

بررسی خواص مهندسی لسه‌ها و قابلیت آنها در منابع قرضه سدها و سازه‌های آبی

(۱) غلامحسین رضایی ولیسه، (۲) محمد رضایی ولیسه

چکیده

خاک‌های لس از جمله مصالح طبیعی می‌باشد که در محدوده وسیعی از ایران گسترده شده‌اند. شناخت و تعیین دقیق خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بویژه خصوصیات مهندسی و ژئوتکنیکی آن برای بسیاری مطالعات مثل پی سدها، بدنه سدها و استفاده از آن به عنوان قرضه حائز اهمیت است. در این تحقیق ۳ ناحیه از منابع لس در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ها عموماً از محدوده سدهای مطالعاتی گرفته و آزمایشات کامل روی آنها انجام شده است. داده‌های آزمایشات نشانگر خصوصیات متفاوت از نظر مقاومت برشی و واگرایی و سایر خصوصیات حتی در یک ناحیه می‌باشد. نتایج نشان داد استفاده از لس نواحی مورد مطالعه برای کاربرد به عنوان قرضه، نیاز به اصلاح، آماده‌سازی و برخی تمهیدات ویژه نظیر کاهش شیب مجاز بدنه سد و استفاده از حجم بیشتر مصالح مصرفی دارد. کلمات کلیدی: لس، قرضه، سد

۱- مقدمه

لس‌ها رسوباتی هستند بادی که از ذرات یکنواخت ناپیوسته و معمولاً زاویه و یا نیمه زاویه دار تشکیل شده است و اصولاً فاقد لایه بندی است. اندازه ذرات در این رسوبات درحد سلیت، همراه با کمی رس و گاهی ماسه است. جنس کانی‌های موجود در لس بیشتر از کوارتز، فلدسپات، کلیست، دولومیت، میکا و دیگر کانیهای آهن و منیزیم و مواد رسی است. رنگ لس به علت هوازگی شیمیایی کانیهای آهن دار و ایجاد اکسیدهای آهن، معمولاً زرد یا قهوه‌ای است. زاویه‌دار بودن ذرات اغلب لس‌ها، سبب تخلخل زیاد آنها می‌شود و تخلخل ممکن است به ۵۰ درصد برسد. اگر چه لس‌ها دارای ذرات ناپیوسته و فاقد سیمان به معنای واقعی است، ولی وجود ذرات ریزتر در آن موجب چسبندی دانه‌ها به یکدیگر می‌شوند و به همین علت اغلب در بریدگی‌ها، دیواره قائم تشکیل می‌دهند. ریشه گیاهان اغلب در لس نفوذ کرده و مجاری باریکی می‌سازند که معمولاً به وسیله کربنات کلسیم پرمی‌شود. لس‌ها در محدوده وسیعی از ایران، شامل مناطق مرکزی و شمال شرقی، نیز گسترده شده‌اند. به سبب آنکه ساختار دانه‌ای لس‌های طبیعی غالباً بسیارست و حاوی فضاهای خالی قابل ملاحظه‌ای است، مسائلی در ارتباط با تحکیم زیاد تحت رطوبت معین و ترکیب بارها، پایداری ضعیف، تراوش و فرسایش در آنها بروز می‌کنند. از طرف دیگر، خاکهای لسی که پس از رسوبگذاری تحت تأثیر آب قرار گرفته‌اند معمولاً به حالتی متراکم‌تر هستند و خواص مهندسی بهتری را از خود نشان می‌دهند.

(۱) دکتری زمین شناسی - هیدروژئولوژی، دانشگاه سوربن فرانسه، پاریس. عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

(۲) دانشجوی دکتری مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

به همین صورت، خاکهای لسی، که بصورت مصالح ساختمانی بازسازی و متراکم شده‌اند نیز خواص مهندسی بهتری را بروز می‌دهند. خاک‌های لس طبیعی خشک از پایداری قابل ملاحظه‌ای برخوردارند و می‌توانند در گودها با شیبهای تند ایستادگی کنند، مشروط بر آنکه رطوبت طبیعی آنها افزایش نیابد. در محل چاله‌های زهکش‌های طبیعی که میزان رطوبت بیشتری جمع می‌شود، فرونشست‌هایی دیده می‌شود که شرایطی بحرانی را ایجاد می‌کنند. این حالت در سازه‌های هیدرولیکی که پی آنها نهایتاً اشباع می‌گردد، نیز رخ می‌دهد خاکهای لسی که مرطوب شده‌اند، در مقابل جابه‌جایی‌های رطوبت نیز مقاومت کمی دارند همچنانکه الگوهای فرسایش از مسیرهای زهکش طبیعی نیز این امر را نشان می‌دهند.

خاکهای لس اساساً متشکل از دانه‌های تیز گوشه ریز سلیت، ماسه نرم و کلیست، به همراه مقادیری نسبتاً کم از رس و پوششهای رسی بر روی دانه‌های درشت‌تر می‌باشند. برخی مواد آلی به شکل‌های ریشه‌ای و ریشه‌های موئین نیز در آنها وجود دارند. ترتیب قرارگیری دانه‌ها در توده خاک که ناشی از انباشتگی بر اثر وزش باد است، در لایه‌های متناوب بسیار سست می‌باشد. از این رو، لس‌ها بسیار مستعد به تحکیم هستند. با وجود این، لس‌های خشک که در نواحی خشک وجود دارند، از مقاوت‌های بالایی، مربوط به خصوصیات چسبانندگی رس برخوردارند و اغلب قادر به تحمل بارهای نسبتاً بزرگ، بدون ایجاد نشست اضافی می‌باشند. این خاکها، پس از بارگذاری سنگین و مرطوب شدن به راحتی فرو می‌ریزند.

دیدگاه‌های مختلف باعث شده است که به لس عناوین مختلفی از قبیل سنگ، رسوب، سازند و یا سیستم داده شود. بر این اساس حتی واژه لسایت (Loessite) برای توصیف سنگ شدگی و لس‌های متراکم قدیمی‌تر به کار رفته است. در اینجا لازم است به تعریف دو واژه متداول در فرهنگ رسوبات لس بپردازیم:

شبه لس (Losse-Like): به لس‌هایی که تحت تأثیر فرآیندهای مختلف و عمدتاً توسط آب از جایگاه اولیه خود جابجا شده و در محل جدید رسوب کرده‌اند، شبه لس می‌گویند. از شاخص‌ترین تفاوت‌های این لس‌ها، با لس‌های حقیقی، در این است که ناهمگن بوده و دارای لایه‌بندی می‌باشند.

خاکهای قدیمی (Paleosoil): افق‌های قرمز رنگی به ضخامت حداکثر ۸۰ سانتیمتر می‌باشند که در اثر تغییرات آب و هوایی کواترنر و ایجاد آب و هوای گرم و مرطوب ایجاد شده و در برخی از توالیهای لسی به صورت متناوب با لایه‌های لس دیده می‌شود.

۲- توصیف دقیق لس‌ها

لس یک نهشه کوارتزی، گاهاً فلدسپاتی کلاسیک، متشکل از یک مخلوط یکنواخت دانه بندی شده از سیلت ماسه ریز و ذرات رس می‌باشد که متناوباً با یک بافت باز و چسبنده که دانسیته خشک طبیعی در حدود ۱/۱ تا ۱/۴۵ گرم بر سانتیمتر مکعب را نتیجه می‌دهد، چیده شده است. رسوبات لسی ممکن است ضخامت قابل توجهی داشته باشند.

مصلحی که چسبنده نیستند و آنهایی به طور غالب متشکل از دانه‌های سلیت و ذرات ریز ماسه، یا مخلوط‌های دانه‌ای به اندازه ماسه ریز و سلیت رسی هستند. با عنوان لس در نظر گرفته نمی‌شوند. رسوبات غباری نیز که ممکن است متشکل از ذرات معادل یا ریزتر از اندازه دانه‌های رایجی که در لس‌ها دیده می‌شود باشند به عنوان لس در نظر گرفته نمی‌شوند.

از نقطه نظر مهندسی، لس یک رسوب کلاسیک بالقوه ناپایدار است. لس با محیط زیست خود در تعادل است. اما همین که شرایط رطوبت تغییر کند یا سربار بسیار بزرگ شود، تمایل به تحکیم پیدا می‌کند و ترتیب دانه‌هایش به یک حالت پایدار جدید تغییر می‌یابد. لس تحکیم یافته، خواص شبیه به سلیت‌های در آب نهشته با ترکیب کانی شناسی و دانه‌ای مشابه را به خود گیرد.

خصوصیات لس‌ها، چه از نقطه نظر فیزیکی، چه فیزیکی - شیمیایی، به دو عامل ترکیب کانی شناسی و ساختار بستگی دارند.

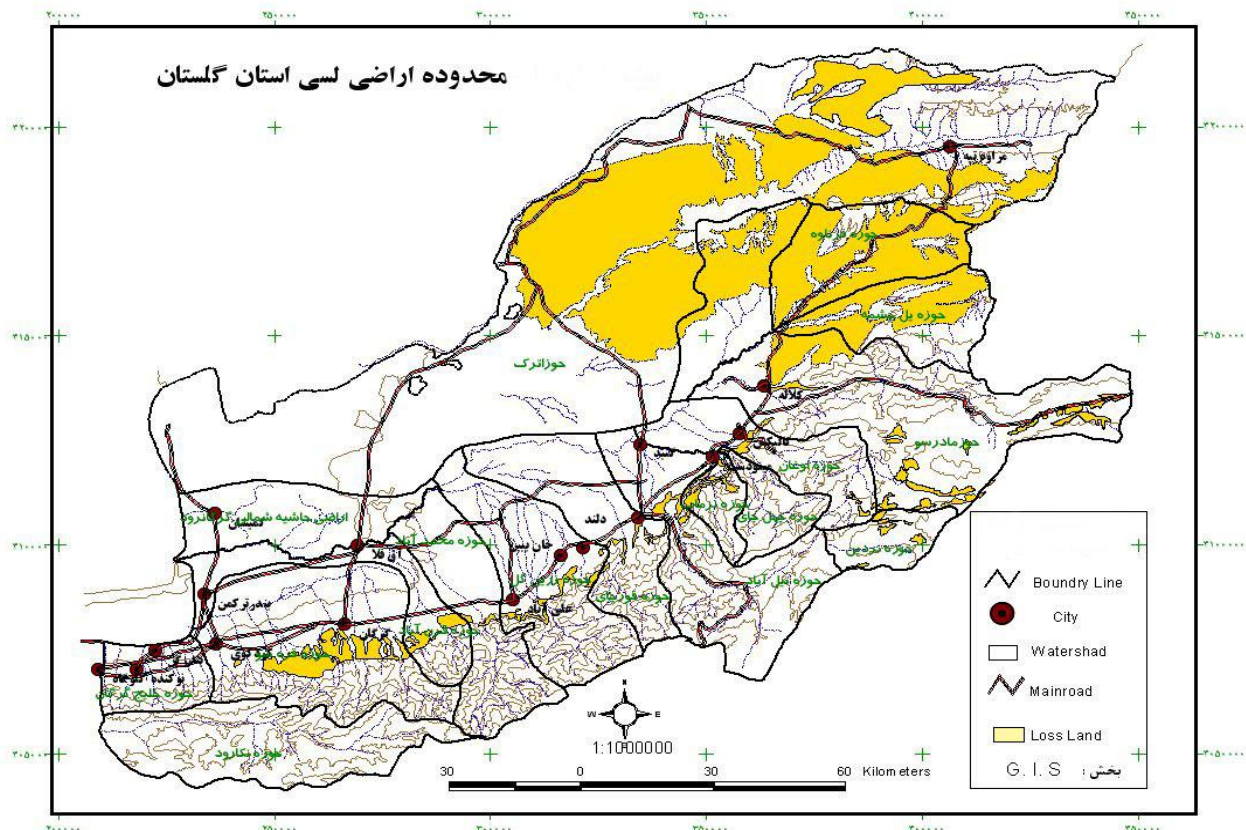
۳- توزیع و پراکندگی لس در استان گلستان

۳۸۸۰۰۰ هکتار از کل مساحت ۲۰۴۳۷/۷۴ کیلومتر مربع استان گلستان از لس پوشیده شده است این مصالح لس عمدتاً در ۳ ناحیه پراکندگی دارند.

ناحیه ۱: مصالح لس روی ناحیه کوهستانی (ارتفاعات جنوبی استان) که تقریباً مساحتی حدود ۱۳۸۰۰۰ هکتار را پوشانیده است و عمدتاً متشکل از سلیت، ماسه و رس می باشد و کاملاً قابلیت رشد گیاهان را دارد.

ناحیه ۲: مصالح لس به صورت پلهای رسوبگذاری شده اند که سطحی حدود ۱۵۴۰۰۰ هکتار را پوشانیده است در این مصالح لسی ترک های انقباضی رخ داده اند. این ترک ها تا ۲۵ سانتیمتر عرض و ۱/۵ متر عمق دارند.

ناحیه ۳: مصالح لس پراکنده در مرز ایران و ترکمنستان که تقریباً سطحی حدود ۷۴۰۰۰ هکتار را پوشش داده است. نقشه شکل شماره ۱ توزیع و پراکندگی لس در سطح استان گلستان را نشان می دهد.



شکل شماره ۱- پراکندگی و محدوده اراضی لس در استان گلستان

۴- بررسی و مروری بر منابع و مطالعات انجام شده

۴-۱- تحقیقات و مطالعات انجام شده پیرامون لس ها در منطقه مورد مطالعه

مطالعات انجام شده در استان گلستان در مورد لس ها، عمدتاً در قالب مطالعات زمین شناسی و بررسی های آزمایشگاهی، با هدف تهیه گزارش و نقشه های زمین شناسی، مطالعات پی و منابع قرضه احداث سدهای خاکی انجام گردیده است که به شرح ذیل مختصراً عنوان می گردد.

در سالهای اخیر آقای محمد جمیل عندلیبی، از سازمان زمین شناسی کشور، در قالب تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گنبد کاوس، مطالعات را بر روی لس های منطقه (استان گلستان) انجام داده است و ضمن معرفی این لس ها به عنوان رسوبات بادی، یخچالی با سن پلیوس - کواترنری، آنها را به سه گروه به شرح زیر تقسیم کرده است:

الف) لس‌های رسوب‌گذاری شده در مناطق پست
ب) لس‌های رسوب‌گذاری شده در لبه‌ها و برجستگی‌های تکتونیکی
ج) لس‌های رسوب‌گذاری شده در مناطق مرتفع

از نظر منشاء لسهای حوضه خزر به دو تیپ شرق خزر و غرب خزر تقسیم شده‌اند (عندلیبی، ۱۳۷۳). لس‌های تیپ شرق خزر که دارای کوارتز، کلسیت، فلدسپات، دولومیت، میکا، رس و فاقد کانی سنگین می‌باشند. دارای جنس رسوبی احتمالاً گریواک با دولومیت‌های ناخالص تشخیص داده شده در حالیکه برای زمین تیپ غرب خزر، به واسطه مشاهده برخی کانی‌ها از قبیل هورنبلاند بازالتی و خاکسترهای آتشفشانی، منشاء اولیه آذرین و در مواردی احتمالاً گرانیت تشخیص داده شده است.

۴-۲- مطالعات لس‌ها در پی سد وشمگیر

سد خاکی وشمگیر به ارتفاع ۲۰ متری بر روی لسهای شمال ایران، در منطقه گرگان احداث گردیده و بدنه سد نیز تماماً از مصالح سلیت و رسی لس‌ها ساخته شده است. عملیات ساختمانی سد از سال ۱۳۴۳ شروع و در سال ۱۳۴۹ خاتمه یافته است. پس از ساخت سد و اولین آبیگر مخزن تغییر مکان‌هایی در بدنه سد انجام شده که حاکی از نشست پی لس می‌باشد. از تفسیر داده‌های رفتار نگاری سد، تغییر شکلها و حرکات سد به شرح زیر ارزیابی شده است:

الف- پس از اولین آبیگری مخزن، تغییر مکان‌های نسبتاً زیادی رخ داده که می‌توان آنها را با نشست غیر اشباع و تکیه‌گاه‌های سد پس از قرار گرفتن در معرض رطوبت و در نتیجه اشباع شدن، مرتبط دانست. مقدار کل نشست پی و سد برابر ۱٪ ارتفاع بوده که با مشخصات عمومی سدهای گرگان و درصد فرو ریزش مصالح پی از دیدگاه بافت و مشخصات تغییر شکل‌پذیری هماهنگ می‌باشد.

ب- روند تغییر مکانها عموماً کاهشی بوده و می‌توان نتیجه گرفت که نشست عمده پی و بدنه سد در اولین آبیگری مخزن انجام پذیرفته و مصالح پی به نحوه آرایش جدیدی از دانه‌ها در کنار یکدیگر، که نسبت به حالت اولیه بسیار پایدار می‌باشد، رسیده‌اند.

۴-۳- مطالعات آزمایشگاهی بر روی لس‌ها در پی سد مخزنی کبودال و زرین گل

مصالح لسی پی دارای حداکثر ۲۲٪ ماسه، بین ۴۵ تا ۶۰٪ سلیت و ۱۵ تا ۵۵٪ رس می‌باشند. محدود تغییرات نشانه خمیری بین ۸ تا ۲۵٪ و عمدتاً کمتر از ۱۲٪ و محدوده تغییرات حد روانی بین ۲۶ تا ۵۰٪ و عمدتاً کمتر از ۳۳٪ می‌باشد. محدوده تغییرات دانسیته خشک مصالح بین $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۲۸ تا $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۷۲ و تغییرات چگالی بین ۲/۶۱ تا ۲/۷۱ می‌باشد.

۴-۴- مطالعات آزمایشگاهی بر روس لس‌ها در پی سد گلستان ۱ و ۲

مطالعات شناسایی طرح احداث سدهای گلستان ۱ و ۲ در سال ۱۳۶۷ توسط مهندسین مشاور برکلی به اتمام رسید. سد گلستان یک در مجاورت روستای عرب سورنگ، در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری شمال شرقی گنبد کاووس به اجرا رسیده و در حال بهره‌برداری می‌باشد. سد گلستان ۲ در مجاورت روستای صوفی شیخ، در فاصله حدود ۳۵ کیلومتری شمال شرقی گنبد کاووس می‌باشد.

۵- بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی لس‌های منطقه مورد مطالعه

۵-۱- بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی

۵-۱-۱- دانه بندی

بر اساس نتایج آزمایشاتی که بر روی نمونه‌های اخذ شده از مناطق مختلف استان انجام شده است. مشخص گردید که خصوصیات اصلی لس‌ها کاملاً مشابه می‌باشد و به طور غالب، لس ویژگی‌های سیلتی دارد. با وجود این، برخی از لس‌ها بیشتر

رسی هستند. و برخی دیگر تا حدی ماسه‌ای می‌باشند. نتایج حاصل از آزمایشات دانه بندی و هیدرومتری لس‌ها در مناطق مختلف استان در جداول شماره ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول شماره ۱- حدود تغییرات در صد دانه‌های عبوری از الک‌های نمره ۴ و ۲

ناحیه	نام محل	درصد عبوری از الک شماره ۴	درصد عبوری از الک نمره ۲
ناحیه ۱	کبودوال - زرینگل	۹۲-۱۰۰	۸۷-۹۹
	جنوب شرق روستای تراجیق	۹۸/۹ - ۹۹/۱	۹۷/۹-۹۸/۲۵
	جنوب شرق گالیکش	۹۸/۸-۹۹/۷	۹۷/۳۵-۹۹/۱۵
	سد نومل	۹۸-۱۰۰	۹۷-۹۹
ناحیه ۲	سد گلستان ۱	۸۵-۱۰۰	۷۱-۱۰۰
	سد گلستان ۲	۸۱-۱۰۰	۶۰-۱۰۰
	جنوب کلالة	۹۸/۱۵-۹۹/۶۵	۹۶/۹۵-۹۸/۸
	حبیب ایشان	۹۷-۱۰۰	۸۰-۱۰۰
ناحیه ۳	دریاچه آلاگل	۹۶-۱۰۰	۵۶-۹۹
	سد آجی سو	۹۸-۱۰۰	۹۲-۹۹
	قیزلر	۹۶-۱۰۰	۹۴/۴۱-۹۸/۶۱

جدول شماره ۲- حدود تغییرات درصد ماسه، سیلیت و رس

ناحیه	نام محل	ماسه %	سیلیت %	رس %
۱	جنوب شرق کالیکش	۳-۷	۶۰-۶۲	۳۱-۳۷
	جنوب شرق روستای تراجیق	۶-۸	۵۲-۶۵	۳۷-۴۲
	کبودوال - زرینگل	۱۵-۲۲	۴۵-۶	۱۵-۵۵
	سد نومل	۳-۶۶	۳۳-۵۲	۴-۵۳
	آبندان لیوان غربی	۲۲/۲	۵۹/۶	۱۸/۲
۲	سد گلستان ۱	۴-۳۳	۵۳-۵۴	۱۴-۴۲
	سد گلستان ۲	۵-۱۴	۶۳-۷۶	۱۰-۳۲
	حبیب ایشان	۱-۳۰	۵۸-۹۰	۸-۳۹
	منطقه پل چشمه	۱-۱۲	۶۷-۸۷	۸-۳۰
	جنوب کلالة	۵-۷	۳۹-۶۱	۲۶-۲۸
۳	دریاچه آلاگل	۱-۲۸	۳۹-۶۱	۱۱-۶۰
	سد آجی سو	۱-۸	۸۲-۸۹	۱۰-۲۲
	قیز لر	۱-۵	۷۸-۹۰	۱۰-۲۲

۵-۱-۲- حدود اتربرگ

محدوده تغییرات حد روانی LL، حد خمیری PL و اندیس خمیری PI بر اساس آزمایشات متعدد بر روی نمونه‌های خاک لس، در اعماق مختلف در چند منطقه مطالعه شده در استان در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول شماره ۳- تغییرات حد روانی، حد خمیری و اندیس خمیری لس‌های منطقه

ناحیه	نام محل	محدوده نتایج حد روانی LL	محدوده نتایج حد خمیری PL	محدوده نتایج اندیس PI	نوع خاک
۱	سد نومل	۲۴/۴-۵۵/۵	۱۶/۵۴-۲۴/۲	۶/۹-۳۱/۳	CL CL-ML
	کبودوال-زرینگل	۱۵-۴۸	۲۰-۲۸	۷-۲۵	CL
	جنوب شرق - گالیکش	۳۰-۳۴	۱۵-۱۷	۱۳-۱۹	CL
	جنوب شرق روستای ترجیق	۲۹-۴۶	۱۶-۱۹	۱۳-۲۷	CL
۲	حبیب‌ایشان	۲۳-۴۲	۱-۲۱	۱۷-۲۷	CL
	سد گلستان ۱	۲۰-۴۷	۱۴-۲۴	۵-۲۷	CL-ML CL
	سد گلستان ۲	۲۲-۴۸	۱۴-۲۵	۵-۲۵	CL-ML CL
	جنوب کلاله	۳۰-۳۶	۱۶	۱۴-۲۰	CL
۳	سد آجی سو	۲۱/۸-۳۵	۱۵/۷-۲۰/۳	۵/۷-۱۵/۳۰	CL-ML CL
	دریاچه آلاگل	۲۳-۶۶	۳-۳۶	۱۶-۳۰	CL
	قیز لر	۲۳-۴۵	۳-۱۹	۳-۱۵	CL-ML ML CL

۳-۱-۵- رطوبت طبیعی و دانسیته خشک

در اکثر موارد رطوبت طبیعی، در آزمایشات انجام شده، پایین تر از حد خمیری بوده که مبین حالت خشک و مقاومت برشی زیاد خاک در این حالت می‌باشد. همچنین دانسیته خشک لس‌ها معمولاً از سطح زمین به سمت عمق افزایش می‌یابد حدود تغییرات درصد رطوبت طبیعی و دانسیته خشک لس‌های منطقه در جدول شماره ۴ ارائه گردیده است.

جدول شماره ۴- حدود تغییرات درصد رطوبت و دانسیته خشک

نام محل	حدود تغییرات درصد رطوبت طبیعی %	حدود تغییرات دانسیته خشک $\frac{gr}{cm^3}$
۱	کبود وال - زرینگل	۸-۱۶
	سد نومل	۷/۰۴-۲۷/۹
۲	سد گلستان ۱	۱۸-۲۰/۶
	سد گلستان ۲	۸/۸-۲۶/۲۰
	حبیب‌ایشان	۱۶-۶۰-۳۸/۵
۳	سد آجی سو	۰/۸-۱۹/۲۰
	دریاچه آلاگل	۱۹-۳۸/۲۰
	قیز لر	۸-۱۷

۵-۱-۴- تراکم خاک

در احداث خاکریز شاهراهها، سدهای خاکی و سازه‌های مهندسی متعدد دیگر، خاک شل باید متراکم شود تا وزن مخصوص آن افزایش یابد. تراکم باعث افزایش و بهبود مشخصه‌های مقاومتی خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری شالوده‌های احداث شده بر روی آنها می‌شود. نتایج آزمایشات تراکم انجام شده در مناطق مختلف سال در طی مطالعات انجام شده در جدول شماره ۵ ارائه گردیده است.

جدول شماره ۵- نتایج حاصل از آزمایشات تراکم بر روی لس‌های مناطق مختلف

ناحیه	نام محل	درصد رطوبت بهینه (w opt)	حداکثر دانسیته خشک g(max)
۱	آب بندان لیوان	۲۰/۳۲	۱/۶۰
	جنوب شرق روستای تراجیق	۱۲	۱/۹۷
	آب بندان آق قمیش	۱۴	۱/۸۷
	آب بندان قرن‌آباد	۱۷/۱۶	۱/۸۱
	آب بندان بالاجاده	۱۶/۷	۱/۸۵
۲	سد گلستان ۱	۱۱/۵۰	۱/۹۷
	سد گلستان ۲	۱۱/۳۳	۱/۹۷
	آب بندان لاله باغ	۱۱/۳۶	۱/۹۱
	آب بندان ایمرطلاساری	۱۰/۵۳	۱/۹۷
	آب بندان کمیته امداد	۱۲/۶۳	۱/۷۳
	آب بندان ساور کلاته	۱۷/۴۰	۱/۸۰
	آبندان چنار قشلاق	۱۱/۸۰	۱/۹۵
۳	دریاچه آلاگل	۱۶/۰۷	۱/۷۰
	سد خاکی آجی سو	۱۶/۰۹	۱/۷۴

۵-۲- بررسی خصوصیات مهندسی و ژئوتکنیکی لس‌های منطقه

۵-۲-۱- بررسی ضریب نفوذپذیری لس‌های منطقه مورد مطالعه

برای تعیین ضرایب نفوذپذیری لس‌های منطقه مورد مطالعه، در پاره‌ای از مناطق آزمایشاتی به صورت برج یا آزمایشگاهی، در حین مطالعات طرح‌های سدهای خاکی انجام گردیده که نتایج حاصله در جدول شماره ۶ ارائه گردیده است. بر اساس اطلاعات و نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده، لس‌های ناحیه یک بیشترین ضریب نفوذپذیری و لس‌های ناحیه ۲ کمترین ضریب نفوذپذیری را در منطقه مورد مطالعه دارند.

جدول شماره ۶- مقایسه حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری لس‌های برخی از مناطق استان گلستان

ناحیه	نام محل	حدود تغییرات دانسیته خشک gr/cm^3	حداقل ضریب نفوذپذیری	حداکثر ضریب نفوذپذیری
ناحیه ۱	سد کبود وال	۱/۵-۱/۷	1×10^{-7}	2×10^{-4}
	سد نومل	۱/۸-۲/۴۲	6×10^{-7}	2×10^{-5}
ناحیه ۲	سد گلستان ۱ عرب سورنگ	۱/۳۸-۱/۷۷	9×10^{-10}	$3/5 \times 10^{-7}$
	سد گلستان ۲ صوفی شیخ	۱/۳-۱/۸۳	$1/2 \times 10^{-9}$	$2/5 \times 10^{-6}$
ناحیه ۳	دریاچه آلاگل	۱/۳۳-۱/۷۴	1×10^{-7}	$4/3 \times 10^{-6}$
	سد آجی سو	۱/۶۰-۱/۶۸	$1/7 \times 10^{-6}$	$1/3 \times 10^{-5}$

۵-۲-۲- تحکیم یا نشست پذیری

در بررسی‌ها و آزمایشات انجام شده تحکیم بر روی لس‌های پاره‌ای از مناطق استان، در مطالعات احداث سدهای خاکی، در نواحی سه گانه، نتایج ذیل حاصل گردیده است. که خلاصه آن در جدول شماره ۷ ارائه گردیده است.

جدول شماره ۷- نتایج حاصل از آزمایش تحکیم بر روی لس‌های مناطق مختلف استان

ناحیه	نام محل	C_s		C_c		C_v		e_0	
		max	min	max	min	max	min	max	min
۱	سد کبودوال	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۴۷	$0/6 \times 10^{-3}$	$7/8 \times 10^{-3}$	۰/۵	۰/۹۵
	روستای تراجیق	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۶	۰/۰۶	-	-	۰/۴۶۱	۰/۴۶۱
۲	سد گلستان ۲	۰/۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۶۳	۰/۱۲۶	-	-	۰/۴۵	۰/۷۸۷
	سد گلستان ۱	۰/۰۰۶۶	۰/۰۲۷	۰/۰۱۲	۰/۱۲۳	-	-	۰/۴۱۳	۰/۵۴۸
	حبیب ایشان	-	-	-	-	$1/1 \times 10^{-3}$	$9/7 \times 10^{-3}$	۰/۳۹۸	۰/۷۶۶
۳	سد آجی سو	۰/۰۰۸۳۱	۰/۰۱۶۶۱	۰/۰۹۰۸	۰/۱۸	$2/63 \times 10^{-3}$	$1/88 \times 10^{-3}$	۰/۴۰۴	۰/۶۸۲
	دریاچه آلاگل	-	-	-	-	$1/0.4 \times 10^{-2}$	$8/7 \times 10^{-3}$	۰/۴۱۴	۱/۰۷۳

۵-۲-۳- آزمایش سه محوری

آزمایش برش سه محوری، قابل اعتمادترین روش برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی است که از آن برای انجام تحقیقات و آزمایشهای لازم در کارهای معمول مهندسی خاک استفاده شود معمولاً سه نوع آزمایش سه محوری استاندارد انجام می شود:

۱- آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده یا آزمایش زهکشی شده (آزمایش CD)

۲- آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده (آزمایش CU)

۳- آزمایش تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU)

جدول شماره ۸- نتایج آزمایش سه محوری لس‌های مناطق مختلف استان

نوع آزمایش	تغییرات پارامترهای				تغییرات دانسیته		تغییرات رطوبت		نام محل	ناحیه
	min		max		min	max	min	max		
Cu-uu CD	C	ϕ	C	ϕ	۱/۶۲	۱/۷۸	۸	۱۶	سد کبودال	۱
	۰/۳۵	۳۲	۱	۲۸/۴						
Cu , uu	۰/۰۲	۴۱	۰/۲۵	۲۵	۱/۵۲	۱/۷۷	۲۰/۳	۳۰/۵	سد حبیب‌ایشان	۲
			۰/۲۵	۱۵						
Cu	۰/۱۵	۳۰	۰/۳۵	۳۴	۱/۵۲	۱/۷۷	۱۵/۶۳	۲۸/۶۱	سد گلستان ۱	
Cu	۰/۱	۲۹	۰/۳	۳۰	۱/۶۸	۱/۸۴	۱۲/۷	۲۰	سد گلستان ۲	۳
Cu	-	-	۰/۵۸	۱۳/۶۰	۱/۳۳	۱/۷۴	۵/۴۰	۳۳/۷۰	دریاچه آلاگل	
uu-Cu	۰/۱۲	۲۸/۸۰	۰/۵۵	۲۵/۸۰	۱/۵۹	۱/۶۸	۱۶	۱۸/۷۰	سد آجی سو	

۵-۲-۴- آزمایش واگرایی بر روی مصالح لس

نتایج آزمایش واگرایی بر روی نمونه‌های دست خورده و دست نخورده پی، در جدول شماره ۹ ارائه گردیده است. بر اساس نتایج آزمایش کلیه نمونه‌ها غیر واگرا می‌باشند آزمایش هیدرومتری مضاعف در سه مورد نشان دهنده نیمه واگرا بودن و در سه مورد دیگر خاک را غیر واگرا نشان داده است.

جدول شماره ۹- نتایج آزمایشهای واگرایی بر روی نمونه‌های پی در قسمت میانی سد کبودوال - زرین گل

وضعیت واگرایی بر اساس				درصد یونهای سدیم در مجموع یونهای مثبت	مجموع یونهای مثبت meq/lit	میزان یونهای مثبت meq/lit				$\frac{b}{a} \times 100$	درصد ذرات زیر ۵ میکرون		عمق متر	شماره گمانه
ترامپ	پین مدل	عصاره اشباع	هیدرو متری مضاعف			Ca^{+}	Mg^{+}	Na^{+}	R^{+}		بدون محلوب بل b	بامحلول a		
بدون واکنش	ND 1	غیر واگرا	نیمه واگرا	۱۷	۷/۳	۳/۶	۲/۴	۱/۲۲	۰/۰۸	۲۷	۱۴	۵۲	۷/۵	KD 18
بدون واکنش	ND 1	غیر واگرا	غیر واگرا	۲۶	۹/۳۳	۴/۴	۲/۴	۲/۴۴	۰/۰۹	۱۰	۵	۵۰	۸/۵	KD 19
بدون واکنش	ND 1	غیر واگرا	غیر واگرا	۱۰	۲/۱۸	۱/۹۸ ۱۱	۵/۹۲	۸/۹۶	۰/۳۲	۱۵	۸	۵۲	۱/۶۰ ۱۵	KD 21
باواک نش کم	ND 1	غیر واگرا	نیمه واگرا	۶	۴۶/۶۱	۱/۳۹ ۳۰	۱/۹۹ ۱۲	۲/۸۰	۰/۴۳	۲۹	۹	۳۱	۲۵/۵	KD 22
باواک نش کم	ND 2	غیر واگرا	غیر واگرا	۲	۱۰/۷۵	۴	۵/۹	۰/۶۳	۰/۲۲	۱۶	۸	۴۹	۱۴	KD 17
باواک نش کم	ND 1	غیر واگرا	نیمه واگرا	۵	۸/۴۴	۲	۵/۹	۰/۴۶	۰/۰۸	۲۸	۱۳	۴۷	۱۳/۵	KD 20

۶- نتیجه گیری

در ارتباط با اهمیت خاک لس از نظر پی سدها باید گفت خاکهای لسی با دانسیته خشک کم می‌توانند بار قابل ملاحظه‌ای را تحمل کنند. اما زمانیکه مرطوب و بارگذاری شوند فرو می‌ریزند. اگر چنین خاکهایی در پی سد خاکی به همان حال رها شوند بعد از پر شدن مخزن سد اشباع می‌شوند و در نتیجه، نشستهای نامتقارن و بیش از حد در بدنه سد بوجود خواهد آمد. برای حذف نشستهای اضافی لازم است که این خاکها برداشته یا اصلاح شوند. با توجه به پراکندگی و ضخامت زیاد خاکهای لسی در اکثر مناطق استان روشهای اصلاح و آماده سازی پی در محل احداث سدها می‌بایستی مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

۱- خاکهای لسی منطقه از نظر طبقه‌بندی بر اساس روش یونیفاید عمدتاً در رده CL و ندرتاً در رده‌های ML و CL-ML قرار می‌گیرند.

۲- از نقطه نظر شاخص‌های پلاستیسیته، تورم پذیری خاک لس در منطقه کبودوال و زرینگل بر حسب طبقه‌بندی (۱۹۹۸، IS) کم تا متوسط بوده و از این نقطه نظر مشکلی در استحصال و کاربرد خاکهای مذکور به عنوان قرضه ایجاد نخواهد نمود.

۳- بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات مختلف واگرایی بر روی خاکهای لسی کبودوال- زرینگل، خاکهای مورد نظر به عنوان قرضه ریزدانه دارای خاصیت واگرایی مؤثر بر پایداری سد نمی‌باشد.

۴- خاکهای لسی محدوده سدهای گلستان یک و دو در آزمایشات تراکم نتایج نسبتاً مطلوبی را از نظر دانسیته خشک در رطوبت بهینه ارائه کرده‌اند که نشان دهنده تراکم پذیری مناسب این مصالح به منظور استفاده به عنوان قرضه می‌باشد.

۵- در محدوده سد مطالعاتی آجی سو واقع در نوار شمالی استان رسوبات لسی در شرایط خشک دارای مقاومت مطلوب می‌باشد، اما در تماس با آب شدیداً ناپایدار شده به گونه‌ای که دیواره‌های لس به محض تماس با آب فرو ریخته و لایه‌های افقی دچار پدیده رمبندگی می‌گردند. این مصالح به انرژی فرسایش آب جاری نیز بسیار حساس بوده و بر اثر جریان آب سریعاً دچار فرسایش و پدیده (piping) می‌شوند.

۶- وجود کرنات سدیم در خاکهای لسی به مقاومت حالت خشک این خاکها کمک می‌نماید. خاکهای لسی در مناطق جنوبی استان بیشترین مقدار کرنات کلسیم (۲۶ تا ۳۱٪) و در مناطق شمالی و نوار مرزی استان کمترین مقدار کرنات کلسیم (۴ تا ۱۰٪) را دارا می‌باشند. لذا یکی از دلایل موجود دیواره‌های صخره‌ای و قائم لرها را در مناطق جنوبی و همچنین مرفولوژی هموار و یکنواخت تپه ماهوری لسه‌های مناطق شمالی استان را می‌توان به درصد فراوانی کرنات کلسیم در این رسوبات مرتبط دانست.

۷- در منطقه آجی سو به منظور تأمین منابع قرضه سد، مطالعاتی در چند محل بر روی خاکهای لسی انجام گردیده که خاک هریک از مناطق رفتار ویژگی‌های متفاوتی را از خود نشان داده‌اند. در یک منطقه خاک به علت دارا بودن مقدار قابل توجه رس از کیفیت نسبتاً مطلوبی برخوردار بوده و در آزمایش پین هول، واگرا نگردیده و استفاده از این مصالح جهت ساخت سد مورد توجه قرار گرفته است. لیکن خاک مورد نظر به دلیل دانسیته خشک کم و رطوبت بهینه بالا، نهایتاً از مقاومت برشی کمی برخوردار بوده که این موضوع منجر به کاهش شدید شیب مجاز بدنه سد و بالا رفتن حجم مصالح مصرفی خواهد شد.

محل دیگری که به عنوان منبع قرضه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته در آزمایش واگرایی پین هول به صورت نیمه واگرا عکس‌العمل نشان داده است و استفاده از این خاک جهت احداث سد مطلوب به نظر نرسیده است.

بنابراین یکی از مشکلات عمده در مناطق شمالی و مرزی استان گلستان جهت احداث بندهای خاکی تأمین منابع قرضه مورد نیاز، با توجه به خصوصیات متفاوتی است که لسه‌های این منطقه از نظر واگرایی و مقاومت برشی از خود نشان دهند.

۷- مراجع

- ۱- معماریان، حسین، ۱۳۷۴، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، دانشگاه تهران
- ۲- طاحونی، شاپور، ۱۳۷۴، «اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول، مکانیک خاک، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر»
- ۳- معاریان، حسین، ۱۳۷۳، «زمین شناسی برای مهندسين»، انتشارات دانشگاه تهران
- ۴- درویش زاده، علی (۱۳۷۰)، زمین شناسی ایران، نشر دانش امروز، تهران
- ۵- نقشه زمین شناسی، چهارگوش گرگان مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور
- ۶- خواجه، منصور، ۱۳۸۱، پایان نامه دکتری رشته زمین شناسی، بررسی رسوب شناسی، محیط رسوبی و رسوب زایی نهشته های کوآترنر حوضه گرگانرود
- ۷- امینی، آرش، ۱۳۷۴، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی، مطالعه برخاستگاه و مکانیزم رسوب زایی لس ها در حوضه آبخیز قره تیکان
- ۸- مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، ۱۳۷۸، انتشارات دانشگاه تربیت معلم
- ۹- گزارش آزمایشات تکمیلی، مطالعات ژئوتکنیک فاز دو اراضی قیزلر (سایت خط انتقال و بند خاکی) مهرماه ۱۳۸۶، شرکت مهندسين مشاور کاوش پی مشهد
- ۱۰- گزارش آزمایشات تکمیلی مطالعات ژئوتکنیک نواز مرزی اترک محل آب بندان و ایستگاه پمپاژ خیر خواجه، دده الوم و کلیجه، شرکت مهندسين مشاور ژئوتکنیک پوشگیران زمین ۱۳۸۶.