دانه بندی

هدف از انجام آزمایش دانه بندی عبارتست از تجزیه خاک به قسمتهائی به اندازه های مختلف که هر قسمت بصورت درصدی از وزن ذرات نسبت به وزن کل نمونه خاک بیان می‌شود. این نتایج که برآورد توزیع اندازه ذرات مصالح را ممکن می‌سازد در کنترل مصالح تولیدی مختلف و همچنین اختلاط مصالح مورد نیاز کاربرد دارد. منظور از دانه بندی یک خاک تعیین درصد وزنی دانه های با حدود و اندازه های مختلف است که خاک مورد نظر را تشکیل می دهند، دانه بندی خاکهای درشت دانه یا دانه ای با روش الک کردن معین می شود. الک هائی که به منظور دانه بندی خاک به کار می روند اندازه های مختلفی دارند که بر حسب میلیمتر ویا شماره الک مشخص می شوند.

دانه بندی با استفاده از یک سری الک که به ترتیب از درشت به ریز روی هم قرار داده می‌شوند انجام می‌گیرد و با حرکات لرزشی مکانیکی یا تکان دادن دست انجام می‌پذیرد. در هنگام دانه بندی بهتر است خاک را ابتدا خشک کرده و سپس کلیه کلوخه ها و ذرات به هم چسبیده را به وسیله چکش لاستیکی از هم جدا نمود که این عمل در خاکهای با قطر دانه بیش از ۰/۰۷۵ میلی متر (الک شماره ۲۰۰) صورت می‌گیرد. معمولاً در الکهای کوچکتر از $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ اندازه الکها بر حسب تعداد سوراخها در یک اینچ بیان می‌شود، لذا تعداد سوراخها در یک اینچ مربع برابر مجذور شماره الک خواهد بود. بنابراین شماره الک معرف تعداد سوراخهای مربع شکل در هراینچ (۲۵/۴میلیمتر) طول است.

نمونه‌های مصالح مورد نیاز جهت انجام آزمایش دانه بندی به نحوی است که حداقل مقدار نمونه جهت انجام آزمایش به حداکثر اندازه مصالح بستگی دارد. بعد از تهیه نمونه عمل سرند کردن با حرکات افقی و عمودی به طوریکه مصالح در سطح الک دائماً در حرکت باشند انجام خواهد گرفت. حرکت الک را می‌توان به وسیله لرزاننده مکانیکی و یا با دست ایجاد کرد ولی در هر حال نباید مصالح روی یک الک با دست از الک رد شود. عمل سرند کردن باید تا زمانی که در هر دقیقه بیش از ۰/۵ درصد وزن کل نمونه از الک رد نشود، ادامه یابد. در هر حال باید دقت نمود در هیچ شرایطی در پایان عمل سرند کردن مقدار مانده بر روی الکهای کوچکتر از $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ بیش از ۴ گرم بر اینچ مربع، در الک نباشد. در انتها وزن مصالح مانده بر روی هر الک تا ۰/۱گرم و یا با دقت ۰/۱ درصد جرم نمونه خشک اولیه تعیین می‌شود. جرم کل مصالح بعد از الک کردن باید با جرم اولیه نمونه قرار داده شده روی الکها مقایسه شود. اگر دو مقدار بیش از ۰/۳ درصد جرم نمونه خشک اولیه تفاوت داشته باشند، نتیجه آزمایش قابل پذیرش نخواهد بود.

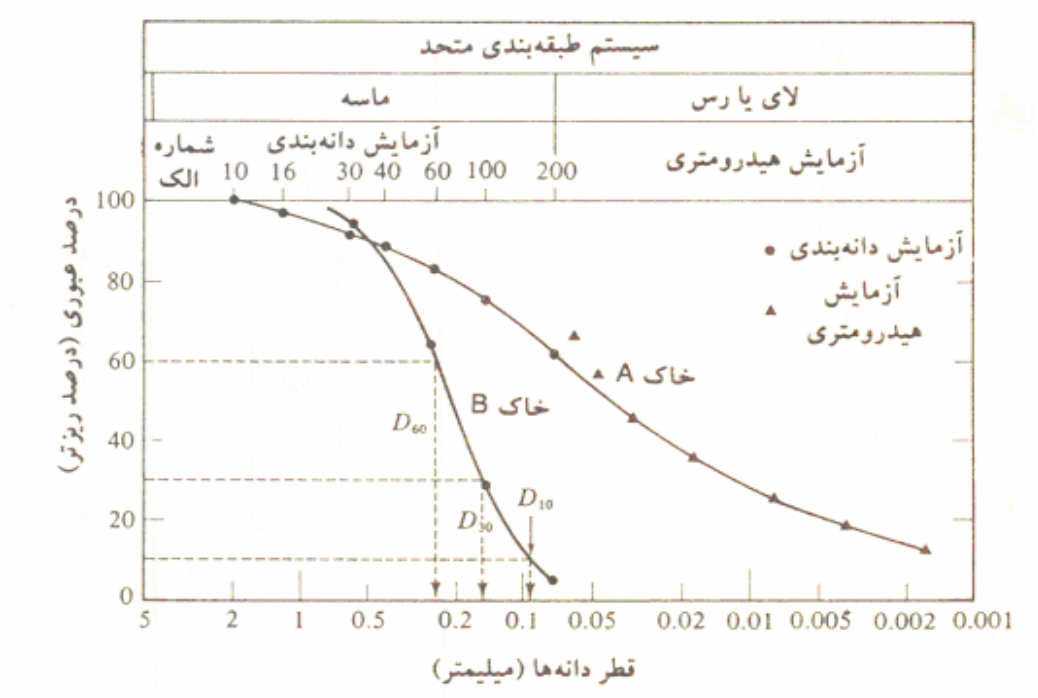
$$\text{درصد مانده روی هر الک} = \frac{\text{وزن مصالح مانده روی هر الک}}{\text{وزن کل نمونه}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

(۲) درصد مانده روی آن الک – درصد رد شده الک بالائی = درصد رد شده از هر الک

چنانچه وزن نمونه انتخاب شده در قسمت دوم یا سوم جزئی از وزن کل نمونه قسمت اول یا دوم باشد باید مانده روی هر یک از الکها در دو قسمت فوق الذکر به کل نمونه طبق رابطه ذیل سنجیده شود :

$$\text{درصد عبوری نسبت به کل نمونه} = \frac{\text{درصد عبوری هر یک از الکها در قسمت ۲ یا ۳ ضربدر درصد عبوری آخرین الک قسمت ۱ یا ۲}}{۱۰۰}$$

توزیع اندازه دانه های یک خاک بصورت منحنی بر محورهای مختصات نیمه لگاریتمی نشان داده مـی شود عرض نقاط واقع بر این منحنی درصد وزنی دانه های کوچکتر از اندازه ای است که بر روی محـور طولها داده شده است. در نهایت به منظور نمایش پراکندگی دانه ها روی نمودار دانه بندی مـی‌تـوانیم اندازه قطر دانه ها روی محور افقی به صورت لگاریتم اندازه دانه ها و درصد دانه های رد شـده از الـک ها را روی محور عمودی برده و از اتصال نقاط به دست آمده(قطر دانه متناظر با درصد عبوری) منحنی دانه بندی خاک مورد آزمایش به دست می‌آید.



شکل (۱) منحنی دانه بندی

با استفاده از منحنی دانه بندی ضریب یکنواختی (C_u) و ضریب خمیدگی (C_c) طبق روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (۳)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^{2}}{D_{60} \times D_{10}} \quad (۴)$$

که در روابط فوق D_{10} اندازه دانه‌هائی بر حسب میلیمتر است که ده درصد وزنی دانه ها از آن کوچکتر است سایر مقادیر D_{30} و D_{60} و غیره به طریق مشابهی تعریف می شوند. اندازه D_{10} بنابر تعریف اندازه موثر نامیده می شود. شیب و شکل منحنی دانه بندی را می توان با استفاده از ضریب یکنواختی C_u و ضریب خمیدگی Cc از روابط ۳ و ۴ به دست می آیند توصیف کرد هر قدر شیب منحنی دانه بندی کمتر باشد حدود تغییرات اندازه دانه های خاک بیشتر است و هر قدر شیب منحنی دانه بندی بیشتر باشد دانه های خاک یکنواخت ترند و هر قدر ضریب یکنواختی بزرگتر باشد حدود تغییرات اندازه دانه های خاک نیز بیشتر خواهد بود.

برای خاکهای صددرصد یکنواخت مقدار ضریب یکنواختی برابر با واحد بوده و هر اندازه مقدار این ضریب برای خاکی بزرگتر باشد خاک دارای دانه بندی بهتری می باشد. از ضرایب فوق در طبقه بندی خاک به منظور تعیین نوع دانه بندی مصالح شن و ماسه استفاده می‌شود. همچنین آزمایش دانه بندی و منحنی مربوطه در تعیین مقادیر ریز دانه و درشت دانه مصالح، حداکثر اندازه اسمی دانه ها و محاسبات مربوط به تطویل و تورق، درصد شکستگی، مدول نرمی مصالح و ... کاربرد دارد.

در شکل(۲) شمایی از منحنی خوب و بد دانه‌بندی شده نشان داده شده است.

خاکهای خوب دانه بندی شده دارای اجزا یا اندازه های مختلف بوده و دانه های این نوع خاکها بهتر در یکدیگر قفل و بست شده و معمولاً مقاومت و ظرفیت باربری آنها بیشتر و نفوذ پذیری آنها کمتر از خاکهای نظیر بد دانه بندی شده است . در شرایط زیر خاک را بد دانه بندی شده می نامند :

الف-درصد قابل توجهی از دانه های خاک به یک اندازه باشند یعنی دانه بندی خاک یکنواخت باشد.

ب- خاک حاوی دانه های بزرگ و کوچک به مقدار کافی باشد ولی دانه های متوسط در آن کم باشد این حالت دانه بندی را خاک با دانه های میان تهی(gap graded) می نامند.

درصد عبوری

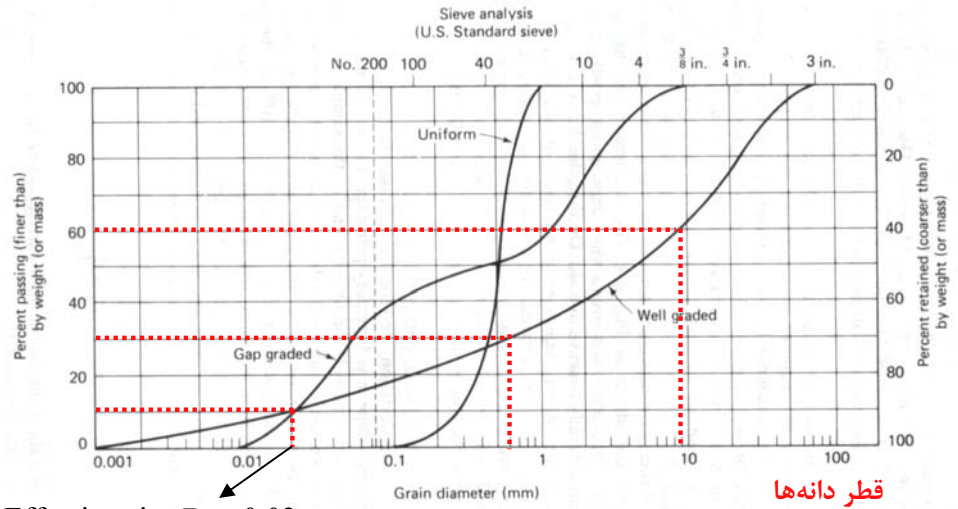


Fig. 2.4 Typical grain size distributions.

(Holtz and Kovacs, 1981)

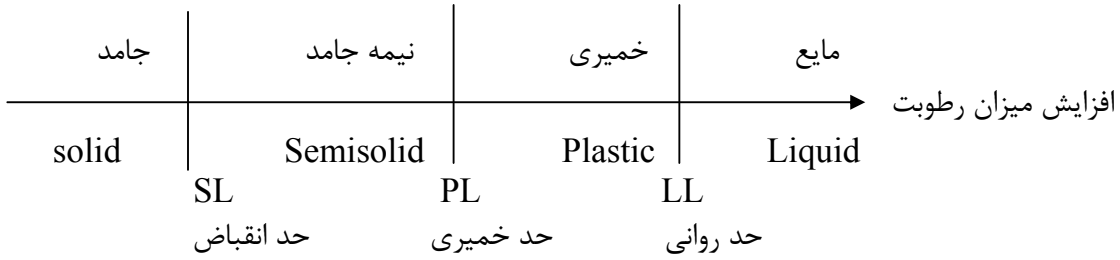
شکل(۲): منحنی خوب و بد دانه بندی شده

آزمایش تعیین حدود اتر برگ

مقدمه : در اوایل دهه ۱۹۰۰، دانشمند سوئدی به نام اتربرگ (Etterberg)، روشی را برای توصیف سفتی خاکهای ریز دانه بر حسب میزان رطوبت ابداع کرد. شایان ذکر است حدود اتربرگ کاملاً قراردادی است و بر اساس آزمایشهائی که آرتور کاساگرانده در سال ۱۹۲۷ انجام داده، به صورت استاندارد در آمده است.

قبل از بیان حدود اتربرگ لازم است در ابتدا مفهوم پلاستیسیته (خمیری بودن) خاک بیان شود : خاصیت خمیری یکی از مشخصات مهم خاکهای ریزدانه است. و این خاصیت ناشی از وجود کانیهای رسی و یا مواد آلی در خاک است حالت فیزیکی یک خاک ریزدانه در یک درصد رطوبت معین، سفتی نامیده می شود.

حالت خمیری: از نظر مکانیک خاک حالت خمیری خاصیتی است که به توده خاک اجازه می‌دهد تا با تغییر رطوبت سریعاً تغییر شکل دهد بدون آنکه از هم گسیخته یا تغییر حجم دهد(تغییر شکل غیر قابل برگشت). حالت خمیری خاصیتی است ویژه خاکهای رسی، همچنین میزان خاصیت خمیری بین انواع مختلف خاکهای رسی نیز متفاوت است (به عنوان نمونه رسهای مونت موریلونیت ازخاصیت خمیری بیشتری نسبت به کائولینیت‌ها برخوردار می‌باشند) و این خاصیت خمیری به واسطه بار الکتریکی است که در سطح دانه های پولکی شکل وجود دارد. مقدار رطوبتی که خاک را از حالتی به حالت دیگر می برد بستگی به نوع و جنس خاک دارد.



شکل (۱) حدود اتربرگ

حدود اتربرگ :

اگر مخلوط خاک و آب (خاک مرطوب) به تدریج خشک شود رطوبت خود را از دست می دهد با کاهش میزان رطوبت خاک ابتدا حالت خمیری، بعدحالت نیمه جامد و بالاخره حالت جامد به خود می گیرد. میزان رطوبتی که در آن خاک از حالت مایع به حالت خمیری در می آید، حد روانی نامیده می شود و میزان رطوبتی که در آن خاک از حالت خمیری به حالت نیمه جامد در می آید حد خمیری و میزان رطوبتی که در آن خاک از حالت نیمه جامد به حالت جامد در می آید حد انقباض نامیده می شود. با توجه به نمودار شکل ۳ ملاحظه می گردد که کاهش میزان رطوبت سبب کاهش حجم خاک در حالات مایع خمیری و نیمه جامد است، تغییر حالت خاک از نیمه جامد به جامد در حد انقباض صورت می گیرد طبق تعریف حد انقباض میزان رطوبتی است که در آن حجم خاک به کمترین مقدار خود ضمن خشک شدن می رسد. حد انقباض میزان رطوبتی است که از آن به بعد کاهش رطوبت باعث کاهش حجم خاک نمی شود.

حدود فوق الذکر که در واقع میزان رطوبت در نقطه انتقال خاک از حالتی به حالت دیگر است را حدود اتربرگ می‌نامند. حد روانی و حد خمیری به کمک آزمایشهای قراردادی که جزئیات آن در دستورالعمل مربوطه داده شده است تعیین می گردد. نمونه خاکی که برای انجام این آزمایش به کار می رود بخشی از خاک است که از الک شماره ۴۰ (۰/۴۲۵ میلیمتر) رد شده است.

نکته : هر چه ریزدانه ها ی خاک خاصیت جذب آب بیشتری داشته باشند، خاک چسبنده تر خواهد بود و این چسبندگی بیشتر سبب می‌گردد تا اولاً حد روانی افزایش یابد (زیرا خاک چسبنده دیرتر روان شده و برای روان شدن به رطوبت بیشتری نیاز دارد)، ثانیاً سبب می‌گردد حد خمیری کاهش یابد زیرا خاکهای چسبنده استعداد خمیری شدن بیشتری را دارا می‌باشند و سریعتر و با رطوبت کمتری به حالت خمیری در می‌آیند.

از مطالب فوق الذکر نتیجه می‌شود که هر چه فاصله بین حد خمیری و روانی بیشتر باشد خاک چسبنده تر و خمیری تر خواهد بود. باید متذکر شد که تغییر حالات خاک تدریجی است و تعریف حدود روانی و خمیری قراردادی می باشد.

-نشانهٔ خمیری(PI):

تفاضل بین حد روانی و حد خمیری خاک را دامنه خمیری یا نشانه خمیری (PI) می‌گویند:

$$PI=LL-PL \qquad (1)$$

نشانه خمیری یک خاک با افزایش درصد وزنی ذرات کوچکتر از ۲ میکرون افزایش می‌یابد .

- نشانهٔ روانی(LI):

سفتی نسبی (Relative consistency) یک خاک چسبنده در وضعیت طبیعی را می‌توان توسط نسبتی که نشانه روانی (LI) نامیده می‌شود بیان نمود:

$$LI=\frac{w-PL}{LL-PL} \qquad (۲)$$

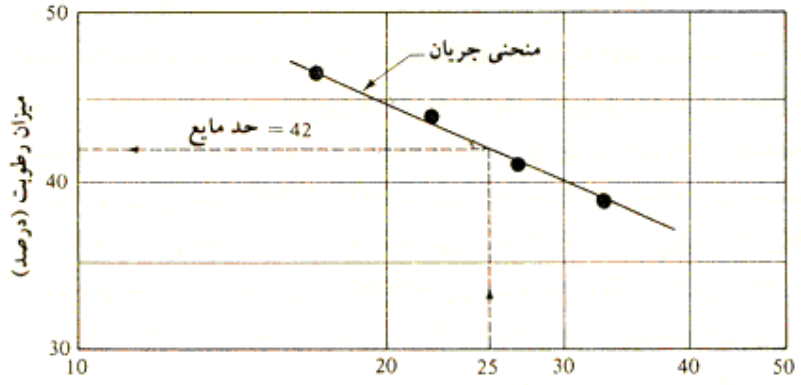
در رابطه (۲)، w میزان رطوبت خاک می‌باشد .

آزمایش حد روانی :

درصد رطوبتی است که شیار ایجاد شده در خاک قرار گرفته در داخل جام کاساگرانده با اعمال ۲۵ ضربه (با سرعت ۲ ضربه در ثانیه) به طول ۱۳ میلیمتر بسته شود. بعبارتی دیگر حدروانی درصد رطوبتی است که رطوبت بیشتر از آن باعث می‌شود که مخلوط آب و خاک به صورت مایع جریان پیدا کند و کمتر از آن باعث می‌شود که مخلوط به صورت خمیر پلاستیک عمل کند .

برای محاسبه حد روانی نمودار جریان مطابق شکل (۲) رسم می‌شود و میزان رطوبت بر حسب درصد در مقابل تعداد ضربات N در روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم می‌گردد.

رابطه بین میزان رطوبت و Log N تقریبا به صورت خط مستقیم است، با داشتن نمودار جریان (شکل ۲) می‌توان درصد رطوبت نظیر N=25 که همان حد روانی می‌باشد را بدست آورد . شرح کامل آزمایش در استاندارد ASTM- D4318 و AASHTO – T89 آمده است . بنا به تعریف در این آزمایش حد روانی میزان رطوبتی است که شیار بین دو قسمت خاک در اثر ۲۵ ضربه در طولی برابر با ۱۳ میلیمتر بسته شود.



شکل (۲) : رابطه بین میزان رطوبت و تعداد ضربات

روش انجام آزمایش حد روانی به دو روش چند نقطه ای و تک نقطه‌ای می‌باشد و هر یک از روشهای فوق الذکر را می‌توان به روش مرطوب یا خشک انجام داد. در انتخاب روش یک نقطه‌ای یا چند نقطه‌ای توجه به نکات زیر ضروری است:

- روش یک نقطه‌ای غالباً برای انجام طبقه بندی خاک به کار برده می‌شود. در مواردیکه دقت بیشتری مورد نظر می‌باشد از روش چند نقطه‌ای استفاده می‌شود .
- در روش چند نقطه‌ای سه نمونه یا بیشتر با میزان رطوبتهای متفاوت احتیاج بوده و در روش یک نقطه‌ای ۲ آزمایش بر روی نمونه های با میزان رطوبتهای یکسان انجام می‌شود.

- در روش تک نقطه ای باید توجه شود که تعداد ضربات لازم می‌بایست بین ۲۰ الی ۳۰ ضربه باشد و اگر کمتر از ۲۰ یا بیشتر از ۳۰ باشد میزان رطوبت نمونه به مقدار مناسب تغییر داده شده و آزمایش تکرار می‌گردد. حد روانی هر یک از دو نمونه در آزمایش تک نقطه ای از رابطه (۳) به دست می‌آید:
در این روش و در هنگام استفاده از رابطه ۳ فقط احتیاج به یک نقطه است و روش یک نقطه ای هنگامی نتیجه مناسب به دست می دهد که تعداد ضربات بین ۲۰ تا ۳۰ باشد زیرا دامنه تغییرات میزان رطوبت برای N=20 تا N=30 کوچک است.

$$LL = W_N \left(\frac{N}{۲۵}\right)^{۰/۱۲۱} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، N تعداد ضربات مورد نیاز برای بسته شدن شکاف نمونه و W_N میزان رطوبت مطابق با N ضربه می‌باشد.
در آزمایش حد روانی و حد خمیری توجه به نکات زیر الزامی است:

- استفاده از مقادیر حد روانی و خمیری خاک برای تخمین رفتار مکانیکی خاک در شرایط رطوبت طبیعی، هرگز نباید نمونه قبل از انجام آزمایش خشک شود .

- ترکیب و غلظت نمکهای محلول در بافت خاک همچنان که بر میزان رطوبت خاک اثر می‌گذارد، مقدار حد روانی و خمیری آن را نیز تغییر می‌دهد.

- از مقادیر حد روانی و حد خمیری در بررسی حالت و مشخصات مکانیکی خاک از جمله تراکم پذیری، نفوذ پذیری، تحکیم پذیری، خصوصیات انقباض، تورم و مقاومت برشی خاک استفاده می‌شود.

آزمایش حد خمیری :

حد خمیری میزان رطوبتی (بر حسب درصد) است که به ازای آن اگر فتیله ای به قطر ۳/۲ میلیمتر از خمیر خاک نمونه با روش غلتاندن ساخته شود، به طور طولی و عرضی ترک بخورد. حد خمیری پائین ترین میزان رطوبت مربوط به حالت خمیری خاک است.

خاکهای رسی پر مایه فشار بیشتری برای فتیله کردن نمونه احتیاج دارند، به خصوص هنگامی که رطوبت به حد خمیری نزدیک می‌شود.

نکته : اجرا کننده آزمایش حد خمیری نباید تلاش کند که خرد شدن فتیله به صورت کاذب و درست در ۳/۲ میلیمتر انجام شود بدین ترتیب که بگذارد نمونه به قطر ۳/۲ میلیمتر برسد، آنگاه با کم کردن سرعت فتیله کردن و با کم کردن فشار دست، فتیله کردن نمونه را بدون آنکه قطر نمونه تغییر یابد چنان ادامه دهد تا نمونه قطعه قطعه گردد. نتایج تجربی نشان داده است که خاکهای رسی غیر آلی در درصد رطوبتی برابر با حد خمیری به هر اندازه دامنه خمیری آنها بزرگتر باشد مقاومت برشی آنها نیز بیشتر خواهد بود و برای اینگونه خاکها در درصد رطوبتی برابر با حد روانی آنها هر اندازه دامنه خمیری آنها بیشتر باشد تراکم پذیری آنها نیز بیشتر خواهد بود.

نکته : در صورتیکه اختلاف درصد رطوبت بین دو مقدار رطوبت بدست آمده در هر آزمایش بیش از ۲ درصد باشد، آزمایش باید مجددا تکرار گردد.

اگر برای خاکی نتوان حد خمیری تعیین نمود و یا حد خمیری برابر یا بزرگتر از حد روانی به دست آید آن خاک را غیر خمیری (NP) گویند.

آزمایش تعیین حد انقباض:

خاک با از دست دادن رطوبت منقبض می‌گردد و با کاهش پیوسته رطوبت به مرحله‌ای می‌رسد که از آن به بعد کاهش رطوبت دیگر سبب کاهش حجم آن نمی‌شود. میزان رطوبت در این لحظه را حد انقباض می‌گویند.

نحوه آزمایش نیز بدین ترتیب می‌باشد که نمونه هائی از خاک مرطوب درون یک ظرف چینی قرار داده می‌شود . سپس در اون خشک شده و حجم آن در لحظه مرطوب بودن و در لحظه خشک شدن اندازه‌گیری می‌شود و از رابطه(۴) می‌توان حد انقباض را به دست آورد. در شکل ۳ مفهوم حد انقباض نشان داده شده است.

$$SL = w_i - \Delta w = \left[\frac{m_1 - m_2}{m_2} - \frac{(v_i - v_d) \times \rho_w}{m_2} \right] \times 100 \qquad (۴)$$

SL =حد انقباض

m_1 = جرم خاک مربوطه در ظرف در شروع آزمایش (gr)

m_2 = جرم خاک خشک شده در ظرف(gr)

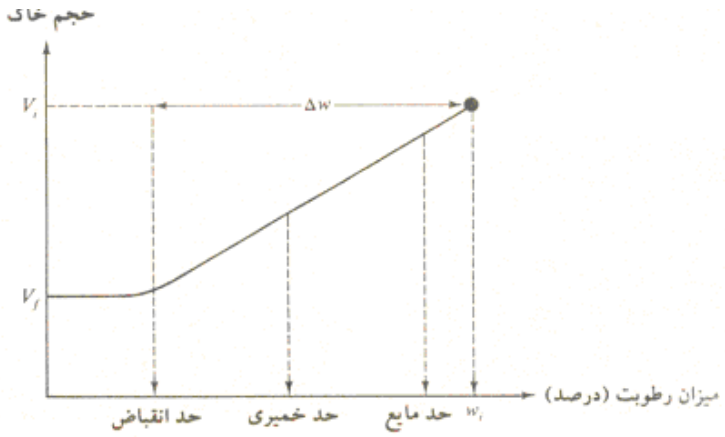
v_i = حجم اولیه خاک مرطوب (سانتیمتر مکعب)

v_d = حجم خاک خشک شده در اون(سانتیمتر مکعب)

ρ_w = جرم مخصوص آب (برابر با ۱ $\frac{gr}{cm^3}$)

w_i = میزان رطوبت اولیه وقتی خاک درون ظرف آزمایش قرار داده شود.

Δw = تغییر در میزان رطوبت (اختلاف بین رطوبت اولیه و میزان رطوبت در حد انقباض)



شکل (۳): حد انقباض