إمكانيات تطوير خلطات الإنشاء بالتربة المدكوكة، حالة دراسية: ريف دمشق

م. ميس عيسى[1]

أ.د غسان برجس عبود [2]

الملخص

يتناول هذا البحث بداية التعريف بماهية الإنشاء بالتربة المدكوكة والأسلوب الذي كان يُعتمد في تنفيذها محليا في دمشق وريفها. ثم يتبع هذا البحث برنامج تجريبي لدراسة ملائمة التربة في ريف دمشق (حالة دراسية: بلدة عين منين) للإنشاء بالتربة المدكوكة من خلال اختبارات حقلية ومخبرية. تم تطبيق هذه الاختبارات على عينات من التربة، وبعد التأكد من ملائمة التربة للإنشاء بالتربة المدكوكة تم تصنيع عينات مكعبة (15×15×15) سم، منها ما هو معادل بالألياف (القش) فقط، ومنها ما هو معادل بالقش والكلس المطفأ، ومنها ما هو معادل بالاسمنت بنسبة 6% فقط، ومنها ما هو معادل بالكلس المطفأ بنسبة 6% فقط ومنها ما هو معادل بالاسمنت والكلس المطفأ (نسبة 3% لكل منها– طبقة معادلة بالاسمنت وطبقة معادلة بالكلس المطفأ)، ثم تم إجراء اختبارات ضغط وامتصاص ماء على هذه العينات ومقارنة النتائج.

الكلمات المفتاحية: الإنشاء الترابي، التربة المدكوكة، نظام انشائي مستدام، التربة المدكوكة المعادلة.

[1] طالبة دكتوراة في قسم علوم البناء والتنفيذ، جامعة دمشق. (أعد هذا البحث في سياق بحث الدكتور

[2] أستاذ في كلية الهندسة المعمارية. قسم علوم البناء والتنفيذ. جامعة دمشق

Possibilities of developing mixtures for Rammed earth construction, case study: countryside of Damascus

Mais Issa (1)

Dr. Ghassan Aboud(2)

Abstract

Initially, this research deals with the definition of rammed earth construction and the method that was adopted in its implementation locally in Damascus and its countryside. This research is then follows an experimental program to study the suitability of soil in the countryside of Damascus (case study: the town of Ain Menin) for construction with rammed earth through field and laboratory tests. These tests were applied to samples of soil, and after ensuring the suitability of the soil for rammed earth construction, cubic samples (15 x 15 x 15) cm were manufactured, some of which are stabilized with fibers (straw) only, others are stabilized with straw and hydrated lime, and some are stabilized by cement (only 6%), some of it is stabilized by hydrated lime by only 6%, and finally some of the samples are stabilized by cement and hydrated lime (a ratio of 3% for each - one layer is stabilized with cement and the other layer is stabilized with hydrated lime). then compression and water absorption tests were carried out on these samples and then comparing results.

Keywords: Earthen construction, rammed earth, sustainable structural system, stabilized rammed earth.

(1) PH.D student, Damascus Univesity
(2) A professor at Damascus Univesity

المقدمة:

التراب هو أحد أقدم الموارد وأكثرها انتشارا على كوكبنا. على مر العقود تم تجاهلها على حساب عمارة الحداثة عالية التقنية المعتمدة على الوقود الأحفوري في الانتاج. ولكن تدريجيا يعود الانشاء الترابي ويسترد مكانته كجزء مهم جدا في "التفكير الأخضر". حيث يفتح إعادة استكشاف الانشاء الترابي في **ظل ظروفنا الحالية** آفاقا جديدة لتحديات وفرص ابتكار جديدة بالنسبة للمعماري والانشائي.

تعددت أنماط العمارة الترابية زمانيا ومكانيا فمنها البناء بالطوب الطيني (mud bricks)، البناء بالهيكل والطين (wattle and daub)، البناء بكتل الطين (cob) والبناء بالتربة المدكوكة.

التربة المدكوكة هي مادة قديمة غير فانية. مترافقة عادة مع المناطق النامية، ولكنها بدأت تدخل المجال العام الحديث. بالرغم من أن استخدامها لا يعد واسع الانتشار بعد في البيئة المبنية المعاصرة، إلا أن فوائدها وتطبيقاتها الإيجابية في هذا المجال كثيرة.

التربة المدكوكة كمادة بناء تملك خصائص جمالية ناضجة وشكل هندسي مناسب وهذا يشكل القاعدة لتوافق المادة مع القطاع العام المعاصر. كعملية بناء: فإن الانشاء بالتربة المدكوكة يملك فرصة استثنائية للمكننة (mechanization)، مما يسمح بالدمج مع الأنماط التقليدية للبناء المعاصر. وبسبب هذه الفوائد التي تتميز بها عن غيرها من استراتيجيات البناء بالمواد الطبيعية وأنماط العمارة الترابية، تعتبر التربة المدكوكة أسلوب بناء قابل للتطبيق في البيئة العمرانية المبنية. ترضي التربة المدكوكة الطلب المتزايد على مواد منخفضة التأثير، وهي ذات كفاءة وديمومة عالية، وهذه أهداف أساسية للعمارة المستدامة.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى الوصول للخلطة الأنسب والأكثر ملائمة للاستخدام في انشاء التربة المدكوكة في ريف دمشق (حالة دراسية بلدة عين منين).

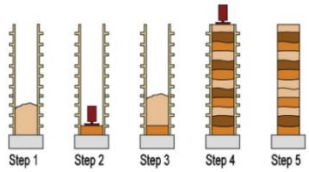
منهج البحث:

تم في البداية الاعتماد على المنهج النظري التحليلي للتعريف بالانشاء بالتربة المدكوكة ووصف تنفيذها محليا في دمشق ومحيطها.

ثم تم الاعتماد على المنهج التجريبي من خلال تقييم عينات من التربة في ريف دمشق لمعرفة ملائمة هذه التربة للإنشاء بالتربة المدكوكة، وقد تم اختيار عينات ترب من بلدة من ريف دمشق في منطقة القلمون، تحديدا من بلدة عين منين.

1- ما هي التربة المدكوكة؟

التربة المدكوكة بالإضافة لكونها مادة بناء فإنها تعتبر عملية بناء أيضا، لذا هي مادة_ عملية، حيث العملية بحد ذاتها تخلق المادة في الموقع وباليد. هذه العملية تتضمن خليط من التربة الخام، ماء، واضافات أخرى، توضع ضمن قوالب مؤقتة وترص بشكل جيد. من خلال هذه العملية يتم تنفيذ جدران مبنية قائمة بحد ذاتها. يتم بناء الجدران بطبقات قليلة الارتفاع تسمى مداميك، يتم دك مادة كل مدماك بنسبة 50% من حجمها ضمن القالب. يتم تكرار عملية الدك حتى يتشكل الجدار ويصل إلى ارتفاعه المطلوب، الشكل (1). يمكن نزع القالب مباشرة مُظهرا جدار متجانس. المادة جميلة المظهر بحالتها الطبيعية. حيث عادة لا تحتاج التربة المدكوكة المعاصرة لإكساء، أو دهانات. المادة هي لوحة فنية تعكس عملية تشكيلها، حيث أن الجهد المبذول في كل مدماك ينعكس على أوجه جدران التربة المدكوكة، الصورة (1)، الصورة (2)، {Cautius, 2014, 3}.



الشكل(1)، خطوات تنفيذ جدران التربة المدكوكة ضمن القوالب، {Lauris, 2013, 43}.

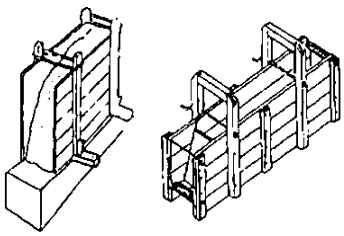
الصورة (1): جدار مبني من التربة المدكوكة يبين الإمكانيات الجمالية لإظهار طبقات الدك، {Easton, 2007, 30}.

الصورة (2): جدار مبني من التربة المدكوكة يبين إمكانيات التشكيل النحتي في جدران التربة المدكوكة، {Lauris, 2013, 9}.

معظم الاهتمام الحالي بالتربة المدكوكة كنظام جدران قابل للتطبيق ينتج عن خصائصها كمادة مستدامة من نواحي بيئية واقتصادية. التربة المدكوكة كمادة لها تطبيقات متعددة تساهم في صيتها المستدام. حيث يتم استغلال موارد جاهزة ومتوفرة تقريبا في معظم المواقع، ولها تأثير بيئي منخفض خلال كامل دورة حياتها، وهي لا تقارن من حيث أدائها الحراري مع أي من تراكيب الجدران العادية. جدران الدك لها قابلية في أن تؤدي عملها في مناخات مختلفة ومدة حياتها تفوق مدة حياة مباني منفذة معاصرة، وهذا من خصائص الاستدامة. تهدف العمارة المستدامة لتخطو بخفة على الأرض (أي لها تأثير بيئي منخفض) ولتساهم إيجابيا بالبيئة المبنية. وبالرغم من كون مباني التربة المدكوكة مصنوعة من مادة ذات تصنيف منخفض (low grade) وغير مصنعة (un engineered material)، فإنها تستطيع الديمومة لأجيال، {Cautius, 2014, 4}.

2– البناء بالتربة المدكوكة في دمشق:

تستخدم هذه التقنية في البناء في البيوت الريفية في محيط مدينة دمشق، وانتشرت في هذه المنطقة بسبب سهولة التنفيذ ورخص تكاليفها وقد تباينت أبعادها تبعاً للقوالب وطبيعة التربة والمتطلبات الإنشائية والفيزيائية، {كبريت، 2000، 132}.



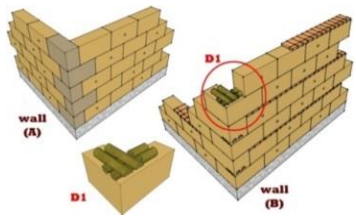
الشكل(2)، القوالب الخشبية المستخدمة في جدران التربة المدكوكة محليا، {العمارة التقليدية المتوسطية، 2005، 2}.

الصورة (3)، جدار خارجي من االتربة المدكوكة لمنزل في دمشق{العمارة التقليدية المتوسطية، 2005، 2}.

2-1- وصف عملية التنفيذ محلياً:

ورد في كتاب العمارة المتوسطية الممول من قبل برنامج ميدا التابع للإتحاد الأوروبي، وصفا لطريقة تنفيذ جدران التربة المدكوكة في دمشق:

تتم عملية البناء باستخدام هذا النمط في نهاية الفصل الماطر، حيث يتم تجهيز القوالب الخشبية بطول 150 سم، وبارتفاع 50 – 80 سم. ثم يتم البدء بتنفيذ الأساسات المستمرة من الحجر تحت الجدران. يتم تنفيذ الحفر بعمق تقريبي 12 سم، وعرض 60 سم، وتملأ بالأحجار الكلسية والمونة الرابطة حتى مستوى يتجاوز منسوب الأرض الطبيعية ب 40 سم، ثم يُسوى سطح الأساس لتثبت عليها القالب ابتداء من زوايا الجدران. تُحضر التربة الحصوية الرطبة وتتم عملية الرص من قبل ثلاث عمال وعلى طبقات متتالية كل 8 – 10 سم، والعامل الأكثر خبرة بينهم يتوضع على الزاوية. تتم عملية الرص باستعمال المطباشة بضربات من طرف القالب حتى الداخل بشكل متقاطع، ويتم وضع أحجار صغيرة غير منتظمة بين الطبقات. في النهاية يُزلق القالب لتشكل وحدة جديدة مدكوكة، وتترك بعد ذلك الجدران الطينية المدكوكة لتجف، ولضمان عملية التجفيف وتسريعها يتم ترك ثقوب في هذه الجدران تساعد على مرور الهواء، حيث تنفذ هذه الثقوب بوضع عناصر خشبية اسطوانية بقطر حوالي 10 سم بمسافات متناوبة تصل بحدها الأدنى إلى 30 سم، الشكل (3).



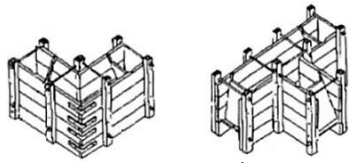
الشكل (3)، جدران من التربة المدكوكة مع الثقوب المتروكة للتجفيف، الجدار (B): جدار من التربة المدكوكة مع مداميك من اللبن للربط، الزوايا مصبوبة كعنصر واحد ومدعم بالخشب، الجدار (A): جدار من التربة المدكوكة مدعم عند الزويا بقطع حجرية، إعداد الباحثة.

2-2- عناصر الربط والتدعيم:

يمكن مشاهدة مجموعة من العناصر الداعمة لجدران التربة المدكوكة كصفوف وحدات اللبن الصغيرة أو مداميك من

الحجر غير المنتظم أو عناصر خشبية عند الزوايا لتقوية عملية الالتصاق، الشكل (3).

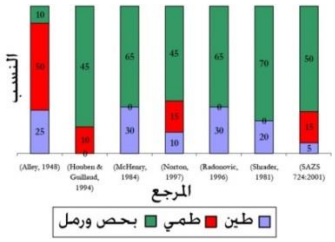
بالنسبة لزوايا الجدران: ممكن معالجتها ضمن نطاق التقنية، باستخدام نفس المواد، إي في أغلب الأحيان لا تدخل مادة أخرى في تشكيل الزوايا، حيث تتم دوما معالجتها من خلال تقاطع القوالب عند الزوايا وتنفذ كوحدة واحدة، الشكل (3)، الشكل (4)، ويمكن معالجة الزوايا أيضا عن طريق إدخال مادة أخرى، كالآجر أو قطع الحجر الدبش المترابطة والمتشابكة فيما بينها في منطقة الزاوية، كما يمكن تدعيم زوايا جدران التربة المدكوكة بتقاطع عناصر خشبية{العمارة التقليدية المتوسطية، 2005، 6}.



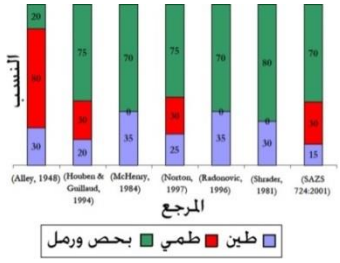
الشكل(4)، أشكال القوالب عند الزوايا وتقاطعات الجدران
{العمارة التقليدية المتوسطية، 2005، 6}.

3– نسب مكونات التربة في انشاء التربة المدكوكة:

لا توجد تربة مثالية فيما يتعلق بكافة النواحي المعتبرة وبالتالي الباحثون حول العالم عادة ما يحددون أعلى وأخفض قيمة لكل عنصر رئيسي من التربة. الشكل (5)، يبين أخفض قيمة. والشكل(6) يبين القيم العليا لكل من الطين، الطمي، الرمل والبحص من أجل الانشاء بالتربة المدكوكة كما هو مقترح من قبل عدة باحثين.



الشكل(5)، مجال الحدود الدنيا للتوزيع الحجمي للجزيئات من أجل التربة المدكوكة الطبيعية، { Maniatidis, Walker, 2003 }.



الشكل(5)، مجال الحدود العليا للتوزيع الحجمي للجزيئات من أجل التربة المدكوكة الطبيعية، { Maniatidis, Walker, 2003 }.

مما ورد نجد بعض الاتفاق على قيم الحدود بين عناصر التربة الأساسية.

النسبة الدنيا لمجموع الطمي والطين يجب أن تكون بين 20%– 25% بينما العليا بين 30%– 35%. كذلك بالنسبة للنسب الدنيا للرمل يجب أن تكون بين 50%–55% بينما الحد الأعلى بين 70%–75%، { Maniatidis, Walker, 2003 }.

4– تقييم التربة:

قرار ملائمة التربة للإنشاء بالتربة المدكوكة يعتمد على تقييم التربة أو/ و تقييم أداء عينات التربة المدكوكة المجهزة بهذه التربة عن طريق اختبارات حقلية أو/ ومخبرية. الاختبارات الحقلية تتميز ببساطة تنفيذها وتتطلب فقط معدات مألوفة ويمكن تنفيذ هذه الاختبارات في الموقع. تركز هذه الاختبارات بشكل أساسي على تقييم خصائص التربة بطريقة نوعية. وإعطاء مؤشر على استقرار التربة. بالرغم من الملامح النوعية لنتائج الاختبارات الحقلية، فإن لها أهمية كبيرة في المراجع العلمية التي تتناول الانشاء الترابي. حيث أنه في الواقع في الكثير من الحالات تكون الاختبارات الحقلية هي البدائل الوحيدة المتوفرة، بالإضافة أنها تقدم خطوط محددة مهمة في ما يخص مرحلة التنفيذ. الاختبارات المخبرية بشكل عام أكثر دقة وصرامة من تلك الحقلية. ومع ذلك، يتطلب تنفيذها المزيد من الموارد (الأدوات، المعدات، الخبرة، التمويل وما إلى ذلك) التي لا تتوفر دائمًا، وتتضمن عادةً التوصيف الجيوتقني للتربة. يوضح الجدول (1) الاختبارات المخبرية والحقلية التي تم إجراؤها لتقييم خصائص التربة، وبالتالي ملاءمة التربة للإنشاء بالتربة المدكوكة. من الجدير بالذكر أن هذه الاختبارات تستخدم بشكل متكرر في الممارسة العملية، {Silva *et al.*, 2017, 6}.

الجدول(1)، جدول الاختبارت المعتمدة في البحث، إعداد الباحثة.		
الاختبار	الخاصة المقيمة	المرجع
الاختبار المرئي/ البصري	النسيج/ المادة العضوية	ASTMD2488
الترسيب	النسيج/ التركيب الحبي	SAZS 724: 2001
اختبار الشريط	ملائمة التربة للتربة المدكوكة	Standard Australia 2002
اختبار الإسقاط	محتوى المياه الأمثل (IWC) ضمن خلطة التربة المدكوكة	SAZS 724: 2001
اختبار قوة الضغط	مقاومة الضغط	NZS 4298:1998, Standard Australia 2002
اختبار امتصاص الماء	الديمومة	SAZS 724: 2001

4–1– الاختبارات الحقلية:

4–1– 1– الاختبار المرئي:

تم اختيار عينات ترب من بلدة من ريف دمشق في منطقة القلمون، تحديدا من بلدة عين منين. من تراب الردميات الناتجة عن حفر محضر في البلدة، وذلك لضمان أخذ تربة تحتية (Subsoil) خالية من المواد العضوية وهذا تم تأكيده من عدم وجود رائحة تشير إلى وجود المواد العضوية.

تم إجراء الفحص البصري للتربة بناءً على ASTM D 2488[1]، والذي سمح بتقييم خصائص أكثر موضوعية مثل اللون، الزوايا، الشكل والرائحة للجسيمات. بشكل عام، فإن التربة المختارة لها درجات ألوان فاتحة مثل الرمادي والأصفر. من حيث زوايا الحبيبات، تكون حبيبات التربة ذات زاويا شبه حادة، بالإضافة لبعض الحبيبات الشبه مستديرة. الصورة (3).

الصورة (3)، عينة تربة من الحالة الدراسية، الباحثة.

4–1–2– اختبار الترسيب:

الغرض من هذا الاختبار لمعرفة نسب الحجوم المختلفة للجزيئات دون الحاجة لمعدات خاصة. يتألف من أربع خطوات:

– الخطوة الأولى: نجهز ما يلي: وعاء زجاجي مستقيم الجوانب، وله غطاء

[1] مقاييس الممارسة لوصف وتعريف التربة (Standard Practice for Description and Identification of Soils)

قابل للفتح والإغلاق، أداة قياس (متر، مسطرة أو شريط قياس)، ساعة، قليل من الملح، دفتر ملاحظات.

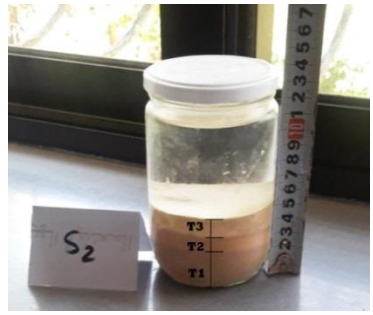
- الخطوة الثانية: نضع علامة على الوعاء عند ثلث ارتفاعه.
- الخطوة الثالثة: نملأ الوعاء بتربة جافة إلى مستوى العلامة عند ثلث الوعاء؛ نضغط التربة قليلا ونزيل أي تربة فوق العلامة. نملأ الوعاء بمقدار ثلثيه ماء. نضيف قليلا من الملح. نخلط التربة، الماء والملح مع بعض، ثم نغلق الوعاء، نهز الوعاء بقوة حتى تطفو كل جسيمات التربة. ثم نترك الوعاء ساكنا لمدة ساعة.
- الخطوة الرابعة: في نهاية الساعة، نهز الوعاء بقوة ثم نتركه، بعد دقيقة، نضع علامة عند مكان استقرار التربة في الوعاء دون تحريكه. تدل هذه العلامة على (T1) وهي كمية الرمل والحصى. نواصل مراقبة الوقت، وبعد 30 دقيقة نضع علامة أخرى مكان استقرار التربة. هذه العلامة هي (T2) وهي تدل على كمية الطمي والرمل مجتمعين. بعد 24 ساعة، نضع علامة ثالثة في مكان استقرار التربة في الوعاء. وهي (T3)، تدل على كمية الحصويات، الرمل، الطمي والطين.

باالنتيجة سنجد ما يلي:

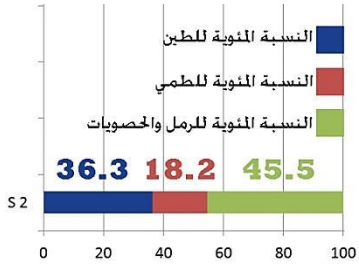
- عمق الطين سيكون (T3- T2).
- عمق الطمي سيكون (T2- T1).
- عمق الحصويات والرمل سيكون (T1).
- النسبة المئوية للطين إذا هي T3× 100/(T3- T2) .
- النسبة المئوية للطمي هي T3× 100/(T2- T1) .
- النسبة المئوية للرمل والحصويات هي 100 ×T3/(T1) .
- يجب أن يكون مجموع النسب الثلاثة 100، { SAZS 724: 2001, 2001}.

وباتباع هذه الخطوات على عينات التربة المأخوذة من الحالة الدراسية تم حساب النسب المئوية للمكونات المبينة في

الشكل (7)، نتائج هذا الاختبار تبين مبدئيا صلاحية هذه التربة للبناء بالتربة المدكوكة ولكن يُفضل تقليل نسبة الطين في التربة لتصل إلى 25%، إما بإضافة تربة رملية أو إضافة رمل تجاري إلى الخلطة.



الصورة (4)، اختبار الترسيب: وعاء اختبار التربة S2، الباحثة.



الشكل (7)، اختبار الترسيب: نتائج الاختبار والنسب المئوية لمكونات تربة S2، إعداد الباحثة.

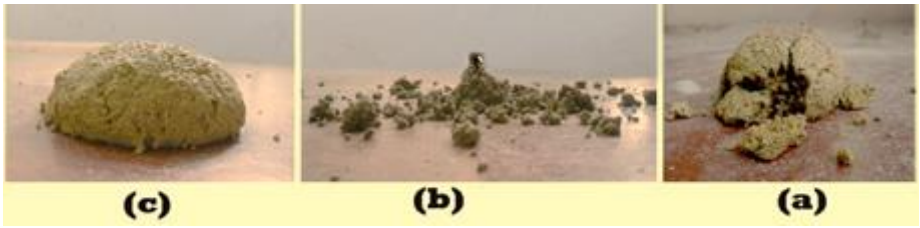
3–1– 3– اختبار الشريط:

هو اختبار حقلي آخر بسيط لتحديد ملائمة التربة للانشاء بالتربة المدكوكة. يتم أخذ عينة كبيرة كفاية لتشكيل حبل بطول 20-15 سم. إذا انقطع الحبل أو كان هناك صعوبة في تشكيله فإما أن التربة قليلة محتوى الطين أو أننا لم نضف ماء كافيا. عندما تصبح كمية الماء مناسبة، يتم تسوية الحبل الملفوف عن طريق عصره بين الابهام والسبابة لتشكيل شريط وبسماكة 2– 6 مم. وحسب معايير استراليا تكون التربة ملائمة للتربة المدكوكة إذا كان الشريط المقطوع يتراوح طوله بين 5– 8 سم، يُشير الشريط الطويل إلى احتواء الكثير من الطين وبالتالي التربة تكون بقوة غير كافية، { Standard Australia 2002, 2002}. وبإجراء اختبار الشريط على عينة من التربة المختارة بعد معادلتها بالرمل وجدنا أن طول الشريط المقطوع 6 سم، الصورة (5)، وهذه القيمة ضمن المجال المسموح به.

الصورة (5): اختبار الشريط، الباحثة.

3-1- 4- اختبار الإسقاط:

الغرض من هذا الاختبار هو إيجاد محتوى الماء الأمثل (IWC) أثناء التنفيذ والانشاء. يتطلب هذا الاختبار عدة محاولات مع تعديل محتوى الماء المضاف إلى الخلطة للحصول على الحالة الصحيحة للكرة بعد إسقاطها أرضا، الشكل(6)، يبين الحالات الثلاث المحتمل حدوثها أثناء الاختبار، حيث الشكل (8- a): تفتت جزئي مع شقوق بسيطة وهذه الحالة الصحيحة لمحتوى الماء الأمثل، الشكل (8- b): تفتت كلي وهذا يعني أنها جافة أكثر من اللازم، الشكل (8- c): لا تزال الكرة متماسكة وهذا يعني أن الخلطة فيها ماء أكثر من اللازم.



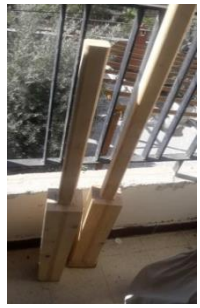
الشكل(8)، الحالات المحتملة للكرة بعد الإسقاط، إعداد الباحثة.

3-2- الاختبارت المخبرية:

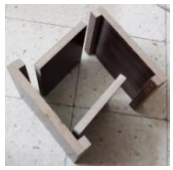
3-2-1- اختبار قوة الضغط:

بعد غربلة التربة بغربال (1cm) وخلط المكونات الجافة للمزيج جيدا، وترطيبها تدريجيا للوصول لمحتوى الماء الأمثل عن طريق اختبار الإسقاط، تم تصنيع عدد محدد من وحدات مكعبة من التربة المدكوكة بأبعاد 15×15×15 cm، لإجراء اختبار الضغط عليها باستخدام جهاز مقاومة الضغط الموجود في مختبر البيتون ضمن كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق.

تم دك خلطة التربة ضمن قوالب قابلة للفك والتركيب، الصورة (7, 8)، واستخدمت مطارق دك خشبية مصنعة من قبل الباحثة وزنها 4- 5 Kg، الصورة (6)، الجداول (2,3,4,5,6)، هي جداول المواصفات للعينات المصنعة من التربة المدكوكة المعادلة (SRE)، والتي تم إجراء اختبار الضغط عليها.



الصورة (6)، مطارق الدك، الباحثة.



اليمين: الصورة (7)، القالب مفكك، اليسار: الصورة (8)، القالب بعد التركيب ودك عينة ضمنه، الباحثة.

تم تصنيع عينات من تربة مدكوكة معادلة بالألياف مثل القش، بأطوال 5- 3 cm، الصورة (9)، الصورة (10).

الصورة (8)، تصنيع خلطة التراب والقش، طبقة تربة– طبقة قش، وتركها تختمر 24 ساعة، قبل خلطها وتجهيزها للدك، الباحثة.

الصورة (9)، العينة T4 المعادلة بالقش، الباحثة.

الجدول (2)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة– ريف دمشق، إعداد الباحثة.					
رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة	
T4	35°	2021/7/27	2021/8/15	بلدة عين منين	
تكوين التربة: انظر الشكل (5–b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15			
المعادلة		نسبة الماء المضاف		تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%		جميع الطبقات من نفس الخلطة وتم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.	
ألياف (قش)	6%				
رمل (صب)	10%				
حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6507 g	6053 g	1.928 g/cm3	1.79 g/ cm3
الاختبار الانشائي		القوة المطبقة القصوى (N)		المقاومة (N/mm2)	
(compression test)		35458 N		1.55 N/mm2	

تم تصنيع عينات من تربة مدكوكة معادلة بالكلس المطفأ بنسبة 6%، الصورة (10).

الصورة (10)، العينة T5، معادلة بالكلس المطفأ، إعداد الباحثة.

الجدول (3)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة– ريف دمشق، إعداد الباحثة.					
رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة	
T5	35°	2021/6/25	2021/8/15	بلدة عين منين	
تكوين التربة: انظر الشكل (5–b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15			
المعادلة		نسبة الماء المضاف		تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%		جميع الطبقات من نفس الخلطة وتم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.	
كلس مطفئ	6%				
رمل (عمار)	10%				
حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6554 g	6094 g	1.94 g/cm3	1.81 g/ cm3
الاختبار الانشائي		القوة القصوى المطبقة (N)		المقاومة (N/mm2)	
(compression test)		1038 N		0.47 N/mm2	

تم تصنيع عينات من تربة مدكوكة معادلة بالكلس المطفأ بنسبة 6% والقش بنسبة 5%، الصورة (11).

الصورة (11)، عينة معادلة بالكلس المطفأ والقش، الباحثة.

الجدول (4)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة– ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
T7	35°	2021/7/3	2021/8/15	بلدة عين منين
تكوين التربة: انظر الشكل (5–b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15		
المعادلة		نسبة الماء المضاف	تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%	جميع الطبقات من نفس الخلطة وتم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.	
كلس مطفئ	6%			
ألياف (قش)	5%			
رمل (عمار)	10%			

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	5540 g	5078 g	1.64 g/cm3	1.5 g/cm3

الاختبار الانشائي	القوة المطبقة (N)	المقاومة (N/mm2)
(compression test)	1469 N	0.56 N/mm2

تم تصنيع عينات من تربة مدكوكة معادلة بالإسمنت بنسبة 6%، الصورة (12).

الصورة (12)، عينة معادلة بالاسمنت، الباحثة.

الجدول (5)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة- ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
T8	35°	2021/7/8	2021/8/15	بلدة عين منين
تكوين التربة: انظر الشكل (5-b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15		
المعادلة		نسبة الماء المضاف	تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%	جميع الطبقات من نفس الخلطة وتم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.	
اسمنت	6%			
رمل	10%			

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6705 g	6240 g	1.98 g/cm3	1.85 g/cm3

الاختبار الانشائي (compression test)	القوة المطبقة (N)	المقاومة (N/mm2)
	73028 N	2.864 N/mm2

تم تصنيع عينات من التربة المدكوكة معادلة بالكلس المطفأ والاسمنت، فبعد مزج التربة مع الرمل جيدا (نصف رمل عمار – نصف رمل صب)، تم تقسيم الخلطة نصفان، نصف تمت معادلته ب 3% كلس مطفأ، ونصف تمت معادلته ب 3% اسمنت، الصورة (12). ثم إضافة الماء مع الخلط تدريجيا كل نصف على حدى والوصول لمحتوى الماء المثالي، بعد ذلك تم الدك ضمن

القالب، وتشكيل طبقات على التناوب، طبقة معادلة بالاسمنت وطبقة معادلة بالكلس المطفأ، بحيث تكون أول وآخر طبقة من الخلطة المعادلة بالاسمنت.

الصورة (12)، نصفي الخلطة المستخدمة لدك العينة T10، الباحثة.

الصورة(13)، عينة معادلة بالكلس المطفأ والاسمنت (طبقة– طبقة)، الباحثة.

الجدول (6)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة– ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
T10	35°	2021/7/31	2021/8/25	بلدة عين منين
تكوين التربة: انظر الشكل (5–b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15		
المعادلة		نسبة الماء المضاف	تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%	تم تشكيل تباين في الطبقات، طبقة معادلة بالاسمنت وطبقة معادلة بالكلس المطفئ، بحيث أول وآخر طبقة تكون معادلة بالاسمنت. كما تم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.	
كلس مطفئ	3%			
اسمنت	3%			
رمل (عمار+ صب)	10%			

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6525 g	6064 g	1.93 g/cm3	1.79 g/cm3

الاختبار الانشائي (compression test)	القوة المطبقة (N)	المقاومة (N/mm2)
	29028 N	1.183 N/mm2

3–2–2– اختبار امتصاص الماء:

تم تصنيع عدد محدد من وحدات مكعبة من التربة المدكوكة بأبعاد 15×15×15 cm بنفس الخطوات المتبعة في العينات السابقة، وباستخدام معدات مختبر البيتون في كلية

الهندسة المدنية في جامعة دمشق، تم إجراء اختبار امتصاص الماء على هذه العينات، بغمرها بحوض ماء وقياس وزنها بعد 4 ساعات، الجداول (10 ,9 ,8 ,7) هي جداول المواصفات للعينات المصنعة من التربة المدكوكة المعادلة بمواد مختلفة والتي تم إجراء اختبار امتصاص الماء عليها.

الصورة (14)، العينة AT1، المعادلة ب 6% اسمنت المعدة لاختبار الامتصاص، الباحثة.

الجدول (7)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة- ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
AT1	35°	2021/7/19	2021/8/25	بلدة عين منين
تكوين التربة: انظر الشكل (5-b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15		
المعادلة		نسبة الماء المضاف	تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%	جميع الطبقات من نفس الخلطة.	
اسمنت	6%			
رمل صب	10%			

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6483 g	6022 g	1.9 g/cm3	1.78 g/cm3

الاختبار الانشائي	وزن العينة الجافة	وزن العينة الرطبة	وزن الماء	نسبة الامتصاص
(Absobation test)	6022 g	6829 g	807 g	13.4 %

الصورة (15)، العينة AT2 المعادلة ب 6%

كلس المطفأ المعدة لاختبار الامتصاص، الباحثة.

الجدول (8)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة– ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
AT2	35°	2021/7/20	2021/8/25	بلدة عين منين

تكوين التربة: انظر الشكل (5–b)	أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15

المعادلة	نسبة الماء المضاف	تشكيل الطبقات
المادة / النسبة	15%- 20%	جميع الطبقات من نفس الخلطة، تم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.
كلس مطفئ 6%		
رمل 10%		

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6140 g	5677 g	1.8 g/cm3	1.68 g/cm3

الاختبار الانشائي	وزن العينة الجافة	وزن العينة الرطبة	وزن الماء	نسبة الامتصاص
(Absobation test)	5677 g	6437.5 g	760.5 g	13.39 %

الصورة (16)، العينة AT3 المعادلة ب 6% قش المعدة لاختبار الامتصاص، الباحثة.

الجدول (9)، المواصفات (الفيزيائيه – الانشائيه) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة- ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
AT3	35°	2021/7/30	2021/8/25	بلدة عين منين
تكوين التربة: انظر الشكل (5-b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15		
المعادلة		نسبة الماء المضاف	تشكيل الطبقات	
المادة	النسبة	15%- 20%	جميع الطبقات من نفس الخلطة، تم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.	
ألياف (قش)	6%			
رمل	10%			

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6230 g	5774 g	1.85 g/cm3	1.71 g/cm3

الاختبار الانشائي	وزن العينة الجافة	وزن العينة الرطبة	وزن الماء	نسبة الامتصاص
(Absobation test)	5774 g	–	–	–

الصورة (17)، العينة AT4 المعادلة ب 3%

كلس مطفأ و3% اسمنت على التناوب والمعدة لاختبار الامتصاص، الباحثة.

الجدول (10)، المواصفات (الفيزيائية – الانشائية) للعينات المصنعة من التربة المدكوكة– ريف دمشق

رقم العينة	درجة الحرارة	تاريخ تصنيع العينة	تاريخ اختبار العينة	المنطقة
AT4	35°	2021/8/6	2021/8/25	بلدة عين منين
تكوين التربة: انظر الشكل (5–b)		أبعاد العينة (cm): 15 x 15 x 15		
المعادلة		نسبة الماء المضاف		تشكيل الطبقات
المادة	النسبة	15%- 20%		تم تشكيل تباين في الطبقات، طبقة معادلة بالاسمنت وطبقة معادلة بالكلس المطفئ، بحيث أول وآخر طبقة تكون معادلة بالاسمنت. كما تم دك الحواف بشكل إضافي لتقويتها.
اسمنت	3%			
كلس مطفئ	3%			
رمل	10%			

حجم العينة قبل التجفيف (cm3)	حجم العينة بعد التجفيف (cm3)	الوزن قبل التجفيف	الوزن بعد التجفيف	الكثافة الرطبة	الكثافة الجافة
3375	3375	6610 g	6150 g	1.95 g/cm3	1.82 g/cm3

الاختبار الانشائي	وزن العينة الجافة	وزن العينة الرطبة	وزن الماء	نسبة الامتصاص
(Absobation test)	6150 g	6937.5 g	787.5 g	12.8%

4– الاستنتاجات والتوصيات:

1– **بالنسبة لاختبار قوة الضغط:** بمقارنة نتائج الاختبارات المخبرية على العينات مع القيم الموصى بها للحد الأدنى من قوة الضغط حسب الكود الاسترالي للبناء بالتربة المدكوكة (Standard Australia 2002)، وهي (0.4- 0.6 N/mm2)، وحسب كود نيوزيلندا للتربة المدكوكة (NZS 4298:1998)، وهي (0.5 N/mm2)، نجد ما يلي:

– أظهرت العينات المعادلة بالاسمنت بنسبة 6% والمضاف إلى خلطتها رمل

صب (خشن)، مقاومة جيدة على الضغط.

– العينات المعادلة بالكلس المطفأ بنسبة 6% والمضاف إلى خلطتها رمل عمار (ناعم)، كانت أضعف في المقاومة على الضغط، وممكن تحسينها بإضافة رمل الصب (الخشن) إلى الخلطة بدلا من رمل العمار (الناعم).

– العينات المعادلة بالألياف (القش)، والمضاف إليها رمل صب (خشن)، أعطت قيم جيدة بمقاومة الضغط، وأفضل بكثير من العينات المعادلة بالكلس المطفأ المضاف لخلطتها رمل العمار الناعم، وذلك يؤكد على أنه بالنسبة لهذه التربة، ينبغي تحسين تدرجها الحبي بإضافة الرمل الخشن أو تربة حصوية.

– العينات المعادلة بالاسمنت والكلس المطفأ (طبقات متناوبة)، أعطت قيم جيدة في مقاومة الضغط.

2– بالنسبة لاختبار امتصاص الماء:

والذي تم تطبيقه حسب كود زيمبابوي للبناء بالتربة المدكوكة (SAZS 724: 2001)، نجد ما يلي:

– العينات المعادلة بالكلس المطفأ والعينات المعادلة بالاسمنت، أظهرت نتائج متقاربة في نسبة امتصاص الماء، كما أن هذه العينات أظهرت تماسك جيد بعد غمرها بالماء وانتهاء الاختبار، الصورة (18).

– العينات المؤلفة من طبقات معادلة بالاسمنت وطبقات معادلة بالكلس المطفأ على التناوب، أظهرت نتائج أفضل بنسبة امتصاص الماء وحافظت على شكلها وتماسكها بعد انتهاء الاختبار، الصورة (18).

الصورة (18)، تبين العينة AT1 المعادلة بالاسمنت، العينة AT2 المعادلة بالكلس المطفأ، العينة AT4 المؤلفة من طبقات معادلة بالاسمنت والكلس على التناوب، بعد

غمرها بالماء لفترة 4 ساعات وإخراجها، الباحثة.

– العينات المعادلة بالقش فقط: فشلت في اختبار امصاص الماء وتفتت محيطها ضمن حوض الاختبار، الصورة (19)، لذلك يوصى في حال المعادلة بالألياف تطبيق طبقات إنهاء للحماية.

الصورة (19)، العينات المعادلة بالقش فقط بعد غمرها بالماء 4 ساعات، الباحثة.

– من مما سبق نجد أن العينات المؤلفة من طبقات معادلة بالاسمنت وطبقات معادلة بالكلس المطفأ على التناوب لها ميزات جيدة من حيث: مقاومة الضغط وامتصاص الماء (الديمومة)، المظهر الخارجي والكلفة، حيث أن جدران التربة المدكوكة المشكلة من هذه الطبقات ستتميز بمظهر معماري جميل، وتوفر في نسبة الاسمنت المضاف إلى النصف تقريبا، يوصى عند تنفيذ مثل هذه الجدران أن تكون أول وآخر طبقة منه معادلة بالاسمنت.

إن التراب هو مادة متوفرة، والانشاء الترابي له أصوله وجذوره العميقة في بلدنا، لذا يجب إعادة استغلال هذه المادة المتوفرة وإنعاش الانشاء الترابي بأنواعه المختلفة وبتطبيقات وخلطات حديثة تواكب العصر الحالي وظروفه، وخاصة في الضواحي والأرياف.

Reference المراجع

[1] Cautius, Cassandra. (2014), Rammed Earth: Adaptations to Urban Toronto, degree of Master of Architecture. Waterloo. Ontario: Canada. P: 131.

[2] Easton, David. (2007), The rammed earth house. the United States. Chelsea Green. P: 150.

[3] Birznieks, Lauris. (2013). Designing and building with compressed earth, MS Degree. Department of Architectural Engineering, Delft University of Technology: Canada. P: 86.

[4] Maniatidis, Vasilios, Walker, Peter. (2003). A Review of Rammed Earth Construction for DTi Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing', P: 8,9.

[5] Silva, Rui, Oliveira, Daniel, Miranda, Tiago, Cristelo, Nuno, Escobar, Maria, and Soares, Edgar. Rammed earth construction with granitic residual soils: the case study of northern Portugal. Science Direct. 17, 4, 2021. http://www.

[6] ASTM. (2000). Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure) (ASTM D2488). American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

[7] Standards New Zealand. (1998). Engineering design of earth buildings (NZS 4297:1998). Standards New Zealand, Wellington.

[8] Standards Australia. (2002). The Australian earth building handbook (HB 195). Standards Australia, Sydney.

[9] ARSO, SADCSTAN. (2001). Rammed earth structures code of practice for Africa (SAZS 724), Zimbabwe: Africa.

[10] برنامج ميدا، الاتحاد الأوروبي. (2005). العمارة التقليدية المتوسطية. سوريا. ص 41.

[11] كبريت، زكريا. (2000). البيت الدمشقي. ط: 2. دمشق: سوريا. ص: 135.