فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶
ص ۲۹-۳۹

تحلیل اقلیم دیرینهٔ برش رسوبی نوده (استان گلستان) با استفاده از ژئوشیمی عناصر

وحید فیضی؛ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران
قاسم عزیزی*؛ دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
حبیب علیمحمدیان؛ استادیار، گروه زمین شناسی (گرایش محیط مغناطیس)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
مریم ملاشاهی؛ استادیار، گروه جنگلداری در مناطق خشک، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۰

چکیده

تشکیل رسوبات لسی یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیمی است. توالی رسوبات لس/ خاک دیرین یکی از بهترین آرشیوهای طبیعی برای ثبت تغییرات اقلیمی است. از این قابلیت رسوبات لسی برای بازسازی تغییرات اقلیمی کواترنر و تغییر و تحول ژئومورفولوژیکی می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق، برای بازسازی آب‌وهوای کواترنر پسین منطقهٔ آزادشهر، برش لسی نودِه انتخاب شد. ستبرای این برش ۲۳/۷ متر است. روش تحلیل داده‌ها مبتنی بر روش‌های ژئوشیمیایی و تعیین درصد فراوانی عناصر ذکرشده در هر نمونهٔ رسوبی بوده است. با استفاده از تحلیل عناصر حساس به تغییر شرایط محیطی، یعنی عناصر اصلی اکسیدهای آلومینیم، آهن، کلسیم، منیزیم و سیلیس و نسبت عناصر فرعی استرانسیم به باریم، استرانسیم به منگنز و منگنز به اکسید کلسیم نتایجی از تغییرات شرایط محیطی به‌دست آمد. افزایش مقادیر اکسیدهای آلومینیم، آهن، سیلیس و منیزیم با توجه به پایداری آن‌ها در محیط‌های رسوبی، نشان از شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب و کاهش آن‌ها بیانگر شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک است. افزایش مقدار شاخص هوازدگی شیمیایی و شاخص هوازدگی شیمیایی مؤثر، نشان از شرایط هوازدگی شدید و کاهش این شاخص‌ها نشان از هوازدگی ضعیف در برش رسوبی نوده است. خاک‌های دیرین در منطقهٔ مطالعاتی میزان بالای شاخص‌های ذکر شده را نشان می‌دهد و بیانگر تغییر و تحول این رسوبات و شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب است. بر عکس رسوبات لسی، مقادیر کمتری از شاخص‌ها را نشان می‌دهد و بیانگر شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک در برش رسوبی نوده است. بدین‌ترتیب، لس‌ها و خاک‌های دیرین مطالعه‌شده به‌ترتیب در دوره‌های یخچالی و بین یخچالی و در شرایط آب‌وهوایی متفاوت تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: **آزادشهر، تغییرات اقلیمی، رسوبات بادی، ژئوشیمی رسوبی.**

مقدمه

در دورهٔ کواترنری تغییرات مهم آب‌وهوایی به‌همراه توسعه و تجمع صفحات یخچالی در مقیاس قاره‌ای، همچنین افزایش و کاهش جهانی سطح آب دریاها، مهاجرت و انقراض موجودات و از همه مهم‌تر تکامل و افزایش جمعیت انسان‌های مدرن رخ داده است. تغییرات ناگهانی در آب‌وهوا، به‌طور متناوب، آثار خود را به اشکال گوناگون فیزیکی، شیمیایی و ایزوتوپی در رسوبات و یخچال‌ها برجاگذاشته است. با کشف و بازسازی شواهد موجود در طبیعت، امکان شناسایی زمان، اندازه و سازوکار رخداد تغییرات ناگهانی در آب‌وهوا و محیط‌زیست گذشتهٔ زمین ایجاد می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳).

از فرایندهای مهم در کواترنر ایران، فرایند انتقال و تجمع لس‌هاست که مهم‌ترین نهشته‌های خشکی در کواترنر و بیشتر آن متعلق به پلیستوسن است. رسوبات لسی از توالی‌های ضخیم لس و خاک دیرین تشکیل شده و شاهد مهم

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۳۸٤۱۱۹۲ Email: ghazizi@ut.ac.ir

تغییرات شرایط آب‌وهوایی در ۲/۵ میلیون سال اخیر است. تشکیل لس در دوره‌های سردتر صورت گرفته است، در حالی که خاک‌های دیرین مدفون در بین لایه‌های لس نشان‌دهندهٔ دوره‌های کاهش رسوب‌گذاری لس و افزایش خاک‌سازی است. چیرگی نسبی شرایط سرد و خشک باعث انتقال گرد و غبار و چیرگی نسبی شرایط گرم و مرطوب باعث افزایش خاکسازی می‌شود که موازنهٔ خاکی رسوبی را تنظیم می‌کند. از این‌رو، می‌توان تناوب لایه‌های لس و خاک دیرین روی هم قرارگرفته و مربوط به زمان‌های مختلف را از هم تشخیص داد (احمدی و فیض‌نیا، ۱۳۸۵).

نهشته‌های لسی با میان‌لایه‌های خاک دیرین یکی از بهترین رسوبات ثبت‌کنندهٔ تغییرات آب‌وهوا در دورهٔ کواترنر در خشکی‌هاست (Ding et al., 1999; Guo et al., 2002; Bloemendal et al., 2008). تجمع رسوبات لسی یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیمی کواترنر است. مطالعات نشان داده است که رسوب لس و تشکیل خاک به‌ترتیب با دوره‌های سرد و گرم کواترنر همبستگی دارد. به‌همین دلیل یکی از مهم‌ترین بایگانی‌های تغییر اقلیم در خشکی‌هاست. از این قابلیت رسوبات لسی، برای بازسازی تغییرات اقلیمی کواترنر و تغییر و تحول زمین‌ریخت‌شناسی، فراوان استفاده می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰).

استفاده از ژئوشیمی عنصری برای تعیین شرایط محیط دیرینه است و اهمیت ویژه‌ای دارد. توزیع عناصر اصلی و فرعی در رسوبات به‌ترکیب کانی‌شناسی، دما، ترکیب سیالات، و شرایط اکسایش و احیا بستگی دارد (آدابی، ۱۳۸۳؛ تقوی و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب و میزان عناصر به شرایط محیطی حساس است (Sai, 2004). تحلیل عناصر اصلی (Ca, Mg, Al_2O_3) و فرعی (Na, Mn, Sr) رسوب‌ها با روشن‌کردن پراکندگی و توزیع آن‌ها راه را برای درک شرایط محیطی رسوبگذاری آن‌ها بازمی‌کند. ژئوشیمی عنصری به‌واسطهٔ میزان عناصر موجود در هر نمونه، راهنمای خوبی برای تغییرات اقلیمی خواهد بود، چرا که برخی عناصر در خاک به شرایط محیطی، به‌ویژه اقلیم، حساس‌اند، تا حدی که برخی عناصر شرایط محیطی خاصی را گزارش می‌کنند. برای مثال، بالابودن میزان Fe و Mn نشان‌دهندهٔ محیط احیایی است (نکوخو، ۱۳۸۲). ژئوشیمی عناصر به‌خوبی نشان‌دهندهٔ شرایط دما و بارش است؛ عناصری چون منیزیم و استرانسیم و منگنز تحت شرایط خاص اقلیمی در شبکهٔ کریستالی جانشین عناصری چون کلسیم می‌شوند. تغییرات در نسبت‌های Mg/Ca و Sr/Ca و Mn/Ca در طول مغزه‌ها تغییرات شرایط دریاچه را در طول زمان نشان می‌دهد (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲).

هام و فنِیس (۱۹۹۵)، بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب موجود در سری‌های لس- خاک دیرینه در ترنس دانوبیا[1]، پیشنهاد کردند که بازسازی روندهای اقلیم گذشته با استفاده از داده‌های ژئوشیمی امکان‌پذیر است. بلومندال و همکاران (۲۰۰۸) نیز به ارزیابی فرایندهای اقلیمی و خاک‌زایی با استفاده از نشانگرهای مغناطیسی و ژئوشیمیایی در دو سایت فلات لس چین پرداختند. آن‌ها بیان کردند که اظهارات قبلی مبنی بر اینکه بین فراوانی پذیرفتاری مغناطیسی و نسبت Rb/Sr همبستگی بسیار بالایی وجود دارد در تمامی سطح (دو سایت) و در تقریباً ۲/۵ میلیون سال قبل و در خاک‌های دیرین پلیستوسن صدق نمی‌کند.

موریل (۲۰۰۶) در پژوهشی ترکیبی، با استفاده از تحلیل ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی به بررسی روند تغییرات سینوپتیکی مونسون‌های آسیایی در دورهٔ هولوسن پرداخت و عنوان کرد که با استفاده از مدل‌های اقلیمی به‌دست‌آمده بر اساس پارامترهای ژئوشیمیایی، می‌توان تغییرات اقلیمی مشاهده‌شده را توضیح داد. رویا (۲۰۰۷) با هدف کشف منشأ رسوبات، به بررسی ژئوشیمیایی رسوبات پلایای تاهار در هندوستان پرداخت. رویا و کابالروآ (۲۰۰۸) با بررسی ژئوشیمی رسوبات دریاچه‌ای در مکزیک، روند تغییرات محیطی کواترنر را بررسی کردند.

کهل و همکاران (۲۰۰۵) لس‌ها و شبه‌لس‌های منطقهٔ تخت‌جمشید، و کریمی و همکاران (۲۰۰۹) رسوبات لسی شمال‌شرق ایران را شناسایی کردند و براساس سن‌یابی، سعی در تعیین تغییرات اقلیمی کردند. کهل و همکاران (۲۰۰۵)، و فریچن و همکاران (۲۰۰۹) نیز با سن‌یابی چند مقطع لس خاک قدیمی در شمال ایران، رسوب‌گذاری لس و تشکیل خاک در آخرین دورهٔ یخچالی بین یخچالی و همبستگی آن‌ها را با دیگر مناطق جهان بررسی کردند. در بخش‌های مرکزی ایران نیز لس به‌صورت موضعی وجود دارد که به‌دلیل وسعت کم، همچنین نبود پژوهش‌های کافی، شناخته‌شده نیست.

1. Transdanubia

عندلیبی (۱۳۷۱) ضمن تهیهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ گنبدکاووس، مطالعاتی روی رسوبات لسی گرگان انجام داد و سن آن‌ها را پلیوسن–کواترنر تعیین کرد. وی در حالی که لس‌های حوضهٔ خزر را به چهار بخش تقسیم می‌کند، منشأ لس‌های شرق خزر را به‌دلیل وجود کوارتز، کلسیت، فلدسپات، دولومیت، میکا، رس و فقدان کانی سنگین رسوبی، احتمالاً دولومیت‌های ناخالص می‌داند. اما، برای لس‌های غرب خزر به‌واسطهٔ مشاهدهٔ برخی کانی‌ها مثل هورنبلند بازالتی و خاکسترهای آتشفشانی، منشأ اولیهٔ آذرین و در مواردی گرانیت را نسبت می‌دهد. امینی (۱۳۷۴) در مطالعاتی روی شکل، محتویات، بافت سطحی ذرات شن، ترکیب کانی‌شناسی و عناصر اصلی و کمیاب لس‌های حوضهٔ آبخیز قره‌تیکان در شمال‌شرق ایران، بیان می‌کند که این لس‌ها از مواد تخریبی سنگ‌های غالباً گرانیتی و شبه‌گرانیتی شمال دریاچهٔ آرال منشأ گرفته است.

مهدی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) توالی‌های لس/ خاک دیرینهٔ نکا را با استفاده از روش محیط مغناطیس و ژئوشیمی بررسی کردند. ایشان با تلفیق تمامی داده‌ها و نتایج، وقوع چرخه‌های یخچالی– بین‌یخچالی و دوره‌های آب‌وهوایی کوتاه‌تر بین آن‌ها را شناسایی کردند و چگونگی تغییرات آب‌وهوایی، محیط دیرینه، زیست گیاهی و جانوری، چگونگی پیشرفت فرایندهای تشکیل خاک‌های دیرینه به‌همراه تأثیر کانی‌های مغناطیسی تولیدشده در این فرایندها در تشخیص شرایط اقلیمی دیرینه، همچنین چگونگی انباشت و رسوبگذاری نهشته‌های بادی را مطالعه کردند.

بخش شمالی ایران نیز، به‌لحاظ جغرافیایی، هم‌عرض کشورهای آسیای میانه و چین است. مطالعات لس و بررسی جنبه‌های مختلف آن در ایران نسبت به مطالعات انجام‌شده در دنیا ناچیز است و هنوز اطلاعات فراوانی در این رسوبات نهفته است که با انجام پژوهش‌های مناسب قابل‌استخراج است. بیشتر مطالعات انجام‌شده در ایران، مربوط به لس‌های شمال ایران است و بیشتر جنبهٔ شناسایی و تفسیر ویژگی‌های لسی را دارد و از آن‌ها برای تفسیر اقلیم گذشته کمتر استفاده شده است.

لذا، در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از روش‌های مختلف پژوهشی، به بررسی و بازسازی آب‌وهوای گذشتهٔ منطقهٔ آزادشهر بر اساس نهشته‌های لس پرداخته شود.

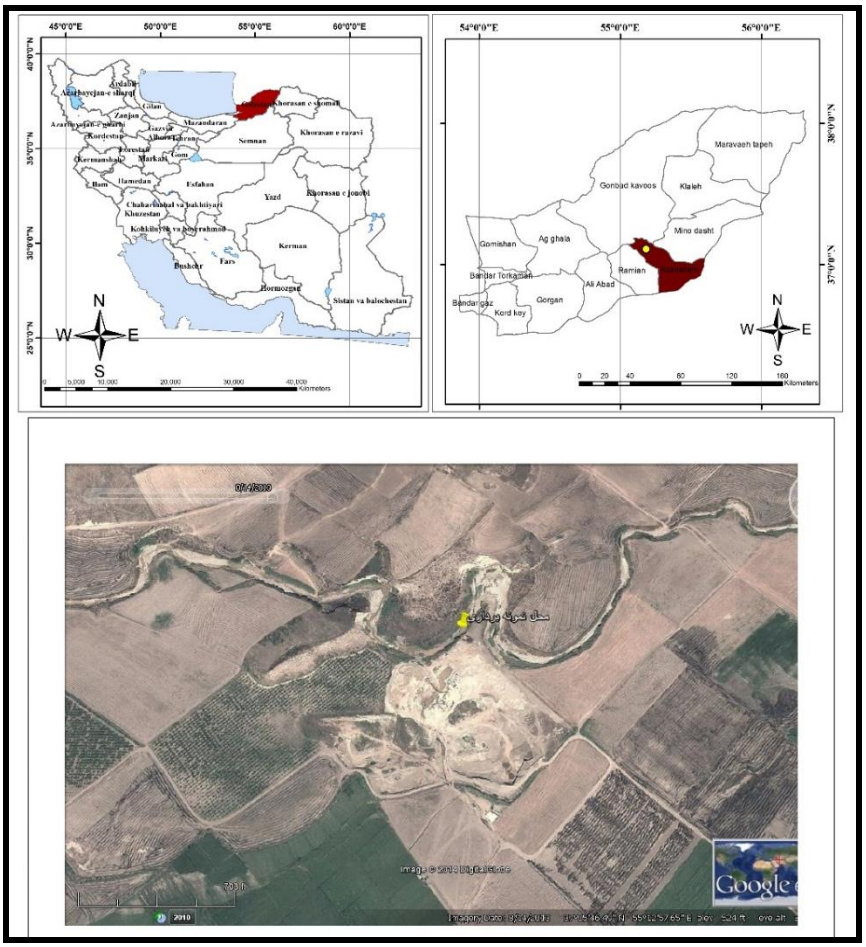
منطقهٔ مورد مطالعه

نهشته‌های لسی استان گلستان بیش از ۳۲۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد (خواجه، ۱۳۸۱) و منطقهٔ گسترده‌ای از کوه‌های البرز در جنوب، رودخانهٔ اترک در شمال، کپه‌داغ در شرق و حاشیهٔ دشت‌های سیلابی دریای خزر در غرب استان را پوشش می‌دهد. این تقسیم‌بندی بر اساس معیارهای سنگ‌شناختی و جغرافیایی است و به چهار بخش واحد داشلی‌برون، واحد کپه‌داغ– آق‌بند، واحد حاج‌قوشن و واحد نوده تقسیم می‌شود (لطیف، ۱۳۸۲).

واحد نوده پوشش ضخیمی از لس‌ها را تشکیل می‌دهد که بخش‌های پایینی دامنه‌های شمالی البرز بین مینودشت تا آزادشهر را دربرمی‌گیرد. این واحد بهترین رخنمون را نسبت به دیگر واحدهای لسی استان گلستان دارد. واحد نوده با بیش از ۳۰ متر ضخامت روی سنگ‌های ترشیری و مزوزوئیک کوهپایه‌های شمالی البرز قرارگرفته است (Frechen et al., 2009).

منطقهٔ مطالعاتی در زون ساختمانی البرز (Stocklin, 1968) و از نظر پهنه‌های اصلی رسوبی ساختاری ایران جزء حاشیهٔ جنوبی خزر است. نبوی (۱۳۵۵) از نظر ساختمانی– رسوبی، منطقهٔ مورد مطالعه را جزء زون گرگان– رشت ذکر کرده و آن را جزء حوضهٔ پاراتتیسی دانسته است (آقانباتی، ۱۳۸۵). این زون شامل مناطقی است که در شمال گسل البرز قراردارد و حاشیهٔ دریای خزر را در سواحل ایران مسدود کرده و به سمت شرق با لایه‌های ضخیمی از لس پوشیده است.

با توجه به موارد ذکرشده، تعیین مقطع نمونه‌برداری انجام شد. پس از مطالعات و بررسی‌های فراوان برش نودِه انتخاب شد که قبلاً کهل و همکاران (۲۰۰۵) و فریچن و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی مطالعات خاک‌شناسی استفاده کرده و سن‌یابی نیز انجام داده بودند (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت برش رسوبی نوده در استان گلستان

مواد و روش‌ها

روش تحقیق حاضر، تلفیقی از مرور سامان‌مند منابع کتابخانه‌ای و میدانی و کارهای آزمایشگاهی است. در جریان بررسی کتابخانه‌ای، بررسی منابع لاتین و فارسی و جستجوی اینترنتی مقالات تحقیقی و پایان‌نامه‌های لاتین و فارسی در مجلات و سایت‌های پژوهشی خارجی و داخلی در زمینهٔ ویژگی‌های لس‌ها، انواع، اهمیت خصوصیات و تغییرات آن‌ها و ارتباط آن‌ها با تغییرات اقلیم در دورهٔ کواترنر پسین، شواهد این تغییرات، نحوهٔ نمونه‌برداری، انواع آزمایش‌ها و نحوهٔ تجزیه‌وتحلیل آن‌ها گردآوری می‌شود. در روش مطالعات میدانی و کارهای آزمایشگاهی، پس از بازدیدهای میدانی متوالی، محل و روش نمونه‌برداری تعیین شد.

پس از مشخص‌کردن محل دقیق برش رسوبی و ثبت موقعیت جغرافیایی محل مطالعه، نمونه‌برداری انجام شد. پیش از نمونه‌برداری، لایه‌های رسوبی هوازده با کاردک کنار زده شد تا سطح تازه‌ای از رسوبات نمایان شود. سپس، با استفاده از متر، لایهٔ مورد نظر به فواصل ۱۰ سانتی‌متری تقسیم‌بندی شد و نمونه‌برداری صورت گرفت. در مجموع ۲۳۷ نمونه، هر یک به وزن تقریبی ۵۰۰ گرم از برش نودهِ نمونه‌برداری شد. تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور با استفاده از دستگاه Multi-Function Kappabridge (MFK1-A) مورد آزمایش پذیرفتاری مغناطیسی قرارگرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش، ۷۰ نمونه برای آنالیز شیمیایی عناصر در نظر گرفته شد. با توجه به حجم زیاد مطالعات مغناطیسی، در این پژوهش، تنها روش ژئوشیمی در طول برش رسوبی نوده بررسی شد.

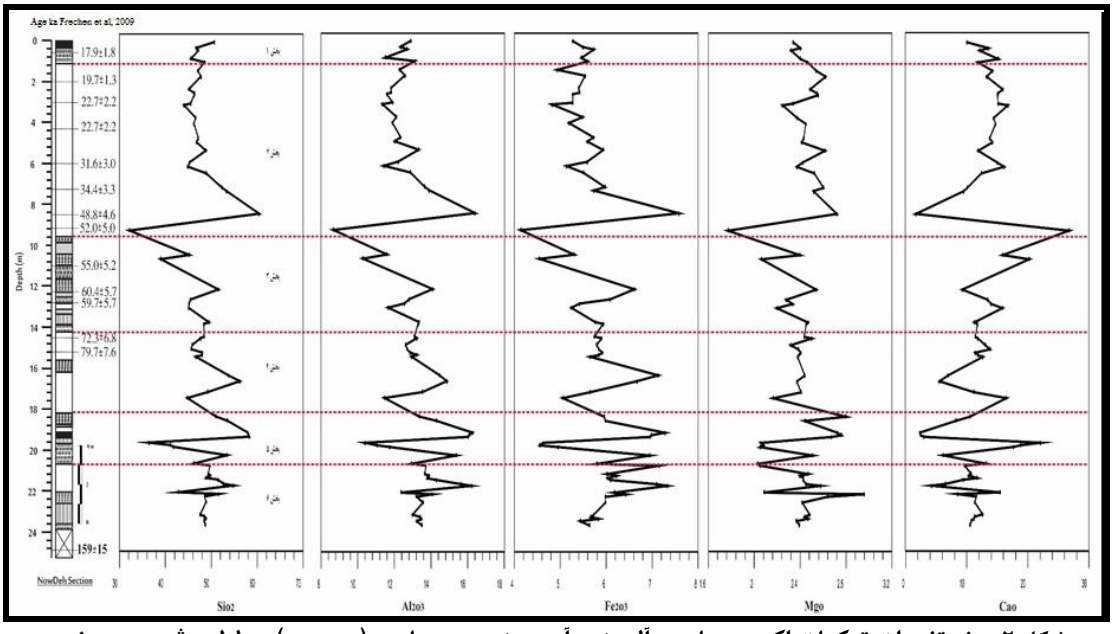
هر کدام از نمونه‌ها با الک ۴۴ میکرون شستشو و در آون خشک شد. سپس، با الک ۳۷ میکرون و سینی الک، الک گردید. رسوبات رسی بسیار نرم (میکرایت) آن به‌عنوان مادهٔ مورد آزمایش در ظروف ویژه‌ای بسته‌بندی و برچسب‌گذاری (ابوطالبی، ۱۳۸۷) و برای محاسبهٔ میزان عناصر، به آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات

معدنی کشور منتقل شد. ۰/۲ گرم از پودر هر نمونه در محلول اسید کلریدریک ۱ مولار قرارگرفت. پس از ۲ ساعت، عناصر اصلی[1] با دستگاه XRF و عناصر فرعی[2] به روش ICP۳ اندازه‌گیری شد.

نتایج

در این مرحله از تحقیق برای اینکه با دقت بالاتری به نتایج به‌دست‌آمده بپردازیم، برش رسوبی نوده را بر اساس شباهت افق‌های تشکیل‌شده به شش بخش تقسیم کرده‌ایم و بر اساس آن توضیح داده خواهد شد.

ترسیم روند تغییرات پنج عنصر اکسیدهای سیلیس، آلومینیم، آهن، منیزیم و کلسیم در برابر برش رسوبی نوده نشان می‌دهد که تغییرات این عناصر اصلی به غیر از اکسید کلسیم بر هم منطبق است (شکل ۲). در بخش ۱ این نمودار مشاهده می‌شود که چهار نمونهٔ اندازه‌گیری‌شده به‌ترتیب از عمق‌های ۱۰، ۴۰، ۵۰ و ۹۰ سانتی‌متری انتخاب شد. در این بخش به غیر از اکسید آهن که کمی متفاوت تر از سه عنصر دیگر است، روندها به‌صورت زیگزاگی است. مهم‌ترین تغییرات را می‌توان در افزایش مقدار نمونهٔ اول و کاهش نمونهٔ آخر در عمق ۹۰ سانتی‌متری مشاهده کرد. این تغییرات تقریباً هماهنگ با ستون چینه‌ها و نحوهٔ قرارگیری لایه‌های رسوبی است. تنها در عنصر اکسید کلسیم این روندها معکوس است.



شکل ۲. روند تغییرات ترکیبات اکسید سیلیس، آلومینیم، آهن، منیزیم و سیلیس (به درصد)در طول برش رسوبی نوده

در بخش دوم، برش رسوبی نوده تا عمق تقریبی ۹/۵ متری ادامه دارد. تغییرات عناصر یادشده روند یکسانی دارد، به‌طوری که در همهٔ عناصر، به غیر از اکسید کلسیم، میزان این تغییرات در ابتدای بخش تا عمق ۵/۴ متری بسیار کم است و بعد از این عمق تغییراتی در مقدار عناصر دیده می‌شود. بیشترین تغییرات رخ داده در این بخش مربوط به نمونه‌های شمارهٔ ۶۲، ۸۵ و ۹۳ است. در عمق ۶/۲ متری مقدار عناصر کاهش می‌یابد. سپس، در عمق ۸/۵ متری افزایش یافته است. در نهایت، در عمق ۹/۳ متری کاهش شدیدی نسبت به نمونهٔ قبل خود در عناصر دیده می‌شود. تمامی این نمونه‌ها در درون لایهٔ لسی قراردارند. این روندها در اکسید کلسیم مخالف با بقیهٔ عناصر است.

در بخش سوم میزان عناصر پی‌درپی دچار افزایش یا کاهش شده است که در عمق‌های مختلف دیده می‌شود.

---

1. major elements
2. trace elements
3. Inductively Coupled Plasma

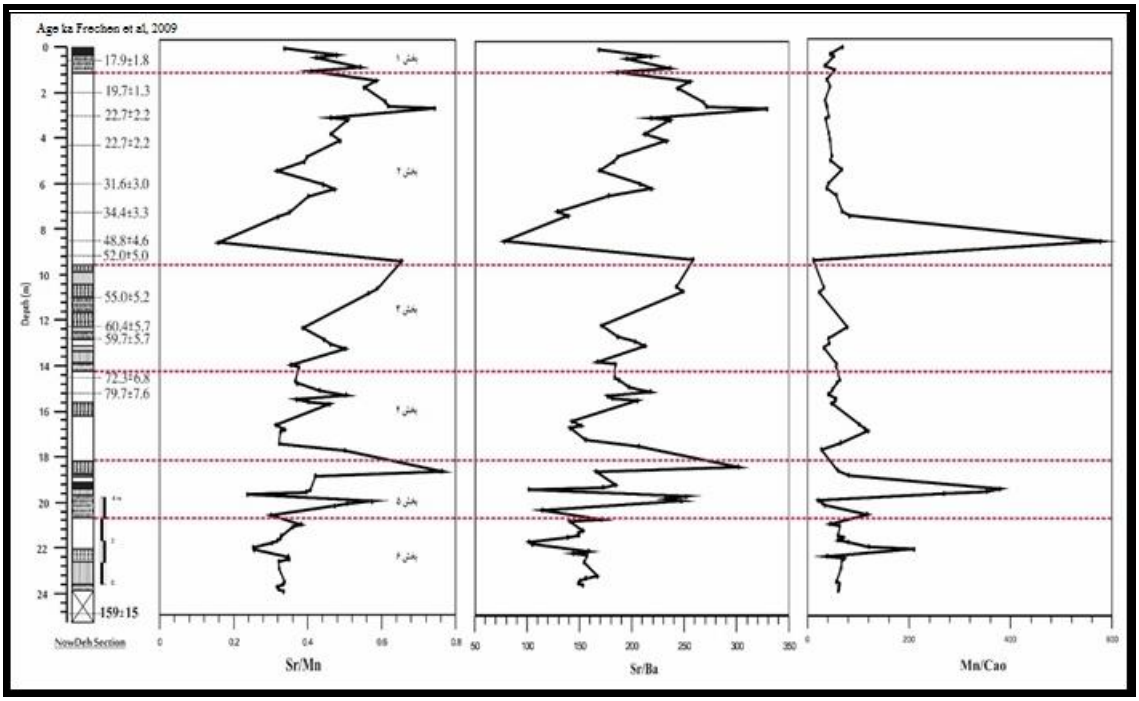
بخش سوم که به‌لحاظ قرارگیری لایه‌ها بیشترین تنوع تعداد لایه را در بین بخش‌های مختلف به‌خود اختصاص داده است، تغییرات نسبتاً زیادی داشت و هر نمونه نسبت به نمونهٔ قبل و بعد از خود تفاوت‌های زیادی دارد.

در بخش چهارم، حدود دوازده نمونه آزمایش شد. در ابتدای این بخش، تغییرات عناصر کم بود و در عمق ۱۵/۴ متری به بعد افزایش چشمگیری در مقدار عناصر دیده می‌شود که دقیقاً در مقابل افق حد واحد C و B است. به‌عبارتی، جنس افق مورد بررسی در تجمع میزان عناصر مؤثر بوده است. بعد از این افق لایهٔ لس رخنمون دارد که عناصر ذکرشده مقادیر کمتری را نشان می‌دهد.

در بخش پنجم، مقادیر عناصر فوق در ارتباط با لایه‌های رسوبی تغییر می‌کند، به‌طوری که بعد از لایهٔ لس بالایی که در بخش چهارم دیده شد، میزان عناصر در افق کمبیک با تجمع رس اندک که نمونهٔ ۱۹۳ از آن برداشت شده است، مقدار زیادی از عناصر یادشده را در خود نشان می‌دهد. بلافاصله بعد از این لایه، افق کمبیک با کمی آهک قراردارد که دارای مقدار عناصر کمتری نسبت به افق قبلی است. در داخل افق حد واسط C و B افزایش و کاهشی در همهٔ عناصر به غیر از اکسید کلسیم دیده می‌شود. شایان ذکر است که روند تغییرات اکسید کلسیم با بقیهٔ عناصر در تمامی طول برش رسوبی متفاوت است. دلیل آن در بخش بحث و نتیجه‌گیری توضیح داده شده است.

بخش ششم که حدود ۱۰۰ هزار سال گذشته را شامل می‌شود، در دو مورد تغییرات زیادی دارد. یکی از این نقاط در عمق ۲۱/۸ متری با روند افزایشی و عمق ۲۲/۱ متری با روند کاهشی عناصر روبه‌روست. در بقیهٔ طول برش رسوبی نوده در بخش ششم تغییرات زیادی دیده نمی‌شود.

شکل ۳ نسبت عناصر استرانسیم به منگنز، استرانسیم به باریم، و اکسید منیزیم به اکسید کلسیم را نشان می‌دهد. در بخش ۱، دو نسبت استرانسیم به منگنز و استرانسیم به باریم در مجموع روند کاهشی دارد و در نسبت اکسید منگنز به اکسید کلسیم این روند افزایشی بوده است. اما، باید اشاره کرد که تغییرات در این بخش از این نسبت‌ها بسیار کم بوده است. در بخش ۲، نسبت منگنز به اکسید کلسیم تغییرات زیادی نداشته و روند منظمی را تا عمق ۷ متری داشته است، اما در این عمق دچار تغییرات ناگهانی زیادی شده که باعث شده است تا این نسبت مقادیر افزایشی را ثبت کند. این روند تا عمق ۸/۵ متری ادامه دارد و بعد از آن روند قبلی را تا انتهای بخش ۲ طی می‌کند. برخلاف این نسبت، نسبت استرانسیم به منگنز و استرانسیم به باریم تغییرات زیادی دارد. در عمق ۸/۵ متر که حدود ۴۸ هزار سال گذشته را شامل می‌شود، مقدار این نسبت‌ها کاهش یافته است.



شکل ۳. روند تغییرات نسبت عناصر استرانسیم به منگنز، استرانسیم به باریم و منیزیم به اکسید کلسیم در طول برش رسوبی نوده

بخش ۳ و ۴ نیز همانند بخش قبل برای نسبت منگنز به اکسید کلسیم است. در این بخش نیز تغییرات این نسبت بسیار کم و تنها در حدود ۱۲و ۱۷ متری افزایش کوچکی دارد، در حالی که در همین دو بخش نسبت‌های استرانسیم به منگنز و استرانسیم به باریم تغییرات زیادی را ثبت کرده است. روند این تغییرات نیز برخلاف نسبت منگنز به اکسید کلسیم بوده است.

در تمامی نسبت‌های شکل ۳، بخش ۵ تغییرات زیادی دارد و با توجه به وجود لایه‌های مختلف رسوبی در این بخش، انتظار چنین رفتاری را از عناصر مختلف می‌توان داشت. مهم‌ترین این تغییرات در همهٔ نسبت‌ها در عمق ۱۹/۵ متری است. اما روند این تغییرات در نسبت‌های مختلف متفاوت است. نسبت اکسید منگنز به اکسید کلسیم در عمق روند افزایشی دارد و برخلاف آن، نسبت استرانسیم به منگنز و استرانسیم به باریم روند کاهشی داشته است. در بخش ۶ نیز میزان تغییرات در تمامی نسبت‌ها کم بوده و تنها در عمق ۲۲ متری تغییراتی همانند عمق ۱۹/۵ متری رخ داده است، با این تفاوت که مقدار این تغییرات کمتر بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

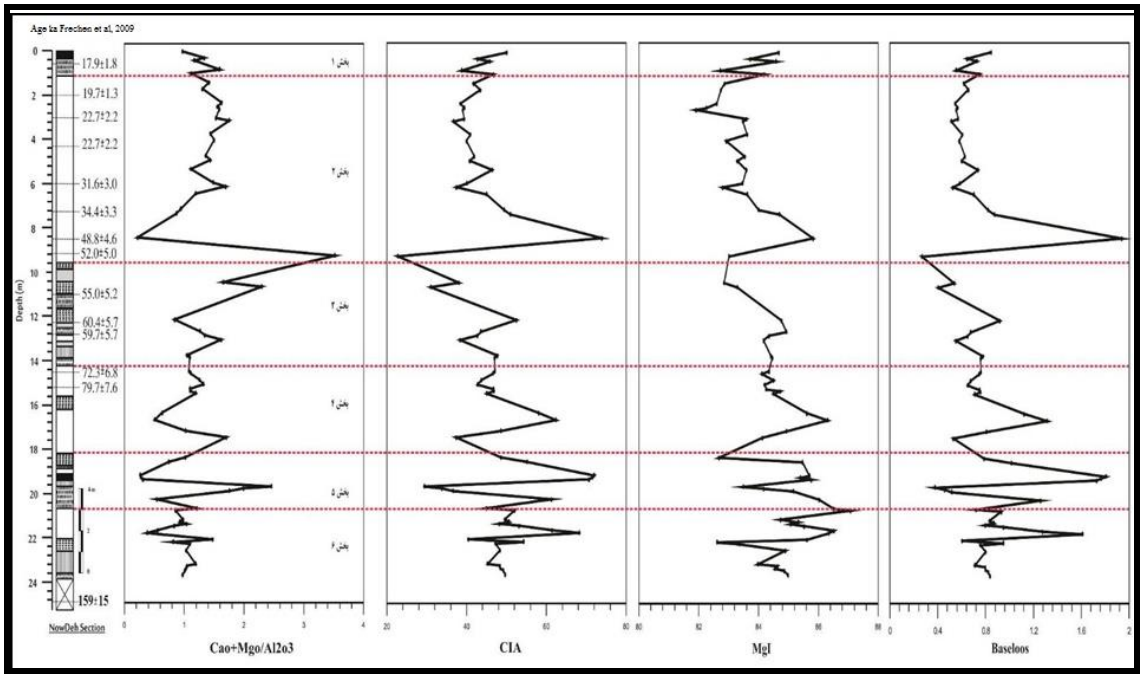
میزان اکسید آلومینیم و اکسید آهن در دوره‌های گرم و مرطوب زیاد و در دوره‌های اقلیمی سرد و خشک کم مشاهده شد. این دو ترکیب اکسیده جزء عناصر انحال‌ناپذیر و پایدار است و در شرایط اقلیمی سرد و خشک با افزوده‌شدن ترکیباتی از قبیل اکسید کلسیم و اکسید سدیم که ناپایدار و انحلال‌پذیر است، غلظت این عناصر کاهش می‌یابد و نشانه‌ای از گسترش دوره‌های یخچالی است. مقدار این عناصر هم‌زمان با تشکیل لایه‌های خاک دیرین افزایش می‌یابد و نشانه‌ای از وجود شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب است. در این شرایط کانی‌های انحلال‌پذیر با آبشویی از محیط خارج می‌شود و مقدار عناصر ذکرشده افزایش می‌یابد. دلیل اصلی این کاهش اضافه‌شدن عناصر انحلال‌پذیر به محیط است که مقدار عناصر ذکرشده را کاهش می‌دهد (Ding et al., 2001). عناصر اصلی خاک‌های دیرینه ممکن است به‌واسطهٔ غلظت بالای اکسید سیلیس (SiO_2؛ ۳۲/۲ تا ۶۰/۳۸) و اکسید آلومینیم (Al_2O_3؛ ۸/۶۷ تا ۱۶/۳۹) و غلظت پایین اکسید کلسیم (CaO؛ ۱/۷ تا ۲/۶۷) از لس‌ها تشخیص داده شود. تفاوت شیمیایی بین لس و خاک دیرینه ممکن است در اصل به‌دلیل انحلال کربنات از خاک دیرینه در طول دورهٔ خاکزایی به سبب افزایش دما و بارش در دوره‌های بین یخچالی باشد. کانی‌های رسی، در مقایسه با آلومینوسیلیکات‌های سنگ منشأ اولیهٔ خود، به‌دلیل وجود ترکیب و ساختار ورقه‌ای، به‌طور معمول مقادیر بالایی Al_2O_3 و Fe_2O_3 دارد.

عنصر منگنز نیز نشان‌دهندهٔ شرایط احیایی و بارش بیشتر است که در برش رسوبی نوده هم‌زمان با تشکیل لایه‌های خاک دیرین افزایش می‌یابد. لذا، این عنصر نیز در بازسازی شرایط آب‌وهوایی گذشته یکی از شاخص‌های مهم مورد مطالعه است. عنصر منیزیم با افزایش تأثیر دیاژنز آب‌وهوایی و شرایط احیایی افزایش می‌یابد و نشان‌دهندهٔ شرایط رطوبت زیاد در محیط است (پورمعافی، ۱۳۸۷). بنابراین، کاهش این عنصر گویای شرایط خشک است.

عنصر استرانسیم (Sr) نیز ارتباط مستقیمی با شرایط آب‌وهوایی گذشته دارد. مقدار این عنصر طی دورهٔ تشکیل خاک دیرین به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. مقدار Sr در نمونه‌ها به ترکیب کانی‌شناسی کربنات‌ها بستگی دارد. با افزایش بارش نسبت Sr/Mn و Sr/Ba زیاد می‌شود. بنابراین، این نسبت شاخصی برای بازسازی شرایط اقلیمی دیرین است (سلی، ۱۳۸۱؛ تقوی و همکاران، ۱۳۹۲).

برای بررسی هر چه بهتر تغییرات غلظت اکسیدهای اصلی، تعیین شدت هوازدگی و ارزیابی چگونگی فرایندهای خاکزایی، از معیارهای مختلف زمین‌شیمیایی استفاده شد. یکی از معیارهای مورد استفاده محاسبهٔ نسبت‌های مولکولی و هوازدگی در اکسیدهای اندازه‌گیری‌شده و چگونگی تغییرات آن در برش رسوبی مورد مطالعه است (Retallack, 1990; Mitchell & Sheldon, 2009). شاخص تهی‌شدگی کاتیون‌های بازی ($Baseloos= Al_2O_3 / CaO + MgO + Na_2O + K_2O$) شدت هوازدگی را نشان می‌دهد. بر اساس این شاخص مشاهده می‌شود که در برش رسوبی نوده هم‌زمان با تشکیل لایه‌های خاک دیرین، مقدار این شاخص نیز افزایش و با تشکیل لایه‌های لس مقدار آن کاهش می‌یابد. البته، باید اشاره کرد که در عمق ۸/۵ متری که حدود ۴۸ هزار سال گذشته را نشان می‌دهد، مقدار این شاخص، هم‌زمان با تشکیل لایهٔ لس، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است. در تمامی آزمایش‌های انجام‌شده روی برش رسوبی

نوده مشاهده می‌شود که در این بخش شرایط آب‌وهوایی تغییر کرده و محیط گرم و مرطوب حاکم شده است. هر چند باید اشاره کرد که زمان این رویداد کوتاه است و زمان کافی برای تشکیل لایهٔ خاک دیرین وجود نداشته است. با این توضیح می‌توان گفت که شاخص شدت هوازدگی در برش رسوبی نوده نتایج قابل‌قبولی ارائه کرد و نشان‌دهندهٔ شرایط مختلف آب‌وهوایی در طول ۱۶۰ هزار سال گذشته است (شکل ۴).



شکل ٤. روند تغییرات شاخص‌های هوازدگی شیمیایی در طول برش رسوبی نوده

شاخص کلسیتی‌شدن (Calcification= CaO + MgO / Al_2O_3) که معرف افزایش CaO است، در بخش‌های خاک دیرین کاهش و هم‌زمان با تشکیل لایه‌های لس افزایش می‌یابد. این شاخص نشان‌دهندهٔ شرایط آب‌وهوایی تشکیل رسوبات است، به‌نحوی که هنگام تشکیل لایهٔ خاک دیرین و هوازدگی بالا، مقدار این شاخص کاهش می‌یابد که دلیل اصلی آن خارج‌شدن اکسید کلسیم از محیط رسوبی در حال تشکیل به‌دلیل شستشوست. برعکس، در زمان تشکیل لایه‌های لس، به‌دلیل حاکمیت آب‌وهوای سرد و خشک، مقدار اکسید کلسیم افزایش می‌یابد. در نتیجه، مقدار شاخص کلسیتی‌شدن نیز افزایش می‌یابد.

برای تعیین شدت هوازدگی از دو شاخص هوازدگی شیمیایی (CIA= Chemical Index of Alteration) و شاخص هوازدگی مؤثر شیمیایی استفاده شد. شاخص هوازدگی شیمیایی (CIA= Al_2O_3 * 100 / Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) در بررسی هوازدگی شیمیایی به‌کار می‌رود و مقدار آن از ۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند (Maynard, 1992؛ کیااشکوریان و همکاران، ۱۳۹۱). مقادیر کمتر از ۵۰ بر هوازده‌نشدن، ۵۰ تا ۶۰ بر هوازدگی متوسط و بیش از ۸۰ بر هوازدگی شدید شیمیایی دلالت دارد (Nesbitt & Young, 1984). این نسبت در برش رسوبی نوده بین ۲۴ تا ۷۴ در تغییر بوده است. مقادیر بسیار کم این شاخص اشاره به نهشت دوبارهٔ کلسیت در بخش کالکریتی دارد. در صورت حذف CaO از رابطهٔ شاخص هوازدگی شیمیایی، مقدار این شاخص افزایش پیدا می‌کند که دلالت بر هوازدگی شدید دارد. با توجه به شکل ۴، مشاهده می‌شود که در مقابل لایه‌های لس مقدار این شاخص بسیار پایین است و مقادیر کمتر از ۵۰ درصد را نشان می‌دهد. همان‌طور که گفتیم، مقادیر کمتر از ۵۰ درصد نشان از هوازده‌نشدن رسوبات لسی است. اما مقدار این شاخص در برابر نهشته‌های خاک دیرین افزایش یافته است و بیش از ۵۰ درصد و در بیشتر موارد بالای ۷۰ است. لذا، این شاخص نیز نشان از آب‌وهوای گرم و مرطوب و مقدار هوازدگی بالای رسوبات در لایهٔ خاک دیرین دارد.

شاخص هوازدگی مؤثر شیمیایی MgI (MgI = Al_2O_3 * 100 / Al_2O_3 + MgO) یکی دیگر از شاخص‌هایی

است که به میزان هوازدگی شیمیایی رسوبات می‌پردازد. مقادیر بیش از ۷۵ بیانگر هوازدگی شدید شیمیایی است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص در برش رسوبی نوده، مقدار این شاخص از ۸۱ تا ۸۷ در طول برش متغیر است و نشان از هوازدگی شدید رسوبات دارد. با وجود این، باز مشاهده می‌شود که در لایه‌های لسی مقادیر کمتری از این شاخص ثبت شده است، در حالی که در لایه‌های خاک دیرین مقادیر بالاتری از شاخص MgI ثبت شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که شرایط آب‌وهوایی در زمان تشکیل لایه‌های خاک دیرین مناسب‌تر بوده و نسبت به زمان تشکیل لایه‌های لسی، شرایط گرم و مرطوب داشته است. باید اشاره کرد که کم‌بودن شاخص CIA نسبت به شاخص MgI دلالت بر نهشت دوبارهٔ کلسیت دارد. به‌عبارتی، دخالت عنصر Cao در شاخص CIA باعث شده است تا مقدار این عنصر در طول برش رسوبی کاهش یابد (کیااشکوریان و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج چلاچولا و لیتل (۲۰۱۱) در بررسی وضعیت اقلیمی لس‌های جنوب‌غربی سیبری، همخوانی زیادی نشان می‌دهد، به‌طوری که دوره‌های سرد و گرم، به‌خصوص در ۳۲ هزار سال اخیر این دو برش، هماهنگی زیادی داشته است. نتایج این تحقیق نیز دوره‌های مختلف اقلیمی رخ‌داده در جنوب‌غربی سیبری را تأیید می‌کند.

همچنین، نتایج آزمایش‌های ژئوشیمی برش نودهِ با نتایج تحقیق دینگ و همکاران (۲۰۰۱)، موس و بتیس (۲۰۰۰)، و اسمیکاتز و روی (۲۰۱۰) همخوانی خوبی نشان می‌دهد. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که میزان اکسید کلسیم، اکسید سدیم و اکسید منیزیم در رسوبات خاک دیرینه کم و در رسوبات لسی بیشتر است. در این تحقیق نیز نتایج به‌دست‌آمده گفته‌های آن‌ها را تأیید می‌کند. در رسوبات آواری مقادیر کربنات کلسیم کاهش و در دوره‌های گرم و مرطوب افزایش می‌یابد و رسوبات درون‌حوضه‌ای یا شیمیایی دارای ترکیب کربنات کلسیمی کاهش می‌یابد، در حالی که اکسید آهن و اکسید آلومینیم با توجه به پایداربودن در دوره‌های اقلیمی گرم و مرطوب بیش از دوره‌های سرد و خشک است.

همچنین، نتایج تحقیق قازانچایی و همکاران (۱۳۸۷) در خصوص بررسی خصوصیات میکرومورفولوژیکی توالی لس- پالئوسل منطقهٔ ناهارخوران گرگان نیز تأییدکنندهٔ نتایج این تحقیق در مورد تشکیل لس‌ها در آب‌وهوای سرد و خشک و خاک‌های دیرین در شرایط گرم و مرطوب است. نتایج تحقیق مهدی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) در زمینهٔ لس‌های نکا نیز نزدیکی زیادی با نتایج ارائه‌شده در این تحقیق دارد. آن‌ها در تحقیق خود از دو روش پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی استفاده کردند و دوره‌های اقلیمی مختلف را بر اساس این دو روش مشخص نمودند. در تحقیق حاضر نیز نتایج به‌دست‌آمده همپوشانی زیادی با تحقیق مذکور دارد.

منابع

آدابی، م.ح. (۱۳۸۳). ژئوشیمی رسوبی. انتشارات آرین زمین، ۴۵۴ ص.

آقانباتی، ع. (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱-۶۱۹ ص.

ابوطالبی، ف. (۱۳۸۷). بررسی تغییرات اقلیمی با استفاده از تحلیل ایزوتوپ‌های اکسیژن رسوبات دریایی در پلیئستوسن پایانی تا هولوسن دریاچهٔ بختگان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی: ۱۱۸-۱۶۰.

احمدی، ح. و فیض‌نیا، س. (۱۳۸۵). سازندهای دورهٔ کواترنر. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۲۵ ص.

امینی، آ. (۱۳۷۴). مطالعه و برخاستگاه و مکانیزم رسوب‌زایی لس‌ها در حوزه آبخیز قره‌تیکان. پایان‌نامهٔ کارشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.

پورمعافی، م. (۱۳۸۷). ژئوشیمی. انتشارات آرین زمین، تهران، ۲۱۱ ص.

تقوی، ل.، طیبی، ص.، طیبی، س. و کریمیان، ب. (۱۳۹۲). تحلیل اقلیم دیرینهٔ بخش شمالی تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی. فصلنامهٔ علمی- پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۵(۱۶): ۵۳-۶۲.

خواجه، م. (۱۳۸۱). بررسی رسوب‌شناسی، محیط رسوبی و رسوب‌زایی نهشته‌های کواترنر حوضهٔ گرگانرود. رسالهٔ دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

سلی، ر. (۱۳۸۱). محیط‌های رسوبی دیرینه و تشخیص آن‌ها در مطالعات زیرسطحی. ترجمهٔ امینی و اخروی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۲ ص.

عزیزی، ق. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. نشر قومس.

عندلیبی، م.ج. (۱۳۷۱). مشخصات منشأ و طبقه‌بندی لس‌های کواترنر پسین در حوضهٔ خزر ایران. رسالهٔ کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.

قازانچایی، ر.، پاشایی اول، ع.، خرمالی، ف. و ایوبی، ش. (۱۳۸۷). بررسی برخی خصوصیات میکرومورفولوژیک توالی لس–پالئوسل منطقهٔ ناهارخوران گرگان. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۲): ۱–۱۰.
کریمی، ع.ر.، خادمی، ح. و جلالیان، ا. (۱۳۹۰). لس: ویژگی‌ها و کاربردها برای مطالعات اقلیم گذشته. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۶: ۱–۲۰.
کیااشکوریان، م.، شمعانیان، غ.ح. و شفیعی، ب. (۱۳۹۱). پالئوسل‌های سازند پادها با سن دونین در زون البرز شرقی: ویژگی‌های بافتی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی. مجلهٔ بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۰(۴): ۷۳۹–۷۵۰.
لطیف (۱۳۷۶). پراکندگی، منشأ، سن و آثار دیرینهٔ اقلیم لس‌ها در شمال مرکزی ایران. مجموعه مقالات سمپوزیوم بین‌المللی لس نیوزلند. ترجمهٔ محمدرضا ثروتی و رضا اسماعیلی، مجلهٔ جغرافیا و توسعه، ۸۲: ۱۰۵–۱۱۸.
مهدی‌پور حسکوئی، ف.، علیمحمدیان، ح. و صبوری، ج. (۱۳۹۲). بازسازی آب‌وهوای کواترنر پسین در بخشی از شمال ایران (لُس‌های نکا) با استفاده از داده‌های مغناطیسی و ژئوشیمیایی. مجلهٔ علوم زمین، ۲۳(۸۹): ۹۷–۱۰۸.
نبوی، م. (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. ۱–۱۰۹ ص.
نکوخو، م. (۱۳۸۲). ژئوشیمی و محیط رسوبی نهشته‌های کربناتهٔ پرمین در جنوب‌شرق شهرضا. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی: ۲۷–۱۸۲.

Abatalebi, F. (2008). Climatic variation by using isotope analysis of marine sediments in the late Pleistocene to Holocene in Bakhtegan lake. Master Thesis, Faculty of Geosciences, Shahid Beheshti University: 118-160. [in Persian]
Adabi, M.H. (2004). Sedimentary geochemistry. Arian Zaman Publishing, 454 pp. [in Persian]
Aghanabati, A. (2006). Geology of Iran. National Geological Survey of Iran: 1-619. [in Persian]
Ahmadi, H. and Feiznia, S. (2006). Quaternary formations, theoretical and applied fundamental in natural resources. Tehran University Press, 120 pp. [in Persian]
Amini, A. (1995). Investigation and provenance and sedimentation mechanism of Loss in Ghare Tican Watershed. Master Thesis, Faculty of Geosciences, Mashhad Ferdowsi University. [in Persian]
Andalibi, M.J. (1992). Characteristics of the origin and classification of Late Quaternary Les in the Caspian Basin of Iran. Master Thesis of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch. [in Persian]
Azizi, Gh. (2004). Climate change. Ghomas Publication, Volume 1. [in Persian]
Bloemendal, J., Liu, X.M., Sun, Y.B. and Li, N.N. (2008). An assessment of magnetic and geochemical indicators of weathering and pedogenesis at two contrasting sites on the Chinese Loess Plateau. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 257: 152-168.
Chlachula, J. and Little, E. (2011). A high-resolution Late Quaternary climatostratigraphic record from Iskitim, Priobie Loess Plateau, SW Siberia. Quaternary International, 240: 139-149.
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, 6(65): 901-913.
Ding, Z.L., Xiong, S.F., Sun, J.M., Yang, S.L., Gu, Z.Y. and 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, 152: 49-66.
Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R. and Skowronek A. (2009). Loess chronology of the Caspian lowland in Northern Iran. Quaternary International, 198: 220-233.
Ghazanchi, R., Pashaee, A.A., Khormali, F. and Ayoubi, Sh. (2008). Investigation of some micromorphological characteristics of Les-Paleocell sequence in Gorgan Dining area. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(2): 1-10. [in Persian]
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, 416: 159-163.
Hum, L. and Fényes, J. (1995). The geochemical characteristics of loesses and paleosols in the South-Eastern Transdanube (Hungary). Acta Mineralogica-Petrographica (Szeged), 36: 89-100.
Karimi, A., Khademi, H. and Jalalian, A. (2011). Loess: Characterize and application for paleoclimate study. Geography Research, 76: 1-20. [in Persian]
Karimi, A., Khademi, H., Kehl, M. and Jalaian, A. (2009). Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in Northeast Iran. Geoderm, 148: 241-250.
Kehl, M., Frechen, M. and Skowronek, A. (2005). Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the basin of persepolis, Southern Iran. Quaternary International, 140/141: 135-149.
Khaje, M. (2002). Sedimentology, sedimentation and sedimentation of Quaternary deposits of Gorganroud Basin. Doctor of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch. [in Persian]
Kiaoshkoian, M., Shamanian, Gh. and Shafiee, B. (2012). Paleocells of Padeha formation with age of devonian in the Eastern Alborz Zone: histological, mineralogical and geochemical characteristics. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20(4): 739-750. [in Persian]
Latif, A. (1997). Distribution, origin, age of the Caspian Sea in northern central Iran. Proceedings of the International Symposium of Los New Zealand, Translation by Mohammadreza richetti and Reza Esmaili, Geography and Development Magazine: 105-118. [in Persian]
Maynard, J.B. (1992). Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian palesols. Journal of Geology, 100: 279-289.
Mehdipour, F. (2012). Investigation of paleoclimate in late quaternary western alborzusing of technical applied and magnetism parameters. Geology and Mineral Exploration, Master Science Thesis.

Mitchell, R.L. and Sheldon, N.D. (2009). Weathering and paleosol formation in the 1.1 Ga Keweenawan Rift. Precambrian Research, 168: 271-283.

Morill, A. (2006). The importance of both geological and pedological processes in control of grain size and sedimentation rates in Peoria Loess. Geoderma, 136: 388-400.

Nabavi, M. (1976). Introduction geology of Iran: 1-109. [in Persian]

Nekokho, M. (2003). Geochemistry and sedimentary environments of Permian carbonate deposits in the south east of Shahreza. Master thesis, Faculty of Geosciences, Shahid Beheshti University: 27-182. [in Persian]

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, 53: 49-61.

Nesbitt, H.W. & Young, G.W. (1984). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 299: 715-717.

Pourmoafi, M. (2008). Geochemistry. Arian Zamin Publishing House, Tehran, 211 pp. [in Persian]

Retallack, G.J. (1990). Soils of the past: An introduction to paleopedology. Unwin Hyman, Boston, 520 pp.

Roya, S.K. (2007). REE geochemistry of the recent playa sediments from the Thar Desert, India: An implication to playa sediment provenance. Chemie der Erde, 67: 55-68.

Roya, S.K. and Caballeroa, L. (2008). Geochemistry of late quaternary sediments from Tecocomulco Lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance. Chemie der Erde, 68: 383-393.

Sai, K. (2004). Geochemistry of lake sediments as a record of environmental change in a high arctic watershed. Chemie der Erde, 64: 257-275.

Sally, R. (2001). Long-standing sedimentary environments and their diagnosis in sub-surface studies. Translation by Amini and Avesari, Tehran University Press, 432 pp. [in Persian]

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, 62(3): 380-390.

Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7): 1229-1258.

Taghavi, L., Tayebi, S., Tayebi, S. and Karimian, B. (2013). The analysis of the Paleoclimatic region of Gavkhoni wetland using the geochemistry of the main and secondary elements. Journal of Aquatic Biology, 5(16): 53-62. [in Persian]