

# فحص خصائص الطوب الطيني المستخدم في البناء بوادى حضرموت - الجمهورية اليمنية

## The Properties of Mud Bricks Used in Building Construction in Hadhramout Valley - Yemen

محمد عبدالله السقاف<sup>(2)</sup>

مشعل أحمد شيبان<sup>(1)</sup>

(1) أستاذ مساعد بقسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة والبترو - جامعة حضرموت.  
(2) أستاذ دكتور بقسم الهندسة المعمارية والتخطيط البيئي - كلية الهندسة والبترو - جامعة حضرموت.

### ملخص البحث:

تجارب مختبرية لمعرفة خصائص الطين المستخدم ومقاومة الطوب الطيني المستخدم في البناء حالياً. حيث اجريت تجارب لتحديد نسب الخلط بين الطين والتبن لتحسين مقاومة الضغط، والتجارب اثبتت ان نسبة ٢٪ تبن بالوزن الى نسبة الطين هي النسبة الأفضل للحصول على اقوى مقاومة للضغط على المدر. وهي النسبة التقريبية التي ننصح باستخدامها في البناء.

البناء بمادة الطين مع التبن والطوب الطيني (المدر) مازال هو نظام البناء السائد في وادي حضرموت منذ مئات السنين، ويغلب عليه الحفاظ على الطرق التقليدية للبناء، ورغم انه نظام شائع في وادي حضرموت الا انه ينقصه إجراء التجارب والفتوحات المختبرية للتأكد من مدى جودة ودرجة الامان لتلك الاساليب التقليدية في ظل التغيير الشديد في التوزيع المعماري الداخلي، وابعاد ومساحات الغرف، وكذلك التغييرات المناخية. سعى هذا البحث لأجراء

### ABSTRACT:

Construction with clay and mud bricks is still the traditional building system that exists in Hadhramout valley since hundreds of years until today. It is characterized by preserve the traditional methods of construction. Although, it is a common system in Hadhramout valley, it is without experimental laboratory testing to assure safely construction. This traditional method of mud construction is still in the same way though that there are great changes in the internal architecture design, the dimensions and areas of rooms, and the local climate change. In this research,

an experimental tests are done to know the properties of the clay, mud bricks that normally used in construction of mud buildings. The mixing ratios of clay and straw to improve compressive strength of mud bricks are tested. The experiment results show that 2% straw to clay weight ratio is the best mixing ratio to obtain the highest compressive strength of mud bricks. This mixing ratio is recommended to be used in mud construction in Hadhramout valley.

## 1. المقدمة:

البناء بالطوب الطيني التقليدي في العمارة بمحافظة حضرموت - الجمهورية اليمنية - يعتبر مظهر حضاري وبيئي ورمز تاريخي حافظ عليه السكان منذ مئات السنين، وتعتبر مدينة شبام التاريخية اول ناطحة سحاب بنيت منذ أكثر من خمسمائة عام وكل مبانيها من الطوب الطيني (المدر)، ومازال يستخدم الى يومنا هذا بشكل واسع بمختلف مدن وادي حضرموت. تحديد مقاومة الضغط للطوب الطيني وجدران الطين هي الهدف الرئيسي من هذا البحث لما لها من اهمية في تصميم ابعاد ومقاطع الجدران وتحديد عامل الامان للمباني القديمة والحديثة. مقاومة الضغط للطوب الطيني التقليدي (المدر) المستخدم في وادي حضرموت لم يفحص من قبل باستثناء دراسة اولية اجراها (رموضة واخرون ١٩٨٨). في تلك الدراسة أجرى الباحثون فحوصات مبدئية حول الطوب الطيني ووجد الباحثون ان مقاومة الضغط للطوب الطيني تحسنت بإضافة نسبة بسيطة من التبن. على الجانب الاخر Quagliarini and Lenci (2010) فحصوا مقاومة الضغط للطوب الطيني مع نسب مختلفة من التبن والرمل. لاحظ هؤلاء بان اضافة التبن لا يؤثر بشكل جوهري على مقاومة ضغط الطوب. ايضاً Yetgin et. Al. (2008) فحصوا مقاومة الضغط والشد لطوب الطيني بنسب مختلفة من التبن، هؤلاء وجدوا ان مقاومة الضغط والشد تنخفض مع زيادة نسبة التبن. هذا التناقض بخصوص تأثير التبن على مقاومة الضغط للطوب الطيني يستدعي اجراء المزيد من الدراسات والبحوث لإيضاح سبب التناقض، وهذا أحد اهداف هذا البحث.

Morel et. al. (2007) بحثوا مقاومة الضغط للطوب الطيني بعدة طرق (فحص الضغط المباشر، فحص RILEM، فحص مقاومة الانحناء). هؤلاء درسوا تأثير الكثافة الجافة، محتوى الاسمنت، المحتوى المائي للطوب الطيني، ووجدوا انه (١) مقاومة الضغط للطوب الطيني المضغوط تتناسب بقوة مع الكثافة الجافة للطين، (٢) مقاومة الضغط تزداد خطياً مع زيادة نسبة الاسمنت، (٣) المقاومة للضغط تقل كلما زاد المحتوى المائي للطوب الطيني المضغوط. هؤلاء استنتجوا انه هناك حاجة لأبحاث أكثر لمعرفة تأثير شكل العينات على مقاومة الضغط والحاجة الى فحص موحد عالمي مقبول من الجميع. Heath et. al. (2009) استنتجوا نتائج متشابهة للنقطتين (١) و(٢) المذكورة سابقاً.

Silveira et. al. (2012) فحصوا عينات اسطوانية من الطين تحت تجربة الضغط المباشر او تجربة الانقسام، العينات لهؤلاء اخذت من لب من جدران طينية اثرية من مباني

موجودة في البرتغال، نتأجهم يمكن استخدامها لعمليات ترميم للمباني الاثرية، Silveira (2013) et. al. فحصوا عينات اكثر تحت تجربة مقاومة الانحناء لعينات مكعبة ايضاً، وللأسف خصائص ومكونات العينات المستخدمة لم تعرض في كلا البحثين المذكورة مما يشكل ضعف لعملية مقارنة نتأجهم.

Binici et. al. (2005) فحصوا طوب طيني تقليدي مع نسب واحجام واشكال مختلفة من الالياف الرابطة، هولاء فحصوا طوب طيني به الياف بلاستيكية، والياف من التبن، والياف بوليسترين، وثلاث اشكال مختلفة من الالياف. هولاء وجدوا ان الالياف البلاستيكية اعطت اعلى مقاومة ضغط، بالرغم ان هذا الالياف اعطت مقاومة كبيرة الا ان اشتراط وضعيه الالياف وترتيبها يعتبر ضعف لهذه التقنية.

الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو ايجاد خصائص الطوب الطيني التقليدي المستخدم في البناء بوادي حزموت، وايجاد أفضل نسب الخلط بين الطين والتبن للطوب الطيني والبناء بالطين المحلي. نتأج التجارب ستكون مفيدة للمهندسين الذين يصممون المباني الطينية في حزموت. ايضاً فحص عينات من مباني طينية قديمة ومقارنتها مع الطوب المستخدم حالياً.

## 2. الهدف من البحث:

الطوب الطيني التقليدي المستخدم في حزموت تم اجراء فحوصات وتجارب عليه لمعالجة النقص الشديد في البيانات بهذا الخصوص. مثل مقاومة الضغط، المحتوى المائي، الكثافة، ونسب الخلط بين الطين والتبن تم فحصها للطوب الطيني التقليدي. توفر مثل تلك البيانات والنتائج يعتبر اساسي للمهندسين المصممين في مواقع البناء بالطين، والسعي لفهم خصائص الطين ونسب خلط الطين والتبن يعتبر جزء اساسي لهذا البحث.

## 3. برنامج الفحوصات:

برنامج الفحص تم اعداده لفحص خصائص الطين والطوب الطيني. خصائص ونسب مكونات الطوب الطيني ونسب الخلط وتفاصيل التجارب سيتم شرحها في الاقسام التالية.

### ٣.١ خصائص المواد:

العينات اخذت من طين تقليدي مستخدم لصناعة الطوب الطيني في المعامل المحلية لإنتاج الطوب المحلي بمدينة سيئون - حزموت - الجمهورية اليمنية. تم عمل تحليل منخلي قياسي حسب المواصفات ASTM C117 وASTM C136 لتحديد التوزيع الحجمي لحبيبات

التربة الطينية المستخدمة في هذه الدراسة. المحتوى الرطوبي للطين تم قياسه حسب التجربة القياسية ASTM C566. الكثافة الظاهرية للطين المستخدم والكثافة الكلية الجافة للطين تم قياسهما بحسب التجربة القياسية ASTM C128. حدود اتريج للطين المستخدم في الدراسة قيست حسب المواصفات ASTM D4318.

الياف التين اخذت من عينات تستخدم لصناعة الطوب الطيني في المعامل المحلية وتم استخدامها في تحضير كل عينات هذه الدراسة. تم ايجاد متوسط الاطوال والاقطار للتين المستخدم. وكذلك تحديد المحتوى المائي للتين.

### ٣.٢ نسب الخلط:

تم اعتماد نسب خلط التين مع الطين بخمس نسب وزنية مختلفة (٠,٧٥٪، ١,٥٪، ٢,٠٪، ٢,٥٪، ٣,٥٪). ولفحص مقاومة الضغط تم اعداد ١٢ مكعب بمقاس ٥٠×٥٠×٥٠ ملم لكل نسبة خلط (انظر شكل رقم (١)). تم الخلط بنسبة ماء تسمح بتشكيل العينات ووضعها في القالب لتجف (مثلما هي النسب المستخدمة بالسوق المحلي في تصنيع الطوب الطيني). في دراسة اولية تم اعتماد ابعاد الطوب الطيني المستخدم محلياً ولكن للأسف فشلت عملية الفحص نظراً للارتفاع الصغير للطوب الطيني مقابل ابعاده الكبيرة الأخرى (انظر شكل رقم (٢))، ولاحظ الباحثين ان هذه المشكلة قد واجهت غيرهم من الباحثين (Aubert et. al (2013))، لذا تم اعتماد المكعبات المتساوية الابعاد (٥٠ ملم) للفحص بهذه الدراسة.



شكل رقم (١): مكعبات الطين بمقاس ٥٠×٥٠×٥٠ ملم جاهزات لفحص الضغط.



شكل رقم (٢): فحص العينات الاولية ذات مسطح كبير مقارنة بالارتفاع.

### ٣.٣ تجفيف العينات:

تم تجفيف العينات مثلما هو متعامل به بالسوق المحلي لتصنيع الطوب الطيني بتركها تجف تحت اشعة الشمس، وفترة التجفيف لا تقل عن ٢٨ يوماً.

### ٣.٤ فحص العينات:

تم فحص العينات بجهاز فحص ضغط ELE لفحص مقاومة الضغط بسرعة تحميل بطيء بحيث تنكسر العينة خلال ١ - ٢ دقيقة (انظر شكل رقم (٣)). وتم عمل تحليل احصائي لكل مجموعة عينات متشابه ذات نسب خلط واحده، وتم استبعاد العينات الى تختلف بأكثر من ١ معامل انحراف معياري.

### ٣.٥ عينات من مباني تاريخية:

تم ايضاً احضار عينات من جدران لمبنيين طينيين أحدهما عمره ١٠٠ سنة والثاني عمره حوالي ٢٠٠ سنة من مباني مدينة شبام التاريخية، تم استخراج خمس عينات (مكعبات بمقاس ٥٠×٥٠×٥٠ ملم) من مواضع مختلفة من جدران تلك المبنيين، وتم فحص مقاومة الضغط لهم، وجراء فحوصات نسبة التين في الطين لتلك العينات.



شكل رقم (٣): فحص مكعبات الطين لقياس مقاومة الضغط.

#### 4. نتائج التجارب ومناقشتها:

##### ٤. ١ نتائج فحص خصائص الطين:

العينات التي اخذت من طين تقليدي مستخدم لصناعة الطوب الطيني في المعامل المحلية لإنتاج الطوب المحلي بمدينة سيئون - حضرموت - اليمن. تم عمل تحليل منخلي قياسي حسب المواصفات ASTM C117 و ASTM C136 لتحديد التوزيع الحجمي لحبيبات التربة الطينية المستخدمة في هذه الدراسة. والجدول رقم (١) يبين نتائج التوزيع الحجمي لحبيبات التربة الطينية المستخدمة في هذه الدراسة. وبين التحليل المنخلي بان نسبة الرمل بالعينة قليلة جداً حوالي 3%، وان العينة عبارة عن طمي وطين. المحتوى الرطوبي للطين تم قياسه حسب التجربة القياسية ASTM C566 و جدول رقم (٢) يبين نتائج فحص أربع عينات مختلفة عشوائية، وكان متوسط المحتوى الرطوبي للطين المستخدم هو 2.93%. شكل رقم (٤) يبين عينات التربة الطينية بالفرن لفحص المحتوى الرطوبي. نتائج فحوصات الوزن النوعي الجاف للتربة الطينية المستخدمة موضحة بالجدول رقم (٢) وكان متوسط الوزن النوعي الجاف يساوي 2300 كجم/م<sup>٣</sup>. حدود اتربرج للطين المستخدم في الدراسة قيست حسب المواصفات ASTM D4318 وكانت حد اللدونة (P.L.) 30% وحد السيولة (L.L.) 41%. هذه النتائج تعتبر خصائص التربة الطينية المستخدمة بمدينة سيئون والتي يتم احضارها من منطقة تاربة

(بين مدينة سيئون وتريم)، ويمكن للمهندسين استخدام هذه القيم لخصائص الطين عند التصميم للمباني الطينية.

الياف التبن المستخدمة في هذه الدراسة اخذت من عينات تستخدم لصناعة الطوب الطيني في المعامل المحلية، وتم قياس متوسط الاطوال للتبن حيث بلغ 19 ملم ومتوسط الاقطار للتبن يبلغ 1.8 ملم. وبلغ المحتوى المائي للتبن 7٪. شكل رقم (٥) يبين تحضير عينات التبن للفحوصات.

جدول رقم (١): نتائج التوزيع الحجمي لحبيبات التربة الطينية المستخدمة في هذه الدراسة

مقاس المنخل (mm)	نسبة المار %
4.75	100
2	99.5
0.425	99.0
0.075	97.0

جدول رقم (٢): نتائج المحتوى الرطوبي والوزن النوعي الجاف للتربة الطينية المستخدمة في هذه الدراسة

رقم العينة	المحتوى الرطوبي %	الوزن النوعي (kg/m <sup>3</sup> )
1	3.05	2300
2	2.85	2200
3	2.70	2200
4	3.12	2400



شكل رقم (٤): عينات التربة الطينية بالفرن لفحص المحتوى الرطوبي.



شكل رقم (٥): تحضير عينات التين للفحوصات

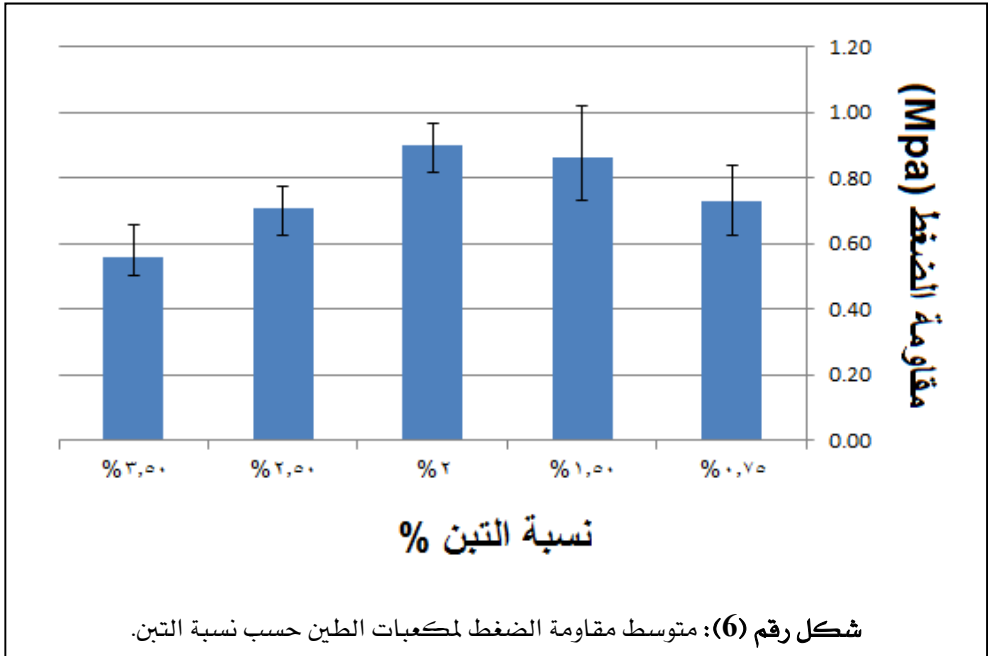
#### ٢.٤ نتائج فحص مقاومة الضغط:

تم اجراء فحص مقاومة الضغط لمكعبات الطين المحضرة حسب نسب خلط التين المختلفة كنسب وزنية هي (٠,٧٥٪، ١,٥٪، ٢,٠٪، ٢,٥٪، ٣,٥٪). جدول رقم (٣) يبين نتائج مقاومة الضغط لكل العينات. ثم تم عمل تحليلي احصائي لكل نسبة خلط بحيث تم استبعاد العينات الشاذة والتي تبعد عن متوسط المقاومة بمقدار ١ معامل انحراف معياري. شكل رقم (6) يوضح متوسط مقاومة الضغط لمكعبات الطين حسب نسبة التين وكذلك مدى أدنى وأعلى قيم لمقاومة الضغط للمكعبات بعد التحليل الاحصائي. وتم قياس كثافة المكعبات التي فحص وشكل رقم (٧) يبين متوسط كثافة مكعبات الطين حسب نسبة التين.

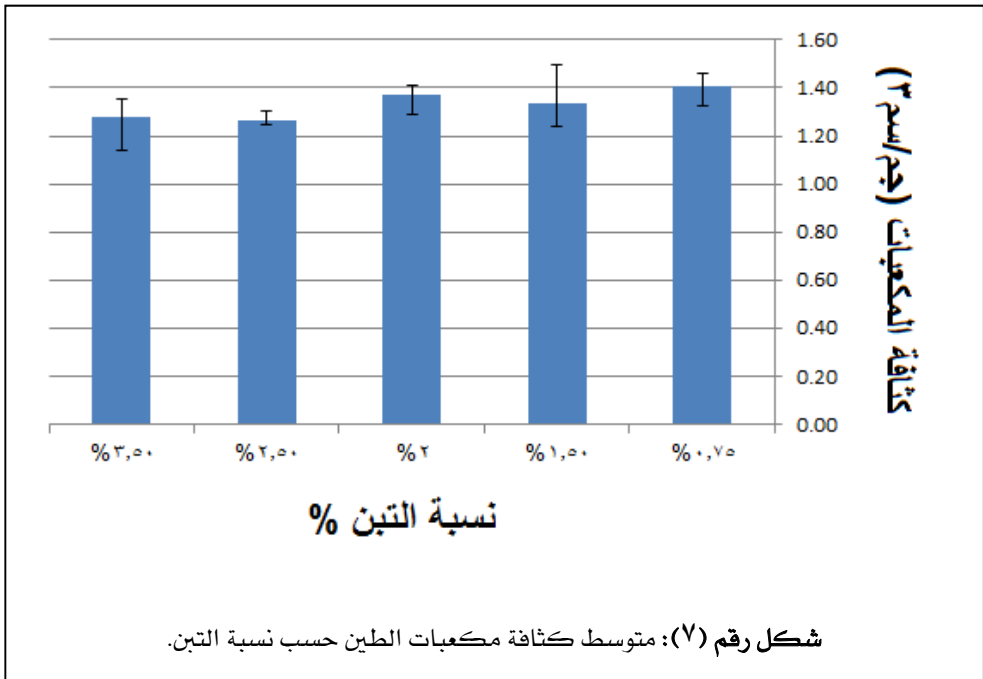


جدول رقم (٣): نتائج مقاومة الضغط لمكعبات الطين.

مقاومة الضغط (MPa)												العينة نسبة التبن
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.60	0.75	0.69	0.89	0.63	0.60	0.57	0.84	0.71	0.95	0.67	0.90	0.75%
0.94	0.83	0.93	0.79	0.73	0.64	0.76	1.02	0.87	0.95	1.28	0.81	1.50%
0.84	0.82	0.93	0.92	0.97	1.10	1.12	0.64	0.82	0.89	0.97	0.96	2.00%
0.64	0.55	0.45	0.76	0.68	0.76	0.78	0.69	0.83	0.72	0.63	0.72	2.50%
0.60	0.53	0.66	0.56	0.58	0.57	0.53	0.50	0.57	0.53	0.56	0.53	3.50%



من الشكل رقم (٦) نلاحظ ان أفضل نسبة خلط التبن بالطين هي 2%، فاذا قلت او زادت نسبة التبن عن تلك النسبة نلاحظ هبوط في مقاومة الضغط للطين. وهذا يؤكد ان نسبة التبن في الطين لها دور في مقاومة الضغط ويجب الانتباه لكمية التبن عند تجهيز الطوب الطيني. ومن الشكل رقم (٧) نلاحظ انه كلما زادت نسبة التبن انخفضت الكثافة وهذا شيء طبيعي وان كان الانخفاض بشكل بسيط. ويفحص نسبة التبن الى الطين لعدد من عينات الطوب اخذت من معامل تصنيع الطوب المحلية لاحظنا ان اغلب العينات تحتوي على نسبة تبن حوالي 2%. وهذا يعطي انطباع من خبرة العمال المحليين الذين مارسوا واكتسبوا العمل بالخبرة عبر السنين. لوحظ ايضاً ان قيمة مقاومة الضغط ضئيلة جداً اقل من 1.0 MPa وهي قيمة قليلة ونحتاج لدراسة اسباب هذا الضعف ببحث مستقبلي اخر يقارن نسبة خلط الماء بالطوب الطيني مع مقاومة الضغط.



### ٣.٤ نتائج فحص مكعبات مباني شبام القديمة:

عشر عينات احضرت من جدارين لمبنيين طينيين أحدهما عمره ١٠٠ سنة والثاني عمره حوالي ٢٠٠ سنة من مباني مدينة شبام التاريخية، بمعدل خمس عينات لكل مبنى (مكعبات بمقاس ٥٠×٥٠×٥٠ ملم) من مواضع مختلفة من جدران تلك المبنيين، وتم فحص مقاومة الضغط لهم، وأجراء فحوصات نسبة التبن في الطين لتلك العينات. جدول رقم (٤) يبين مقاومة الضغط لتلك التي اخذت من مباني شبام التاريخية وكانت النتيجة مقاومة الضغط اقل من العينات التي تم تحضيرها وفحصها بطين مستخدم حالياً. ولوحظ انه عندما زادت نسبة التبن في عينات مبنى ال ١٠٠ سنة عن 2٪ انخفضت مقاومة الضغط في تلك العينات مقارنة بعينات مبنى ال ٢٠٠ سنة. ويبدو ان نقصان مقاومة الضغط لعينات شبام التاريخية عن القيم التي تحصلنا عليها من العينات الجديدة قد يكون بسبب نسب خلط الماء والتي لا نستطيع تحديدها ولها دور كبير في تغير مقاومة الضغط.

جدول رقم (٤): نتائج مقاومة الضغط والنسبة المئوية للتبن بمكعبات الطين من بيوت شبام.

متوسط نسبة التبن %	مقاومة الضغط (MPa)						العينة عمر العينة
	المتوسط	5	4	3	2	1	
1.9	0.50	0.44	0.69	0.39	0.48	0.48	سنة 200
3.6	0.43	0.43	0.38	0.38	0.53	0.41	سنة 100

### 5. الاستنتاجات:

تمت دراسة خصائص مادة الطين المستخدم للبناء بوادي حضرموت، حيث قيست العديد من خصائصه والتي ستستخدم من قبل المهندسين والباحثين بالمستقبل كأساس لتصميم وتنفيذ ودراسة المباني الطينية. تم بحث أفضل نسب خلط التبن مع الطين لإنتاج الطوب الطين والبناء الطيني، ومن النتائج استنتجنا ان نسبة الخلط بالوزن بمقدار 2٪ للتبن الى الطين هي أفضل نسبة خلط للحصول على اعلى مقاومة للضغط للطوب الطيني. تم قياس مقاومة الضغط للطوب الطيني المستخدم في مباني شبام التاريخية وتحديد نسب خلط التبن فيها. يوصي الباحث بإجراء المزيد من الابحاث بخصوص أثر نسب خلط الطين بالماء على مقاومة الضغط.

## 6. المراجع:

1. رموضة، سالم عوض، ومبارك، صالح احمد، وحشور، احمد ابراهيم (١٩٨٨) الخصائص الهندسية لمدينة شبام، الندوة العلمية لصيانة مدينة شبام واثار وادي حضرموت، كلية التربية، جامعة عدن، عدن.
2. Auberta, J.E.; Fabbri, A.; Morel, J.C.; Maillard, P. (2013), " An earth block with a compressive strength higher than 45 MPa!," Construction and Building Materials, 47: 366–369.
3. Binici, H., Aksogan, O., Shah, T., (2005),” Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material,” Construction and Building Materials, 19:4: 313–318.
4. Heath, A., Lawrence, M., Walker, P. and Fourie, C.,(2009),” The compressive strength of modern earth masonry”, In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, NOCMAT 2009.
5. Morel, J. Pkla, A., and Walker,P. (2007),”Compressive strength testing of compressedearth blocks,” Construction and Building Materials, 21: 303–309.
6. Quagliarini, E., and Lenci, S. (2010), “The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks,” Journal of Cultural Heritage, 11: 309–314.
7. Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H., Almeida, J., (2012),” Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions,” Construction and Building Materials, 28:1: 36–44.
8. Silveira, D., Varum, H., Costa, A.,(2013),”Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks,” Construction and Building Materials, 40: 719–728.

9. Yetgin, S.; Cavdar, O.; and Cavdar, A. (2008),” The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes”; Construction and Building Materials, 22: 222–227.