

## قياس ونمذجة منحنى الانكماش لترب ذات محتوى جبسي مختلف

نبأ خالد ياسين وعبد الوهاب عبد الرزاق سعيد القيسي  
جامعة تكريت - كلية الزراعة

المراسلة الى: نبأ خالد ياسين، قسم التربة والموارد المائية، كلية الزراعة، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

البريد الالكتروني: [nabaa.khalid@gmail.com](mailto:nabaa.khalid@gmail.com)

### Article info

Received: 13-08-2020

Accepted: 17-11-2020

Published: 31-12-2020

DOI - Crossref:

10.32649/ajags.2022.170534

Cite as:

Yassin, N. K., and Al-Kayssi, A. W. (2020). Measuring and modeling the shrinkage characteristic curve of soils with different gypsum content. Anbar Journal of Agricultural Sciences, 18(2): 258–273.

©Authors, 2020, College of Agriculture, University of Anbar. This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### الخلاصة

نفذت تجربة مختبرية لدراسة تأثير محتوى التربة من الجبس في منحنى وصف خصائص انكماش التربة (SSCC) ونمذجة منحنى الانكماش. حضرت نماذج تربة ذات محتوى جبسي 100 (G2) و 150 (G3) و 200 (G4) و 250 (G5) و 350 (G6) غم كغم<sup>-1</sup> عن طريق الخلط بين نموذج تربة سطحية ذو محتوى جبسي 60.6 (G1) غم كغم<sup>-1</sup> ونموذج تربة تحت سطحي ذو محتوى جبسي 433.9 (G7) غم كغم<sup>-1</sup>. تم قياس منحنى وصف خصائص انكماش التربة لكل نموذج من نماذج التربة عند الشدود الرطوبة 0، 3، 6، 15، 33، 100، 500، 700، 1000، 1500 كيلوباسكال. قورن منحنى وصف خصائص انكماش التربة المقاس مع المحسوب بأنموذج Peng and Horn, 2005. بينت النتائج ان منحنى وصف خصائص انكماش التربة تضمن ثلاث مراحل فقط لانكماش التربة هي مرحلة الانكماش النسبي والتي شكلت الجزء الأكبر من منحنى وصف خصائص انكماش التربة تراوح بين 46-84% لنماذج التربة الجبسية G6-G1، ومرحلة الانكماش المتبقي التي شكلت نسبة اقل تراوحت بين 11-49% لنماذج التربة الجبسية G6-G1، ومرحلة الانكماش الصفري، وعدم ظهور مرحلة انكماش البناء في كل نماذج التربة الجبسية (G7-G1). أظهرت النتائج توافقاً معنوياً بين قيم منحنى وصف خصائص انكماش التربة المقاس والمحسوب، اذ تراوح معامل التحديد بين 0.9961 و 0.988 لكل نماذج التربة الجبسية المدروسة.

**كلمات مفتاحية:** الانكماش، التربة الجبسية، نسبة الفراغية، نسبة الرطوبة.

## MEASURING AND MODELING THE SHRINKAGE CHARACTERISTIC CURVE OF SOILS WITH DIFFERENT GYPSUM CONTENT

N. K. Yassin and A. W. Al-Kayssi

Tikrit University-College of Agriculture

\*Correspondence to: Nabaa Khaled Yassin, Department of Soil and Water Resources, College of Agriculture, Tikrit University, Tikrit, Iraq.

E-mail: [nabaa.khalid@gmail.com](mailto:nabaa.khalid@gmail.com)

### Abstract

A laboratory experiments were carried out to study and modeling the effect of soil gypsum content on soil shrinkage characteristic curve (SSCC) of gypsiferous shrinkage curve. Soil samples with 100 (G2), 150 (G3), 200 (G4), 250 (G5), 350(G6) g kg<sup>-1</sup> gypsum content were prepared by mixing materials from surface soil layer with low gypsum content (G1) 60.6 g kg<sup>-1</sup> and sub-surface soil layer with high gypsum content (G7) 433.9 g kg<sup>-1</sup>. SSCC was measured for each soil sample at the moisture tension of 0,3,6,15,33,100,500,700,1000 and 1500 kPa, the results indicated that SSCC of the studied gypsiferous soils (G1–G7) included only three shrinkage stages. The proportional shrinkage stage formed the bulk part of the SSCC which ranged between 46–84 % for the gypsiferous soils samples G1–G6, the residual shrinkage stage was less than proportional shrinkage stage of the SSCC and ranged between 11–49 % for the gypsiferous soils samples G1–G6, and Zero shrinkage in all samples of gypsum soils. The results showed a significant agreement between the measured and predicated SSCC values calculated. The coefficient of determination ranged between 0.9961 and 0.988 for all studied gypsiferous soils.

**Keywords:** Shrinkage, Studied Soils, Void Ratio, Moisture Ratio.

### المقدمة

تمدد (Swelling) وانكماش (Shrinkage) التربة هما أحد الخصائص الفيزيائية المهمة للتربة. يتغير حجم التربة المتمددة (Swelled Soil) عند تعرضها للانكماش كنتيجة للتغيرات الحاصلة في محتواها الرطوبي. يؤدي تغير حجم التربة الى إعادة تنظيم دقائقها وتجمعاتها، كما يؤثر تمدد وانكماش التربة في بناء التربة الذي يؤثر بدوره في حركة الماء خلال هيكل التربة (8). تعد مسامية التربة أحد الخصائص الفيزيائية للتربة والتي تؤثر في استخدام التربة للأغراض الزراعية والهندسية. يؤثر التغير في حجم التربة التي تتعرض لعملية الانكماش بشكل كبير في المسام الكبير (Macro porosity) وبدرجة اقل في المسام الدقيق (Micro porosity). يعتمد مقدار التغير الحاصل في الحجم الظاهري للتربة على محتواها من معادن الطين وطبيعة بناء التربة. يوصف التغير في الحجم الظاهري الذي يحصل للتربة كنتيجة للتغير في محتواها الرطوبي من خلال منحنى يسمى منحنى وصف خصائص انكماش التربة (Soil Shrinkage Characteristic Curve, SSCC).

يظهر انكماش التربة المتمددة عند جفافها في أربعة مراحل الأولى مرحلة الانكماش المتعلقة ببناء التربة (Structural Shrinkage) والثانية مرحلة الانكماش الطبيعي (Normal Shrinkage) والثالثة مرحلة

الانكماش المتبقي (Residual Shrinkage) والمرحلة الرابعة مرحلة الانكماش الصفري (Zero Shrinkage) (6). يمكن ان تظهر التربة المراحل الأربع لمنحنى الانكماش او قد تفقد واحدة او أكثر من مراحل الانكماش اعتماداً على خصائصها. تتأثر المرحلة الأولى بالمسام الواقعة بين تجمعات التربة الكبيرة (Large inter-aggregate pores)، بينما تتأثر مرحلتها الثانية والثالثة بالمسام الواقعة ضمن تجمعات التربة (Intra-aggregate pores)، ولا يتأثر الانكماش في المرحلة الرابعة بمسام التربة بسبب استقرار تنظيم دقائقها وعدم حصول تغير في حجم تجمعات التربة. لذا فإن التوصل الى منحنى وصف خصائص الانكماش للتربة يعد ضرورياً لنمذجة انتقال الماء والمذاب في التربة. اقترحت العديد من النماذج الرياضية التي اخذت بنظر الاعتبار عوامل تغير نسجة وبناء التربة الكلسية (21)، ولم يتم اختبار هذه النماذج في الترب الجبسية بسبب عدم انتشار هذه الترب في مناطق العالم التي تم تطوير نماذج انكماش التربة فيها من جهة، وعدم توفر بيانات في الادبيات العلمية كي يتم اختبار نماذج انكماش التربة المقترحة فيها. ولأهمية مؤشر انكماش التربة الجبسية في ادارتها من الناحية الزراعية والهندسية سواء كان ذلك من خلال تقديره او طرق التنبؤ به، فإن البحث استهدف تحديد مراحل الانكماش لترب ذات محتوى جبسي مختلف. نمذجة منحنى وصف خصائص الانكماش لترب ذات محتوى جبسي مختلف باستعمال الأنموذج المقترح من قبل (16).

#### المواد وطرائق العمل

اخذت عينات تربة من مقد تربة جبسية في محطة أبحاث كلية الزراعة / جامعة تكريت الواقعة عند خط طول  $23^{\circ} 38' 43''$  شرقاً وخط عرض  $48^{\circ} 40' 34''$  شمالاً وارتفاع 250م عن مستوى سطح البحر. اخذت عينات التربة من الأفق السطحي للعمق (0-0.1) م والذي بلغت نسبة الجبس فيه 60.6 غم كغم<sup>-1</sup> (G<sub>1</sub>) والأفق الجبسي للعمق (0.6-1) م والذي بلغت نسبة الجبس فيه 433.9 غم كغم<sup>-1</sup> (G<sub>7</sub>). تم تحضير نماذج مختلفة بنسبة الجبس (G<sub>2</sub>) 100 و (G<sub>3</sub>) 150 و (G<sub>4</sub>) 200 و (G<sub>5</sub>) 250 و (G<sub>6</sub>) 350 غم كغم<sup>-1</sup>. حضرت نماذج التربة المختلفة بمحتواها من الجبس عن طريق الخلط بين نموذج التربة السطحية (G<sub>1</sub>) والأفق (G<sub>7</sub>) لمقد التربة بنسب مختلفة كما موضح في المثال الآتي:

تحضير نموذج تربة بمحتوى جبس مقداره 100 غم كغم<sup>-1</sup> وبكمية مقدارها 3 كيلوغرام تربة من تربتين الأولى تربة سطحية ذات محتوى واطى من الجبس (60.6 غم كغم<sup>-1</sup>) والثانية تربة تحت سطحية ذات محتوى عالي من الجبس (433.9 غم كغم<sup>-1</sup>):

$$3 \times 10 = ? \times 43$$

$$? = \frac{3 \times 10}{43}$$

$$= \frac{30}{43}$$

$$= 0.697 \text{ Kg} \times 1000$$

$$= 697.67 \text{ gm} \text{ تربة تحت سطحية}$$

تربة سطحية 3000–697.67= 2302.33 gm

<u>جيس</u>	<u>تربة</u>
6	100
<u>x</u>	<u>2302.33</u>

$$x = \frac{2302.33 \times 6}{100}$$

$$= 138.14 \text{ gm gypsum}$$

<u>جيس</u>	<u>تربة</u>
43	100
<u>138.14</u>	<u>x</u>

$$x = \frac{138.14 \times 100}{43}$$

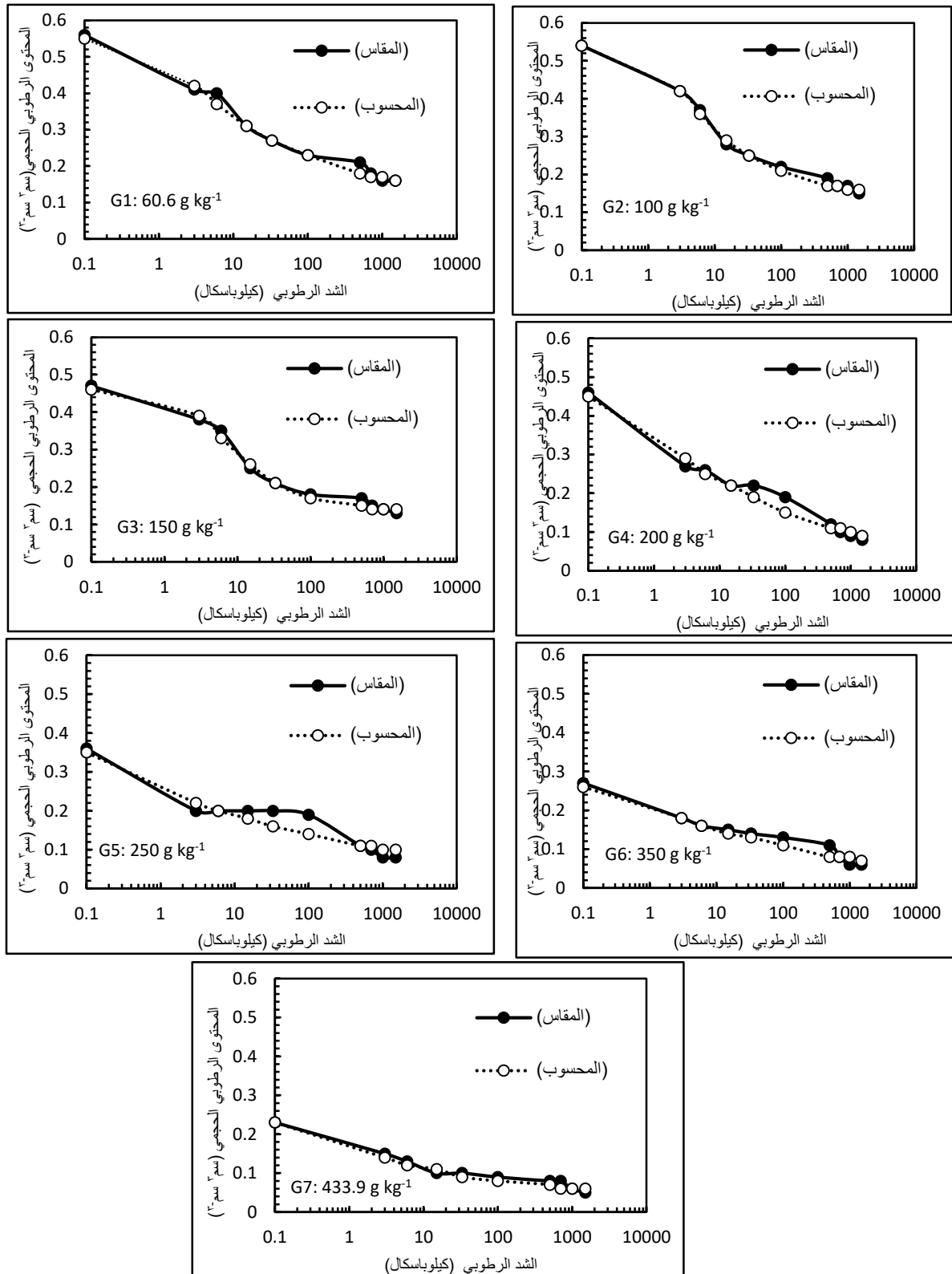
$$= 321.26 \text{ gm تربة تحت سطحية}$$

$$697.67 - 321.26 = 376.41 \text{ gm نأخذ من التربة التحت سطحية}$$

$$3000 - 376.41 = 2623.59 \text{ gm نأخذ من التربة السطحية}$$

رطب نماذج الترب المحضرة عن طريق الرش الى حدود ثلثي السعة الحقلية، ثم حضنت في أكياس بلاستيكية محكمة الاغلاق مع التقليب المستمر يوميا لمدة شهرين لغرض التجانس. بعد انتهاء مدة التحضين جففت نماذج التربة هوائيا ومررت من منخل قطر فتحاته 2 مم ثم خزنت في اوعية بلاستيكية لغرض اجراء التجارب. تم استخدام حلقات اسطوانية معدنية بأبعاد 50 مم قطراً و50 مم ارتفاعاً لتقدير منحنى وصف خصائص انكماش التربة. عيئت الحلقات الاسطوانية بنماذج الترب الجبسية ثم وضعت على أقراص الشد الرطوبي (Pressure plate apparatus) ثم رطب نماذج الترب من الأسفل عن طريق الخاصية الشعرية لحدود الاشباع لمدة (24) ساعة.

قدر المحتوى الرطوبي لكل نموذج من نماذج الترب للشدود 15 و 33 و 100 و 500 و 700 و 1000 و 1500 كيلوباسكال حسب الطريقة المقترحة من قبل (13). اما المحتوى الرطوبي لنماذج الترب الجبسية عند الشدود 3 و 6 كيلوباسكال تم تقديره من خلال تسليط شد مائي باستعمال اقماع زجاجية ذات أقراص مسامية ( Centerated glass funnels) قطر فتحاتها 20 مايكرومتر. ورسم منحنى الوصف الرطوبي لكل نموذج من نماذج الترب الجبسية الذي يربط العلاقة بين المحتوى الرطوبي الحجمي والشد الرطوبي شكل (1).



شكل 1 منحنى الوصف الرطوبي المقاس والمحسوب لنماذج الترب الجبسية.

تم قياس ارتفاع وقطر كل نموذج من نماذج الترب عند الشدود الرطوبة الانفة الذكر بواسطة فرنية رقمية لحساب حجم عينة التربة في الحلقات المعدنية بعد كل شد رطوبي، ثم اخذ الوزن الرطب والجاف لكل نموذج من نماذج التربة بعد التجفيف في المايكرويف لمدة 6 دقائق بعد معايرته مع فرن التجفيف الاعتيادي وذلك بتجفيف عينة ذات محتوى رطوبي معلوم ومعرفة الوقت اللازم لتجفيف العينة. تم حساب نسبة الفراغية (e) حسب المعادلة الآتية:

$$(e = V_f/V_s \quad \dots\dots\dots 1$$

والتي تمثل النسبة بين حجم الفراغ (Vf) وحجم الجزء الصلب (Vs) لنموذج التربة بعد كل شد رطوبي (16). وتم حساب نسبة الرطوبة (θ) حسب المعادلة:

$$(2)\dots\dots\dots$$

$$V_w/V_s = \theta$$

والتي تمثل النسبة بين حجم الماء (Vw) وحجم الجزء الصلب (Vs) لنموذج التربة بعد كل شد رطوبي كما موضح في المثال الآتي.

$$= \text{حجم الجزء الصلب } V_s$$

$$\text{الكثافة الحقيقية (لكل مستوى جبسي) ( ÷ ) = وزن العينة الجاف } V_s \text{ حجم الجزء الصلب (}$$

$$= \text{حجم الفراغ } V_f$$

$$= ( - V_s ) = \text{حجم العينة بعد كل شد رطوبي } V_f \text{ حجم الفراغ (}$$

$$= \pi \times \text{الارتفاع} \times \text{القطر} \times 2/1 \text{ حجم العينة بعد كل شد رطوبي (} =$$

$$= \text{حجم الماء } V_w$$

$$\text{سم} (3) \text{ غم كثافة الماء (} \times ) = \text{وزن الماء (عند كل شد) } V_w \text{ حجم الماء (}$$

ورسم منحنى انكماش التربة لنماذج الترب الجبسية والذي يربط العلاقة بين نسبة الفراغية (e) ونسبة الرطوبة (θ) (16).

حساب منحنى انكماش التربة باستخدام معادلة Van Genuchten, 1980

تم حساب منحنى وصف خصائص انكماش التربة باستخدام معادلة (3) والتي تنص:

$$(3)\dots\dots\dots \theta(\Psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha\Psi)^n]^m$$

$$m = 1 - 1/n \text{ اذ ان}$$

وباعتماد قيم المحتوى الرطوبي عند الاشباع ( $\theta_s$ ) والمتبقي ( $\theta_r$ , Residual) عند الشد 1500 كيلوباسكال. واستحصلت قيم  $\theta_s$  و  $\theta_r$  و  $\alpha$  و  $n$  و  $m$  من خلال تطبيق برنامج (RETc program) (20)، واستخدمت هذه القيم في أنموذج (4) التي تنص:

$$e_r \dots \dots \dots \theta = 0$$

$$(4) \dots \dots \dots e(\theta) = e_r + (e_s - e_r) / [1 + (\alpha \theta / (e_s - \theta))^{(-n)}]^{1/m} \dots \dots 0 < \theta < \theta_s \quad n > 0$$

$$e_s \dots \dots \dots \theta = \theta_s$$

اذ

ان:

$$e_s = \text{نسبة الفراغية عند شد } 0 \text{ كيلوباسكال (الاشباع) } (cm^3 \text{ cm}^{-3}).$$

$$e_r = \text{نسبة الفراغية عند شد } 1500 \text{ كيلوباسكال } (cm^3 \text{ cm}^{-3}).$$

$$\theta = \text{نسبة الرطوبة المحسوبة } (cm^3 \text{ cm}^{-3}).$$

$$e = \text{نسبة الفراغية المحسوبة } (cm^3 \text{ cm}^{-3}).$$

$$m, n = \text{عامل الشكل لمطابقة معادلة Van Genuchten (بدون وحدات).}$$

$$\alpha = \text{عامل التحجيم (Scaling factor) لمعادلة Van Genuchten.}$$

لحساب منحنى الانكماش من خلال هذه المعادلة تم حساب قيم كل من نسبة الفراغية ( $e$ ) ونسبة الرطوبة ( $\theta$ ) ثم رسم منحنى الانكماش المحسوب الذي يربط العلاقة بين نسبة الفراغية ونسبة الرطوبة المحسوبتين بواسطة معادلة (3) وأنموذج (4).

تقدير بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لنماذج الترب

جففت عينات التربة هوائيا ثم طحنت ومررت من منخل قطر فتحاته 2 مم. وقدرت بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لموقع الدراسة كما هو مبين في جدول 1.

## جدول 1 بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لنماذج الترب.

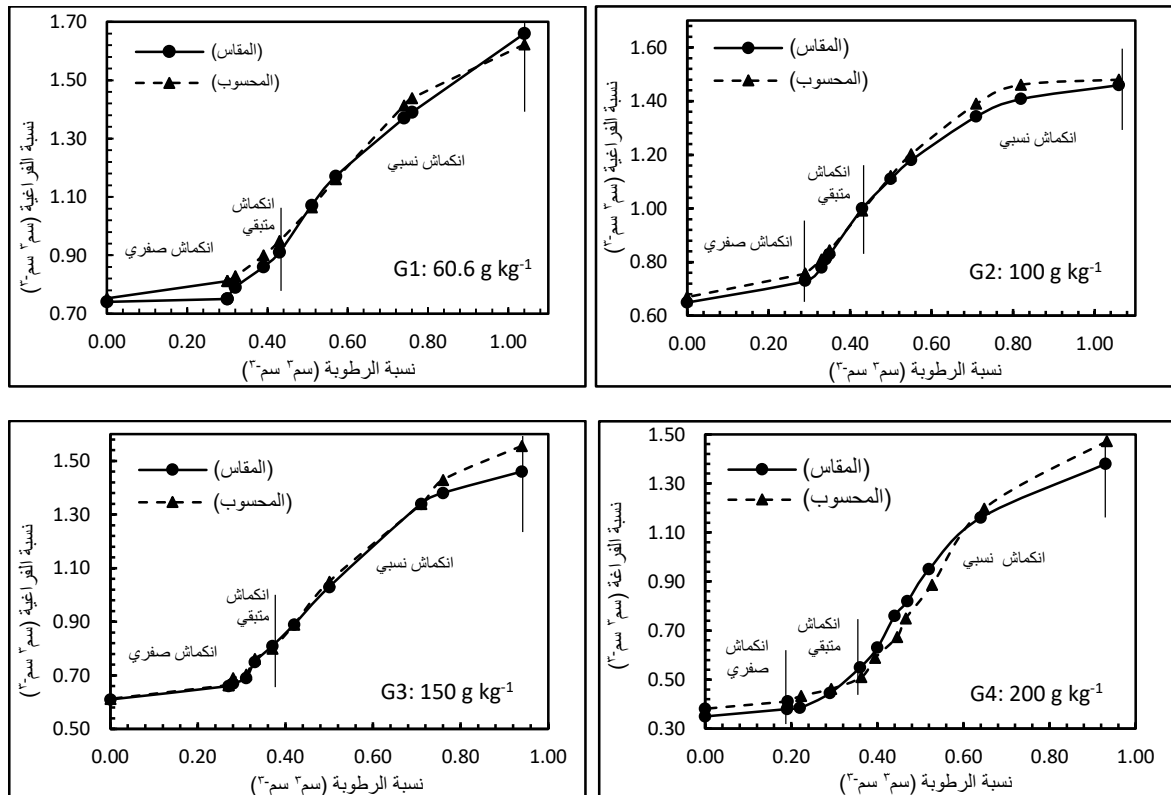
G <sub>7</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	الصفة
---	---	---	---	---	---	---	النسجة
---	---	---	---	---	---	442	الرمل (غم كغم <sup>-1</sup> )
---	---	---	---	---	---	332	الغرين (غم كغم <sup>-1</sup> )
---	---	---	---	---	---	226	الطين (غم كغم <sup>-1</sup> )
1.12	1.19	1.25	1.29	1.31	1.35	1.40	الكثافة الظاهرية (ميكا غرام م <sup>-3</sup> )
2.605	2.609	2.614	2.616	2.618	2.621	2.623	*الكثافة الحقيقية (ميكا غرام م <sup>-3</sup> )
0.23	0.27	0.36	0.46	0.47	0.54	0.56	الرطوبة الحجمية عند الاشباع (سم <sup>3</sup> سم <sup>-3</sup> )
0.10	0.14	0.20	0.22	0.21	0.25	0.27	الرطوبة الحجمية عند شد 33 كيلوباسكال (سم <sup>3</sup> سم <sup>-3</sup> )
0.05	0.06	0.08	0.08	0.13	0.15	0.16	الرطوبة الحجمية عند شد 1500 كيلوباسكال (سم <sup>3</sup> سم <sup>-3</sup> )
7.98	7.93	7.89	7.86	7.52	7.45	7.25	pH 1:1 الرقم الهيدروجيني
2.90	3.13	3.21	3.47	3.73	4.11	4.25	التوصيل الكهربائي (ديسي سيمنز م <sup>-1</sup> ) EC 1:1
1.48	3.80	5.60	7.15	10.54	10.98	12.30	السعة التبادلية للايون الموجب (سنتي مول كغم <sup>-1</sup> )
4.1	5.3	7.2	9.4	10.7	12.8	14.0	المادة العضوية (غم كغم <sup>-1</sup> )
433.9	350*	250*	200*	150*	100*	60.6	الجبس (غم كغم <sup>-1</sup> )

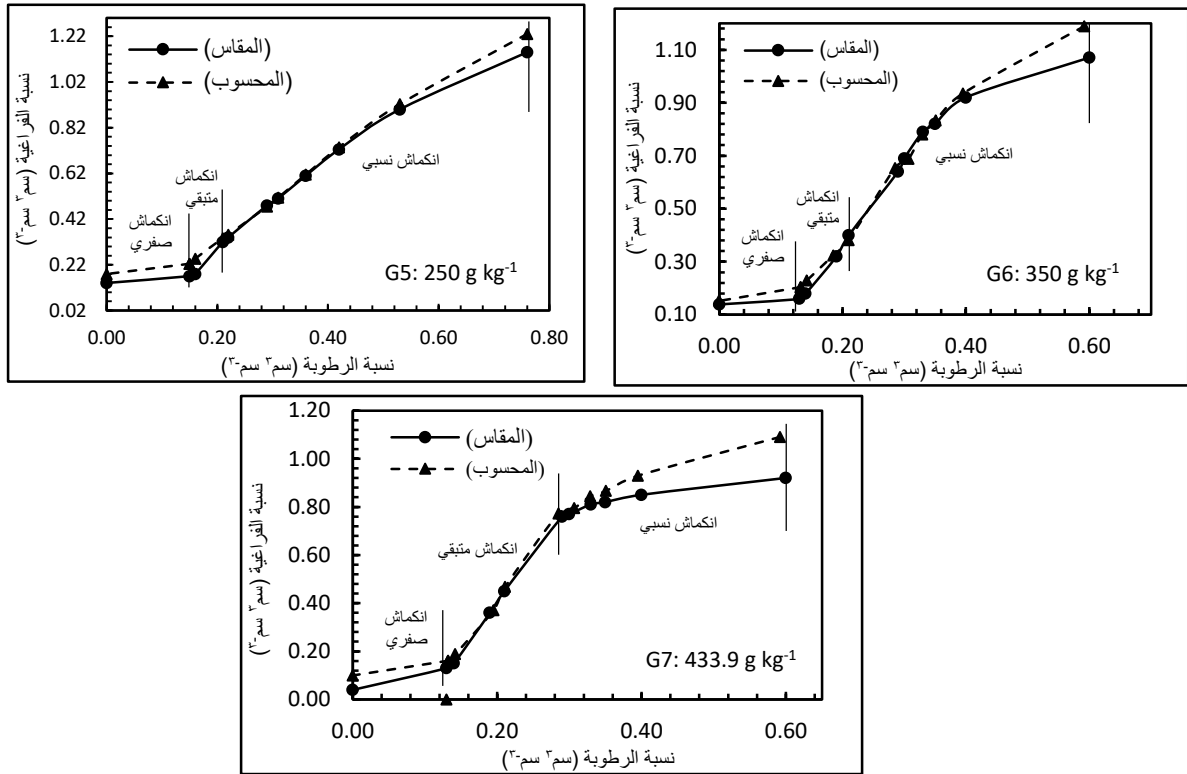
لم يكن بالإمكان تقدير النسجة لنماذج التربة G<sub>2</sub>، G<sub>3</sub>، G<sub>4</sub>، G<sub>5</sub>، G<sub>6</sub> و G<sub>7</sub> بسبب حصول التخرن نتيجة لارتفاع نسبة الجبس. قدرت الكثافة الحقيقية حسب المعادلة المقترحة من قبل (1). قيم نسبة الجبس في الترب G<sub>2</sub> و G<sub>3</sub> و G<sub>4</sub> و G<sub>5</sub> و G<sub>6</sub> حسب نتائج معادلة الخلط. قدرت النسجة باستعمال طريقة المكثاف (9). قدرت الكثافة الظاهرية بطريقة الأسطوانة المعدنية (Core method) وحسب الطريقة المقترحة من قبل (3). قدر المحتوى الرطوبي الحجمي حسب الطريقة المقترحة من قبل (13). قياس التوصيل الكهربائي (EC) في مستخلص تربة: ماء (1:1) باستعمال جهاز التوصيل الكهربائي Ec-meter (18). قدرت المادة العضوية بطريقة walky and Black الواردة في (18). قياس الرقم الهيدروجيني (pH) في مستخلص تربة: ماء (1:1) باستعمال جهاز pH-meter (18). قدرت السعة التبادلية الكاتيونية الموجبة بالتشبع مع الصوديوم وإزاحته بواسطة خلات الامونيوم 1.0 عياري (17). قدر محتوى الجبس في عينات التربة بواسطة الطريقة الموصوفة من قبل (14) والمعدلة من قبل الزبيدي وآخرون (2).



## النتائج والمناقشة

يبين الشكل 2 منحنيات انكماش التربة لنماذج الترب الجبسية والتي تمثل العلاقة بين نسبة الفراغية (Void ratio) ونسبة الرطوبة (Moisture ratio) المقاسة والمحسوبة بأمودج Peng and Horn, 2005. يظهر من الشكل بوضوح توافق القيم المقاسة من تلك المحسوبة. ويتضح من الشكل ان جميع نماذج الترب الجبسية لم تظهر فيها منطقة الانكماش التي تعتمد على بناء التربة (Structural shrinkage) بينما أظهرت منحنيات الانكماش مراحل الانكماش الثلاث المتمثلة بالانكماش النسبي (Proportional shrinkage) والانكماش المتبقي (Residual shrinkage) والانكماش الصفري (Zero shrinkage) من الجانب الرطب الى الجانب الجاف لمنحنيات انكماش الترب لنماذج الترب الجبسية (G1-G7). ان عدم ظهور منطقة الانكماش الأولى (منطقة البناء) لمنحنى الانكماش النمودجي يمكن ان يعزى الى ضعف بناء نماذج الترب الجبسية (G1-G7) وهذا يتفق مع ما أشار اليه (7). ويظهر من شكل 2 أيضا تغاير اشكال منحنيات الانكماش بتغير نسبة الجبس في التربة، والذي يرجع الى التغاير في مراحل الانكماش الثلاثة. ويبين جدول 2 عوامل الأنمودج المستعمل في دراسة منحنيات انكماش نماذج الترب الجبسية. اذ قدرت قيم الفراغية المشبعة (es) والفراغية المتبقية (er) بطريقة الأسطوانة المعدنية (Core method). تغايرت قيم  $\alpha$  بنسبة تراوحت بين 0.66 و 102 % وقيم m بنسبة تراوحت 6.5 و 19 % بينما تغايرت قيم n بنسبة تراوحت بين 22.7 و 64.5 %.



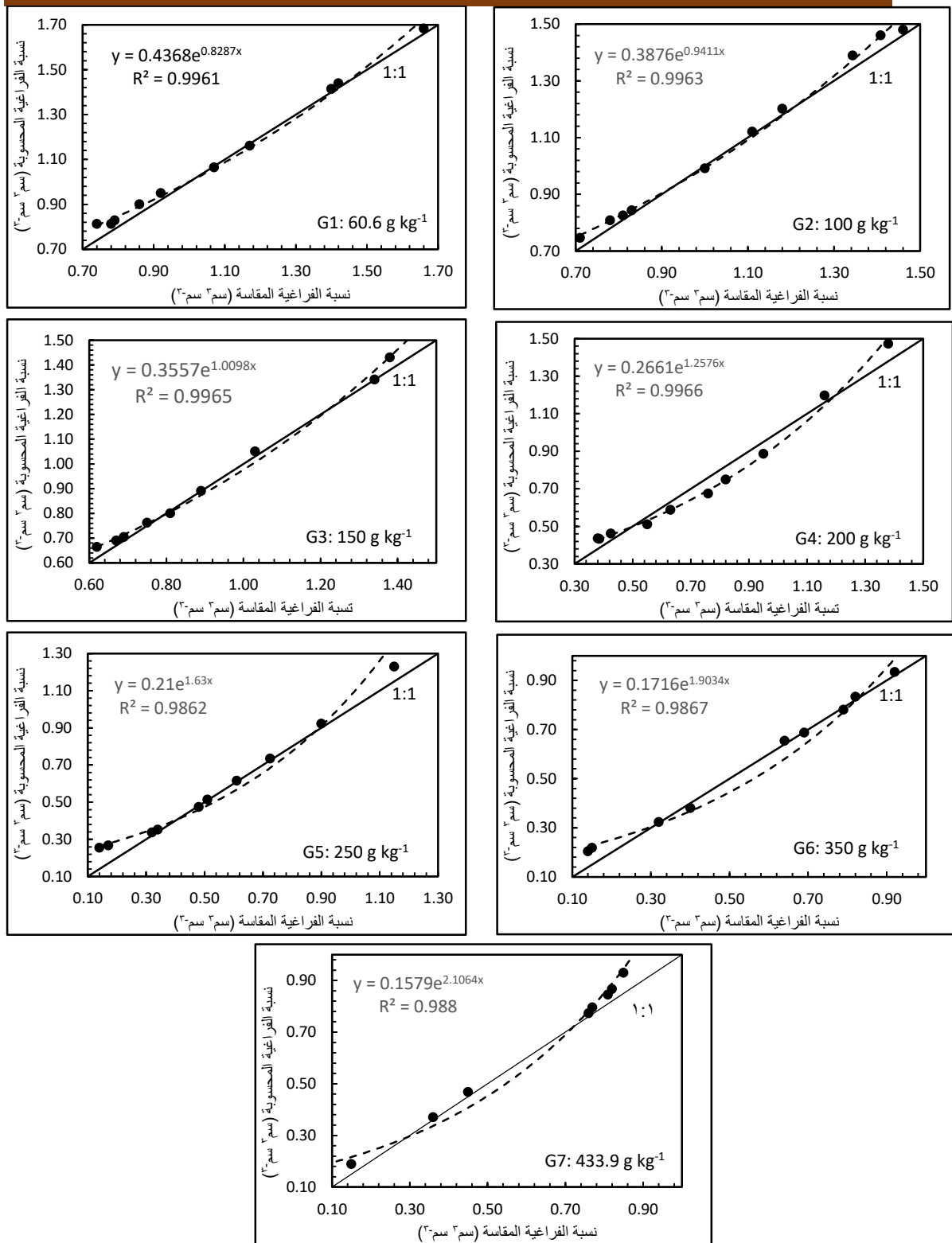


شكل 2 منحنيات انكماش نماذج الترب الجبسية المقاسة والمحسوبة بأنموذج Peng and Horn, 2005 (معادلة رقم 4)

جدول 2 قيم معايير معادلة Van Genuchten, 1980 (المستعملة في نمذجة انكماش نماذج الترب الجبسية).

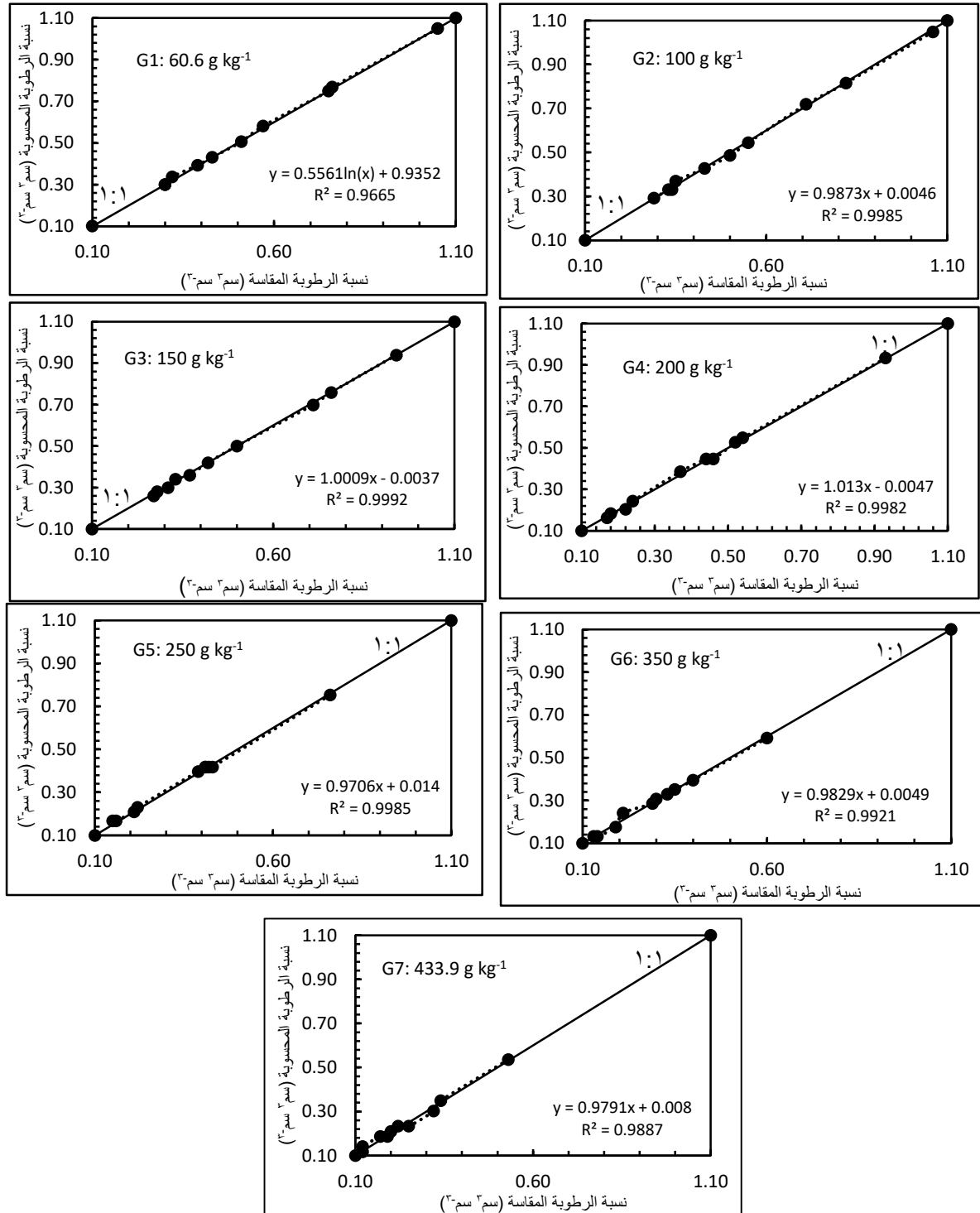
m	n	$\alpha$	الفراغية المتبقية ( $e_r$ )	الفراغية المشبعة ( $e_s$ )	نموذج التربة
0.67	3.21	1.52	0.71	1.66	G <sub>1</sub>
0.67	3.08	1.93	0.56	1.46	G <sub>2</sub>
0.67	3.31	1.53	0.46	1.46	G <sub>3</sub>
0.75	4.06	1.52	0.38	1.38	G <sub>4</sub>
0.63	2.51	1.56	0.15	1.15	G <sub>5</sub>
0.72	3.52	2.53	0.14	1.07	G <sub>6</sub>
0.75	4.13	3.07	0.04	0.92	G <sub>7</sub>

تبين الاشكال 3 و4 علاقات الارتباط العالية التي تراوحت بين 0.9961 و 0.988 بين القيم المقاسة والمحسوبة لنسبة الفراغية ونسبة الرطوبة.



شكل 3 لعلاقة بين نسبة الفراغية المقاسة والمحسوبة بأنموذج Peng and Horn, 2005 (معادلة رقم

4) لنماذج الترب الجبسية



شكل 4 العلاقة بين نسبة الرطوبة المقاسة والمحسوبة بأنموذج Peng and Horn, 2005 (معادلة رقم

#### (4) لنماذج الترب الجبسية

يبين الجدولين 3 و4 مجموع الماء المفقود والنسبة المئوية لتغير كل مرحلة من مراحل الانكماش. لكل نموذج من نماذج الترب الجبسية، اذ يلاحظ ان مرحلة الانكماش النسبي شكلت النسبة الأكبر والتي تراوحت بين 34.65

و59.43% للماء المفقود و17.05 و84.21 من تغير الحجم الكلي لنماذج الترب الجبسية. وشكلت مرحلة الانكماش الصفري مدى اقل والذي تراوح بين 20.33 و43.73% من الحجم الكلي للماء المفقود (جدول 3) وبين 2.00 و18.89% من تغير الحجم لنماذج الترب الجبسية (جدول 4). يظهر من شكل 2 بوضوح ان انحدار مرحلة الانكماش النسبي هو الأعلى وكان انحدار مرحلة الانكماش الصفري الأقل، بينما كان انحدار مرحلة الانكماش المتبقي وسطاً بين مرحلتي الانكماش النسبي والصفري. ان تأثير محتوى التربة من الجبس في منحني الانكماش كان مماثلاً من التربة الجبسية  $G_1$  (60.6 غم كغم<sup>-1</sup>) الى التربة الجبسية  $G_5$  (250 غم كغم<sup>-1</sup>) اذ تراوحت نسب الفراغية ما بين 51.11 و84.21% والتي تشكل الجزء الأكبر من منحنيات الانكماش وانخفض منحني الانكماش للترب  $G_6$  و $G_7$ ، اذ انخفضت قيم الفراغية الى 46.24 و17.05% على الترتيب. ان تجمع النسبة الأكبر للماء ضمن مرحلة الانكماش المتبقي يشير الى قلة وجود المسام الكبير (macro pores) والمسام الدقيق (micro pores). فالانخفاض الكبير في حجم مديات الانكماش المتبقي يمثل الدالة لتمدد (Swelling) المسام الدقيق بينما يمثل الماء المفقود ضمن مرحلة الانكماش الصفري جزء المسام الدقيق غير التمدد (non-swelling) (16).

لخصائص التربة الجبسية الفيزيائية والكيميائية أهمية كبيرة في تحديد شكل منحني الانكماش. ان ضعف بناء التربة الجبسية يتسبب في إعادة تنظيم الدقائق بسهولة مما أدى الى زيادة قيمة كثافتها الظاهرية من جهة وتقليل فراغية التربة كنتيجة لحصول تقارب ونقاط تماس لدقائق التربة وتكوين مسام دقيق (11 و12).

جدول 3 قيم نسبة الرطوبة والنسبة المئوية لمديات مراحل الانكماش الأربعة لنماذج الترب الجبسية

نموذج التربة	نسبة الرطوبة الجافة	نسبة الرطوبة الصفيرية	نسبة الرطوبة النسبية	نسبة الرطوبة الرطب	نسبة الرطوبة المشبعة	$\theta_{ps}\%$	$\theta_{ss}\%$	$\theta_{rs}\%$	$\theta_{zs}\%$
	$\theta_0$	$\theta_z$	$\theta_p$	$\theta_w$	$\theta_s$				
$G_1$	0	0.30	0.39	0.74	1.04	34.65	0	8.65	28.85
$G_2$	0	0.29	0.43	0.82	1.06	59.43	0	13.21	27.36
$G_3$	0	0.27	0.33	0.76	0.94	58.89	0	6.38	34.73
$G_4$	0	0.19	0.36	0.64	0.93	54.29	0	18.28	27.43
$G_5$	0	0.15	0.21	0.53	0.76	48.37	0	7.90	43.73
$G_6$	0	0.14	0.29	0.60	0.60	51.67	0	25.00	20.33
$G_7$	0	0.13	0.30	0.60	0.60	50.00	0	8.33	41.67

جدول 4 قيم نسبة الفراغية والنسبة المئوية لمديات مراحل الانكماش الأربعة لنماذج الترب الجبسية

نموذج التربة	نسبة الفراغية الجافة $e_0$	نسبة الفراغية الصفريّة $e_z$	نسبة الفراغية النسبية $e_p$	نسبة الفراغية الرطب $e_w$	نسبة الفراغية المشعبة $e_s$	$e_{ss}\%$	$e_{ps}\%$	$e_{rs}\%$	$e_{zs}\%$
$G_1$	0.71	0.86	0.75	1.39	1.66	0	84.21	11.58	4.21
$G_2$	0.56	1.00	0.73	1.41	1.46	0	51.11	30.00	18.89
$G_3$	0.46	0.75	0.66	1.38	1.46	0	71.00	9.00	20.00
$G_4$	0.38	0.45	0.38	1.16	1.38	0	83.00	17.00	10.00
$G_5$	0.15	0.32	0.17	1.15	1.15	0	83.00	15.00	2.00
$G_6$	0.14	0.64	0.18	1.07	1.07	0	46.24	49.46	4.30
$G_7$	0.04	0.77	0.13	0.92	0.92	0	17.05	72.73	10.22

تقدير عوامل أنموذج الانكماش حددت الظروف الحدودية لعوامل الأنموذج لغرض التحقق من مطابقة القيم المستحصلة من أنموذج Peng and Horn, 2005 للعلاقة بين نسبة الفراغية مقابل نسبة الرطوبة. ان شكل منحنى الانكماش يعتمد على قيم المعاملات الثلاث ( $\alpha$ ,  $n$  و  $m$ ) الأساسية للمعادلة (4) (جدول 2). يظهر الشكل 2 ان العوامل الثلاث أعلاه حددت مراحل الانكماش المختلفة لنماذج الترب الجبسية. ان ازدياد قيم  $\alpha$  بزيادة نسبة الجبس في التربة أدت الى خفض ميل مرحلتي الانكماش المتبقي والصفري (شكل 2)، ويتفق هذا مع ما توصل اليه (16). وعلى العكس من ذلك فإن تأثير العامل  $m$  هو عكس تأثير العامل  $\alpha$  في منحنى الانكماش، اذ ان ارتفاع قيم العامل  $m$  زادت مع مديات الانكماش المتبقي والصفري، اذ يلاحظ من جدول 3 ان قيم الفراغية المتبقية ازدادت بزيادة قيم  $m$  للترب  $G_5 - G_1$  (جدول 2). ان ازدياد قيم  $n$  زادت من انحدار مرحلة الانكماش النسبي، والذي يشير الى ازدياد تغير الحجم مقارنة بفقدان حجم الماء للترب  $G_5 - G_1$  (جدول 3 و 4)، ويتفق ذلك مع ما أشار اليه (5 و 15).

عموماً وبناءً على ما تقدم فإن اتجاه تأثير قيم  $\alpha$  و  $n$  و  $m$  في منحنيات الانكماش لا يكون ثابتاً اذ يمكن ان يتغير، لان عملية تغير حجم التربة نتيجة فقدان الماء لا تكون متناظرة وتتأثر بخصائص التربة، لذا فإن نموذجي التربة  $G_6$  و  $G_7$  لم ينطبق عليها الاتجاه العام لتأثير  $\alpha$  و  $n$  و  $m$  وهذا يتفق مع ما أشار اليه (4 و 10). بعبارة أخرى فإن التغير في حجم عينة التربة لا يستمر بنفس النسبة التي يتغير بها محتواها من الرطوبة.

#### المصادر

1. Al-Rustem, M.N.A.K., 2010. Evaluation of water transfer functions during the horizontal and vertical infiltration of two water types in soils with different gypsum content. MS Thesis-Tikrit University-College of Agriculture.
2. Al-Zubaidy, A.H., A.F., Al-Barazanji, A. Salih. 1981. Evaluation of different methods for determining gypsum content in Iraqi gypsiferous soils. Iraqi Agric. J. 16:133-142.

3. Blacke, G.R., and K.H. Hortge. 1986. In methods of soil Analysis, part1. Physical and Mineralogical Methods\_ Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition), American Society of Agronomy\_ Soil Science Society of America, 677, south segoe Road, Madison, WI 53711, USA.
4. Braudeau, E., j.M. Costantini, G. Bellier, H. Colleuille. 1999. New device and method for soil shrinkage curve measurement and characterization. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:525-535.
5. Bronswijk, J.J.B. 1991. Drying, cracking and subsidence of a clay soil in a lysimeter. Soil Sci. 152:92-99.
6. Cornelis, W.M., J. Corluy, H. Medina, R. Hartmann, M. Van Meirvenne, M.E. Ruiz. 2006. A simplified parametric model to describe the magnitude and geometry of soil shrinkage. Europ. J. Soil Sci. 57(2):258-268.
7. FAO., 1990. Management of gypsiferous soils, bulletin, No:62. FAO. Rome, Italy.
8. Garnier, P., M. Rieu, P. Boivin, M. Vauclin, P. Baveye. 1997. Determining the hydraulic properties of a swelling soil from a transient evaporation experiment. America Journal of Soil Sci. Soc. Am. J. 61(6):1555-1563.
9. Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis Methods of Soil Analysis: part 1- Physical and Mineralogical Methods, 383-411.
10. Groenevelt, P.H., and C.D. Grant. 2001. Re-evaluation of the structural properties of some British swelling soil. Eur. J. Soil Sci. 52(3):469-477.
11. Hartge, K.H. 2000. The effect of soil deformation on physical soil properties: A discourse on the common background. P. 32 – 34. In R. Horn et al. (ed.) Subsoil compaction-distribution, processes and consequences. Catena Verlage. Reiskirchen, Germany.
12. Horn, R., and Baumgartl. 1999. Dynamic properties in structured soil. P. A19 – A51. In M. Sumner (ed.) Handbook of soil Science. CRC press, Boca Raton, FL.
13. Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory method of soil analysis Part 1, Physical and Mineralogical Method, 2nd ed. Edited. P.635-660.
14. Lagerwerff, J. V., G.W. Akin, S.W. Moses. 1965. Detection and determination of gypsum in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29(5): 535-540.
15. McGarry, D., and K.W.J. Malafant. 1987. The analysis of volume change in unconfined units of soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 51(2):290-297.
16. Peng, X., and R. Horn. 2005. Modeling soil shrinkage curve across a wide Range of soil types. Soil Sci. Soc. Am. J. 69(3):584-592.
17. Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. Methods of soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties.149-157.
18. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil. U. S. D. A. Handbook No-60. USA.
19. Van Genuchten, M.TH. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44(5): 892-898.
20. Van Genuchten, M.TH., F.J. Leij, S.R. Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils.EPA/600/2-91/065.

- 
21. Zolfaghari, Z., M.R. Mosaddeghi, S. Ayoubi. 2016. Relationships of soil shrinkage parameters and indices with intrinsic soil properties and environmental variables in calcareous soils. *Geoderma* 277:23-34.