الباب الثالث

العوامل المصنفة للتربة

Index properties of soil

- تستخدم الصفات التالية في تصنيف ودراسة التربة

أولا : المحتوى المائي water content

ثانيا : الوزن النوعي specific gravity

ثالثا : الكثافة الموقعية In - situ density

رابعا : الكثافة النسبية Relative density

خامسا : حدود القوام (حدود اتربرج)

Consistency (Atterberg) limits

سادسا : التوزيع الحجمي للحبيبات

Particle size distribution

- **أولا : المحتوى المائي water content :**

- **يعين المحتوى المائي للتربة بوزن جزء منها في حالتها الطبيعية ثم يجفف هذا الجزء في فرن درجة حرارته من ١٠٥ إلى ١١٠ لمدة ٢٤ ساعة ثم يوزن بعد التجفيف وتحدد قيمة المحتوى المائي بحساب وزن الماء الموجود في التربة ومقارنته بوزن الحبيبات الصلبة للتربة كما يلي :**

$$W = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} x100\% \qquad W = \frac{W_w}{W_S}$$

W_1 = weight of container (وزن العلبة الإناء الحاوي)

W_2 = weight of container+ weight of wet soil

W_2 = weight of container+ weight of dry soil

- ثانيا : الوزن النوعي specific gravity G_S :

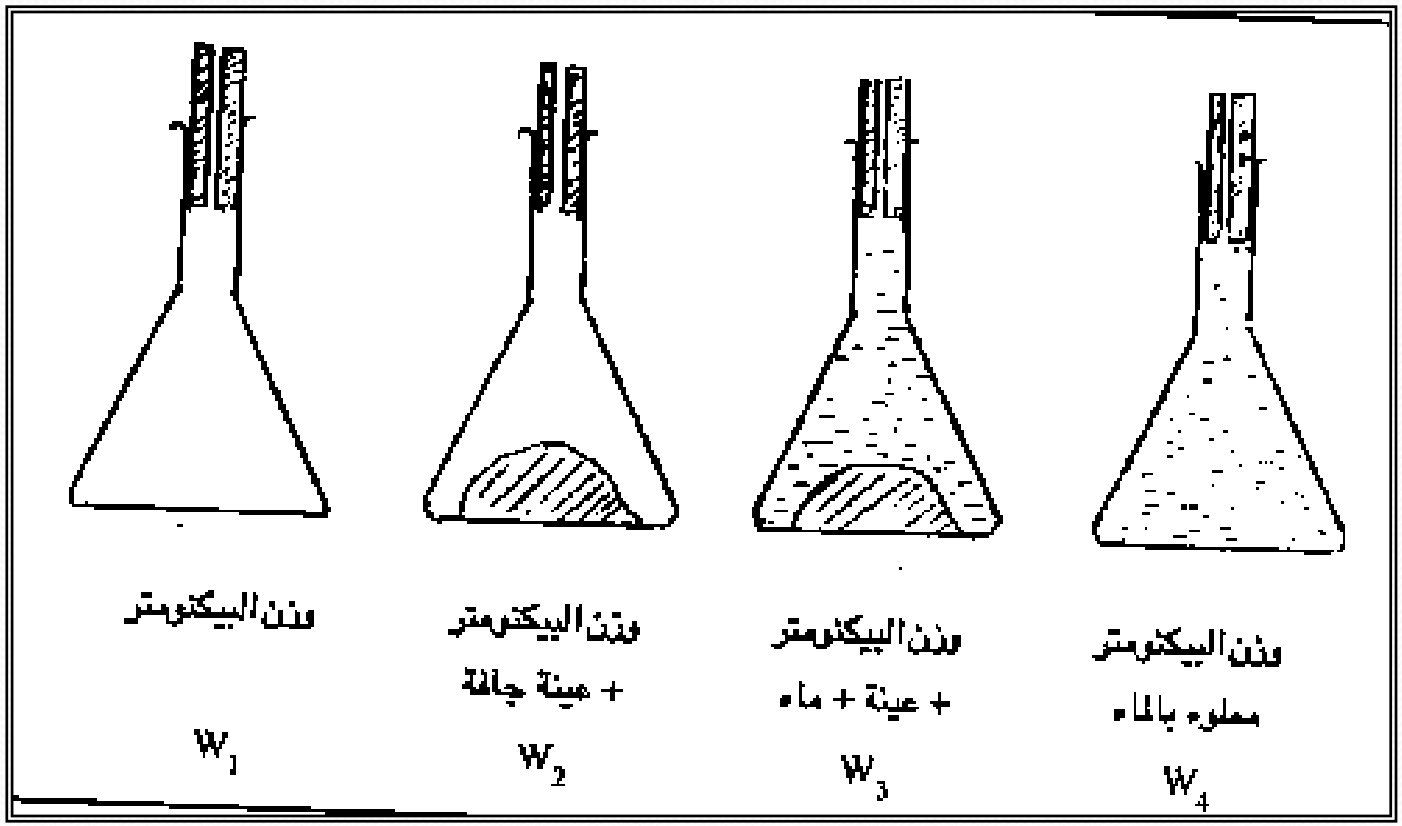
- يحدد الوزن النوعي بتعين حجم الماء المزاح بواسطة وزن معلوم لحبيبات جافة، ويستخدم في ذلك قنينة الكثافة أو بيكنومتر pycnometer ذات حجم معلوم (شكل (١٥).

- ١- يوزن البيكنومتر (أو قنينة الكثافة) فارغا بعد تجفيفه من الداخل والخارج w_1

- ٢- توضع في البيكنومتر عينة جافة من التربة المختبرة ويعين وزن القنينة + وزن لعينة W_2

- ٣- يكمل البيكنومتر ماء ويجفف من الخارج ويوزن W_3ً

- ٤- يفرغ الإناء بما فيه ويملأ بالماء فقط ويجفف من الخارج ويوزن W_4



شكل (١٥) تعيين الوزن النوعي

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

$$V_S \gamma_w = W_W = W_4 + W_s - W_3$$

$$W_S = W_2 - W_1$$

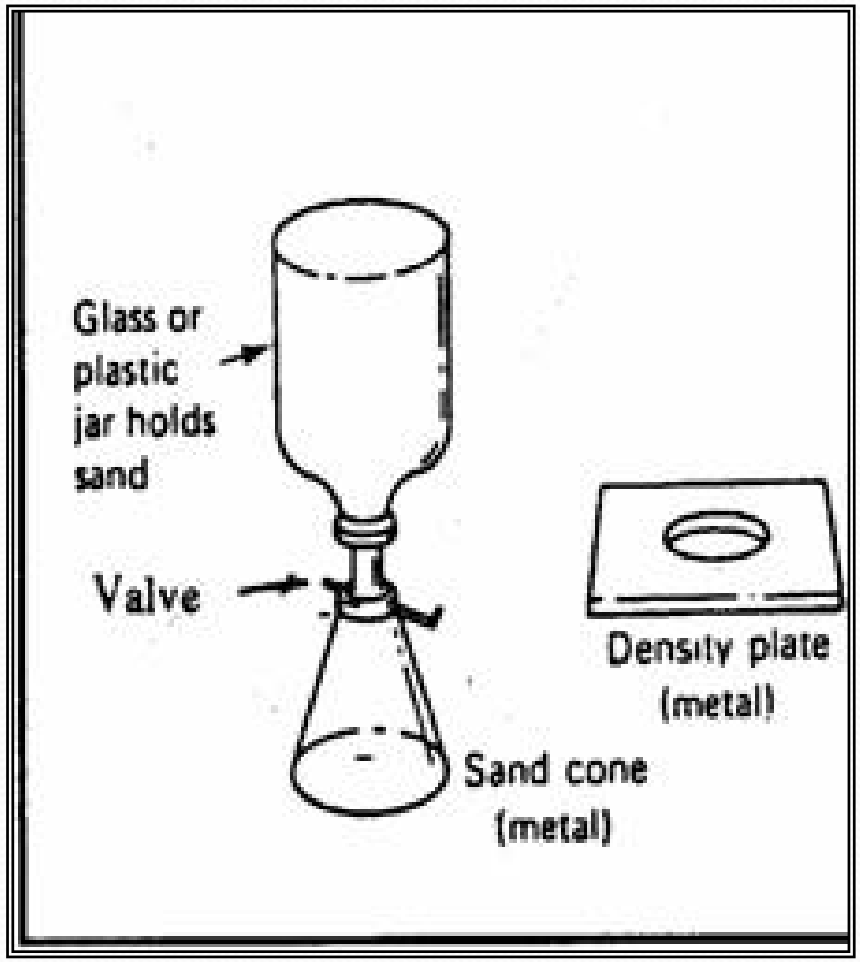
$$G_s = \frac{W_S}{W_W} = \frac{W_2 - W_1}{W_4 + W_2 - W_1 - W_3}$$

- ثالثا : الكثافة الموقعية (الطبيعية) In - situ density ρ :

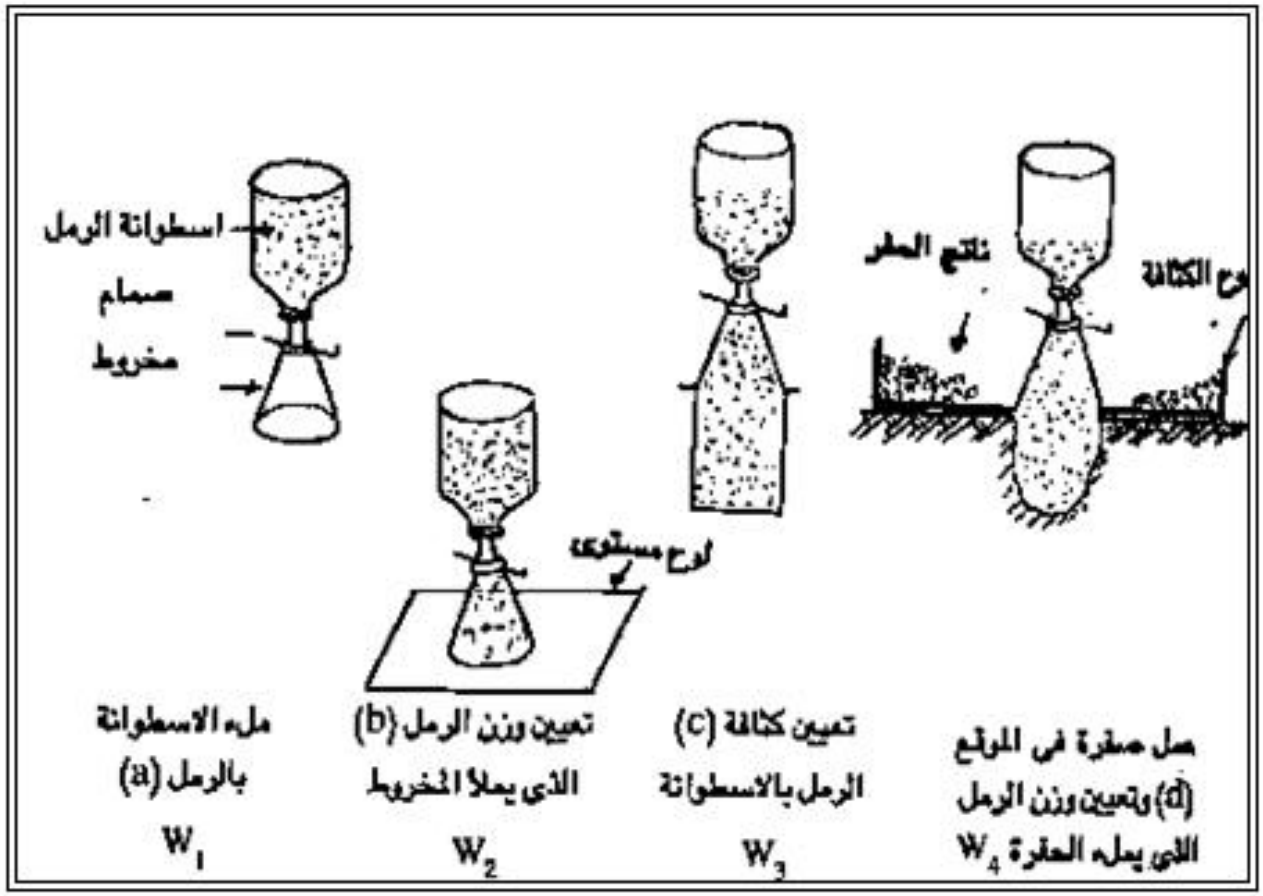
- الكثافة الموقعية تمثل الطبيعة للتربة ويمكن تعينها بعدة طرق منها طريقة قارورة الرمل، اللب القاطع وبالون المطاط وندرس هنا الطريقتين الأوليتين :

- (١) طريقة قارورة الرملِ Sand bottle :

- تستخدم في هذه التجربة أسطوانة تملأ برمل معروف كثافته. وملحق بالاسطوانة مخروط معدني بصمام. ثم لوح معدني لتجميع ناتج الحفر عليه شكل (٦٢) وتتم خطوات التجربة كما هو مبين بالشكل (١٧).



شكل (١٦) قارورة الرمل



شكل (١٧) خطوات اختبار قارورة الرمل

- ١- تعيين وزن الرمل الذي يملأ المخروط $W_c = W_1 - W_2$

- ٢- تعيين كثافة الرمل المستخدم وذلك بملء اسطوانة صغيرة معلومة الحجم Vt وزن الرمل الذي يملأ الاسطوانة =

$$W_t = W_1 - W_3 - W_1$$

كثافة الرمل $\gamma_{sand} \cong \rho_{sand}$ ، $\frac{W_t}{V_t}$

- ٣- يوضع لوح الكثافة على أرض الموقع المراد تعين كثافته وتصنع حفرة ويجمع فيها ناتج الحفر على لوح الكثافة ويوزن W_{soil}

- ٤- توضع اسطوانة الرمل على الحفرة ويفتح الصمام وتملأ الحفرة بالرمل لتعيين حجم الحفرة وهو المساوي لحجم التربة V.

وزن الرمل الذي يملأ الحفرة $W_h = W_1 - W_4 - W_c$

$$V = \frac{W_h}{\gamma_{sand}}$$

ثم تعيين وحدة الوزن من العلاقة : $\gamma_b = \frac{W_{soil}}{V}$

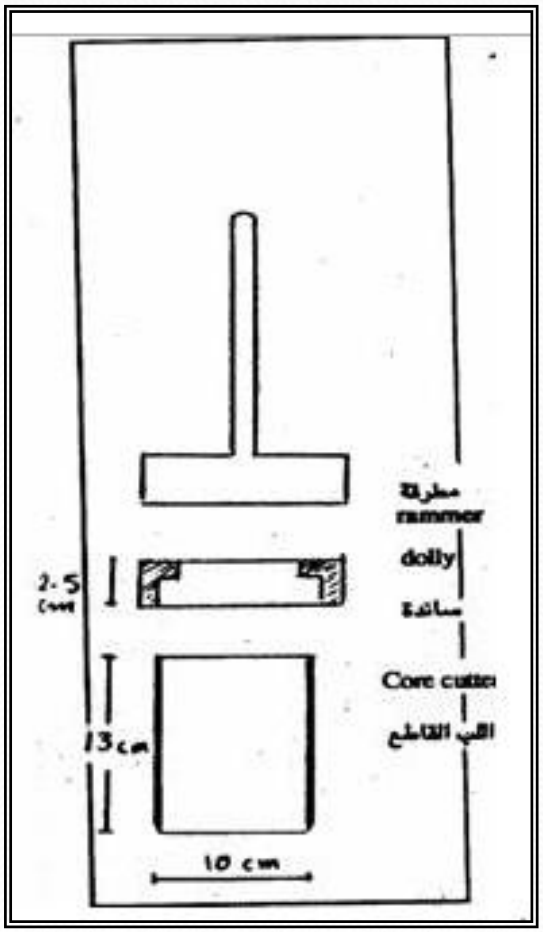
- كما يمكن بمعرفة المحتوى المائي G_S تعيين نسبة الفراغات e :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_d}{(1+w)}$$

$$\gamma_d = \frac{G_S}{(1+e)}\gamma_w \qquad \mathbf{e} \rightarrow$$

- طريقة اللب القاطع Core cutter :

- تعتمد هذه الطريقة على الحصول على حجم معين من التربة الطبيعية وإيجاد وزن هذا الحجم ومنه تعيين الكثافة أو وحدة الأوزان.



شكل (١٨) اللب القاطع

- ١- يعين وزن اللب فارغا وكذلك أبعاده الداخلية بدقة.

- ٢- تزال الطبقة السطحية من الموقع ويدق اللب في الموقع باستخدام الساندة والمطرقة.

- ٣- تزاح التربة من حول اللب ويرفع من مكانه وتسوى التربة من أسفل وأعلاه ثم يوزن.

- ٤- معرفة وزن التربة داخل اللب W_{soil} وحجم اللب القاطع تعين الكثافة من:

$$\gamma_b = \frac{W_{soil}}{V_{core}}$$

- رابعا : الكثافة النسبية والإنضغاط النسبي :

Relative density and Relative compaction :

- الكثافة النسبية D_r تستخدم لتصنيف درجة دمك التربة الخشنة وتعيين كما في المعادلة:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

where : e_{max} **= maximum possible void ratio**

e_{min} **= minimum possible void ratio**

e = void ratio in natural state of soil

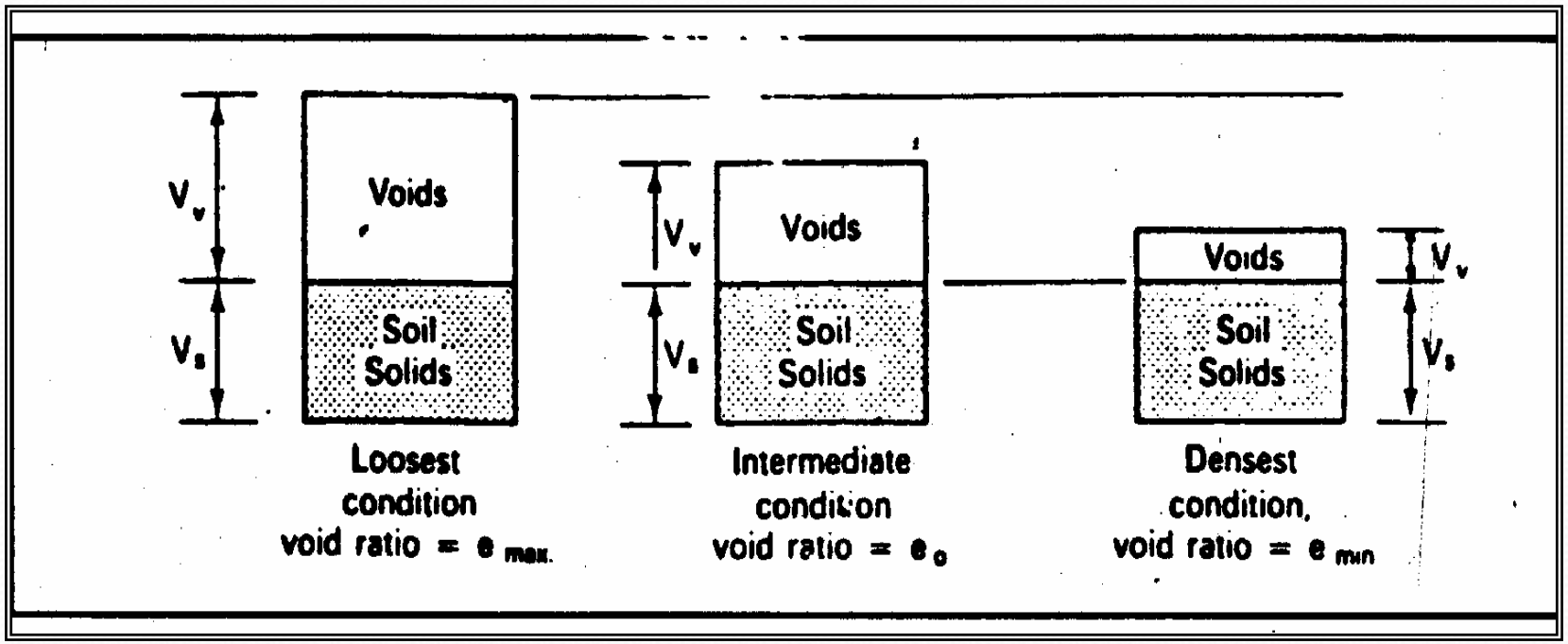
- وتستخدم الكثافة النسبية في الحكم على مدى صلاحية التربة الخشنة للاستخدام في المشروعات الهندسية المختلفة، وذلك بمقارنة نسبة الفراغات الطبيعية لنسبة أدنى وأقصى نسبة فراغات لنفس نوع التربة، وتعين نسبة الفراغات الطبيعية وكذلك نسبة الفراغات الدنيا والقصوى كما في المعادلات :

$$\gamma_{d(mx)} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_{min}}$$

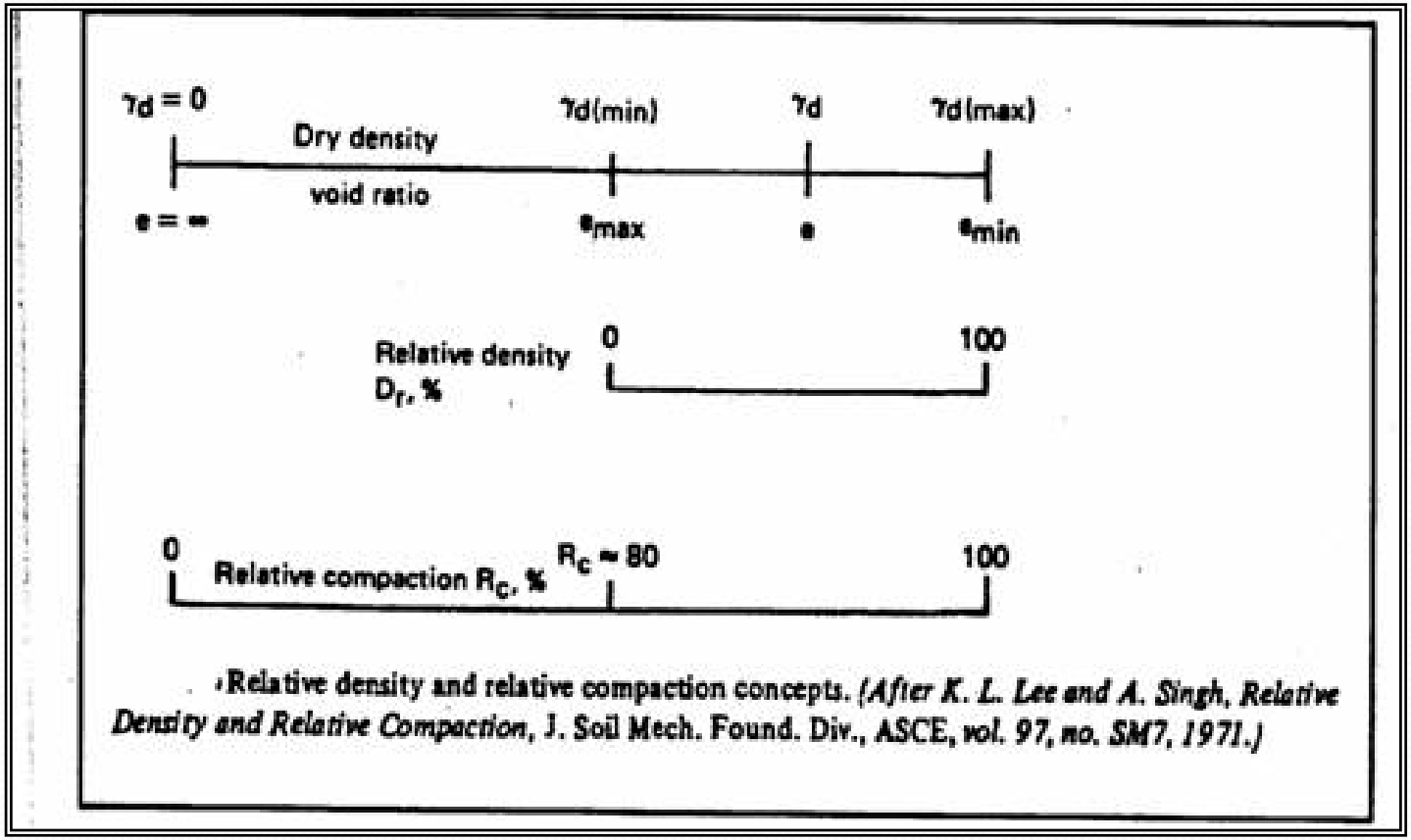
Or $$e_{min} = \frac{G_S \gamma_W}{\gamma_{d(max)}} - 1$$

The same $$e_{max} = \frac{G_S \gamma_W}{\gamma_{d(min)}} - 1$$

$$e = \frac{G_S \gamma_W}{\gamma_d} - 1$$



شكل (١٩) الحالات النسبية للتربة الخشنة



Relative density and relative compaction concepts. *(After K. L. Lee and A. Singh, Relative Density and Relative Compaction, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 97, no. SM7, 1971.)*

شكل (٢٠) يبن الكثافة النسبية والإنضغاط النسبي

- كما يتم تعيين الكثافة النسبية D_r بالمعادلة التالية :

$$D_r = \frac{\gamma_{d(max)}}{\gamma_d}\left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d(min)}}{\gamma_{d(max)} - \gamma_{d(min)}}\right]$$

Where $\gamma_{d(max)}$, $\gamma_{d(min)}$, and γ_d are the maximum, minimum, and natural state dry unit weight of the soil.

- كما تعين أيضا بالمعادلة التالية :

$$D_r = \frac{\frac{1}{\gamma_{min}} - \frac{1}{\gamma_o}}{\frac{1}{\gamma_{min}} - \frac{1}{\gamma_{max}}} x100 percent$$

where : γ_{min} = dry unit weight (or density) in the loosest condition

γ_{max} = dry unit weight in a density condition

γ_0 = dry unit weight in the condition in question

- أما الإنضغاط النسبي R_c فيستخدم أيضا للحكم على درجة إنضغاطية التربة الخشنة، كما أن العلاقة بين الكثافة النسبية و الإنضغاط النسبيى مبينة بالشكل (٢٠) .

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d(max)}}, R_c = \frac{R_0}{1 - D_r(1 - R_0)}$$

Where : $R_0 = \gamma_{d\,(min)} / \gamma_{d\,(max)}$

- وقدم العالمان لي lee و سنج Singh معادلة تقريبية للربط بين الكثافة النسبية والإنضغاط النسبي من دراسة ٤٧ تربة مختلفة :

$$R_c = 80 + 0.2\ D_r$$

Where : D_r is in percent.

ويعطى جدول (٣-١) بعض قيم الكثافة النسبية المقابلة للوزن النوعي مع تصنيف لحالة التربة.

REPRESENTATIVE VALUES OF RELATIVE DENSITY			
Descriptive condition	Relative dense %	Pcf	$\frac{kN}{m^3}$
Loose	Less than 35	Less than 90	Less than 14
Medium dense	35 to 65	90 to 110	14 to 17
Dense	65 to 85	110to 130	17to 20
Very dense	Greater than 85	Above 130	Above 20

كما يبين جدول (٣-٢) كيفية التعرف على الكثافة النسبية في الموقع

SOIL RELATIVE DENSITY		
Term	**Relative Density %**	**Field Test**
Loose	0-50	Easily penetrated with 12-mm or $\frac{1}{2}$ -in. reinforcing rod pushed by hand
Firm	50- 75	Easily penetrated with 12-mm or $\frac{1}{2}$ -in. reinforcing rod driven with 2.3 kg or 5-ibhammer
Dense	70 –90	Easily penetrated with 12-mm or $\frac{1}{2}$ -in. reinforcing rod driven with 2.3 kg or 5-ibhammer
Very dense	90 - 100	Easily penetrated with 12-mm or $\frac{1}{2}$ -in. reinforcing rod driven with 2.3 kg or 5-ibhammer

جدول (٣-٣) القيم العظمى والدنيا لنسبة الفراغات ووحدة الوزن

TYPICAL VOID RATIOS AND UNIT WEIGHTS FOR COHESIONLESS SOILS

Soil Description	Range of Void Ratio		Range of Unit Weight				
	e_{max} (loose)	e_{min} (dense)	Condition (moisture)	γ_{min} pcf (loose)	γ_{max} pcf (dense)	γ_{min} $\frac{kN}{m^3}$ (loose)	γ_{max} $\frac{kN}{m^3}$ (dense)
Well-graded fine to coarse sand	0.70	0.35	Sat	125	140	19.5	22
			Dry	95	120	15	19
Uniform fine to medium sand	0.85	0.50	Sat	120	130	19	20.5
			Dry	85	110	14	17.5
Silty sand and gravel	0.80	0.25	Sat	115	145	18	22.5
			Dry	90	130	14	17
Micaceous sand with silt	1.25	0.75	Sat	110	125	17	19.5
			Dry	75	95	12	15

مثال توضيحى :

Example 3-1 : An undisturbed sample of fine sand is tested in the laboratory and found to have a dry weight of 8 lb, a total volume of 0.07 ft^3 and a specific gravity G_s of 2.70. Other laboratory tests were performed to detemine the maximum and minimum density for the sand. At the maximum density, it is determined that the void ratio is 0.35; at the minmum density the void ratio is 0.95. Detemine the relative density of the undisturbed sample .

Void ratio of undisturbed sample e_0 :

$$V_T = 0.07\ ft^3$$

$$V_s = \frac{W_s}{G_s\,\gamma_w} = \frac{8\ lb}{(2.70)\ (62.4\ pcf)} = 0.0474\ ft^3$$

$$V_v = V_T - V_s = 0.070 - 0.0474 = 0.0226\ ft^3$$

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.0226\ ft^3}{0.0474\ ft^3} = 0.476$$

$$D_R = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}} = \frac{0.95 - 0.476}{0.95 - 0.53} = 0.79 = 79\ \text{percent}$$

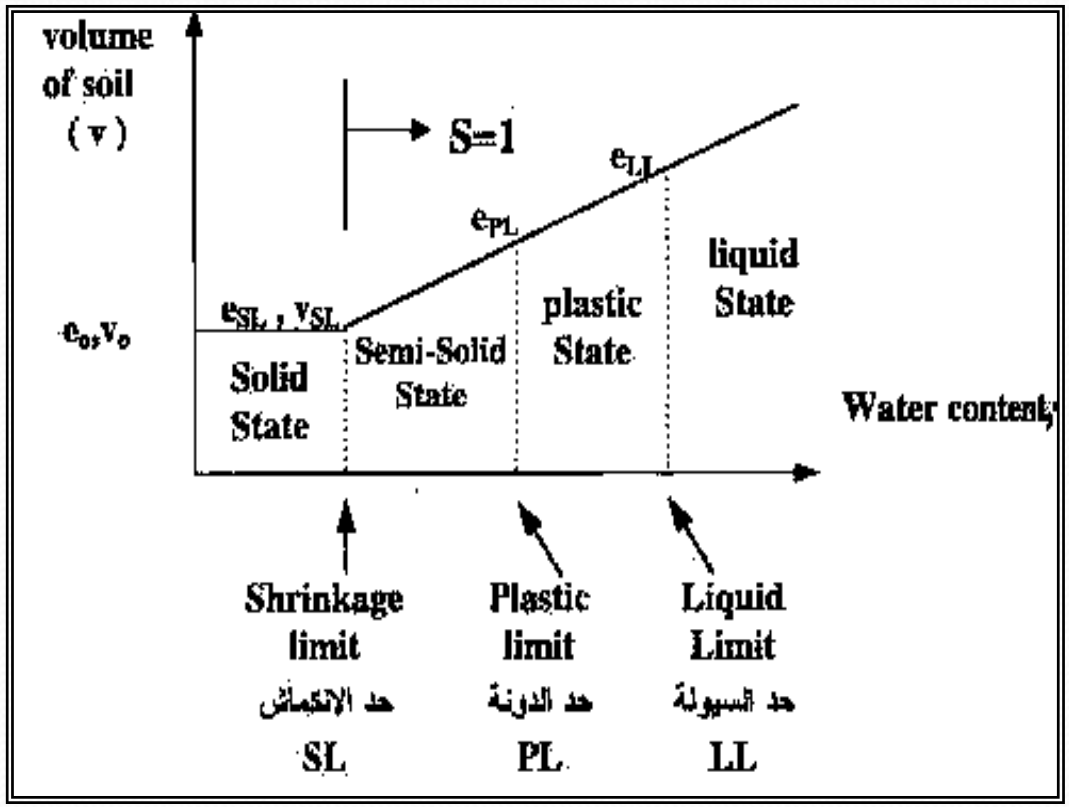
$$\text{Dry unit weight of soil} = \frac{W_s}{V_T} = \frac{8.0\ lb}{0.07\ ft^3} \approx 115\ pcf$$

In its natural condition, the soil is probably dense

- خامسا : قوام التربة (حدود اتربرج) :

Consistency (Atterberg) limits:

- **قوام التربة يعني مقدرتها على التشكيل وهذه المقدرة تعتمد على نعومة الحبيبات ونسبة المياه فيها،والقوام يأخذ الحالات التالية:**
- **١-الحالة السائلة Liquid State .**
- **٢-الحالة اللدنة Plastic State .**
- **٣-الحالة شبة الصلبة semi-solid stat .**
- **٤-الحالة الصلبة solid state .**



شكل (٢١) قوام التربة

- والحدود الفاصلة بين هذه الحالات تسمى حدود اتربرج Atterberg limits وهي :

- ١- حد السيولة Liquid limit LL.
- ٢- حد اللدونة plastic limit PL.
- ٣- حد الانكماش Shrinkage limit SL.

- وهذه الحدود تمثل أهمية كبيرة في تصنيف التربة والتعرف على صفاتها المتعددة إضافة إلى معرفة مقدرة التربة على التشكيل

- ١- حد السيولة Liquid limit LL :

- حد السيولة هو المحتوى المائي الذي عنده تنتقل التربة من حالة السيولة إلى حالة اللدونة. هو أيضا أقل محتوى مائي عنده التربة تكون في حالة السيولة ولها مقاومة صغيرة للقص.
ويعين حد اللدونة باستخدام جهاز حد السيولة apparatus LL كما بشكل (٢٢) :

- ١- تحضر كمية من التربة جافة ومارة من منخل ٣٦(أو منخل٤٠).

- ٢- تقسم هذه الكمية إلى أربع أجزاء بحيث يكون كل جزء في حدود ١٢٠ مم.

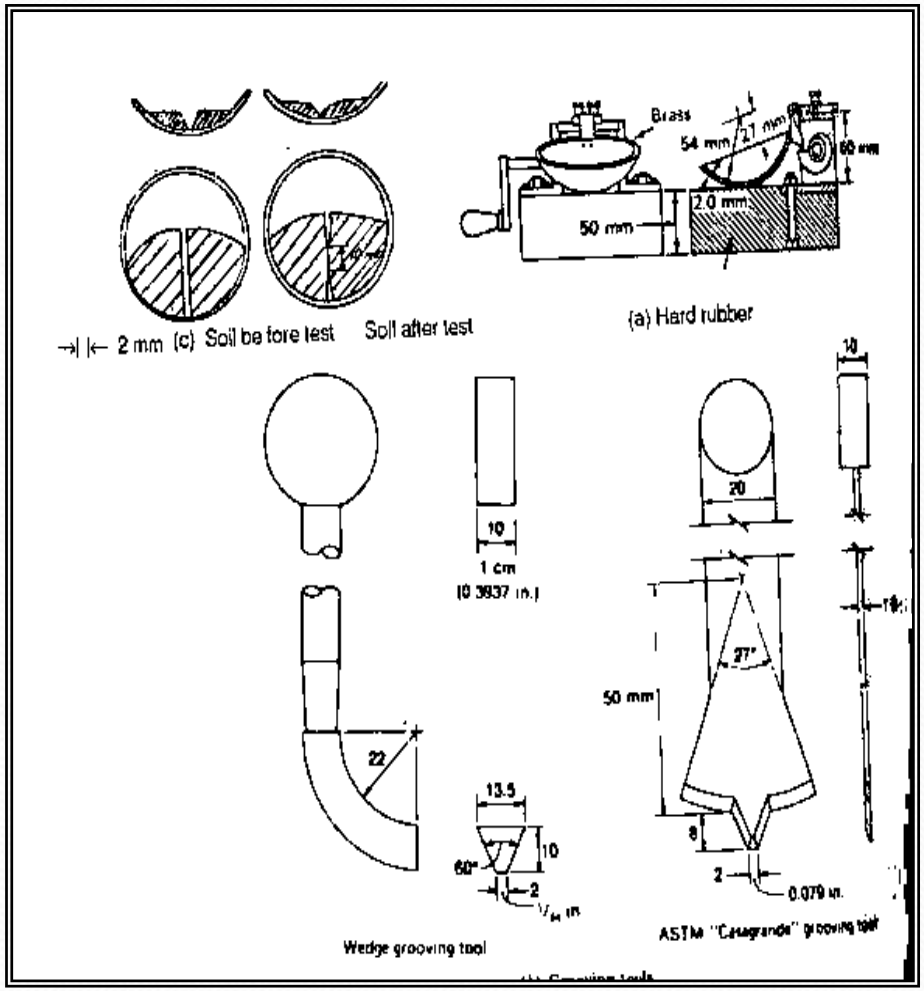
- ٣-يضاف لكل جزء محتوى مائي يختلف من جزء لجزء ويخلط كل جزء جيدا بحيث يعطي قوام متجانس.

- ٤- يوضع كل جزء (العينة) في الإناء الكروي للجهاز ويشق فيه شق بعرض ٢ مم عند القاع و١١ مم عند القمة وبعمق ٨ مم بأداة شق كازاجراند .

- ٥- يشغل الجهاز حيث يرتفع الإناء الكروي مسافة ١٠مم ويسقط تحت تأثير وزنه لإغلاق الشق.

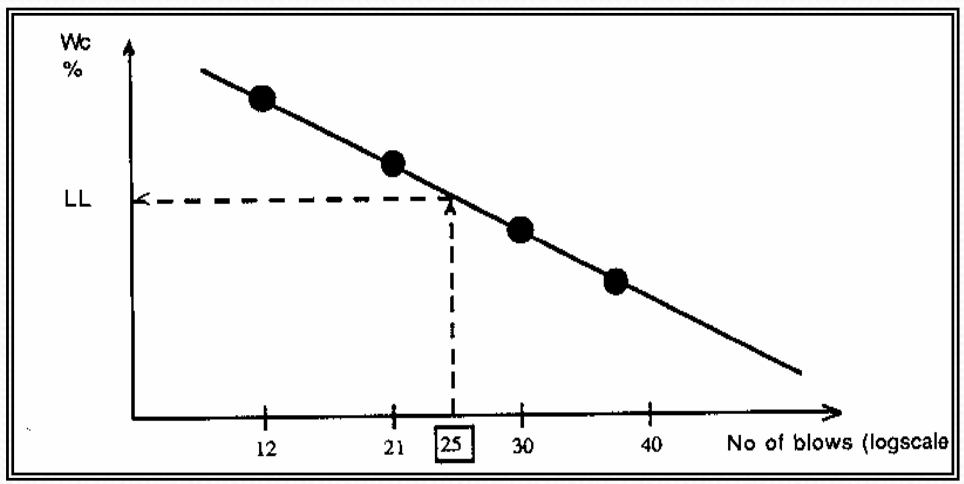
- ٦- تكون التربة عند حد السيولة إذا ما أغلق الشق بطول ١٠مم بعد ٢٥ دقة.

- ٧- وحيث أنه من الصعب تحقيق ما سبق فإن نتائج الأربع أجزاء (عينات)توقع على مقاس شبه لوغاريتمي وتمثل فيما بينها خط مستقيم. ومن الرسم نعين حد السيولة المقابل لعدد ٢٥ دقة شكل (٢٢)



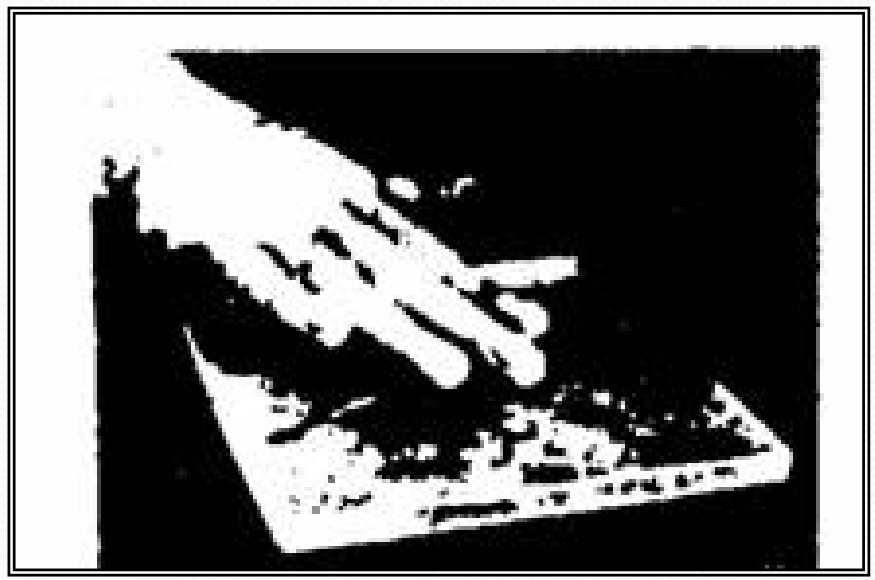
شكل (٢٢) تعيين حد اللدونة

- ٢- حد اللدونة Plastic limit PL:
- حد اللدونة هو المحتوى المائي الذي عنده تنتقل التربة من حالة اللدونة إلى حالة الشبه صلبة أو هو اقل محتوى مائي تكون عنده التربة لدنة (شكل ٢٣) .



شكل (٢٣) تعين حد اللدونة

- ويعرف حد اللدونة معمليا بأنه المحتوى المائي للتربة الذي يبدأ عنده حبل من التربة قطره ثلاث مليمترات في التكسر أو التشقق عند دحرجته على لوح زجاجي شكل (٢٤).



- ويعين حد اللدونة معمليا بتحضير كرات صغيرة من التربة من حوالي ١٠مم من التربة الجافة المارة من منخل ٣٦ (أو منخل٤٠)، وتكون أحبال من هذه الكرات، وباستمرار دحرجة هذه الحبال على مستوى أملس يقل المحتوى المائي ويبدأ في التقصف أو التشرخ وعند بداية التفتت تكون التربة قد عبرت من حالة اللدونة إلى حالة شبه صلبة لو كان قطر التشرخ ٣مم، ويكون قيمة محتواها المائي في هذه الحالة هو حد اللدونة، ويؤخذ متوسط عدة عينات لتحديد PL.

- **٣- حد الانكماش Shrinkage limit SL:**

- **يعرف حد الانكماش بأنه المحتوى المائي الذي عنده تنتقل التربة من الحالة شبه الصلبة إلى الحالة الصلبة أو هو المحتوى المائي الذي يكفي لجعل أقل فراغات التربة مشبعة بالماء.**
- **ويعين حد الانكماش معمليا بتحضير عينة جافة مارة من منخل ٣٦ (أو منخل٤٠)ويضاف لها ماء بحيث يزيد محتواها المائي قليلا عن LL وتصب بعد ذلك العينة في قالبين بعد دهن أسطحتهما الداخلية بالشحم لمنع تشقق التربة عند جفافها ويسوى السطح العلوي تماما بحيث يكون حجم التربة المبللة هو حجم القالب.**

- تجفف العينة في فرن درجة حرارته ١١٠ºº حتى تمام الجفاف فيحدث انفصال للتربة الجافة عن القالب. ويحدد حجم التربة الجافة شاملا حجم الحبيبات وما تحوي من فراغات عن طريق إزاحة حجم مكافئ من الزئبق لا يتداخل في فراغات التربة.

$$S.L = W_{intial} - \frac{(V_1 - V_{dry})}{W_S}$$

$$\text{Or} \qquad = \frac{(W - W_d)(v - v_{dry})\gamma_w}{W_s}$$

- ومن قيمة SL يمكن حساب G_S كما يأتي :

$$G_S = \frac{W_{dry}}{V_{dry}\gamma_w - SLW_{dry}}$$

- كما يمكن تعيين درجة الانكماش SR كما يأتي :

$$SR = \frac{V_{initial} - V_{dry}}{V_{initial}}$$

- ويوجد تصنف للتربة من حيث جودتها حسب قيمة درجة الانكماش كما يلي :

- $SR \leq 5\%$ the soil is good
- $5\% < SR \leq 10\%$ the soil is medium good
- $10\% < SR \leq 15\%$ the soil is poor
- $SR > 15\%$ the soil is very poor

- ويفيد SL SR , في دراسة التربة الناعمة لبعض الأعمال مثل السدود الترابية الكبيرة والميول الترابية slopes . والتربة الشديدة الانكماش قابلة للانتفاخ .

- ويمكن إيجاد SL بالعلاقات التالية أيضا:

$$SL = \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s}\right), \quad SL = \frac{e}{G_s}$$

- أ- عوامل مشتقة من حدود اتربرج :

> علامة اللدونة plastic index P1 هو الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة .

$$L1 = \frac{W - PL}{LL - PL} = \frac{W - PL}{P1}$$

> علامة السيولة Liquidity index LI :

L1= 1 → soft

L1 ≅ 0 stiff

التربة عند حد اللدونة L1 =0

قيمة سالبة L1= -

- يعني أن التربة في الحالة الصلبة أو شبة الصلبة .

جدول (٣-٤) اللدونة Plasticity LL & Plasticity Index PI

Term	PL	Dry Strength	Field test
Non Plastic	0-3	Very low	Falls apart easy
Slightly plastic	3-15	Slight	Easily crushed with fingers
Medium plastic	15-30	Medium	Difficult to crush
Highly plastic	31 or more	High	Impossible to crush with fingers

كما يبين جدول (٣-٥) التغير الحجى طبقا لقيم SL, SI

The change in potential volume (after Holtz and Gribbs)		
Volume change	*Shrinkage Limit, SL*	*Plasticity Index, PI*
Probability low	12 or more	0-15
Probability moderate	10-12	15-10
Probability high	0-10	30 or more

يبين جدول (٣-٦) تصنيف التربة طبقا لحد اللدونة

Plasticity Index, PI	*Soil charteristics bY PL*	*Soil Typt*	*Cohesiveness*
1	2	3	4
0	Non-plastic	Sand	Non cohesive
<1	Low-plastic	Silt	Partly cohesive
7-17	Medium plastic	Silty clay, (Clayey silt)	Cohesive
>17	High plastic	Clay	Cohesive

- **اختبارات الحجم الحبيبي أو التوزيعي الحبيبي :**

Grain Tests or Grain – size distribution :

- **لفهم طبيعة التربة وتكوينها يجب معرفة توزيع الحجم الحبيبي لها. والذي يشمل أقطار الحبيبات ونسبة تواجد كل قطر، ويتم عمل التوزيع الحبيبي بطريقتين :**

> الأولى : التحليل المنخلي Sieve analysis ويتم للتربة الخشنة .

> الثانية : التحليل بالترسيب Sedimentation analysis ويتم للتربة الناعمة

- وسوف نتناول مدارس علمية عالمية تتبع لتحدد مواصفات كل طريقة وكيفية إجراؤها.

- أولا : التحليل المنخلي Sieve analysis :
- التوزيع الحبيبي المنخلي للتربة الخشنة (الزلط أو الرمل) تتم معرفته عن طريق التحليل المنخلي لها.ويلزم لإجراء ذلك تجفيف التربة في فرن درجة حرارته ١٠٥ ° ــ ١١٠ ° للتخلص من الرطوبة تماما ثم تفكيك حبيبات التربة.

ثم تمرر عينة التربة خلال مجموعة مناخل قياسية ثم توزن الكميات المتبقية على كل منخل .ويجب أن يسجل وزن العينة قبل بدء النخل لمقارنة الكميات المارة من كل منخل بالوزن الكلي للعينة وتدون النتائج في جدول ثم تمثل العلاقة بين نسبة الماء إلى رقم المنخل (أو إلى اتساع فتحته التي تمثل قطر الحبيبات المارة منه ويسمى هذا النوع من التحليل بالتحليل المنخلي الجاف (wet analysis)

وحينما تحتوي التربة الخشنة على بعض من المواد الناعمة فيجب فصل المواد بغسيل التربة (العينة) وتجفيفها مرة أخرى قبل التحليل المنخلي الذي يسمى هنا التحليل المنخلي بالغسيل (wash) ويجب ملاحظة أن منخل رقم ٢٠٠ هو الذي يفصل بين التربة الخشنة (زلط ورمل) والتربة الناعمة(طين أو طمي). وتبين الجداول (٣-٧)، (٣-٨)،(٣-٨٩) بعض المناخل القياسية المستخدمة في المعاهد العلمية المختلفة في العالم.

- **ثانيا : التحليل بالترسيب Sedimentation analysis :**
- **نظرا لصعوبة أو استحالة فصل الحبيبات الدقيقة والناعمة عن طريق النخل، فقد استخدمت عملية فصل هذه الحبيبات بالترسيب، حيث تجهز التربة (بالتجفيف والطحن) وتذوب هذه الحبيبات الناعمة (أقل من ٠,٠٧٤ – منخل٢٠٠) في سائل وليكن الماء ويلاحظ الترسيب وزمنه.**

Stoke's law $$V = \frac{2}{9} r^2 \frac{G_S - \gamma_w}{\xi}$$

حيث r نصف قطر الحبيبات ، ξ لزوجة السائل (الماء) ، V سرعة ترسيب الحبيبات

جدول (٣-٧) اتساع فتحات المناخل

COMMON SIEVE TYPES AND MESH OPENING						
Sieve size	U.S. standard		Tyler standard		British standard	
Designation	inches	millimeters	inches	millimeters	inches	millimeters
#4	0.187	4.76	0.185	4.70	-	-
#8	0.0937	2.38	0.093	2.362	0.081	2.057
#10	0.0661	1.68	0.065	1.651	0.0661	1.676
#20	0.0331	0.84	0.0328	0.833	-	-
#40	0.0106	0.42	-	-	-	-
#60	0.0098	0.25	0.0097	0.246	0.0099	0.251
#100	0.0059	0.149	0.0058	0.147	0.0060	0.152
#200	0.0029	0.074	0.0029	0.074	0.0030	0.076
#270	0.0021	0.053	0.0021	0.053	-	-
#400	0.0015	0.037	0.0015	0.038	-	-

جدول (٣-٨) مناخل ASTM

STANDARD SIEVE SIZES (ASTM)[1:6]											
Size (in.)			opening (mm)	Size (in.)			opening (mm)	Size (in.)			Open (mm)
4			100					40			0.425
3	(1)	(2)	75	4	(1)	(2)	4.75	50		(2)	0.300
2	(1)		50	8		(2)	2.36	60	(1)		0.250
$1\frac{1}{2}$	(1)	(2)	37.5	10	(1)		2.00	70			0.212
1	(1)		25	16		(2)	1.18	100		(2)	0.150
$\frac{3}{4}$	(1)	(2)	19	20	(1)		0.850	140	(1)		0.106
$\frac{1}{2}$			12.5	30		(2)	0.600	200	(1)	(2)	0.075
$\frac{3}{4}$	(1)	(2)	9.5								

Grain size test"(1)A standard series for ASTM D422

(2) Alternate series for uniformly spaced points on log diameter graph

جدول (٣-٩)
المناخل
القياسية الأمريكية

U.S. standard sieves	
Sieve no.	Opening size, mm
3	6.35
4	4.76
6	3.36
8	2.38
10	2.00
16	1.19
20	0.84
30	0.59
40	0.42
50	0.297
60	0.25
70	0.21
100	0.149
140	0.105
200	0.074
270	0.053

Or $$V = \frac{G_S - \gamma_w}{\xi} \frac{D^2}{18} = \frac{\ell}{t}$$

- حيث l مسافة السقوط ، t زمن السقوط.

و حيث $\gamma_w = 1$, $D = 2r$, D مم

$$V = \frac{1}{18}\left(\frac{D}{10}\right)^2 \frac{G_S - 1}{\xi} = \frac{H_e}{t} = \frac{D^2}{1800} \cdot \frac{G_S - 1}{\xi}$$

- وإذا كانت الحبيبات تسقط من ارتفاع H_e في زمن t دقيقة.

$$D = \sqrt{\frac{1800\,\xi}{G_S - 1} \cdot \frac{H_e}{60t}}$$

or

$$D = 10^{-5} M \sqrt{\frac{H_e}{t_{minute}}}$$

where $$M = 10^5 \sqrt{\frac{30\,\xi}{G_S - 1}}$$

- ويتم خلط المواد الناعمة المارة من منخل ٢٠٠ في الماء وفي البداية تتوزع حبيبات التربة في المحلول. وبعد زمن تسقط الحبيبات الكبيرة من ارتفاع H_e ويكون قطرها D ويمكن التعبير عن D من المعادلات السابقة. ثم تسقط الحبيبات ذات القطر الأصغر تدريجيا. ثم تعين النسبة المئوية N من كل قطر بالعلاقة التالية:

$$N = \frac{W_D}{(W_d/V)} x100$$

- حيث :

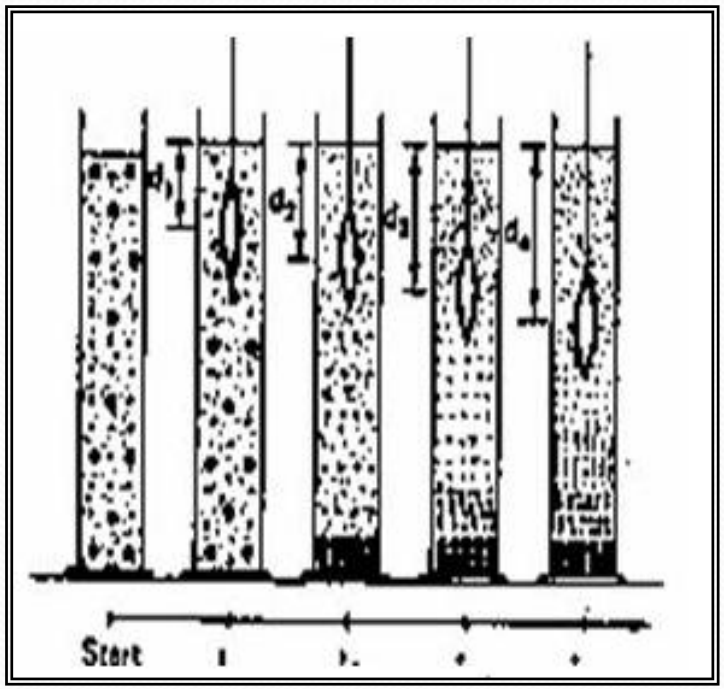
W_D : وزن الحبيبات أقل من القطر D في وحدة الحجوم من المحلول.

W_d : الوزن الكلي للحبيبات التي تم إذابتها في المحلول.

V : حجم المحلول .

- هكذا تعيين N, D لعدة فترات زمنية، ويمكن بعد ذلك تعيين التوزيع الحجمي للتربة.
- يلاحظ أنه يجب تفتيت التربة قبل عملية الترسيب بإضافة محلول كيماوي.

- **تجربة الهيدرومتر:**
- **من التجارب المتعددة التي يستخدم فيها التحليل بالترسيب تجربة الهيدرومتر شكل (٢٥)، وتتلخص خطوات التجربة في الآتي :**



شكل (٢٥) تجربة الهيدرومتر

- ١- تخلط التربة الناعمة (المارة من منخل ٢٠٠) في حجم معلوم من الماء خلطا تاما حتى يصبح المحلول تام التجانس.(حجم الماء المعلوم حوالي ١٠٠٠سم^{٣}).

- ٢- ترصد كثافة المحلول بواسطة قراءة هيدرومتر ينزل في المحلول. والزمن المقابل للكثافة (قراءة الهيدرومتر تعبر عن بعد مركزه) وهي تمثل وترتبط بكثافة السائل.

- ٣- يتم الرصد حتى يصبح لون المحلول شفافا أي بعد ترسيب معظم الحبيبات(في هذه الحالة تكون قراءة الهيدرومتر ١).

- ٤- أزمنة رصد قراءة الهيدرومتر هي :

(½ , 1, 2, 4, 8, 15, 30 min, 1, 2, 4, 8, 24, 48) hours

- وتتوقف عملية رصد القراءة حينما يصبح لون المحلول شفافا أي قراءة الهيدرومتر =١.
- ثم تحسب N نسبة النواعم للأقطار المختلفة بالعلاقة:

$$N = \frac{100G_S}{W_d(G_S - 1)}.R$$

where V = 1000 cm3

- حيث R قراءة الهيدرومتر بعد عمل التصحيحات مطروحا منها قراءة الهيدرومتر في الماء × ١٠٠٠

(فمثلا القراءة ١,٠٢٥ فتكون R=٢٥).

- والعلاقة في صورتها العامة هي :

$$N = \frac{G_S.V}{(G_S - 1)1000xW_d}(r - r_\omega)\,\gamma_C x100$$

r = قراءة الهيدرومتر بعد التصحيحات × ١٠٠٠

r_ω = قراءة الهيدرومتر في الماء × ١٠٠٠

W_d = الوزن الكلي للحبيبات التي تم إذابتها في المحلول

V = حجم المحلول

G_S = الوزن النوعي لحبيبات التربة

γ_c = كثافة المياه عند حرارة ٢٠ °م

قراءة الهيدرومتر يجب أن تصحح طبقا لـ:

١-التغير في درجة الحرارة المختلفة عن ٢٠ ºم ٢-تصحيح توتر السطح ٣-تصحيح التشتت ٤-تصحيح السقوط من	Temp. corr. C_t meniscus corr. C_t corr. C_d dispersion . Height corr.R_h
القراءة الصحيحة	$R=R_h+C_m \pm C_t - C_d$

وتوجد منحنيات تصحيح مع كل هيدرومتر حسب الشركة المنتجة.

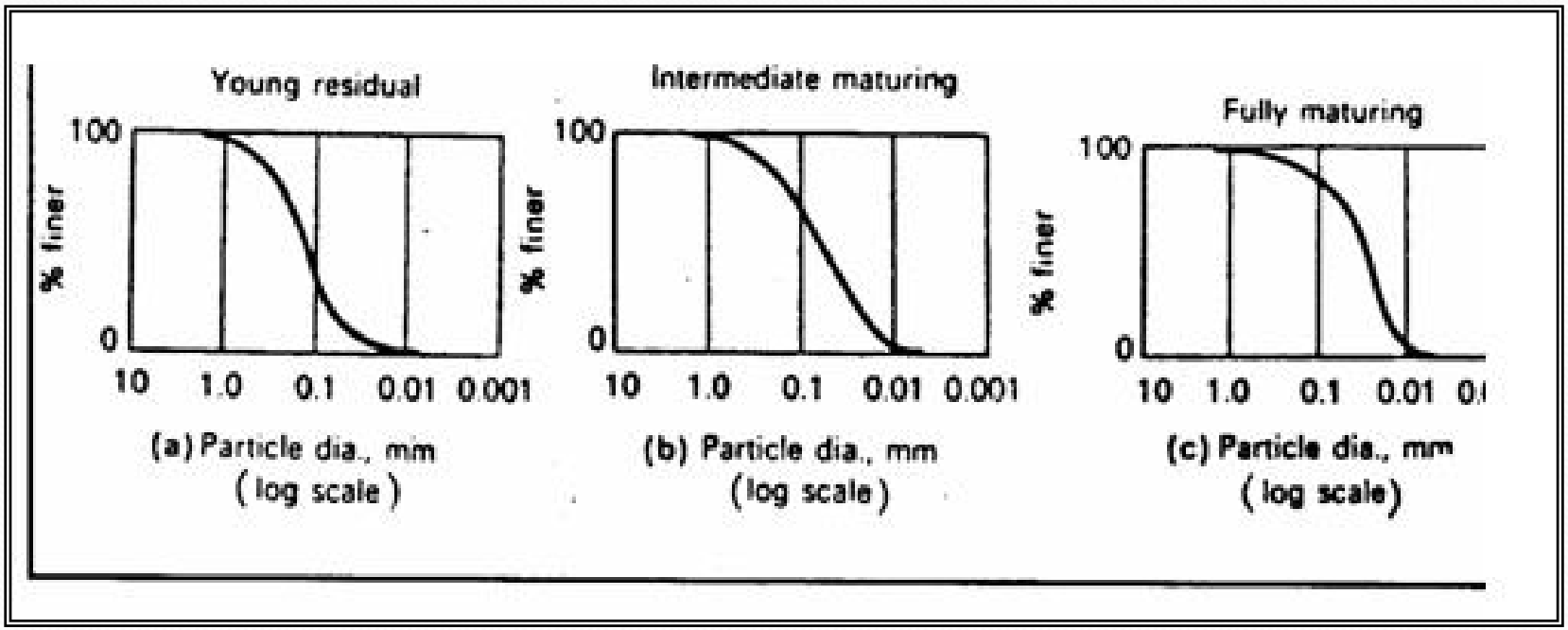
- التحليل المشترك بين التحليل المنخلي والترسيب :

- غالبا ما تكون التربة مختلطة من التربة الخشنة والتربة الناعمة،ولذلك يتم عمل نوعي التحليل معا المنخلي والترسيب فتوزن العينة بعد تجفيفها وليكن الوزن الكلي W ثم يتم أولا عمل التحليل المنخلي بالغسيل ثم يجرى التحليل المنخلي بالهيدرومتر لوزن من النواعم W` ، ويجب تعديل القيم المحسوبة لـ N في تجربة الهيدرومتر بضربها في نسبة النواعم W` ،إلى الوزن الكلي .

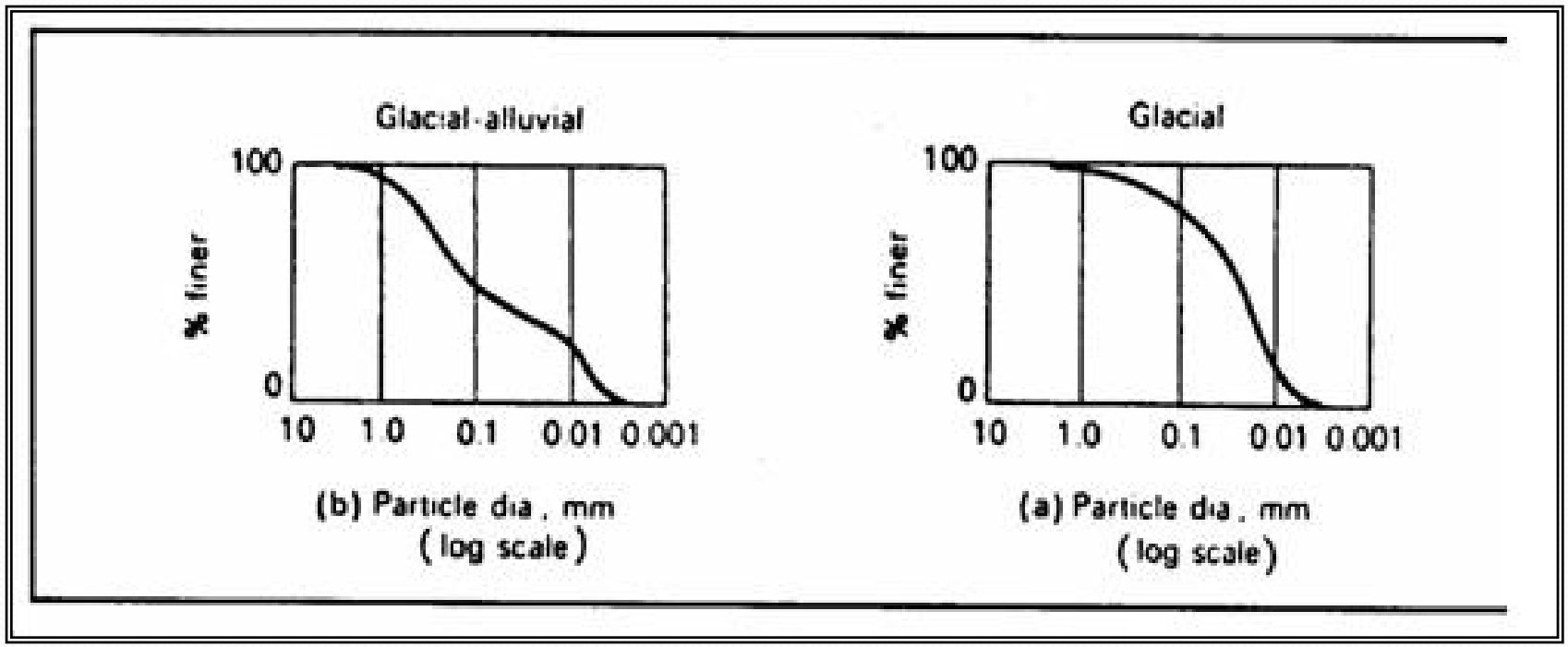
- وبذلك يستكمل منحنى التدرج بين القطر D نسبة المار :

$$N_{comb.} = Nx\frac{W}{W} = \frac{\text{وزن النواعم}}{\text{الوزن الكلي}}$$

- والشكلين (٢٦ ، ٢٧) التاليين يوضحان التدرج الحبيبي للتربة المتبقية والمنقولة



شكل (٢٦) التدرج الحبيبى المتبقية



شكل (٢٧) التدرج الحبيبي للتربة المنقولة

- نوع التدرج ومعاملاته:
- منحنيات التدرج الحبيبي للتربة تختلف في شكلها حسب نوع التربة ونوع مكوناتها ونسب المكونات . ولمعرفة نوع التدرج والحكم عليه تحسب المعاملات التالية:

- (أ) القطر المؤثر Effective diameter (Effective Size)

الحجم المؤثر أو القطر المؤثر هو القطر المقابل لنسبة مار مقدارها ١٠% ويرمز له بالرمز D_{10}

- **(ب) معامل الانتظام uniformity coefficient, Cu**

يعرف هذا المعامل بالمعادلة :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

حيث D_{60} هو القطر الذي يسمح بمرور ٦٠% من كتلة التربة.

- **(جـ) معامل التدرج Coefficient of gradation , CC**

ويعرف بالمعادلة :

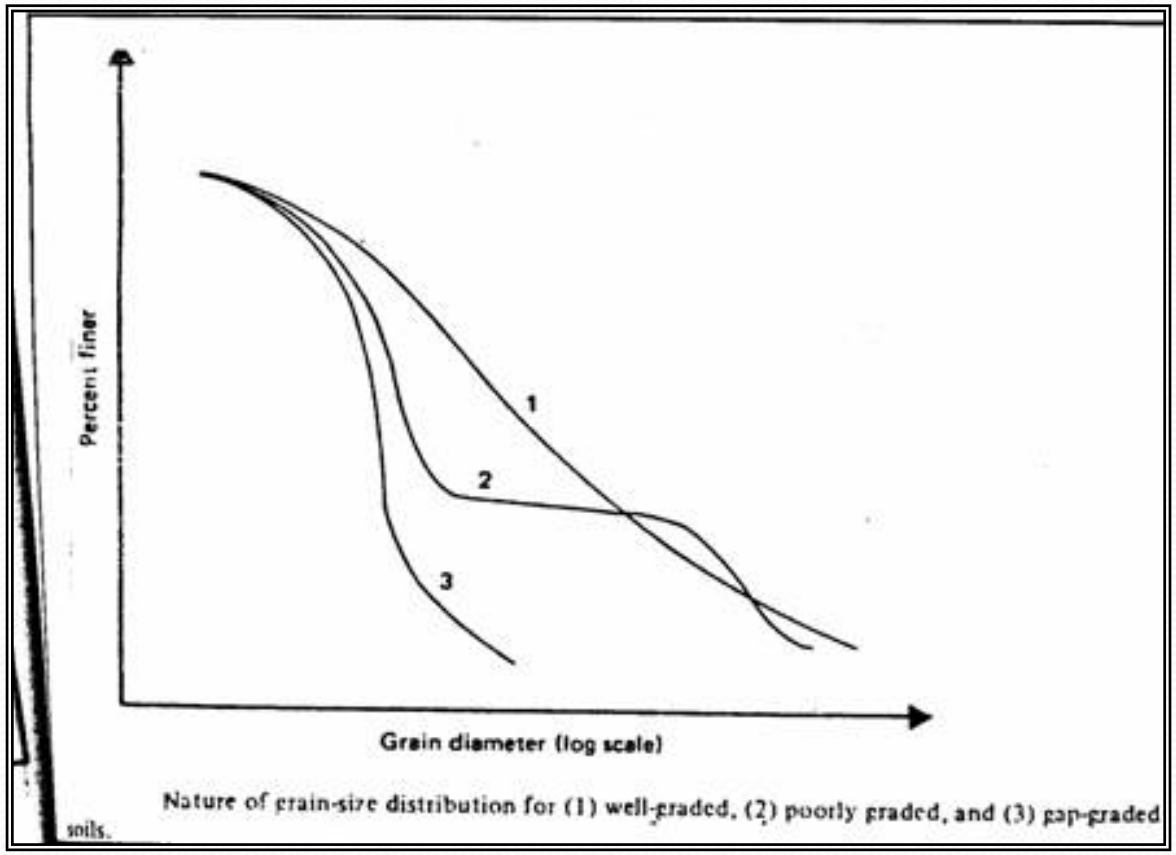
$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})}$$

حيث D_{30} هو القطر المقابل لنسبة مار مقدارها ٣٠% .

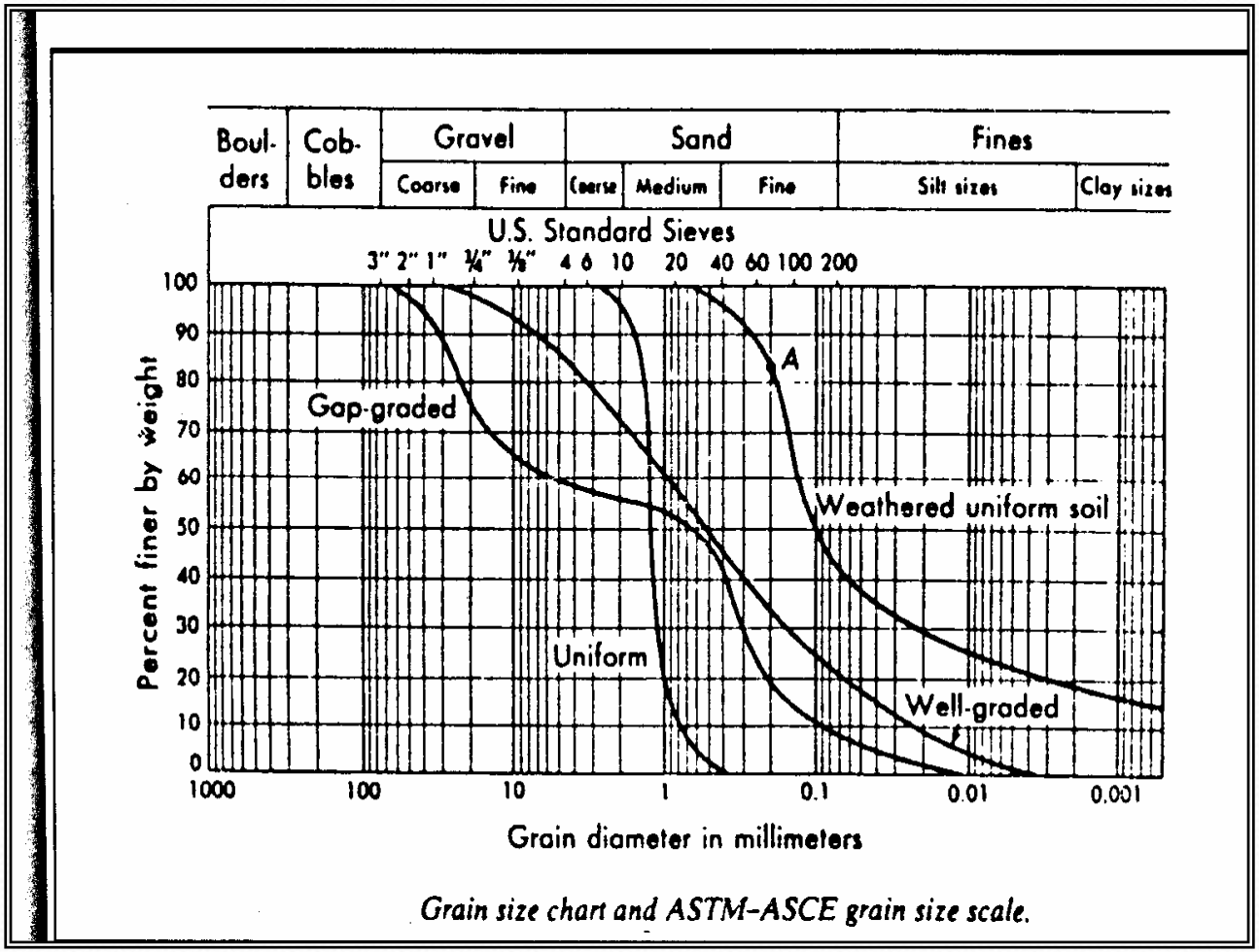
ويوصف التدرج الحبيبي للتربة بمعرفة Cu كما يأتي :

C_u	description
≤ 5	Poorly graded
5→15	Non- uniform
> 15	Well graded

وتبين الأشكال (٢٨، ٢٩، ٣٠، ٣١) بعضا من منحنيات التدرج، وطريقة وصفها من حيث نوع التدرج، وكيفية تعين معاملات التدرج



شكل (٢٨) طبيعة منحنيات التدرج



Grain size chart and ASTM-ASCE grain size scale.

شكل (٢٩) أنواع منحنيات التدرج الحبيبي

Results of a sieve analysis*

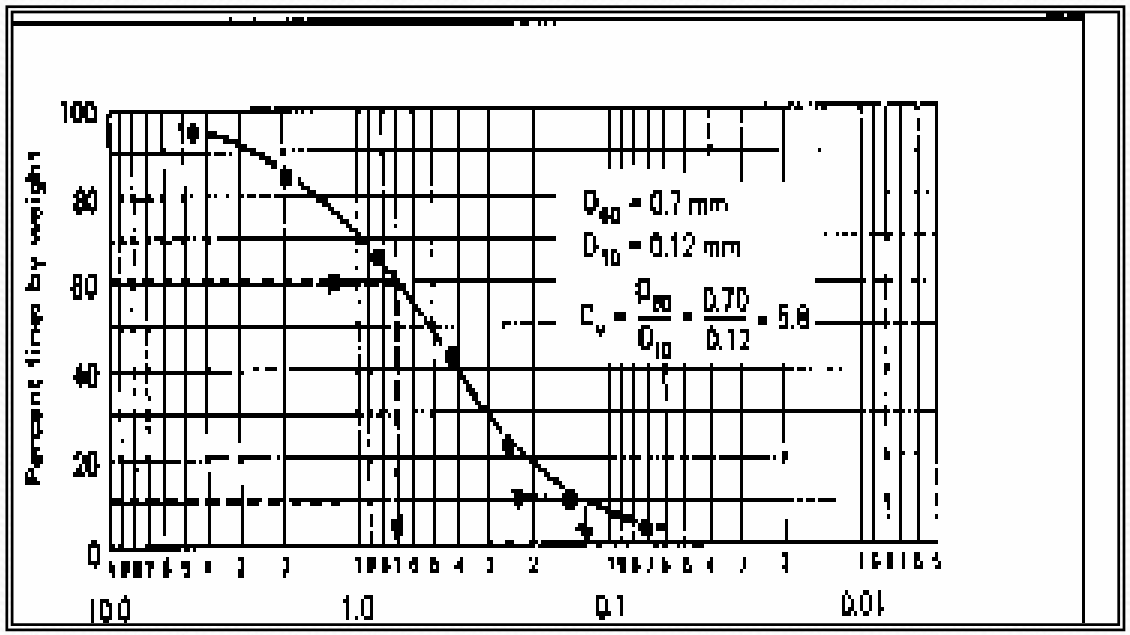
U.S. standard sieve no.	Sieve opening, mm	Mass of soil retained on each sieve, g	Cumulative mass of soil retained, g	Cumulative mass of soil passing each sieve, g	Percent finer†
4	4.76	10	10	640	98.5
10	2.00	30	40	610	93.8
16	1.19	52	92	558	85.8
30	0.59	80	172	478	73.4
40	0.42	141	313	337	51.8
60	0.25	96	409	241	37.1
100	0.149	105	514	136	20.9
200	0.074	85	599	51	7.8
Pan		51			

* Mass of total dry soil = 650 g

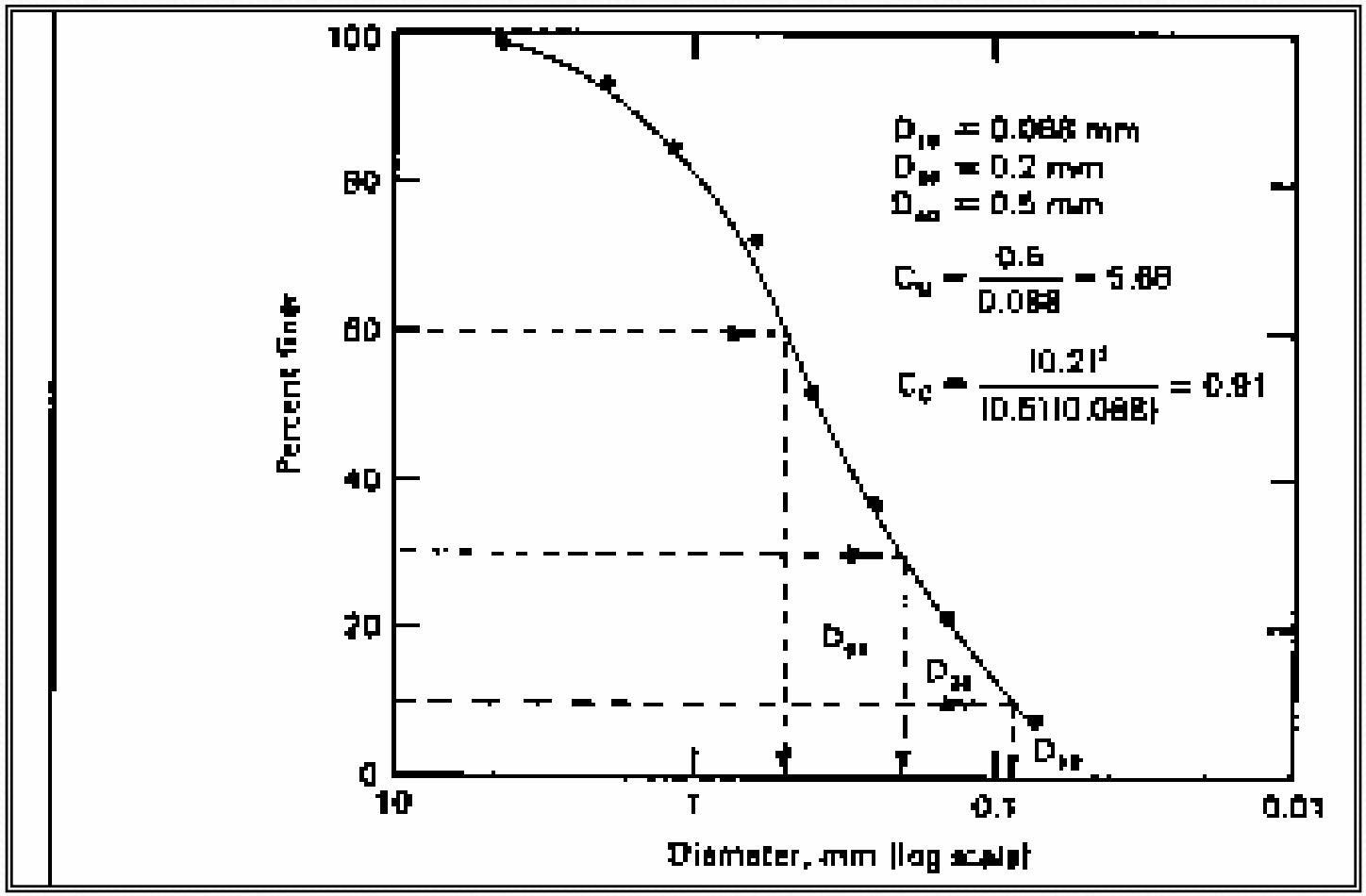
† $\text{Percent finer} = \frac{\text{cumulative mass of soil passing each sieve}}{\text{mass of the total dry soil}} \times 100$

شكل (٣٠) نتائج التحليل المنخلى

يبين الجدول (٣٠) نتائج التحليل المنخلي لعينة من التربة الخشنة، ويبن الشكل (٣١) معاملات التدرج، بينما الشكل (٣٢) يبن منحنى التوزيع الحبيبي وأيضا تحليل معاملات التدرج



شكل (٣١) تعين معامل التدرج

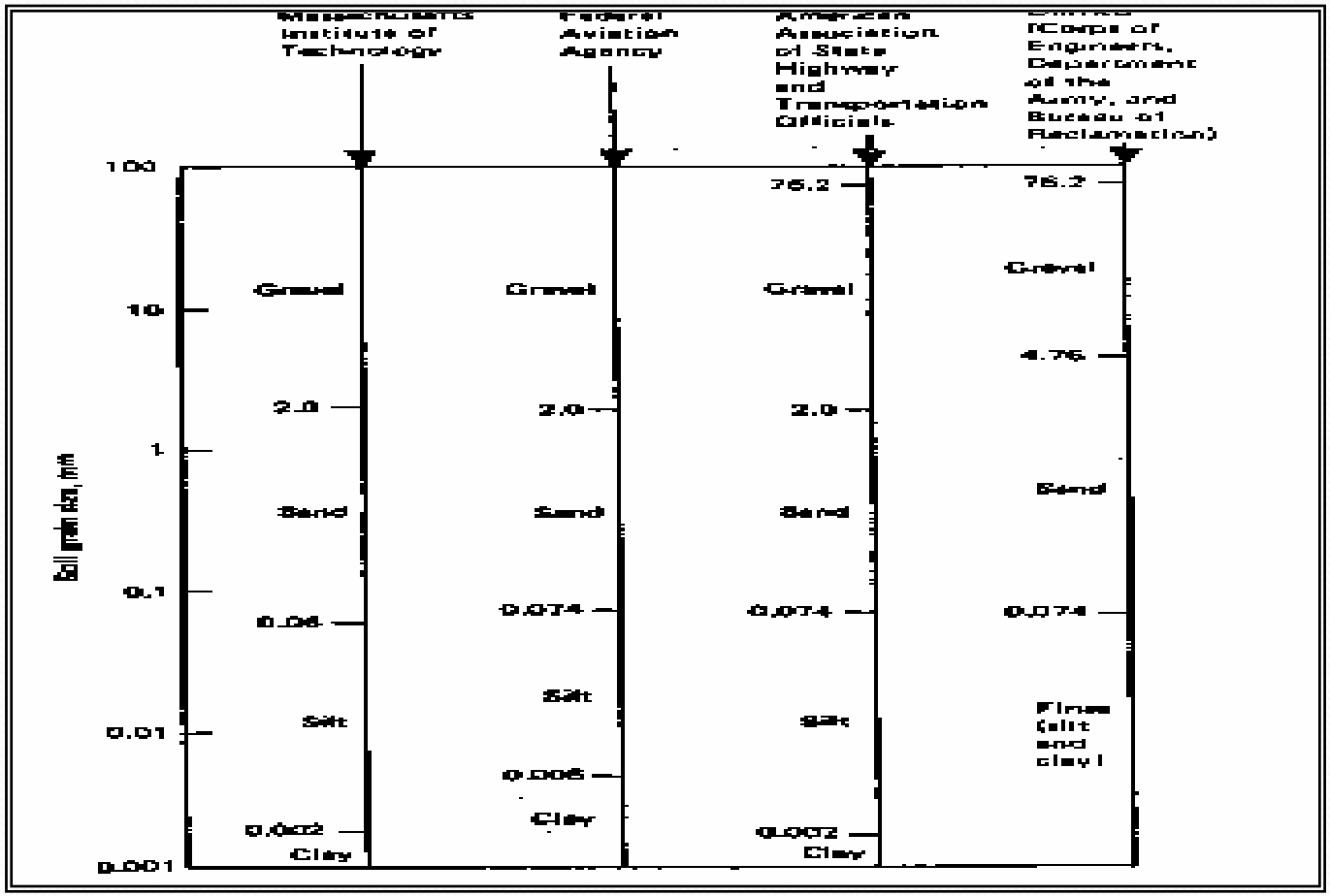


شكل (٣٢) منحنى التدرج الحبيبي

- **تصنيف و وصف حال التربة :**

Soil description and classification :

- **بعد عملية تحليل التربة ورسم منحنيات التوزيع الحبيبي لها يحدد نسب مكونات التربة (١٠% زلط، ٦٠% رمل، ٢٥% طمي، ٥% طين)، وتحديد نسب المكونات تتم طبقا لأنظمة وضعتها المراكز العلمية المختلفة في العالم ويبن الشكل (٣٣) بعضا من الأنظمة الأمريكية والشكل (٣٤) لنظام المواصفات US Bureau of Soil class. لتحديد نسب مكونات التربة وطريقة إستحدام هذا النظام لتحديد نسب كل من مكونات التربة: الزلط، الرمل والطمي والطين في العينة المبين منحنى تدرجها الحبيبي.**



Soil-Separate size limits of M.I.T., FAA, Aashto, Corps of Engineers, and USBR

شكل (٣٣) بعض الأنظمة لتحديد نسب مكونات التربة

- وفيما يلي بعض أمثلة تصنيف التربة :
- **Some examples of soil descriptions are :**
- 1- Dense, reddish-brown, sub angular, well graded, gravelly SAND.
- 2- Firm, grey, laminated CLAY of low plasticity with occasional silt parting 0.5-2.0 mm.

- 3- Dense, brown, heterogeneous, well graded, very silty SAND and GRAVEL with some CBBLES Clay .

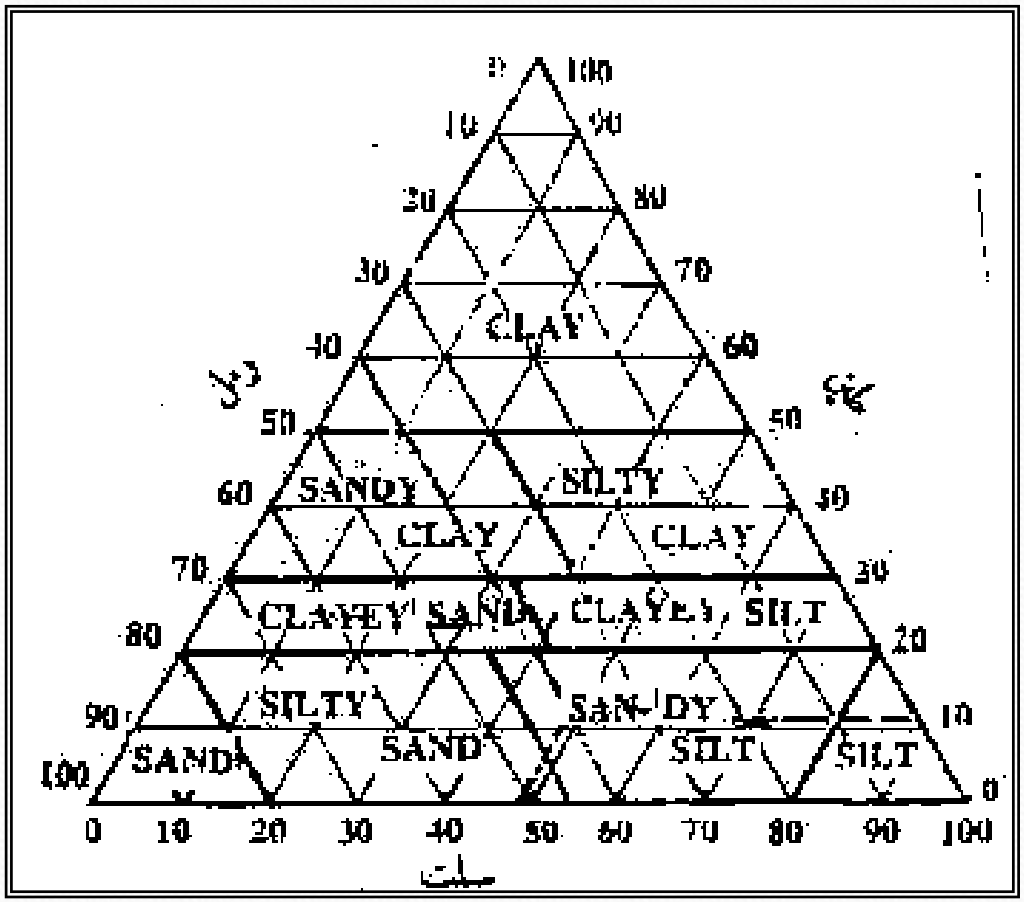
- 4- Stiff, brown, closely fissured CLAY of high plasticity:

  Spongy, dark brown, fibrous PEAT.

- وتوجد عدة أنظمة لتصنيف التربة أهمها :

- (أ) التصنيف بالتقسيم المثلثي Texture Classification

- توجد طرق للتصنيف منها التقسيم المثلثي ويبين شكل(٣٥) واحد منها والأكثر تطورا من الأشكال السابقة، وهذا التقسيم وضع بواسطة هيئة نهر المسيسبي الأمريكية.


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
CLAY
SANDY CLAY
SILTY CLAY
CLAYEY SAND
CLAYEY SILT
SILTY SAND
SANDY SILT
SAND
SILT
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

شكل(٣٥)

- وللتعامل مع هذا النظام يلزم معرفة نسب مكونات التربة ثم توقيع هذه النسب على التقسيم المثلثي الذي يحدد تصنيف وتسمية مخلوط التربة حسب مكوناتها .

- ويوضح الرسم مثال لتربة بها : ٤٠ %رمل، ٤٨ %طمي ، ١٢%طين، وبتمثيل هذه المكونات يتضح أن التربة هي Sandy Silt. وهذا النوع من التصنيف أصبح قديما، حيث وجد الآن طرق أحدث وأكثر تطورا

- **(ب) نظام التصنيف الإنجليزي**

The British soil classification system

- يعتمد هذا النظام على أن النوع الغالب للتربة يكون خشنا (زلط أو رمل) إذا تواجد بنسبة أكبر من ٦٥% في التربة بعد إزالة الحجر والدقشوم منها ويكون النوع الغالب ناعما (طمي أو طين) إذا تواجد بنسبة أكبر من ٦٥% في التربة بعد إزالة الدبش والدقشوم أيضا .

- The results of particle size analyses of four soils A, B, C and D arc shown in Table 3.10 The results of limit tests on soil D arc:
- **Liquid limit:**

Cone penetration (mm)	15-5	18-0	19-4	22-2	249
Water content (%)	39-3	40-8	42-1	44-6	456

- **Plastic limit:**

Water content (%)	23-9	24-3

- The fine fraction of soil C has a liquid limit of 26 and a plasticity index of 9.

- (a) Determine the coefficients of uniformity and curvature for soils A, B and C.

- (b) Classify the four soils according to both the British and Unified systems. The particle size distribution curves arc plotted in Fig.36.

- For soils A, B and C the sizes D_{10}, D_{30} and D_{60} are read from the curves and the values of C_v and C_c are calculated:

Soil	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_v	C_c
A	0.47	3.5	16	34	1.6
B	0.23	0.30	0.41	1.8	0.95
C	0.003	0.042	2.4	800	0.25

- For soil D the liquid limit is obtained from Fig. 36 in which cone penetration is plotted against water content The percentage water content, to the nearest integer, corresponding to a penetration of 20 mm is the liquid limit and is 42. The plastic limit is the average of the two percentage water contents, again to the nearest integer, i.e. 24. The plasticity index is the difference between the liquid and plastic limits, namely 18.

- **Soil A** consists of 100% coarse material (76% gravel size; 24% sand size) and is classified as GW: well graded, very sandy GRAVEL.

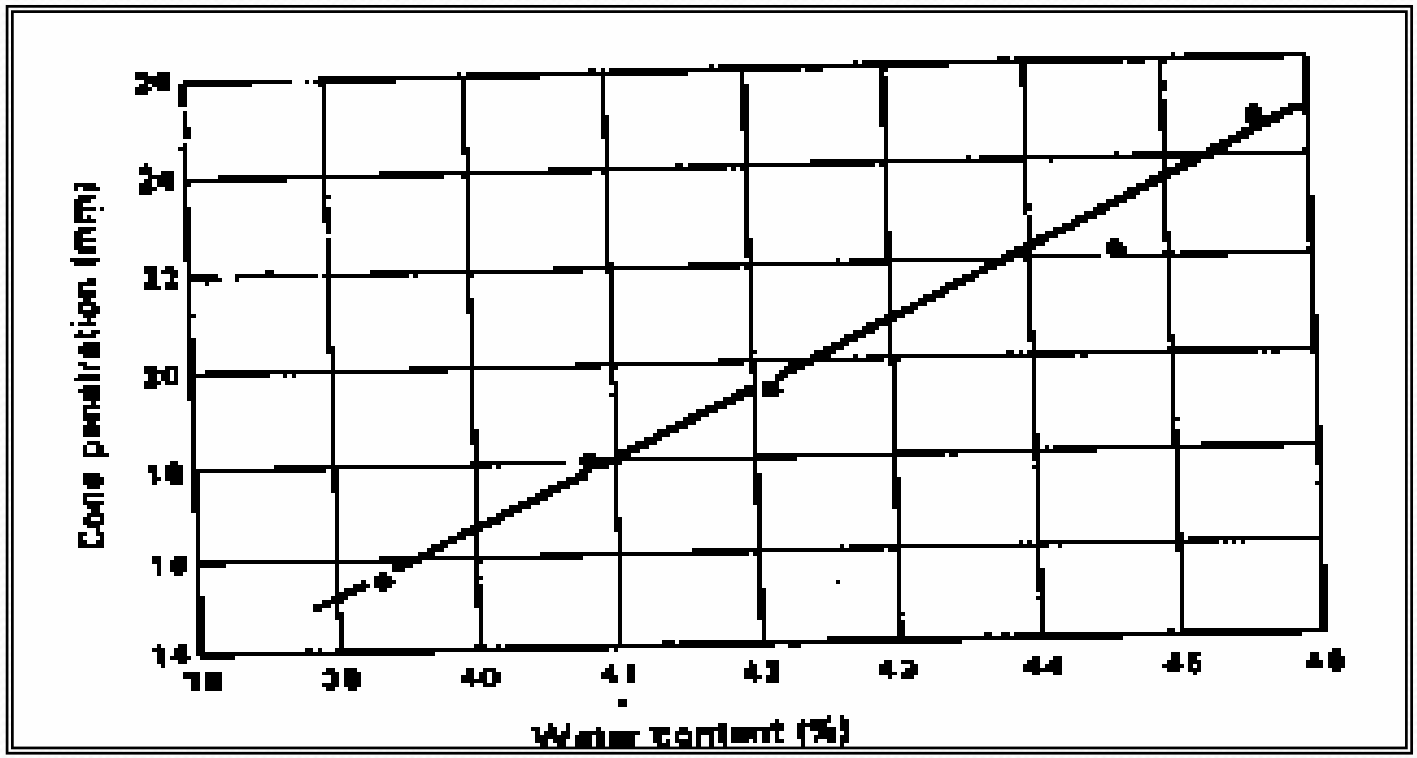
- **Soil B** consists of 97% coarse material (95% sand size; 2% gravel size) and 3% fines. It is classified as SPu: uniform, slightly silly, medium SAND.

- **Soil C** comprises 66% coarse material (41% gravel size; 25% sand size) and 34% fines (LL = 26, PI = 9), plotting in the CL zone on the plasticity chart). The classification is GCL: very clayey GRAVEL (clay of low)

BS sieve Particle size		Percentage smaller *Soil A	Soil B	Soil C	Soil D
63mm		100		100	
20mm		64		76	
3.6mm		39	100	65	
2mm		24	98	59	
600/µm		12	90	54	
212/µm		5	9	47	100
63/µm		0	3	34	95
0-020 mm	0.020 mm			23	69
	0.006 mm			14	46
	0.002 mm			7	31

From Sedimentation test

Table 3.10


Cone penetration (mm)
24
22
20
18
16
14
38
40
41
43
42
44
46
48
Water content (%)