

العنوان:	تسجيل وتوثيق مبنى قلعة الفقير مع دراسة وتقييم مظاهر التلف الإنشائي بها وتوصيات بأعمال الترميم - محافظة العلا - المملكة العربية السعودية
المصدر:	مجلة الخليج للتاريخ والآثار
الناشر:	مجلس التعاون لدول الخليج العربية - جمعية التاريخ والآثار
المؤلف الرئيسي:	الزهراني، عبدالناصر بن عبدالرحمن
مؤلفين آخرين:	عبدالعاطى، ياسر يحيى أمين(م. مشارك)
المجلد/العدد:	ع 6
محكمة:	نعم
التاريخ الميلادي:	2011
الشهر:	أبريل
الصفحات:	357 - 406
رقم MD:	490383
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
قواعد المعلومات:	HumanIndex
مواضيع:	التصميم المعماري، السعودية، محافظة العلا، قلعة الفقير، الآثار، ترميم الآثار، التوثيق
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/490383

**تسجيل وتوثيق مبنى قلعة الفقير
مع دراسة وتقييم مظاهر التلف الإنشائي بها
وتوصيات بأعمال الترميم - محافظة العلا -
المملكة العربية السعودية**

د. عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني^(*) د. ياسريحي أمين عبد العاطي^(**)

ملخص البحث:

يدرس هذا البحث مبنى قلعة الفقير جنوب مدينة العلا بنحو ٢٠ كيلاً على طريق العلا- المدينة المنورة، بالقرب من موقع المايبات «قرح» الشهير. ويقوم بعمل تسجيل وتوثيق للمبنى من خلال رفع المبنى مساحياً ورسمه هندسياً في صورة مساقط وواجهات معمارية لأجزاء المبنى المختلفة، بما فيها من تفاصيل دقيقة لمظاهر التلف والشروخ الإنشائية المختلفة بكل واجهة، مع وضع تصور مبدئي لما كان عليه تخطيط هذه القلعة في الماضي. بالإضافة لذلك يتم وصف المبنى وعناصره المختلفة وحالته الراهنة، ثم تسجيله أيضاً من خلال التصوير الفوتوغرافي الذي يغطي معظم أجزاء المبنى وما بها من مظاهر تلف وشروخ إنشائية. ثم يقوم البحث بدراسة وتحليل أسباب مظاهر التلف المختلفة الموجودة بالمبنى لتقييم الحالة الراهنة للمبنى. وفي الختام يقدم البحث اقتراحات الترميم المعماري والإنشائي للمبنى.

الكلمات المفتاحية: التدهور - التداعيات الإنشائية - قلعة الفقير - الترميم - إعادة البناء.

المقدمة:

تزخر المملكة العربية السعودية بكم كبير من التراث المعماري الفريد، الذي ينتشر في أرجائها ويحكي قطوفاً من تاريخها وتراثها الممتد عبر السنين، وخطت المملكة في السنوات الأخيرة بثبات نحو الاهتمام بهذا التراث للحفاظ عليه وإحيائه وإعادة تأهيله والاستفادة منه اقتصادياً في تنمية السياحة الثقافية المستدامة. وتعدّ القلاع المنتشرة في مناطق المملكة جزءاً من تراثها المهم. وقلعة الفقير هي إحدى هذه القلاع المنتشرة على طريق الحج الشامي المصري، شمال غرب المملكة العربية السعودية. ويتوافر في العلاء مجموعة من التراث الثقافي (الخرابية «دادان»، ومدائن صالح «الحجر»، المايات «قرح»، والعلاء القديمة «الديرة»، وسكة الحديد، بالإضافة إلى التراث الشعبي والحرف والصناعات التقليدية) والتراث الطبيعي، مثل جبل الفيل وحرّة العويرض والجبال ذات التشكيلات الجميلة، وما يتوافر في العلاء من بنية تحتية والمطار الجديد تشكل هذه جميعاً مقومات السياحة المستدامة في المنطقة (الزهراني، ١٤٣٠هـ: ٧٣-١٠٠).

١-١ الهدف من الدراسة :

تسجيل وتوثيق مبنى قلعة الفقير بالطرق المختلفة؛ كالوصف والرفع المساحي والتسجيل الهندسي والتسجيل الفوتوغرافي. دراسة وتحليل الحالة الراهنة للقلعة، وإلقاء الضوء على حالتها المتدهورة والتداعيات الإنشائية في المبنى (مثل الشروخ والانفصالات الإنشائية الخطيرة في الجدران، وانهيار أحد أبراجها الأربعة)، وبيان مدى الخطورة الإنشائية لمعظم عناصرها إذا تركت دون ترميم معماري متكامل. إلقاء الضوء على أهمية سرعة تنفيذ أعمال السند والتدعيم المؤقت إلى حين الانتهاء من أعمال الدراسة والتحليل وتصميم أعمال الترميم المعماري والإنشائي المختلفة للمبنى.

تقديم التوصيات الخاصة بأعمال الترميم والصيانة لهذه القلعة الأثرية المهمة، التي يمكن أن توظف ضمن منظومة متكاملة مع باقي المباني والمواقع الأثرية في مدينة العلا في مجال السياحة التراثية.

المساهمة في الحفاظ على التراث المعماري المهم في المملكة العربية السعودية، من خلال أعمال التوثيق والدراسة لأحد المباني التراثية المهمة، والتي لا يوجد لها أي توثيق في المراجع والدراسات الأثرية.

٢-١ أهمية الدراسة:

تعود أهمية هذه الدراسة لكون مبني قلعة الفقير ذا طراز معماري خاص، واكتمال الشكل الخارجي له، وقربها من طريق العلا المدينة المنورة الجديد، وكذلك قربها من موقع المايبات (القرح)، وكونها أحد العناصر المهمة في منظومة المباني الأثرية والتراثية القائمة في مدينة العلا، كما أن حالة مبني القلعة الإنشائي المتدهور، وحاجته الماسة والعاجلة لعملية الإنقاذ من الإنهيار، وما يمثله هذا المبني من أهمية فنية وتاريخية كل ذلك دفع الباحثان إلى إلقاء الضوء على هذه القلعة المهمة لإعطاء التوصيات الخاصة بترميمها وصيانتها كنواة لمشروع ترميم معماري متكامل.

٣-١ حدود الدراسة:

يقوم هذا البحث بالآتي:

تسجيل وتوثيق مبني قلعة الفقير؛ من خلال الوصف والتسجيل الهندسي والتصوير الفوتوغرافي.

وضع تصور للشكل الأصلي لمبني القلعة.

دراسة الحالة الإنشائية الراهنة للمبني؛ من خلال الفحص الميداني والتحليل الإنشائي للمبني باستخدام تقنية النماذج الرقمية وطريقة العناصر المحددة (Finite Element Method).

دراسة مظاهر تلف مواد البناء ومسبباتها .

تقييم مظاهر التدايعات الإنشائية في عناصر المبنى المختلفة وتحديد مسبباتها الرئيسية .

إعطاء توصيات ومنهجية أعمال الترميم والصيانة لمبنى القلعة .

١-٤ منهجية الدراسة:

اتبع هذا البحث منهجية تمثلت في الآتي:

القيام برفع مساحي وتسجيل وتوثيق معماري وهندسي لكامل المبنى، يظهر عليه مظاهر التلف الحالية المختلفة .

تسجيل وتوثيق المبنى بالوصف والتصوير الفوتوغرافي .

دراسة وصفية وتحليلية لمظاهر التلف المختلفة (على المستوى الإنشائي ومستوى مواد البناء) من خلال الملاحظة الميدانية، وتسجيل مظاهر التلف والتدايعات الإنشائية المختلفة .

عمل تحليل إنشائي (استاتيكي وديناميكي)، لدراسة السلوك الإنشائي للمبنى تحت تأثير الأحمال المختلفة التي تؤثر عليه، للوصول إلى القوى المسببة للشروخ والإنفصالات والإنهيارات الجزئية الحادثة ببعض عناصر المبنى .

وضع التوصيات الخاصة بخطة العلاج المستقبلية المقترحة لأعمال الصيانة والترميم لمبنى قلعة الفقير .

٢- الخلفية التاريخية والجغرافية:

٢-١ مدينة العلا:

يعتقد أن مكان العلا الحالي هو امتداد لمملكة دادان القديمة (الأنصاري والحسن، ١٤٢٣: ١٢). وتقع العلا في الجزء الشمالي الغربي من المملكة العربية السعودية، وترتبط إدارياً بالمدينة المنورة، التي تبعد عنها ٣٠٠ كيل تقريباً في اتجاه

٣٦٠ _____ د. عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني؛ د. ياسر يحيى أمين عبد العاطي

الجنوب بخطين مسفلتين. وتقع قلعة الفقير على أحد هذين الخطين على بعد ٢٠ كيلا جنوب العلا (اللوحة رقم ١). وتقع العلا وسط وادي يعرف بوادي القرى، المشهور تاريخياً، الذي يصب في وادي الجِزَل والذي بدوره يصب في البحر الأحمر، وتمتد طويلاً من الشمال إلى الجنوب، وتحيط بها الجبال من الشرق والغرب.

تضاريس منطقة العلا، بشكل عام، جبلية، وهي امتداد لجبال الحجاز في الجنوب (اللوحة رقم ١). وتتكون من الصخور البلورية والصخور المتحولة والتكوينات الرسوبية، وكذلك التكوينات الحديثة المتحولة مع تكوينات البحر الأحمر، بالإضافة إلى تكوينات جيولوجية حديثة. وهناك كثير من الحرات، أشهرها حرة العويرض، التي تقع غرب العلا. ونشأت السهول البازلتية عن العمليات التكتونية (الزلازل والبراكين)، التي كونت البحر الأحمر. وتتميز الجبال، وخاصة جبال الحِجْر الرملية، بكثرة الأخاديد والشقوق (الفقير، ١٤٢٧هـ : ٣٠).

أما فيما يتعلق بالنشاط الاقتصادي بمنطقة الدراسة، فتاريخياً منطقة العلا في ظل تاريخها الثقافي والحضاري كانت تمثل مركزاً تجارياً مهماً يربط جنوب الجزيرة العربية بمصر والشام والعراق، وفي فترة العهد الإسلامي شكلت موقعاً مميزاً يقدم خدماته للحجاج.

٢-٢ مبنى قلعة الفقير :

توجد بالقرب من بلدة مغيرة، وهي قلعة ذات أبراج دائرية، وتعرف هذه القلعة في المصادر التاريخية باسم قلعة الحفائر (حفائر الغنم أو أبيار الغنم)، وهي قلعة عثمانية يعتقد أنها بنيت خلال القرن الثاني عشر الهجري (الثامن عشر الميلادي). ويذكر الرحالة ابن عبد السلام الدرعي المغربي، الذي مرَّ بها بعد رحلته من الحج في العام ١١٩٦هـ الموافق ١٧٨١م، أن هناك قلعة تبنى (حمد الجاسر، ١٤٠٢هـ : ٤١، ١٧٢).

٣- الوصف المعماري لمبنى قلعة الفقير:

يشغل مبنى القلعة مساحة ٣٤٠ متراً مربعاً، حيث يصل ارتفاع الواجهة من منسوب الأرض الطبيعية الحالية بموقع المبنى إلى نحو ٦,٠ أمتار، ويظهر من بقايا المبنى القائمة أنه كان يتكون في الأساس من طابقين، طابق أرضي وطابق أول، ويأخذ المسقط الأفقي العام للمبنى شكلاً مربعاً تقريباً، حيث تكون أبعاده الداخلية ١٤,٨ × ١٤,٨ متراً، ويوجد بكل ركن من أركانه الأربعة برج دائري يبلغ قطره الداخلي ٣,٨ أمتار، والشكل رقم (١) يوضح المسقط الأفقي للطابق الأرضي، بينما الشكل رقم (٢) يوضح المسقط الأفقي للطابق الأول. وتوضح اللوحة رقم (٢) الشكل العام للقلعة من أعلى باتجاه الشمال، حيث يظهر التخطيط العام للقلعة والأجزاء المتهدمة من المبنى.

ويظهر في الشكل رقم (١) بقايا الجدران والأكتاف الداخلية القائمة، كما يظهر بقايا محراب دائري مجوف متهدم أمام الجدار الجنوبي الشرقي للقلعة من الداخل، حيث نجد أن معظم عناصر المبنى الداخلية من أسقف وأكتاف ودرج قد انهارت، ولم يبق منها سوى هذه الأجزاء بالإضافة إلى القباب بسقف الدور الأرضي في كل برج من الأبراج الثلاثة القائمة، حيث نجد البرج الجنوبي من القلعة متهدماً ولم يبق منه سوى ربعه الشرقي فقط.

ويقع المدخل الرئيس للمبنى في الجهة الشمالية الغربية، ونجد أن الحوائط الخارجية بشكل عام صماء، تحوي عدداً قليلاً من الفتحات الضيقة، والموزعة بطريقة غير منتظمة وغير متماثلة، تتركز معظمها في الجزء العلوي من الأبراج.

وتظهر الواجهة الرئيسية (الشمالية الغربية) في كل من الشكل رقم (٣) واللوحة رقم (٣)، حيث تظهر كتلة المدخل ليست في منتصف الواجهة، وإنما قريبة لنهاية النصف الغربي (إلى اليسار) تعلوها مباشرة فتحة نافذة، وكلاهما يعاني من تهدم

واجهته، وبدراسة الفتحات الداخلية، نجد أن هاتين الفتحتين كانتا معقودتين بعقد مخموس أو دائري من الآجر.

وفي أعلى هذه الواجهة نجد عدداً من الشرفات المثلثة البسيطة، المبنية من كسر الأحجار، والتي تهدم معظمها، كما توجد فتحة نافذة بالقرب من البرج الشمالي، ليس لها مماثل بالجانب الآخر من المدخل بهذه الواجهة، وتوجد فتحات كثيرة ضيقة موزعة على محيط الجزء العلوي من كل برج.

كما نجد كتلتين حجريتين أبعادهما كبيرة نسبياً على يسار المدخل تدل على بقايا مسطبتين تكتنفان كتلة المدخل.

أما الواجهة الجنوبية الغربية فتظهر في كل من الشكل رقم (٤) واللوحة رقم (٤)، حيث تظهر الواجهة شبه صماء، خالية من أي فتحات، وتعلوها الشرفات المثلثة البسيطة، وهى شبه كاملة، كما أن جانب البرج الغربي يبدو بحالة جيدة ومكتملة، ويحوى على عدة فتحات ضيقة، معظمها يوجد بأعلى البرج، أما البرج الجنوبي فيظهر متهدماً.

والواجهة الجنوبية الشرقية تظهر في كل من الشكل رقم (٥) واللوحة رقم (٥)، وقد تهدم جزء كبير من أعلى الجدار، ويظهر من الجزء الباقي منها على احتواء هذه الواجهة على عدد قليل من فتحات النوافذ المربعة والضيقة، وتساقت صف الشرفات بأعلى الجدار، كما يظهر إلى اليسار بقايا البرج الجنوبي المتهدم، وإلى اليمين البرج الشرقي بحالة إنشائية خطيرة.

كما تظهر الواجهة الشمالية الشرقية في كل من الشكل رقم (٦) واللوحة رقم (٦)، حيث تبدو شبه مكتملة، وبحالة إنشائية أفضل نسبياً من الواجهات السابقة، وقد تهدم حوالي نصف عدد الشرفات المثلثة البسيطة بأعلى الواجهة، كما تحوي على فتحتين أسفل الجدار وأربع بمنتصف ارتفاعه، وجميعها مربعة الشكل وضيقة،

كما يظهر بالبرجين الشمالي والشرقي ثلاثة صفوف لفتحات الشبابيك الضيقة، يقع الأول بأسفل ارتفاع الجدار، والثاني في منتصفه، والأخير بأعلى جدار البرج. أما من داخل مبنى القلعة، فنجد أن معظم عناصر المبنى الداخلية قد تهدمت (من أسقف وأعمدة وحوائط وأكتاف)، ولم يبق منها إلا أجزاء من دعامتين في الجهة الجنوبية الغربية، و أجزاء من دعامتين وحائطين من الحجر في الجهة الشمالية الشرقية، كذلك توجد بقايا جدران ومحراب بالناحية الجنوبية الشرقية، ويظهر ذلك في الشكل رقم (١)، واللوحات ذات الأرقام (١٠ إلى ١٢).

وبتحليل الواجهات الداخلية لمبنى القلعة، نجد أن واجهة المدخل الرئيس (الواجهة الداخلية الشمالية الغربية) تظهر في اللوحة رقم (١٠)، والشكل رقم (٧)، حيث تظهر فتحة المدخل، وأعلىها فتحة معقودة بعقد من الآجر، وإلى اليمين توجد ثلاث فتحات نافذة ضيقة، وفتحة أخرى إلى أقصى اليمين أكبر حجماً (تظهر في اللوحة رقم ١٤: أ، ب، ج) ومعقودة من الداخل بعقد مدبب من الآجر بينما من الخارج توجد داخل إطار مستطيل أقل حجماً. وإلى اليمين واليسار من فتحة المدخل يوجد بقايا درج صاعد من سقف الطابق الأرضي إلى الطابق الأول، كما يظهر بأعلى الجدار من الداخل النهاية الأصلية للجدار، من خلال فتحتي رماية غير متساوية العرض، وكتف بالجانب الأيمن من الآجر، تم سدها جميعاً وتكملة ارتفاع جدار الواجهة حتى النهاية، وبناء الشرفات المثلثة أعلاه، باستخدام الآجر. كما يقع على يمين ويسار هذه الواجهة مدخل البرجين (الشمالي والغربي على الترتيب) يظهران في اللوحة رقم (١٣: أ، ب)، حيث يتكون كل برج من الداخل من ثلاثة مستويات، المستوى الأول تتخفص أرضيته عن منسوب أرضية الطابق الأرضي الحالية، بعمق نحو ٧٠ سم، وتعلوها قبة ضحلة تظهر في اللوحة رقم (١٨: أ، ب)، بينما سقف الطابق الثاني منهار، ويخصص الطابق الثالث (السطح) للرماة. ويظهر

د. عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني؛ د. ياسر يحيى أمين عبد العاطي

في اللوحة رقم (١٥: أ) مدخل البرج الشمالي، حيث تغطي فتحة مدخل الطابق الأرضي عقداً مخموساً منتظماً من الآجر، بينما يظهر في اللوحة رقم (١٥: ب) مدخل البرج الغربي، ويظهر تهدم عقد المدخل المشابه للعقد السابق. ويظهر في اللوحة رقم (١٣: أ) القص في سمك الجدار (تقليله بين دور والدور التالي أعلاه)، والذي يدل على وجود سقف بهذا الجانب، وقد تم بناء جانبي المدخل من الآجر، بينما باقي الجدران من الأحجار.

والواجهة الداخلية الشمالية الشرقية تظهر في كل من اللوحة رقم (١١) والشكل رقم (١٠)، وعلى جانبيها مدخلا البرج الغربي والجنوبي على الترتيب، حيث تظهر فتحة النافذة بارتفاع حوالي ٥٠ سم من منسوب أرضية الطابق الأرضي بداخل المبنى، وأربع نوافذ في منتصف ارتفاع الجدار، وجميع هذه الفتحات ضيقة، كما يظهر تهدم معظم الشرفات المثلثة بأعلى الجدار. والجدار مبنى من الأحجار وقد تساقطت طبقة الملاط بالكامل من سطحه.

والواجهة الداخلية الجنوبية الشرقية تظهر في كل من اللوحة رقم (١٢) والشكل رقم (٩)، حيث يبني أمام هذا الجدار بمسافة ٣,٧ م محراب مجوف بالطابق الأرضي، كما يحوي الجدار في مستوى الطابق الأول على محراب آخر مجوف، ونجد أن الجزء العلوي من الجانب الشرقي من هذا الجدار (يمين المحراب) متهدم، كما تظهر فتحات عدد من النوافذ الضيقة بأسفل ومنتصف ارتفاع الجدار، ويظهر إلى اليمين بقايا البرج الجنوبي المتهدم، وإلى اليسار مدخل البرج الشرقي للقلعة.

أما الواجهة الداخلية الجنوبية الغربية فتظهر في كل من اللوحة رقم (١٤) والشكل رقم (٨)، وهي تماثل الواجهة الداخلية الشمالية الشرقية، حيث تحوي على أربع فتحات نوافذ ضيقة بارتفاع حوالي ٥٠ سم من منسوب أرضية الطابق الأرضي

بداخل المبنى، وخمس نوافذ في منتصف ارتفاع الجدار، وجميع هذه الفتحات ضيقة، كما أنها موزعة بطريقة غير منتظمة على مسطح الواجهة، كما يقف أمام هذه الواجهة على بعد ٧, ١م بقايا كتفين حجريين.

وقد تم وضع تصور مبدئي لما كان عليه تخطيط هذه القلعة من الداخل قبل أن تتهدم، وهو يظهر في الشكل رقم (١١)، حيث تم وضع هذا التخطيط استناداً على العناصر الظاهرة والمتبقية من عناصر المبنى الداخلية، وفيه يكون المبنى من الداخل يحوي على صحن أوسط مكشوف، يحيط به ثلاث ظلات، إحداها في الجانب الجنوبي الغربي، والثانية في الجانب الجنوبي الشرقي، والأخيرة في الجانب الشمالي الشرقي، حيث يغطي هذه الظلات سقف خشبي مستوي حيث توزع عوارضه كما بالمسقط في الشكل رقم (١١)، كما يوجد درج في الجانب الجنوبي الشرقي يصعد إلى سقف الظلة (بهذا الجانب) من منسوب أرضية الطابق الأرضي، ودرج آخر في الجانب الشمالي الشرقي يصعد من منسوب أرضية الطابق الأرضي إلى منسوب سقف الظلة بهذا الجانب، ويوجد أيضاً درجان صاعدان في الجانب الشمالي الغربي يصعدان إلى منسوب السطح.

والدراسة المعمارية الحالية التي تعدّ بشكل مبدئي، حيث أعمال الحفر والتنقيب التي سوف تتزامن مع بدء مشروع ترميم وصيانة المبنى، قد تكشف عن بعض عناصر المبنى المخفية تحت سطح الأرض الطبيعية الحالية، والتي تتألف من طبقة سميكة من الردم الطبيعي الناتجة عن ترسب الرمال والأتربة مع الزمن، بالإضافة إلى الأحجار الناتجة عن تهدم وتساقط بعض عناصر وجدران المبنى.

٤- مواد وطرق البناء المستخدمة في تشييد المبنى:

استخدم في تشييد جدران مبنى القلعة كل من الأحجار المحلية الصلبة (التي تنوعت في النوع والصلابة ما بين الأحجار الجيرية والرملية بألوانها الفاتحة،

د. عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني؛ د. ياسر يحيى أمين عبد العاطي

والأحجار النارية مثل الشيست والنيس)، بالإضافة لاستخدام الطوب الآجر، والذي إما طعمت به الجدران الحجرية بأن يبنى صف (مدماك) بعد كل عدة مداмик حجرية، بغرض ضبط أفقية المداмик الحجرية (نظراً لعدم انتظام حجم الكتل الحجرية المستخدمة في البناء)، كما تعمل على تماسك الجدران وتقويتها، حيث تعمل عنصراً منتظماً يسلح الجدران أفقياً فيقلل من حدوث الشروخ الرأسية في الجدران نتيجة الترييح أو التأثيرات الحرارية.

كما أن الآجر استخدم أيضاً في بناء أجزاء من بعض جدران القلعة، وأحياناً أخرى نجد أنه بني به جدران كاملة (مثل الأجزاء العلوية من الأبراج والشرفات والأجزاء العلوية من الجدران، وكذلك مثل جانبي مدخل كل برج من داخل القلعة).

واستخدمت مونة يظهر من الفحص البصري أنها جيرية، وفيها آثار من رماد الأفران (مونة القصرميل)، كما في اللوحة رقم ٢١ (أ، ب)، وقد استخدمت في تشييد الجدران المباني وطبقة الحشو داخل الجدران الحجرية ذات الرقتين، بالإضافة إلى طبقة الملاط التي تغطي أسطح جميع الجدران، والتي لم يتبق منها إلا القليل؛ حيث تساقط معظمها.

وقد أجري اختبار مقاومة الضغط بصورة مبدئية على عدد من عينات أحجار البناء والطوب المستخدم، وقد ظهر من النتائج أن مقاومة الضغط المتوسطة لأحجار البناء تتراوح بين ١٥٠ - ٢٨٠ كجم/سم^٢، بينما كانت مقاومة الضغط المتوسطة للطوب الآجر في حدود ٢٨ كجم/سم^٢، ومقاومة الضغط المتوسطة للعينات المونة المأخوذة من طبقة الحشو للجدران في حدود ٢٠ كجم/سم^٢.

ويتضح من أجزاء المبنى المتبقية تطور عملية البناء التي وصلت إليها تقنيات العصر العثماني، من استخدام عقود بأنواع مختلفة، منها الدائري والعاثق (عقد التخفيف)، والقباب كنظام الأسقف في الدور الأرضي وداخل الأبراج، بالإضافة إلى بناء الشرفات في أعلى الجدران.

٥- وصف الحالة الراهنة لمبنى القلعة (مظاهر وعوامل التلف):

١-٥ الوصف الإنشائي لمبنى القلعة:

يتبع مبنى القلعة نظام الحوائط الحاملة (Loadbearing Walls) بالإضافة لاعتماده على عدد من الأكتاف الحجرية بداخل المبنى تتركز عليها بعض أجزاء الأسقف، وتبنى الحوائط بنظام الحوائط ذات الرقتين (Multiple Leaf Masonry)، والذي يتألف من طبقتين خارجيتين مبنيتين من الأحجار الغشيمة (غير المنتظمة)، تحصر بينها طبقة تتألف من كسر الأحجار مدفونة داخل طبقة المونة (انظر اللوحة رقم ١٧: ب، ج). كما يتم تشكيل بعض أحرف وأركان الجدران الداخلية، وكذلك بعض الأجزاء العلوية من جدران الأبراج الدائرية الأربعة باستخدام حوائط مبنية من الطوب الآجر، كما يظهر في معظم اللوحات (انظر اللوحات ذات الأرقام: ٤ - ١٦).

وتبنى الأكتاف الحجرية من الأحجار الغشيمة (غير المنتظمة)، وتظهر بصورة منفصلة (كما في اللوحتين ١٠، ١١)، كما تظهر كبروز من سمت بعض الجدران (كما في اللوحة رقم ١٢).

والظاهر من بقايا المبنى الحالية، أنه كان مكوناً من طابقين، طابق أرضي وطابق أول، يتكون سقف كل طابق منهما من ألواح خشبية تتركز على الحوائط والأكتاف في محيط كل سقف، ويصل إليها سلالم حجرية.

أما الأبراج فتتكون أيضاً من طابقين، الطابق الأرضي منسوب أرضيته منخفض عن منسوب الأرض الطبيعية للقلعة بنحو نصف متر، ويعلوه قبة من الآجر (انظر اللوحة رقم ١٨: أ، ب)، بينما يغطي الدور الأول سقف خشبي، حيث يظهر ذلك في القص من سمك الجدار بداخل الأبراج الأربعة (انظر اللوحات ذات الأرقام: ١١، ١٢، ١٤)، وتصل السلالم الداخلية بالقلعة بين الطوابق المختلفة للمبنى والأبراج الأربعة، كما يصعد إلى سطح المبنى، والذي يستخدم للرصد والرمية من أعلى، ويحيط به سور من الآجر.

ويظهر من الوضع الحالي لمبنى القلعة تدهم معظم الجدران الداخلية والأسقف والسلاالم، ولم يبق من المبنى سوى الجدران الخارجية للقلعة والأبراج الدائرية لها (ما عدا البرج الجنوبي الذي تدهم معظمه)، بالإضافة إلى أجزاء من أحد الجدران الداخلية وبعض الأكتاف الحجرية الداخلية.

والدراسة الحالية تطرقت إلى المبنى بصورة مبدئية طبقاً لما هو ظاهر من المبنى كدراسة أولية، بينما في المستقبل ستغطي الدراسة النظام الإنشائي بالكامل، وهذا يتطلب إزالة الطبقات السميكة من التراب وبقايا حطام مواد البناء المختلفة والمتراكمة داخل المبنى ومحيطه، للوصول إلى منسوب الدور الأرضي الحقيقي، وكشف الشكل الأصلي للمبنى، بالإضافة إلى تنفيذ عدد من المجسات بجوار بعض جدران المبنى حتى منسوب التأسيس لكشف نوع وحالة أساسات المبنى، ومعرفة منسوب التأسيس، كما يجب أن يتم تنفيذ عدة جلسات داخل وخارج حدود مبنى القلعة، طبقاً لمتطلبات دراسة أبحاث التربة والأساسات، لتوصيف التتابع الطبقي لتربة التأسيس، وخواصها الهندسية المختلفة، والتي نحتاج لمحدداتها عند عمل الدراسات الإنشائية لمبنى القلعة.

٥-٢ التداعيات الإنشائية في عناصر مبنى القلعة:

٥-٢-١ التداعيات الإنشائية في المباني التراثية:

تظهر بالمباني التراثية أشكال كثيرة ومتنوعة من التداعيات الإنشائية، التي تصيب العناصر الإنشائية الرئيسية في المبنى، من حوائط وأعمدة ودعامات وأسقف وعقود وقباب وغيرها من العناصر التي تمثل العمود الفقري للمبنى، والتي تقاوم الأحمال المختلفة التي يتعرض إليها المبنى (Amin, 2004: 92-93).

وتتدرج هذه التداعيات الإنشائية من حدوث تشكلات (Deformations) لعناصر

المبنى؛ تظهر في صورة هبوط (Deflection) في كمرات الأسقف أو انبعاج (Buckling)

بالأعمدة والحوائط، إلى أن تظهر شروخ شعرية (دقيقة) لا يتعدى اتساعها المليمتر الواحد، وتزيد تدريجياً في الشدة لتصل إلى شروخ عميقة وخطيرة، تتطور بعد ذلك إلى انفصالات داخل الجدران أو بين العناصر الإنشائية المتلاصقة (مثل الجدران المتقابلان)، تصل في النهاية إلى حدوث انهيار جزئي أو كلي.

وتنشأ هذه التداعيات نتيجة لزيادة قيمة الإجهادات الداخلية المتولدة في بعض العناصر الإنشائية للمبنى عن الحدود الآمنة المصمم عليها هذا العنصر في الأساس، والذي يرتبط باستعمال المبنى والأحمال المتوقعة التي يتعرض لها.

وتتسبب إجهادات الشد في حدوث الشروخ المختلفة، بينما تتسبب إجهادات الضغط في حدوث الانبعاج (حدوث إزاحة في منتصف العنصر في اتجاه عمودي على اتجاه تأثير الحمل). ومواد البناء التراثية عادةً ما تقاوم إجهادات الضغط بأمان كبير، حيث تشيد الجدران والأعمدة بقطاعات سميكة للتغلب على ضعف مواد البناء، بينما لا تقاوم مواد البناء التراثية إجهادات الشد، والتي تتسبب في حدوث معظم الشروخ والشقوق والانفصالات (Amin, 2004: 95-98). وتعدّ هذه التداعيات الإنشائية جرس الإنذار الأول، الذي يحذر من بداية انهيار العنصر الإنشائي، والذي يرتفع صوته تدريجياً في صورة زيادة اتساع الشروخ والشقوق في العنصر وزيادة الهبوط بالأسقف، وينتهي بانهيار العنصر، الذي يتسبب في حدوث انهيارات جزئية بالمبنى التراثي تصل في نهاية الطريق لانهيار كلي للمبنى.

وقد تناولت ابحاث كثيرة تصنيف شدة الشروخ حسب اتساعها (Bidwell, 1977: 6; Rainer, 1983; Kaminetzky, 1985). حيث اعتبرت الشروخ الإنشائية التي يصل اتساعها إلى ١ مم بشروخ شعرية (دقيقة)، والشروخ التي يصل اتساعها إلى ٥ مم بشروخ متوسطة، والشروخ التي يصل اتساعها إلى ١٥ مم بشروخ شديدة، بينما الشروخ التي يتعدى اتساعها ٢٥ مم بشروخ خطيرة إنشائياً، ويطلق عليها «الشقوق».

والتي عندما تزداد في الإتساع عن ٥٠ مم يطلق عليها «انفصالات» (Kucukkaya, 1999: 513).

٥-٢-٢ التدايعيات الإنشائية في عناصر المبنى المختلفة ومسبباتها:

ومن الوصف السابق لمبنى القلعة يتضح تعرض المبنى لزلزال قوي في الماضي، أسفر عن تدهم وسقوط معظم العناصر الإنشائية الأساسية المكونة للمبنى من الداخل، من أسقف وأكتاف وحوائط، بالإضافة إلى معظم محيط البرج الدائري الجنوبي، كما أصيب معظم الجدران بشروخ إنشائية خطيرة وكذلك انفصالات إنشائية، تأخذ نمط الشروخ الناشئة عن القوى الزلزالية (انظر اللوحة رقم ٢). والنقاط التالية تصف تفاصيل صور التدايعيات والتدهور الإنشائي بمبنى القلعة (Bieshar, B. 1999: 35-48):

١- يظهر في الشكل رقم (٣) واللوحة رقم (٣) الواجهة الخارجية الرئيسة لمبنى القلعة وقد تهدمت كتلة المدخل، بحيث أصبح لا يُعرف شكله الأصلي، وكذلك تهدمت حدود النافذة أعلى كتلة المدخل، وتساقطت طبقة الملاط الذي كان يكسو سطح هذا الحائط بالكامل من الداخل والخارج، وتهدمت معظم الشرفات المثلثة التي تعلو جدار الواجهة ولم يبق منها سوى ثلاثٍ على يمين المدخل، وانتشر عدد من الشروخ الإنشائية الرأسية، التي يتدرج اتساعها ما بين أقل من ١٠ مم، لتصل في بعضها إلى ما يقارب ٣٠ مم، بينما تظهر الانفصالات الإنشائية في البرج الشمالي وجزء الواجهة القريب منه، وحدوث تفكك وتآكل في المداميك الأولى السفلية بالجدار والأبراج.

٢- ويظهر في الشكل رقم (٤) واللوحة رقم (٤) الواجهة الخارجية الجنوبية الغربية وقد تهدم ثلاثة أرباع البرج الجنوبي، وينتشر حطامه من أحجار وطوب آجر في موضع البرج كما يظهر تفاصيل هذا التهدم بالبرج الجنوبي في اللوحة رقم

(٩: أ، ب)، كما يظهر عدد من الشقوق الرأسية تزداد كثافتها بالقرب من البرج الجنوبي، بينما تقل في إتجاه منتصف جدار الواجهة، بالإضافة إلى تساقط أجزاء كثيرة من طبقة الملاط التي تكسو الواجهة والأبراج، بينما نجد معظم الشرفات المثلثة التي تعلو جدار الواجهة (مكتملة).

٣- وفي الشكل رقم (٥) واللوحه رقم (٥) تظهر الواجهة الخارجية الجنوبية الشرقية، وقد تهدم جدارها بدءاً من المنتصف واتجاه الجانب الشمالي الشرقي، وتفكك جزء الجدار الباقي أسفل الهدم، وتهدمت كل الشرفات المثلثة أعلى الجدار، كما يظهر انفصال إنشائي رأسي خطير يقطع البرج الشرقي.

٤- وفي الشكل رقم (٦) واللوحه رقم (٦) تظهر الواجهة الخارجية الشمالية الشرقية وقد تهدم الجزء العلوي من معظم الشرفات المثلثة التي تعلو جدار الواجهة، وظهر شرخ رأسي خطير في الجانب الشمالي من البرج الشرقي، وتآكل بالمدماك الأول السفلي من الواجهة.

٥- ويظهر في اللوحه رقم (٧: أ، ب، ج) تفاصيل الشروخ والانفصالات الإنشائية الخطيرة بالبرج الشمالي لمبنى القلعة، حيث يصل متوسط عرض الانفصال إلى حوالي ٣٥ سم، بينما ظهر في اللوحه رقم (٨: أ) الانفصال الكبير بمنتصف البرج الشرقي، الذي يصل أقصى اتساع له إلى قرابة المتر الواحد، كما يظهر في اللوحه رقم (٨: ب) الجانب الشمالي من البرج الشرقي. وجميع هذه الشروخ تتبع في شكلها وتوزيعها نمط الشروخ التي تحدثها قوى الزلازل.

٦- ويظهر في الشكل رقم (٧) واللوحه رقم (١٠) الواجهة الرئيسة لمبنى القلعة من الداخل تهدم كتلة المدخل من الداخل، وانهيار الأسقف الخشبية بين الأدوار، وكذلك كل أجزاء الدرج يمين ويسار المدخل، وتساقط جزء من الطبقة الداخلية للجدار ذي الرقتين على يمين المدخل.

٧- ويظهر في اللوحات ذات الأرقام (١١، ١٢، ١٣، ١٤)، تفاصيل التدايعيات الإنشائية بالواجهات الداخلية لمبنى القلعة، والمتمثلة في سقوط طبقة الملاط بالكامل من سطح الجدران الداخلية، وحدوث انفصال بين أجزاء الجدران المتقاطعة والمبنية من مواد بناء مختلفة (بين مناطق الآجر والحجر)، انظر اللوحة رقم (١٤)، كما يظهر بها تساقط وانهيار معظم العناصر الإنشائية الداخلية من أسقف وجدران وأكتاف، وتراكم بقايا حطامها مختلطة بتراكمات الأتربة عبر السنين فوق أرضية المبنى من الداخل، بحيث لا يعرف منسوب أرضية الطابق الأرضي، كما يظهر بالصور أيضاً تدهم مداخل الأبراج بالطابق الأرضي، والمعقودة بعقد من الآجر، حيث يظهر تفكك بعض صنجها من الآجر، بينما تدهم اثنان منها عند مفتاح العقد (انظر اللوحة رقم ١٥: أ، ب، ج).

٨- ويظهر في اللوحة رقم (١٣: أ، ب، ج) تساقط السقف الخشبي للدور الأرضي، حيث يتضح ذلك من القص في سمك الجدار باللوحة رقم (١٣: أ)، كما يظهر باللوحة رقم (١٣: ج) عيب إنشائي في البناء، (وقد يكون بني بعد الانتهاء من البناء بفترة من الزمن) يتمثل في عدم ربط الجدران المتقاطعة في المبنى بطريقة إنشائية سليمة، من خلال عمل تداخل بين الكتل الحجرية للجدارين المتقاطعين، وجعلهما منفصلين تماماً؛ كما في اللوحة رقم (١٣: ج)، وعدم تنفيذ رباط مباني بين طبقات الحائط الواحد؛ كما يظهر في اللوحة رقم (١٦: أ، ب).

٣-٥ مظاهر التلف والتدهور في مواد البناء وأسبابها:

هناك كثير من مظاهر التلف والتدهور التي أصابت مواد البناء على اختلاف أنواعها، ومنها ما يلي:

١- حدوث تشقق وتفكك لطبقة الملاط التي تكسو سطح الجدران الداخلية والخارجية؛ كما في اللوحة رقم (٢١: أ، ب)، مما أدى إلى تساقطها جزئياً في

بعض المناطق من سطح الواجهات الخارجية ؛ كما في اللوحات ذات الأرقام (٢- ٩)، وكلياً في معظم الواجهات الداخلية والخارجية؛ كما في اللوحات ذات الأرقام (١٠-١٧).

٢- تساقط المونة الرابطة بين وحدات الأحجار داخل الحوائط؛ كما في اللوحة رقم (٢٢: ب، ج)، والتي أدت إلى ضعف المقاومة الميكانيكية للجدران بشكل عام، وتغلغل عوامل التلف الخارجية، (مثل: الرطوبة النسبية، والأمطار، والرياح) إلى الأجزاء الداخلية من الجدران مما عمل على تلفها.

٣- حدوث شروخ وكسر في بعض وحدات أحجار الجدران؛ كما في اللوحتين (١٤) و(٢٢: ب).

٤- تآكل السطح الخارجي لأحجار البناء في معظم جدران الواجهات الداخلية؛ كما في اللوحة رقم (٢٢: أ)، نتيجة لعوامل التجوية الطبيعية من رياح محملة بالرمال والغبار تعمل على نخر الأسطح، وكذلك تأثير الأمطار والسيول.

٥- الأسطح الداخلية للجدران والأسقف مغطاة بطبقة سميكة من الغبار والأتربة والعوالق نتيجة لوجود مبنى القلعة في بيئة مفتوحة ومعرضة للظروف والعوامل الجوية المختلفة بصورة مستمرة، كما أدى تساقط الأسقف وبعض الجدران الداخلية إلى تعرض جميع الأجزاء الداخلية لهذه العوامل الجوية بصورة دائمة.

٦- التلف البيولوجي لمواد البناء نتيجة لأعشاش النحل البري الذي سكن داخل الغرف السفلى من الأبراج الدائرية الأربعة، وتظهر صورة أحد هذه الأعشاش القائمة في اللوحة رقم (١٩: أ)، يعمل هذا النوع من الحشرات على بناء أعشاش له من الطين على سطح الجدران والأسقف المبنية من الطوب أو الحجر؛ كما في اللوحة رقم (١٩: ب)، مما يشوه الأسطح ويخفي سطحها الأصلي، كما

تعمل الإفرازات والفضلات العضوية التي تخلفها هذه الحشرات على تلف مواد البناء وتحللها جزئياً (24: 1982; Torraca 12-25; Kumar & Kumar: 1999); كما في اللوحة رقم (٢٠: أ، ب).

٧- وجود آثار لسناج على سطح القباب في الأبراج الدائرية، والنتاج عن استخدام المبنى في فترات لاحقة من قبل بعض أهالي وسكان المنطقة؛ كما في اللوحين (١٨) و(٢٠).

يتضح مما سبق أن التجوية الطبيعية هي المشكلة الرئيسية التي تؤثر على مواد البناء نتيجة تعرضها لبيئة مفتوحة بصورة مستمرة بما فيها من عوامل جوية مختلفة؛ والمتمثلة في التغير المستمر في درجات الحرارة والرطوبة النسبية والأمطار والرياح المحملة بالرمال والأتربة، وقد زاد من تأثير هذه العوامل انهيار الأسقف والجدران الداخلية، مما جعل جميع عناصر المبنى المتبقية في حالة تعرض مستمر لهذه العوامل الجوية، كما عمل التلف الإنشائي (وهو المشكلة الرئيسية) والنتاج عن تدهم المبنى وعناصره الإنشائية (من أسقف وجدران داخلية وأعمدة وأكتاف وحتى سلالم) نتيجة تعرض المبنى لزلزال قوي في السابق، حيث تسبب في الشروخ والشقوق والانفصالات داخل الجدران وكذلك تساقط أحد طبقات الجدران ذات الرقتين أدى ذلك إلى تغلغل عوامل التلف السابقة إلى مواد البناء داخل الجدران وتلفها (الزهراني، ١٤٢٧هـ: ٥١٥-٥٥٧؛ كرونين وروبسون، ١٤٢٩هـ: ٢٠-٢٤).

٦- تقييم الحالة الإنشائية لمبنى القلعة:

يعتمد تقييم الحالة الإنشائية لمبنى القلعة في الأساس على نتائج الدراسة والتحليل الإنشائي للمبنى في ظل الوضع الحالي (بما به من تداعيات وصور تلف) وذلك بهدف الوصول إلى التوصيات الخاصة بخطة الترميم والصيانة المطلوبة للمبنى.

٦-١ النموذج الرقمي لمبنى القلعة:

تم إعداد نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد (3D-Numerical Model) وباستخدام طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method) من خلال أحد برامج الحاسب الآلي المشهورة في هذا المجال (SAP2000, 2008)؛ حيث تم تمثيل جميع عناصر المبنى الإنشائية المتبقية وبوضعها الحالي في النموذج من خلال استخدام العناصر القشرية (Shell Elements)، وأعطيت أبعاد القطاعات والخواص الميكانيكية لكل عنصر حسب أبعاده ونوع مادة بنائه (الشكل رقم ١٢: أ، ب)، مع إضافة خواص المواد التي توصلنا إليها من نتائج أعمال الفحوص والاختبارات المبدئية لعينات من مبنى القلعة، والتي أهمها:

- الوزن النوعي المتوسط لأحجار البناء = $2,40$ طن/م^٣

- معامل المرونة لأعمال المباني الحجرية (E) = 10×10^4 °طن/م^٢

- نسبة بواسون = $2,50$

- مقاومة الضغط المتوسطة لأعمال المباني الحجرية (σ_c) = 60 كجم/سم^٢

- مقاومة الشد نتيجة إجهادات الإنحناء (Flexure Strength) = $0,50$ كجم/سم^٢.

وقد تم الاستعانة بالنموذج الحسابي الذي توصل إليه إيجرمان (Egermann, 1993: 305-306) في استنتاج كل من معمل المرونة للجدران ذات الرقتين وكذلك المقاومة الميكانيكية لها (مثل مقاومة الضغط)، باستخدام الأبعاد الهندسية (طول وعرض وسمك) لكل طبقة من طبقات الحائط ذي الرقتين (سواء الطبقتين الخارجيتين أو طبقة الحشو) والخواص الميكانيكية لمواد بناء كل طبقة منها. ومن خلال هذه القيم تم إجراء أعمال التحليل الإنشائي للنموذج الرقمي الخاص بمبنى القلعة وتقييم نتائجه.

وقد تم عمل تحليل إنشائي إستاتيكي (تحت تأثير الأحمال الدائمة)، والذي تعطي نتائجه صورة عن قيم الإجهادات الأساسية في عناصر المبنى نتيجة الأحمال

الدائمة، كما تم إجراء نوعين من التحليل الإنشائي الديناميكي هما: تحليل نموذج إيجن (Eigen Modal Analysis) والزمن - التاريخ (Time-History)، حيث من خلال قيم الزمن وقيم التردد الطبيعي المحسوبة بالنوع الأول يمكن تقييم كفاية النظام الإنشائي لتحمل قوى الزلازل بصورة مبدئية، كما أن نوع التحليل الثاني يحسب قيم الإجهادات الميكانيكية المختلفة داخل العناصر الإنشائية للمبنى نتيجة أحمال الزلازل، حيث تم إختبار عشرة أنماط من بيانات قراءات زلازل مسجلة في حافظة برنامج التحليل الإنشائي (انظر الشكل رقم ١٣: أ، ب، ج) بعد معادلة القيم إلى عجلة مكافئة = (PGA=0.12g)، ثم تم اختيار ثلاث قراءات زلازل مختلفة من قراءات عجلة أرضية وزمن (Time History Patterns)؛ تمثل أحمال زلازل ضعيفة ومتوسطة وقوية الشدة والتأثير بها على النموذج الرقمي للمبنى (Amin, 2004: Appendix-6).

٦-٢ مناقشة نتائج التحليل الإنشائي:

في هذا الجزء يتم مناقشة وتقييم نتائج التحليل الإنشائي الإستاتيكي والديناميكي للنموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد المعد لمبنى القلعة، بهدف تحديد أسباب التلف الإنشائي الموجود بعناصر المبنى، وتقييم الاتزان ومعامل الأمان الإنشائي بها لوضع خطة العلاج والترميم لهذا المبنى.

٦-٢-١ نتائج التحليل الإنشائي الإستاتيكي:

من الحالة الراهنة لمبنى القلعة، الذي سقطت معظم جدرانه وجميع الأسقف الخشبية داخل المبنى، نجد أن العناصر الإنشائية لا تقاوم إلا وزنها الذاتي. ولذلك نجد أن قيم الإجهادات الداخلية بها أقل من القيم بها في الماضي عندما كان المبنى مكتملاً.

والشكل رقم (١٤) يوضح توزيع إجهادات الشد الأفقية في الجدران نتيجة الأحمال الإستاتيكية (الحمل الميت)، وهي الأماكن المتوقع حدوث شروخ بها بالمواضع

التي يتعدى فيها قيمة الإجهاد مقاومة الشد المسموح بها؛ حيث نجد أنها تتراوح ما بين ٠ إلى ١,٠ كجم/سم^٢، وهي قيم صغيرة لا تسبب حدوث شروخ. كذلك الشكل رقم (١٥) يوضح توزيع إجهادات الضغط الرأسية في جدران المبنى نتيجة الأحمال الإستاتيكية (الحمل الميت)؛ حيث نجد أنها تتراوح ما بين ٠ إلى ٢ كجم/سم^٢، وهى قيم أيضاً أقل بكثير من القيم المسموح بها (كما في بند ٦-١). وعلى ذلك نجد أن المبنى بوضعه الحالي آمن إنشائياً تحت تأثير الأحمال الإستاتيكية المتوقعة والمؤثرة عليه.

٦-٢-٢ نتائج التحليل الإنشائي الديناميكي:

بدراسة نتائج التحليل الإنشائي الديناميكي من نوع تحليل نموذج إيجن (Eigen Modal Analysis) وقيم الزمن والتردد الطبيعي المحسوبة، نجد أن الجدران في حالة من التفكك وعدم الأمان الإنشائي تجاه الحركات الزلزالية، وهذا يتضح من القيم العالية للزمن الطبيعي والتشكلات المحتملة الحدوث بالجدران، التي أظهرها أنماط هذا النوع من التحليل، فنجد الشكل رقم (١٦: أ، ب) يعرض أول نمط للتشكل المتوقع للمبنى وقيمة الزمن المحسوبة له = ٠,١٩٩ ث، بينما الشكل رقم (١٧: أ، ب) يعرض ثاني نمط للتشكل المتوقع للمبنى وقيمة الزمن المحسوبة له = ٠,١٤٦ ث، والشكل رقم (١٨: أ، ب) يعرض ثالث نمط للتشكل المتوقع للمبنى وقيمة الزمن المحسوبة له = ٠,١٤١ ث، وهذه القيم يستخدمها البرنامج في النوع الآخر من التحليل الديناميكي، كما تم اختيار الأنماط الثلاثة الأولى الرئيسة للتشكل بينما تم حساب خمسة عشر نمطاً آخر لزيادة الدقة.

وبدراسة نتائج التحليل الإنشائي الديناميكي الآخر من نوع (Time-History) ومواقع قيم تركيزات إجهادات الشد القصوى، التي تظهر في الأشكال أرقام (١٩، ٢٠، ٢١)، والتي تحدد أماكن الشروخ المحتملة، وبمقارنة هذه الأماكن مع مبنى

د. عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني؛ د. ياسر يحيى أمين عبد العاطي

القلعة نجد أنها تتطابق مع الشروخ والإنفصالات الحادثة حالياً بالمبنى، كما أن القيم القصوى لهذه الإجهادات تصل إلى +٤ كجم/سم^٢، وهي قيم أعلى بكثير من القيم المسموح بها (كما في بند ٦-١ عن مقاومة الشد في الجدران).

٦-٢-٣ تقييم الاتزان والأمان الإنشائي لمبنى القلعة:

بدراسة نتائج التحليل الإنشائي لمبنى القلعة، نجد أن المبنى بمافيه من شروخ وانفصالات، بالإضافة إلى أن جميع الجدران والعناصر الباقية بالمبنى تعدّ حرة من أعلى (Free-standing) مما يجعلها غير آمنة من الناحية الإنشائية تجاه القوى الأفقية بشكل عام، وأخطرها الناتجة عن الزلازل، ويمكن أن تنهار تماماً عند حدوث زلزال متوسط الشدة في أي وقت في المستقبل.

والذي يزيد من خطورة الوضع، ما حدث في السنوات الأخيرة من نشاط لبركان منطقة العيص القريبة من موقع القلعة، الذي وصل تأثيره إلى العلا من خلال الهزات الأرضية المصاحبة.

٧- توصيات ومقترحات خطة الإصلاح والترميم لمبنى قلعة الفقير:

من نتائج الدراسات السابقة، يتضح ضرورة الإسراع بتنفيذ مشروع ترميم معماري لمبنى القلعة، وذلك نتيجة لما وصلت إليها حالتها الإنشائية من تدهور وانهيار، وافتقار معظم أجزائها المتبقية لمعامل السلامة والأمان الإنشائي. ويمكن إيجاز العناصر الرئيسية لخطة الإصلاح في النقاط التالية:

١- ينبغي تنفيذ أعمال سند لجميع الجدران الحالية بمبنى القلعة، وخاصة التي بها شروخ خطيرة، أو تفكك في بعض أجزاء من طبقاتها.

٢- القيام بدراسة التربة والأساسات بموقع مبنى القلعة، من خلال تنفيذ عدد من المجسات في داخل وخارج القلعة؛ للتعرف إلى التتابع الطبقي ونوعية طبقات التربة أسفل المبنى ومنسوب المياه الأرضية ونوعيتها إن وجدت، وكذلك يتم

تنفيذ عدد من المجسات بالقرب من عدد من الجدران، للوصول إلى مستوى التأسيس، والكشف عن نوع وحالة أساسات الجدران.

٣- يتم رفع جميع الأتربة وطبقات الرديم التي توجد داخل وحول مبنى القلعة، حتى نصل إلى منسوب الأرض الطبيعية، وأرضية أول مستوى في مبنى القلعة، ويعتمد ذلك على نتائج أعمال أبحاث التربة والأساسات.

٤- يتم رصد حركة الشروخ من خلال البؤج الجبسية، وفي حالة ثبوت تحرك الشروخ أو جود ميول خطيرة في بعض الجدران، نوصي بإجراء أعمال رصد دقيق للميول والشروخ باستخدام التقنيات المساحية المتقدمة (مثل الرصد باستخدام المحطة المتكاملة Total-station).

٥- يتم استكمال أعمال التسجيل والرفع المعماري لجميع عناصر المبنى، وإضافة وتحديث الرفع السابق بما يمكن أن يكشف عنه من جدران وعناصر معمارية من خلال أعمال الحفر والتطهير لأرضية الموقع والمبنى.

٦- يتم استكمال أعمال الفحص والتحليل والاختبارات لمزيد من العينات من مواد البناء المختلفة من المبنى.

٧- يتم تجميع مواد البناء الموجودة بالموقع، والناجمة عن انهيار عناصر معمارية في المبنى، والاستفادة منها في أعمال إعادة البناء.

٨- يتم دراسة مخطط إعادة البناء لمبنى القلعة، من خلال الدلائل التاريخية والمعمارية وما يكشف عنه الدراسات الاستكشافية بالموقع.

٩- يتم استخدام التقنيات الحديثة في التحليل الإنشائي لتصميم أعمال الترميم الإنشائي للمبنى، وإعادة البناء، ومحاولة رفع معامل الأمان الإنشائي في عناصر المبنى، وخاصة ضد أحمال الزلازل، التي تتعرض لها المباني بشكل مباشر في محافظة العلا، لقربها من مناطق نشطة زلزالياً.

١٠- ينبغي دراسة تأهيل مبنى القلعة ليصبح مقصداً سياحياً، وينضم إلى منظومة موارد السياحة التراثية الغنية بمحافظة العلا (الزهراني، ١٤)، بوضع خطة لعملية الصيانة الوقائية.

٨- الخلاصة:

يعدّ مبنى القلعة بمحافظة العلا من المباني الأثرية المهمة التي تمثل إحدى القلاع التي بنيت على طريق الحج في المملكة، كما أن وجوده بجوار موقع الماييات (قرح) وقريباً من موقع المطار، وضمن الموارد التراثية المهمة في محافظة العلا، يضيف إليه أهمية خاصة.

ونظراً لما أشار إليه هذا البحث من الحالة الخطيرة للمبنى، حيث سقطت معظم أجزائه المبنى الداخلية (من أسقف وأعمدة وجدران وسلالم)، ولم يبق منه سوى المحيط الخارجي (جدران الواجهة الخارجية والأبراج الدائرية في الأركان الأربعة، فيما عدا البرج الجنوبي)، إلى جانب الشروخ الخطيرة في معظم الجدران والأبراج، والتي تصل إلى حد الشقوق والانفصالات، مما جعل المبنى يفتقر لدرجات الأمان الإنشائي بشكل عام، وخاصة تجاه أحمال الزلازل.

وحيث إن منطقة العلا أصبحت معرضة في السنوات الأخيرة إلى هزات زلزالية كثيرة مصاحبة لنشاط بركان منطقة العيص، فبات خطر إنهيار مبنى القلعة بالكامل قائماً، وقابلاً للحدوث في أي وقت نتيجة تراكم تأثير الزلازل الضعيفة، أو عند حدوث زلزال متوسط الشدة في أي وقت من المستقبل.

ولذلك يحث ويوصي هذا البحث إلى الإسراع في تنفيذ مشروع عاجل لإنقاذ مبنى القلعة من الدمار والانهار التام، وترميم وإعادة بناء العناصر المتهدمة منه المبنى، وتأهيل المبنى ليصبح إضافة مهمة لموارد محافظة العلا السياحية.

المراجع

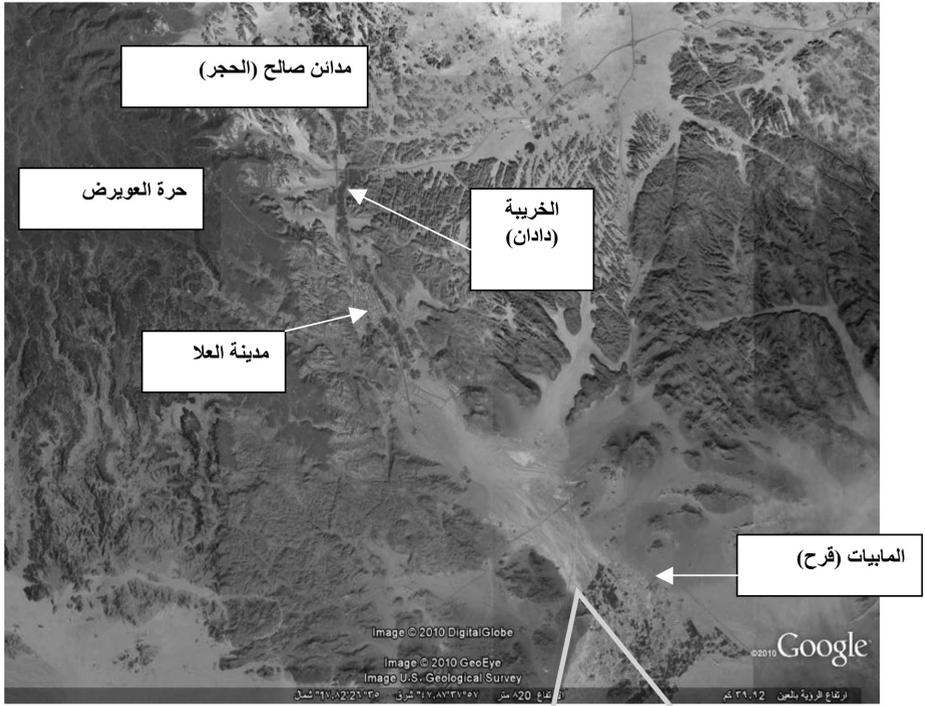
أولاً: المراجع العربية :

- * - أستاذ مشارك، قسم إدارة موارد التراث والإرشاد السياحي -كلية السياحة والآثار- جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- ** - أستاذ مساعد، قسم إدارة موارد التراث والإرشاد السياحي - كلية السياحة والآثار - جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية .
- الأنصاري، عبد الرحمن الطيب، وأبو الحسن، حسين بن علي. العلا ومدائن صالح (حضارة مدينتين) (الرياض: دار القوافل ، ١٤٢٣هـ / ٢٠٠٢م).
- الجاسر، حمد. عرض وتلخيص رحلتي ابن عبد السلام المغربي، ط٢ (دار الرفاعي، ١٤٠٢هـ).
- الزهراني، عبد الناصر بن عبد الرحمن. عوامل تلف المواقع الأثرية: حالة دادان (الخريبة). دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية عبر العصور، (الرياض: جمعية التاريخ والآثار بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربي ١٤٢٨هـ)، ٧، صص ٥١٥ - ٥٥٧ .
- الزهراني، عبد الناصر بن عبد الرحمن. التخطيط السياحي للمناطق التراثية: العلا أنموذجاً. (مجلة جامعة الملك سعود ٢١، السياحة والآثار (١)، (الرياض : ص ٧٣-١٠٠، ١٤٣٠هـ).
- الفقير، بدر بن عادل. السياحة في محافظة العلا: موارد الجذب ومعوقات التنمية (الرياض ١٤٢٧هـ).
- كرونين، ج.؛ روبنسن، و. أساسيات ترميم الآثار؛ ترجمة عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني. (الرياض: جامعة الملك سعود، ١٤٢٧هـ).

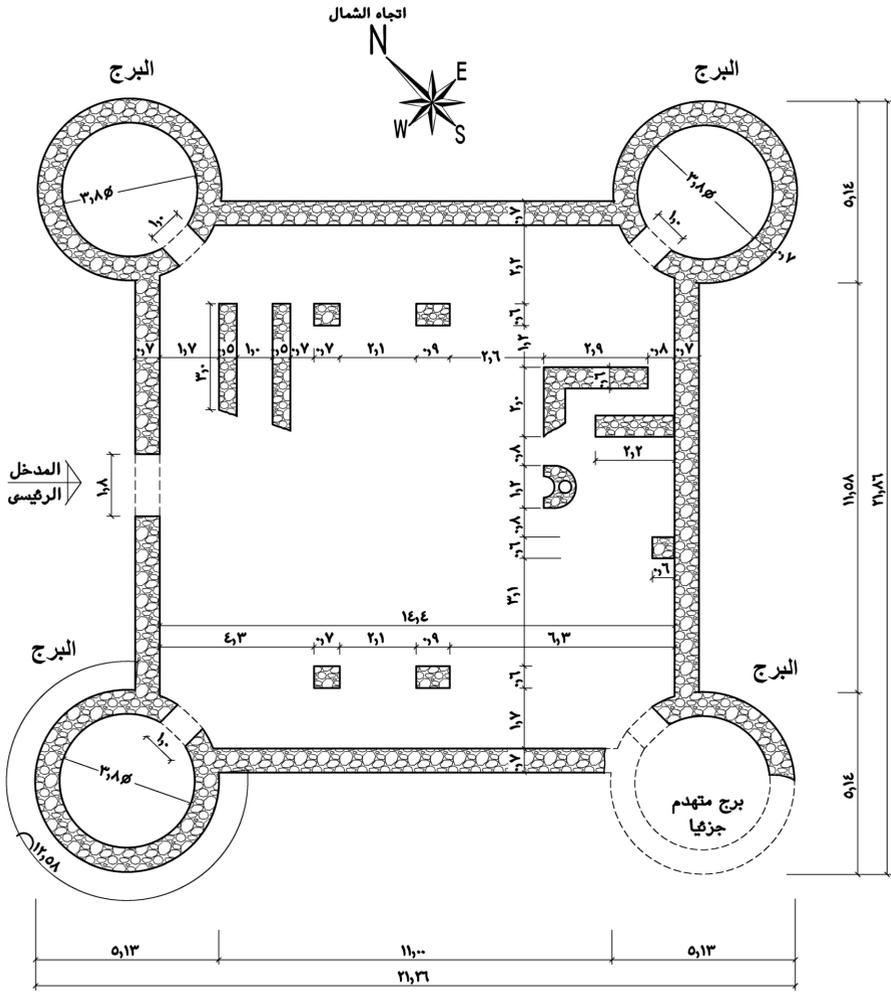
ثانياً: المراجع الأجنبية :

- Amin, Y.Y., Analysis and Assessment of Structural Deficiencies in Historical Islamic Religious Buildings from Bahri Mamluk Period and the Possible Scientific Methods for Conservation and Restoration with Application on the Madrasa of Umm Al-Sultan Sha'ban in Cairo, Ph.D. Thesis, Cairo University, Faculty of Archaeology, Conservation Dept., (Unpublished) (2004).
- Bidwell, T.G, The Conservation of Brick Buildings, The Repair, Alternation and Restoration of Old Brickwork, BDA, London, 1977.
- Bieshar, B., Emergency Measures and Damages Assessment After an Earthquake', UNESCO Report, 1992
- Egermann, R., Investigation on load bearing behaviour of multiple leaf masonry, Structural Preservation of the Architectural Heritage, IABSE Symposium, Rome, Italy, 1993, pp. 305-306
- Kaminetzky, D., Verification of Structural Adequacy, Rehabilitation, Renovation and Preservation of Concrete and Masonry Structures, MI, ACI, 141, Detroit, 1985.
- Kucukkaya, A. G., Conservation and Strengthening of An Early Ottoman Tomb Against The Risk of Earthquakes, ERES II, Second International Symposium on Earthquake Resistant Engineering Structures, Ed. C.A. Brebbia & G. Oliveto, Pub. WIT Press Ltd., UK, 1999, pp. 512-513.
- Kumar, R. & Kumar, A. V., Biodeterioration of Stone in Tropical Environments, An Overview. Research in Conservation, The Getty Conservation Institute, 1999.
- Rainer, P., Movement Control In The Fabric of Buildings, Nichols Publishing Co., New York, 1983.
- Torraca, G., Porous Building Materials. Materials Science of Architectural Conservation. ICCROM, Rome, (1982).

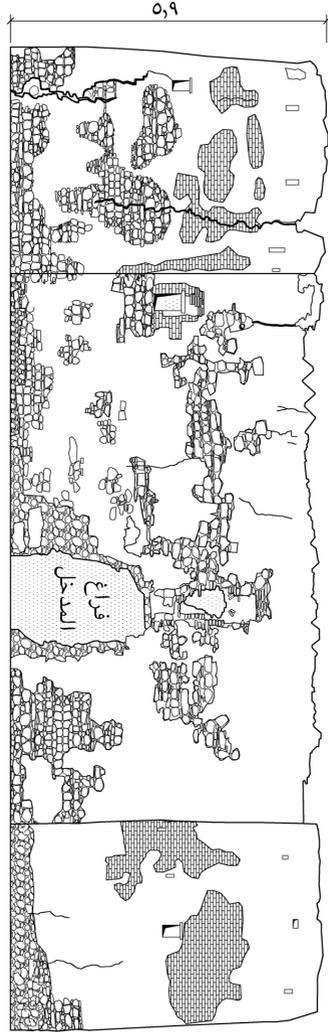
اللوحات والأشكال



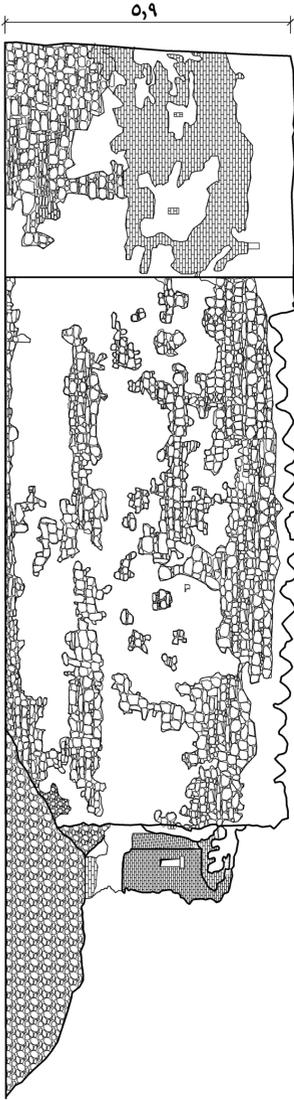
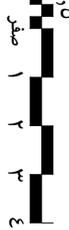
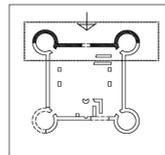
اللوحة رقم (١): موقع مبنى قلعة الفقير Google



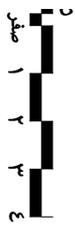
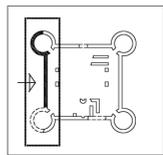
الشكل رقم (١): مسقط أفقى للطابق الأرضي لمبنى قلعة
الفقيرة (عند منسوب + ١,٥ م)

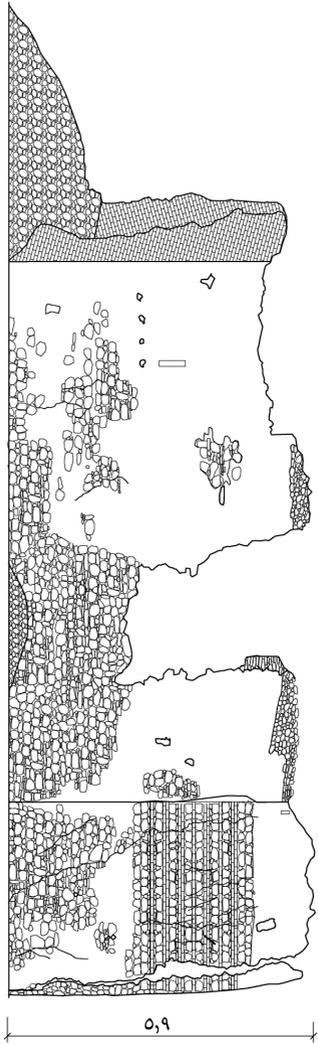


الشكل رقم (٣): الواجهة الرئيسية (المدخل)، توضح انهيار كتلة المدخل وتساقط طبقات الملاط.

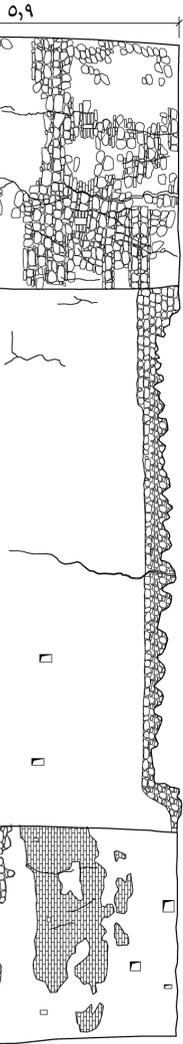


الشكل رقم (٤): الواجهة الجنوبية الغربية، توضح انهيار البرج الجنوبي للقاعة وتساقط طبقات الملاط والشروخ الرأسية واختلاف مواد البناء بين أحجار وأجر.

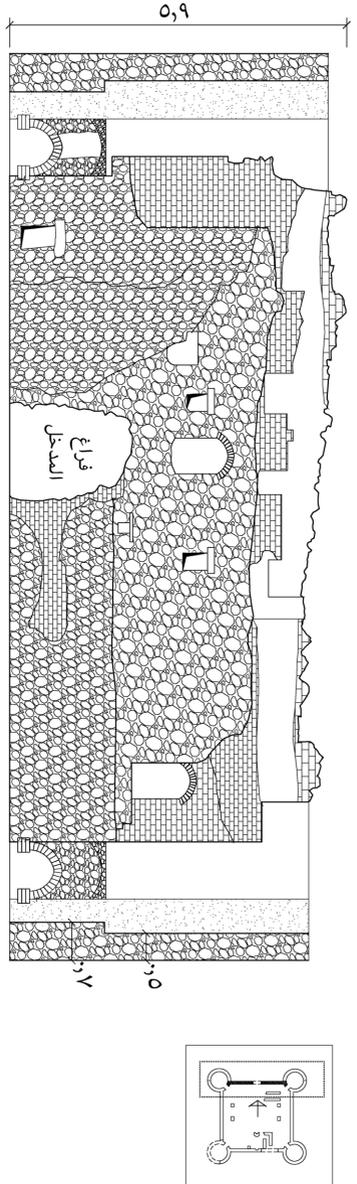




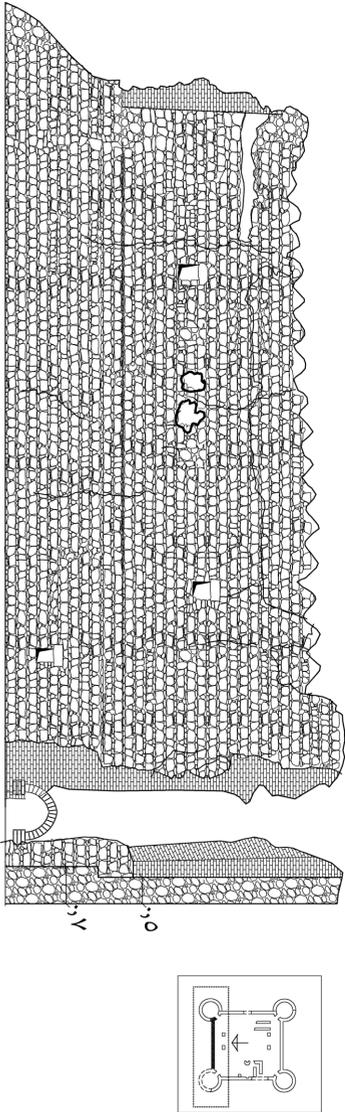
الشكل رقم (٥): الواجهة الجنوبية الشرقية، توضح انهار البرج الجنوبي للقاعة وتساقط طبقات الالاط والانصالات الرأسية الخيطية وانيار الجزء العلوى من جدار القبلة.



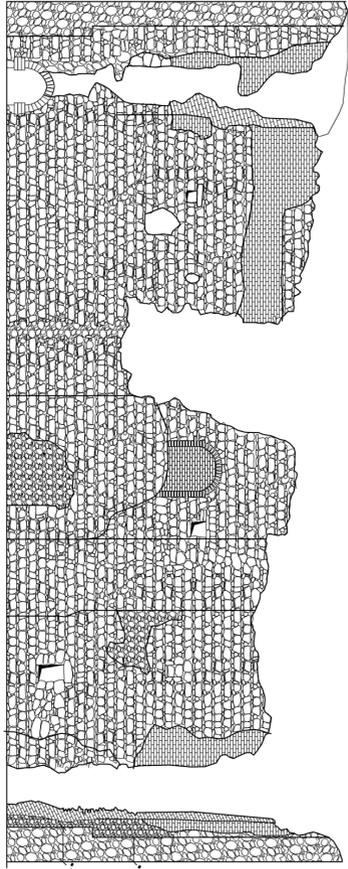
الشكل رقم (٦): الواجهة الشمالية الشرقية، توضح تساقط طبقات الالاط الجيري والشروخ الرأسية الخيطية إنشائيا في وسط الجدار الشمالي الشرقي والبرج الشمالي.



الشكل رقم (٧): الواجهة الداخلية الشمالية الغربية، توضح انهيار كتلة المدخل وتساقط أجزاء من الطبقة الداخلية لسمك الجدار.



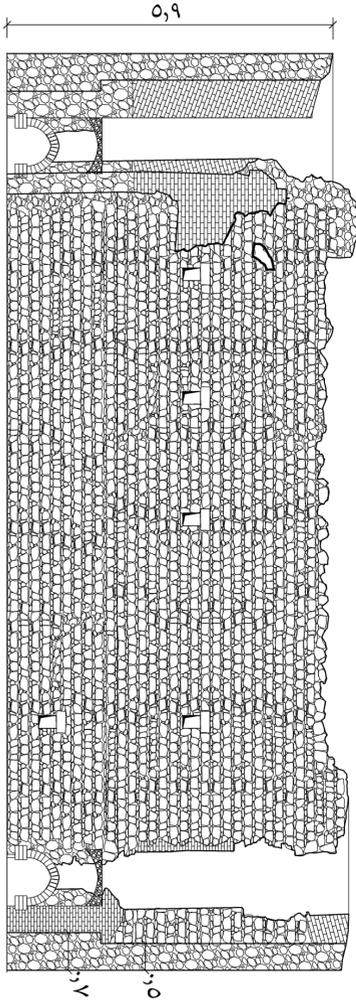
الشكل رقم (٨): الواجهة الداخلية الجنوبية الغربية، توضح انهيار البرج الجنوبي للقاعة وتساقط طبقة الملاط بالكامل من سطح الجدار والشروع الإنشائية الرأسية المتفرقة.



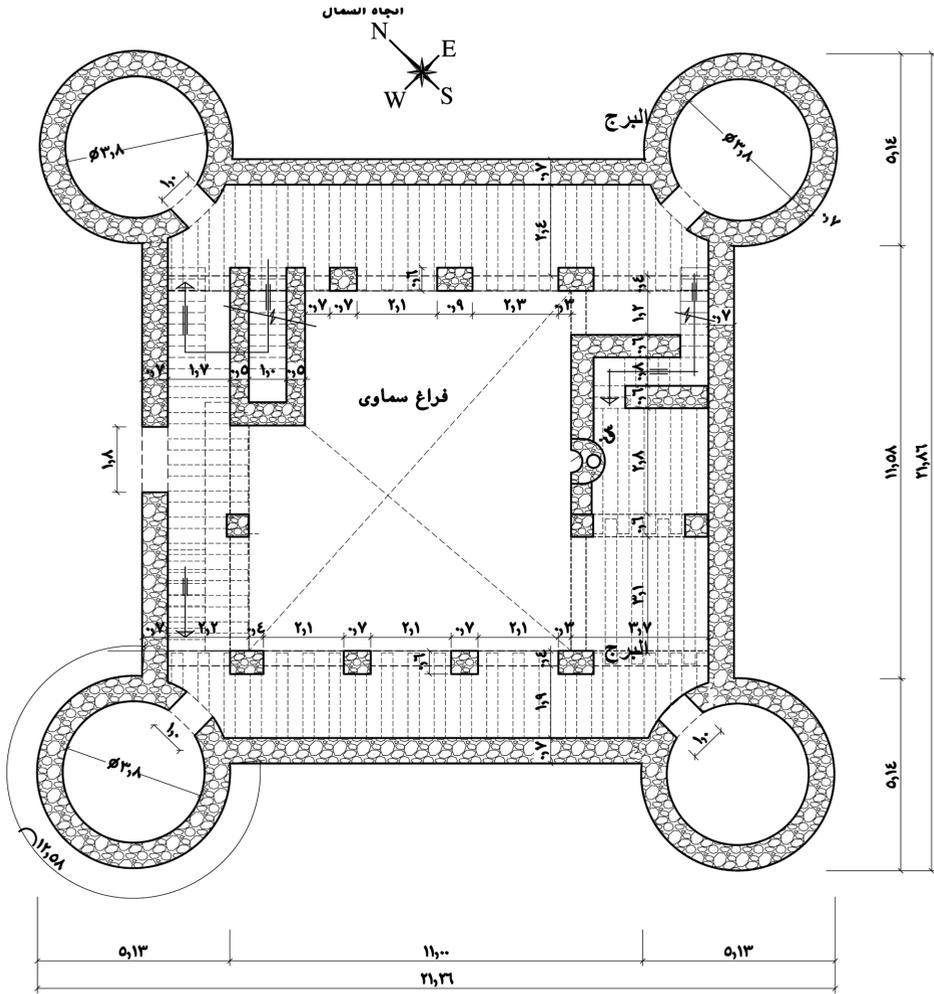
البرج



الشكل رقم (٩): الواجهة الداخلية الجنوبية الشرقية، انهيار الجزء العلوي من جدار القبلة وتهدم مداخل الأبراج على الجانبين .



الشكل رقم (١٠): الواجهة الداخلية الشمالية الشرقية، توضح تساقط طبقة الملاط بالكامل من السطح الداخلي للجدران وتهدم مداخل الأبراج على الجانبين .



مسقط أفقى افتراضى لشكل القلعة الاصلى

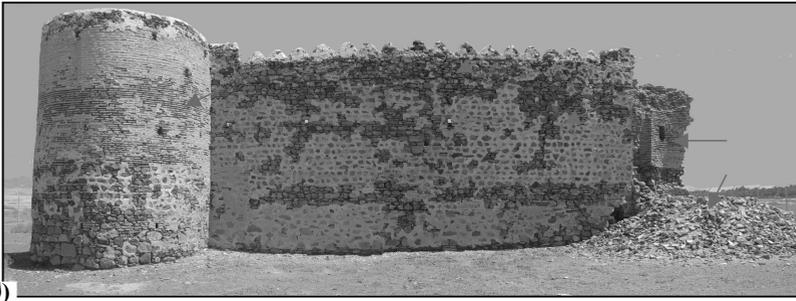
الشكل رقم (١١): مسقط أفقى يوضح تصوراً للتخطيط الأصلي لمبنى قلعة الفقيرة.



الشكل رقم (٢): صورة عامة للقلعة من أعلى في اتجاه الشمال، توضح التخطيط العام والأجزاء المتهدمة من المبنى.



اللوحة رقم (٣): الواجهة الرئيسية توضح تهدم كتلة المدخل وشروخاً رأسية خطيرة بالبرج الشمالي ونخر وتفكك المداميك السفلية.



(١)

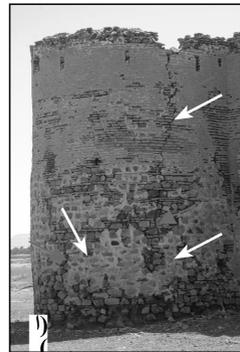
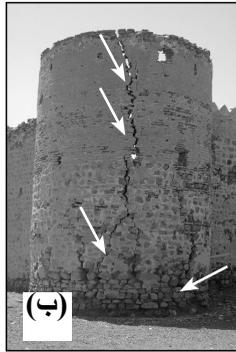
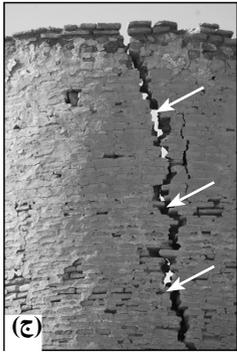
الشكل رقم (٤): الواجهة الجنوبية الغربية، توضح انهيار البرج الجنوبي للقلعة وتساقط طبقات الملاط والشروخ الرأسية واختلاف مواد البناء بين أحجار وآجر.



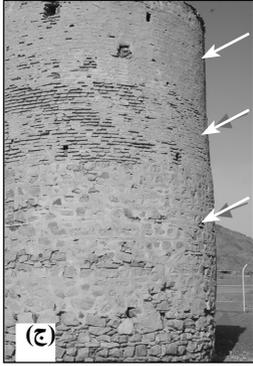
اللوحة رقم (٥): الواجهة الجنوبية الشرقية، توضح انهيار البرج الجنوبي للقلعة والجزء العلوي من الجدار وانفصالاً إنشائياً خطيراً.



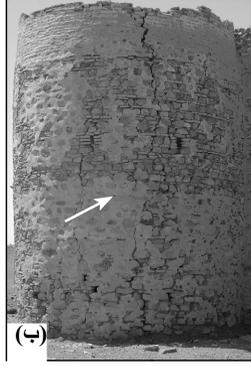
اللوحة رقم (٦): الواجهة الشمالية الشرقية، شرح رأسي خطير بالبرج الشرقي وتواجد طبقة الملاط بسطحها.



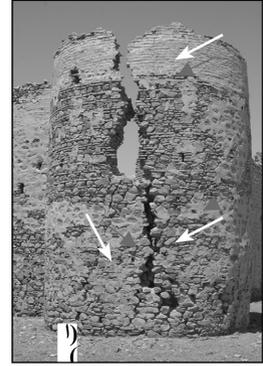
الجانِب الغربي من البرج الشمالي انفصال بوسط البرج الشمالي انفصال بوسط البرج الشمالي
اللوحة رقم (٧) (أ، ب، ج): تفاصيل الشروخ والانفصالات الإنشائية الخطيرة بالبرج الشمالي لمبنى القلعة.



تقوس بجدران الأبراج



الجانِب الشمالي من البرج الشرقي



انفصال بالبرج الشرقي

اللوحة رقم (٨): تفاصيل الشروخ والانفصالات الإنشائية الخطيرة والتشوهات بأبراج مبني القلعة.



(ب)

منظر جانبي للبرج الجنوبي وجزء من الواجهة الشمال الشرقية.



(ا)

منظر أمامي للبرج الجنوبي يظهر حطام البرج المتهدم وبقاء ما يقارب ربعه الشرقي، وبناء الجزء السفلي من الأحجار والعلوي من الآجر.

اللوحة رقم (٩): تفاصيل تهدم البرج الجنوبي لمبني القلعة. (أ ، ب)



اللوحة رقم (١٠): الواجهة الداخلية الشمالية الغربية (الرئيسية)، توضح موضعي الدرج لدور السطح (يمين ويسار المدخل)، وتهدم الجدران الداخلية وكتبة المدخل، وتنوع مواد البناء ما بين أحجار وأجر.



اللوحة رقم (١١): الواجهة الداخلية الشمالية الشرقية، توضح تساقطاً كاملاً لطبقة الملاط وقص بسلك الجدار دلالة عن السقف المتهدم، كما تظهر النوافذ الضيقة وتهدم الجدران الداخلية.

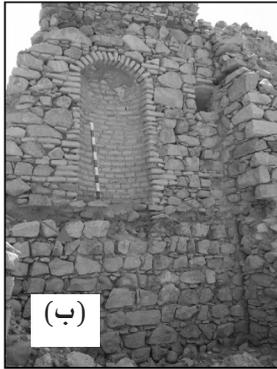


اللوحة رقم (١٢): الواجهة الداخلية الجنوبية الشرقية، توضح تساقطاً كاملاً لطبقة الملاط الجيري، وسقوط الجزء العلوي من جدار القبلة، وانهيار المحراب بالدور الأرضي، وواجهة مدخل الأبراج من الداخل.



(ج)

انفصال الاكتاف الحجرية عن جدار القبلة، وتنفيذها بدون رباط من المباني.



(ب)

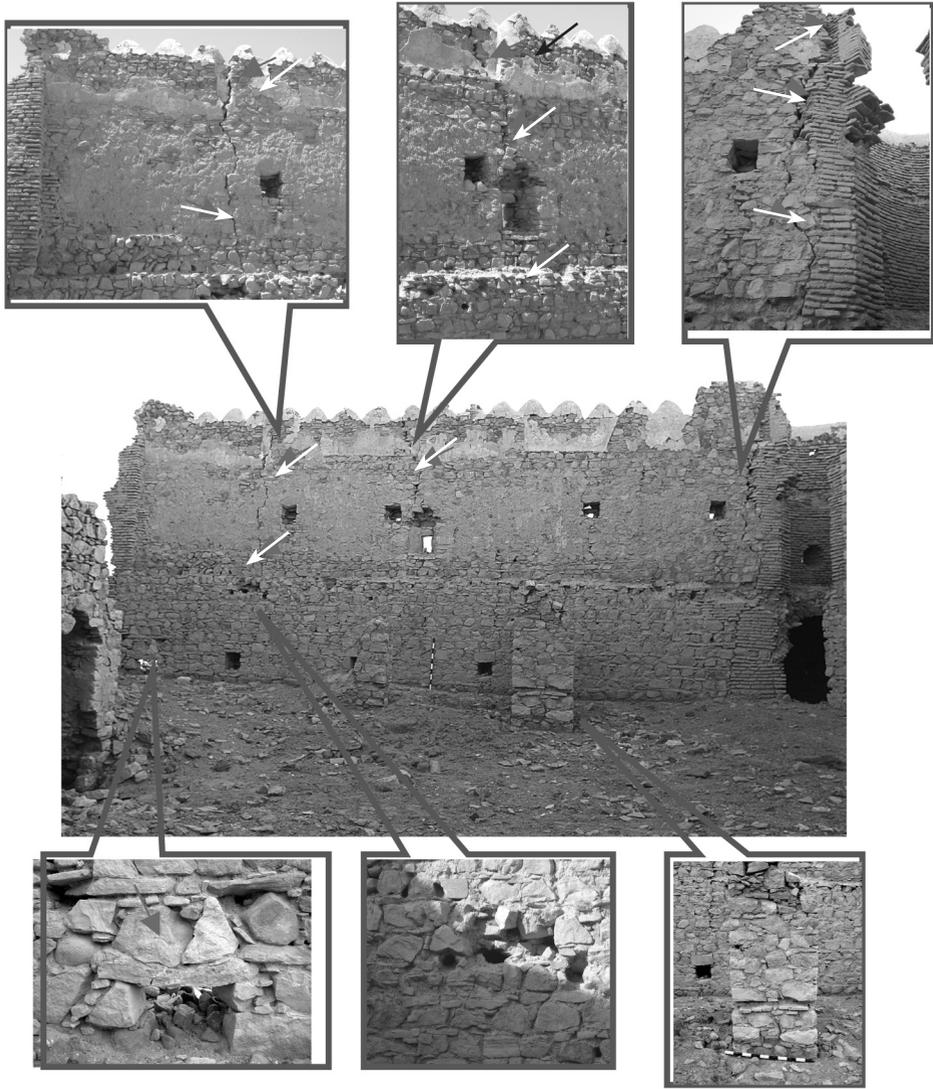
تفاصيل المحراب بالدور الأول.



(أ)

جدار الواجهة الداخلية الشمالية الشرقية، ويظهر بها القص في سمك الجدار.

اللوحة رقم (١٣): (أ ، ب ، ج): تفاصيل جدار الواجهة الداخلية الشمالية الشرقية، وجدار القبلة.

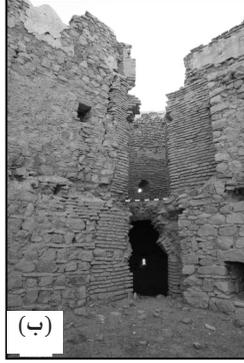


اللوحة رقم (١٤): الواجهة الداخلية الجنوبية الغربية، والصور المقرية التفصيلية، توضح تساقطاً كاملاً الطبقة الملاط، والشروخ والانفصالات الرأسية، وقصاً بسمك الجدار دلالة عن السقف المتهدم، وتظهر النوافذ الضيقة وتهدم الجدران الداخلية.



(ج)

البرج الشرقي.



(ب)

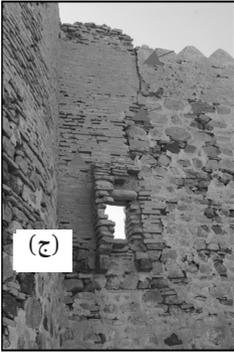
البرج الغربي.



(أ)

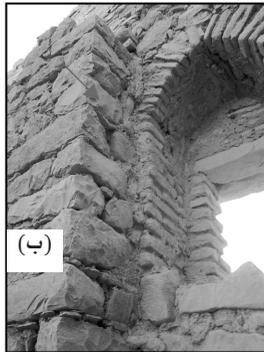
البرج الشمالي.

اللوحة رقم ١٥ (أ، ب، ج): تفاصيل مداخل أبراج مبني القلعة من الداخل، ويظهر فيه بناء جوانبها بالأجر والتهدم بعناصرها.



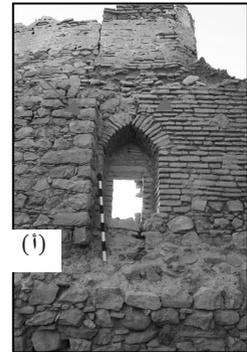
(ج)

فتحة الشباك السابق من الخارج، وتظهر داخل إطار بارز عن سمت جدار الواجهة، والشرخ النافذ أعلاها.



(ب)

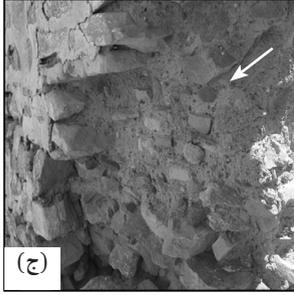
تفاصيل الشباك السابق ويظهر عدم عمل وصلة بين الطبقات المختلفة المكونة لسمك الجدار والمبينة من الحجر والأجر



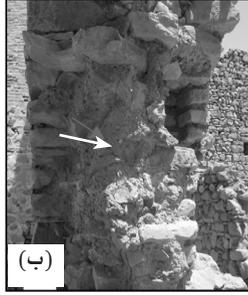
(أ)

فتحة شباك معقودة بعقد مدبب من الأجر، بالجانب الأيمن من جدار المدخل الرئيسي للقلعة

اللوحة رقم ١٦ (أ، ب، ج): تفاصيل فتحة الشباك الشمالي بجدار المدخل الرئيس للقلعة من الداخل والخارج، ويظهر اختلاف مواد البناء وطريقته، وشكل الفتحة من داخل وخارج المبنى.



الجزء الأيسر من كتلة المدخل، ويظهر سقوط الطبقة السطحية من الجدار وظهور طبقة الحشو، وتظهر بقايا الرماد الداخل في تركيب المونة الجيرية المستخدمة في بناء طبقة الحشو الداخلية.

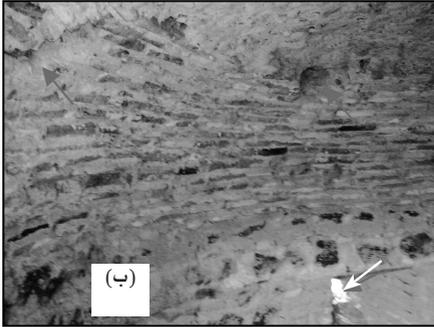


تفاصيل سمك جدار المدخل الرئيس للقلعة، حيث تظهر طبقة الحشو بالجدار ذي الرقتين.



الجانب الخلفي من المحراب بالدور الأرضي، ويظهر بناؤه الدائري وانتهيار الجزء العلوي منه وتجويفه الداخلي.

اللوحه رقم 17 (ا، ب، ج): تفاصيل جدار المحراب بالدور الارضي، وطبقات جدار المدخل الرئيسي المبني بنظام الرقتين
اللوحه رقم (17): (أ، ب، ج) : تفاصيل جدار المحراب بالدور الأرضي، وطبقات جدار المدخل الرئيس المبني بنظام الرقتين.

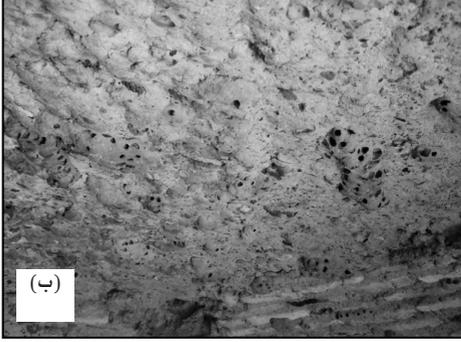


صورة للجانب الأيسر من السقف السابق، ويظهر فيه القبة الضحلة المكونة للسقف من الأجر، وأحد النوافذ الضيقة، واصابة السقف بتلف بيولوجي من أعشاش النحل البري، وتشوه وتآكل بالسقف

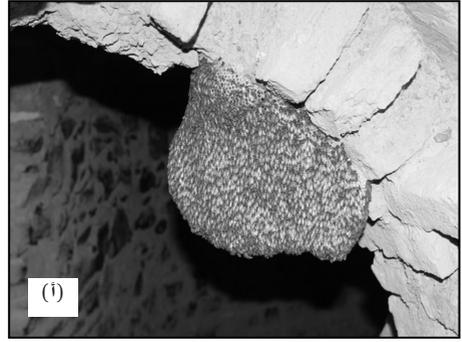


صورة للجانب الأيمن من سقف الطابق الأرضي للبرج الغربي، ويظهر فيه القبة الضحلة المكونة للسقف من الأجر، وأحد النوافذ الضيقة، واصابة السقف بتلف بيولوجي من أعشاش النحل البري.

اللوحه رقم (18): (أ، ب) : تفاصيل القبة الضحلة المكونة لسقف البرج الغربي، وما بها من تلف بيولوجي من أعشاش النحل البري، وتشوه وتآكل بسطح السقف.



طبقات متماسكة من مخالفات أعشاش النحل البري على سقف الدور الأرضي بالبرج الغربي للقلعة

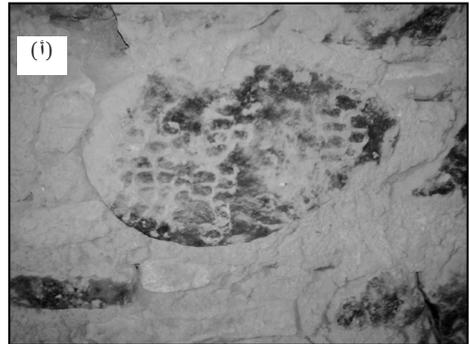


أحد تجمعات للنحل البري في عش عند مدخل الدور الأرضي بالبرج الشمالي للقلعة

اللوحة رقم (١٩): أحد أعشاش النحل البري والتلف الذي يخلفه على الأسطح الداخلية لغرف القلعة

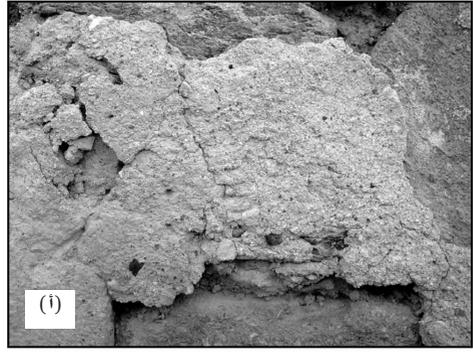
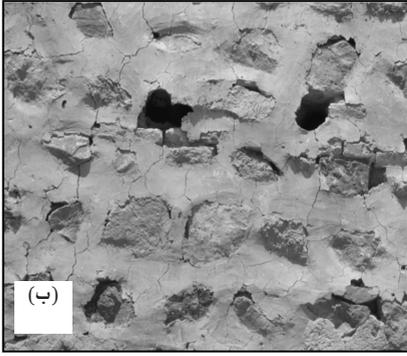


صورة أخرى مقرية للطلقات المتكلسة من مخلفات أعشاش النحل البري والسناج على السطح الداخلي للقبلة الضحلة



طبقات متكلسة من الطين والمخلفات والسناج على السطح الداخلي للقبلة الضحلة بالدور الأرضي للبرج الغربي من القلعة

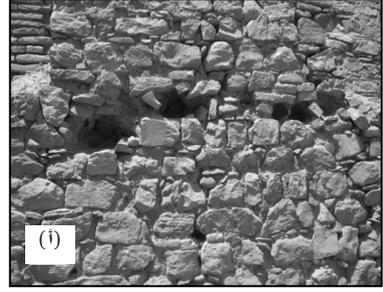
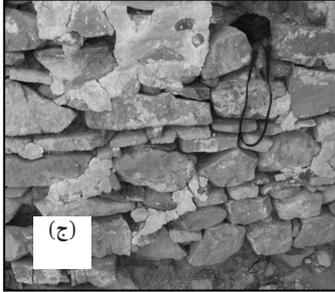
اللوحة رقم ٢٠ (أ، ب): تفاصيل التلف الحادث بالأسطح الداخلية في مبنى القلعة نتيجة لأعشاش النحل البري ومخلفاته.



تشقق طبقات الملاط الجيري على السطح الخارجي للجدران الحجرية بأحد الواجهات الخارجية للقلعة.

ظهور بقايا الرماد في تركيب المونة الجيرية لطبقات البياض بسطح الجدران، كما يظهر تفككها وتحللها.

اللوحة رقم ٢١ (أ، ب): ظهور بقايا الرماد في تركيب المونة الجيرية لطبقات البياض بسطح الجدران، كما يظهر تفككها وتحللها.

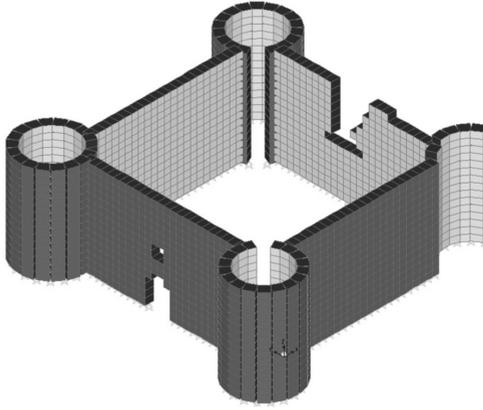


تساقط المونة الرابطة بين الكتل الحجرية، وتساقط طبقة الملاط، ويظهر تنوع نوع وأحجام الكتل الحجرية المستخدمة في البناء.

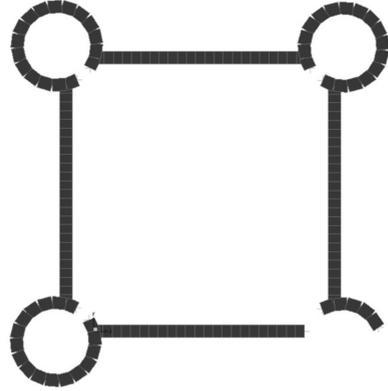
تساقط المونة الرابطة بين الكتل الحجرية، وضعف إلى جانب حدوث كسر لبعض الكتل الحجرية وتآكل سطحها.

حدوث تآكل في سطح الأحجار نتيجة لعوامل التجوية الطبيعية وتساقط طبقة الملاط وتساقط الأسقف.

اللوحة رقم ٢٢ (أ، ب، ج): تساقط طبقة الملاط وتآكل سطح الأحجار بالواجهات الداخلية والخارجية للمبنى وتساقط المونة الرابطة للأحجار.

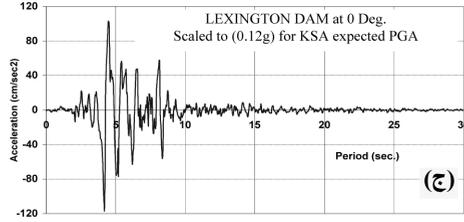
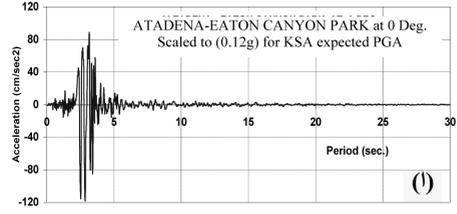
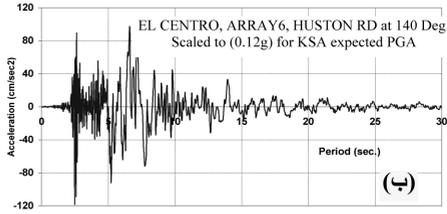


(ب) الشكل إيزومتري (ثلاثي الأبعاد)
للنموذج الرقمي



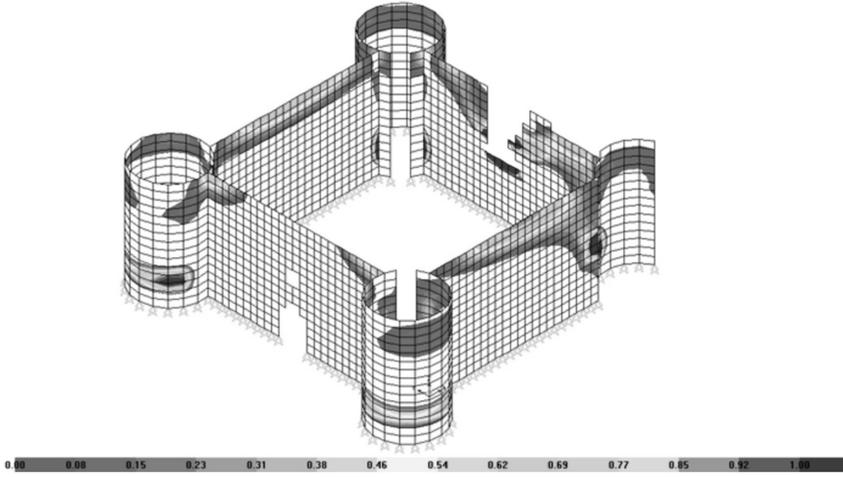
(أ) مسقط أفقي للنموذج
الرقمي للقلعة

اللوحة رقم (١٢): (أ، ب) : المسقط الأفقي والمنظور الإيزومتري (ثلاثي الأبعاد)
للنموذج الرقمي الممثل لمبنى القلعة.

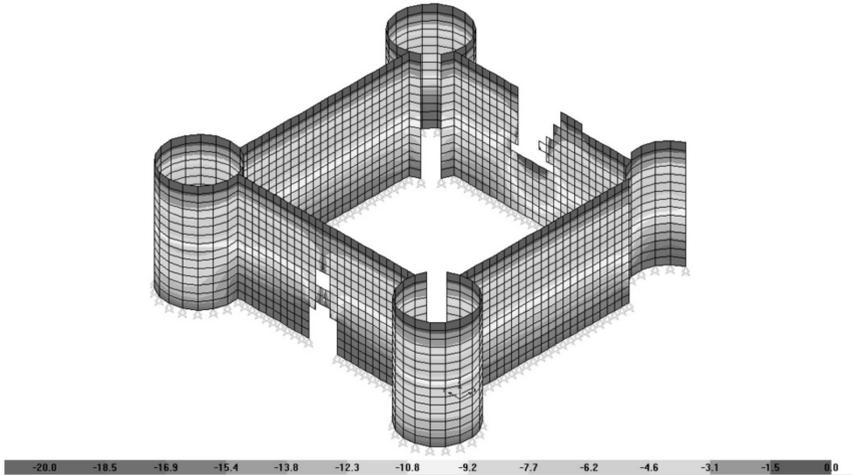


الشكل رقم ١٣ (أ، ب، ج): قراءات لثلاثة زلازل مختلفة بعد
معادلة القيم إلى عجلة مكافئة .

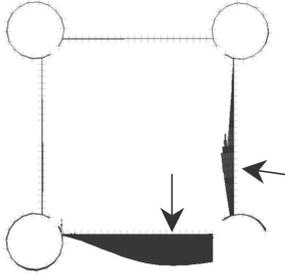
(PGA= 0.12g) (Amin, 2004: Appendix-6) =



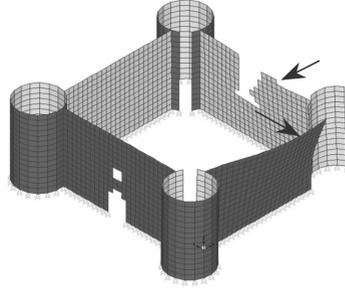
الشكل رقم (١٤): توزيع اجهادات الشد الأفقية في الجدران نتيجة الأحمال الإستاتيكية (الدائمة) - تتراوح بين ٠ إلى ١ طن/م^٢.



الشكل رقم (١٥): توزيع اجهادات الضغط الرأسية في الجدران نتيجة الأحمال الإستاتيكية (الدائمة) - تتراوح بين ٠ إلى ٢ كجم/سم^٢.



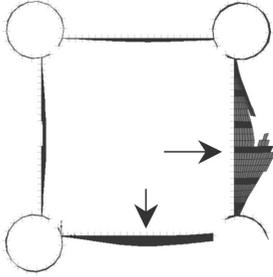
(ب) مسقط أفقي لنمط التشكيل الأول



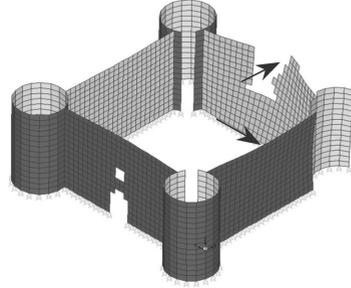
(أ) شكل فراغي لنمط التشكيل الأول

الشكل رقم ١٦ (أ، ب): يوضحان أول نمط للتشكل:

- Modal shape #1: $T=0.199$ sec) Bending Mode Y-direction)



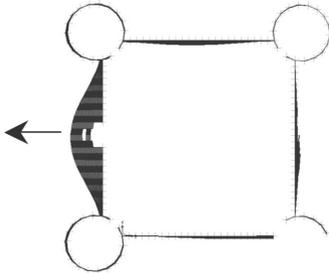
(ب) مسقط أفقي لنمط التشكيل الثاني



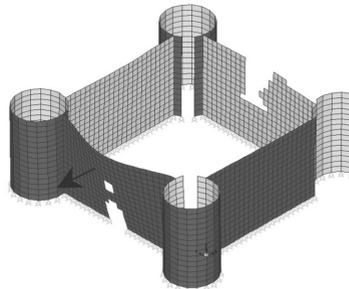
(أ) شكل فراغي لنمط التشكيل الثاني

الشكل رقم ١٧ (أ، ب): يوضحان ثاني نمط للتشكل:

- Modal shape #2: $T=0.146$ sec) Bending Mode X-direction)



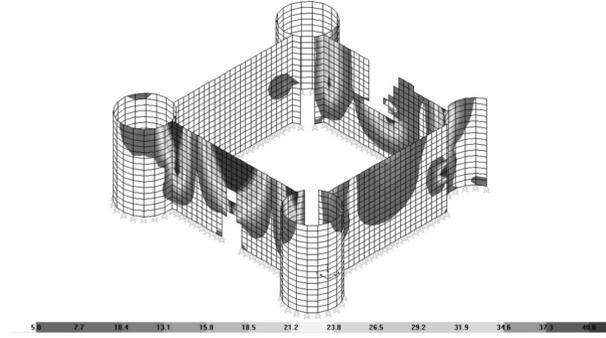
(ب) مسقط أفقي لنمط التشكيل الثالث



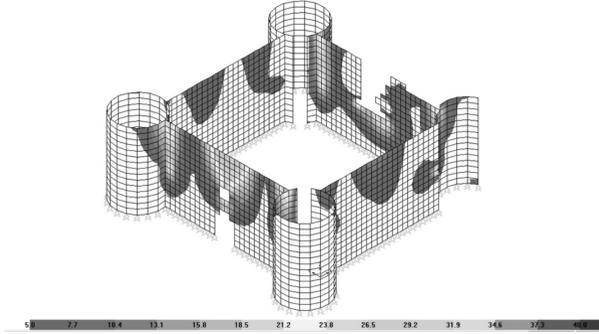
(أ) شكل فراغي لنمط التشكيل الثالث

الشكل رقم ١٨ (أ، ب): يوضحان ثلاثي نمط للتشكل:

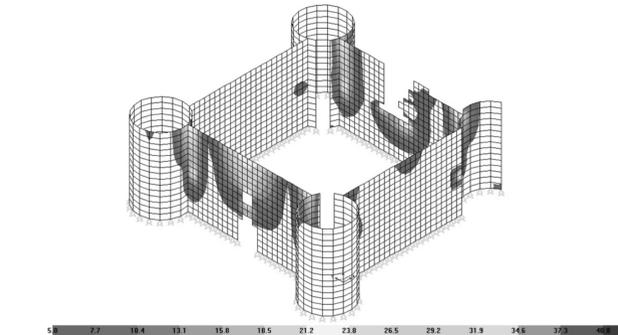
- Modal shape #3: $T=0.141$ sec) Bending Mode Neg. X-dir)



الشكل رقم (١٩): توزيع اجهادات الشد الأفقية في الجدران نتيجة لأحمال الزلازل (ATADENA) - تتراوح بين +٠,٥ إلى +٤ كجم/سم^٢.



الشكل رقم (٢٠): توزيع اجهادات الشد الأفقية في الجدران نتيجة لأحمال الزلازل (EL CENTRO) - تتراوح بين +٠,٥ إلى +٤ كجم/سم^٢.



الشكل رقم (٢١): توزيع اجهادات الشد الأفقية في الجدران نتيجة لأحمال الزلازل (LEXINGTON) - تتراوح بين +٠,٥ إلى +٤ كجم/سم^٢.