



سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

عنوان پروژه:

بازسازی اقلیم گذشته کلیدی برای برآورد اثرات تغییر اقلیم در آینده ایران و آلودگی در مقابل آن

فاز اول:

روند تغییرات آب و هوایی کوآترنری پسین در البرز شرقی

مسئول پروژه و تهیه‌کننده:

سحر ملکی

همکاران:

قاسم عزیزی، فرهاد خرمالی، رضاشهبازی، مرتضی شیخ، بهارستی، مارتین کهل، مانفرد فرشن

شهریورماه ۱۳۹۹

کشور

معدنی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

و
پژوهشی

سازمان زمین

کشور

معدنی

انتشارات

این گزارش مورد تأیید داوران شورای ارزیابی قرار گرفته و طبق کد شماره
۱۳۳/۱۴۰۱ گ ۳۳۰۲-۳۱۲۱-۱۴۰۰ از این شورا مجوز انتشار دریافت کرده است.

و

شناسی

زمین

سازمان

چکیده

مطالعات دیرینه اقلیم در ایران بسیار محدود است. جهت مطالعات دیرینه اقلیم از روش های گوناگونی استفاده می گردد البته هر کدام از روش ها بستگی به محیط مد نظر و مناسب جهت مطالعات اقلیمی می باشد. به عنوان مثال روش های مغزه گیری برای تالاب ها، استلاگتیت و استلاگمیت ها در غارها و ... استفاده می گردد. در این تحقیق برای بازسازی آب و هوای کواترنر پسین منطقه سعدآباد، برش لسی دانشگاه منابع طبیعی گرگان انتخاب شد. ستبرای این برش ۲۰ متر می باشد. در مجموع تعداد ۲۰۴ نمونه از کل برش با فاصله ۱۰ سانتیمتری جهت مطالعات پارامترهای دانه بندی، پذیرفتاری مغناطیسی و آنالیزهای ژئوشیمی و ۲۵ نمونه برای کانی های رسی و ۲۴ نمونه سن سنجی OSL برداشت شد که حدود ۱۴۷۱۰۰ سال پیش را دربرمی گیرد. جهت انجام مطالعات پالینولوژی برش لس پالئوسولی سعدآباد ۲ که حدود ۲ کیلومتر با برش اصلی مورد مطالعه فاصله داشت انتخاب و ۵ متر بالایی آن با فواصل ۱۰ سانتیمتری نمونه برداری شد که حدود ۸ نمونه جهت سن سنجی نیز از این توالی انتخاب شد که حدود ۲۳۰۰۰ سال پیش را دربرمی گیرد. پس از اندازه گیری آنالیزهای ذکر شده نتایج زیر بدست آمد: برش لسی سعدآباد میزان یک پالئوسول (خاک دیرینه) توسعه یافته با درصد رس بالا (آرجیلیکی) قرمز هایل به قرمز قهوه ای که نشان از توسعه یافتگی بالاتر و مربوط به حدود ۱۲۰۰۰۰-۱۳۰۰۰۰ سال پیش و همچنین تعدادی افق پالئوسولی قهوه ای متوسط تا ضعیف توسعه یافته مربوط به بازه های زمانی ۱۴۷، ۸۲، ۴۵، ۴۰، ۳۲ و ... است، شکل گیری افق های پالئوسولی به شرایط نسبتاً مرطوب و گرم مربوط می شود که با آب و هوای بین یخبندان (interglacial) و شبه بین یخبندان (interstadial) مرتبط است. در حالی که تجمع گرد و غبار و تشکیل خاک های همزمان با شبه یخچالی ها (stadial) مطابقت دارد. تیپیک ترین لس در برش MIS^۴ شکل گرفته است. میزان پذیرفتاری مغناطیسی با توالی لس-پالئوسول ارتباط مستقیم داشته و با تشکیل رسوبات لسی پذیرفتاری مغناطیسی کاهش و با تشکیل لایه های پالئوسولی افزایش یافته است. بدین ترتیب لایه های لس و پالئوسول مطالعه شده به ترتیب در دوره های یخچالی و بین یخچالی و در شرایط آب و هوایی متفاوت تشکیل شده اند. شاخص هوازگی شیمیایی و شاخص هوازگی موثر شیمیایی در نهشته های پالئوسولی افزایش یافته و در بیشترین حالت آن که در افق های خاک مربوط به MIS^۵ می باشد در مطالعات کانی شناسی میزان کلریت و ایلیت در لایه های لسی افزایش و در خاک های دیرین کاسته شده و بر مقدار کانی

اسمکتیت و ورمیکولیت افزوده شده است. فراوانی این کانی ها با سایر روندهای مورد مطالعه همخوانی دارد و نشان از رطوبت و شرایط مناسب در زمان تشکیل خاک و شرایط سرد و خشک در زمان تشکیل لایه های لس دارد. بطور کلی در این سکانس ۹ افق پالئوسلی که نشاندهنده دوره گرم و مرطوب بین یخبندان و شبه بین یخبندان شناسایی شد.

گرده شناسی منطقه سعدآباد ۲، تعداد ۱۸ تیپ گرده گیاهی شامل ۱۰ تیپ گرده درختی، ۸ تیپ گرده گیاهان علفی و درختچه‌ای در نمونه‌های گرده‌شناسی ۵ متر بالایی توالی لس-پالئوسول شناسایی گردید، نمودار گرده توالی لس-پالئوسول را می‌توان به ۳ زون گرده‌ای (زون گرده ای SAD-A: ۱۵۰۰۰-۲۲۰۰۰ که دلالت بر یک دوره سرد همراه با دو شبه بین یخبندان دارد. زون گرده ای SAD-B: ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ که دلالت بر یک دوره سرد دارد. زون گرده ای SAD-C: ۱۵۰۰-۱۰۰۰۰ که چندین دوره سرد و گرم شدن را دربردارد) تقسیم کرد.

در نهایت میتوان نتیجه گرفت اواخر پلیستوسن تغییرات اقلیمی سرد و خشک به گرم و مرطوب منجر به تکامل رسوبات لسی و خاک‌های قدیمی در شمال ایران شده‌است. توالی لس-خاک در سعدآباد هر دو نوسان اقلیمی سرد و نسبتاً خشک یخچالی (glacial) و شبه‌یخچالی را همزمان با تجمع گردوغبار و همچنین شرایط محیطی احتمالاً گرم‌تر و مرطوب‌تر در طول دوره بین‌یخچالی و شبه بین‌یخچالی همزمان با مراحل اصلی تشکیل خاک را نشان می‌دهد. درجه های متفاوت توسعه یافتگی خاک حاکی از افزایش رطوبت از شرق به غرب و از شمال به جنوب در طی زمان حال و آخرین دوره بین یخبندان بوده است. که به احتمال زیاد، نشاندهنده تغییرات آب و هوایی مشابه حال حاضر شمال شرق ایران در اواخر پلیستوسن بوده است. براساس آخرین پالئوسول های بین یخبندان قبلی، کاهش صعودی در شدت خاکزایی با گذشت زمان برای هر یک از بخش های لس-پالئوسول ذکر شده دیده می شود، که نشان دهنده کاهش شدت هوازگی شیمیایی است. این فواصل با مرحله بعدی تجمع لس جایگزین می شود. بنابراین لس و پالئوسولها در سعدآباد یک الگوی تکرار شونده را نشان می دهند، که با سابقه چینه نگاری بخش های نکا، نوده و آق بند مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، لس، گرده گیاهی، کانی رسی، ژئوشیمی، میکرومورفولوژی، دانه بندی

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات	۸
۱-۱- مقدمه	۸
۱-۲- مسئله تحقیق	۱۱
فصل ۲: مروری بر مطالعات انجام شده	۱۵
۲-۱- مقدمه	۱۵
۲-۱-۱- تغییر اقلیم	۱۵
۲-۱-۲- دوره کوتا‌ترنری	۱۶
۲-۱-۳- پالئویدولوژی در توالی های لس- پالئوسول	۳۳
فصل ۳: روش تحقیق	۴۳
۳-۱- مقدمه:	۴۳
۳-۲- روشهای مطالعاتی	۴۴
۳-۲-۱- مطالعات و بررسیهای کتابخانهای	۴۴
۳-۲-۲- کارهای صحرائی و نمونه برداری	۴۴
۳-۲-۳- کارهای آزمایشگاهی و اندازه گیری ها	۴۶
۳-۲-۴- مطالعات پایه	۵۱
۳-۲-۴-۱- ویژگی های زمین شناسی:	۵۱
۳-۲-۴-۲- ویژگیهای توپوگرافی	۵۴
۳-۲-۴-۳- ویژگیهای اقلیمی	۵۴
۳-۲-۴-۵- منطقه مورد مطالعه	۵۷
فصل ۴: یافته ها و بحث	۵۸

- ۴-۱- نتایج مطالعات صحرایی (مورفولوژیکی) و میکرومورفولوژیکی ۵۹
- ۴-۲- نتایج کانی شناسی رسی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد) ۶۳
- ۴-۳- نتایج دانه بندی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد) ۶۶
- ۴-۳-۱- خصوصیات دانه بندی لس و تغییر سرعت باد و منع گرد و غبار ۶۷
- ۴-۴- نتایج پذیرفتاری مغناطیسی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد) ۶۸
- ۴-۵- نتایج ژئوشیمی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد) ۷۰
- ۴-۵-۱- نسبتهای عناصر اصلی و فرآیندهای پدوژنیک ۷۰
- ۴-۵-۲- نسبتهای عناصر ردیاب ۷۷
- ۴-۶- نتایج گرده شناسی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد) ۸۰
- ۴-۷- نتایج سن سنجی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد) ۸۳
- فصل ۵: نتیجه گیری ۸۵
- ۵-۱- نتیجه گیری ۸۶
- ۵-۲- پیشنهادها ۹۴
- فصل ۶: مراجع ۹۴

فصل ۱: کلیات

کشور
معدنی
اكتشافات
و
تناسی
مب

۱-۱- مقدمه

اقلیم یکی از عوامل مهم و مؤثر در زندگی انسان است. از این رو همواره به عنوان یکی از عوامل مهم برای دستیابی به اهداف علمی، اقتصادی و صنعتی بوده است. دگرگونی‌های اقلیم بر زندگی انسان، چشم‌انداز و استراتژی‌های اقتصادی-اجتماعی تأثیر ژرفی به جا می‌نهد. به این دلیل انسان همیشه در پی دستیابی به پیشینه، شواهد و علل و آینده دگرگونی‌های اقلیم بوده است (عساکره، ۱۳۸۶، ۳). تغییرپذیری طبیعی، ویژگی ذاتی اقلیم

است که هم در مقیاس زمانی کوتاه مدت و هم در مقیاس زمانی بلندمدت روی می دهد (محمدی، ۱۳۸۸، ۳۱۷). پدیده های النینو، لانینا و نوسان اطلس شمالی عامل اصلی بروز تغییرات کوتاه مدت اقلیمی در سطح جهان محسوب می شوند. در حالی که تغییرات درازمدت اقلیمی جهان (در مقیاس زمانی ۱۰ تا ۱۰۰۰ سال) تحت تأثیر دو عامل اصلی یعنی تغییر انرژی ورودی از خورشید، گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثرات گلخانه ای (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۳۳) و همچنین تغییرات در پارامترهای مداری زمین و خورشید، ستاره های دنباله دار، تکتونیک صفحه ای، فعالیت آتش فشان ها، کوهزایی، مغناطیس زمین، تغییرات در سامانه زمین - اقیانوس - جو (عزیزی، ۱۳۸۳، ۹۹-۵۵) و تغییرات سطح زمین قرار دارد. وقوع تغییرات آب و هوایی حتی به صورت جزئی بر تمام ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی اثرات فاحش و قابل توجهی دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۹). از این رو همواره آگاهی از تغییرات اقلیم در جهت برنامه ریزی برای آینده ای روشن تر، مورد توجه تصمیم گیران بوده است.

دگرگونی های ایجاد شده در دوره کواترنری شایان توجه بوده و نظر متخصصان بسیاری را جلب کرده است. با توجه به دوره ای بودن تغییرات اقلیمی در کواترنری و افزایش دما در سال های اخیر و خطر تغییرات بیشتر آن در آینده، شناخت چگونگی تغییرات در گذشته، به منظور برنامه ریزی های کشاورزی و زیست محیطی آینده از اهمیت فراوانی برخوردار است (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۲، ۵۱). تغییر اقلیم امروز یک مسئله جهانی است که مورد توجه سیاستمداران، اقتصاددانان، دانشمندان، محققان و حتی کشاورزان و دامداران است. به دلیل اثر غیرقابل انکار این پدیده بر اقتصاد، انرژی، ذخایر آبی و بسیاری از پدیده های مرتبط با زندگی بشر، تغییر اقلیم امروزه از چالش های مهم سیاسی تلقی می شود (رفعتی آلاشتی، ۱۳۸۶، ۸).

یکی از فرآیندهای دوره کواترنری وجود دوره های یخبچالی و بین یخبچالی است. شرایط اقلیمی در طول دوره های بین یخبچالی با میانگین دما و بارش بالاتر مشخص می شود که باعث افزایش رشد پوشش گیاهی، شدت هوازدگی شیمیایی و تشکیل خاک شده است. از این رو تحت شرایط نسبتاً پایدار ژئومورفیک، خاک ها بر روی گردوغباری که در گذشته زمین را پوشانده بودند تشکیل شده اند. دفن آنها زیر لایه های جدید از گردوغبار منجر به تشکیل توالی های لایه های لس و خاک قدیمی شده است (ولامینک و همکاران، ۲۰۱۳). اسمالی و همکاران (۲۰۰۱) بیان می کنند که لس به صورت کامل بر اثر تجمع ذرات بادی تشکیل شده است. خاک های قدیمی یا

پالئوسول‌ها، خاک‌هایی هستند که در زمان گذشته تشکیل شده‌اند. این گونه خاک‌ها ممکن است دفن شده یا در سطح خاک باقی مانده باشند (بریکلند، ۱۹۸۴). خاک‌های قدیمی برای مطالعه تغییر و تحول محیط و اقلیم گذشته بسیار مفید هستند (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۱). در حال حاضر وجود خاک‌های قدیمی در هر محیط رسوبی از جمله رسوبات لسی دلالت بر تغییرات اقلیمی دارد (کهل و همکاران، ۲۰۰۶). روش‌های گوناگونی برای مطالعه خاک‌های قدیمی مدفون و مقایسه آنها با خاک‌های مدرن وجود دارند که از جمله آنها می‌توان به مطالعات میکرومورفولوژی، کانی‌های رسی، پراکندگی اندازه ذرات، پذیرفتاری مغناطیسی و ژئوشیمی اشاره نمود. از خصوصیات فیزیکی خاک‌های قدیمی به عنوان شاخصی برای بازسازی هوازدگی و شرایط اقلیمی گذشته استفاده می‌شود (ریتالک، ۱۹۹۰). شناسایی کیفی و کمی کانی‌های رسی به عنوان معیار دقیقی جهت تعیین مراحل مختلف هوازدگی و توسعه و تکامل خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (لیو، ۱۹۸۸). بطور کلی هدف از میکرومورفولوژی خاک‌ها نیز شناسایی فرآیندهای مؤثر در تشکیل و تغییر شکل خاک است (استوپس، ۲۰۰۳). از تکنیک‌های میکرومورفولوژی برای تعیین منشأ رسوبات و خاک‌های قدیمی حاصل از آنها و شناسایی فرآیندهای تشکیل خاک و مطالعه پارامترهایی از خاک مانند توزیع مکانی مواد آلی، پوشش‌های رسی و نودول‌های آهن و منگنز که تحت تأثیر شرایط اقلیمی قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود (کهل و همکاران، ۲۰۱۰). توزیع اندازه ذرات یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک است که حاصل چندین فرآیند پیچیده می‌باشد. اندازه‌گیری ذرات به طور گسترده‌ای در تحقیقات لس کواترنری به منظور بازسازی تغییرات محیطی گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرد. پراکندگی اندازه ذرات گردوغبار شاخص مناسبی در رابطه با ارزیابی منشا و فاصله انتقال این ذرات است (مک تینش، ۱۹۸۷). پراکندگی اندازه ذرات به خصوص اندازه میانه رسوبات لسی به طور معمول به عنوان یک شاخص برای قدرت باد در گذشته و یا منابع گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته است (وندنبرگ، ۲۰۰۶). یکی از پارامترهای مؤثر در تفسیر فرآیندهای خاکساز در اقلیم گذشته ویژگی‌های مغناطیسی خاک‌ها می‌باشد که بیان‌کننده منشا کانی‌ها در رسوبات می‌باشد (والکر، ۲۰۰۵).

در کمربند لس اوراسیا، مطالعات متعددی روی توالی‌های لس-خاک جنوب شرق اروپا انجام شده‌است (زیدن و همکاران، ۲۰۱۷؛ مارکوویچ و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابرهت و همکاران، ۲۰۱۴) با این حال که لس‌ها بخش وسیعی از دامنه‌های شمالی کوه‌های البرز را پوشانیده‌اند، اطلاعات نسبتاً کمی در مورد چینه‌شناسی آن‌ها در

دسترس است بوده و ضمن اینکه جای خالی نگرش تاثیر تغییر اقلیم بر تحول و تکامل زمین در مطالعات گذشته احساس می شود.

درک فعلی از شواهد اقلیمی و سن رسوبات لسی شمال ایران می بایستی استفاده از روش های استدلالی در چارچوب زمان تا دوره پلیستوسن میانی مورد بررسی از سوی دیگر، تا کنون تنها مطالعات انگشت شماری با استفاده از بایگانی های رسوبی تغییر اقلیم در ایران، شامل رسوبات دریاچه ای دریاچه ارومیه (جمالی و همکاران، ۲۰۰۸)، دریاچه هشیلان (رستمی و همکاران، ۱۳۹۸، صفایی راد و همکاران، ۱۳۹۸) رسوبات شنی اردکان (توماس و همکاران، ۱۹۹۷)، رسوبات لسی در شمال (کهل و همکاران، ۲۰۰۵؛ فریچن و همکاران، ۲۰۰۹؛ کهل، ۲۰۱۰؛ خرهالی و کهل، ۲۰۱۱، ولامینک و همکاران، ۲۰۱۸، غفارپور و همکاران، ۲۰۱۹، خرهالی و همکاران، ۲۰۲۰ و ...) و شمال شرق ایران (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱) انجام شده است و برای روشن شدن بیشتر تغییرات اقلیمی، تحقیق و مطالعه بیشتر در این زمینه ضروری به نظر می رسد.

در این مطالعه تلاش خواهد شد که با استفاده از روش های مختلف مورفولوژی، چینه شناسی، کانی شناسی و میکرومورفولوژی، سن سنجی، ژئوشیمی، گرده شناسی و پذیرفتاری مغناطیسی اقدام به بازسازی دما و رطوبت و در صورت امکان پوشش گیاهی و در نتیجه اقلیم گذشته در شمال ایران (گرگان) شود.

۲-۱- مسئله تحقیق

مسئله تغییر آب و هوا واقعیتی است که از دوره های گذشته تا به امروز به طور پیوسته زمین و هر آنچه در آن حیات داشته را متأثر ساخته و می سازد. این تغییرات گاهی در بازه های زمانی کوتاه و با روندی سریع و گاهی با روندی آرام و تدریجی رخ داده اند. بی شک در آینده نیز تغییرات آب و هوایی چهره زمین را دستخوش تغییر خواهند ساخت و مناطق مختلف کره زمین آب و هوایی متفاوت از آنچه امروز بر آن ها مستولی است تجربه

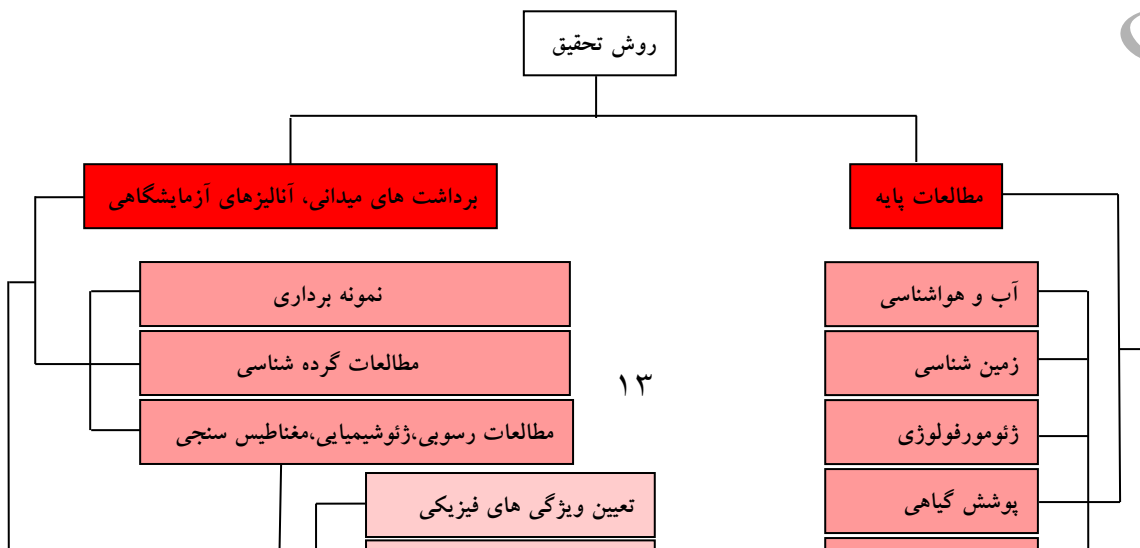
خواهند کرد. بدین جهت از چند دهه گذشته تاکنون تمرکز بیشتری بر مطالعه تغییرات آب و هوایی و سازوکار رخداد آن‌ها شده است. تغییرات ناگهانی در آب و هوا، به طور متناوب، آثار خود را به اشکال گوناگون فیزیکی، شیمیایی در رسوبات و یخچال‌ها بر جا گذاشته‌اند. با کشف و بازسازی شواهد موجود در طبیعت، امکان شناسایی زمان، اندازه و سازوکار رخداد تغییرات ناگهانی در آب و هوا و محیط زیست گذشته زمین ایجاد می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳). منابع و شواهد بسیاری برای بررسی آب و هوای گذشته وجود دارد که در این میان می‌توان به مغزه‌های یخی، رسوبات اقیانوسی، رسوبات دریاچه‌ای، حلقه‌های درختان، نهشته‌های رسوبی خشکی‌ها و ... اشاره کرد. نهشته‌های لسی با میان لایه‌های خاک دیرین به‌عنوان یکی از بهترین رسوبات ثبت‌کننده تغییرات آب و هوا دوره کواترنری در خشکی‌ها به شمار می‌روند (Ding et al, ۱۹۹۹; Guo et al, ۲۰۰۸).

رسوبات لسی حدود ۱۰ درصد از سطح زمین را پوشش داده و بیشتر در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۶۰ درجه ی نیمکره ی شمالی، موسوم به کمربند لس قرار دارند. با توجه به این که در دوره های یخچالی میزان اختلاف فشار بین قطب و استوا افزایش پیدا می کرد، لذا بادهای با شدت زیادی می وزیدند و این عامل باعث می شود تا رسوبات یخچالی که به وسیله رودخانه ها حمل شده و در دشت ها قرار داشتند، به واسطه دوره سرد بیرون از آب قرار گیرند و در معرض بادهای شدید باشند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰). به عبارتی این رسوبات یخچالی بر اساس قدرت باد در دوره های سرد جابجا می شدند. با به وجود آمدن شرایط اقلیمی دوره های بین یخچالی و به عبارتی گرم و مرطوب، این رسوبات لسی نهشته شده در معرض فرآیندهای خاکزایی قرار می‌گیرند. لذا در دوره‌های اقلیمی سرد و خشک شاهد رسوب‌گذاری لس‌ها و در دوره‌های اقلیمی گرم و مرطوب شاهد فعالیت‌های خاکزایی و تشکیل خاک دیرینه می باشیم.

یکی از مشکلات درک بهتر تغییرات اقلیمی گذشته در مقیاس محلی و جهانی جهت برقراری همبستگی بین رسوبات خشکی و مراحل ایزوتوپی کمبود اطلاعات اقلیمی می باشد (Liu, ۱۹۸۷; Rutter et al, ۲۰۰۳). بخش شمالی ایران به لحاظ جغرافیایی، هم عرض کشورهای آسیای میانه و چین است. مطالعات لس و بررسی جنبه های 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 پژوهش های مناسب قابل استخراج است. بیشتر مطالعات انجام شده در ایران،

مربوط به لس های شمال و شمال شرق ایران بوده و بیشتر جنبه شناسایی و تفسیر ویژگی های لس را داشته و از آنها برای تفسیر اقلیم گذشته کمتر استفاده شده است. لذا در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از روش های مختلف پژوهشی، به بررسی و بازسازی آب و هوای گذشته بر اساس نهشته های لس پرداخته شود.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور



شکل ۱-۱: مراحل مختلف تحقیق و ارتباط آنها با یکدیگر

فصل ۲:

فصل ۳: مروری بر مطالعات انجام شده

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۱-۲- مقدمه

۱-۱-۲- تغییر اقلیم

جهان دائماً در حال تغییر و تحول است. اصولاً تغییر و حرکت جزء وجودی سامانه‌های طبیعی است

(عزیزی، ۱۳۸۳). اقلیم نیز به تبع ماهیت فیزیکی-دینامیکی‌اش پیوسته در حال تغییر و تحول است. تغییرات

اقليمی اغلب در بازه‌های زمانی طولانی مدت اتفاق می‌افتند، اما گاه این تغییرات چنان سریع و ناگهانی عمل می‌کنند که می‌توانند اثرات قابل‌ملاحظه‌ای را بر روی جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی بر جای بگذارند. تغییر اقلیم شامل اختلاف و تفاوت‌های درازمدت عناصر آب‌وهوایی در زمان‌های مختلف است. در واقع تغییر اقلیم اختلاف بین مقادیر میانگین طولانی‌مدت یک عامل اقلیمی تعریف می‌گردد. نیروهای اقلیمی (عوامل اقلیمی که باعث تغییر اقلیم می‌شوند) می‌توانند در چندین بازه زمانی، از بسیار طولانی‌مدت (چند هزارساله) تا درون سالی شناخته شوند. نشانه‌ها و شواهد تغییرات اقلیمی نیز در بازه‌های زمانی کوتاه و بلندمدت پدیدار می‌شوند. تغییرات در بازه‌های زمانی کوتاه از جمله وقوع سیلاب‌های سنگین، کاهش میزان بارش برف، خشک شدن تالاب‌ها و همچنین تغییرات در بازه‌های زمانی بلندمدت از جمله پیدایش و از بین رفتن دریاچه‌ها، استقرار و از بین رفتن سکونتگاه‌ها و ... نشانه‌هایی از تغییرات اقلیمی می‌باشند؛ اما مسلماً، تعیین اندازه رخداد‌های اقلیمی با استفاده از شواهد موجود و همچنین مشخص نمودن زمان دقیق وقوع این رخدادها مسئله پیش روی اقلیم‌شناسان است؛ تا با شناخت دوره‌های اقلیمی گذشته و چگونگی روند این تغییرات راه را برای پیش‌بینی‌های احتمالی اقلیم آینده میسر سازند. قسمت قابل‌توجهی از این عمل با بررسی شواهد و مدارکی که از نوسانات و تغییرات اقلیم گذشته حکایت دارند، میسر می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳).

۲-۱-۲- دوره کواترنری

در جدول زمانی زمین‌شناسی کمیسیون بین‌المللی چینه‌نگاری (ICS)، دوران سنوزئیک دارای سه دوره است، که از بین این سه دوره، آخرین آن‌ها دوره کواترنری نامیده می‌شود. دوره کواترنری حدوداً از ۲/۵۸۸ میلیون سال پیش تا به امروز به طول انجامیده است. آغاز این دوره زمانی، با آغاز هجوم یخبندان‌های عمده نیمکره شمالی، همزمان می‌باشد (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲: زیرتقسیمات زمانی زمین‌شناسی دوره کواترنری (ICS, ۲۰۱۱).

سن (میلیون سال پیش)	اشکوب	سری	سیستم
۰ - ۰/۰۱۱۷		هولوسن	کواترنری
۰/۰ - ۰/۱۱۷/۱۲۶	تارانین (Tarantian) (بالایی)	پلیستوسن	

۰/۰-۱۲۶/۷۸۱	ایونین (Ionian) (میانی)		
۰/۱-۷۸۱/۸۰۶	کالابرین (Calabrian) (پائینی)		
۲/۱-۵۸۸/۸۰۶	گلَسین (Glasian) (پائینی)		
۲.۷-۲/۵۸۸	پیاسنزین (Piacenzian)	پلیوسن	نئوژن

در طی زمان کواترنری چهار یخبندان قاره ای عمده به وقوع پیوسته و می توان آن ها را بر اساس زمان و مکان وقوع تقسیم بندی کرد. از اینرو آخرین دوره های یخچالی و بین یخچالی کواترنری، از نزدیکترین آن ها به زمان حال حاضر، تا آنهایی که در گذشته های دور قرار دارند، همگی نامگذاری شده اند (جدول ۲-۲).

جدول ۲-۲: مهم ترین دوره های یخچالی و بین یخچالی کواترنری در اروپا و امریکا

European Alps	North west Europe	Britain	North America
Wuerm	Weich sel	Devesian	Wisconsinian
R/W	Eem	Ipswichian	Sangamon
Riss	Riss II Warthe Riss I Saale Drenth	Wolstonian	Illinoian
M/R	Holstein	Hoxnian	Yarmouth
Mindel	Elster	Anglian	Kansas
G/M	Cronerian	Cromerian	Aftonian
Guenz	—	—	Nebrascan

مطالعات دیرینه اقلیم در ایران

خاورمیانه همیشه به دلیل اینکه اولین مکان کشاورزی و اهلی کردن حیوانات بوده، مکانی جالب برای محققان بوده است. در مقایسه با سایر مکان ها این منطقه کمتر مطالعه شده است. در مورد شرایط اقلیمی ایران در طول هولوسن اطلاعات جامع و فراگیری وجود ندارد. مطالعات انجام شده در زمینه دیرینه اقلیم ایران اکثراً

مربوط به غرب و شمال غرب ایران می‌باشند (Kehl, ۲۰۰۹, ۱). مطالعات قابل قبولی که در مورد اقلیم هولوسن ایران انجام شده است، انگشت‌شمارند. بعضی از مطالعاتی که در سال‌های اخیر نیز انجام شده، فاقد سن‌سنجی می‌باشند. متأسفانه در مورد مرکز و شرق ایران مطالعات دقیق وجود ندارد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: مطالعات اخیر که در مورد اقلیم هولوسن در ایران انجام شده است

مطالعاتی چند در دهه‌های گذشته در مورد اقلیم کواترنر در ایران صورت گرفته است. این مطالعات دارای دقت لازم نبوده و به صورت کلی نتیجه‌گیری کرده‌اند. این مطالعات شامل موارد زیر می‌باشند:

در سال ۱۹۵۶ بوبک با مطالعه عکس‌های هوایی و با بررسی‌های زمین‌های اطراف دشت کویر و مسئله، وجود شرایط مرطوب‌تر گذشته را در ایران مرکزی نسبت به شرایط امروزی آن در نوشته‌ای تحت عنوان «کویر بزرگ مسئله شکل و تشکیل آن» با تردید قبول کرده است. هویکریده و همکاران در ۱۹۵۸ در مطالعه زمین‌شناسی دوران چهارم در منطقه کرمان و جنوب و شرق ایران مرکزی به آثار تخم شترمرغ و گونه‌ای از دوزیستان و انواعی از گیاهان دست یافتند و دلیلی بر حاکمیت شرایط مرطوب‌تری در این نقاط را ارائه دادند (به نقل از معتمد، ۱۳۶۷، ۱۱۷). معتمد (۱۳۵۱) در بررسی‌های منطقه لوت در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۰ با مشاهده حفر وسیع دره‌های آبرفتی و پرشدگی آن‌ها توسط ماسه‌های امروزی وجود شرایط مرطوب‌تری را در گذشته این مناطق یادآوری

نمود. کرینسلی^۱ در ۱۹۷۲ بر اساس مطالعه عکس‌های هوایی و مشاهدات دشت کویر وجود دوره‌های مرطوب‌تر را بیان می‌کند. وان زئیست در ۱۹۷۳ در غرب ایران و ارتفاعات زاگرس و به‌خصوص دریاچه زریبار با پیدایش اسپروپولن گونه‌هایی از گیاهان وجود شرایطی مرطوب‌تر از آنچه امروز در آن منطقه است را تأیید می‌کند. میمندی نژاد در ۱۳۴۸ در کتاب بوم‌شناسی خود ضمن تأیید کارهای وان زئیست، وجود شرایط مرطوب‌تر گذشته را در منطقه غرب قبول دارد. در سال ۱۹۸۴ نیز گروه مطالعاتی شرکوفسکی و همکاران در منطقه انارک و کویرهای جنوب شرقی به اسپروپولن گیاهانی دست یافتند که وجود شرایط آب‌وهوایی معتدل‌تر را ثابت می‌کند. قبادیان (۱۳۶۲) بدون شواهد دقیق سنی، معتقد است که در ۲۰۰۰ سال پیش مقدار گیاه، رطوبت و آب در یزد زیادتر بوده است. درش در ۱۹۷۶ در مورد لوت و محمودی در ۱۳۶۸ نیز تغییرات آب‌وهوایی ایران مرکزی را امکان‌پذیر دانستند (به نقل از معتمد، ۱۳۶۷، ۱۱۸).

مطالعات دیرینه اقلیم قدیمی در ایران عمدتاً مبتنی بر شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی بوده و از لحاظ سن‌سنجی نیز دقیق نمی‌باشند. در حالت کلی شواهدی که در این مطالعات برای تفاوت اقلیم گذشته با اقلیم کنونی ایران ذکر می‌شود شامل شواهد ژئومورفولوژیکی و بیولوژیکی می‌باشند. از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی می‌توان موارد زیر را نام برد:

- ۱- وجود بعضی از دره‌های معلق یخچالی مانند دره بالای آدران در البرز و یا قسمت بالای دره سیرج در کرمان وجود شرایط یخچالی را در گذشته این مناطق ثابت می‌کند.
- ۲- در پای ارتفاعات تراکم فراوان مواد رسوبی ناهمگن به‌صورت مخروط افکنه‌های به‌هم پیوسته (گلاسی) یا دشت‌سرها و حفر کم آن‌ها توسط جریان‌های امروزی، وجود شرایط مرطوب‌تر در گذشته را می‌تواند شاهد باشد که جابه‌جایی عظیم قطعات خردشده را تا پای دامنه امکان‌پذیر می‌نموده است ولی شرایط جدید امکان جابه‌جایی این توده‌ها را روی دامنه فراهم نکرده است و فقط با ایجاد دره‌های کوچک ثانویه در سطح گلاسی‌های قدیم پیش رفته است.
- ۳- در کناره‌های کویرهای بزرگ داخلی مثلاً در اطراف کویر مسئله و دریای نمک، در مسیر جاده قم-کاشان و در اطراف کویر دامغان (کویر حاج علی قلی) در طول جاده دامغان-شاهرود نهشته‌های حاشیه‌ای با

^۱. Krinsley

دانه‌بندی خیلی ظریف و آهک و گچ بسیار کم در ترازهای بالاتر از سطح کویرهای فعلی نشان از وسعت مناطق پلایایی کم شور گذشته است که فراوانی بیشتر آب و شوری کمتر آن را نسبت به امروز نشان می‌دهد.

۴- وجود دره‌های وسیع آبرفتی در ایران مرکزی و حفر عمیق لایه‌های نئوژن و پلیستوسن در مرکز و شرق ایران مؤید وجود شرایط مرطوب‌تر گذشته است. پرشدگی این مناطق حفرشده توسط ماسه‌ها خشکی بیشتر هوا را در شرایط امروزی نشان می‌دهد.

۵- غالب حوضه‌های انتهایی آبرفتی و یا دشت‌های سیلابی و سطوح کناری پلایاهای گذشته به‌وسیله رسوب‌های ماسه‌ای جدید پوشیده شده است که افزایش درجه خشکی در شرایط امروزی را نشان می‌دهد.

۶- وجود تپه‌های شاهد در رسوب‌های کناره پلایائی یا دشت‌های سیلابی و پدیده‌های بادرفتی این رسوب‌ها با برجا گذاشتن رسوب‌های درشت‌تر، اثر خشکی زیادتر محیط را ثابت می‌کند.

۷- وجود تراس‌های متداخل (پلکانی) در حاشیه کویرها و پای ارتفاعات، اگرچه بعضی از حرکات ساختمانی را نشان می‌دهند ولی درهرحال نشان از تغییر سطح اساس و محدود شدن چاله انتهایی جریان‌ها و کم شدن وسعت مناطق مرطوب گذشته است که تغییرات اقلیمی حوضه‌های مرکزی را هم نشان می‌دهند.

شواهد بیولوژیکی و بیوشیمیایی تغییرات اقلیمی گذشته در ایران (معتمد، ۱۳۶۷، ۱۱۸):

۱. هوکریده و دیگران (۱۹۵۸) در کرمان و اطراف آن با پیدا کردن تخم شترمرغ و آثار نمونه‌ای از دوزیستان *Buffo-viridis* وجود شرایط مرطوب‌تری را نسبت به شرایط امروز یادآوری می‌کنند و معتقدند که در دوران چهارم جنگل مرطوب مانند بلوط در نواحی کرمان وجود داشته است.

۲. آثار پولن و اسپر گیاهان نظیر پسته، بتولا و پینوس در گزارش شرکوفسکی (۱۹۸۴) در کویرهای منطقه نخلک یادآوری شده است. این گیاهان وجود شرایط مرطوب‌تری را در گذشته نشان می‌دهند.

۳. آثار جنگل‌های مخروطه‌گز و وجود آثار باستانی در بعضی از مناطق بیابانی مثلاً لوت نشان از حاکمیت شرایط مرطوب‌تر گذشته است.

۴. وجود تمدن‌های باستانی در حاشیه مناطق بیابانی، نظیر تمدن شهداد در حاشیه لوت، تمدن سگزآباد در قزوین، تپه سیلک کاشان که غالباً به وسیله رسوب‌های عظیم آبرفتی - بادی پوشیده شده‌اند، نشان از گسترش عظیم تمدنی بود که به تدریج با افزایش خشکی بیشتر به حاشیه کوه‌ها پناه بردند.

۵. پیدایش آثار نئولیتیک در تراس میانی رودخانه آبرفتی فهرج در بلوچستان که توسط هنزلن و معتمد گزارش شده است، وجود شرایط مناسب‌تر اوایل هولوسن را نشان می‌دهد.

تناوب لایه‌های ماسه‌ای بادی و رسوبات رسی - سیلابی نشانه‌ی مشخصی از تغییرات اقلیمی است. مخروط افکنه‌های عظیم، پادگانه‌های وسیع مطبق یا متداخل (در بلوچستان) و ناودیس‌های معلق زاگرس جنوبی نشانه‌های مشخصی از حاکمیت اقلیم مرطوب در ایران است (محمودی، ۱۳۶۸). کرینسلی ۱۹۷۲، بلانفورد (۱۸۷۳)، هویکریده (۱۹۶۸)، محمودی (۱۳۶۸)، درش (۱۹۷۶) و جعفر پور (۱۳۶۸)، معتمد (۱۳۴۷-۵۰) و (اهلرز و بوبک ۱۹۶۵، وان زئیست ۱۹۷۳ به نقل از اسفندیاری درآباد، ۱۳۸۸، ۸۶) دوره‌های بارانی در مورد ایران را قبول دارند و معتقدند که مناطقی مانند ایران که در زمان‌های گرم زیر کمربند پرفشار جنب حاره قرار دارند، در عصرهای یخچالی از رطوبت بیشتری برخوردار می‌شده‌اند، زیرا سیکلون‌های باران‌زای غربی به سمت عرض‌های پایین جابه‌جاشده و تا حدی جای کمربند خشک پرفشار جنب حاره را می‌گرفته‌اند.

به نظر می‌رسد که با توجه به مجموع شواهد بیولوژیکی و زمین‌شناسی بتوان از شرایط خشکی و بیابانی در ایران مرکزی، در عهد حاضر و وجود شرایط مرطوب‌تر در گذشته، در حد هولوسن میانی و آغازی صحبت کرد و این مرحله از شرایط ایران مرکزی را با مرحله عدم تعادل شرایط زیستی که با عنوان رگسیستازی ۳ در زمین‌شناسی عنوان می‌شود، منطبق دانست. رگسیستازی همراه با خشک‌تر شدن شرایط محیطی است که امکان دارد در نتیجه فعالیت‌های ساختمانی یا تغییرات اقلیمی باشد. معتمد افزایش خشکی ایران مرکزی در این زمان را در نتیجه عوامل انسانی (چرای بیش‌ازحد، قطع درختان) در درجه دوم اهمیت می‌داند (معتمد، ۱۳۶۷، ۱۱۹).

شواهد دیرینه خاک‌شناسی ۴ نشان داده است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در اواخر کواترنر رطوبت افزایش یافته است. در جنوب ایران خاک‌های تکامل‌یافته دیرینه بین ۲۷ تا ۲۱ هزار سال پیش

^۱. Blanford

^۲. Rheexis tasie

^۴. paleopedological

ایجاد شده‌اند و افق‌های رسی در سطح خاک وجود دارد که با افزایش بارش در ارتباط هستند. همچنین مقایسه ایزوتوپ پایدار جلگه‌های سنگ گچ و کربنات و رخداد افق رسی در خاک‌های دیرینه در مرکز ایران نشان‌دهنده‌ی افزایش رطوبت است (Khademi et al. ۱۹۹۷; Khademi and Mermut ۱۹۹۹; Farpooret al. ۲۰۰۴). به هر حال تخمین در مورد زمان، شدت و طول دوره خاک‌زایی ناکافی است و نمی‌توان گفت که این خاک در فازهای مرطوب سیستم‌های مونسون یا در دوره‌های مرطوب بین یخچالی ایجاد شده‌اند.

محیط‌های مختلف سطح زمین همواره تحت تأثیر واکنش سه عامل آب‌وهوا، فعالیت زیست‌شناختی و فرآیندهای زمین‌شناختی هستند (Nesje, ۱۹۹۶, ۳۷). از میان این عوامل، آب‌وهوا مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در فرآیندهای ژئومورفیکی سطح زمین است و بین مرفولوژی اشکال سطح زمین و آب‌وهوا رابطه‌ی نزدیکی وجود دارد (Kochel and Miller, ۱۹۹۷, ۱۷۱). به همین خاطر است که مطالعات دیرینه اقلیم اولیه در ایران بر پایه‌ی شواهد ژئومورفولوژیکی بوده است. چندی از این مطالعات در ادامه آورده شده است.

بوبک با بررسی یخرفت‌های رشته‌کوه البرز و زاگرس، آن را شاهده‌ی بر یخبندان قبل از وورم در این ارتفاعات معرفی کرد و افت آهنگ درجه حرارت را ۴-۳ درجه کمتر از زمان حاضر بیان نموده است. مطالعات وی سبب شد در سال ۱۹۵۵ میلادی اولین اظهار نظر کلی درباره‌ی اقلیم ایران در کواترنر منتشر شود. او معتقد بود در طول دوران یخچالی، اقلیمی سرد و خشک‌تر از امروز بر ایران حاکم بوده است. رایت (۱۹۸۳, ۴۱) در اشرانکوه شواهد یخرفتی را در ارتفاع ۲۶۰۰ متری و سیرک‌های یخچالی را در ۳۰۰۰ متری مشاهده کرده است. وی به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع گرادیان ۰/۶۸ درجه‌ی سانتی‌گراد را پیشنهاد کرده است. بر این اساس اگر کاهش دما را علت کاهش برف مرز در این منطقه بدانیم، متوسط دمای وورم این منطقه نسبت به زمان حال ۱۲ درجه سلسیوس کمتر بوده است.

مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات آب‌وهوایی مربوط به دوره‌ی گذار از دوره یخچالی به دوره‌ی بین یخچالی (اواخر پلیستوسن و اوایل هولوسن) با افزایش شدید عناصر قابل فرسایش سطح دامنه‌ها و در نتیجه افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها همراه بوده است، زیرا در اثر تغییر آب‌وهوا از شرایط سرد و مرطوب به شرایط گرم‌تر و خشک‌تر، پوشش گیاهی سطح دامنه‌ها کاهش چشمگیری داشته است (Bull, ۱۹۹۱). در واقع همزمان با دوره‌های

یخچالی - به دلیل فعالیت شدید ذوب و یخبندان - میزان تدارک رسوب زیاد بوده و بستر رودخانه‌های منطقه انباشته از عناصر تدارک شده از دامنه‌ها بوده است. به دنبال دوره‌ی یخچالی و گرایش آب‌وهوای منطقه به خشکی و در نتیجه کاهش پوشش گیاهی دامنه‌ها، زمینه برای فرسایش هر چه بیشتر دامنه‌ها و رسوبات انباشته در بستر رودخانه‌ها فراهم بوده است؛ زیرا کاهش پوشش گیاهی می‌تواند عمل فرسایش سطح دامنه‌ها را تسریع کند (Guitierrez & Sese, ۲۰۰۱, ۲۱). تشکیل تراس‌های رودخانه‌ای و حجم عظیم عناصر به‌جا گذاشته‌شده در دشت پرسیان نیز تنها با این فرض که در زمان گذشته تأمین آب و رسوب برای مخروط‌افکنه‌های منطقه بیش از زمان حال بوده است، توجیه‌پذیر است.

مختاری (۱۳۸۳، ۱۲۸ و ۱۳۸۸، ۱۸۵-الف) وجود اشکال ژئومورفولوژیکی همچون رودخانه‌های سنگی، مزارع بلوکی و جوش‌های گلی را از جمله پدیده‌های می‌داند که ایجاد آن‌ها ارتباط مستقیم با شرایط آب‌وهوایی حاکم در گذشته دارد. تشکیل رودسنگ در دامنه‌ی شمالی کوه کیامکی در شمال غرب ایران نشان‌دهنده‌ی پایین بودن دما در حدود ۵ تا ۱۰ درجه و زیاد بودن بارش در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر (در مقایسه با دما و بارش فعلی منطقه) است که شاهدهی بر حاکمیت اقلیم سرد و مرطوب در مقایسه با امروز در دوره‌های سرد کواترنری، در شمال غرب ایران است (مختاری، ۱۳۸۸، ۱۰۳-ب).

دلالت اوغلی (۱۳۸۱، ۱۱۳) ۴ هزار سال قبل را دوره اصلی تشکیل یخچال‌های سنگی در منطقه آذربایجان و به‌ویژه دامنه‌های سبلان می‌داند. اسفندیاری در آباد (۱۳۸۸، ۸۸) اقلیم هولوسن اردبیل را تا حدود زیادی مشابه با اقلیم حاضر دانسته است. وی اقلیم حاضر را نیمه‌خشک سرد و اقلیم هولوسن زیرین را نیز بر اساس روش آمبرژه نیمه مرطوب سرد دانسته است. تپه‌های تثبیت‌شده ماسه‌ای (دشت کویر، بیرجند، اردستان)، کویرهای مطبق (دشت لوت، چاله دامغان و دق سرخ) و اختلاف در جهت تپه‌های ماسه‌ای (شرقی-غربی در دشت کویر و شمالشرقی-جنوبغربی در شرق اردستان) نمونه‌هایی از تناوب حاکمیت وضعیت اقلیمی خشک در ایران مرکزی است (مقیم، ۱۳۷۸، ۷۷).

اگر شرایط اقلیمی کنونی همان شرایط پلیستوسن در شمال غرب کشور باشد، پس باید پذیرفت که منبع رطوبتی از غرب وارد ایران می‌شده و در اثر سرمای پلیستوسن، یخچال‌های کوهستانی شمال غرب ایران تشکیل شده است. طی پلیستوسن و در صورت حرکت جریان‌ات از غرب به شرق، رطوبت دریای خزر در مورفوزن ارتفاعات تالش نمی‌توانسته نقشی داشته باشد. پس می‌بایست حد برف مرز در دو جهت شرقی و غربی

ارتفاعات تالش و ارتفاعات شمال غرب ایران در یک ارتفاع قرار گرفته باشد. این در حالی است که طی دوره سرد پلیستوسن ارتفاع برف مرز در کوه سبلان ۳۷۰۰-۳۶۰۰ متر برآورد شده (بروکس، ۱۳۷۷، ۷، به نقل از طاحونی ۱۳۸۳) و احمدی و فیض نیا (۱۳۷۸، ۳۰۹، به نقل از طاحونی ۱۳۸۳) سیرک‌های یخچالی در ارتفاع ۳۳۰۰-۳۴۰۰ متری کوه سهند را گزارش کرده‌اند. ولی ارتفاع برف مرز در ارتفاعات شرقی تالش ۱۶۰۰ متر، ارتفاعات غربی ۲۹۰۰ و جنوبی ۱۸۰۰ متر (طاحونی، ۱۳۸۳، ۳۱) گزارش شده است. بر اساس این اطلاعات طاحونی (۱۳۸۳، ۵۴) نتیجه‌گیری کرده است که اختلاف معنی‌دار برف مرز در محدوده‌ی شمال غرب کشور و کاهش ارتفاع برف مرز از غرب به شرق و به‌ویژه در جهت پشت به باد (نسبت به جریان‌های بادهای غربی) امکان فعالیت سیستم‌های غربی در شمال غرب کشور طی دوره پلیستوسن را مورد تردید قرار می‌دهد و تأییدی بر فعالیت سیستم پرفشار قطبی با جهت شمال به جنوب است؛ اما باید گفت که در مورد شمال غرب کشور نمی‌توان فعالیت سیستم‌های غربی را مورد تردید قرار داد و به احتمال زیاد اختلاف ارتفاع در برف مرز کوه‌های تالش نسبت به آذربایجان، به خاطر ورودی بیشتر رطوبت به تالش، در نتیجه همسایگی با دریای خزر باشد. در حالت کلی برف مرز یکی از شواهد خوب برای تشخیص دوره‌های سرد و گرم است و در مطالعات زیادی استفاده می‌شود. در البرز مرکزی نیز چنین مطالعاتی انجام شده است. ارتفاع برف مرز وورم در البرز (حوضه جاجرود) حدود ۳۰۷۲ تا ۳۰۹۵ متر بوده است. در صورتی که الان بین ۳۷۲۰ تا ۴۰۰۰ متر است که نشان از افزایش سرما در آن زمان دارد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰، ۳۵).

به دنبال پسروری پهنه‌های یخی اواخر پلیستوسن و گرم شدن هوای کره‌ی زمین در ۹۰۰۰ سال قبل، دوره هولوسن با آب‌وهوای خشک‌تر شبیه آب‌وهوای امروزی آغاز شده است. مطالعات ون زایست و بوتما^۱ در سال ۱۹۸۲ بر اساس تجزیه و تحلیل‌های گرده‌های گیاهی در دریاچه زیربار کردستان نشان می‌دهد که این دوره در غرب ایران، با آب‌وهوایی گرم و مرطوب آغاز شده است (مهرشاهی، ۱۳۸۰، ۵). این تغییرات آب‌وهوایی در اوراسیا و آمریکای شمالی، به دلیل افزایش میزان خورتابی در نیمکره شمالی از ۱۰ هزار سال قبل و در دریاچه زیربار کردستان از ۱۳ هزار سال قبل آغاز شد و به همین دلیل دمای هوا ۲ تا ۴ درجه نسبت به امروز افزایش یافت. این دوره به نام دوره‌ی اوج گرمایی (۲، ۲۰۰۲، Calkin, ۳۸; Nesje, ۱۹۹۶) یا اوج مرحله‌ی بین یخچالی

^۱. Van Zeist & Bottema

یا هولوسن گرم (مهرشاهی، ۱۳۸۱، ۱۴۶) معروف است و علت آن جابه‌جایی موقعیت مسیر جبهه‌های سیکلونی ۳ تا ۵ درجه به طرف شمال بوده است (Guitierrez-Elorza & Monne, ۱۹۹۸, ۲۱۵).

تغییرات اندیکاتورهای گرده‌های انسان‌ساخت نشان‌دهنده‌ی این است که در اطراف دریاچه آملو چندین مرحله فعالیت‌های انسانی شدت گرفته است. دو مرحله واضح که کشاورزی رونق زیادی داشته است، مربوط به زمان‌هایی حدود ۲۲۲۰-۲۴۵۰ سال قبل از حاضر (امپراتوری آچامنید^۷) و ۳۰-۲۳۰ سال قبل از حاضر (نابودی خاندان صفویه به دوره مدرن) است. عصر یخبندان کوچک در این دریاچه با افزایش سطح آب آن مشخص است. این افزایش احتمالاً به خاطر کاهش دمای تابستان‌ها و افزایش بارش سالانه به‌طور مشترک بوده است (Djamali, ۱۳۶۴, ۲۰۰۹).

در اوایل هولوسن سطح دریاچه میرآباد در جنوب غرب ایران پایین بوده است و در اواسط هولوسن به‌خصوص بعد از ۴۰۴۸ سال قبل، بالاآمده است. بین اوایل تا اواسط هولوسن یک تأخیر زمانی مجزا به‌صورت پیشروی جنگل و افزایش سطح آب دریاچه وجود داشته است که امکان دارد توسط تغییر در نسبت بارش به تبخیر توجیه شود. افزایش بارش زمستانه آن‌قدر بوده است که پوشش گیاهی درختی توسعه یابد اما تبخیر تابستان نیز بالا بوده است و این نظریه را تقویت می‌کند که پیشروی با تأخیر جنگل‌ها در غرب ایران توسط شرایط خشک و قاره‌ای مختل شده است (Griffiths et al. ۲۰۰۱, ۷۵۷). خشک‌تر بودن اوایل هولوسن (۱۰۰۰۰ تا ۶۵۰۰ سال قبل) در دریاچه میرآباد از اواخر هولوسن در نتیجه کار استیونز^۸ و همکاران (۲۰۰۶, ۴۹۴) نیز ذکر گردیده است. مقادیر کم ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در اوایل هولوسن، نشان‌دهنده‌ی غالب بودن بارش زمستانه است که همان رژیم بارش مدیترانه‌ای است. افزایش ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ بعد از ۶۵۰۰ سال نشان‌دهنده‌ی افزایش تدریجی بارش بهار در این دریاچه است. یک خشکسالی شدید ۶۰۰ ساله در این دریاچه در ۵۵۰۰ سال قبل و دو خشکسالی ملایم‌تر در حدود ۱۵۰۰ و ۵۰۰ سال قبل رخ داده است.

اواسط هولوسن (۵/۶ ± ۰/۶ هزار سال قبل) اقلیم جنوب شرق ایران - تنگه هرمز، مرطوب بوده است. در طول یانگر دریاس (۱۲/۸ ± ۰/۱ هزار سال پیش) و همچنین در اواخر آخرین یخبندان حداکثر (۲۱ ± ۲ هزار سال قبل) دوره سرد و خشکی وجود داشته است. این تغییرات با تغییرات بزرگ‌مقیاس در گردش جوی ارتباط دارند

^۷. Achaemenid

^۸. Stevens

که به تغییرات اقلیمی جهانی و همچنین نوسانات سطح دریا در خلیج فارس که کلاً در طول آخرین یخبندان حداکثر خشک بوده است، مربوط می‌شود (Regard et al. ۲۰۰۶, ۳۶).

در دریاچه بختگان دو دوره آب‌وهوای گرم و معتدل، دو دوره آب‌وهوای سرد و معتدل یا خشک، دو دوره آب‌وهوای سرد و معتدل و پنج دوره آب‌وهوای گرم و خشک رخ داده است (لشکری و همکاران، ۱۳۸۹). سه مرحله کاهش سطح آب دریاچه زریبار در سال‌های ۱۷۷۰۰-۱۵۴۰۰، ۱۲۶۰۰-۱۲۰۰۰ و ۱۰۰۰-۶۰۰۰ سال قبل رخ داده است. تغییرات در وقوع ارگانسیم‌های متفاوت نشان‌دهنده‌ی افزایش دما در حدود ۲۱۰۰۰، بین ۱۵۴۰۰ تا ۱۲۶۰۰، حدود ۱۲۰۰۰ و حدود ۱۱۷۰۰ سال پیش است. کاهش و ناپدید شدن برخی از ارگانسیم‌ها نشان‌دهنده‌ی کاهش دما در ۱۷۷۰۰-۱۵۴۰۰ و ۱۲۶۰۰-۱۲۰۰۰ سال پیش است (Wasylikowa et al. ۲۰۰۶, ۴۷۷). بر اساس مطالعات (Snyder et al. ۲۰۰۱, ۷۳۷) شرایط خشک در طول یانگر دریاس در دریاچه زریبار وجود داشته است. افت زیاد سطح دریاچه زریبار در دوره یانگر دریاس به خاطر خشکی زیاد اقلیم بوده است (Wasylikowa, ۲۰۰۵, ۷۲۰). دوره آخرین یخبندان در دریاچه زریبار اقلیم خشک و سرد حاکم بوده و گیاهان نیمه بیابانی وجود داشته‌اند. نرخ تبخیر کم به دلیل سرما در زمان طولانی باعث بالا ماندن آب دریاچه شده است. در طول اوایل هولوسن پوشش گیاهی کوهستانی به پوشش ساوانی بلوط- پسته‌ی سازگار با خشکی و دمای کم تبدیل شده است. در این زمان سطح آب در پاسخ به تبخیر و تعرق افت داشته است. افزایش تدریجی در گرده بلوط در حدود ۷ هزار سال پیش نشان از افزایش رطوبت مؤثر شبیه به امروز دارد (Stevens et al. ۲۰۰۱, ۷۴۷). عزیزاده کتک لاهیجانی و همکاران (۲, ۲۰۰۷) بر روی رسوبات مردابی سواحل خزر مطالعه کردند. افق سن رسوبات مردابی سواحل خزر به ترتیب در ارتفاع ۲۲-، ۲۴- و ۲۵- قرار داشتند که نشان‌دهنده‌ی بالا بودن سطح دریا در اواخر هولوسن است. یک مرداب کم‌عمق وسیع نیز در مرکز گیلان در ۵۰۰ سال قبل تشکیل شده است که در نتیجه آخرین بالا آمدگی دریا بوده است. در ۲۵۰۰، ۹۰۰ و ۵۰۰ سال قبل بالا آمدگی دریا وجود داشته و در نتیجه‌ی تشکیل مرداب، رسوبات مردابی وجود داشته است. سطح آب دریای خزر در ۵۵۰۰ سال پیش به دلیل کاهش رواناب رودخانه‌ها و کاهش بارش بر سطح دریا دچار افت شده است (Renssen et al. ۲۰۰۷, ۶۸۵). در قرن شانزدهم سواحل ایرانی دریای خزر با شروع عصر یخبندان کوچک، بارش‌های سنگین و اقلیم مرطوبی داشته است و در قرن هفدهم و هجدهم اقلیم خشک‌تر شده است (Elias Ramezani et al. ۲۰۰۸, ۳۰۸).

غالب بودن درخت پسته تا ۷۲۰۰ سال پیش در ارتفاعات زاگرس نشان از اقلیم خشک اوایل هولوسن با دمای معتدل دارد. افزایش گرده بلوط در اواسط هولوسن نیز بیانگر بیشتر شدن رطوبت است (Schmidt et al., ۲۰۱۰, ۱۱). در حدود ۱۴ هزار سال پیش احتمالاً دما افزایش یافته است که باعث تغییر پوشش گیاهی به بلوط-پسته ساوان شده است درحالی که بارش در سرتاسر آخرین یخبندان و هولوسن پایین کم باقیمانده است. از حدود ۶ هزار سال پیش به نظر می‌رسد که بارش و دما مشابه شرایط امروز بوده‌اند و جنگل‌های بلوط زاگرس در حوزه آبریز دریاچه‌های میرآباد و زریبار رشد کرده‌اند.

مطالعات رسوبات تالاب گاوخونی وجود دوره‌های خشک و تر را در این تالاب ثابت می‌کند. زیاد شدن دو عنصر کلسیم و سدیم در عمق ۱۰۰ و ۱۴۰ متری رسوبات این تالاب، دوره‌های خشک و زیاد شدن دو عنصر منگنز و منیزیم نیز در اعماق ۶۰ و ۲۰۰ متری دوره‌های مرطوب‌تر را نشان می‌دهد (طیبی، ۱۳۹۰، ۱۵۲-۱۵۰). نتایج مطالعات دشت ارژن نیز حاکی از گرم و خشک بودن اوایل هولوسن دارد. سردترین دوره در این دشت حدود ۴۲۰۰ سال پیش اتفاق افتاده است (حسینی، ۱۳۹۰).

در مقایسه با مناطق ساحلی خاورمیانه که دوره‌ای با بارش زیاد در طول اوایل هولوسن و آخرین یخبندان تجربه کرده‌اند، در غرب ایران رشد جنگل‌ها در اوایل هولوسن با تأخیر رخ داده است. همچنین احتمالاً شرایط اقلیمی خشک در جنوب ایران غالب بوده است. دلیل ممکن برای دوره خشک اوایل هولوسن در رشته‌کوه‌های زاگرس شامل تقویت ریزش هوای سرد از زمین‌های گسترده اوراسیا و تضعیف ذخیره رطوبت چرخنده‌های غربی هستند. شمال و غرب ایران در دوره یخچالی دارای اقلیم سرد و خشک و در دوره بین یخچالی اقلیم گرم و مرطوب داشته‌اند. رسوبات دریاچه‌ای و لس‌ها نیز افزایش رطوبت در دوره بین یخچالی آخرین و ماقبل آخرین یخبندان را نشان می‌دهد. در غرب ایران در یانگر دریاس و اوایل هولوسن احتمالاً شرایط خشک اقلیمی حاکم بوده است (Kehl, ۲۰۰۹, ۱۱).

مدارک دیرینه اقلیم نشان می‌دهد که لس‌های شمال مرکزی ایران تحت شرایط خشک، سرد و بادی که به‌وسیله تشکیلات خاک‌های فسیل در دوره‌های گرم و کوتاه قطع شده، نهشته شده‌اند. توالی لس در خاک‌های فسیل در مقطع نوده با دوره‌های یخچالی ریس - وورم و دوره‌های بین یخچالی ریس - وورم و عصر بین یخچالی حاضر مطابقت دارد. هم‌چنین نگاری لس و خاک‌های فسیل و هم منحنی بازسازی شده‌ی kd.CL (نسبت سیلت درشت به رس) بازتابی از دوره‌های ۲۰۰۰۰ ساله و ۱۰۰۰۰۰ ساله را نشان می‌دهد که احتمال آغاز یک

دوره بادی، سرد و خشک دیگر را می‌توان پیش‌بینی کرد که تقریباً در ۶۰۰۰ سال آینده رخ خواهد داد و حداکثر آن در ۵۶۰۰۰ سال آینده خواهد بود (Lateef, ۱۹۸۸)، به نقل از ثروتی و اسماعیلی، (۱۳۸۲، ۱۰۵).

در دوره یانگر دریاس در دریاچه نئور، زریبار و ارومیه سطح آب کاهش و شوری آب افزایش یافته است. در این دوره هوای سرد و خشک حاکم بوده است. کاهش درصد فراوانی گرده گونه‌های درختی و علفی نشان‌دهنده‌ی این دوره است. شروع هولوسن با افزایش رطوبت و دما همراه بوده است که پدیدار شدن درخت توس از نشانه‌های آن است. رخداد ۸۲۰۰ سال پیش در نئور همراه با افزایش رطوبت بوده است و شاهد آن افزایش گرده گونه‌های رطوبت پسند همراه با کاهش زغال است. شروع هولوسن در نئور با خشکی همراه بوده است (۹۴۰۰-۹۱۰۰ سال پیش) و دو دوره مرطوب در ۹۶۰۰ و ۸۲۰۰ سال پیش رخ داده است (اکبری، ۱۳۹۰، ۱۰۱).

در دریاچه میرآباد و زریبار دوره سرد LGM همراه با پوشش گیاهی استپ بوده است (Van Zeist and Wright ۱۹۶۳; Van Zeist and Bottema, ۱۹۹۱). در حدود ۱۴ هزار سال پیش احتمالاً دما افزایش یافته است و پوشش گیاهی استپ به ساوان پسته - بلوط تغییر یافته است اما بارش در سرتاسر LGM و اوایل هولوسن کم باقیمانده است. از ۶ هزار سال پیش دما و بارش مشابه امروز شده است و جنگل‌های بلوط در حوضه آبریز زریبار و میرآباد رشد کرده‌اند.

مطالعات اکسیژن ۱۸ دریاچه زریبار (Stevens et al. ۲۰۰۱)، حداکثر شوری استنباط شده (Snyder et al. ۲۰۰۶). در یک دوره کاهش آب دریاچه بین ۱۲۶۰۰ تا ۱۲۰۰۰ سال پیش که توسط ماکروفسیل‌های گیاهی مشخص شده است (Wazylikova ۲۰۰۵; Wazylikova et al. ۲۰۰۶) همه وجود دوره سرد و خشک را نشان می‌دهند. به هر حال دوره خشک تنها باعث تغییر در پوشش گیاهی نمی‌شود. در دریاچه ارومیه وجود دوره خشک پیوسته باعث ایجاد پلایاها شده است. در جنوب ایران نیز مخروط افکنه‌های قدیمی به دلیل دوره سرد و خشک یانگر دریاس ایجاد گردیده‌اند.

در اوایل هولوسن استیلای جنگل در غرب ایران کمتر شده است؛ در مناطق ساحلی خاورمیانه در اوایل هولوسن و آخرین یخبندان بارش نسبتاً زیاد بوده است (Goodfriend and Magaritz, ۱۹۸۸; Roberts and Wright, ۱۹۹۳). همچنین در جنوب ایران نیز احتمالاً دوره خشکی حاکم بوده است و با شروع دوره مرطوب تر از ۷۰۰۰ سال پیش خاک‌های تکامل یافته هولوسن تشکیل شده‌اند (Kehl et al. ۲۰۰۹). احتمالاً دلیل خشکی

اوایل هولوسن در رشته‌کوه‌های زاگرس ریزش هوای خیلی سرد اوراسیا و تضعیف تغذیه رطوبت توسط کم‌فشار و موج‌های غربی بوده است (Roberts and Wright, ۱۹۹۳; Stevens et al. ۲۰۰۱).

درواقع می‌توان گفت در غرب ایران دوره‌های سرد با خشکی و دوره‌های بین یخبچالی و دوره‌های گرم درون یخبچالی^۹ همراه با افزایش رطوبت بوده‌اند (مارتین کهل، ۲۰۰۹، ۱۱).

در مرکز حوضه آبریز بیابان لوت یاردانگ‌های عظیمی تشکیل شده‌اند که احتمالاً به دلیل غلبه بادهای شمالی در پلیستوسن ایجاد شده‌اند. این یاردانگ‌ها ۱۵۰ کیلومتر طول دارند و توسط دهلیزهای موازی با حداکثر عمق ۲۰۰ متر بریده شده‌اند. این دهلیزها در درون مواد نمکی پلیوسن و پلیستوسن ایجاد شده‌اند. به احتمال زیاد در طول دوره نسبتاً سرد و خشک پلیستوسن یک آنتی سیکلون قوی سیبری بر منطقه حاکم گشته است و باعث تضعیف و جابجایی جنوب سوی سامانه مونسونی شده است. مطابق با تضعیف مونسون‌ها، مسیرهای طوفان‌های سیکلونی یک جابجایی جنوب سو داشته‌اند. علاوه بر آن فرود باد غربی نیز ضعیف‌تر شده است (Stevens et al. ۲۰۰۱). احتمالاً در دوره‌های سرد باد شمالی نیز که در طول خلیج فارس می‌وزد، فعال بوده است که منجر به تخلیه رسوبات از زمین‌های خشک مسیرش در ربع الخالی و فلات قاره دریای عرب شده است (Glennie et al. ۲۰۰۲). شواهد تپه‌های ماسه‌ای در صحرای قره قوم و توزیع فضایی نهشته‌های لس در کپه داغ و شمال ایران، غلبه بادهای شمالی و شمال شرقی را از صحراهای آسیای مرکزی نشان می‌دهد (Lateef, ۱۹۸۸). به دلیل این مکانیسم‌ها جهت بادهای دیرینه ایران در طول دوران یخبچالی شمال غربی و شمال شرقی بوده است. شواهد ژئومورفیک نشان می‌دهند که در طول دوره‌های سرد مرکز ایران، بادهای قوی‌تری از حال را تجربه کرده است. رمپ ماسه‌ای نزدیک اردکان در طول LGM به وجود آمده است (Thomas et al. ۱۹۹۷). به‌طور تعجب‌برانگیزی این رمپ توسط بادهایی با جهت جنوب شرق ایجاد شده‌اند که برخلاف جهت بادهایی است که در بالا ذکر شد. برخی نویسندگان به وجود دوره‌های بارانی در ایران اشاره می‌کنند و ادعا دارند که در دوره‌های یخبچالی بارش بیشتر از حال حاضر بوده است. اسپارلو^{۱۰} (۱۹۵۸) فرض کرده است که دره‌های آبرفتی انباشته از رسوبات

^۹.interstadial

^{۱۰}.Scharlau

در شرق کوهستان البرز تحت شرایط بارانی دوره‌های یخچالی ایجاد شده‌اند. ویتا-فینزی^{۱۱} (۱۹۶۹) به مطالعه نهشته‌های آبرفتی تهران و خرم‌آباد پرداخته است. او به افزایش بارش‌های سیکلونی در طول آخرین یخبندان (اینجا ۵۰ تا ۶ هزار سال پیش) و عصر یخبندان کوچک (۱۵۵۰ تا ۱۸۵۰ بعد از میلاد) اشاره کرده است که توسط یک فاز خشک فرسایشی گسیخته شده است و باعث ایجاد دو نهشته آبرفتی مجزا شده است. همچنین تشکیلات تراس‌های رودخانه‌ای شیرکوه یزد نیز مرتبط با دوره‌های بارانی دانسته می‌شود (Grunert, ۱۹۷۷).

نتیجه‌گیری از اقلیم هولوسن در ایران

مطالعات نشان می‌دهد که ایران دوره‌های سرد - گرم و مرطوب - خشک زیادی را در طول هولوسن تجربه کرده است. شواهد دره‌های یخچالی در کرمان، مخروط افکنه‌های به‌هم‌پیوسته (گلاسی)، پلایاهای اطراف کویر مسئله و کویر دامغان، دره‌های وسیع آبرفتی در ایران مرکزی، پدیده‌های بادرفتی، وجود فسیل‌های درختان پسته، بتولا و پینوس در ایران مرکزی، جنگل‌ها و سکونتگاه‌های مخروطی در اطراف لوت، تمدن‌های باستانی اطراف مناطق کویری، یخرفت‌های رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس و غیره همه و همه توالی دوره‌های سرد - گرم و مرطوب - خشک را تأیید می‌کنند. به نظر می‌رسد که با توجه به مجموع شواهد بیولوژیکی و زمین‌شناسی بتوان از شرایط خشکی و بیابانی در ایران مرکزی، در عهد حاضر و وجود شرایط مرطوب‌تر در گذشته، در حد هولوسن میانی و آغازی صحبت کرد.

دما در سطح کره زمین به‌صورت یک چرخه بسته عمل می‌کند. می‌توان گفت با کاهش ورودی انرژی به کره زمین تمامی مناطق به آن واکنش یکسان نشان دهند. در واقع می‌توان انتظار داشت که با کم شدن ورودی انرژی به زمین یک دوره سرد در کل کره زمین رخ داده باشد ولی شدت و ضعف و زمان وقوع آن در مناطق مختلف متفاوت است. میزان شدت معمولاً با افزایش عرض جغرافیایی رابطه مستقیم دارد؛ بنابراین رخداد دوره‌های سرد و گرم هولوسن در ایران نیز پذیرفتنی است. ولی زمان وقوع و میزان شدت آن‌ها متفاوت از سایر مناطق بوده است. البته نمی‌توان گفت تمامی رخدادهای سرد و گرم شناسایی شده در جهان در ایران نیز قابل شناسایی هستند.

^{۱۱}. Vita-Finzi

خیلی از مطالعات انجام شده در مورد اقلیم هولوسن و کواترنر در ایران به شرایط اقلیمی خشک و سرد در دوران یخچالی و نسبتاً مرطوب و گرم در دوران بین یخچالی اشاره کرده‌اند. برخی نویسندگان ادعای رخداد «دوره‌های بارانی ۱۲» کرده‌اند و فرض را بر بیشتر بودن مقدار بارش در دوران یخچالی بیشتر از امروز گذاشته‌اند. وجود دره‌های رسوبی پر در کوهستان‌های البرز شرقی را ناشی از نهشته شدن رسوبات تحت شرایط بارانی در آخرین یخبندان و یخبندان ماقبل آخر می‌دانند. تشکیلات تراس‌های رودخانه‌ای در شیرکوه نیز در ارتباط با آخرین دوره بارانی دانسته شده است. شرایط دوره‌های بارانی اغلب توسط تغییر جنوب شرق سوی چرخندهای باد غربی تشریح شده‌اند. احتمالاً تأثیر دوره‌های بارانی بیشتر مربوط به فازهای مرطوب بوده است مانند دوره‌های افزایش بارش در اوایل هولوسن. این فازهای مرطوب احتمالاً توسط تغییر شمال گرد مونسون‌های هند به وجود آمده‌اند. برخی از محققان معتقدند مناطقی مانند ایران که در زمان‌های گرم زیر کمربند پرفشار جنب حاره قرار دارند، در عصرهای یخچالی از رطوبت بیشتری برخوردار شده‌اند، زیرا سیکلون‌های باران‌زای غربی به سمت عرض‌های پایین جابه‌جا شده و تا حدی جای کمربند خشک پرفشار جنب حاره را می‌گرفته‌اند. در مقابل محققانی همچون بوبک معتقد بود در طول دوران یخچالی، اقلیمی سرد و خشک‌تر از امروز بر ایران حاکم بوده است. در واقع راجع به تغییرات آب‌وهوایی در ایران به‌طور کلی تاکنون دو دیدگاه وجود داشته است. دیدگاه قدیم‌تر به افزایش میزان بارش در دوره‌های سرد (مراحل یخچالی) و کاهش میزان بارش در دوره‌های گرم (مراحل بین یخچالی) نظر دارد. طرفداران این دیدگاه برخی بیشتر بر افزایش شدید میزان بارش در دوره‌های سرد معتقدند، در حالی که گروهی دیگر افزایش جزئی بارش ولی همراه با تغییر رژیم آن و کاهش قابل توجه میزان تبخیر را به دلیل سرمای زیادتر و طولانی‌تر در این دوره‌ها مسئول موازنه مثبت رطوبتی و در نتیجه افزایش سطح آب دریاچه‌ها با بالا آمدن سطح آب در کویرهای ایران به شمار می‌آورند (کرینسلی، ۱۹۷۰؛ گنجی، ۱۹۷۸؛ رایت و رابرتز، ۱۹۹۳؛ به نقل از مهرشاهی، ۱۳۸۱). نظریه دوم، دوره‌های نسبتاً خشک را همزمان با مراحل یخچالی و دوره‌های گرم ولی مرطوب‌تر را در مراحل بین یخچالی و از جمله هولوسن می‌دانند. در مراحل سرد، بنا بر عقیده طرفداران این نظریه، کاهش متوسط (۶-۵ درجه سلسیوس) تا شدید (۱۲-۱۰ درجه سلسیوس) دما و نیز قسمتی از خشکی آب‌وهوا از تسلط طولانی مدت و قدرتمند پرفشار سبیری بر بخش مهمی از ایران ناشی می‌شده است. علاوه بر این، کمبود بارش

^{۱۱}.pluvial

در مرحله‌ی سرد هم به کاهش منابع رطوبتی (به علت پایین رفتن سطح آب‌های آزاد و گسترش یخبندان در بخشی از این آب‌ها) و تغییر مسیر جریان‌های جوّی رطوبت آور مربوط بوده است (رایت و رابرتز، ۱۹۹۳؛ رایت، ۱۹۹۶؛ نقل از مهرشاهی، ۱۳۸۱).

مطالعات اخیر تا حدودی نظریه دوم را تأیید می‌کنند. در واقع دوره‌های سرد در ایران با افزایش خشکی همراه بوده است. احتمالاً در طول دوره‌های نسبتاً خشک و سرد، تقویت آنتی سیکلون سیبری منجر به تضعیف و تغییر جنوب سوی مونسون‌های دیرینه شده است. همزمان با تضعیف مونسون مسیره‌های طوفان‌های سیکلونی به سمت جنوب جابه‌جا شده‌اند. علاوه بر آن چرخنده‌های بادهای غربی ممکن است ضعیف‌تر شده باشند. باد شمال (که در طول خلیج فارس می‌وزد) نیز ممکن است در طول این دوره‌های سرد فعال بوده باشد. همچنین احتمال غالب بودن بادهای شمالی یا شمال شرقی در شمال ایران وجود داشته است که از بیابان‌های مرکزی آسیا می‌وزیده‌اند که شواهد آن وجود تپه‌های شنی صحرای قره قوم و توزیع فضایی نهشته‌های لسی (رس سیلت دار) در کپه داغ و شمال ایران است. چرخنده‌های باد غربی که امروزه بعد از عبور از دریای خزر گاه‌وبیگاه وارد شمال ایران می‌شوند، احتمالاً ضعیف‌تر بودند. به خاطر این سازوکارها جهت‌های غالب بادهای دیرینه در ایران در طول دوره‌های یخچالی شمال غربی تا جریان‌های حاره‌ای شمال شرقی بوده است (Kehl, ۲۰۰۹, ۱۲).

روی هم‌رفته اکثر محققان با وجود چندین تغییر اقلیم در دوره کواترنر ایران موافق هستند ولی زمان و شدت این تغییرات کاملاً واضح نیست. اکثر محققان برای دوره‌های یخچالی از اقلیمی سردتر و خشک‌تر از حال بحث می‌کنند. البته اکثر مطالعات انجام گرفته در شمال و غرب ایران بوده است و به‌خصوص در شرق و ایران مرکزی مطالعات دقیق و جدیدی انجام نشده است. مطالعات صورت گرفته در دنیا نشان داده‌اند که در مناطق نزدیک به آب‌های آزاد، اقلیم سرد همراه با افزایش رطوبت بوده است؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که حداقل سواحل جنوبی ایران در دوره‌های سرد مرطوب‌تر بوده باشند. به‌هرحال بدون انجام مطالعات دقیق نمی‌توان نظر قطعی در این مورد داد. در مورد دوره‌های بین یخچالی هولوسن در ایران کمتر صحبت شده است. متأسفانه خیلی از مطالعات انجام گرفته در مورد اقلیم دیرینه ایران فاقد سن‌سنجی است. رسوبات دریاچه‌ای در غرب ایران و لس‌های بادی در شمال ایران آرشیوهای باارزشی برای مطالعات تغییر اقلیم گذشته هستند. امید است مطالعات آینده بر روی این منابع با تفکیک مکانی و زمانی بهتری انجام گیرد.

۳-۱-۲- پالئوپدولوژی در توالی های لس - پالئوسول

پالئوپدولوژی مطالعه‌ی پیدایش، خصوصیات، اقلیم و زمین نما ثبت شده در خاک های فسیلی و یا پالئوسول ها است (دریس، ۲۰۰۹). هدف اصلی مطالعات پالئوپدولوژیکی بازسازی شرایط پیدایش خاک برای شناسایی عوامل خاک ساز می باشد. ساختار خاکرخ خاک نیز در این مطالعات دارای اهمیت فراوان است و در نتیجه می تواند با یک تشریح صحرائی جامع و دقیق و پیرو آن انجام آزمایشات مختلف، به هدف مطالعات پالئوپدولوژیکی رسید (موروزوا و ولیچکو، ۲۰۰۹).

پالئوسولهای پیش از کواترنری خاک های مدفون و فسیل شده ای هستند که بیش از ۲ میلیون سال سن دارند و معمولا بر اثر فرایندهای زمین شناسی و دیاژنز به صورت سنگ در آمده اند (ریتالک، ۱۹۹۱). پالئوسولها (مربوط به دوره کواترنری) خاکهایی هستند که در شرایط گذشته تشکیل و توسط رسوبات جوانتر مدفون شده اند و شاهد مهمی از شرایط محیطی گذشته هستند. از این رو پالئوسولها را می توان در توالی های رسوبی با منشا متفاوت نظیر تراس های رودخانه ای، باتلاق های کم عمق، آتشفشان ها و رسوبات یخچالی، یافت. با این وجود، گسترده ترین و بهترین پالئوسول های حفظ شده را می توان در رسوبات لسی پیدا نمود و با استفاده از تغییرات پیدایشی و تکاملی پالئوسول ها، به تغییرات اقلیمی و محیطی گذشته پی برد.

جاکوبز و ماسون (۲۰۰۵) در مطالعه مورفولوژیکی و پالئوپدولوژیکی چندین پالئوسول مربوط به دوره هولوسن در منطقه نبراسکای ایالات متحده آمریکا دریافتند که این رسوبات نشان دهنده سه فاز رسوبگذاری و تشکیل خاک می باشند. آنها بیان کردند که این سه دوره در نتیجه تغییرات محیطی اقلیمی و پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شان رخ داده است. همچنین مطالعات تبور و همکاران (۲۰۱۱) بر روی مورفولوژی، پتروگرافی (بررسی اشکال کربنات کلسیم و گچ پدوژنیک) و کانی شناسی پالئوسول مربوط به دوره پرمین در نیجر و مقایسه آن با خاک های مدرن استرالیا و آمریکا نشان داد که خاک قدیمی مورد مطالعه در شرایط خشک (ارید و بسیار خشک (هایپرارید) تشکیل شده است. ون کامپنهورت و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه پالئوپدولوژیکی یک توالی لسی در بلژیک بیان کردند که فرایندهای غالب تشکیل خاک در دوره های مختلف عبارت از فرایندهای کرایوژنیک، انتقال کلئید، دینامیک آهن، تشکیل ماده آلی و فعالیت های بیولوژیکی، بودند. سیمای تکامل سرزمین در این منطقه از تشکیل خاک های تحت پوشش جنگل، جنگل چمنزار در دوره های گرم (بین

یخچالی) تا پوشش تندر را با تراکم کم در دوره های پیش از یخبندان و در نهایت خاک هایی با کمی ماده آلی (کمی تیره) در دوران یخبندان خبر می دهد.

مطالعات پالئودولوزیکی کهل و همکاران (۲۰۰۵a) بر روی سه توالی لس - پالئوسول (آق بند، نوده و نکا) در طول یک تغییر اقلیمی در شمال ایران نشان داد که در دوره میانی و پایانی پلیستوسن در این منطقه اقلیم سرد و خشک، جای خود را به اقلیمی کمابیش گرم و مرطوب می دهد. توالی نوده ۹ دوره تجمع و رسوبگذاری لس را که بوسیله دوره های بین یخچالی و به احتمال زیاد شبه یخچالی قطع شده اند را نشان می دهد. از این رو این محققین اظهار داشتند که توالی های لس - پالئوسول شمال ایران آرشیوی فوق العاده برای مطالعه تغییرات اقلیم گذشته می باشند. ضیایی و همکاران (۲۰۱۲) نیز با مطالعه یک توالی لس - پالئوسول در منطقه نهارخوران گرگان دریافتند که تشکیل این توالی لسی در اثر دوره های مختلف یخچالی و بین یخچالی می باشد. این محققین اظهار داشتند که رنگ های تیره تر پالئوسول ها، مقدار بیشتر رس و حضور ساختمان منشوری در مقایسه با افق های لسی با رنگ روشن تر، مقدار رس کمتر و ساختمان توده های نشان دهنده شرایط مناسب برای هوازدگی و در نتیجه افزایش فرایندهای خاکساز در زمان تشکیل و تکامل پالئوسولها می باشد. به عبارت دیگر، تغییرات پدورژنیکی و تکاملی خاکهای قدیمی موجود در این مقطع لسی نشان دهنده تغییرات اقلیمی متناوب در طول دوره پلیستوسن در این منطقه است.

۲-۱-۳-۱- مطالعات دانه بندی بر توالی های لس - پالئوسول

تا کنون در مطالعات مختلفی به منشاء یابی رسوبات پرداخته شده است. ثروتی و اسماعیلی ۱۳۸۲ در مطالعات خود به بررسی پراکندگی، منشا، سن و آثار اقلیم دیرینه لس های شمال مرکزی ایران پرداخته اند و بیان داشته اند که لس های شمال مرکزی ایران تحت شرایط سرد، خشک و بادی که بوسیله تشکیلات خاک های فسیل در دوره های گرم و کوتاه قطع شده، نهشته شده اند. خواجه و همکاران ۱۳۸۳ به مطالعه تغییرات جانبی اندازه ذرات لسی و کانی شناسی آن در منطقه استان گلستان پرداخته و ضمن تاکید بر بادی بودن نهشته های لسی بیان داشته اند که تغییرات اندازه ذرات و ترکیب کانی شناسی به عنوان یک معیار تعیین جهت بادهای غالب می توان مدنظر قرار گیرد. فیض نیا و همکاران ۱۳۸۴ به بررسی اثر عوامل فیزیکی و شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی خاک های لسی در استان گلستان پرداختند و با بررسی برخی

از عوامل محیطی در رسوب زایی در مناطق مختلف لسی عامل موثر در رسوب زایی و فرسایش پذیری خاک های لسی را به دست آوردند. کریمی ۱۳۹۰ لس و ترکیبات کانی شناسی آن، شرایط تشکیل و چگونگی پراکندگی آن، در ایران را مورد بررسی قرار داده است و منشاء لس ها، بادهای شدید در دوران یخچالی دانسته که این بادهای، انرژی لازم را برای انتقال سیلت فراهم می کند.

نوجوان و عرب عامری ۱۳۹۰ منشاء بایی لکه های زرد رنگ در منطقه بیاضه، در حاشیه کویر مرکزی را مورد بررسی قرار داده اند و در نهایت نتیجه گرفته اند که این رسوبات، ظاهری شبیه لس دارند و در محیط رسوبی کم انرژی مثل آبگیرها و دریاچه های کوچکتر ایجاد شده و منشاء بادی- یخچالی ندارند. محمدرضا نوجوان بشنیغان، ۱۳۹۵ به استفاده از دانه بندی رسوبات، مورفوسکوپی از یک طرف و استفاده از روش های تحلیل شیب و توپوگرافی به منشاء بایی رسوبات جنوب میبد پرداختند. همچنین ولامینک و همکاران ۲۰۱۸ به بررسی منشاء بایی رسوبات لسی منطقه توشن، آق بند و مبارک آباد پرداخت.

۲-۳-۱- مطالعات میکرومورفولوژیکی در توالی های لس- پالئوسول

مطالعات میکرومورفولوژی پالئوسول ها اغلب اختلاف های بین برخی خصوصیات خاک را نشان می دهد. رخنمون های پدوژنیک در گذشته می توانند مشابه زمان حال باشند و یا می توانند با درجه تکامل بیشتر نسبت به خاک مدرن متفاوت باشند. همچنین، مطالعات میکرومورفولوژیکی می توانند نشان دهند که یک پالئوسول تحت تاثیر فرآیندهای درجای زیر و رو شدن، فرسایش، انتقال و رسوبگذاری قرار گرفته اند که امکان این تشخیص در دیگر روش های مطالعه به راحتی مقدور نمی باشد (فدروف و همکاران، ۲۰۱۰). از این رو، می توان بیان کرد که یکی از تکنیک های مهم برای شناسایی و تفسیر لس - پالئوسول در راستای مطالعات اقلیم شناسی گذشته، بررسی میکرومورفولوژیکی خاک می باشد. از بررسی نیمه کمی و کمی مشخصه های میکرومورفولوژی می توان در تشخیص افق های مشخصه مانند کلسیک و آرچیلیک (افق غنی از رس)، تشخیص افق های مدفون، شبیه سازی رسوب گذاری لس ها، پیش بینی تغییرات اقلیم و دوره های خشک و مرطوب گذشته، فرآیند رسوب گذاری و فرسایش، بهره گرفت (کریمی، ۱۳۸۷).

خصوصیات میکرومورفولوژیکی خاک های قدیمی برای نشان دادن تغییرات و شرایط محیطی استفاده می شود. خرمالی (۲۰۰۳) معتقد بود که براساس مقایسه پدیده های مشاهده شده در خاک های قدیمی با پدیده

هایی که در شرایط کنونی در خاکها به وجود می آیند، می توان شرایط حاکم بر خاکهای گذشته را بازسازی نمود. برخی از خاک های قدیمی که چندین دوره خاک سازی و تغییر اقلیم را تجربه کرده اند، دارای شواهد خاکسازی هستند که همدیگر را تحت تاثیر قرار می دهند و گاهی اثرات آنها به صورت مضاعف در خاک به جا مانده است که این خاک تحت عنوان پلی ژنتیک شناخته می شوند. تفسیر ترکیبی توالی لس - پالئوسول وجود چندین مرحله در توسعه خاک را نشان می دهد. کوهن و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که میکرومورفولوژی اطلاعات دقیقی را در مطالعه توالی های مختلط فراهم می کند و ابزاری کارا برای بررسی همبستگی های چینه شناسی خاکی و درک فرایندهای خاکساز می باشد؛ به طوری که جوزف (۲۰۱۰) با مطالعات میکرومورفولوژی در توالی لس - پالئوسولی در منطقه آلاسکای ایالات متحده نشان داد که در زمان رسوبگذاری لس، خاکهای ضعیف به صورت منقطع تشکیل شده اند. حضور بقایای ماده آلی در مقاطع نازک نشان دهنده وجود جنگل های سردسیری بود که می توانستند تله خوبی برای به دام انداختن لسهها باشند.

گیو و فدروف (۱۹۹۰) شکل های هیپوکوتینگ، پرشدگی و پوشش های سوزنی کربنات های ثانویه را در مقطع زیفنگ چین تشخیص دادند و نتیجه گیری کردند که آنها پس از تشکیل، توسط رسوبات جدید مدفون شده اند. همچنین حضور و پراکنش فرم های آهکی را در خاکهای لسی چین مورد بررسی میکرومورفولوژیک قرار داده و هیپوکوتینگ آهک در افقهای زیرین و کلسیت زدایی افقهای فوقانی را بازتابی از دوره نیمه خشک بینابینی دو دوره خاکسازی تحت شرایط مرطوب پایدار با تقدم دوره خشک همراه با تغییرات گذرا در غالب بودن بادهای موسمی تابستانه خشک نسبت به مرطوب برای حمل ذرات، دانسته اند. بزک و همکاران (۱۹۹۷) نیز با مطالعه میکرومورفولوژیک کربنات کلسیم ثانویه در خاک های لسی اروپا بیان نمودند که حضور کوتینگ منگنز و پوشش های کلسیتی پودری در سطح لس ها، بیانگر تغییر وضعیت آب شویی به غیر آبشویی است. نوع غالب حفرات حجره ای، دلیلی بر نبود شرایط تنش آبی، دفن شدگی ناگهانی و نشان دهنده پایداری افق سطحی خاک بوده است. ایشان حضور کلسیت های میسیلیوم و سوزنی شکل را به معدنی شدن بیولوژیک ساپروفیت ها در شرایط رطوبت مطلوب و تجزیه شدن مواد آلی نسبت داده اند.

برونگر و همکاران (۱۹۹۸) معتقدند که یکی از مهمترین اشکال میکرومورفولوژیکی مشاهده شده در پالئوسول ها پوشش های رسی (افقهای آرچلیک) بوده که نشان دهنده تجمع تدریجی رس انتقال یافته در

شرایط اقلیمی مناسب دوره های بین یخچالی تحت پوشش جنگل است. خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) وجود افق آرجیلیک در مواد آهکی مناطق خشک و نیمه خشک را نشان دهنده فرم های قدیمی در شرایط ژئومورفولوژیک پایدار می دانند. آنها بر این عقیده اند که آهک زدایی فاکتور غالب در تکامل آن دسته از خاکهای آهکی است که افق آرجیلیک دارند. آهک زدایی و انتقال رس احتمالاً طی شرایط مرطوب تر گذشته اتفاق افتاده است و با تجمع آهک طی دوره های خشک تر بعدی ادامه یافته است. ضیایی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از خصوصیات میکرومورفولوژیکی چند مقطع السی در گرگان اظهار داشتند که پالئوسول هایی از تکامل پروفیلی قابل توجهی برخوردار بودند که در مقاطع نازک آنها شستشوی آهک و مهاجرت متعاقب رس و افق آرجیلیک در آنها مشاهده شد.

۲-۳-۱ - مطالعات کانی شناسی در توالی های لس - پالئوسول

همبستگی بین کانی شناسی خاک و شرایط اقلیمی توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است و بررسی های مختلف نشان داده که به طور کلی الگوی هوازدگی کانی های رسی از یک منطقه گرم و مرطوب به یک منطقه سرد و خشک به این صورت می باشد که از کانی کائولینیت، اسمکتیت، ورمیکولیت، کلریت و فیلوسیلیکات های مختلط به کانی ایلیت و میکا می رسد (شلدون و تبور، ۲۰۰۹). به عبارت دیگر، پالئوسول ها بر حسب این که چه مدت و تحت تأثیر چه نوع اکوسیستمی قرار گرفته اند، دارای درجه های تکامل متفاوتی هستند و وجود کانی های مشخص در خاک بازگو کننده شرایط محیطی گذشته منطقه است. هر کانی در شرایط شیمیایی خاص پایدار است و با توجه به حضور کانیهای مشخص می توان شرایط تشکیل آنها را بازسازی کرد. از این رو پژوهشگران مختلفی با استفاده از کانی شناسی پالئوسول ها، شرایط گذشته را بازسازی کرده اند. لذا شناخت و نحوه تشکیل و تبدیل این کانی ها و یافتن سایر مشخصات و ویژگی های آنها برای درک بهتر از تشکیل و تکوین خاک امری ضروری و لازم به نظر می رسد.

اخروی و امینی (۲۰۰۱) ویژگی های لس های حوزه آبخیز قره تیکان واقع در حوزه کپه داغ و همچنین فرسایش پذیری آنها را بررسی نمودند و منشأ احتمالی آنها را مناطق دوردست در آسیای میانه بیان کرده اند. در این مطالعه آنها دریافتند که رسوبات لسی حوزه آبخیز قره تیکان، به طور میانگین دارای ۵۵ درصد کوارتز، ۱۰ درصد کربنات کلسیم، ۱۸ درصد فلدسپار، ۱۰ درصد کانی های رسی و ۲ درصد کانی های سنگین بوده و کانی

کلریت (۶۰-۳۰ درصد)، اسمکتیت (۶۰-۲۵ درصد)، وکانی های بین لایه ای کلریت-ورمیکولیت و کلریت - اسمکتیت (۶۰-۵۰ درصد) کانی های بخش رس را تشکیل می دادند. در رسوبات لسی جنوب مشهد، ایلیت، اسمکتیت و پالوگورسکیت کانی غالب بخش رس و کوارتز و گچ، کانی غالب بخش سیلت و شن را تشکیل می دهند. در این رسوبات اثری از کائولینیت مشاهده نشد (کریمی و همکاران، ۲۰۰۹).

خرمالی و کهل (۲۰۱۱) نیز در مطالعه خود بر روی رسوبات لسی و خاک های مدفون در شمال ایران در طول یک شیب بارندگی دریافتند که کانی های رسی مواد مادری لسی شامل ایلیت < کلریت < اسمکتیت < کائولینیت می باشند که با افزایش بارندگی و تحول خاک در منطقه ای با رژیم رطوبتی زیریک کانی اسمکتیت و در منطقه یودیک کانی ورمیکولیت در خاکها افزایش می یابند. ضیایی و همکاران (۱۳۹۲) با مطالعه کانی شناسی چند مقطع لسی در گرگان اظهار داشتند که وجود رس های هوا دیده ای مانند اسمکتیت در مقادیر بیشتر، ورمیکولیت و کانی های مختلط اسمکتیت - ایلیت در پائوسول ها بیانگر شرایط مرطوب تر و مساعد هوازدگی در عصر بین یخچالی است و حضور رس های اولیه و بدون تحول در لس ها شرایط سرد و خشک یخچالی را تأیید می نماید.

فیضی و همکاران ۱۳۹۵ کانی های رسی غالب در طول برش رسوبی نوده ایلیت، کائولونیت، کلریت، مونتمورونیت و پالیگورسکیت است. کانیهای ایلیت، کلریت و کائولینیت در خاکهای لسی استان گلستان منشاء مادری دارد. حضور کانی های رسی ایلیت و کلریت در مواد لسی بیانگر فرآیند عدم هوازدگی در زمان تشکیل و حاکم بودن اقلیم سرد و خشک است. در لایه های لس به لحاظ شرایط آب و هوایی سرد و خشک، عوامل خاک سازی تأثیر چندانی در تحول و تکامل خاکها نداشته است که این مسأله بر نوع و ترکیب کانی های رسی نیز اثر مستقیم گذاشته به طوری که ترکیب کمی و کیفی کانی های رسی لایه های لس از مواد مادری نشأت گرفته است. در این لایه ها کانی ایلیت و کلریت قابل توجه بوده و بیشترین فراوانی را دارند. با توجه به عدم حضور کانیهای اسمکتیت و پالیگورسکیت در مواد مادری، به نظر می رسد که تشکیل این کانی ها به صورت خاکزا و در اثر واکنش های خاک زمین شیمیایی انجام شده است. همراهی کانی پالیگورسکیت و افق های کلسیک از سوی پژوهشگران مختلف گزارش شده است. ساز و کارهای رسوب کربنات کلسیم و افزایش نسبت منیزیم به کلسیم در محلول خاک همراه با pH مناسب ایجاد شده به وسیله کربناتها برای تشکیل پالیگورسکیت

و نیز انتقال پالیگورسکیت همراه با آهک در زمان تشکیل افق کلسیک، به عنوان علل غنی شدن افق‌های کلسیک از پالیگورسکیت بیان شده است (Bouza et al, ۲۰۰۷).

۲-۴-۳-۱ - مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی در توالی های لس - پالئوسول

پذیرفتاری مغناطیسی، مقدار ظرفیت انباشت مغناطیسی در یک ذره به هنگام قرار گرفتن در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی است. این ویژگی می‌تواند به عنوان قابلیت مغناطیسی‌شوندگی یک جسم مورد بررسی قرار گیرد (Evans and Heller, ۲۰۰۳).

این ایده که میزان پذیرفتاری مغناطیسی با میزان بارندگی و رطوبت و با فرایندهای پدوژنیک در زمان تشکیل خاک مرتبط است برای اولین بار توسط ماهر و تامپسون ۱۹۹۵، ارائه شد. آنها ابتدا بین پذیرفتاری مغناطیسی افق های B و C خاک های هولوسن فلات لسی چین و بارندگی سالیانه آنها همبستگی برقرار کردند، سپس با قرار دادن پذیرفتاری مغناطیسی خاکهای قدیمی در معادله به دست آمده، میزان بارندگی فلات لسی را در زمانهای متفاوت محاسبه کردند.

تورنت و همکاران (۲۰۰۷) بیان می‌دارند که در زمان رسوبگذاری لس در دوران یخچالی میزان ذرات باردار کم شده اما دوران بین یخچالی، زمانی که رسوبگذاری لس کمتری وجود داشته، ذرات باردار به میزان کمتری توسط دیگر ذرات تحت تاثیر قرار گرفته اند لذا میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک افزایش یافته است.

بالسام و همکاران (۲۰۱۱) همچنین پیشنهاد می‌دهند که میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک با افزایش بارندگی از ۲۰۰ میلیمتر تا حدود ۱۲۰۰ میلیمتر افزایش می‌یابد. با افزایش بارندگی به بیشتر از ۱۲۰۰ میلیمتر میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک کاهش می‌یابد و وقتی که بارندگی به ۲۰۰۰ میلیمتر برسد میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک تقریباً صفر می‌شود.

غفارپور و همکاران ۲۰۱۹، ولامینک و همکاران ۲۰۱۸، شهریاری و همکاران ۲۰۱۶، طاهری و همکاران ۲۰۱۶ و .. نشان دادند که در منطقه نوده، آق بند و مبارک آباد افق های لسی میزان پذیرفتاری کم و در افق های پالئوسولی این مقدار بالا می‌رود.

۲-۵-۳-۱- مطالعات ژئوشیمی در توالی های لس - پائوسول

در سال های اخیر برخی از محققان، از آثار ژئوشیمیایی به جا مانده از هوازگی شیمیایی خاک های دیرینه برای بازسازی شرایط محیطی دیرینه استفاده کرده اند (Roy et al., ۲۰۱۰, ۲۰۰۰). توزیع عناصر اصلی و فرعی در رسوبات به ترکیب کانی شناسی، دما، ترکیب سیالات، شرایط اکسیداسیون و احیا بستگی دارد (آدابی، ۱۳۸۳). مطالعات نشان می دهند که ترکیب و میزان عناصر نسبت به شرایط محیطی حساس هستند. تحلیل عناصر اصلی و فرعی رسوب ها با روشن کردن پراکندگی و توزیع آن ها راه را برای درک شرایط محیطی رسوبگذاری آن ها باز می کند. ژئوشیمی عنصری به واسطه میزان عناصر موجود در هر نمونه، راهنمای خوبی برای تغییرات اقلیمی خواهد بود.

در مطالعات آب و هوای دیرینه بر اساس داده های ژئوشیمیایی، تعداد زیادی از کانی های تبخیری مانند کربنات ها، سولفات ها و کلریدهای Na, K, Ca و Mg به عنوان نشانه هایی از سرزمین های خشک دیرینه به کار برده می شوند. تشکیل سیلیکات های Na، دلالت بر کاهش PH در یک شوراب غلیظ با مقادیر زیادی از Na قلیایی دارد؛ در شرایط مرطوب عملکرد انحلال و رسوبگذاری کاتیون های معمولی مانند Na^+ و Mg^{2+} (Fe^{2+} و Mn^{2+} در محیط هایی با Ph منفی) بسیار مهم هستند (Moore and Mason, ۱۹۸۲; Holser, ۱۹۷۹). با استفاده از آثار ژئوشیمیایی در توالی های لس/خاک دیرین و نسبت عناصر محلول/غیر محلول، می توان آب و هوای دیرین را مورد بحث قرار داده و تفسیر کرد (Smykatz-Kloss and Roy, ۲۰۱۰).

فیضی و همکاران ۱۳۹۵، میزان اکسید آلومینیوم و اکسید آهن در واحدهای خاک دیرین زیاد و در واحدهای لسی کم می باشد. این دو عنصر جزء عناصر انحلال ناپذیر و پایدار هستند و در شرایط اقلیمی سرد و خشک با افزوده شدن عنصری از قبیل اکسید کلسیم که یک عنصر ناپایدار و انحلال پذیر است، غلظت این عناصر کاهش یافته و نشانه ای از گسترش دوره های یخچالی است. مقدار این عناصر همزمان با تشکیل لایه های خاک دیرین افزایش می یابد و نشانه ای از وجود شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب است.

ولامینک و همکاران ۲۰۱۸، برای بررسی هر چه بهتر تغییرات غلظت اکسیدهای اصلی، تعیین شدت هوازگی و ارزیابی چگونگی فرایندهای خاکزایی از معیارهای مختلف زمین شیمیایی استفاده نموده است. شاخص تهی شدگی کاتیون های بازی، شدت هوازگی را نشان می دهد. بر اساس این شاخص با تشکیل لایه های

خاک دیرین مقدار این شاخص نیز افزایش یافته و با تشکیل لایه‌های لس نیز مقدار آن کاهش یافته است. برای تعیین شدت هوازدگی از دو شاخص هوازدگی شیمیایی و شاخص هوازدگی موثر شیمیایی استفاده شد. این شاخص نیز نشان از آب و هوای گرم و مرطوب و مقدار هوازدگی بالای رسوبات در لایه خاک دیرین دارد. شاخص هوازدگی موثر شیمیایی یکی دیگر از شاخص‌هایی است که به میزان هوازدگی شیمیایی رسوبات می‌پردازد.

۲-۶-۳-۱ - مطالعات گرده‌شناسی در توالی های لس - پالنوسول

امروزه پالینولوژی به‌عنوان یکی از فن‌های زیست‌شناختی در بازسازی محیط‌های کواترنری کاربرد زیادی پیدا کرده است. بازسازی آب‌وهوای دیرینه با استفاده از آنالیز گرده‌های گیاهی به شکرانه چهار ویژگی اصلی دانه‌های گرده امکان‌پذیر است. ۱- دانه‌های گرده هرگونه گیاهی ویژگی‌های ریخت‌شناسی خاص خود را داراست. ۲- دانه‌های گرده به مقدار فراوان تولید و تا مسافت‌های زیادی از منبع خود توزیع می‌شوند. ۳- دانه‌های گرده مقاومت زیادی در برابر پوسیدگی و نابودی در محیط‌های رسوبی دارند. ۴- دانه‌های گرده ماهیت پوشش‌گیاهی را در زمان نهشته شدن خود منعکس می‌کنند. با توجه به این موارد با آنالیز گرده‌های گیاهی می‌توان اطلاعاتی درباره شرایط آب‌وهوای دیرینه کسب کرد (Bradley, ۱۹۹۹).

گرده‌های گیاهی به‌عنوان یک ابزار نسبتاً کارآمد در جهت بازسازی‌های دمایی و رطوبتی دیرینه اقلیمی به‌صورت شستشوی سطحی و یا توسط باد از حوضه و یا حتی از مناطق دیگر به داخل دریاچه‌ها منتقل می‌شوند. هرساله تعداد زیادی از گرده‌های گیاهی توسط گیاهان داخل حوضه منتشر می‌شود که به سبب نبود عوامل حمل بر روی دامنه‌ها و زمین‌های اطراف دریاچه می‌مانند؛ بنابراین گرده‌هایی که توسط شستشوی نواحی اطراف دریاچه، وارد دریاچه می‌شوند معمولاً گرده‌های قدیمی‌تر هستند و گرده‌های جوان‌تر به‌وسیله بارندگی و یا از طریق وزش باد به همراه سایر ذرات معلق وارد آب می‌شوند. احتمالاً برای بیشتر دریاچه‌ها منشأ گرده‌ها به همین ترتیب است. در مجموع تعدادی از گرده‌ها با شستشوی مستقیم به‌وسیله آب باران از جو وارد دریاچه می‌شوند و تعدادی دیگر به‌وسیله گیاهان محلی آبی که در داخل یا حاشیه دریاچه رویش یافته‌اند، تولید و وارد آب می‌شوند (Moore et al., ۱۹۹۱). به نقل از اکبری ازیرانی، (۱۳۹۱، ص ۳۱). اگرچه حدود ۹۹٪ دانه‌های گرده در فاصله یک کیلومتری از محل تولیدشان فرود می‌آیند، اما در برخی از دانه‌های گرده تا فاصله‌ای حدود

۱۷۵۰ کیلومتر دورتر از منبع اصلی شان پیدا شده‌اند (وزیری و همکاران، ۱۳۸۳، ص ۲۴۵). گرده نقشی اساسی در مطالعات تغییر آب‌وهوایی کواترنری دارد (Faegri and Iverson, ۱۹۸۹) و تنها شاخه پراهمیت دیرین‌بوم‌شناسی برای پلیستوسن و هولوسن است (Roberts, ۱۹۹۸). بهترین شرایط و محیط برای حفظ دانه های گرده، شرایط احیا و در دریاچه ها می باشد گرده ها در رسوبات لسی به سختی حفظ می شوند و بعلت شرایط اکسیدان گرده ها از بین می روند ولی با همه تفاسیر با روشی کمی متفاوت تر از آماده سازی گرده ها در دریاچه می توان به مطالعه گرده شناسی در رسوبات لسی پرداخت و اطلاعات خوبی در خصوص دما و بارش و پوشش گیاهی آن به دست آورد.

۲-۷-۳-۱- مطالعات سن سنجی OSL در توالی های لس - پالتوسول

سن سنجی لومینسانس نوری تحریک شده یکی از تکنیک های بسیار مورد استفاده در معرفی نهشته های لسی است (Fuchs and Owen, ۲۰۰۸؛ Thrasher et al., ۲۰۰۹؛ Roberts, ۲۰۰۸, ۲۰۱۵). با توجه به اینکه دیواره های لسی سنی بیش از ۵۷۰۰۰ (با روش کربن ۱۴ اندازه گیری می شود) دارند بنابراین روش هایی مانند کربن ۱۴ که در رسوبات با سن پایین تر بطور عموم به کار برده می شود در نهشته های لسی خیلی کاربردی نمی باشد. در بسیاری از مطالعات مربوط به سن سنجی لومینسانس، نرخ رسوبگذاری بسیار متفاوت گرد و غبار موجود در هوا و ناسازگاری های فرسایش یافته در توالی لس - پالتوسول را در سوابق زمینی در اواخر پلیستوسن نشان داده است (آنتوان و همکاران، ۲۰۰۱؛ Frechen و همکاران، ۲۰۰۱؛ رابرتز و همکاران، ۲۰۰۳)

فصل ۴: روش تحقیق

۳-۱- مقدمه:

نوسانات در پارامترهای آب و هوایی از قبیل دما، بارش و سرعت باد ممکن است باعث تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لس شود، که می تواند در دوره کواترنری حفظ شود. بر اساس این مطالعه چندگرایشی از ترکیبات غیرآلی، و آلی که شامل رنگ، اندازه دانه، کانی شناسی و ژئوشیمی، پذیرفتاری مغناطیسی، میکرومورفولوژی و گرده های گیاهی در صورت حضور استفاده شده است. این نوسانات با استفاده از شواهد مختلف زیستی و غیرزیستی مختلف قابل تشخیص هستند. بنابراین هر یک از این شواهد، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی حفظ شده در محیط های گذشته را در نظر می گیرند. استفاده از شواهد زیستی یکی از نقاط قوت و نوآوری این مطالعه است.

۲-۳- روش‌های مطالعاتی

بررسی‌های چند شاهدهی از ترکیبات غیرآلی، و آلی منطقه مورد مطالعه در چندین مرحله و با به کار گیری روش‌های نوین و تجهیزات پیشرفته انجام شده است. این مطالعات شامل موارد زیر است:

۱-۲-۳- مطالعات و بررسی‌های کتابخانه‌ای

جمع آوری اطلاعات شامل نقشه‌های پایه از قبیل نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد. علاوه بر این، کتاب‌ها، مقاله‌ها، مجله‌ها، پایان‌نامه‌ها، گزارش‌ها و ... با هدف کسب آخرین اطلاعات از کتابخانه‌ها، سازمان‌ها و سایت‌های معتبر که در زمینه‌های تغییرات آب و هوا، پذیرفتاری مغناطیسی، دانه بندی، ژئوشیمی و ... اقدام به نشر می‌کنند، تهیه شد.

۲-۲-۳- کارهای صحرائی و نمونه برداری

از نکات مهم که در انتخاب سکانس‌های لسی باید به آن توجه داشت این است که سکانس مد نظر بهم ریختگی و فروریختگی نباشد، ترجیحاً دیواره‌های لسی یکی از دقیقترین اطلاعات رادر مطالعات لس در اختیار قرار میدهد البته کار بر روی دیواره به خاطر اینکه امکان نمونه گیری سخت تر می شود کاری دشوار و نیاز به ایجاد داربست دارد. پس از بررسی‌های صحرائی و انتخاب سکانسی مناسب که بتواند بازه زمانی کامل تری را در اختیار ما قرار دهد و مشخص کردن محل دقیق مقطع رسوبی، اقدام به برداشت نمونه شد. عملیات صحرائی و برداشت نمونه رسوبات لس در مرحله اول در تاریخ ۹۷/۰۲/۰۱ آغاز و به مدت ۱۵ روز انجام شد و ۷.۵ متر از برش با مختصات طول ۵۴.۳۰ شرقی و عرض ۳۶.۸۰ شمالی و ارتفاع ۱۳۵ متر از سطح دریا دیواره شمال شرقی برداشت شد. در مرحله دوم در تاریخ ۵ بهمن ۹۸ نمونه برداری تکمیلی با زدن داربست بر روی دیواره انجام شد و حدود ۱۳ متر بعدی دیواره نمونه برداری شد. قبل از نمونه برداری، لایه‌های رسوبی هوازده کنار زده شد تا سطح تازه از رسوبات نمایان شود. سپس با استفاده از متر مطابق روش (Galovic, ۲۰۱۴; Qin et al, ۲۰۱۴) لایه مورد نظر به فواصل ۱۰ سانتیمتری تقسیم بندی شد. پس از مدرج کردن لایه، از هر لایه ۲ کیلوگرم برای آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی برداشت شد و سپس با استفاده از پُتک، لوله‌های گالوانیزه توخالی را که از قبل تهیه شده است برای برداشت نمونه‌های سن سنجی، به داخل رسوبات وارد کرده و نمونه‌های رسوبی هر

لایه برداشت شد (شکل ۳-۱). از ۵ متر بالایی برش لسی- پالئوسول سعدآباد ۲ در حدود ۲ کیلومتری برش اصلی وجود دارد با فواصل ۱۰ سانتیمتری نمونه جهت شناسایی گرده های گیاهی برداشت گردید نمونه ها به صورت سیستماتیک برداشت شد زیرا کاهش یا افزایش تعداد گرده ها در لایه های مختلف در تفسیر مسائل آب و هوایی بسیار حائز اهمیت می باشد.



کشور و اکتشافات معدنی

سازمان

شکل ۳-۱: الف: مراحل اول برداشت نمونه ب: مرحله دوم نمونه بردار

۳-۲-۳- کارهای آزمایشگاهی و اندازه گیری ها

با توجه به انجام آزمایش های گوناگون بر روی نمونه ها، ابتدا هر یک از نمونه ها باید به بسته های ۱۰۰ گرمی تقسیم شوند تا برای هر یک از آزمایش های ژئوشیمی، دانه بندی، پارامترهای مغناطیسی، XRD و ... مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱-۲-۳- آزمایش دانه بندی نمونه های رسوبی

خصوصیات بافتی نمونه های لس و پالئوسول با استفاده از پراش سنجی لیزری تعیین شد. این روش نسبت به روش الک و پیپت کلاسیک مزایای قابل توجهی دارد، زیرا زمان کمتری لازم دارد و بنابراین برای تجزیه و تحلیل مجموعه های بزرگ نمونه مناسب است. علاوه بر این، لیزر پراش سنجی تبدیل به یک روش اندازه گیری استاندارد در تحقیقات لس شده است و بنابراین نتایج ما از توزیع اندازه ذرات ممکن است با نتایج سایر

محققان مقایسه شود. با توجه به اینکه اندازه بیشتر دانه ها زیر ۶۳ میکرون می باشد جهت دانه بندی نمونه ها حدود ۲۰۴ نمونه ۵۰ گرمی به موسسه لیبنیز هانور آلمان ارسال شد و جهت اندازه گیری از دستگاه پارتیکل سایزر کمپانی Fritsch استفاده شد. این روش آماده سازی خاصی ندارد.

۲-۳-۲-۳- میکرومورفولوژی نمونه های رسوبی

همانطور که پیش تر نیز اشاره شد برای مطالعات میکرومورفولوژی نمونه های دست نخورده حدود ۱۰ Cm در ۱۰ Cm از افق های مورد نظر برداشت شد (در فصل ۴ مفصل عمق نمونه های برداشت شده آمده است) و در مجاورت هوا خشک شدند. نمونه ها با مخلوط استون و رزین پلی استر به نسبت ۷۰ به ۳۰ و با افزودن کاتالیست (متیل اتیل کتون پراکسید) و سخت کننده کبالت در شرایط خلاء در دسیکاتور اشباع و در هوای آزاد سخت شدند. بلوک ها پس از برش سایش و نصب روی لام با ستمباده های مختلف و در نهایت با پودر کربورانوم ۶۰۰-۸۰۰ به ضخامت مطلوب رسانده شدند. ضخامت مورد نظر در این مطالعه برابر ۳۰ میکرون است. مقاطع با میکروسکوپ پلاریزان در نور عادی و نور پلاریزه و بر اساس روش بولاک و همکاران ۱۹۸۵، و تعاریف استویس ۲۰۰۳ مطالعه شدند.

۳-۲-۳-۳- تعیین کانی های رسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD)

این آزمایش نوع و درصد نسبی کانی های رسی موجود در نمونه ها را نشان می دهد. در سال های اخیر استفاده از روش منشا، یابی جهت تعیین منابع اصلی تولید رسوب و اهمیت نسبی آنها در در حوضه های آبخیز مورد توجه واقع شده است. به دلیل ریز دانه بودن رس، شناسایی آن فقط به کمک دیفراکتومتر اشعه ایکس امکان پذیر است. هدف از این آزمایش، شناسایی کانی های رسی در رسوبات برداشت شده جهت تعیین محیط تشکیل آنها و استفاده در تفسیر منشاء و تغییرات شرایط آب و هوایی منطقه در گذشته است.

به منظور شناسایی کانی های رسی به روش XRD پس از تقسیم نمونه ها، تعداد ۲۵ نمونه جهت انجام کانی سنجی به ویژه کانی شناسی رسی به آزمایشگاه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور مرکز تبریز ارسال شد. ابتدا نمونه ها به صورت پودر در آمده و مراحل زیر اعمال شد. با تغییر هر افق از حالت پالتوسولی به لس و شرایط بینابینی آن ها نمونه برداشت شده است.

رس‌ها به موادی چون کربنات‌ها و اکسیدها می‌چسبند و در آب ته نشین میشوند. باید اول رس‌ها را از موادی مثل کربنات‌ها و اکسیدها و مواد آلی جدا کرد و به صورت کلوئید که خاصیت اصلی رس‌ها است در آورد.

۴-۳-۲-۳- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی

برای بازسازی تغییرات آب و هوای دیرین، از پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان یک شاخصه آب و هوا استفاده می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی معمولاً نشان‌دهنده مقدار غلظت حجم کانی‌های مغناطیسی موجود در نمونه است. مقدار زیاد پذیرفتاری مغناطیسی، نشان‌دهنده مقدار زیاد حجم کانی‌های مغناطیس است. جهت انجام این آنالیز نمونه‌ها را در بوت‌های کوچک ریخته و با کمی فشار آن را فشرده می‌سازیم (۳-۲).



۳-۲: بوت‌های مخصوص اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی

اندازه‌گیری پسماند مغناطیسی طبیعی (NRM)، توسط دستگاه مغناطیس‌سنج چرخان مدل (JR-6A)، انجام شد. برای اندازه‌گیری پسماند مغناطیسی، پس از ایجاد یک فایل جهت‌ذخیره کردن اطلاعات اندازه‌گیری شده، در حافظه رایانه متصل به دستگاه، نمونه‌ها را به ترتیب نامگذاری در دستگاه گذاشته و هر بار پس از وارد کردن اسامی نمونه‌ها، NRM آن‌ها لندازه‌گیری گردید. به هنگام لندازه‌گیری NRM نمونه‌ها، آن‌ها را در امتداد سه محور xz ، yz ، xy ، قرار داده و NRM آن‌ها را هر بار در امتداد این سه محور اندازه‌گیری کرده و سپس از مجموع اعداد اندازه‌گیری شده، در این سه جهت NRM کل محاسبه و به دست آمد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳: نحوه اندازه گیری پسماند مغناطیسی (الف) امتداد محور XZ؛ (ب) امتداد محور YZ؛ (ج) امتداد محور XY

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی توسط دستگاه اندازه‌گیری شدت مغناطیسی، انجام شد. در این مرحله پس از ایجاد یک فایل جهت ذخیره کردن اطلاعات اندازه‌گیری شده، در حافظه رایانه متصل به دستگاه، نمونه‌ها را به ترتیب نامگذاری در دستگاه گذاشته (شکل ۳-۳) و هر بار پس از وارد کردن اسامی هر کدام پذیرفتاری مغناطیسی آن‌ها اندازه‌گیری شد. در این حالت دستگاه هر بار فقط یک مرتبه نگهدارنده حاوی نمونه را به داخل برده و پس از اتمام اندازه‌گیری قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی نمونه آن به بیرون انتقال داده شد.

۳-۲-۳-۵- ژئوشیمی عناصر

تعداد ۲۰۴ نمونه جهت انجام آنالیز ICP-OES به آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال گردید. گستره مقادیر عناصر اصلی بر حسب درصد و عناصر فرعی بر حسب میلی بر کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود. عناصر به دست آمده از این آزمایش زیاد است، با توجه به کاربرد عناصر اصلی و فرعی در بررسی وضعیت اقلیم گذشته، عناصری که کاربرد داشتند، انتخاب شد. توسعه افق‌های پالئوسول مرتبط با تجزیه‌کانی‌های فرسایش پذیر در مقابل هوازدگی مانند پلاژیوکلاز و شکل‌گیری کانی‌های ثانویه (کانی‌های رسی) است. در نتیجه عناصر محلول (Sr, Mg, Ca) شسته می‌شوند، در حالی که عناصر کمتر محلول (به عنوان مثال Al, Sc, Ti) یا غیر محلول (K، سرب) غنی می‌شوند.

۳-۲-۳-۶- گرده شناسی

با اینکه گرده گیاهان در رسوبات لسی به سختی حفظ می‌گردد اما با توجه به مطالعاتی که بالاخص بر روی رسوبات لسی چین انجام شده است در این پژوهش تعداد ۵۰ نمونه از قسمت‌های لسی و خاک دیرینه ۵

متر بالایی برش سعدآباد ۲ در اداره کل زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه شمال شرق مورد مطالعه گرده شناسی قرار گرفت. با توجه به اینکه لس ها محیط های مناسبی جهت حفظ گرده های گیاهی نیستند با روشی متفاوت از نحوه آماده سازی گرده های عهد حاضر و میزان نمونه بیشتر این آنالیز انجام شد.

در این مطالعه اصول و مراحل مختلف جداسازی عناصر پالینومورف و آماده سازی نمونه ها همچون روش تراورس (Traverse, ۲۰۰۷) انجام گردیده است و در هر مرحله مطابق با شرایط هر نمونه تغییراتی قابل توجه نیز اعمال شده است. در ذیل به توصیف اجمالی روش انجام کار می پردازیم:

- ۱) حدود ۱۵۰ گرم از هر نمونه رسوبی را انتخاب و اسید کلریدریک ۲۵ درصد را به آن اضافه می نماییم. در این مرحله با اضافه کردن اسید، ذرات کربناته‌ی موجود در نمونه‌ها حل می‌شوند.
- ۲) مرحله بعد اسید ۵۰ درصد HF به نمونه‌ها اضافه می‌شود. اسید فلوئوریدریک را به منظور از میان بردن ذرات سیلیسی انجام می‌دهیم.
- ۳) در این مرحله اقدام به صاف کردن محتوی داخل هر بشر با صافی نایلونی ۱۰ میکرون (Sieve) می‌نماییم.

۴) با تهیه محلول چگال زینک کلراید ($ZnCl_2$) با چگالی حدود ۱/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب محتوی داخل ظروف را به لوله‌های دستگاه سانتریفیوژ منتقل می‌نماییم.

۵) با انجام مرحله سانتریفیوژ، تفکیک هر نمونه بر مبنای چگالی صورت می‌پذیرد. لذا به دقت پس از خاتمه‌ی چرخش دستگاه، لایه‌ی میانی را با پیپت مشخص شماره‌گذاری شده برداشت می‌نماییم.

۶) برای تهیه اسلایدهای پالینولوژیکی لوازمی همچون لام، لامل، کانادا بالزام مایع و شفاف و همچنین هیتز لازم است.

۱-۳-۲-۳- سن سنجی

این روش سن سنجی مطلق آخرین زمان قرارگیری دانه های کانی را در معرض نور خورشید اندازه گیری می کند. از آنجا که ذرات گرد و غبار و کانی های موجود در آن مانند فلدسپات و کوارتز در معرض نور خورشید قرار دارند، وقتی این دانه های کانی به تله افتادند و ته نشست کردند، توسط ذرات گرد و غبار بعدی

پوشانده می شوند. هنگامی که در معرض تابش آفتاب قرار دارند به طور طبیعی تابش یونیزه در رسوب اطراف باعث می شود الکترون ها در نقص شبکه ای کوارتز و فلدسپات به تله بیفتند. بدین ترتیب رسوب دفن شده یک مقدار تابش جذب شده (مقدار معادل) را بدست می آورد که با زمان قرار گرفتن در معرض عناصر رادیوژنیک مانند U ، Th و Rb افزایش می یابد. الکترون های به دام افتاده با استفاده از یک محرک مصنوعی به شکل نور مرئی یا اشعه مادون قرمز آزاد می شوند. الکترون های آزاد شده فوتونهایی را منتشر می کنند که با استفاده از یک فتوم آلتی پلیمر^{۱۳} (ابزاری که شامل یک سلول فوتوالکتریک و یک سری الکتروود است که برای تشخیص و تقویت نور از منابع بسیار ضعیف استفاده می شود.) شمارش می شوند (رابرتز، ۲۰۱۵). در این پژوهش جهت پی بردن به زمان دقیق شروع رخدادهای سرد و گرم در برش رسوبی سعیدآباد تعداد ۱۱ نمونه سن سنجی به روش ترمولومینسانس در آزمایشگاه لیزینگ هانور آلمان جهت تفسیر شرایط آب و هوایی و سیستم های آب و هوایی منطقه تعیین می شود.

۳-۲-۴- مطالعات پایه

۳-۲-۴-۱- ویژگی های زمین شناسی:

رشته کوه های البرز روندی تقریباً شرقی-غربی دارد و حاشیه جنوبی حوضه فروافتاده خزر را تشکیل داده است. روند این رشته کوه در غرب، شمال غربی-جنوب شرقی است. به طوری که می توان آن را تقریباً موازی بخش شمالی راندگی اصلی زاگرس در نظر گرفت و در البرز شرقی این روند شمال شرقی-جنوب غربی است. رشته کوه های البرز را از نگاه زون های ساختاری می توان به مناطق کوچکتری تقسیم نمود. برخی از زمین شناسان البرز را به دو زون گرگان-رشت (در بخش شمالی) و زون البرز (در بخش جنوبی) تقسیم می کنند. در ضمن گسل شمال البرز را مرز بین دو منطقه یاد شده می دانند.

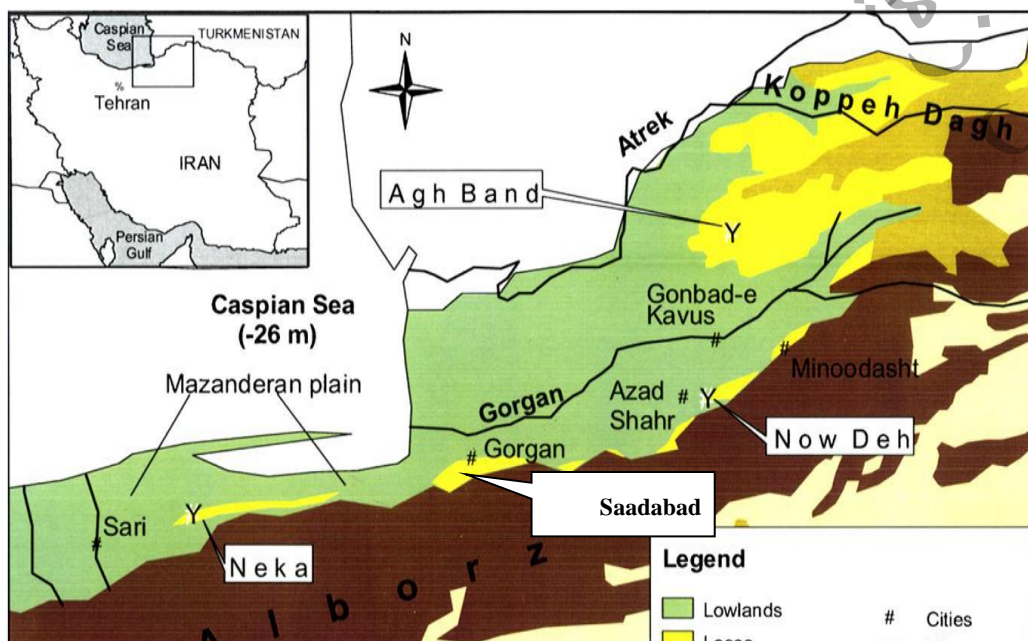
در ایران، استان گلستان بیشترین وسعت لس ها را در سطحی معادل ۴۲۰ هزار هکتار دارا می باشد و در شرق و شمال شرق استان (مناطق پست و کم ارتفاع دریای خزر) در ارتفاع بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا

^{۱۳} photomultiplier

ب) واحد کپه داغ- آق بند: این واحد بخش فرو افتاده غرب پهنه کپه داغ در شمال گنبد کاووس را دربرمی گیرد. این واحد ناهموارترین بخش منطقه نقشه برداری شده را پوشش داده و شامل فلاتی است که از نظر فرسایشی در دوره بلوغ بوده و دارای تپه های مخروطی شکل و خط الراس های تند است. این واحد کامل ترین توالی لس- خاک دیرین در شمال ایران را تشکیل می دهد. در منطقه ای بین گرگانرود و اترک واقع شده است. واحد آق بند با شیبی تند به سمت کپه داغ و ضخامتی بیش از ۷۰ متر را شامل می شود (Frechen et al., ۲۰۰۹).

ج) واحد حاج قوشن: این واحد، آمیخته ای از رسوبات لسی-رودخانه ای را شامل می شود که حوضه رودخانه گرگان را اشغال کرده است. در این واحد حوضه های فرعی متعددی وجود دارند که کوه های البرز و کپه داغ را زهکشی نموده و بعد از حمل رسوبات، دشت حاصلخیز گنبد کاووس را شکل داده اند.

د) واحد نوده: این واحد پوشش ضخیمی از لس ها را تشکیل می دهد که بخش های پایینی دامنه های شمالی البرز بین مینو دشت تا آزادشهر را در بر می گیرد. این واحد بهترین رخنمون را نسبت به دیگر واحدهای لسی استان گلستان دارد. واحد نوده با بیش از ۳۰ متر ضخامت بر روی سنگهای ترشیری و مزوزوئیک کوهپایه های شمالی البرز قرار گرفته است. این واحد در جنوب خلیج گرگان و در شرق ساری به واحد کم ارتفاع نکا می رسد که ضخامت آن تقریباً ۱۷ متر است و سنگ آهک های ژوراسیک را پوشانده است (Frechen et al., ۲۰۰۹). تقسیم بندی رخساره های لسی از واحد نکا در شرق مازندران تا واحدهای کپه داغ- آق بند در غرب رودخانه اترک را نشان می دهد. (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵: تقسیم بندی رخساره های لسی از واحد نکا در شرق مازندران تا واحدهای کپه داغ- آق بند در غرب رودخانه اترک (Frechen et al., ۲۰۰۹).

۳-۲-۴-۲-۳ ویژگی های توپوگرافی

ناهمواری های استان گلستان به سه بخش کوهستان، کوهپایه و دشت تقسیم می شود. ارتفاع بخش کوهستانی بیشتر از ۳۹۰۰ متر و ارتفاع دشت ها پایین تر از دریاها ی آزاد است که این امر باعث شده تا از آب و هوایی متغیر و کم نظیر برخوردار شود.

۳-۲-۴-۳ ویژگی های اقلیمی

آب و هوای استان گلستان تحت تأثیر عوامل گوناگونی چون عرض جغرافیایی، ارتفاع و امتداد رشته کوه های البرز، نزدیکی به دریا، بیابان ترکمنستان و نیز جلگه سیبری در شمال روسیه، وزش بادهای محلی و ناحیه ای، جا به جایی توده های هوایی شمالی و غربی و پوشش متراکم جنگلی از تنوع زیادی برخوردار است. از میان عوامل یاد شده، سه عامل رشته کوه های البرز (رشته کوه های جنوب و شرق استان)، توده های هوا و مجاورت با دریای خزر، نقش عمده ای در شکل گیری و تنوع آب و هوای استان ایفا می کنند.

رشته کوه های البرز (رشته کوه های جنوب و شرق استان) ناهمواری ها از مهم ترین عوامل مؤثر در شکل گیری و تنوع آب و هوا هستند. در این میان می توان به تأثیر مهم رشته کوه های البرز اشاره کرد. گستردگی تغییرات ارتفاع در استان که از سطح دریا تا حدود ۴۰۰۰ متر را شامل می شود، سبب تنوع پراکندگی مکانی دما و بارش شده است. وجود رطوبت فراوان و برخورد آن به ارتفاعات موجب صعود و سردی هوا و در

نتیجه، بارندگی می شود. مناطق جنوبی استان بیشترین بارش و کمترین دما را دارند در حالی که نواحی شمالی حداقل بارش و حداکثر دما را به خود اختصاص داده اند.

۱-۳-۴-۲-۳- توده های هوا

مهم ترین توده های هوایی که وارد استان می شوند عبارت اند از:

الف) توده هوای شمالی (سیستم پرفشار سیبری): این توده از جلگه سیبری به سمت این استان پیشروی می کند. در طول فصل های پاییز و زمستان سبب سردی هوا، ریزش باران، برف و ایجاد یخ بندان در ارتفاعات و در فصول بهار و تابستان سبب خنکی هوا می گردد.

ب) توده هوای غربی (سیستم کم فشار غربی): این توده هوا از سوی اقیانوس اطلس، دریای مدیترانه و دریای سیاه به جانب ایران حرکت می کند و به همراه توده های ناشی از مرکز کم فشار بارانزا بیش از نیمی از ریزش های جوی استان را موجب می شوند. فعالیت آن در فصول سرد سال در نقاط پست و ارتفاعات به صورت باران و برف و در فصول گرم باعث افزایش رطوبت، شرجی شدن هوا و بارندگی در استان می شود.

۲-۳-۴-۲-۳- مجاورت با آب ها

رطوبت دریای خزر به دلیل وجود سرزمین های هموار در استان تا عمق خشکی نفوذ می کند. این رطوبت مانع از کاهش دما در زمستان و افزایش بیش از حد آن در تابستان می گردد. این رطوبت در تابستان زمینه ایجاد هوای شرجی را فراهم می آورد.

۳-۴-۲-۳- عناصر آب و هوا

بارندگی و دما دو عنصر اصلی آب و هوا هستند که به طور مختصر به خصوصیات آنها در استان اشاره می شود:

الف) بارش: از نظر پراکندگی مکانی بارش، مناطق گوناگون استان از بارش یکسان برخوردار نیستند، به طور کلی هرچه از غرب به سمت شرق و از جنوب به سمت شمال حرکت کنیم، از مقدار بارش کاسته می شود. میزان بارش در شمالی ترین نقاط استان کمتر از ۲۰۰ میلی متر و در نقاط جنوبی استان به بیش از ۹۰۰ میلی متر نیز می رسد. بارش در ارتفاعات بیشتر به صورت برف دیده می شود.

ب) دما: درجه حرارت نقاط مختلف استان یکسان نیست. هرچه از غرب به شرق و از جنوب به شمال برویم، بر دمای محیط افزوده می شود.

۳-۴-۲-۳-۴- انواع آب و هوا

با توجه به خصوصیات دما و بارش در استان گلستان، انواع آب و هوای نیمه مرطوب معتدل، مرطوب معتدل، نیمه مرطوب سرد، خشک سرد، نیمه خشک سرد، خشک، نیمه خشک معتدل را می توان در این استان مشاهده کرد.

آب و هوای نیمه مرطوب معتدل: از شهرستان بندرگز تا مینودشت تحت پوشش این نوع آب و هوا است. از ویژگی های اصلی این آب و هوا، اعتدال هوا در زمستان و خشکی هوا در تابستان می باشد. در این قلمرو، یخ بندان و بارش برف کمتر اتفاق می افتد و در چندین ماه از سال، آسمان صاف و به رنگ آبی تیره است. گاه ممکن است طی چهار تا پنج ماه باران کافی نیارد.

آب و هوای مرطوب معتدل: در بخش جنوبی استان گلستان به علت نزدیکی به ارتفاعات و وجود پوشش جنگلی مناسب نسبت به سایر نواحی استان، تغییرات محسوسی در آب و هوا دیده می شود؛ به طوری که در زرین گل، رامیان، آزاد شهر، فاضل آباد و ناهارخوران گرگان میزان بارندگی افزایش می یابد. میزان بارندگی سالانه در مینودشت، رامیان و زرین گل به بیش از ۸۰۰ میلی متر می رسد.

آب و هوای نیمه مرطوب سرد: با افزایش ارتفاعات از نواحی جلگه ای شمال به سوی ارتفاعات البرز در جنوب استان و دور شدن از دریای خزر، به تدریج از ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری شرایط آب و هوای نیمه مرطوب سرد ایجاد می شود. زمستان های سرد و یخ بندان و طولانی و تابستان های معتدل و کوتاه از خصوصیات این آب و هواست. کاهش میزان بارندگی سالانه و دمای هوا از ویژگی های اصلی این محدوده به شمار می رود.

آب و هوای خشک سرد و نیمه خشک سرد: در قله های کوهستان های مرتفع دامنه شمالی البرز در ارتفاعاتی بیش از ۳۰۰۰ متر، دمای هوا به شدت کاهش می یابد و یخ بندان های طولانی روی می دهد. زمستان های سرد و طولانی و تابستان های کوتاه و خنک از ویژگی های این آب و هواست. در این مناطق ریزش جوی غالباً به صورت برف است که در فصل سرما روی هم انباشته می شود و تا اواسط دوره گرم سال نیز دوام

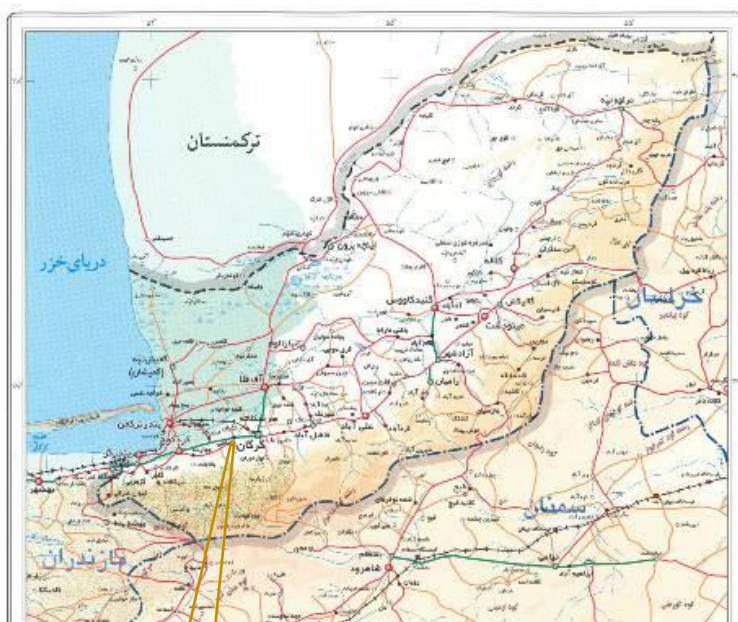
می‌آورد. در این محدوده آب و هوایی، در قله های منفرد مانند شاهوار، پیر گرد کوه و کهکشان شرایط تشکیل یخچال های کوهستانی و انباشت دائمی برف فراهم است. بدین جهت، حتی در گرم ترین ماه های تابستان نیز ذخایر برف و یخ در این نقاط وجود دارد.

آب و هوای خشک، نیمه خشک و نیمه خشک معتدل: در قسمت های شمال و شرق استان گلستان به علت دور بودن از دریای خزر، کاهش ارتفاعات البرز شرقی و نزدیکی به بیابان های ترکمنستان تغییرات محسوس در آب و هوا دیده می شود؛ از جمله خشکی و گرمای هوا تشدید می گردد و به تدریج شرایط آب و هوایی نیمه خشک و خشک حاکم می شود. در بخشی از ارتفاعات شرقی و کرانه های ساحلی استان آب و هوای نیمه خشک معتدل نیز وجود دارد.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات اقلیمی، منطقه سعدآباد به لحاظ طبیعی متأثر از قلمرو آب و هوای خزری می باشد و نوع اقلیم شهر دارای زمستان ها و تابستان های معتدل و مرطوب می باشد. به طوری که متوسط دمای هوا از حداقل ۶/۵ درجه سانتی گراد در بهمن ماه تا ۳۰/۱ درجه سانتی گراد در مرداد ماه متغیر بوده است. متوسط بارندگی در شهرستان بین ۲۳/۵ میلیمتر در تیر ماه تا ۱۰۴/۵ میلیمتر در بهمن ماه متغیر بوده است.

۳-۲-۴-۵- منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی برش رسوبی سعدآباد در عرض شمالی، $36^{\circ}49'03''$ و طول شرقی، $54^{\circ}22'46''$ ، در ارتفاع ۱۴۰ متری از سطح آب های آزاد می باشد. لازم به ذکر است، که برش مورد مطالعه در نزدیکی روستای سعدآباد از توابع شهرستان گرگان می باشد. برش مورد نظر قبلاً بررسی نشده است اما بنا به گفته کهل ۲۰۱۸ (شفاهی) می تواند معادل برش توشان که توسط ولانیک و همکاران در سال ۲۰۱۵ بررسی شد، باشد.

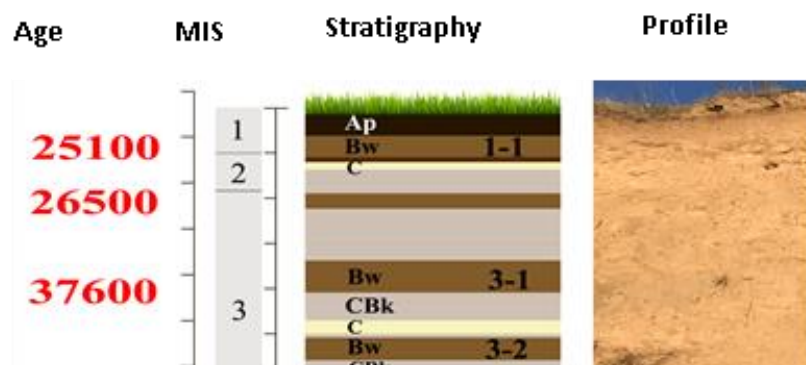


۳-۹: موقعیت برش رسوبی سعدآباد در استان گلستان

فصل ۱: یافته ها و بحث

۴-۱- نتایج مطالعات صحرایی (مورفولوژیکی) و میکرومورفولوژیکی

برش رسوبی سعدآباد ۱ بر اساس مشخصات رسوبی و نحوه تشکیل آن همچین سن سنجی که انجام شد و در سمت چپ شکل ۴-۱ دیده می شود به ۶ واحد تقسیم شد. تصویر توالی های لس - خاک قدیمی و تقسیم بندی افق های مختلف خاک (A, B, C) در سعدآباد در شکل ۴-۱ قابل مشاهده است.



شکل ۴-۱: توالی های لسی-خاک قدیمی در سعدآباد

در ارتفاع ۱۹.۶۰ تا ۱۸.۶۰ زیر سطح (واحد ۶) برش با یک افق قهوه ای Bk شروع شده است، مطالعات میکرومورفولوژی مقاطع نازک نشان دهنده ساختار بلوکی نیمه زاویه دار، نودول های منگنز است. به سمت بالا این افق با مرز مشخص تر Bkg پوشاننده خود جدا می شود که نسبتاً قرمزتر از قبلی است و دارای ساختمان لکه ای و با یک ساختار بلوک نیمه زاویه دار و کربنات پودری مشخص می شود. به سمت بالا افق Btk به رنگ قرمز قهوه ای مایل به قرمز شروع شد که بخش پایه واحد ۵ را تشکیل می دهد. تجزیه و تحلیل میکرومورفولوژیکی و بصری نشاندهنده تبدیل بلوک زاویه دار به ساختار منشوری است. علاوه بر این، پوشش های رس به خوبی در این افق در زیر میکروسکوپ قابل شناسایی است و ساختارهای مربوط به فعالیت جانوران دیده می شود. این افق در یک افق قهوه ای تر و کاملاً عاری از کربنات کلسیم Bt (۳a-۵) ادغام می شود. افق بالایی آن Btk است که به تدریج از لایه زیرین پیروی می کند و خصوصیات شبیه لایه زیرین دارد. افق CBk پوشاننده افق پایینی از کلسیم تهی نشده است، ساختار بلوکی نیمه زاویه دار ریز و منسجم و چسپیده را نشان می دهند، که نشانگر تشکیل خاک اولیه است. این افق توسط افق Ck که دارای ساختار توده ای و بافت

ثانویه کریستالیک است، پوشیده می شود، بر روی این لایه لسی یک افق قهوه ای تر Bck وجود دارد که احتمال زیاد شروع خاک (۲-۵) است. این افق توسط یک لایه لس Ck پوشانده شده است. لس دارای یک ساختار تیبیک منسجم است. بطرف بالا، لس به تدریج در افق CBk ادغام می شود و مجدداً توسط لایه Ck که به تدریج به C تبدیل می شود پوشیده می شود. این لایه با یک مرز فوقانی قهوه ای CBk که به سمت بالا تیره تر شده و به افق Bk (۱-۵) تبدیل می شود که تا ۱۱.۲۰ متر ادامه دارد این دو افق ضعیف توسعه یافته به عنوان خاک ۵-۱ نامیده می شوند. این افق توسط افق لسی پوشانده شده است.

واحد ۴، واحد ۳ و ۲ در ارتفاع (۱۱.۲۰-۱.۵۰ m) زیر سطح قرار دارد واحد ۴ که بعنوان واحد لسی شناخته می شود مرز مشخصی با لایه زیرین تشکیل می دهد. لایه لس با ساختار منسجم و رنگ زرد کم رنگ مشخص می شود. به سمت بالا افق قهوه ای روشن و ضعیف توسعه یافته Bwk که مرز نامحسوسی با لایه مجاور دارد یافت شد. با یک انتقال تدریجی به یک افق نسبت ضخیم CBk که به تدریج به لس تبدیل می شود که به تدریج به لایه لسی با رنگ زردتر و بافت درشت تر تبدیل می شود. این لایه توسط یک افق قهوه ای ضعیف توسعه یافته افق Bwk (۱-۳) پوشانده شده است که نمایانگر یک ساختار بلوک نیمه زاویه دار است حفره ها با رسوبات کربنات ثانویه پر می شوند. به سمت بالا با افق CBk پوشیده می شود که از نظر رنگ خاک، ساختار و بافت مشخص است.

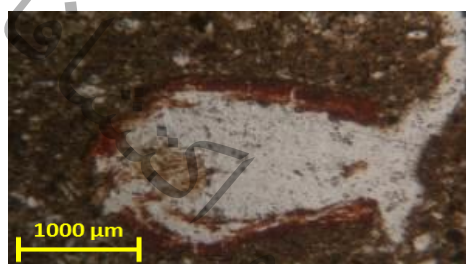
واحدهای ۱ و ۲ حدود ۲ متر بالایی برش را به خود اختصاص می دهند. افق CBk بالا با یک لایه لس نازک پوشیده شده که دارای بافتی منسجم و پورفیریک بوده و پوشش کربناتی و کانال نیز در آن مشاهده می شود روی این افق را CBk می پوشاند به سمت بالا افق ABk وجود دارد که دارای حفرات از نوع کانالی بوده و میکروساختار غالب آن بلوکی نیمه زاویه دار و پورفیریک است. روی این لایه افق Bw دیده می شود که دارای میکروساختار بلوکی نیمه زاویه دار می باشد و بی فابریک لکه ای است. و ۰.۵ متر به طرف بالا افق Ap قرار گرفته است. خصوصیات عمده میکرومورفولوژیکی منطقه مطالعاتی در جدول ۱-۴ ارائه شده است.

وجود افق کلسیک در اعماق خاک مؤید آهک زدایی و شستشوی آهک در پروفیل خاک است. پروفیل مورد مطالعه در شرایط مطلوبی از نظر پوشش گیاهی به منظور تامین رطوبت و تنفس بیولوژیکی قرار داشته که منجر به حرکت آهک و تشکیل افق کلسیک در اعماق پروفیل شده است (شکل ۴-۲).



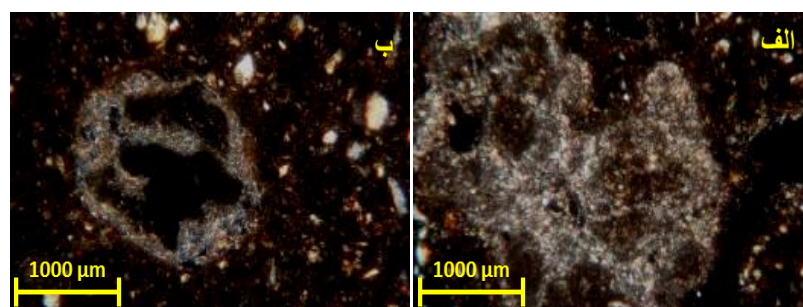
شکل ۲-۴: حفرات از نوع حجره در افق Ap در سعدآباد نور معمولی (PPL)

وجود بقایای ریشه در داخل کانال‌ها را می‌توان به وضوح مشاهده کرد که دلالت بر حاکمیت شرایط مناسب برای رشد و نمو گیاهان دارد. از طرف دیگر شواهد فعالیت بیولوژیکی در مقاطع مورد مطالعه، حضور بقایای غلاف آهکی نرم تنان بوده است. لذا فراوانی بقایای غلاف آهکی نرم تنان در افق‌های آهکی نشان‌دهنده حاکمیت شرایط اقلیمی مناسب در زمان رسوب گذاری لس‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: بقایای ریشه در افق Ap در سعدآباد نور معمولی (PPL)

ندول‌های کلسیت میکریت نوع معمول و غالب کلسیت پدوژنیک می‌باشند. تشکیل و مورفولوژی این ندول‌ها بوسیله فاکتورهای زیادی شامل فرایندهای انحلال و کریستاله شدن مجدد، غلظت نمک، هیدرومورفیسم، بافت خاک، پایداری خاک و شرایط مناسب برای رسوب سریع کربنات مثل خشک شدن مکرر و تلفات CO_2 از محلول خاک (سوبکی و ویلدینگ، ۱۹۸۳) تعیین می‌شود. نتایج میکرومورفولوژی نشان داده است که در تمامی پروفیل ندول آهک وجود داشته ولی اندازه و مقدار آن متفاوت بوده است (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴: ندول های آهک (الف) در افق Bw و (ب) در افق ABk سعدآباد نور متقاطع (XPL)

کشور
و
معدنی
گشتافات

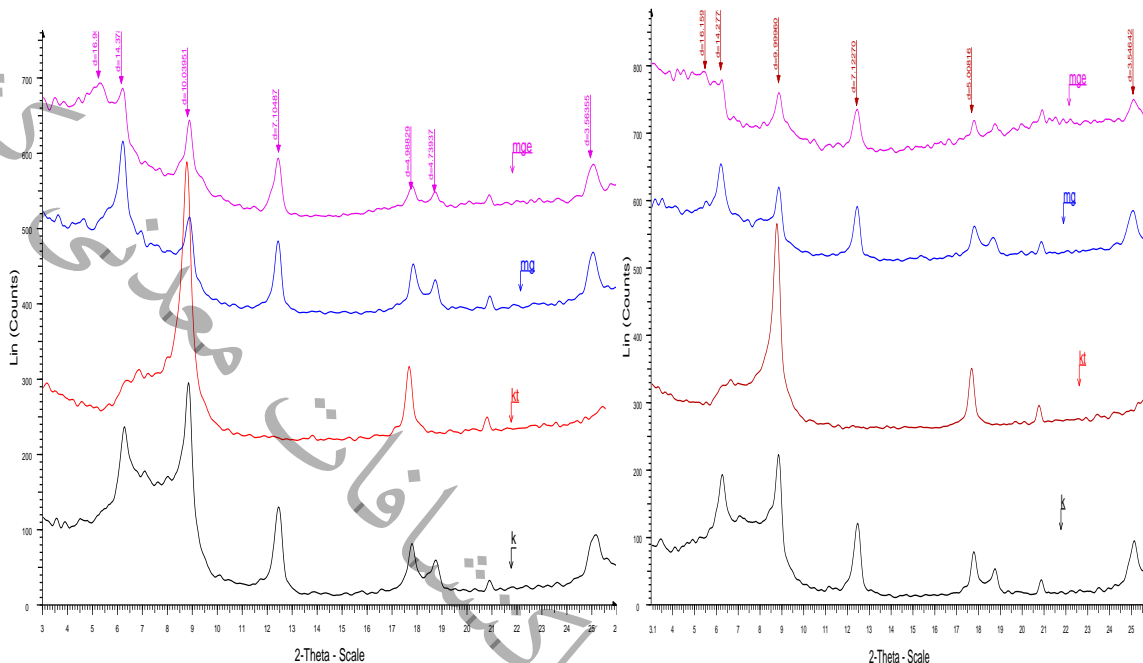
۴-۲- نتایج کانی شناسی رسی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد)

نتایج کانی شناسی رسی مقطع مورد مطالعه در جدول ۴-۲ ارائه شده است.

جدول ۴-۱: نتایج کانی شناسی رسی در توالی لس - پالئوسول سعدآباد

Horizon	Illite	Chlorite	Kaolinite	Montmorillonit (Smektite)
BW	++	+	+	++
ABK	++	++	++	++
C	++++	+++	+	+
CBk	+++	+++	+	+
Bwk-(3-1)	++	++	+	++
CBk	+++	++	+	+
Bwk-(3-2)	++	+	+	++
C	++++	++++	+	+
CBk	+++	+++	+	+
C	++++	++++	+	+
Bk-(5-1)	+++	++	+	+
CBk	+++	++	-	+
C	++++	++++	+	+
Ck	++++	+++	-	+
CBk	+++	++	+	+
Ck	+++	+++	-	+
Bck-(5-2)	++	+	-	++
Ck	++++	+++	++	+
CBk	+++	++	++	++
Btk	++	+	++	++
Bt-(5-3a)	++	+	++	++
Btk-(5-3b)	++	+	+++	++
Bkg-(6-1)	++	+	++	++
CBk	+++	++	+	+
Bk-(6-2)	++	++	++	++

سازمان زمین‌شناسی



شکل ۴-۵: نمونه ای از نمودارهای کانی شناسی رسی در افق Bt توالی سعدآباد

کانی های ایلیت (پیک ۱۰ آنگسترم)، اسمکتیت (پیک ۱۷ آنگسترم)، مقادیر کمی کوارتز (پیک ۴.۲۵ آنگسترم)، کلریت (پیک ۱۴ آنگسترم)، کائولینیت (پیک ۷.۱ آنگسترم) در منطقه مشاهده شد (شکل ۴-۵).

اسمکتیت با مقادیر کم در افق های لسی سعدآباد وجود دارد. میزان اسمکتیت به طور چشمگیری در افق های B در منطقه سعدآباد افزایش می یابد. حضور کانی ایلیت اسمکتیت به همراه افزایش کانی اسمکتیت و کاهش مقدار ایلیت نشان از تبدیل این دو کانی به یکدیگر دارد از سوی دیگر، به دلیل افزایش میزان رس به همراه تکامل بیشتر و افزایش اسمکتیت، اعتقاد بر شستشو و انتقال این کانی از افق های بالایی و تجمع در افقهای زیرین وجود دارد (خرمالی و ابطحی، ۲۰۰۳) زیرا این کانی جزء کانی های کوچک است و به صورت عمده در کانی شناسی بخش رس ریز خاکها حضور دارد. اما در افق هایی با شرایط زهکشی ضعیف، یکی دیگر از دلایل غالب بودن کانی اسمکتیت نوتشکلی از محلول خاک می باشد. همچنین با توجه به بالا بودن pH و نسبت Mg/Ca زیاد در افق های B می توان عنوان کرد که تشکیل درصدی از کانی اسمکتیت در این نمونه

بصورت درجا می باشد. با توجه به مطالب گفته شده وجود کانی اسمکتیت در خاک های مورد مطالعه عمدتاً به هر سه مورد مربوط می شود.

از آنجا که افق های لسی دلالت بر دوره زمانی با آب و هوای سرد و خشک دارند و افق های تکامل یافته تر B در خاک های قدیمی دلالت بر دوره زمانی گرم و مرطوب دارد انتظار می رود که میزان کائولینیت و اسمکتیت بیشتر و میزان کلریت کمتری در خاک های قدیمی وجود داشته باشد. کانی کائولینیت مقدارش از سطح به عمق نسبتاً ثابت است. به نظر می رسد دلیل حضور این کانی جز در خاک های قدیمی تر که شرایط تشکیل پدولوژیکی وجود دارد و شرایط اسیدی، فعالیت متوسط Si و اندک بودن کاتیون های قلیایی را برای نوشتگی کائولینیت از محلول خاک دارد، در سایر لایه ها به علت منشا ارثی داشتن آن است.

حضور کانی های رسی ایلیت و کلریت در مواد لسی بیانگر فرآیند هوازدگی در زمان تشکیل و حاکم بودن اقلیم سرد و خشک است. کانی ایلیت بطور متوسط فراوان ترین کانی رسی در رژیم رطوبتی زیریک می باشد و با توجه به اینکه مواد مادری لسی در منطقه مربوط به دوران یخچالی پلیستوسن و شرایط سرد و خشک می باشد منشا ارثی برای این کانی قابل قبول است. مقدار ایلیت روند خاصی را با افزایش عمق نشان نمی دهد.

کانی کلریت بطور واضح در پرتونگار اشعه ایکس بخش رس این پروفیل قابل تشخیص است. منشا این کانی در این خاک ها ارثی می باشد. کلریت یکی از کانی های است که در همه افق ها وجود دارد. بیشترین مقدار کلریت مربوط به افق C و در سایر افق ها کمتر می باشد که نشان دهنده منشا ارثی این کانی است.

کوارتز از مهم ترین کانی های غیرفیلوسیلیکاته رسی است که می تواند در ریزترین اندازه ذرات هم در خاک وجود داشته باشد. آستانه های قوی و مشخص ظاهر شده از مشخصات منحصر به فرد حضور کوارتز در خاک است می تواند منشا ارثی و یا بیوژنیک داشته باشد که حاصل فعالیت های گیاهان و جانوران است و به صورت اجزای باقی مانده در خاک و رسوبات زمین شناسی یافت می شود. مقدار کانی کوارتز از سطح به عمق تقریباً تغییری نشان نمی دهد و می تواند از مواد مادری به ارث رسیده باشد.

لازم به ذکر است آخرین چرخه بین یخچالی - یخچالی از حدود ۱۳۰۰۰۰ سال قبل شروع می شود. دوره MIS^۵ یک دوره بین یخچالی که شرایط خاک سازی در آن فراهم بوده است و در این دوره در نقاط مختلف دنیا خاکهای تکامل یافته ای تشکیل شده است. آخرین عصر یخچالی ورم است که شامل دوره های MIS^۴

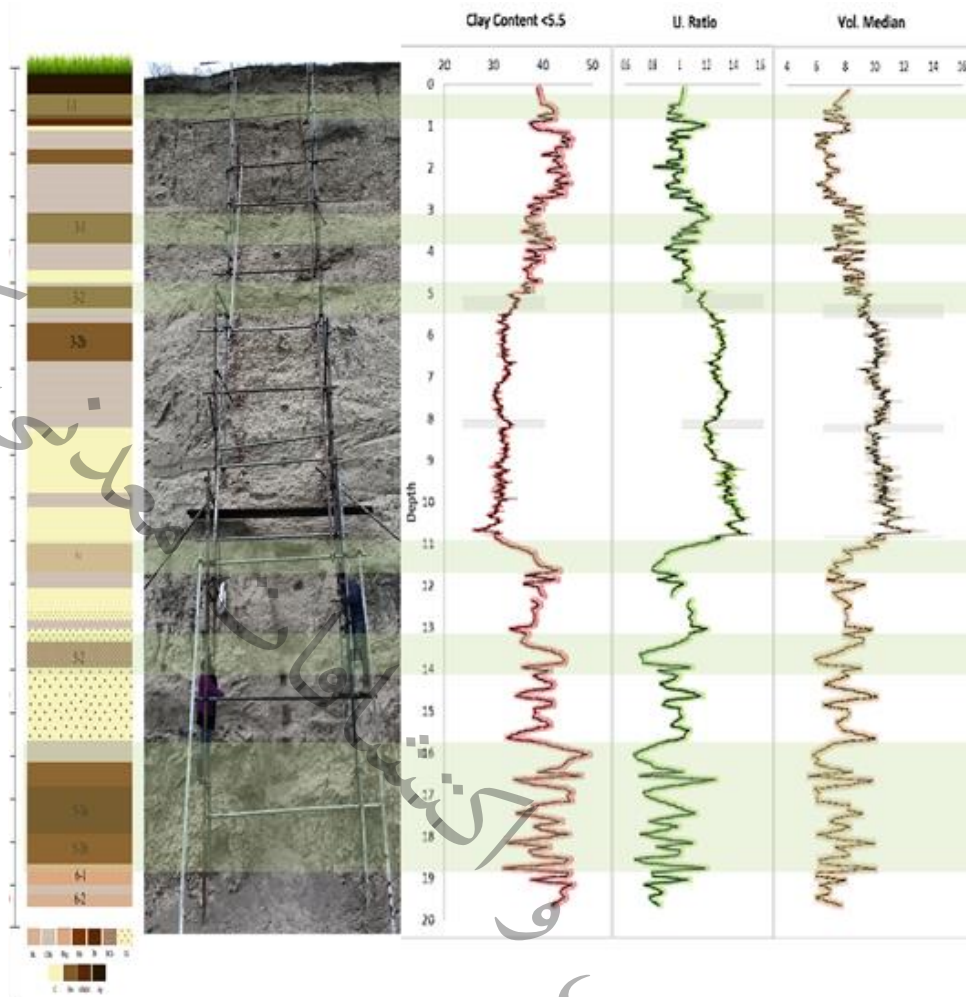
MIS^۲ و MIS^۳ است. که از MIS^۴ هوا شروع به سرد شدن کرده است و حداکثر شدت یخچالی در MIS^۲ در حدود ۱۷۰۰۰ سال قبل اتفاق افتاده است. دوره MIS^۳ یک دور نسبتاً گرم در عصر یخچالی است که شرایط برای خاکسازی فراهم شده است و خاکهای با تکامل کم در برخی از نقاط جهان تشکیل شده است.

۳-۴- نتایج دانه بندی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد)

براساس یافته های دانه بندی (شکل ۴-۶)، توالی لس خاک در سعدآباد تقریباً به یک قسمت پایین، ریزتر و یک قسمت بالایی درشت تر، تقسیم شود. واحدهای چینه شناسی ۶ و ۵ به طور متوسط قسمت ریزدانه را تشکیل می دهند، در حالی که واحدهای ۴ تا ۲ شامل رسوبات و افقهای خاکی هستند که دارای خصوصیات بافتی درشت تر می باشند. افق های پالئوسولی میزان رس (۵/۵ میکرومتر) بین ۳۷ تا ۴۹ درصد (شکل ۴-۶) را نشان می دهند. افق خاک ۳-۵ با ماکزیمم درصد رس می باشد. میانگین داده ها طیف وسیعی از ۵ تا ۱۰ میکرومتر و نسبت U مقادیر ۰.۶-۱.۵ است (شکل ۴-۶).

افق های Bk (۵-۲) و Btk (۵-۳a)، پوشاننده Bt (۵-۳b) کاهش تدریجی در محتوای رس را به سمت قسمت بالای واحد ۵ نشان می دهد، در حالی که میانگین اندازه دانه و نسبت U روند برعکس آن را نشان می دهند.

لایه های لس آخرین یخبندان واحدهای ۴ تا ۲ به طور قابل توجهی درشت تر از لس زیرین در واحد ۵ هستند. تفاوت در اندازه ذرات پالئوسول و لایه های لس در واحدهای ۴ تا ۲ نامحسوس است. لایه لس ضخیم موجود در واحد ۴ که تا حد زیادی با MIS^۴ ارتباط دارد، نشان دهنده کمترین هوازگی در کل برش است. لس در سعدآباد نشانگر رسوب نسبتاً همگنی است که شرایط دانه بندی برابری برای تشکیل خاک را فراهم می کند.



شکل ۴-۶: لایه‌بندی و الگوهای توزیع اندازه ذرات توالی لس-خاک در منطقه سعدآباد.

۴-۳-۱- خصوصیات دانه بندی لس و تغییر سرعت باد و منبع گرد و غبار

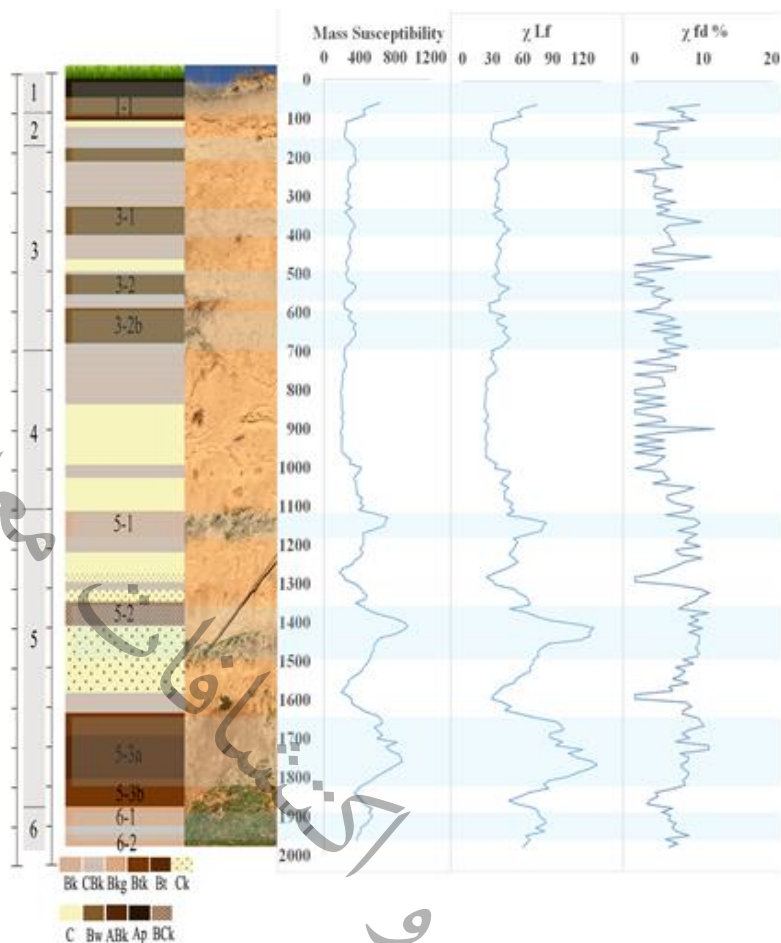
ترکیب دانه بندی لس اساساً به شدت باد و فاصله از منبع و یا منابع اصلی رسوبی بستگی دارد (نووتنی و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این، توزیع اندازه دانه رسوبات قرار گرفته در منطقه منبع گرد و غبار، اندازه دانه تجمعات گرد و غبار را تعیین می‌کند. نسبت U ($16-44 \mu m$ به $16-0.5 \mu m$) نسبت سیلت متوسط به سیلت ریز را در نظر می‌گیرد. استفاده از نسبت U به عنوان یک شاخص برای سرعت نسبی باد در مورد مراحل اصلی تشکیل خاک در طول دوران بین یخچالی با محدودیت مواجه است. این بدان معناست که خاک‌های مرتبط با آن دوران اساساً در شرایط محیطی یکسان تشکیل می‌شوند. با توجه به تعریف نسبت U که به بررسی نسبت سیلت متوسط به سیلت ریز می‌پردازد، در دوران یخچالی که قدرت و سرعت باد بیشتری نسبت به دوران بین

یخچالی وجود دارد توانایی حمل و انتقال ذرات درشت‌تر مانند سیلت متوسط نسبت به سیلت ریز بیشتر است بنابراین نسبت U بالاتر افق‌های C احتمالاً نشان‌دهنده‌ی دوران یخچالی است و نسبت U پایین افق‌های B با شرایط اقلیمی بین یخچالی متناسب است.

رس در خاک‌های لسی عمدتاً در طول هوازگی و رسوب‌گذاری ثانویه و تشکیل خاک به وجود آمده است و به تغییرات آب و هوایی منطقه حساس است. بررسی توزیع ذرات در خاک قدیمی نشان‌دهنده کاهش شن همراه با افزایش رس می‌باشد که نشان‌دهنده وجود فرایندهای خاکسازي به دلیل شرایط اقلیمی گرم‌تر و مرطوب‌تر می‌باشد. با این حال مقدار رس کمتر افق‌های C_k و C ممکن است نشان‌دهنده‌ی شرایط اقلیمی سرد و خشک‌تر و احتمالاً سرعت باد بیشتری باشد. تغییرات مقدار ماسه ممکن است نشان‌دهنده‌ی نوسانات سرعت باد در طول تشکیل واحدهای لسی در منطقه باشد. افزایش ماسه در توالی سعدآباد احتمالاً اشاره به افزایش سرعت باد در طول تجمع گرد و غبار دارد زیرا ذرات ماسه عمدتاً توسط بادهای نزدیک به سطح قوی به صورت کششی حمل می‌شوند با وجود این واقعیت که ممکن است تحت تأثیر فاصله از مناطق منبع قرار گرفته باشد. نسبت U فازهای تکراری درشت و ریز شدگی را نشان می‌دهد. اینها حاکی از تکرار توسعه مناطق منبع گرد و غبار است که احتمالاً مربوط به تغییرات در تراکم پوشش گیاهی است که باعث می‌شود غالباً رسوبات بادی سیلت متوسط دانه آزاد شوند.

۴-۴- نتایج پذیرفتاری مغناطیسی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد)

شکل ۴-۷ مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای مغناطیسی را نشان می‌دهد. پذیرفتاری مغناطیسی یا قابلیت مغناطیسی شدن کمیتی است که میزان مغناطیسی شدن یک جسم در یک میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد و میزان این تأثیر تابع مقدار و نوع کانیهای مغناطیسی است که در نمونه وجود دارد. عامل ایجاد ویژگی مغناطیسی در خاک بیشتر کانی‌های مگنتیت و مگهمایت هستند. غلظت این کانی‌ها در خاک کم است؛ ولی نسبت به دیگر کانی‌های آهن‌دار، شدت پذیرفتاری مغناطیسی خاک را تنظیم می‌کنند (مولینز، ۱۹۷۷). افزایش پذیرفتاری خاک اساساً به دلیل تشکیل پدوژنیک کانی‌های فری مگنتیک می‌باشد که به میزان زیادی به عوامل خاک ساز شامل ماده مادری، آب و هوا، پستی و بلندی و پوشش گیاهی بستگی دارد (فنگ و جانسون، ۱۹۹۵).



شکل ۴-۷: لایه‌بندی و الگوهای مغناطیس پذیری توالی لس-خاک در منطقه سعداآباد.

بیشترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در لایه های پالتوسولی ۵-۱، ۵-۲ و افق Bt مربوط به خاک ۵-۳a می باشد و کمترین میزان آن در لایه های لسی ۳ و ۴ است (شکل ۴-۱۸).

اندازه گیری پذیرفتاری وابسته به فرکانس $\chi_{fd}\%$ که مرتبط با پذیرفتاری در میدان های مغناطیسی ایجاد شده در دو فرکانس مختلف ۰.۴۶ و ۴.۶ کیلو هرتز می باشد. این نوع اندازه گیری برای تشخیص حضور کانیهای بسیار ریز سوپرپارامگنتیک (>0.03 میکرومتر) که به عنوان بلورهای که تا حد زیادی توسط فرآیندهای پدوژنیک در خاک تولید می شوند، استفاده می شود. $\chi_{fd}\%$ در خاک قدیمی بالاتر از افق های لسی است، که نشان دهنده فرآیندهای خاکسازی نسبتاً خوب است.

پذیرفتاری مغناطیسی در خاک قدیمی به شدت افزایش یافته است که می تواند ناشی از کانی های فری مگنتیت باشد. کانی های فری مگنتیت در مقادیر بسیار کم در خاک ها وجود دارند اما شدت پذیرفتاری مغناطیسی خاک را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می دهد (ماهر، ۱۹۹۸).

اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی نشان دهنده غلظت و تغییر اندازه ذرات کانی های مغناطیسی است. در حالی که شدت χ_{fd} نسبت به تغییرات غلظت کانی های فرو مغناطیس واکنش نشان می دهد و همچنین اندازه گیری χ_{fd} امکان شناسایی ذرات بسیار کوچک سوپر پارامغناطیس را نشان می دهد که بیان کننده میزان تجمع کانی های باردار که به صورت درجا و بیورژنیک تشکیل شده اند می باشد لذا شدت فرایندهای خاکساز را نشان می دهند.

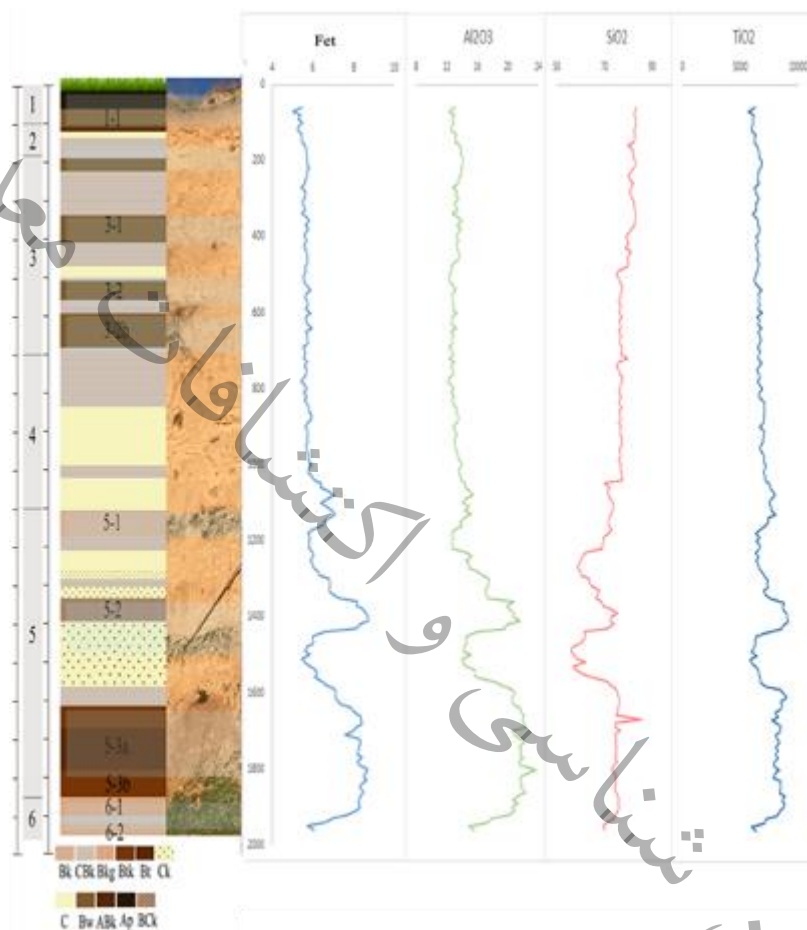
پذیرفتاری مغناطیسی به عنوان یک شواهد از بارش گذشته در نظر گرفته می شود (اوانز و همکاران، ۲۰۰۳؛ ماهر و تامپسون، ۱۹۹۵). بالسام و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی با افزایش بارندگی از ۲۰۰ به ۱۲۰۰ میلی متر افزایش یافته است. با این وجود، بارش بیشتر از ۱۲۰۰ میلی متر و وجود آب اضافی در خاک باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می شود. بنابراین نوسانات آب و هوایی از سرد و خشک تا گرم و مرطوب منجر به تغییر محیط های رسوبی و تشکیل دهنده خاک می شود و در نتیجه باعث تغییر سیگنال خصوصیات مغناطیسی که منعکس کننده آب و هوای متغیر در طول کوتاه تر است می شود. بنابراین با مقایسه مقادیر χ_{fd} در خاک های مدرن و قدیمی اطلاعات مفیدی درباره تخمین میزان درجه تحول خاک های قدیمی به دست می آید.

۴-۵- نتایج ژئوشیمی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد)

نمودارهای ژئوشیمیایی به عنوان شاخصه های آب و هوایی به کار برده می شوند. این نمودارها می توانند هوازگی با شدت های مختلف را نشان دهند حدود ۲۰۰ عدد نمونه جهت انجام آنالیزهای ژئوشیمی به آزمایشگاه ICP-OES سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال گردید.

۱-۴-۵- نسبت های عناصر اصلی و فرآیندهای پدورژنیکی

عناصر اصلی "Ca, Fe, K, Mg, Na همراه با Al, O و Si" و مقادیر کم تر Mn, P و Ti به عنوان عناصر سازنده ساختار کانی های سیلیکاته در نظر گرفته می شود. در ابتدا جهت بررسی روند تغییرات در افق های مختلف عناصر به صورت تک عنصری مورد بررسی قرار می گیرد نتایج آن در شکل های ۴-۸ و ۴-۹ ارائه می گردد. سپس از نسبت های عنصری مختلف جهت بدست آوردن روند تغییرات استفاده شد.

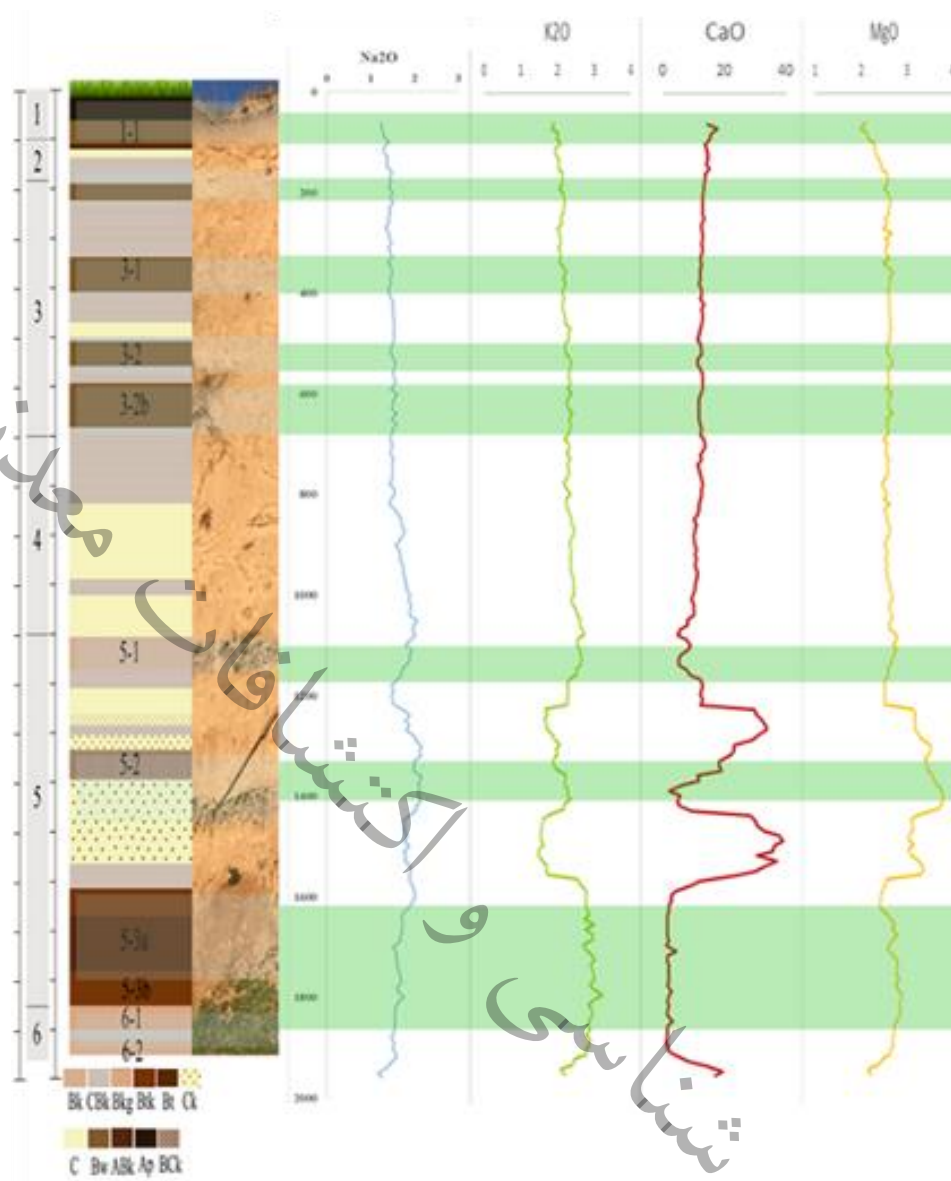


شکل ۴-۸ روند تغییرات اکسید آهن، آلومینیوم، سیلیسیم، و تیتانیوم در طول برش رسوبی سعدآباد

تغییرات این عناصر اصلی بر هم منطبق هستند. تغییرات تقریباً هماهنگ با ستون چینه ها و نحوه قرارگیری لایه های رسوبی است. تغییرات عناصر یاد شده در قسمت بالایی (حدود زمانی وورم تا حال حاضر) بسیار کم بوده و کاهشی ملایمی در سیلیس به سمت پایین و شرایطی بدون تغییر تا افزایشی ملایم در آلومینیوم و آهن وجود دارد و بعد از عمق حدود ۱۱ متر تغییراتی هماهنگ در مقدار عناصر دیده می شود. روند کلسیم متفاوت با سایر عناصر می باشد در لایه های لسی افزایش و در لایه های پالئوسولی کاهش نشان می دهد.

کشور

معدنی

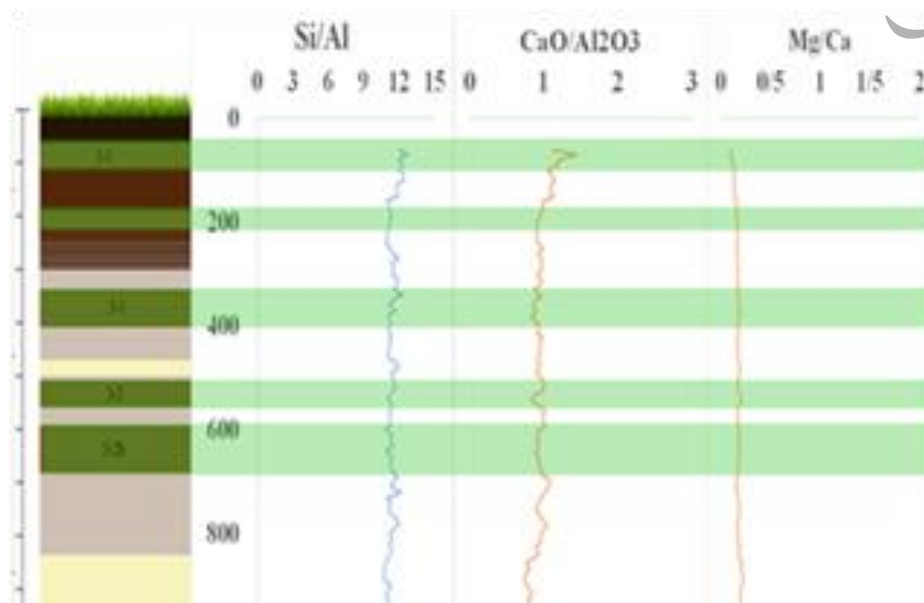


شکل ۴-۹: روند تغییرات اکسید سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عنصر منگنز در طول برش رسوبی سعدآباد

تغییرات کمی در قسمت بالایی (حدود زمانی وورم تا حال حاضر) نمودار اکسید سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عنصر منگنز نسبت به بخش پایینی آن دیده می شود. تغییرات در عنصر منیزیوم در بخش هایی از نمودار بخصوص در مرز لسی مابین خاک ۱-۵ و ۲-۵ افزایش و در مرز پالئوسول ۳-۵ روند اکسید منیزیم یک کاهش را نشان میدهد. روند کلسیم کاملا متفاوت از سایر عناصر بوده و در لایه های لسی افزایش و در لایه های پالئوسولی کاهش را نشان می دهد. در لایه های پالئوسولی به علت آب شستگی زیاد کلسیم شسته شده و

به لایه های پایینی آن منتقل می شود در حالیکه در لایه های لسی چون مربوط به دوره های سرو و خشک و آبستگي اتفاق نمی افتد کلسیم آن بالاتر می باشد.

در توالی گس-پالتوسول سعدآباد در اثر هوازدگی و انحلال و حذف عناصر، نسبت عناصر انحلال پذیر به عناصر انحلال ناپذیر از جمله SiO_2 ، Fe_2O_3 ، MgO ، K_2O ، Al_2O_3 و TiO_2 ، تغییر می کند. میزان اکسید آلومینیوم و اکسید آهن در دوره های گرم و مرطوب زیاد و در دوره های اقلیمی سرد و خشک کمتر مشاهده می شود. 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 و اکسید سدیم که یک عنصر ناپایدار و انحلال پذیر هستند، غلظت این عناصر کاهش یافته و نشانه ای از گسترش دوره های یخچالی است. مقدار این عناصر همزمان با تشکیل لایه های خاک دیرین افزایش می یابد و نشانه ای از وجود شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب است. در این شرایط کانی های انحلال پذیر توسط آبشویی از محیط خارج شده و مقدار عناصر ذکر شده افزایش می یابد. بر عکس در زمان تشکیل لایه های لس که همزمان با شرایط آب و هوایی سرد و خشک است، مقدار اکسیدهای آلومینیوم، آهن و تیتانیوم کاهش می یابد. دلیل اصلی این کاهش شدن عناصر انحلال پذیر به محیط است که مقدار عناصر ذکر شده را کاهش می دهد. عناصر اصلی خاک های دیرینه می توانند به واسطه غلظت بالای اکسید سیلیس (SiO_2) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و غلظت پایین اکسید کلسیم (CaO) و اکسید سدیم از لس ها تشخیص داده شوند. تفاوت شیمیایی بین لس و خاک دیرین ممکن است در اصل به دلیل انحلال کربنات از خاک دیرینه در طول دوره خاکزایی به سبب افزایش دما و بارش در دوره های بین یخچالی باشد. کانی های رسی به دلیل وجود ترکیب و ساختار ورقه ای خود، به طور معمول دارای مقادیر بالایی از Fe_2O_3 و Al_2O_3 در مقایسه با آلومینوسیلیکات های سنگ منشأ اولیه خود هستند.



سازمان

شکل ۴-۱۰: روند تغییرات نسبت های عنصری در طول برش رسوبی سعدآباد

نسبت اکسید کلسیم به اکسید آلومینیوم (شکل ۴-۱۰) یکی دیگر از شاخص های به کار گرفته شده در بازسازی شرایط آب و هوای گذشته است و هم راستا با خصوصیات تشکیل خاک، دامنه تغییرات زیادی دارد. افزایش نسبت CaO/Al_2O_3 نشانه غلبه اکسید کلسیم به آلومینیوم و به وجود آمدن شرایط آب و هوایی سرد و خشک است. بر عکس زمانی که این نسبت کاهش می یابد نشانه افزایش درجه حرارت هوا و شدت هوازدهی و به وجود آمدن شرایط بین یخچالی است. لازم به ذکر است در محیط های خشکی مربوط به لس ها حضور و افزایش کربنات در محیط نشاندهنده دوره های سرد و خشک است در دوره های گرم و مرطوب بعلت شسته شدن کربنات ها افق های مربوط به این دوره ها از کربنات خالی می شوند و آلومینیوم که مربوط به حضور کانی های رسی است نشاندهنده شرایط گرم و مرطوبی بوده است که کانی های دیگر به کانی های رسی تجزیه و تبدیل شده اند.

روش‌های مورد استفاده برای هیدرولیز شامل $\Sigma\text{Bases}/\text{Al}$ و Al/Si است. Al/Si استدلالی برای اندازه‌گیری "رسی شدن" است؛ چرا که Al بیشتر در کانی‌های رسی نسبت به کانی‌های سیلیکاته تجمع پیدا می‌کند. این نسبت برای اولین بار توسط Ruxton در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد شد و به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت (Ruxton, ۱۹۸۶: ۱۷۲۹; Sheldon, ۲۰۰۶: ۵۸; Prochnow et al., ۲۰۰۶: ۸۲۳; Retallack et al., ۲۰۰۷: ۲۲۸). (۲۰۰۶: ۳۱۸۰)

از جمله کاربردهای نسبت Al/Si طبقه‌بندی افق‌های Bt است و به‌عنوان معیاری برای تعیین منشأ استفاده می‌شود. در توالی رسوبی سعدآباد روند تغییرات آن به سمت پایین افزایشی است و نشان از رسی شدن می‌باشد روند کاملاً هم‌روند با افق Bt بوده و در قسمت Bt ماکزیمم مقدار رسی شدن را نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۰).

با افزایش بارش مقدار Mg افزایش می‌یابد و در این شرایط کلسیم کاهش می‌یابد. پس با افزایش بارش نسبت Mg/Ca زیاد می‌شود. بنابراین این نسبت میتواند یک شاخص برای بازسازی شرایط اقلیم دیرین باشد (سلی، ۱۳۸۱، تقوی و همکاران، ۱۳۹۲) (شکل ۴-۱۰).

برای بررسی هر چه بهتر تغییرات غلظت اکسیدهای اصلی، تعیین شدت هوازدگی و ارزیابی چگونگی فرایندهای خاکزایی، از معیارهای مختلف زمین‌شیمیایی استفاده شد.

$$\text{CIA} = 100 \times \frac{\text{Al}}{\text{Al} + \text{Ca} + \text{K} + \text{Na}} \quad \text{رابطه ۱}$$

CIA نشانی از هوازدگی کانی فلدسپار، هیدراسیون آن و در نتیجه تشکیل کانی‌های رسی است. با افزایش مقدار رس، Al هم افزایش می‌یابد، در عوض مقادیر Ca ، K و Na کاهش پیدا می‌کند که منجر به بالا رفتن مقادیر CIA می‌شود. مقادیر کمتر از ۵۰ نشان دهنده هوازده نشدن، ۵۰ تا ۶۰ بر هوازدگی متوسط و بیش از ۸۰ بر هوازدگی شدید شیمیایی دلالت دارد. به‌طور کلی CIA برای سنگ‌های سیلیکاته مناسب تر هستند؛ چرا که آهک تیپیک در ابتدا مقادیر بسیار کمی از Al و بنابراین CIA دارد که ممکن است در طی فرآیندهای پدوژنیک به صورت قابل توجهی تغییر نکند. روند تغییرات در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود.

این نسبت در برش رسوبی سعدآباد بین ۵۹ تا ۷۶ در تغییر بوده است. در صورت حذف CaO از رابطه شاخص هوازگی شیمیایی، مقدار این شاخص افزایش پیدا می کند که دلالت بر هوازگی شدید دارد. در لایه های لس مقدار این شاخص بسیار پایین است و مقادیر حدود ۵۰ درصد را نشان می دهد. همان طور که گفته شد، مقادیر کمتر از ۵۰ درصد نشان از هوازگی بسیار پایین رسوبات لسی است. اما مقدار این شاخص در برابر نهشته های خاک دیرین افزایش یافته و بیش از ۵۰ درصد و در بیشتر موارد بالای ۷۰ می باشد. لذا این شاخص نیز نشان از آب و هوای گرم و مرطوب و مقدار هوازگی بالای رسوبات در لایه خاک دیرین دارد.

یکی دیگر از شاخص های هوازگی "شاخص شیمیایی هوازگی"^{۱۴} CIW است که برای اهداف مختلف در ارتباط با رفتار K و حذف اثرات احتمالی K در طی فرآیندهای پدوژنیک و هوازگی آن، چندین شاخص بدون K ایجاد شده است (رابطه ۲). CIW و CIA بیشتر بر روی تغییرات Al در فلدسپار پتاسیم تنظیم شده و هوازگی در پلاژیوکلاز خالص را نشان می دهد.

$$CIW (CIA - K) = 100 \times \frac{Al}{Al+Ca+Na} \quad \text{رابطه ۲}$$

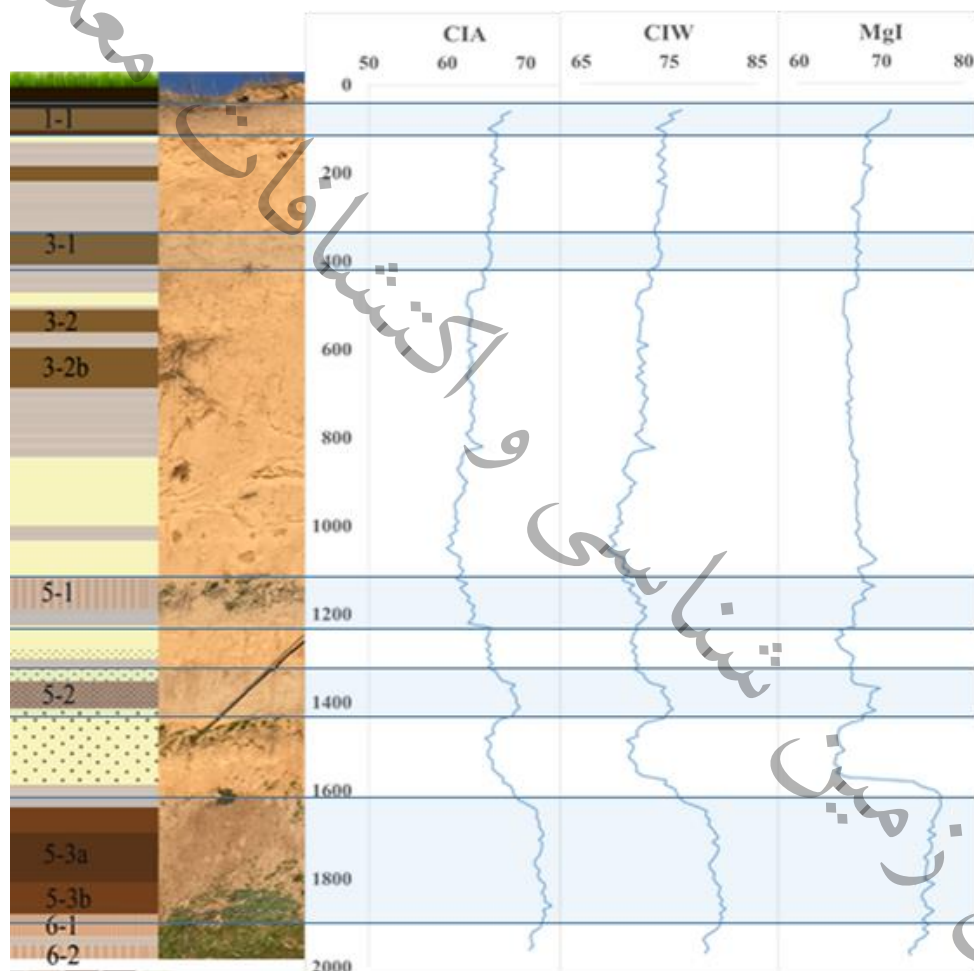
روند تغییرات بین ۶۸ تا ۸۳ می باشد.

شاخص هوازگی موثر شیمیایی MgI ($MgI = Al_2O_3 * 100 / Al_2O_3 + MgO$) یکی دیگر از شاخص هایی است که به میزان هوازگی شیمیایی رسوبات می پردازد. مقادیر بیش از ۷۵ بیانگر هوازگی شدید شیمیایی است. بر اساس نتایج به دست آمده از این شاخص در برش رسوبی سعدآباد، مقدار این شاخص از ۶۴ تا ۷۷ در طول برش متغیر است و نشان از هوازگی شدید رسوبات دارد. با این وجود باز مشاهده می شود که لایه های لسی مقادیر کمتری از این شاخص را ثبت کرده اند در حالی که لایه های خاک دیرین دارای مقادیر بالاتری از شاخص MgI را ثبت کرده اند. لذا می توان نتیجه گرفت که شرایط آب و هوایی در زمان تشکیل لایه های خاک دیرین مناسب تر بوده و شرایط گرم و مرطوب نسبت به زمان تشکیل لایه های لسی را داشته اند. باید اشاره کرد که کم بودن شاخص CIA نسبت به شاخص MgI دلالت بر نهشت دوباره

^{۱۴}. Chemical Index of Weathering

کلسیت دارد. به عبارتی دخالت عنصر CaO در شاخص CIA باعث شده است تا مقدار این عنصر در طول برش رسوبی کاهش یابد.

بطور خلاصه می توان بیان کرد که شاخص های هوازدگی حاکی از افزایش هوازدگی در دوره های مرطوب بین یخبندان بوده که بیشترین میزان این شاخص ها مربوط به دوره بین یخبندان ایمن و حدود ۱۳۰ هزار سال پیش بوده است و در بین یخبندان ها و شبه بین یخبندان ها به نسبت شدت دوره آب و هوایی مقدار آن نسبت به دوره های سرد و خشک مربوط به حضور لس ها افزایش می یابد.



شکل ۴-۱۱: روند تغییرات CIA, CIW, MgI, Bases/Al و شاخص تهی شدگی در طول برش رسوبی سعدآباد

۲-۵-۴-نسبت های عناصر ردیاب

به طور قابل توجهی فراوانی های عناصر ردیاب در خاک های قدیمی و مواد مادری مختلف متغیر هستند. ژئوشیمی عناصر ردیاب در خاک های قدیمی تحت تأثیر فرآیندهای پدوژنیک، جهت سنجش شدت هوازدهی برآورد میزان آبشویی و منشاء یابی مورد استفاده قرار می گیرند. معروفترین نسبت عنصری ردیاب ها، Ba/Sr است که رفتار آبشویی را در طی هوازدهی نشان می دهند. مقادیر بالای این نسبت، آبشویی بیش تر را بیان می کنند. به طور قابل توجهی Sr نسبت به Ba انحلال پذیرتر است بنابراین در بیش تر شرایط آسان تر شسته می شود. عنصر استرانسیوم (Sr) نیز ارتباط مستقیمی با شرایط آب و هوایی گذشته دارد. مقدار این عنصر در طی دوره تشکیل خاک دیرین به طور قابل توجهی کاهش می یابد. مقدار Sr در نمونه ها به ترکیب کانی شناسی کربنات ها بستگی دارد. یکی دیگر از عناصر ردیاب مورد بررسی Nb است که یک فلز انتقالی بوده و رفتار شیمیایی مشابهی با V ، Ti و Zr از خود نشان می دهد، که به طور معمول در طول هوازدهی نسبتاً بی حرکت هستند.

مقدار دو عنصر تیتانیوم و زیرکونیوم در افق های پالئوسول دارای یک روند افزایشی و در افق لسی با کاهش همراه بوده است. (شکل ۴-۱۲).

آبشویی یکی دیگر از نسبت های عناصر ردیاب بوده که از Ba/Sr استفاده می کند؛ میانگین این شاخص برای نمونه های بررسی شده معادل ۱.۵۵ بدست آمده است. مقادیر بالاتر این نسبت، آبشویی بیش تر را بیان می کنند؛ چون Sr به طور قابل توجهی نسبت به Ba انحلال پذیرتر است و در بیش تر شرایط آسان تر شسته می شود. با توجه به میانگین محاسبه شده برای این شاخص در نمونه های مورد بررسی، در خاک قدیمی ۳-۵ بیش ترین آبشویی اتفاق افتاده است.

شهر

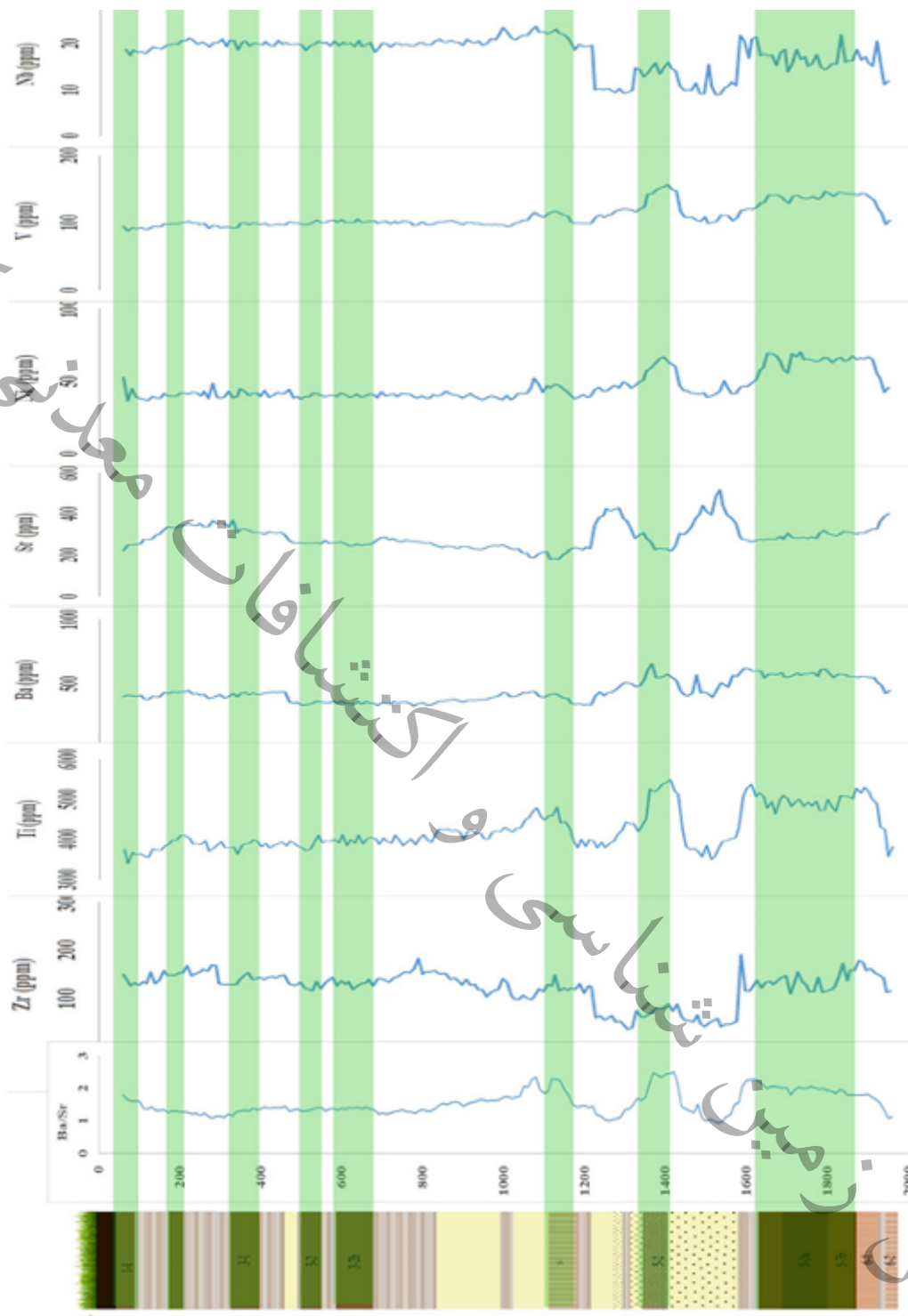
مکان

شماره

و

شماره

شماره



شکل ۴-۱۲: روند تغییرات Ni, Nd, V, Sr, Ti, Ba, Zr در طول برش رسوبی سعدآباد

سازمان

۴-۶- نتایج گرده شناسی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد)

آنالیز گرده شناسی برشهای لسی یکی از مشکلترین بخشهای تحقیق است. آنالیزهای نمونه های افق‌های لس و پالئوسول مقادیر بسیار نامنظمی از گرده ها را نشان داد. مقادیر گرده ها متغیر بود و با توجه به اینکه لس ها مکان مناسبی برای نگهداری پولن نمی باشد متاسفانه در بیشتر لایه ها پولنی یافت نشد و یا کاملاً اکسید شده بود. مقادیر نسبتاً بالاتر گرده مربوط به MIS^۱ افق های BW, ABk^۱, ABk^۲, ABk^۳ و ABk(P) وجود داشت. قبل از شروع به پالئوپالینولوژی، مطالعاتی در خصوص پوشش گیاهی حال حاضر منطقه و ارتفاع مربوط به پوشش های مختلف صورت گرفت. دیاگرام گرده برای پدوکمپلکس‌های فوقانی ترسیم شد (شکل ۴-۱۳).

در این مطالعه با توجه به کم بودن تعداد دانه های گرده تمام گرده های موجود در افق شمارش شد و در نهایت به توصیف انواع گرده های شناسایی شده پرداخته شد. بطور کلی، تعداد ۱۸ تیپ گرده گیاهی شامل ۱۰ تیپ گرده درختی، ۸ تیپ گرده گیاهان علفی و درختچه‌ای در نمونه‌های گرده‌شناسی ۵ متر بالای توالی لس-پالئوسول شناسایی گردید. شکل ۴-۲۴ نمودار گرده ساده شده ای از توالی لس-پالئوسول سعدآباد ۲ را نمایش می‌دهد. در این نمودار تغییرات فراوانی آن دسته از گرده‌های گیاهی که فراوانی نسبی بیشتری را به خود اختصاص داده اند آورده شده است. نمودار گرده توالی لس-پالئوسول را با توجه به نسبت گرده های درختی به غیر درختی می‌توان به ۳ زون گرده‌ای تفسیم کرد:

زون گرده ای SAD-A: ۱۵۰۰۰-۲۲۰۰۰

در افق CBk (MIS^۲) حدود ۲۲۰۰۰ سال قبل مقدار اندکی از گرده های علفی و مقداری کم از گرده کاج مشاهده شد. اسفناجیان، گندمیان و درمنه با بیشترین فراوانی نشان دهنده چیرگی پوشش گیاهی استپی کوهستانی می‌باشد. به سمت بالا (در شکل ۴-۲۴) می‌توان سن مربوط به هر افق را مشاهده کرد) و در مرز بین افق‌های CBk و ABk(P) گرده توسکا غالب بود. به سمت افق ABk(P) میزان گرده های علفی بخصوص گندمیان و درختی تا حدودی افزایش می‌یابد. وجود گرده های متعلق به درختان پهن برگ نشان دهنده شرایط اقلیمی نسبتاً گرم و مرطوب است. پوشش گیاهی یخبندان پایانی بازسازی شده از داده‌های گرده‌شناسی نشان دهنده حاکمیت استپ کوهستانی ایرانی-تورانی در منطقه است.

زون گرده ای SAD-B: ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰

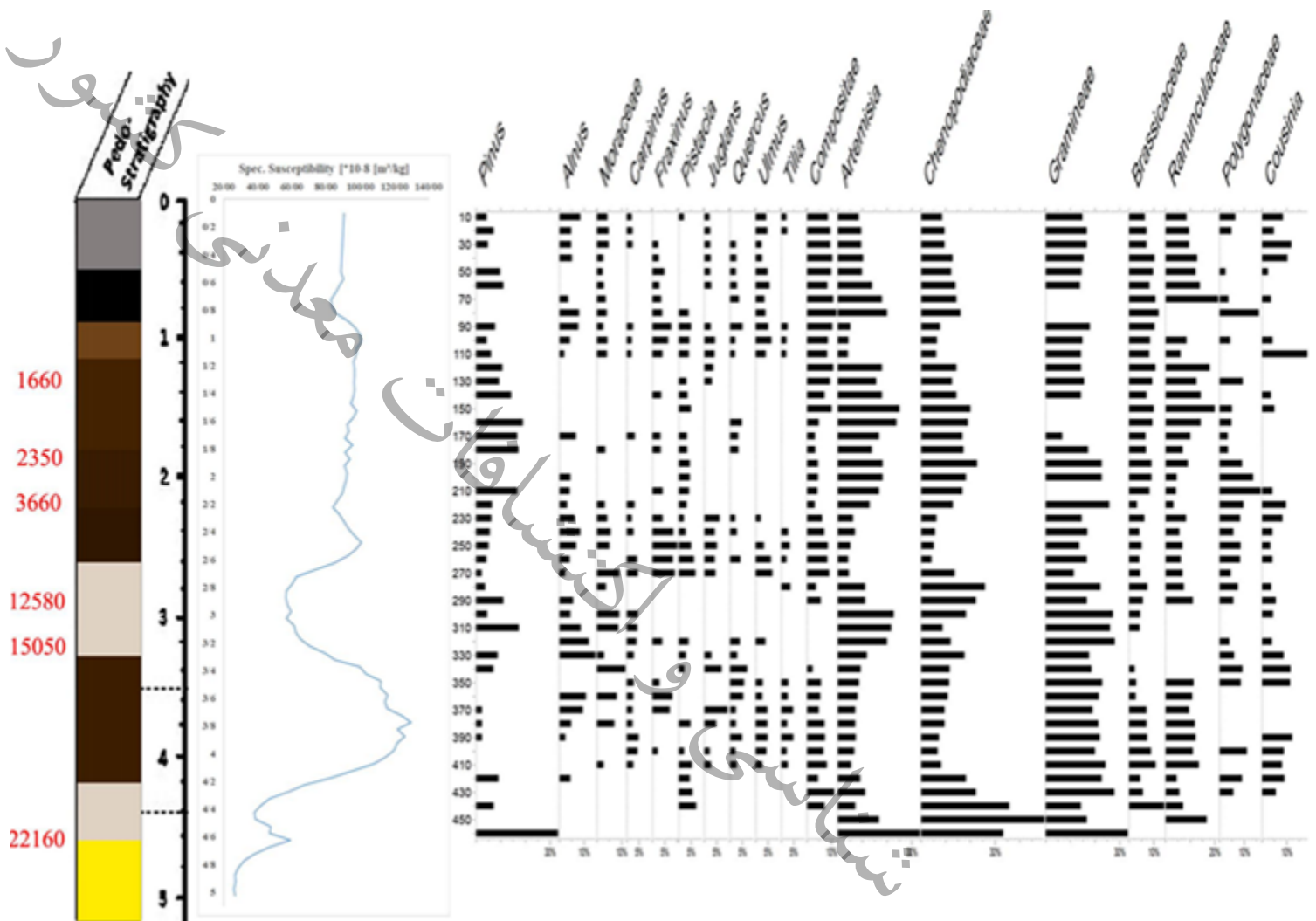
در افق CBk بالایی که بازه زمانی ۱۵ تا حدود ۱۰ هزار سال قبل را در بر میگیرد مجدد میزان گرده ها کاهش یافته و نهایت کاهش را ۱۲۵۰۰ هزار سال که در این افق بیشتر شاهد اسفنجیان و درمنه و تا حدودی گرده های کاج در منطقه بوده ایم که نشان از سرد شدن منطقه و وجود پوشش استپی و جنگلی کوهستانی می باشد. در این زون گرده ای، در پایین ترین لایه گرده های درمنه و گندمیان افزایش، و اسفنجیان کاهش می یابد. کاهش فراوانی گرده های درمنه، گندمیان در مقابل افزایش اسفنجیان می تواند نشان دهنده افزایش شرایط خشکی در فاصله زمانی ۱۲۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال پیش از حاضر باشد. افزون بر این، شرایط حفظ شدگی بد گرده های گیاهی در این زون اشاره به خشکی هوا دارد که همزمان با دوره یانگردریاس می باشد. بر اساس نمودار گرده توالی لسی-پالئوسول، تیپ غالب پوشش گیاهی اواخر یخبندان استپ خشک و تقریباً بدون درخت (تعداد کمی کاج) با چیرگی اسفنجیان، درمنه و گندمیان است.

زون گرده ای SAD-C: ۱۵۰۰-۱۰۰۰۰

بر اساس نمودار گرده توالی لس-پالئوسول سعدآباد ۲، شرایط محیطی در هولوسن پیشین برای حفظ شدن گرده های گیاهی مناسب نبوده است و بر اثر شرایط اکسیداسیونی شدید فاقد گرده های گیاهی است. گرده های گیاهی درمنه، اسفنجیان و گندمیان غالب ترین گرده های حفظ شده ۱۰ تا ۸ هزار سال پیش بود که نشان از حاکمیت پوشش گیاهی استپی است. شرایط بسیار نامناسب حفظ شدگی گرده های گیاهی که به دلیل قرار گرفتن گرده های گیاهی در معرض هوا، باعث نبود گرده گیاهی در این افق شده است. احتمالاً خشک بودن هوا منجر به فراهم شدن شرایط مناسب برای رویش گیاهان گونه کاسنیان در منطقه شده است.

به سمت بالاتر در MIS ۱ و در فاصله زمانی حدودی هولوسن میانی (۷-۶ هزار سال پیش) در افق ABk^۳ مقادیر گرده های درختی بیشتر بود. حضور گرده های درختان پهن برگ نشان دهنده شرایط اقلیمی گرم و مرطوب است. گرده های گیاهان علفی نظیر شقایقیان، خانواده آلاله ها، چلیپاییان نیز وجود داشت. افزایش گرده خانواده گندمیان در مقابل کاهش اسفنجیان و درمنه می تواند نشان دهنده افزایش رطوبت لازم برای گسترش گندمیان باشد. بطور کلی افق های ABk^۱، ABk^۲، ABk^۳ نشان دهنده شرایط اقلیمی معتدلی بود که مناسب رویش جنگل و استپ درنواحی پدیمنتی و نوار جنگلی و علفزار در ناحیه کوهستانی میباشد. در راس ABk^۳

مقادیر گرده های درختی کمی کاهش می یابد. ABk^۱ و ABk^۲ نیز دارای گرده های درختی و علفی بوده فقط مقدار لندکی کمتر از ABk^۳ است. در خاک اخیر بقایای گیاهان علفی و چوبی و ریشه ها در بخش بالایی



شکل ۴-۱۳: نمودار گرده ساده شده ای از توالی لس-پالئوسول سعءآباد ۲

۴-۷- نتایج سن سنجی در توالی مورد مطالعه (سعدآباد)

برای به دست آوردن اطلاعات در مورد زمان انباشت گرد و غبار، تشکیل خاک و احتمالاً فرسایش، یک زمان سنجی تاب آور (انعطاف پذیر) الزامی است. بنابراین، هدف از این مطالعه ایجاد یک چارچوب زمانی برای توالی لس-پالئوسول در سعدآباد است. روش انتخاب شده سن سنجی لومینسانس بود، که زمان سپری شده از آخرین قرار گرفتن در معرض نور خورشید را تعیین می کند و از این رو رویداد دفن دانه های رسوب را نشان می دهد (آیتکن، ۱۹۹۸). غالباً ثابت شده است که آشنایی با لومینسانس ابزاری قدرتمند برای تنظیم وقایع دقیق برای برش های پالئوسول-لس در اختیار قرار داد (فرشس و همکاران، ۲۰۰۹، ۱۹۹۷؛ نووتنی و همکاران، ۲۰۱۱؛ لی و لی، ۲۰۱۲؛ استیونز و همکاران، ۲۰۱۳؛ لاور و همکاران، ۲۰۱۴).

کانی مورد نظر برای سن سنجی لومینسانس معمولاً کوارتز است، زیرا خاصیت لومینسانس آن کاملاً درک شده است، اما بعلاوه اشباع کامل پایین، استفاده از کوارتز را برای سن سنجی نوری رسوبات آخرین یخبندان محدود می کند.

فلدسپار با دوزهای بسیار بالاتری از کوارتز اشباع می شود، اما سیگنال تحریک مادون قرمز آن (IRSL) اغلب توسط محو شدن غیر عادی (Wintle, ۱۹۷۳) تحت تأثیر قرار می گیرد. اصلاحات محو شدن برای جلوگیری از تخمین کم سن، اجباری است اما اگر منحنی پاسخ-دوز آن خارج از محدوده خطی باشد، این اصلاحات مشکل ساز هستند (هانلی و لاموته ۲۰۰۱). در این مطالعه، رویکرد سن سنجی لومینسانس pIRIR₂₉₀ بر روی دانه های ریز چند کانی اعمال شد.

توالی لس-پالئوسول بایگانی بسیار پذیرفته شده برای بازسازی محیط و ایجاد یک لینک مهم برای ارتباط توالی لس اروپا و آسیای میانه است. برای توالی پالئوسول-لس در سعدآباد، شمال ایران، یک چارچوب زمان-شناسی مبتنی بر لومینسانس تهیه شد. زمان انباشت گرد و غبار و تشکیل خاک مورد بررسی قرار گرفت و از این طریق اطلاعات مربوط به تغییرات زمانی در شرایط نابسامان محیط در منطقه به دست آمد. برای سن سنجی لومینسانس، دانه های ۴-۱۱ میکرومتر استفاده شد و رویکرد pIRIR₂₉₀ چند کانی polymineral استفاده شد.

افزایش تجمع گرد و غبار در حین انتقال MIS^۴/MIS^۳ اشاره می کند. علاوه بر این، یک چارچوب زمانی برای خاکهای شبه بین یخچالی توسعه یافته که به عنوان مثال تشکیل خاک در حدود ۴۰ هزار سال در طول MIS^۳ و ۲۶ هزار سال در طول MIS^۲ نشان می دهد. قسمت بالای توالی حدود ۲۲ هزار سال برآورد شده است. برآوردهای سنی نشان می دهد که مشخصات لس سعدآباد یک شاهد زمینی لسی بسیار پذیرفته شده است که بعنوان یک بایگانی با ارزش آب و هوا برای آخرین چرخه یخبندان و بین یخبندان در نظر گرفته می شود که چندین تغییر آب و هوایی را نشان می دهد و تجمع گرد و غبار یا درجه پیشرفت های متفاوت تشکیل خاک را (stadials و interstadials) ارائه می دهد.

کشور

معدنی

فصل ۲: فصل ۵: نتیجه گیری

اکتشافات

و

شناسی

زمین

سازمان

۱-۵- نتیجه گیری

وجود خاکهای قدیمی در بین رسوبات لسی در استان گلستان شرایط مطالعه پدولوژیکی توالی لس- خاک قدیمی را در این مناطق فراهم آورد و نتایج آن گوشه‌ای از تغییرات اقلیمی شمال ایران را روشن نمود. مطالعه اقلیم گذشته و بازسازی تغییرات آب و هوایی و پوشش گیاهی گذشته امکان پیش بینی روند تغییرات اقلیم در حال حاضر و آینده را فراهم می کند. توالی لس- خاک در سعدآباد نشانگر یک آرشیو عالی زمینی است که امکان شناسایی تغییرات آب و هوایی و محیطی را در اواخر کواترنر در شمال شرق ایران با وضوح بالا فراهم می آورد.

بر اساس مشاهدات مورفولوژیکی می توان گفت که پالئوسول های مقطع سعدآباد دارای درجات مختلف تکامل پدولوژیکی می باشند و براساس مطالعات میکرومورفولوژی دارای ۹ افق پالئوسولی که با دوره های بین یخبندان و شبه بین یخبندان جهانی همزمانی دارد، است.

با تلفیق نتایج آنالیزهای پذیرفتاری مغناطیسی، سن سنجی، گرده شناسی، دانه بندی، ژئوشیمی و کانی شناسی رسوبات لسی گرگان منطقه سعدآباد تغییرات اقلیمی و محیطی شمال شرق البرز از ۱۴۷ هزار سال قبل تا کنون مورد بازسازی قرار گرفت. قدیمی ترین سن سنجی انجام شده متعلق به ۱۴۷ هزار سال قبل بود که با انتهای مرحله ایزوتوپ دریایی MIS^{۱۰}-۲^{۱۰} مطابقت دارد. بالا بودن مقادیر رس، کانی رسی، آلومینیوم و پذیرفتاری مغناطیسی در این زون نشان دهنده مرطوب بودن شرایط اقلیمی محیط البرز شرقی در ۱۴۷ هزار سال قبل است توسعه یافته ترین افق مربوط به افق MIS^۵ Bt و خاک ۳b-۵ (۱۱۰-۱۳۰ هزار سال پیش) می باشد. همزمان با بین یخبندان ایمن می باشد. (مراجعه شود به نمودارهای فصل چهارم).

مقادیر بالای xlf و درصد xfd حاکی از بارش زیاد در هنگام شکل گیری پالئوسول هاست. فرآیندهای پس از رسوب ممکن است با تولید کانی های فرومغناطیسی جدید در طول اکسیداسیون خاک های هوازده، مقدار MS را افزایش داده و همچنین با کاهش فرآیندها، مقدار MS را کاهش دهد. مطالعات نشان می دهد که مواد لسی که خاک سازی در آن اتفاق افتاده است عامل اصلی تأثیرگذار بر تغییر کانی شناسی مغناطیسی و پذیرفتاری

^{۱۰} Marine isotope stages

مغناطیسی است. این مطالعه همچنین نشان می دهد که پذیرفتاری مغناطیسی یک پارامتر پیچیده است و کاربرد آن به عنوان یک شاهد بارندگی محدودیت ها و شرایط خاص دارد و هنگامی که از خواص مغناطیسی لس ها برای بازسازی دیرینه اقلیم استفاده می شود باید توجه بیشتری به توپوگرافی، محیط رسوبی و عوامل آب و هوایی شود. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در لس ها کمتر از پالئوسول ها می باشد که بیانگر شدت هوازدگی کمتر و درجه تکامل کمتر لس ها و بالعکس در پالئوسول ها می باشد.

نتایج دانه بندی به دست آمده از برش رسوبی سعدآباد کاهش ماسه، گراول و سیلت در زمان تشکیل لایه های پالئوسولی و افزایش میزان بخصوص سیلت را در لایه های لسی نشان می دهد. این موضوع نشان دهنده افزایش قدرت باد در زمان تشکیل افق های لسی است. از طرفی، خاک های دیرین مقدار رس زیادتری داشته که نشاندهنده فعال بودن فرآیندهای خاک ساز در این دوران بوده و مقدار زیادی از شن و سیلت درشت به رس و سیلت ریز تبدیل شده است به طوری که کلاس بافتی بیشتر افق های خاک، رس سیلتی و یا لوم رسی سیلتی است.

کانی شناسی رسی در توالی های لس - پالئوسول مورد مطالعه نشان داد که کانی های ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت کانی های اصلی در این رسوبات هستند. در افقهای تکامل یافته پالئوسول ها کانی های اسمکتیت به صورت کانی غالب مشاهده شدند. از این رو، تغییرات کانی شناسی با مورفولوژی و تکامل خاک در افق های مختلف همخوانی داشته و منعکس کننده شرایط اقلیمی و محیطی در زمان تشکیل این خاک ها می باشد.

عناصری چون آلومینیوم، آهن در دوره های گرم و مرطوب افزایش و در دوره های اقلیمی سرد و خشک کاهش پیدا کرده است. این دو عنصر جزء عناصر انحلال ناپذیر و پایدار هستند و در شرایط اقلیمی سرد و خشک باافزوده شدن عناصری از قبیل اکسید کلسیم که یک عنصر ناپایدار و انحلال پذیر است، غلظت این عناصر کاهش یافته و نشانه ای از گسترش دوره های یخچالی است. عناصری چون کلسیم در لایه های لسی افزایش و نشان از دوره های یخچالی دارند و در لایه های خاک دیرین کاسته شده و شسته شده اند که نشان از رطوبت بالا و بارندگی در این دوره دارند. شاخص هوازدگی شیمیایی در لایه های لسی پایین است و نشان از هوازده نشدن رسوبات لسی است. اما مقدار این شاخص در برابر نهشته های خاک دیرین افزایش یافته و در

خاک های مربوط به ایمین حدود ۸۰ درصد می باشد. لذا این شاخص نیز نشان از آب و هوای گرم و مرطوب و مقدار هوازدگی بالای رسوبات در لایه خاک دیرین دارد.

نتایج سن سنجی نشان داد که در زمان ۱۴۰ هزار سال پیش شرایط اقلیمی در منطقه سعدآباد بسیار بهتر (بارندگی بیشتر و دمای مناسب برای فعالیت های خاکساز) از حال حاضر بوده و موجب تشکیل و تکامل خاک های توسعه یافته تری در این منطقه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده به نظر می رسد چرخه های مرسوم تغییر اقلیم شناخته شده در دوره کواترنری در دنیا در تغییرات خصوصیات توالی های لس - پالئوسول شمال ایران نقش داشته اند. به طوری که در زمان LGM در این منطقه نیز تجمع و رسوب گذاری لس غالب بوده و خاکسازی به علت شرایط بد اقلیمی بسیار ضعیف بوده است. بررسی های این تحقیق نشان دهنده آن بود که فازهایی از کاهش نسبی خشکی اقلیم در LGM در منطقه وجود داشته که به احتمال زیاد منطبق با نوسانات دنسگارد اوسجر بوده است. در ۱۹ هزار سال قبل افزایش نسبت های درختی به غیر درختی و افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، نشان دهنده گرم و مرطوب بودن نسبی شرایط اقلیمی آن دوره است. نتایج آنالیز دیاتومه های دریاچه زریبار نیز نشان دهنده افزایش نسبی دما در همین زمان (۱۸-۱۹ هزار سال قبل) می باشد (Wasylikowa et al., ۲۰۰۶). در این دوره رشد گندمیان افزایش چشمگیری پیدا کرد.

رخداد سرد و خشک یانگرددریاس در حدود ۱۲۵۰۰ سال قبل در منطقه شروع شده و تقریباً تا ۱۱۵۰۰ سال قبل به طول انجامیده است. شروع هولوسن در منطقه در ۱۱۵۰۰ سال قبل بوده است. وجود افق های خاک به رنگ قهوه ای نشان دهنده شرایط اقلیمی گرم و تا حدی مرطوب است که با افزایش پذیرفتاری مغناطیسی، مطابقت دارد. این روند افزایشی پوشش گیاهی و پذیرفتاری مغناطیسی تا ۷۵۰۰ سال پیش ادامه یافته و از آن زمان به بعد بتدریج از میزان آن تا ۴۲۰۰ سال پیش کاسته می شود.

در اواخر پلیستوسن تغییرات شرایط اقلیمی سرد و خشک به گرم و مرطوب منجر به تکامل رسوبات لسی و خاک های قدیمی در شمال ایران شده است. توالی لس-خاک در سعدآباد هر دو نوسان اقلیمی سرد و نسبتاً خشک یخچالی و شبه یخچالی را همزمان با تجمع گردوغبار و همچنین شرایط محیطی احتمالاً گرم تر و مرطوب تر در طول دوره بین یخچالی و شبه بین یخچالی همزمان با مراحل اصلی تشکیل خاک را نشان می دهد. مرزهای خاک قدیمی تغییر تدریجی را نشان می دهند که با استفاده از پارامترهای دانه سنجی قابل تشخیص

است. خصوصیات بافتی لس در سعدآباد با پروفیل‌های لسی ریزدانه بخش‌های شمال شرقی ایران در توشن و مبارک‌آباد (غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶؛ ولامینک و همکاران، ۲۰۱۵) مقایسه شده است که نشان دهنده‌ی منبع و فاصله انتقال مشابهی هستند. با این حال، لس در آق‌بند شامل طیف وسیعی از اندازه ذرات و به طور قابل توجهی درشت‌تر است که به نزدیکی نسبی به منطقه منبع گرد و غبار و انرژی باد بیشتر اشاره دارد. بنابراین احتمال داده می‌شود که وزش باد از شمال به شمال‌غربی بوده‌است.

به احتمال زیاد شکل‌گیری افق (۳-۵) Bt در بخش سعدآباد همزمان است با افق Bt در توشن، Btk در نوده و Bw (t) در آق‌بند نمایانگر توسعه یافته‌ترین پالئوسول در هر یک از مناطق می‌باشد (Kehl et al., ۲۰۰۵؛ Kehl, ۲۰۱۰) است. همبستگی پدوستراتیگرافیک با AhBtk مطالعه شده در نکا (لاور و همکاران، ۲۰۱۸) کمتر دیده می‌شود زیرا شواهد میدانی مطالعات لاور و همکاران نشان دهنده وجود یک پالئوسول در زیر آخرین لایه مشاهده شده است که نشان دهنده درجه مشابهی از توسعه خاک Bt است.

درجه‌های متفاوت توسعه یافتگی خاک حاکی از افزایش رطوبت از شرق به غرب و از شمال به جنوب در طی زمان حال و آخرین بین‌یخبندان بوده است. که به احتمال زیاد، نشاندهنده شیب آب و هوایی مشابه حال حاضر شمال شرقی ایران در اواخر پلیستوسن بوده است. براساس آخرین پالئوسول‌های بین‌یخبندان قبلی، کاهش صعودی در شدت خاکزایی با گذشت زمان برای هر یک از بخش‌های لس-پالئوسول ذکر شده دیده می‌شود، که نشان دهنده کاهش شدت هوازدگی شیمیایی است. این فواصل با مرحله بعدی تجمع لس جایگزین می‌شود. بنابراین لس و پالئوسولها در سعدآباد یک الگوی تکرار شونده را نشان می‌دهند، که با سابقه چینه نگاری بخش‌های نکا، نوده و آق‌بند مطابقت دارد (کهل و همکاران، ۲۰۰۵؛ کهل، ۲۰۱۰).

همچنین میانگین مقادیر xlf و درصد xfd در مناطق آق‌بند، مبارک‌آباد، نوده، توشن، سعدآباد و نکا به ترتیب افزایش می‌یابد و این نشان می‌دهد که غلظت کل کانی‌های مغناطیسی فلات لسی شمال ایران از لس در حوضه جنوبی کمتر است (کوهپایه کوه-های البرز)، که ممکن است در اثر اختلافاتی مانند ارتفاع، یا فاصله تا مناطق منبع غبار ایجاد شود. شرایط آب و هوایی خشک‌تر باعث ضعیف‌تر بودن فرآیندهای پدوژنیک در لس می‌شود که برای تولید دانه‌های مغناطیسی SP نامساعد است، از این رو، مشارکت کنندگان اصلی در حساسیت مغناطیسی ممکن است مگهمایت و مگنتیت باشند، که تولید آن‌ها در طی فرآیند پدوژنز دشوار است

(سونگ و همکاران ، ۲۰۱۰a) و بنابراین ممکن است آنها حداقل تا حدودی از کانی های مغناطیسی منطقه منبع نشات بگیرند.

بنابراین این یافته ها نشان می دهد که رفتارهای مختلف حساسیت مغناطیسی بین بخشهای لس مناطق خشک تر و منطقه مرطوبتر عمدتاً توسط محیط های مختلف پاتوژن آنها ایجاد می شود که به نوبه خود با توپوگرافی محلی و شرایط آب و هوایی مرتبط است. حساسیت مغناطیسی به عنوان یک پروکسی بارش دیرینه در نظر گرفته می شود (هلر و همکاران، ۱۹۹۳؛ ماهر و همکاران، ۱۹۹۴؛ ماهر و تامپسون، ۱۹۹۵؛ اوانز و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین اعتقاد بر این است که حساسیت مغناطیسی به دلیل تفاوت توپوگرافی (به عنوان مثال ، ارتفاع ، شیب) مربوط به بارش محلی است (سونگ و همکاران ، ۲۰۱۰a).

مقادیر حساسیت مغناطیسی تحت تأثیر منابع رسوب، فرآیندهای رسوبی، خاکزایی پس از رسوب، فرآیندهای هوازگی و اثرات بیولوژیکی قرار دارند. بنابراین ، مکانیسم تقویت MS توالیهای لس-پالئوسول در مناطق مختلف ممکن است به طور قابل توجهی متفاوت باشد (ژوئیت ، ۲۰۰۰ ، ولنگ و همکاران ، ۲۰۰۳ ؛ لیو و همکاران ، ۲۰۰۷). در لس ایران ، xlf کم همراه با درصد پایین Xfd و xlf بالا با درصد بالای xfd در پالئوسولها ، نشان دهنده تشکیل دانه های SP/SD در طول پدوژنز است. در منطقه ساحلی دریای سیاه شمالی (دودونف و همکاران ، ۲۰۰۶) تاجیکستان (دینگ و همکاران ، ۲۰۰۲ ؛ یانگ و همکاران ، ۲۰۰۶) ، رومانی (کنستانتین و همکاران ، ۲۰۱۴) و لس چین (لیو و همکاران ، ۱۹۹۰ ؛ ژو و دیگران ، ۱۹۹۰) رابطه MS و پدوژنز بسیار نزدیک به لس ایران است. با این حال، در آلاسکا و بخش کورتاک (Kurtak) در سیبری، لس به طور کلی حساسیت بالاتری نسبت به کل پالئوسولها دارند (لیو و همکاران ، ۲۰۰۸، ۲۰۰۱، ۱۹۹۹؛ زو و همکاران ، ۲۰۰۳). میانگین مقادیر MS سکانس سعدآباد بسیار پایین تر از بخش چاونا (Chaona) واقع در فلات مرکزی لس چین، بزرگتر از بخش ژائوسو (Zhaosu) و مشابه بخش تالده (Talede) حوضه لی (Ili) در شرق آسیای میانه است. این نشان می دهد که کانی های مغناطیسی کل در رسوبات لسی ایران بسیار کمتر از لس چین اما از بخش ژائوسو (Zhaosu) بیشتر است و نزدیک به تالده (Talede) است، به این معنی که مقدار کل کانی های مغناطیسی در بخش سعدآباد مشابه حوضه ایلی شرقی (سکانس تله) است. همچنین، حداکثر مقادیر xlf در پالئوسول ها

در سعدآباد نسبت به رومانی، تاجیکستان و منطقه ساحلی شمال دریای سیاه بیشتر است. با این حال، xlf در افق لس سعدآباد شبیه به مناطق ساحلی شمال دریای سیاه است.

تعیین توزیع اندازه دانه در لس و پالئوسولها در توالی رمیسوکا قزاقستان، همبستگی نسبتاً زیادی بین مقادیر U با یخبندانها و استدیالها را نشان میدهد و از طرفی مقادیر کم ناشی از فواصل خاک زایی (پدوژنز) را به همراه دارد (Machalett et al., 2008)، که با نتایج ما مشابه می باشد (شکل ۲۸-۴). این امر در مورد یافته های مستدق و همکاران (۱۹۹۹) از تاجیدار، تاجیکستان نیز صادق است. (شکل ۲۸-۴). تعیین حساسیت مغناطیسی پالئوسول های مشتق شده از لس در تاجیدار آسیای میانه کاهش هوازگی بزرگی از MIS ۵e به زیرمرحله ۵a را نشان می دهد (مستدق و همکاران، ۱۹۹۹).

بر اساس تحقیقات پالینولوژیکی، جمالی و همکاران (۲۰۰۸) و Litt et al (۲۰۱۴) سه قله مجزا در نسبت گرده درختی (AP) به گرده غیردرختی (NAP) برای MIS ۵ (شکل ۲۸-۴) ارائه می دهد. بالاترین نسبت برای آخرین یخبندان در مرحله فرعی ۵b در دریاچه ارومیه (NW ایران) و دریاچه وان (آناتولی، ترکیه) تعیین شد، در حالی که مقدار AP به ترتیب در مراحل ۵c و ۵d کاهش می یابد (شکل ۲۸-۴). در مقابل، پایدارهای ۵b و ۵c با افزایش قابل توجه در NAP مشخص می شود که نشان دهنده شرایط محیطی سرد و خشک است. (شکل ۲۸-۴).

مقایسه سکانس سعدآباد با توالی های خاک لس آسیای میانه و دشت کاسپین و همچنین سوابق گرده دریاچه ارومیه نوسانات مشابهی از تغییرات آب و هوایی را در مقیاس فرا منطقه ای نشان می دهد. یک همبستگی کرونواستراتیگرافی از لس و پالئوسولها در سعدآباد با بایگانی های فوق الذکر، نیاز به کنترل سنی انعطاف پذیر با استفاده از مطالعه قدمت لومینسانس دارد. با این وجود، رکوردهای با وضوح بالا دیدگاه های جدیدی در مورد زمان و پویایی تغییر اوضاع اواخر کواترنر در NE-ایران به وجود آورد.

از نظر آب و هوایی و سیستم های جوی، یکی از عوامل اصلی مؤثر بر نوسانات اقلیمی سالانه کره زمین، شاخصهای پیوند از دور در گستره جهانی و منطقه ای میباشد که از مهمترین آنها میتوان به پدیده النینو-نوسان جنوبی (ENSO)، نوسان اطلس شمالی (NAO)، نوسان شمالگان (AO)، نوسان مادن جولیان (MJO) و شاخص نوسان جنوبی (SOI) اشاره نمود. هر کدام از این پدیده ها، اقلیم بخشهای مختلفی از کره زمین را

تحت کنترل دارند. نوسان شمالگان و نوسان اطلس شمالی از الگوهای موثر پیوند از دور زمستانه در محدوده برون حاره نیمکره ی شمالی و از عوامل اصلی کنترل عناصر اقلیمی است. تغییرات شدید نوسان شمالگان و نوسان اطلس شمالی، باعث رخدادهای حدی اقلیمی در سراسر عرضهای میانه و وقوع زمستانهای شدید میشود (چن و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۲۷). با توجه به تکرارپذیری سیستم گردش عمومی جو در دوره های زمانی مختلف می توان نتیجه گرفت که به احتمال زیاد در دوره بین یخبندان قبلی نیز تغییرات نوسان شمالگان و اطلس شمالی از عوامل اصلی کنترل دما و بارش در منطقه بوده است. همانطور که در حال حاضر در منطقه شاهد یک شیب اقلیمی از نکا تا آق بند هستیم مطالعات دیرینه بر روی توالی های لس-پالئوسول نیز این مسئله را در گذشته تایید کرده و نشاندهنده کاهش توسعه خاک از منطقه نکا به سمت آق بند می باشد که خود نشانی از کاهش درجه رطوبت و بارندگی از نکا به سمت آق بند می باشد.

در پاییز و زمستان که اختلاف دما و فشار جغرافیایی باعث افزایش کنتراست می شود، دشت کاسپین تحت تأثیر جریانهای هوایی منطقه ای (مداری) و نصف النهاری قرار می گیرد، زیرا جت جنب حاره و جت قطبی به سمت جنوب جابجا می شوند. شکل گیری آنتی سیکلون سیبری باعث می شود تا بادهای سرد از شمال-شمال شرقی به مناطق پایین دست خزر هجوم آورند. این بادهای جابجایی در سطح دریای خزر تغییر می کنند، بنابراین رطوبت را به شمال ایران، به ویژه قسمت شمال غربی کوهپایه خزر وارد می کنند. در امتداد دامنه کوه البرز، این توده های هوای سرد ممکن است با وزشهایی مانند گرمباد (باد فون) که از مناطق مرتفع تر کوهستانی به سمت پایین دست آن نازل می شود، مواجه شود و سیستم های جبهه ای در حد محلی و منطقه ای و مقادیر زیاد بارندگی ایجاد کنند (لروی و همکاران، ۲۰۱۱).

علاوه بر این، وزش باد شدید می تواند رطوبت را از دریای مدیترانه و اقیانوس اطلس به شمال ایران منتقل کند (مولانژاد و همکاران، ۲۰۱۵). به گفته مولوی-عربشاهی و همکاران (۲۰۱۶) این جریان توده هوایی محلی توسط ناهنجاری سیستم گردش جوی امگا (Ω -) شکل Ω از کانتور ۵۰۰ hPa نامیده می شود) تقویت شده در اروپای مرکزی، تغییر مسیر وزش بادهای خیلی مرطوب و اختلالات سیکلونی اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه به طرف منطقه خزر جنوبی بوجود می آیند.

این طوفانها ممکن است توسط جبهه قطبی که به خوبی در امتداد کوههای البرز در زمستان های توسعه یافته است به سمت شرق هدایت شود (استیونز و همکاران ، ۲۰۱۲). بنابراین ، جبهه قطبی ، که به عنوان جبهه ایران نیز شناخته می شود ، باعث افزایش بارندگی و طوفان در دشت های دریای خزر می شود (اورلوفسکی و همکاران ، ۲۰۰۵ ؛ ماچالت و همکاران ، ۲۰۰۸ ؛ مولوی-عربشاهی و همکاران ، ۲۰۱۶).

با این حال ، شیب غربی کوه های زاگرس و البرز ، مانع از نفوذ بیشتر سیکلون های برون مرزی به درون دشت های کاسپین می شود (ماچلات و همکاران ، ۲۰۰۸ ؛ مولوی-عربشاهی و همکاران ، ۲۰۱۶). علاوه بر این ، شاخه جنوب غربی آنتی سیلون سیبری ممکن است تا جنوب شرقی ایران گسترش یابد و به طور موثر مانع از نفوذ توده های هوا با رطوبت محلی بالا در فوریه شود (داندو ، ۲۰۰۵). این بادهای دریایی مسئول بخش قابل توجهی از بارندگی سالانه در دشت خزر (داندو ، ۲۰۰۵ ؛ استیونس و همکاران ، ۲۰۱۲ ؛ مولانژاد و همکاران ، ۲۰۱۵) در نظر گرفته می شوند ، در حالی که سایر نویسندگان تأکید بر وزش شمال -شمالشرق باد با منشاء آنتی سیکلونی سیبری دارند (لروی و همکاران ، ۲۰۱۱ ؛ مولوی-عربشاهی و همکاران ، ۲۰۱۶).

در طول تابستان ، جریان جت حاره و کمربند پرفشار جنب حاره به بخش های شمالی ایران منتقل می شود و از فرونشستن توده های هوا جلوگیری و متعاقباً آسمانی صاف را بوجود می آورد (علیجانی و هارمن ، ۱۹۸۵ ؛ مولانژاد و همکاران ، ۲۰۱۵). بنابراین ، طوفان ها تا حد زیادی سرکوب می شوند و تابستان خشک ترین فصل در ایران است (شکل ۱.۵). با این حال ، در دشت خزر، تعامل حرارتی به شکل یک سیستم نسیم خشکی- دریا بین دریای خزر به عنوان منبع منطقه ای بخار آب و خط ساحلی جنوبی آن ممکن است باعث بارش همرفت شود. بنابراین ، اختلافات فصلی در بارندگی ها می تواند در پائین کاسپین کاهش یابد و در مناطق جنوبی کشور برجسته تر باشد (گنجی ، ۱۹۶۸ ؛ علیجانی و هارمن ، ۱۹۸۵).

هم خوانی بسیار خوب بین پارامتر های مطالعه شده (پدولوژی، میکرومورفولوژی، کانی شناسی رسی، دانه بندی، ژئوشیمی، گرده شناسی و سن سنجی) در اکثر پالئوسول های نشان از دقت مطالعه و لزوم بکارگیری روش های مختلف با یکدیگر جهت انجام تفسیرها بهتر، دارد.

۲-۵- پیشنهادها

۱. مطالعات ایزوتوپهای پایدار کربن در کربنات های ثانویه برای بازسازی پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی گذشته و همچنین مطالعه ایزوتوپ پایدار اکسیژن برای بازسازی دما هوای گذشته
۲. مطالعه و بررسی ژئومورفولوژی گذشته (در طول زمان) در توالی های مورد مطالعه برای ارائه تفاسیر دقیق تر پالئودولوزیکی و شرایط محیطی گذشته
۳. مطالعات صدف نرمتنان جهت بازسازی پالئوکولوژی منطقه

فصل ۳: فصل ۶: مراجع

کشور
معدنی
اکتشافات

– آدابی، محمد حسین، ۱۳۸۳، ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آرین زمین، ۴۵۴ص.

– احمدی، حسن. سادات، فیض نیا، ۱۳۸۵، سازند های دوره کواترنر . انتشارات دانشگاه تهران، ۶۲۵ص.

– آقانباتی، علی، ۱۳۷۹. پهنه‌های رسوبی-ساختاری عمده ایران (کارت پستال)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

– آقانباتی، علی، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱-۶۱۹.

– ایوبی، ش. ۱۳۸۱. مطالعه شواهد پدوژنیکی تغییر اقلیم در خاک های قدیمی دو منطقه اصفهان و امام قیس چهار محال و بختیاری. رساله دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

– ایوبی، ش.، جلالیان، ا.، اقبال، م. ک. و خادمی. ح. ۱۳۸۱. شناسایی و پیدایش کانیهای رسی در دو خاک قدیمی از سپاهان شهر (اصفهان) و امام قیس (چهار محال و بختیاری)، ایران. مجله کانی و کریستال. شماره ۱۰: ۱۷۸-۱۰۷.

- پورمعصومی پرشکوه، معصومه، خرمالی، فرهاد، ایوبی، شمس الله، کیانی، فرشاد، ۱۳۹۶، مطالعه میکرومورفولوژی خاک های لسی جنگلی در یک شیب اقلیمی در شمال ایران، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران
- تقوی، لعبت، طیبی، صفیه، طیبی، سبحان و کریمیان، بهرام، ۱۳۹۲، تحلیل اقلیم دیرینه بخش شمالی تالاب گاوخونی با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی، فصلنامه علمی پژوهشی اکویولوژی تالاب، سال پنجم، شماره ۱۶، صص ۵۳-۶۲.
- ثروتی، محمد رضا، اسماعیلی، رضا، ۱۳۸۲، پراکندگی، منشاء سن و آثار دیرینه اقلیم لس ها در شمال مرکزی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان، ۱۳۸۲، ۱۰۵-۱۱۸.
- خواجه، منصور و همکاران، ۱۳۸۳، بررسی تغییرات جانبی اندازه ذرات و کانی شناسی به منظور تعیین جهت بادهای غالب در تشکیل رسوبات لس استان گلستان، نشریه بیابان، جلد نهم، شماره ۲، صص ۲۹۳-۳۰۷.
- رستمی، هما، عزیزی، قاسم، بازگیر سعید، دارابی، حجت، مقصودی، مهران، متیوس، راجر جان، ۱۳۹۸، بازسازی اقلیم و محیط دیرینه زاگرس میانی، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۹۸، صص ۴۲۳-۴۶۶.
- سلی، ریچارد، ۱۳۸۱، محیطهای رسوبی دیرینه و تشخیص آنها در مطالعات زیر سطحی، ترجمه امینی و اخروی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۲ص.
- شهریاری، علی، خرمالی، فرهاد، کهل، مارتین، کریمی، علیرضا، موسوی دستنایی، مریم، لهندورف، ایوا، ۱۳۹۳، بازسازی شرایط محیطی گذشته با استفاده از نشانگرهای زیستی و کانیشناسی رسی در رسوبات لسی شمال شرق ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۰، شماره ۱، صص ۱۶۱-۱۴۹.
- صالحی، محمد حسن، خادمی، حسین و کریمیان اقبال، مصطفی، ۱۳۸۲، شناسائی و نحوه تشکیل کان ی های رسی در خاکهای منطقه فرخ شهر، استان چهارمحال و بختیار ی. "، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷، ۹۰-۷۳.
- صفایی راد، رضا، عزیزی، قاسم، مقصودی، مهران، ۱۳۹۸، نقش تغییرات سامانه های بزرگ مقیاس جوی در تکوین آب و هوای پلیستوسن پسین و هولوسن در زاگرس، فصلنامه کواترنری ایران، پیاپی ۱۵ (پاییز ۱۳۹۷)، صص ۲۵۳-۲۷۱.

- ضیایی، ع.، پاشایی، ع.، خرمالی و روشنی. م.ر. ۱۳۹۲. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی شناسی و میکرومورفولوژیکی توالی لس - خاک قدیمی به عنوان شاخصی از تغییر اقلیمی رسوب گذاری و خاکسازی (مطالعه موردی: گرگان، استان گلستان). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد (۱) ۲۰: ۲۸-۱
- عزیزی، قاسم، ۱۳۸۳، تغییر اقلیم، نشر قومس، چاپ اول.
- عزیزی، قاسم، شمسی پور، علی اکبر، یاراحمدی، داریوش، ۱۳۸۷، بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل های آماری چند متغیره، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ۳۵-۱۹.
- عزیزی، قاسم، رفعتی آلاشتی، سمیه، ۱۳۸۶، تغییر پذیری منابع آب و اثر تغییر اقلیم بر آن، مطالعه موردی: حوضه آب ریز سد لتیان، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- عساکره، حسین، ۱۳۸۶، تغییر اقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول.
- غفارپور امین، ۱۳۹۱، مقایسه درجه تحول و خصوصیات خاکهای مدرن با خاکهای قدیمی لسی زیر آن در نقاط مختلف اقلیمی در استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده مهندسی آب و خاک. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ایران. ۸۱ صفحه.
- کریمی، علیرضا، خادمی، حسین، جلالیان، احمد، ۱۳۹۰، لس: ویژگی ها و کاربردها برای مطالعات اقلیم گذشته، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص ۱-۲۰.
- کریمی کارویه، علیرضا ۱۳۸۷. تعیین منشاء سن یابی رسوبات سیلتی و بررسی تکامل خاک ها در لندفرم های اطراف مشهد. رساله دکتری خاکشناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ایران. صفحه ۱۵۰.
- کوچکی، علیرضا، نصیری، مهدی، کمالی، غلامعلی، ۱۳۸۶، مطالعه شاخص های هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم، مجله پژوهش های زراعی ایران، جلد ۵، شماره ۱، ۱۳۳-۱۴۲.
- فیضی، وحید، علیمحمدیان، حبیب، عزیزی، قاسم، محمدی، حسین، شمسی پور، علی اکبر، ۱۳۹۵. ثبت تغییرات اقلیم کواترنر پسین در پذیرفتاری مغناطیسی لس های آزادشهر، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۱۹۱ - ۱

- فیض نیا، سادات، غیومیان، جعفر، خواجه منصور، ۱۳۸۴، بررسی اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی خاک های لسی (مطالعه موردی در استان گلستان)، دوره ۱۷، شماره ۱، مجله منابع طبیعی، بهار، ص ۱۴ - ۲۳.

- لطیف، ۱۳۸۲، پراکندگی، منشأ، سنوآثار دیرینه اقلیم لس ها در شمال مرکزی ایران. مجموعه مقالات سمپوزیوم بین المللی لس نیوزلند. ترجمه محمدرضا ثروتی و رضا اسماعیلی. مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان ۸۲، صص ۱۰۵-۱۱۸.

- محمدی، حسین، ترجمه؛ ماوی، هاریال. اس. تاپر، گرانم. جی، ۱۳۸۸، آب و هواشناسی کشاورزی-اصول و کاربردهای مطالعات آب و هوا در کشاورزی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۵.

- نوجوان، محمدرضا، عرب عامری، علیرضا، ۱۳۹۰، منشأیابی لکه های رسوبی منطقه بیاضه، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲، تابستان.

- نوجوان، محمدرضا، ۱۳۹۵، منشأیابی رسوبات جنوب میبد، دوره ۶، شماره ۴ - شماره پیاپی ۲۴ پاییز صفحه ۱۵۵-۱۶۴.

- Aitken, M.J. (Ed.), ۱۹۹۸. An Introduction to optical Dating – The dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-stimulated Luminescence. Oxford University Press, Oxford.

- Alijani, B. and Harman, R., ۱۹۸۵. Synoptic Climatology of Precipitation in Iran. Annals of the Association of American Geographers ۷۵(۳), ۴۰۴-۴۱۶.

- Antoine, P., Rousseau, D.D., Zöller, L., Lang, A., Munaut, A.V., Hatté, C., Fontugne, M., ۲۰۰۱. High-resolution record of the last interglacial-glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area, Germany. Quaternary International ۷۶(۷۷), ۲۱۱-۲۲۹.

- Balsam, W.L., Ellwood, B.B., Ji, J., Williams, R.R., Long, X., Hassani, A.E. ۲۰۱۱. Magnetic susceptibility as a proxy for rainfall: Worldwide data from tropical and temperate climate. Quaternary Science Reviews ۳۰, ۲۷۳۲-۲۷۴۴.

- Becze-Deak, J., Langohr, R., and Verrecchia, E.P. ۱۹۹۷. Small scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction. Geoderma. ۷۶: ۲۲۱-۲۵۲.

- Bettis, E.A., Muhs, D.R., Roberts, H.M., and Wintle, A.G., ۲۰۰۳. Last glacial loess in the conterminous U.S.A... Quaternary Science Reviews, Vol. ۲۲, pp. ۱۹۰۷-۱۹۴۶.

- Birkeland, P.W. ۱۹۸۴. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, New York.

- Bloemendal, J., Liu, X.M., Sun, Y.B., Li, N.N., ۲۰۰۸. An assessment of magnetic and geochemical indicators of weathering and pedogenesis at two contrasting sites on the Chinese Loess Plateau. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* ۲۵۷, ۱۵۲-۱۶۸.
- Bouza P.J., Simon M., Aguilar J., Valle H., Rostage M., ۲۰۰۷, Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina, *Geoderma* ۱۳۹, ۳۸-۵۰.
- Bradley, R.S., (۱۹۹۹). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary.* Academic Press, San Diego, ۶۱۰ pp.
- Bronger, A., Winter, R., and Sedov, S. ۱۹۹۸. Weathering and clay mineral formation in two Holocene soils and in buried paleosols in Tadzhikistan: Towards a Quaternary paleoclimate record in Central Asia. *Catena.* ۳۴:۱۹-۳۴.
- Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel, U., ۱۹۸۰. *Handbook for Soil Thin Section Description.* Waine Research Publications, Wolverhampton, UK.
- Buylaert, J.-P., Jain, M., Murray, A. S., Thomsen, K. J., Thiel, C., Sohbaty, R., ۲۰۱۲. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. *Boreas* ۴۱, ۴۳۰-۴۵۱.
- Constantin, D., Begy, R., Vasiliniuc, S., Panaiotu, C., Necula, C., Codrea, V., Timar- Gabor, A., ۲۰۱۴. High-resolution OSL dating of the Costinesti section (Dobrogea, SE Romania) using fine and coarse quartz. *Quaternary International* ۳۳۴e۳۳۵, ۲۰-۲۹.
- Cronin, T.M., ۱۹۹۹. *Principles of Climatology.* Columbia University Press, New York, pp. ۱-۲۰۴.
- Evans, M.E., and Heller, F., ۲۰۰۳. *Environmental Magnetism Principles and Applications of Enviromagnetics.* Academic Press, London, pp. ۱-۲۹۶.
- Faegri, K., Iverson, J. (۱۹۸۹). *Textbook of Pollen Analysis,* (۴th edition, with K. Krzywinski). John Wiley, Chichester & New York.
- Frechen, M., Horváth, E., Gábris, G., ۱۹۹۷. Geochronology of Middle and Upper Pleistocene Loess Sections in Hungary. *Quaternary Research,* ۴۸(۳), ۲۹۱-۳۱۲.
- Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R., Skowronek, A., ۲۰۰۹. Loess chronology of the Caspian Lowland in Northern Iran. *Quaternary International* ۱۹۸, ۲۲۰-۲۳۳.
- Fuchs, M., Owen, L.A., ۲۰۰۸. Luminescence dating of glacial and associated sediments: review, recommendations and future directions. *Boreas* ۳۷, ۶۳۹-۶۵۹.
- Dearing J.A. ۱۹۹۹. *Environmental magnetic susceptibility, using the Bartington MS۲ System.* Kenilworth, UK: Chi Publ. ۵۴ pp.
- Dehghani, M., Djamali, M., Gandouin, E. and Akhiani, H., ۲۰۱۷. A pollen rain-vegetation study along a ۳۶۰۰ m mountain-desert transect in the Irano-Turanian region; implications for the reliability of some pollen ratios as moisture indicators. *Review of Palaeobotany and Palynology,* ۲۴۷, pp.۱۳۳-۱۴۸.

- DeMenocal, P. B. (۲۰۰۱). Cultural responses to climate change during the late Holocene. Science (New York, NY), ۲۹۲(۵۵۱۷), ۶۶۷-۶۷۳.
- Dando, W.A., ۲۰۰۵. Asia, Climates of Siberia, Central and East Asia. In: Oliver, J.E. (Ed.). Encyclopedia of World Climatology, Springer, Dordrecht, The Netherlands, ۱۰۲-۱۱۵.
- Ding, Z.L., Xiong, S.F., Sun, J.M., Yang, S.L., Gu, Z.Y., Liu, T.S., ۱۹۹۹, Pedostratigraphy and Paleomagnetism of a ~۷,۰ Ma Eolian Loess-red Clay Sequence at Lingtai, Loess Plateau, North-central China and the Implications for Paleomonsoon Evolution, Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, No. ۱۵۲, pp. ۴۹-۶۶.
- Ding, Z.L., Ranov, V., Yang, S.L., Finaev, A., Han, J.M., Wang, G.A., ۲۰۰۲. The loess record in southern Tajikistan and correlation with Chinese loess. Earth and Planetary Science Letters ۲۰۰ (۳۴۴), ۳۸۷-۴۰۰.
- Dodonov, A.E., Sadchikova, T.A., Sedov, S.N., Simakova, A.N., Zhou, L.P., ۲۰۰۶. Multidisciplinary approach for paleoenvironmental reconstruction in loess-paleosol studies of the Darai Kalon section, Southern Tajikistan. Quaternary International ۱۵۲-۱۵۳, ۴۸-۵۸.
- Djamali, M., De Beaulieu, J.-L., Shah-Hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Amini, A., Akhani, H., Leroy, S.A.G., Stevens, L., Lahijani, H., Brewer, S., ۲۰۰۸. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, Iran. Quaternary Research ۶۹, ۴۱۳-۴۲۰.
- Djamali, M., Akhani, H., Andrieu-Ponel, V., Braconnot, P., Brewer, S., de Beaulieu, J.L., Fleitmann, D., Fleury, J., Gasse, F., Guibal, F. and Jackson, S.T., ۲۰۱۰. Indian Summer Monsoon variations could have affected the early-Holocene woodland expansion in the Near East. The Holocene, ۲۰(۵), pp. ۸۱۳-۸۲۰.
- Dlussky, K.J. ۲۰۰۹. Loess deposits. In: Gornitz, V (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Encyclopedia of earth sciences series. Springer, Dordrecht, Netherlands. ۵۲۲-۵۲۵ pp.
- Driese, S.G. ۲۰۰۹. Paleosols, pre-Quaternary. In: Gornitz, V (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Encyclopedia of earth sciences series. Springer, Dordrecht, Netherlands. ۷۴۸-۴۵۲ pp.
- Fedoroff, N., Courty, M.A., and Guo, Z. ۲۰۱۰. Palaeosols and relict soils. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F (Eds). Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands. ۶۲۳-۶۶۲ pp.
- Feng Z.D. and Johnson W.C. ۱۹۹۵. Factors affecting the magnetic susceptibility of a loess-soil sequence, Barton County, Kansas, USA. Catena, ۲۴: ۲۵-۳۷.
- Fleitmann, D., Burns, S. J., Mangini, A., Mudelsee, M., Kramers, J., Villa, I., ... & Matter, A., ۲۰۰۷. Holocene ITCZ and Indian monsoon dynamics recorded in stalagmites from Oman and Yemen (Socotra). Quaternary Science Reviews, ۲۶(۱-۲), ۱۷۰-۱۸۸.
- Fleitmann, D., Burns, S. J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., & Matter, A. (۲۰۰۳). Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman. Science, ۳۰۰(۵۶۲۶), ۱۷۳۷-۱۷۳۹.

- Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R., Skowronek, A., ۲۰۰۹. Loess chronology of the Caspian Lowland in Northern Iran. *Quaternary International* ۱۹۸, ۲۲۰-۲۳۳.
- Frechen, M., van Vliet Lanoë, B., van den Haute, P., ۲۰۰۱. The Upper Pleistocene loess record at Harmignies/Belgium – high resolution terrestrial archive of climate forcing. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۱۷۳, ۱۷۰-۱۹۰.
- Galovic, L, ۲۰۱۴, Geochemical archive in the three loess/paleosol sections in the Eastern Croatia: Zmajevac I, Zmajevac and Erdut, *Aeolian Research* ۱۰, ۱۱۳-۱۳۲.
- Ganji, M.H., ۱۹۶۸. Climate. In: Fisher, W.B. (Ed.). *The Land of Iran*. Cambridge, ۲۱۲-۲۴۹.
- Ghafarpour, A. Khormali, F. Cheng, L. Song, Y. Forman, S, ۲۰۱۹, Pedogenic maghemite-magnetite likes it hot and dry? Initial insights into the impact of seasonal bias on the formation of pedogenic iron Oxides in northern Iranian loess-paleosol sequences based on temperature dependant susceptibility, *International conference on loess Yerevan Armenia* ۲۰۱۹.
- Ghafarpour, A., Khormali, F., Balsam W., Karimi, A., Ayoubi Sh., ۲۰۱۶. Climatic interpretation of loess-paleosol sequences at Mobarakabad and Aghband, Northern Iran, *Quaternary Research* ۸۶, ۹۰-۱۰۹.
- Charabi, Y with Al-Hatrushi, S. (۲۰۱۰), *Indian Ocean Tropical Cyclones and climate change*, Published by Springer ۳۷۳ p. ۲۰۱۰, ISBN: ۹۷۸-۹۰-۴۸۱-۳۱۰۸.
- Gocke, M., Hambach, U., Eckmeier, E., Schwark, L., Zöller, L., Fuchs, M., Löscher, M., Wiesenberg, G. L. B. , ۲۰۱۴: Introducing an improved multi-proxy approach for paleoenvironmental reconstruction of loess-paleosol archives applied on the Late Pleistocene Nussloch sequence (SW Germany). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* ۴۱۰, ۳۰۰-۳۱۰.
- Guo, Z., and Fedoroff, N. ۱۹۹۰. Genesis of calcium carbonates in loess and in paleosols in Central China. In: L. A., Douglas (Ed.), *Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science*. Development in soil science, Vol. ۱۹, Elsevier.
- Guo, Z., Biscaye, P., Wei, L., Chen, X., Peng, S., Liu, T., ۲۰۰۰. Summer monsoon variations over the last ۱.۲ Ma from the weathering of loess-soil sequences in China. *Geophysical Research Letters* ۲۷, ۱۷۵۱e۱۷۵۴.
- 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., ۲۰۰۲. Onset of Asian desertification by ۲۲ Myr ago inferred from loess deposit in China. *Nature* Vol. ۴۱۶, pp. ۱۵۹-۱۶۳.
- Guo, Z.T., Sun, B., Zhang, Z.S., Peng, S.Z., Xiao, G.Q., Ge J.Y., Hao Q.Z., Qiao Y.S. Liang M.Y., Liu J.F., Yin Q.Z. and Wei J.J. ۲۰۰۸. A major reorganization of Asian climate by the early Miocene. *Climatology of Past*, Vol. ۴, pp. ۱۰۳-۱۷۴.
- Hamer, J. M. M., Sheldon, N. D., Nichols, G. J., & Collinson, M. E. (۲۰۰۷). “Late Oligocene–Early Miocene palaeosols of distal fluvial systems, Ebro Basin, Spain”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۴۷: pp. ۲۲۰-۲۳۰.

- Hardcastle, J., 1990, On the Timaru Loess as a Climatic Register, Transactions and Proceedings of New Zealand Institute, No. 23, pp. 324-332.
- Heller, F., Tungsheng, L., 1984. Magnetism of Chinese loess deposits. Geophysical Journal International 77, 120e141.
- Holser, W.T., 1979. Mineralogy of Evaporites. In: Burns, R.G. (Eds.), Marine Minerals. Mineralogical Society of America Short Course Notes Vol. 6, pp. 124-150.
- Hu, X.F., Wei, J., Xu, L.F., Zhang, G.L., Zhang, W.G. 2009. Magnetic susceptibility of the Quaternary Red Clay in subtropical China and its paleoenvironmental implications Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 279, 216-232.
- ICS, 2011, International Stratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy Copyright
- Imbrie, J., and Imbrie, K.P., 1979. Ice Ages: Solving the Mystery. Enslow Publisher, Short Hills, New Jersey, pp. 1-210.
- Jacobs, P.M., and Mason, J.A., 2000, Impact of Holocene dust aggradation on A horizon characteristics and carbon storage in loess-derived Mollisols of the Great Plains, USA: Geoderma, v. 120, p. 90-106, doi: 10.1016/j.geoderma.2004.07.002
- Jeong, G.Y., Hillier, S., and Kemp, R.A. 2011. Changes in mineralogy of loess-paleosol sections across the Chinese Loess Plateau. Quaternary Research, 75: 240-250.
- Josephs, R.L. 2010. Micromorphology of an Early Holocene Loess-Paleosol Sequence, Central Alaska, U.S.A. Arctic, Antarctic, and Alpine research. 42 (1): 67-70.
- Kadereit, A and Wagner G. A., 2014, Geochronological reconsideration of the eastern European key loess section at Stayky in Ukraine, Clim. Past, 10, 783-796.
- Karimi, A., Khademi, H., Kehl, M., Jalalian, A., 2009. Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran. Geoderma 148, 241-250.
- Karimi, A., Frechen, M., Khademi, H., Kehl, M., and Jalalian, A. 2011. Chronostratigraphy of loess deposits in northeast Iran. Quaternary International, 234, 124-132.
- Kehl, M., Sarvati, R., Ahmadi, H., Frechen, M., Skowronek, A., 2008a. Loess paleosol sequences along a climatic gradient in Northern Iran. Eiszeitalter und Gegenwart 58, 101-110.
- Kehl, M., Frechen, M., Skowronek, A., 2008b. Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the Basin of Persepolis, Southern Iran. Quaternary International 140/141, 130-149.
- Kehl, M., Sarvati, R., Ahmadi, H., Frechen M., and Skowronek, A. 2006. Loess/ paleosol sequences along a climatic gradient in Northern Iran. Eiszeitalter und Gegenwart 55: 149-173.
- Kehl, M., 2009. Quaternary climate change in Iran – the state of knowledge. Erdkunde 63(1), 1-17.

- Kehl, M., ۲۰۱۰. Quaternary loesses, loess-like sediments, soils and climate change in Iran. Gebr. Borntraeger Science Publishers, Stuttgart.
- Khademi, H., Mermut, A.R., ۱۹۹۹. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonate and associated palygorskite in Iranian Aridisols. *European Journal of Soil Science* ۵۰, ۲۰۷-۲۱۶.
- Khademi, H., Mermut, A.R., Krouse, R.H., ۱۹۹۷. Isotopic composition of gypsum hydration water in selected landforms from Central Iran. *Chemical Geology* ۱۳۸, ۲۴۵-۲۵۵.
- Khormali, F., and Abtahi, A. ۲۰۰۳. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals*, ۳۸: ۵۱۱-۵۲۷.
- Khormali, F., Abtahi, A., and Stoops, G. ۲۰۰۶. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran *Geoderma*. ۱۳۲: ۳۱-۴۶.
- Khormali, F., Kehl, M., ۲۰۱۱. Micromorphology and development of loess-derived surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran. *Quaternary International* ۲۳۴, ۱۰۹-۱۲۳.
- Khormali, F., Ghergherechi, S., Kehl, M., Ayoubi, S., ۲۰۱۲. Soil formation in loess-derived soils along a subhumid to humid climate gradient, Northeastern Iran. *Geoderma* ۱۷۹-۱۸۰, ۱۱۳-۱۱۲.
- Khormali, F., Shahriari, A., Ghafarpour, A., Kehl, M., Lehndorff, E., Frechen, M., ۲۰۲۰. Pedogenic carbonates archive modern and past precipitation change—A transect study from soils and loess-paleosol sequences from northern Iran, *Quaternary International* ۵۵۲, ۷۹-۹۰.
- Kühn, P., Terhorst, B., and Ottner, F. ۲۰۰۶. Micromorphology of middle Pleistocene palaeosols in northern Italy. *Quaternary International*. ۱۵۶/۱۵۷: ۱۵۶-۱۶۶.
- Kukla, G., An, Z.S., ۱۹۸۹. Loess stratigraphy in central China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* ۷۲, ۲۰۳-۲۲۵.
- Lateef, A.S.A., ۱۹۸۸. Distribution, provenance, age and palaeoclimatic record of the Loess in Central North Iran. In: *Loess – its distribution, geology and soils*, Eden, D.N., Furkert, R.J. (Eds.), Balkema, Rotterdam, ۹۳-۱۰۱.
- Lauer, T., Suchodoletz, H. von, Vollmann, H., Meszner, S., Frechen, M., Tinapp, C., Goldmann, L., Müller, S., Zielhofer, C., ۲۰۱۴. Landscape aridification in Central Germany during the late Weichselian Pleniglacial – results from the Zauschwitz loess site in western Saxony. *Zeitschrift für Geomorphologie* ۵۸, suppl. ۱, ۲۷-۵۰.
- Leroy, S.A.G., Lahijani, H.A.K., Djamali, M., Naqinezhad, A., Moghadam, M.V., Arpe, K., Shah-Hosseini, M., Hosseindoust, M., Miller, Ch.S., Tavakoli, V., Habibi, P., Naderi Beni, M., ۲۰۱۱. Late Little Ice Age palaeoenvironmental records from the Anzali and Amirkola Lagoons (south Caspian Sea): Vegetation and sea level changes.
- Li, B., Li, S., ۲۰۱۲. Luminescence dating of Chinese loess beyond ۱۳۰ ka using the non-fading signal from K-feldspar. *Quaternary Geochronology*, ۱۰ ۲۴-۳۱.

- Litt, T., Pickarski, N., Heumann, G., Stockhecke, M., Tzedakis, P.C., ۲۰۱۴. A ۶۰۰,۰۰۰ year long continental pollen record from lake Van, eastern Anatolia (Turkey). *Quaternary Science Reviews*, ۱-۱۲.
- Liu, T.S., ۱۹۸۷, *Aspects of Loess Research*, China Ocean Press, Beijing, pp. ۴۴۷.
- Liu, X.M., Liu, T.S., Heller, F., Xu, T.C., ۱۹۹۰. Frequency dependent susceptibility of loess and Quaternary paleoclimate. *Quaternary Sciences* ۱, ۴۱-۵۰.
- Liu, X.M., Hesse, P., Rolph, T., Beget, J.E., ۱۹۹۹. Properties of magnetic mineralogy of Alaskan loess: evidence for pedogenesis. *Quaternary International* ۶۲, ۹۳-۱۰۲.
- Liu, X.M., Hesse, P., Beget, J., Rolph, T., ۲۰۰۱. Pedogenic destruction of ferrimagnetics in Alaskan loess deposits. *Soil Research* ۳۹, ۹۹-۱۱۵.
- Liu, X.M., Xia, D., Liu, D.S., ۲۰۰۷. Discussion on two models of paleoclimatic records of magnetic susceptibility of Alaskan and Chinese loess (in Chinese). *Quaternary Sciences* ۲۷, ۲۱۰-۲۲۰.
- Liu, X., Liu, T., Paul, H., Xia, D., Jiri, C., Wang, G., ۲۰۰۸. Two pedogenic models for paleoclimatic records of magnetic susceptibility from Chinese and Siberian loess. *Science in China Series D: Earth Sciences* ۵۱, ۲۸۴-۲۹۳.
- Lowe, J. J., Walker, M. J. C., (۱۹۹۷). *Reconstructing Quaternary Environments*. ۳rd edition, Longmans, London, p. ۴۴۶.
- Luo, D. and Cha, J., ۲۰۱۲. The North Atlantic Oscillation and the North Atlantic jet variability: Precursors to NAO regimes and transitions. *Journal of the Atmospheric Sciences*, ۶۹(۱۲), pp.۳۷۶۳-۳۷۸۷.
- Machalett, B., Oches, E.A., Zöller, L., Hambach, U., Mavlyanova, N.G., Marković, S., ۲۰۰۸. Aeolian dust dynamics in central Asia during the Pleistocene: driven by the long-term migration, seasonality, and permanency of the Asiatic polar front. *Geochem. Geophys. Geosystems* ۹ (۸), ۱-۲۲.
- Magaldi, D., Tallini, M., ۲۰۰۰. A micromorphological index of soil development for Quaternary geology research. *Catena* ۴۱, ۲۶۱-۲۷۶.
- Maher, B.A., Thompson, R., ۱۹۹۵. Paleorainfall reconstructions from pedogenic MS variations in the Chinese loess and paleosols. *Quaternary Research* ۴۴, ۳۸۳-۳۹۱.
- Maher, B.A. ۱۹۹۸. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosol: paleoclimatic implication. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* ۱۳۷, ۲۵-۵۴.
- Marković, S.B., Stevens, T., Kukla, G.J., Hambach, U., Fitzsimmons, K.E., Gibbard, P., Buggle, B., Zech, M., Guo, Z., Hao, Q., Wu, H., O'Hara Dhand, K., Smalley, I.J., Újvári, G., Sümegei, P., Timar-Gabor, A., Veres, D., Sirocko, F., Vasiljević, A., Jary, Z., Svensson, A., Jović, V., Lehmkuhl, F., Kovács, J., Svirčev, Z., ۲۰۱۵. Danube loess stratigraphy – Towards a pan-european loess stratigraphic model. *Earth-Science Reviews* ۱۴۸, ۲۲۸-۲۵۸.

- Maynard, J. B. (۱۹۹۲). "Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols", *Journal of Geology*, ۱۰۰: pp. ۲۷۹-۲۸۹.
- McTainsh, G., ۱۹۸۷. Desert loess in northern Nigeria. *Z. Geomorph.* ۳۱, ۱۴۵-۱۶۵.
- Meng, X., Derbyshire, E., Kemp, R.A., ۱۹۹۷. Origin of the magnetic susceptibility signal in Chinese loess. *Quaternary Science Reviews* ۱۶, ۸۳۳-۸۳۹.
- Mestdagh, H., Haesaerts, P., Dodonov, A., Hus, J., ۱۹۹۹. Pedosedimentary and climatic reconstruction of the last interglacial and early glacial loess-palaeosol sequence in South Tadjikistan. *Cantena* ۳۵, ۱۹۷-۲۱۸.
- Messager, E., Belmecheri, S., Von Grafenstein, U., Nomade, S., Ollivier, V., Voinchet, P., Puaud, S., Courfin-Nomade, A., Guillou, H., Mgeladze, A. and Dumoulin, J.P., ۲۰۱۳. Late Quaternary record of the vegetation and catchment-related changes from Lake Paravani (Javakheti, South Caucasus). *Quaternary Science Reviews*, ۷۷, pp. ۱۲۵-۱۴۰.
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., Leroy, S.A.G., ۲۰۱۶. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last ۵۰ years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *International Journal of Climatology* ۳۶, ۲۱۵۶-۲۱۷۲.
- Molanejad, M., Soltani, M., Ranjbar SaadatAbadi, A., Babu, C.A., Sohrabi, M., Martin, M.V., ۲۰۱۵. Climatology of Cyclones and Their tracking over Southern Coasts of Caspian Sea. *International Journal of Environmental Research* ۹(۱), ۱۱۷-۱۳۲.
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., Leroy, S.A.G., ۲۰۱۶. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last ۵۰ years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *International Journal of Climatology* ۳۶, ۲۱۵۶-۲۱۷۲.
- Monger H.C., Daugherty L.A., ۱۹۹۱, "Neoformation of palygorskite in a southern New Mexico Aridisols", *Soil Science Society of America Journal* ۵۵, ۱۶۴۶-۱۶۵۰.
- Moore, C.B., and Mason, B., (۱۹۸۲). "Principles of Geochemistry". Wiley, New York, pp. ۲۱۶-۳۴۴.
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E., (۱۹۹۱). *Pollen Analysis*, second edition, Oxford, Blackwell, ۲۱۶.
- Morozova, T.D., and Velichko, A.A. ۲۰۰۹. Paleosols, Quaternary. In: Gornitz, V (Ed). *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*. Encyclopedia of earth sciences series. Springer, Dordrecht, Netherlands. ۷۵۲-۷۵۷ pp.
- Muhs, D.R., Bettis III, E., Roberts, H.M, Harlan, S.S., Paces, J.B., Reynolds, R.L., ۲۰۱۳. Chronology and provenance of last-glacial (Peoria) loess in western Iowa and paleoclimatic implications. *Quaternary Research* ۸۰, ۴۶۸-۴۸۱.
- Mullins, C.E., ۱۹۷۷. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – A review. *Journal of Soil Science* ۲۸, ۲۲۳-۲۴۶.

- Murray, A.S., Schmidt, E.D., Stevens, T., Buylaert, J.-P., Marković, S.B., Tsukamoto, S., Frechen, M., ۲۰۱۴. Dating Middle Pleistocene loess from Stari Slankamen (Vojvodina, Serbia) e limitations imposed by the saturation behaviour of an elevated temperature IRSL signal. *Catena* ۱۱۷, ۳۴۶-۳۶۲.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., ۱۹۸۲. Early Protozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* ۲۲۹, ۷۱۵-۷۱۷.
- Novothny, A., Frechen, M., Horváth, E., Wacha, L., Rolf, C., ۲۰۱۱. Investigating the penultimate and last glacial cycles of the Süttö loess section (Hungary) using luminescence dating, high-resolution grain size, and magnetic susceptibility data. *Quaternary International* ۲۳۴, ۷۵-۸۵.
- Obrecht, I., Bugge, B., Catto, N., Marković, S.B., Bösel, S., Vandenberghe, D.A.G., Hambach, U., Svirčev, Z., Lehmkuhl, F., Basarin, B., Gavrilov, M.B., Jović, G., ۲۰۱۴. The late Pleistocene Belotinac section (southern Serbia) at the southern limit of the European loess belt: environmental and climate reconstruction using grain size and stable C and N isotopes. *Quaternary International* ۳۳۴-۳۳۵, ۱۰-۱۹.
- Okhravi, R., Amini, A., ۲۰۰۱. Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in Northeast Iran. *Global and Planetary Change* ۲۸, ۱۱-۲۲.
- Orlovsky, L., Orlovsky, N., Durdyev, A., ۲۰۰۵. Dust storms in Turkmenistan. *Journal of Arid Environments* ۶۰, ۸۳-۹۷.
- Owliaie H.R., Abtahi A., Heck R.J., ۲۰۰۵. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials on transect, southwestern Iran, *Geoderma* ۱۳۴, ۶۲-۸۱.
- Prochnow, S. J., Nordt, L. C., Atchley, S. C., & Hudec, M. R. (۲۰۰۶). "Multi-proxy paleosols evidence for middle and late Triassic climate trends in eastern Utah", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۳۲: pp. ۵۳-۷۲.
- Qin Huang, C, Feng Tan, W, KuangWang, M and Koopal, L.K, ۲۰۱۴, Characteristics of the fifth paleosol complex (S^۵) in the southernmost part of the Chinese Loess Plateau and its paleo-environmental significance, *Catena* ۱۲۲, ۱۳۰-۱۳۹.
- Rahimzadeh, Neda, Khormali, Farhad, Gribenski, Natacha, Tsukamoto, Sumiko, Kehl, Martin, Pint, Anna, Kiani, Farshad, Frechen, Manfred, ۲۰۱۹, Timing and development of sand dunes in the Golestan Province, northern Iran—Implications for the Late-Pleistocene history of the Caspian Sea, *Aeolian Research* ۴۱ (۲۰۱۹) ۱۰۰-۱۰۳.
- Retallack G. J., ۱۹۹۰, *Soils of the Past: An Introduction to paleopedology*, Unwin Hyman, Boston, ۵۲۰p.
- Retallack, G.J. ۱۹۹۱. Untangling the effects of burial alteration and ancient soil formation. *Annual Review Earth Planet Science*. ۱۹: ۱۸۳-۲۰۶.
- Retallack, G. J. (۱۹۹۹). "Post-apocalyptic greenhouse paleoclimate revealed by earliest Triassic paleosols in the Sydney Basin, Australia", *Geological Society of America Bulletin*, ۱۱۱: pp. ۵۲-۷۰.

- Retallack, G. J. (۲۰۰۱a). "Cenozoic expansion of grasslands and climatic cooling", *The Journal of Geology*, ۱۰۹: pp. ۴۰۷-۴۲۶.
- Retallack, G. J. (۲۰۰۱b). *Soils of the past*, Blackwell, Oxford, ۶۰۰ pp.
- Retallack, G. J., Orr, W. N., Prothero, D. R., Duncan, R. A., Kester, P. R., & Ambers, C. P. (۲۰۰۴). "Eocene-Oligocene extinction and climate change near Eugene, Oregon", *Geological Society of America Bulletin*, ۱۱۶: pp. ۸۱۷-۸۳۹.
- Roberts, N., (۱۹۹۸). *The Holocene: An Environmental History*, ۲nd edition. Oxford, UK, Blackwell Publishers Ltd, ۳۱۶pp.
- Roberts, H.M., Muhs, D.R., Wintle, A.G., Duller, G.A.T., Bettis, E.A., ۲۰۰۳. Unprecedented last-glacial mass accumulation rates determined by dating of loess from western Nebraska. *Quaternary Research* ۵۹, ۴۱۱-۴۱۹.
- Roberts, H.M., ۲۰۱۵. Luminescence Dating, Loess. In: Rink, W.J., Thompson, J.W. (Eds.). *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. Springer, New York, ۴۲۵-۴۳۰.
- Rodwell, M.J. and Hoskins, B.J., ۱۹۹۶. Monsoons and the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, ۱۲۲(۵۳۴), pp.۱۳۸۵-۱۴۰۴.
- Rodwell, M.J. and Hoskins, B.J., ۲۰۰۱. Subtropical anticyclones and summer monsoons. *Journal of Climate*, ۱۴(۱۵), pp.۳۱۹۲-۳۲۱۱.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R., Ortega, B., Lozano, S., Pi, T., Israde, I., Morton, O., ۲۰۱۰. Geochemical record of late Quaternary paleoclimate from lacustrine sediments of paleo-lake San Felipe, western Sonora desert, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. ۲۹, pp. ۵۸۶-۵۹۶.
- Roy, P.D., Sinha, R., and Smykatz-Kloss, W., ۲۰۰۰. Mineralogy and geochemistry of the evaporitic crust from the hypersaline Sambhar Lake playa, Thar Desert. *Chemie der Erde*, Vol. ۶۱, pp. ۲۴۱-۲۵۳.
- Rutter, N.W., Rokosh, D., Evans, M.E., Little, E.C., Chlachula, J., Velichko, A., ۲۰۰۳, Correlation and Interpretation of Paleosols and Loess Across European Russia and Asia Over the Last Interglacial-glacial Cycle, *Quaternary Research*, No. ۶۰, pp. ۱۰۱-۱۰۹.
- Ruxton, P. A. (۱۹۸۶). "Sedimentology, isotopic signature, and ore genesis of the Klein Aub copper mine, South West Africa/Namibia", in Anhaeusser, C. R. & Maske, S. (eds.): *Mineral deposits of southern Africa*: Johannesburg. Geological Society of South Africa, pp. ۱۷۲۵-۱۷۳۸.
- Schmidt, E.D., Tsukamoto, S., Frechen, M., Murray, A.S., ۲۰۱۴. Elevated temperature IRSL dating of loess sections in the East Eifel region of Germany. *Quaternary International* ۳۳۴e۳۳۵, ۱۴۱e۱۵۴.
- Shahriari, A., Khormali, F., Bläsing, M., Vlaminc, S., Kehl M., Frechen, M., Karimi, A., Lehndorff E., ۲۰۱۶, Biomarkers in modern and buried soils of semi-desert and forest ecosystems of northern Iran, *Quaternary International* ۴۲۹.

- Shahriari, A., Khormali, F., Karimi, A., Lehndorff, E., Tazikeh, H., Kehl, M., ۲۰۱۰a. Paleopedological study of loess-paleosol sequences along a climosequence in northern Iran. *Journal of Water & Soil Conservation* ۲۲, ۲۱e۳۹ (with English abstract).
- Shahriari, A., Khormali, F., Karimi, A., Kehl, M., ۲۰۱۰b. In: Using MISECA Index in Paleopedological Studies of Loess-paleosol Sequences along a Climosequence in Northern Iran. ۱۴th Iranian Soil Science Congress (with English abstract).
- Sheldon, N. D. & Tabor, N. J. (۲۰۰۹). "Quantitative paleo-environmental and paleo-climatic reconstruction using paleosols", *Earth-Sciences Reviews*, ۹۰: pp. ۱-۵۲.
- Sheldon, N. D. (۲۰۰۶). "Abrupt chemical weathering increase across the Permian–Triassic boundary", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۳۱: pp. ۳۱۵-۳۲۱.
- Sobecki, T.M., Wilding, L.P., ۱۹۸۳. Formation of calcic and argillichorizons in selected soils of the Texas coast prairie. *Soil Science Society of America Journal* ۴۷, ۷۰۷-۷۱۵.
- Sheldon, N.D., and Tabor, N.J. ۲۰۰۹. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth Science Reviews*. ۹۰: ۱-۵۲.
- Smalley, I.J., Jefferson, I.F., Dijkstra, T.A., Derbyshire, E., ۲۰۰۱. Some major events in the development of the scientific study of loess. *Earth-Science Reviews* ۵۴, ۵-۱۸.
- Smykatz-Kloss W., and Roy, P.D., ۲۰۱۰. Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. ۶۲, No. ۳, pp. ۳۸۰-۳۹۰.
- Sobecki, T. M., and Wilding, L. P. ۱۹۸۳. Formation of calcic and argillic horizons in selected soils of the Texas coast prairie. *Soil Science Society of America*. ۴۷: ۷۰۷-۷۱۵.
- Song, Y.G., Shi, Z.T., Fang, X.M., Nie, J.S., Naoto, I., Qiang, X.K., Wang, X.L., ۲۰۱۰-. Loess magnetic properties in the Ili Basin and their correlation with the Chinese Loess Plateau. *Science in China: Earth Sciences* ۵۳ (۳), ۴۱۹-۴۳۱.
- Stevens, L.R., Djamali, M., Andrieu-Ponel, V., de Beaulieu, J.L., ۲۰۱۲. Hydroclimatic variations over the last two glacial/interglacial cycles at Lake Urmia, Iran. *Journal of Paleolimnology* ۴۷, ۶۴۵-۶۶۰.
- Stoops, G. (۲۰۰۳): Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. ۱۸۴ pp., *Soil Sci. Soc. of America*, Madison, Wisconsin.
- Tabor, Neil J., Roger M.H. Smith, J. Sébastien Steyer, Christian A. Sidor, Christopher J. Poulsen, ۲۰۱۱, The Permian Moradi Formation of northern Niger: Paleosol morphology, petrography and mineralogy, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* ۲۹۹(۱-۲):۲۰۰-۲۱۳.
- Taheri, Mehdi, Khormali, Farhad, Wang, Xin, Amini, Arash, Wei, Haitao, Kehl, Martin, Frechen, Manfred, Chen, Fahu, ۲۰۱۶, Micromorphology of the lower Pleistocene loess in the Iranian Loess Plateau and its paleoclimatic implications, *Quaternary International*, pp. ۱-۱۰.

- Terhorst, J., Schlatterer, C., Song, Y.S., ۲۰۱۰. Multi-locus analysis of genomic time series data from experimental evolution. *PLoS Genet.* ۱۱ (۴), ۱-۲۹. doi: ۱۰.۱۳۷۱/journal.pgen.۱۰۰۰۶۹.
- Thiel, C., Buylaert, J.-P., Murray, A.S., Terhorst, B., Hofer, I., Tsukamoto, S., Frechen, M., ۲۰۱۱. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) - Testing the potential of an elevated temperature post-IR IRSL protocol. *Quaternary International* ۲۳۴, ۲۳-۳۱.
- Thrasher, I.M., Mauz, B., Chiverrell, R.C., Lang, A., ۲۰۰۹. Luminescence dating of glaciofluvial deposits: A review. *Earth-Science Reviews* ۹۷, ۱۳۳-۱۴۶.
- Toulabi Nejad, M. Toulabi Nejad, M. and Tabatabai, S. A. (۲۰۱۷), Adaptation of farmers to climate change and its role in food security of rural households in Poledokhtar township, Natural environmental hazards, ۶(۱۳): ۶۷-۹۰. [In Persian].
- Torrent, J., Liu, Q.S., and Bloemendal, J. ۲۰۰۷. Magnetic enhancement and iron oxides in the upper Luochuan loesspaleosol sequence, Chinese Loess Plateau. *Journal of Soil Science Society of America* ۷۱, ۱۰۷۰-۱۰۷۸.
- Traverse, Alfred, ۲۰۰۷, *Paleopalynology, Second Edition: Provides complete coverage of all aspects of the study of all of the kinds of fossil palynomorphs as yet studied*, ISBN ۹۷۸-۱-۴۰۲۰-۰۶۱۰-۹.
- Turkes, M. and Erlat, E., ۲۰۰۶. Influences of the North Atlantic Oscillation on precipitation variability and changes in Turkey. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica. C, Geophysics and Space Physics*, ۲۹(۱), pp. ۱۱۷-۱۳۰.
- Tutkovskii, P.A., ۱۸۹۹, *The Question of the Method of Loess Formation*, *Zemlevedenie*, No. ۱-۲, pp. ۱۳-۳۱, (in Russian: see *Loess Letter Supplement* ۱۶, ۱۹۸۶).
- Vancampenhout, K., Langohr, R., Slaets, J., Buurman, P., Swennen, R., and Deckers, J. ۲۰۱۳. Paleo-pedological record of the Rocourt pedosequence at Veldwezelt-Hezerwater (Belgian Pleistocene loess belt): Part ۲, Soil formation. *Catena*. ۱۱۰: ۸-۲۳.
- Vandenberghe, J., Renssen, H., Huissteden, K.v., Nugteren, G., Konert, M., Lu, H., Dodonov, A., Buylaert, J.P., ۲۰۰۶. Penetration of Atlantic westerly winds into Central and East Asia. *Quaternary Science Reviews* ۲۵, ۲۳۸۰-۲۳۸۹.
- Van Zeist, W., Bottema, S., ۱۹۷۷. Palynological investigations in western Iran. *Palaeohistoria* ۱۹, ۱۹-۸۰.
- Vlamincx, S., Rolf, C., Shahriari, A., Khormali, F., Frechen, M., and Kehl, M. ۲۰۱۳. The Loess-soil sequence at Now Deh (Northern Iran) and its palaeoclimatic implications deduced from magnetic susceptibility and grain size records. *Research for desert margin regions Conference*. February ۲۰۱۳. Rauschholzhausen, Germany.
- Vlamincx, S., Kehl, M., Lauer, T., Shahriari, A., Sharifi, J., Eckmeier, E., Lehndorff, E., Khormali, F., Frechen, M., ۲۰۱۶. Loess-soil sequence at Toshan (Northern Iran): Insights into late Pleistocene climate change. *Quat. Int.* ۳۹۹, ۱۲۲-۱۳۰.

- Vlaminc, S., Kehl, M., Rolf, C., Franz, S.O., Lauer, T., Lehdorff, E., Frechen, M., Khormali, F., ۲۰۱۸. Late Pleistocene dust dynamics and pedogenesis in Southern Eurasia – Detailed insights from the loess profile Toshan (NE Iran). *Quat. Sci. Rev.* ۱۸۰, ۷۵–۹۵.
- Walker, M. ۲۰۰۵. *Quaternary dating methods*. John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO۱۹ ۸SQ.
- Wang, B., Jia, J., Xia, D., Zhao, S., Li, G., Wei, H., ۲۰۱۴. The investigation of agnetic susceptibility variation mechanism of TienMountains modern loess: Pedogenic or wind intensity model? *Quaternary International* ۲۹۶; ۱۴۱-۱۴۸.
- Wang, X., Lu, H., Li, Z., Deng, C., Tan, H., Song, Y.G., ۲۰۰۳. Peloclimatic significance of mineral magnetic properties of loess sediments in northeastern Qinghai- Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin* ۴۸, ۲۱۲۶e۲۱۳۳.
- Wintle, A.G., ۱۹۷۳. Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature* ۲۴۵, ۱۴۳-۱۴۴.
- Yang, S., Jung, H. S., & Li, C. (۲۰۰۴). “Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geochemical evidence from river sediments”, *Sediment Geology*, ۱۶۴(۱۲): pp. ۱۹-۳۴.
- Yang, S., Ding, F., Ding, Z., ۲۰۰۶. Pleistocene chemical weathering history of Asian arid and semi-arid regions recorded in loess deposits of China and Tajikistan. *Geochimica et Cosmochimica Acta* ۷۰, ۱۶۹۵e۱۷۰۹.
- Zeeden, C., Hambach, U., Veres, D., Fitzsimmons, K., Obrecht, I., Bösken, J., Lehmkuhl, F., ۲۰۱۷ (in press). Millennial scale climate oscillations recorded in the Lower Danube loess over the last glacial period. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. [dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.12.029](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.12.029).
- Zhou, L.P., Oldfield, F., Wintle, A.G., Robinson, S.G., Wang, J.T., ۱۹۹۰. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess. *Nature* ۳۴۶, ۷۳۷-۷۳۹.
- Zhu, R., Matasova, G., Kazansky, A., Zykina, V., Sun, J., ۲۰۰۳. Rock magnetic record of the last glacial-interglacial cycle from the Kurtak loess section, southern Siberia. *Geophysical Journal International* ۱۵۲, ۳۳۵e۳۴۳.
- Ziyae, A., Pashaei, A., Khormali, F. and Roshani, M.R. ۲۰۱۲. Sign of Pedogenesis in loess-paleosol sequences as indicator of paleocilmate, Golestan Province, Iran. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. ۳ (۹):۱۸۰۲-۱۸۱۲.

Zoljoodi, M., Didevarasl, A., & Saadatabadi, A. R. (۲۰۱۳). Dust events in the western parts of Iran and the relationship with drought expansion over the dust-source areas in Iraq and Syria. *Atmospheric and Climate Sciences*, ۳(۰۳), ۳۲۱–۳۳۶.