جامعة حماة

كلية الزراعة

مقرر أساسيات علوم التربة وتصنيفها

لطلاب السنة الثانية

المحاضرة النظرية التاسعة

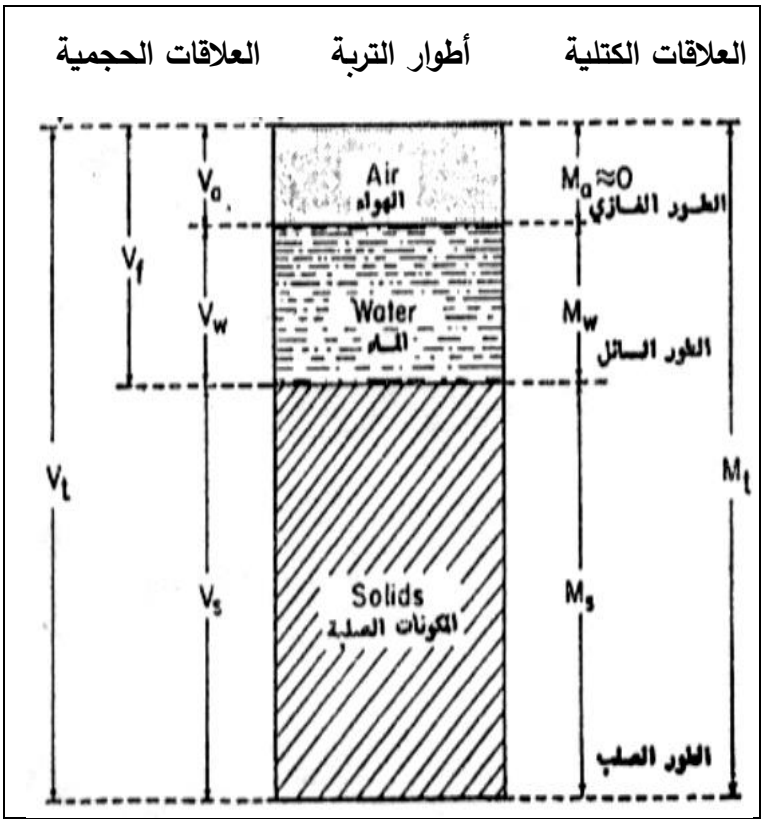
-كثافة التربـــــــــــــة:

أطوار التربة:

تؤلف التربة نظاماً خاصاً متعدد الأطوار وغير متجانس، مبعثراً أو مسامياً، فهي تتكون من طور صلب يتألف من مكونات معدنية وأخرى عضوية، وطور سائل مكون من ماء التربة أو محلولها، وأخيراً من طور غازي والذي يشكل هواء التربة (الشكل ،1). ولهذا فإن التربة تعد من أعقد الأنظمة الطبيعية، فبالإضافة إلى تعدد أطوارها نجد تبايناً كبيراً في مكونات الطور الواحد، فإذا أخذنا الطور الصلب مثلاً، نجد أن حبيباته لا تختلف في التركيب الكيميائي والفلزي فحسب بل وفي الأبعاد (الحجم) والشكل والبناء، وينعكس ذلك على قوام التربة وشكل تجمعاتها وعلى مجمل الصفات الفيزيائية من كثافة ومسامية ونفاذية وسواها، حتى أن هواء وماء التربة يختلف تركيبهما في الزمان والمكان والعمق.

يصعب الفصل بين أطوار التربة الثلاثة، فهي تتداخل وترتبط فيما بينها بشكل معه بحيث لا يمكن دراسة أحدها عن الآخر، إلا أنه لتبسيط وتسهيل تلك الدراسة فإننا سنعتبرها تجاوزاً، مستقلة بعضها عن الآخر، بقصد التعريف بأهم العلاقات التي تربط بين هذه الأطوار الثلاثة، حجماً ووزناً.

لإيضاح ذلك يفترض الشكل (4-1) الانفصال التام للمكونات الصلبة عن المكونات السائلة والغازية، بشكل لا تحتوي معه المواد الصلبة أية فراغات بينها وأن الماء والهواء يمثلان هذه الفراغات في التربة.



الشكل رقم (4-1):
مخطط يوضح أطوار التربة والعلاقات الكتلية والحجمية فيما بينها

تمت الاشارة في الجهة اليمنى من الشكل (4-1) إلى علاقة كتل المكونات الثلاثة حيث أن:

Mt- الكتلة الكلية للتربة (الأطوار الثلاثة).

Ma – كتلة الطور الغازي وهي مهملة.

Mw- كتلة الماء في العينة المدروسة.

Ms – كتلة التربة الجافة تماماً على درجة حرارة 105 درجة مئوية، ويعبر عادة عن هذه الكتل بالأوزان.

أما حجوم المكونات نفسها، فقد أشير إليها في الجهة اليسرى من الشكل حيث أن:

Va- حجم المسامات المشغولة بالهواء

Vw – حجم المسامات المشغولة بالماء

Vf = (Va+Vw) مجموع حجم المسامات الكلية المشغولة بالماء والهواء.

Vs – حجم الحبيبات الصلبة (الحجم الحقيقي للحبيبات الصلبة).

Vt – الحجم الظاهري الكلي للتربة (بأطوارها الثلاثة، بما فيها حجم الحبيبات الصلبة وحجم الفراغات الكلية).

اعتماداً على ما تقدم يمكن تحديد العديد من الثوابت المستخدمة في تعيين كل من كثافة التربة الرطبة و الجافة، و مساميتها، و العلاقات الكمية و الحجمية لكل من أطوارها الثلاثة.

الكثافة الحقيقية Real density أو كثافة الحبيبات الصلبة Soil particle density(ρ_s):

يطلق عليها أيضاً الكثافة الحقيقية **Real density** وما هي إلا متوسط كثافة حبيبات التربة **Mean Particles Density (M.P.D)**، وتعرف بأنها كتلة واحدة الحجوم من الطور الصلب للتربة، وتقدر قيمتها بالـ غ/سم3 (gm/cm3) أو بالطن /م3 (Mg/m3)، ويتم حسابها من العلاقة التالية:

$$\rho s = \frac{M_S}{Vs}$$

العوامل المؤثرة في قيمة الكثافة الحقيقية للتربة:

تختلف قيمة الكثافة الحقيقية للتربة تبعاً للتركيب المعدني لحبيبات التربة، كما أنها تقل مع زيادة محتوى التربة من المادة العضوية كما هو موضح في الجدول (4-1) حسب ما يلي:

1- تتأثر قيمة الكثافة الحقيقية للتربة كثيراً بتركيب التربة الفلزي، ونظراً لتراوح كثافة الفلزات الأكثر انتشاراً في الترب كالكوارتز والفلدسبارات وسيليكات الألومينيوم الطينية، بين 2.5 – 2.8 غ/سم^3، فقد اعتبر متوسط الكثافة الحقيقية للتربة الزراعية 2.65 غ/سم^3. وقد تزيد كثافة الطور الصلب عن ذلك عندما تحتوي التربة على نسبة عالية من الفلزات الثقيلة كأكاسيد الحديد مثل الليمونيت والهيماتيت التي تتروح كثافتهما الحقيقية بين (3.5-5.3) غ/سم3 وكذلك عندما تحتوي على بعض الفلزات الثقيلة الأخرى مثل: الأباتيت والمغناتيت والبيريت وغيرها، كما في الجدول (4-1).

2- يؤدي غنى التربة بالمادة العضوية إلى انخفاض كثافتها الحقيقية، والتي قد تنخفض إلى ما دون 2.4 غ/سم^3، لترب الآفاق السطحية المحتوية على نسبة عالية من المادة العضوية تزيد عن 10%، بسبب الانخفاض في قيمة الكثافة الحقيقية للمواد العضوية (1.2-1.7 غ/سم3، وبخاصة عندما تكون من النوع المرتبط بشكل وثيق بالطور المعدني، محيطة بحبيباته ومغلفة لها، أو على هيئة معقدات عضوية معدنية Organo-metallic complexes (كترب الأندوسول Andosols)، أو معقدات عضوية طينية (كترب الفيرتيسول Vertisols أو البيلوسول Pelosols الطينية الثقيلة)، وهكذا نجد أن الكثافة الحقيقية للتربة ترتفع قليلاً في الآفاق تحت السطحية والعميقة، منخفضة المحتوى من المادة العضوية، مقارنة مع محتواها من المواد المعدنية.

يمكن التعبير أحياناً عن هذه الكثافة تجاوزاً بالوزن النوعي "Specific gravity "G الذي يعرف بأنه النسبة ما بين كثافة المادة (الصلبة أو السائلة) على كثافة الماء المقطر في الدرجة 4C° (مئوية). ولما كانت كثافة الماء المقطر في النظام المتري تساوي الواحد تقريباً، فإن الوزن النوعي للتربة يساوي كثافتها الحقيقية في قيمتها العددية المطلقة.

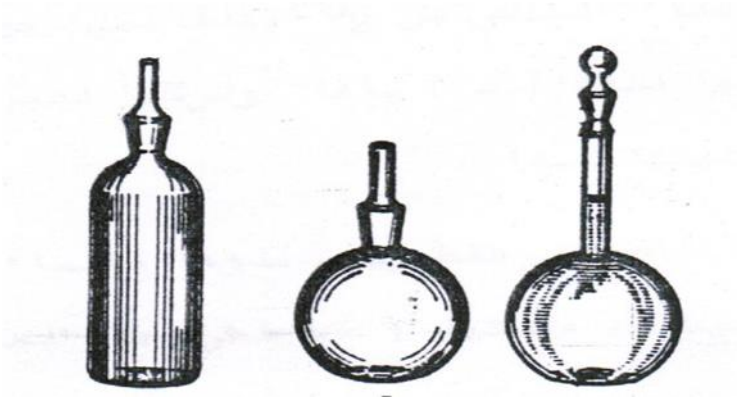
الجدول رقم (4–1): يوضح قيم الكثافة الحقيقية لمكونات التربة الصلبة المختلفة

المادة أو الفلز	الكثافة الحقيقية غرام/سم3	المادة أو الفلز	الكثافة الحقيقية غرام/سم3
الدبال	1,5 – 1,3	**الدولوميت**	2,9 – 2,8
الطين	2,6 – 2,2	**موسكوفيت**	3,0 – 2,7
الكاؤولينيت	2,6 – 2,2	**بيوتيت**	3,1 – 2,8
أورثوكلاز	2,6 – 2,5	**أباتيت**	3,3 – 3,2
الكوارتز	2,8 – 2,5	**ليمونيت**	4,0 – 3,5
البيت	2,7 – 2,6	**مجناتيت**	5,2 – 4,9
فلنت	2,7 – 2,6	**البيريت**	5,2 – 4,9
الكالسيت	2,8 – 2,6	**الهيماتيت**	5,3 – 4,9
أنورثيت	2,8 – 2,7		

طرائق تقدير الكثافة الحقيقية:

طريقة البكنوميتر (كما ذكر في العملي)

تعد طريقة البكنوميتر (الشكل، 4–2) من أدقها وأوسعها استخداماً في تقدير الكثافة الحقيقية للتربة، كما يمكن حساب حجم السائل المزاح.



الشكل رقم (4-2): يوضح أشكال مختلفة من البكنوميترات لقياس الكثافة الحقيقية

الكثافة الظاهرية (أو الكثافة الحجمية) ρb : Bulk density

يطلق عليها أيضاً اسم الوزن الحجمي، وهنا تؤخذ في الاعتبار الفراغات الكلية (V_f) المشغولة بالهواء(fa) والماء (fw)، و يعرف من هذه الكثافة نوعان:

الكثافة الظاهرية الجافة (ρb): Dry bulk density :

تعبر الكثافة الظاهرية الجافة عن نسبة كتلة حجم معين من التربة الجافة (في درجة حرارة 105 C° حتى ثبات الوزن) إلى الحجم الكلي للتربة، بما فيها حجم الفراغات v_f، وتعطى ρb بالعلاقة التالية:

$$\rho b = \frac{M_S}{Vt}$$

تقدر الكثافة الظاهرية بـ gr/cm^3 أو طن/م3 = Mg/M^3

أو حسب العلاقة التالية:

$$\rho b = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_s}{V_s + V_a + V_w}$$

تبلغ قيمة الكثافة الظاهرية الجافة ρb بشكل عام نصف قيمة الكثافة الحقيقية ρ_s، في التربة التي تشغل الفراغات فيها نصف حجمها الكلي، أي ستتراوح بين (1.30 – 1.35 غ/سم^3)، لأن متوسط قيمة الكثافة الحقيقية (2.6-2.7) غ/سم3. ويمكن أن تصل قيمة ρb إلى (1.6 غ/سم3) في الترب الرملية والترب المرصوصة، وقد تنخفض إلى (0.85 غ/سم3) في الترب الطينية جيدة البناء، 1.1 غ/سم^3 في الترب اللومية والطينية. وتختلف قيمة الكثافة الظاهرية للتربة حسب نوعها، أي حسب محتوى التربة من الرطوبة.

تكون قيمة الكثافة الظاهرية ρb دائماً أقل من قيمة الكثافة الحقيقية ρ_s لنفس التربة، ولما كان وزن الهواء مهملاً فإن قيمة الكثافة الظاهرية الجافة تعطي قياساً لتوزع حبيبات التربة ضمن كتلتها، لأنه يستخدم الحجم الظاهري (حجم الحبيبات الصلبة وحجم الفراغات مجتمعة)، في حساب الكثافة الظاهرية، وتتأثر قيمة الكثافة الظاهرية بالعوامل التي تؤثر في قيمة الكثافة الحقيقية (نوع المعدن ونسبة المادة العضوية)، إضافة إلى العوامل المؤثرة في مسامية التربة مثل قوام التربة، وبناء التربة، وتراص حبيباتها، والعمق، فكلما ازدادت مسامية التربة قلت قيمة كثافتها الظاهرية، لذلك تكون التربة الطينية العالية المسامية، أقل كثافة ظاهرية من الترب الرملية، وتتراوح قيمة الكثافة الظاهرية بين (0.85–1.6 غ/سم3).

العوامل التي تؤثر في قيمة الكثافة الظاهرية الجافة

تؤثر قيمة الكثافة الظاهرية الجافة بشكل مباشر في عملية النمو والإنتاج النباتي، عبر تأثيرها على الأنظمة المائية والهوائية والحرارية في التربة، فهي تلعب دوراً بارزاً في عملية التوصيل الهيدروليكي (النفاذية) والانتشار الغازي والتوصيل الحراري.

تتأثر قيمة الكثافة الظاهرية الجافة ρb بقوام التربة والتركيب الميكانيكي والفلزي، وبمحتواها من المادة العضوية، و ببنائها Structure، و شكل تجمعات هذا البناء Aggregates، و درجة تراص التربة واندماجها، و بالمسامية، و الانتشار الجذري و كثافته، و ظاهرتي انتفاخ Swelling و انكماش Shrinkage فلزات الطين فيها، كما تتأثر قيمة الكثافة الظاهرية، بالعمليات الزراعية المختلفة، وبعمق التربة.

العوامل المؤثرة في قيمة الكثافة الظاهرية للتربة:

1- **قوام التربة:** ترتفع قيمة الكثافة الظاهرية، كلما كان محتوى التربة من الرمل عالي، وتقل قيمتها، كلما كان محتوى التربة من الطين عالياً.

2- **المادة العضوية:** تنخفض قيمة الكثافة الظاهرية للتربة، كلما ارتفع محتوى التربة من المادة العضوية، وذلك لأن كثافة المادة العضوية منخفضة 1.49 gr/cm^3 من جهة، و إن إضافة المادة العضوية للتربة يزيد تجميع الحبيبات المركبة، وبالتالي زيادة في الحجم الظاهري للتربة والمسامية فتقل الكثافة الظاهرية.

3- **بناء التربة ونظام ترتيب حبيباتها والمسامية:** تزداد كثافة التربة الظاهرية عموماً، كلما كان نظام ترتيب الحبيبات متراصاً، بسبب انخفاض المسامية، وتقل الكثافة الظاهرية، كلما كان نظام ترتيب الحبيبات مفككاً، بسبب زيادة المسامية وزيادة الحجم الظاهري.

4- **عمليات الخدمة الزراعية:** كل عملية زراعية تؤدي إلى كبس أو رص التربة فأنها تقلل من المسامات البينية بين الحبيبات، وبذلك يقل الحجم الظاهري للتربة، فتزداد قيمة الكثافة الظاهرية، وبالعكس كل عملية زراعية تحدث إثارة للتربة، وتساعد في تجميع حبيبات التربة، مثل الحراثة والعزيق، فأنها تزيد من المسامات البينية بين الحبيبات، وبذلك يزداد الحجم الظاهري للتربة، فتقل قيمة كثافة التربة الظاهرية.

5- العمق: تزداد قيمة الكثافة الظاهرية عموماً، كلما اتجهنا نحو الأسفل داخل المقطع الأرضي، بسبب زيادة ثقل الطبقات ورصها، مما يقلل من مساميتها من جهة، وانخفاض المحتوى من المادة العضوية، وسوء البناء مع العمق من جهة أخرى.

6- تعرض التربة إلى عمليات انضغاط بواسطة الحيوانات أو الآلات الزراعية يقلل من الحجم الظاهري للتربة فتزداد قيمة الكثافة الظاهرية.

طرائق تعيين الكثافة الظاهرية:(ρb)

a) الطرائق المباشرة:

يوجد طرائق عدة لتعيين الكثافة الظاهرية للتربة الجافة أو الرطبة، بوضعها الطبيعي في الحقل منها

1- **طريقة الأسطوانة المعدنية المفتوحة الطرفين:** كما هو موضح في الشكلين (4-3)، (4-4).

الشكل رقم (4-3) طريقة الاسطوانة لتقدير الكثافة الظاهرية

الشكل رقم (4-4): يوضح كيفية أخذ عينات التربة بطريقة الاسطوانة لتقدير الكثافة الظاهرية من الطبقة تحت السطحية

2- **طريقة التغليف بشمع البارافين** Paraffin wax coating technique لكتلة ترابية تؤخذ من الحقل مباشرة، ويجرى تعيين كتلتها وحجمها الظاهري في المختبر، وهي عبارة عن طريقة حقلية كان يطلق عليها اسم طريقة فيرجيير Vergieres، التي تسمح بقياس الكثافة **الظاهرية** في المختبر بعد نقلها باستعمال عينات (غير مثارة) من التربة، لم يؤثر في بنائها أي تعديل عما كانت عليه في الحقل (في الموقع In-situ)، ويستخدم لهذا الغرض مكعب معدني من الزنك يحيط بالعينة ويضاف شمع البارافين السائل في الحيز المحصور بين العينة الترابية والجدران الداخلية للعلبة المعدنية، كي لا يطرأ أي تبديل لوضعها الطبيعي في الحقل، ويتم ذلك بعمل حفرة إلى عمق قد يصل إلى 150 سم على هيئة سلم متدرج، وبقطع مكعب ترابي 10×10×10 سم عند الأفق أو العمق المطلوبين، وفي المختبر يمكن قياس الكثافة الظاهرية بأكثر من طريقة، إلا أنها تبقى طرائق تقريبية تفتقر للدقة.

3- **طريقة الزيت اللزج:** يتم ذلك عن طريق ثقب حفرة اسطوانية الشكل، و وضعها بكيس و سكب الزيت اللزج داخل الحفرة وحساب حجمه، ثم نقل الكيس مع العينة إلى المخبر وتجفيفها في الفرن، ثم حساب قيمة الكثافة الظاهرية.

أهمية قياس الكثافة الظاهرية والعوامل المؤثرة في قيمتها:

تبدي الترب الهشة المفككة، وعالية المسامية كثافة ظاهرية (وزناً **ظاهرياً**) أقل من الترب المندمجة والمتراصة، فتتراوح الكثافة الظاهرية للترب الرملية التي تتميز بحجم كلي للفراغات أقل من ذلك الذي تتميز به الترب السلتية، واللومية، والطينية، بين (1.2 - 1.6 غ/سم^3)، نظراً للتماس الكبير بين حبيباتها الفردية وبسبب انتظام سطوحها، وقد تصل قيمتها في طبقة تحت التربة والآفاق الأدنى من الترب الرملية، والترب المتراصة، إلى أعلى من (1.6)غ/سم^3، أما في

الترب السلتية، والطينية، والطينية السلتية، واللومية، والطميية، فتتراوح الكثافة الظاهرية فيها بين (0.85 – 1.6 غ/سم^3)، تبعاً لنسبة الفراغات فيها، ومحتواها من المادة العضوية.

تكون قيمة الكثافة الظاهرية لطبقة تحت التربة غالباً، أكبر من كثافة الآفاق السطحية للتربة نفسها، يمكن أن يعود ذلك إلى انخفاض محتوى الآفاق الأدنى من المادة العضوية وانخفاض درجة تحببها، وزيادة الضغوط المطبقة عليها، مما يزيد من اندماجها وتراصها ويرفع بالتالي من قيمة كثافتها الظاهرية.

<u>الأهمية التطبيقية لتحديد قيمة الكثافة الظاهرية:</u>

1- نظراً لاستخدام قيمتها في حساب محتوى التربة الرطوبي الوزني Θ_m والحجمي Θ_V (على أساس الوزن الجاف).

$$\Theta_m = \Theta_v \cdot \rho_w / \rho b$$

$$\Theta_v = \Theta_m \cdot \rho b / \rho_w$$

2- تفيد هذه الحسابات في معرفة ارتفاع عمود الماء الواجب إضافته لترطيب عمق ما من مقطع التربة.

3- تساعد في حساب الاحتياجات المائية للزراعات المختلفة.

4- حساب المسامية الكلية vf % و المسامية الهوائية f_a للتربة:

-المسامية الكلية vf % أو p%:

$$Vf\,\% = \frac{\rho s - \rho b}{\rho s} \times 100$$

أو المسامية الكلية للتربة vf % :

$$Vf\,\% = \left(1 - \frac{\rho b}{\rho s}\right) 100$$

- يمكن حساب المسامية الهوائية للتربة fa كنسبة حجمية من العلاقة:

$$\frac{V_w}{V_t} = \Theta_V \text{ حيث } f_a = f - \Theta_v \text{ و } \Theta_v = f - f_a$$

كما يمكن حساب قيمة الكثافة الظاهرية للتربة ρb من العلاقة التالية:

$$\rho b = (1 - f)\, \rho_s$$

5- تؤخذ قيمة الكثافة الظاهرية للتربة كمؤشر على درجة تراص التربة واندماجها، وحالة بنائها الحقلي، وعلى مساميتها ونظامها الهوائي، فقد بينت الدراسات الحديثة انخفاضاً في إنتاجية الأراضي الزراعية، يمكن أن يصل الى 50%، نتيجة ارتفاع قيمة الكثافة الظاهرية للتربة الذي ينجم عن استخدام الآليات الزراعية الثقيلة التي تتجاوز أوزانها 15 طناً.

يمكن أن يشار سبب ذلك إلى ضعف النمو النباتي لمختلف المحاصيل الذي يبدو جلياً من خلال الصور الجوية المأخوذة للأراضي الزراعية التي كانت لفترات زمنية طويلة مسرحاً أو ممراً لعبور الآليات الزراعية ووسائط النقل المختلفة، أو المشاة لحقب زمنية طويلة، وذلك بسبب الرص التي تعرضت له تلك الاراضي.

الفصل الخامس: مسامية التربة والنظام الهوائي الأرضي

Soil porosity & Soil aeration system

5-1 أساسيات:

تنشأ المسامية في التربة عن تلك الفراغات التي يشغلها الماء والهواء، وتتميز الفراغات pores (المسامات) في التربة بنظام هندسي معقد، نظراً لاختلاف حبيباتها في الحجم والشكل والانتظام، وميل بعضها للانتفاخ والانكماش، والحركة والهجرة، عبر مقطع التربة في ظروف مناخية معينة، الأمر الذي يؤدي إلى تباين فراغات التربة في أشكالها وأبعادها وتعرجها واستمراريتها، من مكان لآخر في مقطع التربة الواحد ومن موقع لآخر فيه، ومن تربة لأخرى.

تعبر مسامية التربة Soil Porosity عن حجم الفراغات (المسام) النسبي فيها، فهي اصطلاح مبسط يطلق لوصف نظام الفراغات في التربة، وتساوي تحديداً النسبة بين حجم المسامات الكلية (المشغول بالماء والهواء) Vf إلى الحجم الكلي الظاهري للتربة، بأطوارها الثلاثة Vt أي :

$$f = \frac{Vf}{Vt} = \frac{Va + Vw}{vs + Va + Vw}$$

يطلق على **الاصطلاح f المسامية الكلية للتربة** Total porosity التي تعبر عن مجموع الفراغات في وحدة الحجم الظاهري من التربة، ويشيع استخدام المسامية الكلية لدى المختصين بالعلوم الزراعية عامة وعلوم التربة والمياه واستصلاح الأراضي خاصة.

تتراوح المسامية الكلية للتربة بين (30%) للرملية وخاصة المتدرجة منها ، و (60%) للترب الطينية ذات التجمعات الترابية الحبيبية (غير المتفرقة)، أما نسبة الفراغ (عامل المسامية) فتتراوح

بين 0.4(40%) للترب الرملية، و 1.9(190%) للتربة الطينية الثقيلة، و يمكن أن تتجاوز ذلك لتصل إلى 4.0(400%) أو أكثر كبعض أنواع الطين النقي. فإذا كانت نسبة الفراغات أصغري، تكون عندها الترب الرملية متراصة، أما إذا كانت نسبة الفراغات أعظمية فعندها تكون بالغة التفكك (مخلخلة).

2-5 العلاقة بين المسامية الكلية وكثافة التربة

لدينا $Vt = V_s + Vf$

$$Vs = \frac{ms}{\rho s}$$

كما تعطى المسامية بالعلاقة:

$$f = \frac{Vt - Vs}{Vt}$$

ولدينا:

$$Vs = \frac{ms}{\rho s} \quad \& \quad Vt = \frac{ms}{\rho b}$$

و بالتعويض كل بقيمته في معادلة f نجد:

$$f = \frac{\frac{ms}{\rho b} - \frac{ms}{\rho s}}{\frac{ms}{\rho b}}$$

$$f = \frac{\rho b}{ms}\left(\frac{ms}{\rho b} - \frac{ms}{\rho s}\right)$$

$$ms \quad (\rho b \quad \rho s)$$

و منه نجد أخيراً

$$f = 1 - \frac{(\rho b)}{\rho s} \qquad (2)$$

والمسامية الكلية كنسبة مئوية :

$$\%f = 1 - \frac{(\rho b)}{\rho s} \cdot 100$$

يمكن تعيين المسامية الكلية لأية تربة بتعين كل من كثافتها الظاهرية الجافة (الوزن الحجمي الجاف) والكثافة الحقيقية (كثافة الطور الصلب) للتربة نفسها، من العلاقتين الآنفتي الذكر(1) و(2)

يمكن أن يعبر عن المسامية الكلية للتربة كنسبة حجمية أو كنسبة مئوية تبعاً لنوع الحسابات والعلاقة المستخدمة.

3-5 العلاقة بين درجة التشبع s والمسامية الهوائية fa وكثافة التربة :

يشيع استخدام اصطلاح المسامية الهوائية fa للتربة Air-filled porosity التي تعد مقياساً لتهوية التربة وتعطى بالعلاقة:

$$fa = f - s$$

أيضا "

$$fa = f - \Theta v = f(1-s)$$

حيث : s درجة التشبع

$$s = \frac{Vw}{Vf}$$

أما Θv = المحتوى الرطوبي الحجمي عند السعة الحقلية

$$\Theta v = \frac{Vw}{Vt}$$

أي أن المسامية الهوائية fa تتناسب عكساً مع درجة تشبع التربة s Θ s، أما s فهي تمثل نسبة حجم الماء في فراغات التربة إلى الحجم الكلي لهذه الفراغات و تعطى بالعلاقة :

$$\Theta \ s \ \% = \frac{Vw}{Vf}$$

فإذا كانت التربة جافة تماما تكون: Vw =0 و تكون Θ s = 0

وإذا كانت التربة مشبعة كلياً نجد: Vf = Vw و تكون Θ s = 1

أما إذا كانت التربة مشبعة جزئيا فإن:

$1>\Theta s > 0$ وتكون $Vw < Vf$

5-4- أنواع المسامات الموجودة في التربة:

1- **مسامات واسعة**: تكون أقطارها أكبر من 8.5 ميكرون و يتحرك ضمن هذه المسامات الماء الحر تحت تأثير الجاذبية الأرضية و هو ماء لا يستفيد منه النبات.

2- **مسامات متوسطة الحجم**: تتراوح أقطارها بين 0.2-8.5 ميكرون يوجد ضمنها الماء الشعري الذي يتحرك بالخاصية الشعرية و هو الماء المتاح بالنسبة للنبات.

3- **مسامات دقيقية**: تكون أقطارها أقل من 0,2 ميكرون و يوجد ضمنها الماء الهجروسكوبي و الذي يشكل غشاء يرتبط بقوة على سطح حبيبات التربة فلا يستفيد منه النبات.

5-5 علاقة المسامية و الكثافة الظاهرية بنظام ترتيب الحبيبات:

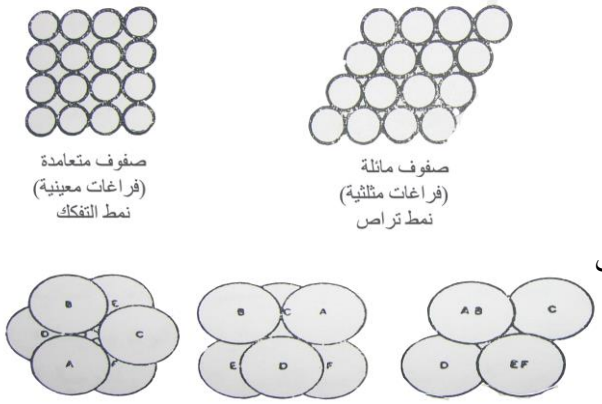
تنتظم حبيبات التربة الفردية ضمن كتلة التربة بموجب نظام ترتيب هندسي يتراوح من الانتظام النسبي إلى العشوائية التامة، و ترتيب الحبيبات هو النظام الهندسي الذي تتلاصق وتتجاور بموجبه سطوح الحبيبات، والذي تتوقف عليه أشكال و أبعاد و حجوم و استمرارية (اتصال) الفراغات في التربة. وفي التربة يكون تنسيق الحبيبات وترتيبها وفق نمطين، هما النمط السائب أو المفكك (المفتوح) open (lose) packing ونمط التزاحم أو التراص(المغلق)close packing، وتكون الحبيبات في النمط الأول مرتبة في صفوف متعامدة ومتجاورة، وتمس كل حبيبة فيه ست حبيبات متجاورة وتنشأ بين الحبيبات فراغات معينة الشكل. أما في النظام الثاني فتكون الحبيبات مرتبة في صفوف مائلة بعضها إلى بعض، و تلامس كل حبيبة في هذا النظام سطوح اثنتي عشر حبيبة متجاورة، وتنشأ بين الحبيبات فراغات مثلثيه الشكل كما هو موضح بالشكل (5-1).

تبلغ الكثافة الظاهرية (ρb) في حالة النمط الأول المفكك ذي التنسيق السداسي المكعبي

$\rho b = 6 \pi / \rho s = 1.38\ g/cm^3$

(تؤخذ ρs على أنها تساوي 2.65غ/سم^3) وتبلغ المسامية الكلية في هذا النظام من التنسيق

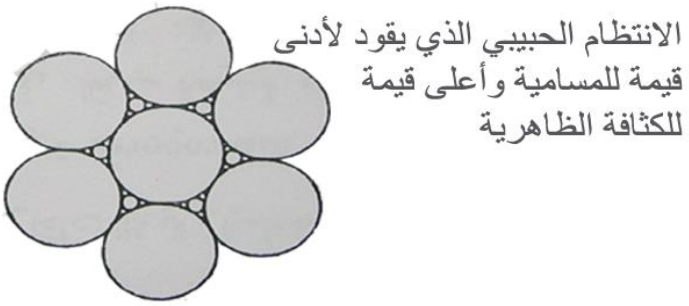
f= 47.6% بصرف النظر عن أقطار الحبيبات الكروية المشكلة للنظام، أما في النمط الثاني للترتيب المتزاحم، فيلاحظ أنه أياً كان التنسيق الاثنا عشري للحبيبات الكروية الشكل المشكل فإن الكثافة الظاهرية تبلغ $2\sqrt{}^{\pi\backslash 3}$ = 1.94 غ/سم^3 وتبلغ المسامية الكلية f% = 26.8% .



الشكل رقم (5–1): يوضح أنماط ترتيب حبيبات التربة وانتظامها

تنتظم الحبيبات الكروية في النظام السائب المفتوح ضمن بناء مكعبي، أما في نظام التراص المغلق فيكون انتظامها ضمن بناء هرمي الشكل، ومثل هذين النظامين من الترتيب لا يوجد أحدهما بمفرده في التربة، بل يوجدان معا بسيادة أحدهما على الأخر.

عندما تحل التجمعات الحبيبية محل الحبيبات الفردية فإن المسامية تزداد تبعاً لذلك، وتنخفض قيمة الكثافة الظاهرية، أما إذا حلت الحبيبات الفردية الصغيرة في الفراغ المتشكل بين الحبيبات الفردية، أو التجمعات الحبيبية الأكبر، لأسباب ميكانيكية أو فيزيائية كيميائية (تفرق الحبيبات أو الإنغسال) فإن التربة تميل لتأخذ أدنى قيمة للمسامية و أعلى قيمة لكثافتها الظاهرية في النظام التجميعي كما هو موضح في الشكل (5–2).



الشكل رقم (5–2): يوضح النظام التجميعي للحبيبات

يمكن من الناحية العملية تعديل نظام ترتيب الحبيبات السائد في التربة بوسائل الخدمة الآلية، فعمليات الحراثة بأنواعها والعزق والتمشيط وسواها، تعمل كلها على سيادة نظام التفكك المفتوح

وما يترتب عليه من اتساع أبعاد الفراغات البينية، أما عملية الرص والتسوية والتزحيف، واستخدام الآلات الزراعية الثقيلة فكلها يعمل على سيادة نظام التراص المغلق وخفض المسامية وبالتالي زيادة الكثافة الظاهرية للتربة.

5-6-أنواع المسامية وتصنيف الفراغات

يوجد في التربة بصورة عامة ثلاث أنواع من الفراغات تصنف تبعاً لأبعادها، فهناك الكبيرة (الواسعة) macoropores والمتوسطة الأبعاد Mesopores والفراغات الدقيقة Micropores وقد وضعت تصنيفات عديدة لهذه الفراغات تبعاً لأبعادها، فنجد أن الكثير منها يتجاوز أبعادها 100 ميكرومتر وتقع المتوسطة منها بين (10^{2} – 0.1 μ m) وتقل أبعاد الدقيقة منها عن ذلك لتصبح من رتبة (10^{-3} μ m) ويبين المخطط التالي أنواع التصانيف المختلفة التي تتفاوت كثيراً في الحدود الدنيا والقصوى لأبعاد هذه الفراغات حسب الهدف من الدراسة.

تسمح الفراغات الكبيرة بصورة عامة بحركة الهواء والماء في التربة، بينما تعيق الفراغات الصغيرة وبخاصة المجهرية، حركة الماء بحرية، إذ تقتصر حركته فيه على الخاصية الشعرية، ومن الناحية العملية فإنه لا توجد حدود فاصلة بين هذه الفراغات، كما تعد هذه الحدود وضعية وعشوائية.

كما تلعب أبعاد هذه الفراغات دوراً حاسماً في حركة الهواء والماء في التربة أكثر بكثير من الحجم الكلي للفراغات Vf أو ما يسمى بالمسامية الكلية f. وهكذا نجد أن حركة الماء والهواء في الترب الرملية تكون سريعة، وتتميز بنفاذية عالية ومعدل تسرب كبير، مقارنة مع الترب الطينية واللومية على الرغم من أن مسامية الأخيرة تفوق مسامية الترب الرملية، ويعزى ذلك أساساً إلى ارتفاع نسبة الفراغات الكبيرة Macropores واتساع أبعادها، مقارنة مع أبعاد الفراغات السائدة في التربة الطينية والطينية السلتية، فالفراغات الدقيقة والمجهرية السائدة في مثل تلك الترب تجعل حركة الماء بطيء جداً أو معدوماً، فتحتفظ بالماء في هذه الفراغات التي لا تتسع إلا لعدد ضئيل من جزيئات الماء، التي تحيط بها وتغلقها وتملأ الفراغات المحصورة بينها وهذا يعني بداية أن ليس للمسامية الكلية أو الحجم الكلي للفراغات أهمية تذكر في تهوية الترب وحرية حركة الماء والهواء والجذور، بقدر ما لأبعاد الفراغات الفردية من أهمية، وبالتحديد إلى نسبة الفراغات الكبيرة إلى الحجم الكلي للفراغات أو المسامية الكلية، وهكذا فإذا ما أريد تحسين النظامين الهوائي و

المائي للترب الطينية والثقيلة عموما فإنه لابد من العمل على رفع نسبة_الفراغات الكبيرة فيها أكثر من زيادة المسامية الكلية لتلك الترب.

5-7 العوامل التي تؤثر في المسامية

- **القوام:** يلعب قوام التربة دوراً أساسياً في تحديد مساميتها، كما يؤثر في نسبة الفراغات الكبيرة إلى الفراغات الدقيقة، إذ تتراوح المسامية الكلية vf للتربة الرملية بين 30-45% ، وتبلغ % 60- 45 في التربة الطينية الثقيلة، وقد تزيد عن ذلك، حسب محتواها من المادة العضوية ودرجة تجمع حبيباتها.
- **عمق الطبقة أو الأفق:** تكون مسامية طبقة تحت التربة والآفاق الدنيا بشكل عام أدنى من مسامية الآفاق السطحية، وقد تنخفض هذه المسامية إلى حدود 25-30% في بعض الترب الرملية و السلتية التي تعرضت لضغوط الآليات الثقيلة.
- **الأساليب الزراعية ونمط الزراعة:** التي تلعب دوراً هاماً في تحسين المسامية أو في تدني قيمتها مع الزمن، فاستخدام الآلات الزراعية الثقيلة يؤدي إلى تراص التربة واندماجها مما يزيد من كثافتها الظاهرية، ويخفض من مساميتها، وهكذا فإن حسن اختيار نمط وقوة آلات خدمة وتجهيز الأراضي الزراعية يحفظ التربة من تدني الخواص الفيزيائية الناجمة عن انخفاض المسامية.
- **بناء التربة ودرجة تحبب التربة:** وبصورة عامة فإن كل العوامل التي تحفز عملية تحبب التربة وتكون التجمعات الترابية، كإضافة المواد العضوية، وأملاح الكالسيوم للتربة، وإتباع الدورات الزراعية المناسبة، التي تتضمن زراعات متفاوتة الانتشار الجذري، و الاختيار الأمثل لآلات خدمة الأرض، وإتباع طرق الري المناسبة، كلها عوامل تسهم في صيانة مسامية التربة وتحسين نظامها الهوائي.

5 -8 طرائق قياس المسامية

يجرى تعين المسامية الكلية للتربة (vf) أو (P%) بالطريقة الحسابية:

آ – الطريقة الحسابية (الغير مباشرة): يمكن حسابها بمعرفة قيمتي كل من الكثافة الظاهرية الجافةρ_b والكثافة الحقيقية ρ_s للتربة نفسها، أو بمعرفة نسبة الفراغات الجافة e كما وجدنا آنفا حيث :

– بمعرفة كثافتي التربة

$$\%Vf = \frac{\rho s - \rho b}{\rho s} \times 100$$

5-9 هواء التربة :

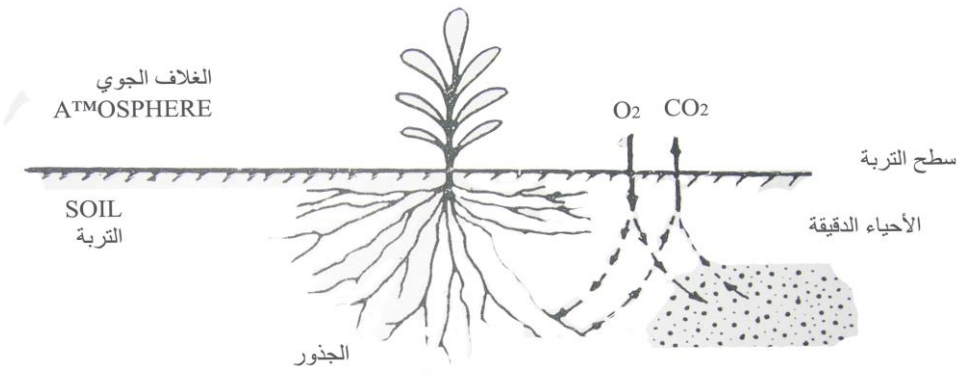
يشكل هواء التربة أحد أطوار التربة الذي يتصف بعدم الثبات حجماً وتركيباً، فهو يتغير تبعاً للحالة الرطوبية، و النشاط الحيوي، و الظروف الحيوية المحيطة، و العمق، ويملأ الهواء فراغات التربة غير المملؤة بالماء، وتتناقص كميته مع ازدياد المحتوى الرطوبي إلى أن ينعدم وجوده في فراغات التربة إذا ما وصلت إلى مرحلة التشبع وتبقى منه كميات قليلة ذائبة في محلول التربة مما يؤثر على الميزان المائي الهوائي للتربة Air –water balance.

تتغير في التربة نسبة حجوم كل من أطوارها الثلاثة إلى بعضها البعض، عندما تتعرض لعمليات الترطيب والتجفيف والانتفاخ والانكماش والحراثة والضغط والتجمع والتفرق إلا أن المتغيرين الأكثر تأثراً بذلك هما الطورين السائل والغازي، وتكون زيادة نسبة أحدهما دائماً على حساب الطور الأخر وهكذا نجد:

$$V_a = V_f - \Theta_v = f_a = f - \Theta_v$$

حيث Θ_v محتوى الرطوبة الحجمي عند السعة الحقلية ويساوي V_w/V_t

تعد تهوية التربة Soil aeration عملية تبادل كل من غازي O_2 و Co_2 مع الهواء الجوي، يضاف إليها بعض الغازات الموجودة في الهواء بنسبة كبيرة كالآزوت N_2، وبعضها الآخر يترافق وجوده بالنشاط الحيوي في التربة، كأشكال الآزوت الغازيةNH_3, NO, NO_2 والكبريت الغازية H_2S, SO_2 والهيدروجين H_2، وبعض الغازات الهيدروكربونية، مثل الميتان CH_4 والغازات النادرة مثل الآرغون كما هو موضح في الشكل(5-3).



عملية التبادل الغازي بين التربة والغلاف الجوي

الشكل رقم (5–3): يبين عملية التبادل الغازي بين هواء التربة والغلاف الجوي

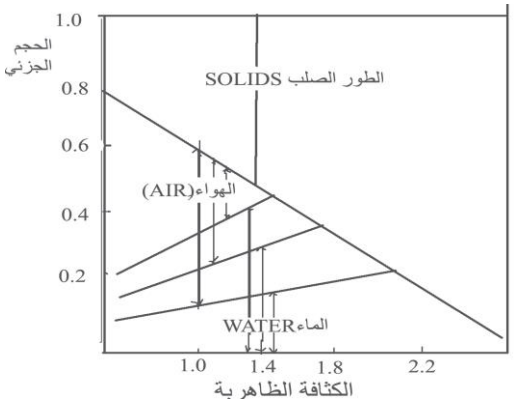
يبين الشكل (5–4) العلاقة بين نسبة كل من حجوم الهواء والماء والطور الصلب في التربة وبين الكثافة الظاهرية الجافةρb عند ثلاث محتويات رطوبية وزنيه Θ_m : 0.3, 0.2, 0.1 حيث:

$(\Theta_m = m_v \setminus m_s = \Theta_m)$.

يعد هواء التربة وبخاصة غاز O_2 عاملاً محدداً للنمو النباتي بشكل عام، وينعكس تأثيره على الانتشار الجذري، وعلى امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وعلى مجمل النشاط الحيوي في التربة، وتحولات الطاقة فيها، وأكسدة العديد من المركبات والعناصر المعدنية فيها، والتي تؤثر بمجملها على خصوبة التربة وإنتاجيتها، وإذا ما أخذ سوء التهوية صفة الديمومة الجزئية أو الكلية بسبب الهيدرومورفية المؤقتة أو الدائمة، فإنه لا مناص من اتخاذ الإجراءات الكفيلة بتحسين النظام الهوائي، بعملية الخدمة والإصلاح المعروفة، أو تنفيذ الصرف المناسب للمياه الزائدة.

يعد هواء التربة وبخاصة غاز O_2 عاملاً محدداً للنمو النباتي بشكل عام، وينعكس تأثيره على الانتشار الجذري، وعلى امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وعلى مجمل النشاط الحيوي في التربة، وتحولات الطاقة فيها، وأكسدة العديد من المركبات والعناصر المعدنية فيها، والتي تؤثر بمجملها على خصوبة التربة وإنتاجيتها، وإذا ما أخذ سوء التهوية صفة الديمومة الجزئية أو الكلية بسبب الهيدرومورفية المؤقتة أو الدائمة، فإنه لا مناص من اتخاذ الإجراءات الكفيلة بتحسين النظام الهوائي، بعملية الخدمة والإصلاح المعروفة، أو تنفيذ الصرف المناسب للمياه الزائدة.

العلاقة بين نسبة كل من حجوم الهواء والماء والطور الصلب في التربة وبين الكثافة الظاهرية الجافةρb عند ثلاث محتويات رطوبية وزنيه Θ_m : 0.3, 0.2, 0.1



الشكل (5–4): علاقة الحجوم الجزيئية لكل من الهواء والماء والفراغات الكلية بالوزن الحجمي (الكثافةρb) عند محتوى رطوبة وزنية Θ_m مختلفة (0.3, 0.2, 0.1)

5-10 تركيب هواء التربة

يتوقف تركيب هواء التربة، على سرعة عملية التبادل الغازي بين هواء التربة والهواء الجوي التي تتأثر بخواص التربة الفيزيائية عموما، وعلى فعالية العمليات الحيوية في التربة، التي تعود لنشاط كل من الجذور و الأحياء التي تستوطن التربة، وبخاصة الأحياء الدقيقة منها و يتكون هواء التربة من الغازات المكونة للهواء الجوي بفارق وحيد، هو انخفاض نسبة O_2 وزيادة نسبة CO_2 قليلا عما هي في الهواء الجوي جدول (5-1).

جدول (5-1): يبين تركيب الهواء الأرضي والهواء الجوي (%حجماً)

	O_2	CO_2	N_2
هواء التربة	20.65	0.25	79.20
الهواء الجوي	20.97	0.03	79.00

تؤثر في تركيب هواء التربة عوامل عديدة ، أهمها :

آ – **الخواص الفيزيائية للتربة من قوام وبناء**، الخواص الهيدروفيزيائية من نفاذية وتسرب وسعة احتفاظ عظمى بالرطوبة، وماء هيجروسكوبي.

ب – **عمق التربة أو الأفق**، إذ يلاحظ انخفاض نسبة الأكسجين مع العمق، ويكون الانخفاض أكثر وضوحاً في الترب الطينية السلتية.

ج – **عمليات خدمة الأرض وتحضيرها** فكلها تزيد من تحبب التربة و ترفع من سعتها الهوائية وتنشط عملية التبادل الغازي مع الهواء الجوي.

د – **تأثير نمط الزراعة ونوعها**، إذ تساعد الزراعة على رفع نسبة CO2 في هواء التربة وخفض نسبة O_2 نتيجة الحاجة المستمرة والمطردة للنمو النباتي، ويذكر البعض أن نسبة CO2 في هواء تربة مزروعة يمكن أن يزيد نحو 4-10 مرات عن نسبته في أرض تركت بور وقد قدر راسل1937 Russell كمية CO_2 المنطلقة من تربتين زرعت الأولى بالبطاطا وتركت الثانية بور فكان معدل إنطلاق CO_2 (ليترام^{2}ايوم) للتربتين على النحو التالي 6.4_6.0 للأولى و0.8_2.4 للثانية

هـ – تأثير إضافة المادة العضوية والنشاط الحيوي في التربة، إذ أن تفكك المواد العضوية وتمعدنها الأولي السريع والثانوي البطيء يقودان كلاهما إلى انطلاق كميات كبيرة من CO_2 يضاف إلى ذلك ما تطرحه الخلايا الحية والنباتية(الجذرية) من **CO2** نتيجة عمليتي الاستقلاب والتنفس، وهنا تلعب الرطوبة ودرجة الحرارة دوراً هاماً مساعداً في حفز النشاط الجذري والحيوي في التربة.

و – تأثير التغيرات الفصلية وما يرافقها من تغيرات في حرارة التربة ورطوبتها:

تشكل الزيادة الملاحظة في انطلاق **CO2** ونقصان **O2** تابعاً رئيسياً للتغيرات الموسمية لكل من الحرارة والرطوبة الأرضيتين، بوجود الأحياء الدقيقة والزراعات المختلفة.

يزداد بصورة عامة محتوى هواء التربة من غاز CO_2 في حين تنخفض نسبة O2 فيه في جميع الحالات التالية:

- صيفا نتيجة النشاط الحيوي والانتشار الجذري الكبير.
- في الترب المسمدة بالأسمدة العضوية والكيميائية.
- في الترب الطينية الثقيلة الرطبة، وسيئة البناء
- في طبقة تحت التربة ومع زيادة العمق ضمن مقطع التربة النفوذ.

5-11 السعة الهوائية للتربة

تعريف السعة الهوائية للتربة:

تشكل مجموع حجوم الفراغات غير المشغولة بالماء بعد تشبع التربة بالماء، وتركها لمدة تتراوح بين 24-48 ساعة، حتى يتم صرف ماء الجاذبية الزائد عن سعة احتفاظها بالماء، وتساوي السعة الهوائية ما يسمى بالمسامية الهوائية f_a الناجمة عن امتلاء الفراغات الكبيرة Macropores بالهواء، أو المسامية الكبرى Macroporosity ، التي لا تتضمن الفراغات شعرية الأبعاد وتتأثر السعة الهوائية للتربة بكل العوامل التي تؤثر على مسامية التربة وبخاصة درجة تجمع حبيبات التربة ومحتواها من المادة العضوية .

تتفاوت الزراعات المختلفة بمتطلباتها من السعة الهوائية الواجب توفرها، فنجد أن نباتات المراعي والمحاصيل العلفية تحتاج لسعة هوائية تقدر بـ 5 – 10% أما محاصيل الحقل النجيلية كالقمح والشيلم والشوفان فتقدر السعة الهوائية المناسبة لها بين 10– 15 % وتصل لـ 20 % بالنسبة للمحاصيل الدرنية كالبطاطا والشوندر، وقد وجد في حالات كثيرة أن السعة الهوائية تشكل عاملاً محدداً لإنتاج العديد من المحاصيل وبخاصة في الترب الطينية الثقيلة.

العوامل التي تؤثر في تدفق كتلة الهواء عبر سطح التربة:

آ – تأثير درجة الحرارة:

يكون تأثيرها أشد خلال ساعات النهار، لأن درجة حرارة التربة تكون أعلى من درجة حرارة الهواء ولوجود ممال حراري عبر مقطع التربة نظراً لأن السطح يكون أسخن من عمق المقطع الأرضي أثناء النهار، ثم تنعكس الآلية خلال الليل. وهكذا عندما يكون هواء التربة أعلى حرارة من الوسط الخارجي، يكون ذا كثافة أقل ويميل للعبور خلال مقطع التربة إلى الغلاف الجوي ليحل محله هواء من الخارج يكون أكثر برودة (أدنى حرارة) ويقدر Romell سرعة انتقال الهواء داخل التربة ب 100سم اساعة في أفضل الظروف.

ب– امتزاج هواء التربة بالماء:

يحصل ذلك عبر عملية تبخر ماء التربة وهطول الأمطار وتسربها خلال مقطع التربة، بالرغم من ضعف تأثير الأولى إلا أن فعل الهطول يكون أكثر وضوحاً، فتسرب قدره 1م^3 من مياه المطر يمكن أن يجدد هواء التربة ويزيحه بفعالية تقدر بحوالي مئة مرة إزاحة هواء طبقة من التربة بسماكة 10سم خلال سنة واحدة، ومع ذلك فإن مثل هذا التأثير يبقى محدوداً، سواء كانت المياه مطراً أو رياً.

ج– فعل الرياح:

يؤدي هبوب الرياح على مقربة من سطح التربة إلى اجتذاب هواء التربة وإزاحته، تطبيقا لفعل Beronuilli الذي يقود إلى أن أي سائل يغير من سرعته فإنه يزيد أو يخفض من ضغطه بمقدار نقصان أو زيادة سرعته، يضاف لذلك تأثير الرياح بهبوبها على السطوح المائلة والمنحدرات، حيث يكون أكثر فعالية في تجديد هواء التربة.

د – تأثير تغيرات الضغط الجوي:

يؤدي ارتفاع الضغط الجوي إلى انحسار هواء التربة إلى الأعماق وتفشيه في فراغات التربة، بينما يؤدي انخفاضه طرد هواء التربة باتجاه الغلاف الجوي، وقد بين Buckingham أن تغيرا

في الضغط الجوي مقداره 4سم زئبق يؤدي إلى اختراق أو إزاحة هواء التربة إلى عمق قدره 15.4سم من تربة ذات عمق يصل إلى 3 أمتار.

13-5 انتشار هواء التربة

تتم عملية انتقال الغازات كالأكسجين O_2 و غاز ثاني أكسيد الكربون Co_2 في التربة على هيئة غازية عبر الطور الغازي للتربة، وجزيئياً على هيئة مذابة في طورها السائل (محلول التربة)، وهكذا يتم انتشارها عبر الفراغات المملوءة بالهواء، بعملية التبادل الغازي بين هواء التربة والهواء الجوي، بينما يؤمن الانتشار عبر الأغشية المائية ذات السماكات المختلفة تزويد الأحياء والخلايا الحية بالأوكسجين طارداً و مزيحاً غاز CO_2. وأياً كانت آلية انتشار الغازات فإنها يمكن أن توصف باستخدام قانون فيك الذي يعطى بالعلاقة التالية

$$q_d = - D \, dc/dx$$

حيث q_d التدفق الانتشاري غ\سم^2\ثانية

D : معامل (ثابت) الانتشار (سم^2\ثانية)

c : التركيز (غ من المادة المنتشرة \ سم^2)

x : المسافة (طول أو سماكة طبقة الانتشار سم ، ويمثل عملياً بمتوسط طول أو استمرار الفراغ الأرضي المتعرج الذي يأخذ غالباً شكلاً حبيبياً)

أما dc/dx يمثل ممال التركيز

ولقد وجد **رومل 1935** الأزمان التالية من أجل Df_a = 0.1 سم/ ثا بالنسبة للأعماق (قيم مختلفة لسماكة التربةx) التالية:

العمق (السماكة x) مقدراً بالسم	الزمن بالثواني
0.1	0.05ثا
1	5ثا
10	8د و 18ثا
30	1سا و 15د

تظهر هذه الحسابات بوضوح، أهمية عملية الانتشار الغازي في تأمين تهوية التربة وتجديد هوائها، وتجاوزها إلى حد بعيد دور عملية الانتقال الغازي بالحمل، في تهوية التربة أياً كانت ظروف التربة الطبيعية في الحقل.

نهاية المحاضرة التاسعة الدكتور عصام شكري الخوري