الجمهورية العربية السورية
جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية

أساسيات علوم التربة وتصنيفها

المحاضرة النظرية السابعة

قوام التربة والتحليل الميكانيكي

Soil Texture and Particle-size Analysis

1- مقدمة:

تتصف التربة بتباين أبعاد حبيباتها، إذ تختلف المكونات الحبيبية للطور الصلب إلى حد كبير في حجمها، فهي تتراوح بين أبعاد الحصى (> 2 مم) إلى أبعاد حبيبات الطين المجهرية (< 0.002 مم)، أي هناك مجالاً واسعاً بين الحدين الأدنى والأقصى، لأبعاد هذه الحبيبات (0.002/2 = 1000) المكوّنة للتربة الناعمة (< 2 مم).

التركيب الميكانيكي: Mechanical composition يطلق على المكونات الصلبة للتربة

التحليل الميكانيكي: Mechanical analysis هو تعيين نسب المجموعات الحبيبية المختلفة المكونة للتربة.

التحليل الميكانيكي للتربة: Soil granulometric analysis هو تعيين النسبة المئوية للتوزيع الحجمي لكل من المجموعات والتحت مجموعات للرمل والسلت والطين في العينة الترابية الجافة تماماً.

قوام التربة Soil Textural: فهو درجة نعومة التربة أو خشونتها، والتي تتوقف على نسب المجموعات الحبيبية المختلفة، المكونة للطور الصلب، بعضها إلى بعض في العينة الترابية الجافة تماماً.

2-الأنظمة المختلفة لتصنيف حبيبات التربة:

يمكن تصنيف حبيبات التربة تبعا لحجمها، وشكلها وكثافتها وتركيبها الكيميائي أو الفلزي، إلا أن **التحليل الميكانيكي للتربة لا يأخذ بعين الاعتبار سوى الحجم أو الأبعاد فقط**، وهناك أنظمة تصنيف مختلفة حسب غرض الدراسة سواء أكان زراعيا أم هندسيا كما يختلف ذلك من بلد لآخر ولهذا كان من الضروري التقريب بين هذه التصانيف الأمر الذي أدى إلى إيجاد التصنيف الدولي المعترف به عالمياً. وإن كانت لا تأخذ به الدول كافة.

تدعى أجزاء التربة التي تتجاوز أقطارها 2 سم بالحجارة Stones، وتلك التي تقع أقطارها بين 2 سم و2 مم بالحصى .Gravel أما ما قلت أقطارها عن 2 مم فتدعى بناعم التربةFine earth ، وعلى هذا الأخير تجرى كافة التحاليل الفيزيائية والكيميائية، ومنها التحليل الميكانيكي للتربة.

يتكون ناعم التربة من كل من الرمل Sand ، والسلت[1] Silt، والطين[2] Clay حيث يشكل كل منها مجموعة حبيبية (ميكانيكية) ذات أبعاد متقاربة تقع ضمن حدين أقصى وأدنى يختلفان نسبياً حسب النظام المتبع، كما في الشكل (1).

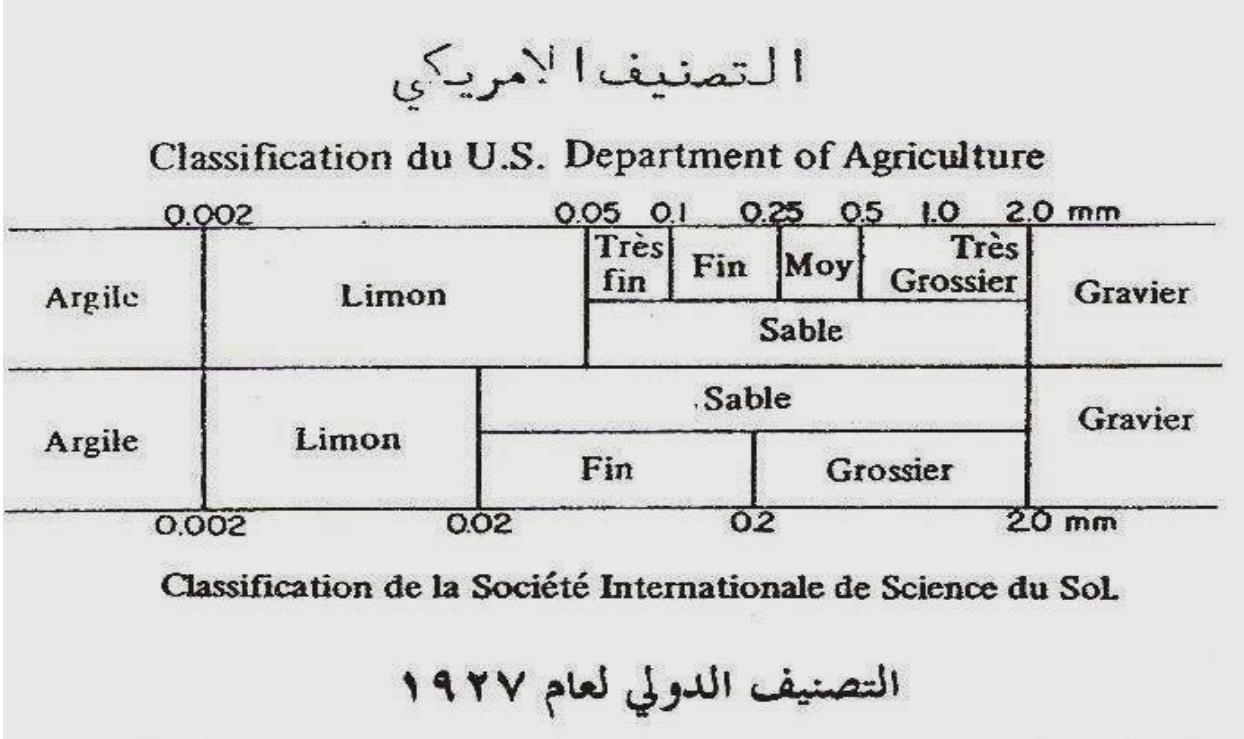
يتميز التصنيف الدولي (ISSS أو تصنيف أتربرغ Atterberg) عن سواه بأن الحدود الفاصلة بين العناصر الميكانيكية تكون ذات أبعاد متساوية لوغاريتما (2-0.2-0.020) مم . وبصورة عامة يشكل البعد (2 ميكرون = 0.002 مم) الحد الفاصل بين حبيبات الطين والسلت، أما بالنسبة للحد الذي يفصل بين

[1] **- سلت، طمي أو غرين.**
[2] **- الطين، الغضار أو الصلصال.**

حبيبات السلت والرمل فإنه يتراوح بين (0.02 مم = 20 ميكرون) و(0.060 مم = 60 ميكرون) وذلك حسب التصنيف المتبع (الشكل 1،2).

يطلق" **<u>اصطلاح الطين</u>**" هنا على العناصر الميكانيكية التي تقل أبعادها عن 2 ميكرون، في التصنيف الدولي والتصنيف الأمريكي، بينما يعرف في التصنيف الروسي بقطره الأقل من (1 ميكرون)، وليس بالضرورة انتماء هذه العناصر الحبيبية إلى أحد فلزات الطين المعروفة، بل قد تكون حبيبات كوارتز أو كربونات كالسيوم أو أية فلزات أخرى ناعمة التفتت لها أبعاد حبيبات فلزات الطين الغروية.

لم تتفق مدارس علوم التربة على منهج واحد في تصنيف العناصر الميكانيكية Mechanical elements المكونة لهيكل التربة الصلب، فيعرف الطين بقطره الأقل من (2 ميكرون)، بينما يعرف في التصنيف الروسي بقطره الأقل من (1 ميكرون)، ويضيف التصنيف الروسي مفهوم الرمل الفيزيائي Physical Sand من أجل مجموعة من العناصر أقطارها تزيد عن (10 ميكرون)، فإذا قلت عن ذلك (10 ميكرون) كان مفهوم الطين الفيزيائي Physical clay كما في الجدول (1).

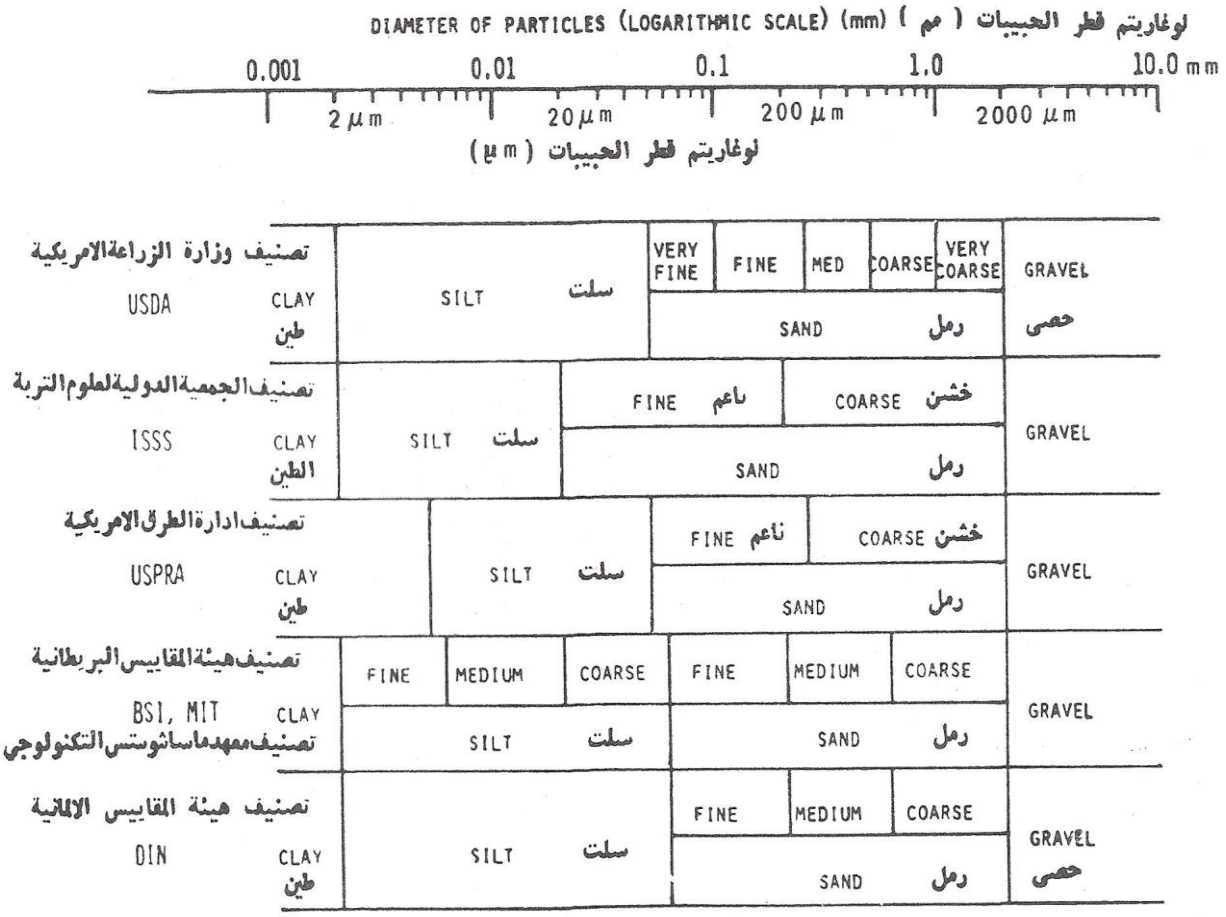


الشكل رقم (1): يبين مقارنة بين تصنيف الأمريكي من الأعلى والتصنيف الدولي من الأسفل لعام 1927 لمكونات التربة الميكانيكية مقدراً بالملميتر قطراً (للاطلاع)

تعريف السطح النوعي: هو مجموع مساحة أسطح حبيبات التربة المتواجدة في واحدة الكتلة من التربة، وهو يقدر بالـ سم2/غ تربة. ويمكن تقسيم حبيبات التربة حسب حجمها ومساحة السطح النوعي لها وفق الجدول رقم (2):

الجدول رقم (1) يوضح اقسام حبيبات التربة تبعاً لأحجامها حسب نظم التقسيم المختلفة مقدراً بالملميتر قطراً

المجموعات الميكانيكية الاولية	التقسيم الروسي		التقسيم الأمريكي (تقسيم وزارة الزراعة الأمريكية)		التقسيم الدولي (تقسيم الجمعية الدولية لعلوم التربة)	
	القسم	قطر الحبيبات مم	القسم	قطر الحبيبات مم	القسم	قطر الحبيبات مم
حصى	1-3		أكبر من2		2من أكبر	
الرمل	1-0.05		2-0.05		2-0.02	
			رمل خشن جداً	2 – 1	رمل خشن	2-0.2
	رمل خشن	1-0.5	رمل خشن	1 – 0.5		
	رمل متوسط	0.5-0.25	رمل متوسط	0.5 – 0.25	رمل ناعم	0.2-0.02
	رمل ناعم	0.25-0.05	رمل ناعم	0.25 – 0.1		
			رمل ناعم جداً	0.1 – 0.05		
السلت	0.05-0.001		0.02-0.005		0.02-0.002	
	سلت خشن	0.05-0.005	سلت خشن	0.05 – 0.02	سلت	0.02-0.002
	سلت ناعم	0.005-0.001	سلت ناعم	0.02 – 0.002		
الطين	أقل من 0.001		أقل من0.002		أقل من0.002	
طين خشن	0.001-0.0005					
طين ناعم	0.0005-0.0001					
غرويات	أصغر من 0.0001					



الشكل رقم (2) بعض أنظمة تصنيف حبيبات التربة

الجدول رقم (2): تقسيم حبيبات التربة حسب حجمها ومساحة السطح النوعي

أقسام حبيبات التربة	تقسيم وزارة الزراعة الأمريكية القطر مم	نظام الجمعية الدولية لعلوم الأراضي القطر مم	عدد الحبيبات في واحد غرام تربة	مساحة السطح النوعي سم^2/غ تربة
رمل خشن جداً	**2.00 – 1.00**		40	11
رمل خشن	**1.00 – 0.5**	2.00 – 0.20	720	23
رمل متوسط	**0.5 – 0.25**		5700	45
رمل ناعم	**0.25 – 0.10**	0.20 – 0.02	46000	41
رمل ناعم جداً	**0.10 – 0.05**		722000	227
سلت	**0.05 – 0.002**	0.02 – 0.002	5776000	454
طين	**أقل من 0.002**	أقل من 0.002	40260853000	8000000

ويتم تحديد قوام التربة تبعاً لمثلث القوام مأخوذ عن (هنري، 1985)

يهدف التحليل الميكانيكي للتربة إلى تعيين نسب التوزيع الحجمي لمجموعات العناصر الحبيبية (الميكانيكية) المختلفة معبراً عنها كنسب مئوية من العينة الترابية الجافة.

مرحل التحليل الميكانيكي للتربة:

أولاً: تفريق تجمعات التربة Aggregates وفصلها إلى عناصرها الحبيبية التي يجب أن تكون بحالتها الأولية الفردية المبعثرة Dispersed، وهذا ما يمكن تحقيقه نسبيا بمعاملة العينة الترابية ميكانيكيا وكيميائيا (مع التسخين).

ثانياً: تعيين نسبة كل من المجموعات الحبيبية (الميكانيكية) على حدة في العينة الترابية، وهذا ما يمكن الوصول إليه بطرائق عديدة، كطريقة المناخل، والماصة، وقياس الكثافة (المكثاف أو الهيدروميتر) والتثفيل (الطرد المركزي) وغيرها.

3- طرائق التحليل الميكانيكي:

نورد فيما يلي شرحاً وافياً عن طريقتي الماصة والهيدروميتر.

1- ***الطريقة الأولى*** **- طريقة الماصة:** Pipette method، وتعرف أيضا باسم الطريقة الدولية International method.

1-1- **مبدأ طريقة الماصة:** تعتمد هذه الطريقة على أخذ حجم معين بالماصة من أسطوانة زجاجية تحتوي على معلق التربة بعد تفريقها، عند عمق h وفي زمن t بشكل تكون فيه كل الحبيبات التي تتميز بسرعة سقوط أو ترسيب v تزيد عن h/t . قد تجاوزت العمق h ورسبت لعمق أكبر، بحيث لا يبقى من حبيبات التربة المعلقة عند ذلك العمق h إلا ما كان لها سرعة سقوط أو ترسيب تقل عن h/t . وهكذا فعندما يؤخذ بالماصة حجم ما من معلق التربة المفرقة بعد زمن قدره t ثانية عند عمق h سم. فإن كل الحبيبات التي لها سرعة سقوط (ترسيب) أكبر من h/t سم/ثانية، تكون قد سقطت بعيدا عن متناول الماصة.

أما تعيين الزمن t وسرعة السقوط النهائية v_t لحبيبات التربة ذات الأقطار المختلفة، فيعطى بقانون ستوكس Stokes law :

$$v_t = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g}{\eta} (\rho s - \rho f)$$

حيث:

v_t = السرعة النهائية لسقوط (ترسيب) الحبيبات. سم/ثا

r = نصف قطر الحبيبات الكروية المترسبة. سم.

g = تسارع الجاذبية عند السقوط الحر للأجسام ويساوي 981 سم/ثا^2.

η = لزوجة السائل المطلقة وتساوي 0.01 بويز "poise" للماء (كما تقاس بـ غ/سم/ثا).

ρs = الكثافة الحقيقية لحبيبات التربة الصلبة، وتساوي في المتوسط 2.65 غ/سم^3.

ρf = كثافة السائل المستخدم في الترسيب، وتؤخذ بالنسبة للماء على أنها = 1 غ/سم^3

يتوقف ترسيب sedimentation "سقوط" الحبيبات في وسط سائل الترسيب على حجم الحبيبات وكثافتها وشكلها من جهة، وكثافة سائل الترسيب من جهة أخرى. ولتوضيح ذلك يمكن القول: إنه عندما تسقط حبيبة كروية الشكل في الفراغ ، فإنها لن تلقى أية مقاومة في سقوطها وستزداد سرعتها مع سقوطها بتأثير تسارع الجاذبية إلا أنه عندما تسقط الحبيبة نفسها في وسط سائل ، فإنها ستلقى مقاومة احتكاكية تتناسب مع جداء محيطها $\pi 2$ r وسرعة سقوطها v ولزوجة السائل η وهكذا فإن قوى المقاومة التي تبطئ من سرعة سقوط الحبيبة والتي تعزى إلى الاحتكاك F_r ستكون مساوية حسب ستوكس Stokes 1851:

$$F_r = 2\pi R .3v \eta .$$

وفي الوقت نفسه ، فإنَّ قوى جذب الحبيبة لأسفل F_g بفعل تسارع الجاذبية g تتناسب طرداً مع كتلتها (v . ρs) أي أن:

$$F_g = \frac{4}{3}.\pi r^3(\rho s - \rho f).g$$

حيث $\frac{4}{3}.\pi r^3$ = حجم الحبيبة الكروية ، ρs = كثافتها ، ρf = كثافة السائل ، g = تسارع الجاذبية الأرضية.

وعندما تتوازن قوى المقاومة الاحتكاكية F_r مع قوى الجذب لأسفل F_g بفعل قوة الجاذبية تصبح محصلة القوى المؤثرة في الحبيبة صفرا، وعندما تسقط الحبيبة بسرعة ثابتة تدعى السرعة النهائية v_t أي أن:

$$F_r \uparrow = F_g \downarrow$$

أي: $$2\pi r \cdot \eta \cdot 3v = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_s - \rho_f)g$$

ومنها: $$v_t = \frac{4/3\pi r^3(\rho_s - \rho_f)g}{2\pi r \cdot \eta \cdot 3} = \frac{2}{9}\cdot\frac{r^2 g}{\eta}(\rho_s - \rho_f) = \frac{d^2 g}{\eta}(\rho_s - \rho_f)$$

حيث d = قطر الحبيبة، علما أن: $d^2 = 4r^2$

وبفرض أن السرعة النهائية v_t لسقوط الحبيبة قد تحققت منذ بداية سقوطها أي على الفور عندها يمكن تعيين الزمن t بالثواني اللازم كي تبلغ الحبيبة ذات القطر d سنتيمتر عمقا قدره h سنتيمتر وفي درجة حرارة معلومة:

$$t = \frac{18h\eta}{d^2 g(\rho_s - \rho_f)}$$

وبإعادة ترتيب العلاقة السابقة من أجل قطر الحبيبة d نجد:

$$d = \sqrt{\frac{18h\eta}{t \cdot g(\rho_s - \rho_f)}}$$

وإذا عوض عن η بقيمتها للماء في درجة حرارة C˚20 = 0.0101 بويز ، و g = 980.7 سم/ثا^2 ، و ρ_s = 2.65 غ/سم^3 ، ρ_f = 1 غ/سم^3 ، وبأخذ قيمة d بالسم ، يكون لدينا :

$$t = \frac{0.01818h}{1618.15d^2} = \frac{h}{d^2}k$$

k : ثابتا= $1.124.10^{-4}$ في الشروط القياسية آنفة الذكر. وإذا عوضت η و g و ρ_s و ρ_f

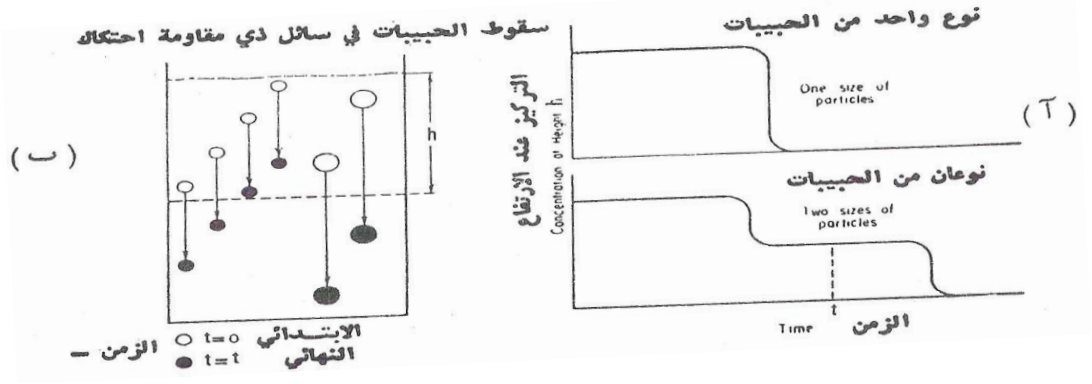
$$t(\sec) \approx \frac{h}{35600r^2}$$

بقيمها السابقة في علاقة ستوكس، نجد أن t تساوي:

كما تساوي v: $v = 35600\ r^2$ ذلك أن : $v = h/t$

وتجدر الإشارة إلى أنَّ المقدار 35600 يختلف باختلاف كثافة حبيبات التربة ρ_s ودرجة حرارة وسط الترسيب نفسه، وهذا ما يجب أخذه في الاعتبار عند إجراء مثل تلك الحسابات إذ أن تثبيت درجة الحرارة يمنع حدوث تيارات الحمل التي قد تنشأ نتيجة الفرق في درجة الحرارة بين جدار الاسطوانة الزجاجية والمعلق الترابي فمثل تلك التيارات تحول دون تجانس ترسيب الحبيبات.

وهكذا فإن مبدأ طريقة الماصة يعتمد على العلاقة بين سرعة سقوط (ترسيب) الحبيبات وأقطارها. فعندما يحرك معلق ترابي بعد تفريقه ويترك ليستقر فإن سقوط الحبيبات يكون تدريجيا. إذ تسقط أولا الحبيبات الأكبر حجما ثم تليها الأصغر حجما (شكل 2 آ و ب).



(الشكل

الشكل رقم (3) التحليل الميكانيكي للترب الكلسية وغير الكلسية

يتم التحليل الميكانيكي للتربة عبر سلسلة من العمليات التي يمكن إيجازها بالخطوات التالية:

أولا – <u>تفريق التربة</u>: أي بعثرة الحبيبات Particles dispersion ويمكن عدها مجموعة من المعاملات التمهيدية Pretreatments التي تمر بها التربة من أجل تفكيك تجمعاتها الحبيبية Aggregates وإحالتها لمكوناتها الفردية المفرقة، وتجري هذه العملية على الجزء الناعم من التربة (2 mm >) وتتضمن هذه المرحلة العمليات التالية:

أ- حذف أثر التوتر السطحي بالتخلص من هواء التربة المحتجز بتحريكها الجيد في الماء أو بغليها فيه أو بتجفيف ماء التربة تماما.

ب- التخلص من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ بمعالجة التربة بحمض كلور الماء المخفف إذا لم تتجاوز نسبتها في التربة 5 % أما إذا زادت عن ذلك فإنه من المفضل الإبقاء عليها لأنها تشكل جزءا لا يستهان به من قوام التربة وإزالتها تقود إلى تحليل ميكانيكي لا يعبر عن التوزيع الحقيقي لحبيبات التربة.

ج- أكسدة المواد العضوية بمعالجة التربة بالماء الأكسجين H_2O_2 مع الغليان.

د- التخلص من أكاسيد الحديد والألمنيوم والمنغنيز إذا وجدت بمعالجة التربة بحمض كلور الماء المخفف.

ه- غسيل الأملاح الذائبة، والتخلص منها بالترشيح تحت التفريغ.

و- تفريق حبيبات التربة بإضافة محلول مادة مفرقة مثل سداسي فوسفات الصوديوم $(NaPO_3)_n$ Sodium hexa meta phosphate وكربونات الصوديوم أو بيرو فوسفات الصوديوم $Na_4P_2O_7$ أو الصود الكاوي NaOH أو كربونات الصوديوم أو غيرها ، وذلك بغية استبدال أيونات الصوديوم (أو الأمونيوم أو الليتيوم) بالكاتيونات الثنائية وبخاصة الكالسيوم والمغنيزيوم والثلاثية كالألمنيوم والحديد (والـ H^+) وبالتالي حذف كل الأيونات التي تعمل على تجميع الحبيبات الفردية وبشكل تسود فيه أيونات الصوديوم Na^+ وجذور الهيدروكسيل OH^- أو أنيونات الفوسفات مما يزيد من تميه الدقائق الغروية لفلزات الطين واتساع حقول التنافر الكهربائي في الوسط نتيجة ارتفاع الـ pH فيه ومؤدياً في المحصلة إلى التفريق التام بين الحبيبات والجزيئات التي تعمل كلها كأنيونات بدءاً من جزيئات الماء التي تتوجه للقطب

الموجب نحو الشحنات السالبة للسطوح الغروية تاركة قطبها السالب في حالة تنافر مع هيدروكسيل OH^- القاعدة المضافة أو أنيونات الفوسفات السائدة في درجة الـ pH المرتفعة.

ز- رج العينة أو تحريكها ميكانيكياً لفترة زمنية كافية أو باستخدام الأمواج فوق الصوتية Ultrasonic vibrations وبشكل يضمن التفريق التام للحبيبات.

ح- تحضير المعلق الترابي المفرق تماماً للقياس وتخفيفه بإضافة الماء المقطر.

ثانيا – <u>تعيين النسب المئوية للمجموعات الميكانيكية المختلفة حسب طريق الماصة:</u>

أ-تفصل مجموعة الرمل على قمع يثبت فوق منخل أقطار ثقوبه 0.05مم (عمليا المجموعة 0.100 مم وما فوق أي الرمل المتوسط والخشن وجزء من الرمل الناعم حسب التصنيف المتبع) ثم تحسب نسبتها المئوية. لأن هذه المجموعة من الرمل لا ينطبق عليها قانون ستوكس 1851Stokes للسقوط.

ب- يؤخذ الجزء المار من ثقوب المنخل ويتضمن مجموعة الطين والسلت فقط (منخل 0.05 مم) أو مجموعة الطين والسلت والرمل الناعم (منخل 0.100 مم) ويكمل المعلق إلى حجم كلي تفصل فيه بعد ذلك مجموعتا الطين والسلت اعتماداً على قانون ستوكس، وظروف القياس نفسها (درجة الحرارة والمادة المفرقة، وعمق اخذ العينة، وتركيب العينة نفسها. ... الخ) وبصورة عامة يجري ما يلي:

- **تعيين مجموعتي الطين والسلت معاً**: يؤخذ بعد انقضاء 4 دقائق و48 ثانية في درجة حرارة 20 C^o حجم مقداره 20 مل (1/50 من الحجم الكلي) من المعلق وعلى عمق 10 سم تماماً باستخدام ماصة لها صمام ذو ثلاث فتحات " ممرات عبور" للتحكم بأخذ العينة، وتكون مثبتة على حامل معدني، وتسجل درجة حرارة المعلق ويجري بعد ذلك التصحيح الخاص بدرجة حرارة القياس ومادة التفريق. يعد الزمن (4 دقائق و48 ثانية)، هو الزمن اللازم لتقطع أصغر حبيبة رمل ناعم مسافة 10 سم في وسط الترسيب في درجة حرارة 20 C^o.
- **تعيين مجموعة الطين فقط:** تؤخذ 20 مل أخرى من المعلق عند العمق نفسه بعد مضيّ 8 ساعات تماماً بالطريقة السابقة نفسها، ويجري التصحيح اللازم. كما يعد الزمن 8 ساعات هو الزمن اللازم لتقطع أصغر حبيبة سلت مسافة 10 سم في درجة حرارة 20 C^o.
- **يمكن تعيين نسبة أكثر من تحت مجموعة حبيبية ضمن مجموعتي الطين والسلت،** ويكفي لذلك تحديد الزمن اللازم لترسيب أصغر حبيبات المجموعة المعنية من قانون ستوكس، وللعمق المطلوب، ولكن يفضل إجراء ذلك على عينات مفرقة أخرى لتجنب النقص الكبير في الحجم الكلي للمعلق.
- **مجموعة الرمل:** تحسب نسبتها تفاضلياً ويمكن التأكد من دقة ذلك من حساب كمية الرمل المتوسط والخشن الباقية، فوق المنخل مضافاً إليها الرمل الناعم الذي ترسب كلياً بعد انقضاء 4 دقائق و48 ثانية وفصله بالترسيب والإبانة "الصب" Decantation
- يبين الجدول (3) الزمن اللازم لترسيب حبيبات الرمل والسلت[1] لعمق 10 سم في درجات حرارة تتراوح بين20 و 31 C^o .

<u>ملاحظة</u> : لقد حسبت الأزمان اللازمة لترسيب الحبيبات ذات الأقطار 2 و5 و 20 µ ميكروناً في الماء ولعمق 10 سم وفي درجة حرارة 20 C^o باستخدام قانون ستوكس وبافتراض أن الكثافة الحقيقية للتربة "كثافة الطور الصلب ρ_s = 2.6 غ/سم^3 " وعليه فإن قيمة الثابت تصبح 34700 على النحو التالي :

$$t(\sec) \approx \frac{h}{34700\, r^2}$$

<u>مثال</u>: الحبيبات ذات الأقطار 2 ميكرونا (أصغر حبيبة سلت) : d = 2 µ , r = 1 µ , و 1 µ = 0.0001 سم , ومنه يكون الزمن اللازم لكي تقطع (مغادرة) أصغر حبيبة سلت مسافة 10 سم من ارتفاع اسطوانة الترسيب في درجة حرارة 20 C^o ، هو :

[1] - أما دقائق الطين الغروية فإنها يمكن أن تبقى معلقة لفترة طويلة تصل لأكثر من بضعة أيام أو أسابيع في ظروف القياس.

$$t \approx \frac{10}{34700(0.0001)^2} = \frac{28818.4}{3600} \approx 8 \text{ ساعات}$$

الجدول رقم (3): زمن ترسيب "سقوط" Sedimentation الحبيبات ذات الأقطار 2 و5 و 20 µ ميكرون في المعلق ولعمق 10 سم .

Temperature C^o درجة الحرارة	زمن ترسيب الحبيبات عند الارتفاع CM 10					
	2 microns		5 microns		20 microns	
	hr.	mi	hr.	mi	min.	sec.
20	8	0	1	17	4	48
21	7	49	1	15	4	41
22	7	38	1	13	4	28
23	7	27	1	11	4	35
24	7	17	1	10	4	22
25	7	7	1	8	4	16
26	6	57	1	7	4	10
27	6	48	1	5	4	4
28	6	39	1	4	4	0
29	6	31	1	3	3	55
30	6	22	1	1	3	49
31	6	14	1	0	3	44

بعض المآخذ على طريقة التحليل الميكانيكي اعتمادا على تطبيق قانون ستوكس:

يفترض قانون ستوكس تحقق الأمور التالية:

A. تأخذ حبيبات التربة شكلا كرويا أملس ويتصف بالقساوة ومعلوم أن حبيبات التربة وبخاصة دقائق الطين يمكن أن تأخذ أشكالا صفائحية وريقية إبرية أو قشرية أو غير ذلك.

B. عدم تأثير حبيبات التربة ودقائقها بالحركة البراونية العشوائية لجزيئات السائل المبعثرة فيه لتمتعها بسطح مناسب وأبعاد كبيرة مقارنة مع أبعاد جزيئات وسط الانتشار.

C. تمتع حبيبات التربة كافة بكثافة حقيقية ρ_s واحدة وهذا نادر تحقيقه، لأن هذه الكثافة يمكن أن تتراوح بين 2.6 غ/سم^3 للسيليكات و5 غ/سم^3 لبعض الأكاسيد أو الفلزات الثقيلة Heavy minerals .

D. درجة تخفيف المعلق كبيرة إلى الحد الذي تسقط كل حبيبة فيه باستقلال تام وبعيدا عن الحبيبات الأخرى، كما يفترض ذلك ثبات وسط الترسيب وعدم تعرضه لتغيرات درجة الحرارة، وإلى اضطرابات ودوامات مائية ناشئة عن سقوط الحبيبات الخشنة ذات الأقطار الأكبر من 0.005 مم والتي تتميز بسرعة سقوط كبيرة مما يعيق ترسيب الحبيبات الأصغر حجما. ولذا يفضل دائما فصل الحبيبات الكبيرة بالمناخل قبل قياس المجموعات الحبيبية الصغيرة بطريقة الماصة.

E. يكون تدفق سائل وسط التفريق حول الحبيبات الفردية صفيحياً وانسيابياً، ينعدم فيه كل ميل لتجمع الحبيبات الفردية، لتشكل حبيبات أو تجمعات مركبة. ومعلوم أن الغلاف المائي الذي يحيط بحبيبات التربة يحقق ذلك إلى حد كبير.

يمثل القطر الفعال (Effective diameter أو القطر الفعال (المكافئ) لسقوط الحبيبات Effective or equivalent settling diameter)، الأقطار المحسوبة للحبيبات حسب سرعة ترسبها من قانون ستوكس، وهي لا تساوي بالضرورة الأقطار الفعلية لتلك الحبيبات، ولكنها تشكل بمجموعها أبعاداً منتظمة تسقط حبيبات التربة بسرعة تساوي سرعة سقوطها.

- الطريقة الثانية – **طريقة الهيدروميتر Soil hydrometer**:

مبدأ الطريقة : في هذه الطريقة يكون الهيدروميتر مدرجاً بحيث يعطي قراءات R تمثل عدد غرامات التربة المعلقة في ليتر من المعلق الترابي، عند أزمان مختلفة بعد ترك الحبيبات لترسب، وذلك بافتراض

أن كثافة حبيبات التربة ρ_s تساوي 2.65 غ/سم^3 ، وأن وسط الانتشار هو الماء المقطر، وعلى هذا الأساس فإن قراءات الهيدروميتر ستتأثر بتغيرات درجة الحرارة (التي تؤثر بدورها في لزوجة η وسط الترسيب) وبتركيز المواد الكيميائية المستخدمة في تفريق العينة الترابية. ولذا كان لا بد من إجراء عملية تصحيح للقراءة R التي يعطيها الهيدروميتر لتعبر عن التركيز C الحقيقي لحبيبات التربة عند زمن القياس وهكذا نجد:

$$C = R - m$$

حيث m = معامل التصحيح الذي يتوقف على تركيز مادة التفريق ودرجة حرارة وسط الترسيب ويمكن استخراجها من جداول خاصة بالنسبة لدرجة الحرارة من جهة وبمعرفة تركيز مادة التفريق من جهة أخرى.

بعد تفريق العينة الترابية يترك المعلق الترابي يستقر لفترة زمنية t ثم يولج الهيدروميتر في المخبار (أسطوانة سعة 1 ليتر عادة) المحتوي على المعلق ، وتؤخذ قراءة الهيدروميتر التي تمثل بعد تصحيحها تركيز المعلق عند العمق h عندها تكون الحبيبات التي تزيد سرعة سقوطها v على h/t (ابتداء من سطح المعلق في الزمن t_0) قد تجاوزت العمق (المسافة) h في حين يبقى تركيز الحبيبات ذات السرعة الأقل من h/t ثابتا عند العمق h في الزمن t ذلك أن ما يتخطى منها هذا العمق يعوض بحبيبات أخرى تسقط من أعلى ولها سرعة السقوط نفسها ولذا فإن قراءة الهيدروميتر ستمثل تركيز الحبيبات التي يكون لها سرعة سقوط مساوية h/t أو أقل .

وهكذا فإن نسبة التركيز C في الزمن t (زمن القياس) إلى التركيز C_0 (التركيز الابتدائي) في الزمن t_0 (بداية عملية الترسيب) ستمثل النسبة المئوية للحبيبات التي لها سرعة سقوط v مساوية h/t أو أقل ،

$$p\% = \frac{100C}{C_0} = \frac{(R-m)}{W_T} \cdot 100$$

وعليه يكون لدينا:

حيث: p% =النسبة المئوية التراكمية للحبيبات Cumulative percentage

C ، C_0 = التركيز بالغرام / ليتراً في الزمن t و t_0 على التوالي.

m = معامل تصحيح تابع لدرجة حرارة القياس وتركيز المادة المستخدمة في تفريق الحبيبات الترابية.

R = قراءة الهيدروميتر غ / ليتراً.

W_T = وزن العينة الترابية الجافة تماماً التي يجري عليها التحليل (غ).

هذا ويستخدم قانون ستوكس في تعيين أقطار الحبيبات التي تمثل في حقيقة الأمر متوسط أقطار الحبيبات الفعالة Mean effective particle diameter.

بمعرفة الزمن t اللازم لاجتياز حبيبات الرمل للعمق (المسافة) h يمكن لقراءة الهيدروميتر R عند الزمن t بعد تصحيحها، أن تقابل تركيز حبيبات السلت والطين، وكذلك الأمر بالنسبة للمجموعات الميكانيكية الأخرى.

إنَّ أهم ما يؤخذ على هذه الطريقة من حيث المبدأ هو صعوبة تحديد العمق أو المستوى h الذي يقابل التركيز المعطى بقراءة الهيدروميتر بعد فترة زمنية t، الأمر الذي يجعل قراءة الهيدروميتر R غير مقترنة بسرعة سقوط معينة وهذا ما يجعل تحديد أبعاد الحبيبات المسؤولة عن التركيز المعطى بقراءة الهيدروميتر أمراً مشكوكاً فيه إذ لا يمكن معرفة العمق الحقيقي الذي تكون عنده قراءة الهيدروميتر ممثلة لتركيز المادة المعلقة بعد مضي فترة زمنية معينة.

إلا أنّ Day 1969 ، يفترض أن h هي المسافة بالـ سم من سطح المعلق الترابي في مخبار الترسيب إلى مركز (منتصف) جسم الهيدروميتر Hydrometer bulb ، وهكذا يمكن ربط قيمة h بقراءة

الهيدروميترR على الساق نفسها لتدريج الهيدروميتر وتصبح بذلك قيمة ثابت الترسيب Θ تابعة لقراءة الهيدروميترR، وهذا ما يمكن الرجوع إليه في الجدول (4) السابق.
أخيرا يمكن توقيع النتائج بيانياً على ورقة نصف لوغاريتمية (semi-log) بحيث توقع النسبة المئوية التراكمية للحبيبات (تدريجاً عشرياً) مقابل قطر الحبيبات d بالميكرون على محور السينات (تدريجاً لوغاريتمياً)، وبهذه الطريقة يمكن قراءة النسبة المئوية لأية مجموعة ميكانيكية أياً كان قطرها على محور العينات المقابل للقطر المفترض.

الجدول (4): تعيين قيم ثابت الترسيب Θ بمعرفة قراءات الهيدروميتر R من أجل تحديد أقطار الحبيبات d.

R	Θ	R	Θ	R	Θ
5-	50.4				
4-	50.1	11	46.4	26	42.2
3-	49.9	12	46.2	27	41.9
2-	49.6	13	45.9	28	41.6
1-	49.4	14	45.6	29	41.3
0	49.2	15	45.3	30	41.0
1	48.9	16	45.0	31	40.7
2	48.7	17	44.8	32	40.4
3	48.4	18	44.5	33	40.1
4	48.2	19	44.2	34	39.8
5	47.9	20	43.9	35	39.5
6	47.7	21	43.7	36	39.2
7	47.4	22	43.4	37	38.9
8	47.2	23	43.1	38	38.6
9	47.0	24	42.8	39	38.3
10	46.7	25	42.5	40	38.0

R = قراءة الهيدروميتر غ/ليتراً. Θ = ثابت الترسيب في درجة حرارة C_{30}°
وبافتراض كثافة حبيبات التربة Qs = 2.65 غ / سم^3 من أجل الهيدروميتر
(*American society for testing and materials) ASTM* , $_{152}$ H

4- عرض معطيات التحليل الميكانيكي وطرق تمثيل بياناته:

يلجأ بعد تعيين النسب المئوية للمجموعات الميكانيكية الثلاث:
الرمل والسلت والطين بإحدى الطرق أنفة الذكر، إلى وصف تركيبها الميكانيكي عن طريق تصنيفها من حيث القوام Texture ويتم ذلك بإعطاء التربة تسمية مختصرة تعبر عن التوزيع الحبيبي فيها ويعكس محتواها من العناصر الميكانيكية الثلاثة، ونسبة كل منها إلى الآخر.
يستخدم من أجل تحديد القوام مثلثان تصنيفيان هما الأكثر استخداما يعتمدان على النسب المئوية لكل من مجموعات الرمل والسلت والطين، وبذلك فهما يغفلان تماما تحت مجموعات الرمل كالرمل الخشن والمتوسط والناعم، وكذلك الأمر بالنسبة للسلت والطين، وهذان المثلثان التصنيفيان Textural triangles هما:

4-1- مثلث " وزارة الزراعة الأمريكية U.S.D.A. Triangle " وهو مثلث متساوي الأضلاع يعتمد على مجموعات الرمل والسلت والطين، درج فيه كل ضلع من الصفر إلى المائة ليعبر عن النسب المئوية لكل مجموعة (الشكل 3).

ففي المثلث المذكور تقسم الترب من حيث القوام إلى اثنتي عشرة مجموعة تبعا لنسب مجموعات الرمل والسلت والطين، وهكذا فإن نتائج التحليل الميكانيكي لأية تربة تمثل بنقطة تقع ضمن إحدى المجموعات الاثنتي عشرة، وهذه النقطة هي ملتقى ثلاثة خطوط موازية لأضلاع مثلث القوام، تؤخذ بداية كل منها من نقطة على أحد أضلاعه الثلاثة، لتعبّر – على التوالي- عن نسب الطين، السلت

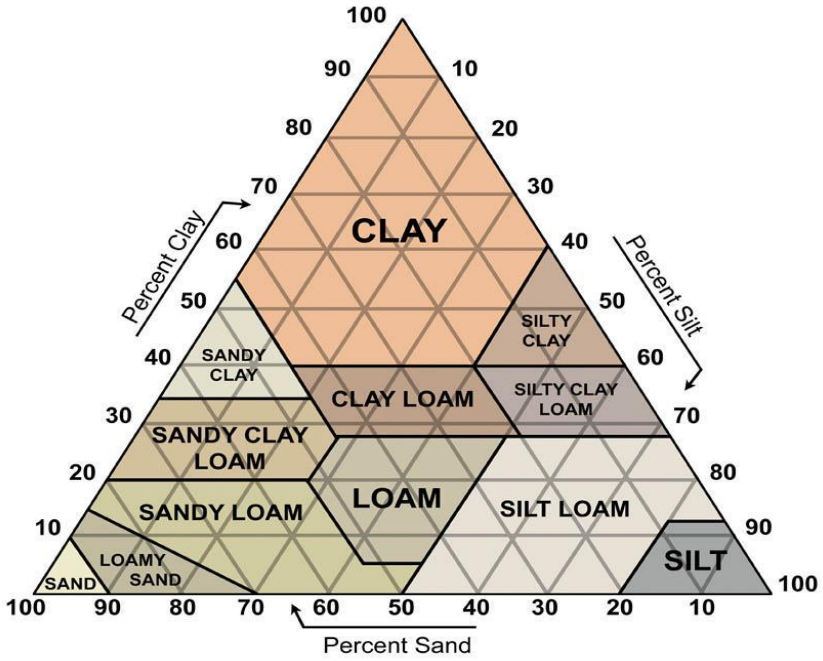
والرمل. فكل نقطة في المثلث تمثل ما مجموعة 100% من العناصر الميكانيكية الثلاثة ولاستعمال مثلث القوام المذكور تحدد نقطتان على ضلعي الطين والسلت تمثلان النسبة المئوية لكل منهما، ثم يقام ابتداء من النقطة الاولى المثبتة على ضلع الطين، خط داخلي مواز لضلع الرمل وآخر ابتداء من النقطة الثانية المثبتة على ضلع السلت، يكون موازيا لضلع الطين، وعند نقطة تقاطع الخطين المذكورين يتحدد قوام التربة ضمن إحدى مجموعات مثلث القوام الاثنتي عشرة.

وهكذا تمثل النقطة A في الشكل (4- ب) التركيب الميكانيكي التالي:

- 15 % من الطين (< 0.002 مم)
- 20 % من السلت (0.002- 0.050 مم)
- 65 % من الرمل (0.050 – 2.00 مم).

2-وتصنف التربة التي لها مثل هذا التركيب الميكانيكي، على أنها تربة ذات قوام رملي لومي (Sandy - loam).

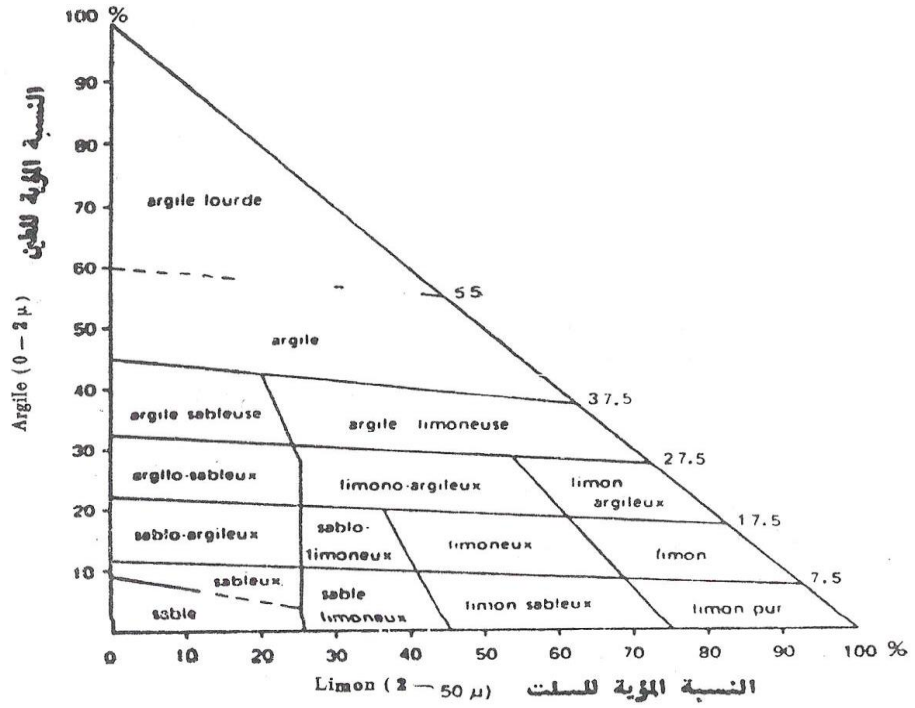
3-أما النقطة B فتمثل موقعا تتساوى فيه النسب المئوية لكل من المجموعات الميكانيكية الثلاث وتصنف التربة التي تمثلها هذه النقطة على أنها تربة ذات قوام طيني لومي (Clay - loam) (الشكل 3، ب).



الشكل رقم (4): مثلث تصنيف القوام الأمريكي U.S.D.A. Textural triangle
(وفيه الطين < 0.002 مم) و(0.002- 0.050 مم للسلت) و(0.050 – 2.00 مم للرمل)

2-4- مثلث القوام الفرنسي INRA – Triangle (مثلث Henin) قائم متساوي الساقين يعتمد في تصنيف الترب من حيث القوام على مجموعتي الطين والسلت فقط حسبما هو موضح بالشكل (4).

يقسم هذا المثلث إلى ست عشرة مجموعة تصنيفية اعتماداً على نسبة كل من مجموعتي الطين والسلت فقط، إذ لا ضرورة لاستخدام نسبة مجموعة الرمل فقد وجدنا بالنسبة لمثلث القوام الأمريكي أن نسبة الرمل ليست إلا مكملة لمجموع نسبتي الطين والسلت. ومن أجل تحديد القوام باستخدام هذا المثلث، تحدد نقطتان على ضلعي الطين والسلت تمثلان نسبتيهما المئويتين، ثم يقام من كل منهما عمود مواز لضلعي الطين والسلت على التوالي وهكذا تقع نقطة تقاطع العمودين في أحد حقول مجموعات المثلث التصنيفية.



الشكل (4): مثلث القوام الفرنسي (المعهد القومي للبحوث الزراعية INRA).

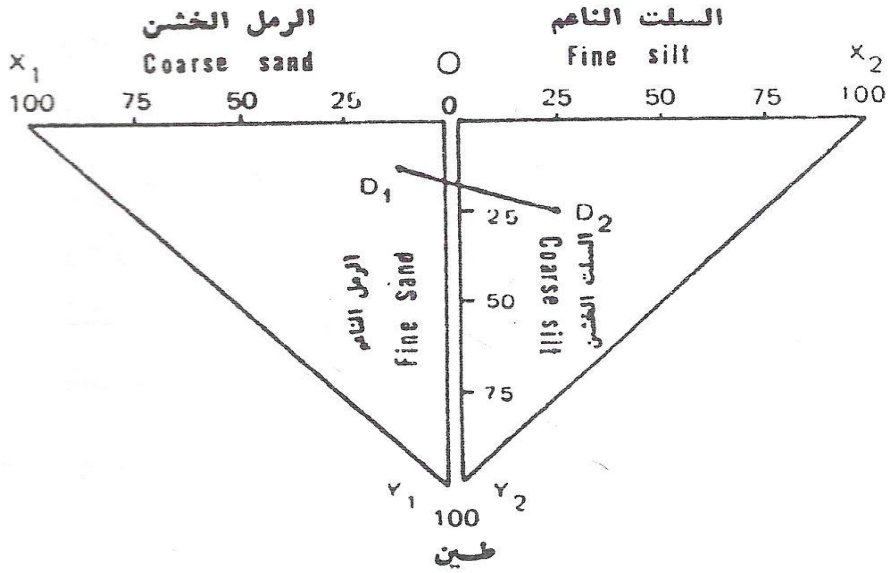
4-3- طريقة مثلثين قائمي الزاوية متساويي الساقين متجاورين: للتعبير عن القوام تعتمد هذه الطريقة على استخدام النسب المئوية لخمس مجموعات ميكانيكية بدلا من ثلاث. فقد استخدم Betremieux 1965 مثلثين قائمي الزاوية، متساويي الساقين متجاورين (متلاصقين) من جهة أحد الضلعين القائمتين لكليهما، كما في الشكل (5). الذي نحصل فيه على المثلثين (Y_1OX_1) و (Y_2OX_2)، اللذين يشكلان فيهما المحوران Y_1O و Y_2O المتجاوران، ضلعا مشتركا وكل ضلع قائم درج من الصفر إلى المئة ليمثل النسبة المئوية لإحدى المجموعات الميكانيكية على النحو التالي:

يمثل حسب هذه الطريقة كل تركيب ميكانيكي بنقطتين. تقع الأولى في المثلث اليساري (Y_1OX_1) و تقع الثانية في المثلث اليميني (Y_2OX_2) كما في الشكل (5). وعندما يوصل بين النقطتين D_1 و D_2 نحصل على قطع مستقيم يمثل التركيب الميكانيكي للتربة. أما مجموعة الطين فيمكن تثبيت نسبتها المئوية على محور يقام من النقطة O وعمودي على المستوي العلوي للمثلثين، أي عمودي على الضلعين OX_1 ، OX_2 وله طولهما نفسه، إلا أنه يمكن أن تعد النسبة المئوية لمجموعة الطين مكملة لمجموع النسب المئوية الأربع الأخرى. ولذا فإنه لا ضرورة لتمثيلها لكونها ممثلة ضمنيا في القطع المستقيم D_1D_2.
ويمثل المستقيم D_1 D_2 في الشكل 5، التركيب الميكانيكي التالي:

- رمل خشن 12.5%، رمل ناعم 12.5%، سلت خشن 25.0%، سلت ناعم 25.0% والطين 25.0%.

وتحدد النقطتان D_1 و D_2 في كل من المثلثين المتجاورين بالطريقة نفسها التي يتحدد بموجبها القوام بمثلث القوام الفرنسي السابق.
ومما تجدر الإشارة إليه، هو أنه كلما كان المستقيم D_1 D_2 قصيراً وقريباً من الصفر كان محتوى التربة من الطين عالياً.

يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار في هذه الطريقة، كل من نقطة بداية المستقيم وطوله، واتجاهه في آن واحد، وعلى الرغم من براعة ابتكار مثل هذا العرض لنتائج التحليل الميكانيكي، **إلا أنه يبقى أقل بساطة في تمثيله من مثلثي تصنيف القوام الأمريكي والفرنسي وأقل** استخداما منها.



الشكل (5) تمثيل القوام اعتماداً على خمس مجموعات ميكانيكية (طريقة بتريميو 1965)
- الرمل الخشن على الضلع OX_1 ، الرمل الناعم على الضلع OY_1 .
- السلت الخشن على الضلع OY_2، السلت الناعم على الضلع OX_2 .

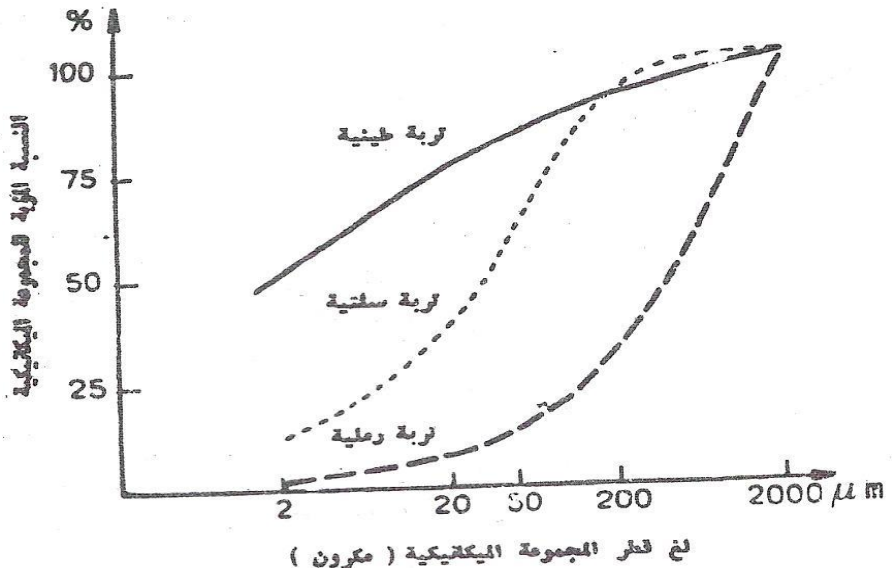
4-4- طرائق أخرى لعرض نتائج التحليل الميكانيكي:

توجد طرائق عدة نذكر منها:

4-4-1- <u>طريقة منحنى المجموع أو التراكم</u> Summation curve: يتم تمثيل معطيات التحليل الميكانيكي بيانياً، على ورقة بيانية نصف لوغاريتمية (Semi- log) بشكل يربط فيه بين مجموع النسب المئوية للمجموعات الميكانيكية من جهة على (محور العينات، تدريجاً عشرياً)، مقابل لوغاريتم متوسط القطر المكافئ (أو الفعال) أو سرعة الترسيب على (محور السينات تدريجاً لوغاريتمياً) كما يبين الشكل (6).

تعبّر أشكال المنحنيات التراكمية لثلاث ترب متباينة طينية وسلتية ورملية الشكل (6)، ففي الأول يكون شكل المنحني محدباً ويشير إلى أن الحبيبات الأكثر نعومة تكون هي السائدة، أي أن التربة قد قطعت أشواطاً بعيدة في تكوين التربة عبر الزمن، أما في الترب الرملية فيكون شكله مقعراً مشيراً إلى سيادة المجموعات الميكانيكية الخشنة، أي أن التربة ما زالت فتية في مراحل تشكل التربة، وتأخذ التربة السلتية منحنى ذا شكل يتوسط بين التربتين الطينية والرملية.

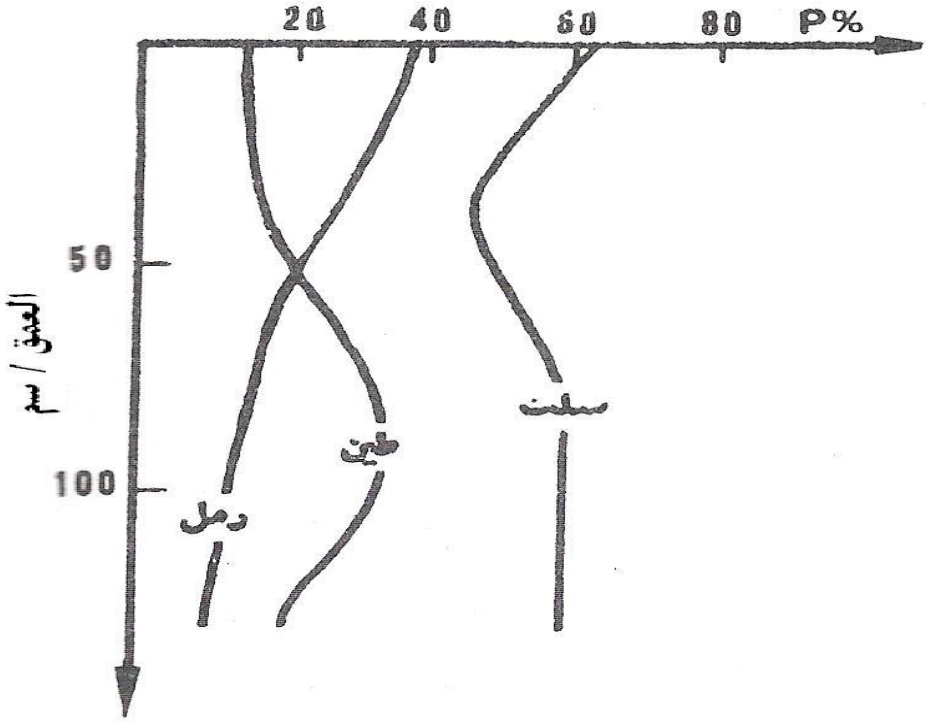
فمنحنى المجموع أو التراكم يبين مدى انتظام توزع حبيبات التربة كما يسمح بتعيين النسب المئوية التراكمية لأي مجموعة ميكانيكية تتراوح أبعادها بين حدين أدنى وأقصى وذلك بقراءة هذه النسب على محور العينات المقابلة للقطر المطلوب، إضافة إلى حساب معامل الانتظام والتدريج U الذي ينبئ كثيرا عن الخواص الهيدروليكية للتربة وعن تماسكها ولدونتها.



الشكل (6): المنحنى التراكمي لثلاث ترب مختلفة القوام.

4-2-4- <u>طريقة منحنى التوزع العمودي (قوام المقطع الأرضي Texture profile)</u>:

يتم التمثيل البياني الشكل (7)، لمعطيات التحليل الميكانيكي للتربة، كنسبة مئوية مقابل الأعماق التي تمثلها من المقطع الأرضي، **ويفيد مثل هذا التوزع في دراسة الظواهر البيدولوجية من انغسال للطين وهجرته من الآفاق العليا A وتراكمه في الآفاق الأدنى B_t ، ومعدل هذا التراكم وانتظامه عبر عمق المقطع الأرضي كما يشير إلى حدوث عمليات بيدولوجية تطورت محلياً في " موقعها " أم أن هناك انتقالاً أو ترسباً للمواد من أماكن أخرى بعيدة عن موقع المقطع الأرضي أو الأفق المعني بالدراسة، ويكون ذلك عن طريق تتبع درجة تجانس توزع المجموعات الميكانيكية المختلفة، وبخاصة مجموعتي الطين والسلت، اللتان تميزان الآفاق المختلفة في المقطع الأرضي "بطيف حبيبي" خاص بهما** Granulometrical spectrum.



(الشكل 7) – توزع المجموعات الميكانيكية مع عمق المقطع الأرضي.

تصنف الترب حسب قوامها إلى ثلاث فئات كبرى:

الترب الثقيلة أو الطينية: هي الترب ذات القوام الناعم أي الطينية، وتكون نفاذيتها للماء بطيئة نوعاً ما ولها قدرة عالية على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية، وأكثر تماسكاً عند الجفاف، وأعلى والتصاقاً بأدوات العمل الزراعي، أي أنها أكثر صعوبة عند استعمالاتها الزراعية، ولذا توصف بأنها ثقيلة[1] "Heavy".

مواصفات الترب الثقيلة أو الطينية: تتميز غالبية الأراضي الطينية بأنها:

1- تحتوي على نسبة 40 % أو أكثر من الحبيبات الناعمة الطينية.

2- نفاذيتها للماء بطيئة نوعاً ما، وذلك بسبب احتوائها على نسبة منخفضة من المسامات الواسعة.

3-تحتفظ بالمياه اللازمة لنمو النبات بنسبة عالية، وتتواجد مسام طبقية بين حبيباتها تكون مملوءة بالماء والهواء اللازمين لحياة النباتات.

4- عالية الخصوبة، وذات مخزون عالي، من العناصر المغذية اللازمة لنمو النباتات.

5-تحتفظ نوعاً ما بالأسمدة الكيماوية المضافة لها.

6-تكون حبيباتها المفردة متجمعة على شكل حبيبات مركبة، وهذا يعطيها البناء الحبيبي.

7-تكون شديدة التماسك عند الجفاف، وتظهر فيها شقوق غائرة، وتعد هذه علامة من علامات الخصوبة، أما عند امتلائها بالماء فتصبح الأتربة لزجة.

8- تتميز بأنها صعبة الخدمة، وتعلق على أدوات العمل الزراعي، فتعيق العمليات الزراعية.

الترب الخفيفة أو الرملية: هي الترب التي تحتوي على نسبة عالية من الحبيبات الرملية الخشنة وذات نفاذية عالية، وتهوية جيدة، لكنها أقل احتفاظا بالماء (سعة رطوبية) والعناصر الغذائية، وتكون أقل تماسكاً والتصاقاً بأدوات العمل الزراعي، كما تكون سهلة الخدمة والاستعمال، ولهذا توصف بالترب الخفيفة" light".

مواصفات الترب الخفيفة أو الرملية:

1- تحتوي على نسبة عالية من الحبيبات الرملية الخشنة بحدود 50% أو أكثر من وزنها.
2- نفاذيتها للماء عالية وتهويتها جيدة.
3- تمتاز بقلة احتفاظها بالماء.
4- غالباً ما تكون فقيرة بالعناصر المغذية التي يحتاجها النبات.
5- لا تستطيع الاحتفاظ بالأسمدة الكيماوية المضافة لها.
6- حبيباتها مفردة وبناؤها مفكك وهذا ما يجعلها عرضة للانجراف بالرياح.
7- تكون أقل تماسكاً والتصاقاً بأدوات العمل الزراعي وسهلة الخدمة إلا أن أقنية الري المنشأة فوقها تتعرض للانهيار.

الترب المتوسطة القوام، أو اللومية هي الترب التي تحتوي على نسب متساوية من الحبيبات الخشنة والناعمة والطينية، وتكون متوازنة في مجمل صفاتها الفيزيائية والكيميائية، أي وسطاً بين الترب الثقيلة والخفيفة كالترب الطميية.

****مواصفات التربة المتوسطة القوام أو اللومية:**

1- تحتوي على نسب متساوية من الحبيبات الخشنة والناعمة والمتوسطة.
2- تهويتها جيدة، ونفاذيتها متوسطة.
3- احتفاظها بالماء معتدل.

---

[1] - إن اصطلاحي الترب " الثقيلة " و " الخفيفة " شائعي الاستخدام في التعبير عن السلوك الفيزيائي للترب للأسباب أنفة الذكر أعلاه، يصبحان غير ملائمين عندما يتعلق الأمر بكتلة واحدة الحجم من كل من الترب الطينية والرملية، إذ أن الترب خشنة القوام تكون أعلى كثافة وأقل مسامية من الترب ناعمة القوام وعليه فإن واحدة الحجوم من الترب الرملية تكون أثقل من الواحدة نفسها للترب الطينية.

4- خصوبتها أقل من خصوبة الأراضي الطينية.
5- لا تظهر بها تشققات عند الجفاف.
6- سهلة الخدمة نوعاً ما، ولا تعلق على أدوات العمل الزراعي.
7- تحتفظ نوعاً ما بالأسمدة الكيماوية المضافة لها.

وقد وجدنا أنَّ مثلث القوام يعتمد أساساً على نسب مجموعات الرمل والسلت والطين بعضها إلى بعض من أجل تصنيف الترب من حيث القوام، ويغفل المواد العضوية وكربونات الكالسيوم، على الرغم من تأثيرهما في قوام التربة وبنائها، وبالتالي في العديد من خواصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. ولذلك فقد اصطلح على إضافة كلمتي " دبال " أو " كلس " كبادئتين أو كلاحقتين حسب غنى التربة بأي منها، وبخاصة عندما تتجاوز نسبة الدبال 5% وكربونات الكالسيوم 15%.

نهاية المحاضرة السابعة

المرجع :الدكتور عصام شكري الخوري – جامعة البعث