الجمهورية العربية السورية
جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية

المحاضرة النظرية الثامنة
بناء التربة ومورفولوجيتها الدقيقة
Soil Micromorphology and Structure

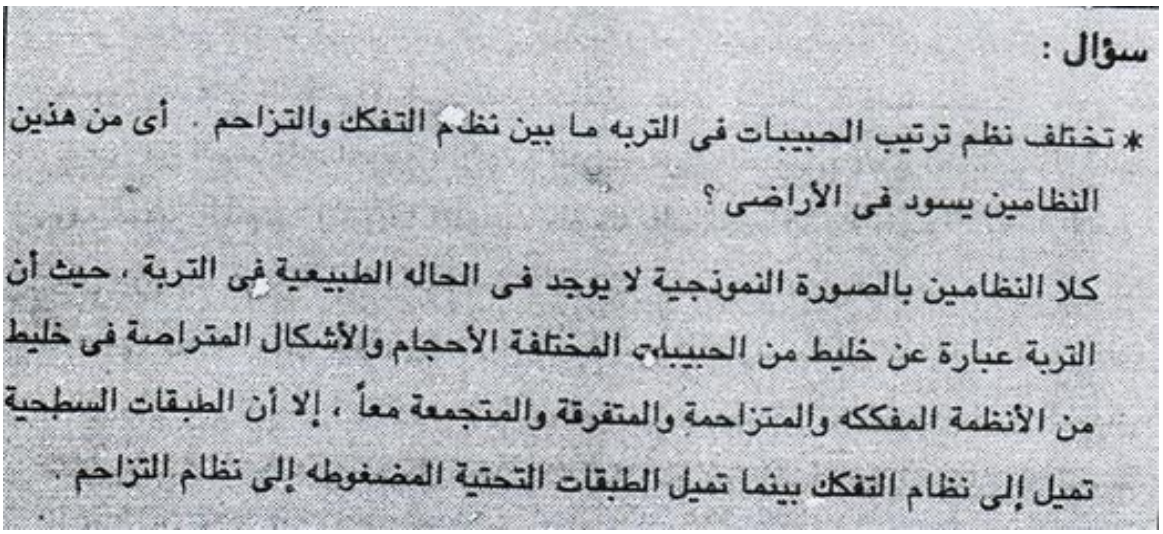
3-1- بناء التربة: Soil structure

يعرف بناء التربة بأنه: الحالة الطبيعية لمادة الأرض والتي يمكن وصفها عن طريق، حجم وشكل ونظام ترتيب الحبيبات الصلبة، وما تحصره فيما بينها من فراغات مكونة حبيبات أكبر حجماً Aggregates، تأخذ نمطاً معيناً يطلق عليه بناء التربة.

أو هو نظام تجميع حبيبات التربة الفردية الأولية والثانوية في مجاميع، مكونةً حبيبات أكبر حجماً Aggregatesوشكل هذا التجمع والفراغات Voidsمعاً، تأخذ نمطاً معيناً يطلق عليه بناء التربة.
تأخذ حبيبات التربة المركبة (حباتها) أو تجمعاتها المكونة من ارتباط الحبيبات المركبة الصغيرة فيما بينها أشكالاً وأبعاداً تختلف من تربة لأخرى، ومن أفق لآخر في التربة الواحدة، مما يعكس منحى تطورياً موروثاً ومميزاً لمواد أم في ظروف تكوين خاصة.
تتميز تلك البنى بخواص مورفولوجية عامة متغيرة نسبياً في الشكل والأبعاد والتماسك واللون، إلاَّ أنَّ لها خواص مورفولوجية دقيقة Micromorphology أقرب إلى ثبات المواصفات وديمومة الوجود.

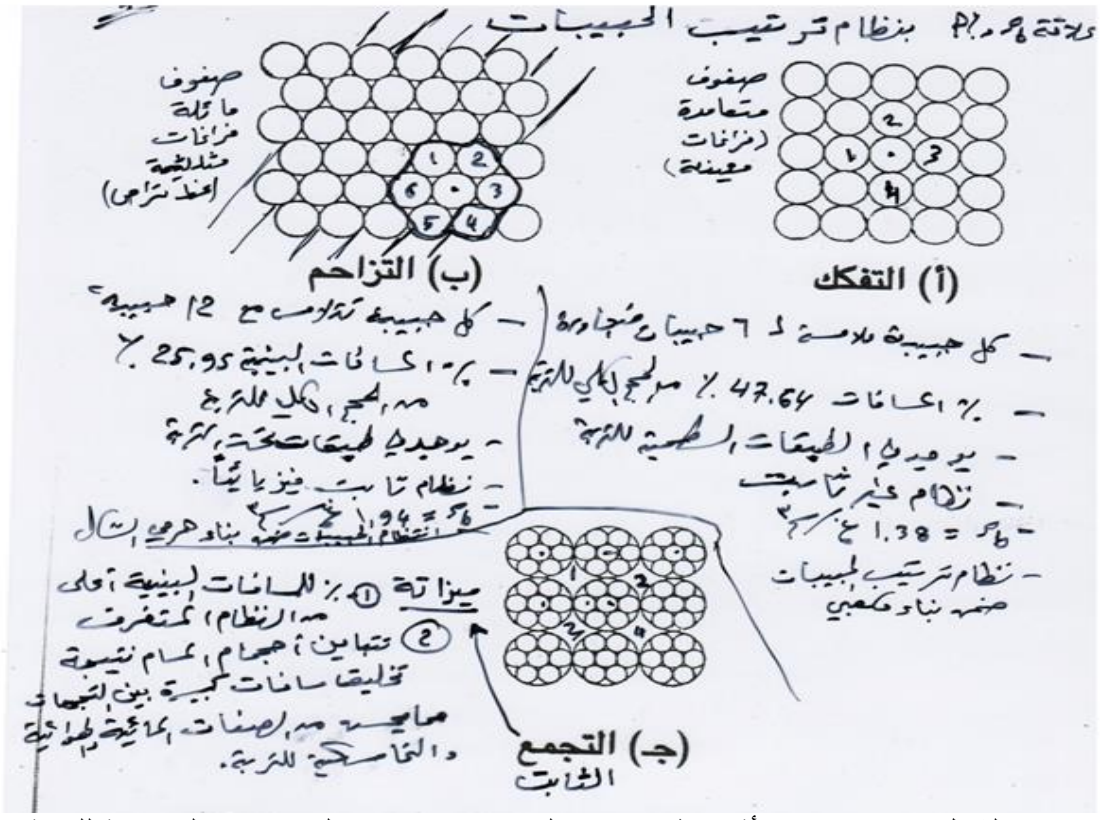
3-1-2- بناء التربة بمفهومه الميكرمورفولوجي:

لا يستخدم بناء التربة بمفهومه الميكرمورفولوجي للإشارة إلى التنسيق والتنظيم البنيوي لمكونات التربة فحسب؛ بل يشير إلى البنية الداخلية Inner fabric لكتلة التربة عبر التنسيق الفراغي لحبيباتها ومكوناتها السائلة والغازية التي تشكل الفراغات المرافقة، وهذه البنية وذلك التنظيم الفيزيائي لمكونات التربة، إنما يعكسان عمليات الإذابة والترسيب وحركة المواد والعناصر، والتجوية والتفكك التي تحدث في التربة بفعل الأحياء المختلفة وعوامل البيئة الأخرى المحيطة، والشكل (1) يوضح نظام ترتيب الحبيبات وعلاقته ببعض الخصائص الفيزيائية والمائية للتربة.


سؤال :

* تختلف نظم ترتيب الحبيبات فى التربه ما بين نظم التفكك والتزاحم . أى من هذين النظامين يسود فى الأراضى ؟

كلا النظامين بالصورة النموذجية لا يوجد فى الحاله الطبيعية فى التربة ، حيث أن التربة عبارة عن خليط من الحبيبات المختلفة الأحجام والأشكال المتراصة فى خليط من الأنظمة المفككه والمتزاحمة والمتفرقة والمتجمعة معاً ، إلا أن الطبقات السطحية تميل إلى نظام التفكك بينما تميل الطبقات التحتية المضغوطه إلى نظام التزاحم .



الشكل رقم (1) يبين تأثير نظام ترتيب الحبيبات في بعض الخصائص الفيزيائية للتربة

3-2- المستويات التنظيمية للبناء الارضي:

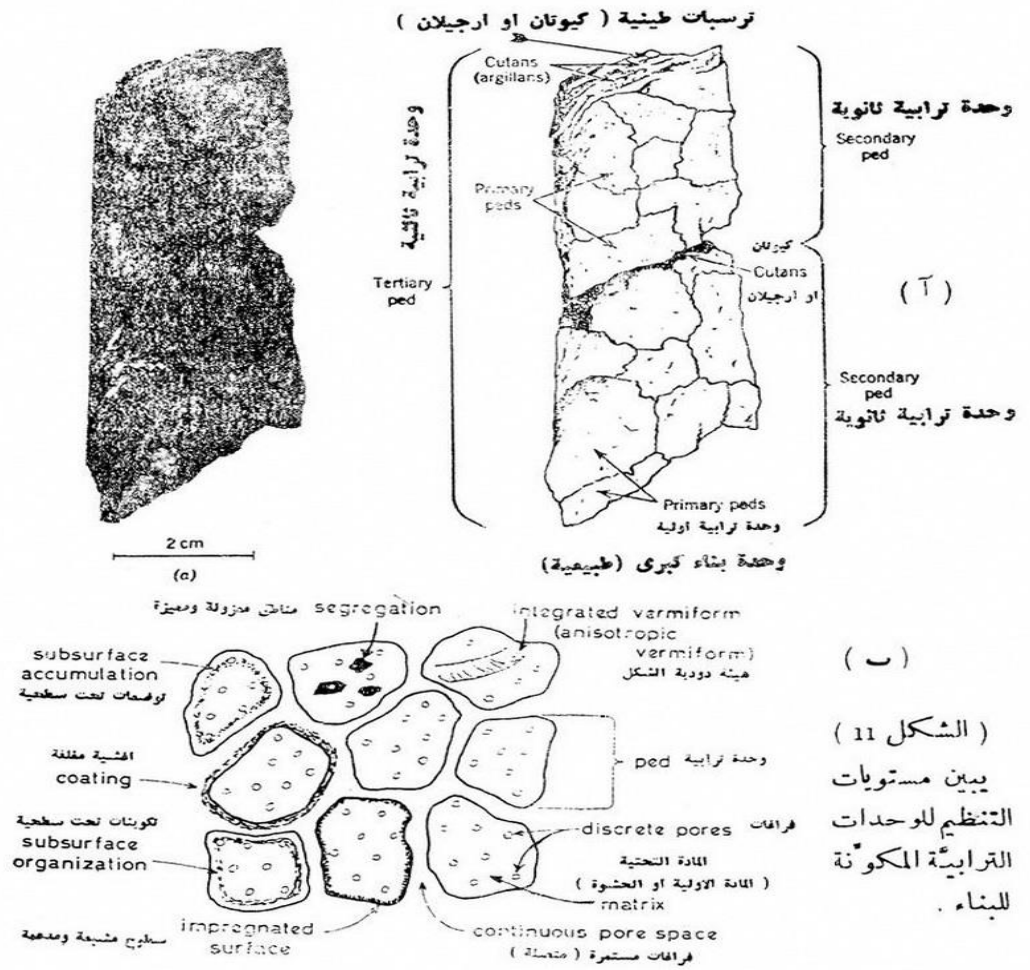
يعدّ مفهوم بناء التربة متمماً لمفهوم قوامها، لأن الأول يعتمد على الحالة الغروية للتربة ونسبة الغرويات والمواد الجامعة (الرابطة) فيها، وهكذا يمكن للتجمعات الأولية Primary peds للتربة كوحدات تجمعية Aggregates أن ترتبط بعضها ببعض مكونةً تجمعات أو وحدات ترابية ثانوية أكبر Secondary peds أو تجمعات مركبة Compound aggregates , ويمكن لهذه الأخيرة أن تشكل باجتماع اثنين أوأكثر منها ,وحدات ترابية ثالثية Tertiary peds أومركبة Compound peds .

المستويات التنظيمية: يوجد درجات مختلفة من المستويات التنظيمية، تتدرج من:

- **البناء المفكك** أوالمفرد (Loose) فالبناء الأولي Primary structure الذي يمثل أصغر تجمع حبيبي Aggregate يمكن ملاحظته عياناً.

- **ثم البناء الثانوي** Secondary structure، الذي يعتمد على الشكل والحجم ونمط تنسيق التجمعات الحبيبية الأولية الصغيرة وتنظيمها ضمن كتلة وحدة البناء الثانوي، وتبعاً للفراغات الفاصلة بينها Interpedal voids,

يأتي أخيراً البناء الثالثي Tertiary structure كأكبر تجمع حبيبي يمكن أن يتماسك كوحدة بناء كبيرة تحت وقع التأثيرات الميكانيكية لعمليات حراثة الأرض والتحطيم اليدوي لكتلة التربة في الحقل كما هو موضح في الشكل (2).



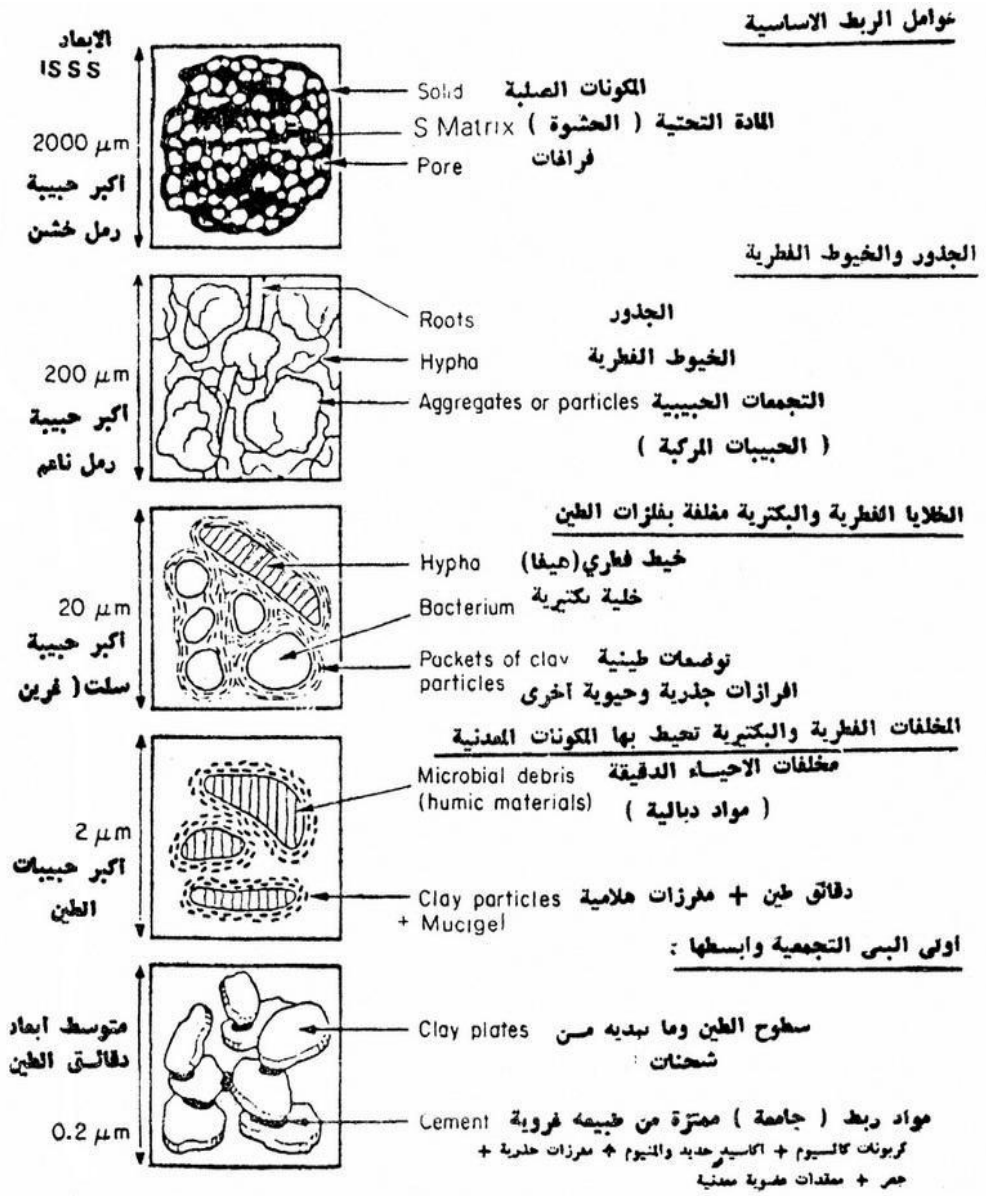
(الشكل 11)
يبين مستويات التنظيم للوحدات الترابيّة المكوّنة للبناء .

الشكل رقم (2): يبين مستويات التنظيم للوحدات الترابية المكونة للبناء.

3-2-1- تجمع حبيبات التربة وربطها:

تسهم الجذور النباتية والأحياء الدقيقة- من فطرية وبكتيرية عبر مفرزاتها وانتشارها الكبير محتواةً بين حبيبات التربة الفردية، وممتزةً على سطوحها، وإثر تحلل مخلفاتها وتدبلها - في تجمع حبيبات التربة وربطها، فتلعب بذلك دوراً هاماً في منح التربة بناءً خاصاً بها، يتوقف في نمطه وأبعاده على طبيعة التركيب الفلزي للتربة ودرجة النشاط الجذري والحيوي بصورة عامة في التربة، والعمليات البيدولوجية السائدة.

يبيّن الشكل (3) أبعاد مستويات البنى التنظيمية للربط والتجميع اللذين تسهم بهما الأحياء الدقيقة والجذور النباتية عبر نشاطهما الحيوي وما تفرزه من مركبات سكرية متعددة Polysaccharides سواء أكانت متجانسة أم غير متجانسة كالسكريات المتعددة المخاطية Mucopolysaccharides أوالبولي يورينيدات Polyurinides , أو ما تفرزه الجذور النباتية من مواد هلامية لزجة ذات طبيعة سكرية متعددة أيضاً تعرف تحت اسم Mucilage التي أضحى من الثابت أنها تلعب دوراً هاماً ليس في تكوين التجمعات الحبيبية Aggregates فحسب، بل وفي درجة ثباتها Structural stability تجاه عوامل التحطيم والانهيار بفعل الأمطار أو عمليات خدمة الأرض المعتادة.



الشكل رقم (3): عوامل الربط الاساسية وأبعاد مستويات البنى التنظيمية للربط والتجميع الناتجة عن الأحياء الدقيقة والجذور النباتية عبر نشاطهما الحيوي.

3-2-2- آلية تشكل التجمعات الترابية الجذرية:

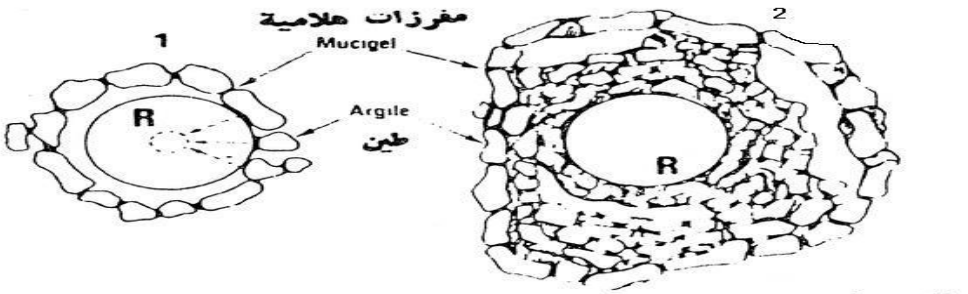
1- يغطي السطح الخارجي لبشرة الجذور النباتية خلال فترة نموها واستطالتها بطبقة من المفرزات اللزجة Mucigel أو Mucilage وبسماكة تتراوح بين بضعة ميكرونات إلى 100µ.

2- تتكون تلك المفرزات في معظمها من السكريات المتعددة Polysaccharides واليورينيدات المتعددة Polyurinides وبعض البروتينات الدهنية Lipoproteins,

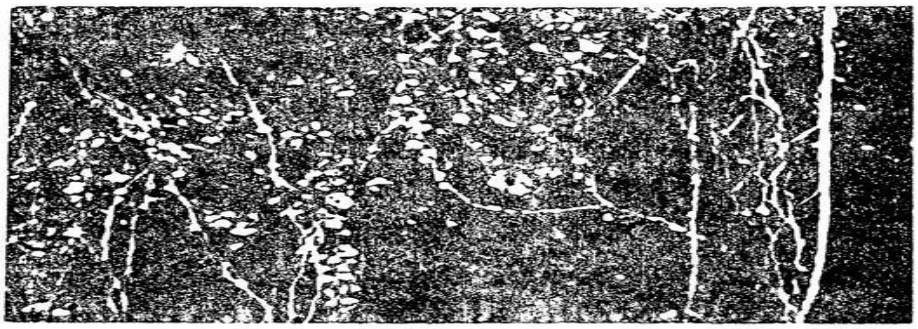
3- تشكل تلك المفرزات مرتعاً خصباً لنمو الأحياء الدقيقة، ولامتزاز دقائق فلزات الطين التي تقل أبعادها عن2µ، مشكلةً بذلك الخطوة الأولى نحو تكوين التجمعات الحبيبية الدقيقة الثابتة Stable micro aggregates حول الجذور النباتية.

4- تفيد هذه التجمعات الطينية الأصل، التي تشكل المفرزات الجذرية Mucigel لحمتها ووسيلة ترابطها، في حماية الجذور التي تحيط بها, من الجفاف, موفرةً لها التغذية المائية والمعدنية طالما ظل محتوى التربة الرطوبي مناسباً، **أما عند جفاف التربة فإن طبقة المفرزات الجذرية Mucigel تبدأ بالانكماش والانفصال التدريجي عن بشرة الجذور، لتشكل بذلك جسوراً بين التجمعات الحبيبية الطينية الأولية التي**

لا تلبث أن تلتصق مع غيرها معطيةً تجمعات حبيبية أكبر، وينتشر مثل هذا التماس بين التربة والجذور في الأوساط النشيطة حيوياً, التي تتعاقب فيها بانتظام فترات الجفاف والترطيب Drying & Wetting. كما في الشكل (4).



التجمعات الحبيبية الترابية حول الجذور بعد تعاقب طوري الجفاف والابتلال -- ارتباط حبيبات الطين بجسور من المفرزات الجذرية



تجمعات ترابية جذرية (تحيط بالجذور)

الشكل رقم (4): آلية تشكل التجمعات الترابية الجذرية

3-3- عوامل تكوين البناء الأرضي وثباته:

يتأثر بناء التربة تكويناً وثباتاً بمجموعة من العوامل أهمها:

3-3-1- غرويات التربة: تشمل الغرويات المعدنية كفلزات الطين المختلفة، والغرويات الدبالية والمعقدات العضوية المعدنية Organo-metallic complexes أو المعقدات الطينية الدبالية Clay-humic complexes.

تعطي فلزات مجموعة المونتموريونيت القابلة للانتفاخ أفضل التجمعات الحبيبية مقارنةً بالفلزات غير القابلة للانتفاخ، كما يتشكل بوجود الحموض الدبالية الرمادية Gray humic acids الأكثر بلمرة والأعلى وزناً جزيئياً، أكثر أنواع البناء ثباتاً.

يتم الارتباط بين الحبيبات الفردية للفلزات الطينية، أو بينها وبين المواد الدبالية، عبر جسور كاتيونية نظراً لكونهما من الغرويات سالبة الشحنة بشكل عام.

تتراوح هذه الجسور بين الكاتيونات المنتشرة في محلول التربة، والأكاسيد، والهيدروكسيدات والمركبات التي تحمل كلها شحنات سطحية موجبة. وتحكم عملية الارتباط هذه عوامل فيزيا- كيميائية عديدة، وتتم بأكثر من آلية واحدة.

3-3-2- أكاسيد الحديد والألمنيوم وهيدروكسيداتهما:

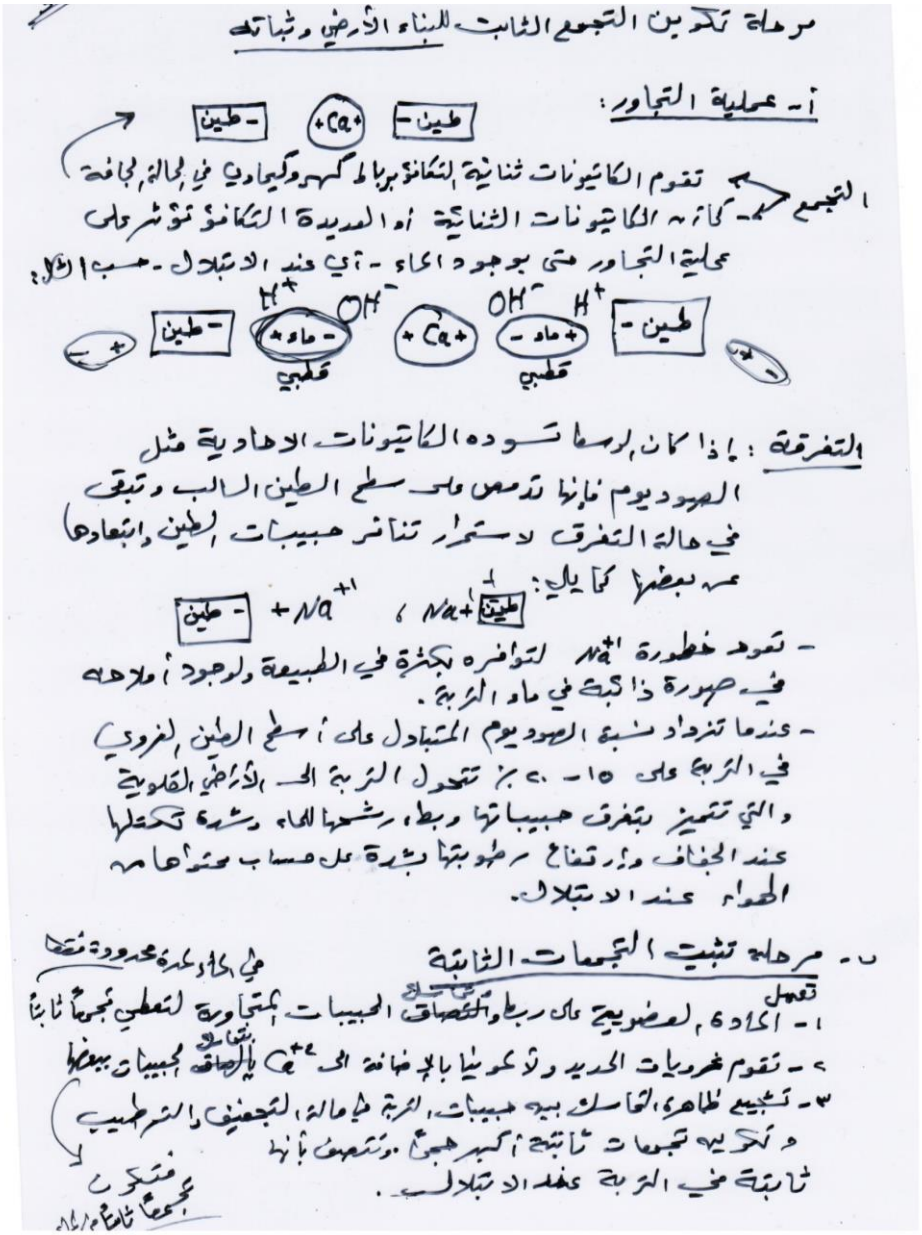
تبدي هذه المركبات خواص غروية واضحة عبر عمليتي البعثرة Dipersion والتجمع (التحوصب أو التسبّخ) Flocculation اللتين تقودان إلى ترسيبها، وتجميع حبيبات التربة (تحببها) Aggregation عند جفافها. وتؤدي هذه الأكاسيد مهمة الربط بين السطوح المشحونة سلباً، عبر شحناتها الموجبة في

معظم الحالات، وهي توجد بأشكال مختلفة، منها الغروي الحر، أو المرتبط بالمعقدات العضوية أو الطينية-الدبالية، أو المتبلور.

3-3-3- كربونات الكالسيوم:

تلعب كربونات الكالسيوم التي توجد بأبعاد حبيبات السلت الناعم، وما دون ذلك، دوراً هاماً في تكوين التجمعات الترابية وتماسكها، وبخاصة إثر عملية ترسيبها، بدءاً من ثاني كربونات الكالسيوم الذائبة، لتشكل- بالاشتراك مع المواد الدبالية- أغشية رقيقة تغلف الحبيبات الأكبر حجماً، كما هو الحال في التجمعات الحبيبية لتربة الرندزين، وقد تتطور هذه الترسبات الكلسية وتتصلب متحولةً إلى كالسيت Calcite أو أباتيت، أو عقد كلسية Concretions أو قشرة صلبةCrust .

يتميز كل من الكالسيوم والمغنيسيوم ككاتيونين متميزين(متبادلين) أو ذائبين بأهمية خاصة في تجميع حبيبات التربة الناعمة، بينما يلعب الصوديوم دوراً مضاداً، إذ يميل إلى تفريق الحبيبات الفردية وبعثرتها Peptizing & dispersion كما هو موضَّح في المخطط (5).



المخطط رقم (5): يوضح دور الكاتيونات ثنائية التكافؤ في تجميع الحبيبات والصوديوم في تفريقها.

3-3-4- المادة العضوية والمكونات الدبالية، والمفرزات الجذرية والفطرية والبكتيرية، وتسهم كلها بدرجات متفاوتة في التحام الحبيبات الفردية وربطها وتكوين التجمعات الأولية، ويكون ذلك غالباً عبر كاتيونات تعمل كجسور اتصال بينها، وقد سبقت الإشارة إلى إسهام المفرزات الجذرية في تشكل التجمعات الترابية.

3-3-5- تعاقب ابتلال التربة وجفافها والدور الذي يلعبه الماء كمركب ثنائي الأقطاب, فما تبديه بروتونات جزيئاته من شحنات موجبة عند أطرافها, وشحنات سالبة يكتسبها الطرف الآخر المتمثل بالأوكسجين, يزيد من قوى التماسك Cohesion بين الأطراف المتعاكسة الشحنة لجزيئات الماء نفسها, وبين هذه الأخيرة وبين أي كاتيون أو أنيون موجود في الوسط كالسطوح الطينية أو الدبالية التي يمكن أن ترتبط بها جزيئات الماء عبر جسور كاتيونية، أو مباشرةً عن طريق جزيئات الماء ثنائية الأقطاب, وفي كلتا الحالتين فإن الماء يلعب دوراً مباشراً في عملية التحام الحبيبات الفردية وربطها, مما يقود إلى تشكيل التجمعات الحبيبية الأولية والثانوية, ولكن ذلك لا يحدث إلا بعد جفاف التربة وتبخر جزيئات الماء واقتراب الحبيبات الفردية بعضها من بعض عبر جسر كاتيوني أو مباشرةً دون أي وسيط.
ومهما يكن من أمر، فإن لعملية تعاقب ابتلال التربة وجفافها الأثر الأكبر في عملية تشكل التجمعات الحبيبية الأولية والثانوية، ومن ثم التجمعات الحبيبية Aggregates الأكبر بتضافر باقي العوامل آنفة الذكر.

3-3-6- أثر الماء وتحولاته في التربة:
يسهم الماء سلباً أو إيجاباً في عملية تكوين بناء التربة واضطرادها أو تحطيم البناء الموجود وتراجعه تبعاً للظواهر التي تحدث في التربة ومحيطها وهي:

أ- **الانتفاخ والانكماش Swelling &Shrinkage** اللذان يصيبان الأجزاء الناعمة من التربة التي تتميز بالصفات الغروية، ويقودان إلى تطوير مستويات الانفصام والتحطيم تبعاً لمستويات الهشاشة.

ب- **التوتر السطحي Surface tension** الناجم عن وجود سطوح تماس بين التربة من جهة والماء والهواء المحتبسين بين حبيباتها الصلبة من جهة أخرى.

وهكذا فبمجرد تسرب الهواء المحتجز يؤدي إلى تحطيم وحدات البناء الكبيرة وتفتيتها إلى وحدات أصغر فأصغر.

ت- **التجمد والذوبان Freezing & Thawing**

يتوقف أثرهما في بناء التربة على محتواها الرطوبي، وسرعة التجمد والذوبان (الانصهار)، وحجم الفراغات أو المسام البينية ومنحنى توزع أبعادها. فلا تأثير للتجمد في التربة الجافة أو الترب الرملية ذات الفراغات كبيرة الحجم، في الوقت الذي يتعاظم أثرها في بناء الترب الرطبة، اللومية القوام، ويكون أوضح في الطينية منها، كما أن تكرار التجمد والانصهار يضاعف من تأثيرهما في بناء التربة بعثرةً وتحطيماً. ويحافظ التجمد البطيء على التجمعات الحبيبية الصغيرة، إلا أنه يحطم التجمعات والكتل الكبيرة فاصماً إياها وفق سطوح الانفصال والانقصاف السائدة في بنيتها (النسيجية أو التطبقية).

ث- **الأثر التحطيمي للهطول المطري:**

تسبّب قطرات المطر بما تمتلكه من طاقة حركية تناثر لكميات هائلة من حبيبات التربة نتيجة الوقع الميكانيكي على تجمعات التربة Aggregates, وهذا ما يطلق عليه بالتعرية التناثرية Splash erosion وفيها تنفصل حبيبات التربة الفردية أو تجمعاتها الأولية عن باقي كتلة التربة نتيجة تحطم الروابط القائمة بينها، لتصبح بذلك حرة ومفككة، تكون إثر ذلك عرضةً للانتقال والتوضّع مترسبةً بعيداً عن أماكن وجودها الأصلية بفعل الجريان السطحي.

3-3-7- عوامل أخرى:
وتشمل باقي العوامل البيئية والأرضية والطبوغرافية ونظم استثمار الأرض وزراعتها، والدورة الزراعية المتبعة، وأساليب خدمة الأرض من حراثة وعزق وري، وبرنامج تخصيب واستصلاح وصيانة، تضاف لكل ذلك التغيرات الموسمية التي يحدثها النشاط الحيوي والنمو النباتي والجذري بخاصة في تطور تجمعات التربة وبنائها.

3-4- ثبات البناء وطرائق دراسته
Structure stability

نظراً للدور الكبير الذي يلعبه بناء التربة وشكل تجمعاتها الحبيبية في مجمل خواص التربة، فإن صيانة هذا البناء بالإبقاء عليه إذا كان مناسباً، أو توجيهه نحو الأفضل بشتى الوسائل، يعد أمراً بالغ الأهمية ويقتضي تتبع ثبات هذا البناء Stability أو قابليته للتحطيم والانهيار تحت الظروف الطبيعية من عمليات خدمة وري وتخصيب وسواها.

يستخدم في قياس بناء التربة أو تحديد درجة ثباته، نوعان من الطرائق:

أ- طرائق تتبّع بعض الثوابت الخاصة المميزة للبناء، كالتماسك والترابط Consistency & Cohesion، أو المسامية Porosity، أو سرعة الرشح أو التسرب Infiltration or Percolation (التوصيل الهيدروليكي).

ب- طرائق تتبّع تطوّر التجمعات الحبيبية أو الكتل الترابية عن طريق دراسة عناصرها الميكانيكية (Granulometric) أو درجة تحببها أو تجمعها مقارنة مع حالة قياسية ابتدائية، لدى تعريضها لفعل تحطيمي (أو تخريبي) مائي، أو ميكانيكي أو غيرهما، يبين مدى مقاومة هذا البناء لفعل هذه القوى. ويمكن أن تجرى هذه القياسات في المختبر أو في الحقل.

3-4-1- آلية تدهور البناء تحت تأثير الماء:

يؤثّر الماء في درجة ثبات تجمعات التربة Aggregates وفق عمليتين تحدثان في آن واحد:

أ- انتفاخ يميل لبعثرة الغرويات التي تربط العناصر الميكانيكية بعضها ببعض، ويضعف من قوة ارتباط Gohesion حبيبات التربة المبتلة وتماسكها.

ب- تهشم التجمعات الترابية وتحطيمها، إثر تسرب الماء إلى المسام والفراغات الشعرية مبتدئاً بالأكبر حجماً ومطبقاً بذلك ضغط (P) على الهواء والغازات المحتسبة فيها.

$$P = F \setminus S$$

حيث: F– القوة المطبقة على واحدة السطح

S – السطح

$$F = 2\ \pi\ r\ \sigma\ \cos\alpha$$

$$P = \frac{F}{S} = \frac{2\ \pi\ r\ \sigma\ \cos\alpha}{\pi\ r^2} = \frac{2\ \sigma\ \cos\alpha}{r}$$

σ– التوتر السطحي للماء

r – نصف قطر أكبر أنبوب شعري في التربة

α – زاوية تماس الماء مع التربة (سائلاً ـ صلباً)

Cosα- تجيب الزاوية α.

ويبدو جلياً أن الضغط المطبق P يزداد مع ارتفاع قيمة (تجيب زاوية تماس الطورين الصلب والسائل)، وتكون التربة بالتالي أكثر قابلية للابتلال. وتبعاً لذلك فإنه كلما تدنت قابلية التربة للابتلال، ساعد ذلك في رفع مقاومة بناء التربة للتحطيم، وزاد من ثباته تجاه فعل الماء، ويتوقف ذلك على محتوى التربة من المادة العضوية التي تقلل من قيمة cosα إلى حد كبير.

3-4-2- بعض طرائق قياس ثباتية بناء التربة:

آ- اختبار I s: يعتمد هذا الاختبار على معالجة ثلاث عينات متساوية الوزن من التربة (5 غ) بأبعاد (<2mm)، بالماء والكحول الإيتيلي والبنزين Benzene على الترتيب لمدة خمس دقائق، ثم يضاف الماء للعينات الثلاث من جديد، وتترك لمدة 30 دقيقة في دورق مخروطي، وتقلب بإدارتها عشرين مرة رأساً على عقب، ثم تنخل بمنخل 0,2mm ضمن جهاز خاص (جهاز فيودوروف Feodoroff) وبحركة لولبية خاصة (30 مرة خلال 30 ثانية)، وبعدها توزن التجمعات الترابية المتبقية فوق المناخل الثلاثة (بعد تجفيفها). أخيراً يحسب وزن الطين والسلت الناعم (<μ20) الذي سقط في عملية النخل كنسبة

مئوية، كما يقدر الرمل الخشن S.G وتحسب نسبته المئوية. أخيراً تحسب قرينة ثبات البناء (Stability Index Is) على النحو التالي:

$$Is = \frac{A + Lf\ \%\ Max}{\frac{Ag.a + Ag.b + Ag.e\ \%}{3}} - 0.9\ Sg\ \%$$

فيها: A + Lf % Max تمثل على الترتيب النسبة المئوية القصوى للطين والسلت الناعم غير المتجمعة.
Ag.a و Ag.b و Ag.e: النسبة المئوية للتجمعات الحبيبية في الكحول والبنزين والماء على الترتيب.
Sg: النسبة المئوية للرمل الخشن.

تتراوح قرينة ثبات البناء بين 0.1 للبناء المتماسك والثابت جداً إلى أكثر من 100 للبناء الهش الضعيف، ويسمح اختبار Is بتقدير النسبة المئوية للتجمعات الترابية ذات الأبعاد($\geq 200\mu$) المتماسكة تجاه فعل الماء التحطيمي بعد معالجة أولية مسبقة للتربة بالكحول الإيتيلي (الذي يمتزج بالماء) والبنزين (الذي لا يمتزج بالماء)، وبدون أي معالجة أولية.
تزيد المعالجة بالكحول الايتيلي من مقاومة التجمعات الترابية لفعل الماء التخريبي، ذلك أنه لا يضعف من قوى الارتباط بين الحبيبات، كما يفسح المجال لتسرب الهواء المحتجز في الفراغات دون حدوث تفتت للتجمعات الترابية، وبعد المعالجة بالماء من جديد، فإن هذا الأخير يمتزج بالكحول دون أن يطبّق الماء أي ضغط إضافي داخل الفراغات والمسام البينية.
أمَّا المعالجة بالبنزين (وهو سائل غير قطبي وغير قابل للامتزاج بالماء) فإنه يزيد من الفعل المخرب للماء فيما بعد، وذلك أن الهواء المحتبس لم يعد هو سبب الضغط الحاصل داخل الفراغات، بل هو البنزين نفسه، غير القابل للانضغاط، مما يقود إلى تحطّم التجمعات الترابية وانفجارها بشكل مفاجئ وسريع بعيد المعالجة بالماء؛ إلا أنّ اختبار قرينة ثبات البناء يفقد جزءاً كبيراً من دقته وتعبيره عن ثبات التجمعات الترابية مع ارتفاع محتوى التربة من الرمل الخشن (Sg).

ب- اختبار معامل النفاذية Kw (ثابت الرشح أو التوصيل الهيدروليكي) ويستخدم لهذا الغرض 50 غراماً من التربة المنخولة ($\leq$2مم) تشبع بالماء بشكل تدريجي بعد وضعها في أنبوب زجاجي بأسفله شبك معدني أو نسيج دقيق الفتحات، يعلوه صوف زجاجي أو حصى ناعمة، ويخضع عمود التربة لاختبار رشح الماء بتطبيق عمود من الماء بارتفاع 2-3 سم، وتحسب قيمة Kw بعد جمع الماء الراشح بدءاً من نهاية الدقائق الخمس الأولى لبداية الاختبار على النحو التالي:

$$Kw = V.\ L\ /\ S.\ H \qquad (\text{سم/ساعة})$$

وفيها: V= حجم الماء المتسرب خلال الساعة الأولى(سم3).
L = ارتفاع عمود التربة (سم).
S = مساحة المقطع الداخلي للأنبوب الزجاجي سم2.
H= ارتفاع الضاغط المائي (عمود الماء سم)=
(عمود الماء فوق سطح التربة h + عمود التربةL).
وذلك حسب ارتفاع الماء فوق سطح التربة
تتراوح قيمة Kw بين صفر وأكثر من 60 سم / ساعة تبعاً لنوع التربة والأملاح الذائبة والمتبادلة فيها، والأملاح الذائبة في الماء المستخدم ودرجة الحرارة ...

ج - دليل سيغما index∑، عند توقيع لوغاريتم اختبار ثابت البناء Lg_{10} Is مقابل لوغاريتم ثابت الرشح (معامل النفاذية أو التوصيل الهيدروليكي) log_{10}Kw يمكن الحصول على منحن يمثل ترتيباً متدرجاً للترب ذات الخواص المتباينة في بنائها ودرجة ثباته، ويحقق العلاقة التقريبية التالية:

$$3Lg_{10}\ Kw + 2.5Log_{10}\ Is - 7.5 = 0$$

حيث تتراوح قيمة Lg_{10} Is بين الصفر (للبناء الثابت الجيد) و3 (للبناء السيء جداً)
أمَّا ثابت الرشح log_{10}Kw فيتراوح بين الصفر (للترب ذات النفاذية الضعيفة والبناء السيء)، و2.5 (للترب جيدة النفاذية وذات البناء الجيد). وهكذا نجد ترب الرندزين Rindzina جيدة البناء ذات قيمة Kw مرتفعة وIs منخفضة، وبالمقابل تأخذ الترب الصودية أعلى قيمة من Is وأخفض قيمة لـ kw وهي أسوأ الترب بناءً وأقلها نفاذية.
كما يلاحظ أن المستقيم الذي تتوزع حوله الترب يمكن تقسيمه إلى أجزاء متساوية (100 جزء)؛ مما يسمح معه بجمع القيمتين Is وKw في قيمة واحدة هي ∑, وتأخذ هذه الأخيرة قيمة 100 بالنسبة للترب ذات البناء الأكثر ثباتاً واستقراراً.

ج-التحليل الحبيبي وتحليل التجمعات الحبيبية Aggregation analysis
يستخدمان على الترتيب لمعرفة نسبة التفكك أو البعثرة Dispersion ratio، ودرجة التجمع الحبيبي (التحبّب) Degree of aggregation.

تعطى نسبة التفكك أو البعثرة Dispersion ratio بالعلاقة التالية:

$$\text{نسبة التفكك } D\% = \frac{\%\text{ للحبيبات } <(0.05\text{مم}) \text{ بعد } 20\text{د. رج (تحليل الحبيبي)}}{\%(\text{طين + سلت}) < 0.05 \text{ تقدر بالتحليل الميكانيكي}} \times 100$$

- يزداد خطر تفتت وتخريب بناء التجمعات الحبيبي وتصبح التربة قابلة لعمليات الانجراف، كلما ارتفعت نسبة التفكك عن 15 % عندها يجب العمل على استخدام الاسلوب الزراعي الذي يزيد من تماسك التجمعات الترابية وثباتها وكبر حجمها وحمايتها من التدهور، كما مر سابقاً.
- أما إذا انخفضت نسبة التفكك عن 15 % فلا خوف على تدهور بنائها أو انجرافها المائي.

حالة التحبب: يمكن استخدام مصطلح **حالة التحبب** للتعبير عن قدرة التربة على تشكيل حبيبات مركبة، ذات حجم معين أكبر من 0.05 مم والثابتة ضد العمليات الميكانيكية والمائية التي قد تتعرض لها التربة.
- يمكن حساب حالة تحبب التربة من خلال الفرق بين % للحبيبات ذوات الاقطار >(0.05مم) بعد 20دقيقة رج (تحليل الحبيبي) - **% للحبيبات ذوات الأقطار > 0.05 مم(تحليل ميكانيكي)**

تحسب درجة التحبّب Degree of aggregation من العلاقة التالية:

$$\textbf{درجة التحبب} = \frac{\textbf{\%تجمعات أقطارها> 0.05 مم (تحليل حبيبي) - \% رمل> 0.05 تحليل ميكانيكي}}{\textbf{\% للحبيبات ذوات الأقطار > 0.05 مم (تحليل حبيبي)}} \times \textbf{100}$$

وهكذا فإذا كان لدينا M غ من التربة الجافة في درجة حرارة 105 °C وm_1 غ وزن التربة على هيئة تجمعات حبيبية أقطارها أكبر من 0.05 مم (قدرت بالتحليل الحبيبي في الماء) وm_2 غ تمثل وزن حبيبات الرمل التي تزيد أقطارها عن 0.05 مم (قدرت بالتحليل الميكانيكي)، فتكون درجة التحبب كنسبة مئوية SA% (التجمعات الثابتة %)

$$SA\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

يلاحظ من العلاقة أن قيمة SA % تتأثر إلى حد كبير بزمن (t) رج التربة في الماء، إذ وجد (Feng & Russel, 1977) العلاقة التالية:

$$Log\ (SA\%) = a - b\ Log\ t$$

وفيها t: الزمن، a: لوغاريتم الوزن الابتدائي للعينة.

أمَّا b: فميل منحنى لوغاريتم ثبات التجمعات (SA %) مقابل لوغاريتم الزمن t.

كما وضع مازوراك (Mazurak, 1950) مؤشراً يدل على التوزع الحجمي للتجمعات الحبيبية Aggregate size distribution, عرف بمتوسط القطر الوزني Geometric mean diameter Y الذي يحسب من العلاقة التالية:

$$Y = \exp[(\Sigma W_i \text{ Log } X_i)/(\Sigma W_i)]$$

حيث أنَّ: W_i : وزن التجمعات الترابية بحجم معين وبمتوسط قطر: X_i
وΣW_i : الوزن الإجمالي للعينة الترابية.

هـ - طريقة المناخل الآلية: تركّب فيها مجموعة من المناخل المتدرجة في تناقص أبعاد فتحاتها من أعلى لأسفل 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05 وترجّ التربة بعد تعريضها للرجّ المسبق في الماء، ثم تحسب النسبة المئوية للتجمعات الحبيبية، كمجموعات ذات أقطار تتراوح بين 0.20 -0.05 مم أو بين 2-0.05 مم أو بين 1-0.25...الخ **(كما في مقرر العملي).**

و- قياس مقاومة التربة للاختراق باستخدام أجهزة الاختراق Penetrometers, ويمكن أن يجرى ذلك حقلياً أو مخبرياً، وتتعلق مقاومة التربة للاختراق أو التفكك بالضغط أو الاختراق بخصائص التربة مثل: (بناء التربة وقوامها ورطوبتها) وتقاس بوحدات الـ كغ/سم^2، أو دينة/ سم^2.

ز- تعيين المسامية Soil Porosity (f) والكثافة الظاهرية (ρb) Soil bulk density وتتبع تغيراتهما مع تغير ظروف القياس وزمنه، ذلك أن هناك ارتباطاً وثيقاً بين بناء التربة وكل من كثافتها الظاهرية ومساميتها، ومحتواها الرطوبي وقوامها، إلا أنها تشكل قياساً جزئياً غير مباشر لبناء التربة ودرجة ثباته.

3-5- أنواع بناء التربة:

تقسم أشكال البناء إلى مجموعتين كبيرتين:

3-5-1- مجموعة البناء البسيط Simple structure group:

تغيب تماماً مستويات الانفصام فيه، وسطوحه أو يصعب تمييزها، ومنه نوعان:

آ- البناء ذو الحبيبات المفردة Single–grain structure أو التجمع عديم البناء Structure less أو البناء المفكك Loose:

يصادف هذا البناء في الترب الرملية أو الرملية السلتية ضعيفة المحتوى من المادة العضوية. وتكون فيه حبيبات التربة مبعثرة لا ارتباط بينها، وبخاصة عند الجفاف.

ب- البناء الكتلي أو المندمج Massive structure:

ترتبط حبيبات التربة فيه بعضها ببعض، مشكلة كتلة متراصة مندمجة ذات وحدات كبيرة وغير منتظمة، وليس لها شكل مميز، ومن أمثلة هذا النمط: القشرة السطحية الكثيفة Soil crust, وطبقة الحراثة أو (نعل المحراث)، والترب الطينية الثقيلة المندمجة كترب البيلوسول Pelosols أو المتكونة على بعض الصخور الرسوبية الطينية، كالحجر الطيني Mudstone أو الطيني المارلي Marl-Clay.

3-5-2- مجموعة البناء المركب Compound structure:

يتميز البناء المركب، بسطوح أو مستويات انفصام لوحدات البناء أو التجمعات الترابية الأولية أو الثانوية Primary & Secondary peds or aggregations, التي يمكن إعطاؤها شكلاً مميزاً، ووصفه تبعاً لمحوري الطول والعرض أو الاتجاهين العمودي والأفقي، وحسب شكل محيط ونمط حوافه وزواياه الرئيسية، كما هو موضح في الشكل (6).

ويمكن تمييز أربعة أنماط حسب ما يلي:

أنماط البناء الأرضي:

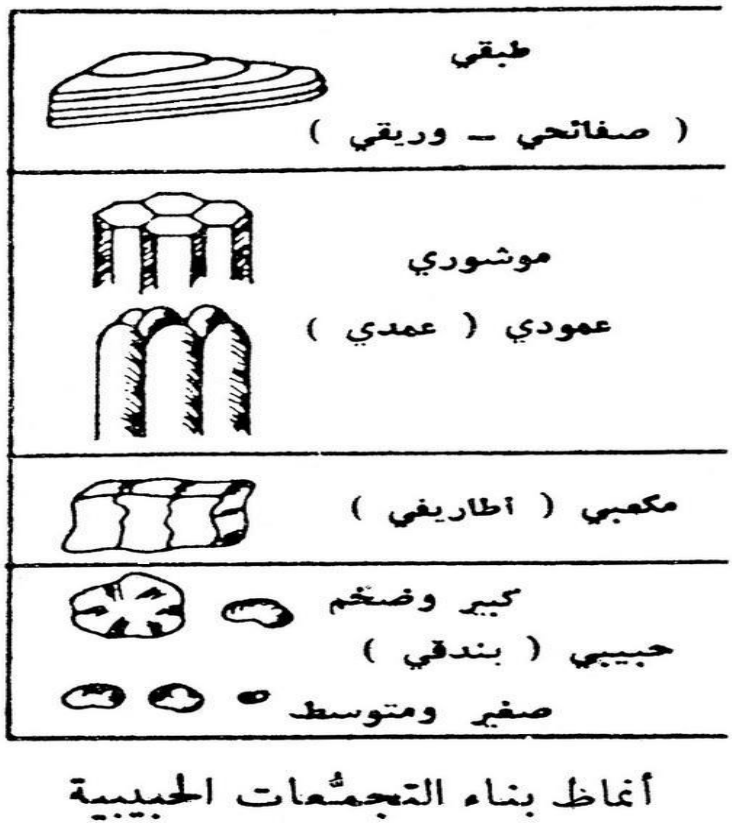
آ- البناء الطبقي Platy structureأو الصفائحي أو الوريقي: يتميز بمحور أفقي أطول من المحور العمودي، كما أن سطوح الانفصال الأفقية تكون سائدة فيه.

ب - البناء العمودي Columnar structure أو الموشوري Prismatic: في هذا النمط يكون المحور العمودي أطول من المحور الأفقي للوحدة الترابية ped, كما تسود فيه سطوح الانفصال بشقوق طولية، ويعقب النمط العمودي عادة وجوه النمط الموشوري، نتيجة لتآكل حواف هذا الأخير بعمليات خدمة الأرض والأمطار الغزيرة أو الري الغزير، أو لتعاقب عمليتي الابتلال والجفاف أو التجمد والذوبان.

ج - البناء المكعبي Cubic Structure, وشبه المكعبي Cube like Structure أو الأطاريفي: Blocky Structure

يصادف هذا النمط من البناء في التربة الطينية الثقيلة، التي تنكمش فيها التربة في فصل الجفاف، متشققة الى شقوقاً متسعة وعميقة، كترب الفيرتيسول Vertisoles المحتوية على طين المونتموريونيت القابل للانتفاخ, وتنفصل كتلة التربة عند جفافها إلى كتل أو (أطاريف) Blocks، لها محوران عمودي وأفقي متساويان في الطول، كما يطلق عليه البناء متعدد السطوح (الوجوه) Polyhedric structure.

د- البناء الحبيبي Granular Structure ويوجد ومنه تحت أنماط عدة حسب حجم وحدات بنائها مثل: البناء البندقي Nucellar الكبير والضخم، والبناء الحبيبي المشطي أو المفتت Crumb، ويعد هذا البناء من أفضل أنواع البناء وأنسبها للزراعة وأسهلها خدمة، وملائمة للانتشار الجذري والنشاط الحيوي، ويساعد توفر الكالسيوم المتبادل والمادة العضوية والانتشار الجذري الكبير على تكوين مثل هذا البناء كما هو موضح في الشكل (6).



أنماط بناء التجمّعات الحبيبية

الشكل رقم (6): أنماط البناء الأرضي.

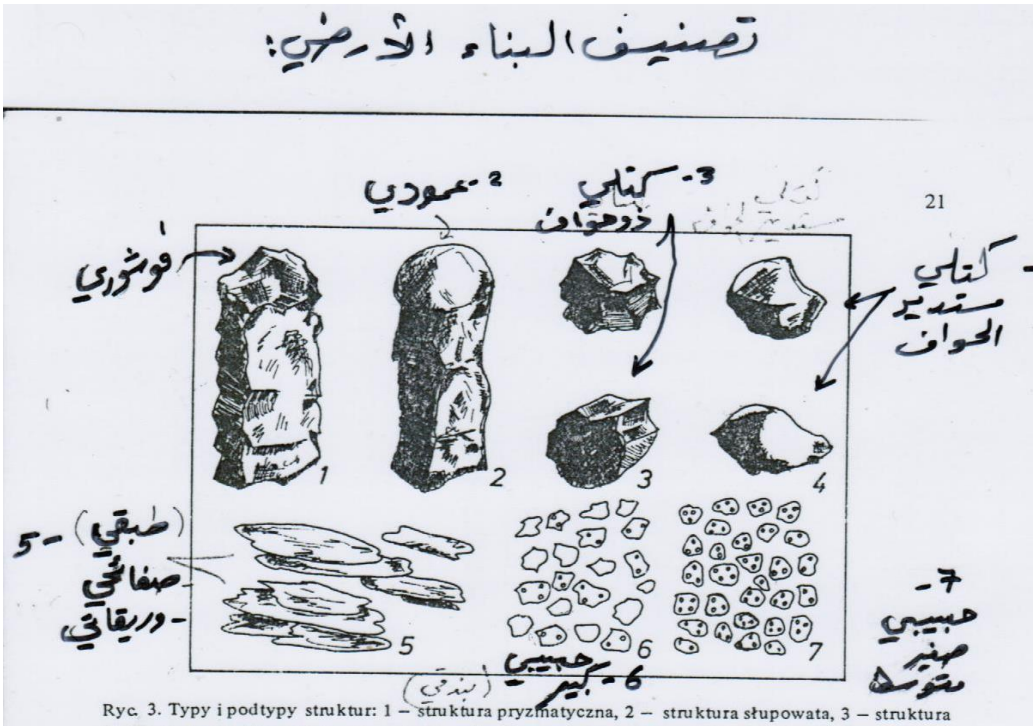
3-5-3- تصنف وحدات البناء الأولية، والتجمعات الحبيبية، تبعاً لشكل محيطها وأطرافها وزواياها، في الأنماط الثلاثة التالية:

آ- المزوّاة (ذات الزوايا) Angular, وتكون ذات زوايا وأطراف حادة ومميّزة.

ب- شبه مزواة (تحت مزواة) Subangular, بزوايا تميل للاستدارة وأطراف حادة.

ج- حبيبية، متكورة Granular, وفيها تميل الزوايا والنهايات للاستدارة.

4-5-3- تصنف وحدات البناء وتجمعاته الحبيبية تبعاً لأبعادها في خمس درجات أو رتب، وتتوقف الحدود الدنيا والقصوى لهذه الأبعاد على نمط البناء الأساسي كما هو موضح في الجدول.



Ryc. 3. Typy i podtypy struktur: 1 – struktura pryzmatyczna, 2 – struktura słupowata, 3 – struktura bryłkowata ostrokrawędzista, 4 – struktura bryłkowata okrągłokrawędzista, 5 – struktura płytkowata, 6 – struktura ziarnista, 7 – struktura gruzełkowata

Tabela 4

Stopień wykształcenia struktury

Struktura	Charakterystyka
Nie wykształcona	Nie dostrzega się żadnych cech strukturalnych w masie glebowej, którą nazywa się: a) masywną – jeśli jest spoista b) rozdzielnoziarnistą – jeśli nie jest spoista
Słabo wykształcona	Agregaty można zaobserwować w profilu, lecz nie można ich oddzielić bez ich rozkruszenia. Przy naruszeniu masy glebowej obserwuje się: mało całych agregatów, dużo połamanych, a większość masy glebowej nie jest zagregatowana
Średnio wykształcona	Agregaty można oddzielić, ale ulegają one łatwo rozpadowi przy rozgniataniu. Po naruszeniu masy glebowej obserwuje się: dużo całych agregatów, mało połamanych, a stosunkowo niewielka masa nie jest zagregatowana
Dobrze wykształcona	Agregaty dają się łatwo oddzielić i nie można ich łatwo rozkruszyć przy rozgniataniu. W naruszonej masie gleby obserwuje się: bardzo dużo całych agregatów, nieliczne połamane oraz brak lub bardzo mało jest masy nie zagregatowanej

الجدول رقم (1): يبين أبعاد وحدات البناء الأرضي(للاطلاع)

التصنيف الحجمي	الأبعاد(مم) حسب نمط البناء			
	حبيبي وصفائحي	مكعبي ومتعدد السطوح	موشوري وعمودي	
ناعم جداً	< 1	< 5	< 10	
ناعم	2 - 1	10 - 5	20 -10	
متوسط	5 - 2	20 - 10	50 -20	
خشن	10 -5	50 - 20	100 - 50	
خشن جداً	10أكبر من	أكبر من 50	أكبر من100	

3-6- طرائق تحسين بناء التربة وصيانته من التدهور:

تحتاج الزراعة المنتجة، المحافظة على بناء التربة بحالة من التجمع Aggregation، التي تمنح التربة مسامية مناسبة وتهوية جيدة وصرفاً حسناً، ويتطلب ذلك اتخاذ العديد من الإجراءات والأساليب الزراعية التي تحسّن من بناء التربة وتحول دون تدهوره، أهمها:

3-6-1- إغناء التربة بالمادة العضوية أو المحافظة على محتواها منها عن طريق واحد أو أكثر من الأساليب التالية:

آ- **التسميد العضوي المنتظم**، وبكميات تتناسب مع معدّل تمعدن (تفكك) المادة العضوية المضافة وتلاشيها، عن طريق حساب ميزانية المادة العضوية وتحديد الكميات الواجب إضافتها لتربة معينة في ظروف مناخية محددة وتتراوح بين (20-30) طن/هكتار، فلقد أضحى يسيراً وضع برامج دقيقة لإضافات المادة العضوية بعيداً عن العشوائية، وبما يحقق الريعية الاقتصادية الأجدى، ويحافظ على المحتوى المثالي للتربة من المادة العضوية.

ولقد غدا من المسلّم به أنَّ أحد أهم الأسباب التي تؤدّي إلى تدهور إنتاجية الأراضي الزراعية، والذي أضحى يعرف تحت اسم (تعب التربة) أو إنهاكها إنما يعزى في معظم الحالات إلى الأثر التراكمي والضار للأسمدة الكيميائية المعدنية الذي يقود استعمالها المكثف إلى تملح التربة والإخلال بتوازن النشاط الحيوي الطبيعي، وبخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة، التي تعتمد بمعظمها على الزراعة البعلية.
وهكذا فلا مناص من الابتعاد عن كل ما هو مناف لطبيعة التربة الحية، والاقتراب من أسباب بعث الحياة فيها من جديد، وتأتي إضافة المادة العضوية بأشكالها المتعددة، في مقدمة هذه الأسباب كافة.

ب - اتّباع دورات زراعية، تدخل في عداد عناصرها المحاصيل البقولية لما لها من أثر حسن في خصوبة التربة، عن طريق انتشارها الجذري ونشاط الأحياء التعايشية واللاتعايشية في ريزوسفيرها Rhizosphere ولما تخلفه من مفرزات جذرية Mucilage تلعب دوراً هاماً في تماسك حبيبات التربة وتجمعاتها وثبات بنائها، والمكونة أساساً من السكريات المتعددة واليورنيدات المتعددة.

ح- **إدخال التسميد الأخضر** عن طريق قلب المحاصيل في التربة، وبخاصة البقولية منها، ويفضل أن يكون ذلك في طور الإزهار، وذلك لتسريع عملية تحلله (من قبل كائنات التربة)، ولكي تكون الاستفادة منه عالية، لتزويد النبات بالنتروجين واغناء التربة بالمواد العضوية، وتجعل التربة أكثر نفاذية للجذور.
السماد الأخضر: Green manure يطلق مصطلح **السماد الأخضر** على بعض النباتات وخاصة البقولية التي تزرع في الحقل ثم تحرث وهي خضراء، في مرحلة معينة من مراحل نموها، أو تحرث بعد اكتمال مرحلة النضج واستخدام الجزء القابل للاستخدام، ثم قلب كتلتها الخضراء في التربة لأجل إعادة العناصر الغذائية إلى التربة وزيادة خصوبتها من جهة، واغناء التربة بالمواد العضوية من جهة أخرى.

3-6-2- خفض محتوى التربة من الصوديوم وأملاحه، ويكون ذلك بتجنب الري بمياه تحوي نسبة عالية من الصوديوم، واستبدال الكالسيوم بالصوديوم في الترب المالحة والقلوية بالغسيل وإضافة أملاح الكالسيوم.

3-6-3- إضافة محسنات البناء Soil conditioners ومركبات الاستصلاح المعروفة كالجبس (الجص) أو الكلس تبعاً لنوع الخلل القائم في التربة.

3-6-4- ترشيد استخدام آلات خدمة التربة، واختيار الأكثر ملاءمة لنوع التربة: يتم ذلك عن طريق إجراء العمليات الزراعية في أفضل الأوقات، مع مراعاة المحتوى الرطوبي المناسب، وتجنب الحراثات المتكررة على أعماق ثابتة، كما يجب إيلاء طبقة تحت التربة أهمية خاصة، وعدم اللجوء إلى الحراثات العميقة إذا كان بناؤها سيئاً، والاكتفاء بحراثتها وتحريكها دون قلبها على السطح.

3-7- محسنات بناء التربة Soil Conditioners:

تمَّ في العقود الأخيرة تخليق العديد من المركبات الاصطناعية، عضوية الأصل التي يمكنها محاكاة التأثير الإيجابي للمركبات البوليميرية الطبيعية، الناتجة عن تفكك المادة العضوية وفعل الأحياء الدقيقة في التربة، والمفرزات الجذرية Mucigel، فقد وجد أن إضافة كميات ضئيلة جداً من بعض هذه المركبات، وبما لا يتجاوز 0.1 % من كتلة التربة المعالجة، قد يؤدي إلى نتائج مذهلة في تحسين بناء التربة، وما يترتب عن ذلك من تحسين للرشح والتهوية، ومنع تشكل القشرة السطحية غير النفوذة والحد من الانجراف.

طرح أول مركب في الأسواق لتحسين خواص التربة، في العام 1951، تحت الاسم التجاري Krilium, الذي يتكون أساساً من المركبين التاليين:

- البولي أكريلونتريل (المحلمه) Hydrolized Polyacrylonitrile HPAN.
- بوليمير مشترك من أستيات الفينيل Vinyl acetate copolymer وحمض الماليك Maleic acid (VAMA).

توالى بعد ذلك ظهور العديد من المركبات الإضافية، منها:

- اسيتات البولي فينيل Polyvinyl acetate (PVAc)
- كحول البولي فينيل Polyvinyl alcohol (PVA)
- حمض البولي أكريليك Polyacrylic acid (PAA)
- البولي أكريلاميد Polyacrylamide (PAM)

تمَّ استخدام بعض هذه المركبات بشكله الذائب في الماء، أو على هيئة مستحلبات Emulsions, وكان بعضها يعمل كأنيون متعدد Polyanions وبعضها الآخر ككاتيون متعدد Polycations.

أما آلية تحسين البناء وتجميع الحبيبات فقد كانت تعتمد على الروابط الكهرساكنة والتفاعلات التبادلية والروابط الهيدروجينية وقوى فاندرفالس، وتتوقف هذه الروابط على ما يسمى (الفعالية الوظيفية) للمركب functionality , أي على عدد المجموعات الفعالة من السلفونات RSO3H أو الأميد الكربوكسيلي -RCOONHR– في وحدة الوزن من البوليمير.

كما تتوقف فعالية المركب في تجميع الحبيبات الفردية وربطها وثباتها على وزنه الجزيئي وطول سلسلته. فقد وجد أن أفضل وزن جزيئي لمثل هذه المركبات هو من رتبة (6^ 10).

انحسر استخدام هذه البوليميرات منذ نهاية خمسينات القرن العشرين بسبب أثمانها الباهظة، وتضاؤل فعالية العديد منها، وقد لوحظ مؤخراً استعادة هذه المركبات بعض أهميتها ولكن على أسس جديدة تأخذ في الاعتبار كلاً من سعر الكلفة، والفعالية التي تبرر استخدامها.

استخدامات البوليميرات في القطر العربي السوري: قد يكون اللجوء لمثل هذه المركبات غير مبرر في القطر العربي السوري إلا في حالات استثنائية نادرة، نظراً لاحتواء معظم الترب السورية على كربونات الكالسيوم التي تحسن من بناء التربة وتجمعاتها الحبيبية، وتعوّض إلى حد كبير النقص الشديد في محتواها من المادة العضوية.

----------نهاية المحاضرة ----------

المرجع: الدكتور عصام شكري الخوري – جامعة البعث