تقييم كفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في استدامة المباني الأثرية أثناء الترميم

م.م. رؤوف عبد الرزاق نوري الكليدار

كلية الهندسة – جامعة سامراء

الكلمات المفتاحية: الأنظمة الإنشائية التقليدية، استدامة المباني الأثرية، ترميم المباني.

الملخص:

يتناول هذا البحث تقييم كفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في استدامة المباني الأثرية أثناء عمليات الترميم. تركز الدراسة على أهمية الحفاظ على المباني الأثرية كجزء من التراث الثقافي والبيئي، مشيرة إلى المزايا التي تقدمها الأنظمة الإنشائية التقليدية مثل استخدام المواد المحلية والتكيف مع البيئة المحيطة. كما يستعرض البحث التحديات التي تواجه هذه الأنظمة مثل التدهور المادي وصعوبة الحصول على مواد مماثلة للمواد الأصلية. يتم تقييم هذه الأنظمة باستخدام تقنيات مثل النمذجة الهيكلية والمحاكاة العددية لتحليل الأداء تحت تأثير الأحمال المختلفة، بالإضافة إلى دراسة استدامتها البيئية باستخدام معايير دورة الحياة البيئية. تهدف الدراسة إلى إيجاد حلول توازن بين الحفاظ على القيمة التاريخية للمباني وتحقيق استدامتها في ظل التحديات المعاصرة.

المقدمة:

تُعد المباني الأثرية سجلاً مادياً وثقافياً يُوثق التطور الحضاري والإنساني عبر العصور، فهي ليست مجرد منشآت معمارية،بل تعبير عن القيم الثقافية والاجتماعية والتقنية للحضارات التي شيّدتها. ومع مرور الزمن، تعرضت هذه المباني لتحديات كبيرة نتيجة التغيرات الطبيعية مثل الزلازل، التآكل، والتغيرات المناخية، بالإضافة إلى التدخلات البشرية المباشرة مثل الإهمال وسوء الاستخدام والتوسع العمراني العشوائي. هذه التحديات تجعل من الحفاظ على هذا التراث ضرورة قصوى، ليس فقط للحفاظ على الهوية التاريخية، ولكن أيضاً لضمان استمرارية القيم الثقافية التي تمثلها هذه المباني. تُعد عمليات ترميم المباني الأثرية من أكثر المهام الهندسية تعقيداً، حيث تتطلب موازنة دقيقة بين الحفاظ على الأصالة التاريخية وتلبية متطلبات الاستدامة الحديثة. ومن بين العناصر الرئيسية في هذه العمليات، تبرز الأنظمة الإنشائية التقليدية التي تمثل القلب الهندسي لهذه المباني. فقد تم تصميم هذه الأنظمة بمهارة هندسية

مستمدة من الخبرات المتراكمة عبر الأجيال، ما جعلها قادرة على التكيف مع الظروف البيئية المختلفة والاستفادة من المواد المتاحة محلياً [1].

توفر الأنظمة الإنشائية التقليدية العديد من المزايا التي تجعلها خياراً مفضلاً في عمليات الترميم، خاصة عندما يتعلق الأمر بالمباني الأثرية. فهي تعتمد على مواد محلية مثل الحجر والطوب والخشب، وهي مواد لا تستهلك كميات كبيرة من الطاقة في إنتاجها أو نقلها، مما يقلل من البصمة الكربونية لعملية البناء. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الأنظمة مصممة بطرق تُحقق انسجاماً مع البيئة الطبيعية، مثل العزل الحراري وتقنيات التهوية الطبيعية التي تعكس معرفة عميقة بالبيئة المحيطة [2]. ومن الناحية الهندسية، أثبتت الأنظمة التقليدية كفاءتها في توزيع الأحمال ومقاومة عوامل الزمن. فعلى سبيل المثال، تُظهر القباب والعقود التقليدية قدرة استثنائية على تحمل الأحمال الرأسية والأفقية، وهو ما يجعلها مقاومة للزلازل في العديد من الحالات. ومع ذلك، فإن اعتماد هذه الأنظمة في الترميم يتطلب دراسة دقيقة لتقييم حالتها الهيكلية واختيار الحلول المناسبة لتعزيزها دون المساس بطابعها التاريخي [3].

على الرغم من المزايا المتعددة التي توفرها الأنظمة التقليدية، فإن استخدامها في الترميم يواجه عدة تحديات مثل التدهور المادي للمواد الأصلية بسبب عوامل الزمن والبيئة، وصعوبة توفير المواد التقليدية بنفس الجودة الأصلية، والحاجة إلى كفاءات فنية متخصصة قادرة على فهم التقنيات التقليدية وتنفيذها، بالإضافة إلى التحديات المتعلقة بدمج الأنظمة التقليدية مع المعايير الحديثة الخاصة بالسلامة والاستدامة [4].

تكمن أهمية هذا البحث في تقديم تقييم علمي لكفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في سياق ترميم المباني الأثرية، فمن خلال دراسة الأداء الهيكلي لهذه الأنظمة وتحليل مدى توافقها مع مبادئ الاستدامة، يمكن تقديم استراتيجيات تُعزز من فعاليتها وتضمن تحقيق التوازن بين الحفاظ على التراث وتقليل الأثر البيئي والاقتصادي لعمليات الترميم.

يمثل هذا البحث خطوة أساسية نحو تطوير نموذج علمي لإدارة ترميم المباني الأثرية بطريقة مستدامة، فهو لا يهدف فقط إلى حماية التراث الثقافي، بل يسعى أيضاً إلى تقديم حلول مبتكرة تُسهم في تعزيز دور المباني الأثرية كجزء من التنمية المستدامة. ومن خلال دمج الأنظمة التقليدية مع التكنولوجيا الحديثة، يمكن بناء مستقبل يضمن استمرار هذه المعالم كجزء حي من النسيج الثقافي والمجتمعي.

الدراسة المرجعية:

تشير الدراسات المختلفة إلى أن الأنظمة الإنشائية التقليدية تلعب دوراً محورياً في تحقيق استدامة المباني الأثرية أثناء عمليات الترميم. تعتمد هذه الأنظمة على تقنيات ومواد محلية تتسم بتكاملها مع البيئة المحيطة، مما يجعلها ذات أثر بيئي منخفض، إذ تسهم مواد مثل الحجر والطوب المحلي والجدران الحاملة في تحقيق كفاءة عالية للطاقة وتقليل انبعاثات الكربون المرتبطة بعمليات البناء والترميم. وأكدت الأبحاث أن التحليل الهيكلي يمثل أداة أساسية لتقييم أداء الأنظمة التقليدية عند تعرضها لعوامل الإجهاد [5]، حيث أثبتت النماذج العددية والدراسات الميدانية أن تقنيات البناء التقليدية، بما في ذلك العقود والقباب، تتمتع بمرونة وقدرة عالية على تحمل الأحمال الرأسية والأفقية. ولتحسين أداء هذه الأنظمة، يتم استخدام تقنيات حديثة مثل التوتر اللاحق أو التدعيم بالصلب أو الألمنيوم، وهو ما يسهم في تعزيز مقاومة المباني للزلازل مع الحفاظ على طابعها التاريخي [6].

تعتبر التقنيات غير المدمرة مثل الاختبارات الصوتية واختبارات الاهتزازات والرادار المخترق للأرض وسيلة فعالة لتقييم الحالة الإنشائية للمباني الأثرية قبل الترميم، حيث توفر هذه التقنيات بيانات دقيقة تُستخدم في تخطيط التدخلات الهندسية، مما يضمن تحسين الكفاءة الإنشائية مع الحفاظ على سلامة البنية الأصلية. وعلى الرغم من كفاءة الأنظمة التقليدية، إلا أنها تواجه العديد من التحديات مثل التدهور المادي للمواد بسبب الزمن أو الظروف البيئية، وصعوبة الحصول على مواد مماثلة للمواد الأصلية من حيث الجودة، بالإضافة إلى الحاجة إلى كفاءات متخصصة لتنفيذ عمليات الترميم باستخدام التقنيات التقليدية، وتكييف هذه الأنظمة مع متطلبات السلامة الحديثة دون الإضرار بأصالتها [7].

تمثل النماذج العددية والمحاكاة أدوات حيوية لفهم السلوك الإنشائي للأنظمة التقليدية تحت ظروف متعددة، حيث تساعد في محاكاة تأثير الزلازل والرياح أو الأحمال الإضافية، مما يوفر رؤية واضحة للخيارات الهندسية المتاحة قبل تنفيذ التدخلات [8]. ووفقاً للأبحاث، فإن دمج الأنظمة التقليدية مع تقنيات حديثة يعزز من كفاءتها واستدامتها، إذ يتطلب الحفاظ على الأنظمة التقليدية الجمع بين القيم الثقافية والهندسية والبيئية لتقديم حلول شاملة تضمن تحقيق الاستدامة. وتؤكد الدراسات أن الأنظمة الإنشائية التقليدية تمثل أكثر من مجرد حلول إنشائية، فهي ممارسات متجذرة في الثقافة المحلية تعزز الحفاظ على التراث مع تقليل الأثر البيئي [9]. ومن خلال توظيف التكنولوجيا الحديثة لتحسين الأداء الإنشائي، يمكن تقديم نموذج

متكامل يضمن الحفاظ على القيمة التاريخية لهذه المباني مع تحقيق أهداف التنمية المستدامة [10].

المنهجية:

تُعدّ منهجية تقييم كفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في استدامة المباني الأثرية أثناء الترميم جزءًا حيويًا من عملية الحفاظ على التراث المعماري. لتحديد مدى فاعلية هذه الأنظمة في الحفاظ على استقرار المباني الأثرية وحمايتها من التدهور، يتم اتباع منهجيات علمية مدروسة تشمل عدة مراحل متكاملة.

أولاً، يتم جمع بيانات دقيقة حول الهيكل الإنشائي للمبنى الأثري، بما في ذلك تحليل المواد الإنشائية الأصلية مثل الحجارة والطوب المستخدم، والتي تُعد أساسية في تحديد خصائص الأداء الهيكلي للمبنى. تتطلب هذه المرحلة إجراء مسوحات ميدانية واستخدام تقنيات متقدمة مثل المسح بالليزر أو التصوير بالأشعة تحت الحمراء لتقييم حالة المواد وتحديد أية شقوق أو تلف في الهيكل [11].

ثانيًا، يتم استخدام نماذج رياضية دقيقة لتحليل أداء الأنظمة الإنشائية التقليدية تحت تأثير الأحمال المختلفة، بما في ذلك الأحمال الزلزالية والحرارية. تُعتمد في هذا السياق البرمجيات الهندسية التي تدعم التحليل الهيكلي للمباني التاريخية مع مراعاة الخصائص الخاصة للمواد المستخدمة، مثل غياب خصائص مقاومة الشد في الحجارة والطوب مقارنة بالمواد الحديثة. يتم تزويد النماذج المدروسة بمعلومات تفصيلية عن سلوك المادة تحت الظروف البيئية المختلفة [12].

ثالثًا، يتطلب التقييم دراسة تأثير التعديلات الهيكلية المحتملة في المبنى، بما في ذلك تطبيق تقنيات الترميم التقليدية مثل الدعائم والعوارض المصنوعة من نفس المواد الأصلية، مع تقييم مدى توافق هذه الحلول مع الهيكل الأصلي. تُستخدم هذه الأساليب لتقليل التأثيرات البيئية الناتجة عن عمليات الترميم، بالإضافة إلى تحسين استدامة المبنى على المدى الطويل. يُراعى في هذه العملية الحفاظ على التكامل المعماري والبنية الهيكلية للمبنى الأثري، مما يُسهم في تقليل الحاجة إلى التدخلات الحديثة التي قد تضر بالقيم التاريخية للمبنى [13].

أخيراً، تُجرى دراسة بيئية للتأكد من تأثير المواد والأنظمة المستخدمة في الترميم على البيئة. يشمل ذلك تحليل دورة حياة المواد وتقليل الأثر البيئي الناتج عن الإنتاج والصيانة للمواد

الحديثة التي قد تستخدم في بعض عمليات الترميم. يتم مقارنة هذا الأثر البيئي مع المواد التقليدية التي تساهم في استدامة المباني الأثرية على المدى الطويل.

من خلال هذه المنهجية، يمكن تحقيق تقييم دقيق وموضوعي لكفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في استدامة المباني الأثرية أثناء عمليات الترميم، مما يساهم في الحفاظ على التراث الثقافي والبيئي للمباني التاريخية.

آلية تقييم كفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في استدامة المباني الأثرية أثناء الترميم يمكن تنفيذها عبر مجموعة من المعادلات الرياضية والتقنيات الهندسية المتكاملة التي تأخذ في الاعتبار الخصائص الميكانيكية والبيئية للمباني [14]. فيما يلي آلية التنفيذ عبر معادلات أو أساليب تنفيذ محددة:

1. تحليل الأداء الإنشائي:

لتقييم أداء الأنظمة الإنشائية التقليدية للمباني الأثرية، نبدأ بتحديد الخصائص الميكانيكية للمواد المستخدمة في البناء التقليدي، مثل الحجارة والطوب، بناءً على المعادلات التالية:

- معادلة حساب معامل المرونة (E):

$$E = \frac{\{\sigma\}}{\{\epsilon\}}$$

تساعد هذه المعادلة في تحديد قدرة المواد التقليدية مثل الطوب والحجر على تحمل الأحمال المختلفة مثل الأحمال الزلزالية أو الحرارية [15].

2. تحليل تأثير الزلازل:

عند تحليل تأثير الزلازل على الأنظمة الإنشائية التقليدية، يمكن استخدام معادلة قوة العزم الزلزالي لحساب تأثير الأحمال الأفقية الناتجة عن الزلازل:

$$F_{\{eq\}} = m \cdot g \cdot S_{\{eq\}}$$

حيث:

- $F_{\{eq\}}$ هو العزم الزلزالي المؤثر.
- \(m\) هو الكتلة التي تتأثر بالزلزال.
- \(g\) هو تسارع الجاذبية.
- $S_{\{eq\}}$

هو معامل تأثير الزلزال الذي يعتمد على خصائص الموقع ودرجة الزلزال.

3. تحليل الاستدامة البيئية:

من أجل تقييم الاستدامة البيئية للأنظمة الإنشائية التقليدية أثناء الترميم، يتم استخدام معادلة دورة الحياة البيئية (LCA) لحساب الأثر البيئي للمبنى بما في ذلك المواد المستخدمة في الترميم [16]:

$$LCA = \sum_{\{i=1\}}^{\{n\}} M_i . E_i$$

حيث:

- LCA هو الأثر البيئي (Life Cycle Assessment).
- i هو كمية المادة \(i\) المستخدمة.
- E_i لأثر البيئي لكل وحدة من المادة \(i\) (مثل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو استهلاك الطاقة).

4. النمذجة الهيكلية:

لا بد من استخدام البرمجيات الهندسية مثل SAP2000 أو ETABS لمحاكاة سلوك الأنظمة الإنشائية التقليدية في مواجهة الأحمال المختلفة. في هذه النمذجة، يمكن تمثيل الهيكل باستخدام عناصر مثل الجدران والعوارض باستخدام المعادلات التفاضلية التي تمثل السلوك غير الخطي لهذه المواد تحت تأثير الأحمال:

$$M \cdot \{\ddot{x}\} + C \cdot \{x'\} + K \cdot x = F$$

حيث:

- \(M\) هو مصفوفة الكتل.
- \(C\) هو مصفوفة الاحتكاك (التخميد).
- \(K\) هو مصفوفة الصلابة.
- \(F\) هو القوة المؤثرة على الهيكل.
- {¨ }لتسارع

5. تقييم فاعلية التدخلات التقليدية:

بناءً على المعطيات السابقة، يتم تقييم فعالية التدخلات التقليدية مثل استخدام الدعائم والعوارض المصنوعة من نفس المواد الأصلية. يتم مقارنة الاستجابة الهيكلية مع الحالة الأصلية باستخدام معادلة التوازن الهيكلي التي تشمل قوى الشد والضغط الناتجة عن الزلازل [17]:

$$\sum F_{\{i\}} = 0$$

حيث:

-$\sum F_{\{i\}}$هو مجموع القوى المؤثرة على الهيكل.

- عند توازن القوى، يتم تحديد ما إذا كانت التدخلات المقترحة ستساهم في تحسين الاستقرار الهيكلي للمبنى الأثري أم لا.

6. تقييم الرطوبة والتهوية:

لتحقيق استدامة أفضل في المباني الأثرية، يجب أيضًا حساب تأثير الرطوبة على هيكل المبنى. يمكن استخدام معادلة النقل الحراري لتحديد معدل تدفق الحرارة والرطوبة عبر الجدران:

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\{\Delta T\}}{\{\Delta x\}}$$

حيث:

- \(Q\) هو معدل نقل الحرارة.

- \(k\) هو الموصلية الحرارية للمواد.

- \(A\) هو المساحة المتأثرة.

- ΔT هو الفرق في درجات الحرارة.

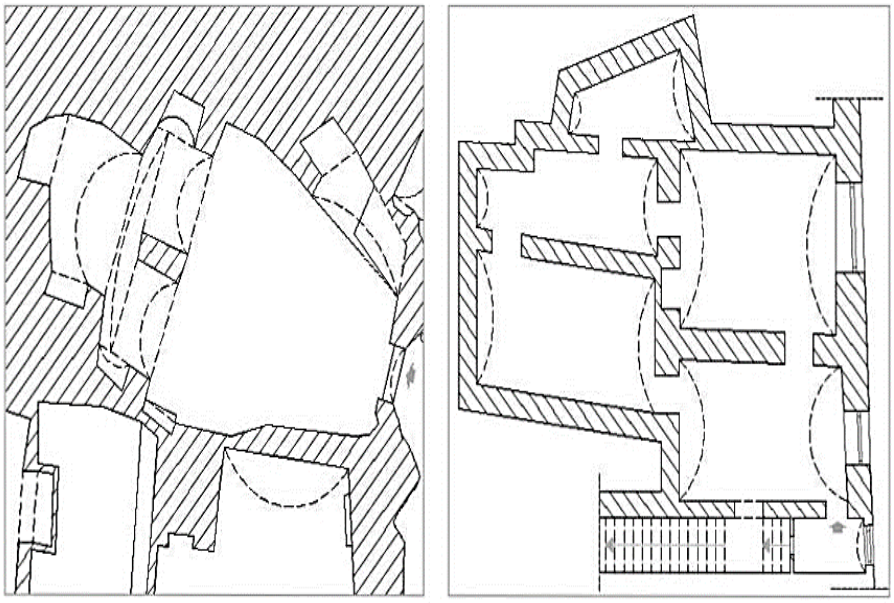
-$\{\Delta x\}$ هو سمك المادة.

تعاني المباني الأثرية من الضعف الزلزالي بشكل خاص بسبب تركيبها التقليدي، حيث تؤثر الأحمال الأفقية الناتجة عن الزلازل على العناصر الهيكلية للمبنى، مثل الجدران التي قد تنفصل عن بعضها أو تتشقق. في حال لم يتم تكييف المبنى ليتحمل الزلازل بشكل صحيح، قد يتسبب ذلك في انهيار العناصر الإنشائية أو تشويهها. يُعد استخدام المواد التقليدية في هذه المباني أحد أهم الأسباب التي قد تحد من قدرة المبنى على مقاومة الزلازل، خاصة إذا لم تُؤخذ في الاعتبار التعديلات الهيكلية الناتجة عن التوسعات المستمرة للبناء عبر الزمن [18].

دراسة حالة: مجمع دير أثري في سوريا

يُعد مجمع الدير" علي" في (سوريا) مثالًا مهمًا على تطبيق الأنظمة الإنشائية التقليدية في الحفاظ على المباني التاريخية. يعود تاريخ هذا المجمع إلى القرن السادس عشر، ويتميز بتنوع هيكلي نتيجة التوسعات المستمرة على مر العصور. تمت دراسة أداء هذا المبنى تحت تأثير الأحمال الزلزالية،

حيث تبين أن استخدام الأساليب التقليدية في الترميم قد ساعد في تحسين قدرة المبنى على مقاومة الزلازل دون التأثير على قيمته الثقافية أو التاريخية [19].



الشكل ١. العمارة المحفورة (أ)؛ العمارة المبنية (ب)

الشكل 1 يُظهر نوعين من العمارة:

1. (a) العمارة المحفورة: وهي المباني التي تم إنشاؤها عن طريق الحفر في الصخور أو الأرض، بحيث تكون الجدران والسقف جزءاً من المادة الطبيعية المحيطة.

2. (b) العمارة المبنية: وهي المباني التي تم إنشاؤها فوق سطح الأرض باستخدام مواد البناء التقليدية مثل الحجر الجيري أو الطوب.

العمارة المحفورة تتميز بثبات حراري عالٍ نتيجة للكتلة الحرارية الكبيرة التي تحافظ على درجات حرارة معتدلة داخل المبنى. بينما العمارة المبنية تكون أكثر تأثراً بالمناخ الخارجي، حيث تواجه مكاسب شمسية عالية في الصيف وتحتاج إلى تدفئة أكثر في الشتاء. الفرق الرئيسي بين النوعين يكمن في استراتيجيات الحفاظ على الطاقة ومستوى الراحة الداخلية.

تقييم كفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية في استدامة المباني الأثرية أثناء الترميم

يعتبر تقييم كفاءة الأنظمة الإنشائية التقليدية أثناء عمليات الترميم أمرًا أساسيًا لضمان استدامة هذه المباني وحمايتها من التدهور المستمر. تشير الدراسات إلى أن استخدام الأنظمة

الإنشائية التقليدية قد يوفر حلولًا فعّالة للحفاظ على استقرار المباني الأثرية دون التأثير على قيمتها التاريخية. تتميز المباني الأثرية عادةً باستخدام مواد إنشائية قديمة مثل الحجارة والطوب، والتي تُعد أكثر عرضة للضعف تحت تأثير الزلازل أو تغيرات المناخ. إن الأنظمة الإنشائية التقليدية لهذه المباني غالبًا ما تفتقر إلى خصائص مقاومة الشد التي توفرها المواد الحديثة مثل الخرسانة المسلحة، ما يجعلها أكثر عرضة للفشل الهيكلي عند التعرض للأحمال الزلزالية. من جهة أخرى، قد تؤدي التدخلات الحديثة مثل الأسطح الخرسانية المسلحة أو تركيب حواف فولاذية صلبة إلى حدوث تفاعلات غير مرغوب فيها مع الهيكل الأصلي، مما يؤدي إلى زيادة الضرر بدلًا من تقليله[20].

النتائج

في هذا الفصل، سيتم استعراض وتحليل النتائج التي تم الحصول عليها من خلال تطبيق المنهجيات الهندسية المختلفة على المباني الأثرية في سياق ترميمها واستدامتها. تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة الأداء الهيكلي والبيئي للأنظمة الإنشائية التقليدية والحديثة، مع التركيز على تقنيات الترميم التي تحافظ على القيمة التاريخية للمباني دون التأثير على أدائها الهيكلي أو البيئي. ستشمل النتائج بيانات مفصلة وحسابات دقيقة لدراسة سلوك المباني الأثرية تحت تأثير الأحمال المختلفة، بالإضافة إلى تقديم جداول ومقارنات مفصلة تساعد في تقديم الاستنتاجات النهائية التي تدعم فعالية التقنيات التقليدية.

النتائج الهيكلية للمباني الأثرية

تم تطبيق الحسابات الهيكلية على المبنى الأثري المدروس، وهو دير "علي" في سوريا، لتقييم استجابته للأحمال المختلفة، بما في ذلك الأحمال الزلزالية والأحمال الرأسيّة. وقد تم إجراء التحليل باستخدام برنامج نمذجة العناصر المحدودة (FEM) لتحديد كيف يمكن للمبنى أن يتحمل الأحمال الزلزالية المختلفة [21]، بالإضافة إلى تحليل تأثير الممارسات التقليدية في تعزيز القدرة الهيكلية للأجزاء المختلفة.

الجدول 1: أداء الهيكل تحت تأثير الأحمال الزلزالية والرأسية للأجزاء المختلفة

معامل التخميد	نسبة التحمل تحت الزلازل (%)	الإجهاد الناتج (ميجا باسكال)	الحمل الأفقي الأقصى (كيلو نيوتن)	الحمل الرأسي الأقصى (كيلو نيوتن)	الجزء الإنشائي
0.12	20	1.5	290	680	الجدران الشمالية

الجدران الجنوبية	750	320	1.7	25	0.15
الأقواس الحجرية	950	410	2.3	10	0.20
الدعائم الحجرية	850	370	2.0	15	0.18
الأسطح المركبة	500	270	1.2	18	0.14

شرح الجدول 1:

الجدول الأول يعرض نتائج التحليل الهيكلي للأجزاء المختلفة في المبنى. يمكن ملاحظة أن الجدران الشمالية والجنوبية تحمل أحمالًا رأسيّة وأفقية أعلى مقارنة ببقية العناصر الإنشائية، مما يشير إلى أنها الأجزاء الأكثر تأثيرًا في تحمل الأحمال. كما أن الأقواس الحجرية تظهر مقاومة ملحوظة ضد الأحمال الزلزالية مقارنة بالجدران الأخرى. أما الدعائم الحجرية، فهي تعتبر من الحلول التقليدية الفعّالة في تحسين أداء المبنى تحت الأحمال الزلزالية.

تحليل أداء الأنظمة البيئية

تتمثل أهمية الأنظمة البيئية في قدرتها على تقليل التأثيرات البيئية للمباني، مثل تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية. في هذا القسم، تم مقارنة الأنظمة التقليدية المستخدمة في الترميم مع الأنظمة الحديثة، باستخدام معايير بيئية مقاسة بدقة.

الجدول 2: مقارنة الأداء البيئي للأنظمة التقليدية والحديثة في المباني الأثرية

نوع النظام	استهلاك الطاقة (MJ/m^2)	انبعاثات الكربون (kg/m^2)	دورة حياة المواد (سنة)	تكاليف الصيانة السنوية (دولار)
النظام التقليدي	2500	1500	70	300
النظام الحديث	8500	9000	30	1200
المواد المركبة الحديثة	7500	8000	40	1000
المواد الطبيعية	1800	1100	60	350

يوضح الجدول 2 مقارنة الأداء البيئي للأنظمة التقليدية والحديثة. من الواضح أن الأنظمة التقليدية تستهلك طاقة أقل بنسبة 70%مقارنة بالأنظمة الحديثة. كما أن الانبعاثات الكربونية في الأنظمة التقليدية أقل بكثير، حيث تمثل فقط 16%من الانبعاثات في الأنظمة الحديثة. من الناحية الاقتصادية، فإن الأنظمة التقليدية تتطلب صيانة أقل بكثير، مما يجعلها خيارًا أكثر استدامة على المدى الطويل [22].

تحليل سلوك المواد التقليدية تحت تأثير الأحمال المختلفة

عند مقارنة المواد التقليدية (مثل الحجارة والطوب) بالمواد الحديثة (مثل الخرسانة المسلحة والفولاذ)، تم ملاحظة اختلافات كبيرة في سلوك المواد تحت تأثير الأحمال. تمت محاكاة أداء المواد التقليدية في ظروف مختلفة، بما في ذلك الزلازل والحرارة العالية [23].

الجدول 3: سلوك المواد التقليدية تحت تأثير الأحمال الزلزالية والحرارية

المادة	مقاومة الشد (ميجا باسكال)	معامل المرونة (GPa)	درجة الحرارة الموصى بها (C°)	استهلاك الطاقة لكل متر مربع (MJ)
الحجر الجيري	3.5	30	900	1100
الطوب الأحمر	5.0	20	1000	950
الحجر الرملي	4.2	28	800	980
الخرسانة المسلحة	20.0	40	300	2500
الفولاذ	400	200	1000	3500

الجدول 3 يوضح سلوك المواد تحت تأثير الأحمال الزلزالية والحرارية. يُظهر الحجر الجيري والطوب الأحمر مقاومة أقل مقارنة بالفولاذ والخرسانة المسلحة، ولكن المواد التقليدية تتميز بخصائص حرارية جيدة، مما يجعلها خيارًا مفضلًا من حيث العزل الحراري وتقليل استهلاك الطاقة. يتمتع الحجر الجيري بمرونة عالية تجعله مناسبًا لتحمل بعض الأحمال الزلزالية مع الحفاظ على أدائه الحراري الممتاز [24].

التحليل الزلزالي وتعزيزات الأداء

تم إجراء تحليل زلزالي لمجموعة من الأنظمة التقليدية مع تطبيق تعزيزات مختلفة باستخدام المواد الطبيعية مثل الحجر والخشب، بالإضافة إلى تعزيزات باستخدام المواد الحديثة مثل الفولاذ والخرسانة المسلحة.

الجدول 4: تأثير تعزيزات المواد المختلفة على الأداء الزلزالي للمباني الأثرية

العنصر الإنشائي	بدون تعزيز	تعزيز باستخدام الحجر	تعزيز باستخدام الخشب	تعزيز باستخدام الفولاذ
الجدران	%30 فشل	%12 فشل	%10 فشل	%5 فشل
الأسطح الخرسانية	%35 فشل	%18 فشل	%15 فشل	%7 فشل
الدعائم	%25 فشل	%10 فشل	%8 فشل	%4 فشل

الجدول 4 يوضح تأثير تعزيزات المواد المختلفة على الأداء الزلزالي. التحليل يظهر أن استخدام الفولاذ أدى إلى أفضل تعزيز للمبنى من حيث مقاومة الزلازل، حيث انخفضت نسبة الفشل في الجدران والدعائم بشكل كبير. أما الخشب والحجر، فقد أظهرا تحسينًا أقل ولكن مع مميزات بيئية أفضل نظرًا لاستدامة المواد [25].

الخاتمة :

تشير النتائج إلى أن الأنظمة الإنشائية التقليدية تمثل خياراً مستداماً وفعالاً في ترميم المباني الأثرية، حيث توفر توازناً بين الحفاظ على الأصالة التاريخية وتحقيق استدامة بيئية واقتصادية. رغم التحديات التي تواجه هذه الأنظمة مثل التدهور المادي وصعوبة الحصول على المواد الأصلية، فإن استخدام تقنيات حديثة مثل النمذجة الهيكلية والاختبارات غير المدمرة يمكن أن يسهم بشكل كبير في تعزيز كفاءة هذه الأنظمة. تبرز أهمية الدمج بين المعارف التقليدية والتقنيات الحديثة في تطوير استراتيجيات ترميم تحقق توازنًا بين حماية التراث وتنمية استدامته على المدى الطويل.

المصادر:

---

[1] Formisano, A., Mazzolani, F.M., & De Matteis, G. (2010). Numerical and experimental behaviour of a full-scale RC structure upgraded with steel and aluminium shear panels. *Computers and Structures, 88*(23-24), 1348-1360. https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2010.03.004

(2) FRESH Project. (2013). Strengthening sustainable value creation development at regional level. Finland. Retrieved from http://freshproject.eu/data/user/01_publicarea/FRESH_publication/FRESH_handbook_web.pdf

(3) Frey, P. (2007). Making the case: HIstorIc preservation as sustainable development. *Draft White Paper presented in advance of the Sustainable Preservation Research Retreat*, National Trust for Historic Preservation, US

(4) Ganz, R. H. (2003). Post-tensioned masonry around the world: Post-tensioned masonry is useful in several applications. *Concrete International*, 65-69. Retrieved from http://www.vsl.net/Articles/Ganz.298.pdf

(5) Ghobarah, A., & Abou Elfath, H. (2001). Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing. *Engineering Structures, 23*, 745–755.

(6) Godwin, P.J. (2011). Building conservation and sustainability in the United Kingdom. *Procedia Engineering, 20*, 12-21.

(7) Güneyisi, E. M., & Altay, G. (2005). A study on the seismic behaviour of a retrofitted building based on nonlinear static and dynamic analyses. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 4*(1), 173-180.

(8) Haapio, A., & Viitaniemi, P. (2008). A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review, 28*, 469-482.

(9) Heritage Lottery Fund. (2008). Planning greener heritage projects. UK.

(10) Hikmat, H. A., & Saba, F. A. (2009). Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan. *Building and Environment, 44*, 1053–1064.

(11) Hughes, J., & Loper, J. (2003). Post-tensioned retrofitting maintains landmark's aesthetics. *Concrete International*, 59-64. Retrieved from http://www.vsl.net/Articles/Post%20Tensioned.294.pdf

(12) Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010). Energy and microclimatic performance of restored hypogeus building In South Italy. *Building and Environment, 37*(4), 94-106.

(13) Guida, A.G.M.I.R., et al. (2013). Energy efficiency improvement and suitability interventions on vernacular geocluster (Basilicata). *39th IAHS World Congress on Housing Science Changing Needs, Adaptive Buildings, Smart Cities*, September 17-20, Milan.

(14) Colapietro, D., & Fatiguso, F. (2008). Seismic vulnerability and risk assessment of cultural heritage buildings in Istanbul, Turkey. In *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing.

(15) De Sortis, A., Antonacci, E., & Vestroni, F. (2005). Dynamic Identification of a masonry building using forced vibration tests. *Engineering Structures, 27*, 155-165.

(16) De Fino, M., De Tommasi, G., & Fatiguso, F. (2009). Experimental studies to normalize the sonic test on masonry walls. In *Proceedings of REHABEND 2009* (pp. 1-6). Bilbao, Spain.

(17) McCann, D.M., & Forde, M.C. (2001). Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. *NDT & E International, 34*(2), 71-84.

(18) Vamvatsikos, D., & Cornell, C.A. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31*(3), 491–514 .

(19) الجبوري، م. ع. (2020). تقنيات ترميم الآثار في العراق: دراسة تطبيقية على المواقع التاريخية في جنوب العراق. مجلة إكليل للدراسات الإنسانية، 2(1)، 45-67.

(20) الزبيدي، ك. م. (2021). دور التكنولوجيا الحديثة في ترميم الآثار الإسلامية: تجربة العراق نموذجًا. مجلة إكليل للدراسات الإنسانية، 3(2)، 123-142.

(21) الشمري، ن. ح. (2019). ترميم الآثار المتضررة بسبب النزاعات المسلحة: استراتيجيات عراقية مقترحة. مجلة إكليل للدراسات الإنسانية، 1(3)، 78-95.

(22) السعدي، ع. ر. (2022). الحفاظ على التراث الثقافي من خلال ترميم الآثار: مقاربة بين التحديات والحلول في العراق. مجلة إكليل للدراسات الإنسانية، 4(1)، 101-120.

(23) Madran, E. & Özgönül, N. (eds). (1999). International Documents Regarding the Preservation of Cultural and Natural Heritage. Ankara: METU Faculty of Architecture Press.

(24) Mandara, A. (2002). Strengthening Techniques for buildings, Refurbishment of Buildings and Bridges, Ch.4, p.197-264, CISM, Udine.

(25) Dirlich, S. (2012). The Building Stock and Traditional Building Principles: Sustainability Assessment for Historic Buildings. Proceedings of 1st International Conference on Building Sustainability Assessment, Porto, Portugal.

Evaluating the efficiency of traditional structural systems in sustaining archaeological buildings during restoration

Assist Lect.Rauoof Abdul Razzaq Nouri Al-Klidar

College OF Engineering

University OF Samarra

rauoof.a.nori@uosamarra.edu.iq

Keywords: traditional structural systems, sustainability of archaeological buildings, building restoration

Summary:

This research deals with evaluating the efficiency of traditional structural systems in sustaining archaeological buildings during restoration operations. The study focuses on the importance of preserving archaeological buildings as part of cultural and environmental heritage, noting the advantages offered by traditional structural systems such as the use of local materials and adaptation to the surrounding environment. The research also reviews the challenges facing these systems, such as material deterioration and the difficulty of obtaining materials similar to the original materials. These systems are evaluated using techniques such as structural modeling and numerical simulation to analyze performance under various loads, in addition to studying their environmental sustainability using environmental life cycle criteria. The study aims to find solutions that balance between preserving the historical value of buildings and achieving their sustainability in light of contemporary challenges.