



مکانیک خاک

فصل ۳. حدود اتربرگ (خمیری) خاک

دکتر علیرضا غنی زاده

دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی سیرجان

خاصیت خمیری خاک



- ✓ وقتی در خاک‌های ریزدانه، کانی‌های رسی ظاهر می‌شود، با مرطوب کردن، خاک حالت خمیری به خود می‌گیرد و آن را می‌توان بدون خرد شدن شکل داد.
- ✓ این خاصیت چسبندگی به علت جذب شده‌ای است که ذرات رس را احاطه کرده است.
- ✓ در اوایل دهه ۱۹۰۰، دانشمند سوئدی، اتربرگ روشی برای توصیف سفتی خاک‌های ریزدانه بر حسب میزان رطوبت ابداع نمود.
- ✓ در میزان رطوبت خیلی کم، خاک مثل یک جسم جامد عمل می‌کند. در رطوبت خیلی بالا، مخلوط آب و خاک می‌تواند به صورت یک مایع جاری می‌شود.

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

حدود اتربرگ (Atterberg Limits)



✓ میزان رطوبت (برحسب درصد) در نقطه انتقال جامد به نیمه جامد، **حد انقباض** و در نقطه انتقال از نیمه جامد به خمیری، **حدی خمیری** و از خمیری به مایع، **حد مایع یا حد روانی** نامیده می‌شود. حدود نامبرده به حدود اتربرگ معروف هستند.

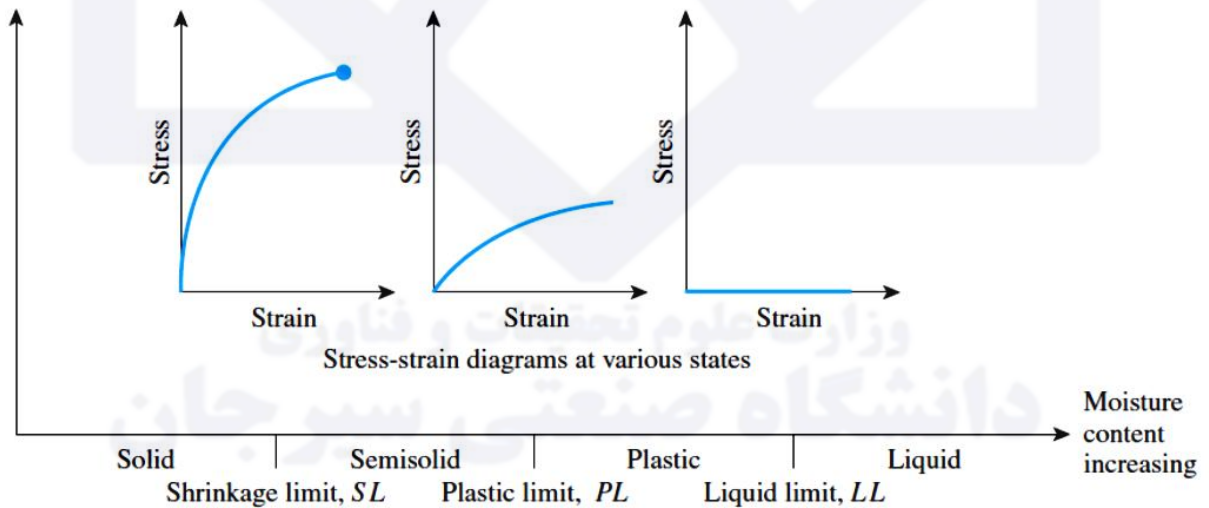


دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

3

حدود اتربرگ



دانشگاه صنعتی سیرجان

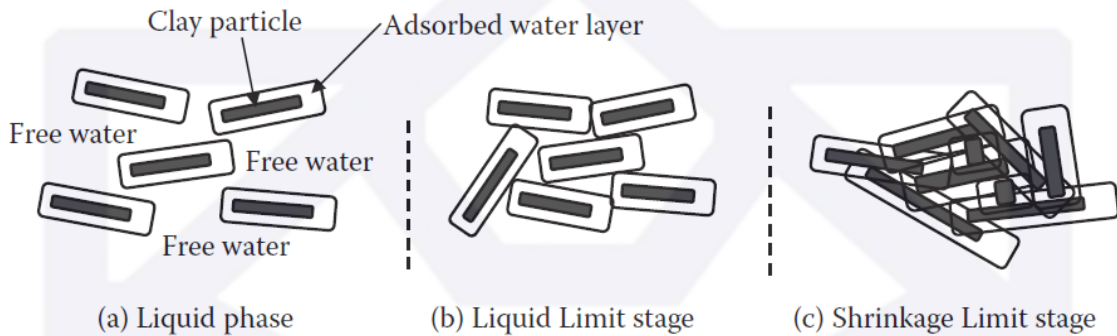
مکانیک خاک

4

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

حدود اتربرگ



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

5

حد مایع (Liquid Limit)



✓ خمیر خاک در فنجان قرار داده شده و با استفاده از شیارزن استاندارد شیاری در وسط نمونه خمیری خاک ایجاد می شود.

✓ سپس با پیچاندن دسته دستگاه، فنجان از روی پایه بلند شده و از ارتفاع ۱۰ میلی متری بر آن می افتد.

✓ درصد رطوبتی که به ازای آن به علت ۲۵ ضربه فنجان، شیار ایجاد شده در نمونه داخل فنجان، بسته می شود حد روانی خوانده می شود.

ASTM D-423

دانشگاه صنعتی سیرجان

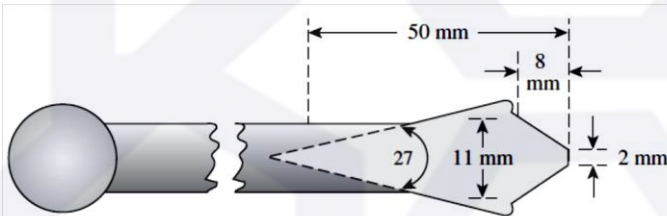
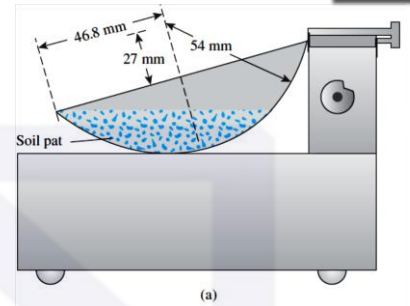
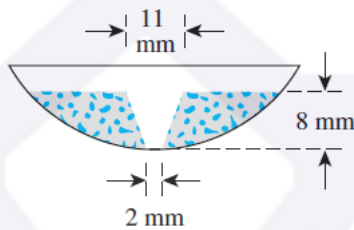
مکانیک خاک

6

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

ابزار تعیین حد مایع (کاسه کاساگرانده)



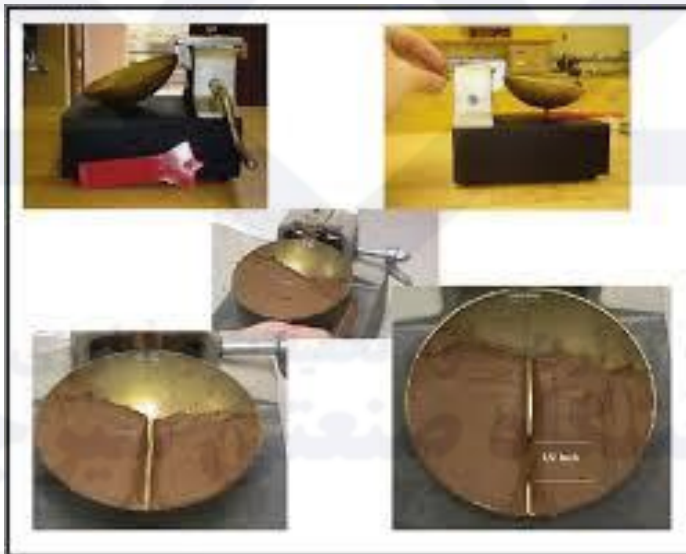
(b)

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

7

ابزار تعیین حد مایع (کاسه کاساگرانده)



دانشگاه صنعتی سیرجان

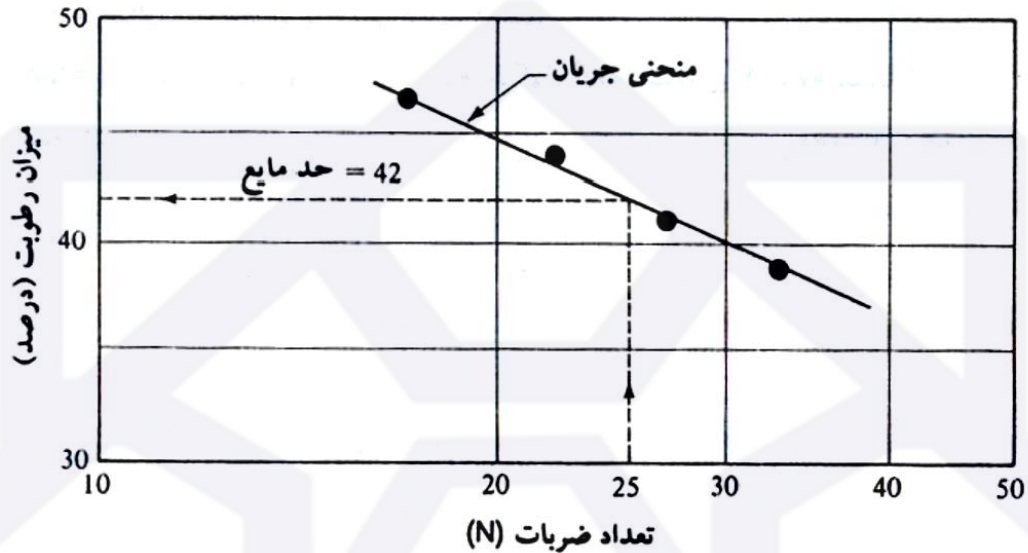
مکانیک خاک

8

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

نمودار جریان (Flow Curve)



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

9

نشانه جریان (Flow Index)



$$I_F = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\text{Log} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)}$$

I_F = نشانه جریان

ω_1 = میزان رطوبت (بر حسب درصد) نظیر تعداد ضربات N_1

ω_2 = میزان رطوبت (بر حسب درصد) نظیر تعداد ضربات N_2

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

10



روش تک نقطه‌ای برای تعیین حد مایع

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

N = تعداد ضربات لازم برای بسته شدن شیار استاندارد در وسیله تعیین حد مایع

w_N = میزان رطوبت مربوطه بر حسب درصد

$\tan \beta = 0.121$ (توجه شود که برای تمام خاک‌ها، $\tan \beta$ مساوی ۰/۱۲۱ نیست)

نکته: رابطه فوق برای تعداد ضربات بین ۲۰ تا ۳۰ جواب‌های خوبی می‌دهد.

نکته: با توجه به اینکه در هنگام استفاده از این رابطه فقط احتیاج به یک نقطه است، از این جهت به آن، روش یک نقطه‌ای گفته می‌شود.

بر آورد تقریبی مقاومت برشی خاک با توجه به حد روانی



کاساگرانده (۱۹۳۲) چنین نتیجه‌گیری کرد که هر ضربه در وسیله استاندارد تعیین حد مایع متناظر با مقاومت برشی خاک در حدود 0.1 kN/m^2 است. بنابراین حد مایع برای خاک‌های ریزدانه، میزان رطوبتی را به دست می‌دهد که مقاومت برشی به ازای آن تقریباً مساوی 2.5 kN/m^2 است.

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

حد خمیری (Plastic Limit)



✓ کاساگرانده (۱۹۳۲) حد خمیری (PL) میزان رطوبتی (بر حسب درصد) است که به ازای آن اگر فتیله‌ای به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر از خمیر خاک نمونه (روش غلتاندن) ساخته می‌شود، خرد گردد.

✓ حد خمیری پایین‌ترین میزان رطوبت مربوط به حالت خمیری خاک است.

✓ هر چه در خاکی ریزدانه‌های آن جاذب آب بیشتری باشند، خاک چسبنده‌تر خواهد بود و این چسبندگی بیشتر سبب می‌شود تا حد روانی افزایش یابد و حد خمیری کاهش یابد.

ASTM D-424

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

13

ابزار تعیین حد خمیری



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

14

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

نشانه خمیری (Plastic Index)



✓ اختلاف حد مایع و حد خمیری نشانه خمیری (دامنه خمیری) نامیده می شود.

$$PI = LL - PL$$

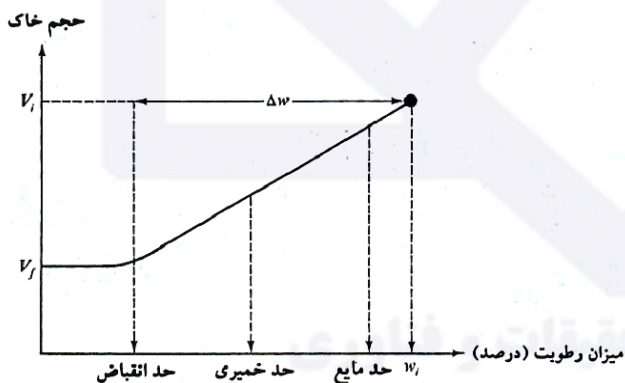
✓ هر چه حد مایع خاک و نشانه خمیری خاک بیشتر باشد، خاک از نظر مهندسی نامناسبتر است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

15

حد انقباض (shrinkage limit)



✓ با از دست دادن رطوبت، خاک منقبض می شود (حجم آن کم می گردد).

✓ با کاهش پیوسته رطوبت، مرحله ای می رسد که از آن به بعد، کاهش رطوبت دیگر سبب کاهش حجم نمی شود.

✓ میزان رطوبت، بر حسب درصد که در آن کاهش حجم خاک متوقف می گردد، حد انقباض نامیده می شود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

16



آزمایش تعیین حد انقباض

- ✓ آزمایش حد انقباض (ASTM D427) در آزمایشگاه درون یک ظرف چینی به قطر ۱/۷۵ اینچ (۴/۴۴ میلی‌متر) و عمق ۰/۵ اینچ (۱۲/۷ میلی‌متر) انجام می‌شود.
- ✓ داخل ظرف توسط یک روغن مخصوص چرب شده و سپس با خاک مرطوب کاملاً پر می‌شود.
- ✓ با یک وسیله لب تیز، سطح نمونه هم تراز با لبه‌های ظرف صاف می‌شود.
- ✓ جرم خاک داخل ظرف یادداشت شده و سپس توسط کوره خشک می‌شود.
- ✓ پس از در آوردن از کوره، کاهش حجم خاک با ریختن جیوه اندازه‌گیری می‌گردد.

آزمایش تعیین حد انقباض



محاسبات برای تعیین حد انقباض خاک



$$SL = \omega_i (\%) - \Delta\omega (\%)$$

ω_i = میزان رطوبت اولیه خاک وقتی که خاک درون ظرف آزمایش قرار داده می شود.

$\Delta\omega$ = تغییر در میزان رطوبت (اختلاف بین میزان رطوبت اولیه و میزان رطوبت در حد انقباض) مقادیر مذکور با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$\omega_i (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

m_1 = جرم خاک مرطوب در ظرف در شروع آزمایش (گرم)

m_2 = جرم خاک خشک در ظرف (گرم)

V_i = حجم اولیه خاک مرطوب (که همان حجم داخلی ظرف است cm^3)

V_f = حجم خاک خشک شده در کوره (cm^3)

ρ_w = جرم مخصوص آب (g/cm^3)

$$\Delta\omega (\%) = \frac{(V_i - V_f) \rho_w}{m_2} \times 100$$

نشانه مایع (Liquidity Index)



سفتی نسبی یک خاک چسبنده در وضعیت طبیعی را می توان توسط نسبتی که نشانه مایع (LI) نامیده می شود، تعیین نمود.

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

ω میزان رطوبت در جای خاک است.

میزان رطوبت در جای یک نهشته خاکی تحکیم نیافته می تواند بزرگ تر از حد مایع باشد. در

این حالت: $LI > 1$

در صورت بهم خوردگی، چنین خاکهایی می توانند به شکل یک مایع غلیظ روان شوند (آبگونگی).

در نهشته های خاک بیش تحکیم یافته، میزان رطوبت طبیعی می تواند کمتر از حد خمیری

گردد. در این حالت: $LI < 1$

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

فعالیت (Activity)



- ✓ از آنجایی که خواص خمیری خاک به علت آب جذب سطحی است که ذرات رس را احاطه می‌کند، می‌توان انتظار داشت که نوع کانی رس و درصد آن در یک خاک، بر روی حدهای مایع (روانی) و خمیری تأثیر بگذارد.
- ✓ اسکمتون (۱۹۵۳) مشاهده کرد که نشانه خمیری یک خاک به‌طور کلی با درصد ذرات رسی (درصد وزنی کوچک‌تر از ۲ میکرون) افزایش پیدا می‌کند.

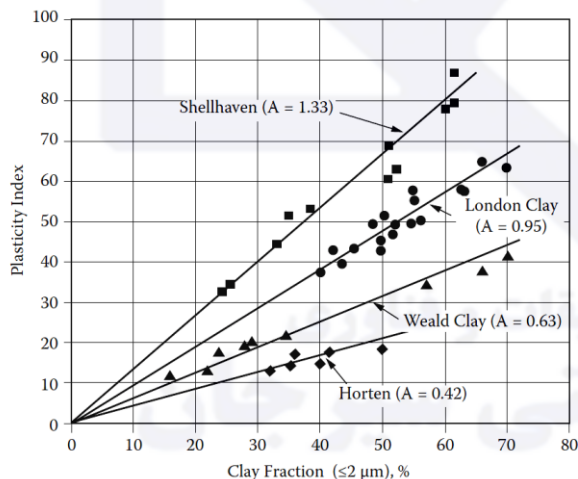
$$A = \frac{PI}{\text{PI}} \quad \text{(درصد وزنی ذرات با اندازه رسی)}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

21

فعالیت



Mineral

Montmorillonite

Illite

Kaolinite

Activity

1-7

0.5-1

0.5

دانشگاه صنعتی سیرجان

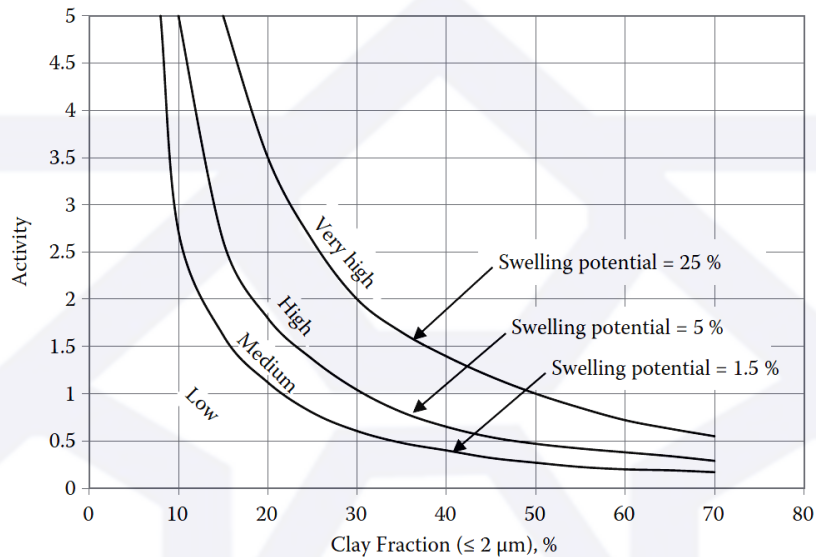
مکانیک خاک

22

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

تعیین پتانسیل تورم خاک‌های حاوی رس



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

23

نمودار خمیری (Plasticity Chart)



✓ کاساگرانده (۱۹۳۲) رابطه بین نشانه خمیری و حد مایع را برای حالات متنوعی از خاک‌های طبیعی مورد مطالعه قرار داد.

✓ بر پایه نتایج آزمایشگاهی، نامبرده نمودار خمیری را پیشنهاد کرد.

✓ وجه مشخص این نمودار، خط تجربی A است که رابطه آن را می‌توان به صورت $PI=0.73(LL-20)$ نشان داد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

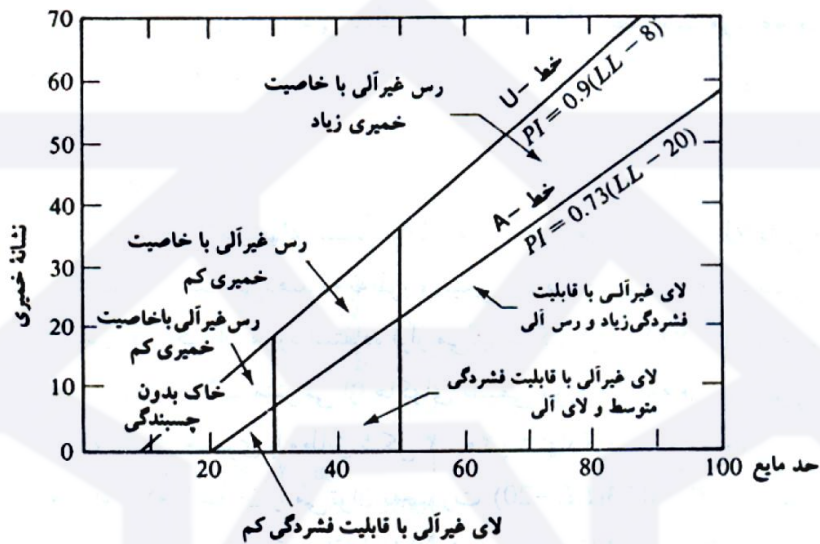
مکانیک خاک

24

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

نمودار خمیری

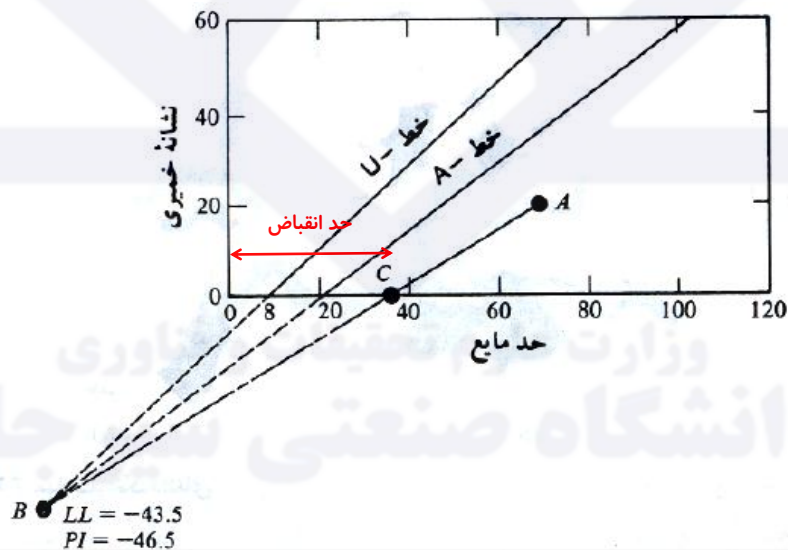


دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

25

تعیین حد انقباض خاک



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

26

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مثال ۱



نتایج آزمایش حد روانی بر روی خاکی با حد خمیری $PL=19.8\%$ مطابق جدول زیر انجام شده است. مطلوبست تعیین حد مایع و نوع خاک.

Number of blows	Mass of can (g)	Mass of wet soil + can (g)	Mass of dry soil + can (g)
8	11.80	36.05	29.18
16	13.20	34.15	28.60
27	14.10	36.95	31.16
40	12.09	33.29	28.11

دانشگاه صنعتی سیرجان

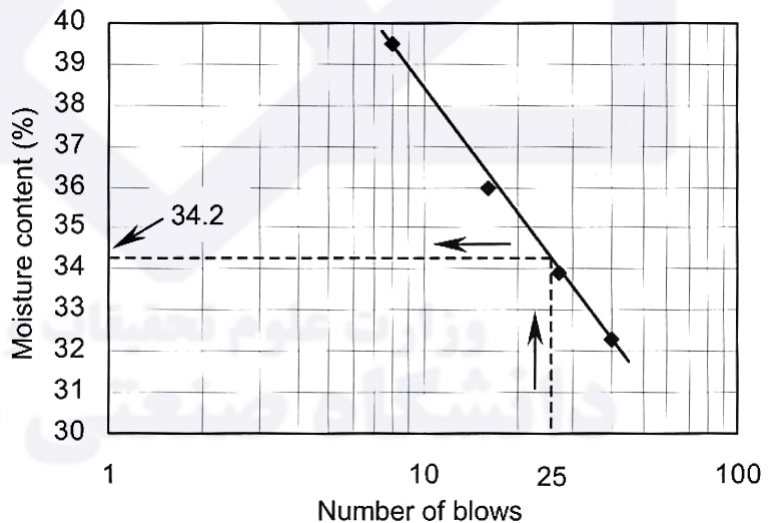
مکانیک خاک

27

مثال ۱



Number of blows	Moisture content
8	0.395
16	0.360
27	0.339
40	0.323



دانشگاه صنعتی سیرجان

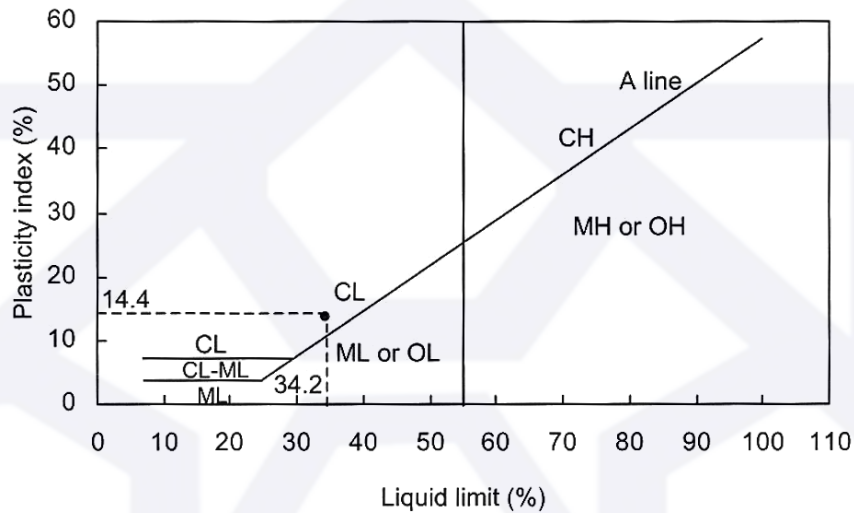
مکانیک خاک

28

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مثال ۱

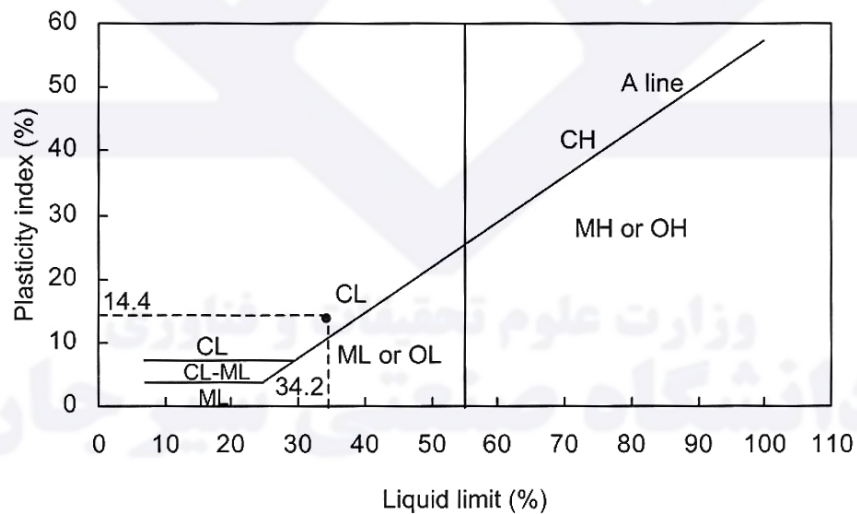


دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

29

مثال ۱



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

30