پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶ ، تابستان ۱۳۹۰
صص. ۲۰-۱

لس: ویژگی‌ها و کاربردها برای مطالعات اقلیم گذشته

علیرضا کریمی* ـ استادیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
حسین خادمی ـ استاد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
احمد جلالیان ـ استاد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۲/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۴/۲۷

چکیده

مطالعات مستند لس، قدمت ۱۸۵ ساله دارد. بادرفتی‌بودن و غالب‌بودن جزء سیلت، دو ویژگی اصلی رسوبات لسی است. لئونارد در سال ۱۸۲٤ این رسوبات را شناسایی و واژه‌ی لس را برای آنها ارائه کرد. لایل در سال ۱۸۳۳ با گزارش‌های خود، توجّه جهانی را به این رسوبات جلب کرد. تعیین ماهیّت (بادرفتی، آبرفتی یا تشکیل درجا) و تعیین و تبیین فرآیندهای تولید سیلت، دو موضوع مهم پژوهش‌ها در این دوره بوده‌اند. برگ (۱۹۱٦) به‌شدّت طرفدار تشکیل درجای لس بود، ولی ریکتوفن، خیلی پیش‌تر از او، در سال ۱۸۸۲، ماهیت بادرفتی رسوبات لسی را اثبات کرده بود. تاتکوفسکی در سال ۱۸۹۹، بر اساس رابطه نزدیک پهنه‌های بزرگ لسی با نواحی یخچالی، نقش یخچال‌ها را در تولید سیلت مطرح کرد و حتّی تا دهه‌ی اخیر، برخی پژوهشگران مانند اسمالی با آن موافق بوده و سایش یخچالی را تنها عامل دارای انرژی کافی برای تولید سیلت کوارتزی می‌دانستند. ابرشو در ابتدای قرن بیستم (۱۹۱۱)، لس را به دو دسته‌ی لس سرد و لس داغ یا بیابانی، تقسیم و به عواملی غیر از سایش یخچالی برای تولید سیلت اشاره کرد. در حال حاضر بر اساس منشأ سیلت، رسوبات لسی به چهار دسته‌ی لس یخچالی یا حاشیه‌ی یخچالی، لس بیابانی یا حاشیه‌ی بیابانی، لس کوهستانی یا حاشیه‌ی کوهستانی و لس غیر تیپیک تقسیم شده‌اند. جنبه‌ی دیگر مطالعات لسی بر اساس مشاهده‌های اولیه هارد کاستل در سال ۱۸۹۰ بود که تشکیل لس را به تغییرات اقلیمی ربط داد. نتیجه‌ی مطالعات فراوان تا به امروز، نشان داده است که رسوب لس و تشکیل خاک، به‌ترتیب در دوره‌های سرد یخچالی و گرم بین‌یخچالی انجام شده است. در ایران پهنه‌های گسترده‌ی لس در شمال کشور وجود دارد. در دهه‌ی اخیر، مطالعات گسترده‌ای درباره‌ی جنبه‌های مختلف رسوبات لسی در قسمت‌های مختلف ایران انجام شده است؛ با این حال، هنوز نیاز به بررسی‌های بیشتر احساس می‌شود. در این نوشتار، پژوهش‌هایی که در دنیا درباره‌ی لس‌ها انجام‌شده مورد بررسی قرار گرفته و تاریخچه‌ی مطالعات لس در ایران تشریح می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: لس، سیلت، خاک قدیمی، اقلیم گذشته، مراحل ایزوتوپ دریایی.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۱۰۹۴۸۹۱
E-mail: karimi-a@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

رسوبات لسی به‌دلیل قابلیّت بالا برای کشاورزی و حساسیت به فرسایش از یک‌سو و ذخیره‌کردن تغییرات اقلیمی از سوی دیگر، مورد توجّه قرار می‌گیرند. افرادی که در خاک‌های لسی مشغول به کشاورزی هستند، ممکن است از نام لس نیز آگاهی نداشته باشند، ولی می‌دانند خاک‌های حاصلخیزی را در اختیار دارند که عملیات خاک‌ورزی در آنها به‌خوبی انجام می‌شود و در صورت مدیریت نامناسب به‌راحتی توسط باران‌های تند شسته می‌شوند. یک خاک‌شناس با آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های لسی و قابلیت‌ها و محدودیت‌های آنها، سعی در استفاده‌ی بهتر و جلوگیری از تخریب آنها دارد. یک پژوهشگر در زمینه‌ی ژئومورفولوژی، لس را برای تعیین چگونگی تغییر و تحول لندفرم‌ها و تغییرات اقلیم گذشته مناسب می‌داند.

خاک‌های لسی از نظر آب قابل استفاده و تهویه، به‌دلیل داشتن سیلت فراوان و تخلخل مناسب، از شرایط مطلوبی برخوردار هستند. همچنین، خاک‌های لسی، محیط مناسبی برای نفوذ ریشه بوده و عملیات خاک‌ورزی در آنها به‌راحتی انجام می‌گیرد (کات، ۲۰۰۱). وجود کانی‌های میکایی در بخش سیلت و رس، پتاسیم کافی را در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (منگل و همکاران، ۱۹۹۸). از سوی دیگر، سیلت فراوان و رس کم، باعث می‌شوند که خاک‌های لسی درصورت مدیریت نامناسب، حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش باشند. میزان فرسایش در فلات لس چین، در برخی موارد تا ۱۰۰ تن در هکتار در سال می‌رسد (چن و همکاران، ۲۰۰۳).

تجمع رسوبات لسی، یکی از مهم‌ترین پی‌آمدهای تغییرات اقلیمی کواترنر است. مطالعات نشان داده که رسوب لس و تشکیل خاک به‌ترتیب با دوره‌های سردوگرم کواترنر همبستگی داشته و به‌همین دلیل یکی از مهم‌ترین بایگانی‌های تغییر اقلیم در خشکی‌ها است. از این قابلیت رسوبات لسی، برای بازسازی تغییرات اقلیمی کواترنر و تغییر و تحول لندفرم‌ها به فراوانی استفاده می‌شود.

یکی از مراحل انجام یک پژوهش موفّق در هر زمینه، آگاهی از تاریخچه و سیر پیشرفت جنبه‌های علمی آن است. در دنیا پژوهش‌های فراوانی درباره‌ی لس انجام شده است. در ایران نیز، پهنه‌های گسترده‌ای از رسوبات لسی در شمال ایران و امکان وجود لس در سایر نقاط ایران، فرصت مناسبی را برای مطالعه‌ی جنبه‌های گوناگون این رسوبات فراهم آورده است. آگاهی از سیر تاریخی مطالعات لس و جنبه‌های گوناگون آن، پایه‌ی محکمی برای پژوهش‌های مفید خواهد بود. به امید آن که اطلاعات ارائه‌شده در این مقاله، مورد استفاده‌ی علاقه‌مندان به پژوهش در زمینه‌ی رسوبات لسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مطالعات مربوط به لس را می‌توان از جنبه‌های گوناگون مورد بررسی قرار داد. در این مقاله، پژوهش‌های انجام‌شده در طی ۱۸۵ سال مطالعه‌ی لس در پنج زمینه‌ی گوناگون بررسی شد. پنج زمینه‌ی گفته‌شده شامل، تعریف لس و تبیین ویژگی‌های آن، تاریخچه‌ی مطالعات لس در دنیا، فرآیندهای تشکیل سیلت، اهمّیّت استفاده از رسوبات لسی در مطالعات اقلیم گذشته و مطالعات انجام‌شده لس در ایران است. منابع اصلی و مهم هر کدام از این موارد تا حد امکان جمع‌آوری و بررسی شد.

Archive of SID

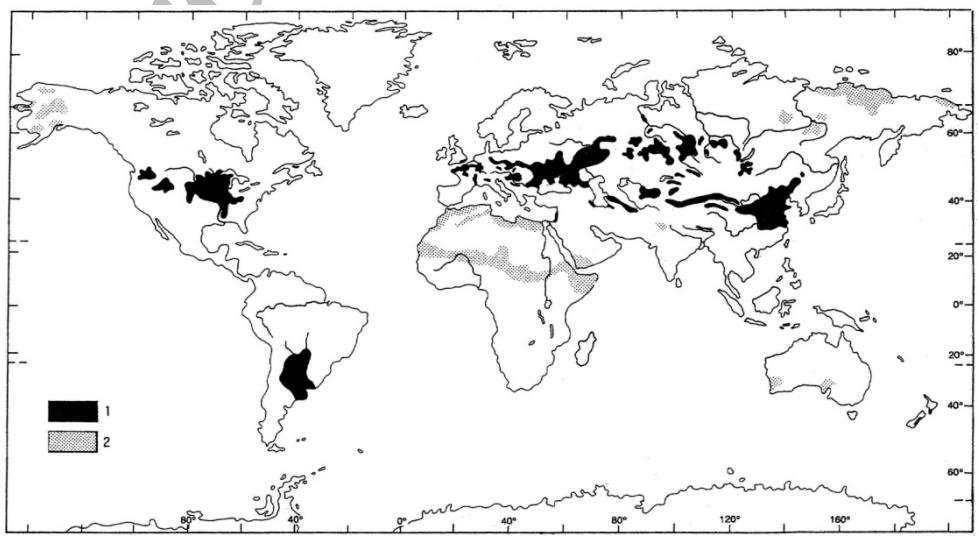
www.SID.ir

یافته‌ها

پس از بررسی منابع اصلی و مهم طی ۱۸۵ سال مطالعات لس، نتایج حاصل در پنج بخش ارائه شده است. در بخش اول، تعاریف گوناگون لس بررسی و سپس تعریف عمومی و مورد قبول پژوهشگران آورده شده است. همچنین دو ویژگی مهم توزیع اندازه‌ی ذرّات و کانی‌شناسی رسوبات لسی مورد بحث قرار گرفته است. در بخش دوم، تاریخچه‌ی مطالعات لس در دنیا، شامل شناسایی و معرّفی لس، نظرهای مختلف درباره‌ی ماهیّت بادرفتی یا تشکیل درجای رسوبات لسی و انواع گوناگون این رسوبات به‌تفصیل بیان شده است. در بخش سوم، به علت وجود حجم بسیار زیاد سیلت و فرآیندهای تشکیل آن پرداخته شده است. این موضوع یکی از مهم‌ترین موارد بحث‌انگیز و مورد مجادله از ابتدای مطالعات لس تا کنون بوده است. موضوع بحث بخش چهارم، رابطه‌ی رسوب لس و تشکیل خاک در رسوبات لسی با تغییرات اقلیمی و استفاده از آنها برای بازسازی تغییرات اقلیمی است. در آخر، مطالعات انجام‌شده، درباره‌ی رسوبات لسی در ایران به‌صورت خلاصه بررسی شده است.

تعریف لس

کلمه‌ی لس،[1] از لغت آلمانی Lös به‌معنی شل گرفته شده است. لئونارد برای اوّلین‌بار، در سال ۱۸۲۴، از این کلمه برای توصیف رسوبات شکننده و سیلتی منطقه‌ی هارلاس، در طول رودخانه‌ی راین، در نزدیکی هایدلبرگ استفاده کرد (کرچن‌هایمر، ۱۹۶۹). سپس لایل در سال ۱۸۳۳، با گزارش این رسوبات از آلمان و دیگر نقاط، توجّه جهانی را به این رسوبات جلب کرد (لایل، ۱۸۳۳). از آن تاریخ تا کنون، پژوهش‌های فراوانی در مورد جنبه‌های گوناگون این رسوبات در دنیا انجام شده است. رسوبات لسی حدود ۱۰ درصد از سطح زمین را پوشش داده و بیشتر در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۶۰ درجه‌ی نیمکره‌ی شمالی، موسوم به کمربند لس قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱. پراکنش رسوبات لس و شبه‌لس در دنیا، ۱) لس و شبه‌لس، ۲) مشتقات لس و شبه‌لس (پای، ۱۹۹۵)

1. Loose

Archive of SID

www.SID.ir

با گذشت سالیان متمادی، هنوز تعریفی کامل و مورد قبول همگان از لس وجود ندارد (رایت، ۲۰۰۱). پیچی (۱۹۹۰)، معتقد است که لس، تنها تجمع رسوبات بادرفتی نبوده و با ذکر ۱۰ ویژگی، لس تیپیک را این‌گونه تعریف می‌کند: "لس، رسوبات شل با چیرگی سیلت درشت، بدون لایه‌بندی، متخلخل، نفوذپذیر، پایدار در شیب‌های بالا، حسّاس به فرسایش آبی، با رنگ زرد پریده به‌دلیل وجود ذرّات ریز لیمونیت، کوارتز به‌عنوان جزء اصلی تشکیل‌دهنده، ۵ تا ۲۰ درصد رس و ۱ تا ۲۰ درصد کربنات است." تعریفی که توسط پیچی ارائه‌شده، سخت‌گیرانه بوده و بسیاری از رسوبات لسی در این تعریف قرار نمی‌گیرند. اسمالی و ویتافینزی (۱۹۶۸)، به‌صورت ساده‌تر، لس را این‌گونه تعریف کردند: "رسوباتی آواری[1] هستند که از لایه‌های نهشته‌شده به‌وسیله‌ی باد که بیشتر از کوارتز با قطر ۲۰ تا ۵۰ میکرون تشکیل شده‌اند." به عقیده‌ی پای (۱۹۹۵)، نیازی به تعاریف نسخه‌ای برای لس نیست و لس با ویژگی‌های متفاوت از نظر ضخامت، اندازه‌ی ذرّات، رنگ، کانی‌شناسی، ترکیب ژئوشیمیایی و مورفولوژی در نقاط مختلف دنیا دیده می‌شود. لس به‌صورت ساده و مورد پذیرش بیشتر پژوهشگران، عبارت است از "رسوبات آواری قاره‌ای که از تجمع رسوبات بادرفتی در اندازه سیلت تشکیل شده‌اند".

توزیع اندازه‌ی ذرّات لس

توزیع اندازه‌ی ذرّات، مهم‌ترین ویژگی رسوبات لسی بوده و اوّلین ویژگی مورد بررسی در مطالعات لس است (پیچی،۱۹۹۰). اگرچه باور عمومی بر این است که در رسوبات لسی، سیلت غالب بوده و نمای توزیع اندازه‌ی ذرّات حدود ۳۰ میکرون است، ولی در دنیا رسوبات لسی از نظر توزیع اندازه‌ی ذرّات، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای دارند (پای، ۱۹۹۵). رسوبات لسی، معمولاً، بیش از ۵۰ درصد سیلت دارند، ولی درصد شن و رس آنها متفاوت است. میزان شن در رسوبات لسی نبراسکا تا ۴۰ درصد رسیده و میانه‌ی اندازه‌ی ذرّات ۶۵–۵۰ میکرون است. میانه و نمای توزیع اندازه‌ی ذرّات رسوبات لسی جنوب‌شرقی و حاشیه‌ی شرقی فلات لسی چین و تاجیکستان، به‌ترتیب ۱۶–۸ و ۲۰–۱۰ میکرون است (دربی‌شایر، ۱۹۸۳a و گودیه و همکاران، ۱۹۸۴). سنایی و همکاران (۲۰۰۶)، قطر میانه و قطر متوسّط رسوبات لسی منطقه‌ی قپان و درّه‌ی ناهارخوران استان گلستان را به‌ترتیب،۱۱–۴ میکرون و ۸–۳ میکرون گزارش کردند. میانگین اندازه‌ی ذرّات رسوبات لسی حوزه‌ی آبخیز قره‌تیکان در شمال‌شرق ایران، ۴۵ میکرون بوده و ۵۰–۳۵ درصد ذرّات در محدوده‌ی ۵۰–۳۰ میکرون قرار می‌گیرند (اخروی و امینی، ۲۰۰۳). سیلت درشت، جزء غالب رسوبات لسی جنوب مشهد را تشکیل می‌دهد (کریمی و همکاران، ۲۰۰۹). پای (۱۹۸۷) پیشنهاد کرد که لس‌های دارای بیش از ۲۰ درصد شن یا رس به‌ترتیب، "لس شنی" یا "لس رسی" نامیده شوند.

کانی‌شناسی رسوبات لسی

پیچی (۱۹۹۰)، ترکیب کانی‌شناسی اجزای مختلف لس‌ها را این‌گونه بیان کرد. در بخش شن، کوارتز غالب بوده و در بخش سیلت، کانی‌های کوارتز (۵۰–۳۰ درصد)، انواع فلدسپارها (۲۰–۵ درصد)، کربنات‌ها (۲۵–۲ درصد)، میکا و کلریت

1. Clastic

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۰-۴ درصد) و کانی‌های سنگین (۶-۱ درصد) وجود دارند. در بخش رس درشت و متوسط (۲-۰/۲ میکرون)، ایلیت مهم‌ترین کانی و در بخش رس ریز (کمتر از ۰/۲ میکرون)، اسمکتیت‌ها غالب هستند. با این‌حال، کانی‌شناسی لس‌ها در نقاط مختلف دنیا و حتی در قسمت‌های مختلف یک منطقه متفاوت است (پیچی،۱۹۹۰). در حاشیه‌ی نیمه‌خشک فلات لسی چین، ترکیب لس از ۳۴/۸ درصد کوارتز، ۱۵/۳ درصد پلاژیوکلاز، ۵ درصد فلدسپار پتاسیم، ۲۵/۱ درصد فیلوسیلیکات‌ها، ۱۱/۷ درصد کلسیت، ۳/۳ درصد دولومیت و ۱/۹ درصد آمفیبول تشکیل شده است (جئونگ و همکاران، ۲۰۰۸). لس‌های آرژانتین از خاکسترهای آتشفشانی منشأ گرفته و دارای مقدار زیادی شیشه و فلدسپار هستند. لس‌های اطراف رودخانه‌ی راین در آلمان و می‌سی‌سی‌پی در آمریکا تا ۳۰ درصد کانی‌های کربناتی دارند (پای، ۱۹۹۵). گچ و انیدریت، بخش غالب رسوبات لسی شمال اسپانیا را تشکیل می‌دهند که از سازندهای گچی دوران سوم منشأ می‌گیرند (ایریوندو و کروهلینگ، ۲۰۰۷). رسوبات لسی حوزه‌ی آبخیز قره‌تیکان، به‌طور میانگین دارای ۵۵ درصد کوارتز، ۱۵ درصد کربنات کلسیم، ۱۸ درصد فلدسپار، ۱۰ درصد کانی‌های رسی و ۲ درصد کانی‌های سنگین هستند (اخروی و امینی، ۲۰۰۱).

کانی‌شناسی بخش رسِ رسوبات لسی، متأثر از منشأ لس و فرآیندهای خاک‌سازی است. در مقطع لسی لائوهوشان در شرق چین، به‌ترتیب کانی‌های ایلیت، ورمیکولیت و کائولینیت (لی و همکاران، ۲۰۰۷) و در حاشیه‌ی نیمه‌خشک فلات لسی چین، ایلیت و کانی بین لایه‌ای ایلیت ـ اسمکتیت، کانی‌های اصلی بخش رس را تشکیل می‌دهند (جئونگ و همکاران، ۲۰۰۸). کانی‌های رسی خاک‌های لسی شمال فرانسه، شامل میکا، کائولینیت، ورمیکولیت و کلریت است (جاماگن و همکاران، ۱۹۸۴). کانی‌شناسی رسی رسوبات لسی آرژانتین به مقدار خاکسترهای آتشفشانی بستگی دارد. در لس‌های با مقدار زیاد خاکستر، کانی‌های بی‌شکل و مقدار کمی اسمکتیت با تبلور کم، غالب بوده و با کاهش مقدار خاکستر، مقدار ایلیت افزایش می‌یابد (هپر و همکاران، ۲۰۰۶). در حوزه‌ی آبخیز قره‌تیکان، کانی‌های کلریت (۴۰-۳۵ درصد)، اسمکتیت (۴۰-۲۵ درصد)، وکانی‌های بین‌لایه‌ای کلریت ـ ورمیکولیت و کلریت ـ اسمکتیت (۶۰-۴۰ درصد) بخش رس را تشکیل می‌دهند (اخروی و امینی، ۲۰۰۱). الماسی (۲۰۰۴)، کانی‌های رسی چند توالی لس ـ خاک قدیمی در منطقه‌ی قپان استان گلستان را مطالعه کرد. در لس‌های بدون تحول، کانی‌های ایلایت و کلریت غالب بودند درحالی‌که، در خاک‌های قدیمی، مقدار دو کانی گفته‌شده کاهش پیدا کرده و بر مقدار اسمکتیت افزوده شده است. امینی و همکاران (۲۰۰۹)، با مطالعه‌ی کانی‌شناسی رسوبات لسیِ دو منطقه هوتن (با رژیم رطوبتی اریدیک) و گرگان (با رژیم رطوبتی زریک) از استان گلستان، نشان دادند که ایلیت و کلریت در هر دو منطقه غالب هستند. در منطقه‌ی گرگان به‌دلیل شرایط مناسب‌تر هوادیدگی، کانی‌های اسمکتیت تغییر شکل یافته از ایلیت نیز، مشاهده شد. قرقره‌چی و خرمالی (۲۰۰۸)، اثر تراز آب زیرزمینی و نوع کاربری را بر روی منشأ و توزیع کانی‌های رسی در خاک‌های لسی جنوب‌غرب استان گلستان بررسی کردند. در تمامی خاک‌های مورد مطالعه کانی‌های ایلیت، اسمکتیت و کائولینیت مشاهده شد. عامل اصلی اسیدیته، زهکشی و میزان آب‌شویی، تغییرات کانی‌های اسمکتیت در این منطقه بوده، درحالی‌که، کائولینیت، منشأ مواد مادری داشته و عوامل گفته‌شده بر مقدار آن تأثیر نداشته است. در رسوبات لسی جنوب مشهد، ایلایت، اسمکتیت و پالی‌گروسگیت کانیِ غالبِ بخشِ رس و کوارتز و گچ، کانیِ غالبِ بخشِ سیلت و شن را تشکیل می‌دهند. در این رسوبات اثری از کائولینیت مشاهده نشد (کریمی و همکاران، ۲۰۰۹).

Archive of SID

www.SID.ir

تاریخچه‌ی مطالعات لس در دنیا

بر اساس تعاریف ارائه‌شده در بخش قبلی، دو ویژگی اصلی لس، بادرفتی‌بودن این رسوبات و چیره‌بودن جزء سیلت در آنها است. بخش قابل‌توجّهی از سابقه‌ی ۱۸۵ ساله‌ی مطالعات مستند لس، مربوط به پژوهش در مورد تعیین ماهیّت (بادرفتی، آبرفتی یا تشکیل درجا) و تعیین و تبیین فرآیندهای تولید حجم زیاد سیلت در این رسوب‌ها است.

پس از این‌که لئونارد لس را شناسایی (کرچن‌هایمر، ۱۹۶۹) و لایل (۱۸۳۳) آن را به جهان علم معرفی کرد، اوّلین تفسیر در مورد چگونگی تشکیل لس توسط لایل ارائه شد. لایل پس از گزارش لس در اطراف رودخانه‌ی راین و مشاهده‌ی این رسوبات در امتداد رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی در شمال آمریکا، بر اساس تشابه ژئومورفیکی محل قرارگرفتن این رسوبات، احتمال منشأ آبرفتی را برای آنها ارائه کرد (پای، ۱۹۹۵). منشأ بادرفتی رسوبات لسی، در سال ۱۸۸۲ ثابت شد (ریکتوفن، ۱۸۸۲). البته، بر اساس مدارک موجود در چین، اطلاع از ارتباط بین گردوغبار بادآورده[1] و لس که در زبان محلی به آن هوآنگ‌تو[2] می‌گفتند به بیش از ۲۰۰۰ سال قبل برمی‌گردد (لیو، ۱۹۸۷). همچنین پای (۱۹۹۵) با اشاره به مشاهده‌های دبسن و داروین، به اهمّیّت انتقال گردوغبار از آفریقا بر فراز اقیانوس اطلس و اروپا پرداخت که تا زمان مطالعات مستند لس، مورد توجّه جهانی قرار نگرفتند.

پس از ریکتوفن، نقش باد در تشکیل لس، توسط ابرشو (۱۹۱۱) مورد تأکید قرار گرفت. ابرشو، عضو آکادمی علوم شوروی سابق و پایه‌گذار مطالعات مدرن لس است. او با بیش از نیم قرن مطالعه‌ی لس در منطقه‌ی اوراسیا، یک تئوری منطقی و سیستماتیک را ارائه کرد (فدروویچ، ۱۹۷۲). او لس اولیه و ثانویه را که در اثر رسوب‌گذاری مجدد ایجادشده است را نیز تعریف کرد (ابرشو، ۱۹۴۵). درحالی‌که، در غرب پس از اعلام نظر ریکتوفن، فرضیه‌ی بادرفتی بودن لس‌ها مورد پذیرش قرار گرفته بود و ابرشو نیز آن را تأیید می‌کرد، ولی این مسئله، دهه‌های متمادی در قرن بیستم مورد بحث پژوهشگران به‌ویژه در روسیه بود. در همین راستا، برگ (۱۹۱۶ و ۱۹۶۴)، تئوری هوادیدگی درجا و تشکیل خاک روی سنگ‌های کربناتی در اقلیم خشک را مسئول تشکیل لس بیان کرد. این تئوری با تأیید پژوهشگران فعّال در دشت‌های استپی که از شرایط بیابانی اطلاعی نداشتند مواجه شد (فدروویچ، ۱۹۷۲). عقیده‌ی مشابه توسّط راسل (۱۹۴۴)، با عنوان فرآیند لسیفیکیشن[3] برای توضیح وجود لس در اطراف رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی ارائه شد. عده‌ای دیگر با دیدن رسوبات لسی وسیع و پراکنده در دامنه‌ی تپّه‌ها و کوه‌های آسیای مرکزی و وجود فعّالیّت شدید فرسایش آبی در این مناطق، فرضیه‌ی آبرفتی بودن لس‌ها را مطرح کردند. آنها معتقد بودند که سیلت پس از تولید در کوهستان‌ها، به‌سمت پایین حرکت کرده و سپس فرآیندهای ژئومورفیک و خاک‌سازی با یکدیگر سبب تشکیل لس می‌شوند (فدروویچ، ۱۹۷۲).

اگرچه افرادی مانند لوزک (۱۹۶۵) و پیچی (۱۹۹۰)، یک‌سری از فرآیندهای خاک‌سازی بر روی رسوبات بادرفتی را سبب تشکیل لس می‌دانستند و بر این باور بودند که لس تنها تجمع رسوبات بادرفتی نبوده و فرآیندهای دیگری پس از رسوب‌گذاری برای تشکیل لس لازم است؛ ولی در حال حاضر، ماهیّت بادرفتی بودن ذرّات در درجه‌ی اول و سپس

1. Wind-blown dust
2. Huangtu
3. Loessification

Archive of SID

www.SID.ir

چیرگی سیلت دو ویژگی مهم رسوبات لسی هستند که مورد پذیرش همگان است.

مسئله‌ی دیگری که از ابتدای مطالعات لس تا کنون مورد گفتمان بوده، توجیه حجم زیاد سیلت و تشریح چگونگی تشکیل آن است. ارتباط لس با یخچال‌ها، ابتدا توسط تاتکوفسکی (۱۸۹۹) مورد توجّه قرار گرفت و این سؤال را مطرح کرد که چرا پهنه‌های لس و یخچال‌ها با هم در ارتباط هستند؟ ارتباط نزدیک لس‌های امروزی با مناطق یخچالی، باعث این تصور شده بود که سایش یخچالی،[1] تنها فرآیندی است که انرژی کافی برای خردکردن ذرّات درشت کوارتز و تولید سیلت را دارد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۲). پژوهشگرانی مانند اسمیت و نورتون (۱۹۳۵)، بولتون (۱۹۷۸)، اسمالی و کرینزلی (۱۹۷۸) و اسمالی (۱۹۶۶) نیز، این نظر را ابراز کرده و به‌شدّت طرف‌دار آن بودند. نظر عمومی این بود که سیلت توسط سایش یخچالی ایجاد شده و پس از انتقال توسط فعّالیّت‌های آبرفتی ـ یخچالی توسط باد، به مناطق پایین‌تر منتقل و سبب تشکیل لس می‌شود. این‌گونه لس‌ها، به‌اسامی گوناگونی مانند لس‌های یخچالی، لس‌های ورقه‌ی یخی یا لس‌های حاشیه‌ی یخچالی[2] نامیده شده‌اند (پای، ۱۹۹۵).

برخی از پژوهشگران به وجود لس در بیابان‌ها و حاشیه بیابان‌ها معتقد بودند (ابرشو، ۱۹۱۱ و مک‌تینش، ۱۹۸۷) ولی این باور همواره مورد تردید بوده و اثبات وجود این نوع لس، زمان زیادی طول کشید. پنک (۱۹۰۹) به نبود لس در اطراف صحرا اشاره کرده و بی‌پروا نتیجه‌گیری کرد که در بیابان‌ها امکان تشکیل لس وجود ندارد. ابرشو (۱۹۱۱)، اوّلین فردی بود که ایده‌ی لس داغ[3] یا لس بیابانی[4] را مطرح کرد؛ ولی باتلر (۱۹۵۶) نیز بر اساس مشاهده‌های خود عنوان کرد که در بیابان‌های اطراف استرالیا لس دیده نشد. اسمالی و ویتافینزی (۱۹۶۸) با تکیّه بر گفته‌های پنک و باتلر، نبود لس در بیابان‌ها را تأیید کرده و دلیل آن را نبود فرآیندهای دارای انرژی کافی برای تخریب کوارتز و تولید سیلت بیان کرد. ولی به مرور زمان و افزایش پژوهش‌ها در مناطق خشک، وجود لس در بیابان‌ها نیز تأیید شد. رسوبات بادرفتی حاشیه‌ی بیابان صحرای نِقِب در فلسطین، اوّلین لس‌هایی بودند که به‌نام لس بیابانی شناخته شدند (یالون، ۱۹۷۴)؛ پس از آن لس در دیگر مناطق خشک دنیا مانند نیجریه (مک‌تینش، ۱۹۸۷) گزارش شد. با این‌حال، اسمالی و کرینزلی (۱۹۷۸) و اسمالی (۱۹۹۵) مدعی شدند که صحرا خیلی گسترده است ولی پراکنش و ضخامت لس در آن کم بوده و لس بیابانی اهمّیّت زیادی ندارد. نکته‌ی جالب‌توجّه این‌که، درحالی‌که تا دهه‌های اخیر پژوهشگران در غرب طرف‌دار نظریه‌ی لس‌های یخچالی و مخالف لس بیابانی بودند، ابرشو (۱۹۴۵)، مدّت‌ها قبل لس‌ها را به دو دسته‌ی لس سرد[5] و داغ تقسیم کرده بود. به‌عبارتی تیزبینی او و تفکیک لس به سرد و داغ او را از لحاظ فکری پیش‌تر از زمان خودش قرار می‌داد.

دلیل عدم وجود پهنه‌های گسترده‌ی لس در آفریقا، احتمالاً به‌دلیل نبود توپوگرافی مناسب برای به‌دام‌انداختن رسوبات سیلتی است، همچنین تغییرات اقلیمی شدید و کوتاه‌مدت، شرایط مناسب برای حفظ این رسوبات را فراهم نمی‌کند (مک‌تینش و واکر، ۱۹۸۲). مک‌تی‌نش (۱۹۸۷) دلایل نبود لس تیپیک در صحرا را نبود پوشش گیاهی مناسب و

1. Glacial grinding
2. Glacial loess, Ice sheet loess, Periglacial loess
3. Hot loess
4. Desert loess
5. Cold loess

Archive of SID

www.SID.ir

وجود تغییرات سریع اقلیمی و حفظنشدن لس بیان می‌کند. این نکته را باید در نظر داشت که بسیاری از بیابان‌های آفریقا در حاشیه‌ی دریا واقع‌شده و گردوغبارهای خارج‌شده از آنها وارد دریا می‌شوند. رسوبات در حد سیلت در اقیانوس اطلس در محدوده‌ای به وسعت ۱۰۰ کیلومتر در غرب صحرا و گردوغبار برخاسته از آفریقا در دریای کارائیب شناسایی شده است (شوتز و همکاران، ۱۹۸۱).

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، بسیاری از افراد بر این باور بودند که سایش یخچالی عامل منحصربه‌فردی برای تولید سیلت است و عدم وجود پهنه‌های وسیع لس را در بیابان، به‌دلیل نبود فرآیندهای دارای انرژی لازم برای تولید سیلت تصوّر می‌کردند. در مقابل ناهون و ترومپت (۱۹۸۲)، عامل سایش یخچالی را برای تولید سیلت کم‌اهمّیّت اعلام کردند. آنها بیان می‌کنند که یخچال‌ها از نظر زمانی و مکانی به‌اندازه‌ای محدود هستند که نمی‌تواند وجود مقادیر عظیم سیلت را توجیه کند. بررسی‌های اخیر هم تأثیر کمِ عمل یخچالی را برای تولید سیلت نشان داده است (رایت، ۱۹۹۵). ایریوندو (۲۰۰۷) نیز به‌شدّت مخالف اهمّیّت سایش یخچالی به‌عنوان عامل منحصربه‌فرد برای سیلت بوده و ابراز می‌کند که دوران یخچالی تنها ۵ درصد زمان ژئولوژیک را تشکیل می‌دهند، درحالی‌که، رسوبات سیلتی در دنیا غالب هستند. لوتیت‌ها[1] ۷۰ تا ۸۳ درصد سنگ‌های رسوبی را تشکیل می‌دهند و ۵ تا ۷ درصد ماسه‌سنگ و بقیه سنگ آهک است (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۷۳). لوتیت، اصطلاح عمومی برای سنگ‌های رسوبی است که نتیجه‌ی فرسایش دیگر سنگ‌ها بوده و دارای سیلت زیاد هستند. در آرژانتین، نشانه‌ای از آثار یخچالی در لوتیت‌های ژوراسیک با ضخامت بیش از ۵۰۰۰ متر وجود ندارد (ایریوندو، ۱۹۹۹). بر این اساس، اهمّیّت یخچال‌ها و فرآیندهای آبرفتی ـ یخچالی در تولید آن نیست بلکه، بیشتر در حمل و انتقال سیلت است (ناهون و ترومپت، ۱۹۸۲ و پای، ۱۹۹۵).

گسترده‌ترین و ضخیم‌ترین رسوبات لسی دنیا در چین، داستانی متفاوت از لس بیابانی و حاشیه‌ی یخچالی دارد. بیشتر پژوهشگران انگلیسی، در ابتدا سایش یخچالی در کوهستان‌های جنوب فلات لسی چین را منبع تولید سیلت ذکر می‌کردند (اسمالی، ۱۹۶۶ و اسمالی و ویتافینزی، ۱۹۶۸). نظر ارائه‌شده در مورد لس چین، برای اوّلین‌بار توسط دربی‌شایر (۱۹۸۳b) پس از بیان محدودیّت یخچال پلئیستوسن در چین، تغییر پیدا کرد. او بر این باور بود که بیابان‌های شمال و غرب فلات لسی، منشأ برداشت سیلت هستند. اسمالی و کرینزلی (۱۹۷۸) بیان کردند که سیلت لس‌هایی مانند فلات لسی چین که در حاشیه‌ی کوهستان قرار دارند از کوهستان اطراف تأمین می‌شود. در این نواحی، پس از هوادیدگی سنگ‌ها در ارتفاعات، سیلت تولیدشده توسط جریان‌های آب، به نقاط پست‌تر منتقل می‌شود. به‌همین دلیل، برای لس‌هایی مانند لس‌های چین، اصطلاح لس‌های کوهستانی[2] استفاده شده است (اسمالی و دربی‌شایر، ۱۹۹۰). سان (۲۰۰۲) نیز بیان می‌کند که بیابان‌های اطراف چین فقط محل نگهداری سیلت بوده و فرآیندهای یخ‌هوادیدگی[3] و فعّالیّت‌های پرانرژی تکتونیکی در ارتفاعات، عامل تولید سیلت هستند.

نکته‌ای که نباید از نظر دور بماند وجود پهنه‌های سرشار از سیلت جریان‌های انتهایی رودخانه‌ها است که ممکن

1. Lutits
2. Mountain loess
3. Frost weathering

Archive of SID

www.SID.ir

است با رسوبات لسی اشتباه شود. دلتای سیلتی روخانه‌ی نیل، نمونه‌ای از این رسوبات است که سیلت، پس از تولید در ارتفاعات اتیوپی توسط جریان‌های رودخانه‌ای منتقل شده و در انتهای رودخانه، یعنی دلتای نیل رسوب می‌کند. البتّه شناسایی این‌گونه رسوبات با توجّه به محل قرارگرفتن آنها برای افراد باتجربه آسان است (اسالی و همکاران، ۱۹۹۸).

پس از انجام پژوهش‌های فراوان در دهه‌های گذشته، اکنون وجود سه نوع متفاوت لس شامل، لس یخچالی یا حاشیه‌ی یخچالی (مانند لس‌های اروپا و آمریکای شمالی)، لس بیابانی یا لس حاشیه‌ی بیابانی[1] (مانند لس‌های اطراف صحرا) و لس کوهستانی یا حاشیه‌ی کوهستانی (مانند لس‌های چین)، مورد قبول همگان است. به‌تازگی ایریوندو (۲۰۰۷) ضمن تأکید مجدّد بر کم‌اهمّیّت‌بودن سایش یخچالی در تولید سیلت، رسوبات لسی در آمریکای جنوبی را به‌نام لس‌های غیرتیپیک تشریح کرده و سرچشمه‌ی سیلت در این لس‌ها را به منابعی مانند خاکسترهای آتشفشانی ربط می‌دهد که با لس‌های شناخته‌شده متفاوت است.

فرآیندهای تولید سیلت

اوّلین مرحله تشکیل لس، تولید مادّه اصلی آن، یعنی سیلت است. بلیت (۱۹۸۷) تخمین زده است که 10^{23} دانه کوارتز سیلتی در رسوبات دنیا موجود بوده و ذرّات شن نیز در همین حدود برآورد شده است. اندازه‌ی شن کوارتزی، نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی دانه‌های کوارتز در سنگ‌های بلورین است که توسط مراحل ژئوشیمیایی سرد شدن ماگما کنترل می‌شود. بنابراین فرآیندهای ژئوشیمیایی، اندازه‌ی ذرّات شن را کنترل می‌کنند (موس، ۱۹۶۶ و اسمالی و همکاران، ۲۰۰۱) و احتمالاً فرآیندهای ویژه‌ای بر تولید سیلت مؤثّر هستند (اسالی و همکاران، ۱۹۹۸). اندازه‌ی متوسط کوارتز در سنگ‌های بلورین ۷۰۰ میکرون بوده و کوارتز یک کانی مقاوم است؛ بنابراین فرآیندهایی که باعث شکستن شن و تولید سیلت می‌شوند، مورد توجّه بسیاری از پژوهشگران بوده است؛ زیرا سیلت را نتیجه‌ی هوادیدگی و شکستن شن می‌دانند (وارن، ۱۹۹۶؛ رایت و همکاران، ۱۹۹۸؛ ایریوندو، ۱۹۹۹ و لیوینگستون و رایت، ۲۰۰۱).

در بخش قبلی اشاره شد که برخی محققان، سایش یخچالی را به‌عنوان تنها فرآیند دارای انرژی کافی برای خرد کردن کوارتز و تولید سیلت معرفی کردند، ولی یافته‌های بعدی، این فرآیند را کم‌اهمّیّت نشان داد. ازاین‌رو، این سؤال که چگونه کانی مقاوم کوارتز در اندازه‌ی سیلت شکسته می‌شود، هنوز مورد پژوهش بود. کوارتز، آخرین فاز ماگما است که سخت می‌شود. تَرَک‌هایی موسوم به تَرَک‌های موس[2] در بلورهای کوارتز درحین سرد شدن است و تبلور، به‌دلیل این‌که فضای کافی برای رشد ندارند، ایجاد می‌شود؛ درنتیجه، برخلاف تصوّرات قبلی، برای شکسته‌شدن ذرّات کوارتز و تولید سیلت، انرژی زیادی لازم نیست (ریزبوس و همکاران، ۱۹۷۴ و موس و گرین، ۱۹۷۵). از طرف دیگر شناسایی لس در بیابان‌ها و پی‌بردن به فرآیندهای تولید سیلت به‌غیراز سایش یخچالی، کار را تا بدان‌جا رساند که نتیجه‌گیری شد سایش یخچالی، عامل مهمی در تولید سیلت نیست (ناهون و ترومپت، ۱۹۸۲؛ رایت، ۲۰۰۱ و ایریوندو و کروهلینگ، ۲۰۰۷).

1. Peridesert loess
2. Moss defects

Archive of SID

www.SID.ir

مطالعات آزمایشگاهی نیز، اهمّیّت سایش یخچالی را در مقابل انواع هوادیدگی فیزیکی و شیمیایی ناچیز نشان داد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۲).

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، مهم‌ترین فرآیندهایی تولید سیلت عبارت‌اند از:

۱ – یخ‌هوادیدگی: این فرآیند هوادیدگی ابتدا توسط زونر (۱۹۴۹) پیشنهاد شد و پیوه (۱۹۵۱)، بروکیه (۱۹۷۲) و موس و همکاران (۱۹۸۱) نیز آن را تأیید کردند. این نوع فرآیند در عرض‌های جغرافیایی بالا و در ارتفاعات عرض‌های جغرافیایی پایین، مقادیر قابل‌توجّهی سیلت ایجاد می‌کند.

۲ – نمک‌هوادیدگی:[1] نمک‌ها در محیط‌های گوناگون در اثر گرم‌شدن، آب‌گیری و تبلور، فشار زیادی ایجاد کرده و باعث تخریب سنگ‌ها می‌شود (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۲). گودیه و همکاران (۱۹۸۴) و اسمیت و همکاران (۲۰۰۲)، به‌صورت آزمایشگاهی قابلیّت نمک‌هوادیدگی را برای تولید سیلت نشان دادند.

۳ – بادسایش:[2] نایت (۱۹۲۴) نشان داد که بادسایش، قادر به تولید ذرّات ریزتر از شن است. والی و همکاران (۱۹۸۲) و اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) طیِّ آزمایش‌هایی، تولید مقادیر قابل‌توجّه سیلت کوارتزی را در اثر عمل بادسایش نشان دادند.

۴ – فعّالیّت رودخانه‌ها:[3] با وجود بادرفتی بودن رسوبات لسی، رابطه نزدیکی میان سیستم‌های رودخانه‌ای و لس وجود دارد. در حال حاضر نقش اصلی محیط‌های رودخانه‌ای در انتقال و توزیع رسوبات در فرآیند تشکیل لس شناخته‌شده است (ناهون و ترومپت، ۱۹۸۲؛ اسمالی، ۱۹۹۵ و اسالی و همکاران، ۱۹۹۸). اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) معتقدند بیشتر ذرّات تشکیل‌دهنده‌ی لس، حداقل یک مرحله انتقال توسط آب را تجربه کرده‌اند ولی به نقش رودخانه‌ها در تولید سیلت توجّه کافی نشده است. آنها در آزمایشی نشان دادند که عمل رودخانه‌ها دارای انرژی کافی برای تولید سیلت است.

۵ – نیم‌رخ‌های هوادیده:[4] در نیم‌رخ‌های هوادیده، تغییرات شیمیایی و کانی‌شناختی سبب تولید سیلت می‌شوند. به‌عنوان مثال، هوادیدگی کانی‌های سیلیکاتی مانند بیوتیت در مجاورت کوارتز، سبب ایجاد فشار بر کوارتز شده و باعث شکسته‌شدن کوارتز از محل تَرَک‌های موس می‌شود (رایت، ۲۰۰۷).

۶ – هوادیدگی رسوبات دارای سیلت فراوان: یکی از منابع سیلت در دنیا، سنگ‌ها و رسوباتی مانند سنگ سیلت[5] است. هوادیدگی این سنگ‌ها باعث آزادشدن سیلت شده و درصورت فراهم‌بودن سایر شرایط، منبع مناسبی برای برداشت سیلت و تشکیل لس هستند (مک‌تینش، ۱۹۸۷). هوادیدگی سنگ سیلت، سنگ‌های دگرگونی ـ رسوبی و ماسه‌سنگ به‌عنوان یکی از منابع تأمین سیلت رسوبات لسی چاد شناسایی شدند (ناهون و ترومپت، ۱۹۸۲).

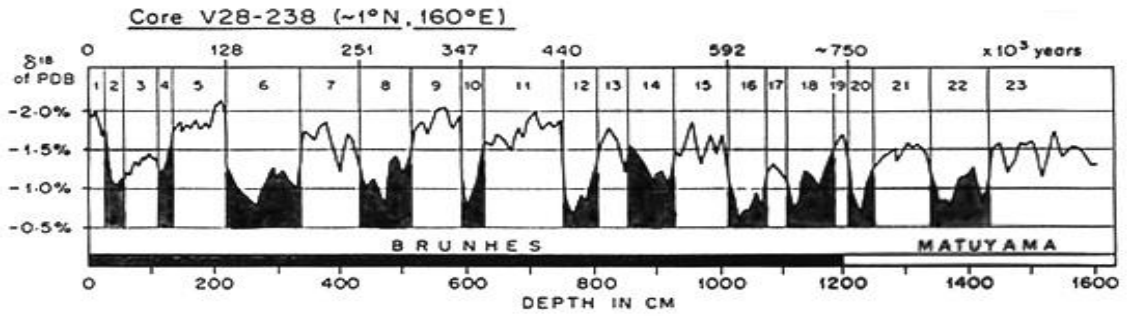
1. Salt weathering
2. Aeolian abrasion
3. Fluvial comminution
4. Weathering profile
5. Silt stone

Archive of SID

www.SID.ir

لس و اهمّیّت آن در مطالعات اقلیم گذشته

در دوره‌های سرد یخچالی، آب اقیانوس‌ها در توده‌های یخ انباشته‌شده و آب باقی‌مانده از لحاظ ایزوتوپ اکسیژن سنگین‌تر شده و در دوران بین‌یخچالی با ذوب شدن یخچال‌ها و افزایش آب دریاها، رخدادها برعکس می‌شود. با مطالعه‌ی ترکیب ایزوتوپی اکسیژن دریاها که از پوسته‌های آهکی موجودات کف آنها قابل بازیابی است، می‌توان دوره‌های سردوگرم را شناسایی کرد که به این دوره‌ها مراحل "ایزوتوپ دریایی" (MIS)[1] می‌گویند (شکلتون، ۱۹۷۷). تغییرات ایزوتوپی اکسیژن در طول دوران گذشته که از مطالعه‌ی مغزه‌های اقیانوسی به‌دست‌آمده، به‌صورت نمودارهایی نمایش داده می‌شود (شکل ۲). در این نمودارها، دوره‌های گرم با عدد فرد و دوره‌های سرد با عدد زوج مشخص می‌شوند. اوّلین مرحله‌ی ایزوتوپ دریایی MIS1 که از حدود ۱۲۰۰۰ سال قبل شروع شده، نشان‌دهنده‌ی دوره گرم یا بین‌یخچالی کنونی است. آخرین دوره‌ی بین‌یخچالی مربوط به MIS5 است که پس از آن، عصر یخبندان ورم[2] شروع شده و دما کاهش پیدا کرده است. مراحل MIS2 و MIS4 دوره‌های سرد یخچالی هستند که با دوره‌ی گرم‌ترMIS3 جدا شده‌اند. بالاترین شدّت یخچالی (LGM)[3] در MIS2 در حدود ۱۸۰۰۰ سال قبل رخ داده است. مراحل ایزوتوپ دریایی، تغییرات اقلیمی را با دقّت بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌ها نشان داده و در مطالعات مربوط به اقلیم گذشته به‌عنوان یک شاخص معتبر، برای ایجاد همبستگی استفاده می‌شود.



شکل ۲. مراحل ایزوتوپ دریایی، اعداد فرد، دوره‌های گرم (بین‌یخچالی) و اعداد زوج دوره‌های سرد (یخچالی) را نشان می‌دهد (شکلتون، ۱۹۷۷).

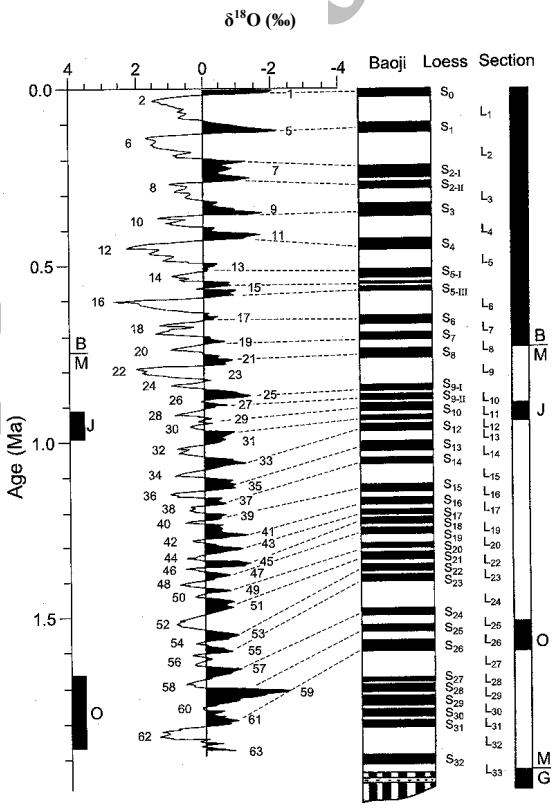
یکی از مشکلات درک بهتر تغییرات اقلیمی گذشته در مقیاس محلی و جهانی، کمبود اطلاعات اقلیمی در رسوبات خشکی است که بتوان بین آنها و مراحل ایزوتوپی دریایی همبستگی برقرار کرد (لیو، ۱۹۸۷ و روتر و همکاران، ۲۰۰۳). رسوبات لسی به‌ویژه رسوبات ضخیم فلات لسی در چین، به‌دلیل داشتن تناوب‌هایی از لس و خاک قدیمی، اطلاعات اقلیمی کواترنر و حتّی فراتر از آن را در خود ذخیره کرده‌اند (روتر و همکاران، ۱۹۹۱؛ روتر، ۱۹۹۲؛ دینگ همکاران، ۱۹۹۹

1. Marine Isotope Stage
2. Wurm
3. Last Glacial Maximum

www.SID.ir

و لیو و همکاران، ۱۹۹۹). دانشمند نیوزلندی به‌نام هارد کاستل(۱۸۹۰) برای اوّلین‌بار، 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 پرداخته بود؛ این شواهد نشان‌دهنده‌ی تناوب خشک و مرطوب شدن ناشی از تغییر اقلیم است که در لس‌ها به‌جامانده است. به‌نظر عموم آنها خاک‌های قدیمی رسوبات لسی، در شرایط گرم و مرطوب با نرخ کم‌رسوب لس و رسوبات لسی بدون تحول، در شرایط سرد و خشک با نرخ زیاد رسوب، تشکیل شده‌اند. ضخامت بیشتر لس بر اقلیم سردتر و خشک‌تر و تکامل بیشتر خاک بر اقلیم گرم‌تر و مرطوب‌تر دلالت دارد (لیو، ۱۹۸۷).

سنِّ لایه‌های لس و خاک در مقاطع لسی به‌روش‌های گوناگون تعیین و با مراحل ایزوتوپ دریایی مقایسه می‌شوند. مراحل فرد ایزوتوپ دریایی که دوره‌های گرم و مرطوب را نشان می‌دهند با دوره‌های خاک‌سازی و مراحل زوج با رسوب‌گذاری لس هماهنگی دارند. روتر و همکاران (۱۹۹۱) با مطالعه‌ی مقطع معروف بائوجی[1] در فلات‌های لسی چین درمجموع، ۳۷ تناوب لس ـ خاک قدیمی را تا مرحله ۱۰۳ ایزوتوپ دریایی (۲/۵ میلیون سال قبل) شناسایی و مطالعه کرده‌اند (شکل ۳) که در نوع خود تا آن زمان بی‌مانند بوده است. دینگ و همکاران (۱۹۹۹) پس از اثبات بادرفتی بودن رس قرمز در قاعده‌ی مقطع بائوجی، این زمان را تا ۷ میلیون سال افزایش دادند.



شکل ۳. مقایسه‌ی مراحل ایزوتوپ دریایی و لس- خاک قدیمی در مقطع بائوجی از فلات لسی چین، خاک‌های قدیمی، تیره‌رنگ نشان داده شده‌اند (روتر و همکاران، ۱۹۹۱)

1. Baoji

www.SID.ir

در زمینه‌ی چینه‌شناسی لس و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی در چند دهه‌ی اخیر، علاوه‌بر شیوه‌های سن‌یابی، تکنیک‌های دیگری مانند پذیرفتاری مغناطیسی،[1] مغناطیس دیرین[2] و همچنین بررسی بیولوژیکی و خاک‌شناختی تناوب‌های لس ـ خاک قدیمی، امکان بازسازی اقلیم گذشته را فراهم کرده است.

مطالعات لس درایران

بخش شمالی ایران به‌لحاظ جغرافیایی، هم‌عرض کشورهایی مانند آسیای میانه و چین است که مناطق وسیعی به‌ویژه در چین با رسوبات لسی پوشیده شده‌اند (شکل ۱). مطالعات لس و بررسی جنبه‌های مختلف آن در ایران نسبت به مطالعات انجام‌شده در دنیا ناچیز بوده و هنوز اطلاعات فراوانی در این رسوبات نهفته است که با انجام پژوهش‌های مناسب قابل استخراج است. به‌دلیل پژوهش‌های اندک، لس‌های ایران در دنیا نیز شناخته‌شده نیستند، به‌نحوی‌که در نقشه‌های ارائه‌شده (شکل ۱) برای نشان دادن پراکنش لس‌ها در دنیا، حتّی از لس‌های شمال کشور اثری دیده نمی‌شود. وجود رسوبات شمال و شمال‌شرق کشور، به‌دلیل وسعت و ضخامت مناسب، در نقشه‌های زمین‌شناسی نشان داده شده‌اند. پاشایی (۱۹۹۶) با مطالعه‌ی رسوبات لسی دوره‌ی هولوسن منطقه‌ی گرگان و دشت، به چهار دوره‌ی گرم و خشک رسوب‌گذاری لس که توسّط دوره‌های گرم و مرطوب از یکدیگر جدا می‌شوند، اشاره کرده است. اخروی و امینی (۲۰۰۱)، ویژگی‌های لس‌های حوضه‌ی آبخیز قره‌تیکان واقع در منطقه‌ی کپه‌داغ و همچنین فرسایش‌پذیری آنها را بررسی کرده و سرچشمه‌ی احتمالی آنها را مناطق دوردست در آسیای میانه بیان کرده‌اند. بیشتر مطالعات انجام‌شده در ایران، مربوط به لس‌های شمال ایران بوده و بیشتر جنبه شناسایی و تفسیر ویژگی‌های لس را داشته و از آنها برای تفسیر اقلیم گذشته کمتر استفاده شده است. به‌تازگی کهل و همکاران (۲۰۰۵)، لس‌ها و شبه‌لس‌های منطقه‌ی تخت‌جمشید و کریمی و همکاران (۲۰۰۹) رسوبات لسی شمال‌شرق 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 ـ خاک قدیمی در شمال ایران، رسوب‌گذاری لس و تشکیل خاک در آخرین دوره‌ی یخچالی ـ بین‌یخچالی و همبستگی آنها را با دیگر مناطق دنیا بررسی کرده‌اند. در بخش‌های مرکزی ایران نیز لس به‌صورت موضعی وجود دارد که به‌دلیل وسعت کم و همچنین عدم انجام پژوهش‌های کافی، شناخته‌شده نیستند. درویش‌زاده (۲۰۰۱) به احتمال وجود لس در حاشیه‌ی بیابان‌های کاشان، یزد، جنوب مکران و سیستان و بلوچستان اشاره کرده است.

توماس و همکاران (۱۹۹۷) براساس سن‌یابی تپّه‌های شنی اردکان، نتیجه‌گیری کردند که LGM در ایران مرکزی، سرد و خشک بوده است. کهل و همکاران (۲۰۰۵) براساس زمان‌سنجی شبه‌لس‌های حوزه‌ی تخت‌جمشید نظر داده‌اند که در منطقه‌ی مذکور هم‌زمان با LGM، همانند اروپا و چین، شدّت رسوب‌گذاری لس زیاد بوده و وجود خاک‌های قدیمی را به دوره‌های بین‌یخچالی گرم‌تر، معادل مراحل ایزوتوپی اقیانوسی ۳ و ۵ نسبت داده‌اند. نتایج مشابهی از مطالعه‌ی لس‌های شمال نیز به‌دست آمده است (کهل و همکاران، ۲۰۰۶). کریمی و همکاران (۲۰۱۱) با سن‌یابی رسوبات لسی

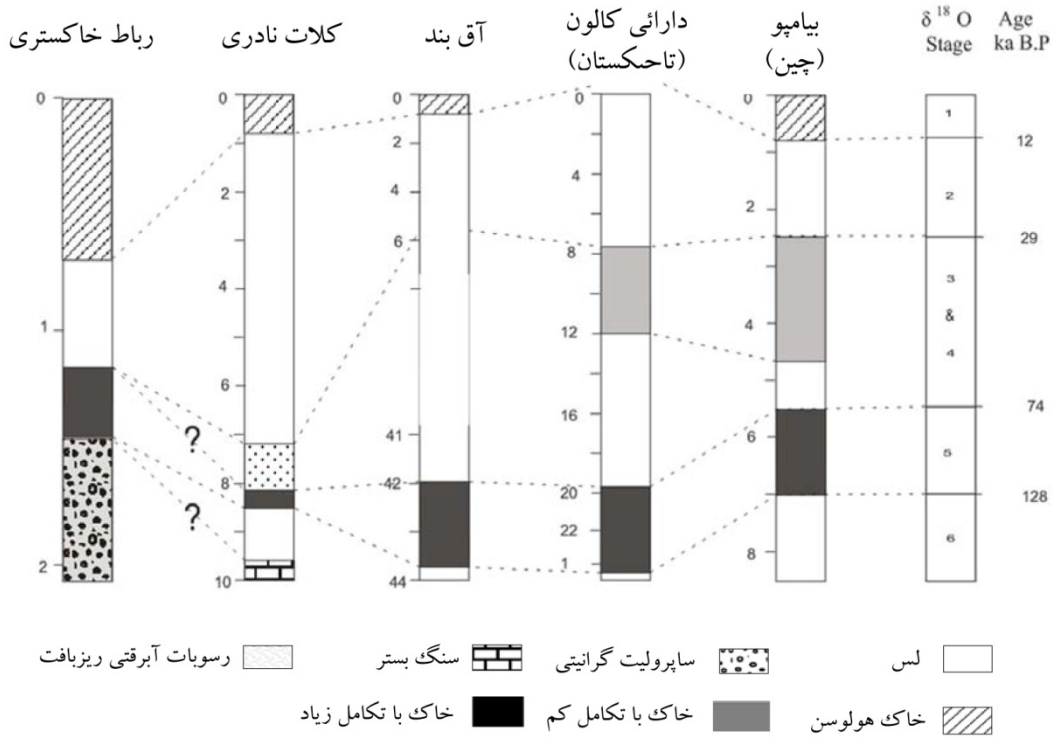
1. Magnetic susceptibility
2. Paleomagnetism

Archive of SID

www.SID.ir

شمال‌شرق ایران نشان دادند که در مرحله‌ی MIS2 به‌ویژه در LGM همانند مناطق دیگر، رسوب‌گذاری شدید لس وجود داشته و در مرحله‌ی MIS5 شرایط خاک‌سازی حکم‌فرما بوده است. شواهد چینه‌شناسی نشان‌دهنده‌ی شرایط فرسایشی در مراحل MIS3 و MIS4 است که از این نظر با نقاط دیگر مناطق لسی نیمکره‌ی شمالی متفاوت است (شکل ۴). نتایج این مطالعات معدود به وجود شرایط خشک با بادهای شدید در LGM دلالت می‌کند.

برخلاف اروپا و چین که از رسوبات لسی به‌صورت گسترده‌ای برای بازسازی اقلیم گذشته استفاده شده و دید مناسبی از تغییرات اقلیمی کواترنر پیدا کرده‌اند، متأسفانه در ایران به‌دلیل کم‌بودن پژوهش‌های مبتنی بر سن‌یابی مطلق، هنوز دیدگاه مناسبی از تغییرات اقلیمی ایران، به‌ویژه آخرین دوره‌ی یخچالی ـ بین‌یخچالی وجود ندارد. برای شناخت شرایط ایران در دوره‌های گذشته و مطابقت آن با دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی، مطالعات فراوان و دقیقی نیاز است. پژوهش‌های آینده در کنار پژوهش‌های قبلی، می‌توانند قطعه‌های یک جورچین پیچیده باشند که ممکن است یکدیگر را تکمیل و تأیید کنند.



شکل ٤. همبستگی لس ـ خاک قدیمی شرق ایران (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱) با شمال ایران (فریچن و همکاران، ۲۰۰۹)، آسیای مرکزی (فریچن و همکاران، ۱۹۹۸) و چین (لو، ۱۹۸۸)

بحث و نتیجه‌گیری

در ابتدای مطالعات لس، دو مسئله‌ی چگونگی تجمّع لس و فرایندهای تشکیل سیلت، ذهن پژوهشگران را به‌خود مشغول کرده بود. اگرچه در اوایل، ریکتوفن (۱۸۸۲) بادرفتی‌بودن رسوبات لسی را اثبات کرد، با این حال، پس از پس از ۸۰ سال افرادی مانند برگ (۱۹۶۴)، هوادیدگی و فرآیندهای خاک‌سازی را مسئول تشکیل لس می‌دانستند. تاتکوفسکی (۱۸۹۹)،

www.SID.ir

ارتباط پهنه‌های لسی را با یخچال‌ها مطرح کرد. بر همین اساس، تا دهه‌های اخیر افرادی مانند اسمالی (۱۹۶۶)، اسمیت و نورتون (۱۹۳۵) و بولتون (۱۹۷۸)، سایش یخچالی را عامل اصلی تولید سیلت می‌دانستند و بر این باور بودند که در مناطق خشک و بیابانی عرض‌های پایین لس وجود ندارد. این درحالی بود که ابرشو (۱۹۱۱، ۱۹۴۵) نظریه لس‌های داغ یا بیابانی را در اوایل قرن بیستم مطرح کرده بود. در حال حاضر پژوهش‌ها نشان داده است که سایش یخچالی عامل مهمی در تولید سیلت نیست و فرآیندهایی مانند یخ‌هوادیدگی، نمک‌هوادیدگی، بادسایش از عوامل مهم تولید سیلت هستند. یکی از مهم‌ترین و جالب‌ترین جنبه‌های لس، ارتباط رسوب لس و خاک‌های قدیمی با دوره‌های سرد و گرم یخچالی و بین‌یخچالی است که به درک تغییرات اقلیمی کواترنر کمک‌های زیادی کرده است. در ایران به‌ویژه در بخش‌های شمالی‌کشور، رسوبات لسی وجود دارد، احتمالاً، در بخش‌های دیگر ایران نیز رسوبات لسی وجود دارد. مطالعه‌ی خاک‌ها و رسوبات لسی در ایران محدود بوده و لازم است جنبه‌های گوناگون آن شامل حاصلخیزی، کیفیت خاک، تخریب اراضی و اقلیم گذشته مورد مطالعه قرار گیرند.

منابع

Almasi, A., Pashaei, A., Jalalian, A., Ayoubi, S., 2004, **Investigation on Composition and Evolution of Clay Minerals in the Loess Deposits and Plaeosols of Ghapan Area**, Golestan Province, Journal of Agricultural Sciences and Natural Recourses, No.13, pp.10-20.

Amini Jahromi, H., Naseri, M., Khormali, F., Movahedi Naeini, S., 2009, **Clay Mineralogy of the Soils Formed on Loess Parent Material in Two Regions of Golestan Province (Huttan and Gorgan)**, Journal of Agricultural Sciences and Natural Recourses, No.15, pp.18-26.

Assallay, A.M., Rogers, C.D.F., Smalley, I.J., Jefferson, I.F., 1998, Silt: 2-62 μm, 9-4 ϕ, Earth-Science Reviews, No.45, pp. 61-88.

Berg, L.S., 1916, **The Origin of Loess**, Communications Russian Geographical Foundation, No.11, pp. 579-646.

Berg, L.S., 1964, **Loess as a Product of Weathering and Soil Formation**, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.

Bibby, J.S., Douglas, H. A., Thomasson, A.J., Robertson, J. S., 1982, **Land Capability Classification for Agriculture**, Soil Survey of Scotland Monograph, Macaulay Institute for Soil Research, Aberdeen, pp. 75.

Blatt, H., 1987, **Oxygen Isotopes and the Origin of Quartz**, Journal of Sediment Petrology, No. 57, pp. 373-377.

Boardman, J., Hazelden, J., 1986, **Examples of Erosion on Brickearth Soils in East Kent**, Soil Use and Management, No. 2, pp. 105-108.

Boulton, G.S., 1978, **Boulder Shapes and Grain Size Distribution of Debris as Indicators of Transport Paths through a Glacier and Till Genesis**, Sedimentology, No. 25, pp. 773-799.

Archive of SID

www.SID.ir

Brockie, W.J., 1972, **Experimental Frost Shattering,** Proceedings 7th New Zealand Conference, New Zealand Geographical Society, Hamilton Conference Series 7, pp. 177- 186.

Butler, B. E., 1956, Parna-an Aeolian Clay, **Australian Journal of Science,** No.18, pp.145-151.

Catt, J.A., 2001, **The Agricultural Importance of Loess**. Earth-Science Reviews, No.54, pp.213-229.

Chen, L., Messing, I., Zhang, S., Fu, B., Ledin, S., 2003, **Land Use Evaluation and Scenario Analysis Towards Sustainable Planning on the Loess Plateau in China- Case Study in a Small Catchment**, Catena, No. 54, pp. 303-316.

Darvishzadeh, A., 1991, **Geology of Iran**, Second Ed., Amirkabir Press, Tehran, pp. 901.

Derbyshire, E., 1983a, **Origin and Characteristics of Some Chinese Loess at Two Locations in China,** pp.69-90. In: Brookfield, M.E., Ahlbrandt, T.S., (eds.), Eolaian Sediment and Processes, Elsevier, Amsterdam.

Derbyshire, E., 1983b, **On the Morphology**, **Sediments and Origin of the Loess Plateau of Central China,** pp.172-194. In: Gardner, R., and Scoging, H., (eds.), Megageomorphology, Oxford University Press, London.

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 Palaeoclimatolohy Palaeoecology, No.152, pp.49-66.

Fedorovich, B.A., 1972, **Recent and Ancient, Cold and Warm Loesses and Their Relationship with Glaciations and Deserts**, Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae, No. 16, pp. 371-381.

Frechen, M., Dodonov, A.E., 1998, **Loess Choronology of the Middle and Upper Pleistocene in Tadjikistan**, Geologischeche Rundschau, No. 87, pp. 2-20.

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.

Goudie, A.S., Rendall, H.A., Bull, P.A., 1984, **The loess of Tajik SSR,** P. 399-412, In: Miller, K., (ed.), Proceedings of the International Karakoram Project, Cambridge University Press, Cambridge, Vol. 1.

Ghergherechi, S., Khormali, F., 2008, **Distribution and Origin of Clay Minerals Influenced by Ground-water Table and Land Use in South-west Golestan Province**, Journal of Agricultural Science and Natural Resource, No. 15, pp. 18-30.

Hardcastle, J., 1890, **On the Timaru Loess as a Climatic Register,** Transactions and Proceedings of New Zealand Institute, No. 23, pp. 324–332.

Hepper, E.N., Buschiazzo, D.E., Hevia, G.G., Urioste, A., Antón, L., 2006, **Clay Mineralogy,** Cation Exchange Capacity and Specific Surface Area of Loess Soils With Different Volcanic Ash Contents, Geoderma, No. 135, pp. 216-223.

Iriondo, M., 1999, **The Origin of Silt Particles in the Loess Question**, Quaternary International, No. 62, pp. 3-9.

Iriondo, M.H., Kröhling, D.M., 2007, **Non-classical Types of Loess,** Sedimentary Geology, No.202, pp. 352-368.

Archive of SID

www.SID.ir

Jamagne, M., Coninck, F.D., Robert, M., Maucorps, J., 1984, **Mineralogy of Clay Fractions of Some Soils on Loess in Northern France,** Geoderma , No. 33, pp. 319-342.

Jeong, G.Y., Hillier, S., Kemp, R.A., 2008, **Quantitative Bulk and Single-particle Mineralogy of a Thick Chinese Loess-paleosol Section: Implications for Loess Provenance and Weathering,** Quaternary Science Reviews, No. 27, pp.1271-1287.

Karimi, A., Jalalian, A., Kademi, H., 2009, **Genesis and Distribution of Palygorskite and Associated Clay Minerals in Soils and Sediments of Southern Mashhad**, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, No. 16, pp. 545-558.

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., Frechen. M., Khademi, H., Kehl, M., Jalaian, A., 2011, **Chronostrratigraphy of Loess Deposits in Northeast Iran,** Quaternary International, 234, pp.124-132.

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 / Paleosol-sequences along a Climatic Gradient in Northern Iran,** Eisxeitalter und Gegenwart, No. 55, pp.149-173.

Kirchheimer, F., 1969, **Heidelberg Und Der Loss,** Ruperto-Carola: Zeit, Verein, Freunde Student, University of Heidelberg, No. 46, pp.3-7.

Knight, S.H., 1924, **Eolian Abrasion of Quartz Grains,** Gological Society of America Bulletin, No. 35, pp. 107-108.

Li, F., Jin, Z., Xie, C., Feng, J., Wang, L., Yang, Y., 2007, **Roles of Sorting and Chemical Weathering in the Geochemistry and Magnetic Susceptibility of Xiashu Loess, East China,** Journal of Asian Earth Sciences, No. 29, pp. 813-822.

Liu, T.S., 1987, **Aspects of Loess Research,** China Ocean Press, Beijing, pp. 447.

Liu, T.S., Ding, Z., Rutter, N., 1999, **Composition of Milankovitch Periods between Continental Loess and Deep Sea Records over the Last 2.5 Ma,** Quaternary Science Reviews, No. 18, pp. 1205-1212.

Livingstone, I., Warren, A., 1996, **Aeolian Geomorphology**, Longman, Harlow, pp. 211.

Lozek, V., 1965, **Das problem Des Lösbildung Und Die Lösmolusken,** Eiszeitalter und Gegenwart, No. 16, pp. 61-75.

Lu, Y.C., Zhang, J.Z., Xie, J., 1988, **Thermoluminescence Dating of Loess and Paleosols from the Lantian Section,** Shaanxi Province, China, Quaternary Science Reviews, No.7, pp. 251-255.

Lyell, C. 1833, **The Principles of Geology,** John Murray, London, Vol. 3., pp. 398.

McTainsh, G., Walker, P.H., 1982, **Nature and Distribution of Harmattan Dust,** Zeitschrift für Geomorphologie N. F., No. 26, pp. 417- 435.

McTainsh, G., 1987, **Desert Loess in Northern Nigeria,** Zeitschrift für Geomorphologie N. F., No. 31, pp. 145-165.

Archive of SID

www.SID.ir

Mengel, K., Rahmatullah, Dou, H., 1998, **Release of Potassium from the Silt and Sand Fraction of Loess-derived Soil,** Soil Science, No. 163, pp. 805-813.

Moss, A.J., 1966, **Origin, Shaping and Significance of Quartz Sand Grains,** Journal of the Geological Society of Australia, No. 13, pp. 97-136.

Moss, A.J. Green, P., 1975, **Sand and Silt Grains: Predetermination of Their Formation and Properties by Microfractures in Quartz,** Journal of the Geological Society of Australia, No. 22, pp. 485-495.

Moss, A. J., Green, P. Hutka, J., 1981, **Static Breakage of Granitic Detritus by Ice and Water in Comparison with Breakage by Flowing Water,** Sedimentology, No. 28, pp. 261- 272.

Nahon, D., Trompette, R., 1982, **Origin of Siltstones: Glacial Grinding Versus Weathering,** Sedimentology, No. 29, pp. 25-35.

Obruchev, V.A., 1911, **The Question of the Origin of Loess-in Defense of the Aeolian Hypothesis,** Izvestiya Tomskogo Tekhnologicheskogo Instituata, 33, pp. 38.

Obruchev, V.A., 1945, **Loess Types and Their Origin,** American Journal of Science, No. 243, pp. 256-262.

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.

Pécsi, M., 1990, **Loess is not Just the Accumulation of Dust,** Quaternary International, No.7/8, pp.1-12.

Penck, A., 1909, **Die Morphologie der Wüsten, Geographische Zeitschrift**, No.15, pp. 545-558.

Pettijohn, F., Potter, P., Siever, R., 1973, **Sand and Sandstone,** Springer, Berlin, pp. 553.

Péwé, T.L., 1951, **An Observation on Wind Blown Silt,** Journal of Geology, No. 59, pp. 399-401.

Pye, K., 1987, **Aeolian Dust and Dust Deposits,** Academic Press, London, pp. 334.

Pye, K., 1995, **The Nature, Origin and Accumulation of Loess,** Quaternary Science Reviews, 14: pp. 635-667.

Richthofen, F.V, 1882, **On the Mode of Origin of the Loess**, Geological Magazine, No. 9, pp. 293-305.

Riezebos, P.A., Vander Waals, L., 1974, **Silt-sized Quartz Particles: a Proposed Source,** Sedimentary Geology, No. 12, pp. 279-285.

Russell, R.J., 1944, **Lower Mississippi Valley Loess,** Geological Society of America Bulletin, No. 55, pp. 1-40.

Rutter, N., 1992, **Presidential Address,** XIII INQUA Congress 1991: Chinese Loess and Global Change, Quaternary Science Review, No. 11, pp. 275-281.

Rutter, N.W., Rokosh, D., Evans, M.E., Little, E.C., Chlachula, J., Velichko, A., 2003, **Correlation and Interpretation of Paleosols and Loess Across European Russia and**

Archive of SID

www.SID.ir

Asia Over the Last Interglacial-glacial Cycle, Quaternary Research, No. 60, pp. 101-109.

Rutter, N.W., Ding, Z.L., Evans, M.E., Liu, T.S., 1991, **Baoji-type Pedostratigraphic Section, Loess Plateau,** North-central China, Quaternary Science Review, No.10, pp.1-22.

Sanaee ardakani1, S., Pashaee, A., Ayoubi, S., Ekhtesasi, M., 2006, **Investigation on Sedimentology of Loess Deposits of Ghapan and Nahar-Khoran Districts and the Origin Estimating, Golestan Province,** Journal of Agricultural Science and Natural Resource, No.13, pp. 38-48.

Schütz, L., Jaenicke, R., Pietrek, H., 1981, **Saharan Dust Transport over the North Atlantic Ocean,** P87-100 In: T.L., Péwé. (ed.), Desert Dust: Origins, Characteristics, and Effect on Man. The Geological Society of America, Special Paper, Vol. 186, pp. 303.

Shackelton, N.J., 1977, **The Oxygen Isotope Stratigraphic Record of Late Pleistocene,** Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B 280, pp.169-179.

Smalley, I.J., Derbyshire, E., 1990, **The Definition of Ice Sheet and Mountain Loess,** Area, No. 22, pp. 300-301.

Smalley, I.J., 1966, **The Properties of Glacial Loess and the Formation of Loess Deposits,** Journal of Sedimentary Petrology, No. 36, pp. 669-676.

Smalley, I.J., Vita-Finzi, C., 1968, **The Formation of Fine Particles in Sandy Desert and the Nature of Desert Loess,** Journal of Sedimentary Petrology, No. 38, pp. 766-774.

Smalley, I.J., Krinsley, D.H., 1978, **Loess Deposits Associated with Deserts,** Catena, No. 5, pp. 53–66.

Smalley, I.J., Jefferson, I.F., Dijkstra, T., Derbyshire, E., 2001, **Some Major Events in the Development of the Scientific Study of Loess,** Earth-science Reviews, No. 54, pp. 5-18.

Smalley, I.J., 1995, **Making the Material: the Formation of Silt-sized Primary Mineral Particles for Loess Deposits,** Quaternary Science Reviews, No. 14, pp. 645-651.

Smith, B.J., Wright, J.S., Whalle, W.B., 2002, **Sources of Non-glacial, Loess-size Quartz Silt and the Origins of "Desert Loess",** Earth-Science Reviews, No. 59, pp. 1-26.

Smith, R.S., Northon, E.A, 1935, **Parent Material of Illinois Soils, Parent Materials, Subsoil Permeability and Surface Character of Illinois Soils,** Illinois Agricultural Experimental Station, Urbana, IL, pp.1-14.

Sun, J., 2002, **Provenance of Loess Material and Formation of Loess Deposits on the Chinese Loess Plateau**, Earth and Planetary Science Letters, No. 203, pp. 845-859.

Thomas, D.S.G., Bateman, M.D., Mehrshadi, D., O'Hara, S.L., 1997, **Development and Environmental Significance of an Eolian Sand Ramp of Last-Glacial Age**, Central Iran, Quaternary Research, No.48, pp.155-161.

Tutkovskii, P.A., 1899, **The Question of the Method of Loess Formation,** Zemlevedenie, No.1–2, pp.13–311, (in Russian: see Loess Letter Supplement 16, 1986).

Whalley, W., Marshall, J.R., Smith, B.J., 1982, **Origin of Desert Loess from Some Experimental Observations,** Nature, No. 300, pp. 433-435.

Wright, J.S., 1995, **Glacial Comminution of Quartz Sand Grains and the Production of Loessic Silt: a Simulation Study,** Quaternary Science Reviews, No. 14, pp. 669-680.

Archive of SID

www.SID.ir

Wright, J.S., 2007, **An Overview of the Role of Weathering in the Production of Quartz Silt,** Sedimentary Geology, No. 202, pp. 237-351.

Wright, J.S., Smith, B.J., Whalley, W.B., 1998, **Mechanisms of Loess-sized Quartz Silt Production and their Relative Effectiveness: Laboratory Simulations,** Geomorphology, No. 23, pp. 15- 34.

Wright. J.S., 2001, **Desert versus Glacial Loess: Quartz Silt Formation,** Source Area and Sediment Pathways in the Formation of Loess Deposits, Geomorphology, No. 36, pp. 231-2.

Yaalon, D.H., Dan, J., 1974, **Accumulation and Distribution of Loess-derived Deposits in the Semi-desert and Desert-fringe Areas of Israel,** Zeitschrift Geomorphologie Supplement Series. No. 20, pp. 91-105.

Zeuner, F.E., 1949, **Frost Soils on Mount Kenya, and the Relation of Frost Soils to Aeolian Deposits,** Journal of Soil Science, No. 1, pp. 20-30.

Archive of SID

www.SID.ir