

## چینه‌نگاری خاک شناختی و تأثیر حذف کربنات‌ها بر توزیع اندازه ذرات توالی‌های لسی- خاک قدیمی جنوب غربی ساری

حامد نجفی کرسامی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران  
علیرضا کریمی\*؛ دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران  
فرهاد خرمالی؛ استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ایران  
غلامحسین حق‌نیا؛ استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۳

### چکیده

توالی‌های لسی-خاک قدیمی به فراوانی برای شناسایی و بازسازی تغییرات اقلیمی استفاده شده است. برای این منظور، قدم نخست، شناسایی توالی‌های لسی و خاک قدیمی و تعیین ویژگی‌های پدولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی آن‌هاست. اهداف این مطالعه، شناسایی توالی‌های لسی- خاک قدیمی جنوب ساری و بررسی تأثیر کربنات‌ها بر توزیع اندازه ذرات بود. در مقاطع مورد مطالعه، خاک جدید (MS) از افسق‌های کمبیک (Bw) و کلسیک (Bk) تشکیل شده بود. همچنین، سه توالی خاک قدیمی شناسایی شد که دو خاک قدیمی (PS1 و PS2) دارای افق آرجیلیک-کلسیک (Btk) و خاک قدیمی سوم (PS3) دارای ویژگی‌های ورتیک (Bssk) بود. کربنات‌های ثانویه به شکل نودول‌های سخت در اندازه ۲ تا بیش از ۷۰ میلی‌متر در خاک مشاهده شد. بیشترین مقدار تجمع کربنات‌ها در لایه‌های لسی بود که از خاک‌های رویی منتقل شده بود. تجمع کربنات‌های سخت‌شده باعث افزایش بخش شن شده بود که حذف آن‌ها با اسید کلریدریک رقیق باعث کاهش مقدار شن و افزایش قابل توجه سیلت شد. غالب بودن بخش سیلت متوسط نشان می‌دهد که این ته‌نشست‌ها فاصله نسبتاً زیادی را طی کرده است. زیاد بودن مقدار رس در خاک‌های قدیمی نمایه خوبی از تکامل خاک و بیشترین مقدار آن در PS2 بود. وجود سه خاک قدیمی در بین رسوبات لسی نشان از وجود حداقل سه دوره تغییرات اقلیمی در منطقه دارد که در مقاطع مورد مطالعه ثبت شده است. مطالعه دقیق این مقاطع به همراه تعیین زمان رسوب لسی و تشکیل خاک، اطلاعات مناسبی از تغییرات اقلیمی منطقه مورد مطالعه در اواخر کواترنر فراهم خواهد آورد.

کلیدواژه‌ها: توزیع اندازه ذرات، خاک قدیمی، کربنات کلسیم ثانویه، لسی.

### مقدمه

شرایط اقلیمی زمین در چندین میلیون سال گذشته به‌طور متناوب میان عصر یخبندان و بین‌یخبندان و دوره‌های سرد و گرم در حال تغییر بوده است. اقلیم و شرایط اکولوژیکی زمین طی دوران مختلف زمین‌شناسی دچار تغییرات و نوسانات شدیدی شده است (اسمالی و همکاران، ۲۰۰۱؛ شلدون و تابور، ۲۰۰۹). یکی از فرایندهای مهم در دوره کواترنر، ظهور دوره‌های سرد و گرم است. تناوب دوره‌های سرد و گرم، موجب تشکیل تناوبی از ته‌نشست‌های لسی-خاک قدیمی در همه نقاط کره زمین، از مناطق گرم و خشک تا سرد و مرطوب، شده است. در دوره‌های سرد در بسیاری از نقاط جهان، ته‌نشست‌های ویژه‌ای به نام لسی انباشته شده است که از مهم‌ترین ته‌نشست‌های خشکی در دوره کواترنر است. در دوره‌های گرم، شرایط برای تشکیل خاک مناسب بوده است (لیو و همکاران، ۱۹۹۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۰).

متخصصان خاک‌شناسی ذرات کمتر از ۲ میلی‌متر را به سه بخش رس (کمتر از ۲ میکرون)، سیلت (۲ تا ۵۰ میکرون) و شن<sup>۱</sup> (۵۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر) تقسیم می‌کنند. لس‌ها از رس، سیلت و شن خیلی ریز (ذرات کوچک‌تر از ۱۲۵ میکرون) و گستره متنوعی از کانی‌ها تشکیل شده است که عمدتاً کوارتز، فلدسپار، میکا و کانی‌های رسی و ذرات کربنات است. ذرات تشکیل‌دهنده لس در محدوده رس تا شن خیلی ریز است، اما بخش غالب در آن سیلت درشت است که مقدار شن خیلی ریز نیز در آن قابل‌توجه است (کراوی و همکاران، ۲۰۱۰). مقدار سیلت به‌صورت دقیق برای ته‌نشست‌های لس مشخص نشده و بیشتر به چیرگی سیلت اشاره شده است.

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ته‌نشست‌های لسی که آن‌ها را از سایر ته‌نشست‌ها متمایز می‌کند این است که می‌توان با مطالعه آن‌ها شرایط اقلیمی و محیطی زمان تشکیل آن‌ها را بازسازی کرد. برخی خاک‌های قدیمی دارای چندین دوره خاک‌سازی و تغییر اقلیم شواهد خاک‌سازی دارد که یکدیگر را متأثر کرده و گاهی آثار آن‌ها به‌صورت مضاعف در خاک به‌جامانده است. این خاک با عنوان پلی‌ژنتیک شناخته می‌شود. تفسیر ترکیبی توالی لس-خاک قدیمی وجود چندین مرحله در توسعه خاک را نشان می‌دهد (کمپ و همکاران، ۱۹۹۹). از این رو، توالی‌های لس-خاک قدیمی در فراهم‌آوردن اطلاعات و داده‌های مختلف در مورد اقلیم و شرایط محیطی گذشته استفاده می‌شود (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ شاتزل و تامسون، ۲۰۱۵). امروزه، توالی‌های لس-خاک قدیمی در شمال و شمال شرقی ایران، در حاشیه جنوبی کمربند لس اوراسیا، در درک شرایط آب‌وهوایی اواخر و اواسط کواترنر در جنوب اوراسیا بسیار مفید است (کهل و همکاران، ۱۳۸۳؛ کهل و همکاران، ۲۰۰۵؛ کریمی و همکاران، ۲۰۱۱).

فرایندهای خاک‌سازی، کانی‌شناسی بخش رس، تغییرات کربنات کلسیم و توزیع اندازه ذرات از معمول‌ترین ویژگی‌ها در ته‌نشست‌های لسی و خاک‌های قدیمی است که برای بررسی شرایط محیطی رسوب لسی یا تشکیل خاک استفاده می‌شود. نوع افق‌ها، نوع فرایندهای پیدایشی و شدت آن، گویای وضعیت اقلیمی و تغییرات آن است. برای مثال، در ته‌نشست‌های لسی چین در دوره MIS3 که دوره‌ای گرم در عصر یخبندان ورم است معمولاً خاکی با افق کمبیک تشکیل شده است، در حالی که در دوره بین‌یخچالی MIS5 خاکی با تکامل زیاد دارای افق آرجیلیک شناسایی شده است (ماهر، ۲۰۱۶؛ کریمی و همکاران، ۲۰۱۱).

معمولاً در اثر فرایندهای خاک‌سازی و هوازدگی، بافت خاک در خاک‌های تشکیل شده در ته‌نشست‌های لسی ریزتر می‌شود (برای مثال، کریمی و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۰۰۹؛ شهریاری، ۱۳۹۳؛ غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶). کربنات‌ها بخش مهمی از ته‌نشست‌های لسی است که در اثر فرایندهای کربناته‌کردن در طول مقاطع لسی منتقل و انباشته می‌شود. ترکیب ایزوتوپی کربنات‌های پدوژنتیکی در تعادل با شرایط اقلیمی زمان تشکیل آن‌هاست و به‌فراوانی برای بازسازی شرایط اقلیمی استفاده شده است (بارتا، ۲۰۱۱؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ کاودا و همکاران، ۲۰۱۴). با این حال، مقدار و تغییرات آن و شکل‌های تجمعی آن قابل‌استفاده برای تعیین شرایط خاک‌سازی است.

بیشترین پراکنش ته‌نشست‌های لسی شمال کشور در استان گلستان است. در چند سال گذشته، مطالعات زیادی روی رسوبات این استان انجام گرفته است (خرمالی و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶؛ کهل و همکاران، ۲۰۰۶؛ ضیایی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شهریاری، ۱۳۹۳؛ غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶)، ولی تا کنون مطالعه‌ای روی ته‌نشست‌های لسی مازندران که پراکندگی کمتری نسبت به استان گلستان دارد صورت نپذیرفته است. از سوی دیگر، کربنات‌ها باعث چسبیدن ذرات ریزتر به یکدیگر و بزرگ‌تر شدن آن‌ها می‌شود. همچنین، خود کربنات‌ها به‌صورت سخت‌دانه ممکن است در اندازه سیلت و شن یا بزرگ‌تر مشاهده شود. این ویژگی‌های کربنات‌ها باعث می‌شود که توزیع اندازه ذرات یکی از ویژگی‌های مهم مورد استفاده در تفسیر شرایط رسوب لس و تشکیل خاک، از واقعیت دور شود.

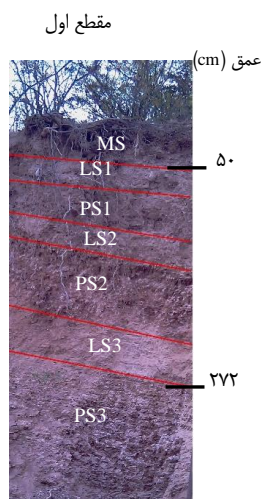
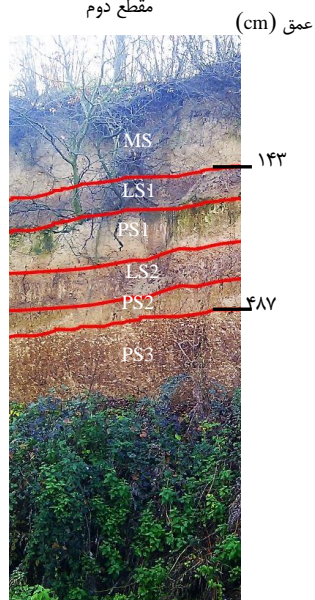
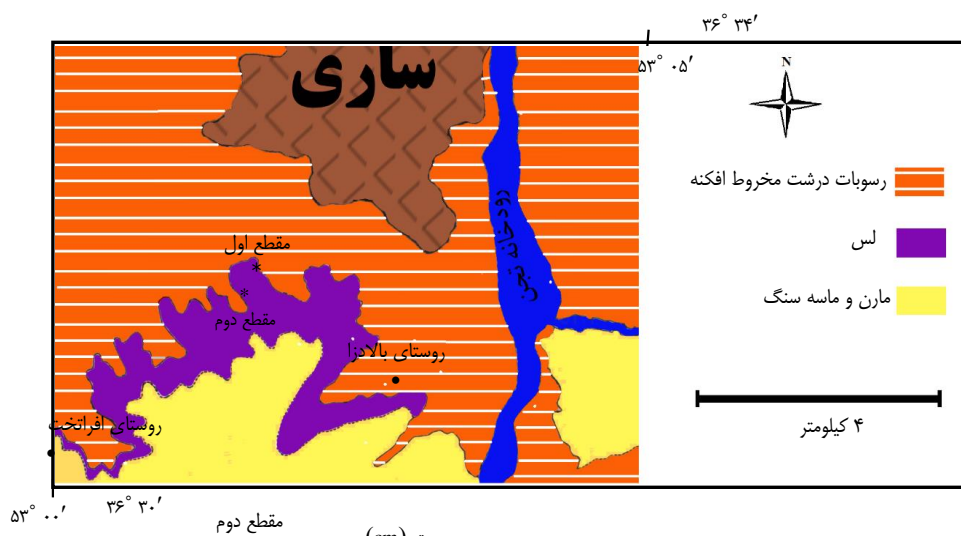
هدف از این پژوهش معرفی توالی‌های رسوبات لس-خاک قدیمی، شناسایی افق‌ها و فرایندهای خاک‌سازی، تغییرات توزیع اندازه ذرات و کربنات‌ها، همچنین، تأثیر کربنات‌ها بر توزیع اندازه ذرات در رسوبات لسی جنوب‌غربی شهر ساری است.

۱. واژه sand را متخصصان خاک‌شناسی «شن» و ژئومورفولوژیست‌ها و رسوب‌شناسان «ماسه» ترجمه کرده‌اند. لازم است که با تعامل متخصصان در رشته‌های مختلف، اصطلاحات یکسان استفاده شود.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت و اقلیم منطقه مورد مطالعه

پهنه لسی مورد نظر در ۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان ساری واقع شده است و به‌صورت باریکه‌ای در طول‌های جغرافیایی ۵۳' تا ۵۳° ۰۴' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶° ۳۰' تا ۳۶° ۳۲' شمالی قرار دارد (شکل ۱). میانگین بارندگی و دمای سالیانه به‌ترتیب، ۷۳۴/۵ میلی‌متر و ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد و اقلیم آن نیز بر اساس اطلاعات آماری ایستگاه سینوپتیکی مهدشت ساری، مرطوب با تابستان گرم و زمستان کمی سرد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک نیز به‌ترتیب، یودیکی و ترمیکی است.



شکل ۱. موقعیت رسوبات لسی در جنوب شهر ساری روی نقشه خلاصه‌شده زمین‌شناسی (برگرفته از خبازنیا و همکاران، ۱۳۸۲) و تصویر مقاطع مورد مطالعه (توضیح لایه‌ها در جدول ۱ و ۲)

جدول ۱. برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و نتایج مطالعات صحرایی مقطع نخست

توالی لس - خاک ۱	افق	عمق (Cm)	رنگ خشک	رنگ مرطوب	مرز ۲	ساختمان ۳	کلاس بافت ۴	واکنش به اسید ۵
	A	۰-۱۰	10YR 6/3	10YR 5/3	C,W	3,F,ABK	SiCL	SL
MS	ABw	۱۰-۲۳	10YR 5/3	10YR 4/4	A,W	2,M,ABK	SiCL	SL
	Bk	۲۳-۵۰	10YR 7/3	10YR 7/4	G,W	2,M,ABK	SiCL	SL
LS1	Ck	۵۰-۸۴	10YR 8/3	10YR 7/3	G,W	M	SiCL	ST
PS1	Btk	۸۴-۱۱۶	7.5YR 5/3	10YR 5/6	A,S	2,M, ABK	SiCL	SL
LS2	Ck	۱۱۶-۱۳۷	10YR 7/3	10YR 7/4	G,S	M	SiCL	ST
	Btk1	۱۳۷-۱۶۸	7.5YR 5/4	7.5YR 3/4	C,S	2,M,PR	SiC	VS
PS2	Btk2	۱۶۸-۱۸۵	7.5YR 5/6	7.5YR 4/6	C,S	2,M,PR	SiC	NE
	Btk3	۱۸۵-۲۰۹	7.5YR 5/4	7.5YR 3/4	G,S	2,M,PR	SiC	NE
LS3	Ck1	۲۰۹-۲۴۱	7.5YR 7/4	10YR 7/4	-	M	SiCL	VE
	Ck2	۲۴۱-۲۷۲	7.5YR 7/4	10YR 7/4	G,S	M	SiCL	VE
	Bsskg11	۲۷۲-۲۹۹	10YR 5/4	10YR 4/4	-	2,F,PR	SiC	NE
PS3	Bsskg12	۲۹۹-۳۴۱	7.5YR 5/4	10YR 4/4	G,S	2,F,PR	SiC	NE
	Bsskg21	۳۴۱-۳۷۱	7.5YR 4/4	10YR 3/6	-	2,M,PR	SiC	NE
	Bsskg22	۳۷۱-۴۰۸	7.5YR 4/4	10YR 3/6	-	2,M,PR	SiC	NE

۱. توالی خاک و لس؛ MS: خاک مدرن، PS: خاک قدیمی، LS: لس تحت تأثیر اندک فرایندهای خاک‌سازی  
 ۲. مرز؛ VA: خیلی واضح، A: واضح، C: مشخص، G: تدریجی، D: پخشیده، S: صاف، W: موجی، I: نامنظم  
 ۳. ساختمان؛ نوع؛ M: توده‌ای، ABK: مکعبی گوشه‌دار، SBK: مکعبی بدون گوشه، PR: منشوری. اندازه؛ VF: بسیار کوچک، F: کوچک، M: متوسط، CO: درشت، VC: خیلی درشت، VE: فوق‌العاده درشت. درجه تمایز؛ ۱: ضعیف، ۲: متوسط، ۳: قوی  
 ۴. کلاس بافت؛ C: رس، Si: سیلت، S: شن، L: لوم  
 ۵. واکنش به اسید؛ NE: جوشش ندارد، VS: حباب‌های قابل‌رویت کم، SL: حباب‌های زیاد، ST: حباب‌های زیاد و کمی کف، VE: حباب‌ها به صورت کف زیاد

جدول ۲. برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و نتایج مطالعات صحرایی مقطع دوم

توالی خاک و لس	افق	عمق (cm)	رنگ خشک	رنگ مرطوب	مرز	ساختمان	کلاس بافت	واکنش به اسید
	A	۰-۲۸	10YR 6/3	10YR 5/3	C,W	3,M,ABK	SiCL	SL
	ABw	۲۸-۴۰	10YR 5/3	10YR 5/4	C,W	2,M,ABK	SiCL	SL
MS	Bw	۴۰-۶۵	10YR 5/3	10YR 5/4	C,W	1,F,ABK	SiL	SL
	Bk1	۶۵-۱۰۶	10YR 5/3	10YR 5/4	-	1,F,ABK	SiL	SL
	Bk2	۱۰۶-۱۴۳	10YR 7/3	10YR 7/3	G,W	1,F,ABK	SiL	SL
LS1	BC	۱۴۳-۱۷۳	10YR 7/3	10YR 7/4	G,W	M	SiL	ST
	Btk1	۱۷۳-۲۱۳	10YR 7/3	7.5YR 4/4	C,S	2,M,PR	SiL	SL
PS1	Btk2	۲۱۳-۲۵۴	10YR 7/3	7.5YR 3/4	G,W	2,M,PR	SiL	SL
	Ck	۲۵۴-۲۹۱	10YR 8/3	10YR 8/3	G,W	M	SiL	ST
LS2	CBk	۲۹۱-۳۲۲	10YR 8/3	10YR 8/3	GW	M	SiCL	ST
	BC	۳۲۲-۳۵۴	10YR 5/3	10YR 5/6	C,W	M	SiCL	ST
	Btk1	۳۵۴-۳۸۹	10YR 5/3	10YR 4/4	C,W	3,M,PR	SiCL	NE
PS2	Btk2	۳۸۹-۴۲۶	10YR 5/4	10YR 4/6	G,E	3,M,PR	SiCL	NE
	Bk	۴۲۶-۴۵۵	10YR 7/6	10YR 7/6	G,W	2,M,ABK	SiCL	SL
	Bsskg11	۴۵۵-۴۸۷	7.5YR 5/3	10YR 5/6	-	3,CO,PR	SiC	NE
	Bsskg12	۴۸۷-۵۲۰	7.5YR 5/3	10YR 5/6	-	3,CO,PR	SiC	NE
	Bsskg13	۵۲۰-۵۵۳	7.5YR 5/3	10YR 5/6	C,S	3,CO,PR	SiC	NE
PS3	Bsskg21	۵۵۳-۵۸۷	7.5YR 5/3	10YR 5/6	-	3,VC,PR	SiC	NE
	Bsskg22	۵۸۷-۶۲۲	7.5YR 5/3	10YR 5/6	-	3,VC,PR	SiCL	NE
	Bsskg23	۶۲۲-۶۵۷	7.5YR 5/3	10YR 5/6	-	3,VC,PR	SiCL	NE

### نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

برای انجام این مطالعه در روستای سنگریزه بالا دو مقطع لسی، مقطع اول حدود ۵ متر در مختصات  $36^{\circ}31'48/85''N$  و  $53^{\circ}02'23/10''E$  انتخاب شد. و مقطع دوم با ضخامت ۷ متر در مختصات  $36^{\circ}33'02/42''N$  و  $53^{\circ}02'03/42''E$  انتخاب شد. مقاطع بر اساس سیستم طبقه‌بندی خاک امریکایی (Soil Survey Staff, 2014) تشریح و از لایه‌ها و افق‌های پیدایشی نمونه‌برداری شد. برای بررسی دقیق‌تر توزیع اندازه ذرات و تغییرات کربنات‌ها، نمونه‌برداری در فواصل ۱۰ سانتی‌متری انجام شد.

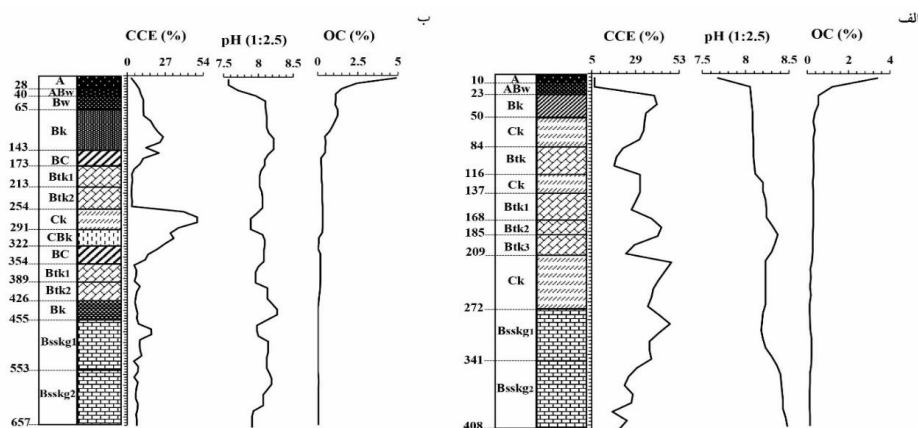
نمونه‌های هواخشک پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، به منظور آنالیزهای مورد نیاز، به آزمایشگاه منتقل شد. pH و هدایت الکتریکی در نسبت آب به خاک ۲/۵:۱، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراکدن برگشتی (ریچارد، ۱۹۵۴) و کربن آلی خاک به روش والکلی-بلک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. توزیع اندازه ذرات نیز با روش پیپت (USDA-NRCS, 1996) اندازه‌گیری شد.

در زمان جداسازی بخش شن برای تعیین توزیع اندازه ذرات، مقادیر زیادی از سخت‌دانه‌های کربنات‌های ثانویه در بخش شن مشاهده شد. به عبارت دیگر، بخش زیادی از شن را نودول‌های سخت‌شده کربنات‌ها تشکیل می‌داد که موجب زیاد شدن مقدار شن به صورت غیرطبیعی می‌شد و در مطالعات توزیع اندازه ذرات ایجاد خطا می‌کرد. بنابراین، توزیع اندازه ذرات، دوباره و با حذف کربنات‌های موجود با اسید کلریدریک رقیق (۰/۱ نرمال) تعیین شد.

### بحث و نتایج

#### ترتیب و توالی لس-خاک قدیمی در مقاطع

برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی مقاطع مورد مطالعه در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. این مقاطع شامل خاک جدیدی (Modern soils) با علامت MS، و سه خاک قدیمی (Palaesol) با علامت PS است. خاک‌های تشکیل شده در این مقاطع بر اثر ته‌نشست‌های لسی از یکدیگر جدا می‌شود. این ته‌نشست‌ها با علامت LS نشان داده شده است. L نشان‌دهنده لس و S به دلیل وجود کمی ویژگی‌های پیدایشی است (جدول ۱ و ۲). این روش نام‌گذاری در مطالعات ته‌نشست‌های لسی چین نیز استفاده شده است (گائوجان و همکاران، ۲۰۰۷؛ کوکلا و آن، ۱۹۸۹). این لایه‌ها با رنگ روشن (ولیوی) زیادتر نسبت به خاک‌های قدیمی) در صحرا آشکارا از خاک‌ها قابل تشخیص است. این لایه‌ها ساختمان توده‌ای دارد و در حقیقت می‌توان گفت مواد مادری یا ته‌نشست‌های لسی با تکامل کم است. باین‌حال، در این لایه‌ها کربنات‌های شسته‌شده از لایه‌های بالایی در این ته‌نشست‌ها بدون اینکه در ساختار اولیه رسوبات تغییر قابل توجهی ایجاد کند انباشته شده است. با توجه به نکات گفته‌شده، ته‌نشست‌های لسی در لایه‌های LS در هر دو مقطع با علامت Ck یا CBk نشان داده شده که در اصل ماده مادری خاک رویی خود است (جدول ۱ و ۲ و شکل ۲).



شکل ۲. نتایج برخی ویژگی‌های شیمیایی. الف) مقطع نخست، ب) مقطع دوم

خاک‌های جدید در دو مقطع دارای افق مشخصه سطحی اکریک و افق زیرسطحی آن کمبیک (Bw) و کلسیک است. رده‌بندی خاک‌های جدید در هر دو مقطع تا سطح زیرگروه Typic Eutrudepts است. برخلاف مقاطع مورد مطالعه، خاک‌های جدید مطالعه‌شده در رسوبات لسی در مناطق مرطوب استان گلستان معمولاً دارای افق سطحی مالیک و زیرسطحی آرچلیک-کلسیک (Btk) است (غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶؛ شهریاری، ۱۳۹۳؛ خرمالی و کهل، ۲۰۱۱). به‌علت بارندگی و انتقال کربنات‌ها، جوشش اسید کلریدریک با خاک جدید ضعیف است.

خاک‌های قدیمی PS1 و PS2 هر دو مقطع از افق‌های Btk تشکیل شده است. افق‌های Btk در این خاک‌ها نسبتاً ضخیم است. تشکیل افق‌های آرچلیک در مقاطع مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود و پایداری شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب در زمان تشکیل آن است که برای هوادیدگی و فرایندهای پیدایشی مناسب بوده است. شهریاری (۱۳۹۳) در مطالعات خود روی تهنشست‌های لسی استان گلستان و شهرستان نکا از توابع استان مازندران به وجود افق آرچلیک با ضخامت زیاد (بیش از ۱۶۰ سانتی‌متر) و تکامل خوب اشاره کرده است. همچنین، غفارپور و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی افق آرچلیک تشکیل‌شده در تهنشست‌های لسی مبارک‌آباد گلستان با ضخامت ۱۶۰ سانتی‌متر، اظهار داشتند که احتمالاً میانگین بارندگی سالانه در زمان تشکیل این افق بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر بوده است. در مقاطع مورد مطالعه، افق‌های A یا افق‌های الویال در این خاک‌ها وجود نداشت. به‌نظر می‌رسد که این افق‌ها در دوره‌های فرسایش از بین رفته باشد و تنها افق‌های Btk از خاک‌های قدیمی باقی مانده است. ضیائی و همکاران (۲۰۱۲) نیز به نبود افق A مدفون در مطالعات تهنشست‌های لسی نهارخوران استان گلستان اشاره کرده‌اند. این در حالی است که شهریاری (۱۳۹۳) به وجود افق A مدفون در برخی مقاطع مطالعاتی خود در استان گلستان و شهرستان نکا اشاره کرده است.

خاک قدیمی PS3 در هر دو مقطع از دو افق Bsskg با ضخامت زیاد تشکیل شده است. در این افق‌ها اسلیکن‌ساید فراوانی قابل‌مشاهد است و با توجه به نفوذپذیری کمی که دارد، موجب ایست موقتی آب در فصول مرطوب و ایجاد لایه‌ای با لکه‌های رنگین می‌شود که در حقیقت مدل شبه‌احیاست. تجمع زیاد اکسیدهای منگنز و تا حدی آهن، بیانگر شرایط متوسط احیایی است که به دلیل تناوب خشک و مرطوب‌شدن در این افق‌ها ایجاد شده است. تا کنون، در تهنشست‌های لسی کشور، افق دارای اسلیکن‌ساید گزارش نشده است.

یکی از دلایل تفاوت رنگ خاک‌ها فرایندهای پیدایشی است. در این مقاطع نیز رنگ خاک‌های قدیمی PS1 و PS2 و دارای افق آرچلیک، هیوی 7/5YR و در محدوده رنگ‌های متمایل به قرمز است و با ولیو کمتر نسبت به افق‌های دیگر، به‌سادگی در مقطع لسی تشخیص‌پذیر است. تورنت و همکاران (۱۹۸۳) و سنگلی و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که زردی و قرمزی خاک و رنگ‌های حدواسط آن به دلیل مقادیر متفاوت کانی‌هایی مانند گئوتیت، فولونیت و همتایت است. معمولاً در جریان فرایندهای هوادیدگی و خاک‌سازی، آهن آزادشده از ساختار کانی‌های سیلیکاتی، به‌صورت اکسیدهای آهن، سطح ذرات خاک را پوشش می‌دهد و موجب تغییر رنگ می‌شود. افق‌های Btk در رسوبات لسی نیز در نقاط مختلف متمایل به قرمز است (غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶؛ درونیک و همکاران، ۲۰۱۴). افق‌های شناسایی‌شده در مناطق خشک ایران نیز معمولاً دارای هیوی 7/5YR و دلیل بر شرایط مرطوب زمان تشکیل آن است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱؛ فرپور و همکاران، ۲۰۱۲؛ خادمی و مرموت، ۲۰۰۳).

### کربن آلی خاک و pH

نتایج برخی ویژگی‌های شیمیایی مقاطع مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. مقدار کربن آلی خاک در هر دو مقطع در سطح خاک دارای بیشترین مقدار است و به ۳/۴ و ۴/۸۸ درصد به‌ترتیب در مقطع نخست و دوم می‌رسد. در بخش خاک جدید به‌صورت نمایی تا حدود ۰/۴ درصد کاهش پیدا می‌کند. سپس، با شدت خیلی کم به حدود ۰/۱ و ۰/۰۴ به‌ترتیب در پایین‌ترین قسمت مقطع نخست و دوم می‌رسد. معمولاً اگر افق‌های A در خاک‌های قدیمی حفظ شده باشد، تغییرات ماده آلی با عمق نامنظم است و مقدار ماده آلی در این افق‌ها افزایش پیدا می‌کند (شهریاری، ۱۳۹۳؛ اسپنلبرگر و ویت، ۲۰۰۶).

pH خاک در سطح هر دو مقطع کمترین مقدار و حدود ۷/۶ است که با فاصله کوتاهی از سطح خاک به‌شدت زیاد

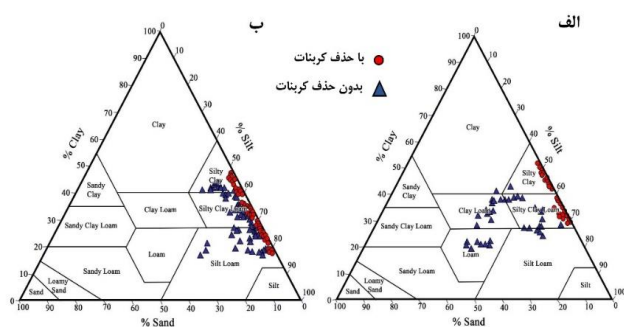
می‌شود. عوامل مختلفی مانند شستشوی کربنات‌ها، خروج کاتیون‌های بازی، و تجمع مواد آلی بر pH خاک مؤثر است. پایین‌تر بودن pH افق‌های سطحی را می‌توان به شستشوی کاتیون‌های بازی (فانگو و همکاران، ۲۰۱۱) نسبت داد. همچنین، وجود مقادیر زیاد ماده آلی در افق‌های سطحی از یک‌سو، و اکسایش این مواد از سوی دیگر، به تولید اسیدهای آلی و آزاد شدن یون هیدروژن در خاک نسبت داده می‌شود (بینه، ۲۰۱۱).

به‌طور کلی، در مقاطع مورد مطالعه میزان pH از سطح به عمق به مقدار کمی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده حضور کربنات در مواد مادری یا به‌عبارت دیگر آهکی بودن مواد مادری، همچنین شستشوی کربنات از افق‌های سطحی و انباشتگی آن در افق‌های زیرسطحی است (غفارپور و خرمالی، ۱۳۹۱). همچنین، کم‌تر بودن pH افق Bsskg مقطع دوم، نسبت به مقطع نخست را می‌توان به تجمع بیشتر اکسیدهای منگنز در این مقطع نسبت داد که احتمالاً به‌دلیل واقع بودن این مقطع در پای شیب و وضعیت شدید اکسایش و کاهش در آن است.

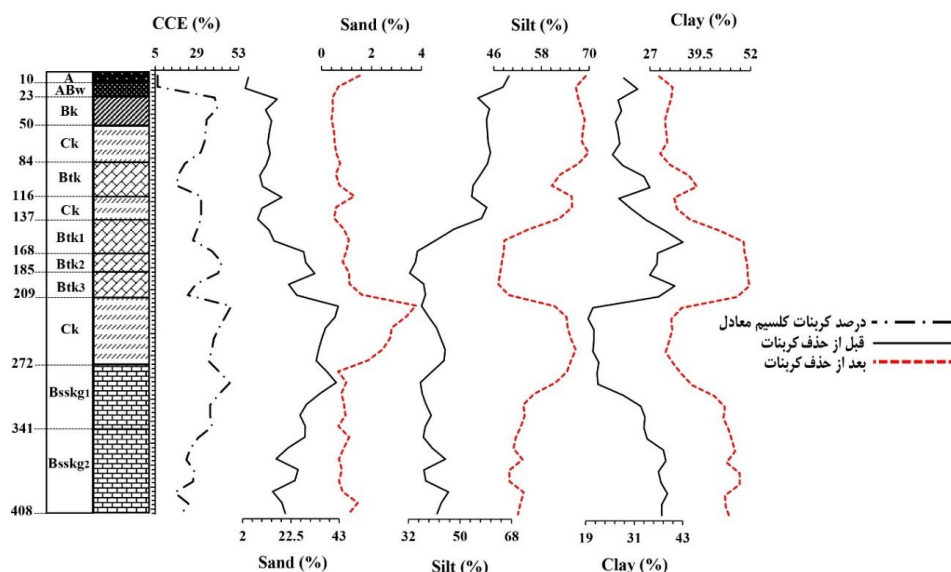
### مقدار و مورفولوژی کربنات‌ها

کربنات کلسیم معادل خاک یا به‌عبارت معمول کربنات‌ها از مهم‌ترین کانی‌ها در ته‌نشست‌های لسی است (پای، ۱۹۹۵) که مقدار، تغییرات و شکل آن بازگوکننده شرایط تشکیل آن است. مقدار کربنات کلسیم معادل خاک جدید در مقاطع مورد مطالعه از سطح به عمق افزایش می‌یابد که دلیل آن آیشویی کربنات کلسیم افق‌های سطحی و انباشتگی آن در افق‌های زیرین است. در سطح خاک مقدار کربنات‌ها کمتر از ۷ درصد است که به‌ترتیب در افق‌های Bk خاک جدید مقطع نخست و دوم به ۴۱ و ۲۲ درصد می‌رسد. زراعت‌پیشه و خرمالی (۱۳۹۰) با بررسی خاک‌های تشکیل شده در گرادایانی اقلیمی در ته‌نشست‌های لسی نشان دادند که با افزایش بارندگی، کربنات بخش‌های سطحی به عمق منتقل می‌شود و ضخامت افق کربنات‌زدایی شده افزایش می‌یابد.

میزان کربنات‌ها در خاک‌های قدیمی (افق‌های Btk) در هر دو مقطع، بسیار کمتر از لایه‌های لسی است (شکل ۳ و ۴)، تا حدی که زمینه اصلی خاک در خاک قدیمی دوم و سوم مقاطع کاملاً با اسید کلریدریک جوشش نداشت. میزان کربنات‌ها در افق‌های زیر Btk افزایش بیشتری نشان می‌دهد و حتی به بیش از ۵۰ درصد نیز می‌رسد. این روند تغییرات کربنات‌ها مبین این نکته است که کربنات‌های شسته‌شده از خاک‌های قدیمی، در افق‌های Ck تجمع پیدا می‌کند. این وضعیت در مقطع لسی مبارک‌آباد و نکا نیز گزارش شده است ولی در مقطع آق‌بند که در منطقه خشک قرار دارد ته‌نشست‌های لسی بدون تکامل بوده است و مقدار کربنات‌ها در ضخامت زیادی تغییرات کمی دارد (غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶). به‌نظر می‌رسد ته‌نشست‌های لسی در مناطق مرطوب شمال ایران، به‌طور کلی زیر تأثیر فرایندهای حذف یا انتقال کربنات‌ها قرار گرفته است و هم در خاک‌های قدیمی و هم ته‌نشست‌های لسی، کربنات‌های ثانویه به اشکال مختلف دیده می‌شود.



شکل ۳. پراکنش نمونه‌ها در مثلث تعیین کلاس بافتی خاک، پیش و پس از حذف کربنات. الف) مقطع نخست، ب) مقطع دوم



شکل ۴. نتایج به دست آمده از آنالیزهای توزیع اندازه ذرات و کرنات کلسیم معادل مقطع نخست

ویژگی دیگر کرنات‌های پدوژنیکی، شکل انباشته شدن آن در خاک است. انباشتگی‌های کرنات پدوژنیکی، به صورت توده‌های نرم تا سخت است با اندازه ۲ میلی‌متر تا بیش از ۷ سانتی‌متر مشاهده شد. در مقاطع مورد مطالعه، در خاک‌های قدیمی اول (افق‌های Btk) انباشتگی کرنات کلسیم ثانویه به صورت دانه‌های آهکی غیرشکننده در اندازه ۲-۵ میلی‌متر بود. اما، در خاک قدیمی دوم تجمع کرنات کلسیم ثانویه در بخش بالایی و زیرین آن، به صورت نودول‌هایی در اندازه ۵-۲۰ میلی‌متر و در اواسط آن شامل نودول‌هایی در اندازه ۲۰-۵۰ میلی‌متر بود که میزان انباشتگی نیز در این قسمت بیش از قسمت‌های بالایی و زیرین آن است.

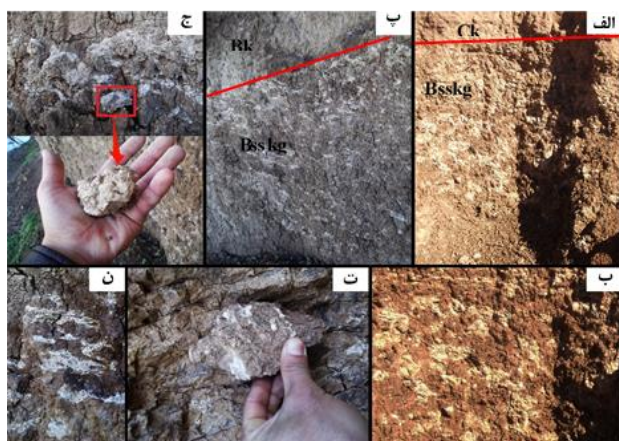
در مقطع نخست، LS3 (افق‌های Ck1 و Ck2) واقع در عمق ۲۰۹-۲۷۲ سانتی‌متر که در اصل ماده مادری خاک قدیمی دوم در مقطع نخست است ۱۵-۲۰ درصد از اشکال ریز کرنات کلسیم ثانویه (نودول و سخت‌دانه) در اندازه‌های ۲-۵ میلی‌متر دارد. این بخش به دلیل تجمع کرنات کلسیم ناشی از آبشویی لایه‌های فوقانی کمی سخت شده است، در حالی که در مقایسه با آن، افق Ck واقع در عمق ۱۱۶-۱۳۷ سانتی‌متری (LS2) که ماده مادری خاک قدیمی نخست است انباشتگی کرنات کلسیم ثانویه کمتر (۲-۵ درصد) و با اندازه‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر دارد که حالت سخت شدن نیز در آن دیده نمی‌شود. این خود بیانگر میزان بارندگی و آبشویی کمتر کرنات کلسیم ثانویه در زمان تشکیل خاک قدیمی نخست است.

تجمع بیشتر کرنات کلسیم و سرشار شدن بخش بالایی LS1، LS2 و LS3 نشان می‌دهد که کرنات در مواد مادری تنها منبع کرنات‌ها در افق‌های لسی نیست، و افق‌های لسی به شدت به وسیله کرنات کلسیم شسته شده از افق‌های خاک بالایی (خاک‌های قدیمی)، بر اثر بارش، تأثیر گرفته است.

خصوصیات مورفولوژیکی نشان می‌دهد که به ترتیب خاک قدیمی سوم، دوم و نخست دارای تکامل بیشتری نسبت به یکدیگر است. مقدار، اندازه و شکل کرنات کلسیم ثانویه و انباشته شده در این افق‌ها نیز امر را ثابت می‌کند. مقدار و اندازه کرنات کلسیم ثانویه موجود در خاک قدیمی سوم بسیار بیشتر و بزرگ‌تر (در حد عروسک‌های لسی) از خاک قدیمی دوم و نخست است که نشان دهنده بارندگی و شستشوی بیشتر کرنات از لایه‌های فوقانی در زمان تجمع آن در این خاک است.

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در مقطع نخست (شکل ۳ الف) تجمع کرنات کلسیم ثانویه بیش از ۲۰

درصد قسمت بالایی افق Bsskg را شامل می‌شود که اندازه آن ۵-۲۰ میلی‌متر است، ولی در بخش‌های زیرین این افق (شکل ۵ب) اندازه آن به ۲۰-۷۶ میلی‌متر می‌رسد. اما، در مقطع دوم (شکل ۵پ و ج) اندازه کربنات کلسیم ثانویه در بخش‌های بالایی بزرگ‌تر از بخش‌های زیرین آن است و اندازه آن به بیش از ۷۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. تجمع کربنات کلسیم ثانویه نیز بین درز و شکاف ساختمان نخستین این بخش است (شکل ۵ن). ساختمان نخستین قوی و بزرگ منشوری PS3 (شکل ۵ت) در مقاطع نیز بیانگر وجود شرایط خاک‌سازی بسیار مناسب در زمان تشکیل آن است.



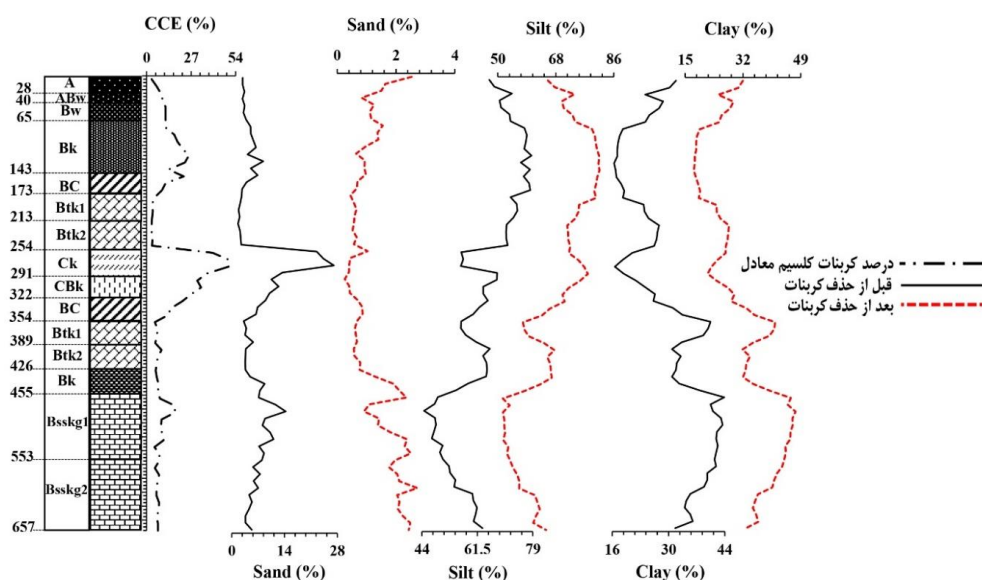
شکل ۵. تجمع زیاد و درشت کربنات کلسیم ثانویه در PS3 (Bsskg) مقاطع مورد مطالعه

#### توزیع اندازه ذرات

آنچه ته‌نشست‌های لسی را از سایر ته‌نشست‌های متمایز می‌کند، توزیع اندازه ذرات آن است، تا حدی که یکی از دو ویژگی در تعریف ته‌نشست‌های لسی، چیرگی ذرات سیلت است (پای، ۱۹۹۵). در بسیاری از موارد، تعیین توزیع اندازه ذرات بدون حذف کربنات‌ها انجام می‌شود. این روش تعیین توزیع اندازه ذرات، برای ته‌نشست‌های لسی بدون تکامل مناسب است، زیرا توزیع اندازه ذراتی تعیین می‌شود که تا حد زیادی مشابه ذرات منتقل شده است، ولی در مواردی مانند مقاطع مورد مطالعه که تجمع کربنات‌ها در حد ذرات شن یا درشت‌تر است، سبب ایجاد خطا در نتایج و تفسیر خواهد شد. در مقاطع مورد مطالعه، مقدار شن تا ۴۲ درصد نیز دیده می‌شود که غیرطبیعی به نظر می‌رسد. بررسی دقیق بخش شن نشان داد که سخت‌دانه‌های آهکی، بخش غالب شن را تشکیل می‌دهد. پس از حذف کربنات‌ها مقدار شن به مقدار کمتر از ۵ درصد کاهش یافت. شکل ۳ نحوه پراکندگی کلاس بافتی دو مقطع مورد مطالعه را در مثلث تعیین کلاس بافت خاک، قبل و بعد از حذف کربنات‌ها نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در مقطع نخست، به دلیل تجمع سخت‌دانه‌های بیشتر و درشت‌تر، اختلاف پراکنش کلاس بافتی خاک نمود بیشتری دارد. در دو مقطع مذکور، چیش نمونه‌ها در مثلث تعیین کلاس بافتی خاک، بعد از حذف کربنات کلسیم نظم بهتر و منطقی‌تری نشان می‌دهد. اختلاف کلاس بافتی خاک، پیش و پس از حذف کربنات‌ها، در افق‌های Btk و Bsskg مقطع نخست بیشتر است.

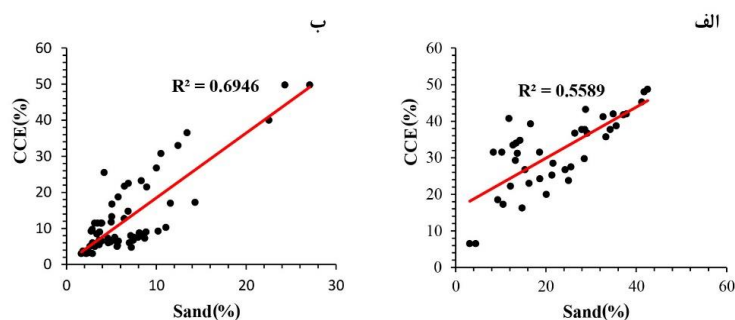
شکل ۴ و ۶ نتایج به‌دست‌آمده از آنالیزهای توزیع اندازه ذرات و کربنات کلسیم معادل را به ترتیب در مقاطع نخست و دوم، قبل و بعد از حذف کربنات‌ها نشان می‌دهد. در مقطع نخست (شکل ۴)، مقادیر کربنات کلسیم معادل از ۶/۵ تا ۴۸/۷۵ درصد متغیر است. بدون حذف کربنات‌ها، مقادیر شن ۴/۵ تا ۴۲/۵، سیلت ۳۶/۲ تا ۶۷/۱ و رس ۱۹/۶ تا ۴۳ درصد بود. این در حالی است که با حذف کربنات کلسیم مقادیر شن به ۰/۴ تا ۳/۸، سیلت به ۴۷/۱ تا ۶۹/۹ و رس به ۲۹/۳ تا ۵۰/۳ درصد رسید.

در مقطع دوم (شکل ۶)، مقادیر کربنات کلسیم معادل از ۲ تا ۴۸/۷۵ درصد متغیر است. قبل از حذف کربنات مقادیر شن ۲/۱ تا ۲۷/۱، سیلت ۴۴/۷ تا ۷۸/۲ و رس ۱۶/۶ تا ۴۳/۸ درصد بود. این در حالی است که بعد از حذف کربنات مقادیر شن به ۰/۳ تا ۲/۷، سیلت به ۵۱/۶ تا ۸۱/۵ و رس به ۱۷/۶ تا ۴۷/۴ درصد رسید.



شکل ۶. نتایج به دست آمده از آنالیزهای توزیع اندازه ذرات و کربنات کلسیم معادل مقطع دوم

همان گونه که در شکل ۴ و ۶ مشاهده می شود، در هر دو مقطع تغییرات مقدار شن و کربنات کلسیم معادل پیش از حذف کربنات ها، با یکدیگر مشابه است. برای بهتر نشان دادن این رابطه، تغییرات شن در برابر کلسیم معادل در شکل ۷ نشان داده شده است که همبستگی زیادی با یکدیگر دارد که دلیل دیگری بر انباشتگی بخش چیره کربنات ها به شکل سخت دانه در بخش شن است. نتایج به دست آمده در دو روش یاد شده در تعیین توزیع اندازه ذرات نشان می دهد که نتایج به دست آمده پس از حذف کربنات ها با ویژگی های گفته شده در خاک های لسی کاملاً همخوانی دارد. بنابراین، در ادامه تنها از نتایج پس از حذف کربنات ها در توزیع اندازه ذرات استفاده شده است.



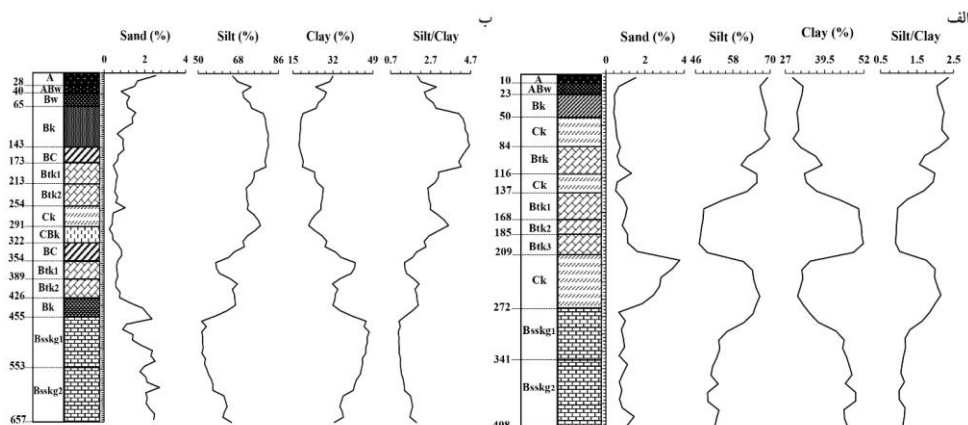
شکل ۷. همبستگی بین کربنات کلسیم معادل و بخش شن قبل از حذف کربنات ها. الف) مقطع نخست، ب) مقطع دوم

توزیع اندازه ذرات در مقاطع لسی-خاک قدیمی شاخص قابل اعتمادی از هوادیدگی، فرایندهای پیدایشی و حتی نشان دهنده شدت و ضعف آن است (جاکوب و همکاران، ۲۰۱۱). همان گونه که گفتیم، خاک های لسی حاصل ته نشینت های بادی در دوران سرد و خشک است. سیلت ذره غالب آن است و خاک های قدیمی نیز فرآورده هوادیدگی و تکامل این رسوبات در دوران گرم و مرطوب است. بنابراین، فرایندهای خاکساز و هوادیدگی و شدت و ضعف آن با

تأثیر بر ویژگی‌های توزیع اندازه ذرات مانند درصد شن، سیلت، رس، و به‌ویژه نسبت سیلت به رس بازگوکننده شرایط محیطی و اقلیمی زمان تشکیل آن است؛ به این ترتیب که افق‌های لسی ماهیت خود (چیرگی سیلت) را حفظ کرده است، ولی در خاک‌های قدیمی میزان رس افزایش می‌یابد و از نسبت چیرگی سیلت کاسته می‌شود و با بیشتر شدن شدت فرایندهای خاکساز و افزایش هوادیدگی بخش رس غالب می‌شود. در واقع، هرچقدر نسبت سیلت به رس بیشتر باشد، نشان‌دهنده تکامل کمتر و شباهت بیشتر به ماده مادری است و برعکس کاهش این نسبت نشان‌دهنده تکامل بیشتر و در نتیجه شرایط محیطی و اقلیمی مناسب‌تر در زمان تشکیل آن است.

بارندگی بسیار زیاد و دمای متوسط همراه با مواد مادری مستعد به هوادیدگی، به سرعت منجر به هوادیدگی عمیق خاک‌رخ‌ها می‌شود (دانیلز و همکاران، ۱۹۸۷). دانکین و فی (۱۹۹۳)، در مطالعات انجام‌گرفته در منطقه ناتال واقع در جنوب قاره آفریقا، ارتباط نزدیکی میان ویژگی‌های خاک و وضعیت اقلیمی، به‌ویژه میانگین بارندگی مؤثر سالانه مشاهده کردند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش مقدار بارندگی از ۲۰۰ میلی‌متر به ۱۲۰۰ میلی‌متر، نسبت رس از ۵ درصد در مواد مادری به ۳۰ درصد در افق B افزایش یافته است.

در مقاطع مورد مطالعه نیز تغییرات توزیع اندازه ذرات قابل مشاهده است. همان‌گونه که در شکل ۸ نیز مشاهده می‌شود با افزایش تکامل و شدت فرایندهای خاکساز، میزان رس خاک افزایش می‌یابد و از مقدار شن و سیلت آن کاسته می‌شود. بیشترین مقدار نسبت سیلت به رس مربوط به خاک جدید و افق‌های لسی است و کمترین مقدار آن نیز در خاک‌های قدیمی مشاهده می‌شود. همچنین، این نسبت در خاک قدیمی سوم نسبت به خاک قدیمی دوم و نخست، و در خاک قدیمی دوم نسبت به خاک قدیمی نخست مقدار کمتری دارد که نشان‌دهنده رس بیشتر و حاصل از فرایندهای خاکساز و هوادیدگی و بیانگر شرایط اقلیمی مناسب‌تر (گرم و مرطوب‌تر) در زمان تشکیل آن است. همچنین، بیشتر بودن این نسبت در خاک مدرن مقطع دوم نسبت به مقطع نخست را می‌توان به فرسایش و انتقال ذرات سیلت از بخش‌های بالایی مقطع نسبت داد.

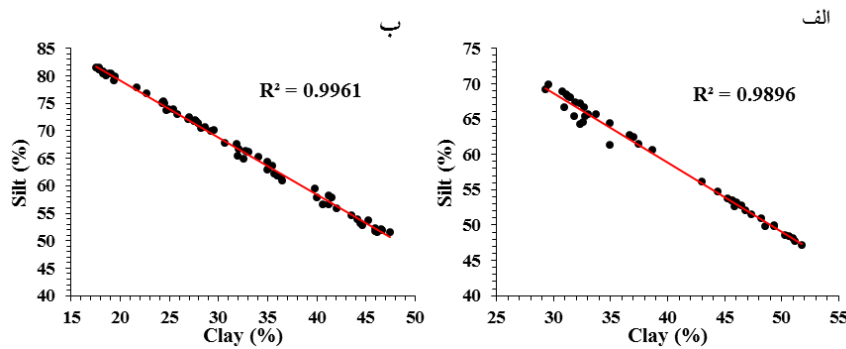


شکل ۸. روند تغییرات توزیع اندازه ذرات. الف) مقطع نخست، ب) مقطع دوم

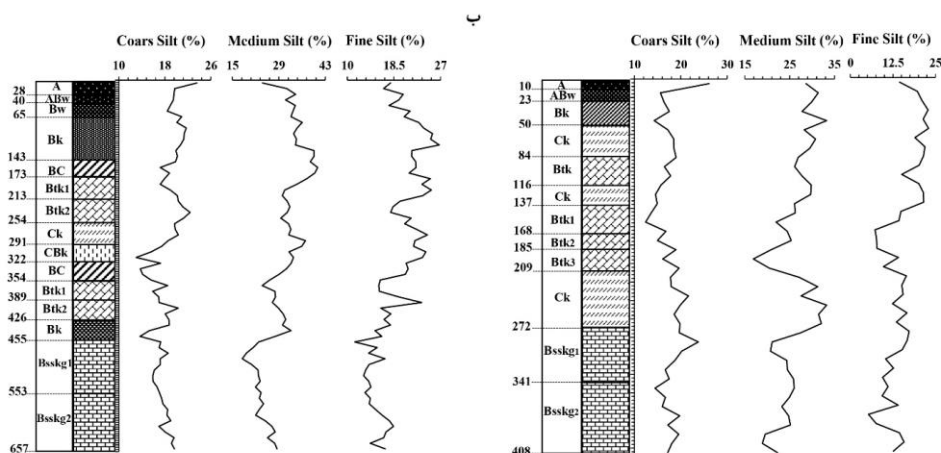
عامل اصلی تعیین‌کننده توزیع اندازه ذرات در ته‌نشست‌های لسی، فاصله از منبع برداشت است (تسوار و پای، ۱۹۸۷؛ سان، ۲۰۰۲). برای اظهار نظر در این باره از میانگین توزیع اندازه ذرات یا از بخش‌بندی اجزا استفاده می‌شود. در این میان مقدار اجزای سیلت برای قضاوت بهتر استفاده شده است (کریمی و همکاران، ۲۰۰۹؛ فریچن و دادنو، ۱۹۹۸). سیلت ذره غالب در هر دو مقطع مورد مطالعه بوده است که در بیشتر افق‌ها بیش از ۵۰ درصد ذرات را شامل می‌شود که با توجه به منشأ بادرفتی رسوبات لسی، چیرگی سیلت مورد تأیید بسیاری از پژوهشگران و جزء ویژگی‌های بارز این نوع خاک‌هاست (ضیایی و همکاران، ۲۰۱۲؛ غفارپور و همکاران، ۲۰۱۶؛ موس، ۲۰۱۳؛ شهریاری، ۱۳۹۳). شکل ۱۰ روند

تغیرات اجزای سیلت در دو مقطع را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، سیلت متوسط بخش چیره سیلت در این مقاطع است.

از آنجا که سیلت ذره غالب مواد مادری در رسوبات لسی این منطقه است و هواپدگی و فرایندهای خاکسازي موجب کاهش آن و افزایش بخش رس می‌شود، بین این دو بخش همبستگی زیاد و معکوسی مشاهده می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۹. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیزهای توزیع اندازه ذرات بخش سیلت خاک. الف) مقطع نخست، ب) مقطع دوم



شکل ۱۰. همبستگی بین سیلت و رس. الف) مقطع نخست، ب) مقطع دوم

به‌عقیده کراوی و همکاران (۲۰۰۸)، ذرات با نمای ۵۰ تا ۶۰ میکرون از فواصل کمتر از ۳۰۰ کیلومتر و ذرات با نمای ۳ تا ۸ میکرون از فاصله‌های دورتر (۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتر) حمل می‌شود. ذرات دانه‌درشت فقط در فاصله کوتاهی (کمتر از ۳۰۰ کیلومتر) با جهیدن حمل می‌شود و زمان کوتاه‌تری در هوا شناور است، در صورتی که ذرات ریز ممکن است در فاصله طولانی‌تری منتقل شود (کراوی و همکاران، ۲۰۱۰). غالب‌بودن سیلت درشت در ته‌نشست‌های لسی رودخانه راین در مرکز اروپا اغلب به منبع نزدیک انتقال سیلت نسبت داده شده است، در صورتی که سیلت متوسط و ریز مانند ته‌نشست‌های لسی تاجیکستان به مسافت طولانی انتقال نسبت داده شده است (فریچن و دادنو، ۱۹۹۸). سودمند و همکاران (۱۳۹۲) و کریمی و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه رسوبات لسی جنوب مشهد اظهار داشتند که شن خیلی ریز و

سیلت درشت (۲۰-۲۰۰ میکرون) جزء چیره‌ت‌نشست‌های لسی این مناطق است که نشان می‌دهد این ته‌نشست‌ها فاصله زیادی از منبع برداشت طی نکرده است (احتمالاً کمتر از ۳۰۰ کیلومتر)، ولی چیرگی بخش سیلت متوسط (۲۰-۶/۳ میکرون) در مقاطع مورد مطالعه نشان می‌دهد که این ته‌نشست‌ها فاصله نسبتاً طولانی‌تری (احتمالاً ۳۰۰-۵۰۰ کیلومتر) از منشأ طی کرده است.

### نتیجه‌گیری

مقاطع لسی مورد مطالعه در جنوب ساری دارای یک خاک جدید و سه خاک قدیمی است که با ته‌نشست‌های لسی از یکدیگر جدامی شود و نشان‌دهنده توالی‌های دوره‌های ته‌نشینی لس و خاکسازای بود. خاک مدرن، برخلاف موارد مشابه در استان گلستان، تکامل کمتری داشت و از افق اکریک و افق‌های زیرسطحی کمبیک و کلسیک تشکیل شده بود. در خاک‌های قدیمی PS1 و PS2، فقط افق آرچلیک باقی‌مانده بود. خاک قدیمی PS3 دارای افق Bsskg بود. کربنات‌های ثانویه به‌صورت توده‌های سخت‌دانه در اندازه‌های مختلف بود. بیشترین مقدار کربنات کلسیم معادل در لایه‌های لسی بود که در اثر آب‌شویی از خاک‌های قدیمی خارج و در این لایه‌ها انباشته شده است. کربنات‌های ثانویه به‌صورت نودول‌های سخت در بخش شن موجب افزایش غیرمنطقی مقدار شن و کاهش سیلت شده بود. به‌همین دلیل توزیع اندازه ذرات پس از حذف کربنات‌ها استفاده شد. رس و سیلت ریز در خاک‌ها به‌دلیل هواپدگی و انتقال رس بیش از لایه‌های لسی بود. چیرگی سیلت متوسط در مقاطع مورد مطالعه نشان می‌دهد که این ته‌نشست‌ها فاصله زیادی را از منشأ برداشت طی کرده است.

تکامل زیاد، ساختمان قوی، شستشوی کامل کربنات از زمینه اصلی خاک و رس بیشتر در PS3 نشان‌دهنده شرایط مناسب‌تر خاک‌سازی و اقلیم گرم و مرطوب‌تر در زمان شکل‌گیری این خاک قدیمی نسبت به PS1 و PS2 است. همچنین، افزایش رس و کاهش مقدار سیلت در خاک‌های قدیمی نسبت به افق‌های لسی نشان‌دهنده تأثیر اقلیم در شرایط مرطوب‌تر در زمان تشکیل خاک‌های قدیمی، از طریق انتقال ذرات ریز از لایه‌های بالایی به خاک‌های قدیمی به‌ویژه در افق‌های آرچلیک از یک سو و هواپدگی در جای ذرات درشت و تولید رس در افق‌های آرچلیک، به‌ویژه در افق‌های Bss است.

وجود سه خاک قدیمی در زیر خاک مدرن نشان از حداقل سه دوره اقلیمی مناسب برای تشکیل خاک در گذشته دارد. تشکیل خاک در لس‌ها، در دوره‌های بین‌یخچالی یا دوره‌های گرم کوتاه‌تر انجام شده است. با توجه به وجود سه دوره گرم در آخرین عصر یخبندان کوتاه‌تر (ورم)، احتمالاً این مقطع لسی در آخرین چرخه بین یخچالی - یخچالی کوتاه‌تر توسعه یافته است که لازم است صحت آن با مطالعات سن‌یابی در آینده بررسی شود.

### منابع

خیزانیا، ار، صادقی، ا، سعیدی، ا. (۱۳۸۲). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ساری. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. زراعت‌پیشه، م، خرمالی، ف. (۱۳۹۰). بررسی پیدایش و روند تکاملی خاک‌های تشکیل‌شده از لس در یک گرادیان اقلیمی، مطالعه موردی: شرق استان گلستان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۸: ۴۵-۶۴. سودمنده، ع، کریمی، ع، خرمالی، ف. (۱۳۹۲). پراکنش و ویژگی‌های رسوبات لسی منطقه سرخس. نشریه آب و خاک، ۲۸: ۱۰۱-۱۱۰. شهریار، ع، خرمالی، ف. (۱۳۹۳). استفاده از ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار و نشانگرهای زیستی به‌عنوان شاخص‌های اقلیم و پوشش گیاهی گذشته در طول یک شیب اکولوژیکی در بخش‌هایی از رسوبات لسی شمال ایران. رساله دکترای خاک‌شناسی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۲ ص.

غفارپور، ا، خرمالی، ف. (۱۳۹۱). مقایسه درجه تحول و خصوصیات خاک‌های مدرن با خاک‌های قدیمی لسی زیر آن در نقاط مختلف اقلیمی در استان گلستان. رساله کارشناسی‌ارشد خاک‌شناسی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۱ ص.

کریمی، ع، خادمی، ح، جلالیان، ا. (۱۳۹۰). لس: ویژگی‌ها و کاربردها برای مطالعات اقلیم گذشته. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۲۶: ۱-۲۰. کهل، م، ثروتی، م، احمدی، ح، فرش، م، اسکرونک، آ. (۱۳۸۳). بررسی روسبات لسی در شمال ایران. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱: ۹۵-۹۵.

Barta, G. (2011). Secondary carbonates in loess-paleosol sequences: a general review. Journal of Central European Geosciences, 3: 129-146.

- Beyene, S. (2011). Toposequence in Gununo area, Southern Ethiopia. *Journal of Science and Development*, 1(1): 31-41.
- Crouvi, O., Amit, R., Enzel, Y., Gillespie, A.R. (2010). Active sand seas and the formation of desert Loess. *Quaternary Science Reviews*, 29: 2087-2098.
- Crouvi, O., Amit, R., Enzel, Y., Porat, N., Sandler, A. (2008). Sand dunes as a major proximal dust source for late Pleistocene loess in the Negev Desert, Israel. *Quaternary Science Research*, 70: 275-282.
- Daniels, W.L., Everett, C.J., Zelanyz, L.W. (1987). Virgin hardwood forest soils of the southern Appalachian mountains. I. Soils morphology and geomorphology. *Journal of Soil Science Society of America*, 51: 722-729.
- Donkin, M.J., Fey, M.V. (1993). Relationships between soil properties and climatic indices in southern Natal. *Geoderma*, 59: 197-212.
- Drewnik, M., Skiba, M., Szymański, W., Żyła, M. (2014). Mineral composition vs. soil forming processes in loess soils- A case study from Kraków (Southern Poland). *Catena*, 119: 166-173.
- Farpoor, M.H., Neyestani, M., Eghbal, M.K., Esfandiarpour Borujeni, I. (2012). Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, South Central Iran. *Geomorphology*, 138: 223-230.
- Frechen, M., Dodonov, A.E. (1998). Loess chronology of the middle and upper pleistocene in Tadjikistan. *Geology Rundsch*, 87: 2-20.
- Fungo, B., Grunwald, S., Tevya, M.M., Vanlauwe, B., Nkedi-kizza, P. (2011). Lunny soils in the Lake Victoria basin of Uganda: link to toposequence and soil type. *Environmental Science and Technology of African*, 5(1): 15-24.
- Gaojun, L., Xuefen, Sh., Jun, Ch., Jiedong, Y., Yang, Ch. (2007). Oxygen-isotope record of paleorainwater in authigenic carbonates of Chinese loess-paleosol sequences and its paleoclimatic significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245: 551-559.
- Ghafarpour, A., Khormali, F., Balsam, W., Karimi, A., Ayoubi, Sh. (2016). Climatic interpretation of loess-paleosol sequences at Mobarakabad and Aghband, Northern Iran. *Quaternary Research*, 86: 95-109.
- Ghafarpour, A. (2012). Comparison of evolution and characteristics of modern and paleosols in different climatic area of Golestan province. MS.c Thesis, Soil Science Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [in Persian]
- Huang, C.Q., Zhao, W., Liu, F., Tan, W.F., Koopal, L.K. (2011). Environmental significance of mineral weathering and pedogenesis of loess on the southernmost Loess Plateau, China. *Geoderma*, 163: 219-226.
- Jacobs, P.M., Mason J.A., Hanson, P.R. (2011). Mississippi valley regional source of loess on the southern green bay lobe land surface, Wisconsin. *Quaternary Research*, 75: 574-583.
- Kampf, N., Scheinost, A.C., Schulze, D.G. (1999). Oxide minerals. *Hand Book of Soil Science*, CRC Press, Washington: 125-133.
- Karimi, A., Frechen, M., Khademi, H., Kehl, M., Jalalian, A. (2011). Chronostratigraphy of loess deposits in Northeast Iran. *Quaternary International*, 234: 124-132.
- Karimi, A., Khademi, H. and Ahmad, J. (2011) Loess: characteristics and implications for paleoclimate studies. *Physical Geography Research*, 76: 1-20. [in Persian]
- Karimi, A., Khademi, H., Jalalian, A. (2009). Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in soils and sediments of Southern Mashhad, Iran. *Crystallography and Mineralogy*, 16: 545-558.
- Kehl, M., Sarvati, R., Ahmadi, H., Frechen, M., Skowronek, A. (2006). Loess-paleosol sequences along a climate gradient in northern Iran. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 55: 149-173.
- Kehl, M., Servati, M., Ahmadi, H., Frechen, M. and Skowronek, A. (2005) On loess deposits of northern Iran. *Territory*, 1: 95-95. [in Persian]
- Kehl, M., Frechen, M., Skowronek, A. (2005). Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the basin of Persepolis, Southern Iran. *Quaternary International*, 140/141: 135-149.
- Khabaznia, A.R. and Sadeghi, A. (2003). *Geology Map of Sari*, 1:100000 scale. Geological Survey of Iran. [in Persian]
- Khademi, H., Mermut, A.R. (2003). Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from Central Iran. *Catena*, 54: 430-455.
- Khormali, F., 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.
- Khormali, F., Abtahi, A., Stoops, G. (2006). Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*, 132: 31-46.
- Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, S., Stoops, G. (2003). Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semi-arid regions of southern Iran. *Catena*, 53: 273-301.
- Kovda, I., Morgun, E., Gongalsky, K. (2014). Stable isotopic composition of carbonate pedofeatures in soils along a transect in the southern part of European Russia. *Catena*, 112: 56-64.
- Kukla, G., An, Z.S. (1989). Loess stratigraphy in central China. *Paleogeogr, Paleoclimatol, Paleoecol*, 72: 203-225.
- Liu, T.S., Ding, Z., Rutter, N. (1999). Composition of Milankovitch periods between continental loess and deep sea records over the last 2.5 Ma. *Quaternary Science Reviews*, 18: 1205-1212.
- Maher, B.A. (2016). Palaeoclimatic records of the loess/paleosol sequences of the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Science Reviews*, 154: 23-84.
- Muhs, D.R. (2013). The geologic records of dust in the Quaternary. *Aeolian Research*, 9: 3-48.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. ASA and SSSA, Medison, Wisconsin*: 539-579.
- Pye, K. (1995). The nature, origin and accumulation of loess. *Quaternary Science Review*, 14: 635-667.
- Richards, L.A. (ed.). 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook, No. 60, U.S. Gov. Print, Office, Washington, D.C.*

- Schaetzl, R.J., Thompson, M. (2015). *Soils Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Schellenberger, A., Veit, H. (2006). Pedostratigraphy and pedological and geochemical characterization of Las Carreras loess-paleosol sequence, Valle de Tafi', NW-Argentina. *Quaternary Science Reviews*, 25: 811-831.
- Shariari, A. (2014). Using stable isotopes composition and biomarkers as proxies of paleoclimate and paleovegetation along an ecological gradient in some parts of loess deposits of northern Iran. Ph. D. Thesis Dissertation, Soil Science Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [in Persian]
- Sheldon, N.D., Tabor N.J. (2009). Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Journal of Earth-Sciences Reviews*, 95: 1-52
- Shengli, Y., Xiaomin, F., Jijun, L., Zhisheng, A., Shiyue, Ch., Fukusawa, H. (2001). Transformation functions of soil color and climate. *Science in China Series. Journal of Earth Sciences*, 44: 218-226.
- Smalley, I.J., Jefferson, I.F., Dijkstra, T.A., Derbyshire E., (2001). Some major events in the development of scientific study of loess. *Journal of Earth-Science Reviews*, 54: 5-18.
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to soil taxonomy*. USDA, NRCS. Washington, DC.
- Soudmand, A., Karimi, A. and Khormali, F. (2014). Distribution and characteristics of loess deposits of Sarakhs area. *Journal of Water and Soil*, 28: 101-110. [in Persian]
- Sun, J. (2002). Provenance of loess material and formation of loess deposits on the Chinese loess plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 203: 845-859.
- Torrent, J., Schwertmann, U., Fechter, H., Alferez, F. (1983). Quantitative relationships between soil color and hematite content. *Soil Science*, 136: 354-358.
- Tsoar, H., Pye, K. (1987). Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology*, 34: 139-153.
- USDA-NRCS (1996). *Soil survey laboratory methods manual*. Soil Survey Investigations Report, No. 42, Version 3.0, Nebraska.
- Yang, S., Ding, Z., Wang, X., Tang, Z., Gu, Z. (2012). Negative  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$  relationship of pedogenic carbonate from northern China indicates a strong response of C3/C4 biomass to the seasonality of Asian monsoon precipitation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 317/318: 32-40.
- Zeraatpisheh, M. and Khormali, F. (2011). The investigation of soil formation and evolution of losses derived soils in a climosequence, case study: eastern of Golestan provinc. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18: 45-64. [in Persian]
- Ziyace, A., Pashaei, A., Khormali, F., Roshani, M.R. (2012). Sign of pedogenesis in loess-paleosol sequences as indicator of paleoclimte, Golestan Province, Iran. *International Research of Applied and Basic Sciences*, 3: 1802-1812.