مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
پاییز و زمستان ۱۳۹۰، جلد چهارم، شماره ۳ و۴، صفحه ۳۱ تا ۴۰

ارزیابی آزمایش تحکیم منفرد جهت برآورد رمبندگی خاک‌های لسی استان گلستان

مجتبی حیدری* [۱]، غلامرضا خانلری[۲]، سهیل گنجه‌فر[۳]، طاهره صالحی[٤]

دریافت مقاله: ۹۰/۱۱/۵ پذیرش مقاله: ۹۱/۵/۹

چکیده

در این پژوهش خواص فیزیکی- مکانیکی خاک‌های لسی نقاط شمالی، میانی و جنوبی استان گلستان مطالعه شده و ضریب رمبندگی لس‌ها تعیین شده است. در ارزیابی میزان رمبندگی خاک‌های لسی استان گلستان، ضریب رمبندگی تعیین شده به روش آزمایش تحکیم منفرد برای نمونه‌های با درصد سیمان کلسیتی بیش از ۱۷ درصد، کمتر از مقدار ضریب رمبندگی حقیقی است. علت کاهش ضریب رمبندگی، انحلال سریع سیمان کلسیتی خاک‌های لسی و اشباع شدن آب درون ظرف تحکیم از یون کلسیم می‌باشد. اشباع شدن آب درون ظرف تحکیم، مانع تخریب کامل پیوندهای ناشی از سیمان‌شدگی بین ذرات خاک می‌گردد. بنابراین در این تحقیق پیشنهاد شده است، آب درون ظرف تحکیم هر شش ساعت یک بار باید تعویض گردد تا آب تازه جایگزین شده بتواند به طور کامل پیوندهای بین ذرات خاک را از بین ببرد. در این تحقیق، به منظور پرهیز از خطرات ناشی از برآورد غیر واقعی پتانسیل رمبندگی در محل سازه‌های هیدرولیکی، پیشنهاد شده است که برای تعیین ضریب رمبندگی خاک‌های لسی استان گلستان که حاوی درصد سیمان کلسیتی زیادی هستند، از آزمایش تحکیم منفرد اصلاح شد، استفاده شود.

کلید واژه‌ها: *رمبندگی، خاک‌های لسی، اصلاح شده، آزمایش تحکیم منفرد، سیمان کلسیتی*

۱- استادیار زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم Heidari-enggeol@yahoo.com
۲- دانشیار زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم Khanlari-reza@yahoo.com
۳- استادیار مهندسی برق کنترل، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی S_ganjefar@yahoo.com
٤- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم، psum16@yahoo.com
* مسئول مکاتبات

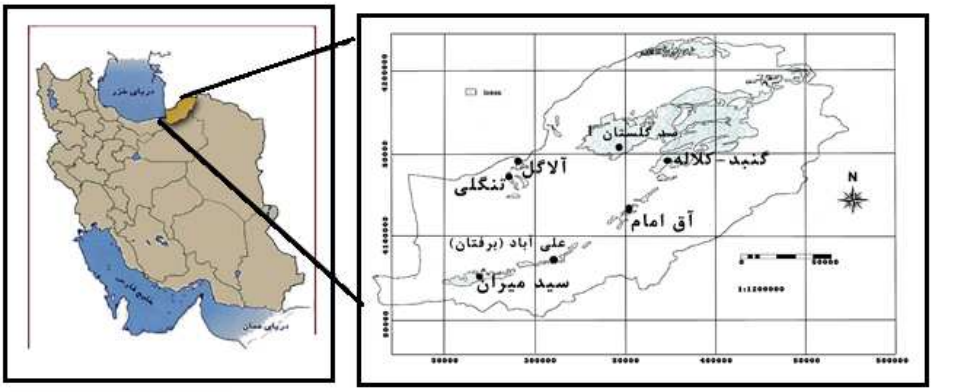
۱. مقدمه

خاک‌های رمبنده در زمره خـاک‌هـای مسـاله‌دار از نقطـه نظـر زمین‌شناسی مهندسی هستند، که در اثر افزایش رطوبت تحـت بار مکانیکی اعمال شده به طور ناگهانی دچـار کـاهش حجـم قابل ملاحظه‌ای می‌شوند(Day, 2001). لس‌ها، شـاخص‌تـرین خاک‌های رمبنده ایران هستند که در بخـش‌هـای شـرقی مثـل سرخس، مرکزی مثل سـاوه و شـمالی مثـل گرگـان گسـترش وسیعی دارند. این خاک‌ها در حالت خشک، پتانسیل رمبندگی کمی دارند(Miao, 2001). لس‌ها بسیار متخلخل بوده و دارای تخلخل شبکه‌ای یا داربستی هستند(Yuan and Wang, 2009) .این خاک‌ها به محض اشباع شدن، بـه شـدت دچـار کـاهش مقاومت شده و ممکن است ساختار آنهـا ریـزش پیـدا کنـد و دچار رمبندگی شوند. لس‌هـا در شـمال ایـران در اسـتان‌هـای مازندران، گیلان، گلستان گسترش دارنـد. عنـدلیبی بـا تهیـه‌ی نقشه زمین‌شناسی، خاک‌های لسی استان گلستان را بـه عنـوان رسوبات بادی-یخچالی با سن پلیوسن- کواترنر معرفی کـرده است وی نشان داد که بالغ بر ۳۸۰۰ کیلومتر مربـع از وسـعت استان گلستان توسـط خـاک‌هـای لسـی پوشـیده شـده اسـت (عندلیبی،۱۳۷۳). با توجه به نیاز بـه توسـعه شـهرهای اسـتان گلستان و احداث ابنیه‌های فنی نظیر سدها، تونل ها، کانال‌های آبیاری، خطوط آب و فاضلاب، راه و راه‌آهن و نیز بـا عنایـت به تحقیقات اندکی که در ارتباط با خاک های رمبنده در اسـتان گلستان صورت گرفته است، لزوم بررسی وضـعیت رمبنـدگی خاک‌های لسی در استان گلستان بیش از پیش آشکار می‌شـود.

یک روش مناسب برای تعیـین ضـریب رمبنـدگی، اسـتفاده از نتایج آزمون‌های تحکیمی است که بر روی خاک‌هـای مشـابه، با درصد رطوبت متفـاوت انجـام مـی‌شـود (Rezink,2005). برای ارزیـابی میـزان رمبنـدگی خـاک‌هـا، معیارهـایی توسـط (Gibbs and Bara (1962) ،Clevenger (1958) ، Jennings and Knight ،Handy (1973) ،Denisov (1963) (1956) ارائـه شـده اسـت. Knight (1963) آزمـایش تحکـیم منفرد را برای ارزیابی رمبندگی خاک‌ها ارائه کـرد کـه امـروزه این آزمایش یکی از مناسب‌ترین روش‌هـای تعیـین رمبنـدگی خاک‌هـا اسـت. در ایـن پـژوهش، ضـمن ارزیـابی رمبنـدگی خاک‌های لسی استان گلستان، کارایی آزمـایش تحکـیم منفـرد معمولی در ارزیابی پتانسیل رمبندگی نمونه‌های لسی که دارای درصد کربنات کلسیم بالایی هستند، مـورد ارزیـابی قرارمـی-گیرد.

۲.موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مطالعاتی در استان گلستان واقـع اسـت. ایـن اسـتان بـا مساحتی معادل ۲۰٤۳۷ کیلومترمربع در شمال کشور و حاشـیه دریای خزر بین طول‌های جغرافیـایی '۱۹ ،°٥٦ تـا '٥۱ ،°٥۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۰۸ ،°۳۸ تـا '۳۰ ،°۳٦ شـمالی قراردارد که از شمال به کشور ترکمنسـتان و دریـای خـزر، از جنوب به سلسله جبال البـرز و اسـتان سـمنان و از غـرب بـه استان مازندران محدود می‌گردد . شکل ۱ موقعیت محـل‌هـای نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت استان گلستان و نقاط نمونه‌برداری

۳. زمین‌شناسی منطقه

استان گلستان در دو پهنه زمین ساختی متفاوت قرار گرفته، بخش شمالی استان، جزیی از صفحه توران و بخش جنوبی آن جزیی از صفحه ایران است. لس‌های منطقه خزر به عنوان رسوبات بادی- یخچالی با سن پلیوسن- کواترنری شناخته می‌شوند (عندلیبی،۱۳۷۳). از نظر منشاء، لس‌ها به دو دسته شرق و غرب خزر تقسیم شده‌اند. عندلیبی (۱۳۷۳) بر اساس نوع و مقدار کانی‌های سنگین برای لس های شرق و غرب خزر؛ منشاهای متفاوتی را در نظر می‌گیرد .ذرات لس‌های تیپ شرق خزر که دارای کانی‌های کوارتز، کلسیت، فلدسپات، دولومیت، میکا و رس هستند، منشاء رسوبی دارند. اما ذرات لس‌های تیپ غرب خزر به علت مشاهده کانی‌هایی از قبیل هورنبلند بازالتی و خاکسترهای آتشفشانی، احتمالاً منشا آذرین دارند (عندلیبی،۱۳۷۳). در مورد منشاء لس‌های استان گلستان نظرات متفاوتی وجود دارد. برخی این لس‌ها را در گروه لس‌های آسیایی می‌دانند (پاشایی، ۱۳۸۵). اخروی و امینی معتقدند که منشا لس‌های استان گلستان، بیابان قره‌قوم ترکمنستان می باشد (Okhravi and Amini, 2001). برخی از محققین معتقدند لس‌های گلستان حاصل گرد و غبار حمل شده به وسیله بادهای پلئیستوسن از سرزمین ترکمنستان و اروپای خاوری هستند که در آخرین پسروی یخچالی دوره کواترنر به سمت ایران آمده‌اند (جعفری اردکانی و همکاران، ۱۳۸۰). پاشایی (۱۳۷٦) با بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این رسوبات، منشاء اصلی مواد لسی را به نهشته‌های سیلابی و تپه‌های ماسه‌ای واقع در فرورفتگی دریای خزر نسبت می‌دهد. لس‌های مورد مطالعه در تمامی استان گلستان از نظر ریخت‌شناختی همگن بوده، رنگ آن زرد نخودی تا قهوه‌ای مایل به زرد بوده و دانه‌های سیلت، بخش اعظم آن را تشکیل می‌دهند، در این نهشته‌ها فروچاله، گالی و لغزش‌به فراوانی مشاهده می‌شود (شکل‌های۲ تا ٤).

شکل ۲. فروچاله در اطراف سد گلستان۱

شکل ۳. لغزش‌شیروانی در خاک‌های لسی برفتان(علی‌آباد)، نگاه به جنوب

شکل ۴. دره خندقی ایجاد شده در خاک‌های لسی منطقه آلاگل(نگاه به شمال)

۴. مواد و روش‌ها

در این پژوهش، بیش از پنجاه نمونه بلوکی مکعبی بزرگ و دست نخورده (شکل ۵) از نقاط مختلف استان گلستان نمونه‌برداری شده است که شامل مناطق شمالی (آلاگل)، میانی (سه راهی گنبد-کلاله) و مناطق جنوبی (برفتان) استان گلستان می‌باشد. نقاط انتخاب شده در این مقاله، تیپ‌های مختلف لس‌های استان در بخش‌های شمالی، میانی و جنوبی را پوشش می‌دهند.

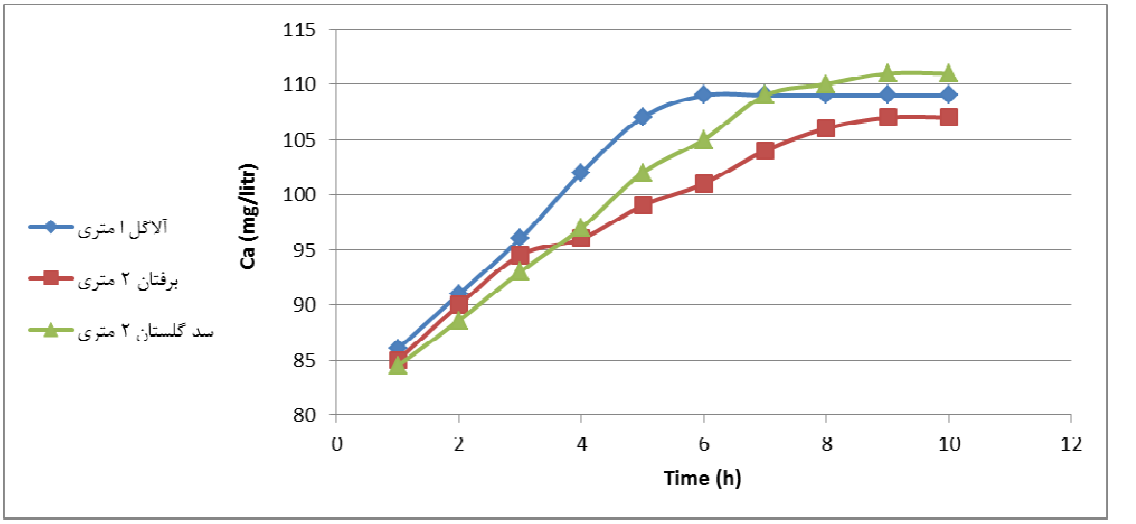
نمونه‌ها از دیواره ترانشه‌ها تهیه شده و پس از پیچیده شدن در پارچه آغشته به شمع مذاب، توسط فویل آلومینیومی پوشیده شده و در داخل جعبه‌هایی که بدین منظور آماده شده بودند، قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. برای تعیین خواص شاخص خاک‌های لسی، آزمایش‌های تعیین حدود آتربرگ، درصد رطوبت طبیعی و دانسیته برجا به روش‌های استاندارد ASTM انجام شد. با تهیه مقطع نازک از نمونه‌های دست نخورده، وضعیت کانی‌شناختی و سیمان شدگی آنها مطالعه گردید. همچنین برای تشخیص دقیق نوع کانی‌های موجود در خاک های لسی استان، آزمایش XRD انجام شد. جهت بررسی جنس دانه‌های موجود در خاک، اندازه دانه‌های خاک، جنس ذرات سیمان کننده، اندازه حفرات و فضای خالی موجود در خاک، نحوه آرایش ذرات از میکروسکوپ الکترونی استفاده شده است. درصد کربنات کلسیم نمونه‌ها به طریقه تیتراسیون اسید با باز تعیین شده است. برای تعیین استعداد رمبندگی خاک‌ها، بر روی نمونه‌های دست نخورده‌ای که از اعماق متفاوت تهیه شده بود، آزمایش تحکیم منفرد به روش استاندارد انجام گرفت. به این ترتیب که نمونه دست نخورده خاک با رطوبت طبیعی در آزمایش اودیومتری، تا تنش ۲۰۰ کیلو پاسکال بارگذاری شد و سپس تحت تنش فوق، خاک اشباع گردید و تغییر شکل نمونه در مدت زمان ٢٤ ساعت بعد از اشباع شدن اندازه‌گیری شد.

به دلیل وجود املاح کربنات کلسیم در نمونه خاک، آب درون ظرف تحکیم به سرعت از یون کلسیم اشباع شد. برای کنترل زمان اشباع شدن آب، تعداد۱۰ نمونه خاک، هم وزن با وزن نمونه‌هایی که درون رینگ تحکیم قرار گرفته‌اند، تهیه و درون استوانه‌های مدرج ریخته شد و آبی معادل حجم آب درون ظرف تحکیم، به استوانه‌های حاوی نمونه خاک اضافه شد و هر یک ساعت یک بار، به روش تیتراسیون، آب درون استوانه‌ها تیتر شد و درصد یون کلسیم موجود در آن، اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که آب درون ظرف تحکیم خاک منطقه آلاگل، سریع‌تر از سایر مناطق و در مدت ٦ ساعت بعد از غرقاب شدن، از یون کلسیم اشباع می شود. به طوری‌که بعد از شش ساعت غلظت یون کلسیم ثابت می‌ماند (شکل٦). لذا بر مبنای این یافته، آزمایش تحکیم منفرد اصلاح شده، به جای آزمایش تحکیم استاندارد پیشنهاد شده است. در آزمایش اصلاح شده، برای از بین رفتن کامل پیوندهای بین ذرات خاک، توصیه شده که آب درون ظرف تحکیم هر شش ساعت یک بار تعویض شود.

شکل ۵. نحوه تهیه نمونه بلوکی دست نخورده

در این تحقیق، برای کنترل صحت نتایج آزمایش تحکیم منفرد، آزمایش تحکیم منفرد اصلاح شده انجام شده است. در این آزمایش، نمونه‌های خاک در درون ظرف تحکیم، به مدت یک، سه و نهایتاً هفت روز اشباع شده‌اند. همچنین در فواصل

زمانی هر شش ساعت یک بار آب اشباع شده درون ظرف تحکیم، توسط سرنگ تخلیه گردیده و مجدداً آب تازه به ظرف تحکیم افزوده شده است. در آزمایش تحکیم منفرد اصلاح شده، نمونه خاک، مشابه آزمایش تحکیم منفرد استاندارد، تحت تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال قرار گرفته است.



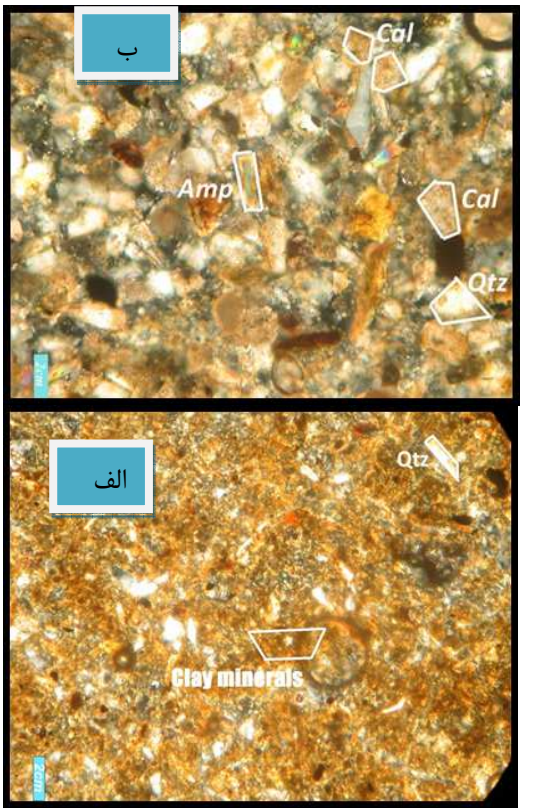
شکل ۶. نتایج تیتراسیون تغییرات یون کلسیم در مقابل زمان

۵. بحث و بررسی

۵-۱. کانی‌شناسی و ساختار خاک‌ها

نتایج مطالعات مقاطع نازک، XRD و میکروسکوپ الکترونی (SEM) در اشکال ۷ تا ۹ نشان داده شده‌اند. در لس‌های نواحی جنوبی استان گلستان (شکل۷- الف) تنها کانی قابل تشخیص در مقاطع نازک، کانی‌های کوارتز ریزدانه و زاویه‌دار هستند. مقطع نازک تهیه شده از لایه خاک نشان دهنده ۳۰ درصد ذرات سیلتی از جنس کوارتز هستند. ٦٥ درصد ذرات از مجموعه ذرات در اندازه‌ی ذرات رسی تشکیل شده است که امکان مطالعه آنها با استفاده از میکروسکپ پلاریزان وجود ندارد. برای تعیین درصد کانی‌های کوارتز و فلدسپات از روش شمارشی استفاده شده است.

لس‌های نواحی شمالی استان گلستان (شکل ۷- ب) درشت بلورتر می‌باشند. مقاطع مورد مطالعه از این ناحیه حاوی بیش از ٤٠٪ کوارتز، ۲۰٪ فلدسپات، ۱۵٪ میکا (مسکوویت، بیوتیت)، بین ۲۰ تا ۳۰٪ کربنات کلسیم بوده و بقیه را کانی‌های رسی و سایر کانی‌ها تشکیل می‌دهند.

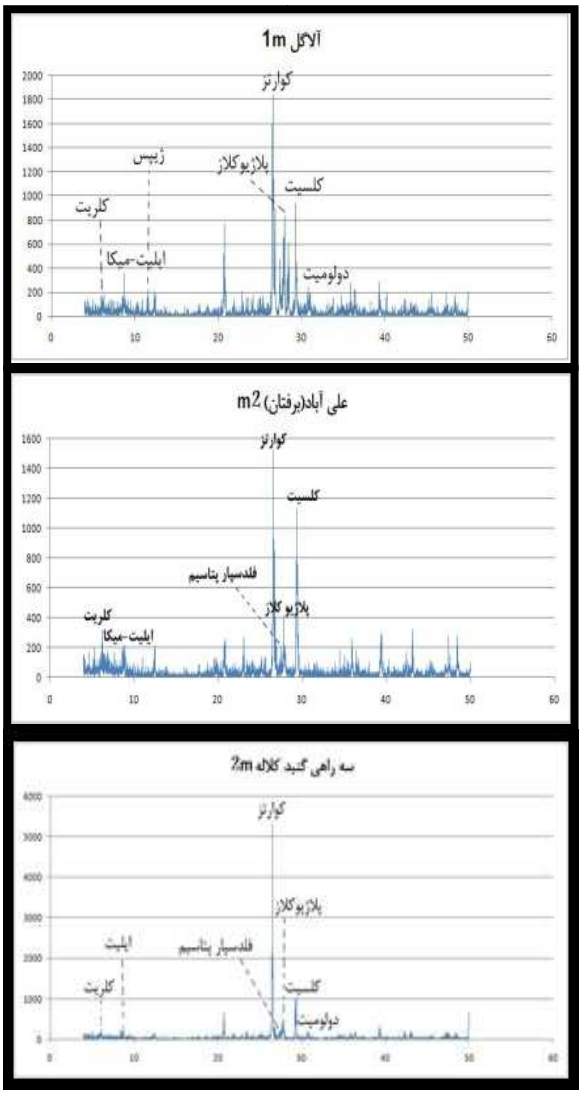


شکل ۷. تصاویر مقاطع نازک لس‌های استان گلستان

الف- نواحی شمالی (Amp:آمفیبول Cal:کلسیت Qtz:کوارتز)

ب- نواحی جنوبی(Qtz: کوارتز clay mineral:کانی‌های رسی)

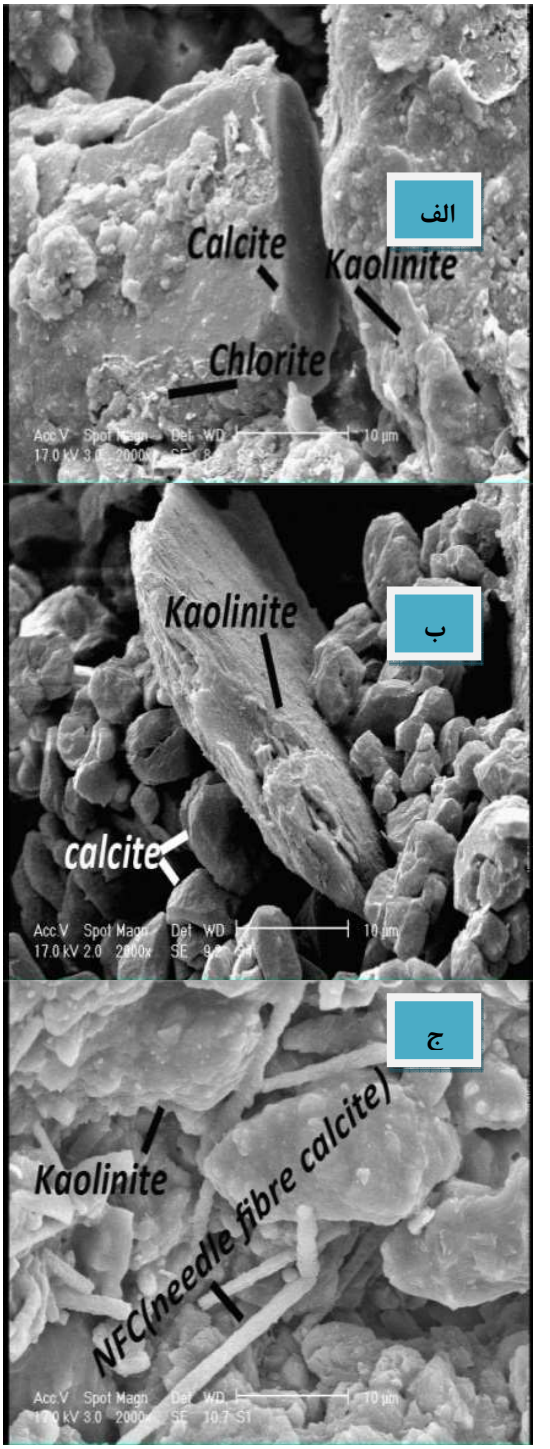
نتایج مطالعات XRD (شکل ۸) نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی تشکیل دهنده لس‌های استان گلستان شامل کوارتز، کلسیت، پلاژیوکلاز، ایلیت، میکا، کلریت، کائولینیت می‌باشند.



شکل ۸ نمودارهای XRD خاک‌های لسی استان گلستان

نتایج مطالعات میکروسکوپ الکترونی(شکل۹)، نشان دهنده وجود حفرات ماکروسکوپی، ساختار باز، سیمان کلسیتی و خمیره رسی در بین ذرات به اندازه سیلت و ماسه است.

برای تعیین درصد کربنات کلسیم موجود در خاک‌های استان گلستان از روش کلسیمتری استفاده شده است. نتایج مطالعات در شکل۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار کربنات کلسیم از ۱۵ تا ٤٤ درصد متغیر است.

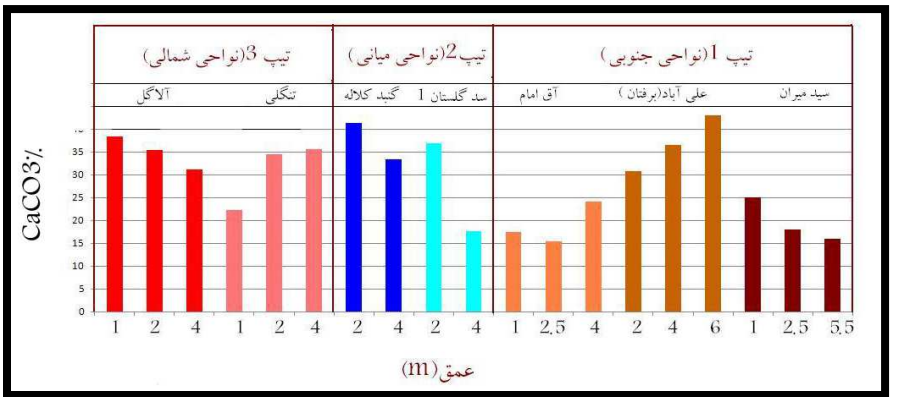


شکل ۹. تصاویر SEM از خاک لسی استان گلستان **که بیان‌گر** سیمان کلسیتی و خمیره رسی در نمونه‌ها است.

الف- تصویر SEM از خاک لسی آلاگل،

ب- تصویر SEM از خاک لسی سد گلستان ۱

ج- تصویر SEM از خاک لسی علی‌آباد (برفتان)



شکل ۱۰. نمودار تغییرات درصد فراوانی مقدار کربنات کلسیم درمناطق و اعماق مختلف لس‌های استان گلستان

۵-۲.خواص شاخص خاک‌ها

برای شناخت خواص شاخص خاک‌های استان گلستان، از آزمایش‌های آزمایشگاهی به روش‌های استاندارد ASTM استفاده شده است. این خواص شامل چگالی ذرات جامد خاک، درصد رطوبت، تخلخل، نسبت پوکی، دانسیته خشک و حدود اتربرگ خاک است. نتایج آزمایش‌های انجام شده برای تعیین خواص شاخص لس‌های استان گلستان در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نسبت پوکی خاک‌ها، مشابه با همه خاک‌های لسی زیاد است و درصد رطوبت خاک از جنوب به شمال استان کاهش می‌یابد.

۵-۳. ارزیابی رمبندگی لس‌ها

برای شناخت میزان رمبندگی خاک‌های لسی استان گلستان یکی از آزمایش‌های آزمایشگاهی مناسب، آزمایش تحکیم منفرد استاندارد است. مقدار ضریب رمبندگی در این آزمایش از رابطه ۱ محاسبه میشود. (شکل ۱۱).

$$I_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} \qquad (۱)$$

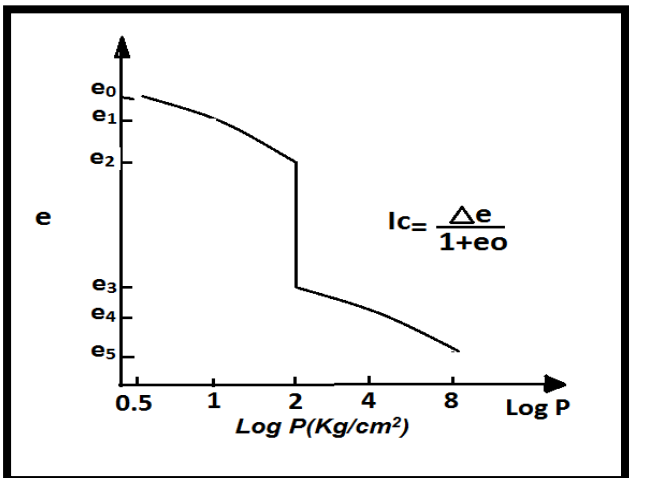
در این رابطه:

I_c= ضریب رمبندگی

Δe= تغییر در نسبت تخلخل خاک در اثر اشباع شدن نمونه

e_0= نسبت تخلخل اولیه خاک

اگر مقدار ضریب I_c کمتر از یک باشد، خاک غیر رمبنده بوده، اگر بین ۱ تا ۵ باشد، کمی رمبنده، اگر بین ۵ تا ۱۰ باشد، خاک رمبنده، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ باشد، به شدت رمبنده و در صورتی که بیش از ۲۰ باشد، خاک بسیار شدید رمبنده است (Jennings and Knight, 1956).



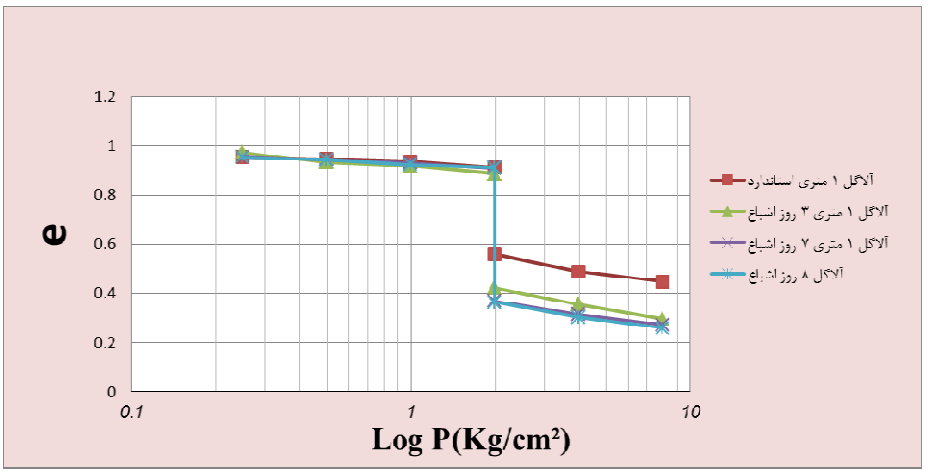
شکل ۱۱. نمودار شماتیک حاصل از آزمایش تحکیم منفرد

ارزیابی میزان رمبندگی خاک‌های لسی استان گلستان توسط آزمایش تحکیم منفرد استاندارد، نشان می‌دهد که ضریب رمبندگی خاک‌های با درصد متفاوت سیمان کلسیتی، تفاوت ناچیزی دارند (جدول۲). در حالی‌که طبق یافته‌های محققین قبلی انتظار می‌رود که ضریب رمبندگی خاک‌های دارای درصد سیمان کلسیتی بیشتر، افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان دهد (Feda, 1966 و Lutenger and Halberg, 1988). با توجه به حجم کم آب در درون ظرف تحکیم، به نظر می‌رسد پیوندهای ناشی از کربنات کلسیم بین ذرات خاک از بین رفته و آب از یون کلسیم اشباع می‌شود و لذا در

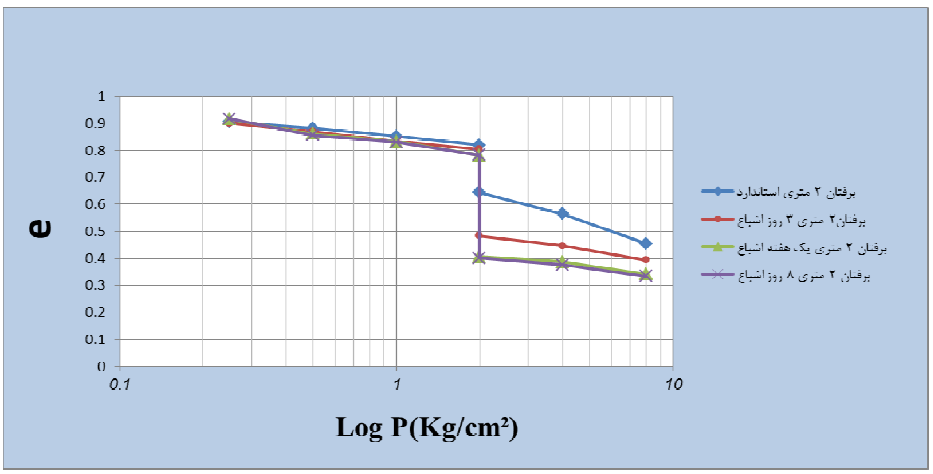
آزمایش تحکیم منفرد استاندارد، امکان تضعیف کامل پیوندهای بین ذرات خاک لسی میسر نمی‌شود. قاراقوزیان و همکاران (Karakouzian et al,1996) نشان دادند که اگر میزان آب موجود در منافذ خاک‌های دارای کانی‌های انحلال‌پذیر کم باشد، آب به سرعت اشباع می‌شود. لذا ضریب رمبندگی به دست آمده از روش آزمایش تحکیم منفرد استاندارد، برای خاک‌های لسی که درصد سیمان کلسیتی زیادی دارند، کمتر از مقدار واقعی است. در این تحقیق، برای تعیین دقیق‌تر ضریب رمبندگی خاک‌های لسی حاوی درصد سیمان کلسیتی زیاد و فراهم کردن شرایط انحلال کامل پیوندهای ناشی از سیمان کلسیتی، آزمایش تحکیم منفرد اصلاح شده یک‌روزه، سه روزه و هفت روزه پیشنهاد شده است.

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که مقدار ضریب رمبندگی خاک‌ها در آزمایش تحکیم استاندارد در مقایسه با آزمایش‌های تحکیم اصلاح شده یک‌روزه، سه روزه و هفت روزه، از ۳۰ تا ۱۰۰ در صد تغییر می‌کند (جدول ۲).

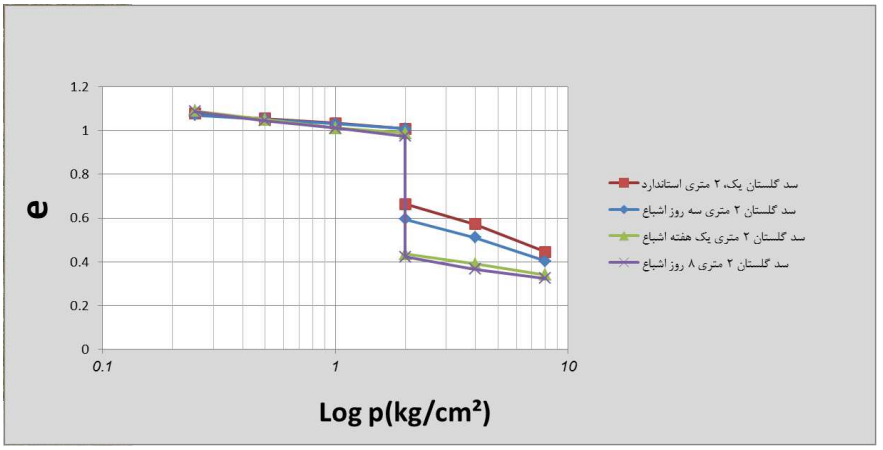
(اشکال۱۲ تا ١٤) به عنوان نمونه‌هایی از نتایج آزمایش‌های تحکیم منفرد استاندارد و اصلاح شده نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، نتایج به دست آمده برای خاک‌های لسی با سیمان کلسیتی زیاد در استان گلستان نشان میدهد که با افزایش مدت زمان آزمایش تحکیم اصلاح شده از یک‌روز به سه روز و از سه روز به هفت روز، ضریب رمبندگی افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که اشباع شدگی بیش از هفت روز در نتایج آزمایش‌ها اثری نداشته است (اشکال ۱۲ تا ١٤).



شکل ۱۲. نتایج آزمایش تحکیم منفرد استاندارد و اصلاح شده منطقه آلاگل(عمق ۱ متری)



شکل ۱۳. نتایج آزمایش تحکیم منفرد استاندارد و اصلاح شده منطقه برفتان (عمق ۲ متری)



شکل ۱۴. نتایج آزمایش تحکیم منفرد استاندارد و اصلاح شده سد گلستان (عمق ۲ متری)

جدول ۱. خواص شاخص خاک‌های لسی استان گلستان

موقعیت جغرافیائی	نام محل	شماره نمونه	W%	n	e	Gs	□d(g/cm³)	LL	PI
ناحیه ۱ (مناطق جنوب استان)	علی آباد ۲ متری	T1-1	٦/٠٩	٠/٤٧	٠/٩٢	٢/٦٦	١/٣٨	٣٦/٨	١٩/٤٥
	علی آباد ٤ متری	T1-2	١٠/٦٧	٠/٤٥	٠/٨٥	٢/٦٧	١/٤٤	٣٧/٧	١٨/٨٢
	علی آباد ٦ متری	T1-3	٦/٤٢	٠/٤٤	٠/٨١	٢/٦٥	١/٤٦	٣٥/٩	٢٠/١
ناحیه ۲ (مناطق میانی استان)	آق آباد- سد گلستان-۲ متری	T2-1	٥/٩٤	٠/٥٢	١/١٢	٢/٦٨	١/٢٦	٣٠/٧	١٤/٣٧
	آق آباد- سد گلستان-٤ متری	T2-2	٥/٣١	٠/٤٨	٠/٩٥	٢/٧٠	١/٣٨	٣٢/٧	١٥/٧
ناحیه ۳ (مناطق شمالی استان)	آلاگل ۱ متری	T3-1	٣/٥	٠/٤٩	٠/٩٦	٢/٥٧	١/٣١	١٨/٣٦	٤/٨١
	آلاگل ۲ متری	T3-2	٢/٩١	٠/٤٨	٠/٩٣	٢/٦٩	١/٣٩	١٨/١	٤/٩٥
	آلاگل ٤ متری	T3-3	٣/٩٤	٠/٤٧	٠/٨٩	٢/٦٧	١/٤١	٢٠/٢١	٥/٣٢

جدول ۲. تغییرات ضرایب رمبندگی خاک‌های لسی استان گلستان در آزمایش تحکیم منفرد استاندارد و اصلاح شده

ناحیه	نام محل	شماره نمونه	Caco3 %	Ic (روش استاندارد)	Ic (روش اصلاح شده) (۷۲ ساعت)	Ic (روش اصلاح‌شده) (۱٦۸ ساعت)	Ic (روش اصلاح شده) (۱۹۲ ساعت)
ناحیه ۱ (مناطق جنوب استان)	علی‌آباد ۲ متری	T1-1	٣٠/٧٨	٩/١٢	١٦/٨٥	١٩/٥٧	١٩/٩١
	علی‌آباد ٤ متری	T1-2	٣٦/٤٣	٨/٦٦	١٢/٦٤	١٥/٩٩	١٦/٠٥
	علی‌آباد ٦ متری	T1-3	٤٣/٠٤	٦/٦٦	٨/٧٦	١١/٠١	١١/٢٣
ناحیه ۲ (مناطق میانی استان)	آق‌آباد- سد گلستان-۲ متری	T2-1	٣٦/٩١	١٦/١٨	١٩/٩٤	٢٦/٤٩	٢٧/٠٥
	آق‌آباد- سد گلستان-٤ متری	T2-2	١٧/٥١	١٣/٧٩	١٨/١٨	٢٣/٣٣	٢٣/٦١
ناحیه ۳ (مناطق شمالی استان)	آلاگل ۱ متری	T3-1	٣٨/٢٨	١٨/١٠	٢٣/٦٦	٢٧/٦٣	٢٨/٥٥
	آلاگل ۲ متری	T3-2	٣٥/٢٨	١٦/٥٨	٢١/٩٨	٢٣/٩٤	٢٤/٠٦
	آلاگل ٤ متری	T3-3	٣١/٠٣	١٤/٨٦	١٧/٤٩	٢١/٥٥	٢١/٨٩

۶. نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که برای خاک‌های لسی با سیمان شدگی بیش از ۱۷ درصد، ضریب رمبندگی تعیین شده به روش آزمایش تحکیم منفرد، کمتر از مقدار واقعی است. لذا برای تعیین مقدار دقیق ضریب رمبندگی خاک‌های لسی با سیمان شدگی زیاد، آب اشباع شده از یون کلسیم از درون ظرف تحکیم تخلیه شده و با آب تازه جایگزین می‌شود. این

عمل برای هر شش ساعت یک‌بار، به مدت هفت روز ادامه می‌یابد. به این ترتیب تمامی پیوندهای ناشی از سیمان شدگی بین ذرات خاک، از بین می‌رود و به این ترتیب ضریب رمبندگی حقیقی خاک تعیین می‌شود.

برای خاک‌های لسی با سیمان‌شدگی ناچیز، آزمایش تحکیم منفرد مناسب‌ترین آزمایش جهت تعیین رمبندگی لس‌ها است. در واقع این تحقیق نشان می‌دهد که برای خاک‌های با درصد کم سیمان کلسیتی، ضریب رمبندگی تعیین شده به روش‌های آزمایش تحکیم استاندارد و آزمایش تحکیم استاندارد اصلاح شده، یکسان می‌باشد و نیازی به روش اصلاحی نیست.

منابع

پاشایی، ع. ۱۳۷٦. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و چگونگی خاستگاه رسوب‌های لسی در منطقه گرگان و دشت، فصل‌نامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ٢٤-٢٣، ص ٧٨-٦٧.

پاشایی، ع. ۱۳۸۵. ترکیب کانی‌های رسی در مواد لسی وتغییرات آن نسبت به شرایط محیط در استان گلستان، فصل نامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره٦٠.

جعفری اردکانی، ع .، بیات، ر .، پیروان، ح.، شریعت جعفری، م. ۱۳۸۸. بررسی وضعیت فرساش و رسوب در نهشته‌های لسی استان گلستان. ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۱۷۳-۱۱٦۱.

خواجه. م.، غیومیان، ج.، فیض‌نیا، س. ۱۳۸۳. بررسی تغییرات جانبی اندازه ذرات و کانی‌شناسی به منظور تعیین جهت بادهای غالب در تشکیل رسوبات لس استان گلستان. نشریه بیابان، جلد ۹، شماره ۲، ص ۳۰٦-۲۹۳.

عندلیبی، م. ج. ۱۳۷۳. مشخصات، منشاء و طبقه‌بندی لس‌های کواترنر پسین در حوضه خزر ایران. رساله کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۱۵۰ ص.

ASTM D1556, 2000. Standard test method for density and unit weight of soil in place by the sand-con method. Annual Books of ASTM Standards.

ASTM D2216, 2000. Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. Annual Books of ASTM Standards.

ASTM D4318, 2000. Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soil. Annual Books of ASTM Standards.

ASTM D854, 2000. Standard test methods for specific gravity of soils. Annual Books of ASTM Standards.

Cahney, R.C., 1982. Geotechnical Properties, Behaviour and Performance of Calcareous Soils, ASTM STP777, 3-15.

Clevenger, W.A., 1958. Experiences with loess as a Foundation material. Transactions American Society for Civil Engineers, 123:151-80.

Day, R.W., 2001. Soil Testing Manual. 1st Ed., McGraw- Hill, New York, ISBN: 0-07-136363-7.

Denisov, N.Y., 1963. About the nature of high sensitivity of Quick clays. Osnov. Fudam. Mekh. Grunt, 5: 5-8.

Feda, J., 1966. Structural stability of subsidence loess soils from Praha-Dejvice. Engineering Geology, 1(3): 201-219.

Gibbs, H.J., Bara, J.P., 1962. Predicting surface subsidence from basic soil tests. ASTM Spec. Tech. Pub., 322: 231-246.

Handy, R.L., 1973. Collapsible loess in Iowa. Soil Science American Proceeding, 37: 281-284.

Jennings, J., Knight, K., 1956. Recent experience with the consolidation test as a means of identifying conditions of heaving or collapse of foundation on partially saturated soils. Trans., Sought African Inst. Of Civil Engineering. Aug, pp. 255-256.

Karakouzian, M., A. Pitchford, M. Leonard and B. Johnson, 1996. Measurements of soluble salt content of soils from arid and semi-arid regions. Geotechnical Testing Journal, 19: 364-372.

Knight, K., 1963. The origin and occurrence of collapsing soils. Proceedings of 3rd Regional African Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering(1): 127-130.

Lutenger, A. J., & Halberg, G.R., 1988. Stability of loess. Engineering geology, 25(2-4): 247-261.

Miao, T., 2001. Present status of collapse deformation mechanism of loess. In: Iuo yusheng, wang Guolie, (Eds.), Engineering and Research on Collapsible Loess, China Architecture press, Beijing, pp: 73-82.

Okhravi, R., Amini, A., 2001. Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in Northeast Iran, Global and Planetary Change, v. 28: 11-22.

Reznik, Y.M., 2005. A Method of Calculations of Soil Structural Pressure Values. Engineering Geology, 78(1-2): 95–104.

Yuan, Z.X., Wang, L.M., 2009. Collapsibility and seismic settlement of loess. Engineering Geology. 105(1-2): 119-123.