

التوزيع الحجمي لمسامات تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات

حسن ستار ناجي
مدرس مساعد

nienose@yahoo.com

قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة – جامعة بغداد

نمير طه مهدي
استاذ

nameer.taha@yahoo.com

قسم مكافحة التصحر – كلية الزراعة – جامعة بغداد

المستخلص

يعد الحيز المسامي وبالاخص التوزيع الحجمي لمسامات التربة من اهم الصفات ذات التأثير المباشر في غيض الماء والايصالية المائية والقدرة على مسك الماء. ولاختبار تأثير معادن الكربونات في التوزيع الحجمي للمسامات استخدمت مادة تربة نسجتها مزيجية. حضر من مادة التربة تسع مواد تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات ويمدى واسع (3.2 – 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة). قدرت منحنيات المسك الرطوبي Soil moisture retention curve ($\theta(\psi)$) لعينات التربة. استعمل برنامج حاسوب (RETC code) لاجراء التظابق لبيانات الشد المائي ψ ضد المحتوى الرطوبي الحجمي θ ذات العلاقة غير الخطية وذلك لتقدير معايير معادلة van Genuchten، α ، n و m على ان $m=1-(1/n)$. حسب قطر المسام الفعال (D) من معادلة الخاصية الشعرية Young-Laplace equation. اظهرت النتائج ان الحيز المسامي لعينات التربة قد تآثر بمحتوى معادن الكربونات فعند زيادة محتوى معادن الكربونات من 3.2 الى 352 غم كغم⁻¹ ازدادت المسامات الهوائية (<30 مايكرومتر) بمقدار 1.4 مرة، في الوقت نفسه انخفضت المسامات الشعرية المملوءة بالماء (>30 مايكرومتر) بمقدار 1.3 مرة. تراوحت نسبة حجم الماء في المسامات الشعرية الى الحجم الكلي للتربة بين 0.27 و 0.21 سم³ سم⁻³ لمحتوي معادن الكربونات 3.2 و 352 غم كغم⁻¹ على الترتيب. زادت كمية الماء المفقود عند الشد 10 كيلوباسكال مع زيادة محتوى معادن الكربونات اذ فقدت العينة 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة ماء اكثر ونسبة 42% قياساً بالعينة 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة. تراوحت نسبة المسامات الاصغر من 30 مايكرومتر بين 67% و 79% ونسبة المسامات الاكبر من 30 مايكرومتر بين 33% و 21% لعينات التربة الخاضعة للاختبار. يستنتج من هذه التجربة ان محتوى معادن الكربونات العالي في التربة ادى الى تغيير في التوزيع الحجمي للمسامات اذ ازدادت المسامات الهوائية وانخفضت المسامات الشعرية المملوءة بالماء وبشكل متفاوت من عينة الى اخرى.

كلمات مفتاحية: الحيز المسامي، قطر المسام الفعال، معادلة الخاصية الشعرية، منحنيات مسك الماء.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences – 47(5):1312-1320, 2016

Mahdi & Naji

SOIL PORE SIZE DISTRIBUTION AT DIFFERENT CARBONATE MINERALS
CONTENTN. T. Mahdi
Professor

nameer.taha@yahoo.com

Dept. of Desertification combat - College of
Agriculture – University of Baghdad

H. S. Naji

Assistant Lecturer

nienose@yahoo.com

Dept. of Soil Sci. and Water Res. – College of
Agriculture – University of Baghdad

ABSTRACT

Pore space, especially pore size distribution is one of the important properties affecting soil infiltration, hydraulic conductivity, and water retention. To examine the effect of carbonate minerals on pore size distribution, soil material with loam texture was used to prepare nine soil materials containing wide range of carbonate minerals (3.2 - 352 g kg⁻¹). The soil-water retention curve ($\theta(\psi)$) was estimated. Computer program (RETC code) was used to determine the best-fit for experimental data of water potential versus volumetric water content which have nonlinear relationship to determine the parameter of van Genuchten equation [α , n and m with $m=1-(1/n)$]. The capillary rise equation (young-laplace equation) was used to estimate the effective pore diameter (D). The results show that pore space was affected by carbonate minerals contents. Air pores (> 30 μ m) increased 1.4 fold with increasing carbonate minerals at the same time capillary pores filled with water (< 30 μ m) decreased by 1.3 folds. The relative of water volume to total soil volume ranged between 0.27 and 0.21 cm³ cm⁻³ for carbonate minerals content 3.2 and 352 g kg⁻¹ respectively. At 10 kPa the amount of water lost increased with increasing carbonate minerals content, where soil sample with 352 g.kg⁻¹ carbonate minerals lost water more than soil sample with 3.2 g.kg⁻¹ carbonate minerals by 42%. The percentage of pores (< 30 μ m) ranged from 67% to 79% and the pores (> 30 μ m) ranged from 33% to 21%. It can be concluded that high carbonate minerals content in the soil led to change in pore size distribution, where air-filled pores increased and capillary pores filled with water (water holding capacity) decreased at different degree from sample to another.

Key words: pore space, effective pore diameter, Young-Laplace equation, water retention curves.

المقدمة

الاجذب الارضي. اما Malik و Sheng-Gao (18) فقد وضعوا خمس مديات حجمية للحيز المسامي بهدف تصنيف توزيع حجوم مسامات التربة. ان العلاقة بين محتوى التربة الرطوبي θ والشد المائي ψ هي علاقة ارتباط غير خطية عرفت بمنحنى المسك الرطوبي وهو اساسي لفهم خواص التربة المائية وما ينتج عنه من علاقات وتفاعلات ضمن بيئة التربة (11). يرتبط منحني المسك الرطوبي ارتباطاً وثيقاً بمفهوم التوزيع الحجمي لمسامات التربة والذي كان بمثابة الطريقة التقليدية المتبعة في تقييم وقياس التوزيع الحجمي للمسامات (25). ان سلوك الماء ومحاليل التربة في الحيز المسامي سواء كان في الديناميكا الحركية او في حالة المسك والاحتجاز بفعل الطاقة الكامنة لاسطح التداخل بين الماء والتربة تعتمد اعتماداً كلياً على هندسة الحيز المسامي للتربة (21). وتقييم هذا الترتيب الهندسي قد يكون مناسباً من خلال ترتيب حجوم مسامات التربة بدلالة الابعاد القطرية للمسامات على افتراض ان هذه المسامات هي انابيب شعيرية اسطوانية cylindrical capillary tubes وغير شعيرية ذات مقطع عرضي دائري تشغل الحيز المسامي للتربة بشكل عشوائي (16 و 25). استعرض Nimmo (21) طرائق قياس حجوم مسامات التربة وبين ان الطريقة الاكثر استعمالاً هي منحنيات مسك الماء التي تفسر سلوك ومحتوى سائل في وسط مسامي غير مشبع باعتماد فكرة الحجم الشعيري الفعال effective capillary size الذي يكتسب او يفقد السائل من حجم معين من حجوم المسامات من خلال منحني التجفيف او منحني الترطيب للعلاقة البيانية بين θ و ψ للوسط المسامي اذ ان المحتوى الرطوبي الحجمي دالة للشد المائي $[\theta(\psi)]$. تحتوي التربة بشكل عام على نسب متفاوتة من معادن الكربونات واذا ارتفعت نسبتها فانها ستؤثر في بعض خصائصها وتحدث تغيرات بيئية تنعكس على نمو وانتاج النبات (15). اما التربة في العراق فانها تحتوي على نسب عالية من معادن الكربونات تتراوح بين 15 و 35% وقد نجد نسب اقل بنحو 4% او اعلى من 60% اعتماداً على الظروف البيئية السائدة وظروف تكون التربة، ويشكل معدن الكالسايت النسبة العظمى من معادن الكربونات الموجودة في تربة العراق بلغت نحو 90% والنسبة المتبقية كانت الدولومايت والكالسايت الحامل للمغنيسيوم (3). ان

الحيز المسامي pore space هو ذلك الجزء من حجم التربة الكلي الخالي من المكونات الصلبة والمعزول عنها لكنه يتأثر ويؤثر في صفات التربة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وان جميع العمليات والتفاعلات تحدث خلاله كحركة الماء والهواء، الذوبان والترسيب فضلاً عن انه محل لاقامة الجذور وكائنات التربة الحية (18). يتميز حيز التربة المسامي بصفتين هما المسامية والتوزيع الحجمي للمسامات، وبعد التوزيع الحجمي للمسامات هو الاهم لما له من علاقة وثيقة ومعقدة بخصائص التربة الاخرى وبالاخص مع بناء التربة وثبات تجمعاتها ومع التوزيع الحجمي للدقائق الاولية (21). بين Eynard واخرون (8) اهمية التوزيع الحجمي لمسامات التربة لاثرها في السيطرة والتحكم بحركة الموائع وخزنها في التربة وتوفير حيز ضمن الفراغ يشغل بالهواء المهم للنشاط الحيوي والفسيلوجي لمنطقة الرايزوسفير. يتأثر الحيز المسامي بعوامل عدة اهمها طريقة الرص والتضيق لدقائق التربة الاولية ومدى تجانس توزيعها وان الحيز المسامي في حالة من التغير المستمر بسبب تأثير الاجهادات الخارجية والداخلية لنظام التربة (19). لدراسة التوزيع الحجمي للمسامات وضع الحيز المسامي في مجموعتين حجمية المسامات الكبيرة وعرفت بالمسامات الهوائية air pores ومسامات دقيقة هي المسامات الشعيرية، وتتأثر الفعاليات بحسب التوزيع الحجمي للمسامات اذ تسود القوى الشعيرية كالتماسك والتلاصق والاحتفاظ بالماء في النظام المسامي الدقيق ليكون مصدراً لتجهيز الماء والمواد المذابة في حين يكون النظام المسامي الكبير مهما لتهوية التربة (8 و 21). ذكر Goncalves واخرون (10) ثلاث فئات حجمية للحيز المسامي اعتماداً على مفهوم المسامية الفعالة (active) cryptopores (i): (porosity) المسامات المتبقية وهي مسامات دقيقة جدا حجمها اقل من 0.2 مايكرومتر تمسك الماء بقوة هائلة ناتجة عن قوى الجذب الجزيئي والشحني وهو ما يسمى بالماء الهيكروسكوبي. (ii) micropores المسامات الدقيقة حجمها يتراوح بين 0.2-50 مايكرومتر وتسود فيها القوى الشعيرية. (iii) macropores المسامات الكبيرة حجمها اكبر من 50 مايكرومتر يتحرك خلالها الماء بسهولة وان الصرف الداخلي للتربة يحدث فيها بتأثير قوى

جدول 1. بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة التربة

الكمية	الصفة
258.8	الطين (غم كغم ⁻¹)
356.4	الغرين (غم كغم ⁻¹)
387.8	الرمل (غم كغم ⁻¹)
مزيجة	صنف النسجة
1.52	الكثافة الظاهرية (ميكاغرام م ⁻³)
2.56	الإيصالية المائية المشبعة (سم ساعة ⁻¹)
0.23	الرطوبة الحجمية (33 كيلوباسكال) (سم ³ سم ⁻³)
0.08	الرطوبة الحجمية (1500 كيلوباسكال) (سم ³ سم ⁻³)
0.15	الماء الجاهز (سم ³ سم ⁻³)
1.33	الإيصالية الكهربائية EC _{1:1} (دسي سيمنز م ⁻¹)
7.58	درجة تفاعل التربة
334	معادن الكربونات (غم كغم ⁻¹)
0.67	المادة العضوية (غم كغم ⁻¹)
18.21	السعة التبادلية الموجبة (سنتمول/نحنة كغم ⁻¹)

استخدمت مادة التربة هذه ذات المحتوى 334 غم كغم⁻¹ معادن كربونات لتحضير سبع مواد تربة محتواها 305 و 251 و 203 و 152 و 103 و 51 و 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة، وذلك بإزالة الكربونات بواسطة اسيتات الصوديوم المائية المحمضة (pH=5) طبقاً للطريقة التي اقترحها Holford و Mattingly (12). حضرت عينة تربة أخرى محتواها من معادن الكربونات أعلى من الحد الأعلى للكربونات الموجودة في مادة التربة واستخدمت الطريقة التي اقترحها AL-Ani و Dudas (2) لتحضير هذه العينة إذ اضيفت كربونات الكالسيوم النقية الى التربة وخلطت بصورة جيدة معها واضيف الماء المقطر الى المزيج بنسبة 2 : 1 ماء - تربة خلط المزيج بقضيب زجاجي مرتين في اليوم واستمرت عملية الخلط هذه ستة ايام. تم تعريض عينة التربة الى دورة من الترتيب والتجفيف استمرت 14 يوماً ثم حضنت العينة مدة 14 يوماً أخرى في المختبر (درجة حرارة 25 م⁰ ± 2) عند محتوى رطوبي قريب من السعة الحقلية. قدر محتوى الكربونات في هذه العينة وبلغ مقداره 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة. طحنت نماذج التربة كل على انفراد بمطرقة خشبية ثم مررت عبر منخل قطر

معادن الكربونات في التربة قد تكون اولية وهي مورثة من المادة الام او ثانوية تتجمع خلال عمليات تكوين التربة (5). توجد معادن الكربونات بشكل اغلفة تغطي دقائق وتجمعات التربة او متراكمة في التشققات او تكون دقائق او حبيبات منفردة او متجمعة كعقد او عروق (9). ان وجود معادن الكربونات بنسب متفاوتة تؤثر في صفات التربة المائية كالقدرة على مسك الماء والمسامية الكلية والتوزيع الحجمي للمسامات (23). اظهرت نتائج بعض الابحاث (4 و 14 و 20) تأثير مختلف لمعادن الكربونات في قدرة التربة على مسك الماء فقد اشار البعض الى زيادة قدرة التربة على مسك الماء في حين اشار البعض الاخر الى انخفاض قدرة التربة على مسك الماء مما يعني ان النظام المسامي للتربة قد تآثر بمحتوى معادن الكربونات وعزى الباحثون تأثير معادن الكربونات في النظام المسامي للتربة الى جملة من الاسباب منها ترسب معادن الكربونات في الفجوات الداخلية ونهايات المسامات الشعرية مما تسبب انسدادها فتعرقل حركة الماء وتزيد من احتمال الاحتفاظ به او انها تعمل على تبطين الانابيب الشعرية وغير الشعرية فتقل مساحة مقطعها ويقل حجمها ومن ثم انخفاض محتواها الرطوبي او تغلف سطوح الاطيان فتتخفف المساحة السطحية الماسكة للماء او ان معادن الكربونات تعمل على تكوين تجمعات تربة كبيرة ذات حيز مسامي واسع بين التجمعات ذي قدرة واطنة على حفظ الماء عند التعرض لشد مائي. ان الهدف من اجراء هذا البحث هو تقويم النظام المسامي لتربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات بدلالة التوزيع الحجمي للمسامات وذلك لاهميتها في مسك الموائع وحركتها وتأثيرها في الصفات المائية للتربة.

المواد والطرائق

اخذت مادة تربة ذات نسجة متوسطة من موقع جنوب بغداد (خط طول 44.4534 درجة شرقاً ودائرة عرض 33.2778 درجة شمالاً وارتفاع 33 م فوق مستوى سطح البحر). جففت مادة التربة في المختبر هوائياً وطحنت ومررت عبر منخل قطر فتحاته 2 مم. قدرت بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة التربة قبل اجراء التجربة واتبعت طرائق التحليل الواردة في Page واخرون (22) و Klute (17) ويبين جدول 1 نتائج التحاليل.

المسلط تحت ظروف المختبر القياسية من حيث درجة الحرارة والضغط الجوي:

$$D \cong \frac{0.298}{\psi} \quad [3]$$

حسبت النسبة الفراغية void ratio (e) من تطبيق معادلة 4 الواردة في Hillel (11):

$$e = \frac{V_v}{V_s} \text{ (dimensionless)} \quad [4]$$

اذ ان V_v حجم الفراغ (سم³) و V_s حجم الجزء الصلب من التربة (سم³). كذلك حسبت نسبة حجم الماء water volume ratio (v_w) في كل عينة تربة عند التعرض للشدود المائية المختلفة (0.1-1500 كيلوباسكال) بتطبيق معادلة 5 الوارد ذكرها في Hillel (11):

$$v_w = \frac{V_w}{V_s} \quad [5]$$

اذ ان V_w حجم الماء (سم³).

النتائج والمناقشة:

يبين شكل 1 منحنيات المسك الرطوبي لنماذج الترب ذات المحتوى المختلف من معادن الكربونات. يتضح من الشكل وجود تباين بين منحنيات المسك الرطوبي باختلاف معاملات التربة وان نماذج التربة تقل قدرتها على الاحتفاظ بالماء مع ازدياد محتواها من معادن الكربونات عند جميع مستويات الشد المائي المسلط على عينات التربة (من 0.1 ولغاية 1500 كيلوباسكال). حصلت تغيرات مهمة في حجم الماء الممسوك عند الشدود المختلفة لاسيما عند الشدود المائية الواطئة اذ قلت كمية الماء الممسوك مع ازدياد محتواها من معادن الكربونات اذ بلغ المحتوى الرطوبي الحجمي (θ_s) عند الشد المائي 0.1 كيلوباسكال 0.4808 سم³ سم⁻³ لعينة التربة ذات المحتوى 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة، انخفض المحتوى الرطوبي بشكل مستمر وصولاً الى 0.3787 سم³ سم⁻³ لعينة التربة ذات المحتوى 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة ونسبة انخفاض 21%. اظهر جدول 1 نتائج تحليل توزيع حجوم دقائق التربة وبين ان نسجة مادة التربة مزيجة Loam وعليه سيكون المحتوى الرطوبي الحجمي عند الشد 10 كيلوباسكال مناسباً لتحديد السعة الحقلية لجميع نماذج التربة (6 و13 و19 و24). لقد

فتحاته 2 مم. قدرت العلاقة بين المحتوى الرطوبي الحجمي θ والشد المائي ψ لنماذج التربة المحضرة. رطب نماذج التربة بالخاصية الشعرية باستعمال ماء مقطر مغلي ومبرد وشبعت الترب بالماء مدة 24 ساعة ثم عرضت لشدود مائية مختلفة تراوحت بين 0.1 و 1500 كيلوباسكال. استعملت خلايا الضغط Tempe cells ذات مواصفات مجموعة Tempe cell No.) Soil moisture equipment (1400B0.5M2-3 في قياس المحتوى الرطوبي عند الشدود 0.1 و 2.5 و 5.0 و 7.5 و 10 و 33 و 50 و 100 كيلوباسكال، وجهاز اقراص الضغط للشدود 250 و 500 و 1000 و 1500 كيلوباسكال. اجري تطابق عددي لمعادلة van Genuchten (26) لبيانات منحنيات المسك الرطوبي باستخدام برنامج حاسوب RETC code ووصفت العلاقة بين θ و ψ باستعمال المعادلة 1 واستخرجت قيم الثابت التجريبية α و n و m (على ان $m = 1 - (1/n)$).

$$\theta = \theta_0 + (\theta_s - \theta_0) [1 + (\alpha \psi)^n]^{-m} \quad [1]$$

اذ ان θ المحتوى الرطوبي الحجمي عند اي قيمة شد (ψ) (سم³ سم⁻³) و θ_0 المحتوى الرطوبي الحجمي الابتدائي (سم³ سم⁻³) و θ_s المحتوى الرطوبي الحجمي عند او قرب الاشباع (سم³ سم⁻³) و ψ الشد المائي المسلط (كيلوباسكال) و α و n و m معايير لها علاقة بالشد ψ وميل منحنى المسك الرطوبي وتعتمد على توزيع حجوم المسامات. ولتقدير حجوم المسامات الفعالة استعملت معادلة الخاصية الشعرية (Young-Laplace equation، معادلة 2) (25) ولاي شد مسلط على وسط مسامي يعمل على تفريغ (او ملئ) الماء من حجم معين من المسامات بدلالة اقطار مسامات التربة الفعالة (24 و 25):

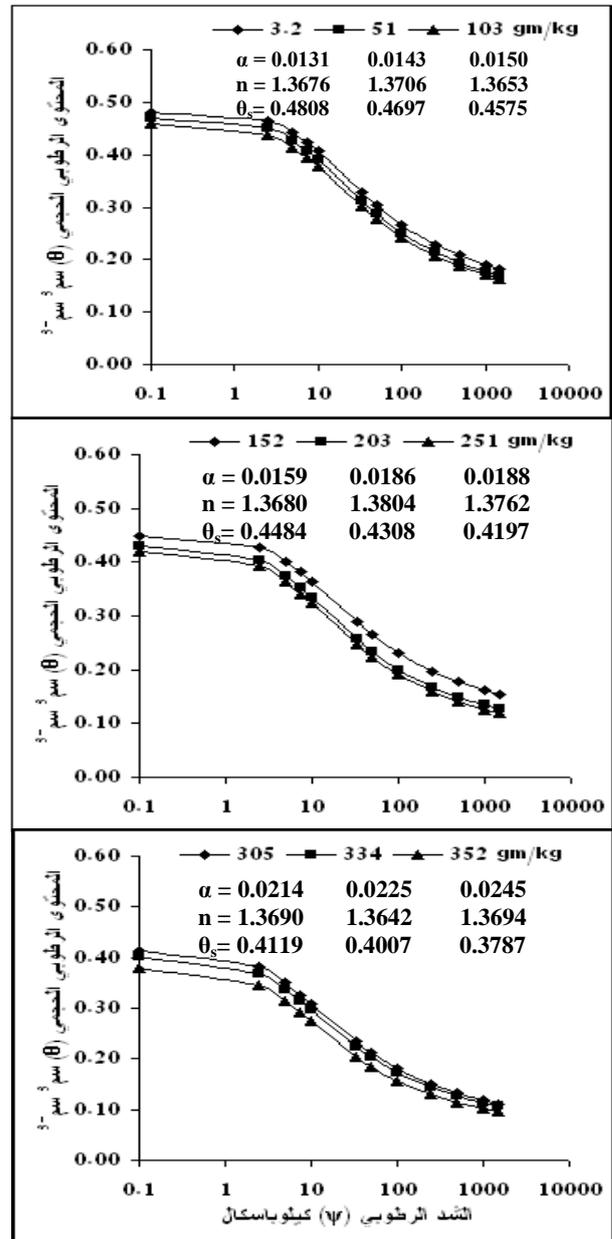
$$D = \frac{4\sigma \cos \beta}{\ell_w g \psi} \quad [2]$$

اذ ان D قطر المسام الفعال (سم) وهو دالة لحجم المسام، و σ الشد السطحي للماء ويساوي 72.7 غم ثا⁻² عند درجة حرارة 20 °م، و β زاوية التماس بين جدار مسام التربة والماء، و ℓ_w كثافة الماء وتساوي 1 ميكراغرام م⁻³ تقريباً، و g التعجيل الارضي ويساوي 980 سم ثا⁻². وعند التعويض عن القيم اعلاه في معادلة 2 تم الحصول على معادلة 3 لحساب قطر المسام الفعال بدلالة الشد المائي

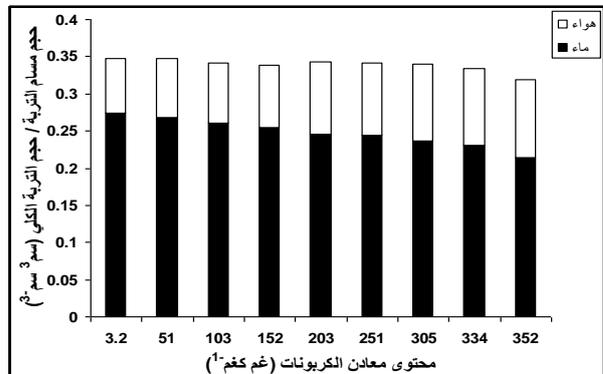
المملوءة بالهواء ازدادت مع زيادة محتوى معادن الكربونات إذ إمتلكت عينة التربة ذات المحتوى 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة أكبر نسبة مسامات هوائية في حين امتلكت العينة 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة أقل نسبة مسامات هوائية. بلغت نسبة حجم المسامات المملوءة بالهواء الى الحجم الظاهري الكلي للتربة 0.0743 و 0.0801 و 0.0807 و 0.0840 و 0.0972 و 0.0968 و 0.1035 و 0.1037 و 0.1054 سم³ سم⁻³ لعينات تربة محتواها من معادن الكربونات 3.2 و 51 و 103 و 152 و 203 و 251 و 305 و 334 و 325 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة على الترتيب. كذلك حصل انخفاض في كمية الماء الجاهز مع زيادة محتوى معادن الكربونات. يتبين من الشكل ايضا ان المحتوى الرطوبي عند الشدود المائية العالية (1500 كيلوباسكال) سلك السلوك نفسه اذ انخفض المحتوى الرطوبي الحجمي المتبقي (θ_0) مع زيادة محتوى معادن الكربونات من 0.1330 سم³ سم⁻³ للعينة ذات المحتوى 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة ليبلغ 0.0592 سم³ سم⁻³ في عينة التربة ذات المحتوى 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة وبنسبة انخفاض 55%. ان التغيرات الحاصلة في حجم الماء الممسوك عند الشدود المائية المختلفة تعزى الى تغير في المسامية الكلية لعينات التربة وتغير في التوزيع الحجمي للمسامات من جراء تغير محتوى التربة من معادن الكربونات اذ ان خواص التربة الاخرى مسيطر عليها والتغاير الحاصل بها قليل قدر الامكان ويبقى العامل المتغير هو محتوى معادن الكربونات. ولايضاح اثر معادن الكربونات في التوزيع الحجمي للمسامات استخدمت معادلة 3 لحساب حجوم المسامات بدلالة القطر الفعال، فعند التعرض للشد المائي 10 كيلوباسكال تفقد مسامات التربة ذات الحجم اكبر من 29.8 مايكرومتر محتواها المائي وان الفرق بين المحتوى المائي الحجمي عند الشد 0.1 والشد 10 كيلوباسكال يمثل مسامات التربة غير الشعرية non-capillary pores وهي مسامات مملوءة بالهواء air-filled porosity (مسامات الهوائية). اما الفرق بين المحتوى المائي عند الشد 10 كيلوباسكال والشد 1500 كيلوباسكال فانه يمثل سعة مسك التربة للماء water holding capacity وهو ما يعادل كمية الماء الجاهز وهي مسامات شعرية مملوءة بالماء وان حجمها اصغر من 29.8 مايكرومتر (1 و 8 و 24). يبين شكل 2 حجم المسامات الهوائية وحجم المسامات المملوء بالماء لعينات التربة عند تعرضها لشد مائي قدره 10 كيلوباسكال. اظهر الشكل ان نسبة المسامات غير الشعرية

اختلف المحتوى الرطوبي الحجمي عند الشد الرطوبي 10 كيلوباسكال باختلاف محتوى معادن الكربونات اذ بلغ نحو 0.4065 و 0.3896 و 0.3768 و 0.3644 و 0.3336 و 0.3229 و 0.3084 و 0.2970 و 0.2733 سم³ سم⁻³ لنماذج التربة ذات المحتوى 3.2 و 51 و 103 و 152 و 203 و 251 و 305 و 334 و 325 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة على الترتيب. كذلك حصل انخفاض في كمية الماء الجاهز مع زيادة محتوى معادن الكربونات. يتبين من الشكل ايضا ان المحتوى الرطوبي عند الشدود المائية العالية (1500 كيلوباسكال) سلك السلوك نفسه اذ انخفض المحتوى الرطوبي الحجمي المتبقي (θ_0) مع زيادة محتوى معادن الكربونات من 0.1330 سم³ سم⁻³ للعينة ذات المحتوى 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة ليبلغ 0.0592 سم³ سم⁻³ في عينة التربة ذات المحتوى 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة وبنسبة انخفاض 55%. ان التغيرات الحاصلة في حجم الماء الممسوك عند الشدود المائية المختلفة تعزى الى تغير في المسامية الكلية لعينات التربة وتغير في التوزيع الحجمي للمسامات من جراء تغير محتوى التربة من معادن الكربونات اذ ان خواص التربة الاخرى مسيطر عليها والتغاير الحاصل بها قليل قدر الامكان ويبقى العامل المتغير هو محتوى معادن الكربونات. ولايضاح اثر معادن الكربونات في التوزيع الحجمي للمسامات استخدمت معادلة 3 لحساب حجوم المسامات بدلالة القطر الفعال، فعند التعرض للشد المائي 10 كيلوباسكال تفقد مسامات التربة ذات الحجم اكبر من 29.8 مايكرومتر محتواها المائي وان الفرق بين المحتوى المائي الحجمي عند الشد 0.1 والشد 10 كيلوباسكال يمثل مسامات التربة غير الشعرية non-capillary pores وهي مسامات مملوءة بالهواء air-filled porosity (مسامات الهوائية). اما الفرق بين المحتوى المائي عند الشد 10 كيلوباسكال والشد 1500 كيلوباسكال فانه يمثل سعة مسك التربة للماء water holding capacity وهو ما يعادل كمية الماء الجاهز وهي مسامات شعرية مملوءة بالماء وان حجمها اصغر من 29.8 مايكرومتر (1 و 8 و 24). يبين شكل 2 حجم المسامات الهوائية وحجم المسامات المملوء بالماء لعينات التربة عند تعرضها لشد مائي قدره 10 كيلوباسكال. اظهر الشكل ان نسبة المسامات غير الشعرية

يبين شكل 3 علاقة قطر المسام الفعال (D) المحسوب من تطبيق المعادلة 3 مع محتوى الماء الحجمي (θ) لعينات تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات. اظهر الشكل ان زيادة قطر المسام الفعال يرافقه زيادة في المحتوى المائي للتربة وبشكل متفاوت من عينة لآخرى، فعندما كان قطر المسامات الفعالة اصغر من 30 مايكرومتر وبالرغم من تقاربها يزداد محتوى التربة المائي مع انخفاض محتوى معادن الكربونات في عينات التربة. ويعزى السبب في ذلك الى ان المحتوى المائي في مثل هذه الظروف مرتبط بالتوزيع الحجمي للمسامات وبالتوزيع الحجمي للدقائق الاولية وبالمساحة السطحية النوعية للتربة فضلا عن تاثير قوة الشد المسلط (7). ويزيادة قطر المسامات الفعالة (< 30 ولغاية 120 مايكرومتر) يزداد المحتوى المائي بانخفاض محتوى معادن الكربونات ويعزى ذلك الى زيادة مسامية التربة إذ ازدادت المسامية الكلية بانخفاض محتوى معادن الكربونات في عينات التربة. يمثل شكل 3 منحني توزيع حجوم مسامات التربة ويلاحظ ان حجم المسام pore volume يزداد بشدة عندما يصغر قطر المسام pore diameter، ويمكن الاستدلال على حجم المسام في عينات التربة من كمية المحتوى المائي الذي تحتفظ به التربة عند تعرضها لشد مائي معين، وهذا يمثل مسامات التربة ذات القطر الأقل من 29.8 مايكرومتر والذي يقابل شد مائي 10 كيلوباسكال (شكل 2). ان نسبة حجوم المسامات المحتفظة بالماء عند تعرض عينات التربة لهذا الشد 0.7864 و 0.7696 و 0.7637 و 0.7518 و 0.7162 و 0.7167 و 0.6963 و 0.6896 و 0.6701 كمحتوى مائي نسبي عند المدى الرطوبي $0 < \Theta < 1$ ، لعينات تربة محتواها 3.2 و 51 و 103 و 152 و 203 و 251 و 305 و 334 و 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة على الترتيب. أما بالنسبة لحجوم المسامات ذات القطر الفعال الاكبر من 29.8 مايكرومتر فبلغت نحو 0.2136 و 0.2304 و 0.2363 و 0.2482 و 0.2838 و 0.2833 و 0.3037 و 0.3104 م 0.3299 وهذا يساوي $(1 - \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r})$ ضمن المدى الرطوبي $0 < \Theta < 1$ لعينات التربة على الترتيب. يتضح مما سبق ان النظام المسامي المملوء بالهواء هو من نوع mesopores وهي

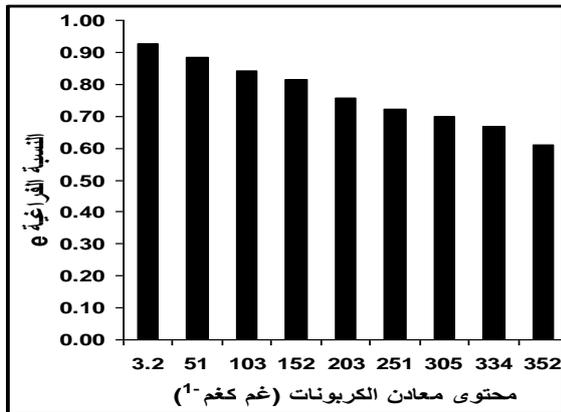


شكل 1. منحنيات مسك الماء لعينات تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات



شكل 2. حجوم مسامات التربة الهوائية ضمن مدى الشد 0.1 - 10 كيلوباسكال وحجوم مسامات التربة المملوءة الماء ضمن مدى الشد 10 - 1500 كيلوباسكال لعينات تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات

تغير في نسبة حجم الماء في عينات التربة عند تغير محتوى معادن الكربونات. يبين شكل 5 علاقة قطر المسامات الفعالة ونسبة حجم الماء. يلاحظ ان نسبة حجم الماء قليلة في مديات حجوم مسامات التربة الصغيرة وتزداد نسبة حجم الماء بزيادة قطر المسامات الفعالة ولجميع عينات التربة ذات المحتوى المختلف من معادن الكربونات وبلغت نسبة حجم الماء في المسامات ذات القطر الفعال الاصغر من 30 مايكرومتر نسبة تراوحت بين 0.38 (352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة) و 0.68 (3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة) ، في الوقت نفسه بلغت نسبة حجم الماء في المسامات ذات القطر الفعال اكبر من 30 مايكرومتر ولغاية 120 مايكرومتر نسبة تراوحت بين 0.53 (352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة) و 0.87 (3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة). اما تأثير محتوى معادن الكربونات في نسبة حجم الماء فقد اظهر شكل 5 ان نسبة حجم الماء انخفضت مع زيادة محتوى معادن الكربونات ولجميع اقطار مسامات التربة الفعالة.

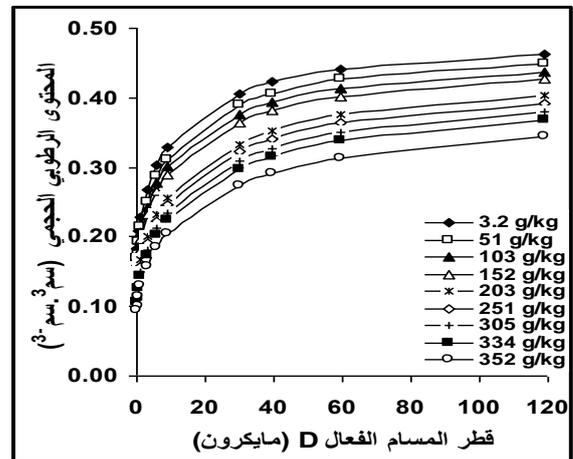


شكل 4. النسبة الفراغية e (عديم الوحدات) لعينات تربة

ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات

يستنتج مما سبق ان النظام المسامي لعينات التربة قد تأثر بمحتوى معادن الكربونات فحصلت زيادة في المسامات الهوائية (اكبر من 30 مايكرومتر) مع زيادة محتوى معادن الكربونات في حين انخفضت نسبة المسامات المملوءة بالماء (اصغر من 30 مايكرومتر) وعند تعرض عينات التربة الى شد مائي قدره 10 كيلوباسكال فقدت كمية ماء اكثر عند زيادة محتوى معادن الكربونات اذ فقدت العينة 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة ماء اكثر وبنسبة 22% قياساً بالعينة 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة.

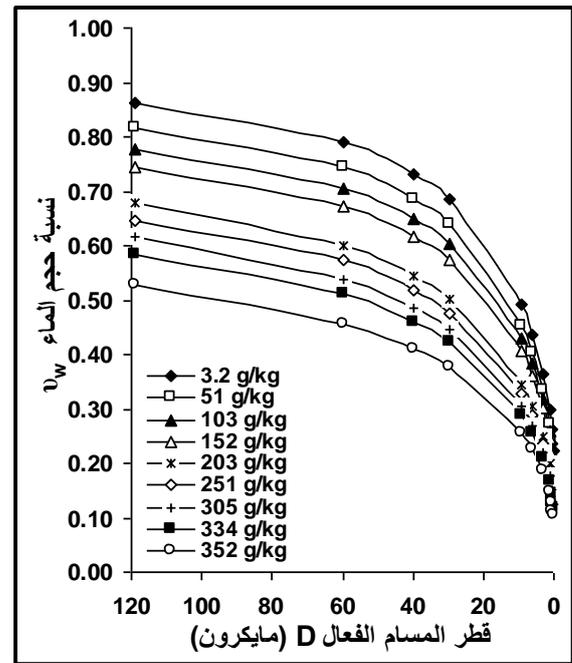
مسامات ناقلة للماء (24) يبزل منها الماء عند تعرض التربة لجهد ماء 10 كيلوباسكال، وقد تراوحت نسبة هذه المسامات في الحيز المسامي لنماذج التربة بين 21.4 و 33.0%، أما المسامات الخازنة للماء وهي المسامات التي تحتفظ بالماء عند تعرض التربة للجهد 10 كيلوباسكال فقد تراوحت نسبتها بين 67.0 و 78.6%. يعد هذا التوزيع لحجوم مسامات التربة مهماً لتحديد بيئة التربة المائية والبيولوجية إذ امتلكت نماذج التربة نسبة جيدة من المسامات الناقلة للماء وهي مهمة لحركة وانتشار الماء في التربة لذلك تميزت نماذج التربة ذات المحتوى المتوسط والعالي من معادن الكربونات (203 و 251 و 305 و 334 و 252 غم.كغم⁻¹) بايصالية وانتشار مائي جيد بسبب زيادة نسبة المسامات الناقلة والتي بلغت ما يقارب كمعدل ربع حجم النظام المسامي لعينات التربة.



شكل 3. علاقة قطر المسام الفعال D مع المحتوى المائي الحجمي θ لعينات تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكربونات

من دلائل توزيع حجوم مسامات التربة النسبة الفراغية (معادلة 4) وهو دليل يبين التغير الحاصل في كل من حجم المسامات وحجم المادة الصلبة للتربة ضمن وحدة حجم التربة الكلي. لقد تأثرت النسبة الفراغية بمحتوى معادن الكربونات وانخفضت قيمها مع زيادة محتوى معادن الكربونات اذ كانت قيمتها 0.93 في العينة 3.2 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة واخذت قيم النسبة الفراغية في عينات التربة الاخرى بالانخفاض وصولاً الى قيمة بلغت نحو 0.61 في العينة 352 غم معادن كربونات كغم⁻¹ تربة وبنسبة انخفاض 34% (شكل 4). ان التغير الحاصل في توزيع حجوم مسامات التربة (شكل 2 وشكل 3) والنسبة الفراغية (شكل 4) قد سبب

- pore-size distribution in cultivated Ustolls and Usterts. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1927-1934
9. Gile, L. H. 1961. A classification of Ca-horizon of desert region, New Mexico. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:52-61
10. Goncalvesa, R.A.B., T.V. Gloaguen, M.V. Fole gatti, P.L. Libardi, Y. Lucas, and C.R. Montes. 2010. Pore size distribution in soils irrigated with sodic water and wastewater. R. Bras. Ci. Solo. 34: 701-707
11. Hillel, D. 2004. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press, Amsterdam. 494 pp.
12. Holford, I.C.R., and G.E.G. Mattingly. 1975. Surface areas of calcium carbonate in soils. Geoderma. 13: 247-255
13. Hong, S. Y., B. Minasny, K. Hwa Han, Y. Kim, and K. Lee. 2013. Predicting and Mapping Soil Available Water Capacity in Korea. National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration (RDA), Suwon, Gyeonggi-do, Republic of Korea
14. Khattab, S.I., and M.M. Aljobouri. 2012. Effect of combined stabilization by lime and cement on hydraulic properties of clayey soil selected from Mosul area. Al-Rafadain Engineering J. 20(6):139-153
15. Kishchuk, B. E. 2000. Calcareous soils, their properties and potential limitations to conifer growth in southeastern British Columbia and western Alberta: a literature review. 2000. NOR-X-370
16. Klinkenberg, L.J. 2009. Pore size distribution of porous media and displacement experiments with miscible liquids. J. Petroleum Tech. 9(4): 63-66
17. Klute., A. 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1- Physical and Mineralogical Methods. ASA and SSSA. SSSA Book Series No. 5. Madison, WI: p 1188
18. Malik, Z. and Lu. Sheng-Gao. 2015. Pore size distribution of clayey soils and its correlation with soil organic matter. Pedosphere. 25(2): 240-249
19. McNabb, D. H., A. D. Startsev. and H. Nguyen. 2001. Soil wetness and traffic level effect on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1238-1247
20. Muhmed A., and D. Wanatowski. 2013. Effect of lime on the strength and microst-



شكل 5. علاقة قطر المسام الفعال D مع نسبة حجم الماء v_w لعينات تربة ذات محتوى مختلف من معادن الكاربونات

REFERENCES

1. Abdollahi, L., L.J. Munkholm, and A. Garbo-ut. 2014. Tillage system and cover crop effects on soil quality: II. Pore characteristics. Soil Sci. Soc. Am. J. 78:271-279.
2. Al-Ani, A. N. and M. Dudas. 1988. Influence of calcium carbonate on mean weight diameter of soils. Soil and Tillage Res. 11:19-26.
3. Al-Kaysi, S. C. 1983. Physical and Chemical Characterization of Carbonate Minerals in Iraqi Soils. Ph. D. Dissertation, Dept. of Soil Sci. Newcastle upon Tyne, U.N.
4. Al-Kubaisi, N. H. 1986. Effect of Calcium Carbonate on Some Physical and Mineralogical Properties of Soil. M. Sc. Thesis, Dept. of Soil Sci. College of Agriculture. University of Baghdad. Iraq. p91
5. Al-Samarraie, M. Y. Gh. 1975. Micropedological Study of Highly Calcareous Soil With Particular Reference to Iraq. Ph. D. Dissertation. Univer. of Reading, England
6. Brady, N.C., and B.R. Weil. 2014. The Nature and Properties of Soils, 3rd Edition – Soil Water: Characteristics and Behavior. Pearson Education Limited. pp. 197-201
7. Chan, T.P. 2005. Modeling of Coarse Textured Soils and Their Hydraulic Properties. Ph. D. Dissertation. Purdue University. p.177.
8. Eynard, A., T. E. Schumacher., M. J. Lindstrom. And D.D. Malo. 2004. Porosity and

- structure of clay. *J. Mech. and Civil Eng.* 6(3): 87-94
21. Nimmo, J.R. 2004. Porosity and pore size distribution. In Hillel, D. (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*: London, Elsevier. 3: 295-303.
22. Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Kenney. 1982. *Methods of Soil Analysis .Part 23. Chemical and Microbiological Properties*. USA. Am. Soc. Agron. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin
23. Singh, J., A. Kumar, R. Jain, and N. K. Khullar. 2008. Effect of lime on properties of soil. *The 12th International Conference of IACMAG*. Goa, India
24. Startsev, A. D., and D. H. McNabb. 2001. Skidder traffic effects on water retention, pore-size distribution, and van Genuchten parameters of boreal forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:224–231.
25. Stingaciu, L.R., L. Weihermuller, S. Haber Pohlmeier, S. Stapf, H. Vereecken, and A. Pohlmeier. 2010. Determination of pore size distribution and hydraulic properties using nuclear magnetic resonance relaxometry: A comparative study of laboratory methods. *Water Resour. Res.*, 46(11): 1-6.
26. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.