

التكنولوجيا الحديثة للبناء بالطين

محمد المكي شعبان عكريم¹
maekrem@elmergib.edu.ly

عبدالرحمن فرج علي شهران¹
shahrn_82@yahoo.com

عثمان المهدي عثمان ناصف¹
otman.nasef@elmergib.edu.ly

¹ قسم الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني ، كلية الهندسة القره بولي ، جامعة المرقب ، الخمس ، ليبيا

المـلـخـص Abstract

يعد الطين من أقدم مواد البناء التي عرفها الإنسان منذ ما يقارب عشرة آلاف سنة حيث انتشر البناء بالطين وبتوافق مع البيئة في حضارات متعددة و متنوعة كثيرة في أفريقيا وآسيا، وحتى يومنا الحاضر يعيش ثلث سكان العالم في مباني تداخل في إنشائها مادة الطين، حيث تمتاز هذه المادة بالعديد من الإمكانيات والمميزات المهمة ، كما أنها لا تخلو من بعض العيوب التي يجب مراعاتها والعمل على الحد منها، وقد حفلت هذه المادة في الوقت الحاضر باهتمام كبير أضحت حلاً للعديد من المشكلات في العالمين الصناعي والنامي على حد سواء ، فهناك مشاكل الطاقة والتلوث في العالم الصناعي ، وهناك مشاكل الإسكان والبطالة في العالم النامي، وتهدف هذه الدراسة إلى التطرق لاستخدام مادة الطين بطرق حديثة تحد من تلك العيوب المصاحبة للبناء بالطين بالطرق التقليدية التي حدثت من استخدامها على نطاق واسع في الوقت الحاضر ، وتختتم هذه الدراسة بالإشارة إلى أهم محاور تطوير هذه المادة وذلك حتى يتسنى الاستفادة منها بشكل أكبر في عمارة الحاضر والمستقبل في ليبيا.أوصت الدراسة ببعض التوصيات التي من شأنها ان تعزز استخدام التكنولوجيا الحديثة للبناء بمادة الطين في المباني لتحقيق الاستدامة للمباني من خلال تحسين البيئة الداخلية للمبني.

الكلمات الافتتاحية: البناء بالطين، التقدم التكنولوجي، الاستدامة، المستجديات المعاصرة، رؤية مستقبلية

إشكالية الدراسة Study problem

تتمحور مشكلة الدراسة في التساؤلات التالية:

- هل يمكن استخدام مادة قديمة في تاريخ العمارة مع تقنية جديدة للعثور على شكل جديد للعمارة؟
- هل تستطيع العمارة الطينية بوضعها الحالي مواكبة مواد البناء المعاصرة واستيعاب جميع الأنشطة المعاصرة من تكنولوجيا التنفيذ وانظمة الانشاء الحديثه ؟

Aim of the study الهدف من الدراسة

الهدف الاساسي من الدراسة هو الوصول الى خطة مستقبلية تضمن رجوع وبقاء العمارة الطينية ومواكبتها لتكنولوجيا البناء المتسارعة ورفع الوعي بين المواطنين لهذا النوع من مادة البناء المستحدثة للوصول لعمارة محلية مستدامة.

Study Methodology منهجية الدراسة

اتبعت الدراسه المنهج الوصفي التحليلي الذي يقوم على وصف الظاهره وجمع المعلومات والبيانات ثم تصنيف هذه المعلومات وتنظيمها والتعبير عنها للوصول الى استنتاجات ونماذج تساعدنا في تطوير الواقع الذي ندرسه، كما ان الدارسة تركز في بعض جزئياتها على الدراسات السابقة ومراجع مهمة كالكتب والبحوث العلمية التي نشرت حول تكنولوجيا العمارة الطينية والاستدامة.

Introduction المقدمة

تعتبر مادة البناء هي العامل الاهم في البناء والتشكيل المعماري وتعتبر من أهم المؤثرات التي تؤثر بشكل مستمر فيه ، ومادة الطين تعتبر من أقدم مواد البناء التي استخدمها الانسان وطورها من خلال العديد من التقنيات المختلفة للبناء بها، بما يتناسب مع الامكانيات المتوفرة لديه، وبما يتناسب مع الظروف البيئية، وحيثا يعود الطين إلى سوق مواد البناء الحديثة بسبب التطور الذي شهدته تقنيات تصنيعه، والإستفادة من مميزاته الفيزيائية، والميكانيكية، والبيئية على بقية المواد الحديثة.

وتعتبر مادة الطين من أكثر المواد انتشاراً عبر التاريخ، وعمت كافة انحاء العالم القديم وهي المادة التي تتناسب مع البيئة وتحافظ على الاستدامة كونها المادة التي خلق منها الانسان ومنها شيد مسكنه، وقد حازت هذه الخامة في الوقت الحاضر على مزيد من الاهتمام لكونها حل للعديد من المشكلات في العالمين الصناعي والنامي على حد سواء، ولذلك بدأ الاهتمام بالطين من حيث قدرته على عزل الحرارة وبالتالي الاقتصاد في استهلاك الطاقة وخصوصا في الاجواء الصحراوية التي تتسم بالحرارة الشديدة والجفاف ، كما أن هناك اهتمام بالطين من حيث رخص سعره وبالتالي الاستفادة من هذه الخاصية في بناء المساكن منخفضة التكاليف.



شكل رقم (1) - مستوطنة قديمة من الطين وجذوع النباتات

مكانة الطين في العالم Clay's place in the world

تشير البيانات والتوقعات إلى الأهمية المتزايدة للمباني منخفضة التكلفة والمستدامة على حد سواء ، ولا سيما أنه وفقاً لتقرير الأمم المتحدة لعام 2020 ، فإن البناء والتشييد مسؤولان عن حوالي 38 ٪ من جميع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة ، و بسبب الاحتباس الحراري ، من المتوقع أن تتفاقم أزمات الهجرة في المستقبل وتقدر الأمم المتحدة أنه بحلول عام 2030 ، سيحتاج حوالي 3 مليارات شخص أو ما يقرب من 40 ٪ من سكان العالم إلى عدم إمكانية الحصول على سكن وبأسعار معقولة، ولأن مادة الطين مادة مستدامة فهي مادة لا تضر بالبيئة فظهر استخدامها كمادة بناء أولية منذ قديم الزمان وعلى مدى قرون طويلة من عمر البشرية حيث سجل البناء بها منذ القرن التاسع قبل الميلاد وفي مناطق كثيرة حول العالم منها منطقتنا العربية واسعة الأركان، وعلى الرغم من هذه المادة ذات خواص خاصة، إلا أنها تتفوق بخواصها هذه على مواد أخرى كالحديد والأسمنت، فلا يتطلب تصنيعها حرقها أو تحويلها كيميائياً بينما الأسمنت الأكثر شيوعاً يؤدي تصنيعه الى انبعاثات كربونية تبلغ 5% من إجمالي الانبعاثات العالمية. هذا بخلاف انعدام وجود نفايات ناتجة عن استخدام مادة الطين مقارنة بمثيلاتها المستخدمة في التشييد، فهي مادة 100% يمكن تدويرها من منشأ قديم مبنى بالطين ، ومن مميزات مادة الطين إن طبيعتها انتشارها واستخراجها بمواقع التشييد حول العالم جعلها تتميز أيضاً في تقليل تكاليف النقل وما يتبعه من تلوث للهواء ، ومن الخواص البيئية لمادة الطين قدرتها العالية على تكييف الفراغ الداخلي لأي منشأ لعدة عوامل منها أن البناء بالطين يتطلب سماكة كبيرة ما يؤخر وصول الإشعاعات الحرارية الشمسية لدخل الفراغ الى وقت يكون أشعة الشمس في حال انكسار ووقت طويل يصل الى 15 ساعة تقريبا في سماكة 40 سم، بينما يتعدي 5 ساعات في الجدار الاسمنتي بسماكة 20 سم، وتشير الدراسات إلى أن جدار الطين المخلوط بالحشايش كالقش يمكن أن يصد الموجات الكهرومغناطيسية بنسبة كبيرة جد، أيضاً فإن مسام مادة الطين داخل تجويفاتها يحدث فيها تفاعلات بين الماء الناتج عن التبخير لقطراته العالقة بالهواء ما يؤدي ذلك الى إحداث تبريد طبيعي لحركة الهواء داخل مسام الحائط المنشأ ليقفل من تأثير الحراري للإشعاعات الحرارية الشمسية أيضاً هذا في فصل الصيف حيث الحرارة العالية خارج المنشأ، أما في فصل الشتاء فإن مسام الطين داخل الحوائط الطينية تعمل على الإحتفاظ بحرارة الإشعاعات الشمسية وتقوم بتخزينها أطول فترة ممكنة وتبدأ في فقدها الى داخل الفراغ عند حلول الليل ما يساعد ذلك على انتشار الدفء داخل الفراغ مما يؤدي إلى التقليل من إهدار الطاقة ، وتعد هذه الخاصية من المحددات المهمة التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار خاصة عند البناء في المناطق الحارة والصحراوية مثل ليبيا، كما تعتبر مادة الطين عازلاً جيداً للصوت؛ حيث تؤدي هذه الوظيفة من خلال تكوينها وسماكة الجدران والمسامات المنتشرة في تكوين المادة البنائية المستخدمة.

تكنولوجيا البناء بالطين في القرن الماضي Mud Construction Technology in the Last

Century

في العالمين العربي والغربي تتراوح طرق تكنولوجيا البناء بالطين ما بين الاستخدام الكامل للطين في جميع عناصر المبنى ، كما هو الحال في طريقة الحفر لكامل المشروع داخل التربة ، كما في بعض المستوطنات في الشمال الأفريقي وبين طريقة الاستخدام للطوب الطيني ، في بناء كامل المبنى من حيطان وسقف باستخدام القباب والأقبية كما في مصر ، وبين هاتين الطريقتين تدرج العديد من طرق وتقنيات البناء بالطين ، التي تستثمر هذه المادة بمفردها أو بالتكامل مع المواد الأخرى ، وذلك في تشييد الحيطان في المناطق المختلفة من العالم ، ولعل من أشهر طرق البناء بالطين في هذه المناطق مايلي:

البناء باللبن الطيني - Adobe

ينتشر هذا الأسلوب من البناء بالطين في كل من ليبيا و مصر والعراق وبلاد الشام واليمن، بينما يتركز في الولايات الجنوبية الغربية لأمريكا منها كاليفورنيا ، تكساس ، نيو مكسيكو، أريزونا وكذلك في الأجزاء الشرقية من بريطانيا خصوصاً وسط وجنوب منطقة نورفوك وكان يتم تحضير الطوب في الماضي عن طريق خلط التربة التي غالباً ما تحوي نسبة عالية من الطمي مع الماء مع إضافة التبن أو غيره من الألياف النباتية ، وتخلط جيداً بالأقدام أو باستخدام الذواب ، ثم يتم تكوين الطين بعد ذلك باستخدام قالب خشبي بدون قاع ، يحوي فراغاً أو أكثر لعمل اللبن . وتختلف مقاسات هذا القالب وعدد الفراغات التي يحويها من منطقة إلى أخرى ، حيث يوضع على الأرض ويملاً بمخلوط الطين ويدمك بالأيدي ، للتأكد من تعبئة جميع الفراغات في القالب والحصول على كتلة متجانسة ثم يرفع القالب بعد ذلك مخلفاً كتلة الطين المكوّنة على الأرض ، والتي تترك بضعة أيام لتجف في الشمس و لا تزال هذه الطريقة هي السائدة في تصنيع الطوب ، إلا أنه في بعض بلدان العالم المتقدمة أدخلت (الميكنة) في عمليات الخلط والتصنيع للطين وذلك بهدف إنتاج الطوب الطيني بكميات تجارية ، نظراً للطلب المتزايد على هذا الأسلوب من البناء .



شكل رقم (2) - البناء باللبن الطيني

البناء بالمداميك الطينية - Cob

يشيع هذا الأسلوب من البناء بالطين في العالم العربي ، في أجزاء من اليمن، والمملكة العربية السعودية ، وأجزاء متفرقة من العالم العربي ، وبخاصة في بناء الأسوار والقلاع والحصون ، بينما يتركز البناء بالمداميك

الطينية في الدول الغربية في بريطانيا وبخاصة في المنطقة الممتدة من (كورنول) إلى (هامبشير) ، في حين أن الغالبية العظمى من هذا النوع من البناء في منطقة (ديفون) في الجزء الجنوبي الغربي من إنجلترا، وتشبه طريقة البناء هذه إلى حد كبير طريقة البناء باللبن الطيني، وذلك من حيث طريقة تحضير مادة الطين وخلطه ، مع ملاحظة أن التبن المقصوص يضاف لخلطة الطين بكميات أكبر في هذه الطريقة ، وذلك لتلافي التشققات الناتجة عن جفاف مادة الطمي ، ويتم إعداد الطين في هذه الطريقة بتقطيعه من الخلطة على شكل قطع كروية بحيث يستطيع العامل بيديه الإلمام به ، ومناولته للبناء الذي يأخذ تلك الكتل ، ويرصها بجوار بعضها في مدماك يبلغ ارتفاعه حوالي 30 سنتيمتراً ، ثم يقوم البناء بعد ذلك بتشذيبها وتكوينها بيديه، حتى تكون طبقة مستمرة على طول الجدار ، تترك حوالي يومين حتى تجف قبل البدء في بناء المدماك التالي ، وعلى الرغم من سعة انتشار هذا الأسلوب من البناء بالطين في الماضي ، وما يعطي من مبان تتسم بالقوة ، إلا أنه لم يحظَ بتطوير كبير في الوقت الحاضر.

البناء بالتراب المضغوط - Rammed Earth

يشيع هذا الأسلوب من البناء بالطين في المغرب العربي وبقدر أكبر في المغرب ، ويندر هذا الأسلوب من البناء بالطين في المشرق العربي ، بينما يتركز البناء بالتراب المضغوط في الدول الغربية ؛ في فرنسا حيث يعد البناء بالتراب المضغوط تقليداً سائداً في وادي (رين) في فرنسا ، كما ينتشر البناء بالتراب المضغوط في أسبانيا ، وتتميز هذه الطريقة من البناء بالطين من سابقتها بأن الماء الذي يضاف إلى التربة قليل ، لا يتجاوز (10%) ، مما يكسب التربة لدونة تسهم في انضغاطها بقدر جيد، ويتم نقل التربة المبللة بعد ذلك ووضعها في قوالب شبيهة بالقوالب التي تصب فيها الخرسانة وتكون تلك القوالب مثبتة على أساس الجدران المراد تشييدها ، ويتم دك التربة ودمكها بقدر كاف في تلك القوالب سواء باستخدام قطع خشبية خاصة ، كما هو الحال في البلدان النامية ، أو باستخدام بعض الآليات ، وعند امتلاء تلك القوالب بالتراب المضغوط يتم فكها وتحريكها أفقياً حتى يتم إكمال طبقة مستمرة، من ذلك التراب المضغوط على الجدار كله، وبعد ذلك ترفع القوالب رأسياً لعمل طبقة أخرى، وهكذا حتى يتم الوصول إلى منسوب التسقيف.



شكل رقم (3) - على اليمين البناء بالمدماميك الطينية ، الشمال البناء بالتراب المضغوط

البناء بالطوب المحسن Stabilized Earth Blocks -

يعد الطوب المحسن نسخة ما بعد الحرب العالمية الثانية من التراب المضغوط ، وتجمع هذه الطريقة من التشييد بالطين بين طريقة البناء باللين وطريقة البناء بالتراب المضغوط ، ويعد هذا الأسلوب من أحدث طرق البناء بالطين ولذا لا يزال استخدامه في البلدان العربية محدوداً ، في حين حظي هذا الأسلوب بانتشار أوسع في البلاد الغربية وبخاصة في أمريكا وفرنسا.

يتم في هذا الأسلوب من البناء بتحضير التربة المناسبة وخلطها وهي جافة مع بعض المواد المحسنة كالاسمنت أو القار أو الجير ، وذلك لزيادة القوة و مقاومة تأثير المياه ، ثم بعد ذلك يتم تبليل التربة بالأسلوب نفسه في طريقة التراب المضغوط ، ومن ثم ضغطها بعد ذلك في قوالب أو مكابس خاصة ، ويتم بعد ذلك البناء بذلك الطوب بأسلوب شبيه بطريقة البناء باللين ، وقد تم تطوير عدد من الآلات والمكابس لاستخدامها في عمليات تحضير التربة وخلطها وضغطها وتعد هذه الطريقة في البناء بالطين من أكثر الطرق انتشاراً في الوقت الحاضر .



شكل رقم (4) - البناء بالطوب المحسن (طوب الليغو)

نموذج حسن فتحي لاستخدام تكنولوجيا البناء بالطين Hassan Fathy Model for the use of Clay

Cconstruction Technology

قام المهندس المعماري المصري حسن فتحي (1900-198) بابتكار هندسة معمارية مستدامة أو مراعية للبيئة في منتصف القرن العشرين، وذلك بالاستناد إلى تكنولوجيا و تقنيات البناء الخاصة بالإنشاءات الطينية التقليدية، وقد أثبت فتحي ملائمة هذا النوع من البناء من الناحيتين الوظيفية والفنية على السواء، واضعاً بذلك الأسلوب العربي في الهندسة المعمارية الذي يرضى عنه الناس أكثر من رضائهم عن الأساليب الحديثة الأكثر كلفة لتصميم المباني المأخوذة من أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، فقد كان يؤمن المعماري حسن فتحي بأنه لا مناص للمجتمعات النامية والفقيرة من استخدام التكنولوجيا المتوافقة مع البناء والتي تعتمد على المادة المحلية كما تعتمد على المهارات المحلية للتشييد وتواجه في الوقت نفسه كل المتطلبات المعيشية للإنسان ولحسن فتحي نظرته المستقبلية البعيدة التي ترى مستقبل العالم في ضوء توقع النقص الشديد في مصادر الطاقة التقليدية لذلك فهو يرى ضرورة الاعتماد على التكنولوجيا المتوافقة مع البناء ، وإذا معنا النظر بعمق في عمارتنا المحلية والعربية المعاصرة نجد انها تساير وتستورد التكنولوجيا الغربية بحجة انها تكنولوجيا العصر ، وهو ما لا يتفق

عليه حسن فتحي حيث يفسر ذلك بفقد المجتمع العربي هويته ، وقد اثرث في المعماري المصري فتحي ستة مبادئ اساسية هي ايمانه بألوية القيم البشرية في العمارة ثم اهمية الاساليب التي يمكن تطبيقها على نطاق واسع وعالمي واستخدام التكنولوجيا اللائمة والحديثة واعادة ترسيخ التراث الوطني عبر اعمال البناء والحاجة الى طرق تعاونية في البناء ذات توجه اجتماعي واخيرا الدور الأساسي للتقاليد والعادات.

قام حسن فتحي منذ مطلع الأربعينيات من القرن الميلادي المنصرم ، بالعديد من المحاولات العملية لتحديث البناء بالطين واشترك في العديد من لجان البحث العلمي المتخصصة في مجال الإسكان الريفي ، لقد كان حسن فتحي سابقاً لعصره ، ونشأ في بيئة لم تكن واعية بفكره ، الذي كان له أثره الكبير في أوروبا وأمريكا الشمالية أكثر منه في البلاد العربية والإسلامية ، لقد قام بتنفيذ بعض أفكاره من خلال مشروع دار الإسلام في شمال ولاية نيو مكسيكو ، حيث قام بتصميم المشروع على هضبة تبلغ مساحتها 42 هكتاراً تطل على قرية ابكيو، لقد كان مخطط حسن فتحي الرئيس لهذا المشروع ، والذي كان مقترحاً تنفيذه على مدى 10 سنوات ، يتكون من قرية تضم ما يقارب من 150 عائلة مع مسجد ومدرسة وسكن للطلاب وعيادة ، وقد زار حسن فتحي في سنة 1980م الموقع وبصحبه اثنان من البنائين النوبيين وذلك لتعليم المعماريين والحرفيين المحليين طريقة بناء العقود والأقبية والقباب من الطوب الطيني المجفف بالشمس دون الحاجة إلى القوالب الخشبية، وقد تم بالفعل بناء أجزاء من المشروع كالمسجد والمدرسة، بعد وفاة المعماري حسن فتحي سنة 1989 تم استكمال البناء باستخدام الشدات الخشبية لتشكيل القباب والقنوات لعدم توافر الخبرات والعمالة التقليدية وتتميز اعمال المعماري حسن فتحي انها نموذج رائع للبساطة المعمارية الملزمة بالاصول العلمية والفنية كما ان اعماله دائما تعتبر نموذج جيد للمنهج التجريبي في العمارة.



شكل رقم (5) - مشروع دار الإسلام في شمال ولاية نيو مكسيكو

The Model of Ghadames City for the use of Mud Construction Technology

لا تزال البلاد العربية تحتفظ بشواهد عدة لأولى المدن التاريخية التي شيدت كاملة بالتربة الطبيعية، ومن هذه المنطقة في العالم انبثقت الفكرة الأساسية والحيوية لمفهوم المدن التي ما برحت منصهرة منذ ولادتها بتقنية وفن البناء بالطين. وعلى مرّ العصور تناقلت الأجيال هذه المهارة التي ازدادت تطوراً لتشيد نماذج الأبنية كافة؛

المدنية والدينية والعسكرية ، المتواضعة والفخمة، ولعل من الأمثلة المعروفة في هذا الشأن المدن العربية الرائعة المشيدة بالطين كمدن شبام وصعدة في اليمن ومدينة مراكش في المغرب ومدينة أدرار في الجزائر وحلب في سوريا ، ولعل بعض المدن الليبية كمدينة غدامس دليل آخر على ذلك ؛ إذ كان البناء في تلك المدن حتى قبل عقدين أو ثلاثة يقوم أساسًا على مادة الطين ، فالمباني في غدامس من مواد أغلبها متوفرة محليًا ومن نفس البيئة وأهما (الحجارة) في القواعد أو في المنطقة السفلى من الجدران حتى ارتفاع متر ونصف، (الجبس) في الأرضيات وفي الجدران وكذلك في بناء القباب، (الطوب الطيني) في بناء الجدران و التقسيمات والسلام والاقبية ،(الجير) ويستخدم في تبييض الجدران ، (جدوع النخيل) بالسقف ، الأبواب والخزائن الحائطية، فكان سمك الحائط ومادته عند البناء وحسب الارتفاع فعند سطح الارض يكون بسمك 75 سم وبعد ارتفاع 3 متر يتم تغيير الطوب ليصبح سمكه 60 سم ومن 5 إلى 6 أمتار يصبح سمكه 50 سم فقط، فكان يتراوح ارتفاع المنزل من 10 إلى 13 متر، وتطلى الجدران الخارجية باللون الابيض أما المنطقة العلوية من الجدار فتغطى بالجبس ثم تبيض وتشكل بالأشكال المثلثة.



شكل رقم (6) - مدينة غدامس الليبية

اسباب تراجع العمارة الطينية **Reasons for the Decline of Mud Architecture**

على الرغم مما حظيت به عمارة الطين من تطور كبير، وازدهار مطرد في البلدان العربية وذلك من خلال الخبرات المتوارثة عبر الأجيال، في التعامل مع هذه المادة وتوظيفها التوظيف الأمثل الذي يستجيب لجميع المتطلبات الثقافية والاجتماعية والاقتصادية والسياسية للشعوب ، ويراعي الظروف البيئية والمناخية الخاصة بكل منطقة ، إلا انه ومنذ خمسينات القرن المنصرم بدأ البناء بالطين في البلاد العربية بالاضمحلال بدرجات متفاوتة ، شأنها في ذلك شأن بلدان العالم النامي بداعي الحداثة، وقد أسهمت الثورة العالمية العارمة في مجال الاتصال والمواصلات في انتقال سريع وتداخل مستمر للثقافات والتقنيات بين الشعوب المختلفة ، فقد أدى ذلك إلى تبني الكثير من مواد البناء الحديثة ، وتقنياتها المختلفة في كثير من البلاد العربية ، على الرغم من أنها لم تحظى بالوقت الكافي ولا الدراسة الكاملة لمعرفة موافقتها للأحوال الاقتصادية والاجتماعية لشعوب المنطقة ،

ولمقدار فعاليتها في الظروف البيئية للبلاد العربية ، وأدى طرح العديد من مواد البناء الحديثة وأنظمة البناء المصنعة في السوق العالمية ، إلى الإخلال بالتوازن التقليدي القديم ، ومن ثم القضاء عليه في قطاع البناء .

نحو عمارة طينية تتوافق مع التقدم التكنولوجي

مع اختراع الاسمنت ومواد البناء الحديثة الأخرى، تراجعت العمارة الطينية كثيراً، لكن الاهتمام بها ما لبث أن عرف تزايداً ملحوظاً منذ منتصف القرن العشرين تقريباً، فبالنظر الى أزمة السكن في البلدان النامية، وتعذر تلبية الحاجة المتعاظمة الى مساكن بمواد بناء صناعية بسبب ضعف الامكانيات الاقتصادية، بدأ التفكير في حل يعتمد على مواد البناء المحلية وعلى تنشيط المساعدة الذاتية في البناء، ومن التجارب المعروفة في هذا المجال التجربة الرائدة للمهندس المصري الراحل حسن فتحي، لكن الدفعة القوية التي تلقاها المعمار بالطين جاءت من أوروبا وأميركا، وكان أحد أهم أسبابها الطلب المتزايد على مواد بناء "صديقة للبيئة"، توفر في استهلاك الطاقة وفي التكاليف، وتؤمن مناخاً سكنياً صحياً، ومنذ سبعينات القرن الماضي تأسس العديد من مراكز الأبحاث التي تعنى حصرياً بالعمارة الطينية، وتركزت جهودها على دراسة خصائص مادة الطين لمعرفة امكانياتها بشكل دقيق، وعلى دراسة التقنيات التقليدية بهدف إعادة إحيائها وتطويرها، إضافة الى استنباط تقنيات وأساليب بناء جديدة. وقد نجحت تلك الأبحاث في نفض الغبار عن التقنيات التقليدية التي أصابها النسيان أو كاد، فأعيد الاعتبار الى الكثير منها، وطور البعض الآخر لكي يتلاءم مع متطلبات البناء اليوم، والنتائج العملية لتلك الدراسات يمكن لمسها لمس اليد في المشاريع الكثيرة التي أنشئت خلال العقود الثلاثة الأخيرة في عدد كبير من البلدان.

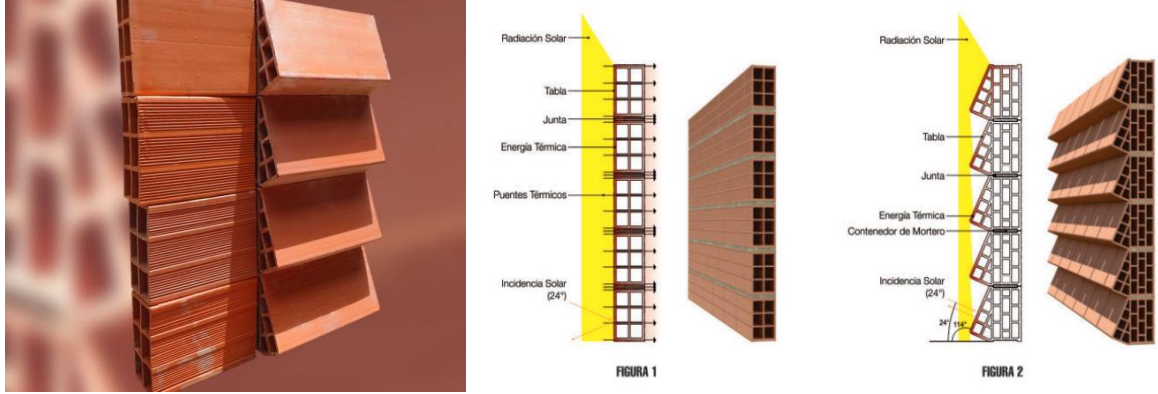
ستتناول الدراسة نموذجين لمشروعين ساهما حديثا في التطور التكنولوجي للبناء بالطين هما:

- مشروع الطوب ذاتي التبريد - Bloque Termodisipador (BT)

- مشروع الطباعة ثلاثية الأبعاد لبناء منزل طيني متكامل - TECLA

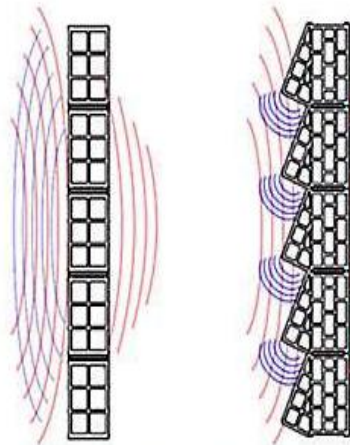
مشروع الطوب ذاتي التبريد - Bloque Termodisipador (BT)

تصميم: سومرت ديزنو ذ آر كيتيتورا ، مدير المشروع: ميغيل نينيو ،الموقع: كوكوتا، كولومبيا، السنة: 2015
عبارة عن طوب من كتل خزفية مصممة بقسم عرضي غير منتظم يسمح للتهوية بالمرور عبر الطوب و يشنت الحرارة مما يقلل من كمية الحرارة التي تدخل داخل المبنى للحفاظ على المباني باردة والتي تعتمد على عملية التصنيع نفسها من الطوب الطين التقليدي ، مع ابتكار في تصميم المقطع العرضي المستخدم ف شكلها غير المعتاد ، المكون من مستطيل ومثلث غير منتظم ، يحمي بشكل جزئي الطوب من الإشعاع الشمسي ونقل الحرارة ، فيسمح الفصل بين الكتل ، جنباً إلى جنب مع القنوات التي تشكل المثلاث غير المنتظمة ، بالتهوية بالمرور عبر الطوب ، وبسرعة تبديد الحرارة المخزنة وتقليل كمية الطاقة الحرارية المنبعثة إلى داخل المبنى.



شكل رقم (7) - الطوب الذكي BT طوب مثقب بهيكل خلوي مسامي للسماح للهواء بالمرور وتبديد الحرارة المخزنة

حيث يحتوي المثلث العكسي على زاوية 114 درجة على سطحه الخارجي ، وهي الزاوية المعاكسة لإشعاع الشمس أثناء التعرض لأقصى درجة من التعرض للشمس ، كما يسمح شكلها غير المنتظم بتركيبات جمالية ثلاثية الأبعاد لا تحصى تشتت الصوت أيضاً ، مما يقلل من كمية الضوضاء التي تدخل للداخل.



شكل رقم (8) - خاصية تشتيت الصوت لدى الطوب الذكي

الطوب الطيني التقليدي المطلق ، المستخدم للواجهات ، يميل إلى أن يكون مستطيلاً ، مما يتسبب في تعرض الحائط بأكمله للإشعاع الشمسي لفترات طويلة من الزمن ، يتم تحويل الإشعاع الذي يتم امتصاصه إلى طاقة حرارية ويتراكم في الجدران ، و الذي بدوره يسمح ببعض الحرارة للداخل ولكنها تأخذ شكلها الفريد ، الذي يحمي الجدار جزئياً من الإشعاع الشمسي ونقل الطاقة الحرارية فالقنوات التي تشكل المثلث غير المنتظم تسمح للتهوية بالمرور عبرها ، وتبدد بسرعة درجة حرارة الطوب ، وتقلل كمية الحرارة المنقولة بالداخل ولهذا المشروع العديد من الفوائد نذكر منها الآتي:

✓ تقليل الانزعاج الحراري و معالجة نقص طول الطاقة المستدامة الجديدة في البناء

✓ تعزيز صناعة الطين من خلال التصميم ، والاستفادة من القوى العاملة والمواد الأولية المجاورة والنظم الصناعية التقليدية

✓ يمتص بسهولة الضوضاء والأصوات الصادرة من الخارج ، مما يسمح له بدخول معدلات بسيطة من الموجات الصوتية المنكسرة علي سطح الجدار.

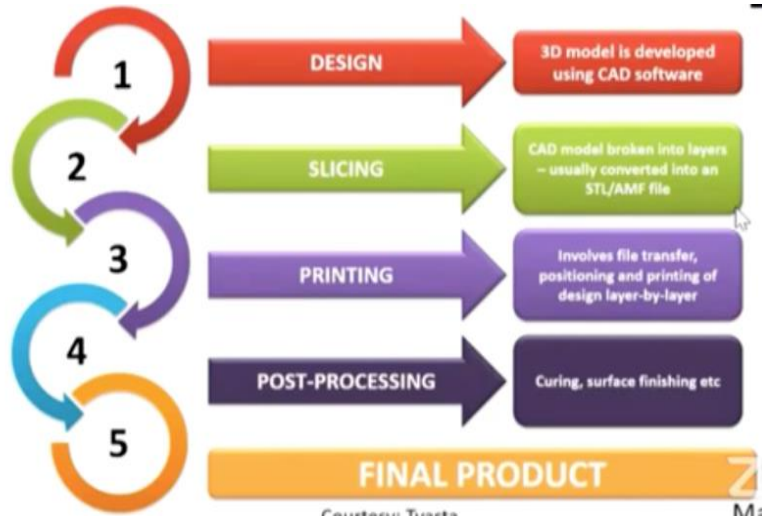
✓ المثلث غير المنتظم له ميل مائل لا يسمح بتراكم مياه الامطار والرطوبة على سطوح الجدران من الخارج ومنع دخولها.

تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الابعاد

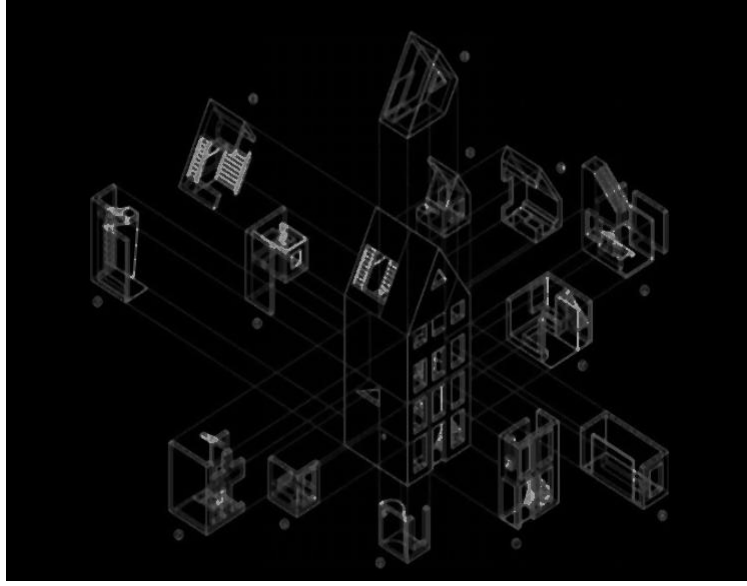
صناعات البناء والإنشاءات في العالم تعد من أكبر الصناعات وأهمها حيث تبلغ 10 تريليونات دولار على مستوى العالم أي ما يعادل 13% من الناتج المحلي الإجمالي، لكن يواجه هذا القطاع الضخم العديد من المشكلات منها ضعف الإنتاجية وبطء إتمام الإنشاءات وينتج عنه أيضًا العديد من العوادم المضرّة بالبيئة كما أن مجال البناء لا يزال يسيطر عليه الطابع اليدوي ، في حين حققت الصناعات الأخرى تقدمًا ملحوظًا في استخدام التقنيات الحديثة، لهذا تم البحث عن طرق بناء حديثة مستدامة وصديقة للبيئة وفي نفس الوقت تكون سريعة التحضير وغير مكلفة ، ومن الملاحظ بين الكثير من الأوساط المتخصصة أن استخدام المباني المطبوعة ثلاثية الأبعاد تعد حلاً ممكناً لهذه المشاكل كما أنه من المرجح أن تمنح هذه التقنية المهندسين المعماريين حرية في الإبداع في تصميماتهم للهياكل الجديدة.

بدايات الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني

لقد بدأ استخدام هذه التقنية في ثمانينيات القرن الماضي عن طريق المهندس الأمريكي تشاك هال (وهي أول تقنية تحقق هدف الطباعة السريعة للنماذج ثلاثية الأبعاد والتي تنفذ الطباعة على هيئة طبقات متتالية ولكن انتشر استخدامها في أواخر عشر سنوات.



شكل رقم (9) - مراحل الانشاء في عملية الطباعة الثلاثية للمبنى



شكل رقم (10) موديل لمبني مطبوع ، الطباعة تتم بتقسيم المبني لوحدات

مميزات هذه التقنية:

- ✓ تقليل التكلفة: استخدام هذه التقنية أدى لتقليل تكاليف البناء بشكل كبير ومن المتوقع ان هذه التقنية اذا استخدمت بشكل موسع سوف تحل مشكلات السكن بالنسبة لمحدودي الدخل بنسبة كبيرة.
- ✓ تقليل المدة: يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد أن تقلص زمن إنشاء المباني حيث يمكن بناء منزل يتكون من دورين على مساحة 400 متر مربع في أقل من شهر باستخدام تلك التقنية.
- ✓ حرية التصميم الإبداعي: هذه التقنية تمنح المعماريين الحرية في تصميم المباني المختلف .
- ✓ تقليل النفايات: طرق البناء التقليدية تولد 80% من إجمالي النفايات في جميع أنحاء العالم عكس هذه التقنية.
- ✓ هياكل قوية : لقد تطورت الطباعة ثلاثية الأبعاد بدرجة كبيرة سمحت باستخدام الخرسانة كإحدى مواد الطباعة وهو ما أدى إلى إنتاج منازل تستطيع تحمل الكوارث الطبيعية مثل الزلازل والأعاصير.



شكل رقم (11) - مباني مبنية بتقنية الطباعة الثلاثية - دبي

منزل تي كلا الطيني - TECLA

تكمن فكرة المشروع في استخدام مادة قديمة في تاريخ العمارة مع تقنية جديدة للعثور على شكل جديد للمنازل

تصميم: Mario Cucinella Architects ، الموقع: مدينة ماسا لومباردا - إيطاليا، السنة: 2021
فكرة المشروع عبارة عن نموذجاً أولاً لمنزل يهدف للجمع بين أحدث التقنيات (الطباعة الثلاثية)، وأقدم المواد المستخدمة لبناء المساكن (الطين)، تيكلًا هو نموذج أولي لمنزل بهيكل ذاتي الدعم، ونموذج اقتصادي دائري أنشئ باستخدام مادة الطين قابلة لإعادة التدوير، وانبعثات صفرية و قليل النفايات ، فغلافه قابل للتحلل البيولوجي تمامًا لأنه مصنوع بالكامل من التربة المحلية الخام (عذا التركيبات الإضافية مثل الأبواب والنوافذ)، وتعكس المفروشات نموذج الاستدامة من خلال قابلية التحويل، وإعادة الاستخدام، وإعادة التدوير وتطبع الاثاث والمفروشات جزئيًا من مادة التربة الخام بالتقنية ثلاثية الأبعاد بينما تصنع الأجزاء الأخرى من الخشب والأقمشة المعاد تدويرها. كما أن تيكلًا، هو نموذج أولي لمنزل فعال، تبلغ مساحته حوالي 60 مترًا مربعًا، حيث يعد هذا المنزل أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد مصنوع من الطين ، والذي يأمل أن يصبح تصميمه خياراً قابلاً للتطبيق لإيواء الأشخاص الذين يفكرون إلى السكن الملائم بسبب المشاكل المالية، أو النزوح.



شكل رقم (12) - مبنى تيكلًا - قوس كبير لانسييت يمثل مدخل النموذج

وعلى مدى الأعوام القليلة الماضية، تم تصور عدد من المنازل والمجتمعات المطبوعة بالتقنية ثلاثية الأبعاد وبينما بنيت الهياكل السابقة باستخدام الخرسانة، أو مواد تركيبية مثل البلاستيك، بينما بني هذا المنزل من الطين المتوفر في الموقع، ممزوج بالماء، وألياف من قشور الأرز، ومواد رابطة ، ويعتقد كوتشينيلا أن هذا النهج يمكن تكراره في أجزاء مختلفة من العالم، وباستخدام أي مواد محلية متاحة ، ولدى الطباعة بالطين بعض التحديات، إذ أنه يجف بشكل أبطأ من الخرسانة سريعة الجفاف ، وتكمن الفكرة وراء هذا المنزل ليست بالضرورة تكرار التصميم ذاته في أي بيئة، بل التعديل عليه بحسب الموقع ، وأكد كوتشينيلا أن عملية البناء، باستخدام هذه الآلات للطباعة الثلاثية الأبعاد، يمكن تعليمها بسهولة، واستخدامها على نطاق واسع ، و يرى الصمم الإيطالي أن تصميمه لن يكون مستقبلاً جميع المنازل على كوكب الأرض، ولكنه قال إن ثورة الطباعة ثلاثية الأبعاد تمنح الأشخاص درجة من الحرية في كيفية القيام بالأشياء دون الارتباط بصناعة كبيرة ومحترفة.

جدول يوضح بعض الخصائص والمعلومات عن تصميم بيت تيكلًا المستدام

الموقع	إيطاليا
التصميم والشكل	المباني على شكل قبة ولها باب زجاجي كبير وتعلوها فتحة في السقف، المسقط الأفقي عبارة على مساحتين دائريتين متصلتين ببعضهما البعض

المؤتمر الهندسي الثالث لنقابة المهن الهندسية بالزاوية

المكونات المعمارية	المنزل يتكون من غرفة معيشة، وغرفة نوم، وحمّام
المساحة	60 متر مربع
الارتفاع	4.2 مترًا
زمن الانشاء والطباعة	200 ساعة عمل
مواد البناء	ذالطين من الموقع - الماء - ألياف من قشور الأرز، ومواد رابطة.
نوع الطباعة	Crane WASP
زمن جفاف الخليط المطبوع	اسبوعين
فئة السكان	ذوي الدخل المحدود - النازحين

كما أن عملية بنائه تستخدم طاقة أقل بكثير من بناء منزل عادي ، هذا ويعتقد أن الطباعة ثلاثية الأبعاد بالمواد الطبيعية قد تكون أداة تكنولوجية مهمة، إذ تعمل أوروبا على تحقيق هدفها المتمثل في الحياد المناخي بحلول عام 2050، ووفقًا لتقرير صادر عن الأمم المتحدة للبيئة والوكالة الدولية للطاقة في عام 2020، فإن البناء والتشييد تقع عليهما المسؤولية فيما يخص 38% من جميع انبعاثات الكربون في العالم، و على الرغم من أن هذه التقنية لا تزال في أيامها الأولى ، إلا أن التطبيقات الحالية للطباعة ثلاثية الأبعاد لصناعة البناء يمكن أن تقدم الفوائد التالية:

- ✓ التصميم يكون من الملف إلى البناء يعني الطباعة المباشرة في الموقع أو في المصانع
 - ✓ استخدام أكبر قدر من المواد اللازمة لبناء التصميم وتقليل لإنتاج النفايات
 - ✓ توفير الدقة والانضباط في العمل والنتائج
 - ✓ بناء أشكال معقدة غير ممكنة مع البناء التقليدي و قدرة على اعتماد أنواع مختلفة من أساليب البناء
 - ✓ انخفاض تكاليف النقل والعمالة
 - ✓ صالح للتنفيذ في اجزاء مختلفة من العالم مع تقليل مخاطر الصحة والسلامة في الموقع
- من ناحية أخرى ، يمكن سرد التحديات الحالية لاستخدام هذه التكنولوجيا في صناعة البناء والتي يمكن التغلب عليها وهي على النحو التالي:

- ✓ ما زالت تقنية محدودة ومكلفة
- ✓ الطباعات ثلاثية الأبعاد للبناء يمكن أن تكون كبيرة قد يكون النقل إلى الموقع مكلفًا
- ✓ هذه التكنولوجيا تحتاج الى عمالة ماهرة



شكل رقم (13) - طبقات منحنية متموجة لاستقرار المبني

النتائج

- ✓ تطوير الاساليب التقليدية المتوارثة في البناء وتطويرها بيئياً يولد نظم معمارية متوائمة مع البيئة المكانية للمشاريع علي المستوي الثقافي والاجتماعي للمجتمع المستخدم للمشروع العمراني.
- ✓ خامة الطين لا تخلو من بعض العيوب إلا أن أغلب سلبياته يمكن تلافيها باستخدام التقنيات الحديثة المتوفرة والمعالجات التصميمية للفراغات الداخلية.
- ✓ توطین تكنولوجيا واساليب التنفيذ الحديثة التي تستخدم البناء بالطین اصبح ضرورة ملحة اليوم .

الخلاصة والتوصيات

مؤخراً ونتيجة للتطور المتسارع في أبحاث البناء والخاصة بمادة الطين في مختلف المراكز البحثية على مستوى العالم وما توصلوا إليه من نتائج جعلت مادة الطين مادة أكثر ملائمة لمعايير البناء الحديث والمستدام ، حيث قام البحث بإستعراض تلك المؤثرات الحديثة من تقدم تكنولوجيا وإنعكاسه على العمارة الطينية بشكل عام ؛ ويظهر البحث الخصائص البيئية والاقتصادية العديدة للمباني الطينية تعد من أهم مبادئ الاستدامة والعمارة الخضراء ، كمايبين البحث أن المباني الطينية قد تطورت بشكل كبير لتصبح أكثر جمالاً واثقاً وبأشكال هندسية راقية وحديثة مع تطوير فراغاتها وتصميماتها وإدخال العديد من التقنيات الانشائية وتقنيات تطوير المادة وعمل التدعيم المناسب لها فقد قام البحث بتقديم رؤية مستقبلية لبقاء العمارة الطينية والمحافظة عليها وضمن استمرارها .

ويمكن الإشارة هنا إلى ثلاثة محاور رئيسة لتطوير لهذه المادة، ويندرج تحت كل محور من هذه المحاور العديد من التوصيات المهمة التي يكمن إجمال أبرزها فيما يلي:

التوصيات الخاصة بالمحور العلمي والقانوني

- ✓ الاستفادة ودعم المراكز البحثية والتطبيقية القائمة، وتمويل الدراسات المتخصصة في تطوير هذه المادة .
- ✓ التشجيع الرسمي وتقييم التجارب العملية الميدانية التي تم فيها استخدام مادة الطين بأسلوب حديث في البناء .
- ✓ العمل الجاد على إستيراد وتوطين تكنولوجيات تصنيع وتطوير البناء بالطين، والسعي الحثيث لنشرها بكل السبل .

التوصيات الخاصة بالمحور الإعلامي والثقافي

- ✓ توعية الناس عامة بالميزات المتعددة لهذه المادة ، ونشر المعلومات عنها وإقامة المعارض والمحاضرات وحلقات النقاش والندوات ، إلى غير ذلك من الوسائل التي تسهم في تقبل الناس للبناء بهذه المادة وتشجع على استخدامها.

- ✓ إبراز المشاريع المعمارية الحديثة المشيدة بالطين، في البلدان المتقدمة وذلك لتصحيح الصورة الخاطئة ، المستقرة في أذهان الكثيرين من أبناء العالم النامي، من ربط هذه المادة بالفقر والمرض والتخلف.
- ✓ عمل وتشجيع المسابقات المعمارية والانشائية ذات الطابع الابداعي الا بتكاري في مجال التصميم والتنفيذ الجيد للمباني الطينية.
- التوصيات الخاصة بالمحور الاقتصادي والبيئي
- ✓ إبراز الجوانب الاقتصادية للبناء بالطين ، وذلك على المستويات كافة ، عن طريق الدراسات المتخصصة ، سواء في ذلك التكلفة الأولية للبناء أو التكلفة التشغيلية من استهلاك للطاقة وصيانة وغيرها ، ومقارنة ذلك بالمباني الخرسانية
- ✓ ضرورة وضع وتصميم خريطة للدولة الليبية لمناطق والبلديات توضح اماكن وانواع الطين لاستخراج المناطق البيئية المناسبة لاقامة المشروعات والمصانع لهذه المادة وربطها باماكن اقامة المشروعات العمرانية.
- ✓ تشجيع القطاع الخاص على الاستثمار في صناعة مواد البناء المحلية، وبالتالي تقليل استيراد مواد البناء من الخارج مما ينعكس إيجاباً على الاقتصاد الوطني.

المراجع

المراجع العربية

1. حسن فتحي، 1989 ، عمارة الفقراء ، تجربة في ريف مصر، مطابع الجامعة الامريكية
2. ياسر خالد السقاف، 1989، عصام صلاح سعيد، دراسة تأثير التغيرات البيئية والمستجدات المعاصرة علي العمار الطينية دراسة حالة :وادي حزموت في اليمن، مجلة العلوم الهندسية، جامعة أسبوط، المجلد 44
3. منصور بن عبدالعزيز ، 2008 ، عمارة الطين في البلاد العربية والبلاد الغربية وطرق البناء السائدة ومحاور التطوير المقترحة، مجلة مركز بحوث ودراسات المدينة المنورة،المدينة المنورة، السعودية
4. شريف العطار ، 2006، نحو منهجية لتفعيل دور مواد وتقنيات البناء في تحقيق التنمية المستدامة لحياء السكنية ، ندوة تنمية المدن العربية في ظل الظروف العالمية الراهنة ، جامعة الدول العربية ، القاهرة، مصر
5. رودمان، دافيد ، ترجمة : شويكار ذكي ، 1997 ، " ثورة في عالم البناء" ، ايدار الدولية للنشر والتوزيع ، القاهرة، مصر
6. عثمان ناصف ، 2006، اثر التكنولوجيا علي العمارة الحديثة ، رسالة ماجستير ، جامعة المرقب ،الخمسة ،ليبيا

المراجع الاجنبية

1. Al-Jadeed, M.A, 2005, Earthen Architecture for sustainable habitat and compressed Stabilized earth block technology.

2. Bahobail, Mohammed Ali, 2011, the mud additives and their effect on thermal conductivity of adobe bricks, Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 40,
3. Paul G. Henry, 2000, the adobe story, a global treasure, University of New Mexico Press
4. Azab, Salem T ,2002 ,Earth brick building experiences. firstEngineering Conference
5. Klahalengh-University of Aden, Aden, Yemen

مواقع الشبكة العنكبوتية

1. <https://ara.architecturaldesignschool.com/this-clay-brick-disperses-heat-keep-buildings-cool-90701>
2. <http://sudaneseonline.com/cgi-bin/sdb/2bb.cgi?seq=msg&board=499&msg>
3. <https://boniankom.com/introduction-to-3d-printed>