دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

فیزیک خاک (عملی)

تهیه و تنظیم
حیدر غفاری

عنوان آزمایش: حدود آتربرگ (رطوبت حد روانی ، حد خمیرایی و حد انقباض)

مقدمه

آزمایش حدود آتربرگ از ا صلی ترین آزمای شهای مکانیک خاک ا ست که طی آن حد روانی، حد خمیری و حد انقباض خاک تعیین میشود. این حدود در طبقه بندی خاکهای چسبنده برای اهداف مهندسی بکار می روند و همبستگی بالایی با سایر ویژگیهای خاک دارند. این خصوصیات در برآورد سایر شاخص های مهندسی خاک مانند مقاومت بر شی، توان بارپذیری، آماس پذیری و سطح ویژه کاربرد دارند. در کشاورزی نیز این ویژگی ها کاربرد دارند، به عنوان مثال در تعیین رطوبت مناسب برای خاک ورزی استفاده می شوند.

خاکهای ریزدانه با افزایش مقدار آب جذب شـــده حالات مختلفی شـــامل جامد، نیمه جامد، خمیری و روانی به خود می‌گیرند. در اثر برهکنش ذرات ریزدانه و آب جذب سـطحی شـده مقاومت برشـی و حجم خاکها بسـته به مقدار و نوع رس تحت تاثیرقرار میگیرد. با توجه به اینکه این دو ویژگی در احداث سـازه های مهندسـی اهمیت دارند، لذا تعیین این خصوصیات در مراحل ابتدایی طراحی سازه ها ضروری است. این حدود اولین بار توسط دانشمند سوئدی به نام آلبرت اتربرگ تعیین شـــدند. به همین دلیل به حدود آتربرگ معروفند. به این حدود، قوام یا اســـتحکام خاک را در حالتهای مختلف نشان میدهند.

- **رطوبت حد روانی:** حد روانی، جداکننده حالت خمیری و مایع ا ست و معادل مقدار رطوبتی ا ست که در آن رطوبت مقاومت برشی خاک تا حدی کاهش می یابد که از حالت خمیری به حالت روان تبدیل شود.
- کاساگراند دانشمند استرالیایی این شرایط را با دستگاه استانداردی موسوم به جام کاساگراند شبیه سازی کرد که طی آن شکاف ایجاد شده در خاک قرار گرفته در جام با ۲۵ ضربه بسته شد. بنابراین، رطوبتی که در آن شیار ایجاد شده در خاک با ۲۵ ضربه بسته شود، به عنوان حد روانی در نظر گرفته شد.
- کاسـاگراند هر ضـربه در دسـتگاه خود را معادل ۰,۱ کیلونیوتن بر متر مربع تخمین زده بود. بنابراین حد روانی خاک مقاومت برشی معادل ۲,۵ کیلونیوتن بر متر مربع دارد که بسیار کم است.
- کاربرد حد روانی در محاسبه ضریب فشردگی خاکهای رسی با استفاده از روابط اسکمپتون است
- مقدار و نوع رس و ماده آلی بر حد روانی تاثیرگذار اسـت. با افزایش رس مقدار جذب آب بیشـتر شـده و خاک دیرتر به حالت روانی می رسد. حد روانی افزایش می یابد.

وسایل مورد نیاز:

دستگاه حد روانی کاساگرانده، شیار زن ، ظروف تعیین درصد رطوبت، کاردک، آون، ترازو، بطری پلاستیکی محتوی آب

روش انجام آزمایش:

A. سه ظرف فلزی مخصوص برای تعیین درصد رطوبت شماره گذاری و وزن کنید (W1).

B. حدود ۲۰۰ الی ۳۰۰ گرم از خاک هوا خشک شده که از الک نمره ۴۰۰ عبور کرده را در ظرفی قرار می دهیم و به آن مقداری آب اضافه کرده, خاک را چنان مخلوط می کنیم تا به صورت یک خمیر یکنواخت در آید.

C. قسمتی از نمونه خاک آماده شده را در جام کاساگرانده قرار داده, در حالی که جام روی پایه ثابت است با استفاده از کاردک, سطح خاک داخل جام را صاف می کنیم, به طوری که عمق خاک در گودترین نقطه ۱۰ میلیمتر با شد. مراقب باشید که حباب های هوای خاک را از بین ببرید. خاک اضافی باقیمانده را در یک ظرف جداگانه قرار دهید و روی آن را با یک دستمال خیس بپوشانید تا رطوبت خود را از دست ندهد.

D. با استفاده از شیارکش, روی خاک داخل جام شیاری در امتداد محور تقارن جام به وجود می آوریم. برای این کار, شیارکش را روی سطح خاک قرار داده, آن را روی یک منحنی حرکت می دهیم. در خاکهایی که با یک حرکت نمی توان شیار به وجود آورد, این کار را باید چندین بار تکرار نمود.

E. بررسی می کنیم که روی پایه و یا زیر جام, خاکی نچسبیده باشد. دسته دستگاه را با سرعتی در حدود ۲ ضربه در هر ثانیه می چرخانیم. با این کار, جام بالا می رود و فرو می افتد و به این وسیله یک ضربه بر جام اعمال می شود. این کار را تا وقتی که شیار در طولی به اندازه ۱۳ میلیمتر (۵/. اینچ) بسته شود, تکرار کنید.

F. بررسی می کنیم که وجود حباب های هوا باعث بسته شدن زود هنگام شیار نشده باشد.در صورت مشاهده حباب هوا, آزمایش را از اول تکرار می کنیم. در این آزمایش اگر خاک روی سطح جام بلغزد, باید آزمایش را با درصد رطوبت بیشتر تکرار نمود. اگر بعد از چند بار تکرار با درصد رطوبت بالاتر, نمونه خاک همچنان داخل جام لغزید و برای بسته شدن شیار, همیشه تعداد ضربات کمتر از ۲۵ بدست آمد, با این روش حد روانی خاک مورد نظر را نمی توان تعیین نمود و آن را بدون انجام آزمایش حد خمیری, به عنوان یک خاک غیر خمیری معرفی می کنیم.

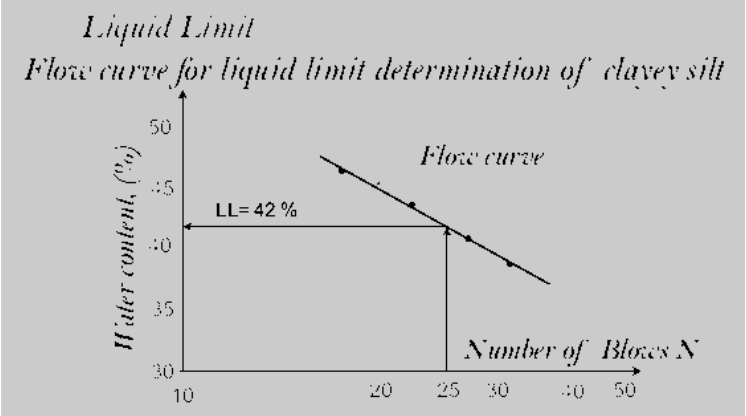
G. تعداد ضربات لازم برای بسته شدن شیار را یادداشت کرده, مقداری از خاک داخل جام را که شامل قسمت بسته شده شیار است, برای تعیین درصد رطوبت, داخل ظرف مخصوص تعیین درصد رطوبت می ریزیم و درپوش آن را می بندیم.سپس وزن ظرف و خاک مرطوب(W2) را تعیین می کنیم.

H. جام را خالی کرده, جام و شیارکش را تمیز می کنیم و برای مرحله بعدی آماده می کنیم.

I. به نمونه خاک, مقداری آب اضافه می کنیم تا درصد رطوبت آن بالاتر رود و تعداد ضربات لازم برای بسته شدن شیار کم شود. مراحل A تا H را مجدداً انجام می دهیم. این عمل باید برای تعدا ضربات بین ۱۵ تا ۲۵, ۲۰ تا ۳۰ و ۲۵ تا ۳۵ انجام شود.

J. درصد رطوبت سه نمونه باید تعیین شود. برای این کار, ظرفهای تعیین درصد رطوبت را در آون قرار می دهیم تا خاک خشک شود و به یک وزن ثابت (W3) برسد.

K. نمودار تعداد ضربه ها در برابر درصد رطوبت را رسم کنید. درصد رطوبت متناظر با ۲۵ ضربه بیانگر حد روانی است.
نکته: محور مربوط به تعداد ضربه را لگاریتمی انتخاب کنید.



محاسبات:

درصد رطوبت را برای هر سه نمونه, مطابق زیر تعیین می کنیم:

w =(W2-W3)/(W3-W1)*100

نتیجه گیری و خطا:

A. برای اطمینان از رسیدن به حد روانی و اینکه تعداد ضربات, به طور واقعی معرف مشخصه خاک تحت آزمایش باشد, حداقل دو بار بسته شدن شیار, مشاهده شود تا یکی از آنها یادداشت شود.

B. بعضی از خاکها خیلی آهسته آب جذب می کنند؛ بنابراین ممکن است افزایش آب با سرعتی انجام گیرد که حد روانی غیر واقعی به دست آید. برای اجتناب از این کار, زمان اختلاط بیشتری اختصاص داده خواهد شد. زمان اختلاط آب و خاک ۵ تا ۳۰ دقیقه است و برای خاکهای خمیری تر به زمان بیشتری نیاز می باشد.

C. آزمایشهایی که بیش از ۳۵ ضربه یا کمتر از ۱۵ ضربه لازم داشته باشند, یادداشت نخواهند شد, ولی اگر اختلاف۵ درصد در مقدار حد روانی مجاز باشد, بسته شدن شیار با تعداد ضربات بین ۱۵ تا ۴۰ را می توان پذیرفت.

D. اگر تعداد ضربات لازم برای به هم رسیدن لبه های شیار خاک زیاد باشد, باید مقدار کمی آب اضافه شود و اگر لبه های شیار خاک قبل از ۱۰ ضربه به هم برسند, رطوبت آن بیشتر از رطوبت حد روانی بوده, خاک باید در هوا با روش مناسب دیگری خشک شود.

آزمایش تعیین حد خمیری PL : حد خمیری جداکننده حالت خمیری و نیمه جامد خاک بوده و درصد رطوبتی است که در آن یک خاک چسبنده از حالت خمیری به حالت نیمه جامد تغییر فاز می دهد.

در این آزمایشگاه, حد خمیری درصد رطوبتی است که در آن," خاک در اثر فتیله شدن وقتی که قطرش ۱/۸ اینچ (حدود ۳/۲ میلیمتر) می شود, شروع به ترک خوردن می کند. این آزمایش ممکن است تا حدی وابسته به شخص آزمایش کننده به نظر برسد و نتایج نیز بر حسب اینکه چه کسی آزمایش را انجام می دهد, متفاوت باشد؛ ولی با تکرار آزمایش, تایج تقریباً مشابهی می توان به دست آورد.

برعکس حد روانی، با افزایش درصد رس خاک، حد خمیری کاهش می یابد. زیرا افزایش مقدار آب جذب سطحی شده موجب میشود که خاک با رطوبت کمتری حالت خمیری از خود نشان دهد.

وسایل آزمایش:

کاردک، بطری پلاستیکی، ترازو، ظرف تعیین رطوبت، شیشه مسطح

روش انجام آزمایش:

A. از ۲۰ گرم خاکی که در آزمایش تعیین حد روانی استفاده شد, ۱/۵ تا ۲ گرم را برداشته, با فشردن بین انگشتان به صورت یک توده بیضی شکل در می آوریم. این توده خاکی را بین انگشتان یا کف دست و یک صفحه شیشه ای که بر روی یک سطح صاف و افقی قرار دارد, با فشار کافی می غلتانیم تا قطر فتیله حاصله در تمام طول آن یکسان با شد, میزان غلتاندن برای اغلب خاکها بین ۸۰ تا ۹۰ مالش در دقیقه خواهد بود که هر مالش, یک حرکت کامل به جلو و عقب می باشد. این سرعت برای خاکهای خیلی ترد و شکننده باید کمتر انتخاب شود. مقدار فشار اعمال شده, با توجه به نوع خاک, کاملاً متفاوت خواهد بود. مثلاً خاکهای شکننده با خاصیت خمیری کم, بهتر است با سطح خارجی دست یا نوک انگشتان, بر روی صفحه شیشه ای غلتانده شود. وقتی فتیله به قطر ۳/۲ میلیمتر در آمد, آن را به چند قطعه تقسیم می کنیم. قطعات را با هم بین انگشتان دو دست فشرده, به شکل توده ای یکنواخت و بیضی شکل در می آوریم و دوباره روی سطح شیشه می غلتانیم. این عمل را آنقدر ادامه می دهیم تا وقتی که خاک, تحت فشار لازم برای غلتاندن آن خرد شود و دیگر نتواند به شکل فتیله در آید. خرد شدن خاک ممکن است زمانی پیش آید که قطر فتیله بیش از ۳/۲ میلیمتر باشد؛ در صورتی که خاک, قبلاً به صورت فتیله ای به قطر ۳/۲ میلیمتر در آمده باشد, در این حالت عملیات را متوقف می کنیم.

B. تکه های خرد شده نمونه را جمع کرده, در ظرف مخصوص تعیین درصد رطوبت قرار می دهیم و جهت اطمینان برای دستیابی به حد خمیری, دو قوطی نمونه انخاب کرده, میانگین درصد رطوبت حاصل از هر یک را به عنوان حد خمیری گزارش می نمائیم.

C. قوطی و خاک را با دقت ۰/۰۱ گرم وزن کرده, داخل گرمخانه قرار داده, پس از خشک شدن نمونه مجدداً قوطی حاوی نمونه را وزن می کنیم. کاهش وزن در نتیجه خشک شدن را به عنوان وزن آب یاددا شت کرده, در صد رطوبت را که همان حد خمیری است محاسبه می کنیم.

D. مجدداً با انتخاب مقداری دیگر از خاک آزمایش را تکرار می کنیم.

رطوبت حد خمیری به آسانی قابل اندازه گیری است و هر کسی با کمی تجربه می تواند مقدار آن را با یک یا دو درصد تقریب معین نماید.

حد انقباض

- جداکننده حالت نیمه جامد و جامد خاک است
- با کاهش پیوسته رطوبت از حد خمیری، خاک شروع به ترک خوردن و کاهش حجم می کند تا جایی که کاهش حجم متوقف شود.
- میزان رطوبتی که در آن کاهش حجم متوقف شود نشان دهنده حد انقباض است.
- کاربرد حد انقباض در برر سی پتانسیل تغییر حجم خاکها ا ست. هرچه حد انقباض کمتر با شد، پتانسیل تغییر حجم خاک بیشتر است و دلیل آن این است که آب کمتری برای شروع تغییر حجم نیاز است.

شرح آزمایش حد انقباض

- آزمایش حد انقباض در آزمایشگاه درون یک ظرف چینی به قطر ۴۴ میلیمتر و عمق ۱۲,۷ میلی متر انجام میشود.
- مقدار ۵۰ گرم از خاک هواخشک شده که از الک نمره ۴۰ عبور کرده بردا شته و داخل ظرف ریخته و با مقدار کافی آب مخلوط میکنیم تا به حد روانی برسد. آنرا خوب مخلوط کرده و روی آن پلاستیک کشیده و حدود ۱۲ ساعت به حال خود راها میکنیم.
- داخل ظرف چینیی توسط یک روغن مخصوص چرب شده، آن را وزن میکنیم MT و سپس با خاک مرطوب کاملاً پر می شود و وزن میشود M1
- خاک را به صورتت لایه لایه داخل ظرف ریخته و با چند ضربه آن را داخل ظرف پهن میکنیم تا حباب هوا محبوس نشود.

- سپس آنرا به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد می گذاریم تا به تدریج خشک شود و در نمونه ترک ایجاد نشود ، بعد آنرا به مدت ۲۴ ساعت دراون می گذاریم تا خشک شود سپس آنرا وزن می کنیم M2
- تعیین حجم خاک مرطوب = حجم ظرف که از طریق جیوه یا آب مقطر بدست می آید. V1
- تعیین حجم خاک خشک = حجم مایع جابجا شده هنگام فرو بردن خاک خشک داخل آن V2

محاسبات حد اقباض

- جرم اولیه خاک مرطوب : MW = M1- MT
- جرم خاک خشک: MD = M2 – MT
- تعیین درصد رطوبت خاک مرطوب: W%= (MW-MD)/D * 100
- حد انقباض:

$$SL = W\% - \left(\frac{(V1 - V2) * \rho w}{MD} * ۱۰۰\right)$$

شاخص های مرتبط با حدود اتربرگ

از نتایج به د ست آمده از دو آزمایش فوق می توان شاخص خمیری، شاخص روانی و عدد فعالیت رس را به شکل زیر محاسبه کرد:

- **نشانه خمیری (شاخص خمیری) PLASTIC INDEX**
- تفاضل بین حد روانی و حد خمیری

PI = LL – PL

- پارامتری مناسب برای ارزیابی میزان خاصیت خمیری در خاک ها
- محدوده ای از رطوبت که در آن خاک حالت خمیری دارد. هرچه بیشتر با شد نشان دهنده این ا ست که خاک خاصیت خمیری بیشتری دارد.
- تابعی از مقدار و نوع رس است.
- **نشانه روانی LIQUID INDEX**
- معیاری است جهت بررسی میزان سفتی نسبی خاک و به صورت زیر تعریف میشود که W رطوبت خاک است.
- میزان رطوبت خاک رسی تحکیم نیافته ممکن است بزرگتر از LL باشد و در خاکهای پیش تحکیم یافته میزان رطوبت کمتر از LL باشد.

$$LI = \frac{W - PL}{LL - PL}$$

محاسبه فعالیت رس:

از آنجایی که خواص خمیری خاک به علت آب جذب سطحی شده‌ای ا ست که ذرات رس را احاطه می کند، می توان انتظار دا شت که نوع کانی رس و در صد آن در یک خاک، در روی حدود مایع (روانی) و خمیری تاثیر بگذارد. ا سکمتون مشاهده کرد که نشانه خمیری یک خاک به طور کلی با درصد ذرات رسی (درصد وزنی کوچکتر از ۲ میکرون) افزایش پیدا می کند. روابط بین شاخص خمیری و درصد ذرات رس تابعی از نوع کانی رس موجود در آن خاک می باشد. بر پایه این نتایج، اسکمتون کمیتی به نام فعالیت رس تعریف نمود که همان شیب نمودار خطی PI در مقابل درصد ذرات رسی کوچکتر از ۲ میکرون است.

$$A = \frac{PI}{\text{(درصد وزنی ذرات با اندازه رسی)}}$$

هرچه رس فعال تر باشد تغییر حجم آن بر اثر رطوبت شدیدتر بوده و عدد اکتیویته آن بزرگتر خواهد بود. عدد اکتیویته برای بعضی از کانیهای رسی به شرح زیر است.

مونت موریلونیت	ایلیت	کائولینت	مسکویت	کانی رس
> ۱/۲۵	۰/۹	۰/۴	۰/۲۵	اکتیویته

جدول ۲-۶ فعالیت کانی های رس

کانی		فعالیت
Smectites	اسمکتایت	۱ تا ۷
Illite	ایلیت	۰/۵ تا ۱
Kaolinite	کائولینیت	۰/۵
Halloysite	هالوزیت $(2H_2O)$	۰/۵
Halloysite	هالوزیت $(4H_2O)$	۰/۱
Attapulgite	آتاپولژیت	۰/۵ تا ۱/۲
Allophane	آلوفین	۰/۵ تا ۱/۲

نتیجه گیری و خطا:

آزمایشهای حد روانی و حد خمیری, نسبت به سایر آزمایشها به تجربه بیشتری نیاز دارند, چون عوامل متعددی بر نتایج آزمایشهای حد روانی موثرند که برخی از آنها عبارتند از:

A. مقدار خاک داخل جام برنجی و ضخامت آن.
B. سرعت ضربه زدن
C. مدت زمانی که از ریختن خاک داخل جام تا وقتی که ضربه زدن شروع می شود طول می کشد و نیز میزان تمیز بودن جام قبل از ریختن خاک در ان.
D. رطوبت آزمایشگاه و سرعت انجام آزمایش.
E. نوع مصالح بکار گرفته شده در پایه دستگاه(که معمولاً کائوچو یا لاستیک سخت می باشد).
F. دقت در ارتفاع سقوط جام (باید دقیقاً cm ۱باشد).
G. نوع شیار زدن
H. وضعیت عمومی دستگاه حد روانی (لولاها, شل نبودن اتصالات و...)