

## بازسازی آب و هوای کواترنر پسین با استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی عناصر اصلی

### لس‌های منطقه آزادشهر

وحید فیضی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران  
قاسم عزیزی\* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران  
حبیب علیمحمدیان - استادیار گروه زمین‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور  
حسین محمدی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران  
علی اکبر شمسی پور - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۹/۲۸

### چکیده

تشکیل رسوبات لسی، یکی از مهمترین پیامدهای تغییرات اقلیمی است. توالی رسوبات لس/خاک دیرین یکی از بهترین آرشیوهای طبیعی برای ثبت تغییرات اقلیم می‌باشد. از این قابلیت رسوبات لسی، برای بازسازی تغییرات اقلیمی کواترنر و تغییر و تحول ژئومورفولوژیکی می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق برای بازسازی آب و هوای کواترنر پسین منطقه آزادشهر برش لسی نوچه انتخاب شد. این برش دارای ۲۳/۷ متر ستبرای می‌باشد. در مجموع تعداد ۲۳۷ نمونه از کل برش با فاصله ۱۰ سانتیمتری جهت آنالیزهای مغناطیسی و ژئوشیمی انتخاب و برداشت شد. پذیرفتاری مغناطیسی تمامی نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و بر اساس نتایج به دست آمده از این اندازه‌گیری، ۷۰ نمونه برای آنالیز ژئوشیمی انتخاب شدند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میزان پذیرفتاری مغناطیسی با توالی لس-خاک دیرینه ارتباط مستقیم داشته و با تشکیل رسوبات لسی پذیرفتاری مغناطیسی کاهش و با تشکیل لایه‌های خاک دیرینه افزایش یافته است. بدین ترتیب لس‌ها و خاک‌های دیرین مطالعه شده به ترتیب در دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی و در شرایط آب و هوایی متفاوت تشکیل شده‌اند. همچنین تغییرات نسبت اکسید کلسیم به اکسید آلومینوم ( $CaO/Al_2O_3$ ) هم‌راستا با خصوصیات تشکیل خاک، دامنه زیاد تغییرپذیری را نشان می‌دهد. بنابراین نسبت عناصر ذکر شده می‌تواند در بازسازی آب و هوای گذشته کواترنر مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، پذیرفتاری مغناطیسی، کواترنر، لس، آزادشهر.

## مقدمه

رسوبات بادرفتی از قبیل لس‌ها به دلیل برخورداری از شاخص‌های اقلیم گذشته از طریق فسیل‌ها، پذیرفتاری مغناطیسی و ترکیبات شیمیایی به طور گسترده در علوم زمین مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Gallet et al., 1996, 76; Jahn et al., 2001:92). به علاوه اطلاعات ژئوشیمی لس‌ها می‌تواند در تعیین ترکیب پوسته بالایی قاره‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Taylor et al., 1983, 1897; McLennan, 2001, 28).

رسوبات لسی حدود 10 درصد از سطح زمین را پوشش داده و بیشتر در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۶۰ درجه‌ی نیمکره‌ی شمالی، موسوم به کمربند لس قرار دارند (Pécsi, 1990, 8). با توجه به اینکه در دوره‌های یخچالی میزان اختلاف فشار بین قطب و استوا افزایش پیدا می‌کردند، لذا بادهای با شدت زیادی می‌وزیدند و این عامل باعث می‌شد تا رسوبات یخچالی که به وسیله رودخانه‌ها حمل شده و در دشت‌ها بجای گذاشته شده‌اند مصالح مناسبی برای بادهای شدید بوده و تا مسافت‌های طولانی جابجا شوند. لذا این بادهای رسوبات ریز در حد سیلت را با خود حمل کرده و با توجه به وضعیت توپوگرافی و شرایط مساعد آنها را رسوب می‌دادند. به عبارتی این رسوبات یخچالی بر اساس قدرت باد در دوره‌های سرد جابجا می‌شدند. با به وجود آمدن شرایط اقلیمی دوره‌های بین یخچالی و به عبارتی گرم و مرطوب این رسوبات لسی نهشته شده شروع به خاکزایی می‌کنند. لذا در دوره‌های اقلیمی سرد و خشک شاهد رسوب‌گذاری لس‌ها و در دوره‌های اقلیمی گرم و مرطوب فعالیت‌های خاکزایی و تشکیل خاک دیرینه صورت می‌گیرد.

نهشته‌های لسی با میان لایه‌های خاک دیرین به عنوان یکی از بهترین رسوبات ثبت‌کننده تغییرات آب و هوایی دوره گذشته به ویژه کواترنری در خشکی‌ها به شمار می‌روند (Ding et al, 1999: 50; Guo et al, 2002, 161). یکی از مهمترین پی‌آمدهای تغییرات اقلیمی است (عزیزی، ۱۳۸۳، ۲۰۱). توالی رسوبات لس و خاک دیرین به ترتیب با دوره‌های سرد و گرم کواترنر همبستگی داشته و به همین دلیل یکی از مهمترین بایگانی‌های طبیعی تغییر اقلیم در خشکی‌ها بوده و برای بازسازی تغییرات اقلیمی کواترنر و تغییر و تحول ژئومورفولوژیکی به فراوانی استفاده می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰، ۲۴۲).

هاردکاستل در سال ۱۸۹۰ برای اولین بار، ارتباط لس و اقلیم را بیان کرد. او به شواهدی مانند رگه‌های ایجادشده در اثر خشکی و دانه‌های قهوه‌ای مرتبط با اقلیم مرطوب و آثار حشره‌ها در لس‌ها پرداخت. شواهد بدست آمده گویای تناوب دوره‌های خشک و مرطوب ناشی از تغییر اقلیم بود که در لس‌ها به جا مانده بود. ضخامت بیشتر لس بر اقلیم سردتر و خشک‌تر و تکامل بیشتر خاک بر اقلیم گرم‌تر و مرطوب‌تر دلالت دارد (Liu, 1987, 55). Fényes و Hum در سال ۱۹۹۵ بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب موجود در سری‌های لس-خاک دیرینه در ترانسدانوبیا (Transdanubia) پیشنهاد کردند که بازسازی روندهای اقلیم گذشته با استفاده از داده‌های ژئوشیمی امکان پذیر است.

Zech و همکاران (۲۰۰۸)، جهت ارزیابی توانایی رسوبات شبه لسی در بازسازی شرایط محیطی و آب و هوایی دوره‌های کواترنری به مطالعه بر روی توالی‌های خاک‌های دیرین تامارا (Tumara) در شمال شرقی سیبری پرداختند و عنوان کردند که با استفاده از مدل‌های اقلیمی که بر اساس پارامترهای مغناطیسی بدست آمده، می‌توان تغییرات اقلیمی مشاهده شده را توضیح داد. همچنین اندازه ذرات نمایانگر غالب بودن خاک‌های سیلتی بوده و موید رسوباتی با منشاء بادی می‌باشد. در حالی که اجزای کوچک‌تر از ۶ میکرون، نشان دهنده شکل‌گیری رس‌ها، و سیلت‌هایی با اندازه‌های ریز و درشت (۴۰-۱۰۰ و ۱۰۰-۴۰ میکرومتر به ترتیب) برای برآورد بادهای دیرین بکارگرفته می‌شود.

میزان مواد آلی در خاک دیرین بیشتر از بسترهای لسی است (Zech et al., 2008, 287). به عبارت دیگر، در

طی دوره‌های گرم مواد ارگانیک و یا آلی بیشتری ساخته می‌شوند و یا در طی دوره‌های یخچالی تجمع لس‌ها سریع‌تر صورت می‌گیرد (Zander et al., 2003, 1008). وقوع یخ زدگی بویژه در مناطق بوریاال و آرکتیک، همانند شمال شرقی سیبری، از عوامل بازدارنده کانی زایی (و تجمع مواد ارگانیک) در خاکها می‌شود. علاوه بر میزان استاندارد مواد ارگانیکی چون Corg، Norg و Corg/N انانتیومرهای (enantiomers) آمینو اسیدی نیز جزو نشانگرهای طبیعی هستند. آمینو اسیدها، ماده اصلی سازنده پروتئین، منبع مهمی از نیتروژن خاک بشمار می‌آیند (Zech et al., 2008, 291).

Zhang و Liu در سال ۲۰۱۳ به بررسی ارتباط بین مشخصه پسماند مغناطیسی (ChRM<sub>1</sub>) و فرایندهای خاکزایی در فلات لس چین پرداختند و نشان دادند که ارتباط قوی و پایداری بین شدت پسماندهای مغناطیسی بعد از هر مرحله مغناطیس‌زدایی حرارتی و نیز پذیرفتاری مغناطیسی با شاخصه‌های فرایند خاکزایی وجود دارد. در سال ۲۰۱۳، Jia و همکاران به بررسی تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در کوه Tien واقع در چین پرداختند و بیان کردند که افزایش فرایندهای خاکزایی منجر به افزایش میزان ذرات فرومغناطیس شده که این موضوع می‌تواند الگوی مناسبی از چگونگی تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی باشد.

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی نهشته‌های بادی، می‌تواند برای ارزیابی درصد رطوبت دیرینه به صورت یک صفت کمی بکار برده شوند (Maher & Thompson, 1995, 132; Liu, et al., 1995, 144)، بدین معنا که امکان تعیین تغییرات در بارش باران‌های موسمی از روی خواص مغناطیسی کانی‌های واحدهای لس و خاک‌های دیرینه وجود دارد. بر این اساس اصلی‌ترین ویژگی این است، که قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی و در نتیجه مغناطیسی‌شدگی در خاک‌های دیرینه، بسیار قویتر از لایه‌های لس می‌باشد، به طوری‌که در واکنش به یک میدان مغناطیسی فعال (که به شکل پذیرفتاری مغناطیسی در لایه‌ها ثبت شده است)، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی لایه‌های خاک دیرینه به طور معمول ۲ تا ۵ برابر بیشتر از مقدار پذیرفتاری مغناطیسی لایه‌های لس هستند (Maher, 2011, 140)، زیرا فرآیند تشکیل خاک‌ها در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب (شرایط تولید خاک‌های دیرینه)، موجب افزایش تولید کانی‌های فری مغناطیسی با مقدار قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی بالا و در نتیجه، سبب افزایش قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های دیرینه (خاک فسیل‌های قرمز رنگ)، در مقایسه با نهشته‌های لس (رسوبگذاری در طی ادوار سرد و خشک) است (An et al., 1977, 244).

در مورد مطالعات صورت گرفته بر روی لس‌های ایران می‌توان به موارد زیر اشاره کرد که بیشتر جنبه شناسایی و تفسیر ویژگی‌های لس را داشته و از آنها برای تفسیر اقلیم گذشته کمتر استفاده شده است.

پاشایی (۱۹۹۶) با مطالعه‌ی رسوبات لسی دوره‌ی هولوسن منطقه‌ی گرگان و دشت، به چهار دوره‌ی گرم و خشک رسوب گذاری لس که توسط دوره‌های گرم و مرطوب از یکدیگر جدا می‌شوند، اشاره کرده است. اخروی و امینی (۲۰۰۱) ویژگی‌های لس‌های حوضه‌ی آبخیز قره تیکان واقع در منطقه‌ی کپه داغ و همچنین فرسایش پذیری آنها را بررسی کرده و سرچشمه‌ی احتمالی آنها را مناطق دوردست در آسیای میانه بیان کرده‌اند. کهل و همکاران (۲۰۰۵) لس‌ها و شبه لس‌های منطقه‌ی تخت جمشید و کریمی و همکاران (۲۰۰۹) رسوبات لسی شمال شرق ایران را شناسایی کرده و براساس سن‌یابی، سعی در تعیین تغییرات اقلیمی کرده‌اند. کهل و همکاران (۲۰۰۶) و فریچن و همکاران (۲۰۰۹) نیز با سن‌یابی چند مقطع لس خاک قدیمی در شمال ایران، رسوب گذاری لس و تشکیل خاک در آخرین دوره-ی یخچالی بین یخچالی و همبستگی آنها را با دیگر مناطق جهان بررسی کرده‌اند. در این تحقیق از سه برش رسوبی نکا، نوذه و آق بند برای بررسی وضعیت اقلیمی گذشته در شمال ایران استفاده شده است که با مقایسه برش‌های

درای کالون (Darai kalon) تاجیکستان و مند باسهارک (Mende Basaharck) شرایط اقلیمی مشابهی با این مناطق را به دست آوردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که رسوبات لس و تشکیلات خاکی شمال ایران بازتاب سیکل های اقلیمی مشابه توالی لس - خاک دیرینه در اروپای مرکزی، اروپای شرقی و آسیای میانه دارد. همچنین رابطه نزدیکی با توالی های فلات لسی چین دارد.

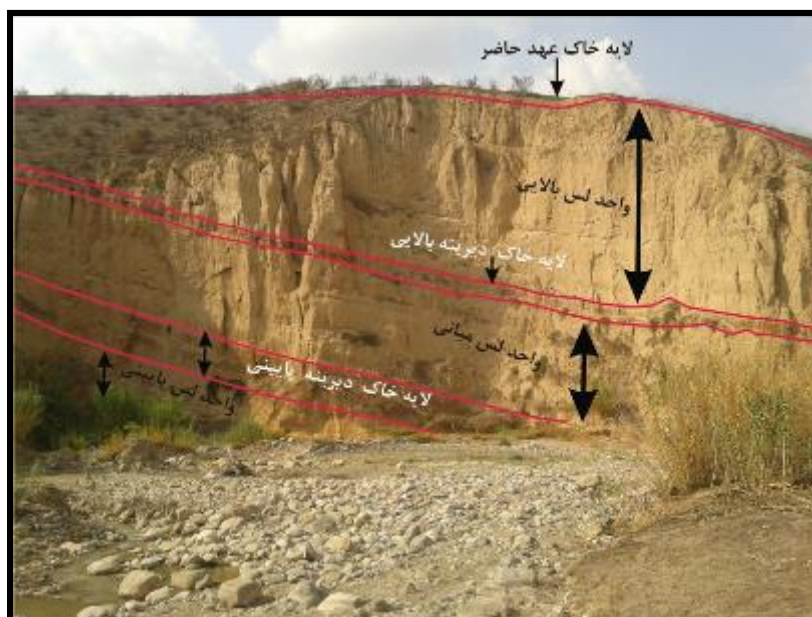
کریمی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی پذیرفتاری مغناطیسی و خصوصیات مورفولوژیکی توالی لس-خاک دیرینه شمال شرق ایران پرداختند. برای این منظور آنها برش رسوبی تپه سلام را به پنج بخش با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی که واکنش های خاکزایی و شرایط زیست محیطی متفاوت، تقسیم کردند و جداگانه به بررسی وضعیت اقلیم گذشته آنها پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که پذیرفتاری مغناطیسی پارامتر قابل اطمینانی برای بازسازی آب و هوا و شرایط محیطی گذشته است. در بخش‌های مرکزی ایران نیز لس به صورت موضعی وجود دارد که به دلیل وسعت کم و همچنین عدم انجام پژوهش‌های کافی، شناخته شده نیستند.

مهدی پور در سال ۱۳۹۱، توالی‌های لس/خاک‌دیرینه نکا را با استفاده از روش محیط مغناطیس و ژئوشیمی مورد بررسی قرار داد. ایشان با تلفیق تمامی داده‌ها و نتایج، وقوع چرخه‌های یخچالی - بین‌یخچالی و دوره‌های آب و هوایی کوتاهتر بین آن‌ها را شناسایی کرده و چگونگی تغییرات آب و هوایی، محیط دیرینه، زیست گیاهی و جانوری، چگونگی پیشرفت فرآیندهای تشکیل خاک‌های دیرینه به همراه تأثیر کانی‌های مغناطیسی تولید شده در این فرآیندها در تشخیص شرایط اقلیمی دیرینه و همچنین چگونگی انباشت و رسوبگذاری نهشته‌های بادی را مورد مطالعه قرار دادند. بخش شمالی ایران به لحاظ جغرافیایی، هم عرض کشورهایی مانند آسیای میانه و چین است که مناطق وسیعی به ویژه در چین با رسوبات لسی پوشیده شده‌اند. مطالعات لس و بررسی جنبه‌های مختلف آن در ایران نسبت به مطالعات انجام شده در دنیا ناچیز بوده و هنوز اطلاعات فراوانی در این رسوبات نهفته است که با انجام پژوهش‌های مناسب قابل استخراج است. لذا در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از روش پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی، به بررسی آب و هوای گذشته نهشته‌های لس منطقه آزاد شهر پرداخته شود.

### منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی برش مورد مطالعه در عرض شمالی،  $37^{\circ}05'50''$  و طول شرقی،  $58^{\circ}12'55''$ ، در ارتفاع ۱۶۵ متری از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. برش مورد مطالعه در نزدیکی روستای نوده از توابع شهرستان آزادشهر و روبروی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر قرار گرفته است. منطقه مطالعاتی در زون ساختمانی البرز (Stocklin, 1968) و از نظر پهنه‌های اصلی رسوبی ساختاری ایران جزء حاشیه جنوبی خزر است، نبوی (۱۳۵۵)، از نظر ساختمانی - رسوبی، منطقه مورد مطالعه را جزء زون گرگان - رشت ذکر کرده و آن را جزء حوضه پاراتیبسی دانسته است (آقنابتی، ۱۳۸۵). این زون شامل مناطقی است، که در شمال گسل البرز قرار دارد و حاشیه دریای خزر را در سواحل ایران مسدود کرده و به سمت شرق با لایه‌های ضخیمی از لس پوشیده می‌گردد.

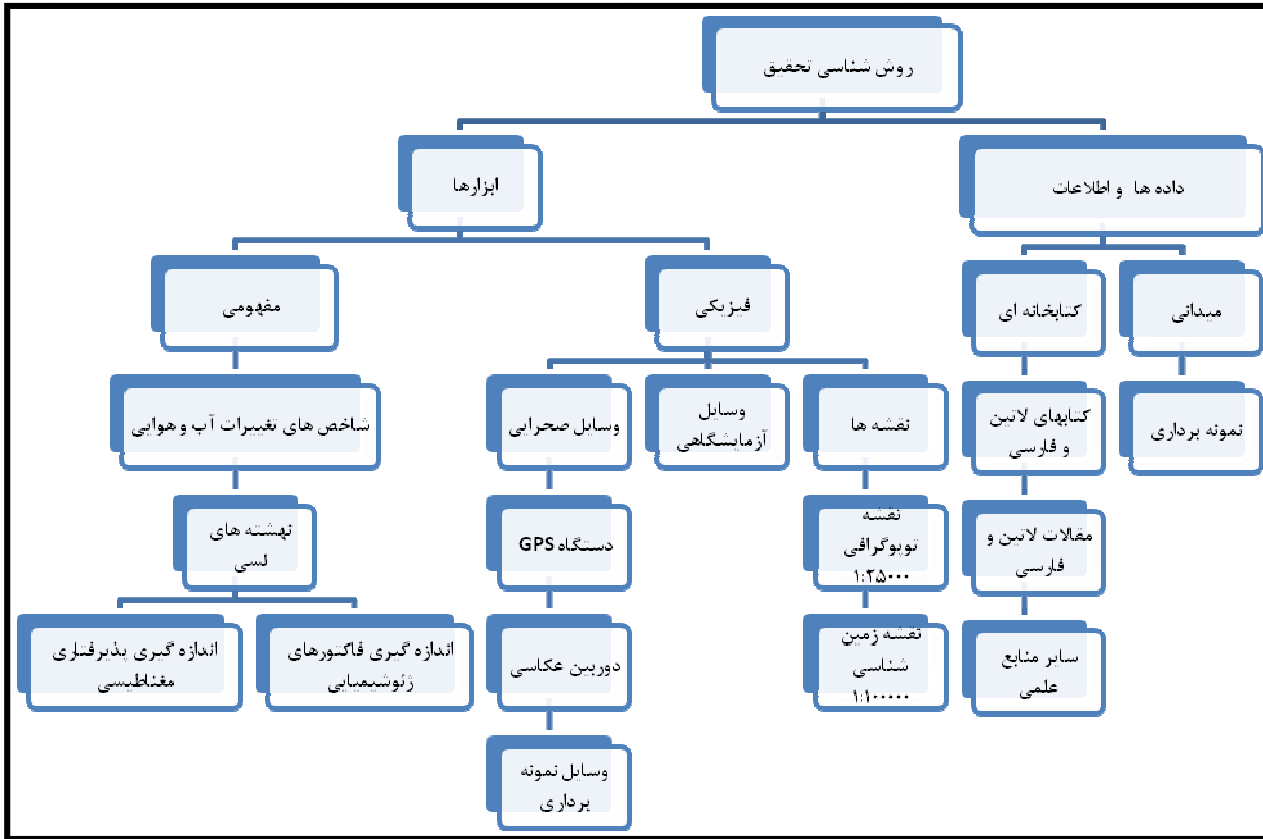
با توجه به موارد ذکر شده اقدام به تعیین مقطع برای نمونه برداری گردید که پس از مطالعات و بررسی‌های فراوان برش نوده که قبلاً توسط کهل و همکاران در سال ۲۰۰۵ و فریچن و همکاران در سال ۲۰۰۹ جهت بررسی مطالعات خاکشناسی استفاده شده و سن یابی نیز شده بود، انتخاب گردید. شکل ۱ برش رسوبی نوده و نحوه تشکیل لایه‌های لس با میان لایه‌های خاک دیرینه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: برش رسوبی نوده و نحوه تشکیل لایه های لس با میان لایه های خاک دیرینه

## مواد و روش‌ها

روش تحقیق حاضر، تلفیقی از مرور سامان مند منابع کتابخانه‌ای و میدانی و کارهای آزمایشگاهی است. در جریان بررسی کتابخانه‌ای، بررسی منابع لاتین و فارسی و جستجوی اینترنتی مقالات تحقیقی و پایان نامه‌های لاتین و فارسی در مجلات و سایت‌های پژوهشی خارجی و داخلی در زمینه ویژگی‌های لس‌ها، انواع، اهمیت خصوصیات و تغییرات آن‌ها و ارتباط آن‌ها با تغییرات اقلیم در دوره کواترنر پسین، شواهد این تغییرات، نحوه نمونه برداری، انواع آزمایشات و نحوه تجزیه و تحلیل آن‌ها گردآوری شد. در مطالعات میدانی چندین مرحله از منطقه مورد مطالعه بازدیدهای به عمل آمد و محل و روش نمونه‌برداری مشخص شد. پس از مشخص کردن محل دقیق برش رسوبی، اقدام به نمونه برداری شد. پیش از نمونه‌برداری، لایه‌های رسوبی هوازده به وسیله چکش کنار زده تا سطح تازه از رسوبات نمایان شود. سپس با استفاده از متر، لایه مورد نظر به فواصل ۱۰ سانتیمتری تقسیم بندی شدند و نمونه برداری صورت گرفت. در مجموع ۲۳۷ نمونه، هر یک به وزن تقریبی ۵۰۰ گرم از برش نوده نمونه برداری شد. تمامی نمونه‌ها مورد آزمایش پذیرفتاری مغناطیسی قرار گرفت و بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش، ۷۰ نمونه برای آنالیز شیمیایی عناصر اصلی در نظر گرفته شد. باید اشاره نمود که در این تحقیق از سن سنجی‌های کار تحقیقی Frechen et al در سال ۲۰۰۹ استفاده شده است. آنها در تحقیق خود با استفاده از پارامترهای خاک شناسی به بررسی برش نوده و دو برش دیگر در استان گلستان پرداخته‌اند. شکل ۲ مراحل روش شناسی تحقیق را نشان می‌دهد.

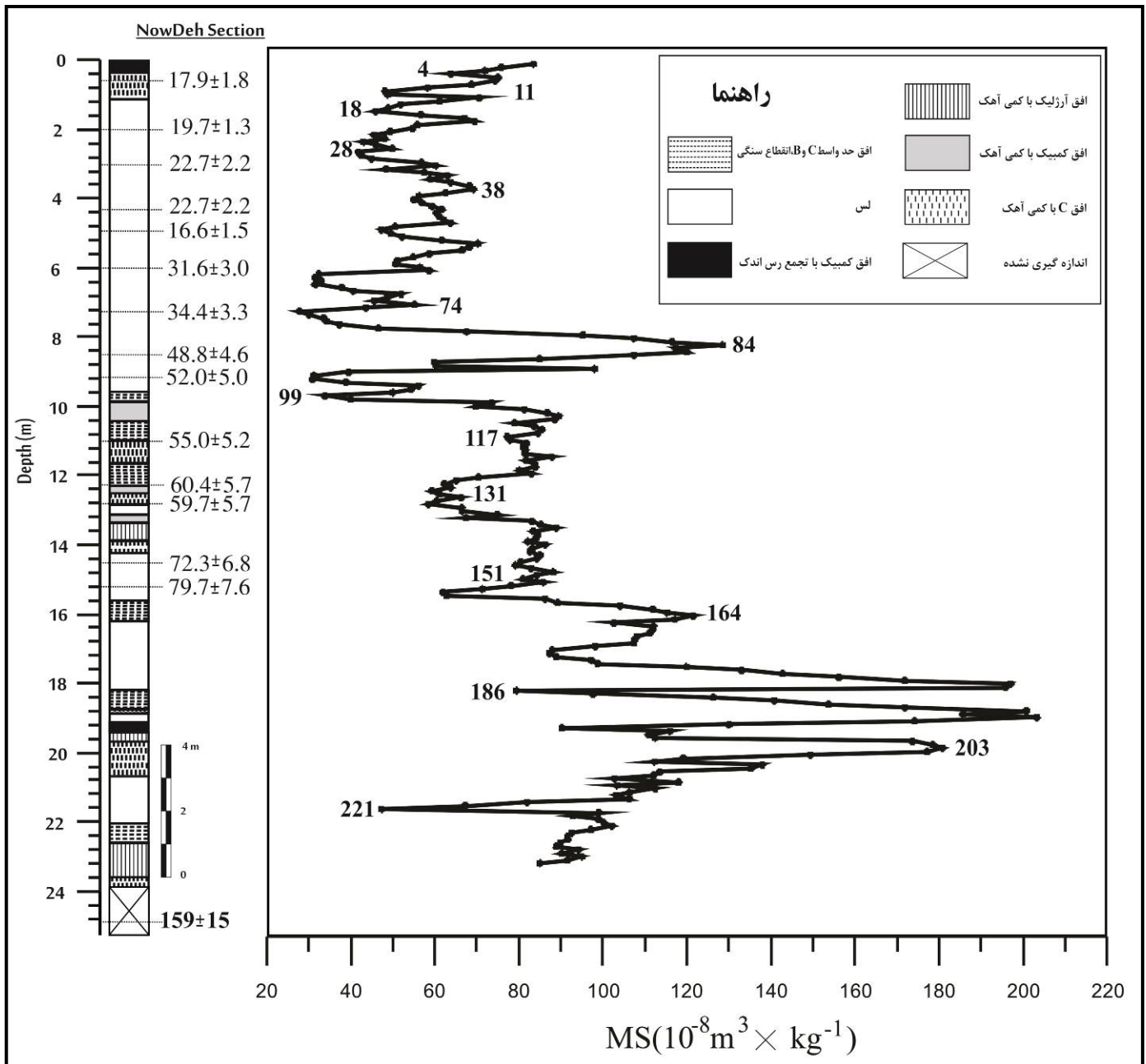


شکل ۲: مراحل روشن شناسی تحقیق

## یافته‌های تحقیق

### پذیرفتاری مغناطیسی

تغییرات این پارامتر در برش رسوبی نوّه زیاد بوده و دامنه آن از ۲۸/۱۷۸ تا ۲۰۳/۱۳  $(10^{-8} m^3 \times Kg^{-1})$  است که این تغییرات در شکل ۳ به خوبی فابل مشاهده است. بیشترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در عمق ۱۹۴۰ سانتیمتری و کمترین آن نیز در عمق ۷۴۰ سانتیمتری ثبت شده است. تغییرات این پارامتر در عمق ۲۳/۷ تا ۲۲ متری بسیار کم است و در عمق ۲۲/۱ متری یک کاهش چشمگیر دیده می‌شود. پس از آن تا عمق ۲۰ متری دامنه نوسانات کمتر می‌شود. از عمق ۲۰ متری تا ۱۶ متری نوسانات شدیدی به صورت کاهشی و افزایشی در پذیرفتاری مغناطیسی مشاهده شده است. از عمق ۱۶ متری تا حدود عمق ۱۰ متری نوسانات کاهش یافته و مقدار آن بسیار کم شده است. از عمق ۱۰ تا ۸ متری یک کاهش و به دنبال آن یک افزایش دیده می‌شود. در ادامه نیز هر چه به سمت خاک سطحی (راس برش) حرکت می‌کنیم مقدار نوسانات پذیرفتاری مغناطیسی کمتر شده و تنها در لایه‌های سطحی کمی این نوسانات دچار تغییر شده‌اند.



شکل ۳: تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در طول برش نوده

### ژئوشیمی

جهت بررسی ارتباط بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت عناصر اصلی توالی رسوبات لس/خاک دیرین، بعد از اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی، تعداد ۷۰ نمونه از محل آنومالی های مغناطیسی به دست آمده، جهت آزمایش ژئوشیمی انتخاب شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند. غلظت عناصر اصلی و بعضی از نسبت های این عناصر که در تحلیل شرایط اقلیم دیرین مورد استفاده قرار می گیرند، در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج به دست آمده از آنالیز ژئوشیمی برش رسوبی نوده

عمق نمونه برداری	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> /CaO+mgo	CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O
------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----	-------------------	------------------	------------------	---------------------------	------------------------------------	--	------------------------------------

(سانتیمتر)										
۱۰	۱۲/۹	۵/۲۷۲	۱۰/۰۰۷	۰/۶۷۲	۲/۰۵۸	۵۰/۷	۴/۱۰۲۹	۰/۷۷۵۷	۰/۰۵۲۱	۰/۳۲۶۵
۴۰	۱۲/۳۴۲	۵/۴۹۳	۱۳/۴۹۲	۰/۶۹۱	۲/۱۸	۴۶/۷	۲/۹۳۹۰	۱/۰۹۳۲	۰/۰۵۶۰	۰/۳۱۷۰
۵۰	۱۲/۷۰۶	۵/۷۳۱	۱۲/۱۲۳	۰/۶۶۷	۲/۱۰۶	۴۷/۱	۳/۲۶۴۳	۰/۹۵۴۱	۰/۰۵۲۵	۰/۳۱۶۷
۹۰	۱۱/۵۱۴	۵/۴۶	۱۵/۱۵۵	۰/۷۱۱	۲/۰۷۶	۴۵/۶	۲/۵۹۴۶	۱/۳۱۶۲	۰/۰۶۱۸	۰/۳۴۲۵
۱۱۰	۱۳/۱۱۴	۵/۵۹۴	۱۱/۸۱	۰/۷۵۸	۲/۲۱۶	۴۸/۵	۳/۳۹۸۲	۰/۹۰۰۶	۰/۰۵۷۸	۰/۳۴۲۱
۱۵۰	۱۲/۲۸۴	۴/۹۳۸	۱۴/۲۰۲	۰/۷۴۵	۲/۰۰۹	۴۷/۱	۲/۸۱۱۲	۱/۱۵۶۱	۰/۰۶۰۶	۰/۳۷۰۸
۱۸۰	۱۲/۵۷۴	۵/۵۴۱	۱۳/۲۵۹	۰/۷۷۹	۲/۱۹	۴۷/۷	۳/۰۰۴۳	۱/۰۵۴۵	۰/۰۶۲۰	۰/۳۵۵۷
۲۴۰	۱۱/۸۱۵	۵/۴۰۲	۱۵/۸۷۶	۰/۷۴۹	۲/۰۷۲	۴۵/۱	۲/۴۵۸۷	۱/۳۴۳۷	۰/۰۶۳۴	۰/۳۶۱۵
۳۶۰	۱۱/۸۲۲	۵/۴۲۱	۱۵/۰۷۹	۰/۷۳۶	۲/۱۱۸	۴۶/۳	۲/۶۲۶۹	۱/۲۷۵۵	۰/۰۶۲۳	۰/۳۴۷۵
۳۷۰	۱۱/۵۹۵	۵/۲۷۲	۱۵/۰۵۸	۰/۷۵۸	۲/۰۶۶	۴۶/۲	۲/۶۲۵۴	۱/۲۹۸۷	۰/۰۶۵۴	۰/۳۶۶۹
۳۱۰	۱۱/۹	۵/۲۶۹	۱۵/۱۳۹	۰/۶۹۵	۲/۲۷۵	۴۵/۵	۲/۶۰۵۳	۱/۲۷۲۲	۰/۰۵۸۴	۰/۳۰۵۵
۳۲۰	۱۱/۳۴۶	۴/۸۲۲	۱۶/۷۳	۰/۶۴۸	۱/۹۲۴	۴۴/۱	۲/۳۲۱۷	۱/۴۷۴۵	۰/۰۵۷۱	۰/۳۳۶۸
۳۸۰	۱۲/۱۱۱	۵/۴۸۴	۱۴/۳۹۱	۰/۶۷۳	۲/۲۱۶	۴۶/۵	۲/۷۷۵۸	۱/۱۸۸۳	۰/۰۵۵۶	۰/۳۰۳۷
۴۱۰	۱۱/۸۹۱	۵/۱۸۷	۱۴/۶۳۸	۰/۷۴۴	۲/۲۰۶	۴۶/۲	۲/۶۹۷۹	۱/۲۳۴۸	۰/۰۶۲۶	۰/۳۳۷۳
۴۸۰	۱۲/۳۳۲	۵/۷۲۴	۱۳/۷۴۸	۰/۷۹	۲/۳۵۷	۴۷/۲	۲/۹۱۴۶	۱/۱۱۴۸	۰/۰۶۴۱	۰/۳۳۵۲
۵۰۰	۱۲/۰۲۳	۵/۵۸۸	۱۴/۱۸۶	۰/۷۷۹	۲/۲۷۳	۴۶/۸	۲/۸۱۹۰	۱/۱۷۹۹	۰/۰۶۴۸	۰/۳۴۲۷
۵۴۰	۱۳/۳۲۹	۵/۹۳۲	۱۱/۸۶۴	۰/۸۲۱	۲/۵۳۵	۴۸/۸	۳/۳۷۲۰	۰/۸۹۰۱	۰/۰۶۱۶	۰/۳۲۳۹
۶۰۰	۱۲/۲۱۵	۵/۵۸۷	۱۵/۰۲	۰/۷۴۵	۲/۲۹۸	۴۵/۲	۲/۵۹۲۵	۱/۲۲۹۶	۰/۰۶۱۰	۰/۳۲۴۲
۶۲۰	۱۱/۴۳۱	۵/۱۳۷	۱۶/۰۹۲	۰/۷۰۲	۲/۰۴۸	۴۴/۹	۲/۴۲۹۴	۱/۴۰۷۸	۰/۰۶۱۴	۰/۳۴۲۸
۶۵۰	۱۲/۸۷۶	۵/۵۰۵	۱۲/۳۸۱	۰/۸۴۵	۲/۳۲	۴۸/۹	۳/۲۷۸۹	۰/۹۶۱۶	۰/۰۶۵۶	۰/۳۶۴۲
۷۲۰	۱۳/۵۶	۵/۹۷۶	۱۵/۰۹۹	۱/۰۸۷	۲/۶۴۷	۵۲/۳	۴/۱۱۷۰	۰/۷۳۹۹	۰/۰۷۹۶	۰/۴۱۰۷
۷۴۰	۱۳/۹	۵/۷۲۹	۹/۴۸۱	۱/۲۱۶	۲/۵۳۷	۵۳/۳	۴/۴۴۴۰	۰/۶۸۲۱	۰/۰۸۷۵	۰/۴۷۹۳
۸۵۰	۱۶/۳۹۲	۷/۵۸۴	۱/۷	۰/۹۴۵	۳/۰۹۵	۶۴/۴	۱۳/۶۶۵۱	۰/۱۰۳۷	۰/۰۵۷۷	۰/۳۰۵۳
۹۳۰	۸/۶۷	۴/۱۴۲	۲۶/۷۳۵	۰/۵۷۹	۱/۴۶۹	۳۲/۲	۱/۱۲۹۶	۳/۰۸۳۶	۰/۰۶۸۹	۰/۴۰۶۴
۱۰۵۰	۱۱/۵۹۱	۵/۳۰۳	۱۵/۸۹	۰/۶۲۷	۲/۱۱۵	۴۵/۱	۲/۴۶۸۷	۱/۳۷۰۹	۰/۰۵۴۱	۰/۲۹۶۵
۱۰۷۰	۱۰/۲۸۶	۴/۵۴۷	۲۰/۲۰۸	۰/۵۷	۱/۷۱۶	۳۹	۱/۷۴۹۹	۱/۹۶۴۶	۰/۰۵۵۴	۰/۳۳۲۲
۱۲۲۰	۱۴/۰۹۵	۶/۶۱۶	۹/۲۵۹	۰/۷۲۳	۲/۶۷۱	۵۱/۵	۴/۳۶۸۸	۰/۶۵۶۹	۰/۰۵۱۳	۰/۲۷۰۷
۱۲۷۰	۱۲/۸۰۵	۶/۰۸۳	۱۳/۴۱	۰/۵۵۸	۲/۳۸۶	۴۵/۴	۲/۸۹۵۶	۱/۰۴۷۲	۰/۰۴۵۹	۰/۲۴۶۴
۱۲۹۰	۱۲/۵۵۲	۵/۴۲۱	۱۳/۹۴۸	۰/۵۸۳	۲/۱۱۱	۴۵/۱	۲/۷۷۱۸	۱/۱۱۱۲	۰/۰۴۶۴	۰/۲۷۶۲
۱۳۱۰	۱۱/۶۶۷	۵/۲۴	۱۵/۸۳۶	۰/۶۱۲	۲/۰۵۸	۴۵/۱	۲/۵۰۰۲	۱/۳۵۷۳	۰/۰۵۲۵	۰/۲۹۷۴
۱۳۸۰	۱۳/۳۵	۵/۷۶۳	۱۱/۲۳۳	۰/۷۰۱	۲/۵۴	۴۹/۵	۳/۶۱۲۶	۰/۸۴۱۴	۰/۰۵۲۵	۰/۲۷۶۰
۱۳۹۰	۱۳/۲۹۹	۵/۹۳۵	۱۱/۷۵۶	۰/۷۰۵	۲/۳۸۲	۴۸/۴	۳/۴۰۵۱	۰/۸۸۴۰	۰/۰۵۳۰	۰/۲۹۶۰
۱۴۵۰	۱۳/۱۰۲	۵/۷۴۵	۱۱/۳۹۲	۰/۷۰۲	۲/۴۹۱	۴۸/۴	۳/۵۰۱۸	۰/۸۶۹۵	۰/۰۵۳۶	۰/۲۸۱۸
۱۴۶۰	۱۳/۲۲۲	۵/۸۹۱	۱۱/۸۱۵	۰/۷۱	۲/۴۸	۴۷/۶	۳/۳۲۸۱	۰/۸۹۳۶	۰/۰۵۳۷	۰/۲۸۶۳

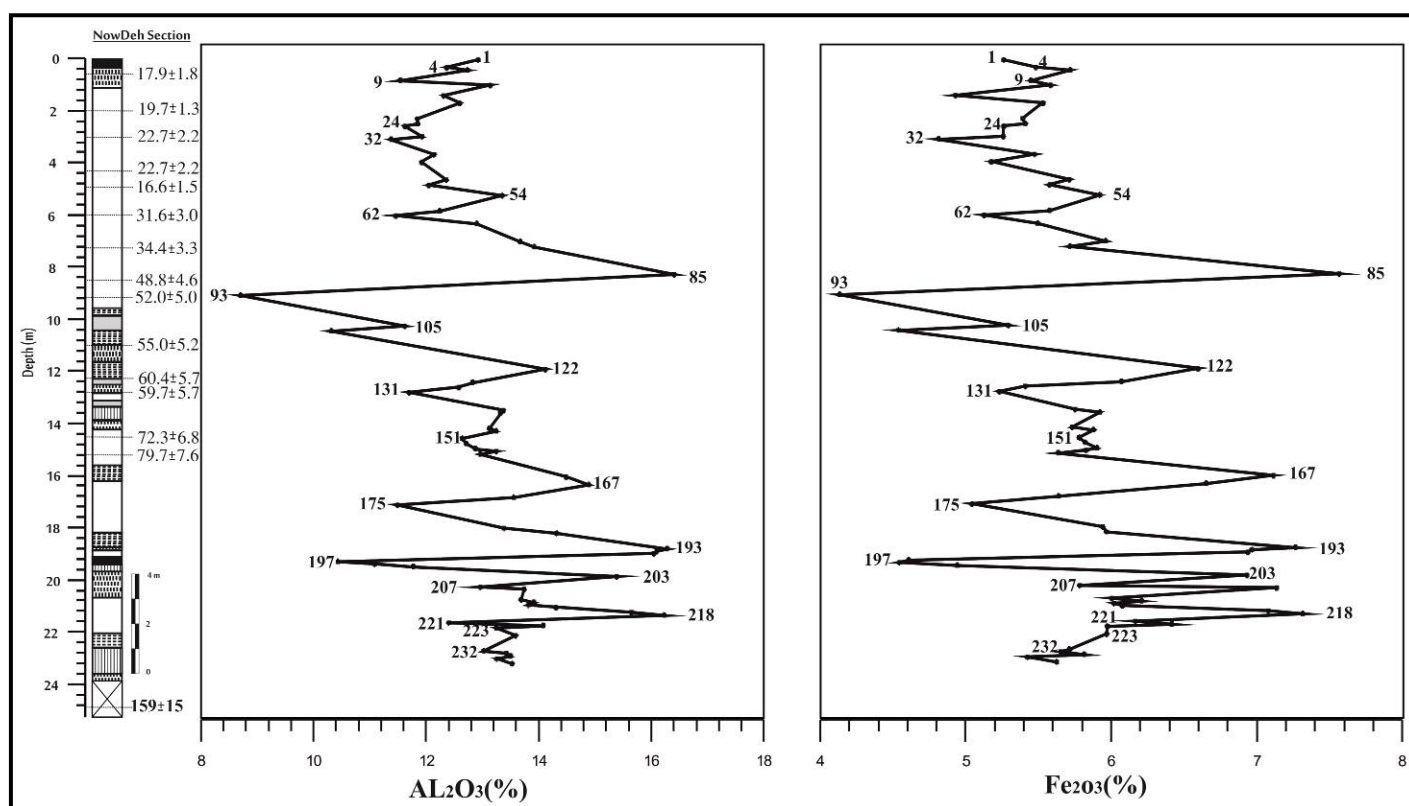


ادامه جدول ۱: نتایج به دست آمده از آنالیز ژئوشیمی برش رسوبی نوده

عمق نمونه برداری (سانتیمتر)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> /cao+mgo	CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O
۱۴۹۰۰	۱۲/۶۱۶	۵/۷۹۲	۱۳/۰۳۵	۰/۶۵	۲/۳۹۳	۴۵/۸	۲/۹۸۵۸	۱/۰۳۳۲	۰/۰۵۱۵	۰/۲۷۱۶
۱۵۱۰	۱۲/۶۹۱	۵/۸۳۴	۱۳/۸۱۱	۰/۷۱۹	۲/۲۶۴	۴۵/۶	۲/۸۱۷۸	۱/۰۸۸۳	۰/۰۵۶۷	۰/۳۱۷۶
۱۵۳۰	۱۲/۸۵۳	۵/۹۱۴	۱۱/۳۸۲	۰/۶۸۳	۲/۴۳۲	۴۸/۱	۳/۴۸۵۲	۰/۸۸۵۶	۰/۰۵۳۱	۰/۲۸۰۸
۱۵۴۰	۱۳/۲۲۱	۵/۸۳۹	۱۱/۸۳۸	۰/۶۵۸	۲/۳۵۴	۴۸	۰/۳۳۳۹	۰/۸۹۵۴	۰/۰۴۹۸	۰/۲۷۹۵
۱۵۵۰	۱۲/۹۴	۵/۶۴۸	۱۲/۶۲۴	۰/۶۶۸	۲/۳۰۴	۴۶/۶	۳/۱۰۹۲	۰/۹۷۵۶	۰/۰۵۱۶	۰/۲۸۹۹
۱۶۴۰	۱۴/۴۶۳	۷/۱۳	۶/۹۰۸	۰/۷۳۷	۲/۷۲۴	۵۳/۷	۵/۷۴۵۱	۰/۴۷۷۶	۰/۰۵۱۰	۰/۲۷۰۶
۱۶۷۰	۱۴/۴۸	۶/۶۶۹	۵/۵۴۱	۰/۷۲۵	۲/۶۱۹	۵۶/۲	۷/۱۰۰۲	۰/۳۷۲۶	۰/۰۴۸۸	۰/۲۷۶۸
۱۷۲۰	۱۳/۵۳۲	۵/۶۵	۱۱/۱۸۳	۰/۷۰۳	۲/۲۷۵	۴۹/۲	۳/۶۱۹۶	۰/۸۲۶۴	۰/۰۵۲۰	۰/۳۰۹۰
۱۷۵۰	۱۱/۴۶۵	۵/۰۵۴	۱۶/۴۶۱	۰/۶۱۴	۱/۹۰۳	۴۴/۸	۲/۴۰۴۸	۱/۴۳۵۸	۰/۰۵۳۶	۰/۳۲۲۶
۱۸۴۰	۱۳/۳۶۲	۵/۹۵۵	۱۰/۵۴۶	۱/۰۶۴	۲/۳۶۵	۵۱	۳/۸۱۹۲	۰/۷۸۹۳	۰/۰۷۹۶	۰/۴۴۹۹
۱۸۶۰	۱۴/۳	۵/۹۸	۸/۲۴	۰/۹	۲/۳۸	۵۳/۵	۵/۰۰۶۶	۰/۵۷۶۲	۰/۰۶۲۹	۰/۳۷۸۲
۱۹۲۰	۱۶/۲۷	۷/۲۸۲	۲/۳۳۱	۰/۹۲۷	۳/۰۲۲	۵۷/۹	۱۱/۴۵۴۷	۰/۱۴۳۳	۰/۰۵۷۰	۰/۳۰۶۸
۱۹۳۰	۱۶/۰۸۱	۶/۹۸۳	۲/۴۳۲	۰/۹۳۲	۲/۹۸۱	۵۸/۱	۱۱/۱۸۶۹	۰/۱۵۱۲	۰/۰۵۸۰	۰/۳۱۲۶
۱۹۴۰	۱۶/۰۲۹	۶/۹۵۵	۲/۹۸۷	۰/۸۰۵	۲/۸۰۱	۵۸/۳	۱۰/۲۹۵۱	۰/۱۸۶۳	۰/۰۵۰۲	۰/۲۸۷۲
۱۹۷۰	۱۰/۴۰۳	۴/۶۱۸	۲۲/۰۵۵	۰/۶۵۳	۱/۸۷۴	۳۶/۴	۱/۵۱۱۲	۲/۱۲۰۱	۰/۰۶۲۸	۰/۳۴۸۵
۱۹۸۰	۱۱/۰۵۵	۴/۵۵۳	۱۸/۷۹۸	۰/۶۹۹	۱/۸۵	۴۱/۱	۱/۹۶۷۴	۱/۷۰۰۴	۰/۰۶۲۳	۰/۳۷۲۴
۱۹۹۰	۱۱/۷۴۴	۴/۹۵۲	۱۷/۶۰۶	۰/۷۲	۱/۷۷	۴۱/۸	۲/۱۲۴۴	۱/۴۹۹۱	۰/۰۶۱۳	۰/۴۰۶۸
۲۰۳۰	۱۵/۳۷۲	۶/۹۴۹	۶/۱۹۱	۰/۷۵۷	۲/۶۹۱	۵۳/۴	۶/۱۳۵۱	۰/۴۰۲۷	۰/۰۴۹۲	۰/۲۸۱۳
۲۰۷۰	۱۲/۹۴	۵/۷۹۶	۱۳/۱۸۹	۰/۶۲۶	۱/۸۷۶	۴۶/۲	۳/۰۳۵۵	۱/۰۱۹۲	۰/۰۴۸۴	۰/۳۳۳۷
۲۰۸۰	۱۳/۷۱۸	۷/۱۵۵	۹/۶۳۴	۰/۶۰۷	۲/۲۹۲	۴۹/۷	۴/۲۵۲۰	۰/۷۰۲۳	۰/۰۴۲۲	۰/۲۶۴۸
۲۱۲۰	۱۳/۶۶۶	۶/۰۱۷	۱۰/۷۰۵	۰/۶۷۴	۲/۳۵۹	۴۹/۳	۳/۷۴۴۰	۰/۷۸۳۳	۰/۰۴۹۳	۰/۲۸۵۷
۲۱۳۰	۱۳/۸۹۲	۶/۲۲۱	۱۰/۳۲۷	۰/۶۶۸	۲/۳۹۷	۴۹/۸	۳/۹۱۰۲	۰/۷۴۳۴	۰/۰۴۹۵	۰/۲۸۷۰
۲۱۴۰	۱۳/۷۹۶	۶/۰۳۲	۱۱/۶۷۳	۰/۶۶۴	۲/۳۲۶	۴۸/۹	۳/۴۶۹۵	۰/۸۴۶۱	۰/۰۴۸۱	۰/۲۸۵۵
۲۱۵۰	۱۴/۲۸۴	۶/۰۹	۹/۴۱۲	۰/۶۶۷	۲/۳۹۷	۵۱/۴	۴/۳۴۵۵	۰/۶۵۸۹	۰/۰۴۶۷	۰/۲۷۸۳
۲۱۷۰	۱۵/۶۳	۷/۰۹۷	۶/۵۳۲	۰/۵۹۷	۲/۶۱۴	۵۲/۶	۵/۸۶۲۰	۰/۴۱۷۹	۰/۰۳۸۲	۰/۲۲۸۴
۲۱۸۰	۱۶/۲۱۶	۷/۳۳۳	۴/۲۱۵	۰/۵۶۳	۲/۶۹۷	۵۴/۸	۸/۰۶۹۹	۰/۲۵۹۹	۰/۰۳۴۷	۰/۲۰۸۸
۲۲۱۰	۱۲/۳۷۵	۶/۱۸۱	۱۵/۴۴۷	۰/۶۰۸	۱/۹۷۲	۴۲/۸	۲/۴۴۳۵	۱/۲۴۸۲	۰/۰۴۹۱	۰/۳۰۸۳
۲۲۲۰	۱۴/۰۶۴	۶/۴۳	۸/۵۳۶	۰/۶۷۳	۲/۵۲۸	۵۱/۶	۴/۴۸۵۸	۰/۶۰۶۹	۰/۰۴۷۹	۰/۲۶۶۲
۲۲۳۰	۱۳/۲۲۶	۵/۹۸۵	۱۱/۵۴۷	۰/۶۷۸	۲/۳۸۴	۴۸/۶	۳/۴۲۳۸	۰/۸۷۳۱	۰/۰۵۱۳	۰/۲۸۴۴
۲۲۶۰	۱۳/۵۶۶	۵/۹۸۳	۱۱/۳۲۶	۰/۶۳۷	۲/۳۸۸	۴۸/۸	۳/۵۵۳۳	۰/۸۳۴۹	۰/۰۴۷۰	۰/۲۶۶۸
۲۳۲۰	۱۳	۵/۷۲۶	۱۲/۵۶۴	۰/۶۹۲	۲/۲۹۷	۴۷/۶	۳/۱۶۳۳	۰/۹۶۶۵	۰/۰۵۳۲	۰/۳۰۱۳
۲۳۳۰	۱۳/۴۰۶	۵/۶۶۵	۱۱/۲۷۲	۰/۶۶۱	۲/۲۴۸	۴۸/۵	۳/۵۳۶۶	۰/۸۴۰۸	۰/۰۴۹۳	۰/۲۹۴۰
۲۳۴۰	۱۳/۴۷۹	۵/۸۲۷	۱۱/۱۷۶	۰/۶۸	۲/۳۵۸	۴۸/۸	۳/۵۷۸۱	۰/۸۲۹۱	۰/۰۵۰۴	۰/۲۸۸۴
۲۳۵۰	۱۳/۲۳۲	۵/۴۳۷	۱۰/۷۴۵	۰/۶۴۶	۲/۱۵۶	۴۸/۴	۳/۶۹۲۸	۰/۸۱۲۰	۰/۰۴۸۸	۰/۲۹۹۶

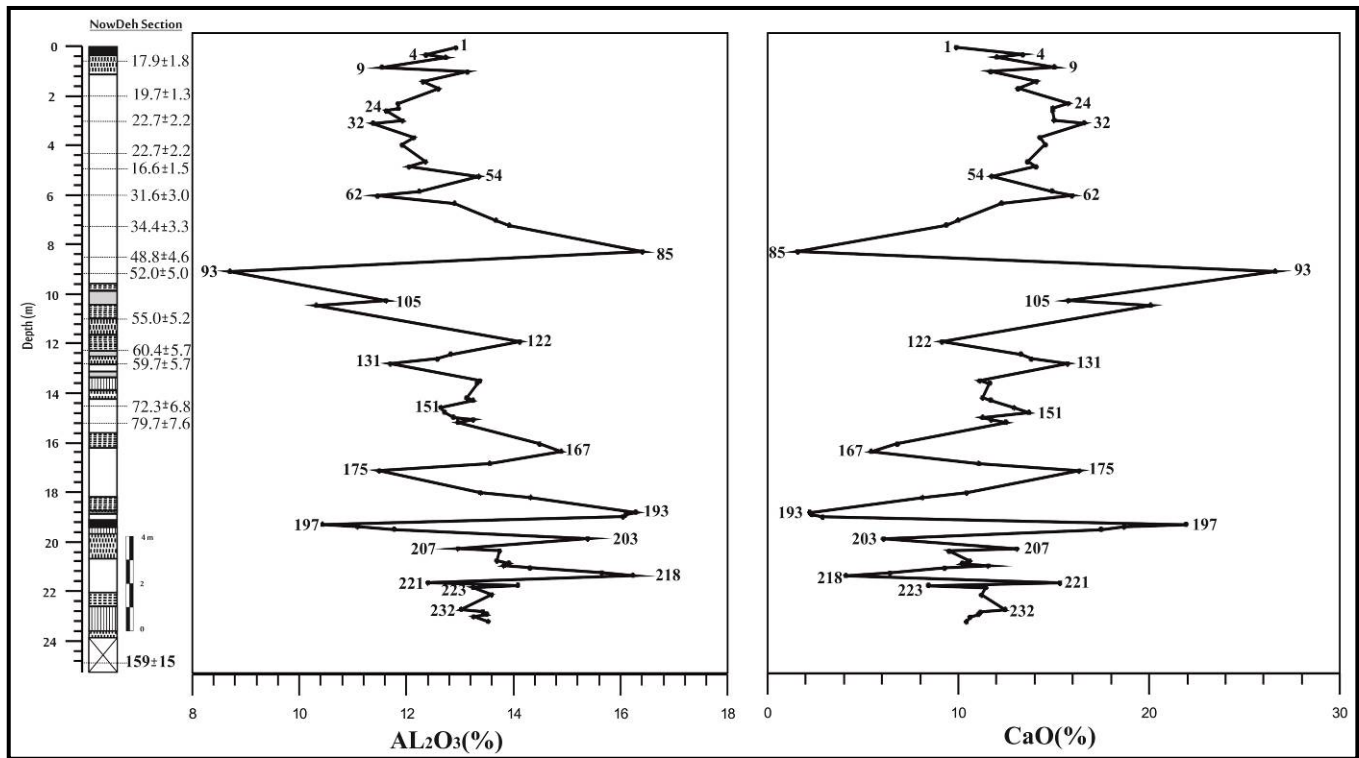
۲۳۷۰	۱۳/۵۰۴	۵/۶۳۷	۱۰/۵۴۲	۰/۶۵۷	۲/۳۶۲	۴۸/۷	۳/۷۶۴۵	۰/۷۸۰۷	۰/۰۴۸۷	۰/۲۷۸۲
------	--------	-------	--------	-------	-------	------	--------	--------	--------	--------

شکل ۴ مقادیر اندازه‌گیری شده  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  برش رسوبی نو‌ده را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان تغییرات این دو اکسید عناصر اصلی با هم هماهنگ است. این هماهنگی افزایش یا کاهش به خصوص در عمق‌های ۲/۵ متری تا ۲۳/۷ متری به خوبی نمایان است. به عنوان مثال در عمق ۸/۵ متری که نمونه شماره ۸۵ می‌باشد، هر دو عنصر اکسید آلومینیوم و اکسید آهن یک افزایش و به دنبال آن یک کاهش ناگهانی را داشته‌اند. رخداد چنین تغییراتی در حدود ۳۴ تا ۵۲ هزار سال گذشته رخ داده است. این نوع همخوانی بین اکسیدهای آلومینیوم و آهن در ۶۰ و ۷۲ هزار سال گذشته نیز وجود دارد.



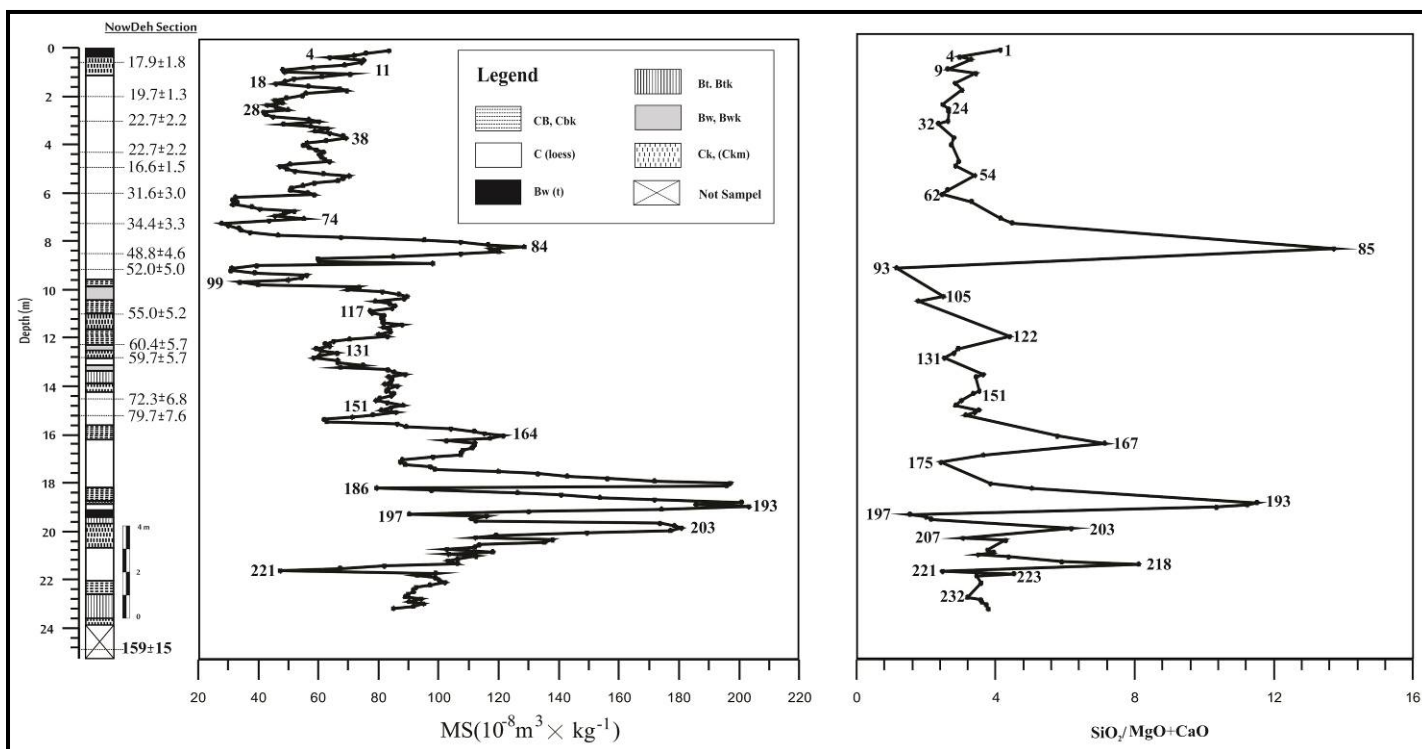
شکل ۴ تغییرات درصد  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  نسبت به واحدهای رسوبی در ستون چینه‌ای

اکسید آلومینیوم یک کانی انحلال‌ناپذیر بوده و عنصر اکسید کلسیم یک عنصر انحلال‌پذیر است. بر اساس شکل ۵ مشاهده می‌شود که میزان این دو کانی در دوره‌های زمانی و در عمق‌های مختلف بر عکس یکدیگر است. به عبارت دیگر هر جا میزان اکسید آلومینیوم بیشتر بوده مقدار اکسید کلسیم کاهش یافته که این موضوع با توجه به ماهیت این دو کانی، شرایط اقلیمی متفاوت را نشان می‌دهد. ۱۷ هزار سال پیش در میزان اکسید آلومینیوم روند کاهشی وجود دارد که دقیقاً در این زمان، میزان اکسید کلسیم روند افزایشی را داشته و نشان از عکس‌العمل متفاوت این دو عنصر در برابر شرایط محیطی است. این نوع از واکنش‌های متفاوت این دو عنصر در عمق‌های پایین‌تر به ویژه در ۴۸ و ۵۲ هزار سال گذشته دیده می‌شود.



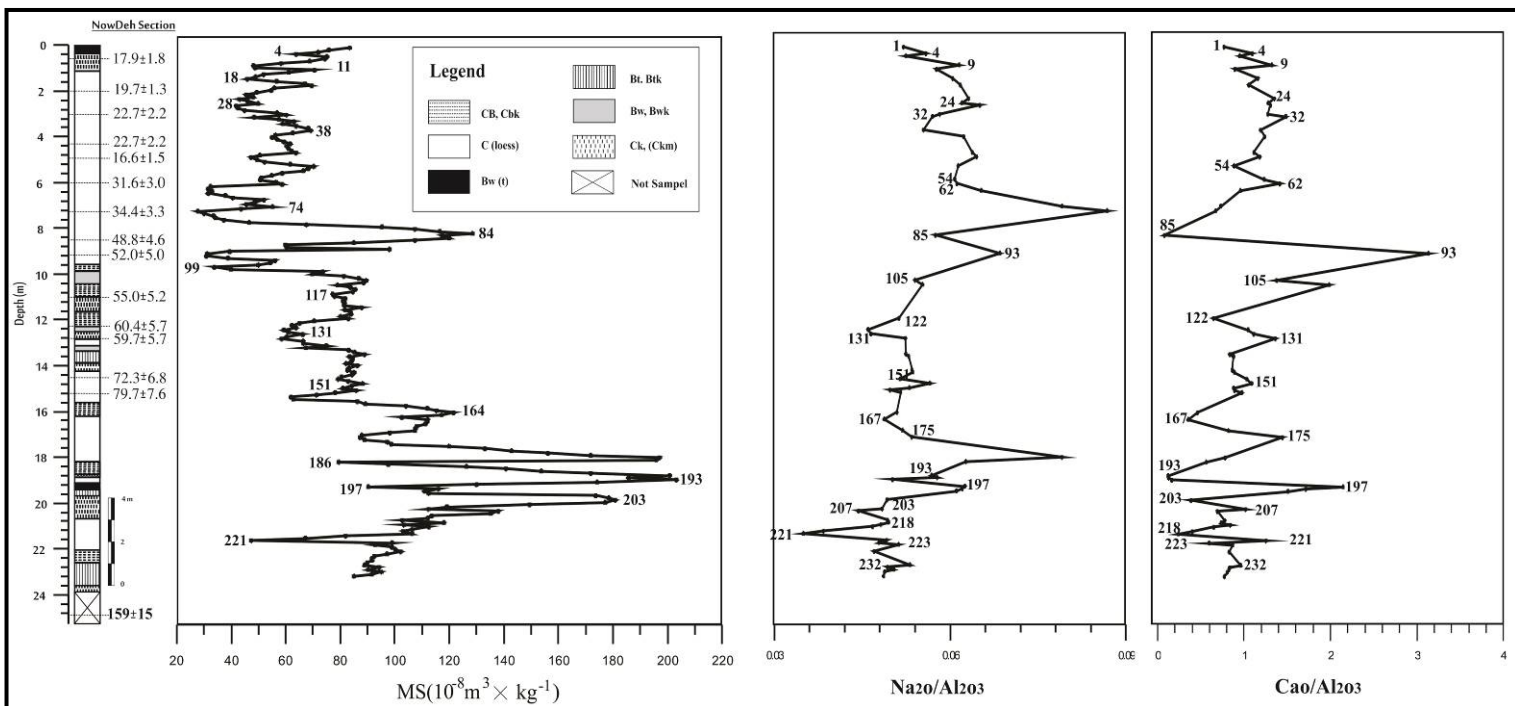
شکل ۵: تغییرات درصد  $CaO$  و  $Al_2O_3$  در برابر ستون چینه ای نوده

یکی از تفاوت‌های هوازدگی واحدهای لس و لایه‌های خاک‌دیرینه، میزان حضور عناصر اصلی هستند. لذا مقادیر متفاوت این عناصر می‌تواند راهگشای خوبی برای تفسیر آب و هوای گذشته باشد. در این بخش نسبت اکسید سیلیس به نسبت سیلیس/اکسید کلسیم+اکسید منیزیم با میزان پذیرفتاری مغناطیسی مقایسه شده است. هماهنگی زیادی در این مورد دیده می‌شود به طوری که با افزایش یا کاهش میزان پذیرفتاری مغناطیسی این نسبت نیز همزمان زیاد یا کم می‌شود (شکل ۶). به عبارت دیگر این دو مقدار همدیگر را تایید می‌کنند. این تایید در عمق ۸/۵ و ۱۹/۳ متری به خوبی آشکار است.



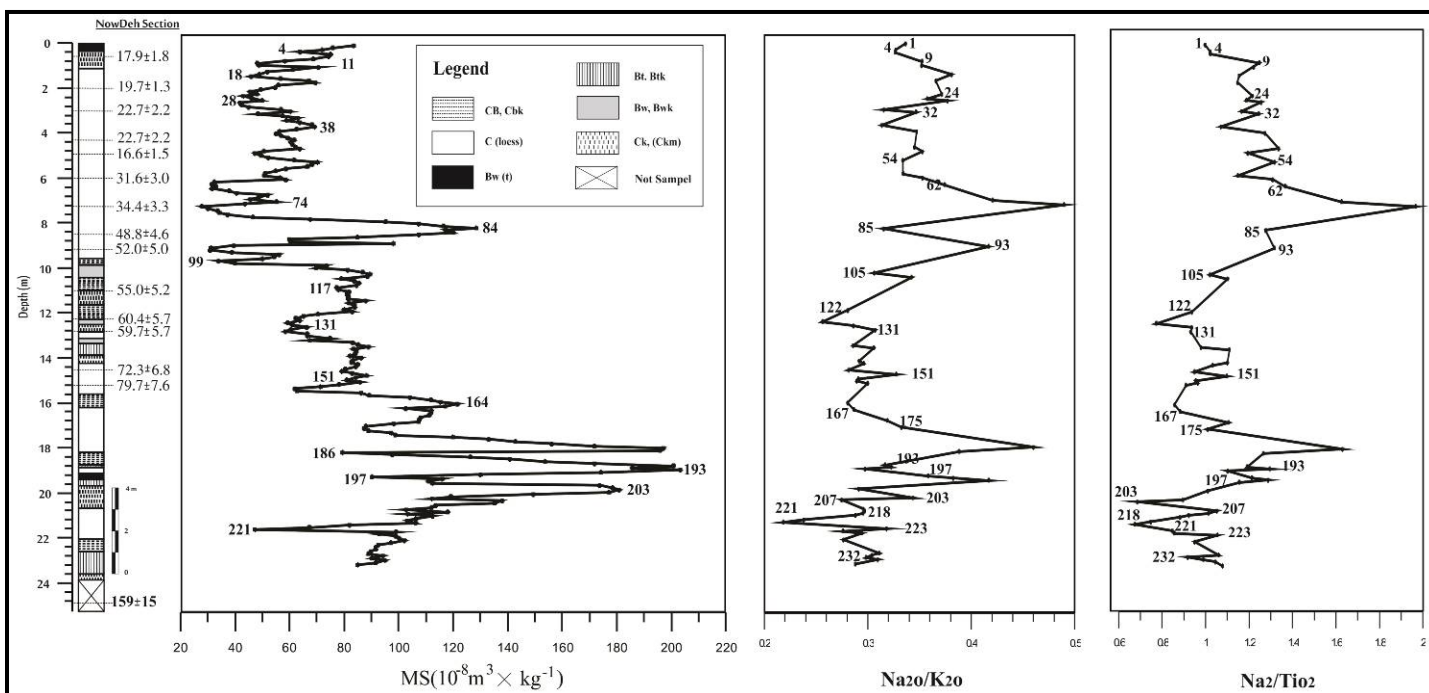
شکل ۶: تغییرات درصد نسبت  $\text{SiO}_2/\text{MgO}+\text{CaO}$  در برابر واحدهای رسوبی ستون چینه‌ای نوده

در مطالعات لس، چندین نسبت شیمیایی از قبیل  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  برای بازسازی آب و هوای گذشته پیشنهاد می‌شوند (Liu, et al, 1985, 200; Liu T. S. et al., 1995, 145). شکل ۷ تغییرات نسبت اکسید سدیم به اکسید آلومینیوم و نسبت اکسید کلسیم به اکسید آلومینیوم در برابر پذیرفتاری مغناطیسی برش رسوبی نوده را نشان می‌دهد. در عمق‌های پایین این دو پارامتر با میزان پذیرفتاری مغناطیسی همخوانی خوبی را نشان می‌دهند. هر چند میزان و شدت هر یک از این نمودارها با هم یکسان نیست، اما مشابهت‌های زیادی در نوع تغییر در برش را نشان می‌دهند.



شکل ۷: تغییرات نسبت اکسید سدیم به اکسید آلومینوم و نسبت اکسید کلسیم به اکسید آلومینوم در برابر پذیرفتاری مغناطیسی برش رسوبی نوده

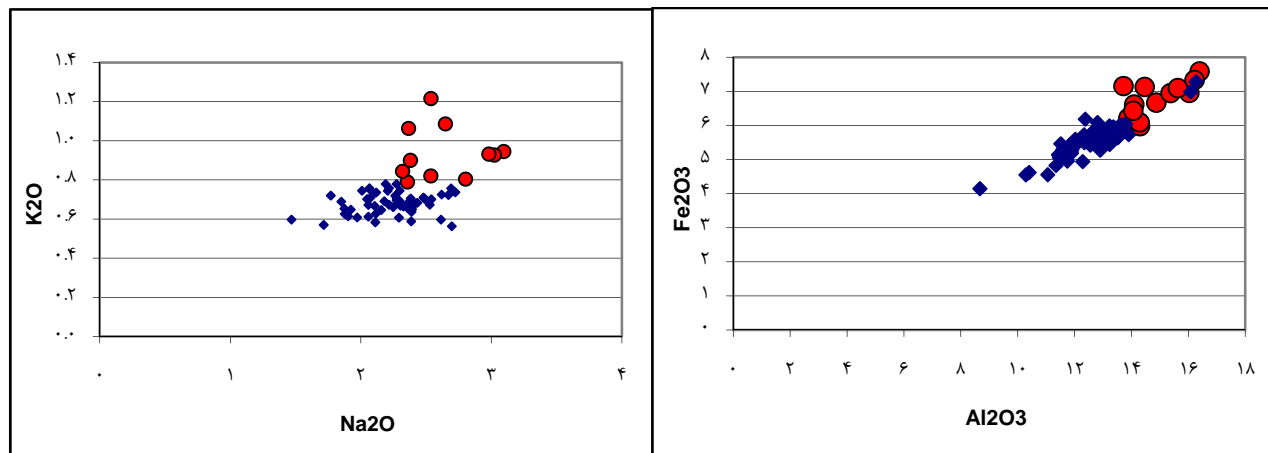
شرایط آب و هوایی مرطوب مقادیر نسبت‌های  $Na_2/K_2O$  و  $Na_2/TiO_2$  در توالی‌های لُس/خاک‌دیرینه را پایین آورده و بیانگر کاهش رطوبت در محیط است. یکی دیگر از نسبت‌های مورد استفاده در این تحقیق، نسبت‌های  $Na_2/K_2O$  و  $Na_2/TiO_2$  است. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود این نسبت‌ها با افزایش میزان پذیرفتاری مغناطیسی نسبت عکس داشته و با افزایش میزان پذیرفتاری مغناطیسی نسبت‌های  $Na_2/K_2O$  و  $Na_2/TiO_2$  کاهش یافته و بالعکس با کاهش آن این نسبت‌ها افزایش می‌یابد. لذا استفاده از این نسبت‌ها و تغییرات آنها در طول زمان می‌تواند در بازسازی آب و هوای گذشته مفید باشد. به طوری که در شکل زیر دیده می‌شود در عمق ۱۸/۶ متری میزان پذیرفتاری مغناطیسی افزایش یافته است در صورتی که دقیقاً در همین عمق مقادیر ذکر شده کاهش یافته است. لذا نتایج پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی رسوبات لسی همخوانی بالایی با هم دارند



شکل ۸: تغییرات نسبت اکسید سدیم به اکسید پتاسیم و نسبت اکسید سدیم به اکسید تیتانیوم در برابر پذیرفتاری مغناطیسی برش رسوبی نوده

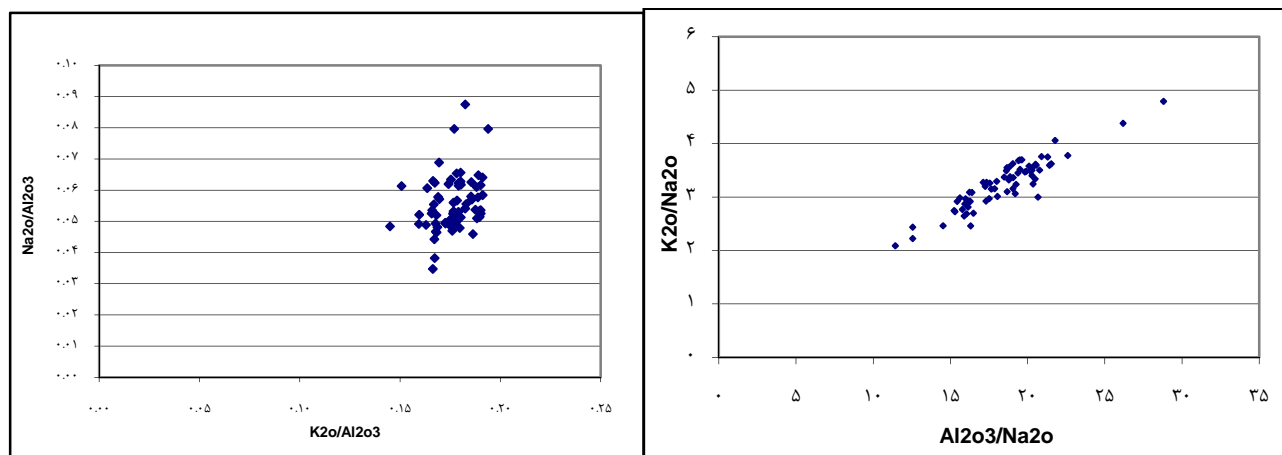
از جمله تجزیه و تحلیل‌هایی که برای بررسی آب و هوای دیرینه به کار برده می‌شود استفاده از نمودار نسبت‌های عناصر به صورت نقطه‌ای می‌باشد. با انحلال و حذف عناصر انحلال‌پذیر در رسوبات لس، نسبت عناصر انحلال‌پذیر به عناصر نسبتاً انحلال‌ناپذیر ( $\text{TiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) تغییر می‌کنند، که به عنوان نشانه‌ای از وقوع چرخه‌های آب و هوایی به کار برده می‌شوند (Smykatz-Kloss & Roy, 2010, 382).

همانگونه که در شکل ۹ الف مشاهده می‌شود، مطابق انتظار نمونه‌هایی که متعلق به لایه‌های خاک دیرینه در برش رسوبی نوده هستند. مقادیر  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  کمتری را نشان می‌دهند. در عوض در شکل ۹ ب، این نمونه‌ها دارای مقادیر بالایی از عناصر انحلال‌ناپذیر مانند:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  هستند. به عبارتی دیگر در طی دوره‌های مختلف زمانی، شرایط آب و هوایی متفاوتی رخ داده که منجر به خروج عناصر انحلال‌پذیر و یا افزایش آنها در محیط شده است. لایه‌های لس تشکیل شده دارای مقادیر زیادی از عناصر انحلال‌پذیر، از قبیل اکسید سدیم و اکسید پتاسیم هستند. لذا با توجه به حضور بالای این عناصر در لایه‌های لس می‌توان گفت شرایط محیطی خشک حاکم و بوده و تجزیه شیمیایی در محیط صورت پذیرفته است. بر خلاف لایه‌های لس، در لایه‌های خاک دیرینه این عناصر به دلیل تجزیه شیمیایی و شستشو، از محیط خارج شده و مقدار کمی را نشان می‌دهند.



شکل ۹ الف: تغییرات درصد  $Al_2O_3$  در مقابل تغییرات درصد  $Fe_2O_3$  شکل ۹ ب: تغییرات درصد  $Na_2O_3$  در مقابل تغییرات درصد  $K_2O$

از دیگر نسبت‌هایی که برای مطالعه داده‌های ژئوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با رسوبات به کار برده می‌شود، نسبت  $Na_2O/Al_2O_3$  در مقابل نسبت  $K_2O/Na_2O$  است، که به عنوان میزان بلوغ کانی شناسی و شیمیایی رسوبات به کار برده می‌شوند. با پیشروی فرآیندهای هوازگی، و باقیماندن یا تشکیل عناصر پایدار مانند:  $Al_2O_3$  در رسوبات هوازده، این نسبت‌ها تغییر می‌کنند. با افزایش فراوانی  $Al_2O_3$  میزان بلوغ کانی‌شناسی و شیمیایی در رسوبات بالاتر می‌رود (Pettijohn, 1957: 388; Adamova et al., 2002: 38). در طول تشکیل رسوبات از سنگ مادر، مقدار Na جدا شده در حالی که میزان K در رسوبات حفظ می‌شود. شکل ۱۰ الف و ب نشان می‌دهد که مقدار Na در تمامی نمونه‌ها کاهش یافته است.



شکل ۱۰ الف: تغییرات نسبت  $Na_2O/Al_2O_3$  در مقابل نسبت  $K_2O/Na_2O$  شکل ۱۰ ب: تغییرات نسبت  $Na_2O/Al_2O_3$  در مقابل نسبت  $K_2O/Al_2O_3$

## بحث و نتیجه گیری

تناوب لس -خاک دیرینه یکی از شواهد مفید برای آشکارسازی رویدادهای آب و هوایی، زمین شناسی و زیست محیطی در طول دوران کواترنر به شمار می‌آید. از این رو یکی از منابع مهم ثبت تغییرات اقلیمی بر روی خشکی‌ها هستند. در این پژوهش دو روش پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی عناصر اصلی و تلفیق این دو روش با هم برای بازسازی آب و هوای گذشته مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به شکل ۳ در برش رسوبات نوده، توالی لایه‌های قهوه‌ای تیره و روشن خاک‌های دیرینه در داخل لس‌ها،

فرایندهای متفاوتی از آب و هوا نشان می‌دهند که بسیار شبیه دوره‌های یخچالی و بین یخچالی در اواسط و اواخر پلیستوسن است. خاک‌های دیرینه برش نوده نسبت به لس‌ها، پذیرفتاری مغناطیسی بالایی از خود نشان می‌دهند. این میزان در عمق‌های پایین و یا قدیمتر، بیشتر دیده می‌شود که نشان از تغییرات زیاد آب و هوا در آن دوران بوده است. در عمق حدود ۲۱ متری میزان پذیرفتاری مغناطیسی کاهش قابل توجهی یافته است که نشان از یک دوره سرد و خشک در این زمان بوده است. همچنین بر اساس نمودار پذیرفتاری مغناطیسی حدود ۸ دوره افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات برش نوده دیده می‌شود که نشان از افزایش میزان دما و رطوبت است. لازم به ذکر است که در هر کدام از مقاطع لسی استاندارد جهان، همیشه خاک‌های دیرینه با توجه به فرایندهای خاک زایی و افزایش اکسیداسیون، دارای میزان پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به لایه‌های لُس همجوار خود هستند (Maher, 2011: 128).

واحدهای لُس در دوره‌های آب و هوایی سرد و خشک تشکیل شده و منبع کانی‌های مغناطیسی پاسخ گو به آزمایشات محیط مغناطیسی نیز، تنها از منبع بادرفتها تأمین شده است. درحالیکه در لایه‌های خاک دیرینه به دلیل افزایش مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی، باید علاوه بر کانی‌های مغناطیسی که از منبع بادرفتی تأمین شده‌اند، کانی‌های مغناطیسی عمده (اکسیدهای آهن خاک) به عنوان محصولات هوازدگی رسوبات و در اثر پیشرفت فرایندهای تشکیل خاک‌های دیرینه، به صورت درجا تشکیل شده باشند. مطالعات و بررسی‌های انجام شده بر روی پارامتر قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی تأییدی بر این مدعا است (Maher, 2011, 110., Spassov, 2002, 12).

عناصر اصلی خاک‌های دیرینه می‌توانند به واسطه غلظت بالای اکسید سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) (۳۲/۲ تا ۶۰/۳۸) و اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (۸/۶۷ تا ۱۶/۳۹) و غلظت پایین اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ ) (۱/۷ تا ۲/۶۷) و اکسید منیزیم ( $\text{MgO}$ ) (۲/۹۶ تا ۱/۷) از لس‌ها تشخیص داده شوند. تفاوت شیمیایی بین لس و خاک دیرینه ممکن است در اصل به دلیل انحلال کربنات از خاک دیرینه در طول دوره خاکزایی به سبب افزایش دما و بارش در دوره‌های بین یخچالی باشد. کانی‌های رسی به دلیل وجود ترکیب و ساختار ورقه‌ای خود، به طور معمول دارای مقادیر بالایی از  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقایسه با آلومینوسیلیکات‌های سنگ منشأ اولیه خود هستند. تغییرات در مقادیر  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (کانی‌های رسی) و تغییرات در مقادیر  $\text{CaO}$  و  $\text{MgO}$  (کلسیت و دولومیت) موجود در رسوبات، بیانگر انحلال کربنات‌ها هستند، زیرا مقادیر کربناتی رسوبات با مقادیر کانی‌های رسی نسبت معکوس دارند در دوره‌های اقلیمی گرم و مرطوب مقادیر کانی-های رسی زیاد شده و در دوره‌های سرد و خشک که همراه با رسوب‌گذاری لس‌ها است، این مقادیر کاهش می‌یابد. لذا مقدار این دو کانی می‌تواند در بازسازی دوره‌های گذشته اقلیمی رسوبات لسی پارامترهای مهمی به شمار آیند. (Muhs and Bettis, 2000, 55).

میزان اکسید آلومینیوم و اکسید آهن در دوره‌های گرم و مرطوب زیاد و در دوره‌های اقلیمی سرد و خشک کم مشاهده شد. این دو عنصر جزء عناصر انحلال ناپذیر و پایدار هستند و در شرایط اقلیمی سرد و خشک با افزوده شدن عناصری از قبیل اکسید کلسیم که یک عنصر ناپایدار و انحلال پذیر است، غلظت این عناصر کاهش یافته و نشانه‌ای از گسترش دوره‌های یخچالی است.

همانگونه که توضیح داده شد، افزایش  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، که یک کانی انحلال ناپذیر و نسبتاً پایدار است، در برابر کاهش کانی  $\text{CaO}$  که انحلال پذیر و ناپایدار در برابر فرایندهای هوازدگی می‌باشد، به معنای افزایش هوازدگی شیمیایی



رسوبات تحت شرایط گرم و مرطوب دوره‌های بین‌یخچالی است (شکل ۵). بر اساس این شکل مشاهده می‌شود که میزان این دو کانی در دوره‌های مختلف زمانی بر عکس یکدیگر است. در دوره‌های اقلیمی گرم و مرطوب به دلیل پایدار بودن  $Al_2O_3$ ، میزان این کانی افزایش یافته و بر عکس در دوره‌های سرد و مرطوب این مقدار کاهش می‌یابد. این در حالی است که کانی  $CaO$  به دلیل انحلال پذیر بودن و ناپایداری در دوره‌های گرم و مرطوب حل شده و از محیط خارج می‌شود و در دوره‌های سرد و خشک میزان آن افزایش می‌یابد.

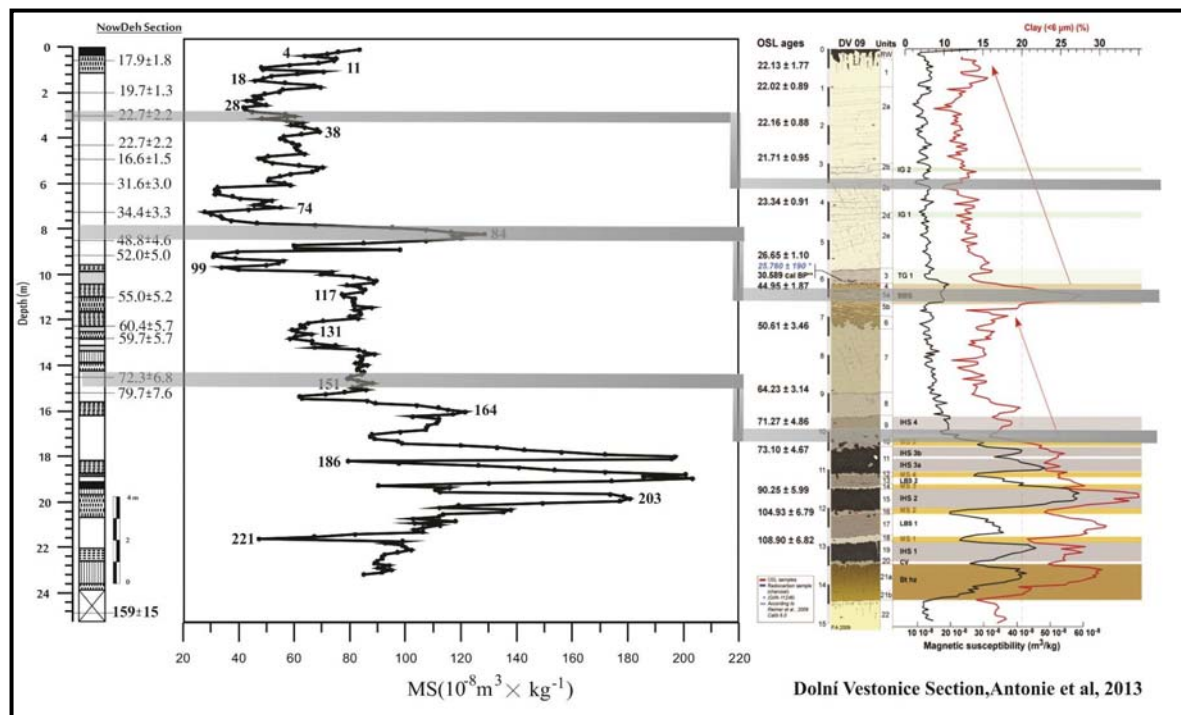
خاک‌های دیرینه به دلیل هوازگی شیمیایی شدیدتر، می‌توانند با مقادیر بالاتری از  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  و مقادیر کمتر  $CaO$  و  $MgO$  از لس‌ها تشخیص داده شوند (Ding et al., 2001, 63). از اینرو زمانیکه نسبت  $SiO_2$  به  $MgO+CaO$  افزایش می‌یابد، بیانگر وقوع هوازگی شیمیایی شدید ناشی از آب و هوای گرم و مرطوب است (شکل ۶). بر اساس این شکل مشاهده می‌شود که دوره‌های گرم و مرطوب که همراه با خاکزایی و تشکیل خاک‌های دیرینه بوده است با افزایش نسبت سیلیس/اکسید کلسیم+اکسید منیزیم همراه بوده و با کاهش این نسبت، اقلیم سرد و خشک در منطقه حاکم بوده است.

تغییرات نسبت  $CaO/Al_2O_3$  هم راستا با خصوصیات تشکیل خاک کامل، دامنه زیاد تغییر پذیری را نشان می‌دهد. این تغییرات در عمق ده متری برش مورد مطالعه بسیار زیاد است. این نسبت ثبت شده اشاره به این دارد که عنصر انحلال پذیر  $Ca$  بسیار حساس به تغییرات اقلیم بوده و بلافاصله عکس العمل نشان می‌دهد. بنابر این این نسبت عناصر ذکر شده می‌تواند در بازسازی آب و هوای گذشته کواترنر مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تغییرات  $Na_2O/Al_2O_3$  در محدوده برش نوده مطابق با تغییرات شدت هوازگی خاک در سایر نسبت‌های شیمیایی است.

شرایط آب و هوایی مرطوب مقادیر نسبت‌های  $Na_2/TiO_2$  و  $Na_2/K_2O$  در توالی‌های لُس/خاک‌دیرینه را پایین آورده و بیانگر کاهش رطوبت در محیط است. به طوری که در شکل ۸ دیده می‌شود در عمق ۱۸/۶ متری میزان پذیرفتاری مغناطیسی که نمایانگر شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب است، افزایش یافته است. دقیقاً در همین عمق مقادیر ذکر شده کاهش یافته که کاهش آنها نمایانگر دوره‌های گرم و مرطوب است. لذا نتایج پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی رسوبات لسی همخوانی بالایی با هم داشته و پارامترهای مناسبی برای بررسی تغییرات اقلیم گذشته هستند. از مقایسه نمودار مغناطیسی-ژئوشیمیایی عناصر اصلی این گونه استنباط می‌شود که پاسخ‌های بدست آمده از بررسی تغییرات نسبت‌های آب و هوایی ژئوشیمیایی با تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی مشابهت دارند. با توجه به این بررسی‌ها، شرایط مناسب تشکیل خاک (همزمان با تولید درجا برخی از اکسیدها از جمله  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$ )، سبب افزایش قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های دیرینه شده است. تولید بر جای کانی‌های مغناطیسی قوی که در افزایش پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌های دیرینه مؤثر هستند، احتمالاً در اثر افزایش رطوبت، هوازگی و پیشرفت فرآیندهای تولید و تشکیل خاک‌ها به وقوع پیوسته است.

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیق Antoine and et al در سال ۲۰۱۳ بر روی نهشته‌های لس-پالتوسول اروپای مرکزی رابطه نزدیکی به خصوص در حدود ۴۶ هزار سال اخیر را نشان می‌دهد. به طوری که در شکل ۱۱ دیده می‌شود در حدود ۴۶ هزار سال گذشته یک تغییر در وضعیت اقلیمی دو منطقه به وجود آمده است. این تغییر در هر دو منطقه به صورت افزایش میزان پذیرفتاری مغناطیسی ثبت شده است که بر اساس یافته‌های قبلی نشان از یک آب و هوای گرم و مرطوب در این دوران بوده است. همچنین در حدود ۲۲/۷ هزار سال گذشته نیز در هر دو منطقه میزان پذیرفتاری کاهش نشان می‌دهد که بیانگر ظهور آب و هوای سرد و خشک در این

دوران است. هر چند رسوبات قدیمی تر نیز رابطه خوبی با تغییرات آب و هوا در اروپای مرکزی و منطقه نوده دیده می شود، اما به دلیل نداشتن سن یابی رادیومتریک در رسوبات قدیمی تر اظهار نظر در این مورد کمی با شک و تردید می باشد.



شکل ۱۱: مقایسه تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی برش نوده و برش دولنی وستونیک (Dolní Vestonice) در اروپای مرکزی

نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج Chlachula and Little (۲۰۱۱) که به بررسی وضعیت اقلیمی لس-های جنوب غربی سیبری پرداخته‌اند، همخوانی زیادی را نشان می‌دهد. به طوری که دوره‌های سرد و گرم به خصوص در ۳۲ هزار سال اخیر این دو برش هم‌هنگی زیادی را داشته و نتایج ما نیز دوره‌های مختلف اقلیمی رخ داده در جنوب غربی سیبری را تایید می‌نماید. میزان پذیرفتاری مغناطیسی در دو برش لسی نوده و اسکیتیم بسیار شبیه به هم بوده اقلیم‌های مشابهی در این دو ناحیه ثبت شده است.

همچنین نتایج آزمایشات ژئوشیمی برش نوده با نتایج تحقیق Ding و همکاران در سال ۲۰۰۱ و Muhs and Bettis در سال ۲۰۰۰ و Smykatz-Kloss & Roy در سال ۲۰۱۰ همخوانی خوبی را نشان می‌دهد. میزان اکسید کلسیم، اکسید سدیم و اکسید منیزیم در رسوبات خاک دیرینه کم و در رسوبات لسی بیشتر است، در این تحقیق نیز نتایج به دست آمده گفته‌های آنها را تایید نموده و این عناصر به دلیل انحلال پذیر بودن در آب و هوای گرم و مرطوب حل شده و از رسوبات خارج می‌شوند. در حالی که اکسید آهن و اکسید آلومینیوم با توجه به پایدار بودن در دوره‌های اقلیمی گرم و مرطوب بیش از دوره‌های سرد و خشک هستند.

همان طور که ضیایی و همکاران در سال ۱۳۹۲ و الماسی و همکاران در سال ۱۳۸۵ بیان کردند، در خاک‌های دیرینه وجود رس‌های هوادیده‌ای مانند اسمکتیت در مقادیر بیش تر، ورمی کولیت و کانی‌های مختلط اسمکتیت - ایلیت بیانگر شرایط مرطوب تر و مساعد هوادیدگی در عصر بین یخچالی است و حضور رس‌های اولیه و بدون تحول در

لس ها شرایط سرد و خشک یخچالی را تأیید می نماید. در تحقیق حاضر نیز با توجه به نتایج به دست آمده این موضوع مورد تأیید قرار گرفت. همچنین نتایج تحقیق قازانچایی و همکاران (۱۳۸۷) در خصوص بررسی خصوصیات میکرومورفولوژیک توالی لس-پالئوسل منطقه ناهارخوران گرگان نیز تأیید کننده نتایج این تحقیق در مورد تشکیل لس ها در آب و هوای سرد و خشک و خاک های دیرین در شرایط گرم و مرطوب است. نتایج تحقیق مهدی پور و همکاران در سال ۱۳۹۱ در زمینه لس های نکا نیز نزدیکی زیادی با نتایج ارائه شده در این تحقیق دارد. آنها نیز در تحقیق خود از دو روش پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی استفاده نمودند و دوره های اقلیمی مختلف را بر اساس این دو روش مشخص نمودند. در تحقیق حاضر نیز نتایج به دست آمده همپوشانی زیادی با تحقیق مذکور دارد. به طور کلی می توان این چنین عنوان کرد که آزمایش های مغناطیسی و شیمیایی صورت گرفته در برش نوده همدیگر را تأیید می کنند. علاوه بر این با نمونه های دیگر مورد مقایسه همخوانی زیادی دارند.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب سپاس خود را از ریاست محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت محترم امور آزمایشگاهی سازمان زمین شناسی و همکاران محترم به خصوص سرکار خانم جانسکن، ابوالحسنی و خانم اصلانی و آقایان کامرانی و محمودی به دلیل حمایت هایشان و در اختیار گذاشتن امکانات و تسهیلات آزمایشگاهی ابراز می دارند.

### فهرست منابع

- Adamova, M., Havlicek, P., Sibrava, V., (2002). *Mineralogy and geochemistry of loesses in southern Moravia. Bulletin of the Czech Geological Survey, Vol. 77, No.1, pp. 29-41*
- Aghanabati, Ali, 2006, *Geology of Iran, Geology and Mineral Exploration publication, pp1-691.*
- Almasi, A, Pashaei, A, Jalilian, A and Ayoubi, Sh, 2006, *Investigation on composition and evaluation of clay minerals in the loess deposits and paleosols of Ghapan area, Golestan province, Agriculture. Science. Nature. Resource. Vol. 13(3).*
- An, Z.S., Wang, J., and Li, H., 1977. *Paleomagnetic research of the Lochuan loess section. Geochemical, Vol. 4, pp. 239-249.*
- Antoine, P., Rousseau, D.D., Degeai, J.P., Moine, O., Lagroix, O., Kreutzer, S., Fuchs, M., Hatte, CH., Gauthier, C., Svoboda, J, and Lisa, l., 2013, *High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the Last Interglacial Glacial cycle in Central Europe: the loess-palaeosol sequence of Dolní Věstonice (Czech Republic), Quaternary Science Reviews, 67, PP 17-38.*
- Azizi, Ghasem, 200۴, *climate change, Ghomas publication, Volume 1.*
- Chlachula, J., Little, E., 2011, *A high-resolution Late Quaternary climatostratigraphic record from Iskitim, Priobie Loess Plateau, SW Siberia, Quaternary International 240 , 139e149.*
- Ding, Z.L., Sun, J.M., Yang, S.L., and Liu T.S., 2001- *Geochemistry of the Pliocene red clay formation in the Chinese Loess Plateau and implications for its origin, source provenance and pale climate change. Geochemical ET Cosmochimica Acta, (65) 6, 901-913.*
- Ding, Z.L., Xiong, S.F., Sun, J.M., Yang, S.L., Gu, Z.Y., Liu, T.S., 1999, *Pedostratigraphy and Paleomagnetism of a ~7.0 Ma Eolian Loess-red Clay Sequence at Lingtai, Loess Plateau, North-central China and the Implications for Paleomonsoon Evolution, Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, No.152, pp.49-66.*

- Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R., Skowronek A., 2009, *Loess Chronology of the Caspian Lowland in Northern Iran*, *Quaternary International*, No. 198, pp. 220-233.
- Gallet, S., Jahn, B., Torii, M., 1996. *Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications*. *Chemical Geology* 133, 67–88.
- Ghazanchaei, R., Pashaei, A., Khormali, F and Ayoubi, Sh, 2008, *Investigation on micromorphological properties of a loess-paleosol sequence in Naharkhoran, Gorgan, Agriculture. Science. Nature. Resource. Vol. 15(2)*.
- Guo, Z.T., Ruddiman, W.F., Hao, Q.Z., Wu, H.B., Qiao, Y.S., Zhu, R.X., Peng, S.Z., Wei, J.J., Yuan, B.Y., and Liu, T.S., 2002. *Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposit in China*. *Nature* Vol. 416, pp. 159–163.
- Hardcastle, J., 1890, *On the Timaru Loess as a Climatic Register*, *Transactions and Proceedings of New Zealand Institute*, No. 23, pp. 324-332.
- Hum, L., Fényes, J., 1995. *The geochemical characteristics of loesses and paleosols in the South-Eastern Transdanube (Hungary)*. *Acta Mineralogica-Petrographica (Szeged)* 36, 89–100.
- Jahn, B., Gallet, S., Han, J., 2001. *Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian sections, Loess Plateau of China: eolian dust provenance and paleosol evolution during the last 140 ka*. *Chemical Geology* 178, 71–94.
- Jia, J., Xia, D., Wang, B., Zhao, S., Li, G., Wei, H., 2013. *The investigation of agnetic susceptibility variation mechanism of TienMountains modern loess: Pedogenic or wind intensity model?* *Quaternary International* 296; 141-148.
- Karimi, A., Khademi, H., Kehl, M., Jalaian, A., 2009, *Distribution, Lithology and Provenance of Peridesert Loess Deposits in Northeast Iran*, *Geoderm*, No.148, pp. 241-250.
- Karimi, A., Khademi, H., Jalalian, A., 2011, *Loess: Characterize and application for paleoclimate study*, *Geography Research*, Volume 76, pp1-20.
- Karimi, A., Khademi, H., Ayoubi, A., 2013, *Magnetic susceptibility and morphological characteristics of a loess–paleosol sequence in northeastern Iran*, *Catena*, 101, pp. 56-60.
- Kehl, M., Frechen, M., Skowronek, A., 2005, *Paleosols Derived from Loess and Loess-like Sediments in the Basin of Persepolis, Southern Iran*, *Quaternary International*, No.140/141, pp.135-149.
- Kehl, M., Sarvati, R., Ahmadi, H., Frechen, M., Skowronek, A., 2006, *Loess / Paleosolsequences along a Climatic Gradient in Northern Iran*, *Eisxeitalter und Gegenwart*, No. 55, pp.149-173.
- 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*, Vol. 113, pp. 5–162.
- 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*, Vol. 113, pp. 5–162.
- Liu, T.S., 1987, *Aspects of Loess Research*, *China Ocean Press, Beijing*, pp. 447.
- Liu, T.S., Rolph, J., Bloemendal, J., Shaw J., and Liu, T.S., (1985). "Loess and Environment". *China Ocean Press, Beijing*, pp. 1–215
- Liu, W., Zhang, L., 2013. *Chemical magnetization in Chinese loess*, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 218; 14–18.
- Maher B.A. and Thompson R., 1995. *Paleorainfall reconstructions from pedogenic magnetic susceptibility variations in the Chinese loess and paleosols*. *Quaternary Research*, Vol. 44, pp. 383–391.

- Maher, B.A., 2011. *The magnetic properties of Quaternary aeolian dusts and sediments, and their palaeoclimatic significance. Aeolian Research, Vol. 3, pp. 87–145.*
- McLennan, S.M., 2001. *Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 2, 24, 2000GC000109.*
- Mehdipour, F, 2012, *Investigation of paleoclimate in late quaternary western alborz using of technical applied and magnetism parameters, Geology and Mineral Exploration, master science thesis.*
- Muhs, D.R., and Bettis, E.A., (2000). "Geochemical Variations in Peoria Loess of Western Iowa Indicate Paleowinds of Midcontinental North America during Last Glaciation". *Quaternary Research, Vol. 53, pp. 49–61*
- Nabavi, Mehdi, 1976, *Introduction geology of Iran, pp1-109.*
- Okhravi, R. Amini, A., 2001, *Characteristics and Provenance of the Loess Deposits of the Gharatikan Watershed in Northeast Iran, Global and Planetary Change, No. 28, pp.11-22.*
- Pashaei, A., 1996, *Study of Chemical and Physical and Origin of Loess Deposits in Gorgan and Dasht Area, Earth Science, 23/24, pp. 67-78.*
- Pettijohn, F.J., (1957). "Sedimentary rocks". *Harper–Broth, New York, pp. 1–78*
- Smykatz–Kloss W., and Roy, P.D., 2010. *Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 62, No. 3, pp. 380–390.*
- Pécsi, M., 1990, *Loess is not Just the Accumulation of Dust, Quaternary International, No.7/8, pp.1-12.*
- Stocklin, J., 1968. *Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 52, No. 7, pp. 1229-1258.*
- Spassov, S., 2002. "Loess Magnetism, Environment and Climate Change on the Chinese Loess Plateau". *Doctoral Thesis, ETH Zürich, pp. 1–151*
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., McCulloch, M.T., 1983. *Geochemistry of loess, continental crustal composition and crustal model ages. Geochimica et Cosmochimica Acta 47, 1897–1905.*
- Zander, A., Frechen, M., Zykina, V., Boenigk, W., 2003. *Luminescence chronology of the Upper Pleistocene loess record at Kurtak in Middle Siberia. Quaternary Science Reviews 22, 999–1010.*
- Zech, M., Zech, R., Zech, W., Glaser, B., Brodowski, S., Amelung, W., 2008. *Characterisation and palaeoclimate of a loess-like permafrost palaeosol sequence in NE Siberia, Geoderma 143; 281–295.*
- Ziyae, A, Pashaei, A, Khormali, F and Roshani, M.R, 2013, *Some physico-chemical, clay mineralogical and micromorphological characteristics of loess-paleosols sequences indicators of climate change in south of Gorgan, Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 20(1).*