

بازسازی شرایط محیطی گذشته با استفاده از نشانگرهای زیستی و کانی‌شناسی رسی در رسوبات لسی شمال شرق ایران

علی شهریاری¹ - فرهاد خرمالی^{2*} - مارتین کهل³ - علیرضا کریمی⁴ - مریم موسوی دستنایی⁵ - ایوا لهندورف⁶

تاریخ دریافت: 1392/12/17

تاریخ پذیرش: 1393/11/13

چکیده

رسوبات لسی شمال ایران، منعکس‌کننده چندین چرخه تغییر اقلیم و تکامل سیمای سرزمین برای دوره میانی تا انتهایی کواترنری هستند، از این رو جهت بازسازی شرایط محیطی (اقلیم و پوشش گیاهی) گذشته این مطالعه در دو توالی لس-پارینه خاک (آئیند و نوده) در استان گلستان، در شمال ایران انجام شد. برای این منظور از آزمایشات کانی‌شناسی رسی و نشانگرهای زیستی این-آلکان برای نخستین بار استفاده شد. نتایج کانی‌شناسی رسی در دو توالی لس-پارینه خاک نشان داد که کانی‌های ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت کانی‌های غالب در این رسوبات هستند. تغییرات کانی‌شناسی با مورفولوژی و تکامل خاک در افق‌های مختلف همخوانی داشت، به طوری که کانی‌های اسمکتیت در افق‌های تکامل یافته پارینه خاک‌ها به مقدار زیادتری تشکیل شده‌اند. مطالعات نشانگرهای زیستی این-آلکان به خوبی تغییرات پوشش گیاهی در هر دو توالی را نشان داد. این تغییرات در توالی لس-پارینه خاک نوده شدیدتر بود به صورتی که در پارینه خاک‌های خاکرخ 1 (افق Bk) و خاکرخ 2 (افق ABk) پوشش گیاهی از نوع چمنزار و بوته‌زار (با غالبیت کانی ایلیت) به پوشش جنگلی در پارینه خاک‌های خاکرخ 2 (افق AB و غالبیت اسمکتیت) و خاکرخ 3 (افق Btky و غالبیت اسمکتیت و حضور ورمیکولیت) تغییر می‌کند. نتایج نشان داد که همسویی تغییرات کانی‌شناسی رسی و نتایج نشانگرهای زیستی این-آلکان منعکس‌کننده شرایط اقلیمی و محیطی در زمان تشکیل این خاک‌ها بوده و در بازسازی دقیق‌تر شرایط محیطی گذشته بسیار موثر هستند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم قدیمی، این-آلکان، توالی لس-پارینه خاک

مقدمه

سطح زمین به صورت مستقیم با اقلیم و شرایط محیطی در تماس می‌باشد که باعث حفظ اطلاعات مختلفی در طول تشکیل و تغییر آن می‌شود. معرف‌ها و نشانگرهای موجود در پارینه خاک‌ها می‌توانند به عنوان ابزاری قدرتمند در بازسازی شرایط محیطی گذشته بکار روند (30). به عبارت دیگر، یکی از مهم‌ترین کاربردهای خاک استفاده از آن به عنوان پنجره‌ای به شرایط اقلیمی و محیطی گذشته از طریق پارینه خاک‌ها می‌باشد. پارینه خاک‌های مدفون در شرایط محیطی

گذشته تشکیل شده‌اند ولی توسط رسوبات جوان‌تر مانند لس‌ها، رسوبات انتقال یافته یخچالی و رسوبات آبرفتی دفن شده‌اند و به همین دلیل، به راحتی قابل شناسایی هستند. توالی‌های لس-پارینه خاک در فراهم آوردن اطلاعات و داده‌های مختلف در مورد اقلیم و محیط گذشته می‌توانند بکار گرفته شوند (27).

روش‌های مختلفی در بررسی توالی‌های لس-پارینه خاک به منظور بازسازی شرایط محیطی گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرند که از آن جمله به مطالعات مورفولوژی، میکرومورفولوژی، کانی‌شناسی، (10، 16 و 19) و همچنین مطالعه ماده آلی و نشانگرهای زیستی این-آلکان (28) اشاره نمود.

همبستگی بین کانی‌شناسی خاک و شرایط اقلیمی توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است (4، 12 و 19). بررسی‌های مختلف پیشنهاد داده‌اند که به طور کلی الگوی هوادیدگی کانی‌های رسی از یک منطقه گرم و مرطوب به یک منطقه سرد و خشک از کائولینیت، اسمکتیت، ورمیکولیت، کلریت و

1 و 2 - دانشجوی سابق دکترا و استاد گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* - نویسنده مسئول : (Email: khormali@yahoo.com)

3 - استاد انستیتوی جغرافیا دانشگاه کُن

4 - دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

5 - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

6 - استاد گروه علوم خاک، دانشگاه بُن

آلکان با کربن 31 تقسیم بر این - آلکان با کربن 29 (nC31/nC29) و همچنین نسبت این - آلکان با کربن 31 و 33 بر این - آلکان با کربن 27 و 29 ((nC31+nC33)/(nC27+nC29)) استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که نسبت ((nC31+nC33)/(nC27+nC29)) از دو نسبت دیگر در بازسازی پوشش گیاهی گذشته مناسب‌تر می‌باشد.

رسوبات لسی شمال ایران، منعکس‌کننده چندین چرخه تغییر اقلیم و تکامل سیمای سرزمین برای دوره میانی تا انتهایی کواترنری هستند. در این منطقه توالی‌های لس - پارینه خاک یکی از مهم‌ترین بایگانی‌های زمینی نشان دهنده تغییرات اقلیمی می‌باشند و پلی ارتباطی بین رسوبات لسی جنوب شرقی اروپا و رسوبات لسی آسیای میانه را فراهم می‌کنند. تغییر اقلیم در ارتفاعات ایران و مناطق اطراف آن در اواسط و اواخر دوره کواترنری بسیار بحث برانگیز بوده و در گذشته بر اساس دوره‌های بارندگی و بین‌بارندگی یا یخچالی و بین‌یخچالی مورد بحث قرار گرفته است (15).

با توجه به این که مطالعات مربوط به اقلیم گذشته در ایران بیشتر به صورت توصیفی و بر اساس فرضیه‌های اثبات نشده است و هنوز دید مناسب و روشنی از تغییرات اقلیمی در ایران موجود نیست و از سوی دیگر، تاکنون تنها بخشی از بایگانی‌های رسوبی تغییر اقلیم شامل رسوبات دریاچه‌ای (6) و رسوبات لسی در شمال (16) و شمال شرق ایران (14) مورد مطالعه قرار گرفته است و برای روشن شدن بیشتر تغییرات اقلیمی، تحقیق و مطالعه بیشتر در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. لذا تحقیق حاضر در دو توالی لس - پارینه خاک (آق بند 2 و نوده) با هدف بازسازی شرایط محیطی گذشته شمال شرق ایران در دوره کواترنری با استفاده از نشانگر زیستی این - آلکان جهت بازسازی پوشش گیاهی گذشته برای نخستین بار در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه شامل توالی‌های لس - پارینه خاک در دو منطقه آق‌بند و نوده می‌باشد منطقه آق‌بند در ابتدای پلاتوی لسی شمال ایران قرار داشته و دارای میزان بارندگی کمتری نسبت به منطقه نوده است (جدول 1). جهت نمونه‌برداری، ابتدا پس از کنار زدن خاک رویی، ترانشه‌هایی در محل ایجاد شد و پس از حصول اطمینان از دست نخورده بودن خاک، اقدام به تشریح بر اساس راهنمای تشریح و نمونه برداری صحرائی خاک (24) و نمونه‌برداری از افق‌های خاک شد.

برای صحت‌سنجی و مقایسه با شرایط موجود اقلیمی و پوشش گیاهی، تعداد 6 خاک‌رخ از خاک‌هایی که در شرایط کنونی محیطی تشکیل شده‌اند، در طول یک ردیف اقلیمی⁵ حفر و به صورت مشابه با

فیلولسیلیکات‌های مختلط به کانی ایلیت و میکا می‌رسد (30). برونگر و همکاران (4) کانی‌شناسی بخش‌های شن، سیلت و رس دو پارینه خاک مربوط به دو خاک قدیمی رسوبات لسی تاجیکستان را مطالعه کرد و درباره شدت تغییرات اقلیمی در زمان تشکیل این خاک‌ها بر اساس کانی‌شناسی اظهار نظر کردند. جئونگ و همکاران (12) در بررسی تغییرات کانی‌شناسی پلاتوهای لسی چین دریافتند که کانی‌شناسی می‌تواند منعکس‌کننده تاثیر اندازه ذرات منتقل شده توسط باد و مراحل مختلف هواپدیدی این کانی‌ها در شرایط اقلیمی مختلف (در یک شیب اقلیمی) باشد و ضروری است در مطالعات اقلیم گذشته به‌وسیله کانی‌شناسی این دو مورد مد نظر قرار گیرند. خرمالی و کهل (19) نیز در مطالعه خود بر روی رسوبات لسی و خاک‌های مدفون در شمال ایران در طول یک شیب بارندگی دریافتند که کانی‌های رسی مواد مادری لسی شامل ایلیت < کلریت < اسمکتیت < کائولینیت می‌باشند که با افزایش بارندگی و تحول خاک در منطقه‌ای یا رژیم رطوبتی زیرک¹ کانی اسمکتیت و در منطقه یودیک² کانی ورمیکولیت در خاک‌ها افزایش می‌یابند.

ماده آلی به‌ویژه بخشی که از پارافین موجود در برگ گیاهان مشتق شده است و به دلیل آبریز بودن، می‌تواند به‌صورت درجا در خاک و رسوبات باقی بماند (5) که این پارافین، باقی‌مانده لایه خارجی کوتیکول³ گیاهان، همان این - آلکان‌ها⁴ هستند (28). ترکیب اصلی این - آلکان‌ها از زنجیره‌های بلند کربن (nC25-nC33) است (nC25) یعنی آلکانی با 25 اتم کربن) و اخیراً در تحقیقات بازسازی اقلیم گذشته یکی از مولکول‌های نشانگر قابل اعتنا از نوع چربی هستند که با بررسی تغییرات میزان این - آلکان در زنجیره‌های مختلف به‌عنوان معرف نوع پوشش گیاهی مورد استفاده محققین قرار می‌گیرند (35).

تغییرات الگوهای کربن 27، 29، 31 و 33 این - آلکان (C27-، C29-، C31- و C33-n-alkane) در رسوبات دریاچه‌ای با تغییرات جمعیت گیاهی درختان - درختچه‌ها - علف‌ها همبستگی نشان داد که این یافته‌ها با نتایج آزمایشات گرده‌شناسی هم‌خوانی داشتند (28). زچ و همکاران (35) در بررسی یک توالی لس - پارینه خاک در آلمان با استفاده از نشانگر زیستی این - آلکان و تغییرات این نسبت موفق به بازسازی پوشش گیاهی گذشته شدند. آنها مشاهده نمودند که در پوشش گیاهی چمنزار، میزان کربن 31 و 33 (nC31 و nC33) و در پوشش‌های گیاهی درختی (جنگلی) و بیشه زار میزان کربن 27 و 29 (nC27 و nC29) غالب بودند. زچ و همکاران (36) برای بازسازی پوشش گیاهی گذشته از سه نسبت میزان این - آلکان با کربن 31 تقسیم بر این - آلکان با کربن 27 (nC31/nC27) و نسبت میزان این -

1-Xeric

2- Udic

3- Remnants of epicuticular waxes

4- n-Alkane

5- Climosequence

پارینه خاک‌ها تشریح و نمونه‌برداری و بر اساس سیستم تاکسونومی (31) طبقه‌بندی شدند (جدول 2).

جدول 1- اطلاعات عمومی توالی‌های لس-خاک قدیمی مورد مطالعه
Table 1. General information of the studied loess-palaeosol sequences

منطقه	نوع کاربری	متوسط دمای سالیانه	متوسط بارندگی سالیانه	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
Region	Land use	Mean annual temperature (°C)	Mean annual precipitation (mm)	Altitude (m a.s.l.)	Latitude	Longitude
آق‌بند	مرتع	17	350	170	37° 37' 10"N	55° 09' 42"E
Agh Band	Grassland					
نوده	مرتع	17.5	600	172	37° 05' 50"N	54° 12' 58"E
Nowdeh	Grassland					

جدول 2- خصوصیات عمومی خاک‌های خاک مورد مطالعه
Table 2. General properties of the studied modern soil profiles

منطقه	رده بندی	افق‌های خاک	نوع کاربری	متوسط دمای سالیانه	متوسط بارندگی سالیانه	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
Region	Soil classification	Soil horizons	Land use	Mean annual temperature (°C)	Mean annual precipitation (mm)	Altitude (m a.s.l.)	Latitude	Longitude
هوتن	Typic Xerorthents	A/ Cy/ C	مرتع	18	200	142	37°55'22"N	55°28'29"E
Hutan			Grassland					
خالد نبی	Typic Haploxerepts	A/ Bw/ C/ Cy	مرتع	17.5	330	380	37°42'01"N	55°24'30"E
Khaled Nabi			Grassland					
یلی بدرغ	Typic Calcixerolls	A/ AB/ Bk1/ Bk2	مرتع	17	480	203	37°28'38"N	55°30'54"E
Yellibadragh			Grassland					
آق امام	Calcic Pachic Argixerolls	A/ AB/ Bt/ Bk	بوته زار	17	600	320	37°06'44"N	55°13'00"E
Agh Emam			Shrub land					
گرگان	Calcic Haploxeralfs	A/ Bw/ Bt/ Btk/ Bk/ Ck	جنگل	17	670	218	36°47'57"N	54°20'39"E
Gorgan			Forest					
نکا	Typic Argixerolls	A/ Bt1/ Bt2/ Btk	بوته زار	16.5	750	116	36°39'37"N	53°20'46"E
Neka			Shrub land					

درجه سانتی‌گراد تهیه گردید و جهت شناسایی کانی‌های رسی نمونه‌ها از دستگاه پراش پرتو ایکس¹ استفاده گردید. مطالعه نیمه کمی کانی‌ها بر اساس سطح زیرمنحنی پیک‌های رده اول کانی‌های یافته شده در تیمار منیزیم-گلیسرول و شدت این پیک‌های انجام شد (13).

برای انجام آزمایش اندازه‌گیری معرف‌های زیستی این-آلکان، از برخی افق‌های شناسایی که دارای ماده آلی بیشتری بودند و در نتیجه امکان انجام این آزمایش در آن‌ها فراهم بود از روش زچ و گلیزر (34) و البته با کمی تغییر و اصلاح استفاده شد. ابتدا برای جداکردن بخش

کلیه نمونه‌ها به منظور آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی هوا خشک گردیده و پس از کوبیده شدن از الک 2 میلی‌متری (شماره 10) عبور داده شدند و مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از روش‌های ذیل انجام شد. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری (3) استفاده شد. کربن آلی خاک با استفاده از روش اکسایش تر (33) و کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش پیچ و همکاران (25) اندازه‌گیری شدند.

نمونه‌های خاک عبور داده شده از الک 2 میلی‌متری به منظور خالص‌سازی رس استفاده شد. برای از بین رفتن عوامل شیمیایی سیمان‌کننده و جداشدن ذرات رس از یکدیگر روش‌های مهرا و جکسون (22)، کیتریک و هوپ (20) و جکسون (11) بکار گرفته شد. سپس از هر نمونه رس به دست آمده، چهار تیمار شامل منیزیم، منیزیم و گلیسرول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در دمای 550

1 - دستگاه پرتو ایکس (XRD) مدل D8 ADVANCE (در زوایای 2θ بین 2 تا 30 درجه، ولتاژ 40 کیلو ولت و جریان 30 میلی آمپر)

چمنزار⁸ است و هر چه کمتر، نشان‌دهنده پوشش‌های بیشه‌زار و جنگلی⁹ می‌باشد (35):

$$(nC31+nC33)/(nC27+nC29)$$

شابان ذکر است که برای انجام صحت‌سنجی آزمایش نشانگرهای زیستی از افق سطحی 6 خاک‌خ حفر شده در طول ردیف اقلیمی استفاده شد. البته نوع افق‌های شناسایی و رده‌بندی این خاک‌ها نشان‌دهنده وجود این ردیف اقلیمی و شیب اکولوژیکی است.

نتایج و بحث

نتایج مطالعات مورفولوژی و آزمایشات فیزیک و شیمیایی عمومی توالی لسی-پارینه خاک آق‌بند (شکل 1) و نوده (شکل 2) نشان داد که پارینه خاک‌های یافت شده در منطقه آق‌بند به لحاظ تکاملی در سطح پایینی نسبت به پارینه خاک‌های یافت شده در منطقه نوده هستند. مقدار کربن آلی خاک، بسیار کم است حتی در افق خاک مدرن¹⁰ توالی آق‌بند که حدود 0/5 درصد است که خود نشان‌دهنده شرایط اقلیمی کنونی در این منطقه می‌باشد. مقدار کربنات کلسیم معادل به صورت میانگین در اکثر افق‌ها حدود 20 درصد می‌باشد که شرایط اقلیمی را نشان می‌دهد و از سوی دیگر نیز با توجه به نظر پیچی (26) حضور این مقدار کربنات جزء خصوصیات اصلی مواد لسی است. میزان شن حدود 20-10 درصد به صورت میانگین در بین افق‌ها تغییر می‌کرد.

سیلت، ذره غالب در این توالی‌های لسی می‌باشد که در بیشتر افق‌ها بیش از 50 درصد ذرات را تشکیل می‌دهد. با توجه به منشأ بادرقتی رسوبات لسی، غالب بودن سیلت مورد تایید بسیاری از محققین می‌باشد و جزء خصوصیات اصلی این خاک‌ها می‌باشد (23). به صورت میانگین حدود 40-20 درصد رس در افق‌های مختلف مشاهده شد، البته با توجه به الگوی تغییرات کربنات کلسیم معادل مشاهده می‌شود که با کاهش این پارامتر مقدار رس عموماً در افق‌ها افزایش می‌یابد که نشان از شستشو و تخلیه آهک از این افق‌ها است. این نتایج با یافته‌های دیگر محققین که در این توالی‌های مطالعاتی انجام داده‌اند (10، 16 و 19)، مشابه بودند.

حضور یک افق کمبیک نسبتاً ضخیم در منطقه آق‌بند در پارینه خاک‌ها و عدم حضور این افق شناسایی در خاک‌های مدرن این منطقه، نشان‌دهنده شرایط اقلیمی و محیطی مناسب‌تر در زمان تشکیل این افق است (10) و می‌توان گفت میزان بارندگی در آن دوره بیشتر از زمان کنونی بوده است.

چربی کل استخراج شده¹ ماده آلی از 36 گرم نمونه خاک و دستگاه تسریع‌کننده عصاره‌گیری با حلال² استفاده شد. مدت عصاره‌گیری برای هر نمونه حدود 20 دقیقه در دمای 120 درجه سانتی‌گراد و در فشار 100 بار و حلال مورد استفاده محلول دی‌کلرو متان با متانول به نسبت 9 به 1 بود. پس از عصاره‌گیری و تغلیظ، عصاره‌ها به ظرف کوچکی منتقل شدند تا به صورت کامل تبخیر شوند. باقیمانده جامد عصاره‌ها در ظرف‌های کوچک، مقدار چربی کل استخراج شده (TLE) نامیده می‌شود. این پارامتر به راحتی از تقسیم وزن باقیمانده جامد عصاره بر وزن خاک مورد عصاره‌گیری قابل محاسبه می‌باشد. مرحله بعدی به عصاره‌گیری فاز جامد³ مشهور است. در این مرحله، عصاره‌های باقی‌مانده در ظروف را پس از حل کردن در حدود یک میلی‌لیتر حلال این-هگزان، به ستون سیلیکا ژل فعال⁴ (حاوی 2 گرم سیلیکا ژل که به مدت 4 ساعت در دمای 200 درجه سانتی‌گراد خشک شده) اضافه شدند و سپس 4 میلی‌لیتر حلال این-هگزان دیگر به ستون اضافه گردید. عصاره جمع‌آوری شده حاوی این-آلکان بوده و میزان این-آلکان‌های آن پس از تغلیظ، به وسیله دستگاه کروماتوگراف گازی که مجهز به یک شناساگر یونیزه شعله بوده⁵، اندازه‌گیری می‌شود. نسبت‌ها و مقادیر مختلفی به شرح زیر از نتایج اندازه‌گیری این-آلکان‌ها محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. مجموع این-آلکان‌ها با زنجیره بلند⁶ (36):

$$\text{SUM of the long-chain (nC25-nC33) n-alkanes} \\ (\mu\text{g/g}) = \\ (nC25+nC26+nC27+nC28+nC29+nC30+nC31+nC32+nC33)$$

مقدار میانگین طول زنجیره‌های⁷ که شاخص متوسط وزنی غلظت آلکان‌های 27 تا 33 می‌باشد و نشان‌دهنده شرایط اقلیمی می‌باشد. گیاهانی که در مناطق گرم و مرطوب‌تر رشد کرده‌اند میزان میانگین طول زنجیره‌های در آن‌ها نسبت به گیاهان مناطق سرد و خشک‌تر بیشتر می‌باشد (37):

$$\text{ACL } (\mu\text{g/g}) = (27 * C27 + 29 * C29 + 31 * C31 + 33 * C33) / \\ (C27 + C29 + C31 + C33)$$

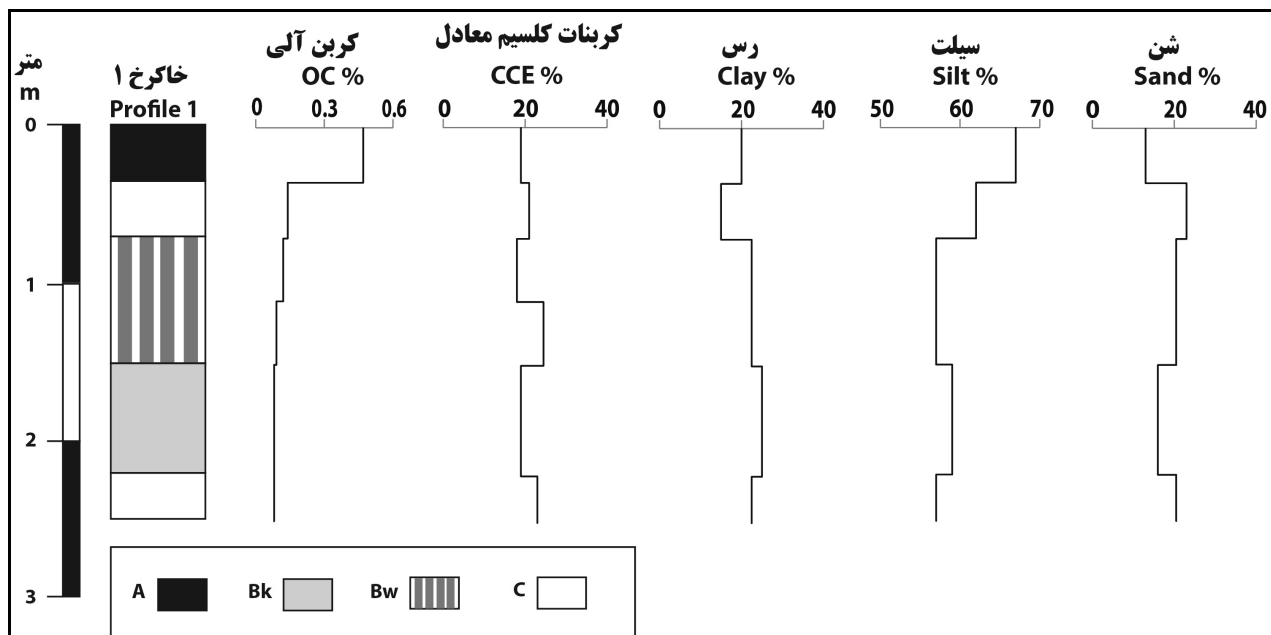
نسبت این-آلکان با کربن 31 و 33 بر این-آلکان با کربن 27 و 29 که هر چه این نسبت بیشتر باشد نشان‌دهنده پوشش‌های گیاهی

- 1 - Total lipid extraction (TLE)
- 2 - Accelerated solvent extraction (ASE)/ASE 350 DIONEX/Thermo Fisher)
- 3 - Solid phase extraction (SPE)
- 4 - Activate silica gel
- 5 - Gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (GC-FID)/ GC 7890A, Agilent
- 6 - SUM of the long-chain (nC25-nC33) n-alkanes
- 7 - Average chain length (ACL)

8 - Grassland

9 - Shrub and forest (tree)

10 - منظور از خاک مدرن در این مطالعه، خاکی است که در شرایط اقلیمی کنونی تشکیل شده‌اند.



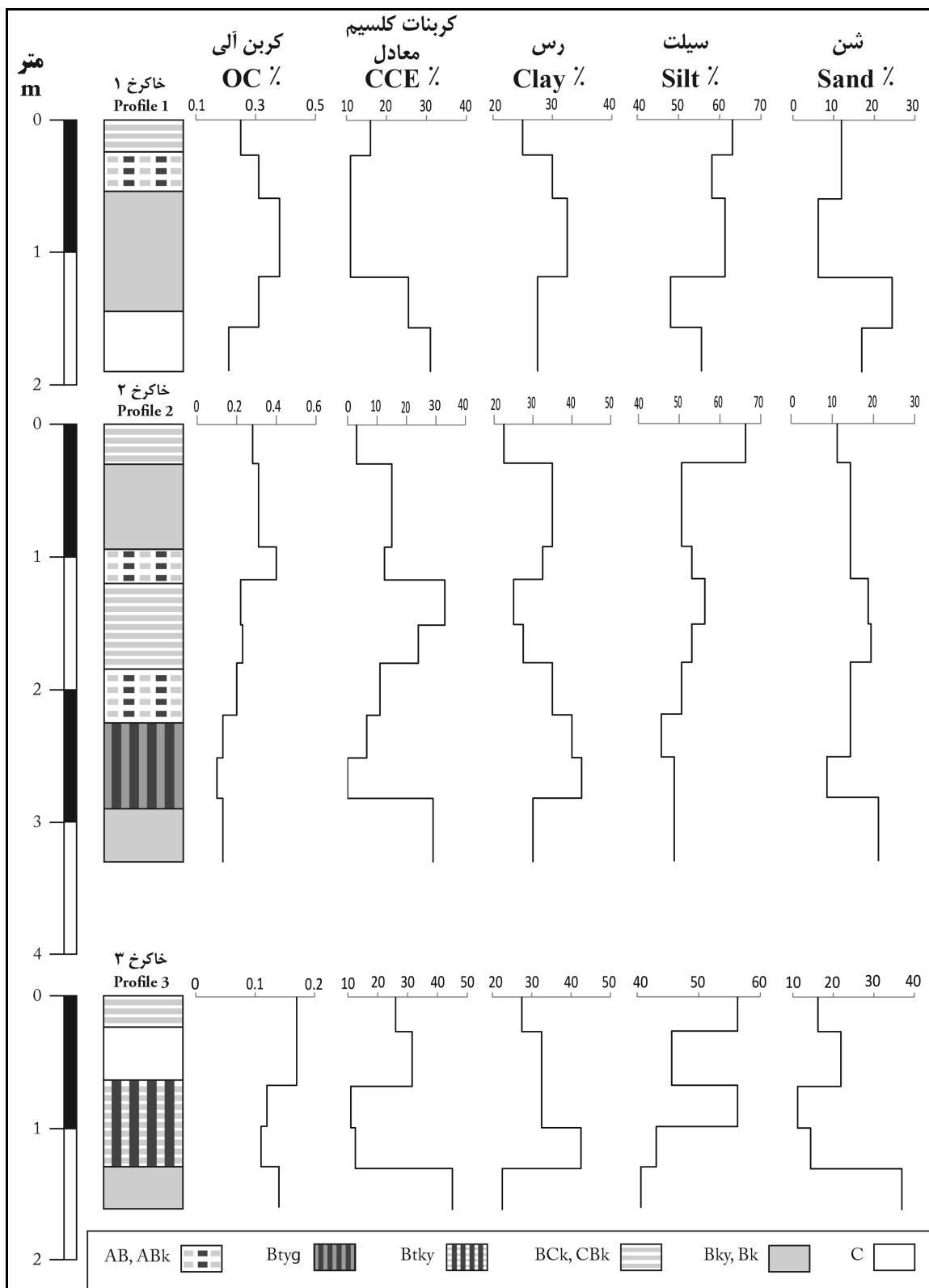
شکل 1- تغییرات عمقی اندازه ذرات، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی توالی لس-پارینه خاک آق‌بند
 Figure 1- Depth changes of particles size, CCE, OC in Agh Band loess-palaeosol sequence

جدول 3- نتایج کانی‌شناسی رسی توالی‌های لس-پارینه خاک مورد مطالعه

Table 3- Clay mineralogy results of studied loess-palaeosol sequences

منطقه / افق Region/Horizon	کانیهای مختلط Mixed layer	کائولینیت Kaolinite	ورمیکولیت Vermiculite	اسمکتیت Smectite	کلریت Chlorite	ایلیت Illite
A /AG	+	+	-	+	++	+++
C /AG	-	++	-	+	+++	++++
Bw /AG	-	++	-	+	++	+++
Bk /AG	-	+	-	++	+++	++++
C /AG	-	++	-	+	+++	++++
CBk Profile 1//ND	-	+	-	++	++	+++
ABk Profile 1//ND	-	++	-	+	++	+++
Bk Profile 1//ND	-	+	-	+	++	+++
C Profile 1//ND	-	+	-	++	++	+++
Bk Profile 2//ND	-	+	+	++	+	+++
ABk Profile 2//ND	+	+	-	+++	++	+++
CBk Profile 2//ND	+	+	-	++	++	+++
AB Profile 2//ND	++	+	-	+++	++	++
Btgy Profile 2//ND	++	+	-	++++	+	++
C Profile 3//ND	+	+	-	++	+++	++
Btky Profile 3//ND	-	+	++	+++	++	+++
Bky Profile 3//ND	++	+	-	++	+++	+++

* توالی آق‌بند: AG، توالی نوده: ND، عدم حضور کانی: -، 15 درصد: +، 30-15 درصد: ++، 50-30 درصد: +++، >50 درصد: ++++.
 Agh Band sequence: AG, Nowdeh sequence: ND, Absence of mineral: -, 15



شکل 2- تغییرات عمقی اندازه ذرات، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی توالی لس-پارینه خاک نوده
 Figure 2- Depth changes of particles size, CCE, OC in Nowdeh loess-palaeosol sequence

در توالی لس-پارینه خاک آق‌بند، تغییرات کانی‌شناسی رسی بسیار کم است و این رخداد به علت تکامل پایین خاک‌های این منطقه که نتیجه شرایط اقلیمی نامناسب (دمای بالا و بارندگی کم) می‌باشد، اتفاق افتاده است. غفارپور (10) نیز در بررسی‌های کانی‌شناسی رسی که در این توالی انجام داد به نتایج مشابهی دست یافت. در افق سطحی میزان کانی ایلیت کمتر از مواد مادری است و از سوی دیگر کمی کانی مختلط ایلیت-اسمکتیت حضور دارد. این تغییرات می‌تواند نشان دهنده تبدیل کانی ایلیت به اسمکتیت در این افق باشد (29).

در خاکرخ 1 توالی لس-پارینه خاک نوده مانند آق‌بند تغییرات زیاد تکاملی و به طبع کانی‌شناسی دیده نمی‌شود اما با توجه به تغییرات بیشتر در دو خاکرخ دیگر این توالی و وجود لایه‌ای ضخیم از لس در بالا (حدود 8 متر) و لایه‌ای یک متری در زیر این خاکرخ (17) شاید بتوان نتیجه گرفت که این خاکرخ در یک شرایط گرم‌تر از یخبندان³ تشکیل شده است. نتایج سن‌سنجی اولیه فرچن و همکاران (9) نشان داد که این خاکرخ احتمالاً متعلق به دوره سوم ایزوتوبی اقیانوسی⁴ (کمتر از 60000 سال پیش) که دوره‌ای نسبتاً گرم‌تر و پیش از دوره دوم (آخرین یخبندان بیشینه⁵) می‌باشد که با این یافته‌ها هم‌خوانی دارد.

در خاکرخ 2 توالی لس-پارینه خاک نوده، افق‌ها دارای تکامل بیشتری هستند و تغییرات کانی‌شناسی مشهودتر است. کاهش ایلیت و کلریت در افق AB و افزایش اسمکتیت نشان از تبدیل این کانی‌ها به یکدیگر دارد. جئونگ و همکاران (12) معتقدند که در رسوبات لسی با هوادیدگی بیوتیت، کلریت و ایلیت میزان کانی قابل انبساط افزایش می‌یابند. همچنین همان‌طور که در مورد توالی آق‌بند گفته شد، حضور کانی ایلیت-اسمکتیت به همراه افزایش کانی اسمکتیت و کاهش مقدار ایلیت نشان از تبدیل این دو کانی به یکدیگر دارد (29). از سوی دیگر، به دلیل افزایش میزان رس به همراه تکامل بیشتر و افزایش اسمکتیت، اعتقاد بر شستشو و انتقال این کانی از افق‌های بالایی و تجمع در افق‌های زیرین است (18). اما در افق Btg شاید یکی دیگر از دلایل غالب بودن کانی اسمکتیت شرایط زهکشی ضعیف می‌باشد (جدول 3). با توجه به نظر خرمالی و ابطی (18) که سه فرایند نوتشکیلی از محلول خاک (در شرایط زهکشی ضعیف)، تبدیل از سایر کانی‌ها (در شرایط مطلوب) و منشأ ارثی را برای حضور اسمکتیت در خاک بیان کردند، به نظر می‌رسد در این مطالعه هر سه فرایند در حضور این کانی دخیل بوده‌اند. خرمالی و کهل (19) دلیل

در مورد سن سنجی این توالی مطالعه‌ای صورت نگرفته است ولی در مطالعه‌ای که کهل و همکاران (17) در یک توالی دیگر در این منطقه انجام دادند، دریافتند که پارینه خاک‌های یافت شده مربوط به دوره‌ای گرم در مرحله 5 ایزوتوبی اقیانوسی¹ (کمتر از 127000 سال پیش) می‌شوند. اما در توالی لس-پارینه خاک نوده چندین پارینه خاک مورد شناسایی قرار گرفت که نشان‌دهنده دوره‌های مختلف خاک‌سازی می‌باشد. حدود 5 دوره مختلف خاک‌سازی در این توالی گزارش شده است که قدیمی‌ترین بخش آن مربوط به دوره گرم مرحله 7 ایزوتوبی اقیانوسی² (کمتر از 240000 سال پیش) می‌باشد (9 و 17).

حضور افق شناسایی آرچلیک در خاکرخ‌های دوم و سوم توالی لس-پارینه خاک نوده، نشان از شرایط اقلیمی مناسب‌تری نسبت به پارینه خاک‌های منطقه آق‌بند و همچنین پارینه خاک‌های دیگر در این توالی لس-پارینه خاک دارد. نکته قابل توجه دیگر در توالی نوده، حضور افق‌های ضعیف A با مقدار ماده آلی کمی بیشتر و رنگ تیره در این رسوبات بود که در بررسی‌های نشانگر زیستی بسیار کارایی داشتند.

بررسی نتایج آزمایشات کانی‌شناسی رسی توالی آق‌بند و نوده (جدول 3) حضور کانی‌های ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت را در تمام افق‌های خاک نشان داد. با توجه به حضور مشخص این کانی‌ها در مواد مادری لسی (افق C) که به لحاظ تکاملی و میزان هوادیدگی در پایین‌ترین سطح قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که بخش عمده این کانی‌ها منشأ ارثی دارند و کانی‌های اصلی مواد مادری لس‌های مناطق شمال ایران هستند. مطالعات متعدد انجام شده در این مناطق نیز موید این موضوع می‌باشند (29، 10 و 19). ایلیت و کلریت کانی‌های غالب این خاک‌ها بخصوص در افق‌هایی با تکامل کم هستند که دلیل این غالب بودن احتمالاً به دلیل حضور این دو کانی در مواد مادی می‌باشد (1).

علاوه بر این کانی‌ها، حضور کانی ورمیکولیت و کانی‌های مختلط (بیشتر از نوع ایلیت-اسمکتیت) نیز در برخی از افق‌ها مشاهده گردید که از حضور یا عدم حضور و تغییرات نسبت کانی‌های مختلف در افق‌های خاک جهت بررسی میزان هوادیدگی خاک و همچنین شرایط محیط تشکیل استفاده شد. حضور کائولینیت در هر دو منطقه در افق‌های مواد مادری لسی بیشتر از دیگر افق‌ها می‌باشد، لذا بر خلاف انتظار، میزان بیشتر کائولینیت در افق‌های لسی نسبت به پارینه خاک‌ها در مناطق مورد مطالعه دلالت بر این موضوع دارد که این کانی منشأ به ارث رسیده از مواد مادری داشته باشد (10).

3 - Interstadial

4 - Marine Isotope Stage 3 (MIS 3)

5 - Last Glacial Maximum (LGM)

1 - Marine Isotope Stage 5e (MIS 5e)

2 - Marine Isotope Stage 7 (MIS 7)

نمونه‌های گیاهی بیشترین میزان میانگین طول زنجیره‌ای را در دو نوع گیاه چمنی گزارش کردند.

نتایج بررسی‌های تغییرات نسبت این-آلکان با کربن 31 و 33 بر این-آلکان با کربن 27 و 29 ($nC31 + nC33 / nC27 + nC29$) نشان داد که این نسبت به خوبی می‌تواند در بازسازی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد. این نسبت در خاک هوتن بیشترین مقدار (1/44) را داراست. پوشش گیاهی این منطقه از نوع چمنزار بوده و شرایط اقلیمی (بیشترین دما و کمترین بارندگی) بر روی تراکم و پایداری پوشش گیاهی و به طبع میزان کربن آلی تأثیر می‌گذارد. مقدار این نسبت در مناطق خالندبی و یلی برداغ که پوشش چمنزار متراکم داشته و مناطق آق امام و نکا که دارای بوته‌زار (غالباً تمشک) هستند حدود 1 است. کمترین مقدار این نسبت (0/73) در منطقه گرگان با پوشش جنگلی می‌باشد، به عبارت دیگر، هرچه این پارامتر کمتر باشد نشان دهنده پوشش گیاهی جنگلی متراکم‌تر می‌باشد (36). نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با بکارگیری الگوی تغییرات نسبت ($nC31+nC33/nC27+nC29$) و میزان میانگین طول زنجیره‌ای به تفسیر و بررسی دقیق‌تر نتایج آزمایشات نشانگر زیستی در پارینه خاک‌های مورد مطالعه جهت بازسازی پوشش گیاهی پرداخت.

مقدار بسیار کم کربن آلی در پارینه خاک‌های مورد مطالعه بکارگیری روش نشانگرهای زیستی را دچار محدودیت‌هایی نمود و به همین دلیل با توجه به ضخامت پارینه خاک‌ها، برخی افق‌های اصلی (بیشتر A) که ماده آلی بیشتری داشتند، مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به الگوی تغییرات نسبت ($nC31+nC33/nC27+nC29$) و میزان میانگین طول زنجیره‌ای در توالی لس-پارینه خاک آق‌بند (جدول 4) نشان دهنده غالب بودن چمنزارهای متراکم‌تر و یا بوته‌زار در پارینه خاک مورد مطالعه (Bw) در این توالی بود. با توجه به این دو پارامتر به نظر می‌رسد این افق در شرایط پوشش گیاهی بهتر و اقلیم مناسب‌تری (بارندگی بیشتر) نسبت به زمان کنونی تشکیل شده است. نتایج مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی انجام‌شده در این توالی لس-پارینه خاک نیز نشان داد که میزان پذیرفتاری مغناطیسی در این پارینه خاک (افق) دهنده تکامل و بارندگی بیشتر می‌باشد (10).

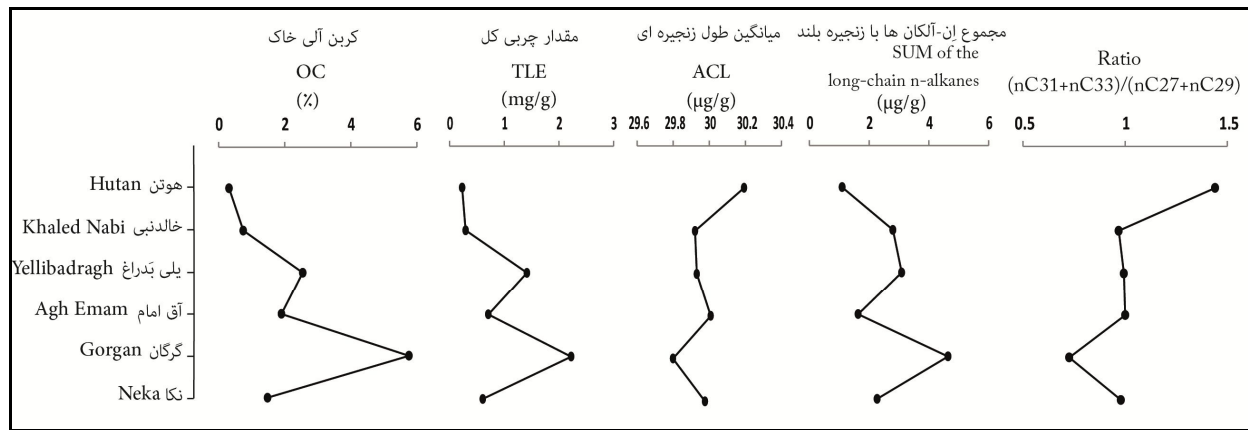
تغییرات پوشش گیاهی در توالی لس-پارینه خاک نوده با توجه به مقادیر نسبت ($nC31+nC33/nC27+nC29$) و میزان میانگین طول زنجیره‌ای نشان دهنده پوشش گیاهی جنگلی در سه پارینه خاک در خاک‌های مختلف این توالی است و می‌توان گفت که این تغییرات نشان دهنده تغییر در شرایط اقلیمی در دوره‌های مختلف می‌باشد. کهل و همکاران (17) در مطالعه خود در توالی لس-پارینه خاک نوده دریافتند که توالی‌های لس-پارینه خاک در این توالی نشان دهنده چندین دوره یخچالی و بین‌یخچالی هستند. این تغییرات اقلیمی دلیل تغییر در پوشش گیاهی در دوره‌های مختلف می‌باشد.

افزایش کانی اسمکتیت را میزان رطوبت در دسترس مناسب در رژیم رطوبتی زیرک دانستند.

در خاکرخ 3 توالی لس-پارینه خاک نوده، شرایط تغییرات کانی‌ها مانند خاکرخ 2 بوده با این تفاوت که در افق Btky کانی ورمیکولیت نیز حضور دارد (جدول 3). بر اساس نظر اگلی و همکاران (8) میزان بارندگی زیاد و ترکیبات کلات‌های آلی، دلیل حضور ورمیکولیت و تبدیل آن از کانی ایلیت تحت تأثیر اسیدهای آلی می‌باشد. به عبارت دیگر، با بارندگی زیاد (شستشو پتاسیم) و پوشش گیاهی جنگلی و حضور ماده آلی زیاد تشکیل ورمیکولیت از ایلیت اتفاق می‌افتد (7). نتایج آزمایشات نشانگرهای زیستی بخصوص در این افق می‌تواند تکمیل کننده این یافته‌ها باشند.

نتایج آزمایشات نشانگرهای زیستی در افق‌های سطحی (A) خاک‌های مدرن در طول یک ردیف اقلیمی نشان داد (شکل 3) که با افزایش بارندگی میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه خاکرخ آق‌امام و نکا در حاشیه زمین‌های کشاورزی (باغ) قرار داشتند به نظر می‌رسد فعالیت‌های انسانی بر تغییرات کربن آلی این خاک‌ها اثر گذاشته‌اند. میزان چربی کل ماده آلی خاک به شدت به میزان کربن آلی بستگی دارد و تغییرات این پارامتر از تغییرات کربن آلی پیروی می‌کند. کمترین مقدار چربی کل ماده آلی (0/23 میلی گرم بر گرم) در خاک هوتن که دارای کمترین مقدار کربن آلی (0/31 درصد) بود. بیشترین مقدار آن (2/22 میلی گرم بر گرم) در خاک گرگان که بیشترین مقدار کربن آلی (5/74 درصد) را دارا بود، مشاهده شد. مقدار مجموع این-آلکان‌ها با زنجیره بلند نیز از الگوی تغییرات درصد کربن آلی خاک و میزان چربی کل ماده آلی خاک پیروی می‌کند که این مسئله با توجه به فرمول محاسباتی این پارامتر مورد انتظار بوده و نشان دهنده رابطه این پارامتر به‌عنوان جزئی از آن دو پارامتر می‌باشد. زچ و همکاران (36) نیز در مطالعه خود بیشترین مقدار مجموع این-آلکان‌ها با زنجیره بلند را در افقی آلی¹ (ماده آلی زیاد) مشاهده کردند که نشان دهنده رابطه مستقیم بین این دو پارامتر می‌باشد.

الگوی تغییرات مقدار میانگین طول زنجیره ای (ACL) مانند الگوی تغییرات نسبت این-آلکان با کربن 31 و 33 بر این-آلکان با کربن 27 و 29 است که البته با توجه به روش محاسبه میانگین طول زنجیره‌ای پارامتر، این اتفاق دور از انتظار نیست. بیشترین مقدار این پارامتر (30/19 میکرو گرم بر گرم) در خاک هوتن که دارای پوشش مرتعی (چمنزار) است مشاهده شد. بای و همکاران (2) دریافتند که مقدار بالای میانگین طول زنجیره‌ای به دلیل حضور پوشش چمنزار بوده که دارای مقدار زیادی این-آلکان با کربن 31 است. همچنین لی و همکاران (21) در بررسی نشانگرهای زیستی این-آلکان در



شکل 3- نتایج آزمایشات نشانگرهای زیستی در خاک های مدرن در طول یک ردیف اقلیمی (از هوتن به سمت نکا، بارندگی افزایش می‌یابد)
 Figure 3- Results of biomarker analysis in modern soil profiles along a climosequence (precipitation increases from Hutan to Neka)

جدول 4- نتایج آزمایشات نشانگرهای زیستی در توالی‌های لس-پارینه خاک مورد مطالعه
 Table 4- Results of biomarker analysis in studied loess-palaeosol sequences

منطقه / افق	(nC31+nC33) / (nC27+nC29)	مجموع ان-آلکان ها با زنجیره بلند	میانگین طول زنجیره ای	چربی کل استخراج شده	کربن آلی
Region/Horizon	(nC31+nC33) / (nC27+nC29)	SUM of the long-chain n-alkanes (µg/g)	ACL (µg/g)	TLE (mg/g)	OC درصد
A /AG	1.11	0.52	30.04	0.26	0.47
Bw /AG	1	0.56	29.95	0.12	0.14
Bk Profile 1//ND	0.99	1.2	29.92	0.17	0.38
ABk Profile 2//ND	0.91	0.84	29.81	0.15	0.4
AB Profile 2//ND	0.64	0.54	29.46	0.16	0.2
Btky Profile 3//ND	0.66	0.75	29.54	0.14	0.11

* توالی آق بند: AG، توالی نوده: ND.

*. Agh Band sequence: AG, Nowdeh sequence: ND

مطالعه استفاده نمودند ولی پس از تفسیر نتایج و مقایسه آن با داده‌های گرده شناسی، تغییرات این نسبت با تغییرات پوشش گیاهی از چمنزار به جنگل هم‌خوانی داشته است. ولامینک و همکاران (32) با استفاده از نتایج پذیرفتاری مغناطیسی و آزمایش اندازه ذرات در این توالی تغییرات اقلیمی در دوره‌های مختلف را نشان داده و تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی با تغییرات پوشش گیاهی که در نتیجه شرایط اقلیمی مناسب (بارندگی بیشتر) بوده، همسو بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کانی‌شناسی رسی در دو توالی لس-پارینه خاک آق بند و نوده نشان داد که کانی‌های ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت کانی‌های اصلی در این رسوبات هستند. تغییرات کانی‌شناسی با مورفولوژی و تکامل خاک در افق‌های مختلف هم‌خوانی داشته و

در افق AB خاکرخ 2 حضور کانی اسمکتیت به عنوان کانی غالب نشان از شرایط محیطی مناسب برای تشکیل این کانی (رطوبت مناسب) داشته که با استفاده از نشانگرهای زیستی پوشش گیاهی جنگلی و به طبع بارندگی مناسب، شرایط محیطی گذشته را در این افق در زمان تشکیل نشان می‌دهد. همین‌طور حضور کانی ورمیکولیت در افق Btky خاکرخ 3 با پوشش جنگلی بازسازی شده توسط نشانگرهای زیستی هم‌خوانی دارد. از سویی دیگر در دو افق بالاتر (Bk خاکرخ 1 و ABk خاکرخ 2) میزان تغییرات کانی‌شناسی رسی (جدول 3) و هوادیدگی کمتر (غالبیت کانی ایلیت) از افق‌های AB خاکرخ 2 افق Btky خاکرخ 3 بوده که می‌تواند نتیجه نوع پوشش گیاهی (چمنزار و بوته‌زار) و به طبع منعکس کننده نوع آب و هوا در زمان تشکیل و تکامل این دو افق (احتمالاً میزان بارندگی کمتر) باشد. بای و همکاران (2) در مطالعه‌ای در چین نیز از نسبتی عکس $((nC27+nC29)/(nC31+nC33))$ نسبت استفاده شده در این

صحت سنجی با خاک‌های مدرن در طول یک ردیف اقلیمی مشخص کرد که بکارگیری نسبت $(nC31+nC33)/(nC27+nC29)$ در بازسازی پوشش گیاهی بسیار مناسب است. با توجه به این یافته نتایج آزمایشات نشانگرهای زیستی این-آلکان به خوبی تغییرات پوشش گیاهی در هر دو توالی را نشان داد. این تغییرات در توالی لس-پارینه خاک نوده شدیدتر بود و در پارینه خاک‌های مختلف پوشش گیاهی از چمنزار و بوته زار به جنگلی تغییر می‌کرد. هم‌خوانی نتایج نشانگرهای زیستی این-آلکان و تغییرات کانی‌شناسی رسی در بازسازی دقیق‌تر شرایط محیطی (اقلیم و پوشش گیاهی) گذشته در دو توالی لس-پارینه خاک مورد مطالعه بسیار موثر بودند.

منعکس کننده شرایط اقلیمی و محیطی در زمان تشکیل این خاک‌ها می‌باشد که این تغییرات با نشانگرهای زیستی هماهنگ بود. به عبارت دیگر در شرایط اقلیمی نامناسب (سرد و خشک) فرایند خاک‌سازی ضعیف (افق‌های شناسایی ابتدایی مانند افق کمبیک) و بیشتر فاز تجمع لس حاکم بوده است و کانی‌های مادری مانند ایلیت و کلریت در این خاک‌ها غالب هستند. اما در شرایط اقلیمی مناسب (گرم و مرطوب) فرایندهای خاک‌سازی فعال بوده (افق‌های شناسایی پیشرفته‌تر مانند افق آرجلیک) و کانی‌های ثانویه چون اسمکتیت، کانی‌های مختلط ایلیت-اسمکتیت و ورمیکولیت در این خاک‌ها غالب می‌شوند. بررسی‌های ابتدایی نشانگرهای زیستی این-آلکان به‌وسیله

منابع

- 1- Amini Jahromi, H., Naseri, M.Y., Khormali, F., and Movahedi Naeini, S.A.R. 2008. Clay mineralogy of the soil formed on loess parent material in two regions of Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15:5.18-27. (in Persian)
- 2- Bai Y., Fang X.M., Nie J.S., Wang Y.L., and Wu F.L. 2009. A preliminary reconstruction of the paleoecological and paleoclimatic history of the Chinese Loess Plateau from the application of biomarkers. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 271: 161–169.
- 3- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
- 4- Bronger A., Winter R., and Sedove S. 1998. Weathering and clay mineral formation in two Holocene soils and buried paleosols in Tadjikistan: towards a Quaternary paleoclimatic record in Central Asia. *Catena*, 34: 19-34.
- 5- Bull I.D., van Bergen P.F., Nott C.J., Poulton P.R., and Evershed R.P. 2000. Organic geochemical studies of soils from the Rothamsted Classical Experiments – V. The fate of lipids in different long-term experiments. *Organic Geochemistry*, 31: 389–408.
- 6- Djamali M., de Beaulieu J.L., Shah-hosseini M., Andrieu-Ponel V., Ponel P., Amini A., Akhane H., Leroy S.A.G., Stevens L., Lahijani H., and Brewer S. 2008. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, Iran. *Quaternary Research*, 69: 413–420.
- 7- Douglas L.A. 1989. Vermiculites. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), *Minerals in Soil Environments*, second ed. Soil Science Society of America, Madison, WI, 635-674 pp.
- 8- Egli M., Mirabella A., and Sartori G. 2008. The role of climate and vegetation in weathering and clay mineral formation in late Quaternary soils of the Swiss and Italian Alps. *Geomorphology*, 102: 307-324.
- 9- Frechen M., Kehl M., Rolf C., Sarvati R., and Skowronek A. 2009. Loess chronology of the Caspian Lowland in Northern Iran. *Quaternary International*, 128: 220-233.
- 10- Ghafarpour A. 2012. Evolution and characteristics of modern soils compared to underlain paleosols in a precipitation gradient in Golestan province. M.Sc. thesis. Soil science Dep. Gorgan University of agriculture sciences and natural resources. 82 pp.
- 11- Jackson M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis*. Advanced Course. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils, Madison, Wisconsin, USA.
- 12- 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: 245–255.
- 13- Johns W.D., Grim R.E., and Bradley W.F. 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *J. Sediment Petrology*, 24: 242-251.
- 14- Karimi A., Frechen M., Khademi H., Kehl M., and Jalalian A. 2011. Chronostratigraphy of loess deposits in northeast Iran. *Quaternary International*, 234: 124–132.
- 15- Kehl M. 2009. Quaternary climate change in Iran – the state of knowledge. *Erdkunde*, 63: 1–17.
- 16- Kehl M. 2010. Loess, loess-like sediments, soils and climate change in Iran. *Relief, Boden, Paläoklima* 24, 208 pp.
- 17- Kehl M., Sarvati R., Ahmadi H., Frechen M., and Skowronek A. 2005. Loess paleosol-sequences along a climatic gradient in Northern Iran. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 55: 149–173.
- 18- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals*, 38: 511-527.
- 19- Khormali F., and Kehl M. 2011. Micromorphology and development of loess-derived surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran. – *Quaternary International*, 234: 109–123.

- 20- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96: 312-325.
- 21- Lei G.L., Zhang H.C., Chang F.Q., Pu Y., Zhu Y., Yang M.S., and Zhang W.X. 2009. Biomarkers of modern plants and soils from Xinglong Mountain in the transitional area between the Tibetan and Loess Plateaus. *Quaternary International*, 218: 143-150.
- 22- Mehra O.P., and Jackson M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals*, 5: 317-327.
- 23- Muhs D.R. (2013). The geologic records of dust in the Quaternary. *Aeolian Research*, 9 :3-48.
- 24- National soil survey center .2012. Field book for describing and sampling soils, Ver. 3. U.S. department of agriculture, Natural resources conservation service.
- 25- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, second ed. Agronomy Monographs, 9. ASA-SSA, Madison, Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1173-1179.
- 26- Pécsi M. 1990. Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International*, 78: 1-12.
- 27- Schaetzl R.J. and Anderson S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press. 833 pp
- 28- Schwark L., Zink K., and Lechterbeck J. 2002. Reconstruction of postglacial to early Holocene vegetation history in terrestrial Central Europe via cuticular lipid biomarkers and pollen records from lake sediments. *Geology*, 30: 463-466.
- 29- Shahriari A., Khormali F. and Azarmdel H. 2012. Clay mineralogy of Mollisols and Mollisols-like soils as affected by physiography unit form on loess deposits in southern Gorgan River, Golestan province ,*Journal of Water & Soil Conservation*, 18(4) :80-63.
- 30- Sheldon N.D., and Tabor N.J. 2009. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth Science Reviews*, 95:1-52.
- 31- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil Taxonomy, 12th ed. U.S. department of agriculture, Natural resources conservation service.
- 32- Vlaminc S., Rolf C., Shahriari A., Khormali F., Frechen M., and Kehl M. 2013. 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 2013. Rauschholzhausen, Germany.
- 33- Walkley A. and Blak I.A. 1934. An Examination of the method for determining Soil organic matter and a proposed modification of the Chromic Acid titration method. *Soil Science*, 34: 29-38.
- 34- Zech M., and Glaser B. 2008. Improved compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ analysis of n-alkanes for application in palaeoenvironmental studies. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 22 (2): 135-142.
- 35- Zech M., Rass S., Buggle B., Löscher M., and Zöller, L. 2012. Reconstruction of the late Quaternary paleoenvironments of the Nussloch loess paleosol sequence, Germany, using n-alkane biomarkers. *Quaternary Research*, 78: 226-235.
- 36- Zech M., Krause T., Meszner S., and Faust, D. 2013. Incorrect when uncorrected: Reconstructing vegetation history using n-alkane biomarkers in loess-paleosol sequences - A case study from the Saxonian loess region, Germany. *Quaternary International*, 296: 108-116.
- 37- Zhou W., Xie S., Meyers P.A., and Zheng Y. 2005. Reconstruction of late glacial and Holocene climate evolution in southern China from geolipids and pollen in the Dingnan peat sequence. *Organic Geochemistry*, 36: 1272-1284.

Reconstruction of the palaeoenvironment using biomarkers and clay mineralogy in loess deposits of northern Iran

A. Shahriari¹- F. Khormali^{2*} - M. Kehl³- A. Karimi⁴- M. Mousavidastenaei⁵- E. Lehndorff⁶

Received: 08-03-2014

Accepted: 02-02-2015

Introduction: Knowledge about palaeoenvironment and palaeovegetation provides information about how vegetation reacts on climate fluctuations in the past, what will help understanding current and future developments caused by e.g. climate change. Northern Iranian Loess-Plateau forms a strongly dissected landscape with steeply sloping loess hills. This loess record reflects numerous cycles of climate change and landscape evolution for the Middle to Late Quaternary period. therefore, this study was done for reconstruction of palaeoenvironment (climate and vegetation) in loess-palaeosol sequences in northern Iran. Therefore, this study aims at a preliminary reconstruction of palaeovegetation and palaeoenvironment, in loess-palaeosol sequences along a climosequence in Northern Iran.

Materials and Methods: Two loess-palaeosol sequences (Agh Band and Nowdeh sections) were chosen in Golestan province, in northern Iran and step-wise profiles were prepared. Agh Band section is located in the western most part of the Northern Iranian loess plateau and has about 50 m thickness of loess deposits. Nowdeh loess-palaeosol sequence is located about 20 km southeast of Gonbad-e Kavus, in the vicinity of the Nowdeh River. Soil sampling was done in several field campaigns in spring 2012. More than 30cm of the surface deposits were removed in order to reach for undisturbed loess and palaeosols and one mixed sample was taken from each horizon. A comparison of palaeosols with modern soils formed under known Holocene climatic conditions, which are derived from substrates with similar granulometric and mineralogical composition are suited for reconstructing past climate and environment. Hence, six modern soil profiles were prepared along the climosequence and the vegetation cover changed from grassland in the dry area to dense shrub land and forest in the moist part of the ecological gradient. For reconstruction of palaeoenvironment (climate and vegetation) some basic physico-chemical properties, clay mineralogy and n-alkane biomarkers were used.

Results and Discussion: Results of soil texture analysis showed silt particles were dominant (more than 50 %) in the modern soil profiles and loess-palaeosol sequences which confirmed aeolian source of loess deposit. Clay content increased while silt content decrease in more strongly developed palaeosol horizons which it may reflected weathering processes of clay and/or its translocation. The modern soil profiles were classified as Entisols, Inceptisols, Mollisols and Alfisols which shows impact of climate as an important soil formation factor in the studied area. Clay mineralogy results in two loess-palaeosol sequences showed that illite, chlorite, kaolinite and smectite are dominant in these deposits. Mineralogical changes in the soil horizons are consistent with morphology and soil evaluation, so smectite, illite-smectite (mixed layer) and vermiculite minerals were dominant minerals in more strongly developed palaeosol horizons indicating to high precipitation and good vegetation cover (e.g., forest). The n-alkane biomarker results in the modern soil profiles showed, the average chain length (ACL) and $(nC_{31}+nC_{33})/(nC_{27}+nC_{29})$ ratio are very efficient parameters for reconstruction of vegetation, therefore these parameters were used to unravel the palaeovegetation in loess-palaeosol sequences. In both sections n-alkane biomarkers studies showed vegetation changes in different periods. These changes were most intense in Nowdeh loess-palaeosol sequence, so grassland and shrub in profile 1 (Bk horizon) and profile 2 (ABk horizon) palaeosols (with illite dominance) changes to forest in profile 2 (AB horizon with smectite dominance) and profile 3 (Btky horizon with smectite dominance and vermiculite presence) palaeosols. Agh Band section had one palaeosol including two horizons (Bw and Bk) which based on n-alkane specifications the Bw-horizon indicates grass/shrub vegetation (also smectite presence). It could indicate favorable environmental

1, 2- Former PhD student and Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*- Corresponding Author Email: khormali@yahoo.com)

3- Professor, Institute of geography, Cologne University

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

5- Former M.Sc student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Faculty of Agriculture

6- Professor, Institute for Crop Science and Resource Conservation – Soil Science, Bonn University

conditions promoting the growth of more dense vegetation.

Conclusions: Results showed that clay mineralogy changes are in line with n-alkane biomarkers results and both analyses reflect climate and environment conditions in soil formation periods and they are more effective for the accurate reconstruction of palaeoenvironment. According to chronological data for Nowdeh and Agh Band loess-palaeosol sequences, Nowdeh section had more suitable environment (more precipitation, more dense vegetation and suitable conditions for formation and development of soil, pedologically) compared with Agh Band section at the same times. Clay mineralogy and n-alkane biomarker results in the modern soil profiles and loess-palaeosol sequences showed that the modern ecological gradient (especially for precipitation) existed during the time and climate was an important soil formation factor in the studied region.

Keywords: Palaeoclimate, Loess-Palaeosol Sequence, N-alkane, Mineralogy, Agh Band, Nowdeh