



## ارزیابی لس‌های استان گلستان براساس معیارهای زمین‌شناسی مهندسی

حامد رضایی<sup>۱\*</sup>، غلامرضا لشکری‌پور<sup>۱</sup>، جعفر رهنمازاد<sup>۲</sup> و رشید پیرانداج<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد، Rezaei.hamed@gmail.com

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

(\* عهده‌دار مکاتبات)

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۶؛ تاریخ دریافت اصلاح‌شده: ۹۰/۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۲۲؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۵/۲۵

### هکیده

مساحتی معادل ۳۸۸ هزار هکتار از مساحت استان گلستان را سه نوع لس با ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوتکنیکی متمایز پوشانده است. معیارهایی چون مکانیزم و فاصله حمل و نقل، بافت، دانسیته خشک، خواص خمیری، نسبت پوکی، تراکم‌پذیری، ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی و ساختار لس‌ها، به‌عنوان معیارهای زمین‌شناسی مهندسی، مشخصه‌های ژئوتکنیکی لس‌ها را کنترل می‌کنند. براساس این معیارها ویژگی‌های لس‌های سه ناحیه از استان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه اینکه شرایط منشاء زمین‌شناسی و رسوب‌گذاری تا حد زیادی رفتار ژئوتکنیکی خاک را کنترل می‌کند. ساختار و اسکلت لس‌ها در سه ناحیه موردنظر، کاملاً با هم متفاوت بوده و به‌عنوان یک معیار صحرایی مناسب و آسان برای شناسایی تشخیص داده شد.

**واژه‌های کلیدی:** لس، ژئوتکنیک، زمین‌شناسی مهندسی، استان گلستان، ایران.

### ۱- مقدمه

لس‌های استان گلستان با ضخامت زیاد (بیش از هفتاد متر) و با مساحت ۳۸۸ هزار هکتار، بیش از ۱۷ درصد از سطح استان را پوشانده‌اند (Feiznia et al. 2005). براساس ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوتکنیکی، لس‌های استان در سه ناحیه ۱، ۲ و ۳ گسترش یافته‌اند (تصویر ۱). با انجام بررسی‌ها و ارزیابی‌های ژئوتکنیکی حاصل از مطالعات ساختمانی پروژه‌های عمرانی در نقاط مختلف از ۳ ناحیه مذکور، معیارهای زمین‌شناسی مهندسی شناسایی و تعریف شدند که در این مقاله به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود. این پژوهش حاصل بررسی نتایج آزمایش‌های بیش از ۱۳ منطقه و قریب به ۴۰۰ متر حفاری است (رضایی ۱۳۸۷).

مقایسه لس‌های تیپ ۱ و ۳ با لس‌های دیگر نواحی دنیا، نشان می‌دهد که از لحاظ جورشدگی و کج‌شدگی همسان ولی از نظر قطر میانه متوسط و پخ‌شدگی متفاوت هستند (سنایی اردکانی ۱۳۸۳). بر روی لس‌های استان گلستان از دیدگاه‌های مختلف، مطالعات بسیاری انجام شده است، لیکن در زمینه مسائل زمین‌شناسی مهندسی

لس‌ها، نهشته‌های بادرفتی‌اند که عموماً متشکل از ذرات یکنواخت و زاویه‌دار می‌باشند (Bell 2007). اندازه ذرات لس اغلب در حد سیلت (بین ۵۰ تا ۹۰ درصد) و همراه کمی رس و گاهی ماسه می‌باشد (Bell 2007). این رسوبات با فقدان لایه‌بندی و جورشدگی یکنواخت، در صحرا شناخته می‌شوند (Bell 2007). لس‌ها به سه گروه سیلنتی، رسی و ماسه‌ای دسته‌بندی می‌شوند. ترکیب لس‌ها عمدتاً کوارتز، فلدسپار، کلسیت، دولومیت، میکا، کانی‌های آهن و منیزیم دار و مواد رسی می‌باشد.

لس‌ها به علت هوازدگی شیمیایی کانی‌های آهن دار، به رنگ زرد یا قهوه‌ای دیده می‌شوند. زاویه دار بودن ذرات لس و نحوه رسوبگذاری، سبب بوجود آوردن تخلخل بالا (تا ۵۰ درصد) می‌شود. این ذرات توسط مواد ریزتر بهم چسبیده شده و ساختار لانه زنبوری نسبتاً محکمی را ایجاد می‌کنند و در شرایط خشک دارای شیب‌های قائم و حتی بیشتر می‌شوند (Jefferson et al. 2004).

### ۱-۱- مکانیزم حمل و نقل

عامل انتقال لس، باد است (Bell 2007). ذرات لس پس از طی مسافت، زمانی که انرژی باد به حد اندازه نیروی وزن ذرات برسد، ته‌نشین می‌شوند. ذرات به‌صورت گرد و غبار، معلق و غلتیدن از منشاء، به سمت محل‌های رسوبگذاری حرکت می‌نمایند. در زمان رسوبگذاری، تنها نیروی حاکم بردانه‌ها، وزن آن‌هاست و این ذرات به آهستگی بدون جابجایی افقی و به آرامی روی هم انباشته می‌شوند. پس از مدتی ذرات گرد و غبار بین ذرات درشت‌تر، عامل پیوند دانه‌ها می‌گردند. بستر رسوبگذاری همانند یک حوضچه رسوبی محیط آبی، افقی نیست لذا سطح رسوبگذاری هم شیب با توپوگرافی اولیه است (تصویر ۲).

### ۲-۲ مورفولوژی لس‌ها

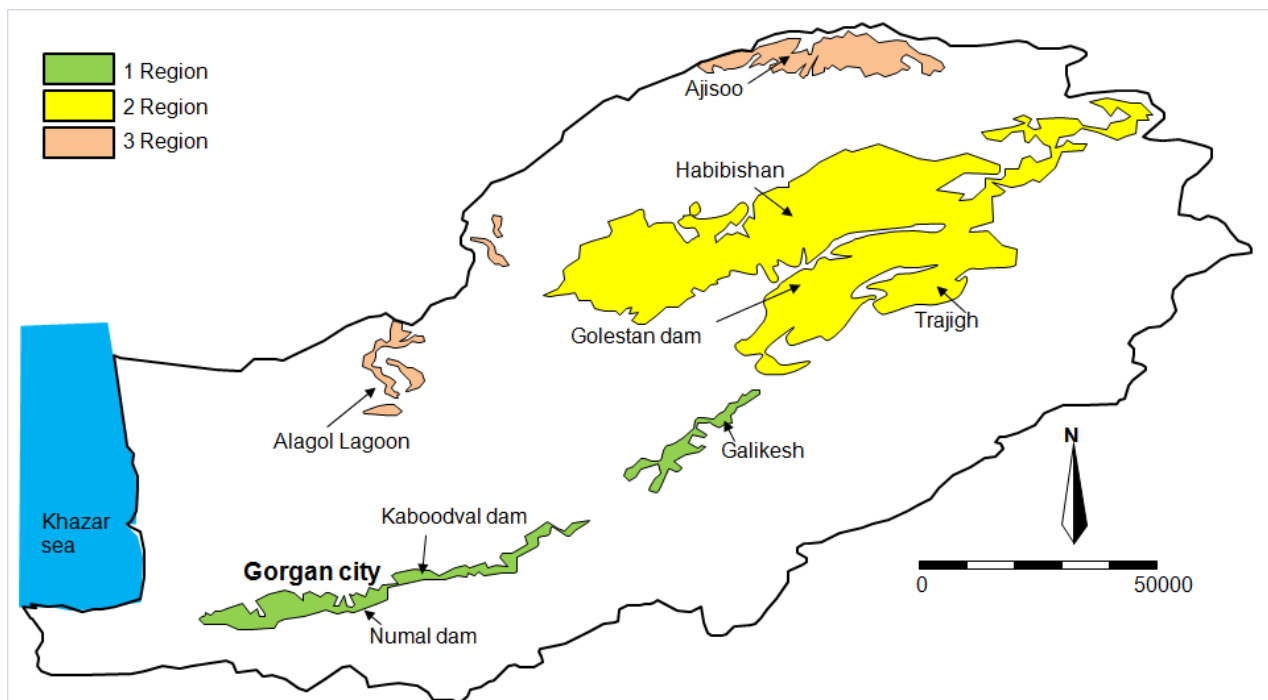
ویژگی‌های زمین‌شناسی، یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده نوع و میزان فرسایش در لس‌های استان گلستان است. علاوه بر آن اقلیم کنترل‌کننده اصلی در میزان فرسایش است. براساس تقسیم‌بندی اقلیمی به روش دومارتن (De-Martton) ناحیه ۱ از نوع نیمه مرطوب، ناحیه ۲ از نوع نیمه خشک و ناحیه ۳ از نوع خشک می‌باشد. به‌طور کلی تفاوت‌های بارزی در اشکال فرسایشی و مورفولوژیکی لس‌های استان وجود دارد (Feiznia et al. 2005).

اندک توجه شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که لس‌های تیپ ۳ و ۱ از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، نوع بافت، میزان و عمق شستشوی آهک، مواد آلی، درصد رطوبت اشباع، PH, EC, CEC, کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، تفاوت‌های فاحشی با یکدیگر دارند (امینی چهارمی ۱۳۸۳).

یکی از پدیده‌های بارز در لس‌ها، فرسایش‌پذیری آن‌ها در برابر جریان آب می‌باشد. عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی و پوشش گیاهی، بر شدت فرسایش مؤثرند بطوری‌که درصد پوشش گیاهی و شیب زمین با میزان تولید رسوب، رابطه معنی‌داری دارد (دولت خواهی ۱۳۸۰). میزان فرسایش با نفوذپذیری نسبت عکس دارد (اعتراف ۱۳۷۸) به همین دلیل بهره برداری از زمین‌های لسی به‌صورت مرتع موجب افزایش نفوذپذیری و کاهش فرسایش خواهد شد.

### ۲- معیارهای زمین‌شناسی مهندسی لس‌ها

آن دسته از ویژگی‌های زمین‌شناسی و فرآیندهای حمل و نقل، تشکیل و خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی لس‌ها که مشخصه‌های ژئوتکنیکی آن‌ها را کنترل می‌کند، به‌عنوان معیارهای زمین‌شناسی مهندسی مد نظر قرار گرفته است. این معیارها عبارتند از: مکانیزم و فاصله حمل و نقل، مورفولوژی، بافت، دانسیته خشک، خواص خمیری، نسبت پوکی، تراکم پذیری، ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی و ساختار لس‌ها.



تصویر ۱- گسترش نهشته‌های لسی در استان گلستان (Feiznia et al. 2005)



تصویر ۲- مکانیزم رسوب‌گذاری لس‌ها هم‌شیب با توپوگرافی محیط رسوب‌گذاری (حاشیه غربی شهر گرگان)

مرتبط می‌باشد (Denisov 1964). در لس‌های استان، با حرکت در امتداد جهت‌های NW-SE ، N-S و W-E در اندازه ذرات کاهش تدریجی مشاهده می‌شود (رضایی ۱۳۸۷). رخساره لسی به صورت متوالی از ماسه لسی به لس ماسه‌ای و لس‌های رسی تغییر می‌کند. با حرکت از غرب به سمت شرق استان اندازه ذرات ریزتر می‌شود (تصویر ۳). همچنین از جنوب به شمال، اندازه ذرات ریزتر می‌شود، بطوری‌که درصد عبوری از الک ۲۰۰ در آزمون دانه بندی کمتر می‌شود (تصویر ۴) رضایی (۱۳۸۷) منشاء لس‌های استان را صحرای ترکمنستان می‌داند (امینی ۱۳۷۴).

#### ۴-۲- بافت لس‌ها

منحنی دانه بندی، تداعی کننده بخش بافت خاک است (Lutenegger et al. 1988). نهشته‌های لسی، عموماً شامل ۵۰ تا ۹۰ درصد ذرات در اندازه سیلت می‌باشند. بیش از سه چهارم لس‌های بررسی شده دنیا در محدوده سیلت قرار دارند و یک پنجم آن‌ها رسی و مابقی ماسه‌ای هستند (Lutenegger et al. 1988). توزیع دانه بندی در سه ناحیه تبعیت زیادی با فاصله حمل دارد. در منطقه دریاچه آلاگل، سد نومل، حیب ایشان و سد گلستان که غرب و قسمت مرکزی، گستره پوششی لس را تشکیل می‌دهند دارای اندازه ماسه

شدت فرآیندهای فرسایشی در خاک‌های لسی ناحیه ۳ و ۲ به مراتب بیشتر از ناحیه ۱ است. اندازه ذرات، ترکیب شیمیایی، میزان کربنات کلسیم و میکرومورفولوژی لس‌ها، شدت هوازدگی آن‌ها را در اقلیم‌های متفاوت نشان می‌دهد (Feiznia et al. 2005).

وجود رس تا حد زیادی میزان فرسایش لس را کنترل می‌کند. مقدار لس در ناحیه ۱ به بیش از ۳۰ درصد می‌رسد در حالی‌که در ناحیه ۳ در خیلی از نقاط کمتر از ۱۵ درصد است. ضریب همبستگی بین درصد رس و مقدار رسوب تولید شده در فرآیند فرسایش در سطح معنی‌دار ۹۹ درصد، برابر با ۶۳٪ است. با افزایش رس میزان رسوب کاهش می‌یابد (Feiznia et al. 2005). تنها، کانی‌های کوارتز در طول حمل و فرآیندهای پس از رسوبگذاری بدون تغییر باقی می‌مانند و مابقی دچار تغییرات می‌شوند (Derbyshire et al. 1997).

هوازدگی شیمیایی کانی‌های نامقاوم مانند فلدسپار و میکا، منجر به تشکیل کانی‌های رسی درج‌ازا می‌شود. با تقویت فرآیندهای خاک‌زایی، تمرکز ذرات درشت کاهش و فراوانی رس افزایش می‌یابد (Feiznia et al. 2005). به همین دلیل، لس‌های استان پس از حمل به ناحیه ۱، دچار هوازدگی شیمیایی نیز شدند.

#### ۳-۲- فاصله حمل و نقل

تغییرات در توزیع دانه بندی و خواص لس‌ها با فاصله آن‌ها از منبع

بالاتر از قسمت‌های شرقی است که دورتر از منشاء نهشته شدند (جدول ۱) و بطور نسبی مقدار رس از ناحیه ۳ به ۱ بیشتر می‌شود (رضایی ۱۳۸۷) میزان توزیع دانه‌ها نشان می‌دهد که لس‌های استان عمدتاً از نوع لس سیلتی است (تصویر ۵).

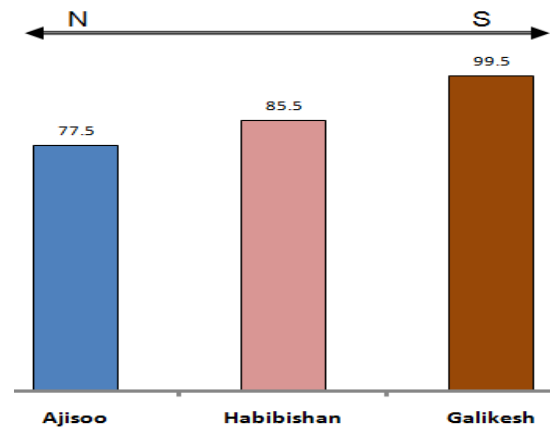
جدول ۱- توزیع دانه‌بندی لس‌ها در مناطقی از ۳ ناحیه استان (در راستای شمال به جنوب)

ناحیه	منطقه	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس
۳	سد آچی سو	۸-۱	۸۹-۸۲	۲۳-۱۰
۲	سد گلستان	۱۴-۵	۷۶-۶۳	۳۳-۱۰
۱	گالیکش	۷-۳	۶۲-۶۰	۳۷-۳۱

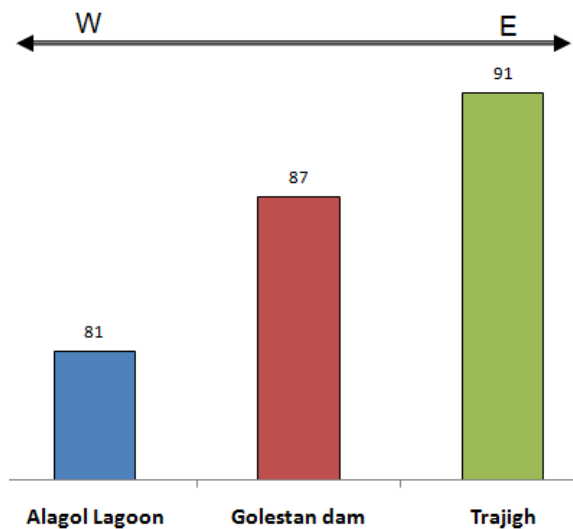
همچنین با بررسی اختلاف بین درصد حداقل و حداکثر توزیع دانه‌بندی در ۳ ناحیه (جدول ۲)، ملاحظه می‌شود که در نواحی ۳ و ۲، اختلاف بالاتر از ناحیه ۱ است. این‌گونه می‌توان تفسیر نمود که با دور شدن از منشاء، همگنی ذرات بیشتر شده و تداخل در اندازه‌ها کمتر می‌شود.

جدول ۲- اختلاف در حداقل و حداکثر توزیع دانه‌بندی هر ناحیه

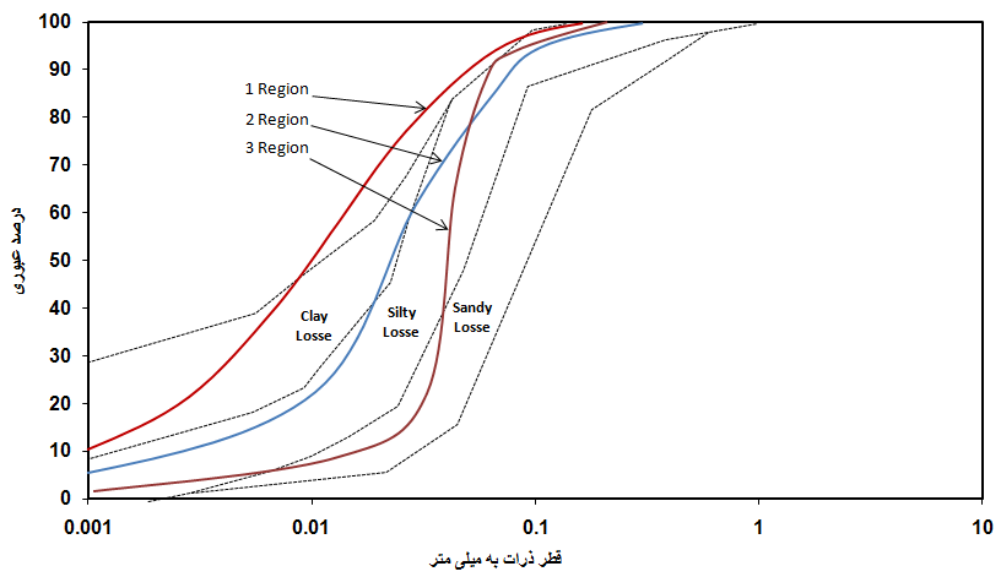
ناحیه	منطقه	درصد ماسه	درصد سیلت	درصد رس
۳	سد آچی سو	۷	۷	۱۳
۲	سد گلستان	۹	۱۳	۲۳
۱	گالیکش	۴	۲	۶



تصویر ۳- تغییرات درصد عبوری از الک ۲۰۰ در جهت شمال- جنوب



تصویر ۴- تغییرات درصد عبوری از الک ۲۰۰ در جهت شرقی- غربی



تصویر ۵- متوسط دانه‌بندی لس‌های سه ناحیه در پوش دانه‌بندی

**۵-۲-۵- دانسیته خشک (γ<sub>d</sub>)**

محدوده دانسیته خشک لس‌های استان بین ۱/۲۴ تا ۲/۱۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (رضایی ۱۳۸۷). لس‌های ناحیه ۱ بیشترین و لس‌های ناحیه ۳، کمترین مقدار دانسیته را دارا هستند (تصویر ۶). دامنه تغییرات لس ناپایدار پئورین بین ۱/۳۴ تا ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (Lutenegger et al. 1988) که لس‌های ناحیه ۳ تا حدی در این دامنه قرار دارند. هرگاه این مصالح مرطوب و یا متراکم گردند، ساختار خاک شکسته شده و دانسیته آن افزایش می‌یابد و تا  $1/6 \text{ gr/cm}^3$  خواهد رسید.

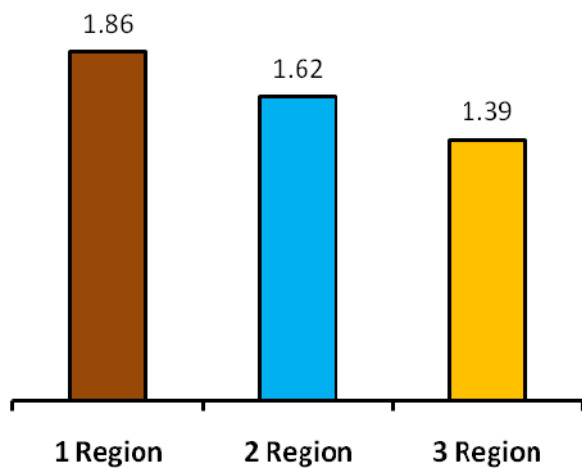
علت این است که با افزایش میزان رس، تراکم خاک بیشتر می‌شود و فضای متخلخل در آن کمتر است. لیکن در لس‌های ناحیه ۳، به‌علت ماسه‌ای و سیلتی بودن، شبکه لانه زنبوری در آن ایجاد شده و سبب افزایش تخلخل و کاهش دانسیته شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات دانسیته نسبت به عمق در ۳ ناحیه متفاوتند. بطوری‌که تغییرات آن در لس‌های نواحی ۱ و ۳ نسبت به عمق ثابت است (تصویر ۷) ولی در ناحیه ۲ با افزایش عمق دانسیته به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. ملاحظه می‌گردد که با دور شدن از منشاء، میزان دانسیته نیز افزایش می‌یابد.

این وضعیت را بدین صورت می‌توان تفسیر نمود که وجود رس بالا در ناحیه ۱، سبب ایجاد چسبندگی اولیه و بوجود آمدن تراکم لازم در حین رسوبگذاری می‌شود و اضافه بار به‌علت رسوبگذاری مستمر، باعث ایجاد فشار بر لایه‌های زیرین نمی‌شود. لیکن در لس‌های ناحیه ۲، سیلتی بودن و ضعف در پیوند سیمان بین دانه‌ها، باعث می‌شود که در حین رسوبگذاری اضافه بار طبقات زیرین به مرور دچار تراکم

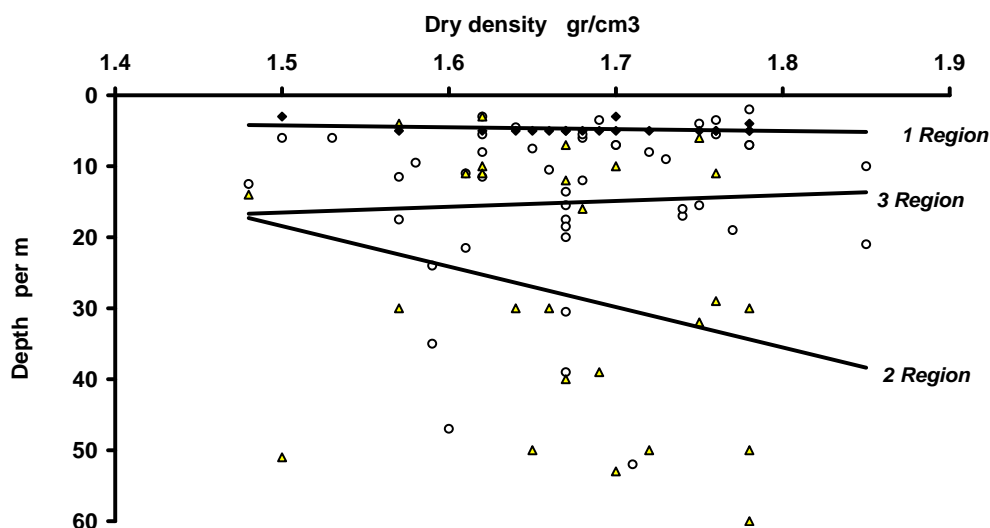
شوند. همچنین لس‌های ناحیه ۳ با توجه به درشت دانه بودن تراکم، تابع نشست آنی است و در مرحله رسوبگذاری انجام می‌گیرد. به‌عبارت دیگر به نظر می‌رسد که یکنواختی باعث ایجاد تراکم در مرحله رسوبگذاری می‌شود. می‌توان پذیرفت که شرایط رسوبگذاری تا حد زیادی رفتار ژئوتکنیکی خاک را کنترل می‌کند.

**۶-۲-۴- خواص خمیری**

عموماً در لس‌ها خاصیت خمیری از کم تا متوسط در تغییر است. حد روانی لس‌ها در حدود ۲۵-۳۵ و گاهی تا ۴۵ درصد نیز می‌رسد و نشانه خمیری آن بین ۵-۲۲ درصد می‌باشد (Lutenegger et al. 1988). نمونه‌های مطالعه شده در ۳ ناحیه از لس‌های استان، دارای مقادیر متوسط حد روانی و نشانه خمیری مطابق با تصویر ۸ می‌باشند.



تصویر ۶- مقادیر دانسیته خشک طبیعی برای لس‌های استان در سه ناحیه



تصویر ۷- تغییرات دانسیته نسبت به عمق در لس‌های استان

روانی بیشتر از رطوبت طبیعی در حالت اشباع گردد باید مقدار  $e$  هم در شرایط روانی بالا رود تا این نسبت ثابت بماند. در صورتی که در شرایط اشباع،  $e$  نیز ثابت است، بنابراین در موقعیت اشباع لس پایدار می‌ماند.

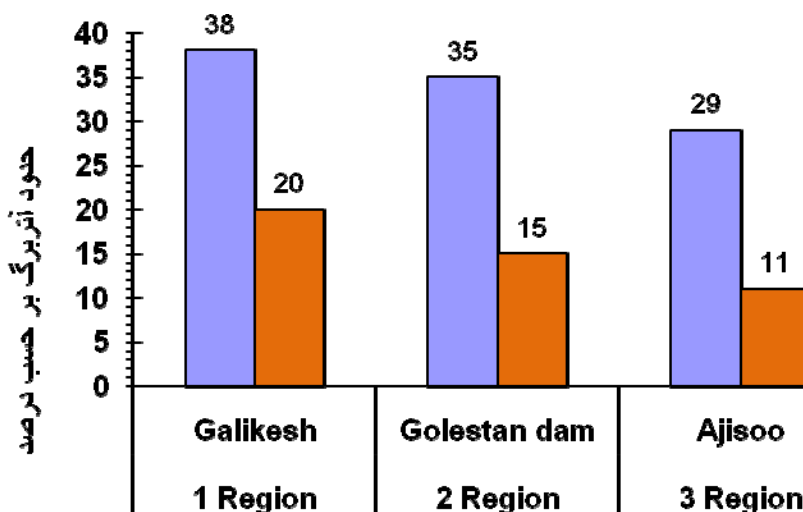
### ۷-۷- نسبت پوکی (e)

برخی از لس‌های چین، نسبت پوکی بین  $0.81 < e < 0.89$  و تخلخل بین  $45 < n < 47$  درصد دارند. لس‌های لیبی نیز نسبت پوکی بین  $0.84 < e < 0.91$  دارند که مقادیر دو ناحیه نزدیک به هم می‌باشد (Lutenegger et al. 1988). اما دامنه تغییرات لس‌های استان در نسبت پوکی، بیشتر از دو ناحیه مذکور بوده و همچنین مقدار متوسط آن کمتر است (تصویر ۱۰).

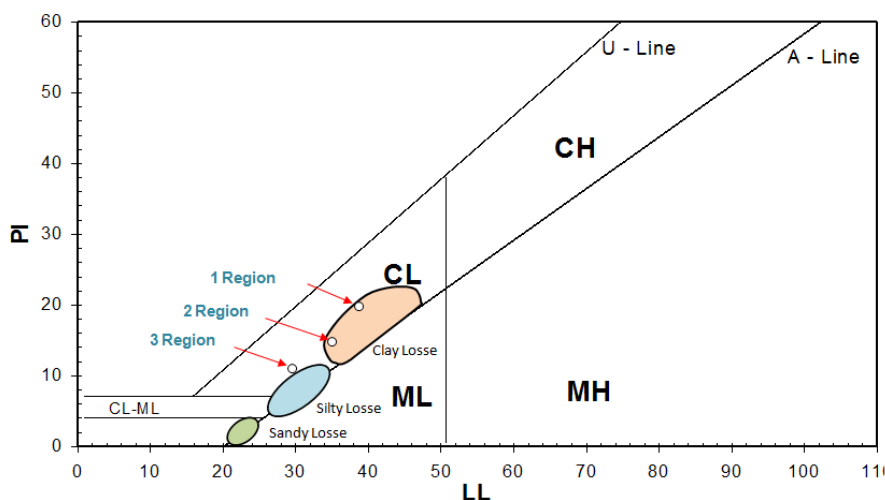
با قرار دادن متوسط نمونه‌ها در نمودار خمیری (تصویر ۹)، همه مقادیر، بالای خط A قرار دارند که نشان می‌دهد لس‌های استان از نوع خاک‌های غیرآلی با نشانه خمیری پایین تا متوسط می‌باشند و مؤید آن است که خاک نسبت به تغییرات رطوبت بسیار حساس است. با افزایش درصد رس موجود در لس‌ها، حد روانی و دانسیته طبیعی به صورت خطی بالا می‌رود و در آن حالت رطوبت خاک در حالت اشباع کمتر از رطوبت خاک در حد روانی می‌شود. در نتیجه این خاک‌ها در شرایط اشباع نیز پایدار باقی می‌مانند. این ادعا را می‌توان از طریق رابطه (۱) نیز اثبات نمود. در حالت اشباع، رابطه (۱) بین پارامترها برقرار است (Murthy 2000).

$$e = \omega G_s \Rightarrow G_s = e / \omega \quad (1)$$

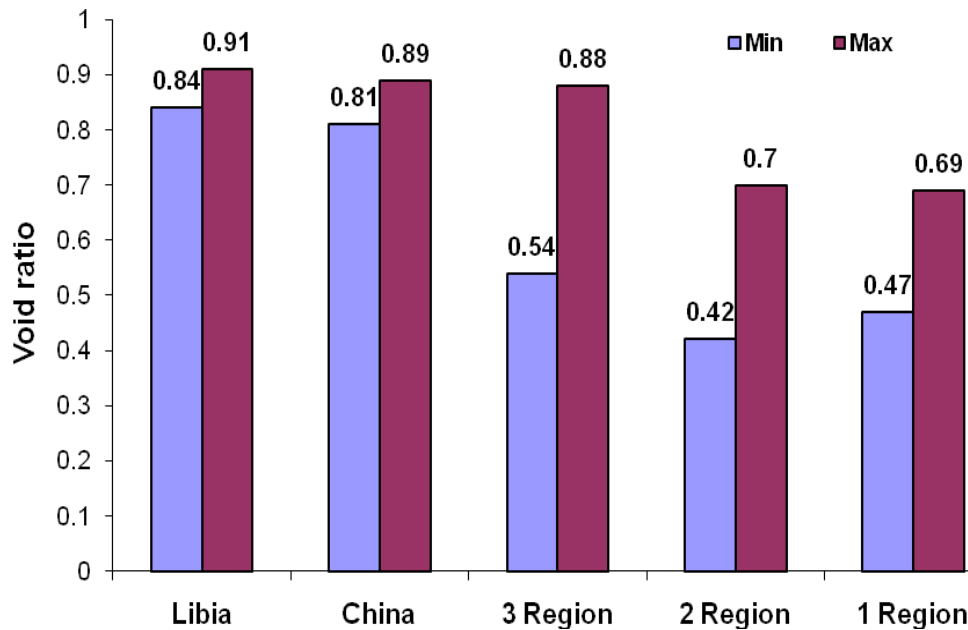
چون نسبت  $e/\omega$  همواره ثابت است، پس اگر رطوبت خاک در حد



تصویر ۸- مقادیر متوسط حدروانی و نشانه خمیری لس‌های استان



تصویر ۹- موقعیت لس‌های استان در نمودار خمیری



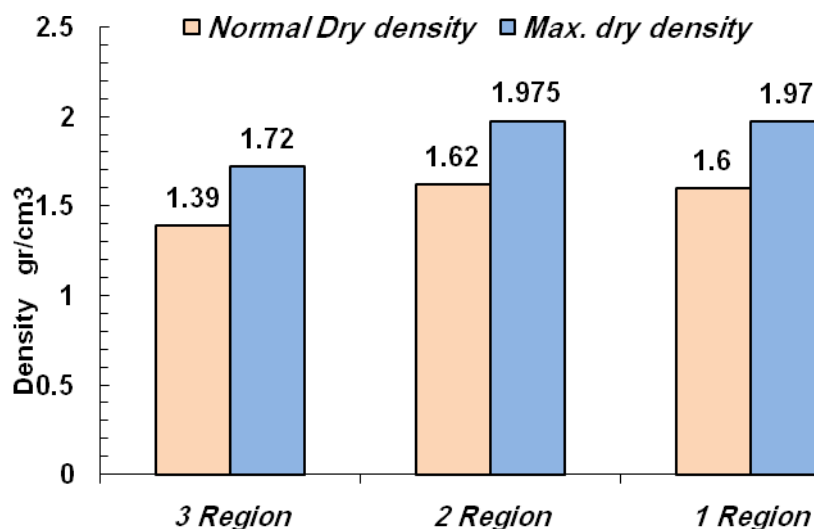
تصویر ۱۰- مقایسه نسبت پوکی لس‌های استان با لس‌های چین و لیبی

#### ۸-۲- تراکم‌پذیری

مقدار رطوبت بهینه بیش از دو ناحیه دیگر می‌باشد (تصویر ۱۳). می‌توان نتیجه گرفت که جذب رطوبت، به کانی‌شناسی لس‌های ۳ ناحیه مربوط نیست، بلکه به لزج بودن خاک و قابلیت اثر رطوبت در مرطوب کردن سطوح آن بستگی دارد. همچنین در خاک لسی ناحیه ۳، برای رسیدن به حداکثر دانسیته، رطوبت بیشتری نیاز است. لس به علت سیلتی بودن، در حین اعمال انرژی دارای رفتار ارتجاعی بوده و به رطوبت بیشتر در بین لایه‌های خود نیاز دارد. تغییرات دانسیته در مقابل رطوبت، در ناحیه ۳ کمتر از دیگر نواحی است و نواحی ۱ و ۲ مشابه یکدیگر می‌باشند (تصویر ۱۴).

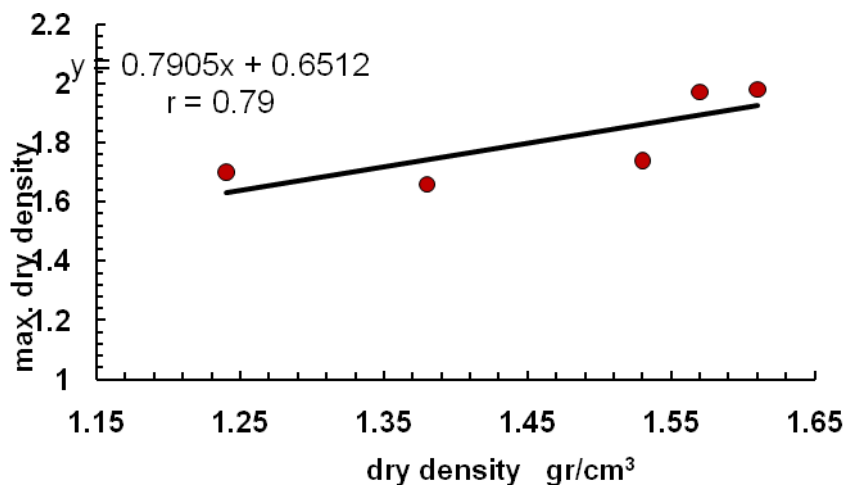
قابلیت تراکم پذیری خاک‌های ریزدانه علاوه بر کوشش تراکم، به خواص شیمیایی و خمیری آن نیز مربوط می‌شود. لس‌های سه ناحیه دانسیته متفاوتی دارند که تابع میزان رس موجود در آن‌ها می‌باشد؛ بطوری‌که میزان دانسیته لس‌های ناحیه ۱ بیشتر از ناحیه ۳ است (تصویر ۱۱). همچنین میزان حداکثر دانسیته حاصله در آزمون پروکتور با مقدار دانسیته طبیعی، رابطه مستقیم دارد و مؤید آن است که با خواص کانی‌شناسی و زمین‌شناسی آن در ارتباط می‌باشد (تصویر ۱۲).

با این‌که کانی‌های رسی در لس‌های ناحیه ۳ کمتر است ولی

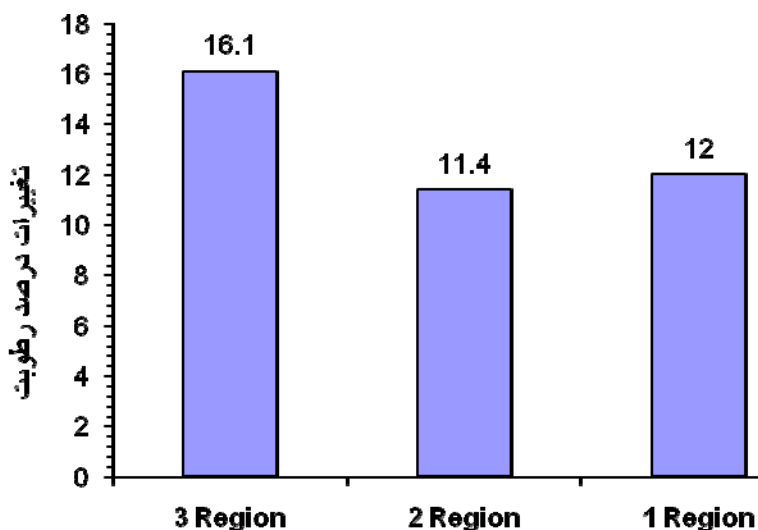


تصویر ۱۱- مقایسه دانسیته خشک طبیعی و دانسیته حداکثر لس‌های سه ناحیه استان

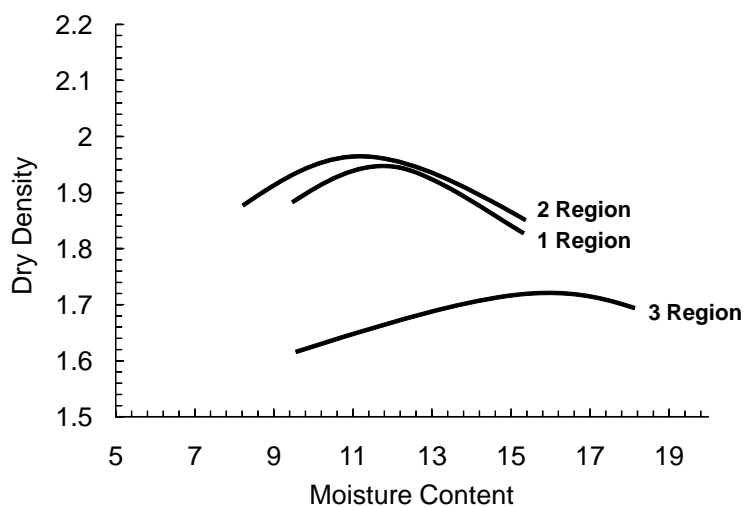




تصویر ۱۲- رابطه بین دانسیته خشک حداکثر با دانسیته طبیعی لس‌های استان



تصویر ۱۳- تغییرات درصد رطوبت بهینه در لس‌های سه ناحیه



تصویر ۱۴- تغییرات منحنی تراکم در لس‌های سه ناحیه



### ۹-۲- ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی

تغییرات کلریت در دو ناحیه تفاوت چندانی ندارد. با انجام آزمون‌های شیمی خاک، اکسیدهای مربوطه لس‌های سه ناحیه مورد مطالعه، اندازه‌گیری شده است (جدول ۴). مقدار  $SiO_2$  در سه ناحیه با هم متفاوت است بطوری‌که از ناحیه ۳ به ۱ کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان  $SiO_2$ ، تابع اندازه‌ی دانه‌ها می‌باشد و با دور شدن از منشأ، مقدار آن کاهش می‌یابد. مقدار  $MgO$  در ناحیه ۱ نسبت به دو ناحیه دیگر مقدار بالاتری را نشان می‌دهد، مابقی اکسیدها تغییرات زیادی در سه ناحیه ندارند.

جدول ۳- درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده لس‌های استان (رضایی ۱۳۸۷)

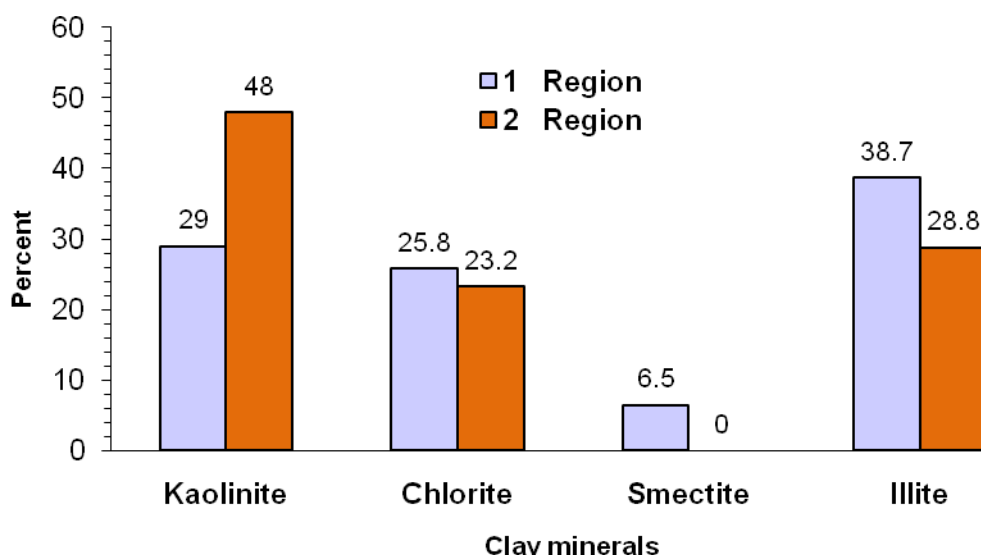
ناحیه	فلدسپار	کلسیت	دولومیت	کانی‌های رسی	کوارتز
۱	۸	۲۵	۰	۳/۴	۶۱
۲	۹/۷	۲۹/۶	۰	۲	۵۸/۷
۳	۱۳	۲۰/۹	۱/۶	۱/۱	۶۴/۵

جدول ۴- درصد اکسیدهای لس‌های استان گلستان (رضایی ۱۳۸۷)

ناحیه	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$CaO$	$Fe_2O_3$	$MgO$	L.O.I
۱	۴۵/۲۲	۱۱/۴۹	۱۳/۴۲	۴/۴۴	۴/۴۰	۱۶/۹۰
۲	۴۸/۶۲	۱۱/۲۱	۱۳/۳۶	۴/۵۰	۱/۴۳	۱۵/۹۷
۳	۵۴/۸۴	۹/۵۴	۱۱/۱۲	۳/۴۳	۲/۲۲	۱۳/۵۹

در مواد ریزدانه، ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی عاملی مؤثر بر رفتار مهندسی است. با بررسی میزان کانی‌های متشکله لس‌های استان (جدول ۳)، ملاحظه می‌گردد که مقدار فلدسپار و کانی‌های رسی در سه ناحیه دارای مقادیر متفاوتی است. از ناحیه ۳ به ۱ مقدار فلدسپار کاهش می‌یابد و دلیل آن ممکن است نتیجه تجزیه شیمیایی بیشتر در نواحی ۱ و ۲ به علت بارندگی، بالاتر باشد. همچنین مقدار میکا و کانی‌های رسی ناحیه ۱ اختلاف معنی‌داری نسبت به دو ناحیه دیگر نشان می‌دهد. در بسیاری از مناطق دنیا ترکیب کانی‌شناسی لس‌ها تا حدود زیادی با هم یکسان است. وجود کانی‌های رسی، تأثیرات مستقیمی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک می‌گذارد. در لس‌های استان گلستان، افق‌های مواد مادری دارای کانی رسی غالب ایلیت و کلریت می‌باشند اما در نمونه‌های پارینه خاک‌ها، میزان اسمکتیت زیاد می‌شود و علت آن، افزایش هوادیدگی در نمونه‌های خاک در مقایسه با نمونه‌های مواد مادری است (الماسی ۱۳۸۳).

با مقایسه نتایج فراوانی کانی‌های رسی دو ناحیه ۱ و ۲، تغییرات معنی‌داری در مقادیر انواع کانی‌های رسی مشاهده می‌شود (تصویر ۱۵)، به طوری‌که لس ناحیه ۲ فاقد کانی رسی اسمکتیت است و کانی‌های ایلیت و کائولینیت نیز در دو ناحیه متفاوت می‌باشند و



تصویر ۱۵- فراوانی کانی‌های رسی لس‌های نواحی ۱ و ۲ استان گلستان

بوده و همانند سنگ‌های آذرین دارای درز و شکاف می‌باشد. این حالت به سهولت در ترانشه‌های تازه دیده می‌شود (تصویر ۱۶)، البته با افزایش عمق، از تراکم و تداوم این ترک‌ها کاسته می‌شود (تصویر ۱۷). ترک‌های مذکور، نتایج نفوذپذیری خاک را در آزمون

### ۱۰-۲- ساختار لس‌ها

مفهوم ساختار در اینجا شکل ظاهری و اسکلت توده لسی در صحرا می‌باشد. در بررسی صحرایی مشاهده شد لس‌های ناحیه ۱ که مقدار رس آن‌ها بیش از دو ناحیه دیگر است، دارای ساختار ترد و شکننده

با کوچک‌ترین نیرویی از هم جدا می‌شوند و در بسیاری از ترانشه‌های ایجاد شده محل لانه پرندگان می‌باشد. در اثر جریان سطحی با سرعت فرسایش می‌یابد و فرسایش خندقی در آن ایجاد می‌شود (تصویر ۱۸). لس‌های ناحیه ۲ دارای اسکلتی نرم و پوک و ریخت‌شناسی آن تپه ماهورهای با ابعاد کوچک و متوسط را ایجاد می‌کند و در برابر عوامل فرسایش به ملایمت فرسوده می‌شود. فرسایش عمدتاً باعث ایجاد دره‌های وسیع و پهن می‌شود. رنگ این لس‌ها عموماً زرد نخودی است. لس‌های ناحیه ۳ بشدت پوک و دارای تخلخل بالاست و با کوچک‌ترین نیرویی از هم جدا می‌شود. در بسیاری از ترانشه‌های ایجاد شده محل لانه پرندگان می‌باشد. در اثر جریان سطحی با سرعت فرسایش می‌یابد و فرسایش خندقی در آن ایجاد می‌شود (تصویر ۱۸). ساختار لس‌ها از سه جزء اسکلت دانه‌ای، پیوند بین دانه‌ای و فضای متخلخل تشکیل شده است. ثابت شده که ویژگی‌های مهندسی بسیاری از خاک‌ها اساساً توسط ریزساختارشان کنترل می‌شود (Kruse 2007). انواع هم‌بندی بین دانه‌ها در لس‌ها توسط ذرات سیلتی، باندهای رسی، اتصالات سیلتی، کربنات کلسیم، کلسید آهن می‌باشد.



تصویر ۱۸- ایجاد لانه پرندگان در لس‌های سست ناحیه ۳

درحالی که خاک شامل ذرات ماسه با باندهای سیلتی است مقاومت خاک ناشی از نیروی کششی حاصل از پدیده موئینگی است. در این حالت اگر درصد رطوبت خاک کمتر از رطوبت حد انقباض باشد، مقدار مقاومت خاک بالا بوده و با افزایش رطوبت از مقدار آن کاسته می‌شود. در بسیاری از موارد، صفحات رسی می‌توانند به عنوان عامل

لوفران، بالا نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که این ترک‌های با ترک‌های کششی بالادست افراز متفاوت است. در فرسایش مقاومت نسبتاً بالایی دارند. دیواره‌های آن در حالت قائم برای مدت طولانی پایدار باقی می‌ماند. رنگ آن قهوه‌ای تیره تا قرمز تیره می‌باشد.



تصویر ۱۶- ترک‌های کششی در لس‌های ناحیه ۱



تصویر ۱۷- تداوم ترک‌های کششی نسبت به عمق در لس‌های ناحیه ۱

لس‌های ناحیه ۲ اسکلتی نرم و پوک داشته و ریخت‌شناسی آن‌ها، تپه ماهورهایی با ابعاد کوچک و متوسط را ایجاد می‌کند و در برابر عوامل فرسایش به ملایمت فرسوده می‌شود. فرسایش عمدتاً باعث ایجاد دره‌های وسیع و پهن می‌شود. رنگ این لس‌ها عموماً زرد نخودی است. لس‌های ناحیه ۳ بشدت پوک و دارای تخلخل بالا می‌باشند و

۸- لس متشکل از کانی‌های فلدسپار، کلسیت کوارتز می‌باشد و کانی‌های رسی آن شامل کائولینیت، ایلیت و کلریت است و فقط در لس‌های ناحیه ۱ کانی اسمکتیت وجود دارد.

۹- ساختار لس‌ها در سه ناحیه کاملاً با هم متفاوت بوده و یک معیار صحرایی برای شناسایی ملاک عمل می‌باشد.

### مراجع

**اعتراف، ح.**، ۱۳۷۸، "اثرات بهره‌برداری از اراضی لسی بر حاصل‌خیزی و فرسایش خاک در منطقه مراوه تپه"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۰۵ ص.*

**الماسی، ع.**، ۱۳۸۳، "شناسایی کانی‌های رسی موجود در رسوبات لسی و پارینه خاک‌های منطقه قیان استان گلستان و بررسی چگونگی تشکیل آنها"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی خاک‌شناسی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۰۶ ص.*

**امینی، الف.**، ۱۳۷۴، "مطالعه بر خاستگاه و مکانیزم رسوب‌زایی لس‌ها در حوضه آبخیز قره‌تیکان"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی - رسوب‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۶۴ ص.*

**امینی جهرمی، ح.**، ۱۳۸۳، "بررسی اثر موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مینرالژیکی خاک‌های با مواد مادری لسی در دو منطقه با اقلیم‌های متفاوت در استان گلستان"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی خاک‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۱ ص.*

**رضایی، حامد**، ۱۳۸۷، "امکان‌سنجی احداث تأسیسات آبی کوچک با بررسی و تحقیق پیرامون ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های استان گلستان"، *شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان.*

**دولت‌خواهی، م.**، ۱۳۸۰، "بررسی رابطه خصوصیات خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی با تولید رسوب نهشته‌های لس در حوزه آبخیز کچیک (زیر حوزه گرگانرود)"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۶۳ ص.*

**سنایی اردکانی، س.**، ۱۳۸۳، "بررسی رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی بخشی از لس‌های شمال شرق ایران (مقاطع قیان و دره ناهارخوران استان گلستان)"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی خاک‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۵ ص.*

**علیزاده، م.**، ۱۳۸۸، "پایدارسازی خاک‌های ربنده با استفاده از تکنولوژی تزریق (مطالعه موردی راه آن سمنان - دامغان)"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، ۱۰۲ ص.*

**Bell, F. G., 2007, "Engineering Geology", Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 581 pp.**

**Lutenegger, A. J. & Hallberg, G. R., 1988, "Stability of loess, Engineering Geology, Vol. 25: 247-261.**

پیونددهنده توده‌های ماسه‌ای و یا سیلتی باشند. در این حالت کریستال‌های مونت موریلونیت و ایلیت ورقه‌ای می‌توانند به صورت سطح به سطح یا گوشه به سطح ایجاد پیوند و اتصال بنمایند که این امر تابع منشاء زمین‌شناسی خاک می‌باشد. هنگامی که رس‌ها در محل تشکیل شوند، می‌توانند به صورت صفحات موازی هم، اطراف ذرات کوارتز را بگیرند و باعث ایجاد اتصال شوند ولی اگر رس‌ها به صورت معلق و کلوئیدی در آب بین منافذ خاک وجود داشته باشند، در نتیجه تبخیر تدریجی آب، صفحات رسی به شکل هلالی اطراف ذرات خاک را دربر می‌گیرند (Kruse 2007).

پایداری ساختار لس‌ها در زمین‌شناسی مهندسی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد و یکی از مسائل در این زمینه وجود قابلیت ربندگی در لس‌ها است (Reznik 2007). ربندگی به ساختار این خاک‌ها وابسته است. روش‌های مهندسی زیادی برای بهسازی پی در لس‌ها پیشنهاد و اجرا شده است. برای مثال تزریق آهک منجر به کاهش قابل ملاحظه پتانسیل ربندگی خاک در شرایط اشباع و افزایش ظرفیت باربری آن خواهد شد (علیزاده ۱۳۸۸).

### ۳- نتیجه‌گیری

۱- بیش از ۱۷ درصد از مساحت خاک استان گلستان را لس پوشانده است و براساس ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوتکنیکی به سه ناحیه ۱، ۲ و ۳ تفکیک می‌شوند.

۲- دانه‌های تشکیل دهنده لس در زمان رسوبگذاری صرفاً تحت نیروی وزن قرار داشته و هم شیب با بستر محیط رسوبگذاری نهشته شدند.

۳- در لس‌های استان، از غرب به شرق و از شمال به جنوب، کاهش تدریجی در اندازه ذرات مشاهده می‌شود و به مفهوم آن است که با دور شدن از منشاء، همگنی ذرات بیشتر و همچنین دانسیته افزایش یافته و تراکم خاک بالا می‌رود.

۴- لس‌های ناحیه ۱ رس بیشتری نسبت به بقیه نواحی دارد و اندازه غالب ذرات لس استان، سیلت است.

۵- شرایط رسوب‌گذاری تا حد زیادی رفتار ژئوتکنیکی خاک را کنترل می‌کند.

۶- با افزایش درصد رس در لس‌ها حدروانی و دانسیته طبیعی به صورت خطی افزایش می‌یابد و در آن حالت رطوبت خاک در حالت اشباع کمتر از رطوبت خاک در حدروانی می‌شود در نتیجه در شرایط اشباع ساختار لس‌ها پایدار می‌ماند.

۷- میزان حداکثر دانسیته خاک لسی تابع مقدار دانسیته طبیعی است و یک رابطه مستقیم بین آن دو برقرار است.

**Derbyshire, E., 2001**, "Geological hazards in loess terrains with particular reference to the regions of China", *Publisher: Elsevier, Earth – Science, Reviews, Vol. 54: 31-60.*

**Derbyshire, E., Kemp, A. R., & Meng, X., 1997**, "Climate change, loess and paleosols: proxy measures and resolution in North China", *Journal of the Geological Society, Vol. 154: 793-805*

**Denisov, N. Y., 1964**, "About the nature of high sensitivity of Quick clays", *Osnov. Fudam. Mekh. Grunt, Vol. 5: 5-8.*

**Feiznia, S., Ghaoumian, J. & Khajeh, M., 2005**, "The study of the effect of physical, chemical and climate factors on surface erosion sediment yield of loess soils (Case study in Golestan Province)", *Pajouhesh and Sazandegi No. 66: 14-24.*

**Jefferson, I. F., Mavlyanova, N., O'Hara-Dhand, K. & Smalley, I. J., 2004**, "The engineering geology of loess ground tasks for investigators—the Mavlyanov program of loess research", *Engineering Geology, Vol. 74: 33-37.*

**Kruse, G. A. M., Dijkstra, T. A. & Schokking, F., 2007**, "Effects of soil structure on soil behavior: Illustrated with loess, glacially loaded clay and simulated flaser bedding examples", *Engineering Geology, Vol. 91: 34-45.*

**Murthy, V., N., S., 2000**, "Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering", *CRC Press, 1029 pp.*

**Reznik, Y. M., 2007**, "Influence of physical properties on deformation characteristics of collapsible soils", *Engineering Geology, Vol. 92: 27-37.*