها وجود دارد که منشأ آنها ارثی است از طرفی آنها بیان کردند مقدار و نوع کانی‌های رسی با افزایش بارندگی تغییر می‌کند و مقدار اسمکتیت و ورمیکلایت پدوژنیک افزایش یافته است. مطالعاتی که تا کنون در این منطقه انجام شده بیشتر بر روی رسوبات لس-پالئوسول‌های با بارندگی در حدود ۳۵۰ میلی‌متر و بالاتر از ۶۰۰ میلی‌متر است و تاکنون مطالعاتی در خاکهای مدرن و با میزان بارندگی متفاوت در این منطقه انجام نشده است. علاوه بر این مطالعاتی بر روی کانی‌شناسی و پذیرفتاری مغناطیسی و همینطور اندازه ذرات با این هدف که می‌توان از آن‌ها به عنوان یک متغیر برای منشأیابی خاک‌های لسی استفاده کرد صورت پذیرفته است. از اینرو هدف از این مطالعه ۱- بررسی تغییرات اندازه ذرات و کانی‌شناسی در طول یک گرادیان اقلیمی و ۲- بررسی یکنواختی منشأ خاک‌های لسی مدرن با استفاده از پارامترهای گفته شده در طول گرادیان اقلیمی بود.

## مواد و روش‌ها

### مناطق مورد مطالعه

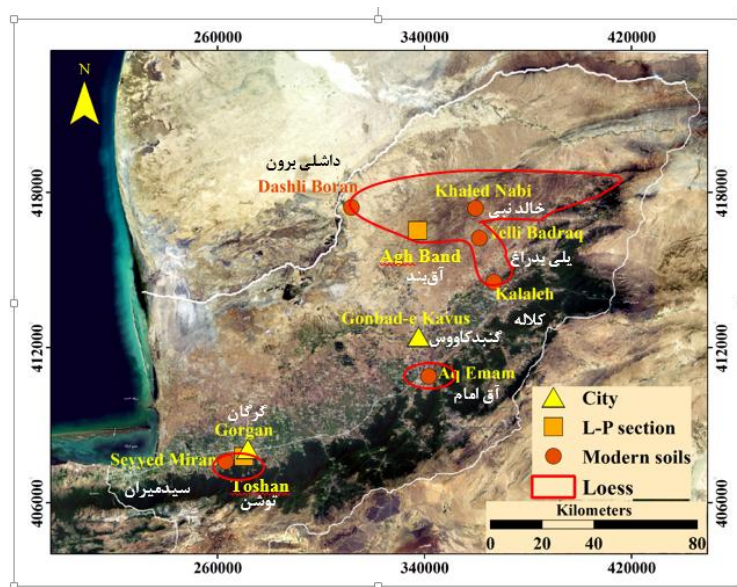
منطقه مورد مطالعه در لس‌های استان گلستان قرار دارد، بطوریکه ضخامت رسوبات لسی در نزدیکی پای کوه البرز به حدود ۳۰ متر و در فلات لسی ایران به حدود ۷۰ متر در نزدیکی شهر گنبد کاووس می‌رسد. این رسوبات در یک شیب اقلیمی که از شمال به جنوب میزان بارندگی حدوداً ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی متر تغییر می‌کند قرار دارد (شکل ۱). میزان دما در این منطقه تغییر چندانی ندارد و میانگین دما در حدود ۱۷ تا ۱۸ درجه سانتیگراد می‌باشد (جدول ۱) از این رو برای بررسی تغییرات خصوصیات خاک با میزان بارندگی بسیار مناسب است. پوشش گیاهی در این منطقه از مراتع با پوشش پراکنده در شمال تا پوشش متراکم در مناطق با بارندگی بیشتر و در نهایت جنگل تغییر می‌کند. (جدول ۱).

مناطق منبع متفاوتی در ۰/۵ میلیون سال اخیر وجود داشته است. علاوه بر کانی‌شناسی و پذیرفتاری مغناطیسی که در شناخت منشأ رسوبات مفید هستند، اندازه ذرات به عنوان یکی دیگر از خصوصیات توالی‌های لس-پالئوسول برای بازسازی فرآیندهای فرسایش و انتقال (۸) و همچنین تغییرات بعد از رسوبگذاری (۲۸) استفاده می‌شود. ترکیب دانه‌بندی لس‌ها اساساً بر مبنای شدت باد و فاصله از منبع رسوبات می‌باشد (۲۷). در این رابطه بررسی‌ها نشان می‌دهند که ذرات درشت و همینطور ذرات اندازه سیلت با بادهای نزدیک سطح زمین منتقل می‌شوند و از یک مکان به مکان دیگری حرکت می‌کنند (۲۸ و ۳۲). این ذرات درشت معمولاً در نزدیک منابع تولید آنها و در جهت باد تجمع پیدا می‌کنند. برعکس ذرات ریز می‌توانند تا فواصل بسیار طولانی و در عرضهای بالاتر حرکت کنند. این ذرات عمدتاً با جریان‌های هوایی با سطح بالا حرکت می‌کنند و بنابراین می‌توانند تا فواصل دورتری از منبع حرکت کنند (۶، ۳۸، ۲۸ و ۳۲).

در سال‌های اخیر خاک‌های لسی شمال ایران به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند لسی اروپا و آسیا و تغییرات منحصر به فرد این خاک‌ها که نشان‌دهنده تغییرات گسترده اقلیمی و شرایط محیطی گذشته است توسط تعداد زیادی از محققین مورد بررسی قرار گرفته است.

کهل (۱۲) در آق بند که در یک منطقه نیمه خشک با بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر قرار دارد اندازه ذرات ۲۹ میکرون را برای لس‌های این منطقه با روش پیپت و غربال بدست آورد. در حالی که در سال ۲۰۱۶ طی یک عملیات میدانی وسیع که حدود ۵۰ متر خاک‌رخ پله‌ای در این مکان حفر شد که شامل ۲ قسمت ۱ و ۲ بود میانه اندازه ذرات به روش آنالیز کننده پراش لیزری برای آق بند شماره ۱ حدود ۳۳ و آق بند شماره ۲ حدود ۲۷ میکرون متر محاسبه گشت (۱۹). همچنین این محققین (۱۹) در منطقه آق بند چندین تغییر درشت‌شدن و ریز شدن اندازه ذرات در لایه‌های مختلف را مشاهده کردند، آن‌ها بیان کردند تغییر در سرعت باد دلیل این تغییرات می‌باشد. کهل (۱۲) با روش غربال و پیپت میانگین میانه اندازه ذرات را در نوده که در منطقه‌ای با بارش ۶۰۰ میلی‌متر قرار دارد ۱۱ و در نکا با بارش ۷۵۰ میلی‌متر ۹ میکرون برآورد کرد. مطالعه دیگری توسط فلامینک و همکاران (۳۵) در توشن برای اندازه‌گیری اندازه ذرات با روش پراش لیزری در یک منطقه نیمه مرطوب با بارندگی ۶۵۰ میلی‌متر در نزدیک شهر گرگان در استان گلستان صورت گرفت که میانه اندازه ذرات در این منطقه ۱۰ میکرومتر برآورد شد.

کهل و همکاران (۱۲) نزدیکی به مناطق منبع را دلیل بالا بودن مقدار بالای شن ریز و سیلت درشت در آق بند عنوان کردند در حالی که آنها بیان کردند برای برش نکا و نوده انتقال با فاصله زیاد ممکن است اتفاق افتاده باشد. از سوی دیگر، آنها بیان کردند از آنجایی که



شکل ۱- موقعیت قرار گرفتن خاک های مدرن لسی و برش لس-پارینه آق بند و توشن (استان گلستان)

Fig 1- Location map of the study area and the sites of the modern soils and loess sections at Aq Band and Toshan (Golestan province)

### نمونه برداری و اندازه‌گیری نمونه‌ها

#### نمونه برداری

۶ خاکرخ در نقاط پایدار با زهکشی مناسب و بدون فعالیت‌های کشاورزی در طول این گرادیان اقلیمی انتخاب شد (جدول ۱). پس از تشریح خاکرخ‌ها و تعیین افق‌ها، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بررسی و طبق سیستم تاکسونومی (۳۰) طبقه‌بندی شد. برای بررسی اندازه ذرات و خصوصیات مغناطیسی از هر خاکرخ نمونه‌هایی با فاصله ۱۰ cm برداشت شد، همچنین از هر خاکرخ نمونه‌هایی برای بررسی کانی‌های رسی و سیلتی انتخاب شد.

#### آنالیز اندازه ذرات

تعیین اندازه ذرات با تحلیل پراش لیزر با استفاده از دستگاه Beckman-Coulter LS 13320 PIDS در آزمایشگاه انسیتو ژئوفیزیک کاربردی لایپزیک صورت گرفت. تجزیه کننده اندازه ذرات پراش لیزری از اصل پراکندگی رو به جلوی نور تکرنگ و پراش آن تحت یک زاویه خاص، بسته به اندازه ذرات استفاده می‌کند. زاویه پراش به طور معکوس متناسب با اندازه ذرات است. این بدان معنی است که ذرات بزرگ‌تر زاویه کوچکتری نسبت به ذرات کوچکتر ایجاد می‌کنند. این روش فوایدی نسبت به روش‌های پیب و روش قدیمی غربال کردن دارد از جمله اینکه مقدار کمی نمونه نیاز دارد، نمونه با این روش در مدت زمان کوتاهی می‌تواند اندازه گیری شود و نتایج آن دارای تکرار پذیری قابل اعتمادی می‌باشد.

این روش دامنه وسیعی از اندازه ذرات از حدود ۰/۴ تا ۲۰۰۰ میکرومتر را پوشش می‌دهد و داده‌ها رقومی شده هستند و نیازی به محاسبه ندارند. با این وجود تشخیص در اندازه رس ممکن است به دلیل شکل صفحه‌ای ذرات رس و کانی‌شناسی ذرات برآورد واقعی نداشته باشد و برآورد آن کمتر از مقدار واقعی باشد. بنابراین ذرات با قطر کمتر از ۵/۵ میکرومتر به عنوان ذرات رس در نظر گرفته می‌شوند. تعیین اندازه ذرات براساس پروتکل نمونه استاندارد مجالت و همکاران (۲۱) با استفاده از تئوری فرانوفر برای ارزیابی طیف اندازه ذرات انجام شد. با در نظر گرفتن اینکه مواد آلی کمتر از ۲ درصد می‌باشد حذف این مواد صورت نگرفت که البته ممکن است در این حالت اشتباه قابل اغماض برای اندازه گیری اندازه ذرات صورت گیرد (۲۱). کربنات کلسیم معادل هم برای این نمونه‌ها حذف نشد زیرا روش قابل اعتماد و عملی برای حذف کربنات کلسیم معادل ثانویه وجود ندارد. سپس خاکدانه‌ها با هیدروکسید آمونیم ۱ درصد پراکنده شدند و پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در یک روتیتر قرار گرفتند. اضافه کردن هیدروکسید آمونیوم به منظور این است که دیگر خاکدانه سازی و تشکیل حباب هوا در طی پیش تیمار فراصوت متناوب صورت نگیرد (۲۱).

#### کانی‌شناسی رس

نمونه های خاک عبور داده شده از الک ۲ میلی متری به منظور خالص سازی رس استفاده شد. برای از بین رفتن عوامل شیمیایی سیمان کننده و جداسدن ذرات رس از یکدیگر روش های مهرا و

جکسون (۲۵)، کیتریک و هوپ (۱۶) و جکسون (۹) به کار گرفته شد.

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه  
Table 1- Climatically information of the study area

منطقه	پوشش گیاهی	میانگین بارش سالیانه	مانگین دمای سالیانه هوا	ارتفاع از سطح دریا
Region	Vegetation cover	MAP (mm)	MAAT (°C)	Altitude (m a.s.l)
داشلی برون	علفزار	200	18	54
DashliBorun	Grassland			
خالدنی	علفزار	330	17.5	380
KhaledNabi	Grassland			
یلی بدرآق	علفزار	405	17	385
YelliBadraq	Grassland			
کلاله	علفزار	480	17	205
Kalaleh	Grassland			
آق امام	بوته‌زار	600	17	320
AqEmam	Shrub land			
سید میران	جنگل	670	17	218
SeyyedMiran	Forest			

MAP: Mean annual precipitation; MAAT: Mean annual air temperature; Altitude (m a.s.l)

و با افزایش مقدار بارندگی به ترتیب رده‌های Inseptisol، Mollisol و Alfisol پدیدار شد. همچنین مقدار رس افزایش یافته و مقدار سیلت کاهش می‌یابد.

آنالیز اندازه ذرات با روش پراش لیزری نشان داد که مقدار رس و سیلت ریز در خاکرخ واقع در داشلی‌برون کمترین و مقدار U-ratio که مقدار آن از نسبت بین سیلت متوسط (۳۴-۱۶ μm) به سیلت ریز (۱۶-۵/۵ μm) بدست می‌آید و میانه اندازه ذرات بیشترین مقدار را در طول این گرادیان اقلیمی دارد. مقدار رس و سیلت ریز به ترتیب برابر ۱۲/۰۹ و ۷/۰۳ و مقدار U-ratio و میانه اندازه ذرات برابر ۶/۳۵ و ۴۸/۲۴ می‌باشد، در حالی که با افزایش بارندگی و دور شدن از شمال منطقه مقدار رس و سیلت ریز افزایش و مقدار U-ratio و میانه اندازه ذرات در آن کاهش می‌یابد. بطوریکه مقدار رس و سیلت ریز در سید میران با بیشترین مقدار بارندگی به ترتیب برابر ۳۶/۵۶ و ۲۸/۰۲ درصد به حداکثر خود می‌رسد و مقدار U-ratio و میانه اندازه ذرات برابر ۱/۰۰ و ۸/۷۸ میکرون به حداقل مقدار خود می‌رسد (شکل ۲).

کانی‌های رسی در مواد مادری این خاکرخ‌ها در طول گرادیان اقلیمی شامل میکا، کلریت، کائولینیت و اسمکتیت، می‌باشد. با افزایش مقدار بارش مقدار ورمیکولیت و اسمکتیت پدوژنیک افزایش می‌یابد (جدول ۳). کانی‌های بخش سیلت شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم‌دار، میکا و کلریت و کلسیت می‌باشد. که مقدار کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم در مواد مادری تغییری نمی‌کند (جدول ۴). در خاکرخ‌های داشلی‌برون تا یلی‌بدرآق و تا حدودی کلاله کانی‌های غالب میکا و کلریت می‌باشند.

سپس از هر نمونه رس به دست آمده چهار تیمار شامل منیزیم، منیزیم و اتیلن گلیکول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه گردید و جهت شناسایی کانی‌های رسی نمونه‌ها از دستگاه پرتو ایکس<sup>۱</sup> استفاده شد. پس از آن تخمین نیمه کمی کانی‌های رسی با پیک رده اول تیمار گلیکول صورت گرفت (۱۰).

### خصوصیات مغناطیسی

همه نمونه‌ها در آزمایشگاه انستیتو ژئوفیزیک کاربردی لایپزیک بعد از هوا خشک شدن نمونه‌ها پودر شدند. و در بسته‌های پلاستیکی با اندازه ۶ سانتی‌متر قرار گرفتند. برای تعیین پذیرفتاری مغناطیسی از دستگاه MINIKAPPA (KLF-3) و برای مشخص کردن پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس از دو فرکانس ۵۰۰۵ و ۵۰۰۵ با استفاده از دستگاه Magnon GmbH استفاده شد (۲۹)

### نتایج و بحث

نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های مورد مطالعه در جدول شماره ۲ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که خاکرخ منطقه داشلی‌برون با کمترین مقدار بارش در رده Entisol قرار دارد

<sup>۱</sup> دستگاه پرتو ایکس (XRD) مدل ADVANCE D8 (در زوایای ۲<sup>θ</sup> بین ۲ تا ۳۰ درجه، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و جریان ۳۰ میلی آمپر و فلز هدف مس)

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مدرن  
Table 2- Some physicochemical properties of modern soils

منطقه	افق	عمق	رنگ مرطوب	هدایت الکتریکی	کربن آلی	رس	سیلت	شن	گچ	
Region	Horizon	Depth (cm)	Moist color	pH	EC (dS/m)	OC	Clay	Silt %	Sand	Gypsum
Typic Torriorthents										
داشلی برون D-B	A	0-10	10YR 6/3	8.3	0.8	0.5	21.9	59.1	18.9	3.21
	C	10-50	10YR 6/4	8.3	4.7	0.3	19.3	59.1	21.4	3.13
	C <sub>y</sub>	50-100	10YR 6/4	8.3	12.7	0.3	14.2	62.8	23.0	3.90
Typic Haploxerepts										
خالد نبی K-N	A	0-10	10YR5/4	7.4	1.8	0.7	15.0	73.8	11.2	2.9
	B <sub>w</sub>	10-40	10YR6/4	7.7	0.8	0.4	15.0	68.8	16.2	2.8
	C	40-90	10YR6/3	7.6	3.6	0.2	15.0	68.8	16.2	2.8
	C <sub>y</sub>	90-110	10YR6/3	7.8	9.6	0.1	12.5	71.3	16.2	5.1
Typic Calcixerepts										
یلی بدرغ Y-B	A	0-28	10YR 4/3	8.1	1.0	2.6	27.3	65.1	7.5	3.1
	Bky1	28-54	10YR5/3	8.3	0.8	1.4	22.0	64.4	13.5	4.3
	Bky2	54-68	10YR 6/4	8.2	1.1	1.0	21.9	66.9	11.0	3.1
	Bky3	68-112	10YR 6/4	7.9	3.7	0.7	27.1	65.7	7.1	3.1
	Bky4	112-130	10YR 6/4	7.9	6.7	0.6	29.7	62.1	8.1	3.1
	C	130-150	10YR 6/3	8.6	2.5	0.4	29.6	59.3	11.0	3.0
Typic Calcixerolls										
کلاله K	A	0-27	10YR 2/2	8.1	0.9	3.9	31.8	59.4	8.7	-
	AB	27-37	10YR 2/2-3/2	8.3	0.5	3.3	29.8	62.4	7.6	-
	Bk1	37-52	10YR5/3	8.1	0.5	2.2	29.7	64.7	5.5	-
	Bk2	52-89	10YR 6/4	8.2	0.4	1.2	19.4	71.9	8.6	-
	Bk3	89-104	10YR 6/4	8.1	0.8	0.9	23.3	60.7	15.8	-
	Ck	104-130	10YR 6/4	8.2	0.9	0.6	22.3	65.4	12.2	-
Calcic PachicArgixerolls										
آق امام A-E	A	0-30	10YR3/3	6.8	1.4	1.9	40.0	43.1	16.9	-
	AB	30-80	10YR2/2	6.3	1.3	1.7	42.5	46.3	11.2	-
	Bt	80-110	10YR3/4	6.7	0.8	1.0	42.5	48.8	8.7	-
	Bk	110-150	10YR6/4	7.5	0.5	0.4	25.0	56.3	18.7	-
Calcic Haploxeralfs										
سید میران S-M	A	0-10	10YR3/2	6.6	1.1	5.7	40.0	40.7	19.3	-
	Bw	10-28	10YR4/4	6	0.6	1.6	40.0	46.3	13.7	-
	Bt	28-65	10YR4/5	6.5	1.0	0.6	40.0	43.1	16.9	-
	Btk	65-90	10YR5/3	7.5	0.6	0.7	30.0	53.8	16.2	-
	Bk	90-120	10YR5/4	7.6	0.3	0.5	32.5	53.8	13.7	-
	Ck	120-160	10YR6/4	7.6	0.4	0.3	25.0	56.3	18.7	-

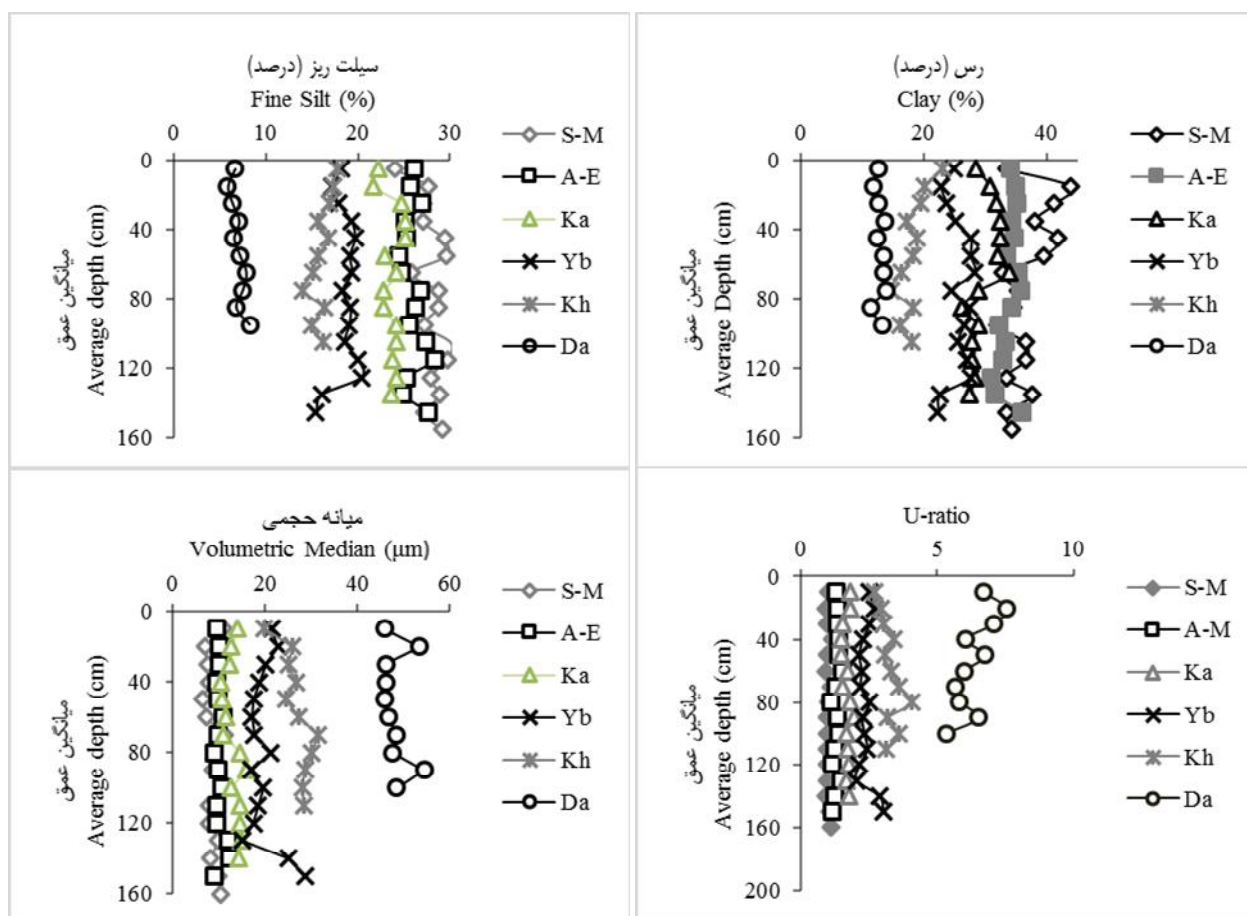
دارد علاوه بر این برای تشکیل آن نیاز به شرایط حاره‌ای می‌باشد که در این منطقه چنین شرایطی فراهم نیست از اینرو این کانی از مواد مادری به ارث رسیده است (۱۵). در سولوم خاک‌های مالی‌سول کلاله و آق امام و آلفی‌سول سیدمیران مقدار اسمکتیت و ورمیکولیت افزایش می‌یابد (جدول ۳). خرمالی و همکاران (۱۵) در این رابطه بیان می‌کنند که افزایش رطوبت قابل استفاده خاک و متعاقباً شستشوی نسبی برای رهایی از کانی‌های میکا در محیط‌های آهکی با تحرک بالای منیزیم و سیلیسیم ممکن است شرایط مساعد را برای

این کانی‌ها همینطور در مواد مادری غالب می‌باشند. کلریت و میکا دو کانی متداول در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که در این مناطق تشکیل خاک با محدودیت مواجه است (۴ و ۳۷). وجود این کانی‌ها در خاک‌ها تا حد زیادی به دلیل وجود آن‌ها در مواد مادری می‌باشد (۱۵). هر چند میکا می‌تواند از تثبیت K در لایه‌های اسمکتیت در شرایط گرم و خشک به وجود آید (۲۴) ولی در بیشتر مطالعات مربوط به لس از مواد مادری منشاء می‌گیرد. کائولینیت در مواد مادری و سولوم خاک تمام خاک‌ها تقریباً به یک نسبت وجود

از ۲۰ درصد می‌باشد که این لس‌ها را لس‌های رسی می‌نامند. میانگین اندازه ذرات تابعی از حداکثر سرعت باد و فاصله از منشأ می‌باشد. علاوه بر این همانطور که بیان شد میزان هواپدیدی توسط بارش می‌تواند بر روی اندازه ذرات تاثیر بگذارد و تغییراتی در میزان کانی‌های اندازه سیلت و بخصوص رس به وجود آورد. از طرفی با درک تغییرات کانی‌های رسی می‌توان تغییرات وابسته به منبع، فرآیندهای انتقال و نوع اقلیم را از آنجایی که این تغییرات در این کانی‌ها ثبت می‌شوند را بدست آورد (Y). U-ratio و میانه اندازه ذرات به سمت مناطق با بارندگی بیشتر کاهش می‌یابد که این می‌تواند نشاندهنده کاهش سرعت باد و یا فاصله از منبع باشد (شکل ۲).

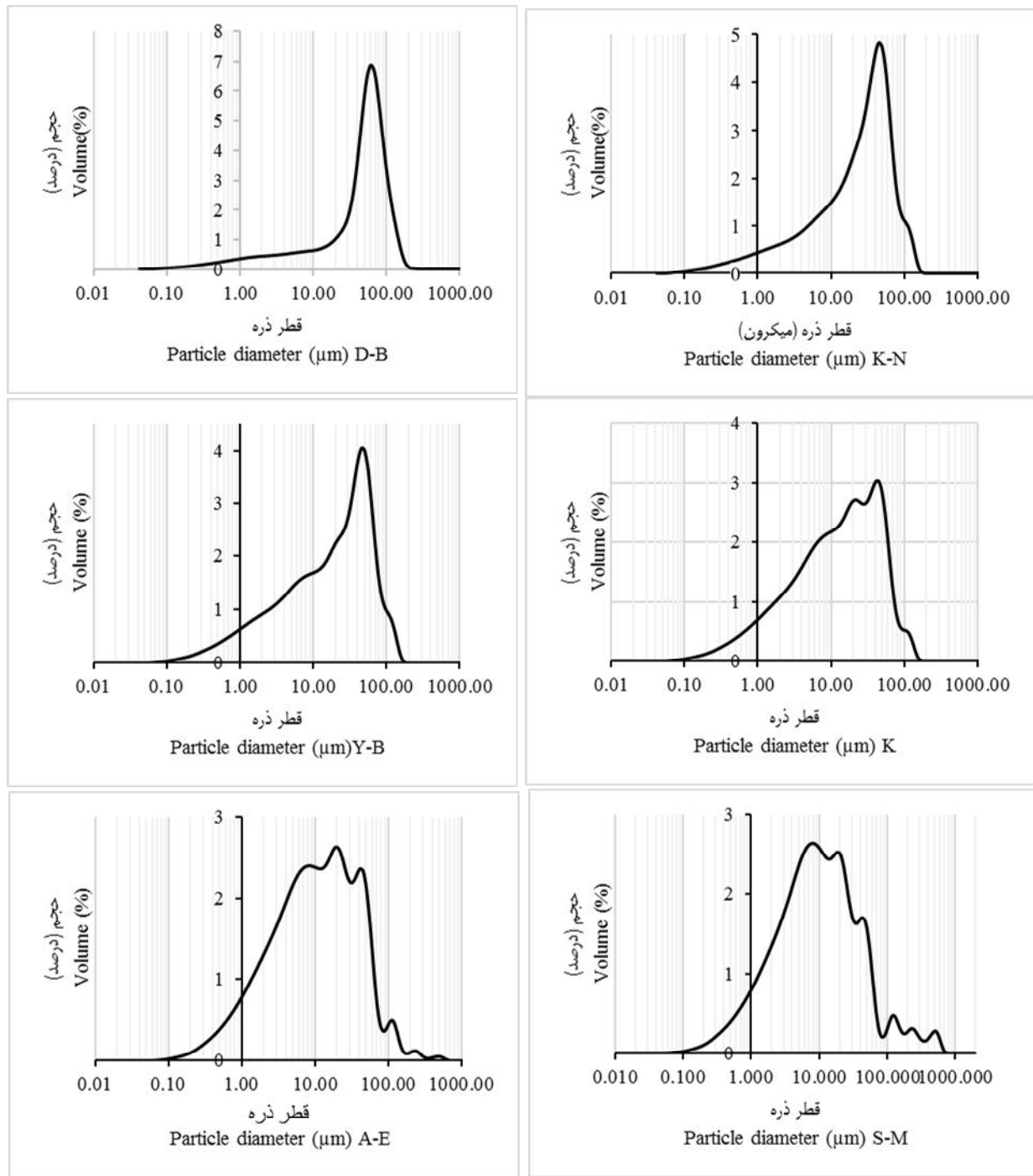
تغییر شکل اسمکتیت فراهم کرده باشد. عدم حضور و مقدار کمتر اسمکتیت و ورمیکولیت در مواد مادری این مناطق و افزایش آن در سولوم خاک نشان دهنده پدوژن بودن این کانی‌ها در این خاک‌ها می‌باشد. علاوه بر این مقدار میکا و کلریت در افق Bt خاک‌های آق‌امام و سیدمیران کاهش یافته و مقدار کانی‌های اسمکتیت، ورمیکولیت و کانی‌های مختلط افزایش یافته است که دلیل دیگری بر پدوژن بودن این کانی‌ها می‌باشد (جدول ۳).

داشلی برون را می‌توان لس شنی نامید، زیرا، بیش از ۲۰ درصد شن دارد. لس موجود در خالد نبی یک لس تیپیک است که مقدار رس و شن در آن کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد. مقدار رس در خاک‌های بعدی با بارندگی بیشتر از خالد نبی و فاصله از منبع مقدار رس بیشتر



شکل ۲- تغییرات برخی پارامترهای توزیع اندازه ذرات با عمق که نشان داد میانه اندازه ذرات و U-ratio با افزایش بارندگی مقدارشان کاهش یافته است و مقدار رس و سیلت ریز افزایش یافته است.

Figure 2- Change in some grain size parameters with depth showed the medium grain size and U-ratio decreased from low rainfall regions to higher rainfall and clay and fine silt contents showed the reverse trend



شکل ۳- منحنی توزیع اندازه ذرات برای خاکرخ ها در طول گرادیان اقلیمی از تک نمایی در منطقه خشک تا چند نمایی در مناطق نیمه مرطوب  
 Figure 3- Grain size distribution curves of the samples from arid region with unimodal to polymodal in semi-arid region.

مغناطیسی و پذیرفتاری وابسته به فرکانس در هر خاکرخ با افزایش بارندگی افزایش می‌یابد بطوریکه نسبت ذرات بسیار ریز در داشلی‌برون و خالد نبی با حداقل بارش در حدود ۰/۸۷ و در سید میران با بیشترین مقدار بارش به ۱/۶۳ می‌رسد (شکل ۴). افزایش ذرات ریز نشان‌دهنده فاصله از منبع و همینطور افزایش بارندگی

از سوی دیگر، به دلیل همزمانی تجمع رسوبات و خاکسازای استفاده از U-ratio برای سرعت باد دارای محدودیت‌هایی است و بهتر است از آن به عنوان شاخصی برای پایداری بافتی مواد مادری و تغییر در گسترش منابع گردوغبار استفاده شود. میانگین نسبت ذرات بسیار ریز (U<sub>fm</sub>) و همینطور پذیرفتاری

به نظر می‌رسد ذرات با باد غالب شمال غرب به شمال شرق به سمت خالد نبی منتقل شده و پس از آن با باد گرمسیلی که از سمت کپه داغ جریان دارد از خالد نبی به سمت یلی بدراغ و کلاله حرکت کرده باشد. همچنین ممکن است ذرات با باد غالب شمال غرب به شمال شرق به سمت خالد نبی، یلی بدراغ و کلاله حرکت کرده و به دلیل مسافت بیشتر یلی بدراغ و کلاله ذرات درشت آن، شن ریز و سیلت درشت با فاصله از منبع کمتر شده، از طرفی با افزایش مقدار بارندگی مقدار ذرات ریز از طریق پدوژن نیز بدان افزوده شده باشد. به نظر می‌رسد رسوبات پس از رسیدن به این نقطه توسط حرکت افقی توسط باد و همینطور از طریق حوزه‌های آبریز وارد گرگان‌رود که در نزدیکی شهر کلاله قرار دارد شده علاوه بر این رسوبات ایجاد شده در قتل البرز هم وارد این رود شده و از طریق این رود به نقاط داخلی‌تر استان گلستان حمل شده، و در دشت‌های گنبد کاووس، گرگان و آق‌قلا بصورت دشت سیلابی ته‌نشین شده باشد.

پس از ته‌نشینی رسوبات که توسط آب به منطقه گنبد کاووس و گرگان آورده شده است. از آنجا که با دور شدن از رود و نزدیک شدن به کوهپایه‌های البرز رسوبات ذرات ریز رس بیشتر می‌شوند. احتمالاً این ذرات با باد گرمسیلی شمال به جنوب کپه داغ به سمت کوهپایه‌های البرز منتقل شده و در پای رشته‌کوه البرز انباشته شده‌اند. از طرفی از آنجاییکه که همه این خاکرخ‌ها در ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متر هستند انتقال با فاصله زیاد منتفی است (۱۸) و انتقال نزدیک سطح زمین برای همه ذرات محتمل‌تر به نظر می‌رسد. و ذرات رس از طریق چسبیدن به ذرات درشت‌تر و یا پدوژن به خاک اضافه شده است (۲۸ و ۳۱). از طرفی کانی‌شناسی رسی خاکرخ‌های آق امام و سید میران شبیه هم است و کانی‌های رسی این خاکرخ‌ها میکا، کلریت و کائولینیت، اسمکتیت و ورمیکولیت می‌باشد. در مواد مادری هر دوی این خاکرخ‌ها مقادیر میکا، کلریت، کائولینیت و اسمکتیت با هم برابر است. از طرفی کانی‌شناسی بخش سیلت در مواد مادری دو خاکرخ گفته شده به ثابت بودن مقادیر کوارتز، پلاژیوکلاز، و فلدسپار پتاسیم اشاره دارد (جدول ۴). عمده تغییر کانی‌شناسی بخش سیلت با حرکت در طول شیب اقلیمی از منطقه خشک به مرطوب، تغییر در مقدار کانی کلریت بود که در افق‌هایی که تجمع کریناتهای ثانویه (افق کلسیت) داشتند بخصوص در مناطق با بارندگی بیشتر، افزایش می‌یافت.

می‌باشد. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی هم با افزایش بارندگی زیاد و مقدار میانگین پذیرفتاری مغناطیسی از  $2/5 (10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg})$  در دانشلی‌برون و خالد نبی به  $10/1 (10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg})$  در سیدمیران می‌رسد. مقدار پذیرفتاری وابسته به فرکانس هم روند مشابهی با پذیرفتاری مغناطیسی دارد و مقدار میانگین آن در دانشلی‌برون با کمترین مقدار بارش  $0/7$  درصد تا  $7/9$  درصد در آق‌امام و سیدمیران تغییر می‌کند (شکل ۴).

طبق گفته کهل و همکاران (۱۳) جهت باد در شمال ایران عمدتاً از اختلاف فشار بین گودی دریای خزر و ارتفاعات ایران مرکزی ناشی می‌شود. طوری که در تابستان توده هوای کم فشار قوی در بالای مناطق مرکزی ایران دلیل جریان هوای شمال غربی به شمال شرقی از دریای خزر و استپ‌های ترکمن می‌باشد و در زمستان جهت جریان عکس خواهد شد. همچنین میدلتون (۲۶) بیان کرد بادهای گرم و خشک در دامنه کوه البرز و کپه داغ به نام بادهای گرمسیل می‌تواند تشکیل شود که حجم وسیعی از گردوغبار و شن را وارد ترکمن صحرا کند از اینرو به دلیل نزدیکی خاکرخ دانشلی برون به رود اترک و جهت باد شمال غرب به شمال شرق از سمت دریای خزر باعث تشکیل یک خاکرخ لسی شنی در دانشلی برون شده است. کانی‌شناسی رسی ذرات دانشلی برون هم همانند کانی‌شناسی رسی خاکرخ خالد نبی است با این تفاوت که دانشلی برون بسیار به منبع خود که همان رود اترک است نزدیکتر می‌باشد و میانگین ذرات در آن بصورت یک تابع تک نمایی می‌باشد (شکل ۳). این نمودار برای دانشلی برون نشان‌دهنده زیاد بودن سیلت درشت و شن می‌باشد که طبق گفته محققان بسیاری این ذرات تنها از طریق کشش و غلطیدن جابه‌جا می‌شوند (۳۴ و ۳۶). با افزایش بارندگی در خالد نبی و پیدا شدن افق B کمبیک جوان، درصد رس که نشان‌دهنده تکامل بیشتر این خاکرخ نسبت به خاکرخ دانشلی برون می‌باشد افزایش می‌یابد. میانه اندازه ذرات که رابطه عکس با مقدار رس دارد در این خاکرخ کمتر از خاکرخ دانشلی‌برون است که دلیل بر افزایش میزان تکامل این خاکرخ‌ها دارد علاوه بر این در افق C یا همان مواد مادری خاکرخ خالد نبی مقادیر بیشتری رس نسبت به خاکرخ دانشلی برون وجود دارد که به دورتر شدن از منبع مربوط می‌باشد. ذرات رس می‌توانند چسبیده و در کنار ذرات درشت‌تر سیلت به این خاکرخ رسیده باشند.

نتایج کانی‌شناسی بخش رس (جدول ۳) در خاکرخ‌های دانشلی برون، خالد نبی و یلی بدراغ نشان می‌دهد که این خاکرخ‌ها در مراحل ابتدایی تکامل هستند و تغییری در میزان کانی‌های رسی در این خاکرخ‌ها مشاهده نمی‌شود. از طرفی مقدار و نوع کانی‌ها در خاکرخ‌های گفته شده در بالا نشان از آن دارد که این خاکرخ‌ها باید منابع اولیه یکسان داشته باشند. از خالد نبی به یلی بدراغ بطور افقی ۱۱ کیلومتر فاصله وجود دارد و ارتفاع تقریباً برابر است و به سمت کلاله ارتفاع کم می‌گردد.



جدول ۳- تخمین نیمه کمی کانی شناسی رسی در خاک‌های مورد مطالعه  
Table 3- Semiquantitative analyses of clay minerals in the studied soils.

خاکرخ Pedon	افق Horizon	میکا mica	کلریت Chlorite	اسمکتیت Smectite	کائولینیت Kaolinite	ورمیکولیت Vermiculite	کانی‌های مختلط Mixed minerals
داشلی برون (D-B)	A	+++	+++	+	+	-	-
داشلی برون (D-B)	Cy	+++	+++	+	+	-	-
خالد نبی (K-N)	A	+++	+++	-	+	+	-
خالد نبی (K-N)	Bw	+++	+++	+	+	-	-
خالد نبی (K-N)	Cy	+++	++	+	+	-	++
یلی بدراغ (Y-B)	A	+++	+++	+	+	-	-
یلی بدراغ (Y-B)	Bky <sub>2</sub>	+++	+++	+	+	-	-
یلی بدراغ (Y-B)	C	+++	+++	+	+	-	-
کلاله (K)	A	+++	+++	+	+	-	-
کلاله (K)	Bk <sub>2</sub>	+++	++	++	+	+	-
کلاله (K)	C	+++	++	-	+	-	++
آق امام (A-E)	A	+++	+	++	+	++	-
آق امام (A-E)	Bt	++	+	+++	+	++	+
آق امام (A-E)	Bk	+++	++	++	+	-	-
سید میران (S-M)	A	+++	+	++	+	+++	-
سید میران (S-M)	Bt	++	+	+++	+	++	+
سید میران (S-M)	Ck	+++	++	+++	+	-	-

\* عدم حضور: -، ۱۵ درصد: +، ۳۰-۱۵ درصد: ++، ۵۰-۳۰ درصد: +++، >۵۰ درصد: ++++  
 +++++: >50%; +++: 30-50%; ++: 15-30%; +: <10%; -: not present

جدول ۴- نتایج کانی شناسی بخش سیلت در خاکرخ‌های مورد مطالعه  
Table 4- Semiquantitative analyses of silt minerals in the studied soils.

خاکرخ Pedon	افق Horizon	کوارتز Quartz	کلسیت Calcite	پلاژیوکلاز Plagioclase	فلدسپار پتاسیم‌دار Potassium feldspar	میکا mica	کلریت Chlorite
خالد نبی (K-N)	A	+++	-	++	+	+	+
خالد نبی (K-N)	Bw	+++	-	++	-	+	+
خالد نبی (K-N)	Cy	+++	-	++	+	+	+
کلاله (K)	A	++++	-	++	+	+	+
کلاله (K)	Bk <sub>1</sub>	+++	-	++	-	-	+++
آق امام (A-E)	A	+++	-	++	-	+	+
آق امام (A-E)	Bt	+++	-	++	+	+	+
آق امام (A-E)	Bk	+++	-	++	+	+	+++
سید میران (S-M)	A	+++	-	++	+	+	+
سید میران (S-M)	Bt	+++	-	+++	+	+	+
سید میران (S-M)	Ck	+++	++	++	+	-	++

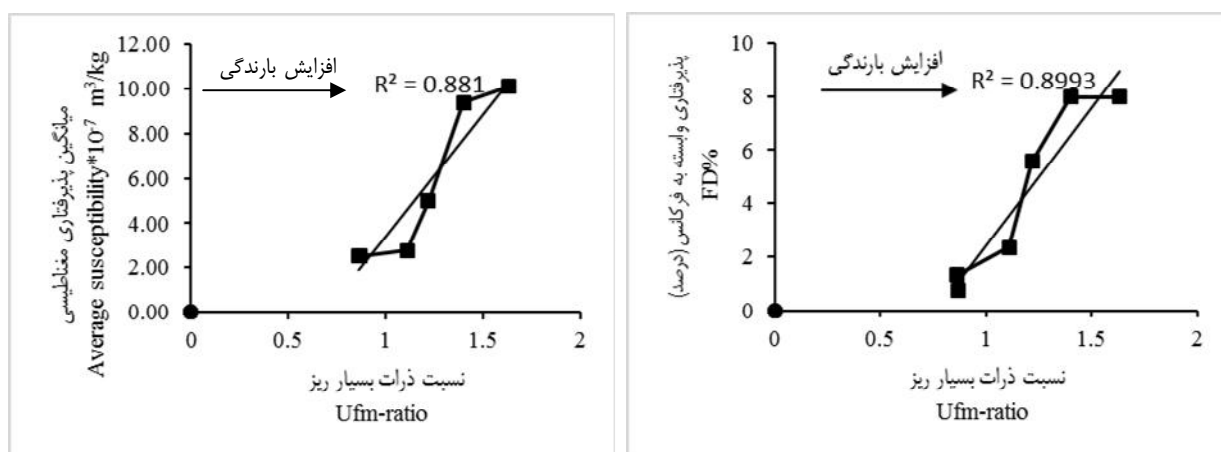
\* عدم حضور: -، ۱۵ درصد: +، ۳۰-۱۵ درصد: ++، ۵۰-۳۰ درصد: +++، >۵۰ درصد: ++++  
 +++++: >50%; +++: 30-50%; ++: 15-30%; +: <10%; -: not present

سطحی و به خصوص افق تجمع رس در آن زیادتر است که موجب کاهش مقادیر برخی کانی‌های بخش رس و سیلت و تبدیل شدن آن به کانی‌های دیگر شده است. بطوریکه کلریت شرایط تبدیل شدن به

در اثر افزایش بارندگی در رژیم حاکم در این منطقه تغییراتی در میزان کانی‌های این منطقه در افق‌های سطحی و افق تجمع رس Bt وجود دارد. بطوریکه مقادیر اسمکتیت و ورمیکولیت در افق‌های

شاخصی از یکی بودن منبع این خاکرخها دلالت کند. از طرفی کانی‌های پایدار کوارتز و پلاژیوکلاز در ذرات بخش سیلت هم به دلیل مقاومت بالا برای هوازدگی می‌تواند شاخص مناسبی مانند کائولینیت در بخش سیلت باشد. از طرفی این رسوبات به احتمال زیاد نباید تحت آب گرفتگی قرار گرفته باشند. چرا که اگر تحت تاثیر شرایط احیایی قرار گرفته باشند مقدار پذیرفتاری مغناطیس آنها باید کاهش پیدا می‌کرد (۱۱ و ۳۳) در حالی که طبق شکل ۴ مقدار پذیرفتاری مغناطیسی و پذیرفتاری وابسته به فرکانس در مواد مادری خاکرخ‌های آق امام و سید میران بیشتر است که نشان می‌دهد به احتمال زیاد یا بلافاصله بعد از نشست رسوبات در دشت سیلابی فرآیند انتقال صورت گرفته و یا در این مناطق وضعیت زهکشی خوب بوده است.

ورمیکولیت و میکا شرایط تبدیل شدن به اسمکتیت را دارد. عمده تغییر کانی‌شناسی بخش سیلت با حرکت در طول شیب اقلیمی از منطقه خشک به مرطوب، تغییر در مقدار کانی کلریت بود که در افق‌هایی که تجمع کریناتهای ثانویه (افق کلسیت) داشتند بخصوص در مناطق با بارندگی بیشتر، افزایش یافت. ولی مقدار کانی کائولینیت تقریباً در تمام خاکرخها ثابت است. این کانی در این خاکرخها از مواد مادری به ارث رسیده و در همه افقها وجود دارد، این کانی می‌تواند در شرایط خاصی به کانی دیگر تبدیل شود و همینطور در خاک تشکیل شود و در این حالت نیاز به اقلیم گرم حاره دارد. با توجه به شرایط آب و هوایی که طی مطالعاتی که تاکنون انجام شده از حدود ۲۰۰ هزار سال قبل اقلیم در منطقه لسی شمال ایران شبیه به عصر کنونی است و اقلیم حاره‌ای حکمفرما نبوده است پس تشکیل این کانی منتفی است (۱۵ و ۳۵). از اینرو این کانی می‌تواند به عنوان



شکل ۴- ارتباط بین ذرات بسیار ریز با پذیرفتاری مغناطیسی و پذیرفتاری وابسته به فرکانس در طول گرادیان اقلیمی  
Figure 4- Relation between Ufm-Ratio and Percentage of frequency dependent Susceptibility (FD %) and Average susceptibility.

## منابع

- Buggle B., Hambach U., Glaser B., Gerasimenko N., Markovic S.B., Glaser I., and Zöller L. 2009. Stratigraphy and spatial and temporal paleoclimatic trends in Southeastern/Eastern European loess paleosol sequences. *Quaternary International*, 196(1-2): 86-106.
- Chen T., Xu H., Xie Q., Chen J., Ji J., and Lu H. 2005. Characteristics and genesis of maghemite in Chinese loess and paleosols: mechanism for magnetic susceptibility enhancement in paleosols. *Earth and Planetary Science Letters*, 240(3-4): 790-802.
- Evans M., and Heller F. 2001. Magnetism of loess/palaeosol sequences: recent developments. *Earth-Science Reviews*, 54(1-3): 129-144.
- Fanning D.S., Keramidas V.S., and El-Desoky M.A. 1989. Micas. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (ed.), *Minerals in Soil Environments*. 2<sup>nd</sup> ed. Soil Science Society of America Journal Madison, WI
- Frechen M., Kehl M., Rolf C., Sarvati R., and Skowronek A. 2009. Loess chronology of the Caspian Lowland in Northern Iran. *Quaternary International*, 198(1-2): 220-223.
- Glaccum R.A. and Prospero J.M. 1980. Saharan aerosols over the tropical North Atlantic-Mineralogy. *Marine geology*, 37(3-4): 295-321.
- Gylesjö S., and Arnold E. 2006. Clay mineralogy of a red clay-loess sequence from Lingtai, the Chinese Loess Plateau. *Global and Planetary Change*, 51: 181-194.

- 8- Hartge K. 1978. Structural stability as a function of some soil properties. p. 217-223. In *Modification of Soil Structure*. Emerson, W.W. et al., (ed). J.W. Wiley, New York.
- 9- Jackson M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis. Advanced Course*. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils, Madison, Wisconsin
- 10- Johns W.D., Grim R.E., and Bradley W.F. 1954. Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sedimentary Research*, 24(4).
- 11- Karimi A., Khademi H., and Ayoubi S. 2013. Magnetic susceptibility and morphological characteristics of a loess-paleosol sequence in northeastern Iran. *Catena*, 101: 56-60.
- 12- Kehl M. 2010. Quaternary loesses, loess-like sediments, soils and climate change in Iran, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- 13- Kehl M., Sarvati R., Ahmadi H., Frechen M., and Skowronek A. 2005. Loess paleosol-sequences along a climatic gradient in Northern Iran. *E and G- Quaternary Science Journal*, 55(1).
- 14- Khormali F., Ghergherechi S., Kehl M., and Ayoubi S. 2012. Soil formation in loess-derived soils along a subhumid to humid climate gradient, Northeastern Iran. *Geoderma*, 179: 113-122.
- 15- 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(1-2): 109-123.
- 16- Kittrick J. and Hope E. 1963. A procedure for particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96(5): 319-325.
- 17- Kravchinsky V.A., Valentina S.Z., and Vladimir S.Z. 2008. Magnetic indicator of global paleoclimate cycles in Siberian loess-paleosol sequences. *Earth and Planetary Science Letters*, 265(3-4): 498-514.
- 18- Lateef A. 1988. Distribution, provenance, age and paleoclimatic record of the loess in Central North Iran. p. 93-101. *Loess-Its Distribution, Geology and Soil*. Rotterdam, Balkema.
- 19- Lauer T., Vlamincq S., Frechen M., Rolf C., Kehl M., Sharifi J., and Khormali F. 2017. The Agh Band loess-palaeosol sequence- A terrestrial archive for climatic shifts during the last and penultimate glacial-interglacial cycles in a semiarid region in northern Iran. *Quaternary International*, 429: 13-30.
- 20- Liu X.M., Rolph T., Bloemendal J., Shaw J., and Liu T.S. 1995. Quantitative estimates of palaeoprecipitation at Xifeng, in the Loess Plateau of China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 113(2-4): 243-248.
- 21- Machalett B., Oches E.A., Frechen M., Zöller L., Hambach U., Mavlyanova N.G., Markovic S., and Endlicher W. 2008. Aeolian dust dynamics in central Asia during the Pleistocene: Driven by the long-term migration, seasonality, and permanency of the Asiatic polar front. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(8).
- 22- Maher B.A., Alekseev A., and Alekseeva T. 2003. Magnetic mineralogy of soils across the Russian Steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 201(3-4): 321-341.
- 23- Maher B.A., Thompson R., and Zhou L.P. 1994. Spatial and temporal reconstructions of changes in the Asian palaeomonsoon: a new mineral magnetic approach. *Earth and Planetary Science Letters*, 125(1-4): 461-471.
- 24- Mahjoory R.A. 1975. *Clay Mineralogy, Physical, and Chemical Properties of Some Soils in Arid Regions of Iran*. Soil Science Society of America Journal, 39(6): 1157-1164.
- 25- Mehra O. and Jackson M. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay minerals: proceedings of the Seventh National Conference*, Elsevier.
- 26- Middleton, N. 1986. A geography of dust storms in South-west Asia. *International Journal of Climatology*, 6(2): 183-196.
- 27- Novothny Á., Frechen M., Horváth E., Wacha L., and Rolf C. 2011. Investigating the penultimate and last glacial cycles of the Süttő loess section (Hungary) using luminescence dating, high-resolution grain size, and magnetic susceptibility data. *Quaternary International*, 234(1-2): 75-85.
- 28- Pye K. 1987. *Aeolian Dust and Dust Deposits*, Academic Press, *Géographie physique et Quaternaire*, 42(2): 205-206.
- 29- Rolf C., Hambach U., Novothny A., Horvath E., and Schnepf E. 2014. Dating of a Last Glacial loess sequence by relative geomagnetic palaeointensity: a case study from the Middle Danube Basin (Süttő, Hungary). *Quaternary International*, 319: 99-108.
- 30- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to soil Taxonomy*, 12<sup>th</sup> ed. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- 31- Sun D.H., Su R.X., Li Z.J., and Lu H.Y. 2011. The ultrafine component in Chinese loess and its variation over the past 7· 6 Ma: implications for the history of pedogenesis. *Sedimentology*, 58(4): 916-935.
- 32- Tsoar H. and K. Pye. 1987. "Dust transport and the question of desert loess formation." *Sedimentology* 34(1): 139-153.
- 33- Valaee M., Ayoubi S., Khormali F., Lu S.G., and Karimzadeh, H.R. 2016. Using magnetic susceptibility to discriminate between soil moisture regimes in selected loess and loess-like soils in northern Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 127: 23-30.
- 34- Vandenberghe J. 2013. Grain size of fine-grained windblown sediment: A powerful proxy for process

- identification. *Earth-Science Reviews*, 121: 18-30.
- 35- Vlaminc S., Kehl M., Lauer T., Shahriari A., Sharifi J., Eckmeier E., Lehndorff E., Khormali F., and Frechen M. 2016. Loess-soil sequence at Toshan (Northern Iran): Insights into late Pleistocene climate change. *Quaternary International*, 399: 122-135.
- 36- Wang X., Wei H., Khormali F., Taheri M., Kehl M., Frechen M., Lauer T., and Chen F. 2017. Grain-size distribution of Pleistocene loess deposits in northern Iran and its palaeoclimatic implications. *Quaternary International*, 429: 41-51.
- 37- Wilson, M. 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, 34(1): 7-25.
- 38- Windom, H. L. 1975. Eolian contributions to marine sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 45(2).

## Grain Size and Mineralogy Variations along the Climatic Gradient on the Surface Loess-Derived Soils in Northern Iran

J. Sharifi Garmdareh<sup>1</sup> - F. Khormali<sup>2\*</sup> - M. Kehl<sup>3</sup> - C. Rolf<sup>4</sup> - A. Shahriari<sup>5</sup> - M. Frechen<sup>6</sup>

Received: 09-10-2017

Accepted: 16-07-2018

**Introduction:** The study of the northern Iranian loess is important since they are located in the middle of the Asian and European loess belt. In addition, presence of a climatic gradient i.e. increases in rainfall from north to south and from west to east, and the constant temperature, provide a unique area to study climate change and environmental conditions. There are many recent studies on loess-palaeosol sequences in this region, that show the grain size variation and clay mineralogy changed with increasing precipitation. The purpose of this study was to investigate the trend of grain size variations and clay mineralogy in this climatic gradient to infer origin of the surface loess in this region.

**Methods and Materials:** Grain size and XRD analyses were carried out on six soil profiles extending from low precipitation in DashliBorun (200mm) to high precipitation in SeyyedMiran (670mm) regions. The grain size analysis was carried out with Beckman-Coulter LS 13320 PIDS. The device uses the principle of the forward scattering of monochromatic light and its diffraction under a certain angle. The angle of diffraction is inversely proportional to particle size. That means coarser particles cause a smaller angle of diffraction compared to finer particles. This method is quick, its results offer a good reproducibility and the data are digital and direct. Necessity for only small amounts of sample material, and covering a wide range from 0.4 to 2000  $\mu\text{m}$  in diameter are other advantages of this method. Nevertheless, the amount of clay percentage may be subjected to certain underestimations because particles smaller than 0.4  $\mu\text{m}$  diffract light in all directions that can cause problems with detecting the signal correctly. Hence the sum of particles with less than 5.5  $\mu\text{m}$  in diameter were chosen as an estimate of clay percentage. Clay fractions were separated based on the methodology outlined by Kittrick and Hope (1963) and Jackson (1975). The carbonates were initially removed using 1 N sodium acetate buffered at pH 5. The organic matter was then oxidized by treating the carbonate-free soils with 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , and digestion in a water bath. Free iron oxides were removed from samples by the citrate dithionate method of Mehra and Jackson (1960). The clay separates were removed by centrifuge and studied by a Bruker D8 Advance X-ray diffractometer. Clay minerals were estimated semi-quantitatively from the relative x-ray peak areas of glycol-treated samples.

**Result and Discussion:** The grain size analysis by laser diffraction method showed that the amount of clay (12.09 %) and fine silt (7.03%) in the soil located in Dashlibron (200 mm/yr) profile had the lowest amount and the U-ratio (6.35) and the medium grain-sized particle (48.28  $\mu\text{m}$ ) had the highest amount during this climatic gradient. Increasing precipitation had clear impact on these parameters, so that the maximum amount of clay (36.56 %) and fine silt (28.02%) and the minimum amount of U-ratio (1.00) and the average medium grain size (8.78  $\mu\text{m}$ ) were observed in SayedMiran profile with the highest precipitation (670 mm/yr). Clay mineralogical study of soil parent material showed mica, chlorite, kaolinite and smectite as dominant minerals in the soils. As the amount of precipitation increases along the climate gradient, the amount of pedogenic vermiculite and smectite increase. Silt minerals included quartz, plagioclase, potassium feldspar, mica, chlorite and calcite. The amount of quartz, plagioclase or potassium feldspar minerals did not change in parent materials. The average medium grain size and U-ratio are function of the maximum wind speed and distance from the source. In addition, weathering can affect the size of the particles and cause changes in the mineralogy and amount of minerals in the size of the silt and clay fractions. On the other hand, understanding the changes of clay minerals can provide origin-dependent changes, transport processes, and climatic variations as they are recorded in these minerals.

**Conclusion:** In general, it can be concluded that the medium grain size and U-ratio decreased from low

1 and 2- Ph.D. student and Professor, Department of Water and Soil engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(\*- Corresponding Author Email: fkhormali@gau.ac.ir)

3- Professor, Institute of Geography, Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Cologne, Cologne, Germany

4- Professor, Department of Rock Physics and Borehole Geophysics, Leibniz Institute for Applied Geophysics, Hannover, Germany

5- Assistant Professor, Department of Water and Soil Science, University of Zabol, Zabol, Iran

6- Professor, Department of Geochronology, Leibniz Institute for Applied Geophysics, Hannover, Germany

rainfall regions to higher rainfall and clay and fine silt contents showed a reverse trend. Clay minerals included mica, chlorite, and kaolinite and dominant silt minerals were quartz and plagioclase in all studied soil profiles along the climatic gradients. The results showed that changes in grain size reflect the distance from the loess material sources and also indicate intensity of pedogenic processes. Mineralogical analysis showed the similar mineral types in all loess parent materials of different regions, probably indicating the similar sources for the loess. The change in minerals abundances in the upper horizons indicate the pedogenic processes affected by climatic conditions along the climate gradient.

**Keywords:** Clay and silt mineralogy, Climate and Northern Iranian loess deposits, Grain size