استخدام مادة الطين في بناء المدن الصحراوية كمدخل للاستدامة
مدينة غدامس كدراسة حالة
The use of Mud Material in Desert Cities' Construction
As an approach to Sustainability
Ghadames as a Case Study

د. أسامة عبدالنبي قنبر
مدرس بقسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة جامعة طنطا -مصر
u_konbr@yahoo.com

م. وليد عبدالسلام فريوان
ماجستير هندسة عمارة
اكاديمية الدراسات العليا – جنزور -ليبيا
waledfree@yahoo.com

م. رياض رمضان الشواخ
ماجستير هندسة عمارة
جامعة المرقب -الخمس -ليبيا
riadelshuk@hotmail.com

ملخص البحث (Abstract):

(أ) تمهيد (preface):

في إطار التوجه العالمي صوب الاستدامة، تسهم العمارة بوصفها عنصراً فاعلاً في التنمية من خلال تأصيل مفهوم العمارة المستدامة، وحينما يتعلق الأمر بالمناطق الصحراوية تتأكد أهمية هذا الإسهام من هذا المفهوم، ولا سيما إذا كانت منطقة الدراسة تحتاج لمزيدٍ من الاهتمام بأخذ خصوصيتها المحلية بعين الاعتبار في ضوء المقومات الثلاث الأساسية للاستدامة، وهي: البيئة، والاجتماع، والاقتصاد. وحيث تمثل تكاليف التشييد مُحدداً أساسياً في تلك المنظومة فقد وَجهت الملاحظة العلمية الدراسة نحو تناول استخدام مادة الطين ومحاولة تطوير تناولها كخطوة داعمة لاستدامة بيئة الدراسة من خلال إمكانية استخدامها بشكل فعال في بناء المدن الصحراوية، وقد أخذ البحثُ مجالاً مكانياً وهو منطقة مدينة غدامس بوصفها منطقة صحراوية تقع بجنوب غرب ليبيا لتطبيق الدراسة العملية عليها.

(ب) مشكلة البحث (The Problem):

لا يتماشى الطوب المستخدم حالياً في بناء المدن الصحراوية مع متطلباتها الحرارية؛ مما يؤثر بالسلب على راحة المستخدمين، مما يستلزم إعادة النظر لنوعية مواد البناء وتطويرها محلياً (الطوب الطيني) كمدخل لتأصيل استدامة تلك المدن.

(جـ) تساؤلات البحث (Questions):

- ما هي الأسباب التي تجعل من العمارة الطينية عمارة مستدامة ببيئة البحث؟
- إلى أي مدي وصلت تطورات وتقنيات صناعة الطوب الطيني؟
- ما هي الدراسات المتوافرة لمادة الطين، والطوب الطيني وكيف يمكن الاستفادة منها ببيئة الدراسة؟
- ما هي الإضافات التي يمكن أن تحسن خصائص الطوبة الطينية؟

(د) فرضيات البَحث (Hypothesis):

- بعض الإضافات قد تُزيد الطوب الطيني متانةً عند استخدامها بمرحلة التصنيع.
- تمثل مادة الطين عازل جيد للحرارة وموفرة للطاقة.

(هـ) أهداف البحث (Aims):

- إلقاء الضوء على مادة الطين كمادة تشييد وذلك بإبراز أهم مميزاتها.
- توضيح عيوب هذه المادة.
- دراسة إمكانية تطويرها في البناء، وإلى أي مدى يمكن تحسينها.

(و) المناهج العلميَّة المُستخدمَة (Methods):

المنهج الاستقرائي كأساس، ومن ثم التحليل، والاستنتاج، ثم التطبيق من خلال المنهج العملي والتجريبي.

(ز) المستهدفون من البحث (Targets):

المعماريون بوجه عام، مراكز بحوث الاسكان والبناء، الجهات الاكاديمية المعنية بالعمارة.

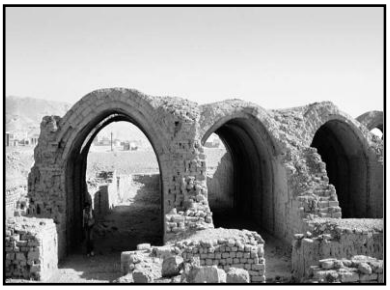
(ح) الكلمات المفتاحية (Key Words):

مادة الطين، المدن الصحراوية، غدامس.

1. الإطار النظري:

1/1 التطور التاريخي للبناء بمادة الطين:

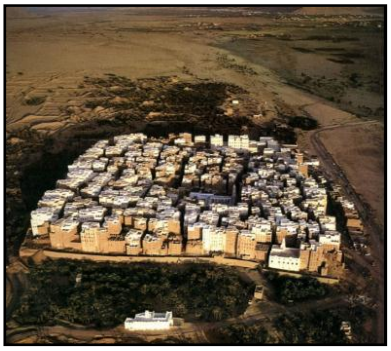
تعتبر مادة الطين من المواد الأساسية في التشييد تاريخياً ومنذ آلاف السنوات، فقد انتشر استعمال الطين في حضارات مصر الفرعونية **شكل (1)**[1]، بلاد الشام والحضارة الإسلامية والرومانية وغيرهم، كما بني بهذه المادة برج بابل في بلاد الرافدين **شكل (2)** بما له من ضخامة ورمزية، وقد كثرت وتشعبت الفرضيات والتفسيرات حول أصل هذه التقنية، فهناك من المؤرخين من يرى أنه من ساحل الأطلنطي إلى أفغانستان ومروراً باليمن والعراق وإيران توجد أنماط من العمارة الطينية تنم عن دقةٍ كبيرة في العمل، ولا تزال البلاد العربية تحتفظ بشواهد عدة لأولى المدن التاريخية التي شيدت بالكامل من التربة الطينية.



شكل (1) المخازن بمعبد رمسيس الثاني

الجرنة – مصر

شكل (2) برج بابل – بلاد الرافدين



شكل (3) مدينة شبام – اليمن

ولعل من أهم الأمثلة المعروفة بهذا الشأن: المدن العربية الرائعة المشيدة بالطين، كمدينتي: شبام في اليمن **شكل (3)**، وحوض الفرات الأوسط بشرق سوريا **شكل (4)** [2] وترجع للألفية الثالثة قبل الميلاد، وغدامس في ليبيا، **شكل (5)**.

شكل (4) حوض الفرات الأوسط – سوريا

شكل (5) مدينة غدامس – ليبيا

2/1 أنواع الطوب الطيني وتطور طرق صناعته:

يُصنع الطوب من: الطين (الصلصال أو اللبِن أو الطمي)، ويحتوي الطين على عناصر رئيسة لمركبات معدنية تتفاوت نسبة وجودها باختلاف المقالع نتيجةً التكوين الجيولوجي للتربة والتي من خلالها يتم إنتاج أنواع متباينة من الطوب الطيني المُصنع، وقد يتطلب الأمر مزج نوعين من التربة لغرض الحصول على نوع معين من الطوب الطيني ذو خواص محددة، ولأجل فهم خواص الطوب الطيني يجب معرفة طبيعة المواد الخام الداخلة في تصنيعه وعناصرها الأساسية [3]، ويوجد ثلاثة أنواع للطوب الطيني سواءً المصنوع يدوياً أو آلياً، حيث تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية، هي: الطوب النيئ، **شكل (6)** [4]، والطوب الأحمر، **شكل (7)**، وطوب التربة المضغوطة، **شكل (8)**.

شكل (6) الطوب النيئ

شكل (7) الطوب الأحمر

شكل (8) طوب التربة المضغوطة

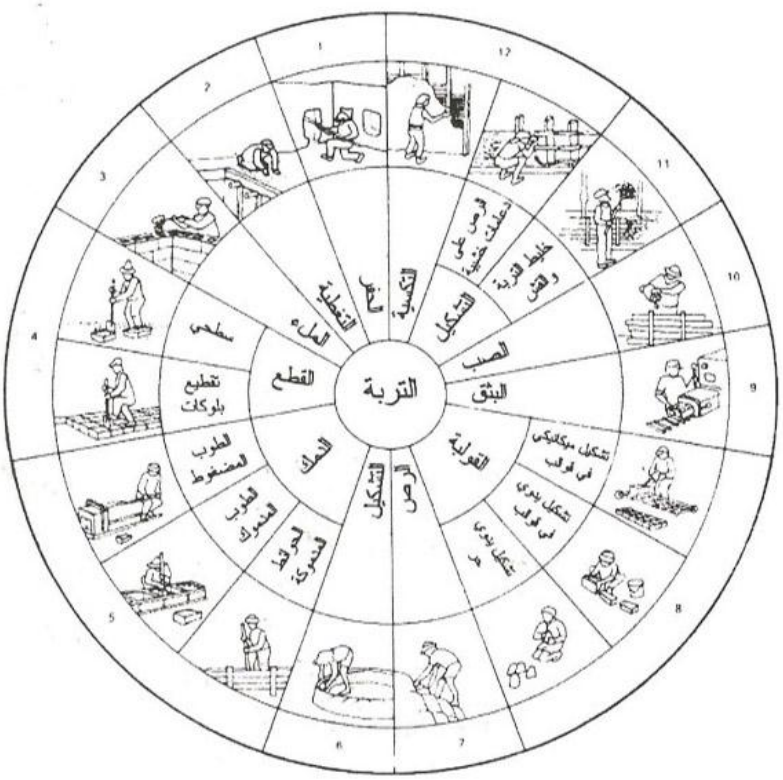
جدول (1) أبرز مميزات البناء بالطين [5]

أبرز مميزات البناء بالطين	الأهمية النسبية بالنسبة للدول					
	العربية والنامية			الغربية والصناعية		
	عالية الأهمية	متوسطة الأهمية	ضعيفة الأهمية	عالية الأهمية	متوسطة الأهمية	ضعيفة الأهمية
رخص مادة الطين ووفرتها	✓			✓		
الحد من التلوث واستنزاف البيئة			✓	✓		
سهولة البناء بمادة الطين	✓				✓	
الحد من بطالة العمالة غير الماهرة	✓				✓	
تنوع طرق التشييد بالطين	✓				✓	
التوفير في عملية النقل	✓			✓		
التوفير في استهلاك الطاقة	✓			✓		
الخصائص الهندسية لمادة الطين		✓				✓
سهولة تدوير المنتجات الطينية		✓			✓	

جدول (2) خواص ومواصفات الطوب الطيني[6]

نوع الطوب	المتوسط العام للخواص					
	الأبعاد (سم)	نسبة التخريم (%)	وزن الوحدة (كجم)	نسبة امتصاص الماء بالوزن (%)	المقاومة للكسر كجم/ سم^2	
					جاف	مبتل
1. الطوب الأحمر	24×11.5×2	-	3 - 2.8	22 - 18	20 - 10	14 - 8
2. الطوب الطفلي	25× 12 ×6.5 25× 12 ×6.5	40 – 30 دائرية 40 – 30 مستطيلة	2.5 – 2.2 2.5 – 2.2	12 – 8 12 – 8	120 – 80 80 – 50	
	25×1×10	40 – 30 مستطيلة	3.9 -3.4	12 - 8	80 – 50	10 -5
	25× 12 ×12	40 -30	5 – 4.4	80 – 50	80 – 50	10 -5
	25× 12 ×22.5	55	6 – 5.8	12 – 8	80 – 50	10 – 5
3. طوب طفلي (قمائن مطور) (أ)	21×10.5×6	15 - 10	2.7 – 2.2	11 - 7	90 – 120	80 - 110
طوب طفلي (قمائن مطور) (ب)	24×11×6.5	20 - 18	3 – 2.4	14 - 11	60 - 80	50 - 70

حيث أنه من أقدم الأساليب المعروفة تاريخياً في صناعة الطوب حيث يأتي في مراحل متعاقبة، تبدأ من الحفر وتنتهي بالتكسية، **شكل (9)**، كما يوضح **شكل (10)** أسلوب الصب اليدوي للعجائن المحتوية علي نسب عالية من الماء، وكذلك يوضح **شكل (11)** استخدام الماكينات في أواخر القرن التاسع عشر.



شكل (9) الطوب النيئ

شكل (11) صناعة الطوب باستخدام ماكينات الكبس – أميركا[7]

شكل (10) صناعة الطوب بأسلوب الصب اليدوي – مالي

وقد تم تطوير أول آلة لكبس التربة في القرن الثامن عشر في فرنسا، حيث قام فرانسوا كونتورو بتطويرها؛ عندئذ بدأت الاتجاهات لتطوير أسلوب الصب الآلي للعجائن عن طريق استخدام الكبس تحت الضغوط المرتفعة نسبياً.

3/1 العمارة الطينية وتحقيق الاستدامة:

تعتبر العمارة تحدياً فريداً في مجال الاستدامة؛ حيث تستهلك المشروعات المعمارية كميات كبيرة من المواد والطاقة، كما ينتج عنها كميات من المخلفات والنفايات [8]، كما أنها تمثل أكبر مستهلك للطاقة على مستوى العالم، فقد انتهت دراسة أجريت بالولايات المتحدة الامريكية [9] إلى أن الأبنية هي المسئولة عن انبعاث 39% من الغازات المسببة لتأثير

الصوبة الزجاجية GHG، 70% من استهلاك الطاقة، وبخاصة عند استخدام المواد عالية الاستهلاك للطاقة منذ مرحلة الاستخلاص مرورا بالتصنيع وانتهاءً بالتشييد، وحيث تتضمن مبادئ العمارة المستدامة على المفاهيم التالية [10]:

أ. المحافظة على الصحة العامة للسكان والمحيط المتاخم وعلى الكرة الأرضية بالمقياس الأكبر.

ب. المحافظة على الطاقة والمياه والمصادر الطبيعية الأخرى بما فيها مواد التشييد.

ج. تحقيق مفهوم الاستدامة Sustainability في الأبنية على مدى عمرها Life Cycle، والاقتصاد بكافة مراحلها، وهي: مرحلة استخلاص مواد التشييد، ومرحلة التشييد، والتشغيل، والصيانة، والهدم والتخلص.

د. استعمال المواد التي ليس لها تأثير سلبي على البيئة Passive Environmental Impact سواءً في: إنتاجها، أو استعمالها، أو صيانتها، أو التخلص منها، ومعالجة المخلفات بما يخدم النظام البيئي.

من هذا المنطلق، وحيث تعتمد العمارة الطينية على مادة الطين كمادة بُناء بشكل أساسي بكل خصائصه فيمكن اعتبارها توجه مقبول صوب الاستدامة، لما تتمتع به من خصائص وايجابيات تلبي المفاهيم السابقة، من حيث [11]:

أ. أنها مادة طبيعية متوفرة في معظم المناطق المتاخمة لمنطقة الدراسة لدرجة أنه يمكن اعتبارها مادة تشييد مجانية.

ب. بساطة التجهيزات والتشغيل مما يسهل استخدامها على السكان المحليين، ويرجع ذلك إلى تقنياتها البسيطة والسهلة التصنيع.

ج. يُعد الاستثمار الأمثل في هذه المواد المتاحة تهديدا حقيقيا لمشاريع انتاج مواد البناء الحديثة لأنها تمثل منافس قوي بما تسببه الأخرى من: استنزاف للموارد الطبيعية، ونشر للتلوث، ومن تأثير على التوازنات الايكولوجية.

د. تمتع المأوى المشيد من مادة الطين بمُناخ صحي معتدل، بارد صيفاً ودافئ شتاءً.

ه. أنها لا تسبب تلوثاً للبيئة أثناء: التصنيع، أو التنفيذ، أو التشغيل، أو الهدم، أو التخلص، أو إعادة البناء؛ حيث أنها تأتي من الأرض وتعود إليها.

و. تمتعها بخاصية الكسب والتخزين الحراري (التخلف الزمني)، فلا تفقد الحرارة بشكل سريع، مما يساعد في التحسين النسبي للمناخ.

ز. تحقيقها لأكبر قدر من التخلف الزمني، بتشييد الجدران المصمتة الخارجية السميكة، حيث أخرت جدران الطين ذات السمك 40 سم الحرارة حوالي 15 ساعة، وبذلك تحقق قيمة حرارية أفضل بالمقارنة بمثيلتها الاسمنتية، مما يسهم في ترشيد جزءً من الطاقة المنفقة للتحسين الحراري.

ح. تحقيقها للمتانة، والعزل اللازمين في البُناء، بإضافة مواد رابطة وبنسب مدروسة.

ط. لها مميزات هندسية أخرى كعزل الصوت ومقاومة الحريق.

ي. لها تميز خاص من حيث إعادة التدوير Recycling حيث يسهل اعادتها الى حالتها الاصلية وتقليل الأنقاض الناتجة الى الحد الأدنى عند الهدم.

ك. إعادتها للعلاقة الحميمة بين الإنسان والعمارة؛ والتي تتمثل في: حجوم، وأشكال، وفنون، وتراث نابع من الإنسان ويتناغم مع مقياسه الإنساني؛ والذي يتناساه غالباً أصحاب ما يسمى بالطراز العالمي [12].

2. الإطار العملي [13]:

اتخذ البحثُ مجالاً مكانياً وهو: مدينة غدامس بليبيا، وهي:

واحة نخيل تقع جنوب غرب ليبيا، على خط عرض 30.13412 شمالاً ، 9.497159 شرقاً، ويحدها من جهة الشمال الغربي الحدود الليبية التونسية على بعد: حوالي 15 كيلو متر، وغرباً الحدود الليبية الجزائرية على بعد حوالي 15 كيلومتر، ويحدها من الشرق مدينة دَرْج، والتي تبعد عنها حوالي 101 كم تقريبا، طبقا للخريطة **شكل (12)** [14]، وقد تم تحديد نقاط العمل كما يلي:

شكل (12) الموقع الجغرافي لمدينة غدامس

- تحديد وانتقاء التربة الجيدة.
- إجراء دراسة على الطوبات القديمة.
- تحسين الخلط باستخدام خلطات جديدة.
- مراقبة جودة المنتج عن الخلطات الجديدة للتعرف على الحد الأمثل من الخلطات لإنتاج الطوب اللبن (الطيني).

1/2 زيارة المواقع وانتقاء التربة:

تم اختيار التربة والمحاجر على أساسين، وهما:

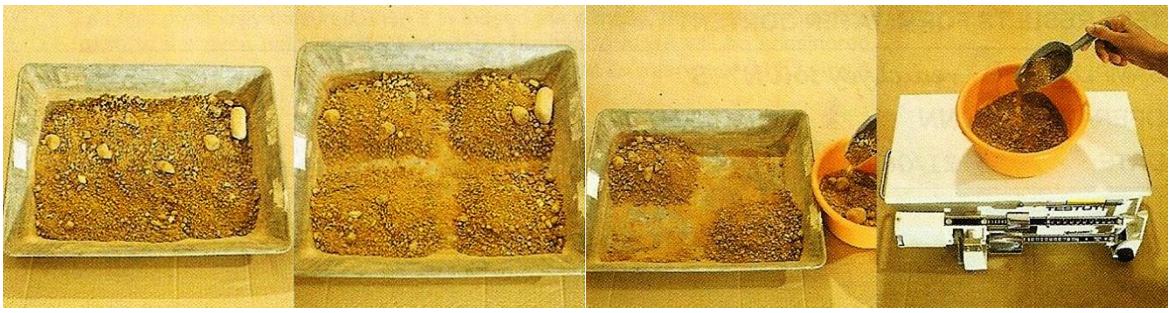
- البحث عن أفضل خامات التربة الطينية ذات النوعية الجيدة.
- البحث عن الأماكن التي تؤمن توافرها بكميات كبيرة بغرض الإنتاج المكثف.

2/2 اختبار وفحص التربة [15]:

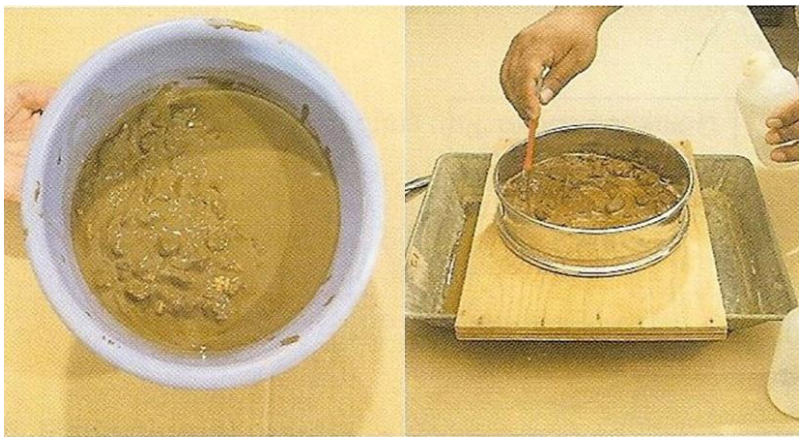
حيث تم في هذه الاختبارات دراسة سلوك التربة وفحص مكوناتها وتحديد مدي جودتها لصناعة الطوب، وكانت هذه الاختبارات كالتالي:

اختبارات الترسُب : لمعرفة نسب الرمل الناعم والطين.
اختبار الغربلة : لمعرفة نسب الحصى بأحجامه المختلفة، ونسب الرمل الخشن.
اختبار الزُرقة : لمعرفة نوع الطين الموجود في التربة.
اختبار الملوحة : لمعرفة نسبة الأملاح في التربة.

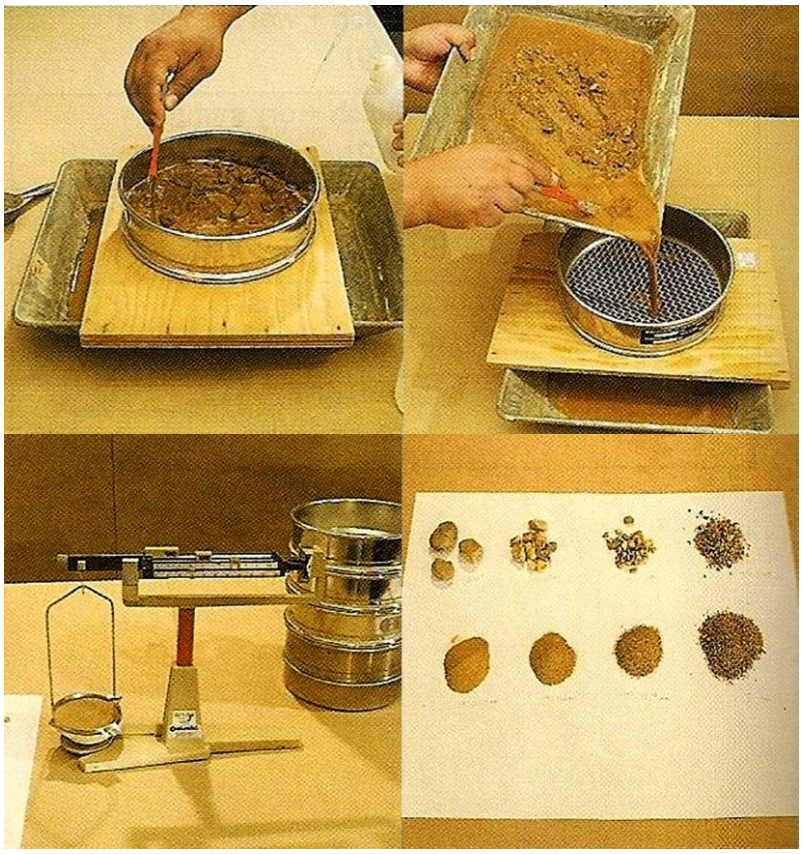
كما **بالأشكال (13)، (14)، (15)، (16)**.



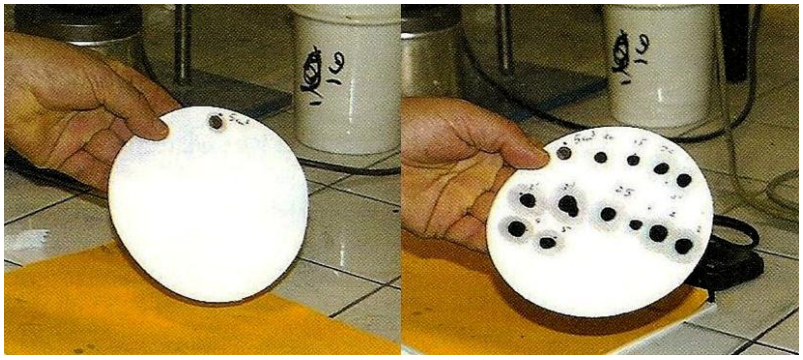
شكل (13) وزن العينة المراد إجراء الاختبار عليها



شكل (14) تبليل العينة بالماء ووضعها في غربال 0.08



شكل (15) المتبقي بغربال 0.08



شكل (16) اختبار الزرقة

3/2 صناعة الطوبة:

1/3/2 خلط التربة:

لصناعة الطوب لابد أولاً من اختيار نوعية التربة الجيدة الصالحة لصناعة الطوب، ولهذا يجب تجربة نوعيات التربة مع بعضها البعض أو منفردة لمعرفة سلوكها وتقييمها.

شكل (17) نخل التربة باستخدام الغرابيل

1/1/3/2 التجربة (1) التربة المستخرجة من طريق الجزائر:

أولاً: إجراء التجربة [16]:

تم فيها دمج جميع أنواع التربة المستخرجة من طريق الجزائر: من الشمال، والشرق، والجنوب، والغرب، التربة البيضاء المنخولة في غربال مائل بزاوية 70° وبزاوية 45°، **شكل (17)**.

جدول (3): أنواع التربة المستخرجة من طريق الجزائر

حالات الخلط باللتر	الحالة الأولى	الحالة الثانية	الحالة الثالثة
تربة من شمال طريق الجزائر	-	36 لتر	24 لتر
تربة من شرق طريق الجزائر	-	36 لتر	24 لتر
تربة من جنوب طريق الجزائر	24 لتر	-	-
تربة من غرب طريق الجزائر	24 لتر	-	-
تربة بيضاء منخولة في غربال مائل بزاوية 70º	-	-	24 لتر
تربة بيضاء منخولة في غربال مائل بزاوية 45º	24 لتر	-	-
كمية الماء	24 لتر	24 لتر	27 لتر
عدد قوالب الطوب الناتج بمقاس 40×25×10 سم	5	5	5

ثانياً: النتائج والتعليقات:

الطوب الناتج كان جيدا ومتماسكاً، ولم يعان من أي تصدع أو تشقق.

2/1/3/2 التجربة (2) التربة الوردية من شمال بستان النخيل:

أولاً: إجراء التجربة:

تم فيها دمج التربة الوردية من شمال بستان النخيل، وهي منخولة في غربال مائل 70º على سطح الأرض ووزنها الحجمي 1060 كجم/م^3، مع التربة البيضاء المنخولة في غربال مائل 70º عن سطح الأرض ووزنها 1360 الحجمي كجم/م^3، **جدول (4)**.

جدول (4): دمج التربة الوردية مع التربة البيضاء

نوع المزيج	الحالة الأولى	الحالة الثانية
حجم التربة الوردية المنخولة في غربال مائل 70º	48 لتر	48 لتر
حجم التربة البيضاء المنخولة في غربال مائل 70º	-	12 لتر
كمية الماء	14 لتر	19.5 لتر
عدد قوالب الطوب الناتج بمقاس 40×25×10 سم	4	+ 4

ثانياً: النتائج والتعليقات:

الطوب الناتج كان جيداً ومتماسكاً، ولم يحدث له أي شقوق، ومع الخلط بنسبة 1 تربة بيضاء : 4 تربة وردية كانت القوالب أكثر قوة وتماسكاً.

3/1/3/2 التجربة (3) تربة طريق الجزائر (التربة الصفراء) من موقع معين:

أولاً: إجراء التجربة:

والتي تم فيها دمج تربة طريق الجزائر (التربة الصفراء) من موقع معين، وكان وزنها 1440 كجم/م^3 المستخدمة في التجربة، مع التربة البيضاء من بستان النخيل، وبوزن 1360 كجم/م^3 والمنخولة في غربال مائل بزاوية 70 درجة من الأرض.

جدول (5): دمج تربة طريق الجزائر مع التربة البيضاء

نوع المزيج	الحالة الأولى	الحالة الثانية	الحالة الثالثة
التربة الصفراء من طريق الجزائر	48 لتر	48 لتر	36 لتر
تربة بيضاء منخولة في 70º	-	24 لتر	12 لتير
كمية الماء	14 لتر	16 لتر	16 لتر
عدد الطوب الناتج	4	4	4

ثانياً: النتائج والتعليقات:

الطوبات الناتجة كانت جيدة ومتماسكة، ولكن عندما أُجري لها اختبار التنقيط للمياه، وذلك لمعرفة تحملها لمياه الأمطار فكان سلوكها غير جيد مما نستنتج عدم تحملها لمياه الأمطار.

2/3/2 إضافة مواد تحسينية للتربة:

في محاولة للحصول على طوبة أكثر تماسكاً، والقضاء على عملية التشقق في الطوب تم إضافة الجير الصناعي والجبس المحلي والجبس الصناعي من طرابلس والاسمنت المقاوم للأملاح لأنواع التربة الموجود محلياً، وكانت في تجارب متتالية، يمكن تلخيصها في الحالتين التاليتين:

1/2/3/2 التجربة (1) دمج تربة طريق الجزائر من الجانب الغربي للطريق:

أولاً: اجراء التجربة (1):

في هذه التجربة يتم دمج تربة طريق الجزائر من الجانب الغربي للطريق، والتربة البيضاء المنخولة أولا في غربال مائل 70^{o} على الأرض، ثم في غربال مائل بزاوية 45^{o} على الأرض مضافة إليهما المواد المضافة المذكورة سابقا حيث بلغ الوزن الحجمي للكتلة 1550 كجم/م^3 [1].

جدول (6): دمج تربة طريق الجزائر مع التربة البيضاء مضاف اليها مواد أخرى

نوع المزيج	الجير	الجبس المحلي	جبس طرابلس	اسمنت
تربة غرب طريق الجزائر	36 لتر	36 لتر	36 لتر	36 لتر
تربة بيضاء منخولة في غربال مائل 70^{o}	36 لتر	36 لتر	36 لتر	36 لتر
حجم المادة المضافة للتوازن	12 لتر	5.8 لتر	8.5 لتر	5.3 لتر
النسبة المئوية للمادة المضافة لوزن التوازن	6.66 %	6.65 %	6.56%	6.51 %
كمية الماء	30 لتر	24 لتر	30 لتر	29 لتر
عدد الطوب	7	6	7	7
وزن الحجمي للكتلة	620 كجم /م^3	1280 كجم /م^3	860 كجم /م^3	1370 كجم /م^3

ثانياً: النتائج والتعليقات:

تصدع وتشقق الطوب الناتج من إضافة الجير الصناعي فقط إلى خليط التربة بعد يوم أو يومين من صبه.
أما الطوب الناتج من إضافة المواد الأخرى فهو أفضل حالاً.
وبهذا نستنتج أن خلط الجير وحده مع خليط التربة لا يمنع عملية التشقق بالطوبة الناتجة.

2/2/3/2 التجربة (2) دمج أنواع الأتربة من شمال طريق الجزائر وشرق طريق الجزائر:

أولاً: اجراء التجربة (2):

تم بهذه التجربة دمج بعض أنواع الأتربة، وهي: تربة شمال طريق الجزائر وشرق طريق الجزائر والتربة البيضاء المنخولة في غربال مائل 70^{o} حيث بلغ وزن الحجمي للكتلة 1340 كجم/م^3 مع المواد المضافة المذكورة سابقا في التجربة الأولي.

جدول (7): دمج أنواع معينة من تربة الجزائر مع إضافة مواد أخرى إليها

نوع المزيج	الجير	الجبس المحلي	جبس طرابلس	أسمنت
تربة شمال طريق الجزائر	24 لتر	24 لتر	24 لتر	24 لتر
تربة شرق طريق الجزائر	24 لتر	24 لتر	24 لتر	24 لتر
التربة البيضاء	24 لتر	24 لتر	24 لتر	24 لتر
حجم المادة المضافة للتوازن	10.3 لتر	5 لتر	7.3 لتر	4.6 لتر
النسبة المئوية للمادة المضافة للتوازن	6.66 %	6.63 %	6.52%	6.54 %
كمية الماء	27 لتر	27 لتر	27 لتر	29 لتر
عدد قوالب الطوب	6.5	6	7	6
الوزن الحجمي للكتلة	620 كجم /م^3	1280 كجم /م^3	860 كجم /م^3	1370 كجم /م^3

ثانياً: النتائج والتعليقات:

بنفس معطيات التجربة السابقة فان الطوب الناتج من إضافة الجير الصناعي تصدع وتشقق بعد يوم أو يومين أو أربعة أيام من صبه.

أما الطوب الآخر فقد ظهر أنه أفضل حالاً وأكثر استقرار.

3/2/3/2 التجربة (3) دمج أنواع الأتربة من تربة طريق الجزائر والتربة البيضاء والتربة الوردية (تربة المزارع):

أولاً: اجراء التجربة (3):

تقتصر هذه التجربة على إضافة مادة الجبس فقط كمادة رابطة إلى أنواع التربة السابقة، وكانت بأحجام مختلفة **شكل (18)**، كالآتي:

الوزن الحجمي كتلة التربة الصفراء: 1440 كجم/م^3.

الوزن الحجمي كتلة التربة البيضاء: 1360 كجم /م^3.

الوزن الحجمي لكتلة التربة الوردية (تربة المزارع): 1060 كجم /م^3.

الوزن الحجمي لكتلة التربة السوداء: 1440كجم/م^3 والوزن الحجمي لكتلة الجبس المصنع :860 كجم/م^3.

شكل (18) اجراء التجربة

جدول (8) يبين إضافة الجبس إلى التربة بأنواعها [17]

نوع المزيج	أ	ب
تربة طريق الجزائر	-	120 لتر
التربة البيضاء	60 لتر	-
التربة الوردية (تربة المزارع)	60 لتر	-
التربة السوداء	-	120 لتر
حجم كتلة الجبس	22 لتر	19.5 لتر
النسبة المئوية لوزن الجبس	%6.61	% 6.62
كمية الماء	50 لتر	55 لتر
عدد الطوب	16	15

ثانياً: النتائج والتعليقات:

الطوب الناتج (أ) لم يحدث له تصدع أو تشقق حيث ظهرت بصورة جيدة ولكن التربة السوداء (ب) لم تكن قوية جدا، وتم معرفة ذلك بعد ترك الطوبة مدة يوم أو أكثر في الهواء الطلق تحت أشعة الشمس وتركها لتجف وانتظار ما سيحدث لها، **شكل (19)**.

النموذج (ب) النموذج (أ)

شكل (19) يوضح شكل الطوب الناتج من إضافة الجبس للتربة

3/4/2 اختبار الطوب:

بعد الانتهاء من التجارب التي أجريت على أنواع التربة المختلفة، ومحاولة إضافة مواد تحسينية إليها، ومعرفة الخلطة المناسبة كان لزاماً إجراء بعض الاختبارات على الطوب الناتج لمعرفة قوة تحمله وهذه الاختبارات هي:

1. اختبار الضغط (Compressive Strength Test) لمعرفة قوة تحمل الطوب للضغط.
2. اختبار الامتصاص (Capillary Absorption Test) لمعرفة سرعة امتصاص الطوب للماء.
3. اختبار المطر (Tain Test) لإيجاد كمية الفاقد من الطوبة نتيجة تساقط مياه الأمطار عليها.
4. اختبار الاحتكاك (Abrasive Strength Test) لمعرفة مدي مقاومة الطوب للعوامل الجوية والخدش.
5. اختبار لمعرفة قوة العزم لطوب (Tensile Strength Test).

عقب الانتهاء من جميع الاختبارات السابقة الذكر، تم التوصل إلى إنتاج أول طوبة وكانت من (تربة المزارع + تربة بيضاء + الجبس) نسب الخلطة كما في التجربة (3) بجدول رقم (8) النموذج (أ)، وتم استعمالها في العديد من الأماكن في المدينة القديمة، وبالتحديد في أسوار المدينة، وتم تجربتها تحت العوامل الجوية طول العام؛ ووجدت جيدة وإنما تحتاج إلى مزيد من الدراسة والتجارب للوصول إلى أفضل النتائج.

3. النتائج والتوصيات:

1/3 النتائج:

توصل البحث إلى النتائج التالية:

- كانت صناعة أول طوبة وخلطتها من التربة الطينية فقط بدون إضافة أي مواد أخرى دون المستوى المطلوب، حيث ظهرت بها عيوب كثيرة، فتم استبعادها ولم يتم إنتاج المزيد منها.
- أجريت التجارب لزيادة قوة الطوبة الناتجة عن التربة الطينية وزيادة تماسكها وتقليل التشقق الناجم عن خلل عدم انسجامها مع الأتربة الاخرى، وذلك بإضافة بعض العناصر، وهي: الجير الصناعي، الجبس المحلي، الجبس الصناعي، الاسمنت المقاوم للأملاح.
- تم انتاج طوبة جديدة تفوقت في المواصفات عن سابقاتها، حيث تكونت خلطتها من: تربة المزارع+ التربة البيضاء + الجبس طبقا لجدول (8)، وبذلك ثبتت صحة فرضية البحث الأولى.
- أثبت البحث صحة الفرضية الثانية، حيث وجد أن الطين مادة عازلة جيدة للحرارة، وهو ما يعد قيمة مضافة عند بناء المدن الصحراوية، فضلا عن أنه سيوفر بالتالي استهلاك الطاقة كمطلب أساسي للاستدامة.
- بالنسبة لإضافة مواد أخرى إلى التربة الطينية، وهل تزداد قوة ومتانة؟ وللتحقق من ذلك فقد تم إجراء التجارب بإضافة عدد من مواد إلى أنواع التربة الطينية الموجودة في المدينة كما ذكر آنفا، فوجد أن بعض المواد تنسجم مع أنواع معينة من تربة المدينة والبعض الأخر لا تنسجم، وبهذا فإن الفرضية في هذا الجانب تحققت نسبياً، طبقا للجدول (7).
- في الوقت الذي أثبتت فيه الدراسة الفرضيات فقد قدمت إجابة للتساؤلات الأربعة المطروحة ولتثبت أن استخدام الطين في بناء المدن الصحراوية بنوع من المحلية واستناداً إلى المقومات البشرية والتقنية المتاحة إنما يساعد في تأصيل ودعم الاستدامة بها وبخاصة مع تعمق الدراسات التي تكشف النقاب عن مواد واضافات جديدة تسهم في تطوير وتحسين الطوبة الطينية المستخدمة في بناء المدن الصحراوية بوجه عام وببيئة الدراسة بوجه خاص.

2/3 التوصيات:

من نتائج الدراسة يمكن طرح التوصيات التالية:

- ضرورة التركيز على مواد البناء المحلية بمرحلة الدراسة لتوجيه البحث فيها صوب تحقيق متطلبات الاستدامة.
- ضرورة تأسيس مركز لتعليم وتدريب الفنيين لإعداد جيل مدرب على التعامل مع المواد المحلية من خلال مداخل دعم وتأصيل الاستدامة.
- يؤكد البحث على أن استخدام مادة الطين ليست دعوة للرجعية أو الرجوع بالعمارة إلى الوراء؛ بل يدعو إلى تطوير صناعته وابتكار أفكار إنشائية جديدة تتماشى معه وتعتمد عليه لتفعيله بالنظر لتوافره.
- بذل الجهد في تطوير متانة الطين، والبحث عن أساليب ناجحة واقتصادية للحماية السطحية لمقاومة تأثير المياه، والرياح المحملة بالرمال.
- دعم التوعية بمميزات مادة الطين إنشائياً، ونشر المعلومات عنها، وإقامة المعارض والمحاضرات وحلقات النقاش والندوات إلى غير ذلك من الوسائل التي تسهم في تقبُّل البناء بها، وتشجِّع على استخدامها كتوجه يعود من جديد للاستخدام بفكر حداثي.

4. المراجع:

[1] Gernot Minke. (2006). **Building with Earth – Design and Technology of a Sustainable Architecture.** Birkhauser – Publishers for Architecture. Basel, Switzerland. ISBN-13: 978-3-7643-7477-8. P. 11.

[2] Ayman Alsuliman, Lena Suliman, (March 2016). **Mud Architecture and the Prospects of Its Sustainability.** Published Paper. Available at: https://www.researchgate.net/publication/297032349. Accessed at: 6/4/2016. P. 4.

[3] جلال بشير سرسم، سعيد عبد العالي: **"المواد الإنشائية"**، اليازوري، عمان، الأردن، 2006.

[4] محمد علي الكاتب: **مشروع الرحمة للإسكان الخيري**. Available at: http://shakirycharity.org/index_A.php?id=145&artid=1139;19/3/2016:?

[5] د. منصور بن عبد العزيز الجديد: **"عمارة الطين في البلاد العربية والبلاد الغربية طرق البناء السائدة ومحاور التطوير المقترحة"**، ورقة بحث منشورة بمجلة مركز بحوث ودراسات المدينة المنورة، العدد رقم 8، شوال 1424.

[6] محمد رامز: **"التخطيط الشامل لصناعة طوب البناء في مصر"**، التقرير النهائي المقدم إلى وزارة التعمير والمجتمعات الجديدة والإسكان والمرافق، معهد بحوث البناء، القاهرة، 1988.

[7] سات بريم: محاضرة بعنوان: **"الهندسة المعمارية الطينية للبيئة المستدامة وتكنولوجيا ضغط التربة"**، مدير معهد أورفيل للبناء بالتربة في الهند، قاعة مركز الملك العزيز التاريخية، الرياض، بتاريخ 2005/1/2.

[8] محسن محمد إبراهيم: **"العمارة المستدامة"**، بحث منشور بالمؤتمر العلمي الأول، لقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مؤتمر: العمارة والعمران في إطار التنمية، المحور الأول: التنمية المعمارية والعمرانية والاستدامة، 2006.

[9] Stanley Agbonifo. *Op. Cit.* P. 3.

[10] أسامة عبدالنبي قنبر: **"مواد البناء: مدخل لاستدامة منظومة التشييد بمدينة طنطا"**، بحث منشور بمجلة القطاع الهندسي، كلية الهندسة- جامعة الأزهر، العدد 25، المجلد السابع، أكتوبر 2012، القاهرة، مصر، الصفحات 2083-2095.

[11] Ayman Alsuliman, Lena Suliman. *Op. Cit.* P. 18.

[12] Down to Earth - Building Materials: **Natural, Healthy& Sustainable Building Materials**. Available at: http://www.buildnaturally.com/EC. Accessed at: 9/5/2004.

[13] وليد عبد السلام فريوان: **"دراسة مادة الطين لإعادة استخدامها في بناء المدن الصحراوية"**، رسالة ماجستير في العلوم الهندسية، شعبة الهندسة المعمارية - كلية الهندسة - أكاديمية الدراسات العليا – جنزور - ليبيا، (2009)، ص 102-145.

[14] تقرير معهد الكرتير للبناء بالطوب لجهاز تطوير المدينة القديمة بغدامس، حول مراحل سير العمل والمستوي الذي وصل إليه تطوير وإنتاج طوبة جديدة، 2008.

[15] CDE "Center for the development of enterprise. (2000). **Compressed Earth Blocks: Testing Procedures**. ISBN 2-906901-28-8.

[16] تقرير معهد الكرتير لجهاز تطوير مدينة غدامس القديمة: مرجع سابق، ص 31.

[17] تقرير معهد الكرتير لجهاز تطوير مدينة غدامس القديمة: نفس المرجع السابق، ص45.