

## معالجة خصائص الانتفاحية و التداعي للتربة بإضافة مخلفات هدم الابنية

محمد عمر إبراهيم<sup>1</sup>, رزكار علي حمادي<sup>2</sup>

<sup>1</sup>قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

<sup>2</sup>قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صلاح الدين، اربيل، العراق.

<sup>1</sup>[mohammed.o.ibrahim@live.com](mailto:mohammed.o.ibrahim@live.com), <sup>2</sup>[rizgar.hummadi@su.edu.krd](mailto:rizgar.hummadi@su.edu.krd)

### الملخص

تحدث تغيرات حجمية للتربة نتيجة لعرضها للماء فإذا كانت تربة انتفاحية يزداد حجمها و بذلك تسلط ضغط على محيطها، أما اذا كانت تربة انهيارية فتتسبب بمقادير هطول عالي للتربة تحت الاحمال المسلطة عليها، ويمكن تقدير مقدار نسبة الانتفاحية وضغط الانتفاح بالاعتماد على بعض الخواص الفيزيائية و الهندسية للتربة، ولإعادة استخدام مخلفات مواد هدم الابنية وتنشيط التربة تم دراسة إضافة مخلفات مواد الابنية إلى التربة بنسوب مختلفة (2.5, 5, 10, 15, 20)% حيث من وزن التربة وبيّنت النتائج ان بزيادة 2.5% من مخلفات مواد البناء إلى التربة تقل قابلية الانتفاحية بنسبة 24% حيث تتغير التربة من متوسط الانتفاحية إلى منخفضة الانتفاحية، وان زيادة 20% من مخلفات مواد هدم الابنية تقل قابلية الانتفاحية بنسبة 55% من قابلية الانتفاحية وبهذا تتغير التربة من عالية الانتفاحية إلى متوسطة الانتفاحية، أما جهد الانتفاح فتقل جهد الانتفاح بنسبة 16% بإضافة 2.5% من مخلفات مواد البناء وتقل بالنسبة 50% بإضافة 20% من مخلفات مواد البناء، أما بالنسبة إلى الانهيارية التربة فيبيّنت نماذج التربة ذات محتوى جبسي أن بإضافة 2.5% من مخلفات مواد البناء تقل قابلية الانهيارية للتربة الجبصية بنسبة أكثر من 15% إذ تتغير درجة الانهيار من متوسط إلى خفيفة الانهيار، و تقل قابلية الانهيارية بنسبة 40% وذلك بزيادة 15% من مخلفات مواد البناء.

**الكلمات الدالة:** ميكانيك التربة، انتفاحية التربة، تداعي التربة، مخلفات هدم الابنية.

**DOI:** <http://doi.org/10.32894/kujss.2018.13.4.11>

# Treatment of Swelling and Collapsible Characteristics of Soils By Waste Building Materials

Mohammed O. Ibrahim<sup>1</sup>, Rizgar A. Humadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering Mosul University, Mosul, Iraq.

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering Salahaldin University, Erbil, Iraq.

<sup>1</sup>[mohammed.o.ibrahim@live.com](mailto:mohammed.o.ibrahim@live.com), <sup>2</sup>[rizgar.hummadi@su.edu.krd](mailto:rizgar.hummadi@su.edu.krd)

## Abstract

Volume changes occur when soil exposed to water, for expansive soil the size of soil increases and produce pressure on surrounding area, but for collapsible soil it cause large amount of settlement under a certain load, the amount of swelling and swelling pressure can be predicted by depending on some physical properties. In order to recycling the materials of waste building demolition and stabilization soil, this research studied, the effect of adding waste building material in different percentages (2.5, 5, 10, 15, 20)% by the weight to the soil. The results showed that by adding 2.5% of waste building material the swell potential will decrease by 24% and the soil changes from medium to low expansive, and by adding 20% of waste building material the swell potential will decrease by 55% and soil changes from high to middle expansive. In addition, for swell pressure by adding 2.5% of waste building material, the swell pressure will decrease by 16% and for 20% of waste building material the swell pressure will decrease by 50%. On the other hand the Collapsible soil that contain gypsum showed that the potential of collapse will decrease by adding 2.5% of waste building materials by amount more than 15% and the soil changed from middle to low collapsible, the collapse potential will decrease 40% by adding 15% of waste building materials.

**Keywords:** Soil Mechanic; Soil Swellability; Soil Collapsibility; Waste Building Materials.

**DOI:** <http://doi.org/10.32894/kujss.2018.13.4.11>

## 1. المقدمة:

بسبب ازدياد نسبة السكان ازدادت نسبة الأبنية المستخدمة وإن لكل تلك الأبنية عمر محدد وبعد ذلك العمر تنتهي صلاحية استخدامها لذلك تهدم لبنائها من جديد أو لاستخدامات أخرى، وإن نتاج الاعمال الهدم لتلك الأبنية تكون مخلفات صلبة من كتل كونكريتية وطابوق ومواد أخرى، وعادة التخلص من تلك المواد تكون باهظة الثمن ولكن اذا استخدمت تلك المخلفات في مجال جيوتكنيك يمكن استفادتها منها لأجل تقوية وثبت التربة.

وإن هذه البحث تتناول مدى تأثير هذه المواد على تحسين مشاكل التربة من الانفاخ والتداعي ، وتعتبر تلك المشاكل من المشاكل العالمية التي تكون السبب الرئيسي لتصدعات وانهيار في معظم انواع المنشآت الهندسية من الطرق والابنية ومنشآت مدنية أخرى، وتكون الخسائر ملابين دولارات سنويا [1]. وطبقاً لبعض الإحصاءات فإن الأضرار التي تلحق بامنشآت المقامة على ترب انفاخية وترب قابلة للانهيار تفوق الأضرار التي تلحق بالمنشآت بسبب الفيضانات والأعاصير والزلزال مجتمعة [2].

والسبب في تلك المشاكل ان ترب الانهيارية في حالة وجود نسبة رطوبة طبيعية منخفضة وكثافة جافة منخفضة نسبيا تكون قوية ومتمسكة وتحمل قيمة عالية من الجهد نسبيا مع قيمة هبوط منخفضة ولكن تفقد تلك الخواص عند تعرضها للماء وتتسرب بانهيار مفاجئ في أغلب الأحيان [1]، و مصادر الماء يمكن ان تكون الفيضانات ارتفاع منسوب مياه جوفية كسر في خطوط المياه او مصاريف جوفية. اما الترب الانفاخية فهي التي تتغير حجمها نتيجة لتغير محتوى المائي يزداد حجمها حينما تمتص الماء اذ يتمكن الماء من الدخول بينها و يتسبب في تباعدتها وبالتالي زيادة حجمها وانفاخها وينقص عن فقدانها وذلك لاحتواها على معادن المونتومورلينايت وهالوسايت والسيبولايت [3] والمشاكل التي تسببها التربة الانفاخية تتوقف لحد كبير على اختلاف جهد تحت المنشآت من مكان واخر وهذا بسبب التوزيع غير المتساوي لمحتوى الرطوبة في التربة الحاملة للأساسات، وتزداد تأثير الانفاخ في المبني الصغيرة، والطرق، وأبراج الاتصالات وخزانات ...

لأنها تسلط أحمال صغيرة على التربة وبذلك تتغلب الضغط الانفاخ عليها وان التغيرات المحتوى الرطبوبي الموسمية بسبب الأمطار سوف تتوقف عن الحدوث تحت وسط المنشآت ولكنها سوف تستمر في الحدوث حول أطراف ومحيط المنشآت. وهذا يؤدي إلى هبوط أطراف المنشآت بالنسبة لوسطه في مواسم الجفاف وهذه الظاهرة تسمى تقب التربة تحت المنشآت.

المنشأ وعلى العكس من ذلك في المواسم الأمطار، فإن أطراف المنشأ ترتفع بالنسبة لوسطه ويحدث ما يسمى تقرر التربة.

ويسمى هذا التمدد للتربة حول محيط المنشأ بالتمدد الموسمي ويحدث تأثير مماثل على مستوى الرطوبة بالتربة نتيجة

لوجود آي تسرب من المصادر المياه أو الصرف الصحي في جانب من جوانب المنشأ [4].

وفي حالة إقامة منشأ على مساحات كبيرة نسبياً مثل مجمعات سكنية ، طرق بين المدن او خطوط سكك حديد تحتاج إلى كميات كبيرة من المواد مثل السمنت، النورة، الاسفلت، مواد بولي بروبلين و جيوشتيك لغرض معالجة التربة وان هذه المواد ذات كلفة عالية نسبياً وخاصة اذا قرنت بمخلفات المواد البناء او بسبب وجود مخلفات البناء بكميات كبيرة يمكن ان يغطي مساحات واسعة لغرض تثبيت التربة و استخدام مخلفات الابنية لتثبيت التربة ذات غالية مزدوجة تخلص من تلك المواد و حل مشاكل التربة من الانفاس والتداعي.

## 2. البرنامج العملي:

في هذه الدراسة تم إجراء سلسلتين من التجارب على نوعين مختلفين من الترب، الأول على تربة طينية ذات لدونة عالية وذلك لتمثيل التربة الانتفاحية وثانياً على تربة حاوية على مكونات جبصية وذلك لتمثيل التربة الانهيارية.

### 2.1 اخذ النماذج للتربة الانتفاحية:

تم اخذ نماذج لتمثيل تربة انتفاحية في منطقة قرية من سد شيرين في محافظة كركوك والتي تحتوي على مساحات واسعة من التربة الطينية التي تسببت بأضرار في بعض ابنيه و مزارع في المنطقة تم اخذ النماذج مشوهة وغير مشوهة بعمق 1 م تحت مستوى الأرض الطبيعية وتم حفظ النماذج غير مشوهة في حافظات بلاستيكية لحفظها على نسبة الرطوبة الحقلية.

### 2.2 الخصائص نماذج التربة الانتفاحية:

إن معرفة تلك الخصائص وبمقارنته مع أبحاث سابقة نحصل على مؤشرات جيدة لتعرف على نوع التربة، وتجري هذه التجارب على عينات من التربة سواء كانت مشوهة أو سليمة وتدرس خصائص التربة من خلال تجارب عده مثل التدرج الحبيبي للتربة بواسطة المناخل القياسية وتوزيع حبيبات التربة عليها و التدرج الحجمي للحبيبات الناعمة من التجربة

الهيدرومتر، وتحديد قوام التربة من خلال تجارب حدود اتربرك لتحديد حد اللدونة وحد السيلولة وإيجاد دليل اللدونة **جدول 1** يبين خصائص نموذج التربة الانتفاخية.

**جدول 1: خصائص الفيزيائية لترية الانتفاخية.**

القيمة	حسب المواصفات	الخصائص والمؤشرات
53%	ASTM 2010 D4318 [5]	حد السيلولة (L.L)
21%	ASTM 2010 D4318 [5]	حد اللدونة (P.L)
32%	ASTM 2010 D4318 [5]	مؤشر اللدونة (P.I)
12.4%	IS-2720-PART-20 [6]	نسبة الانكمash الطولي (S.L)
2.72	ASTM 2014 D854 [7]	الوزن النوعي (G.S)
8%	ASTM 2010 D2216 [8]	محتوى الرطوبة الطبيعية
88%	ASTM 2008 D4254 [9]	نسبة الرص R.C
19%	ASTM 2012 D698 [10]	نسبة الرطوبة المثلثي (O.M.C)
16 kN/m <sup>3</sup>	ASTM 2012 D698 [10]	الكثافة الجافة العظمى
% 11	ASTM 2014 D4546 [11]	نسبة الانتفاخ
210kPa	ASTM 2014 D4546 [11]	جهد الانتفاخ

### 2.3 قياس نسبة الانتفاخ وقومة الانتفاخ لنماذج التربة المأخوذة:

هناك عدة طرق لحساب او تتبأ نسبة الانتفاخ وضغط الانتفاخ منها طرق وضعية تعتمد على بعض الخصائص لترية مثل حدود اتربرك من دليل اللدونة ونسب المواد المارة على المناخل من مواد طينية ومكونات كيميائية من المعادن لترية وخصائص أخرى وتعطي هذه طرائق نتائج قريبة ومقبولة، ولحساب خصائص الانتفاخية في المختبر أيضا يوجد طرق عده من خلال استخدام أجهزة وحدود مختلفة يمكن إيجاد دليل الانتفاخ الحر من خلال تجربة الانتفاخ الحر او إيجاد نسبة الانتفاخ وضغط الانتفاخ من جهاز فحص الانضمام والتي تستخدم في تجربة الانضمام ومن أهمها تلك الطريقة التي تعتمد عليها المعهد الأمريكي للمواد والفحوصات، وقامت هذه المعهد بسلسة تغيرات بمرور الزمن على هذه التجارب وذلك لغرض تطوير وتسهيل وإعطاء نتائج دقيقة، ومن هذه التغيرات قامت المعهد بدمج تجربتي الانتفاخ والانهيار في اصدار D4546-14 وذلك بسبب التشابه الكبير بين التجاربتين و باستخدامهما نفس الجهاز والعملية ولكن باختلاف في النتائج وبعض الحسابات.

## 2.4 إضافة المواد لنماذج التربة:

تم اخذ مواد مخلفات البناء وهدم الابنية حيث كانت تحتوي على قطع كونكريتية مكسرة وسمنت مستهلك ونسبة قليلة من الرمل الناعم ومواد أخرى ناتجة من طحن القطع الكبيرة وتم مرور المواد من منخل 40 والتخلص من مواد العضوية ان وجد فيها وتم خلطها مع التربة بالنسبة المطلوبة وتم تعويض نسب الرطوبة بسبب التبخر.

## 2.5 تحضير النماذج:

تم تحضير نماذج عدد (6) في المختبر ليحتوي كل منها على محتوى (0 ، 2.5 ، 5 ، 10 ، 15 ، 20)% من الوزن بمخلفات مواد هدم الابنية، تم تثبيت المحتوى الرطوبى والكثافة لجميع النماذج بحيث تكون متشابهه وقريبة للموقع وتم إيجاد نسبة الانتفاخ تحت جهد 1 كيلو باسكال وأضيفت الماء بشكل مستمر وذلك لتعويض فقاعات.

## 2.6 اخذ النماذج لترية الانهيارية

في هذه الدراسة تم استخدام نماذج مشوشه (مخللة) ونماذج سليمة (غير مشوشه) أخذت في كلية الطب-جامعة كركوك وبعمق 1 م وذلك للتخلص من المواد العضوية من النباتات والترسبات الجديدة، ان اختيار هذه المنطقة كانت بسبب وجود ابنيه متضرره، وبسب وجود شروخ افقية وأيضاً مائلة في اطراف الشبابيك والابواب، التي يدل على هبوط الأسس وفشلها وذلك بسبب الهبوط الجزئي لترية في المناطق التي تعرضت الى المياه وان تشخيص الخاطئ كمحاولة تصليح الاضرار واخفائها تؤديان الى صرف مبالغ اكثراً وبدون تقديم أي معالجة وظهور التشققات والشروخ من جديد وتبعات أخرى اذا أهملت.

## 2.7 الخصائص الفيزيائية والكيميائية:

ان معرفة الخصائص الكيميائية للترية تساعد على تحديد نوع المواد والمعالجات المستخدمة لتنشيط التربة وقد شملت هذه الدراسة دراسة بعض الخصائص الكيميائية للترية وكما مبين في **جدول 2** اما خواص الفيزيائية للترية فتم اجراء الفحوصات القوام للترية، بینت أن نموذج التربة تمتلك دليل الدونة منخفضة مقارنة بترية الانتفاخية وهذا يدل على أن نموذج الثاني يستوعب نسبة رطوبة اقل من النموذج التربة الانتفاخية، واستخدمت فرن لتجفيف بدرجة حرارة 60 درجة مئوية بدلأ من 110 درجة مئوية وذلك لمنع تغير مكونات الجبسية الداخلة في تربة بسبب درجة الحرارة العالية.

**جدول 2: يبين اهم خصائص لمودج التربة الانهيارية.**

القيمة	حسب المعايير	خصائص والمؤشرات
28%	ASTM 2010 D4318 [5]	حد السيلولة (L.L)
16%	ASTM 2010 D4318 [5]	حد اللدونة (P.L)
12%	ASTM 2010 D4318 [5]	مؤشر اللدونة (P.I)
7%	ASTM 2010 D2216 [8]	محتوى الرطوبة الطبيعية
80%	ASTM 2008 D4254 [9]	نسبة الرص R.C
16.5%	ASTM 2012 D698 [10]	نسبة الرطوبة المثلث (O.M.C)
kN/m <sup>3</sup> 17	ASTM 2012 D698 [10]	الكثافة الجافة العظمى
34%	[12] Al-Mufti [13] BS, ( BS1377).	نسبة المحتوى الجبسي G.C
1%		نسبة المواد العضوية
8.5		pH الاس الهيدروجيني
11%		نسبة الاملاح الكبريتات SO <sub>3</sub>

**2.8 تحضير النماذج واجراء اختبار قابلية لانهيار:**

اعتمد هذه التجربة على الطريقة فحص الانضمام الأحادي بواسطة جهاز فحص الانضمام و كما مقترن من قبل المعهد الأمريكي للفحوصات والمواد وتم تحضير النماذج ليتمثل الحالة الطبيعية لترية في الموقع وسلط جهد اولي بمقدار 5 kPa قبل إضافة الماء للعينة ولمدة 5 دقائق وذلك لتخلص من النتوءات والفجوات بين نموذج والحجر المسامي وللحصول على تماس تام بينهما وتم اخذ القراءة لحين توقف الهبوط للنموذج ولمدة ساعة وتم اضافة الاحمال بشكل مدرج ولغاية 200 kPa وتم حساب قابلية الانهيار من اختلاف قراءة الجهاز قبل وبعد إضافة الماء تحت حمل 200 لكل وحدة سمك لنموذج في الجهاز وحسب معايير المعهد الأمريكي لمواد الفحوصات D5333-03 و D4546-14.

**3. النتائج والمناقشة:**
**3.1 مقارنة حدود القوام لترية الانتفاخية بإضافة مخلفات مواد البناء:**

من الواضح أن دراسات لانتفاخ التربة تبدأ من خلال إيجاد حدود اتربرك للترية، وان وجود علاقة بين حدود اتربرك وانتفاخية التربة تساعد على معرفة نوع التربة من قابلية الانتفاخ ولذلك أجريت دراسات عديدة لتحديد قوانين وضعية و منحنيات وجداول لتمثل هذه العلاقة، وتبقى هذه القوانين علاقات وضعية و مؤشرات قريبة لمعرفة نسبة الانتفاخ او إمكانية

الانتفاخ، **جدول 3** يبين نتائج حدود الاتربك مع إضافة نسب مختلفة من المخلفات البناء، ومن خلال هذه التجارب تبين ان حد السائلة لنموذج من التربة بدون إضافة مواد يساوي 53% وبمقارنته في **جدول 3** حسب تصنيف (Neil and Poormaayed [14]) يبيّن لنا ان تربة متوسط الانتفاخية اما في **جدول 5** حسب (Chen) [15]، والمقياس الهندي [16] فان التربة عالية اللدونة، واذا اخذنا تصنيف (Neil and Poormaayed) باعتبار فان إضافة 10% او اكثر من مخلفات مواد البناء تتغير التربة من انتفاخية متوسطة الى انتفاخية منخفضة اما في مواصفات الهندية ومقارنته مع النتائج فان إضافة 10% يغير التربة من تربة عالية الانتفاخية الى تربة متوسطة الانتفاخية و استمرار إضافة المواد البناء لحد 20% لا تغير التربة من متوسطة الانتفاخ الى منخفضة الانتفاخ، وبالنسبة للدليل اللدونة فمن المعروف ان الدليل اللدونة هي فرق النسبي بين حدي اللدونة والسائلة أي تعتمد على الحدين معاً لذلك تفضل معظم الدراسات اعتماد على دليل اللدونة، ومن خلال ذلك يتضح لنا ان تقليل في حد اللدونة يزداد الانتفاخية ويمكن ملاحظة انخفاض حد اللدونة بشكل متزايد بزيادة مخلفات البناء، وان اضافة 15% او اكثر من مخلفات البناء تتغير التربة من انتفاخية متوسطة الى انتفاخية منخفضة باعتماد على دليل اللدونة و حسب (Neil and Poormaayed) في **جدول 4**. وان تصنيف التربة من قبل، (Holtz and Gibbs) [17] و (Chen) فان نموذج التربة (بدون إضافة أي مواد تكون متوسطة او عالية الانتفاخية اما في مواصفات الهندية فان التربة عالية الانتفاخية وذلك حسب دليل اللدونة وان إضافة 20% من مخلفات مواد البناء يغير التربة الى متوسطة اللدونة، **جدول 6** يبيّن تصنيف التربة من خلال دليل اللدونة.

**جدول 3:** يبيّن تأثير مواد المضافة على حد السائلة وحد اللدونة ودليل اللدونة.

النماذج	1	2	3	4	5	6
نسبة المواد المضافة %	0	2.5	5	10	15	20
L.L	53.1	51.0	50.7	46.1	44.7	41.3
P.L	21.0	22.5	21.6	20.9	20.0	18.8
P.I	32.1	28.9	29.1	25.1	24.6	22.5

**جدول 4: تصنیف التربة الانتفاخیة علی أساس حد السیولة ولیل اللدونة مع نسبة الانتفاخ حسب محدّدات**

(Neil and Poormaayed)

تصنیف التربة الانتفاخیة	S.P (%)	P.I	L.L
منخفض	<0.5	<25	<50
متوسط	1.5-0.5	25-35	50-60
عالي	>1.5	>35	>60

- نسبة الانتفاخ ( % S.P ) تحت جهد ضغط طبقات التربة (Overburden pressure) في جهاز فحص الانضمام

**جدول 5: تصنیف التربة الانتفاخیة علی أساس حد السیولة في محدّدات (Chen,1975)**

(Indian Standard 2013)

IS 1498	L.L %	Chen	درجة الانتفاخ
20-35		<30	منخفض
35-50		30-40	متوسط
50-70		40-60	عالي
70-90		>60	عالي جدا

**جدول 6: تصنیف التربة الانتفاخیة علی أساس دلیل اللدونة في محدّدات (Holtz, and, Gibbs, Chen,1975)**

(Indian Standard 2013)

IS 1498	P.I %	Holtz and Gibbs	Chen	درجة الانتفاخ
<12	<20		0-15	منخفض
12-23	12-34		10-35	متوسط
23-32	23-45		20-55	عالي
>32	>32		>35	عالي جدا

## 3.2 تأثير إضافة مخلفات مواد البناء على نسبة الانتفاخ من خلال جهاز فحص الانضمام :

للغرض إيجاد نسبة الانتفاخ بشكل مباشر تم اجراء تجربة الانتفاخ أحادي المحور في جهاز اوديوميتر ولنمذاج التربة باختلاف إضافة نسبة المواد من مخلفات هدم الأبنية ويمكن ملاحظة النتائج في **جدول 8 وشكل 1** حيث يبين نتائج تأثير إضافة مخلفات مواد البناء على نسبة الانتفاخ، ومقارنة النتائج مع الجداول والمواصفات وكما موجود في **جدول 7** يبين وجود تباين بين هذه المواصفات ويرجع بعض الأسباب الى اختلاف تأثير نسبة الانتفاخ على أنواع مختلفة من المنشآت، تكون تأثير نسبة الانتفاخ كبيرا على منشآت ذات أسس ضحل مثل طرق و سكك حديد واسس خزانات مياه وأبراج اتصالات وبلاطات أرضية.

**جدول 7:** يبين مقارنة النتائج نسبة الانتفاخ بمواصفات تصنيف ( Holtz and Gibbs, Seed H. B. )

(Seed et al )	(Holtz and Gibbs)	نسبة المواد المضافة %
عالي	متوسط	0
عالي	منخفض	2.5
عالي	منخفض	5
عالي	منخفض	10
عالي	منخفض	15
متوسط	منخفض	20

**جدول 8:** يبين تأثير المواد المضافة على نسبة الانتفاخ تحت جهد اولي 1 kPa في جهاز اوديوميتر وتم تثبيت نسبة الرطوبة والرقص ليمثل ما موجود في الحق ولجميع النماذج.

S.P%	نسبة المواد المضافة %	النموذج
11.0	0	1
8.3	2.5	2
7.5	5	3
7.1	10	4
6.0	15	5
4.9	20	6

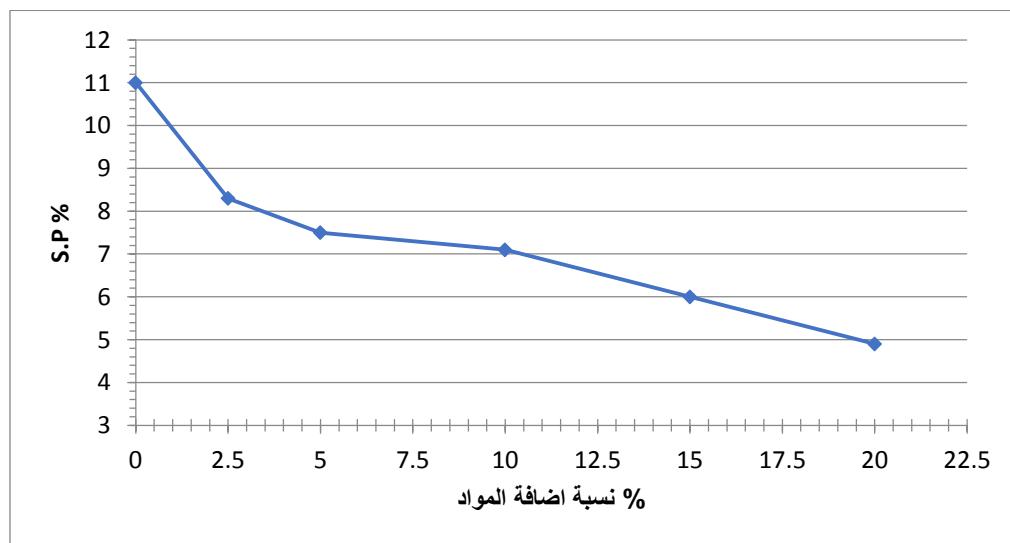
جدول 9: تصنيف التربة الانتفاخية على أساس بعض الخصائص التربية (Holtz and Gibbs, 1956; Seed H. B.

and Woodward R.J, 1962) [18]

S.L % حد الانكماس	S.P % (Seed et al )	S.P % (Holtz and Gibbs)	F.S.I	درجة الانتفاخ
<13	0-1.5	<10	<50	منخفض
8-18	1.5-5	10-20	50-100	متوسط
6-12	5-25	20-30	100-200	عالي
>10	>25	>30	>200	عالي جدا

نسبة الانتفاخ ( % S.P ) تحت جهد ( 6.9 kPa ) في جهاز اوديميتر ونسبة الرطوبة الأولية مجففة بالفرن.

تستخدم تصنيف ( Holtz and Gibbs 1956 ) من قبل مكتب الإصلاح الأمريكي U.S Bureau of Reclamation 2017



شكل 1: يبين تأثير المواد المضافة على نسبة الانتفاخ في جهاز فحص الانضمام.

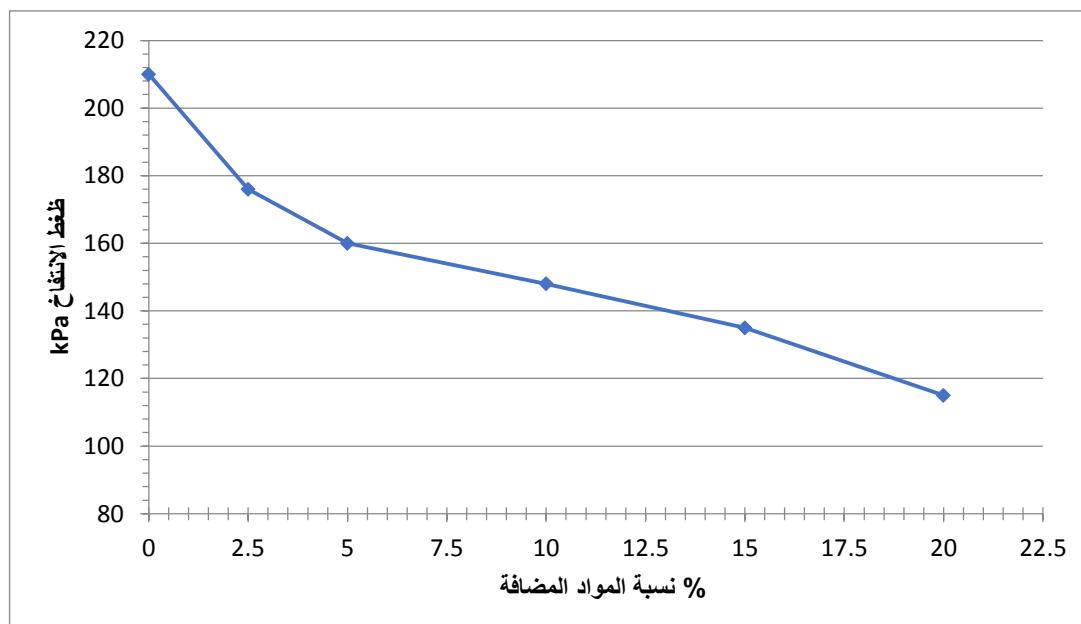
### 3.3 تأثير إضافة مخلفات مواد البناء على جهد الانتفاخ:

يعتبر حساب جهد الانتفاخ لترية ضرورية وذلك لمقارنته مع احمال المنشآت وطبقات التربة فمن الضروري تغلب الاحمال المسلطه على التربة على ضغط الناتج من انتفاخ التربة فبعكسه تحدث انتفاخ للترية، وكانت نتائج تأثير إضافة

مخلفات المواد على جهد الانفاس في المختبر إيجابية وكما مبين في **جدول 10** و يبين في **شكل 2** أن بزيادة 20% من مخلفات مواد البناء نقل جهد الانفاس بحدود 50% من جهد الانفاس قبل إضافة المواد، أي بزيادة مخلفات نقل جهد الانفاس.

**جدول 10:** يبيّن تأثير المواد المضافة على جهد الانفاس تحت جهد أولي 1 kPa في جهاز اوديميتر وتم تثبيت نسبة الرطوبة والرقص ليمثل ما موجود في الحق ولجميع النماذج.

ضغط الانفاس(kPa)	نسبة المواد المضافة %	النموذج
210	0	1
176	2.5	2
160	5	3
148	10	4
135	15	5
115	20	6



**شكل 2:** يبيّن تأثير المواد المضافة على جهد الانفاس في جهاز فحص الانضمام.

### 3.4 تأثير إضافة مخلفات على قابلية التربة للانهيار

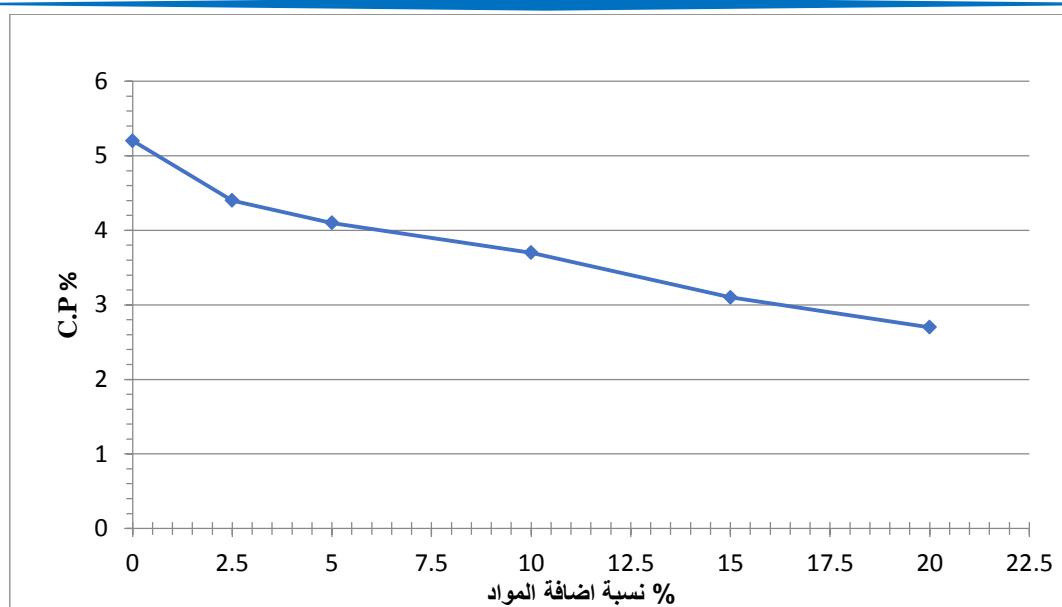
من خلال التجارب الكيميائية لنموذج من التربة الانهيارية تبين أنَّ نسبة المواد الجبسية في التربة 34% فهذا يدل أنَّ التربة عالية الجبسية حسب تصنيف البرزنجي [19] للتراب الجبسية و ان سبب مشاكل التربة في هذه المنطقة تكمن في وجود محتوى جبسي عالي داخل التربة والتي تسبب إنهيار التربة و فجوات جوفية بسبب غسل التربة، وعند إشباع التربة الجبسية بالماء فإن مقاومتها تقل بشكل حاد وذلك حسب نسبة وطبيعة الاملاح الموجودة إضافة إلى خواص التربة ورطوبتها وكتافتها، حيث يحدث انحلال لهذه الاملاح وتحطم الروابط بين جزيئات التربة بالإضافة إلى أن الماء يقلل صلابة حبيبات الجبس و مقاومتها بشكل كبير . وبينت فحص قابلية الانهيارية الأحادية (SCP) لنموذج من التربة أنَّ دليل قابلية الانهيار(نسبة قابلية الانهيار) تساوي 5.2% وكما يبيّن في **شكل 3** وهذا يدل ان نوع التربة متوسط الى عالي الانهيارية ضمن تصنيف التربة من خال ASTM في **جدول 11**، اما من خلال محددات خطورة انهيارية التربة في **جدول 11** فيعتبر التربة ذات مشاكل (Problem). وبينت أيضا ان إضافة المواد على نماذج من تربة يسبب تغيرا ملحوظا لهبوط التربة تحت احمال معينة في حالة مشبعة وغير مشبعة بالماء وكما يبيّن في

**شكل 4.**

**جدول 11:** نتائج تأثير إضافة مخلفات مواد البناء بنسب مختلفة على قابلية الانهيارية لترية حسب المعهد الأمريكي

للفحوصات والمواد و (Jennings and Knight 1975)

Jennings and Knight [21,22]	ASTM [20]	نسبة المواد المضافة %
ذات مشكلة	متوسط عالي	0
متوسط المشكلة	متوسط	2.5
متوسط المشكلة	متوسط	5
متوسط المشكلة	متوسط	10
متوسط المشكلة	متوسط	15
متوسط المشكلة	متوسط	20



C.P = Collapse potential ♦

شكل 3: تأثير إضافة مخلفات مواد البناء على قابلية الانهيار.



شكل 4: يبيّن نتائج نسبة قابلية الانهيار بالغمر بالماء لنماذج من التربة حسب كمية إضافة المواد إليها.

#### 4. الاستنتاجات:

وفقاً لأهداف البحث، فقد تم التوصل إلى أهم الاستنتاجات الآتية:

يمكن تقدير نسبة وجهد الانفاخ من خلال طرق غير مباشرة تعتمد على خواص الفيزيائية للتربة، ولكن لحصول على نتائج دقيقة لابد من اجراء تجارب عملية لحصول على نسبة وجهد الانفاخ. من خلال التجارب الكيميائية تبيّن أنَّ نموذج التربة الانهيارية هي تربة جبسية، وان التربة الجبسية تتعرض للانهيار بشكل سريع حين وصول الماء اليها. يمكن ملاحظة تحسين نسبة قابلية الانفاخية للتربة من خلال إضافة المواد مخلفات هدم الأبنية بنسب مختلفة حيث بينت النتائج في هذه الدراسة ان بزيادة 2.5% من مخلفات مواد البناء الى التربة تقل قابلية الانفاخية بنسبة 24% من قابلية الانفاخية للتربة حيث يتغير التربة من متوسط الانفاخية الى منخفضة الانفاخية حسب (Holtz and Gibbs)، وان بزيادة 20% من مخلفات مواد هدم الأبنية تقل قابلية الانفاخية بنسبة 55% من قابلية الانفاخية وبهذا تتغير التربة من عالية الانفاخية الى متوسطة الانفاخية حسب (Seed et al.).

يتأثر جهد الانفاخ للتربة الانهيارية بشكل إيجابي من خلال إضافة مخلفات هدم الأبنية حيث بينت النتائج العملية أنَّ بزيادة 2.5% من مخلفات هدم الأبنية تقل جهد الانفاخ بنسبة 16% من جهد الانفاخ لنموذج التربة بدون إضافة المواد، وبإضافة 20% من مخلفات هدم الأبنية تقل جهد الانفاخ بنسبة 50% من جهد الانفاخ لنموذج التربة الانفاخية بدون إضافة المواد.

يمكن تحسين مقدار قابلية الانهيارية للتربة بزيادة مخلفات هدم الأبنية الى التربة الجبسية، حيث اظهرت النتائج في هذه الدراسة ان بإضافة 2.5% من مخلفات هدم الأبنية تقل قابلية الانهيارية للتربة الجبسية بنسبة أكثر من 15% حيث يتغير درجة الانهيار من متوسط الى خفيفة الانهيار بحسب مواصفات المعهد الأمريكي للفحوصات والممواد، وبزيادة 15% من مخلفات هدم الأبنية تقل قابلية الانهيارية بنسبة 40% من قابلية الانهيارية لنموذج التربة بدون إضافة المواد.

#### 5. الاقتراحات و التوصيات للأعمال المستقبلية:

يمكن تلخيص التوصيات لأعمال والبحوث المستقبلية كالتالي:

لحصول على درجات احسن لتحسين التربة يمكن إضافة مكونات أخرى مع مخلفات هدم الأبنية مثل بوليمرات، الاسفلت و نورة ومواد أخرى بنسب مختلفة.

في هذه الدراسة تم تركيز على قابلية الانهيارية لترية الانهيارية ذات محتوى جبسي وتختلف نتائج التحسين الترية بإضافة مخلفات مواد هدم الأبنية إلى ترب الانهيارية ذات أنواع أخرى.

تختلف مكونات الناتج من مخلفات هدم الأبنية حسب نوع المواد المستخدمة سابقا للبناء تلك الأبنية فمثلا مواد مثل الطابوق ، ثرمستون و أحجار تعطي نتائج مختلفة عن هذه الدراسة يمكن تحسين تدرج الترية من خلال إضافة مخلفات هدم الأبنية وذلك من خلال سيطرة على أحجام حبيبات مخلفات هدم الأبنية

### المصادر

- [1] B. M, Das, "*Principles of Foundation Engineering*", CRC Press, New York, (2012).
- [2] T. W. Lambe, and R. V Whiteman, "*Soil Mechanics*", John Wiley and Sons, Inc, New York, (1979).
- [3] L. D.Johnson, "*Review of Literature on Expansive Clay Soil*", United States Army Engineer Waterways, Experiment Station Vicksburg, (1969).
- [4] John Nelson, and Debora J. Miller, "*Expansive Soils Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*", New York, (1992).
- [5] ASTM (D4318), "*Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*", (2010).
- [6] Indian Standard, 2720-PART-20, "*Determination of linear shrinkage*", (2003).
- [7] ASTM, (D854), "*Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*", (2014).
- [8] ASTM (D2216), "*Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*", (2016)

- [9] ASTM (D7382), "*Standard Test Methods for Determination of Maximum Dry Unit Weight and Water Content Range for Effective Compaction of Granular Soils Using a Vibrating Hammer*", (2008).
- [10] ASTM , (D968), "*Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*", (2012).
- [11] ASTM, (D4546), "*Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils*", (2014).
- [12] A.A. Al-Mufti and I. H Nashat, "*Gypsum Content Determination in Gypseous Soils and Rocks*", The 3<sup>rd</sup> Jordanian International Mining Conference, Jordan Engineers Association, 485, Amman, Jordan (2000)
- [13] British Standard, (BS1377). "*Methods of Test for Civil Engineering Purposes Classification Tests*", British Standard Institution. ,(2010).
- [14] O'Neill and Nader Poormoayed, "*Methodology for Foundations on Expansive Clays*", Journal of the Geotechnical Engineering Division, 106, 1345 (1980).
- [15] H .Chen Henf. "*Foundations on Expansive Soils*", 1, 443 Elsevier, Amsterdam, (1975).
- [16] Indian Standard, IS1498, "*Classification and Identification of Soils for General Engineering Purposes*", (2003) .
- [17] W.G. Holts and Gibbs, J. H., "*Engineering Properties of Expansive Clay*", ASCE Transactions 334,(1956).
- [18] H. B. Seed, R. J. Wood Ward, and R. Lundgren, , "*Prediction of Swelling, Potential for Compacted Clays*", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, 88, 53 (1962).



- [19] A.F Barazanji, "*Infiltration Rate Characteristics of Gypsiferous Soil in Northern Iraq*" M.Sc. thesis, Irrigation and Drainage Engineering Department College of Engineering, University of Mosul, Iraq (1984).
- [20] ASTM (D 5333-03), "*Standards Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils*", Annual Book of ASTM Standards,(2003-2012).
- [21] J. E. Jennings, and K.Knight, "*The Addition Settlement of Foundations Sandy Subsoil on Wetting*", Proceeding of 4<sup>th</sup> International Conference on Soil, (1957).
- [22] J.E Jennings, and K.Knight, "*A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure*". In Proceedings 6<sup>th</sup> Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, (1975).