Archive of SID

اقلیم گذشته شمالشرق ایران، آشکار شده به وسیله ایزوتوپ های پایدار اکسیژن در کربنات‌های پدوژنیک

امید بیات[1]، علیرضا کریمی[2]، حسین خادمی[1]، مارتین کهل[3]

1- **گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران**

2- **گروه خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران**

3- **گروه علوم زمین، دانشگاه کلن، آلمان**

omid_bayat@ag.iut.ac.ir

خلاصه

35 mm

ایزوتوپ‌های پایداراکسیژن در شناخت تغییرات اقلیمی گذشته و بازسازی دماهای دیرینه مورد توجه بوده اند. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در کربناتهای پدوژنیک دو خاک قدیمی در فلات لسی ایران مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان میدهد تشکیل کربنات‌های پدوژنیک طی هولوسن ابتدایی و میانی (در خاکرخ‌های 1) و آخرین دوره بین یخچالی (در افق‌های Btk خاکرخ های 1 و 4) نشان‌دهنده وجود مقدار بارش بیشتر از شرایط فعلی طی آخرین دوره های بین یخچالی (MIS1 و MIS5) در منطقه مورد مطالعه است. کاربرد مدل‌های تخمین دماهای گذشته نشان می‌دهد که دما، طی هولوسن (ابتدایی تا میانی) حدود 1 درجه سانتی‌گراد کمتر از شرایط فعلی و در آخرین دوره بین یخچالی احتمالا حدود 4 درجه سانتی‌گراد بیشتر از شرایط فعلی بوده است.

کلمات کلیدی: **خاکهای قدیمی، کواترنری، شمالشرق ایران**.

1. مقدمه

ایزوتوپ‌های پایدار[1] به‌عنوان یکی از شاخص‌های معتبر تغییرات اقلیمی و محیطی در مناطق مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیب ایزوتوپ‌های پایداراکسیژن در شناخت تغییرات اقلیمی گذشته و بازسازی دماهای دیرینه مورد توجه بوده اند(Dworkin et al 2005, Ryskov et al 2008).

کربنات‌های پدوژنیک معمولا در خاک‌های با زهکشی مناسب، تحت تاثیر متقابل اقلیم، مواد مادری و پوشش گیاهی در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب و از فرآیند تعادلی کربنات-بیکربنات و انتقال یون بیکربنات تشکیل می‌شوند (Sheldon and Tabor 2009). ترکیب ایزوتوپی کربنات‌های پدوژنیک در تعادل ایزوتوپی با محیط زمان خود تشکیل شده‌اند و قابلیت مناسبی برای بازسازی شرایط اقلیم و محیطی گذشته دارند (Han et al 1996, Dworkin et al 2005). ترکیب ایزوتوپی اکسیژن ($\delta^{18}O$) کربنات‌های پدوژنیک وابسته به ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در آب بارش با مقداری تفکیک ایزوتوپی در خاک است(Dworkin et al 2005, Ryskov et al 2008). هان و همکارن (1996) از ایزوتوپ‌های اکسیژن موجود در کربنات‌های پدوژنیک جهت شناخت تغییرات اقلیمی کواترنر در فلات لسی چین استفاده کرده‌اند. ریسکوف و همکاران (2008) نیز با استفاده از ترکیب ایزوتوپی کربنات‌ها در رسوبات لسی روسیه اقدام به بازسازی کمی پارامترهای محیطی گذشته کرده‌اند

مطالعات محدودی درباره خاکهای قدیمی رسوبات لسی ایران انجام شده است. هدف از این مطالعه تعیین و کاربرد ترکیب ایزوتوپی اکسیژن کربنات‌های پدوژنیک در خاک‌های مناطق لسی شمالشرق ایران جهت بازسازی کمی پارامترهای اقلیمی و محیطی در زمان تشکیل کربنات‌ها می‌باشد.

2. مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه در جنوب مشهد در شمال‌شرق ایران قرار گرفته است. آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد در دوره آماری 55 ساله (1951-2005) جهت بررسی پارامترهای اقلیمی فعلی استفاده شد (جدول 1). شاخص شستشوی خاک، از تفاضل مجموع سالانه مقادیر حاصل از تفاضل بارش و تبخیر- تعرق محاسبه شد.

[1]Stable isotope

www.SID.ir

Archive of SID

دو خاکرخ در لندفرم‌های لسی جنوب مشهد در محدوده تپه سلام و رباط خاکستری انتخاب و پس از تشریح از افق‌های تجمع کربنات‌های پدوژنیک نمونه‌برداری شد. ترکیب ایزوتوپی کربن و اکسیژن کربنات‌های پدوژنیک به‌روش طیف‌سنجی جرمی[1] در دانشگاه بن آلمان انجام و نسبت‌های ایزوتوپی اکسیژن در نمونه‌ها بر حسب استاندارد پی دی بلمنیت[2] (PDB) محاسبه شدند. فراوانی ایزوتوپ‌های پایدار با استفاده معادله 1 محاسبه شد (Faure 1986).

$$\delta\ (‰) = [(R_{Sample}/R_{Standard}) -1] .1000 \quad (1)$$

در معادله بالا R_{Sample} و $R_{Standard}$ به‌ترتیب نسبت ایزوتوپ‌های سنگین (^{18}O) به سبک (^{16}O) برای نمونه مورد مطالعه و نمونه استاندارد می‌باشند و δ ترکیب ایزوتوپ مورد نظر در نمونه را نسبت به نمونه استاندارد نشان می‌دهد. مقادیر مثبت δ نشان‌دهنده غنی‌شدن نمونه از ایزوتوپ‌های سنگین و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش ایزوتوپ‌های سنگین و افزایش ایزوتوپ‌های سبک در نمونه است (Faure 1986).

جهت تبدیل واحد نسبت‌های ایزوتوپی اکسیژن از واحد PDB به واحد استاندارد میانگین آب اقیانوس‌ها[3] ((SMOW)) از معادله ارائه شده توسط فائور (1986) استفاده شد (معادله 2).

$$\delta^{18}O(SMOW)= 1.03\times \delta^{18}O(PDB) +30.37 \quad (2)$$

برآورد کمی دما گذشته (T) با استفاده از مقادیر ایزوتوپی اکسیژن در کربنات‌ها ($\delta^{18}O$) و مدل‌های چند جمله‌ای ایزوتوپی شبیه‌سازی مکانی (Spatial) (معادله 3) و رگرسیونی (معادله 4) پیشنهاد شده توسط ورکین و همکاران (2005) محاسبه شدند.

$$0.5T^3 + (\delta^{18}O + 152.04)T^2-2.78\times10^6=0 \quad (3)$$

$$\delta^{18}O = 0.49T -12.65 \quad (4)$$

در معادله شماره 3، T میانگین دمای سالانه بر حسب درجه کلوین و $\delta^{18}O$ مقادیر ایزوتوپی اکسیژن در کربناتهای پدوژنیک بر حسب واحد SMOW و در معادله شماره 4، T میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتیگراد و $\delta^{18}O$ مقادیر ایزوتوپی اکسیژن در کربناتهای پدوژنیک بر حسب واحد PDB میباشد.لازم به‌ذکر است معادله شبیه‌سازی مکانی (معادله شماره 3) با استفاده از بانک اطلاعاتی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و سازمان هواشناسی جهانی و مدل رگرسیونی (معادله شماره 4) از بانک اطلاعاتی روابط فعلی بین دما و کربنات‌های پدوژنیک حاصل شده است (Dworkin et al 2005).

3. نتایج

بررسی آمار و اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی مشهد (جدول 1) نشان می‌دهد که در شرایط اقلیم فعلی در تمام ماههای سال، مقادیر تبخیر ماهانه از مقدار بارش بیشتر است و بنابراین شاخص شستشوی خاک در شرایط اقلیم فعلی برای منطقه شمال‌شرق ایران برابر با صفر بوده و امکان آبشویی و تشکیل کربنات‌های پدوژنیک در شرایط فعلی وجود ندارد.

خاکرخ شماره 1 (رباط خاکستری) از یک لایه نازک لسی بر روی گرانیت تشکیل شده است و دارای یک افق تجمع کربنات‌های پدوژنیک (Bk) و یک افق تجمع کربنات‌های پدوژنیک و رس (Btk) می‌باشد (شکل 1). لایه نازک لسی این خاکرخ بین 1/8±19/6 تا 1±12/5 هزار سال قبل، یعنی از زمان حداکثر شدت یخچالی[4] (LGM) در محدوده مرحله دوم ایزوتوپ دریایی (MIS2) تا هولوسن تشکیل شده است (Karimi et al 2011).

وجود رسوبات لسی نشانگر محیطی با غالبیت فرآیندهای باد و رسوبگذاری ذرات سیلت است در حالیکه وجود افق Bk بر حاکمیت شرایط مرطوب‌تر طی هولوسن نسبت به زمان حال و دوران یخچالی دلالت داشته و امکان انتقال و تجمع کربنات‌ها فراهم شده است. افق قرمزرنگ Btk در زیر لایه لسی، شرایط گرم و مرطوب را تجربه کرده و احتمالا در دوره گرم MIS5 تشکیل شده‌است. در این خاکرخ اثری از رسوبات دوره‌های MIS3و MIS4 نبوده که ممکن است به‌دلیل فرسایش یا کم بودن میزان رسوب‌گذاری باشد (Karimi et al 2011)

خاکرخ شماره 2 (تپه سلام) یک توالی عمیق لس-خاک قدیمی می‌باشد که در بخش میانی آن یک افق تجمع کربنات‌های پدوژنیک و رس (Btk) وجود دارد (شکل 1). افق قرمز رنگ Btk خاکرخ تپه‌سلام قبل از 4/0±64/7 هزار سال پیش تکامل پیدا کرده و به احتمال زیاد در آخرین دوره بین‌یخچالی (دوره گرم MIS5) توسعه و تکامل پیدا کرده است (Karimi et al 2011).

[1] Mass spectrometry
[2] Pee Dee Belemnite
[3] Standard of Mean Ocean Water (SMOW)
[4] Last Glacial Maximum (LGM)

www.SID.ir

Archive of SID

در مجموع، بررسی شواهد موجود مبین تشکیل و تجمع کربنات‌های پدوژنیک طی دو دوره بین یخچالی هولوسن (MIS1) و آخرین دوره بین‌یخچالی (MIS5) در منطقه مورد مطالعه است. تشکیل کربنات‌های پدوژنیک در خاک‌های جنوب ترکیه (با عرض جغرافیایی مشابه با شمال‌شرق ایران) هم طی هولوسن ابتدایی و میانی(MIS 1) گزارش شده است (Pustovoytov et al 2007). با توجه به شرایط اقلیمی فعلی در منطقه شمال‌شرق ایران، به‌نظر می‌رسد افق‌های تجمع کربنات‌ها طی هولوسن ابتدایی تا میانی در شمال‌شرق ایران تشکیل شده است. پوستاویوتو و همکاران (2007) هم بر این باور هستند که تشکیل کربنات‌های پدوژنیک در خاک‌های جنوب ترکیه از اوایل هولوسن تا حدود 4 هزار سال قبل ادامه داشته و پس از آن افزایش خشکی محیطی با توقف تشکیل کربنات‌ها همراه شده است. وجود افق Btk قرمز رنگ مشابه در خاکرخ‌های 1 (رباط خاکستری) و 2 (تپه‌سلام) بر شرایط گرم و مرطوب اقلیمی زمان تشکیل آنها(MIS 5) دلالت دارد که سبب انتقال و تجمع کربنات‌ها، ذرات رس وتشکیل اکسیدهای آهن آزاد و رنگ قرمز ایجاد می‌شود.

جدول 1- مشخصات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مشهد در دوره آماری 2005-1951

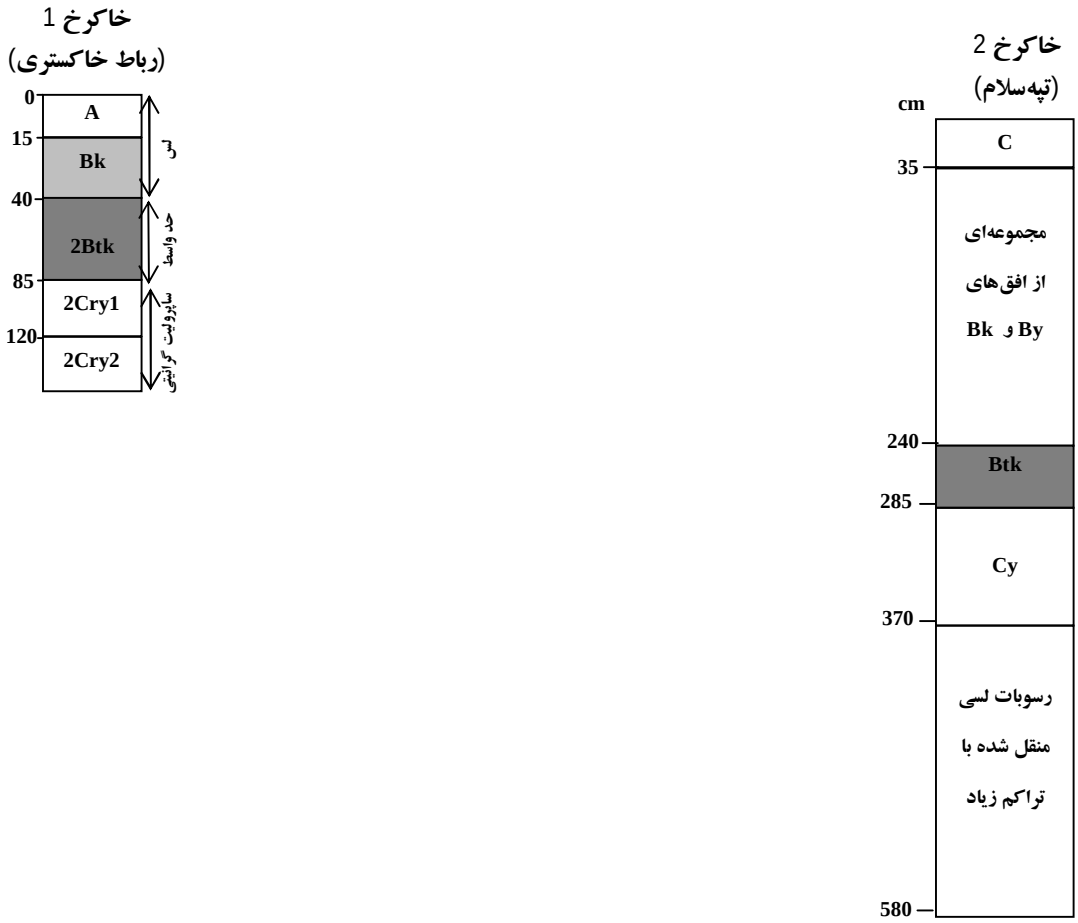
پارامتر اقلیمی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
میانگین دما (درجه سانتی گراد)	2	4	8	15	19	24	27	25	20	14	9	4	14/2
میانگین بارش (میلی‌متر)	33	35	56	46	28	4/2	1/1	0/8	1/7	8/6	16	25	255/4
میانگین تبخیر (میلی‌متر)	81	89	99	128	163	185	201	180	146	113	83	62	1530

به‌طور کلی، در زمان تشکیل کربنات‌های ثانویه، فرآیند تفکیک ایزوتوپی اکسیژن بین آب و یون‌های کربنات رخ می دهد که این فرآیندی وابسته به دما می‌باشد (Sheldon and Tabor 2009). مقادیر ایزوتوپی اکسیژن در کربنات‌های دوره هولوسن بسیار کمتر از کربنات‌های آخرین دوره بین‌یخچالی است (جدول 2). میانگین مقادیر ایزوتوپی کربنات‌های خاک S1 در فلات لسی چین (معادل با آخرین دوره بین یخچالی MIS5) در حدود ‰8/6- گزارش شده است (Han et al 1996) در حالی‌که میانگین مقادیر ایزوتوپی اکسیژن برای کربنات‌های همین دوره در شمال‌شرق ایران درحدود ‰3/6- می‌باشد و این امر می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که طی آخرین دوره بین‌یخچالی، شرایط گرم‌تری در شمال‌شرق ایران نسبت به فلات لسی چین وجود داشته است.

نتایج بازسازی دماهای گذشته با استفاده از ایزوتوپهای پایدار اکسیژن در جدول 2 نمایش داده شده است. در کاربرد مدل‌های تخمین دماهای گذشته، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است: 1) دمای محیط، کنترل‌کننده اصلی ترکیب ایزوتوپی آب بارش است، 2) دمای خاک در تعادل حرارتی با دمای هوا قرار دارد و 3) ترکیب ایزوتوپی آب بارش در کربنات‌ها حفظ شده و تحت تاثیر فرآیندهای تبلور مجدد قرار نگرفته است. دامنه مقادیر ایزوتوپی اکسیژن بین ‰1/0- تا ‰13/0- (PDB) به‌عنوان دامنه طبیعی تشکیل کربنات‌های پدوژنیک ذکر شده است و مقادیر خارج از این دامنه نشان‌دهنده تبلور مجدد یا تبخیر شدید آب در زمان تشکیل کربنات‌ها می‌باشد (Dworkin et al 2005) و با توجه به مقادیر ایزوتوپی کربنات‌های مورد مطالعه (‰2/8- تا ‰6/7-)، این کربنات‌ها مناسب برای بازسازی دماهای گذشته هستند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل1. مورفولوژی مقاطع مورد مطالعه

بر اساس مدل شبیه‌سازی مکانی و گرسیونی، میانگین دمای سالانه حدود 11/8و 13/4 درجه سانتی‌گراد برای کربنات‌های دوره هولوسن برآورد شد (جدول 2). با توجه به میانگین دمای فعلی منطقه مورد مطالعه (14/2 درجه سانتی‌گراد) و این‌که نوسانات دما در هولوسن تنها در حدود 1 تا 2 درجه سانتی‌گراد بوده است (عزیزی 1383)، به‌نظر می‌رسد که مدل رگرسیونی برآورد بهتری از دماهای گذشته ارائه می‌کند و میانگین دما در هولوسن (ابتدایی و میانی) در شمال‌شرق ایران اندکی کمتر از شرایط فعلی بوده است.

جدول ۲- اطلاعات ایزوتوپی اکسیژن در کربنات های مورد مطالعه وبازسازی دماهای گذشته

سن	TReg* (C°)	TSpa* (C°)	$\delta^{18}OH_2O$* (SMOW)	$\delta^{18}O_C$* (SMOW)	$\delta^{18}O_C$* (PDB)	افق
خاکرخ 1 (رباط خاکستری)						
MIS-1	14/7	15/2	-6/53	+25/58	-5/42	Bk
MIS-5	16/6	18/7	-5/62	+26/53	-4/47	Btk
خاکرخ 4 (تپه‌سلام)						
MIS-5	19/9	24/3	-4/11	+28/12	-2/88	Btk

در مورد آخرین دوره بین یخچالی (MIS5) میانگین دمای سالانه حدود 21/5 و 18/2 درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب توسط مدل‌های شبیه سازی مکانی و رگرسیونی به‌دست آمده است (جدول 2). این دماها حدود 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد بیشتر از شرایط دمایی فعلی شمال‌شرق ایران است. شواهد مرفولوژیکی خاک‌های مربوط به این دوره هم دلالت بر شرایط اقلیمی گرم‌تر و مرطوب‌تر نسبت به هولوسن دارند اما هیچ‌گونه گزارشی درباره شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

دمایی آخرین دوره بین یخچالی در ایران وجود ندارد. مک گری و همکاران (2004) با کاربرد مقادیر ایزوتوپی در رسوبات کربناتی غارهای منطقه شرق مدیترانه بیان کردند که دما در این منطقه طی آخرین دوره بین یخچالی (MIS5) در حدود 4 درجه سانتی‌گراد گرمتر از شرایط فعلی بوده است. این نتیجه با مقادیر برآورد شده با کربنات‌های پدوژنیک توسط مدل رگرسیونی هماهنگی دارد. با توجه به نتایج مدل‌ها و شواهد مورفولوژی خاک‌ها می‌توان گفت که دما در آخرین دوره بین یخچالی در شمال‌شرق ایران گرم‌تر از شرایط فعلی بوده است و بنظر می‌رسد مدل رگرسیونی برآورد بهتری از این مورد ارائه می‌کند. بیات و همکاران (1389) هم نتایج معتبرتر مدل رگرسیونی را برای کربناتهای پدوژنیک مرکز ایران را گزارش کرده اند.

4. نتیجه گیری

بررسی شاخص شستشوی خاک نشان می‌دهد در شرایط اقلیم فعلی، امکان آبشویی و تشکیل کربنات‌های پدوژنیک در شمال‌شرق ایران وجود ندارد. بنابراین تشکیل کربنات‌های پدوژنیک طی هولوسن ابتدایی و میانی (در خاکرخ‌های 1) و آخرین دوره بین یخچالی (در افق‌های Btk خاکرخ های 1 و 4) نشان‌دهنده وجود مقدار بارش بیشتر از شرایط فعلی طی آخرین دوره های بین یخچالی (MIS1 و MIS5) در منطقه مورد مطالعه است.

کاربرد مدل‌های تخمین دماهای گذشته نشان می‌دهد که دما، طی هولوسن (ابتدایی تا میانی) حدود 1 درجه سانتی‌گراد کمتر از شرایط فعلی و در آخرین دوره بین یخچالی احتمالا حدود 4 درجه سانتی‌گراد بیشتر از شرایط فعلی بوده است. نتایج حاصل از مدل‌های تعیین دما هماهنگی کاملی با مورفولوژی خاک‌های مورد مطالعه نشان داد.

در مجموع کاربرد ایزوتوپهای پایدار اکسیژن در کربناتهای پدوژنیک و کاربرد آنها با شواهد ژئومرفیک و مورفولوژی خاکها در شناخت تغییرات محیطی کواترنر مناسب است و برای مناطق دیگر کشور هم پیشنهاد میشود.

5. مراجع

بیات ا.، خادمی ح. و ح. ر. کریم زاده، 1389، شواهد پالئوپدولوژیک تغییرات اقلیمی کواترنر در شرق اصفهان، *چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم*.

عزیزی ق، 1383. تغییر اقلیم. نشر قومس، تهران.

Dworkin, S. I., Nordt, L. & Atchley, S., (2005). Determining terrestrial paleotemperatures using the oxygen isotopic composition of pedogenic carbonate. Earth and Planetary Science Letters, 237:56-68.

Faure, G., (1986). Principles of Isotopic Geology. John Wiley and Sons, New York.

Han, J. M., Jiang, W. Y., Liu, T. S., Lu, H. Y., Guo, Z. T. & Wu, N. Q., (1996). Carbonate isotopic records of paleoclimate changes in Chinese loess. Science in China (Series D), 39:458-467.

Pustovoytov, K., Schmidt, K. & Taubald, H., (2007). Evidence for Holocene environmental changes in the northern Fertile Crescent provided by pedogenic carbonate coatings. Quaternary Research, 67:315-327

Karimi, A., Frechen, M., Khademi, H., Kehl, M. & Jalalian, A., (2011). Chronostratigraphy of loess deposits in Northeast Iran. Quaternary International, 234:124-132.

McGarry, S., Bar-Matthews, M., Matthews, A., Vaks, A., Schilman, B. & Ayalon, A., (2004). Constraints on hydrological and paleotemperature variations in the Eastern Mediterranean region in the last 140 ka given by the dD values of speleothem fluid inclusions. Quaternary Science Reviews, 23:919-934.

Ryskov, Y. G., Velichko, A. A., Nikolaev, V. I., Oleinik, S. A., Timireva, S. N., Nechaev, V. P., Panin, P. G. & Morozova, T. D., (2008). Reconstruction of the paleotemperature and precipitation in the Pleistocene according to the isotope composition of humus and carbonates in loess on the Russian Plain. Eurasian Soil Science, 41:937-945.

Sheldon, N. D. & Tabor, N. J., (2009). Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. Earth-Sciences Reviews, 95:1-52.

www.SID.ir