مقارنة انشائية لأنظمة البناء بالطين في وادي حضرموت

مشعل احمد شيبان[1] ، محمد أنور التميمي[2]، أحمد عمر القرزي[2]، محمد فهيم التميمي[2]، أنس عمر عصبان[2] ومحمد خميس غودل[2]

[1]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والبترول، جامعة حضرموت المكلا، حضرموت- الجمهورية اليمنية - ص.ب50350 -تلفون: 777463397

[2]مؤسسة ماس كنتراكت - حضرموت - اليمن

DOI: https://doi.org/10.47372/uajnas.2022.n1.a06

الملخص

البناء بالطين هو السائد في وادي حضرموت منذ مئات السنين، ونظرًا لتطور وتغير رغبات الناس عبر الزمن, تغيرت أنظمة البناء لتواكب هذه الرغبات، وهذا البحث يهدف إلى مقارنة إنشائية للتغيرات الحاصلة في طريقة البناء بالطين في وادي حضرموت خلال فترة تجاوزت مائة عام، ويهدف إلى دراسة التغيرات الإنشائية للبناء الطيني ومواكبتها لحياة المستخدمين ودراسة التغيرات في معامل الأمان لها، وتم إجراء رفع مساحي للمباني وأخذ جميع التفاصيل الإنشائية، ودراسة التغيرات مع الزمن لكل عنصر إنشائي من مكونات المباني الطينية. وكذلك دراسة معامل الأمان بطريقتين مختلفتين لكل جزء من الجدران الحاملة, وأكدت النتائج أنه نظرًا لكبر مساحات الغرف وإلغاء الأعمدة الداخلية في التصاميم المعمارية الحديثة للمباني الطينية يؤدي إلى زيادة الإجهادات على جدران المباني الطينية وانخفاض عامل الأمان فيها إلى قيم متدنية، وهذا يعني أن مادة الطين أصبحت عليها اجهادات كبيرة مما يسبب ظاهرة سرعة ظهور التشققات وحصول انهيار في المباني الطينية الحديثة، ولهذا ننصح بوضع كود محلي للبناء بمادة الطين والتبن ((باللغة العربية)) ليسهم في إلزام العمل بالتصاميم الإنشائية عند التنفيذ، ويحافظ على استدامة نظام البناء المحلي المتميز.

الكلمات المفتاحية: نظام البناء، تحليل إنشائي، مباني طينية.

المقدمة:

ارتبطت المنشآت الطينية في وادي حضرموت بالتميز والأصالة منذ قديم العصور كنوع فريد وخاص لمتعلق بها، حتى مع التطور الملحوظ في القرون الأخيرة ظل الطابع الطيني حاملًا درع التميز والمفاضلة في كثير من الأمور، مما أدى إلى الحاجة الماسة للخوض في تفاصيل ذلك السر الإنشائي العظيم، وتحليله وتكوين قاعدة من البيانات المدروسة والمفصلة بطريقة علمية تمكننا من تطويرها واستثمارها بالصورة الصحيحة والمثلى.

لذا يمكن القول إن انتقال الأحمال الراسية في المباني الطينية يغلب عليه نظام الجدران الحاملة مع وجود بعض الحالات لأعمدة قليلة في بعض المباني، حيث تتلخص الجملة الانشائية للجدران الحاملة بأن الأحمال الشاقولية على البناء تطبق مباشرة على البلاطات والتي تنقلها مباشرة إلى الجدران الحاملة ومنها إلى الأساسات، ثم تنقلها الأساسات بدورها إلى تربة التأسيس. أما الأحمال الأفقية على البناء فيتم نقلها إلى الأساسات عن طريق الجدران الحاملة الموازية لاتجاه الأحمال الأفقية والتي تعمل كجدران قص كتلية، ويغلب على الكمرات في المباني الطينية انها عقد شبه مفصلية أي لا يتم فيها نقل عزوم انعطاف من البلاطات للجدران الحاملة بذلك نحصل على عناصر شاقولية معرضة لقوى محورية ضاغطة بصورة أساسية[1] .

العديد من الباحثين [4;8] درسوا مقاومة الضغط للطوب الطيني تحت نسب الخلط المختلفة له، ولكن التحليل الإنشائي لمباني طينية ودراسة معامل الأمان لها في مباني قديمة وحديثة لم يتطرق له في السابق،

باستثناء العاني [8] الذي قام بعمل نموذج رياضي مبسط لتحليل قوة تحمل المباني الطينية، ودرس من خلال هذا النموذج عينتين لمباني طينية أثرية بتريم وشبام.

توجد بعض كودات البناء الحديث باستخدام مادة الطين واللبنة الطينية مثل الكود النيوزلندي [9] الذي وضع طرق ومعادلات تصميمة مختلفة عن النموذج الرياضي الذي استخدمه العاني [8] في دراسته، ونحن هنا في هذه الدراسة استخدمنا كلا الطريقتين في احتساب معامل الأمان للمباني الطينية بوادي حضرموت، حيث يتضمن هذا البحث اختيار ثلاثة مباني طينية كنماذج بنيت في عصور مختلفة تحاكي الأنظمة والأساليب البنائية السائدة في زمن بنائها، ودراسة مقاومتها للظروف المحيطة ومدى تأثرها بها ومقارنة التغيرات التي حدثت في أساليب البناء والفروقات الإنشائية خلال هذه الأجيال الثلاثة، وقد تمت عملية الرفع المساحي لهذه المباني الثلاث، وتم أخذ جميع التفاصيل الإنشائية والمعمارية وسماكة الجدران والأسقف والجسور، ومعرفة مواد البناء المستخدم لكل جيل، وبعدها تم رسم الواجهات والمساقط المعمارية والإنشائية والتفصيلات، ومن ثم تم التحليل الإنشائي وحساب الأحمال والأوزان للأسقف والجسور والتشطيبات، واحتساب تغير معامل الأمان عبر الأجيال للمباني الطينية في وادي حضرموت.

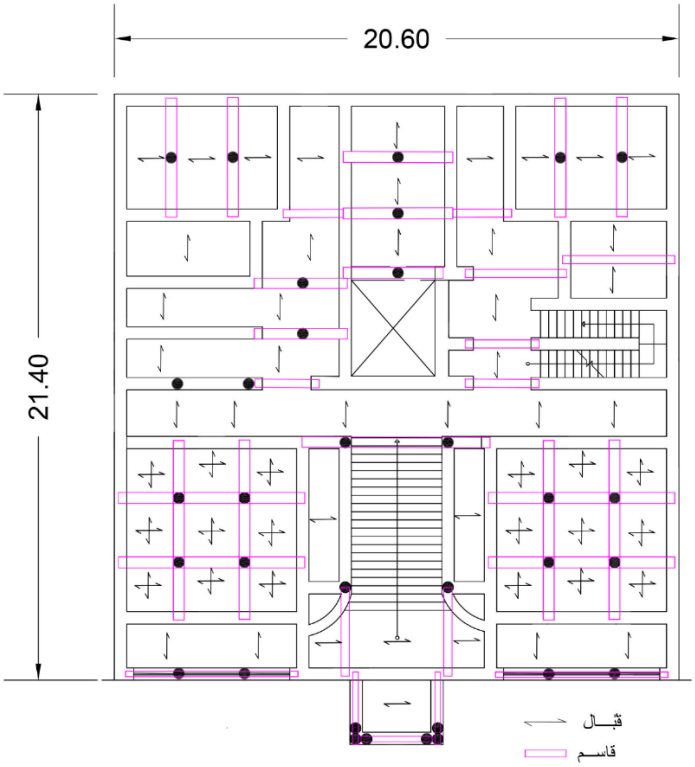
الهدف من البحث:

يعرف الجميع أهمية المباني الطينية كطابع يميز وادي حضرموت عن غيره من عدة جهات فريدة ومميزة، حيث يعتبر البناء بالطين أكثر اقتصادية، وصديق للبيئة، ولا توجد له أثار سلبية على عكس الخرسانة، كما تعتبر العمارة الطينية من التراث الحضرمي المبدع والثمين، ولذلك ضرورة ماسة لدراسة طبيعة هذه المباني وأساليب إنشائها ومدى التأثير الزمني عليها بشكل يضمن استمرارها وتميزها ومواكبتها لتطورات العصر، ولأجل استمرار حضارة البناء بالطين كان لابد من دراسة النظم الإنشائية للمباني الطينية والتغيرات الإنشائية ومعامل الأمان بين ثلاثة أجيال من المباني الطينية في وادي حضرموت ووضع توصيات من أجل تحسين النظام الإنشائي للمباني الطينية وديمومتها.

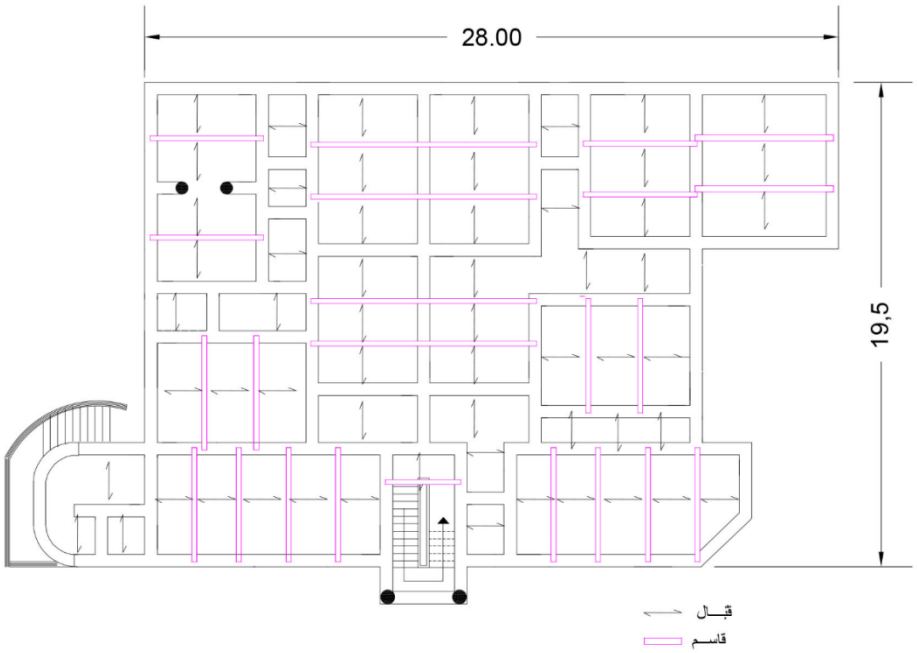
مواد وطرق البحث:

تم اختيار ثلاثة مبانٍ طينية على أجيال متعاقبة لعائلة واحدة في منطقة واحدة من قرى وادي حضرموت بحيث تحوي نفس الظروف المحيطة، وتمثل نماذج من المباني الطينية السائدة لنمط البناء بوادي حضرموت على مر 120سنة حيث استطاعت المباني الطينية الصمود مع مختلف المتغيرات، تمت عملية الرفع الداخلي لجميع مكونات المباني الثلاثة ورسم المخططات الهندسية من مساقط وواجهات معمارية ومخططات إنشائية للأسقف ومقاطع لمكونات السقف كما هو مبنى في الواقع. انظر الأشكال (1-4).وجدول رقم (1) يوضح خلاصة مقارنة بين مباني الأجيال الثلاثة لبعض عناصر الرفع المساحي.

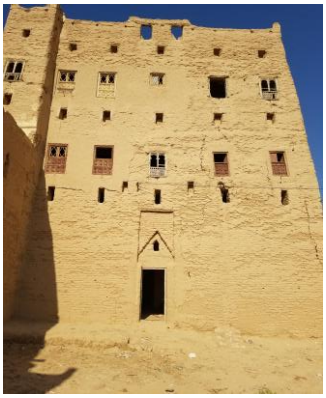
الشكل (1): انشائي سقف الدور الأرضي للجيل الأول



الشكل (2):انشائي سقف الدور الأرضي للجيل الثاني



الشكل (3) إنشائي سقف الدور الأرضي والأول للجيل الثالث



مبنى الجيل الاول

مبنى الجيل الثاني

مبنى الجيل الثالث

الشكل (4):صور فوتوغرافية لمباني الأجيال الثلاثة.

الفروقات من ناحية العناصر الإنشائية:

1. الأساسات:

هو العنصر الإنشائي الذي يقوم بنقل الإجهادات القادمة من الجدران إلى التربة ويعمل على حماية المبنى الطيني من التغيرات التي تحصل للتربة وأيضا يقوم بحمايتها من مياه الأمطار والسيول. الجيل الأول بني بدون أساسات حجرية مثل المباني القديمة التي كانت تبنى في الأرض المستوية والبعيدة من أماكن المياه، وإنما كانت الأساسات الحجرية تنفذ في الحصون التي تبنى في الجبال أوفي الأبنية القريبة من أماكن تواجد الماء فقط، اما المباني في وقتنا الحاضر (الجيل الثالث) فيعتبر الأساس واحدًا من أهم العناصر التي لا يستغنى عنه.

جدول (1): خلاصة بيانات مباني الأجيال الثلاث.

الوصف	الجيل الأول	الجيل الثاني	الجيل الثالث	الوحدة
تاريخ البناء الميلادي	1913	1966	2009	
تاريخ البناء الهجري	1331	1385	1430	
عدد الأدوار	3	2	2	دور
ارتفاع الدور الأرضي	4.9	3.6	3.2	متر
ارتفاع الدور الأول	3.28	4	3.2	متر
ارتفاع الدور الثاني	3.2	-	-	متر
سماكة جدران الدور الارضي	500	500	470	مليمتر
سماكة جدران الدور الأول	470	500	450	مليمتر
سماكة جدران الدور الثاني	450	-	-	مليمتر
سماكة الاسقف	500	500	300	مليمتر
الجنوة	100	0	0	مليمتر

الأساسات قديما كانت تبنى بوضع روث الماشية بسمك 5-3 سم، ثم يُرش فوقها بطبقة من الملح بسمك 8-10 سم، لتقوية أرضية الأساسات وإبعاد الأرضة عنها، ثم تُرصُّ أعواد العلب أو سيقان نبات اليعبور حيث تعمل هذه الأعواد عمل الميدات الخرسانية في توزيع الأحمال بالتساوي على التربة، وتمنع هبوطها الجزئي، وبالتالي تجنب ظهور شروخ في المبنى، كما أنها تعمل على ربط أساسات المبنى ببعض، بعد ذلك توضع طبقة من الرماد تليها طبقة من كسر الحجر من غير مونة لمنع صعود الرطوبة، ثم يُبدَأ برفع جدران الأساس إلى ما يقارب 50 سم – 100 سم فوق سطح الأرض حيث يتم رص الأحجار بطريقة مرتبة ومنظمة، وكانت الأحجار غير منتظمة الشكل وإنما عشوائية، وكانت مادة الربط بين الأحجار هي مادة الطين[4].

أما الطريقة الحديثة والسائدة كما في الجيل الثالث ويتم صب خرسانة عادية للأرضيات وبسمك لا يقل عن 10سم ويوضع طبقة الأحجار (الجعم) وتغريقها في الطبقة الأولى للخرسانة مع مراعاة الرش بالماء للجعم[2]. ويصب الخرسانة فوق الجعم مع ملء الفراغات بين الأحجار ويتم عمل طبقة خرسانية نهائية سمك 10سم فوق الجعم مع تسوية الطبقة الأخيرة، لتكون جاهزة لبناء الساس الحجري عليها.

2. الجدران الطينية:

تعد اللبنة الطينية هي الوحدة البنائية للجدار الطيني وهي عبارة عن طوب من الطين والتبن يجفف بتعرضه لأشعة الشمس، وتمثل أساس البناء الطيني بوادي حضرموت وينتج باختيار طين مناسب للبناء تكون نسبة الغرين فيه (أكثر من 20%)، وتكون خالية من الأملاح ويخلط بالتبن[3].وهنالك مقاسات مختلفة في المدر في وادي حضرموت ومن أهمها وأكثرها استخدامًا هي الحجم الكبير (55*30*7.5) سم، والحجم

المتوسط (45*30*7.5) سم، والحجم الصغير (42*30*7.5) سم، وحجم (45*20*7.5) سم وهو خاص بالأقواس (العكوف)اما الآن (كما الجيل الثالث) فاستخدم الطوب بالمقاسات (47*30*5) سم. وأقل قوة تحمل للبنة الطينية (المدر) تساوي 2 نيوتن\ مم^2 ينصح به[2]، ويوصي الكود النيوزيلاندي بتخفيض قيمة الإجهاد بضربه في معامل تخفيضka من أجل تحقيق الأمان ويؤخذ هذا المعامل من الجدول (Table A1) بالكود النيوزيلاندي[10].

- **تقنيات ربط الطوب الطيني (طرح المدر) وبناء الجدران:**

بإبداعات تقنيات الربط استطاع الحضارمة تنفيذَ مبانٍ طينية في مدينة شبام التاريخية – وادي حضرموت- بارتفاع يصل إلى ثمانية أدوار. وتبلغ سماكة جدران الدور الأرضي في البيت الشبامي 90 سم إلى 110 سم، ويتم ّ ُتخصير عرضها كلما صعدنا إلى الأعلى، حتى تصل سماكتها في الدور الأخير إلى 23 سم، وبميل خفيف إلى الداخل ويسمى الجنوة وهي عبارة عن الميل الناتج عن بناء المبنى الطيني للداخل ويستخدم في أغلب المباني القديمة (موجودة بالجيل الأول فقط) ويكون هذا الميلان بحدود (20-8) سم على حسب عدد الأدوار[6]أما المباني الحديثة فغالبًا تبنى بشكل عمودي أن وجود الجنوة في الجدار تفيد في حالة انهيار المبنى حيث ينهار إلى الداخل حتى لا يؤثر على الجوار وكذلك تعمل على تماسك السقف مع الجدار ولكنه يؤثر بشكل سلبي على قوة تحمل الجدار بسب توليد لامركزية للقوى التي يحملها الجدار. وهناك أساليب للربط أشهرها:

✓ **ربط سبية ومعروضة:**

يتم بناء الجدار عن طريق توجيه المدرب بشكل عرضي (سبية) وطولي (معروضة) ، ويتم خلف وضع السبية والمعروضة من الطبقة السفلى إلى الطبقة التي تليها، وعلاوةً على ذلك يتم إزاحةُ الفواصل بين المدر من طبقة إلى أخرى(الترابط) مسافةً لا تقل عن 7,5 سم. وهذا كان ينفذ في حالة المباني العالية مثل مباني مدينة شبام وظهر هذا النوع فقط في عروس الدرج للجيل الأول بسمك 80 سم.

✓ **ربط سبية فقط أو معروضة فقط:**

يُستخدَم هذا النوعُ من الربط في المباني الحديثة ويكون ربط المعروضة في الدورين الأول والثاني بينما ربط السبية يستخدم في الدور الثالث؛ لأن ارتفاع المباني أصبح أقلَّ من السابق. وهذا النوع هو الذي ساد في كل جدران المباني التي تم دراستها في هذا البحث.

- **قدرة تحمل الجدران الطينية:**

تمت دراسة قدرة تحمل الجدران في ثلاث مواضع من الجدار هي عند مسند الجسور ومنتصف وأسفل الجدار الطيني الحامل.

✓ **حساب قدرة تحمل الجدار موضع نقل القوة عند مسند الجسور:**

يتم التأكد من قدرة تحمل الجدار عند موضع نقل القوة عند مسند الجسور (القبوض) وعليه يتحدد إذا كانت هناك حاجة لتصميم قبوض في الجدار عند التقاء الجسر بالجدار باستخدام العلاقة التالية:

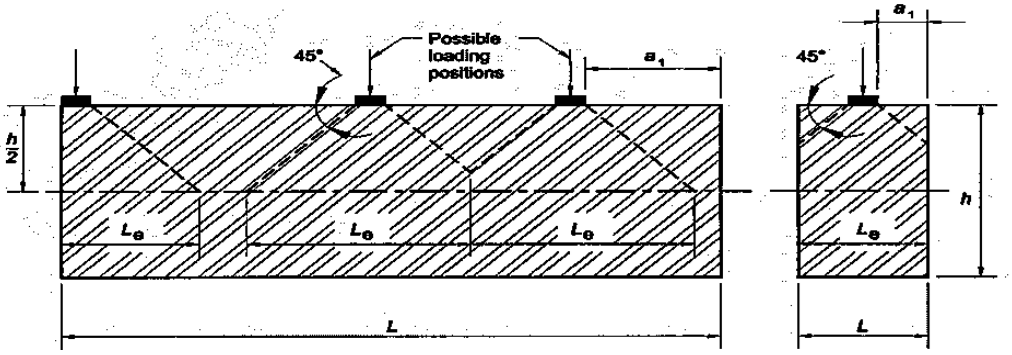
$$\sigma=\frac{p(N)}{A(mm2)} \qquad (1)$$

حيث إن (σ)الإجهاد، و(p) القوة وهي رد الفعل عند مسندالجسر على الجدار شاملاً، وزنه والأحمال التي ينقلها من السقف أعلاه، (A)مساحة تسليط القوة وبعد ذلك تم مقارنة هذه النتيجة بأقل إجهاد مسموح في ضغط اللبنة الطينية.

✓ **حساب قدرة تحمل الجدار عند منتصف وأسفل الجدار:**

يتم حساب قدرة تحمل الجدار لكل الأحمال التي يحملها الجدار، حالة التحميل الأولى هو عبارة عن جدار يحمل حمولات موزعة فقط، وتم حساب الحمولات الموزعة القادمة إليه من الجدار الذي فوقه مع الحمولات التي يحمله، ذلك الجدار والقادمة إليه من السقف الذي يحمله، وأيضا حمل الجدار نفسه ويتم جمعها أما حالة التحميل الثانية وهي عبارة عن جدار معرض لحمولة موزعة وأخرى مركزة، فإننا نقوم بتحويل الحمولة

المركزة إلى حمولة موزعة حيث يتم ذلك بانتقال القوة المركزة بزاوية 45° إلى منتصف الجدار. والشكل(5) مقتبس من الكود النيوزلاندي الذي يوضح كيفية تحويل الحمل المركز إلى حمل مكافئ موزع. وفي كلا الحالتين يتم احتساب اللامركزية للأحمال الناتجة عن عدم انطباق مركز الثقل للجدار العلوي على الجدار الذي أسفل منه.



الشكل (5): توزيع القوى المركزة إلى موزعة حسب الكود النيوزلاندي [10]

✓ **حساب قدرة تحمل الجدار عند منتصف وأسفل الجدار بمعادلة العاني:**

نحسب الاجهادات التي تقع على الجدار من خلال العلاقة الآتية: [8]

$$\text{wall strength}=\frac{ftot(\frac{KN}{m})}{b(m)} \qquad (2)$$

حيث إن $(ftot)$ الحمل الكلي على الجدار و(b) عرض الجدار الطيني من ثم يتم مقارنته بأقل إجهاد مسموح به في الجدران الطينية والمعادلة التالية توضح حساب أقل إجهاد مسموح به في الجدران الطينية:

$$\sigma_w=0035*(1-1.5e/t)\sigma_b^{0.75}(N/mm^2) \qquad (3)$$

حيث إن (σ_w) الإجهاد المسموح في الجدران الطينية، (e) اللامركزية وحدتها mm، (t) سماكة الجدار ب mm و(σ_b) اجهاد اللبنة الطينية.

✓ **حساب قدرة التحمل في منتصف وأسفل الجدار بطريقة الكود النيوزلاندي**[10]**:**

يتم حساب القوة التصميمية للجدار الطيني من خلال المعادلة الآتية:

$$N^* \leq K \text{Ø} N \qquad (4)$$

حيث يتم إيجاد قيمة معامل تخفيض القدرة (Ø) من الفقرة (5.3.1.3) من الكود،وإيجاد معامل التخفيض (k)من خلال الجدول (6.1) من الكودحسب (e/t) وحساب نسبة النحافة (Sr)من المعادلة الآتية:

$$Sr= av*h/t \qquad (5)$$

وممكن إيجاد معامل نسبة النحافة(av) من خلال الفقرة (6.4.3.3) من الكود، (h) ارتفاع الطابق، (t) سماكة الجدار ومن ثم حساب قوة الضغط الاسمية (N_o) من المعادلة الآتية:

$$N_o= fe\ (N/mm^2) * A_b(mm^2) \qquad (6)$$

حيث إن (A_b)مساحة المقطع و(fe) إجهاد اللبنة الطينية [11].

✓ **معامل الأمان (safety factor):**

يمكن حساب معامل الأمان بالمعادلة الآتية بطريقة العاني: [8]

$$\text{safety factor}=\frac{\sigma w}{\text{wall strength}} \qquad (7)$$

وحساب معامل الأمان بطريقة الكود النيوزلاندي بطريقة(nzs.4297.1998):[10]

$$\text{safety factor} = \frac{N*}{NACT} \quad (8)$$

حيث إن $(N*)$ الحمل المحوري التصميمي و$(NACT)$ الحمل المحوري الفعلي على الجدار.

3. الأعمدة (السارية، الركبة، السهم، الركيزة):

تحتوى المباني الطينية بوادي حضرموت على واحد أو أكثر من أنواع الأعمدة الثلاثة الشائعة (طينية، خشبية، حجرية) باستثناء مباني الجيل الثالث، اختفت منه الأعمدة الداخلية واستعيض عنها بالجسور الكبيرة (خرسانية أو حديدية) وهي كما يأتي:

- **أعمدة طينية:**

وهي عبارة عن أعمدة مصنوعة من الطين أي تعتبر كأنها جزء من الجدار وتعامل على أساس جدار من قوة تحمل وانضغاط وبناء وغيرها، وتوجد غالبا بسماكات كبيرة واستخدمت في الأبنية القديمة ذات الارتفاع العالي للدور الأرضي، حيث يصل ارتفاع الدور إلى 4.9 متر وبعرض للعمود يتجاوز 65 سم وقد يصل الى 1.5*1.5متر في المساجد ذات سقوف العكوف[7]. وظهر هذا النوع من الاعمدة في الدور الأرضي للجيل الأول، وتعمل تلك الأعمدة على نقل الأحمال الآتية من الأعمدة الخشبية من الأدوار الأعلى منها أو الآتية من سقف الدور الأرضي إلى التربة.

- **أعمدة خشبية:**

هي الأعمدة المصنوعة من خشب الحمر أي من جذوع وسيقان أشجار العلب (السدر) وغالبًا ما تكون في الأدوار الثالث والثاني والأول، حيث تقوم بحمل الجسور ونقل الأحمال من الأسهم التي فوقها إلى الأعمدة الطينية او الحجرية، وتعتمد مقاس المقطع الخشبي على خبرة المعالمة في ذلك الوقت [7]، وظهر هذا النوع من الأعمدة في الدور الأول والثاني للجيل الأول.

- **الأعمدة الحجرية:**

عبارة عن أعمدة مبنية من الحجر تمتاز بالمتانة والديمومة وتستخدم هذه في حمل العكوف وخصوصًا في المساجد، وأيضا في حمل البلكونات وفي تزيين مداخل البيوت ذات أشكال مربعة ودائرية، يقوم الحجار بنحتها وتشكيلها بمختلف المقاسات، وتقوم الأعمدة الحجرية بنفس الوظيفة للنوعين السابقين وتكون المادة الرابطة بين الحجرة والأخرى من الطين أو مونة اسمنتية وتثبت هذه الركيزة عن وضع الأحمال عليها، ويوضع فوق رأس العمود الحجري الكبش ويكون أيضًا من الحجر ذي شكل مربع بحيث يزيد عن الحجر الذي تحته مقدار (2-5) سم. وظهر هذا النوع في الجيل الثاني من المباني.

4. الجسور(القواسم):

الجسرهو العنصر الإنشائي الذي يقوم بنقل الأحمال التي يستقبلها من السقف ونقلها للجدران الحاملة أو الى الأعمدة في حالة وجودها.

- **القبوض في الجسور:**

للقبوض أهمية بالغة في ترسيخ الجسر على جداره الحامل وهو المسافة الزائدة عن عرض الجسر ويعمل على توزيع الإجهادات القادمة من الجسر على مساحة أكبر، لتحقيق الأمان لكون قوة تحمل اللبنة الطينية ضعيف، وممكن معرفة مساحة القبوض الكافية بالعلاقة (1)،في المباني القديمة يوضع القاسم على الجدار في حدود 30 سم ودون حاجة لتصميم القبوض، وذلك بسب قلة الأحمال عليه، وبعد أن زادت الأحمال قام البناؤون بوضع حديد (كمالات السيارات القديمة) حيث يتم قصها بطول 30 سم أو أكثر بقليل وبعرض 8 سم، وممكن أن نصمم صفيحة معدنية وهو الأفضل، إلا أنه أكثر كلفة، أوتعمل بسطة عرضية كما في الجسر الخرساني والحديدي. وقد قسمت الجسور من حيث نوعية المادة المستخدمة الي ثلاثة أنواع هي:

- **جسور(القواسم)خشبية:**

كانت الجسور في المباني القديمة من أعواد السدر وهو الأكثر جساءة وديمومة حيث يعتبر مقاوم للنمل الابيض، يكون بأطوال محدودة لذلك قد نلجأ لعمل عمود بسب قصر العود المتوفر وتكون دائرية الشكل أومربعة الشكل بأقطار مختلفة تتراوح بين (25-45) سم، وظهر هذا النوع في كلا الجيلين الأول والثاني. وفي

بداية الثمانينات من القرن الماضي وفر بعض التجار الأخشاب المستوردة من الخارج مثل القواسم الخشبية الماليزية.

- **جسور حديدية:**

في المباني الحديثة كانتالجسور المصنوعة من الحديد هو الاكثر استخداما من الأنواع الأخرى وهو من المقطع (w) بمقاساته المختلفة (6*4، 8*4 ،10*5) وتتميز أنها ذات متانة عالية وصغر حجمها، بالإضافة إلى أن مناخ وادي حضرموت لا يؤثر على الحديد بشكل كبير، وظهر هذا النوع في الجيل الثالث الحديث، وقد تستخدم من المواسير الحديدية لكن بأقطار كبيرة تصل 25 سم وسمك 4 مم، وأهم عيوبها عدم الترابط مع الجدران الطينية واختيار الأقطار الصغيرة من معالمة البناء والتي لا تكون آمنة لتحمل الأوزان أعلاها، مما يسبب تقوسات كبيرة وواضحة في الجسور.

- **جسور من الخرسانة المسلحة:**

تم استخدامها كجسور في المباني الطينية الحديثة لسهولة تصميمها والتحكم في مقاطعها لتعطي بحورًا أكبر وتنفذ بالتخشيبة العادية، ولكون الطين تعتبر مادة مرنة تتأقلم مع العديد من المواد ومنها الخرسانة.

5. الأعصاب (القبال):

توضع القبال فوق القاسم والقاسم المقابل له، أو فوق القاسم والجدار، أو فوق الجدار والجدار وتعمل مثل الأعصاب حيث تقوم بنقل الحمل القادم إليه من السقوف إلى الجدار أو القاسم على حسب ما تستند عليه، وتنقسم القبال في حضرموت وفقا للمادة المستخدمة إلى نوعين وهما:

- **قبال خشبية:**

وتوجد منها نوعان أولها هي أعواد العلب ذات المقطع الدائري، وقد استخدمت في المباني القديمة وتعتبر ذات عمر كبير حيث وجدت مثل ماهي في بيت الجيل الاول لم تتغير ولا يأكلها النمل الأبيض، وتوجد متعرجة وشبه مستقيمة إلا أنهم استخدموها بأقطار مختلفة تتراوح من (8-15) سم والمسافة تستخدم بشكل عشوائي إلا أنها لا تزيد بين وجه القبل إلى وجه القبل عن 30 سم ولا تقل عن 20 سم، وكانت سائدة كذلك في الجيل الثاني.

أما النوع الثاني من القبال فقد كانت باستخدام الأخشاب المستوردة من الخارج، وأشهرها وأكثرها استخداما في السوق المحلي هو الخشب الماليزي، وبدأ استخدامه من الثمانينات من القرن الماضي، وذلك لتسارع نهضة البناء في وادي حضرموت وعدم كفاية الإنتاج المحلي من عود العلب، ولأجلأن تعطي أطول بحورًا ممكنة تتناسب مع تغيرات التصاميم المعمارية الداخلية، وكانت تلك القبال ذات مقاطع مربوعة وتوجد بأطوال كبيرة ومقاسات مختلفة، إلا أنها ضعيفة المقاومة للأرضة، مما تطلب بأن تطلى للحد من تآكلها من الأرضة، ولا تزال مستخدمة حتى وقتنا الحاضر في العديد من المساجد وتكون المسافة بين وجه الخشب ووجه الخشب المجاورة لها 25 سم.

- **قبال حديدية:**

أما في وقتنا الحاضر فقد انتشرت القبال الحديدية في أغلب المباني الطينية في وادي حضرموت حيث توجد بقطع دائري وهي عبارة عن ماسورة ماء توجد بعدة مقاسات، ولكن أكثرها استخدامًا ذات القطر1.5 انش بسمك 2 مم، وتستخدم بأكبر طول لها 1.8 متر، وذات قطر 2 إنش بسمك 2مم تستخدم كأكبر طول لها 2 متر، وتكون المسافة بين وجه الماسورة وجه الماسورة المجاورة لها 25 سم.

6. السقوف:

السقوف السائدة في المباني الطينية بوادي حضرموت تنقسم إلى نوعين هما:

- **السقوف المسطحة**:

والسقوف المسطحة تنقسم إلى نوعين أيضًا وهما:

✓ **السقوف العادية:**

في المباني القديمة كانت السقوف من اليعبور فوق القبال الخشبية، بعد ذلك توضع الشطفة المصنوع من السعف المنسوج بأيادي النساء الحضرميات بطريقة ماهرة وبعدها يوضع المونة الطينية وبعد ذلك توضع طين جافة وأحيانا يوضع روث الأغنام (الدمان) بعد ذلك توضع المونة الطينية المضاف إليها التبل وبعد ذلك تترك للجاف ويعمل لها المحضة الثانية وتترك للجفاف وبعدها يطرح لها النورة المخلوطة بالرماد والحصى الصغير، ويبلغ سماكة الأسقف من (45-50) سم، وفي السبعينات استبدل اليعبور بالأراك نظراً لقلة شجرة اليعبور وبسبب أن الأراك لا تأكله الأرضة.أما اليوم فما زالوا يستخدمون الأراك وأحيانا يستخدمون شجرة العشر إلا أنه أقل جودة من الأراك، وبعد ذلك توضع المونة الطينية وبعدها أما بالطريقة السابقة أو يوضع المدر على كافة السقف، ويبلغ سمك السقف مع المواسير 30 سم ويترك لمدة 30 يومًا لمرحلة الجفاف.

✓ **سقوف الشرق (الشباتير):**

ظهر هذا النوع حديثا في بداية القرن الحادي والعشرين إلا أنه مكلف نوعًا ما عن النوع العادي، وذو وزن كبير، ولكن له عدة مميزات أهمها أنه لا توجد لها أي أثر من الهزات عند الحركة عليه مقارنة بالنوع العادي، وعند هطول الأمطار لا يتسرب منه الماء بسرعة عكس النوع العادي تماما، سريع الإنجاز بحيث ممكن العمل مباشرة في التشطيبات وعدم انتظار فترة تجفيف كبيرة مثل النوع العادي، حيث إنه بعد وضع القبال يوضع مدر خاص بشكل السيف (بشكل طولي) وتوضع المونة الطينة المضاف إليها التبل وتوضع المدرة الثاني وهكذا حتى يكتمل.

- **السقوف ذات العقود (الجملول):**

تعتبر السقوف المقوسة هي الأكثر قدما في البناء الطيني والأكثر متانة ووزنًا، وغالبًا ما تستخدم في الدور الأرضي (كما في الجيل الأول والثاني)،كما أنها استخدمت في الطابق الأول والثاني في مدينة سيؤن بزيادة سماكة السقف، حيث استخدم في بنائه نوع خاص من المدر يسمى الشبر أو العكف وذلك لصغر حجمه وسهولة انحناءه وسرعة التحامه وإمكانية طواعيته.

7. السلالم (الدرج):

كل السلالم في الأجيال الثلاثة كانت طينية وهي الأقل كلفة حيث ترتكز على العروس وهي الجدار الذي يسند عليه الدرج من جهة، وجدار الغرف من الجهة الأخرى، وتتوزع الأحمال نصف للعروس والنصف الأخر للجدار الآخر، بينما الجزء الأرضي من السلالم يكون مردومًا لذا الأحمال لا تصل العروس ولا الجدار. ويكون سمك العروس في المباني القديمة 80 سم بينما في الجيل الثالث كانت بحدود 47 سم. وفي وقتنا الحاضر دخلت السلالم الخرسانية في المباني الطينية إلا أنه يحصل شقوق بسب اختلاف المادتين في مكان الالتحام.

النتائج والمناقشة:

لقد تم حساب معامل الأمان لجميع الجدران الطينية للمباني الثلاث في ثلاثة مواضع وهي موضع نقل القوى عند مسند الجسور، وعند منتصف وأسفل الجدار، بعد أن تم حساب الأحمال وتوزيعها بصورة أحمال موزعة، وتم الاستناد في حساب الأحمال بالطريقة الكود النيوزلاندي وطريقة العاني المذكورتين سابقًا. حيث تم تحليل البينات من الرفع المساحي، وكذلك أخذ التشطيبات بعين الاعتبار.

الجدول (2) يبين عينات من نتائج احتساب عامل الأمان عند موضع نقل القوى أسفل مساند الجسور، ونلاحظ من الجدول أن عامل الأمان في الجيل الأول تجاوز 10، بينما انخفض عامل الأمان بشكل كبير في الجيل الثالث إلى أقل من 3.

جدول(2):معامل الأمان للأجيال الثلاثة في موضع نقل القوى عند مسند الجسور.

نماذج من الجدران	**الحمل**	**الاجهاد أسفل المسند**	**Safety factor**	
	(KN)	(N/mm^2)	طريقة العاني	طريقة الكود النيوزلاندي
الجيل الأول				
W(1-2)	11.11	0.185	10.8	7.6
W(1-1)	11.11	0.185	10.8	7.6
W(1-0)	12.11	0.101	19.8	13.9
الجيل الثاني				
W(1-1)	11.44	0.191	10.5	7.3
W(1-0)	25.94	0.432	4.6	3.2
الجيل الثالث				
W(1-1)	44.3	0.738	2.7	1.9
W(1-0)	47.46	0.791	2.5	1.8

الجداول (3)-(5) يوضح نماذج احتساب عامل الأمان في منتصف وأسفل الجدار، ونلاحظ من الجداول أن احتساب عامل الأمان بطريقة (العاني)في الجيل الأول القديم تراوحت من 3إلى أكثر من 10، بينما انخفض عامل الأمان بشكل كبير في الجيل الثالث إلى حوالي 2 للعديد من الجدران.

يلاحظ أيضًا أن طريقة الكود النيوزلاندي أعطت نتائج أمان أعلى لحالات منتصف وأسفل الجدارلكل من مباني الأجيال الثلاثة.

إن انخفاض معامل الأمان بشكل عامل للجيل الثالث نظرًا لكبر مساحات الغرف و إلغاء الأعمدة مما أدى إلى زيادة الإجهادات على الجدران و بالأخص عند موضع نقل القوى أسفل مساند الجسور حيث وصلت إلى حالات أمان حرجة جداً بالنسبة لمادة الطين، وهذا يعني أن مادة الطين أصبحت عليها اجهادات كبيرة مما يسبب ظاهرة سرعة انهيار تلك المناطق في البيوت الحديثة وظهور تشققات كبيرة دومًا أسفل المساند للجسور، وازدياد ظاهرة الانهيارات أسفل مساند الجسور عند تساقط الأمطار نظرًا لانخفاض قوة تحمل اللبنة هناك مع الرطوبة العالية والمطر.

الجدول (3): معامل الأمان في منتصف وأسفل الجدران للجيل الأول.

نماذج من الجدران	**Safety factor**			
	طريقة العاني		**طريقة الكود النيوزلاندي**	
	منتصف الجدار	**أسفل الجدار**	**منتصف الجدار**	**أسفل الجدار**
W(1-2)	10.7	7.7	16.1	11.4
W(1-1)	4.7	4.0	6.9	5.8
W(1-0)	3.0	2.6	3.9	3.3
W(2-2)	9.1	6.9	11.5	9.4
W(2-1)	4.7	4.0	6.7	5.9
W(2-0)	3.2	2.7	4.3	3.6

الجدول (4): معامل الأمان في منتصف وأسفل الجدران للجيل الثاني.

نماذج من الجدران	Safety factor			
	طريقة العاني		طريقة الكود النيوزلاندي	
	منتصف الجدار	أسفل الجدار	منتصف الجدار	أسفل الجدار
W(1-1)	8.3	6.0	11.9	8.6
W(1-0)	4.2	3.6	6.0	5.1
W(2-1)	8.3	6.0	11.6	8.4
W(2-0)	4.4	3.7	6.0	5.2
W(3-1)	10.6	7.5	14.8	10.6
W(3-0)	4.8	4.1	6.9	5.8

الطريقة الحديثة في بناء الأساسات المذكورة في الفقرة (4.1) ساهمت كثيرًا في الحفاظ على المبنى الطيني من خطر المياه والسيول. مع تنبيهنا بأن بدء انتشار البناء في مجاري السيول للكثافة السكانية وقلة المساحات في الوادي فإنه سيؤدي إلى مشاكل وأضرار مستمرة أثناء السيول وارتداده.

ضرورة إجراء الحسابات الإنشائية عند تصميم وتنفيذ المباني الطينية والأخذ بعين الاعتبار عدد الأدوار ومساحات الغرف وبحورها، وكذلك أهمية الأخذ بعامل اللامركزية في تحميل الجدران حيث إنها لها دور كبير فبإضعاف قدرة تحمل الجدران، فيجب دومًا السعي لتقليل اللامركزية (e) بوضع مركز الجدار الطابق الأعلى على مركز الجدار في الطابق الأسفل.

الجدول (5): معامل الأمان في منتصف وأسفل الجدران للجيل الثالث.

نماذج من الجدران	Safety factor			
	طريقة العاني		طريقة الكود النيوزلاندي	
	منتصف الجدار	أسفل الجدار	منتصف الجدار	أسفل الجدار
W(1-1)	5.0	4.2	6.5	5.8
W(1-0)	2.4	2.2	3.1	2.9
W(2-1)	10.1	7.5	14.7	11.0
W(2-0)	4.6	4.0	6.1	5.7
W(3-1)	6.5	5.3	9.2	7.5
W(3-0)	3.0	2.7	4.2	3.8

كما لاحظنا أهمية تقليل عرض الفتحات كالنوافذ والأبواب لأن زيادة العرض يتسبب بتقليل الطول الفعال لتوزيع الحمل المركز (Le) مما يودي الى زيادة اجهاد الحمل على الجدار.

الاستنتاجات:

نظام البناء السائد في وادي حضرموت هو البناء باللبنة الطينية المجففة بالشمس، ونظرًا لتطور وتغير احتجاجات الناس عبر الزمن تغيرت أنظمة البناء لتواكب هذه الرغبات، ونظراً لكبر مساحات الغرف وإلغاء الأعمدة الداخلية في التصاميم المعمارية الحديثة للمباني الطينية أدى إلى زيادة الاجهادات على جدران المباني الطينية وانخفاض عامل الأمان فيها الى قيم متدنية، وهذا يعني أن مادة الطين أصبحت عليها اجهادات كبيرة مما يسبب ظاهرة سرعة ظهور التشققات وحصول انهيار في المباني الطينية الحديثة، ولهذا ينبغي الاهتمام أكثر بإجراء الحسابات الإنشائية للمباني عند التصميم والتنفيذ وعدم الاكتفاء بما يحصل حالياً في الواقع من البناء بدون تصاميم إنشائية، وننصح بوضع كود محلي للبناء بمادة الطين والتبن (باللغة العربية) ليسهم في إلزام العمل بالتصاميم الإنشائية عند التنفيذ، والمحافظة على استدامة نظام البناء المحلي المتميز.

المراجع:

1. الكود العربي السوري للجدران الحاملة الغير مسلحة في المباني. (1994م). الجمهورية العربية السورية، نقابة المهندسين، الجمهورية العربية السورية.
2. المساوي. مازن (2012م). الدليل الإرشادي لتحسين مقاومة البناء الطيني للأمطار والسيول في وادي حضرموت. مشروع إعادة إعمار المعيشة المبكر لمحافظتي حضرموت والمهرة التابع للأمم المتحدة الإنمائي، اليمن: 32-35.
3. رموضة، سالم وباراشد، خالد (2010م). تطوير التقنيات التقليدية في بناء وصيانة المباني الطينية في وادي حضرموت.المؤتمر الدولي الأول للتراث المعماري في الدول الإسلامية.جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية: 1 - 25.
4. رموضة، سالم، صالح، محمد، واحمد،إبراهيم (1988م). الخصائص الهندسية لمدينة شبام.مجلة المهندسون، عدن، العدد 1: 10-51.
5. شعبان، عوني(2000م). تحليل مقارن لبعض نظم التشييد في العمارة الطينية المعاصرة. المؤتمر العلمي الأول العمارة الطينية على بوابة القرن الحادي والعشرين، حضرموت:117 - 134.
6. عبده، مختار (2010م). أساليب حماية الجدران الطينية من عوامل التعرية في المباني التراثية.مجلة الباحث الجامعي، جامعة إب، العدد363:25- 390.
7. مبارك، صالح وحنشور، أحمد(2000م). العناصر المعمارية في العمارة الطينية لمدن وادي حضرموت.المؤتمر العلمي الأول العمارة الطينية على بوابة القرن الحادي والعشرين، حضرموت:105-116.
8. Alani, Adnan. (2000). Adobe Construction and Magnificent Use in High-rise Buildingsof Hadhramout, First scientific conference clay architecture on the threshold of the 21st century, Hadhramout, pp. 1: 7.
9. NZS,4297-1998, Engineering design of earth building, New Zealand.
10. NZS,4298-1998, Engineering design of earth building, New Zealand.

Construction comparison of Mud Building systems in Hadhramout valley

Mashal A. Sheban[(1)], Mohammed A. Altamimi[(2)], Ahmed O. Algrazi [(2)], Mohammed F. Altamimi [(2)], Anas O. Asban [(2)] and Mohammed K. Ghodal[(2)]

[1]Civil Engineering Department، Faculty of Engineering، Hadhramout University.
Mukalla , Hadhramout – Yemen. P.O.Box50350.Tel:777463397
[2]Yemen MAs Contract Company, Hadhramout
DOI: https://doi.org/10.47372/uajnas.2022.n1.a06

Abstract

Construction with clay and mud bricks is still the traditional building system that exists in Hadhramout valley since hundreds of years until today. and due to the development and change of people's needs over time, building systems have changed to keep pace with these desires. The aim of this research is also to comparing the development of building structural systems of mud construction and to study the changes in its safety factors.

Building surveys were done and all structural building components were studied, and the safety factors were studied in two different methods for each part of the mud bearing walls. The results confirmed that the increasing stress on the walls of mud buildings, and a huge reduction in the safety factor in the modern architectural designs of mud buildings is due to the large area of rooms and the cancellation of the interior columns.

This means that the mud material in building has become tremendously stressed, causing the phenomenon of rapid onset of cracks and collapse of modern mud buildings. Therefore, we recommend to develop a local mud-hay building code in Arabic language; which will maintain the sustainability of the outstanding local mud construction system.

Key words: Construction System, Structural Analysis, Mud Building