التوزيع الحجمي لتجمعات ومسامات تربة ذات محتوى جبسي مختلف

نمير طه مهدي

قسم علوم التربة والمياه ـــ كلية الزراعة ـــ جامعة بغداد

المستخلص

اجري هذا البحث بهدف تقييم بناء تربة ذات محتوى جبسي مختلف (5 – 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة) وذلك بدراسة توزيع احجام تجمعات التربة ومعدل القطر الموزون MWD ومن ثم تقييم النظام المسامي لهذه التربة بدراسة مسامات التربة المملوءة بالهواء والمسامات الخازنة للماء وسعة مسك الماء الجاهز وميل منحنيات الوصف الرطوبي وتوزيع احجام مسامات التربة. قيس التوزيع الحجمي لتجمعات التربة بطريقة النخل الرطب. قدرت منحنيات الوصف الرطوبي واستعمل برنامج حاسوب لاجراء التطابق لبيانات الجهد ψ ضد المحتوى الرطوبي الحجمي θ ذات العلاقة غير الخطية وذلك لتقدير معايير معادلة van Genuchten (28) ، α و n و m لوصف بيانات منحنيات الوصف الرطوبي رياضياً. اعتمدت معادلة van Genuchten (28) بصيغتها التفاضلية لايجاد ميل منحنيات الوصف الرطوبي لتقدير سعة التربة على الاحتفاظ بالماء او فقدانه عند تعرض التربة لاي جهد ماء مسلط وهذا يعد دالة لتوزيع احجام مسامات التربة. استعملت معادلة الخاصية الشعرية لتقدير القطر الفعال (D) لمسامات التربة. اظهرت النتائج ان بناء التربة الجبسية ضعيف وان توزيع احجام تجمعات التربة من النوع الصغير microaggregate، اذ ان اكثر من 80% من تجمعات التربة هي بحجم اقل من 250 مايكرون. انخفض معدل القطر الموزون من 0.375 الى 0.165 ملم عند زيادة محتوى الجبس من 5 الى 255 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، من ثم ازدادت قيم MWD الى 0.252 ملم للنموذج 502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة. ازداد ميل منحنيات الوصف الرطوبي بزيادة محتوى التربة من الجبس وان اعلى قمة (peak) للميل كانت عند جهد ماء 50 كيلوباسكال لتربة محتواها الجبسي 502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة مما انعكس على كمية الماء الجاهز. ازدادت نسبة حجم المسامات الخازنة للماء في التربة كدالة لسعة مسك الماء عندما قلت اقطار المسامات الفعالة اذ تراوحت بين 64 و 90 سم^3.سم$^{-3}$ لمسامات اقطارها اقل من 29.8 مايكرون وقد حصلت هذه الزيادة عندما انخفض المحتوى الجبسي للتربة. في حين ان نسبة حجم المسامات المملوءة بالهواء وقد تراوحت بين 10 و 36 سم^3.سم$^{-3}$ ، لمسامات اقطارها اكبر من 29.8 مايكرون، وهذه النسبة قد ازدادت بزيادة محتوى التربة من الجبس وتعد هذه مسامات ناقلة للماء تساهم في بزل ماء التربة.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences 40 (5):22-36 (2009) Mahdi

AGGREGATES AND PORE SIZE DISTRIBUTION FOR SOIL AT DIFFERENT GYPSUM CONTENTS

N.T.Mahdi

Dept. of Soil and Water Sciences – College of Agriculture – University of Baghdad

ABSETRACT

The objectives of this experiment were to assess the structure of soil at different gypsum content (5-502 gm gypsum. Kg^{-1} soil), by studied the aggregate size distribution and mean weight diameter (MWD). Then after assess the pore system for this soil by studied air filled porosity, storage pores, available water holding capacity, the slope of water retention curve and the pore size distribution. The aggregates size distribution was measured by wet sieves. The soil-water retention curve was also estimated, and used a computer program to determine the best-fit for experimental data of water potential verses volumetric water content which have nonlinear relation and to determine the parameter of van Genuchten (28) equation α, n and m. The derivative of van Genuchten (28) equation was used to measure the change in the slope of soil water retention curve for estimate the capacity of soil water retain or lost at deferent water potential as function of pore size distribution. The capillary rise equation was used to estimate the effective pore diameter. The result show that gypsiferous soil has weak structure and the aggregate size distribution which type microaggregate, less than 250 µm in diameter was more than 80%. The MWD was decreased from 0.375 to 0.165 mm when gypsum content increase from 5 to 255 gm gypsum.kg^{-1} soil, and then the value of MWD increased to 0.252 mm for sample 502 gm gypsum.kg^{-1} soil. The slope of soil-water retention curve increased with increasing gypsum and the maximum peak of slope found at 50 kPa water potential for soil gypsum content 502 gm gypsum.kg^{-1} soil. The pore volume increased with decrease the effective diameter it is ranged between 64 and 90 cm^3.cm^{-3} for pores in diameter less than 29.8 µm, these result associated with decrease gypsum content in soil. The air filled porosity ranged between 10 and 36 cm^3.cm^{-3} for pores in diameter more than 29.8 µm. The air filled porosity increased with increasing gypsum content in soil.

المقدمة

تشكل الترب الجبسية مساحة واسعة اذ تقارب 20% من المساحة الكلية للعراق. وان جزء منها مستغل زراعياً وجزء اخر قد يستغل لاحقاً وفق التوسع الافقي والعمودي في استعمال هذه الاراضي لاغراض الزراعة (5). تعرف الترب الجبسية gypsiferous soils بانها ترب تحتوي على اكثر من 2% جبس وتمتلك طبقة محتواها من الجبس 14% ، او هي ترب تحتوي على كمية من الجبس كافية للتأثير في نمو النبات (17). تتواجد بلورات الجبس في الترب الجبسية بشكل عديسي او مغزلي ، وتتراوح احجامها بين حجم الغرين وحجم الرمل الناعم والرمل المتوسط وبعض الاحيان بحجم الرمل الخشن فقد اكد Al-Rawi و Sys (10) ان حجم بلورات الجبس تزداد بزيادة نسبته في التربة اذ ذكر ان الترب ذات نسبة جبس اقل من 10% كان حجم بلورات الجبس بحجم الغرين والرمل الناعم في حين كان حجم بلورات الجبس بحجم الرمل الناعم والرمل المتوسط في الترب ذات المحتوى الجبسي اكثر من 10%.

ان ما يميز الترب الجبسية بناءها غير الثابت اذ اشار FAO (17) ان لمعظم الترب الجبسية تجمعات ضعيفة وان الدقائق الاولية للترب الجبسية ضعيفة في قابليتها على التجمع لضعف قوة التماسك التي تجمع هذه الدقائق الى بعضها ولقلة السعة التبادلية للايونات الموجبة. ان احد اسباب ضعف بناء الترب الجبسية قابلية ذوبان الجبس عند التبلل اذ ذكر Homaee و Firouzi (20) ان قابلية ذوبان الجبس في الماء يساوي 2.6 غم.لتر$^{-1}$ في درجة حرارة 25 °م وضغط جوي واحد، وبين Juckus (21) ان ذوبان الجبس في الماء المقطر عند درجة 20 °م كان اكثر من ذوبان الكلس بـ 183 مرة . اشار Smith و Robenson (25) ان نسب الجبس اقل من 10% لم تؤثر في بناء التربة في حين سببت نسب الجبس اكثر من 10% ضعف وعدم استقرار بناء التربة ، واكد Boyadgiev (13) ان زيادة نسب الجبس عن 15% جعل التربة ذات بناء غير مستقر وقد حصل الباحث على زيادة في الايصالية المائية وثبات ضعيف لتجمعات تربة محتواها من الجبس اكثر من 10%. واكد الجنابي واخرون (2) ان زيادة الجبس بكميات قليلة لها تأثير ايجابي في ثبات تجمعات التربة ولكن الزيادة بكميات كبيرة سببت زيادة في تماسك اجزاء التربة مما اثر سلباً في صلاحية الترب للزراعة. حصل دغرامه جي واخرون (4) على تغيرات ملحوظة في صفات التربة الفيزيائية والكيميائية نتيجة تغير نسب الجبس في التربة وان زيادة نسبة الجبس عن 25% سببت تدهوراً في الصفات الفيزيائية المدروسة.

يعد التوزيع الحجمي والهندسي لمسامات التربة من اهم الخصائص الفيزيائية والمائية للتربة لما لها من اثر مهم في السيطرة والتحكم بحركة الموائع وخزنها في التربة وتوفير حيز مسامي مملؤ بالهواء مهم للنشاط الحيوي والفسيولوجي لمنطقة الرايزوسفير (16). ان البناء المسامي للتربة في حالة من التغير المستمر بسبب تاثير الاجهادات الخارجية والداخلية لنظام التربة (24). يسعى الباحثون دائما الى تحسين بناء مسامي مثالي للتربة والابقاء عليه ثابتا قدر الامكان خدمة للانتاج النباتي وهذا يعد هدف رئيسي من اهداف ادارة التربة (18 و 30). لقد اثبتت دراسات عديدة ان ثبات مسامات التربة مرتبط بثبات بناء التربة وان وجود المادة العضوية او المحسنات في التربة وبالاخص وجودها في ترب ناعمة النسجة قد حسن بناء التربة بشكل معنوي مما انعكس على توزيع حجمي مسامي جيد، اذ ازدادت اعداد واحجام وثبات الاقطار الفعالة لمسامات التربة effective pores diameter (16). بين Startsev و McNabb (26) و McNabb واخرون (24) ان المفاهيم المرتبطة بمنحنى الوصف الرطوبي كمسامات التربة الكبيرة macropores والمسامات الدقيقة micropores والمسامات المملوءة بالهواء air-filled pores والسعة الحقلية field capacity و الماء الجاهز available water هي مفاهيم دالة لتوزيع احجام مسامات التربة، وان دراسة هذه المفاهيم بشكل شامل تعطي فهم متكامل لتغيرات احجام مسامات التربة عند تعرض التربة لظروف فيزيائية مختلفة.

صنف Virto واخرون (30)احجام مسامات التربة كمياً بحسب مفهوم قطر المسام الفعال وفيزيائياً بحسب عملها ولكل مدى من احجام مسامات التربة، فذكروا ان المسامات ذات حجم اكبر من 500 مايكرون هي تشققات او صدوع fissures في جسم التربة، والمسامات ذات المدى الحجمي

من 500 الى 50 مايكرون هي مسامات ناقلة لمحلول التربة transmission pores ، والمسامات التي مداها الحجمي من 50 الى 5 مايكرون هي مسامات خازنة للماء والاملاح والمخلفات العضوية المختلفة storage pores ، اما المسامات الاقل حجما من 0.5 مايكرون فهي مسامات متبقية residual pores .

كان الهدف من اجراء هذا البحث هو تقويم بناء تربة ذات محتوى جبسي مختلف من خلال دراسة ثبات بناءها وتوزيع احجام تجمعات التربة ومن ثم دراسة توزيع احجام المسامات لارتباطها الوثيق ببناء التربة ولاهميتها في مسك الموائع وحركتها وتاثيرها في الصفات المائية للتربة.

المواد وطرائق العمل

جلبت نماذج تربة من مركز بحوث الترب الجبسية في قضاء الدور من الافقين السطحي Ap غير الجبسي (0-20 سم)، والافق تحت السطحي C_1 الجبسي (20-40 سم). جففت نماذج التربة هوائياً، ومزجت تربة كل افق ثم طحنت ومررت من منخل قطر فتحاته 2 ملم. تم تعيين نسجة تربة كل افق بطريقة الماصة (15) بعد ازالة الجبس بالغسل. حددت كذلك بعض الصفات الفيزيائية والكيميائية لنماذج التربة وفق الطرائق الموصوفة من قبل مختبر الملوحة الاميركي (27)، ويبين جدول 1 بعض خصائص التربة المستعملة في البحث.

جدول 1. بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الجبسية المستعملة في الدراسة (تربة الافق السطحي Ap وتربة الافق الجبسي C1) ولنماذج تربة تم تحضيرها بخلط تربة الافقين Ap و C1

خصائص التربة	الأفق السطحي Ap	تربة ذات محتوى جبسي مختلف				الأفق ألجبسي C1
الجبس (غم.كغم-1)	5	32	64	125	255	502
الرمل (غم.كغم-1)	321	401	443	522	588	679
الغرين (غم.كغم-1)	395	394	375	335	307	260
الطين (غم.كغم-1)	284	205	182	143	105	61
صنف نسجة التربة	Clay loam	Loam	Loam	Loam	Sandy loam	Sandy loam
الكثافة الظاهرية للتربة (ميكاغرام. م-3)	1.45	1.49	1.44	1.39	1.32	1.22
كثافة التربة الحقيقية (ميكاغرام. م-3)	2.65	2.63	2.60	2.59	2.54	2.39
المسامية الكلية	0.45	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49
كاربونات الكالسيوم (غم.كغم-1)	264.0	247	221	203	197	190.0
الايصالية الكهربائية (EC)، ديسيسمنز.متر-1	2.47	2.49	2.54	2.61	2.74	2.83
الأس الهيدروجيني pH	7.53	7.56	7.59	7.63	7.66	7.69
السعة التبادلية للأيونات الموجب (سنتمول+.كغم-1)	23.3	23.0	22.6	20.7	17.3	15.6
المادة العضوية (غم.كغم-1)	6.3	6.1	6.0	2.3	1.7	0.7

حضرت نماذج تربة ذات محتوى جبسي مختلف وذلك بخلط تربة الافقين Ap و C_1 بنسب مختلفة للحصول على نماذج محتواها من الجبس 5 و 32 و 64 و 125 و 255 و 502 غم جبس . كغم-1 تربة . ويبين جدول 1 بعض صفات نماذج الترب التي تم تحضيرها .

اخذ واحد كيلوغرام من كل نموذج تربة ووضع في إناء مصنوع من مادة البولي اثيلين، وأضيف ماء مقطر إلى النماذج بنسبة 2 : 1 ماء-تربة. مزج الخليط بقضيب زجاجي مرتين يومياً ولمدة ست أيام، بعد ذلك جففت التربة بالفرن في درجة حرارة 45 °م ولمدة 48 ساعة (9). قيست الكثافة الظاهرية لنماذج الترب هذه بطريقة الاسطوانة المعدنية (11)، باستعمال اسطوانات معدنية بقطر 5 سم وطول 5 سم وبثلاثة مكررات. كذلك قدرت الكثافة الحقيقية لنماذج الترب بطريقة البكنوميتر الموصوفة في (12).

كسرت نماذج التربة الجافة يدوياً وبعناية ، ثم نخلت هذه النماذج عبر منخل قطر فتحاته 9 ملم ، واستقبل الجزء النافذ على منخل قطر فتحاته 4 ملم . استعملت تجمعات التربة التي مداها الحجمي 4 الى 9 ملم لقياس توزيع احجام تجمعات التربة وثباتيتها بطريقة النخل الرطب (22). رطبت تجمعات التربة بطريقة الغمر المباشر، اذ غمرت التجمعات بالماء لمدة ست دقائق داخل زجاجة ساعة، من ثم وضعت التجمعات الرطبة فوق مجموعة من المناخل المغمورة بالماء ذات اقطار 4.75 و 2.36 و 1.00 و 0.50 و 0.25 ملم واجريت عملية النخل الرطب لمدة ست دقائق بوساطة جهاز النخل يودر Yoder Machine . حسبت النسب المئوية لتوزيع احجام تجمعات التربة ولمختلف المديات الحجمية لمعاملات التربة، كذلك تم احتساب معدل القطر الموزون كما ورد في Youker و McGuinness (32) .

قدرت العلاقة بين المحتوى الرطوبي ألحجمي والجهد المائي لعينات الترب ذات المحتوى ألجبسي المختلف وهي بنفس الكثافة الظاهرية التي تم قياسها مسبقا. إذ حضرت أعمدة بلاستيكية مكونة من حلقات بقطر 5 سم وارتفاع 1 سم وبسمك 0.2 سم، ربطت الحلقات بعضها ببعض بشريط لاصق شفاف وجمعت كل 20 حلقة في عمود واحد. تم تحضير ست أعمدة يتكون كل عمود من 20 حلقة وبطول إجمالي 20 سم. أغلقت إحدى نهايتي العمود بورق ترشيح ومشبك سلكي واحكم الربط جيداً. عبئت الأعمدة بعينات التربة المجففة بعد أن طحنت ونخلت بمنخل 2 ملم. تم تحديد كتلة التربة اللازمة لملئ الحجم المحدد من العمود بحيث تم الحصول على كثافة ظاهرية مساوية للكثافة الظاهرية التي تم تحديدها مسبقاً. رطبت أعمدة التربة بالخاصية الشعرية باستعمال ماء مقطر مغلي ومبرد. قطعت الأعمدة بواسطة الة حادة وأخذت الحلقات وسلطت عليها جهود مختلفة بين 0.1 و 1500 كيلوباسكال بعد أن شبعت التربة بالماء لمدة 24 ساعة. استعمل جهاز Sintered – Glass Funnels للجهود 0.1 و 2.5 و5 كيلوباسكال، وجهاز أقراص الضغط للجهود 10 و 20 و 33 و 50 و 100 و 1000 و 1500 كيلوباسكال.

اجري تطابق fitting معادلة van Genuchten (28) لبيانات منحنيات الوصف الرطوبي ووصفت العلاقة بين θ و ψ باستعمال المعادلة الآتية :

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)\left[1+(\alpha\psi)^n\right]^{-m} \qquad [1]$$

إذ أن: θ_r = المحتوى الرطوبي ألحجمي المتبقي (سم3.سم-3). وθ_s = المحتوى الرطوبي ألحجمي عند الإشباع (سم3.سم-3). و ψ = جهد الماء (كيلوباسكال). و θ = المحتوى الرطوبي ألحجمي عند أي قيمة من قيم جهد الماء (سم3.سم-3). و α و n و m = ثوابت تجريبية. استخرجت قيم الثوابت α و n و m بعد أن تم حل معادلة 1 باستعمال برنامج Statistica (non-linear regression fitting) ، المشار له في (3).

لمعرفة مقدار التغير في ميل منحنيات الوصف الرطوبي والذي يساوي نسبة التغير في المحتوى الرطوبي الحجمي θ الى التغير في الجهد المائي المسلط على التربة ψ اشتقت معادلة 1 واستحصلت معادلة الميل الاتية:

$$\frac{d\theta}{d\psi} = -\alpha n m(\theta_s - \theta_r)(\alpha\psi)^{n-1}\left[1+(\alpha\psi)^n\right]^{-m-1} \qquad [2]$$

لتقدير توزيع احجام مسامات التربة استعملت بيانات منحنى الوصف الرطوبي وطبقت معادلة الخاصية الشعرية في حساب توزيع اقطار مسامات التربة الفعالة الاتية (26):

$$D = \frac{4\sigma\cos\beta}{\ell_w g \psi} \qquad [3]$$

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 ميكاغرام. م$^{-3}$ تقريباً، و g التعجيل الارضي ويساوي 980 سم.ثا$^{-2}$. وعند

[4]

ان فكرة تعرض التربة الى جهد مائي مسلط يرافقة فقدان الماء من التربة وتستمر هذه الحالة الى حين الوصول الى نقطة الاتزان بين جهد مسك كمية الماء المتبقية في مسامات التربة والجهد المائي المسلط . لذا فان قياس قطر المسام الفعال بدلالة الجهد المائي (معادلة 4) يمثل حجم اكبر مسام يحتفظ بالماء عند الجهد المائي المسلط. لذلك طبقت طريقة اخرى مبتكرة لحساب توزيع احجام مسامات التربة بدلالة المحتوى

$$D = 0.298\alpha \left[\left(\frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \right)^{\frac{-1}{m}} - 1 \right]^{\frac{-1}{n}} \qquad [5]$$

يمثل الحد $\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ في معادلة 5 المحتوى الرطوبي النسبي Θ :

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \qquad [6]$$

النتائج والمناقشة

يبين جدول 2 النسب المئوية لتجمعات التربة ذات المحتوى الجبسي المختلف ولكل مدى حجمي من مديات اقطار المناخل المستعملة في عملية النخل. يتضح من الجدول ان تجمعات التربة قد تركزت في المديات الحجمية الصغيرة اذ ان اكثر من 80% من التجمعات كانت بحجم اقل من 250 مايكرون ولجميع نماذج تربة الدراسة عدا نموذج التربة الذي محتواه من الجبس 502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة. اما تجمعات التربة ذات الحجم اكبر من 250 مايكرون فقد كانت نسبتها 20% وان هذه النسبة قد توزعت على المديات

التعويض عن القيم اعلاه في معادلة 3 تم الحصول على معادلة لحساب قطر المسام الفعال بدلالة الجهد المائي المسلط على التربة تحت ظروف المختبر القياسية من حيث درجة الحرارة والضغط الجوي الاتية:

$$D \cong \frac{0.298}{\psi}$$

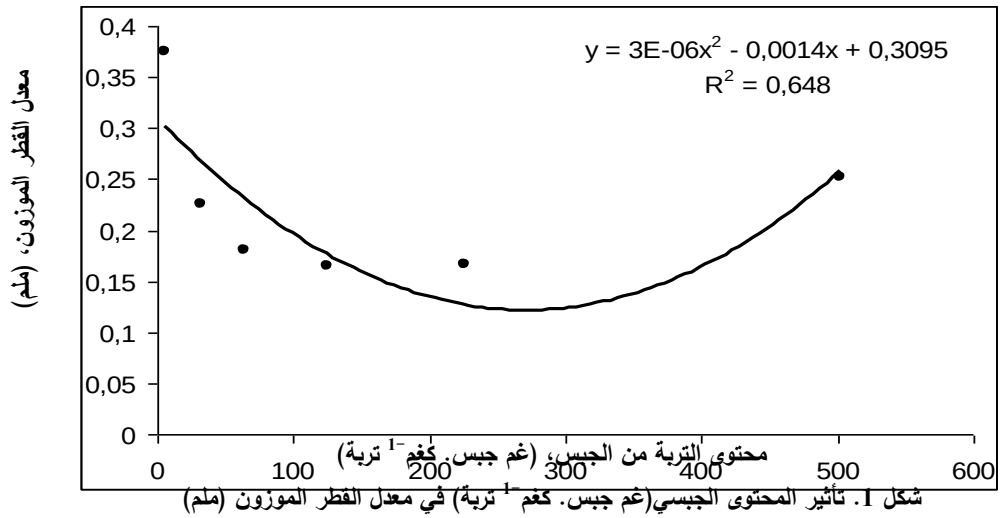
الرطوبي المتبقي θ عند كل جهد ماء مسلط على التربة كما وردت في مجيد (7). اذ قامت الباحثة بدمج معادلة 4 مع معادلة 1 فاستحصلت على معادلة لحساب قطر المسام الفعال بدلالة المحتوى الرطوبي المتبقي θ_r والمحتوى الرطوبي عند الاشباع θ_s فضلا عن معايير منحنى الوصف الرطوبي α و n و m والتي هي معايير معادلة van Genuchten (28)، وفق المعادلة الاتية:

الحجمية الاكبر من 250 مايكرون. ان سبب زيادة نسبة التجمعات الاصغر من 250 مايكرون يعزى الى ضعف بناء الترب الجبسية اذ يسهل انحلالها بالماء وعدم ثبات تجمعاتها بسبب ضعف قوة التماسك التي تحافظ على تجمع الدقائق الاولية والتجمعات الثانوية للترب الجبسية (17) كما وان التربة تتميز بانخفاض محتواها من مفصولات الطين والمادة العضوية (جدول 1) ، فضلاً عن القابلية العالية لذوبان الجبس في الماء مما ساهم في جعل بناء التربة الجبسية بناء غير مستقر وغير ثابت، (23).

جدول 2. النسب المئوية لتجمعات التربة ذات محتوى جبسي مختلف ولمديات حجمية حسب اقطار فتحات المناخل المستعملة في عملية النخل الرطب

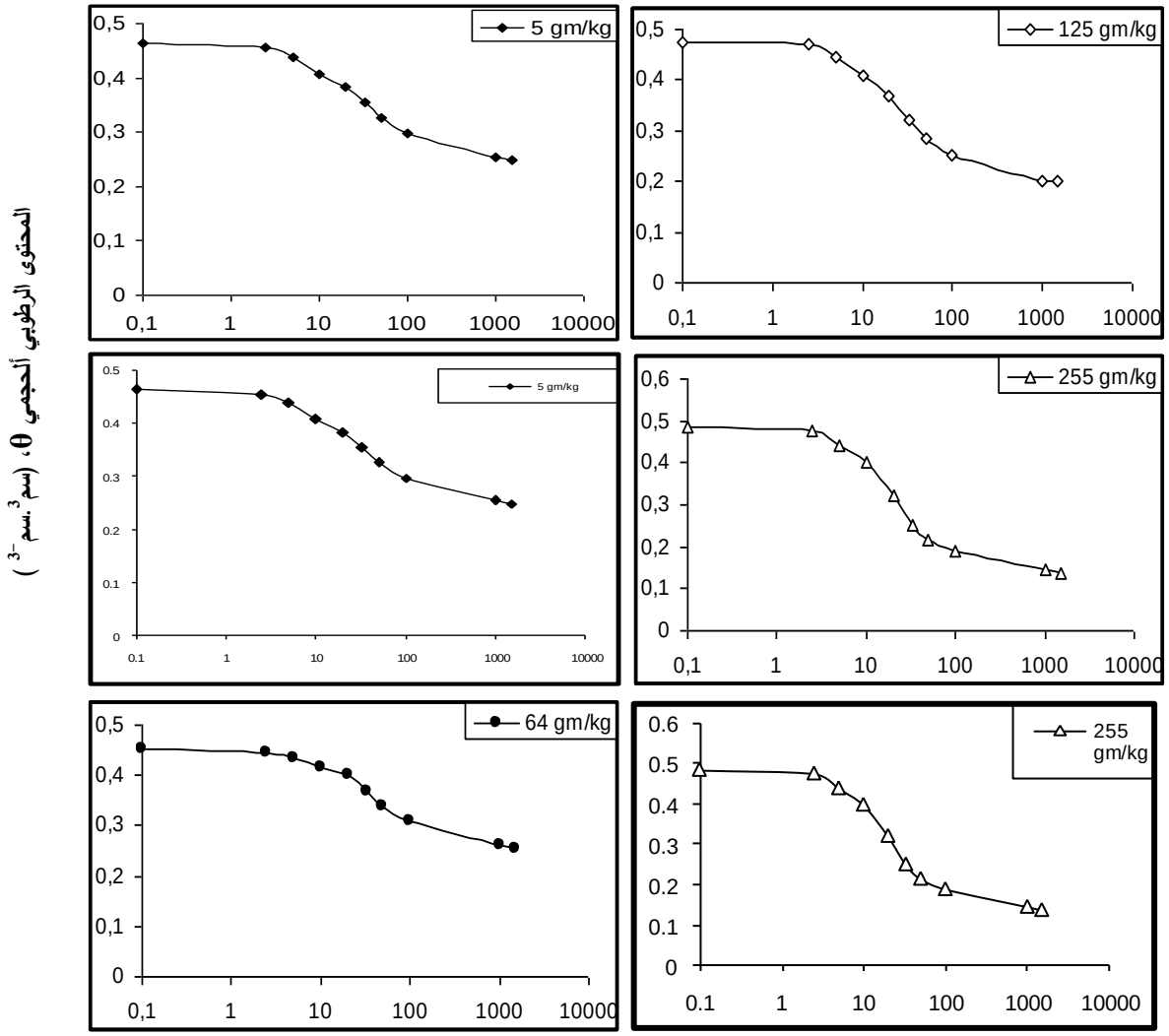
المدى الحجمي لتجمعات التربة (ملم)	محتوى التربة من الجبس (غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة)					
	5	32	64	125	255	502
4.75-9.00	0.82	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
2.36-4.75	3.21	0.63	0.36	0.00	0.00	0.00
1.00-2.36	2.07	1.28	0.86	0.68	0.65	1.94
0.50-1.00	5.94	2.34	1.68	1.51	1.88	8.86
0.25-0.50	6.07	7.33	7.55	7.82	7.98	16.70
0.00-0.25	81.89	88.04	89.55	89.99	89.49	72.50

من المقاييس الاحصائية المستعملة في تقويم بناء التربة هي المقاييس الموزونة كمعدل القطر الموزون MWD، يبين شكل 1 تأثر المحتوى الجبسي في معدل القطر الموزون، اذ ادت زيادة المحتوى الجبسي في التربة الى انخفاض معدل القطرالموزون لتجمعات التربة فاظهر الشكل علاقة ارتباط غير خطية من الدرجة الثانية وبمعامل تحديد R^2 ، 0.648 . يتضح من الشكل ان نموذج التربة ذي اقل محتوى جبسي (5 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة) قد اعطى اعلى قيمة لـ MWD ، 0.375 ملم، في حين اعطى نموذجي التربة 125 و 225 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة اقل قيمة لـ MWD اذ كانت بحدود 0.165 و 0.166 ملم على التوالي. هذا يعني ان بناء التربة قد تدهور نتيجة زيادة المحتوى الجبسي فحصل انخفاض في معدل القطر الموزون وبنسبة 56%عند زيادة المحتوى الجبسي من 5 الى 125 وصولا الى 225 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة ، من بعد ذلك ازداد معدل القطر الموزون وبنسبة 51.8% عند زيادة المحتوى الجبسي الى 502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة لتكون قيمة MWD، 0.252 ملم . ان انخفاض قيمة MWD بزيادة المحتوى الجبسي قد يعزى الى قدرة الترب الجبسية على التبلل وقدرة الجبس العالية على الذوبان الذي ادى الى ضعف بناء التربة فحصل انحلال للتربة ومن ثم هدم بناءها (6 و 1). ولكن مع زيادة المحتوى الجبسي الى 502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربةحصلت زيادة في معدل القطر الموزون وهذا قد يعزى الى زيادة حجم بلورات الجبس والتي تكون بحجم دقائق الرمل المتوسط والناعم فازدادت كتلة هذه البلورات ضمن المديات الحجمية اكبر من 250 مايكرون (جدول 2) ، وهذا ما اكده من قبل كل من Al-Rawi و Sys (10) و الجنابي واخرون (2) اذ ذكر الباحثون ان حجم بلورات الجبس تزداد بزيادة المحتوى الجبسي في التربة.



شكل 1. تأثير المحتوى الجبسي(غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة) في معدل القطر الموزون (ملم)

يبين شكل 2 منحنيات الوصف الرطوبي لتربة ذات محتوى جبسي مختلف وتمثل المنحنيات علاقة جهد ماء التربة ψ مع المحتوى الرطوبي الحجمي θ وتظهر النقاط في الشكل البيانات المقاسة للمحتوى الرطوبي عند جهود مائية محددة في حين تظهر الخطوط البيانية افضل تمثيل لتطابق بيانات ψ ضد θ وفق معادلة van Genuchten (28)،(معادلة 1) واعتبرت بيانات محسوبة. ويبين جدول 4 معايير معادلة 1 ، α و n و m فضلاً عن θ_s و θ_r . لقد اظهرت معادلة 1 تطابقاً جيداً للقيم المقاسة والقيم المحسوبة، اذ كانت قيم معامل التحديد R^2 اكبر من 0.997 ولجميع نماذج تربة الدراسة وان الذي يؤكد حسن التطابق انخفاض قيم معدل المربعات المتبقي Residual mean square θ ، (RMSθ) اذ كانت القيم اقل من 5.19×10^{-5} (سم^3 .سم$^{-3}$)^2 ولجميع نماذج الترب الخاضعة للاختبار (جدول 3).



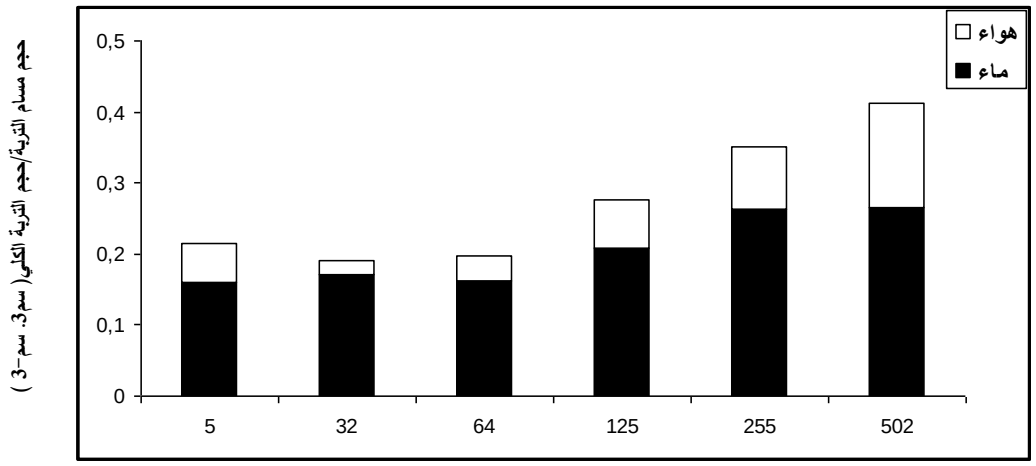
شكل 2. العلاقة بين جهد ماء التربة (ψ) والمحتوى الرطوبي ألحجمي (θ) لتربة ذات محتوى مختلف من الجبس.

جدول 3. قيم معايير معادلة van Genuchten (θ_s و θ_r و α و n و m) لمنحنيات الوصف الرطوبي وقيم معايير أفضل تطابق (RMSθ وR^2)

محتوى التربة من الجبس (غم. كغم$^{-1}$)	θ_r	θ_s	A	n	m	RMSθ $(cm^3.cm^{-3})^2$	R^2
5	0.249	0.465	0.0032	1.0197	1.0362	1.25×10^{-5}	0.9986**
32	0.252	0.442	0.0038	1.7372	0.5874	1.70×10^{-5}	0.9976**
64	0.255	0.453	0.0018	1.0746	1.2429	1.43×10^{-5}	0.9980**
125	0.199	0.476	0.0045	1.2888	0.8373	1.94×10^{-5}	0.9988**
255	0.137	0.487	0.0076	1.6616	0.6134	5.19×10^{-5}	0.9979**
502	0.089	0.501	0.0135	2.4162	0.3649	2.56×10^{-5}	0.9992**

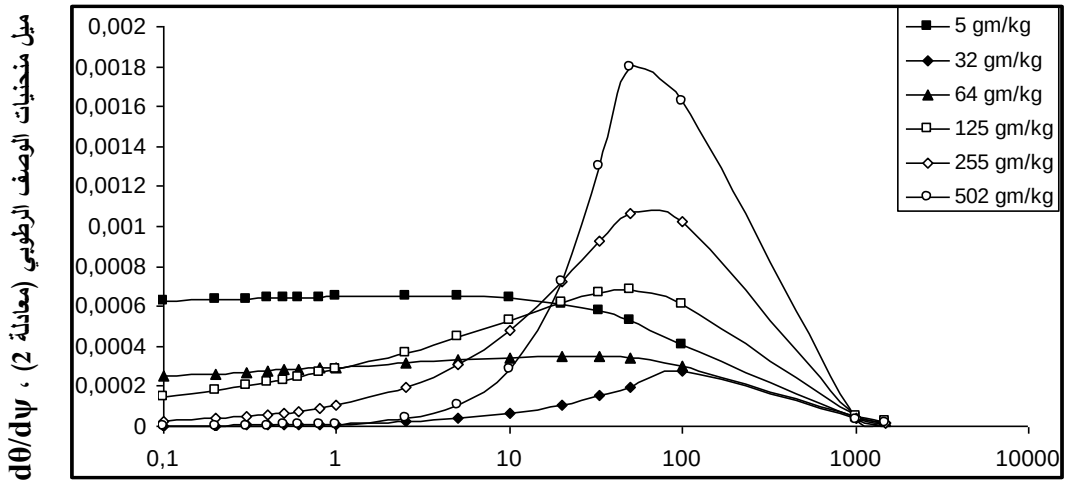
** معنوية عند مستوى 0.01 .

بالرجوع إلى جدول 1 يتبين ان نسجة نماذج التربة هي من النوع الخشن اذ تراوحت النسجة بين نسجة مزيجة ومزيجة رملية، وعليه سيكون المحتوى الرطوبي الحجمي المتبقي عند جهد ماء 10 كيلوباسكال مناسباً ليحدد السعة الحقلية لنماذج الترب ذات المحتوى الجبسي المختلف (26 و 24). ان فرق المحتوى الرطوبي بين جهد ماء التربة 0.1 كيلوباسكال والجهد المائي 10 كيلوباسكال يمثل مسامات تربة مملوءة بالهواء air-filled porosity (المسامية الهوائية) وهي مسامات ذات حجم اكبر من 29.8 مايكرون كقطر فعال لمسامات التربة (معادلة 4)، في حين ان فرق المحتوى الرطوبي بين جهد ماء التربة 10 كيلوباسكال و جهد ماء 1500 كيلوباسكال يمثل سعة مسك التربة للماء water holding capacity وهو ما يعادل عمق الماء الجاهز وهي مسامات مملوءة بالماء وان حجمها اصغر من 29.8 مايكرون (26 و 16). يبين شكل 3 حجم مسامات التربة المملوءة بالهواء والحجم المملوء بالماء لتربة ذات محتوى جبسي مختلف يظهر من الشكل ان نسبة المسامات المملوءة بالهواء تقل مع زيادة محتوى الجبس ثم تاخذ بالزيادة بزيادة المحتوى الجبسي اذ امتلك نموذج التربة 32 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة اقل نسبة مسام مملوءة بالهواء اذ بلغ 0.018 سم^3.سم$^{-3}$ في حين امتلك النموذج 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة اعلى نسبة مسام مملوء بالهواء اذ بلغ 0.147 سم^3.سم$^{-3}$. هذا يعني ان زيادة المحتوى الجبسي للتربة من 32 الى 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة ادى الى زيادة في حجم المسامات المملوء بالهواء 8 مرات. اما نسبة المسامات المملوء بالماء الجاهز فقد كان منخفضاً في نموذجي التربة 5 و 64 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة، وازدادت النسبة في بقية النماذج وامتلك نموذج التربة ذي المحتوى الجبسي 502غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة اعلى نسبة مسامات مملوءة بالماء اذ بلغت 0.265 سم^3 . سم$^{-3}$. مما يعني ان قدرة التربة على تجهيز الماء تزداد بزيادة محتوى التربة من الجبس ويعزى السبب في ذلك قدرة هذه النماذج على اطلاق كمية ماء اكثر من النماذج ذات المحتوى الاقل من الجبس عند نفس الجهود المائية التي تتعرض لها التربة، ويمكن تفسير ذلك من خلال ميل منحنيات الوصف الرطوبي والذي سيأتي ذكره لاحقا



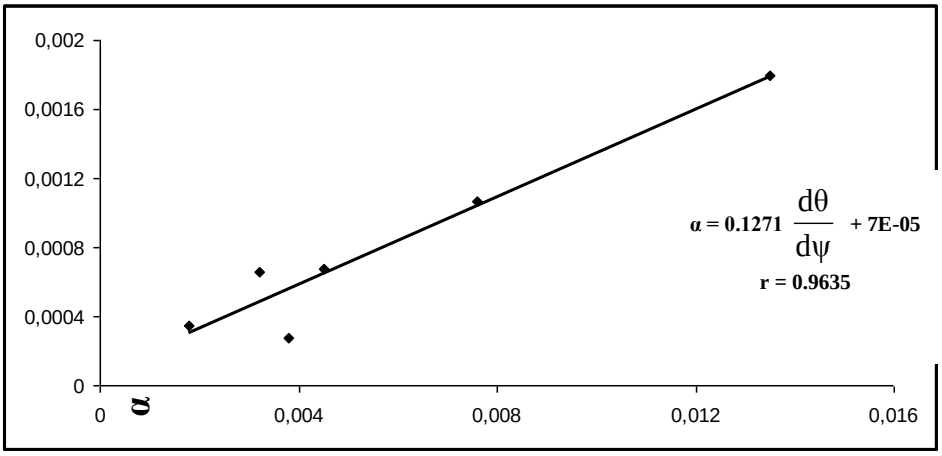
شكل 3. احجام مسامات التربة المملؤة بالهواء ضمن مدى جهد الماء من 0,1 الى 10 كيلوباسكال واحجام مسامات التربة المملؤة بالماء ضمن مدى جهد الماء من 10 الى 1500 كيلوباسكال لتربة ذات محتوى جبسي مختلف.

يبين شكل 4 علاقة القيمة المطلقة لميل منحنيات الوصف الرطوبي $\frac{d\theta}{d\psi}$ بالجهد المائي ψ لتربة ذات محتوى جبسي مختلف. يتضح من الشكل ان ميل الدالة يزداد بزيادة الجهد المائي الى حين الوصول الى اعلى قمة للميل، اذ حصل هذا عند جهد ماء 50 كيلوباسكال لنماذج تربة محتواها من الجبس 125 و 255 و 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة، في حين امتلك النموذج 32 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة اعلى قمة عند جهد ماء 100 كيلوباسكال. اما نموذجي التربة 5 و 64 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة فقد اظهرا تغير طفيف في الميل بدءً من جهد ماء 0.1 كيلوباسكال ولغاية 10 كيلو باسكال بعدها حصل انخفاض في ميل الدالة واستمر هذا الانخفاض وصولاً الى جهد ماء 1500 كيلوباسكال، هذا الانخفاض شمل جميع نماذج تربة الدراسة كما هو موضح في شكل 4 . ان التغاير الحاصل في القيمة المطلقة لميل منحنيات الوصف الرطوبي والتغايرالحاصل في قمة منحنيات دالة الميل هو نتيجة لتاثير المحتوى الجبسي للتربة في توزيع حجوم المسامات فاظهر هذا انحراف تصاعدي في قمة المنحنيات بزيادة المحتوى الجبسي. لهذا السبب كانت نماذج الترب ذات المحتوى الجبسي العالي اكثر قابلية على تجهيز الماء عند تعرضها لجهد مائي مسلط وهذا يستدل عليه من عمق الماء الجاهز (شكل 3) المرتبط ارتباطاً وثيقاً بميل منحنيات الوصف الرطوبي (26 و 24).



شكل 4. تاثير محتوى الجبس في ميل منحنيات الوصف الرطوبي بعد اخذ تفاضل معادلة van Genuchten (معادلة2) متضمنة معايير معادلة 1 كما وردت في جدول 4.

من مؤشرات توزيع احجام مسامات التربة علاقة α (سم$^{-1}$) وهو احد معايير معادلة van Genuchten (28)،(معادلة 1) مع القيمة المطلقة لميل منحنى الوصف الرطوبي (31). يبين شكل 5 هذه العلاقة واظهر علاقة ارتباط خطي موجب وبمعامل ارتباط عالي (r = 0.9635) بين α و قيمة اعلى ميل لمنحنيات الوصف الرطوبي، اذ ان بزيادة قيمة اعلى ميل ازدادت قيم α وهذا شمل جميع نماذج تربة الدراسة عدا النموذج ذي المحتوى الجبسي 32 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة الذي انحرف عن هذه العلاقة الخطية ويعزى السبب في ذلك الى طبيعة توزيع مسامات هذا النموذج. وكما هو معلوم سابقاً ان زيادة قيمة اعلى ميل لمنحنيات الوصف الرطوبي قد ارتبطت بزيادة محتوى التربة من الجبس (شكل 4)، وان قيم α ايضا ارتبطت زيادة اقيامها بزيادة محتوى التربة من الجبس (جدول 3)، لذا ظهرت علاقة الارتباط الخطي الموجب بين α و $\frac{d\theta}{d\psi}$ وهذا يؤكد ان النظام المسامي للتربة والتوزيع الحجمي للمسامات قد تاثر بالمحتوى الجبسي للتربة فانعكس هذا على عمق الماء الجاهز وعلى كمية الماء المحتفظ بها عند تعرض التربة الى جهد مائي مسلط، اذ ان كمية الماء المحتفظ بها هو دالة للقطر الفعال لمسامات التربة عند الجهد المائي المسلط وهذا ما اثبته الشكلان 3 و4 .

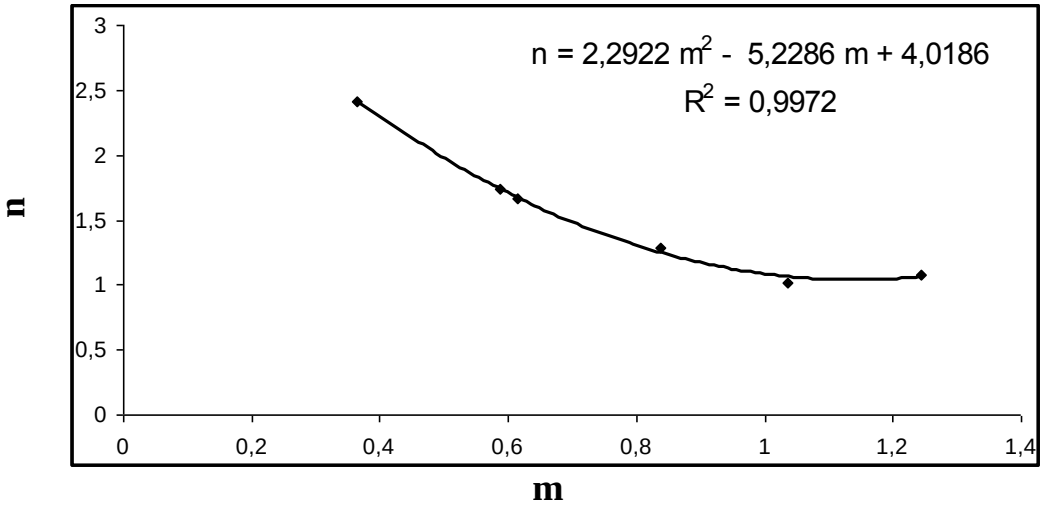


اعلى ميل $\frac{d\theta}{d\psi}$ لمنحنيات الوصف الرطوبي

شكل5 . علاقة α وهو احد معايير معادلة van Genuchten 1980 (معادلة 1) مع قيمة اعلى ميل $\frac{d\theta}{d\psi}$ لمنحنيات الوصف الرطوبي

من المعايير الاخرى المرتبطة بطبيعة انحدار منحنيات الوصف الرطوبي، n و m وهما من معايير معادلة 1 . يبين شكل 6 علاقة n مع m واظهر الشكل علاقة ارتباط من الدرجة الثانية ذات انحدار سالب وبمعامل تحديد عالي المعنوية (R^2 = 0.9972). يمثل n (عديم الوحدات) معامل لتحديد معدل تغير ميل منحنى الوصف الرطوبي عندما يتغير انحدار المنحنى باتجاه اعلى قيمة سالبة للجهد المائي (31)، و m معامل اخر لتحديد شكل منحنى الوصف الرطوبي وهو معامل غير معتمد على المعامل n ، independed (29). يتضح من الشكل ان بزيادة قيم m انخفضت قيم n ويلاحظ ان هذه العلاقة مرتبطة بالمحتوى الجبسي للتربة فبزيادة المحتوى الجبسي ازدادت قيم n في حين انخفضت قيم m

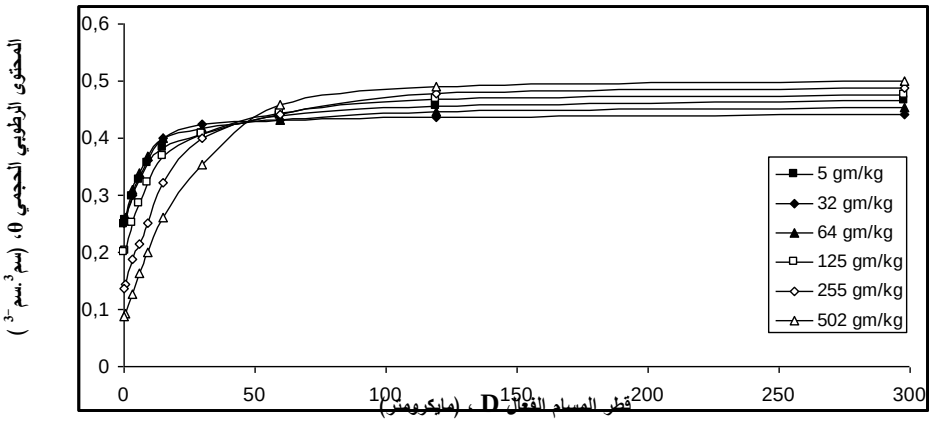
(جدول 3) وهذا شمل جميع نماذج الدراسة عدا النموذج ذي المحتوى الجبسي 32 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة. ان زيادة محتوى التربة من الجبس قد انعكس على خصائص التربة اذ بزيادة المحتوى الجبسي زادت خشونة التربة (جدول 1) مما انعكس على توزيع احجام مسامات التربة والذي اظهر تغاير في قدرة التربة على مسك الماء عند الجهود المائية المسلطة، وعليه يمكن القول ان زيادة n هو اشارة لانخفاض قدرة التربة على حفظ الماء عند تعرضها لجهود مائية مسلطة وهذا كان متوافق مع زيادة المحتوى الجبسي، في نفس الوقت زيادة قيم m اشارة لزيادة قدرة التربة على مسك الماء عند تعرضها للجهد المائي وهذا متوافق مع انخفاض المحتوى الجبسي. لقد جاءت هذه النتيجة مقاربة للنتائج الذي توصل اليها Fritton (19) عند اختبار انموذج رياضي تجريبي محور عن معادلة van Genuchten (28) لتقييم كثافة التربة الظاهرية عند مستويات رطوبية مختلفة، اذ اشار الباحث ان n دالة لـ m ($n=f(m)$) وان m دالة للنظام المسامي للتربة فهو دالة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة ($m=f(\theta)$) ودالة للجهد المائي ($m=f(\psi)$)، فحصل على علاقة ارتباط اسية سالبة الانحدار بين n و m .



شكل 6. العلاقة بين n و m وهما من معايير معادلة 1 لمعاملات التربة ذات محتوى جبسي مختلف

يبين شكل 7 علاقة قطر المسام الفعال (D) المحسوب من تطبيق معادلة 4 مع المحتوى الرطوبي الحجمي θ لنماذج تربة الدراسة. يلاحظ ان بزيادة قطر المسام الفعال يزداد المحتوى الرطوبي للتربة ولكن بشكل متفاوت من تربة الى اخرى. فعندما يكون قطر المسامات الفعالة اصغر من 30 مايكرون يزداد محتوى التربة من الرطوبة مع انخفاض المحتوى الجبسي ويعزى السبب في ذلك ان المحتوى الرطوبي في مثل هذه الظروف مرتبط بالتوزيع الحجمي لمسامات التربة وبالتوزيع الحجمي لمفصولات التربة وبالمساحة النوعية للتربة(14). بزيادة قطر المسامات الفعالة (اكبر من 50 مايكرون ولغاية 300 مايكرون) ازداد المحتوى الرطوبي بزيادة المحتوى الجبسي ويعزى السبب في ذلك الى زيادة مسامية التربة (جدول 1) اذ ازدادت المسامية الكلية بزيادة المحتوى الجبسي. يمثل شكل7 منحنى توزيع احجام مسامات التربة ويلاحظ ان حجم المسام (pore volume) يزداد بشدة عندما يصغر قطر المسام (pore diameter)، ويمكن الاستدلال عن حجم المسام في نماذج التربة من كمية المحتوى الرطوبي الذي تحتفظ به التربة عند تعرضها لجهد مائي محدد، وهذا يمثل مسامات التربة ذات قطر اقل من 29.8 مايكرون والذي يقابل جهد ماء 10 كيلوباسكال. ان نسبة حجم المسام المحتفظ بالماء عند تعرض نماذج التربة لهذا الجهد 0.74 و 0.90 و 0.82 و 0.75 و 0.75 و 0.64 كمحتوى رطوبي نسبي عند المدى الرطوبي $1>\Theta>0$ (معادلة 6)، لنماذج تربة ذات محتوى جبسي 5 و 32 و 64 و 125 و 255 و 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة بالتتابع. اما نسبة حجم المسام ذي القطر الفعال اكبر من 29.8 مايكرون فهي 0.26 و 0.10 و 0.18 و 0.25 و 0.25 و 0.36

وهذا يساوي ($1-\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}$) ضمن المدى الرطوبي 1>Θ>0 لنماذج تربة ذات محتوى جبسي 5 و 32 و 64 و 125 و 255 و 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة بالتتابع. يتضح مما سبق ان النظام المسامي المملوء بالهواء هو من نوع mesopores وهي مسامات ناقلة للماء (26) يبزل منها الماء عند تعرض التربة لجهد ماء 10 كيلوباسكال، وقد تراوحت نسبة هذه المسامات في نماذج التربة بين 10 و36 سم^3.سم$^{-3}$، اما المسامات الخازنة للماء وهي المسامات التي تحتفظ بالماء عند تعرض التربة لجهد ماء 10 كيلوباسكال، فقد تراوحت نسبتها في نماذج التربة بين 64 و 90 سم^3.سم$^{-3}$. يعد هذا التوزيع لاحجام مسامات التربة مهماً لتحديد بيئة التربة المائية والبايولوجية اذ امتلكت نماذج التربة نسبة جيدة من المسامات الناقلة للماء وهي مهمة لحركة وانتشار الماء في التربة لذلك تميزت النماذج ذات المحتوى الجبسي العالي (125 و 255 و 502 غم جبس.كغم$^{-1}$ تربة) بايصالية وانتشار مائي جيد (8) بسبب زيادة نسبة المسامات الناقلة والتي بلغت اكثر من ربع حجم النظام المسامي لهذه النماذج.

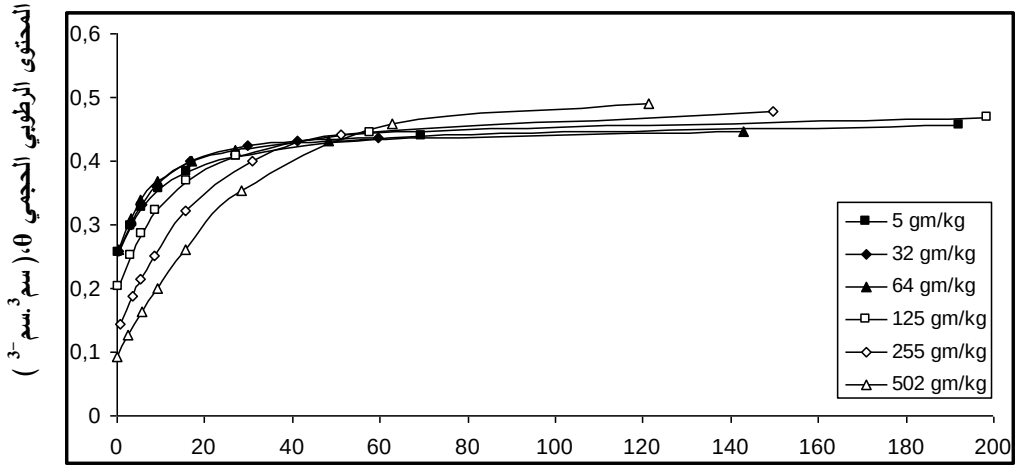


شكل 7. علاقة قطر المسام الفعال D المحسوب بتطبيق معادلة 4 مع المحتوى الرطوبي الحجمي θ لتربة ذات محتوى جبسي مختلف

امتلكت نماذج تربة الدراسة القليل من المسامات كبيرة الحجم macropores ويستدل على ذلك من منحنيات الوصف الرطوبي (شكل2) اذ ان ميل منحنيات الوصف الرطوبي ولغاية جهد ماء 10 كيلوباسكال هو ميل قليل (شكل4) بسبب حالة التسطح flat في المنحنى عند الجهود المائية القليلة تحديدا من نقطة الاشباع ولغاية جهد ماء 10 كيلوباسكال (26). ان التواجد القليل لمسامات التربة الكبيرة قد يعزى الى الحالة البنائية لنماذج التربة الجبسية اذ تميزت هذه النماذج ببناء ضعيف وتكوين تجمعات تربة صغيرة الحجم اذ بلغت نسبة تجمعات التربة ذات حجم اصغر من 250 مايكرون اكثر من 80% (جدول 2). ان العمليات السائدة والمؤثرة في تجمع وتكوين تجمعات التربة هو ما ينتج عن العمليات البايولوجية والكيميائية لنظام التربة، هذه العمليات هي عمليات ذات تاثير ضعيف بسبب قلة المادة العضوية الذي ينتج عنه انخفاض في النشاط البايولوجي، وقلة محتوى التربة من الطين الذي يعمل على ربط دقائق وتجمعات التربة (جدول 1)، (26).

يبين شكل 8 علاقة قطر المسام الفعال D بعد ان تم احتسابه بتطبيق معادلة 5 مع المحتوى الرطوبي الحجمي θ (7). يظهر ولجميع المعاملات ان θ تزداد اسيا بزيادة D ، ولكن هذه الزيادة تختلف باختلاف محتوى التربة من الجبس بسبب اختلاف توزيع احجام مسامات التربة كما توضح ذلك سابقا. امكن الحصول على اعلى قيم قطر المسام الفعال عند مستويات رطوبية عالية وقبل الوصول الى حالة الاشباع (جهد ماء مسلط 2.5 كيلوباسكال)، اذ بلغت قيم D المحسوبة 192 مايكرون (5 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.455) و 59.4 مايكرون (32 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.436) و 142.9 مايكرون (64 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ=

0.446) و 198 مايكرون (125 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.469) و 150 مايكرون (255 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.478) و 121.2 مايكرون (502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.491). وبتعرض نماذج التربة الى جهود مائية عالية انخفض المحتوى الرطوبي للتربة وقبل الوصول الى المحتوى الرطوبي المتبقي θ_r (جهد ماء مسلط 1000 كيلوباسكال)، قل قطر المسام الفعال المحسوب فاصبح 0.33 مايكرون (5 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.255) و 0.45 مايكرون (32 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.259) و 0.41 مايكرون (64 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.261) و 0.20 مايكرون (125 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.202) و 0.56 مايكرون (255 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.145) و 0.15 مايكرون (502 غم جبس. كغم$^{-1}$ تربة، θ= 0.092). بافتراض ان المسامات ذات قطر فعال اكبر من 50 مايكرون هي المسامات الناقلة للماء من نوع mesopores (26 ، 30)، فان نسبة حجم المسامات الناقلة قد انخفضت بنسبة 2% في حين ان نسبة حجم المسامات الخازنة (اقل من 50 مايكرون) قد ازدادت بنسبة 2% عند المقارنة مع تلك التي تم احتسابها من تطبيق معادلة 4 (شكل 7).



شكل 8 . علاقة قطر المسام الفعال D المحسوب من معادلة 5 مع المحتوى الرطوبي الحجمي θ لتربة ذات محتوى جبسي مختلف

اظهرت نتائج معادلة 5 (شكل 8) تقارب جيد مع نتائج معادلة 4 (شكل 7)، وان معادلة 5 اخذت بنظر الاعتبار عند احتساب القطر الفعال تاثير المحتوى الرطوبي المتبقي θ_r والمحتوى الرطوبي عند الاشباع θ_s فضلا عن المحتوى الرطوبي θ عند كل جهد ماء مسلط على التربة وكذلك تاثير معايير معادلةvan Genuchten (28)،(α و n و m)، اذ ادخلت في تقييم قطر المسام الفعال وهذا ما اثبتته النتائج. يتضح ان معادلة 5 طريقة مطورة لتحديد توزيع احجام مسامات التربة ولكنها تنطوي على حالة سلبية هي ان قطر المسام عند المحتوى الرطوبي المتبقي θ_r (جهد ماء التربة 1500 كيلوباسكال) وعند المحتوى الرطوبي في حالة الاشباع θ_s (جهد ماء التربة 0.1 كيلوباسكال) يكون ذي قيمة غير معرفة رياضيا (مالانهاية)، ولتجاوز هذا الخلل يفضل اخذ قيم θ قبل الوصول الى الاشباع وقبل الوصول الى الرطوبة المتبقية ($\theta_r<\theta<\theta_s$) وبذلك تكون هذه الطريقة ملائمة لتحديد مدى واسع من الاقطار الفعالة لمسامات التربة كدالة لتوزيع احجام مسامات التربة.

يستنتج من هذا البحث ان الترب ذات المدى الواسع من المحتوى الجبسي امتلكت بناء ضعيف وغير ثابت، اذ شكلت تجمعات نماذج التربة ذات الحجم اقل من 250 مايكرون نسبة اكثر من 80% من التوزيع الحجمي لتجمعات التربة ، وان معدل القطر الموزون يقل بزيادة محتوى التربة من الجبس. اختلفت منحنيات الوصف الرطوبي باختلاف المحتوى الجبسي وان ميل منحنيات الوصف الرطوبي قد

اختلف باختلاف الجهد المائي المسلط وباختلاف المحتوى الجبسي اذ ازداد الميل بزيادة المحتوى الجبسي. هنالك علاقة ارتباط جيدة بين α وقيمة اعلى ميل لمنحنيات الوصف الرطوبي وهما من الدوال المهمة لتوزيع حجوم مسامات التربة . اظهرت نتائج تطبيق معادلتي 4 و 5 تقارب جيد في تحديد قيم القطر الفعال لمسامات التربة واوصي ان تستعمل معادلة 5 في احتساب القطر الفعال للمسامات مع اجراء تطوير في استعمالها مستقبلاً للتغلب على حالة فشل المعادلة في احتساب D عندما يكون $\theta = \theta_r$ و $\theta = \theta_s$.

المصادر

1- الجبوري، محمد حسين سلمان. 1997. تأثير محتوى الجبس في الرص وفي بعض الصفات الفيزيائية للتربة. رسالة ماجستير. قسم التربة. كلية الزراعة-جامعة بغداد. ع ص 78.

2- الجنابي، علاء صالح ومعتصم داود اغا وهشام محمود حسن. 1989. الخصائص الفيزيائية لبعض الترب الجبسية في العراق. وقائع بحوث المؤتمر العلمي الخامس لمجلس البحث العلمي. علوم التربة-القسم الأول/7-11 تشرين الأول-1989 - بغداد- العراق. ص 13-24 .

3- القرني، عباس حميد ذياب. 2005. التحليل التجريبي لمعايير معادلة Green and Ampt لغيض الماء في ترب مختلفة النسجة. رسالة ماجستير. قسم علوم التربة والمياه. كلية الزراعة-جامعة بغداد. ع ص 103.

4- دوغرامه جي، جمال شريف، عبدالله نجم العاني و عبد الخالق صالح الحديثي. 1994. تاثير محتوى الجبس في بعض الصفات الفيزيائية للتربة. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 25(1): 38-45.

5- سليم، قاسم احمد. 2001. تأثير نوعية ماء الري وطريقة اضافته في صفات الترب الجبسية لمنطقة الدور. أطروحة دكتوراه. قسم التربة. كلية الزراعة-جامعة بغداد. ع ص 155.

6- شهاب، رمزي محمد. 1997. أثر إضافة زيت الوقود والبنتونايت في بعض الخصائص الفيزيائية وانتقال الماء والمذاب في تربة جبسية. أطروحة دكتوراه. قسم التربة. كلية الزراعة-جامعة بغداد. ع ص 117.

7- مجيد، شذى سالم. 2008. العلاقة بين معايير ثباتية تجمعات التربة والمسامية وبعض الخصائص المائية لترب مختلفة النسجة والاستخدام. رسالة ماجستير. قسم علوم التربة والمياه. كلية الزراعة-جامعة بغداد. ع ص 117.

8- مهدي، نمير طه. 2008. تأثير محتوى الجبس في منحنى الوصف الرطوبي والايصالية المائية غير المشبعة في التربة. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 39(3):10-23.

9- Al-Ani, A. N. and M. Dudas. 1988. Influence of calcium carbonate on mean weight diameter of soils. Soil and Tillage Research. 11: 19-26.

10- Al-Rawi, Gh. J. and C. Sys. 1967. A comparative study between Euphrates and Tigris sediment in the Mesopotamian Flood Plain. Pedology, XVII, 2, 187-211.

11- Blake, B. R. and K. H. Hartge. 1986a. Bulk density. *In* A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd edn. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. p. 363-375.

12- Blake, B. R., and K. H. Hartge. 1986b. Particle density. *In* A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd edn. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. p. 377-382.

13- Boyadgiev, T.G. 1974. Contribution to the Knowledge of gypsiferous soils. AGON/SF/SYR/67/522. FAO, Rome. cited in Saliem, K. A. 2001. The Effect of Irrigation Water Quality and Application on the Properties of Gypsiferous Soils for Al-Dour Area. Ph.D. Dissertation. Department of Soil. College of Agriculture. University of Baghdad. pp. 155.

14- Chan, T. P. 2005. Modeling of Coarse Textured Soils and Their Hydraulic Properties. Ph.D. Thesis. Purdue University. p. 177.

15- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. *In* C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis Part 1, Agron. Ser. No. 9, Am. Soc. Agron: Madison, WI. p. 545-567.

16- Eynard, A., T. E. Schumacher., M. J. Lindstrom. And D.D. Malo. 2004. Porosity

and Pore-size distribution in cultivated Ustolls and Usterts. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1927-1934.

17- F.A.O. 1990. Management of Gypsiferous Soils. F.A.O. Soils bull. No 62. F.A.O. Rome. pp. 80.

18- Feike, J.L., T. A. Ghezzehei. and D. Or. 2002. Analytical models for soil pore-size distribution after tillage. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 1104-1114.

19- Fritton, D. D. 2006. Fitting uniaxial soil compression using initial bulk density, water content, and matric potential. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1262-1271.

20- Homaee, M. and A. F. Firouzi. 2008. Deriving point and parametric pedotransfer functions of some gypsiferous soils. Australian Journal of Soil Research. 46: 219-227.

21- Jackus, L. 1977. Morphogenetics of Karst Regions. Adam Hilger, Bristol. (C.F.) Elorza, M.G. and F.G. Santolalla. 1998. Geomorphology of the tertiary gypsum formations in the Ebro Depression (Spain). Geoderma. 87: 1-29.

22- Kemper, W. D., and I. Chepil. 1965. Size distribution of aggregates. *In* C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis Part 1, Agron. Ser. No. 9, Am. Soc. Agron: Madison, WI. p. 499-510.

23- Lebron, I., D. L. Suarez. and T. Yoshida. 2002. Gypsum effect on the Aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:92-98.

24- 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.

25- Smith, R. and V.C. Robertson. 1962. Soil and irrigation classification of shallow soils overlying gypsum beds. Northern Iraq. Journal of Soil Science. 13(1): 106-115.

26- 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.

27- U.S. Salinity laboratory staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Handbook No, 60, Washington, D. C. pp. 160.

28- 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.

29- van Genuchten, M. Th., and D. R. Nielsen. 1985. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. Ann Geophys. 3(5): 615-628. Cited in Wosten, J. H. M. and M. TH. van Genuchten. 1988. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1762-1770.

30- Virto, M. J., I. P. Bescansa. and A. Enrique. 2005. Pore size distribution in relation to soil physical properties in two irrigated semiarid Mediterranean soils as affected by management. Geophysical Research Abstracts. 7: 03223.

31- Wosten, J. H. M. and M. TH. van Genuchten. 1988. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1762-1770.

32- Youker, R. E., and J. L. McGuinness. 1956. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analysis of soils. Soil Sci. 83: 291-294.