بسم الله الرحمن الرحیم

جدول شناسنامه اثر	
کد آموزش	۳۱۳-۰۰۷-۰۰۱
عنوان اثر	گزیده‌ی مهم‌ترین مباحث مکانیک خاک - خواص خمیری خاک‌ها، حدود اتربرگ (حد روانی، حد خمیری و حد انقباض)
تالیف	گروه مهندسی سیویل ژئوتک (civilgeotech)
نویسنده	مهندس سید محمد صادق آل‌محمد
آدرس سایت	https://civilgeotech.ir/
ایمیل	info@civilgeotech.ir
نوع	فایل pdf
تعداد کل صفحات	۱۵ صفحه

فرهیخته گرامی:
بازنشر این فایل باعث تضییع حقوق مادی و معنوی سایت سیویل ژئوتک خواهد شد و کپی بخش یا تمام این اثر شرعا و قانونا حرام و ممنوع است.
لطفا فایل این آموزش را از سایت اصلی ما دریافت کنید.

فهرست مطالب

خواص خمیری خاک‌ها، حدود اتربرگ (حد روانی، حد خمیری و حد انقباض) - گزیده‌ی مهم‌ترین مباحث مکانیک خاک ۲
۱- آنچه در این آموزش خواهیم خواند... ..... ۲
۲- پایداری خاک‌های چسبنده ۲
۲-۱- حد روانی (Liquid Limit) ۳
۲-۱-۱- تمرین ۷
۲-۲- حد خمیری (Plastic Limit) ۸
۲-۲-۱- نشانه خمیری (Plasticity Index) ۸
۲-۲-۲- نشانه روانی (Liquidity Index) ۹
۲-۲-۳- نشانه غلظت (قوام) (Consistency Index) ۹
۲-۳- حد انقباض (Shrinkage Limit) ۹
۳- نمودار حدود اتربرگ ۱۱
۳-۱- تمرین ۱۲
۴- فعالیت (عدد فعالیت) (Activity) ۱۲
۵- نمودار خمیری ۱۴
۶- مراجع ۱۴

CIVILGEOTECH

خواص خمیری خاک‌ها، حدود اتربرگ (حد روانی، حد خمیری و حد انقباض) – گزیده‌ی مهم‌ترین مباحث مکانیک خاک

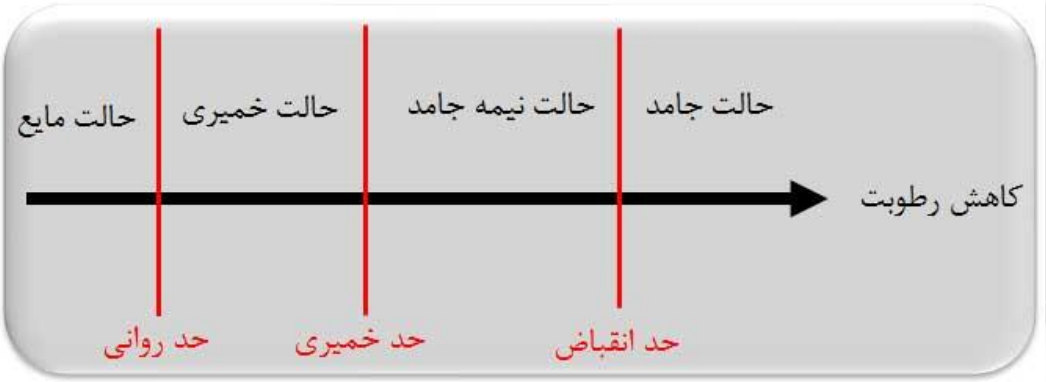
۱- آنچه در این آموزش خواهیم خواند...

در بخش گزیده مهم‌ترین مباحث مکانیک خاک به بررسی و بحث پیرامون موضوعات پرکاربردتر موجود در مکانیک خاک می‌پردازیم. در این آموزش مباحث خواص خمیری خاک‌ها، حدود اتربرگ (حد روانی، حد خمیری و حد انقباض) بررسی می‌شوند. منابع مورد استفاده در این آموزش نیز که کتاب‌های رفرنس مکانیک خاک شامل کتاب‌های داس، بودهو و ترزاقی هستند در انتها قرار داده شده است و می‌توانید آن‌ها را دانلود کنید.

۲- پایداری خاک‌های چسبنده

وقتی کانی‌های رسی در خاک ریزدانه وجود داشته باشند، خاک می‌تواند در حضور مقداری رطوبت بدون خرد شدن، دوباره شکل بگیرد. این خاصیت چسبندگی ناشی از آب جذب شده اطراف ذرات رس است.

در سال ۱۹۱۱، اتربرگ، دانشمند سوئدی، روشی را برای توصیف حد پایداری (سفتی - قوام) خاک‌های ریزدانه بر اساس میزان رطوبت ابداع کرد. اگر دوغابی از یک نمونه خاک رسی داشته باشیم، با کاهش میزان رطوبت به تدریج دوغاب از حالت مایع (روانی) به حالت خمیری تبدیل می‌شود. با خشک شدن بیشتر، به حالت نیمه جامد و در نهایت به حالت جامد تغییر می‌کند.

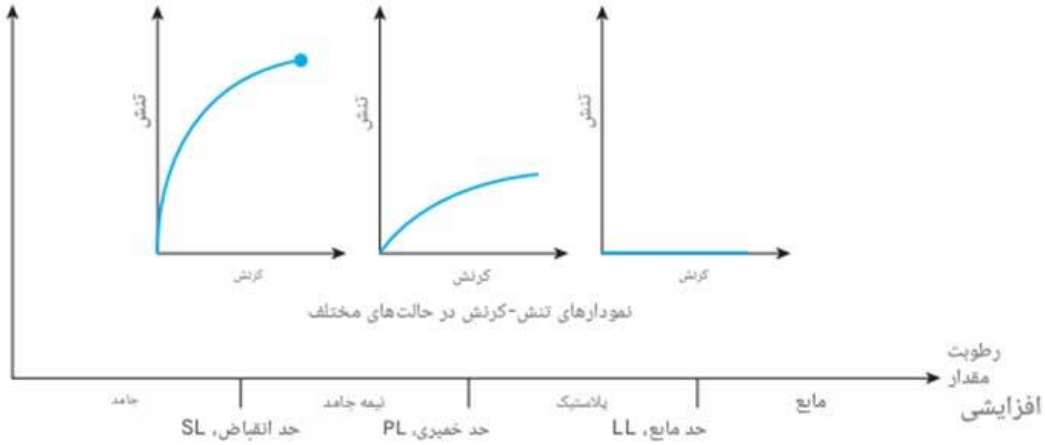


بنابراین با توجه به شکل بالا حدود اتربرگ به صورت زیر تعریف می‌شود:

- ✓ حد مایع (حد روانی): درصد رطوبتی است که در آن خاک از حالت مایع به حالت خمیری تغییر می‌کند.
- ✓ حد خمیری: درصد رطوبتی است که در آن خاک از حالت خمیری به حالت نیمه جامد تغییر می‌کند.
- ✓ حد انقباض: درصد رطوبتی است که در آن خاک از حالت نیمه جامد به حالت جامد تغییر می‌کند.

حدود اتربرگ خاک چسبنده به عوامل مختلفی مانند مقدار و نوع کانی‌های رسی و نوع کاتیون جذب شده بستگی دارد.

در شکل زیر نیز منحنی تنش کرنش خاک رس در حدود اتربرگ مختلف قابل مشاهده است.



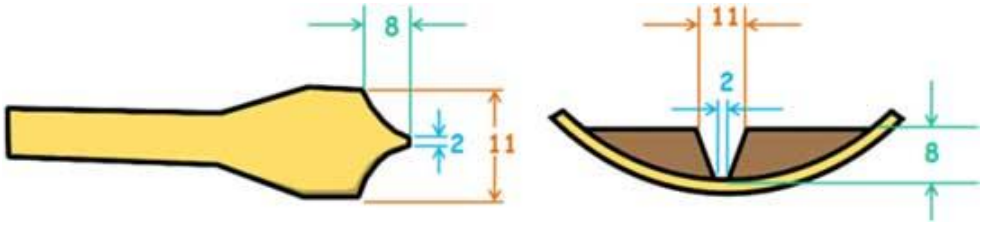
شکل ۴.۱ حدود آتربرگ

۲-۱- حد روانی (Liquid Limit)

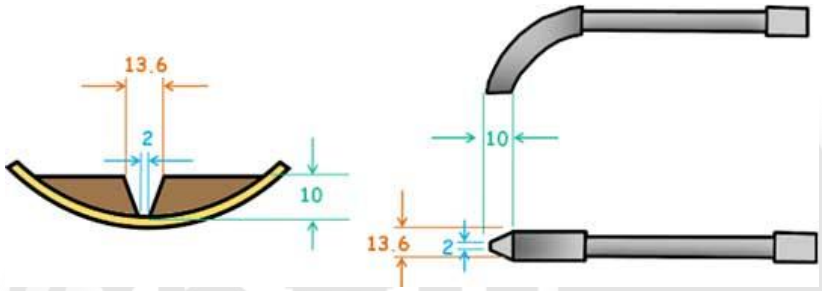
حد روانی خاک توسط دستگاه استاندارد کاساگراند تعیین می‌شود. این دستگاه از یک فنجان برنجی و یک پایه لاستیکی سخت تشکیل شده است. با پیچاندن یک دسته فنجان قدری از روی پایه بالا می‌آید و ناگهانی روی آن برخورد می‌کند.

برای انجام آزمایش حد روانی، باید یک خمیر خاک را در فنجان قرار داد. سپس با استفاده از ابزار شیارزنی استاندارد، شیاری در مرکز خاک ایجاد کرد.

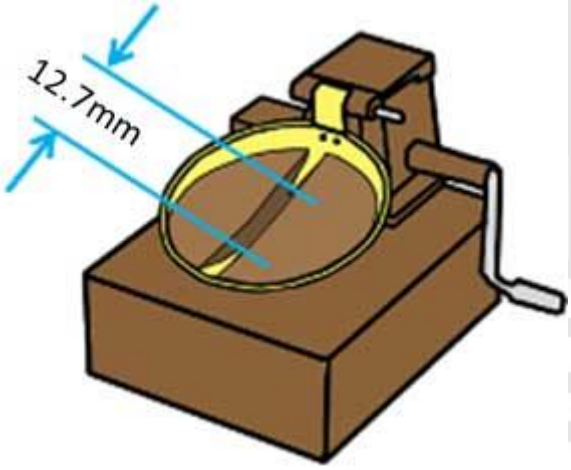
شیارزن کاساگرانده شیاری به عرض ۲ میلی‌متر در پایین و ۱۱ میلی‌متر در بالای نمونه ایجاد می‌کند. عمق شیار ایجاد شده با این ابزار برابر با ۸ میلی‌متر است.



شیارزن ASTM، شیاری به عرض ۲ میلی‌متر در پایین و عرض ۶/۱۳ میلی‌متر در بالا و عمق ۱۰ میلی‌متر را درون نمونه ایجاد می‌کند.



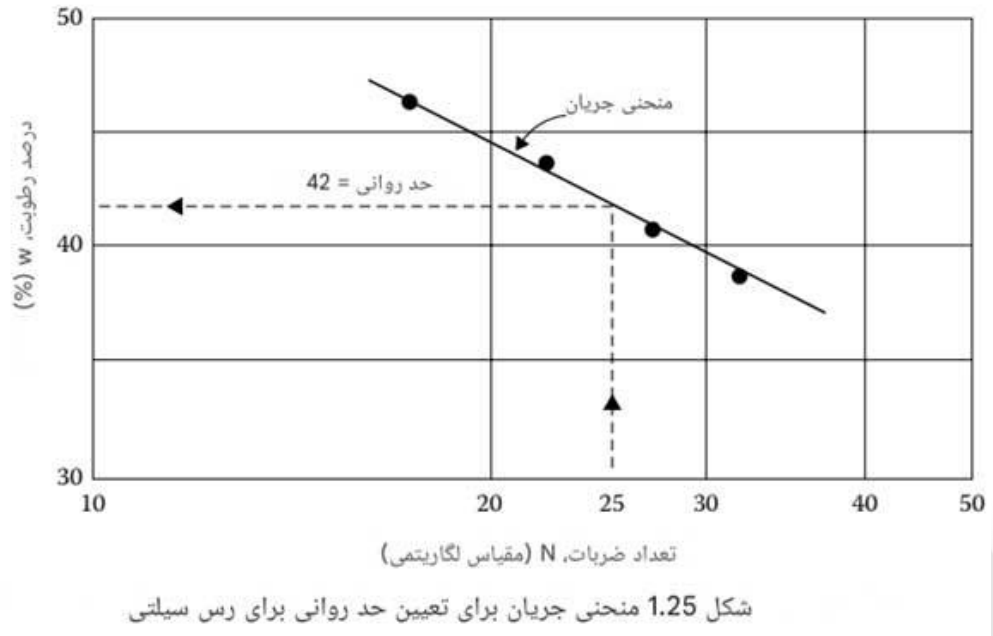
با استفاده از دسته (بادامک) فنجان از ارتفاع ۱۰ میلیمتری بلند و رها می‌شود. پس از ۲۵ ضربه میزان رطوبت (بر حسب درصد) برای بستن فاصله ۱۲.۷ میلی‌متری در امتداد کف شیار به عنوان حد روانی تعریف می‌شود.



تنظیم میزان رطوبت خاک برای بسته شدن فاصله ۱۲.۷ میلی‌متری در نمونه با ۲۵ ضربه دشوار است. از این رو، حداقل سه آزمایش (برخی منابع دیگر ۴ آزمایش) برای یک خاک مشابه با رطوبت‌های مختلف انجام می‌شود.

با توجه به میزان رطوبت خاک تعداد ضربات (N) برای رسیدن به بسته شدن، بین ۱۵ تا ۳۵ ضربه متغیر است.

نموداری برحسب رطوبت خاک (بر حسب درصد) و تعداد ضربات مربوطه در مقیاس نیمه لگاریتمی رسم می‌شود. رابطه بین رطوبت و log N به صورت یک خط مستقیم تقریب زده می‌شود. این خط به عنوان منحنی جریان شناخته می‌شود. رطوبت مربوط به N=25، که از منحنی جریان حاصل می‌شود، حد روانی خاک را نشان می‌دهد.



شکل 1.25 منحنی جریان برای تعیین حد روانی برای رس سیلتی

شیب خط جریان به عنوان شاخص جریان (شاخص روانی) تعریف می‌شود و می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log(N_2/N_1)}$$

در این رابطه:

- I_F شاخص جریان (Flow Index)
- ω_1 درصد رطوبت خاک مربوط به N_1 ضربه
- ω_2 درصد رطوبت مربوط به N_2 ضربه

نکته: در رابطه جای $\omega 2$ و $\omega 1$ با هم عوض می‌شود تا مقدار مثبتی حاصل شود، حتی اگر شیب خط جریان منفی باشد. بنابراین، معادله خط جریان را می‌توان به صورت کلی به صورت زیر نوشت که در آن C یک پارامتر ثابت است:

$$w = -I_F \log N + C$$

از تجزیه و تحلیل صدها آزمایش حد روانی معادله‌ای تجربی به شکل زیر پیشنهاد شده است:

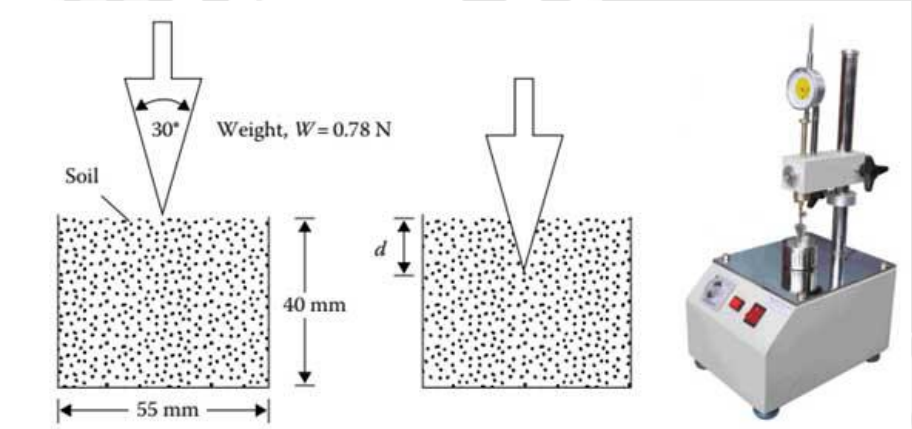
$$LL = w_N \left(\frac{N}{25}\right)^{\tan\beta}$$

در این رابطه:

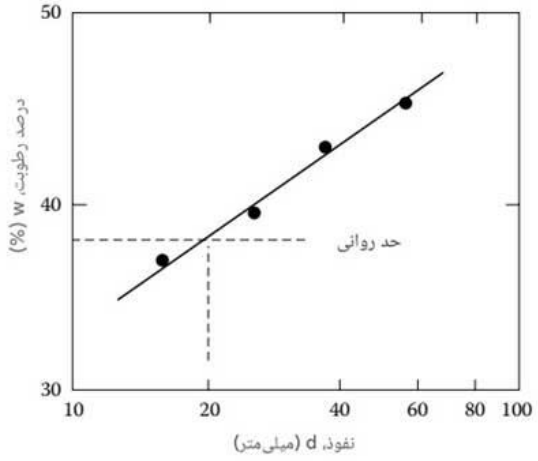
- N تعداد ضربات برای انسداد شیار ۱۲.۷ میلی‌متری است.
- ω_N میزان رطوبت مربوطه است.
- $\tan\beta=0.121$ اما توجه داشته باشید که $\tan\beta$ برای همه خاک‌ها برابر با 0.121 نیست.

این معادله عموماً نتایج خوبی برای تعداد ضربات بین ۲۰ تا ۳۰ ضربه ارائه می‌دهد. برای آزمایش‌های آزمایشگاهی معمول، می‌توان از آن برای تعیین حد روانی زمانی که فقط یک آزمایش برای خاک انجام می‌شود، استفاده کرد. این روش به عنوان روش تک نقطه‌ای شناخته می‌شود و در ASTM 2014 با عنوان D-4318 آورده شده است. دلیل اینکه روش تک نقطه‌ای نتایج نسبتاً خوبی ارائه می‌دهد این است که وقتی تعداد ضربات ۲۰ الی ۳۰ باشد، محدوده کوچکی از رطوبت در نظر گرفته می‌شود.

روش دیگر تعیین حد روانی، روش نفوذ مخروط (British Standard-BS 1377) است. در این آزمایش، حد روانی به عنوان میزان رطوبتی تعریف می‌شود که در آن یک مخروط استاندارد با زاویه رأس ۳۰ درجه و وزن ۰.۷۸ نیوتن (80gf گرم نیرو) در مدت ۵ ثانیه، در صورت رها شدن از نقطه تماس با سطح خاک، مسافتی معادل d=20 میلی‌متر را طی می‌کند.



با توجه به دشواری دستیابی به حد روانی از یک آزمایش واحد، می‌توان چهار یا چند آزمایش را با میزان رطوبت‌های مختلف انجام داد تا میزان نفوذ مخروط (d) در مدت ۵ ثانیه تعیین شود. سپس یک نمودار نیمه لگاریتمی با میزان رطوبت ω در مقابل نفوذ مخروط d رسم کرد. نمودار حاصل یک خط مستقیم است. میزان رطوبت مربوط به d=20 میلی‌متر، حد روانی است.



نمودار رطوبت در مقابل نفوذ مخروط برای تعیین حد روانی شکل 1.26

شاخص جریان را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد. که در آن ω_1 و ω_2 به ترتیب میزان رطوبت در نفوذ مخروط‌های d_1 و d_2 هستند.

$$I_{FC} = \frac{w_2(\%) - w_1(\%)}{\log d_2 - \log d_1}$$

در این روش نیز مثل روش کاساگرانده (جام کوبه‌ای)(ASTM D4318) روابطی برای تخمین حد روانی با روش تک نقطه‌ای انجام شده است که عبارتند از:

ناگاراج و جایادوا ۱۹۸۱	فنگ ۲۰۰۱
$LL = \frac{w}{0.77 \log d}$ $LL = \frac{w}{0.65 + 0.0175d}$	$LL = w\left(\frac{20}{d}\right)^{0.33}$

ابعاد زاویه نوک مخروط، وزن مخروط و مقدار نفوذ در کشورها متفاوت است که در جدول 1.3 کتاب داس (advanced soil mechanics) قابل مشاهده است.

براساس مطالعات مختلف مشخص شده است که مقاومت برشی زهکشی نشده خاک در حد روانی بین 1.7 تا 2.3 کیلونیوتن بر متر مربع متغیر است.

فنگ۲۰۰۱ رابطه تجربی زیر را بین حد روانی تعیین شده طبق ASTM D4318 و استاندارد بریتانیا BS1377 ارائه داده است.

$$LL_{(BS)} = 2.6 + 0.94[LL_{(ASTM)}]$$

۲-۱-۱- تمرین

یک آزمایش حد روانی با استفاده از مخروط سقوط روی خاک انجام شده است.

نتایج مقابل حاصل شد ω=29.5% در d=15mm

حد روانی خاک را با استفاده از معادلات روش تک نقطه‌ای نفوذ مخروط تخمین بزنید.

$$LL = \frac{w}{0.77 \log d} = \frac{29.5}{(0.77)(\log 15)} = 32.58$$

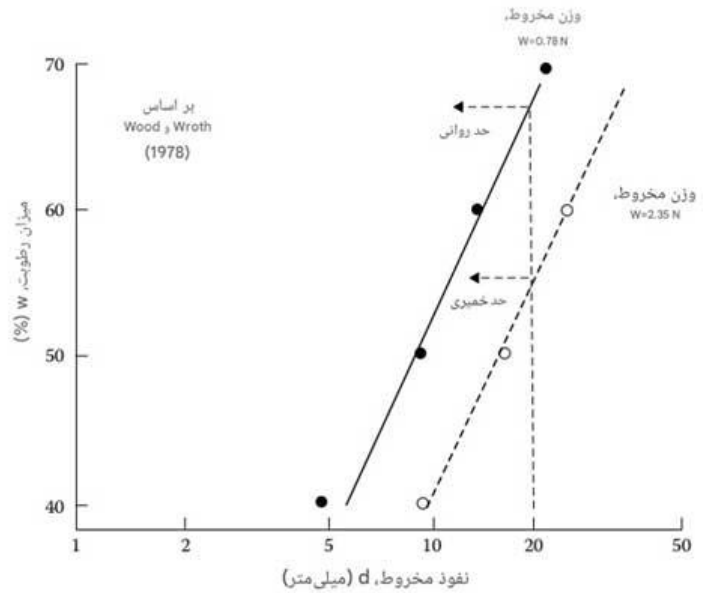
$$LL = \frac{w}{0.65 + 0.0175d} = \frac{29.5}{0.65 + (0.0175)(15)} = 32.33$$

$$LL = w\left(\frac{20}{d}\right)^{0.33} = (29.5)\left(\frac{20}{15}\right)^{0.33} = 32.43$$

۲-۲- حد خمیری (Plastic Limit)

حد خمیری به عنوان درصد رطوبتی تعریف می‌شود که در آن خاک هنگام غلتاندن به فیتیله‌هایی با قطر ۳.۲ میلی‌متر خرد می‌شود. آزمایش حد خمیری با غلتاندن مکرر یک توده خاک کوچک با دست روی یک صفحه شیشه‌ای انجام می‌شود. (ASTM, 2014, D-4318)

مانند تعیین حد روانی، می‌توان از روش مخروط سقوط برای به دست آوردن حد خمیری استفاده کرد. با استفاده از مخروطی با هندسه مشابه، اما با جرم ۲.۳۵ نیوتن (240gf گرم نیرو) انجام داد. سه تا چهار آزمایش با رطوبت‌های مختلف خاک انجام می‌شود و نفوذ مخروط مربوطه d تعیین می‌شود. رطوبت مربوط به نفوذ مخروط d=20 میلی‌متر، حد خمیری است.



شکل 1.27 حدود روانی و خمیری برای خاک رس کمبریج گالت که توسط آزمایش مخروط سقوط تعیین شده است.

۲-۲-۱- نشانه خمیری (Plasticity Index)

اختلاف بین حد روانی (LL) و حد خمیری (PL) خاک به عنوان شاخص خمیری (نشانه خمیری – دامنه خمیری)، PI، تعریف می‌شود.

$$PI = LL - PL$$

براساس پژوهش نیز بین نشانه خمیری با شاخص جریان رابطه زیر برقرار است:

$$PI(\%) = 4.12 I_F(\%)$$

$$PI(\%) = 0.74 I_{FC}(\%)$$

یک خاک با خاصیت خمیری بالا استعداد خمیری شدن زیادی را دارد و با میزان رطوبت کمتری خمیری می‌شود و برای روان شدن و خروج از حالت خمیری نیز به رطوبت بیشتری نیاز دارد. بنابراین در خاک مستعد خمیری شدن، حد روانی بالا و حد خمیری پایین است. پس هر چه فاصله بین حد خمیری و حد روانی (PI) بیشتر باشد خاک خمیری تر خواهد بود.

۲-۲-۲- نشانه روانی (Liquidity Index)

پایداری (سفتی) نسبی یک خاک چسبنده را می‌توان با نسبتی به نام شاخص سیالیت (نشانه روانی) LI تعریف کرد. این نسبت به صورت زیر تعریف می‌شود: (ω_N میزان رطوبت طبیعی)

$$LI = \frac{w_N - PL}{LL - PL} = \frac{w_N - PL}{PI}$$

از معادله می‌توان دریافت که:

اگر $\omega_N=LL$ باشد، نشانه روانی برابر با ۱ است.

$$LI = \frac{(LL) - PL}{LL - PL} = 1$$

اگر $\omega_N=PL$ باشد، نشانه روانی برابر با ۰ است.

$$LI = \frac{(PL) - PL}{LL - PL} = 0$$

بنابراین، برای یک نمونه خاک طبیعی که در حالت خمیری است ($LL \geq \omega_N \geq PL$)، مقدار نشانه روانی بین ۱ و ۰ متغیر است.

برای یک نمونه خاک طبیعی با $\omega_N \geq LL$ دارای نشانه روانی بزرگتر از ۱ خواهد بود. در حالت دست نخورده، این خاک‌ها ممکن است پایدار باشند. با این حال، یک شوک ناگهانی ممکن است آنها را به حالت مایع تبدیل کند. چنین خاک‌هایی، **رس‌های حساس** نامیده می‌شوند.

۲-۲-۳- نشانه غلظت (قوام) (Consistency Index)

قوام خاک یا به اختصار قوام، مشابه ویسکوزیته در مایعات است و مقاومت داخلی در برابر نیروهایی را نشان می‌دهد که تمایل به تغییر شکل خاک دارند. مقاومت داخلی ممکن است از نیروهای بین ذرات (چسبندگی درونی یا سطحی)، سیمانی شدن، اصطکاک بین ذرات و مکش خاک ناشی شود. اصطلاحاتی مانند سفت، سخت، محکم، خمیری، نرم و خیلی نرم اغلب برای توصیف قوام استفاده می‌شوند. قوام با میزان آب تغییر می‌کند.

معیاری از قوام توسط شاخص قوام ارائه می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CI = \frac{LL - w}{LL - PL} = \frac{LL - w}{PI}$$

۲-۳- حد انقباض (Shrinkage Limit)

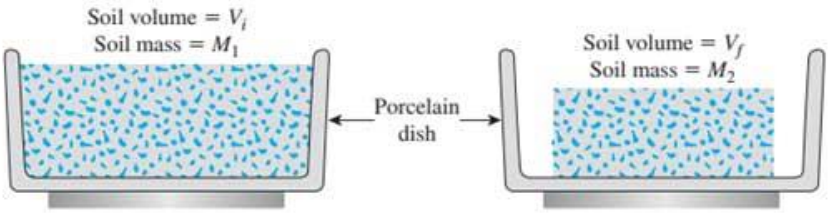
خاک با از دست دادن تدریجی رطوبت، منقبض می‌شود. با ادامه‌ی از دست دادن رطوبت، به مرحله‌ای از تعادل می‌رسد که در آن از دست دادن بیشتر رطوبت منجر به تغییر حجم بیشتر نمی‌شود. میزان رطوبت، بر حسب درصد، که در آن حجم توده خاک دیگر تغییر نمی‌کند، به عنوان حد انقباض تعریف می‌شود.

آزمایش‌های حد انقباض (ASTM D-427) :

با یک ظرف چینی با قطر حدود ۴۴ میلی‌متر (۱.۷۵ اینچ) و ارتفاع حدود ۱۲.۷ میلی‌متر (۲/۱ اینچ) انجام می‌شود. داخل ظرف با وازلین پوشانده شده و سپس کاملاً با خاک مرطوب پر می‌شود. خاک اضافی که بالای لبه ظرف قرار دارد با یک خط‌کش برداشته می‌شود.

جرم خاک مرطوب داخل ظرف ثبت می‌شود. سپس خاک داخل ظرف در اون خشک می‌شود. حجم خاک خشک شده در فر با جابجایی جیوه تعیین می‌شود.

از آنجا که کار با جیوه ممکن است خطرناک باشد، ASTM D-4943 روشی را برای فرو بردن خاک خشک شده در فر در یک ظرف موم ذوب شده شرح می‌دهد. سپس توده خاک پوشیده شده با موم خنک می‌شود. حجم آن با غوطه‌ور کردن در آب تعیین می‌شود.



حد انقباض را می‌توان به صورت زیر تعیین کرد:

$$SL = w_i(\%) - \Delta w(\%)$$

در این رابطه:

- ω_i رطوبت اولیه هنگام قرار دادن خاک در ظرف تعیین حد انقباض
- $\Delta\omega$تغییر در میزان رطوبت (یعنی بین میزان رطوبت اولیه و میزان رطوبت در حد انقباض)

همچنین:

$$w_i(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

در این رابطه:

- M_1جرم خاک مرطوب داخل ظرف در ابتدای آزمایش (گرم)
- M_2 جرم خاک خشک داخل ظرف (گرم)

و همچنین:

$$\Delta w(\%) = \frac{(V_i - V_f)\rho_w}{M_2} \times 100$$

در این رابطه:

- V_iحجم اولیه خاک مرطوب یعنی حجم داخلی ظرف، cm^3
- V_f حجم خاک خشک شده در اون cm^3
- ρ_w چگالی آبg/cm^3

بنابراین برای حد انقباض داریم:

$$SL = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_2}\right)(100) - \left(\frac{V_i - V_f}{M_2}\right)(\rho_w)(100)$$

پارامتر دیگری که می‌توان از آزمایش حد انقباض تعیین کرد، نسبت انقباض است که عبارت است از نسبت تغییر حجم خاک به صورت درصدی از حجم خشک به تغییر متناظر در میزان رطوبت:

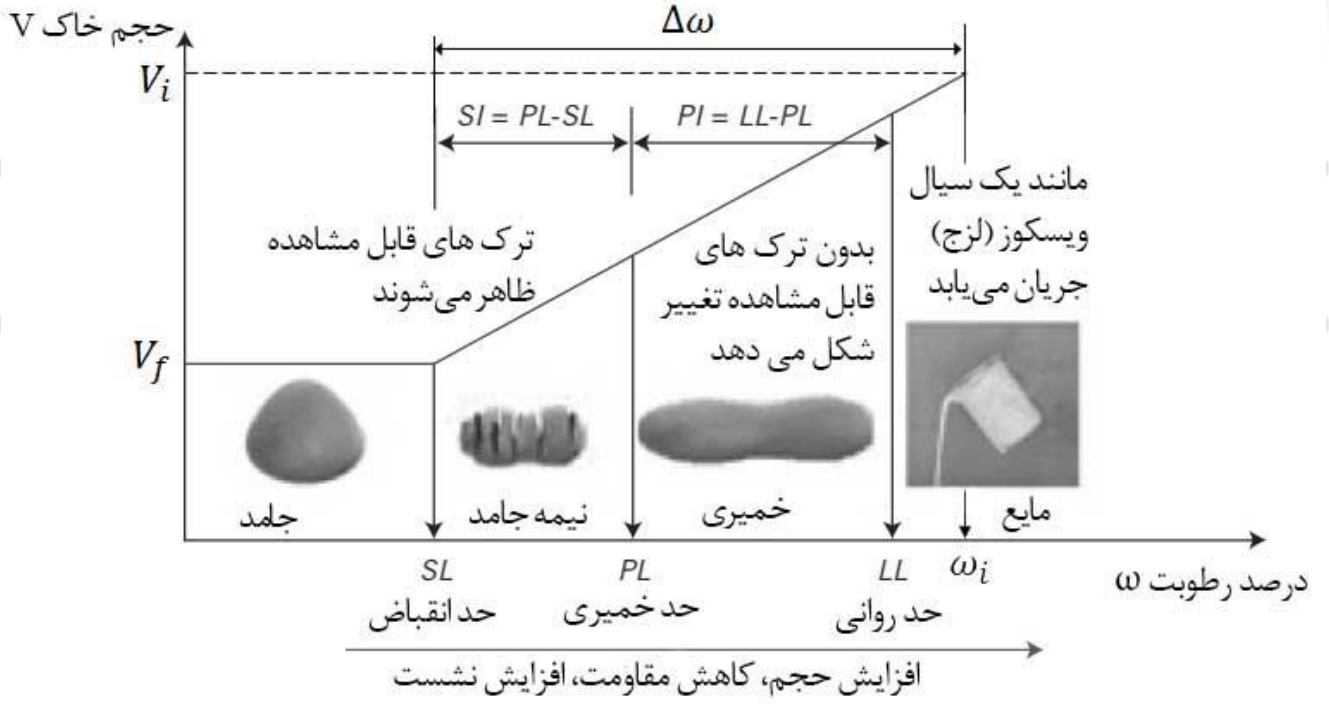
$$SR = \frac{\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)}{\left(\frac{\Delta M}{M_2}\right)} = \frac{\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)}{\left(\frac{\Delta V \rho_w}{M_2}\right)} = \frac{M_2}{V_f \rho_w}$$

نسبت انقباض با چگالی دانه‌های جامد خاک رابطه زیر را دارد:

$$G_s = \frac{1}{\frac{1}{SR} - \left(\frac{SL}{100}\right)}$$

۳- نمودار حدود اتربرگ

بنابراین با توجه به نکات گفته شده نمودار حدود اتربرگ به‌صورت زیر خواهد بود:



تغییرات در حالت‌های خاک رسی به عنوان تابعی از حجم خاک و درصد رطوبت

در این نمودار همانطور که می‌دانید درصد رطوبت به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} = \frac{\text{وزن آب}}{\text{وزن دانه جامد}}$$

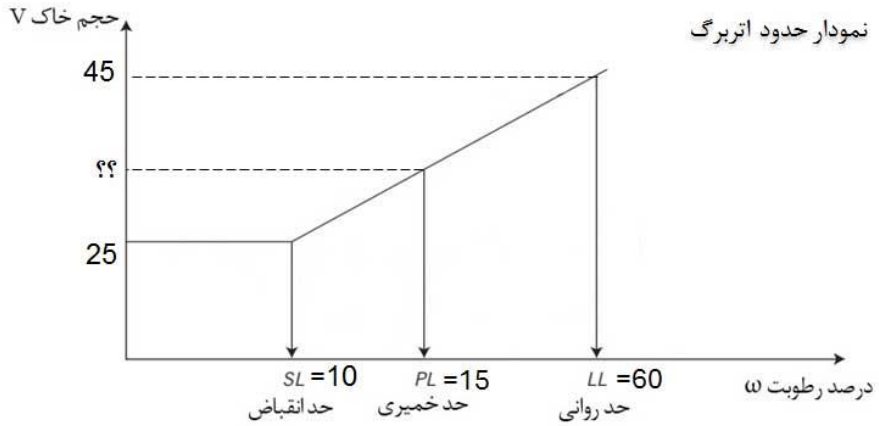
۳-۱- تمرین

حجم یک نمونه خاک در حد روانی برابر $45cm^3$ و در خشک‌ترین حالت برابر $25cm^3$ است. با کمک داده‌های زیر حجم نمونه در حد خمیری را تعیین کنید.

دامنه خمیری PI	۴۵
حد روانی LL	۶۰
حد انقباض SL	۱۰

$PI = 45 \rightarrow LL - PL = 45 \rightarrow 60 - PL = 45 \rightarrow PL = 15$

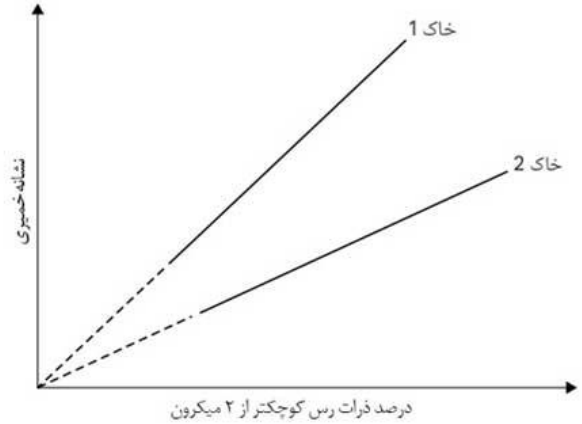
معادله خط: $V = 0.4\omega + 21 \rightarrow \omega_{PL} = 15 \rightarrow V_{PL} = 27\ cm^3$



۴- فعالیت (عدد فعالیت) (Activity)

از آنجایی که خاصیت خمیری خاک به دلیل آب جذب‌شده‌ای است که ذرات رس را احاطه کرده است، می‌توانیم انتظار داشته باشیم که نوع کانی‌های رسی و مقادیر متناسب آنها در خاک، بر محدودیت‌های مایع و خمیری تأثیر بگذارد.

اسکمپتون (۱۹۵۳) مشاهده کرد که نشانه خمیری خاک با افزایش درصد وزنی ذرات رس (کوچکتر از ۲ میکرون) به صورت خطی افزایش می‌یابد. خطوط میانگین برای همه خاک‌ها از مبدأ عبور می‌کنند. همبستگی‌های PI با ذرات رس برای رس‌های مختلف، خطوط جداگانه‌ای را رسم می‌شود. این به دلیل نوع کانی‌های رسی در هر خاک است.



بر اساس این نتایج، اسکمپتون کمیتی به نام فعالیت (A) تعریف کرد که شیب خط همبستگی PI و درصد وزنی ذرات رس کوچکتر از ۲ میکرون است:

$$A = \frac{PI}{\text{درصد وزنی ذرات رس کوچکتر از 2 میکرون}}$$

فعالیت به عنوان شاخصی برای شناسایی **پتانسیل تورم خاک‌های رسی** استفاده می‌شود.

جدول ۱.۴ فعالیت کانی‌های رسی

کانی	فعالیت A
اسمکتیت‌ها	1–7
ایلیت	0.5–1
کائولینیت	0.5
هالویزیت $(4H_2O)$	0.5
هالویزیت $(2H_2O)$	0.1
آتاپولژیت	0.5–1.2
آلوفان	0.5–1.2

سید و همکاران (1964a) خاصیت خمیری چندین مخلوط تهیه شده از شن و رس را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اگرچه رابطه نشانه خمیری با درصد ذرات رس کوچکتر از ۲ میکرون خطی است، اما ممکن است همیشه از مبدا عبور نکند (نمودار در کتاب داس advanced soil mechanics). بنابراین، فعالیت را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد (C' یک ثابت برای یک خاک مشخص است. برای نتایج تجربی نشان داده شده در شکل $C'=9$ است.)

$$A = \frac{PI}{\text{درصد ذرات رس کوچکتر از 2 میکرون} - C'}$$

سید و همکاران (1964b) نشان داده است که رابطه شاخص خمیری با درصد ذرات رس را می‌توان با دو خط مستقیم نشان داد. (نمودار در کتاب داس)

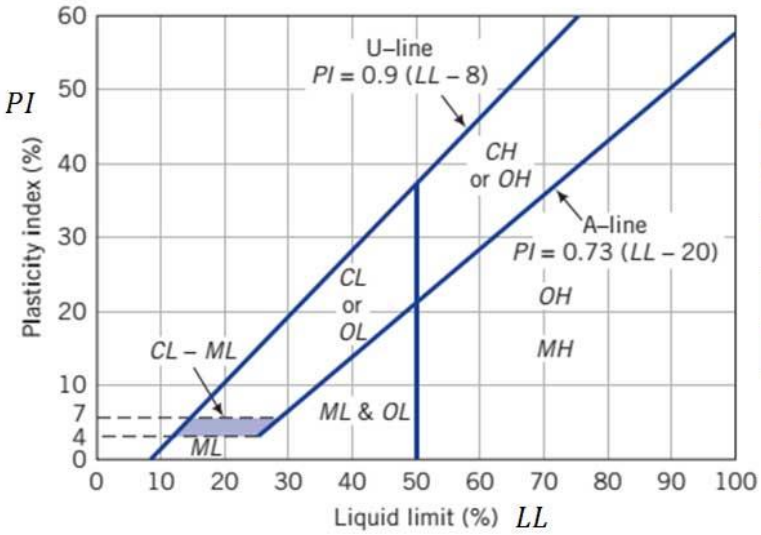
در جدول زیر نیز عدد فعالیت خاک‌ها و کانی‌های رسی مختلف آورده شده است.

Table 2.7 Activity of clay-rich soils.

Description	Activity, A
رس غیرفعال	<0.75
رس معمولی	0.75–1.25
رس فعال	1.25–2
رس بسیار فعال مانند مونت موریلینیت یا بنتونیت	>6
کانی ها	
کائولنیت	0.3–0.5
ایلیت	0.5–1.3
سدیم-مونت مورلینیت	4–7
کلسیم-مونت مورلینیت	0.5–2.0

۵- نمودار خمیری

کاساگراند (1932) رابطه نشانه خمیری با حد روانی طیف گسترده‌ای از خاک‌های طبیعی را مطالعه کرد. بر اساس نتایج آزمایش، او یک نمودار خمیری مطابق شکل پیشنهاد داد.



C	رس
M	لای (سیلت)
O	خاک آلی
L	خاصیت خمیری کم
H	خاصیت خمیری زیاد

۶- مراجع

- Braja m. Das, 2005, fundamentals of geotechnical engineering, 3th ed
- Braja m. Das, 2010, principles of geotechnical engineering, 7th ed
- Braja m. Das, 2019, advanced soil mechanics, 5th ed
- Karl terzaghi & ralph b. Peck & gholamreza mesri, 1996, soil mechanics in engineering practice, 3th ed
- Muni budhu, 2015, soil mechanics fundamentals, metric version

CIVILGEOTECH