تأثير التغير المناخي والصراع والحفاظ على التراث في قلعة القاهرة

AHRC IAA_Climate change, conflict, and heritage preservation in Al-Qahira Citadel

عندما يتحوّل التراث الثقافي إلى خطِّ الدفاع الأخير في مواجهة التغيرات المناخية والصراعات المستمرة، تصبح الحاجة إلى بحوثٍ تطبيقية متعدِّدة التخصصات أشدَّ إلحاحًا من أيّ وقتٍ مضى. ومن هنا وُلد هذا المشروع البحثي، المدعوم من مجلس أبحاث الفنون والعلوم الإنسانية (AHRC) وبرنامج تسريع الأثر البحثي (IAA) في جامعة غرب إنجلترا (UWE)، بالتعاون مع منظمة تراث لأجل السلام والهيئة العامة للآثار والمتاحف- فرع تعز، ليقدّم نموذجًا يجمع بين تمكين الأجيال الشابة وحماية مواقع التراث المهدَّدة مثل قلعة «القاهرة» في تعز.

ينطلق المشروع من مقاربة متعددة التخصصات تضع التراث الثقافي في صميم التفاعل بين التحولات المناخية المتسارعة والسياقات الصراعية الممتدة. وفي الحالة اليمنية، لم يعد الخطر الذي يواجه المواقع التراثية مقتصرًا على الدمار المباشر الناجم عن الحرب، بل تفاقم بفعل عوامل مناخية متزايدة، من بينها فقدان رطوبة التربة، و قله الامطار الجويه ، وارتفاع درجات الحرارة، ونمو الغطاء النباتي غير المنضبط " العشوائي"؛ وهي كلها عوامل تسهم في تسريع تدهور النسيج المعماري للمواقع التاريخية وتقليل استدامتها على المدى الطويل.

لذالك، صيغ هذا المشروع بوصفه ليس مجرد دراسة أكاديمية تقليدية، بل برنامجًا تعليميًا تطبيقيًا لبناء القدرات، يدمج بين إنتاج المعرفة العلمية وتوظيفها عمليًا في مجال الحفاظ على التراث الثقافي. وقد استندت فلسفة المشروع إلى تمكين طلاب السنة الأخيرة في قسم الهندسة المعمارية من امتلاك الأدوات التحليلية والمنهجيات العلمية اللازمة لفهم مخاطر تغيّر المناخ، واستباق آثاره، وتطوير استراتيجيات استجابة قائمة على البيانات والمعرفة الميدانية.

نُفِّذ المشروع بواسطة فريق دولي ومحلي متعدد التخصصات. وقد تولّت وحدة اتصالات العلوم في جامعة غرب إنجلترا (UWE)، بقيادة البروفيسورة ليزا موا، الإشراف الأكاديمي ودعم الاتصال العلمي، بما يضمن وضوح السرد البحثي وقابليته للوصول إلى الأوساط الأكاديمية وغير الأكاديمية على حد سواء. وتم ذلك بالشراكة مع منظمة التراث من أجل السلام (Heritage for Peace)، برئاسة الدكتور إسبر صابرين، التي أسهمت بخبرتها في حماية التراث في سياقات النزاع، وفي صياغة الإطار المنهجي والأخلاقي للمشروع. وقد قدّمت المهندسة المعمارية مريم عبد اللطيف دعمًا تقنيًا وبحثيًا، خصوصًا في مجالات التوثيق الرقمي، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والتحليل المعماري، والكتابة الأكاديمية.

وعلى المستوى المحلي، تولّت الهيئة العامة للآثار والمتاحف – فرع تعز مسؤولية التنسيق الميداني والتنفيذ العملي، ممثلة بالأستاذ رمزي عبدالله الدميني والمهندس المعماري بلال شائف المكش وقد عملا على ضمان مواءمة الأنشطة البحثية مع أولويات إدارة الموقع، ومتطلبات الحفاظ المؤسسي، والسياق المحلي لقلعة القاهرة (Al-Qahira Castle)، في حين تولّى م. بلال تدريب الطلاب على التوثيق الرقمي والتقنيات غير المتلفة.

وفي إطار هذا البناء المؤسسي، جرى اختيار سبعة من المهنيين الشباب ، للمشاركة كباحثين زملاء ممولين ضمن المشروع. وقد ضمّت هذه المجموعة: محمد، وأسامة، وضياء، وحنان، وهبة، وأنس، وعلي، الذين عملوا بإشراف الهيئة العامة للآثار والمتاحف بتعز في أعمال التوثيق الميداني، وجمع البيانات، والتحليلين البيئي والإنشائي، بأشراف المهندسه مريم عبداللطيف على إعداد وصياغة الدراسات العلمية التي يضمها هذا الكتاب.

ومن خلال هذا التكامل بين التمويل الموجّه نحو الأثر، والتعليم التطبيقي، والبحث متعدد التخصصات، يقدّم المشروع نموذجًا عمليًا لكيفية توظيف البحث العلمي في تعزيز قدرة التراث الثقافي على الصمود في سياقات النزاع وتغيّر المناخ. وتمثّل الدراسات الواردة في هذا الكتاب مخرجًا علميًا وتعليميًا في آنٍ واحد؛ إذ تعكس مسارًا معرفيًا تشاركيًا، وتسهم في تطوير ممارسات مستدامة لحماية التراث في اليمن وفي مناطق نزاع أخرى مشابهة.

الإطار البحثي والمنهجي للمشروع

اعتمد المشروع إطارًا بحثيًا تطبيقيًا يجمع بين التحليل العلمي والعمل الميداني، مستندًا إلى منهجيات متعددة التخصصات تدمج علوم المناخ، والهندسة المعمارية، والحفاظ على التراث الثقافي، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). وقد استُخدمت قلعة القاهرة في مدينة تعز الموقع الميداني لتطبيق هذه المنهجيات، بوصفها موقعًا تراثيًا يتأثر في الوقت ذاته بآثار النزاع المسلح والتغيرات البيئية المتسارعة.

وتركّز العمل البحثي على الانتقال من الوصف العام للمخاطر إلى التحليل القائم على البيانات، بما يتيح فهم آليات التدهور، وتحديد مناطق الهشاشة، وربط هذه المناطق بالعوامل المناخية والإنشائية والبيئية. وقد أتاح هذا النهج تطوير معرفة تطبيقية يمكن استخدامها مباشرة في سياسات الحفاظ، وخطط الإدارة، واستراتيجيات التكيّف مع تغيّر المناخ.

المشاريع البحثية والدراسات العلمية

يقدّم هذا الكتاب حصيلة خمسة مشاريع بحثية متكاملة أُنجزت على يد الباحثين الزملاء خلال الفترة من مارس 2025 إلى يناير 2026، جرى تطويرها وصياغتها في شكل دراسات علمية موثّقة. وقد تناولت هذه المشاريع أبعادًا مختلفة لأثر تغيّر المناخ على التراث الثقافي ضمن إطار مكاني وزماني محدد، مع تركيز خاص على قلعة القاهرة، وتشمل:

المشروع الأول: توثيق التراث المادي وغير المادي المهدَّد، مع تحليل أثر تغيّر المناخ على المنشآت المائية المرتبطة بالقلعة، بوصفها عناصر حيوية في النظام التاريخي للموقع.

- المشروع الثاني: تحليل تصويري (Photogrammetric) لتوزيع الأضرار المعمارية وتحديد مناطق الخطر المرتبطة بتسارع تدهور الأحجار في البرج الشمالي الشرقي.
- المشروع الثالث: دراسة أثر تغيّر المناخ على الاستقرار الإنشائي للبرج الغربي من خلال الربط بين الخصائص الفيزيائية للمواد والعوامل البيئية المحيطة.
- المشروع الرابع: تحليل التغيرات في الغطاء النباتي وتأثيرها المباشر وغير المباشر على السلامة المعمارية والإنشائية للقلعة.
- المشروع الخامس: تعزيز الوعي المجتمعي بآثار تغيّر المناخ على التراث الثقافي في مدينة تعز، بوصفه عنصرًا أساسيًا في استدامة جهود الحماية والحفاظ.

أُنجزت هذه الدراسات ضمن مسار بحثي تراكمي شمل العمل الميداني، وتحليل الأضرار وتوثيقها، ثم الصياغة العلمية، بما يعكس تطورًا منهجيًا ومعرفيًا لدى الطلاب الباحثين المموَّلين.

برامج التدريب وبناء القدرات

شكّل بناء القدرات المهنية والعلمية محورًا رئيسًا في تصميم المشروع، من خلال تنفيذ برنامج تدريبي متكامل استهدف تمكين الباحثين الشباب من أدوات البحث التطبيقي الحديثة، وربط المعرفة النظرية بالممارسة الميدانية. وقد شملت البرامج التدريبية ما يلي:

أولًا: نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل المكاني

- دورة تدريبية في KoboToolbox وQGIS، قدّمتها منظمة ASOR، ركّزت على جمع البيانات الميدانية وتحليلها مكانيًا.
- دورة متقدمة في QGIS، قدّمتها المهندسة المعمارية مريم عبد اللطيف، تناولت التحليل المكاني المتقدم وإنتاج الخرائط الموضوعية المرتبطة بالمخاطر المناخية.

ثانيًا: التوثيق الرقمي والتقنيات غير المتلفة

- تدريب عملي على التصوير المساحي (Photogrammetry) واستخدام الطائرات المسيّرة (Drones) لتوثيق الأضرار المعمارية وتحليل التغيرات الزمنية.
- تطبيق عملي على أجهزة Proceq Bambino وProtimeter لقياس صلابة المواد ومستويات الرطوبة، وربط النتائج بالتحليلين الإنشائي والبيئي.

ثالثًا: الرفع المعماري وإدارة المواقع

- تدريب متخصص من قِبل الهيئة العامة للآثار والمتاحف على إعداد التقارير اليومية لأعمال الموقع، بما يعزز مهارات التوثيق الإداري والفني.
- دورة في الرفع المعماري للمواقع التراثية، مع تطبيقات ميدانية داخل قلعة القاهرة.

لا يقتصر هذا الكتاب على عرض نتائج بحثية، بل يقدّم توثيقًا لمسار تعليمي وبحثي متكامل يربط بين المعرفة العلمية، وبناء القدرات المحلية، والتطبيق العملي في موقع تراثي متأثر بالنزاع وتغيّر المناخ. وتمثّل الدراسات الواردة فيه نموذجًا لكيفية تحويل التمويل البحثي الموجَّه نحو الأثر إلى أدوات فعّالة لتعزيز استدامة التراث الثقافي، ودعم الأجيال الجديدة من المهنيين في هذا القطاع.

المشروع 1.

توثيق التراث المادي واللامادي المهدد وأثر التغير المناخي على المنشاة المائية : قلعة القاهرة ،تعز.

ملخص البحث

تتناول هذه الدراسة توثيق منظومة المياه في قلعة القاهرة بمدينة تعز بوصفها مكوّنًا أساسيًا من الموروث المعماري والأثري للمدينة، ونموذجًا متقدمًا للهندسة المائية التقليدية في المرتفعات اليمنية. وتهدف الدراسة إلى توثيق عناصر هذه المنظومة وتحليل خصائصها المعمارية والإنشائية، وبيان آليات عملها، وتقييم حالتها الراهنة في ضوء التحولات البيئية والعمرانية والمناخية.

اعتمدت الدراسة منهجية تكاملية جمعت بين التوثيق الميداني والرفع المعماري الدقيق لمكونات النظام المائي داخل القلعة ومحيطها، بما يشمل السواقي والبرك وخزانات المياه ومسارات نقلها، إلى جانب تحليل مواد وتقنيات البناء التقليدية، ولا سيما مادة القضاض، ودورها في حماية المنشآت المائية واستدامتها. كما شملت المنهجية إجراء مقابلات مع مصادر محلية ومختصين في الآثار، ومراجعة المصادر التاريخية والدراسات السابقة ذات الصلة بتاريخ القلعة ومنظومتها المائية.

ركز التحليل على تتبع التطور التاريخي للمنظومة، ودراسة علاقتها بالبنية العمرانية للقلعة، وتقييم حالتها الإنشائية والوظيفية، ورصد مظاهر التدهور والاندثار الناتجة عن الإهمال وتوقف الصيانة والتدخلات العمرانية الحديثة، إضافة إلى تحليل تراجع التراث اللامادي المرتبط بالممارسات التقليدية للمنظومة المياه.

وتُظهر نتائج الدراسة أن منظومة المياه في قلعة القاهرة تمثل نظامًا معماريًا متكاملًا يعكس معرفة هندسية محلية متقدمة قائمة على استغلال التضاريس والمواد المحلية، وتؤكد الأهمية المحورية لمادة القضاض في العمارة اليمنية. وتخلص الدراسة إلى ضرورة اعتماد مقاربة أثرية معمارية للحفاظ على هذه المنظومة، تقوم على التوثيق العلمي، والترميم المتخصص، وإعادة إحياء التقنيات التقليدية، بما يضمن صون قيمتها التراثية واستدامتها في السياق المعاصر.

المشكلة البحثية :

تتمثل المشكلة الأساسية في تدهور المنظومة المائية التاريخية لقلعة القاهرة نتيجة عوامل طبيعية وبشرية؛ حيث أدى التغير المناخي وشح الأمطار إلى جفاف القنوات وتلف مادة "القضاض" العازلة، بالتوازي مع زحف عمراني عشوائي طمس معالم السواقي التاريخية. وقد تعمقت هذه الأزمة بفعل الدمار المادي الذي خلفته الحروب، مما أدى إلى تفكك الترابط الهيدروليكي والوظيفي للمنظومة وفقدان كفاءتها في تخزين وإدارة المياه. من جانب آخر، تعاني المنظومة من اندثار التراث اللامادي المرتبط بها، حيث تلاشت المعارف المحلية والمهارات الحرفية اللازمة للصيانة والإدارة التقليدية نتيجة التحولات الاجتماعية والصراعات. ويؤدي هذا الانقطاع المعرفي بين الأجيال إلى فقدان الذاكرة الجماعية حول كيفية تشغيل هذا النظام التراثي، مما يضع البحث أمام تحدي وضع استراتيجية علمية شاملة لإعادة إحياء وصون هذا الإرث المادي والثقافي في ظل الظروف الراهنة.

1. المقدمة :

تعد قلعة القاهرة في مدينة تعز واحدة من أبرز الشواهد التاريخية والمعمارية في اليمن، إذ تجمع بين البعد الدفاعي والوظيفي والجمالي، وقد شكّلت المياه عبر العصور عنصرًا حاسمًا في استدامة الحياة داخلها. ولم يكن هذا البعد المائي مجرد حاجة يومية، بل مثّل أساسًا استراتيجيًا في تصميم القلعة وتخطيطها العمراني، الأمر الذي دفع الحضارات اليمنية، ولا سيما في العهدين الأيوبي والرسولي، إلى تطوير حلول هندسية متقدمة لنقل المياه من جبل صبر إلى داخل القلعة عبر منظومة متكاملة من السواقي والبرك والصهاريج.

وقد تميزت هذه المنظومة بقدرتها العالية على التكيف مع التضاريس الجبلية الوعرة، من خلال استخدام أنابيب فخارية مخروطية الشكل مدفونة في الصخور انظر الى الشكل (9)، وتصميم البرك والصهاريج بميول دقيقة تضمن التدفق الطبيعي للمياه وتنقيتها من الشوائب. كما أُنشئ نظام تصريف ذكي يحمي الأساسات من الرطوبة ويعيد توظيف المياه المصرفة في ري المدرجات الزراعية في القلعة ومحيطها ، بما يعكس رؤية شاملة لإدارة الموارد المائية ضمن إطار بيئي واقتصادي مستدام. وأسهمت مادة القضاض، بخصائصها العازلة والمقاومة للعوامل المناخية، في تعزيز استدامة هذه المنشآت المائية والمعمارية عبر قرون طويلة، لتغدو عنصرًا أساسياً في التراث الهندسي اليمني.

إلى جانب البعد المادي، ارتبطت هذه المنظومة بتراث لامادي غني شكّل الإطار المعرفي والاجتماعي لإدارتها واستمرارها، تمثل في المعارف المحلية المتوارثة المتعلقة بتنظيم توزيع المياه، وصيانة السواقي والصهاريج، وعمليه تحضير مادة القضاض، إضافة إلى الأعراف الاجتماعية التي نظمت حماية مصادر المياه وضمنت عدالة الانتفاع بها.

غير أن هذه المنظومة المائية، بوصفها نموذجًا مبكرًا للهندسة المستدامة، تواجه اليوم تحديات متزايدة بفعل التغيرات المناخية الحديثة، ولا سيما موجات الجفاف المتكررة التي أدت إلى تراجع منسوب المياه وانخفاض وفرتها، فضلًا عن تلاشي التراث اللامادي نتيجة انقطاع نقل المعرفة بين الأجيال، وتراجع دور الحرفيين التقليديين، وتأثير الصراعات والتحولات الاجتماعية، وغياب التوثيق المنهجي لهذه الخبرات. وتؤكد هذه التحديات أهمية هذا البحث، الذي يسعى إلى توثيق وتحليل المنظومة المائية في قلعة القاهرة بشقيها المادي واللامادي، وربطها بالتغيرات البيئية المعاصرة، بهدف إبراز قيمتها التاريخية والهندسية، واستلهام حلول مستدامة يمكن أن تسهم في مواجهة أزمة المياه والتغيرات المناخية في الحاضر والمستقبل.

2. منهجية البحث

تعتمد هذه الدراسة على منهجية توثيق و تحليل المنظومة المائية في قلعة القاهرة، بوصفها أحد العناصر الأساسية للبنية الدفاعية والعمرانية للقلعة، وما شهدته من تدهور مادي وتراجع في التراث اللامادي المرتبط بها. وقد تم تناول عناصر المنظومة المائية داخل القلعة ومحيطها كحالة دراسية، نظرًا لأهميتها التاريخية ودورها الحيوي في استدامة الموقع عبر العصور.
وانطلاقًا من ذلك، ترتكز الدراسة على التوثيق والتحليل الميداني لعناصر المنظومة المائية: يشمل السواقي والصهاريج وشبكات نقل وتخزين المياه، مدعومًا بأعمال التوثيق البصري والوصفي، إلى جانب التحليل التاريخي للمصادر القديمة والدراسات السابقة، بهدف فهم تطور هذه المنظومة وآليات عملها. كما تم تحليل الحالة الإنشائية والوظيفية الراهنة لهذه العناصر، مع رصد مظاهر التدهور وأسبابها، سواء الناتجة عن الإهمال أو العوامل البيئية والمناخية.
وفي الإطار ذاته، تناولت الدراسة توثيق الممارسات التقليدية والمعارف التقنية المرتبطة بالمنظومة المائية، وتحليل مظاهر تراجع التراث اللامادي المرتبط بها. كما تم دراسة تأثير التغيرات المناخية على كفاءة واستدامة المنظومة المائية التاريخية، وانعكاساتها على مكوناتها المادية واللامادية، وذلك بهدف الوصول إلى تقييم شامل يدعم وضع نتائج وتوصيات تسهم في الحفاظ على هذا التراث ضمن إطار الحفظ المستدام.
التوثيق والتحليل :

3. أولا: توثيق وتحليل عناصر المنظومة المائية التاريخية في قلعة القاهرة ومحيطها.

تم إجراء مسوحات ميدانية شاملة لجميع عناصر المنظومة المائية داخل قلعة القاهرة ومحيطها، شملت السواقي، والبرك، وقنوات نقل المياه، بالإضافة إلى منبع المياه(عين الدمعه) الشكل (1) الواقعة على مقربة من القلعة في المنحدرات المحيطة. وقد تم تحديد الموقع لكل عنصر في المنظومة المائية ، مع توثيق حالته الراهنة، إضافة إلى تحديد العلاقات المكانية بين المكونات المختلفة للمنظومة.

الشكل (1) الصورة توضح نبع الماء في جبل صبر

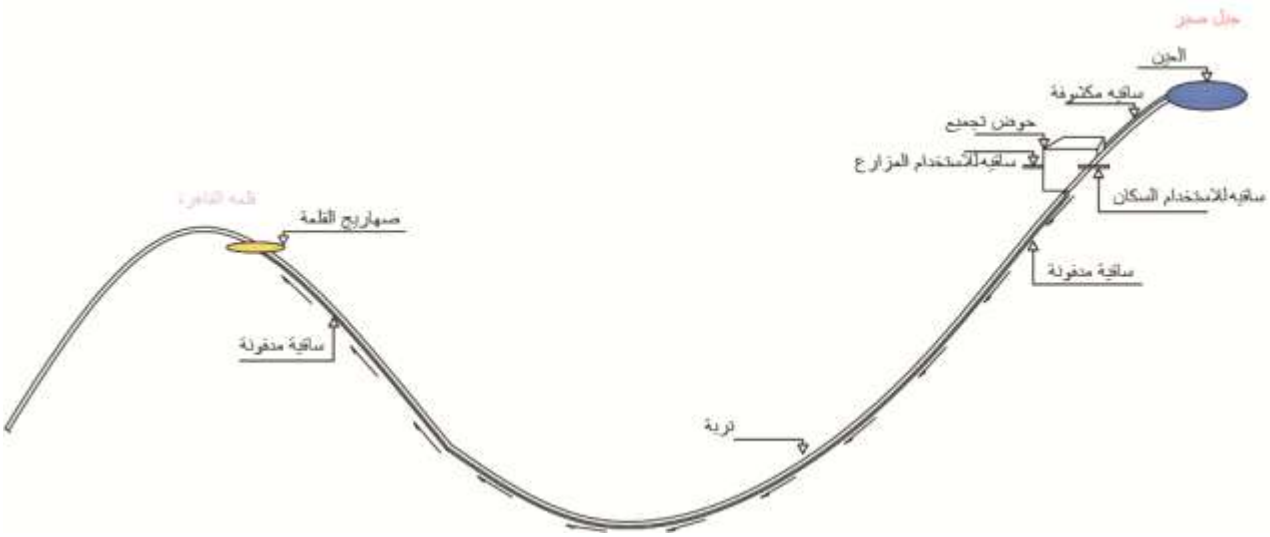
الشكل (2) الصورة توضح حوض التجميع في جبل الصبر بالقرب من العين في جبل جبل الصبر المتصل به بواسطة ساقية مفتوحة

الشكل (3) يوضح باقيا السواقي في الجبل صبر

الشكل (4) توضح الصورة بقايا للسواقي في جبل الصبر المسؤلة عن نقل المياه للسكان في المناطق المجاورة للقلعة.

كما اعتمد النظام المائي التقليدي المرتبط بقلعة القاهرة على تسلسل هيدروليكي مدروس يبدأ من عيون المياه في سفوح جبل صبر، حيث تتدفق المياه عبر سواقي مكشوفة صُممت بانحدارات طبيعية محسوبة تتيح نقل المياه دون إعاقة من العين إلى نقطة تجميع رئيسية تتمثل في حوض تجميع أُنشئ بعناية انضر الى الشكل (2) والشكل (5)في منسوب أعلى من منسوب قلعة القاهرة. ويؤدي هذا الموقع المرتفع دورًا محوريًا في المنظومة، إذ يعمل كخزان وسيط لتنظيم التدفق وضمان استمرار الإمداد المائي , ومن هذا الحوض تنطلق شبكات من السواقي منها الأنابيب الفخارية المخروطية الشكل، الموصولة بطريقة معا بعضها «الذكر والأنثى» انضر الى الشكل (9)، حيث يتم تثبيتها ودفنها داخل الكتل الصخرية والتربة الجبلية بطريقة محكمة وتكسيتها بمادة القضاض، بما يوفر لها الحماية من(انظر الى الشكل5).

الضغوط الميكانيكية الناتجة عن الصخور والأحجار، ويحدّ من عوامل التلف والعوامل المناخية , وقد نُفذت هذه الأنابيب وفق ميول دقيقة ومدروسة تضمن انسيابية الجريان ومنع ارتداد المياه أو ركودها , ويعتمد انتقال المياه من حوض التجميع إلى الصهاريج في قلعة القاهرة اعتمادًا كليًا على مبدأ فرق المنسوب الهيدروليكي، حيث تؤدي الفروق الطبيعية بين المنسوب الأعلى (عين المياه وحوض التجميع) والمنسوب الأدنى (صهاريج القلعة) إلى توليد ضغط طبيعي ذاتي يدفع المياه تلقائيًا دون الحاجة إلى أي وسائل دفع صناعية , ويعكس هذا النظام تكاملًا واضحًا بين المعرفة الجغرافية والهندسة الهيدروليكية التقليدية، ويؤكد قدرة البنّائين القدماء على توظيف قوانين الجريان الطبيعي لضمان استدامة إمدادات المياه وحسن إدارتها داخل المنظومة الدفاعية والعمرانية لقلعة القاهرة.



الشكل (5) يوضح الشكل نقل الماء من العين في جبل صبر الى حوض تجميع ومن ثم توزعه الى القلعة والمناطق المحيطة

1.3شرح الاسكيتش و عناصر المنظومة المائية من عين الدمعة الى صهاريج قلعه القاهرة:

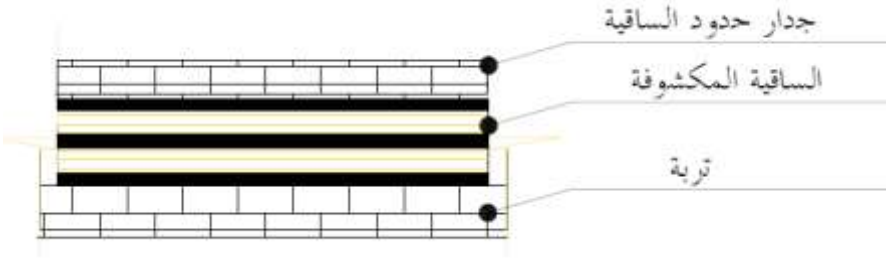
1.13الرفع المعماري للمنظومة المائية في قلعة القاهرة

تم تنفيذ رفع معماري وهندسي دقيق لجميع عناصر المنظومة المائية داخل قلعة القاهرة ومحيطها، بما يشمل السواقي، البرك، وخزانات مياه الشرب، وقنوات نقل المياه. وقد استُخدمت في ذلك القياسات اليدوية وأدوات المسح الهندسي الميداني لضمان دقة التوثيق.

1. منبع المياه (عين الماء): مصدر التغذية الرئيسي، يقع منبع الماء في منسوب مرتفع في سفح جبل صبر وهي محاطة ببناء من الأحجار لحمايتها من مخاطر التضاريس الجبلية وانزلاقات الصخور الشكل (6).

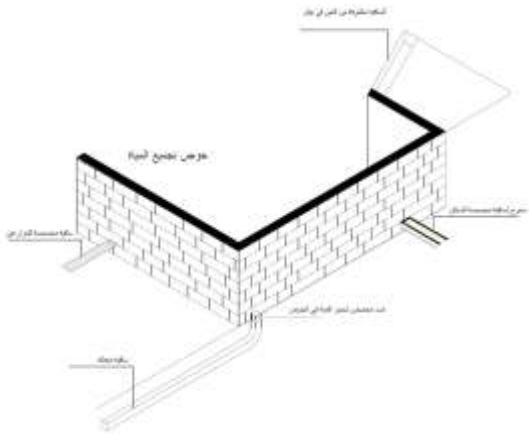
الشكل (6) يوضح منبع خروج الماء (العين)

2-<u>الساقية المكشوفة:</u> وهي تتصل بعين الماء بشكل مباشر وتعمل على نقل الماء من العين إلى حوض التجميع، وهي مشيّدة بانحدارات خفيفة تمنع الركود أو الفقد ولها حواف بارزة الى اعلا تعمل على حماية الماء من التسرب خارج القناة وقد تم بنائها من احجار المنطقة وتكسيتها بمادة القضاض لحميتها من التأثيرات الميكانيكية الناتجة عن الصخور والأحجار والحد من عوامل التلف والتأثيرات المناخية الشكل (7)



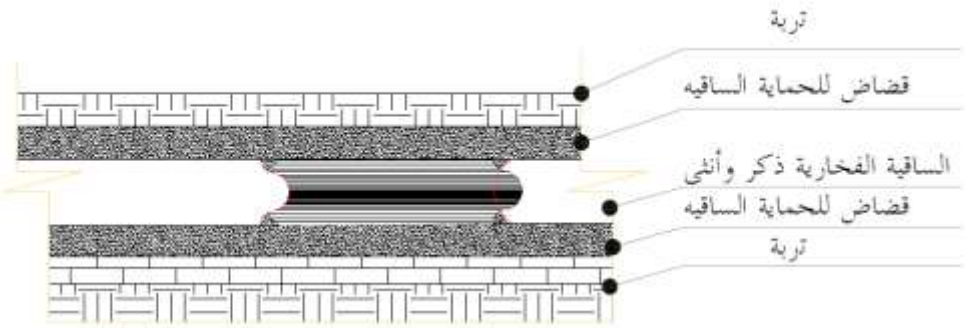
الشكل(7) يوضح بقايا السواقي في الجبل صبر بحسب البقايا المعمارية و الشكل على اليمين مخطط يوضح السواقي المكشوفة.

3- <u>حوض التجميع (الخزان الوسيط):</u> عنصر محوري في المنظومة، وقد تم تشيده من احجار المنطقة وتكسيته بمادة القضاض من الداخل والخارج ليكون قادرا على تحمل ضغط المياه وهو يقع في منسوب أدنى من عين الماء وأعلى من قلعة القاهرة ويعمل على تنظيم التدفق وترسيب الشوائب و توليد فرق منسوب هيدروليكي الشكل (8).



الشكل(8)يوضح حوض التجميع والسواقي المتفرعة منه ،و يوضح المخطط على اليمين حوض التجميع والسواقي المتفرعة منه.

4-<u>السواقي المدفونة:</u> وهي عبارة عن أنابيب فخارية (ذكر / أنثى) تم تصميمها بشكل مخروطي لضمان الإحكام ومنع الفاقد من الماء وهي مدفونة داخل الجبل ومغطاة بمادة القضاض لحمايتها من الضغط والصدمات , منسابة بميول دقيقة جدًا يضمن تدفق المياه الى القلعة الشكل (9).



الشكل(9) يوضح المخطط الساقية المدفونة وطريقه تداخلها بحسب أقوال مختصين في الهيئة العامة للأثار

5 - **خزانات مياه الشرب:** يوجد في القلعة اثنين من خزانات لمياه الشرب تم نحتها في الصخر وغطيت من اعلا وهي تستقبل جزء من المياه المتدفقة من حوض التجميع

الشكل (10): توضح الصورة خزان ماء الشرب ويمثل السهم الاصفر مدخل الماء من السواقي للتعبئة الخزن ويمثل السهم الأزرق مخرج الماء الفائض من الخزان عبر سواقي مدفونة

2.1.1.3 الخصائص المعمارية لبركه داخل قلعه القاهرة (البرك وخزانات المياه):

من الناحية المعمارية، صُممت البرك وخزانات مياه الشرب بأشكال مستطيلة أو شبه مربعة، بهدف تعظيم السعة التخزينية وتقليل فاقد التبخر، فضلًا عن تسهيل عمليات البناء والصيانة. ووفقًا لملاحظات الحرفيين التقليديين المتخصصين في أعمال البناء التراثي، فإن هذه الأشكال كانت تُفضَّل لما توفره من استقرار إنشائي وتوزيع متوازن للضغط المائي على الجدران. وقد شُيّدت بعض البرك باستخدام الأحجار المحلية المرتبطة بمونة تقليدية، في حين جرى نحت بعضها الآخر مباشرة في الصخور الطبيعية، ثم تكسيتها بطبقة من مادة القضاض.

تستقبل البرك في قلعة القاهرة المياه المتدفقة بفعل فرق المنسوب فقط (من الأعلى إلى الأدنى)، دون استخدام وسائل دفع، ليتم توزيعها على البرك عبر السواقي الداخلية وأحواض الترشيح حيث تضم القلعة أربع برك رئيسي:

1-بركة القصر:

تقع هذه البركة في أعلى ذروة داخل القلعة، بمحاذاة قصر الإمارة تم نحتها لافي الصخر، ووفقًا للمسوحات الميدانية ورفع القياسات، فإن طول هذه البركة يبلغ نحو 10 أمتار وعرضها 10 أمتار، فيما يصل عمقها إلى 5.5 أمتار، بسعة تخزينية تقدَّر بحوالي 550,000 لتر من المياه. ، وهي مشيّدة من الحجر ومبطّنة بطبقة من مادة القضاض

الشكل (11) صورة باليمين للبركة القصر في القلعة (2025) والصورة جوية توضح موقع البركة في القلعة في الناحية الاخر (2025)

2- بركة الحصن:

والتي تقع في الجهة الشمالية الغربية من حصن القلعة ويبلغ طولها 22.7 وعرضها 11.6 وبعمق 7م تتسع لما يقارب 1843240لتر تقريبا منحوتة بالصخر مبنية من الأحجار والياجور مكسية بقضاض .

الشكل (12) تظهر الصورة على اليمين صورة للبركة (بتاريخ 2011) وجهة الأخرى موقع البركة في القلعة موضح بالأزرق(2025)

3-البركة الغربية :

والتي تقع في الجزء السفلي لقلعه القلعة القاهرة وتحديدا الى الجهة الغربية منها ويبلغ طولها 41.3م وعرضها 9.5م ومتوسط عمقها 2.5م و تتسع ل 980875لتر تقريبا مبنية بحجر مكسية بقضاض .

الشكل (13) توضح الصورة من اليمن البركة عن قرب وجهة الاخر موقع البركة من القلعة الموضح بالأزرق (الصورة بتاريخ 2025)

4-البركة الشرقية للقلعة

والتي تقع شرق القلعة تبلغ طولها 14.6م وعرضها 5.3 وعمق 5.3 م تتسع تقريبا ل 518446 لتر تقريبا مبنية بحجر مكسي بقضاض

الشكل (14) توضح الصورة من اليمن البركة عن قرب وجهة الاخر موقع البركة من القلعة الموضح بالأزرق (الصور بتاريخ 2025)

3.1.1.3 التوثيق الفوتوغرافي للمنظومة المائية في قلعة القاهرة ومحيطها :

تم تنفيذ برنامج توثيق فوتوغرافي منهجي لكافة عناصر المنظومة المائية التقليدية داخل قلعة القاهرة ومحيطها المباشر، شمل البرك، والصهاريج، والسواقي، وقنوات نقل المياه، وأحواض الترشيح، إضافة إلى مسارات الجريان الظاهرة والمندثرة. واعتمد التوثيق على التصوير الرقمي عالي الدقة (الدرون)، مع توثيق العناصر من زوايا متعددة لإبراز الخصائص الإنشائية، وتفاصيل مواد البناء، ولا سيما طبقات القضاض، وأنماط رصف الأحجار. كما ركّز التوثيق الفوتوغرافي على تسجيل مظاهر التدهور المختلفة، مثل التشققات، والانفصالات، والتآكل السطحي، وآثار الرطوبة والأملاح، إضافة إلى توثيق التدخلات البشرية الحديثة التي أثرت على مسارات السواقي أو طمست أجزاء منها. وساعدت المقارنات البصرية بين العناصر المتشابهة في تحديد مراحل التدهور، وربطها بالعوامل البيئية والمناخية والإنشائية.

وفيما يخص الأجزاء المفقودة أو المندثرة من المنظومة، تم الاعتماد على تصوير بقايا الأساسات، وآثار القنوات المدفونة، والاختلافات في لون التربة أو انتظامها، والتي تشير إلى وجود مسارات مائية قديمة. كما تم توثيق المواقع التي أشار إليها كبار السن من المجتمع المحلي بوصفها أجزاءً من السواقي أو نقاط توزيع المياه، مما أسهم في إعادة بناء الصورة المكانية للمنظومة المائية تاريخيًا.

الشكل (15) تظهر الصورة السواقي في القلعة بحالة جيدة قبل الحرب الصورة بتاريخ (2011)

الشكل (16) الصورة توضح سمك مادة القضاض المستخدمة في تكسيه السواقي الصورة بتاريخ (2025)

الشكل (17) الصورة توضح جزاء من فلاتر المياه في قلعة قبل وصولها الى البركة الصورة بتاريخ (2025)

الشكل (18) الصورة توضح تدهور ماده القضاض في سواقي القلعة بسب الحرب وضهور ماده الأحجار والياجور المستخدم في بناء السواقي الصورة بتاريخ (2025)

الشكل (19) الصورة توضح تدهور ماده القضاض في سواقي القلعة بسب الحرب وضهور ماده الأحجار والياجور المستخدم في بناء السواقي الصورة بتاريخ (2025)

الشكل (20) توضح الصورة تدهور المواد وانهيار أجزاء من جدار البركة بسب تغير المناخ (الجفاف) والنزاعات الصورة بتاريخ (2025)

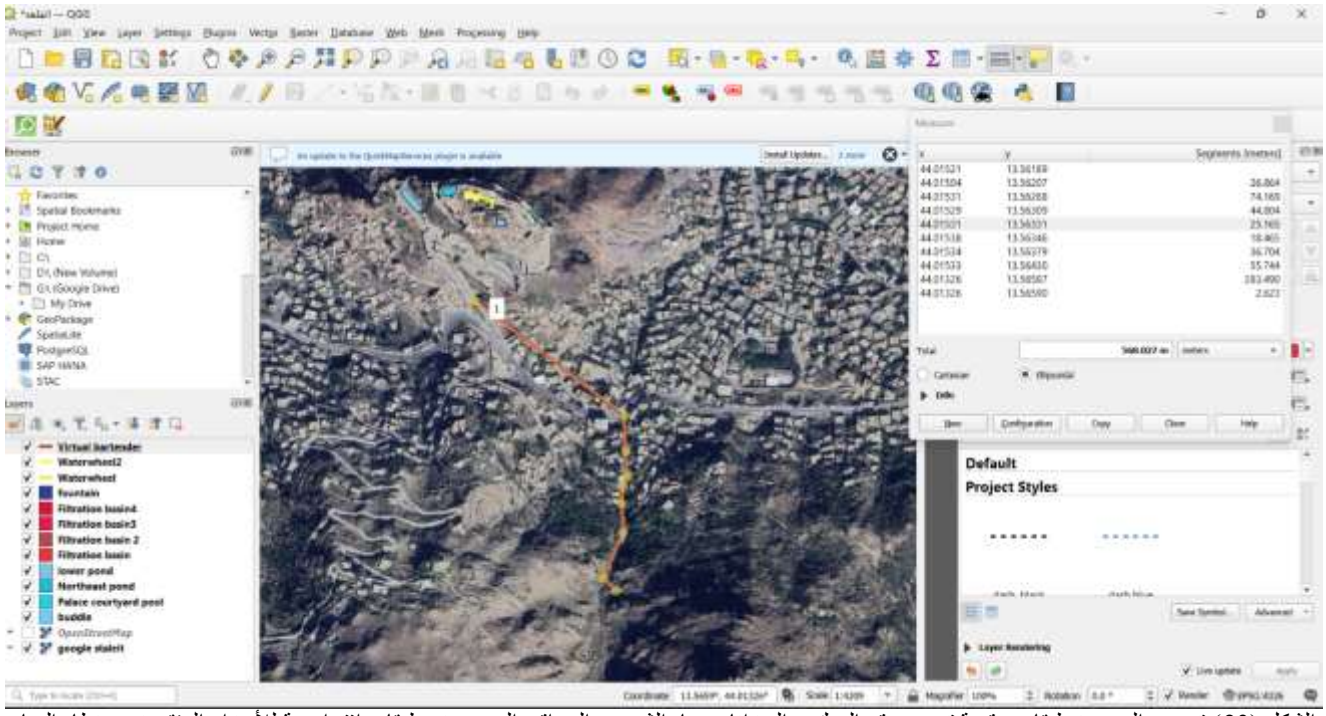
الشكل (21) توضح الصورة تدهور مواد السواقي بسب التغير المناخي (الجفاف) الصورة بتاريخ (2025)

الشكل (22) توضح الصورة ظهور الاملاح على جدران القلعة بسب انسداد لبعض تصاريف المياه في القلعة وذلك نتيجة للنزاع المسلحة الصورة بتاريخ (2025)

3.1.1.4 التوثيق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

بالتوازي مع التوثيق الفوتوغرافي، جرى اعتماد منهجية متكاملة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بهدف توثيق وتفسير العلاقة المكانية بين عناصر المنظومة المائية والتضاريس الطبيعية لقلعة القاهرة ومحيطها. وقد شملت هذه المرحلة مطابقة المواقع الموثقة ميدانيًا مع الخرائط الطبوغرافية المتاحة، وصور الأقمار الصناعية، والخرائط التاريخية، حيثما وُجدت. تم إعداد طبقات رقمية (Layers) توضح مواقع البرك وخزانات مياه الشرب والسواقي القائمة، إلى جانب طبقات أخرى افتراضية للأجزاء المندثرة، استُنتجت مواقعها اعتمادًا على الأدلة الميدانية، والروايات الشفوية، واتجاهات الانحدار الطبيعي، ومنسوب الارتفاعات. كما أُنشئت مخططات لمسارات الجريان المائي المحتملة، بما يعكس آلية استغلال فرق المناسيب الطبيعي في تغذية القلعة والمدينة القديمة.

وساعد الربط بين التوثيق الفوتوغرافي على إنتاج خرائط تحليلية تُبرز مناطق التدهور، والانقطاع في مسارات السواقي، والتداخلات العمرانية الحديثة، وهو ما أتاح فهمًا أشمل لتطور المنظومة المائية وتراجعها عبر الزمن. كما وفّرت هذه الخرائط قاعدة بيانات مكانية يمكن استخدامها لاحقًا في أعمال الترميم، وإعادة التأهيل، ووضع سيناريوهات لإحياء أجزاء من المنظومة المائية التقليدية وفق أسس علمية دقيقة.



الشكل (23) توضح الصورة طبقات رقمية تحدد موقع البرك و الخزانات مياه الشرب والسواقي الموجودة وطبقات افتراضية للأجزاء المفقودة من نظام المياه القديمة .

3.2-توثيق التراث اللامادي المرتبط بالمنظومة المائية في قلعة القاهرة

شمل توثيق التراث اللامادي المرتبط بالمنظومة المائية التقليدية في قلعة القاهرة إجراء مقابلات شبه منظمة مع المختصين الاثريين في هيئة اثار تعز ومع الحرفيين التقليديين ممن كانت لهم خبرة مباشرة أو معرفة متوارثة بأعمال إدارة المياه وصيانة منشآتها. وهدفت هذه المقابلات إلى جمع المعلومات الشفوية المتعلقة بأساليب تنظيم وتوزيع المياه داخل القلعة، وآليات التحكم في تدفقها، وأدوار الاستخدام المختلفة خلال الفترات التاريخية المتعاقبة، خاصة في أوقات الجفاف أو الحصار.

3.2.1-التقنيات المعمارية والهيدروليكية لتشييد المنظومة المائية التقليدية في قلعة القاهرة التاريخية ومحيطها :

- **توزيع البرك وعلاقتها بالمنسوب الهيدروليكي:**

تُعد البرك وخزانات المياه في قلعة القاهرة عنصرًا محوريًا في المنظومة المائية التاريخية للقلعة، إذ شُيّدت لتأمين احتياجاتها المائية خلال فترات السلم والحصار على حدّ سواء، بما يعكس وعيًا هندسيًا متقدمًا بإدارة الموارد المائية في البيئات الجبلية. ويؤكد مختصو الآثار، استنادًا إلى التحليل المعماري وتسلسل الطبقات البنائية، أن اختيار مواقع هذه البرك جاء نتيجة تخطيط واعٍ يراعي الخصائص الطبوغرافية والهيدروليكية للموقع.

- **آلية الجريان الذاتي:**

وقد جرى توزيع البرك داخل النسيج المعماري للقلعة في مستويات أدنى نسبيًا من مسار الأنابيب القادمة من أحواض التجميع، بما يسمح بتغذيتها ذاتيًا اعتمادًا على فرق المنسوب الهيدروليكي، دون الحاجة إلى وسائل رفع اصطناعية. وتشير الروايات الشفوية لكبار السن من أهالي المنطقة إلى أن هذا النظام كان يُعرف محليًا بكونه «نظامًا جاريًا بذاته»، حيث كانت المياه تصل إلى البرك بشكل مستمر طالما توفرت التغذية من المرتفعات.

- **تقنيات البناء ومواد الانشاء:**

لعبت مادة القضاض دورًا أساسيًا في منع تسرب المياه والحفاظ عليها لفترات طويلة، وهو ما يؤكده الحرفيون المحليون الذين توارثوا تقنيات إعدادها وتطبيقها عبر الأجيال. وقد لوحظ أن سماكة طبقة القضاض تختلف تبعًا لموقع البركة وطبيعة الضغط المائي الواقع عليها، الأمر الذي يعكس فهمًا دقيقًا لسلوك المياه داخل المنشآت. كما رُوعي في تنفيذ الأرضيات والجدران تحقيق ميول خفيفة تسهم في توجيه الرواسب

نحو نقاط محددة، لتسهيل عمليات التنظيف والصيانة الدورية، وهي ممارسات أشار إليها كبار السن باعتبارها جزءًا من المعرفة العملية المتداولة المرتبطة بإدارة المياه.

- **<u>الوظيفة الدفاعية والاجتماعية للمنظومة المائية:</u>**

لم تقتصر أهمية هذه البرك وخزنات مياه الشرب على تخزين المياه فحسب، بل شكّلت عنصرًا استراتيجيًا في المنظومة الدفاعية للقلعة، إذ مكّنتها من الصمود خلال فترات الحصار الطويلة. ووفقًا للروايات الشفوية التي أدلى بها كبار السن من المجتمع المحلي، فقد لبّت هذه البرك الاحتياجات اليومية للسكان والحامية العسكرية، بما في ذلك مياه الشرب والطهي والتنظيف، وربما الاستخدامات الشعائرية، وهو ما يعزز الدور الحيوي لهذه المنشآت ضمن منظومة متكاملة تجمع بين الهندسة المعمارية والهيدروليكية والوظيفة الدفاعية.

<u>3.2.2البعد المادي واللامادي للمنظومة:</u>

ويعكس هذا النظام المتكامل، بشقيه المادي واللامادي، فهمًا عميقًا للعلاقة بين الجغرافيا والهندسة الهيدروليكية التقليدية، ويؤكد قدرة البنّائين القدماء، كما يصفهم الحرفيون المحليون، على توظيف قوانين الجريان الطبيعي والخبرة المتراكمة لضمان استدامة إمدادات المياه وحسن إدارتها داخل المنظومة الدفاعية والعمرانية لقلعة القاهرة والمدينة المرتبطة بها.

<u>نقل المياه الفائضة الى مدينة تعز القديمة:</u>

وإلى جانب تزويد القلعة باحتياجاتها المائية، تشير الشواهد الميدانية والروايات المحلية إلى وجود تقنية مكمّلة لنقل المياه الفائضة من صهاريج القلعة إلى المدينة القديمة، حيث كانت هذه المياه تُصرّف عبر سواقي مكشوفة تمتد من القلعة باتجاه التجمعات السكنية في الأسفل، مستفيدة من فرق المناسيب الطبيعي. وقد أسهم هذا النظام، بحسب شهادات الأهالي، في تلبية احتياجات السكان من المياه، خاصة في فترات الشح، مما يعكس دور القلعة ليس فقط كمنشأة دفاعية، بل كمركز حيوي لإدارة الموارد المائية وخدمة النسيج العمراني المحيط بها. الشكل (24)

الشكل (24) يوضح الرسم على الصورة في اليسار كيفية تزويد القلعة والمدينة بالمياه عبر السواقي مياه
(المصدر :كتاب عين الدمعة ,المدينة القديم , جميل الأبيض) الصورة في الجهة الاخر الوضع الحالي (2025)

المواد المستخدمة في تشيد المنظومة المائية في القلعة

اعتمدت المنظومة المائية في قلعة القاهرة على مواد بناء محلية وتقليدية جرى اختيارها بعناية فائقة، بما ينسجم مع طبيعة الموقع الجبلي والوظيفة الدفاعية والهيدروليكية للمنشأة، ويعكس تطور المعرفة الهندسية عبر العصور الإسلامية المتعاقبة.

الحجر الطبيعي:

يُعد حجر الجرنيت المادة الأساسية في تشييد البرك، الصهاريج، القنوات المكشوفة، والجدران الحاملة لمنشآت المياه.
استُخدم حجر الجرنيت الجبلي المحلي المستخرج من محيط القلعة وجبل صبر، والذي يتميز بصلابته النسبية وقدرته على تحمل الأحمال والضغط المائي , صُفَّ الحجر بطريقة مدروسة في مداميك منتظمة نسبيًا في البرك والصهاريج، مع الاهتمام بتقليل الفجوات الداخلية لتقليص نفاذية المياه.

الشكل (25) توضح الصورة استخدام الحجر الطبيعي في بناء البركة القصر.

القضاض (المونة الكلسية المائية):

القضاض يُمثّل أهم مادة تقليدية في المنظومة المائية، وهو عنصر حاسم في تحقيق العزل المائي. يتكون من خليط الجير المطفأ، الرماد البركاني أو الحمي، مواد إضافية طبيعية، وماء، ويُنفّذ على طبقات متعددة. استُخدم القضاض في تبطين البرك والصهاريج و تكسية قنوات المياه وعزل الفواصل بين الأحجار. يتميز القضاض بقدرته العالية على مقاومة تسرب المياه والأملاح، وبمتانته عند تعرضه المستمر للرطوبة، مما جعله مادة مثالية للمنشآت المائية في قلعة القاهرة.

طرق وأساليب تنفيذ مادة القضاض في تشيد المنظومات المائية.

تُحضَّر مادة القضاض التقليدية عبر عدة خطوات دقيقة تضمن حصولها على الصلابة والمتانة المطلوبة للأعمال المعمارية، خاصة في المباني التاريخية والمنظومات المائية. تبدأ العملية بـ حرق الحجر الجيري عند درجة حرارة تصل إلى 1000م لإنتاج ما يعرف بالجير الحي، ثم يُجرى إطفاء الجير بالماء ليصبح مادة النورة القابلة للاستخدام بعد ذلك، يُخلط الجير الناتج مع الحجر البركاني(الحصى) بنسبة محددة (2:3) للحصول على خليط متماسك.
ثم يُترك للتخمير لعدة أسابيع، حتى يصبح جاهزًا للاستخدام ويكتسب القوة والمرونة اللازمة. عند التطبيق، يُوضع القضاض على الأسطح بسمك يتراوح بين 6 و7 سنتيمترات، وبعد ذلك يُملس السطح باستخدام حجر أملس للحصول على تشطيب متجانس، ويُدهن لاحقًا بدهن حيواني لتشريب المادة وزيادة مقاومتها لعوامل الطقس والماء انظر الى الشكل (26)

(3)مادة القضاض بعد تفاعل والاكتمال من مرحلة التطفئة

(2)ومن ثم يقوم العامل على تقليب القضاض وتفتيت الذي الم يتفتت بالتفاعل الماء

(1) تبدا برش قليل من الماء على القضاض وتركه يتفاعل معا ماء بعض من الوقت.

(6) مادة القضاض وهي بشكلة النهائي قابلة للستخدام

(5)ومن ثم عملية التخمير النورة بالماء ما بين 2-4اسابيع ويتم دك الخلطه شبه يوميا باقدام العمال

(4) بعد إكمال عملية التطفئة ويتم غربلة النورة وتنظيفة من الأحجار التالفه والاغير قابلة للاستخدام

(7) عمليه فرش ماده القضاض ودك وتلميعها الشقوق على عده مراحل

الشكل (26) توضح سبع عمليات للتنفيذ وإعداد مادة القضاض

الآجُر المحروق :

استُخدم الآجُر المحروق في تشييد أجزاء من قنوات المياه التقليدية لما يتميز به من سهولة التشكيل وانتظام الأبعاد، الأمر الذي سمح بضبط ميول القنوات وانحداراتها بدقة لضمان انسياب المياه دون إعاقة. وقد استُخدم الآجُر في بناء جدران البرك المنحوتة في الصخر، ثم غُطيت الأجزاء الملامسة للمياه بطبقات من القضاض لضمان العزل المائي. ويعكس هذا الاستخدام وعيًا هندسيًا بأهمية تكامل المادة والوظيفة في المنظومات المائية التقليدية، بما يحقق المتانة والاستدامة على المدى الطويل

3.3تحليل الحالة الإنشائية والوظيفية الراهنة للمنظومة المائية التقليدية وتوثيق مظاهر التدهور في القلعة

الحالة العامة للمنظومة:

تُظهر المعاينات الميدانية والدلائل التاريخية أن المنظومة المائية في قلعة القاهرة كانت في الأصل نظامًا متكاملًا عالي الكفاءة، يعتمد على تجميع المياه من المرتفعات، وتخزينها في برك وصهاريج، ثم توزيعها داخل القلعة وربما إلى المدينة القديمة عبر السواقي. إلا أن الوضع الراهن يشير إلى أن هذا النظام لم يعد يعمل كوحدة متكاملة، بل أصبح مجموعة عناصر متفرقة تعاني من درجات متفاوتة من التدهور، وفقدت معظمها وظيفتها الأصلية.

1-3-3 تقييم الحالة الانشائية

1-1-3-3 -لبرك والصهاريج

تعاني البرك والصهاريج من عدد من المشكلات التي أثّرت على كفاءتها ووظيفتها مع مرور الزمن، حيث ظهرت تشققات إنشائية الشكل(27) متفاوتة الاتساع في الجدران والأرضيات، الأمر الذي ساهم في إضعاف بنيتها العامة. كما لوحظ فقدان أجزاء من طبقة القضاض أو تدهورها في عدة مواضح الشكل(28)، مما أدى إلى تسرب المياه، خاصة أثناء هطول الأمطار. وإضافة إلى ذلك، تعرّضت الأحجار ومونة الربط لحالات من التآكل الشكل (29)، ولا سيما في المناطق الأكثر عرضة للرطوبة المستمرة. كما أدى تراكم الرواسب والأتربة داخل بعض البرك إلى زيادة الضغط على الأرضيات، مما فاقم من مظاهر التلف وأثر سلبًا على سلامتها الإنشائية.

الشكل (27) توضح الصورة وجود تشققات وفراغات بجدران البركة

الشكل (28) البركة توضح الصورة تدهور ماده القضاض

الشكل (29) توضح الصورة تراكم الاتربة والرواسب في

الشكل (30) توضح الصورة تأكل الأحجار والاملاح الظاهر على سور القلعة

3.3.1.2 القنوات والسواقي :

تعرضت القنوات والسواقي لأضرار كبيرة أدت إلى تراجع دورها الوظيفي، حيث اندثرت أجزاء واسعة منها الشكل (30) ، لا سيما في المناطق الواقعة خارج نطاق القلعة الشكل (7). كما تعاني القنوات المتبقية من انسداد واضح بسبب تراكم الأتربة والانهيارات الصخرية، الأمر الذي أعاق حركة المياه داخلها. وقد نتج عن ذلك فقدان الاتصال الوظيفي بين عناصر التجميع والتخزين والتصريف، مما أخلّ بمنظومة المياه بشكل عام. وعلى مستوى الاستقرار العام، تأثرت بعض العناصر المائية بعدم استقرار المنحدرات الصخرية التي تقوم عليها القلعة، وهو ما انعكس سلبًا على سلامتها الإنشائية. كما ظهرت مؤشرات على ضعف موضعي في الأساسات نتيجة تسرب المياه وغياب أعمال الصيانة الدورية، مما يزيد من احتمالية تفاقم الأضرار مستقبلاً

3.3.1.3 تقييم الحالة الوظيفية والهيدروليكية:

يُظهر تقييم الحالة الوظيفية والهيدروليكية للمنظومة تدهورًا واضحًا في أدائها، حيث توقفت وظيفة التخزين المنظم للمياه بشكل شبه كامل، ولم تعد المنشآت قادرة على القيام بدورها الأساسي كما في السابق. كما غاب الجريان المستمر للمياه الذي كان يعتمد في الأصل على فرق المناسيب الطبيعي، مما أدى إلى اختلال حركة المياه داخل النظام. إضافة إلى ذلك، تعطلت أنظمة التحكم في المنسوب والمصارف الفائضة، الأمر الذي يزيد من مخاطر تجمع المياه داخل المنشآت وما قد يسببه ذلك من أضرار إنشائية. ونتيجة لهذه المشكلات مجتمعة، فقدت المنظومة دورها التاريخي في دعم القلعة والمدينة المحيطة مائيًا، وتراجع تأثيرها الوظيفي الذي شكّل عنصرًا أساسيًا في استدامة الموقع عبر العصور

الشكل (30) توضح الصورة بقايا للأجزاء من ساقية مدمرة

4.1.3.3 العوامل المؤدية إلى التدهور بحسب مختصين في الهيئة العامة للاثار :

يرجع تدهور المنظومة المائية إلى مجموعة من العوامل المتداخلة، في مقدمتها غياب الصيانة الدورية التي كانت تضمن استمرارية عملها وكفاءتها الوظيفية. كما أسهم فقدان المعارف والمهارات التقليدية المرتبطة بإدارة المياه وصيانة مادة القضاض في تعميق مظاهر التلف، نتيجة الاعتماد على ممارسات غير ملائمة أو إهمال التقنيات التاريخية الأصيلة. إضافة إلى ذلك، تسببت الأضرار المباشرة وغير المباشرة الناتجة عن الصراع المسلح في إلحاق خسائر كبيرة بعناصر المنظومة، سواء على المستوى الإنشائي أو الوظيفي. وقد زادت التغيرات المناخية، ولا سيما ازدياد شدة الأمطار المفاجئة، من الضغط على المنشآت المائية وأضعفت قدرتها على التصريف والتحكم. كما أدى اندثار النظم العرفية التي كانت تنظم استخدام المياه وتوزيعها إلى فقدان الإطار الاجتماعي والإداري الذي حافظ على استدامة هذه المنظومة عبر فترات طويلة.

5.1.3.3 تحليل تراجع وتلاشي التراث اللامادي المرتبط بالمنظومة المائية في قلعة القاهرة

رغم الدور الحيوي الذي أدته الممارسات والمعارف التقليدية والنظم العرفية في ضمان استدامة المنظومة المائية للقلعة على مدى قرون طويلة، فإن هذه الخبرات تواجه في الوقت الحاضر تحديات جسيمة أسهمت في تراجعها أو اندثارها تدريجيًا. ويأتي في مقدمة هذه التحديات انقطاع نقل المعرفة بين الأجيال، حيث تقلص عدد كبار السن والحرفيين المتخصصين في صيانة السواقي والبرك والصهاريج، وتوقفت أساليب التعلم التقليدية القائمة على الممارسة اليومية والمرافقة المباشرة داخل المجتمع المحلي. كما أدى ضعف الاهتمام بتوثيق المعارف الشفوية، سواء من قبل الباحثين أو الجهات الرسمية، إلى فقدان جزء كبير من الخبرات المتراكمة عبر الزمن.

إلى جانب ذلك، أسهمت التحولات الاجتماعية والاقتصادية في تعميق هذا التراجع، إذ أدت هجرة السكان من المناطق المحيطة بالقلعة، سواء بسبب الصراعات أو بحثًا عن فرص اقتصادية أفضل في المدن الكبرى، إلى إفراغ المجتمع المحلي من حاملي هذه المعارف. كما أدى التوجه نحو استخدام نظم حديثة لإدارة المياه إلى تقليص الحاجة إلى الممارسات التقليدية، وجعلها أقل جاذبية للاستمرار والحفاظ. وقد رافق ذلك تراجع واضح في المشاركة المجتمعية بأعمال صيانة المنشآت المائية، وهو عنصر كان جوهريًا في استدامة النظام المائي تاريخيًا.

كما كان للصراع المسلح أثر مباشر في تسريع اندثار هذه الممارسات، حيث تعرضت المنشآت المائية لأضرار مادية جسيمة أدت إلى توقف العديد من الأنشطة التقليدية المرتبطة بصيانتها وتشغيلها، إضافة إلى فقدان بعض الأدوات التقليدية وتدمير مواقع حيوية ضمن المنظومة المائية. ويُضاف إلى ذلك غياب التوثيق المنهجي، إذ لا تتوفر سجلات مكتوبة أو خرائط دقيقة توضح الممارسات الفنية والاجتماعية المرتبطة بإدارة المياه، فضلًا عن ضعف الوعي المحلي بأهمية التراث اللامادي، الأمر الذي أسهم في تآكل الذاكرة المجتمعية وفقدان جانب مهم من المعرفة التقليدية المتوارثة

4.3 تأثير التغيرات المناخية على المنظومة المائية في قلعة القاهرة والتراث اللامادي المرتبط بها

أدّى التغير المناخي خلال العقود الأخيرة إلى إحداث خلل عميق في الموارد المائية التي كانت تغذّي المنظومة التقليدية، إذ أسهم انخفاض معدلات الأمطار الموسمية في تراجع تغذية عيون الينابيع التي شكّلت تاريخيًا المصدر الرئيس للمياه في المناطق المرتفعة مثل تعز. ومع ازدياد درجات الحرارة، ارتفعت معدلات التبخر بشكل ملحوظ، ما أضعف كفاءة وسائل التجميع المائي التقليدية كالسواقي والبرك والصهاريج. هذا الاختلال في موازنة المياه، كما تؤكده نماذج الأحواض المائية الحديثة، انعكس مباشرة على استمرارية الجريان الذي كانت تعتمد عليه المنظومة المائية في القلعة لضمان عملها واستدامتها.

وامتد هذا التأثير ليطال العناصر المادية للمنظومة، حيث أدّى تراجع تدفق المياه إلى خروج عدد كبير من السواقي والقنوات عن الخدمة، فتحولت من عناصر حيوية فاعلة إلى منشآت مهجورة مهددة بالردم والانهيار. كما تسببت فترات الجفاف الطويلة في جفاف الصهاريج والبرك، الأمر الذي أفقدها وظيفتها الأساسية وجعلها عرضة لتراكم الرواسب وظهور التشققات. وفي المقابل، أدّت الأمطار الغزيرة المفاجئة الناتجة عن التقلبات المناخية إلى جريان سطحي عنيف أسهم في تآكل التربة المحيطة بالقنوات، وتغيّر أو اندثار بعض مسارات السواقي القديمة، إضافة إلى إحداث ضغوط غير متوازنة على جدران البرك والخزانات.

أما على مستوى العمارة التراثية المرتبطة بالمياه، فقد أسهم التناوب الحاد بين فترات الجفاف والرطوبة في إحداث تمدد وانكماش متكرر في جدران المنشآت المائية. هذا السلوك المناخي أضعف طبقات العزل التقليدية المصنوعة من مادة القضاض، وأثّر سلبًا على مونة الربط والأحجار المحلية، لا سيما في الأجزاء المكشوفة. ونتج عن ذلك ظهور تشققات، وانفصال في الطبقات، وتسربات مائية عجّلت من وتيرة تدهور المنشآت التاريخية داخل القلعة.

ولم تقتصر هذه التأثيرات على الجانب المادي فحسب، بل امتدت إلى التراث اللامادي المرتبط بالمنظومة المائية. فقد أدّى تراجع توفر المياه إلى فقدان العديد من الممارسات التقليدية معناها الوظيفي، مثل صيانة السواقي، والتنظيف الدوري للصهاريج، وإدارة توزيع المياه وفق الأعراف المحلية. كما أسهم اندثار عيون المياه والسواقي في توقف انتقال المعرفة العملية المرتبطة بها بين الأجيال، في حين أدى ضعف الاعتماد على المنظومة التقليدية إلى تراجع استخدام المصطلحات المحلية والتسميات التقليدية للأدوات والعناصر المائية، مهددًا بذلك جزءًا مهمًا من الذاكرة الثقافية المرتبطة بالمكان.

1.4.3 التداخل بين التغير المناخي والتوسع العمراني

يتجلّى التداخل بين التغير المناخي والتوسع العمراني بوصفه أحد أخطر العوامل التي سرّعت تفكك المنظومة المائية التقليدية المرتبطة بالقلعة. فمع ضعف هذه المنظومة نتيجة تراجع الموارد المائية واضطراب انتظام الجريان، فقدت السواقي والقنوات أهميتها الوظيفية في نظر المجتمع المحلي والجهات العمرانية، ما جعل مساراتها عرضة للإهمال والطمر. هذا الواقع سهّل التوسع العمراني العشوائي فوق هذه المسارات التاريخية، حيث أُقيمت منشآت حديثة دون اعتبار للبنية المائية القديمة أو لدورها التاريخي في تشكيل المجال العمراني. وأدّى هذا الطمر التدريجي لمسارات السواقي إلى فقدان الذاكرة المكانية المرتبطة بحركة المياه داخل المدينة، فلم تعد خطوط الجريان القديمة مقروءة في النسيج العمراني، ولا حاضرة في وعي السكان. كما أسهم ذلك في انقطاع الترابط الوظيفي والتاريخي بين القلعة ومحيطها العمراني المائي، بعد أن كانت القلعة تشكّل عقدة مركزية في شبكة توزيع المياه وتنظيمها. ونتيجة لهذا الانفصال، تلاشى الدور الاجتماعي للقلعة كمركز لإدارة المياه وضبط استخدامها، وتحولت من فضاء فاعل في الحياة اليومية إلى معلم منفصل عن منظومته البيئية والعمرانية التي منحته قيمته التاريخية والوظيفية.

الشكل (32) توضح الصورة التوسع العمراني

النتائج

أظهرت نتائج الدراسة أن المنظومة المائية في قلعة القاهرة شكّلت نظامًا هيدروليكيًا متكاملًا عالي الكفاءة، اعتمد بصورة ذكية على فرق المناسيب الطبيعي لنقل المياه من عيون جبل صبر إلى القلعة دون الحاجة إلى أي وسائل رفع صناعية. وقد تميّز هذا النظام بتسلسل وظيفي دقيق يبدأ من منابع المياه، مرورًا بالسواقي المكشوفة وأحواض التجميع، ثم السواقي المدفونة، وصولًا إلى خزانات مياه الشرب والبرك ومنظومات تصريف الفائض. ويعكس هذا التنظيم معرفة هندسية متقدمة بالهيدرولوجيا والجغرافيا الجبلية، وقدرة واضحة على توظيف خصائص الموقع الطبيعية لخدمة الاحتياجات الدفاعية والسكنية للقلعة. كما كشفت أعمال الرفع المعماري أن البرك والصهاريج صُممت بسعات كبيرة ومدروسة، بما يدل على تخطيط طويل الأمد لمواجهة فترات الحصار والجفاف وضمان استدامة الإمداد المائي.
وفي المقابل، بينت الدراسة أن الحالة الإنشائية لمعظم عناصر المنظومة المائية تتراوح بين التدهور المتوسط والمرتفع، حيث ظهرت تشققات إنشائية في الجدران والأرضيات، وتدهور أو فقدان واضح لطبقات القضاض العازلة، إضافة إلى تآكل الأحجار ومونة الربط. وتُعد البرك الكبيرة والسواقي

المدفونة من أكثر العناصر هشاشة، نتيجة تراكم الضغوط المائية السابقة، وتأثيرات التغيرات المناخية المتعاقبة، وغياب الصيانة الدورية. كما تشير المؤشرات الميدانية إلى وجود حالات ضعف موضعي في الاستقرار العام لبعض العناصر، ناجمة عن تسرب المياه وانجراف التربة المحيطة بها.
أما من الناحية الوظيفية، فقد فقدت المنظومة المائية وظيفتها الأصلية بشكل شبه كامل، ولم تعد تعمل كنظام مترابط قادر على نقل المياه وتخزينها وإدارتها. إذ توقّف الجريان المستمر، وتعطّلت أنظمة التحكم في المناسيب وتصريف الفائض، ولم يعد للمنظومة أي دور فعّال في دعم القلعة أو المدينة القديمة مائيًا، ما حوّلها من بنية خدمية حيوية إلى بقايا أثرية معزولة عن وظيفتها التاريخية.
وعلى مستوى التراث اللامادي، كشفت النتائج عن تراجع حاد في المعارف والممارسات التقليدية المرتبطة بالمنظومة المائية، تمثّل في انقطاع انتقال الخبرات بين الأجيال، واندثار المصطلحات المحلية والتسميات التقنية، وتلاشي النظم العرفية التي كانت تنظّم استخدام المياه وصيانتها. ولم يتبقَ من هذه المعرفة سوى روايات شفوية محدودة محفوظة لدى عدد قليل من كبار السن والحرفيين، ما يجعل هذا الجانب من التراث مهددًا بالزوال الكامل.
وفيما يتعلّق بالعوامل الخارجية المؤثرة، أوضحت الدراسة أن التغير المناخي أسهم بشكل مباشر في تراجع تغذية عيون المياه، وزيادة معدلات التبخر، وتسريع تدهور مواد البناء التقليدية، ولا سيما القضاض. وفي الوقت نفسه، أدى التوسع العمراني العشوائي إلى طمر أجزاء واسعة من مسارات السواقي، وفقدان الذاكرة المكانية للمنظومة المائية، وانقطاع العلاقة التاريخية بين القلعة ومحيطها العمراني. وقد تفاعلت هذه العوامل مجتمعة لتضاعف من حدة التدهور، وتضع المنظومة المائية في قلعة القاهرة أمام خطر الفقدان المادي والوظيفي والثقافي على المدى الطويل.

التوصيات

تؤكد الدراسة على ضرورة اتخاذ إجراءات عاجلة للحماية، تبدأ بتنفيذ أعمال تدعيم إنشائي طارئة للبرك المتشققة والسواقي المهددة بالانهيار، بهدف الحد من فقدان العناصر الأكثر هشاشة. كما تبرز أهمية حماية المسارات المتبقية للسواقي من الردم أو التعديات العمرانية، بوصفها شواهد مكانية أساسية لفهم المنظومة المائية. ويُعد وقف أي تدخلات غير متخصصة داخل عناصر المنظومة المائية إجراءً ضروريًا لتجنّب تفاقم الأضرار الناتجة عن ممارسات ترميم غير علمية أو استخدام مواد غير متوافقة مع الطابع التاريخي.
وعلى مستوى الترميم وإعادة التأهيل، توصي الدراسة بإعداد خطة ترميم متكاملة تقوم على احترام الخصائص الأصلية للمنظومة، من خلال استخدام المواد التقليدية الأصيلة مثل القضاض والحجر المحلي، وإشراك حرفيين تقليديين ذوي خبرة عملية متوارثة. كما تقترح إعادة تأهيل أجزاء مختارة من المنظومة، كبركة أو ساقية نموذجية، لتنفيذ مشروع تجريبي يهدف إلى اختبار منهجيات الترميم وإحياء جزء من النظام بوصفه نموذجًا يمكن تعميمه لاحقًا.
وفيما يخص توثيق التراث اللامادي، تبرز الحاجة إلى تنفيذ برنامج عاجل لتسجيل الروايات الشفوية المرتبطة بالمنظومة المائية بالصوت والصورة، وتوثيق تقنيات إعداد القضاض وأساليب صيانة السواقي التقليدية. ويُستكمل ذلك بإعداد دليل فني ومعجمي يحصر المصطلحات المحلية المرتبطة بإدارة المياه، بما يسهم في حفظ الذاكرة التقنية والثقافية المرتبطة بالمنظومة من الاندثار.
أما في مجال التكيف مع التغير المناخي، فتوصي الدراسة بإدماج اعتبارات المناخ ضمن خطط الحفاظ والترميم، من خلال تحسين أنظمة تصريف مياه الأمطار، وحماية العناصر المائية من تأثيرات الجريان السطحي المفاجئ. كما تدعو إلى الاستفادة من المنظومة التقليدية نفسها كنموذج مستدام لإدارة المياه في البيئات الجبلية، لما تحمله من حلول متكيفة مع الطبيعة وذات كفاءة طويلة الأمد.
وعلى الصعيد الإداري والتشريعي، تشدد التوصيات على أهمية إدراج مسارات السواقي التاريخية ضمن نطاق الحماية القانونية للموقع الأثري، وتعزيز التنسيق المؤسسي بين هيئة الآثار والسلطة المحلية ومنظمات التراث. كما تؤكد ضرورة ربط حماية المنظومة المائية بخطط التنمية الحضرية لمدينة تعز، بما يضمن عدم تعارض مشاريع التطوير العمراني مع الحفاظ على القيم التراثية.
وأخيرًا، تدعو الدراسة إلى دعم البعد البحثي والتعليمي من خلال تشجيع الدراسات الأكاديمية المتخصصة في الهيدروليك التقليدي وتأثير المناخ على العمارة التراثية، وإدراج المنظومة المائية لقلعة القاهرة ضمن برامج التوعية والتعليم والتراث الحي. ويسهم هذا التوجه في تعزيز الوعي المجتمعي بقيمة المنظومة، وضمان استدامة الجهود البحثية والحفاظية على المدى الطويل

المراجع

1. الهيئة العامة للأثار والمتاحف .
2. 2021 تقارير الهيئة العامة للأثار والمتاحف ودراسات معمارية لهياكل تاريخية تعز
3. برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (2025) .نداره المياه وتفاقم أزمة المياه في اليمن
4. (2024) تأثير تغير المناخ على أحواض المياه في المرتفعات اليمنية باستخدام نموذج SWAT

المشروع.2

أثر التغير المناخي والنزاعات المسلحة على استدامة المباني التاريخية: تحليل فوتوغرامتري للبرج الشمالي الشرقي في قلعة القاهرة

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الحالة الإنشائية والمعمارية للبرج الشمالي الشرقي في قلعة القاهرة بمدينة تعز، بوصفه واحدًا من أهم المباني التاريخية في القلعة، وذلك من خلال النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات التصوير الرقمي ثلاثي الأبعاد لإنتاج نماذج هندسية دقيقة للواجهات والأسقف وعناصر البرج الشمالي الشرقي. وتُستخدم هذه النماذج في رصد الشروخ والانهيارات، وتحليل توزيعها المكاني، وتحديد مستويات الخطورة، وقياس معدلات تسارع تآكل الأحجار ومواد البناء.

تعتمد الدراسة على تحليل تطوّر البرج عبر فترات تاريخية متعددة، مع مراعاة الاختلافات في تقنيات البناء والمواد المستخدمة في كل مرحلة، وأثر العوامل المناخية والبيئية في سلامته الإنشائية. ويسهم هذا المنهج في توفير قاعدة بيانات علمية دقيقة تدعم تقييم الحالة الراهنة للبرج، وتساعد في تطوير استراتيجيات للحماية والترميم الوقائي تقوم على بيانات كمية، بما يضمن الحفاظ على القيم التاريخية والمعمارية للموقع واستدامته لصالح الأجيال القادمة.

مشكلة البحثية

يعاني البرج الشمالي الشرقي في قلعة القاهرة في الوقت الراهن من تدهور إنشائي ومعماري متزايد يتمثل في انتشار التشققات، وتآكل الأحجار، وتضرر المونة الرابطة، إضافة إلى وجود مخاطر لانهيارات جزئية الأكثر تعرضًا للعوامل المناخية. وقد أسهم تعدد المراحل التاريخية للبناء، واختلاف خصائص المواد وأساليب التشييد عبر العصور، إلى جانب تأثير الرياح الموسمية، والأمطار، والتغيرات الحرارية، في تعقيد سلوك المبنى الإنشائي وزيادة هشاشته.

تكمن المشكلة الرئيسة في غياب توثيق رقمي علمي شامل ودقيق يُمكّن من تحديد مواقع التلف ومستويات الخطورة وقياس معدلات التدهور بشكل كمي ومقارن، الأمر الذي يحد من فاعلية خطط الصيانة والترميم التقليدية. ومن هنا تبرز الحاجة الملحة لاعتماد تقنيات التصوير ثلاثي الأبعاد كأداة تشخيص علمية تسهم في تقييم الوضع القائم بدقة، ووضع تدخلات مدروسة قائمة على أسس علمية تضمن الحفاظ على أصالة القلعة وقيمتها التاريخية والمعمارية.

1. المقدمة

يعتمد هذا البحث على توظيف تقنيات التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد لإنتاج نماذج عالية الدقة لواجهات وسطوح المبنى التاريخي لقلعة القاهرة في تعز. وتهدف هذه النماذج إلى توثيق الوضع الراهن للمبنى، ورصد مواقع التشققات والانفصالات والانهيارات الجزئية، إضافة إلى تحليل أنماط تدهور مواد البناء وتوزيعها المكاني. كما تتيح هذه التقنيات إمكانية قياس معدلات التغير الزمني في حالة الأحجار والأسطح المعمارية، وتحديد مستويات الخطورة المرتبطة بالاستقرار الإنشائي، ولا سيما في البرج الشمالي الشرقي، بما يسهم في بناء قاعدة بيانات علمية مرجعية دقيقة.

وتُعد هذه القاعدة أداة أساسية لدعم اتخاذ قرارات الترميم والحماية الوقائية، والحد من التدخلات غير المدروسة، وضمان توافق أعمال الصيانة المستقبلية مع المعايير والمواثيق الدولية لصون التراث الثقافي. كما تسهم في تعزيز التكامل بين التوثيق العلمي والتخطيط طويل الأمد لإدارة الموقع الأثري.

تُعد قلعة القاهرة في تعز واحدة من أبرز المنشآت الدفاعية التاريخية في اليمن، وتمثل نموذجًا معماريًا معقدًا يعكس تراكب طبقات زمنية متعاقبة. فقد تعرضت القلعة لتعديلات وإضافات خلال العصور الأيوبية والرسولية والعثمانية، وأدت عبر تاريخها وظائف متعددة شملت الأدوار الدفاعية والإدارية والسكنية. وقد أسهم هذا التعدد الوظيفي في تنوع مكوناتها المعمارية من حيث أنواع الأحجار المستخدمة، وخصائص المونة، والتكوينات الإنشائية والمعمارية المختلفة (3).

إلا أن القلعة تواجه في الوقت الراهن تحديات جسيمة تهدد استقرارها وسلامتها، ناتجة عن تداخل عاملين رئيسيين. يتمثل العامل الأول في الأضرار الميكانيكية والهيكلية الناجمة عن النزاعات المسلحة، والتي تسببت في تدمير جزئي للبنية المعمارية للموقع، كما هو الحال في العديد من المنشآت التراثية في مناطق الصراع (4). أما العامل الثاني فيتعلق بتفاقم تأثيرات التغير المناخي، حيث تشير الدراسات إلى أن الموقع المشيّد على منحدرات صخرية يتأثر بشكل مباشر بالارتفاع المفاجئ في معدلات هطول الأمطار، مما يؤدي إلى انزلاقات صخرية دقيقة، وتليين التربة، وإضعاف استقرار الأساسات (5).

كما توضح الأبحاث أن هذه البيئات المعرضة للتغيرات المناخية تشهد تسارعًا في عمليات الانجراف وفقدان الكتل الحجرية، نتيجة لتغير اتجاهات الرياح والتذبذب الحراري. ويؤثر التغير المناخي بصورة مباشرة على الأحجار المستخدمة في المباني التراثية من خلال زيادة معدلات التبخر، وما يترتب عليه من تمدد الأملاح داخل المسام الحجرية، وظهور مظاهر التفتت السطحي والانفصال الطبقي (5).

وبشكل خاص، كان للأنماط المتطرفة لهطول الأمطار في مدينة تعز تأثير مباشر على استقرار البرج الشمالي الشرقي للقلعة، حيث تشير البيانات الحديثة إلى زيادة في شدة السيول المفاجئة بنسبة تصل إلى 35% خلال الأعوام (2023–2024). وقد أدى تدفق المياه بكثافة عالية إلى تآكل المونة الرابطة بين الأحجار، وتسرب المياه إلى أعماق الجدران السميكة، مما أسفر عن ارتفاع مستويات الرطوبة الداخلية وإضعاف التماسك الإنشائي للبرج (6).

وبصورة عامة، يؤثر التغير المناخي على المباني الأثرية بطرق متعددة، تشمل التقلبات الحرارية، وتغير نسب الرطوبة، وتراجع توفر المواد الخام التقليدية، وهو ما يؤدي إلى مظاهر تدهور مادي تتجسد في التشقق، والتملح، والتآكل، وفقدان جزء من القيمة المادية والثقافية للموقع.

خلفية عن تاريخية قلعة القاهرة خلال فترات مختلفة:

مرت قلعة القاهرة بتعز بمراحل تطور معمارية وعسكرية عبر عصور مختلفة. في عهد الصليحيين كانت عبارة عن ثكنة عسكرية لحماية القوافل التجارية القادمة من ميناء المخا، وكانت تحصيناتها بسيطة بأسوار غير مزدوجة بنيت بأحجار هشة غير مشذبة جُلبت من جبل القلعة نفسه (1).

مع فترة السلاطين تحولت القلعة إلى حصن منيع؛ حيث بُنيت أسوار مرتفعة ومزدوجة بجدران سميكة تصل إلى 2.20 م وارتفاع يقارب 20 م، مع أبراج دائرية ومربعة موزعة كل 20 – 30 م، مصممة بفتحات صغيرة للرمي وصب الزيت. استخدمت تقنية البناء المزدوج بصفوف من الأحجار مع حشو داخلي ومونة، إضافة إلى روابط حجرية طويلة لزيادة التماسك (2).

خلال فترة القاسميين (850–924هـ) أضيفت تحصينات جديدة شملت أسواراً متدرجة مرتبطة بسور مدينة تعز، مع توزيع أبراج مراقبة دائرية على مسافات متقاربة. في 924هـ تعرضت القلعة لأضرار كبيرة نتيجة القصف العثماني، ثم أعاد العثمانيون ترميم الأسوار والأبراج وجعلوا القلعة مقراً عسكرياً لهم.

لاحقاً، ومع فقدان القلعة لوظيفتها العسكرية في القرن العشرين، تدهورت بنيتها بسبب العوامل المناخية والإهمال وعدم الصيانة صورة (1). مع نهاية التسعينات، وبالتحديد منذ عام 1998م، بدأت الهيئة العامة للآثار - بالتعاون مع السلطات المحلية - أعمال الترميم الأولى في القلعة، والتي استُهلت بعمليات تنقيب أثرية منظمة بدات اعمال الترميم الفعلي لقلعة ضمن مشوع هدفه احياء هذا المعلم التاريخي المهم وقد شملت الاعمال الاوليه تنفيذ عمليات تنقيب واسعة لإزالة التراكمات الترابية والكشف عن العناصر المعمارية المدفونة وخلال هذا المرحلة تم العثور على اساسات المباني والقصور الداخلية واتضحت ملامح الأبراج صور (2).

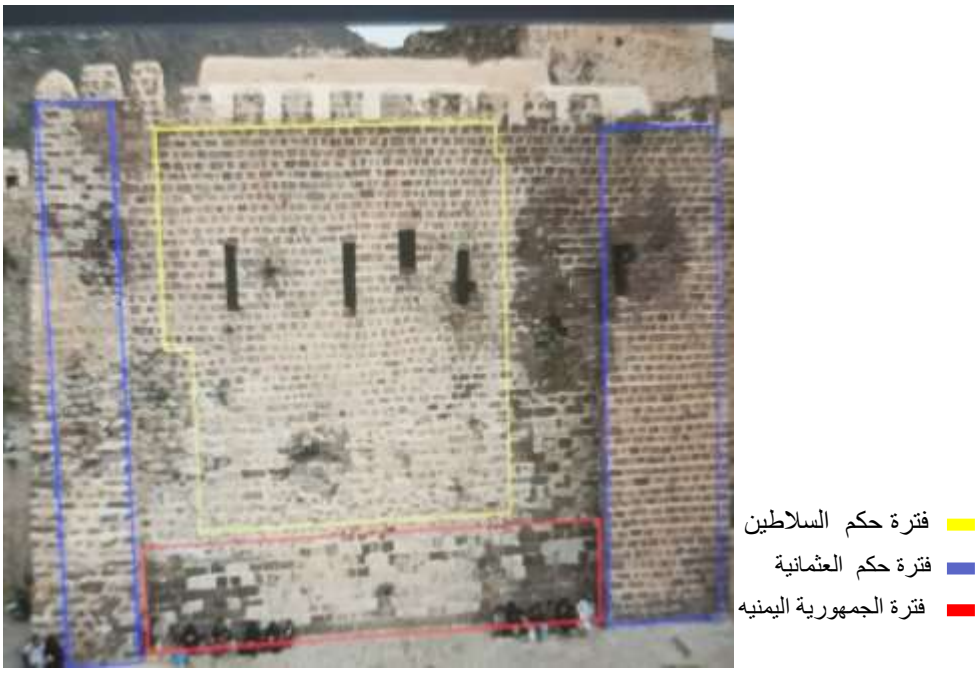
الشكل 1: تظهر الصور قلعة القاهرة عبر فترتين مختلفتين، المصدر: الهيئة العامة للآثار والمتاحف، فرع تعز

الشكل 2: توضح الصورتين أعمال الترميم الداخلي بالقرب من البرج الشمالي لقلعة القاهرة، 2012، المصدر: الهيئة العامة للآثار والمتاحف، فرع تعز

- **التحليل التاريخي لنشأة البرج الشمالي الشرقي وتطوّره إنشائيًا:**

تعود النشأة الأولى للبرج الشمالي الشرقي إلى فترة حكم السلاطين، إذ كانوا أول من خطّط حصن قلعة القاهرة، ويُظهر الحصن نمطًا تقليديًا للبناء اليمني ممزوجًا بتأثيرات معمارية من الحضارات الإسلامية في بلاد الشام ومصر. تعرّض هذا البرج لجملة من الأحداث التاريخية خلال فترة السيطرة العثمانية على مدينة تعز في القرن العاشر الهجري، ما أدى إلى تدمير أجزاء من مبانيه وردم الغرف الداخلية بالتربة ومخلّفات البناء لتكوين أرضية صلبة وُضِعت عليها المدفعية العثمانية. وبعد قيام الجمهورية اليمنية، شهد البرج أعمال ترميم في إطاره الإنشائي وإزالة لأنقاض التدمير من داخله.

ومن خلال هذا التسلسل التاريخي للبرج الشمالي الشرقي، يتضح أن البنية الإنشائية للبرج تتكوّن من طبقات تاريخية متعدّدة: فترة حكم السلاطين، وفترة الحكم العثماني، والعهد الجمهوري، وهي طبقات سيتم توثيقها خلال أعمال توثيق البرج، كما هو موضّح في الشكل.(3)



الشكل 3: توضحه الصوره مراحل تطور بناء البرج الشمالي، المصدر: الهيئة العامة للآثار والمتاحف، فرع تعز

2. المنهجية

اعتمدت الدراسة منهجًا تطبيقيًا وصفيًا تحليليًا يستند إلى التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد، والتحليل المعماري والإنشائي، والقياسات الفيزيائية للمواد. تم استخدام تقنية التصوير الجوي الفوتوغرامتري بواسطة الطائرات المسيّرة إلى جانب برنامج Agisoft Metashape لإنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد عالية الدقة تُمثّل الحالة الراهنة للبرج، بالتوازي مع الفحص البصري الميداني الذي وثّق مظاهر التدهور المختلفة.

شملت أدوات البحث أجهزة قياس صلادة الحجر (Proceq Bambino) لتقييم تباينات مقاومة المواد، وجهاز قياس الرطوبة (Protimeter) لتحديد مستويات نفاذ الرطوبة في الجدران، إضافة إلى التوثيق الفوتوغرافي، والجداول التحليلية، والمقارنة بين أنواع الأحجار والملاط التقليدي المستخدم. طُبّقت المنهجية من خلال مسح ميداني شامل، أعقبه توثيق رقمي ثلاثي الأبعاد، ثم تصنيف وتحليل الأضرار بحسب نوعها وأسبابها، مع ربط القياسات الميدانية بأنماط التدهور المرصودة. وقد أسهم هذا التكامل في تكوين قاعدة بيانات علمية دقيقة مكّنت من تقييم المخاطر الإنشائية الراهنة، وتشكيل أساس لصياغة توصيات حفظ تتوافق مع القيم التاريخية والمادية للمبنى الأثري.

3. توثيق البرج وتحليله إنشائيًا باستخدام برنامجAgisoft Metashape

تم إنشاء النموذج ثلاثي الأبعاد للبرج بالاعتماد على تقنيات الفوتوغرامتري، من خلال معالجة مجموعة من الصور الجوية الملتقطة بواسطة طائرة مسيّرة. وقد جرى توليد النموذج اعتمادًا على 173 صورة رقمية، كما هو موضح في الشكل (4)، مما أتاح توثيقًا دقيقًا للحالة الراهنة للبرج، وتحليل الأضرار والعيوب الإنشائية، ورصد مظاهر تدهور مادة الحجر، وتحديد مواقع تآكل الأحجار، بما يدعم التقييم الفني لمستويات الخطورة ودرجة الاستقرار الإنشائي.

الشكل 4: مخرجات النموذج ثلاثي الأبعاد للبرج الشمالي باستخدام برنامج.Agisoft Metashape

يوفّر برنامج Agisoft Metashape مستوىً عاليًا من الدقة في معالجة الصور الرقمية، إذ يحافظ على الخصائص البصرية والهندسية لأسطح العناصر المعمارية كما هي في الواقع، دون تشويه أو تبسيط مفرط. وتتيح هذه الدقة توثيقًا موثوقًا للحالة الراهنة للبرج، بما في ذلك تفاصيل الشروخ ومناطق تآكل الأحجار ومواضع ضعف الملاط، الأمر الذي يعزّز موثوقية التحليلين الإنشائي والمعماري.

ُظهر الصور التالية مقارنة مباشرة بين الصور الأصلية الملتقطة بواسطة الطائرة المسيّرة والنموذج الثلاثي الأبعاد الناتج عن معالجتها باستخدام برنامجAgisoft Metashape ، حيث يتّضح التطابق العالي في التفاصيل الهندسية وملمس أسطح الأحجار، بما يؤكد كفاءة البرنامج في إنتاج نماذج رقمية دقيقة تمثّل الواقع المعماري للمبنى بدرجة عالية من الدقة، كما هو موضّح في الشكل.(5)

(أ) الصورة مستخرجة من نموذجAgisoft Metashape 3D ، الواجهة الشمالية للبرج

(ب) الصورة الأصلية من الطائرة بدون طيار، الواجهة الشمالية للبرج

(أ) الصورة مستخرجة من نموذجAgisoft Metashape 3D ، الواجهة الشمالية للبرج

(ب) الصورة الأصلية من الطائرة بدون طيار، الواجهة الشمالية للبرج

الشكل 5: مقارنة بين الصورة الأصلية التي التقطتها الطائرة بدون طيار والنموذج ثلاثي الأبعاد الناتج باستخدام برنامج.Agisoft Metashape

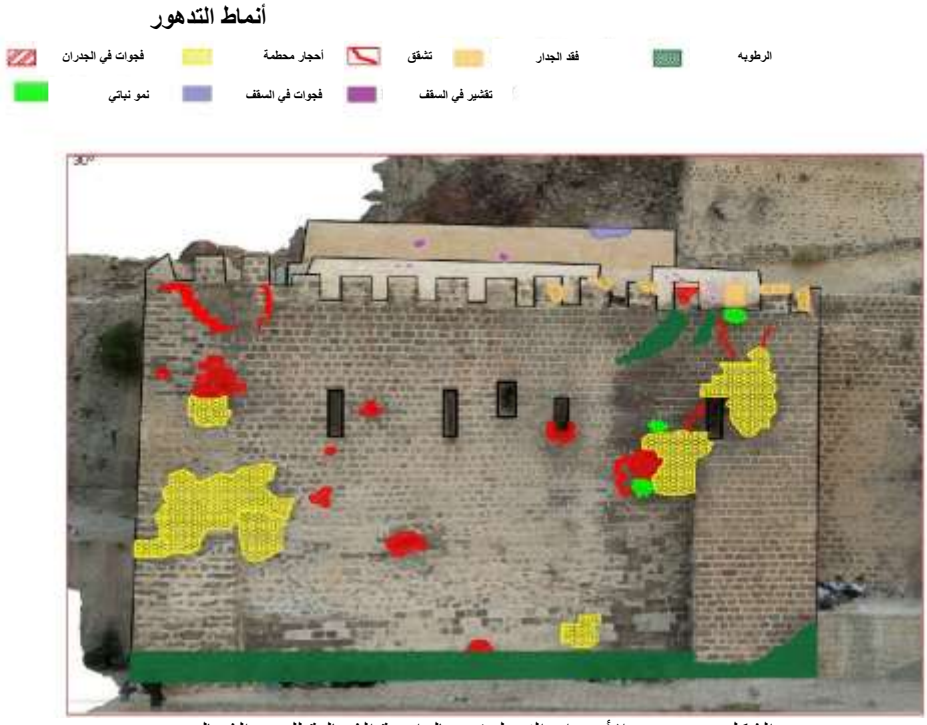
1.3 تحليل الأضرار الخارجية للبرج الشمالي:

الشكل 6: صورة جوية للموقع العام لقلعة القاهرة، تظهر منطقة دراسة البرج الشمالي محاطة بدائرة حمراء.

1.1.3 توثيق الأضرار الإنشائية للواجهة الشمالية

يبلغ ارتفاع الواجهة الشمالية للبرج 13.33 م، وعرضها 19.49 م، بينما يبلغ سُمْك الجدار 1.6 م. وقد شُيّد البرج باستخدام أحجار رسوبية مهذّبة، إلى جانب نوع آخر من أحجار الجرانيت غير المشذّبة، رُصّت في مداميك مرصوفة. وتشتمل جدران الواجهة على فتحات مستطيلة تضيق من الأمام وتتسع من الخلف، وهي مزاغل استُخدمت للرماية وإطلاق الأعيرة النارية، كما تنتهي الواجهة في أعلاها بشرفات دفاعية (مَشرفيات / مزاغل علوية) خُصِّصت لأغراض الحراسة.

تعرّضت الواجهة لقصف مباشر بالصواريخ أو الأعيرة النارية خلال فترة النزاع، مما تسبّب في حدوث فجوات في الجدران وتفكك وتفتّت في الأحجار. وخلال الفترة الماضية، شهدت الواجهة تدهورًا ملحوظًا بفعل التغيرات المناخية، كغزارة الأمطار التي أدّت إلى جرف الملاط الرابط داخل الجدران ونمو بعض النباتات. ونتيجة لتجمّع المياه خلف الجدران وغياب نظام تصريف لها، ظهرت الرطوبة التي تسبّبت في تآكل الأحجار وتدهورها، إلى جانب إسهام التقلّبات الحرارية في تمدّد المواد التقليدية وانكماشها. وقد أدّت هذه العوامل مجتمعة إلى تآكل وتلف المواد التقليدية التي شُيّد منها البرج، كما هو موضّح في الشكل**(7)** .



الشكل 7: يوضح الأضرار التي لحقت بالواجهة الشمالية للبرج الشمالي.

تُظهر الواجهة الشمالية للبرج، كما في الشكل (7)، طيفًا من مظاهر التدهور المادي؛ حيث لوحِظ تآكل وتفتّت في الأحجار، إلى جانب تآكل الملاط الرابط بين الكتل الحجرية نتيجة التعرض المستمر للعوامل البيئية. كما يوضّح الشكل (8) تسجيل نمو شجيرة من الفصيلة المستكية على الواجهة نفسها، وهي من النباتات ذات الجذور السطحية التي يمكن إزالتها بسهولة، ولا تُعد في وضعها الحالي تهديدًا مباشرًا للاستقرار الإنشائي للمبنى، غير أن وجودها يدلّ على توفر الرطوبة داخل الفواصل الحجرية، وهو ما يستدعي المتابعة والعلاج الوقائي.

الشكل 8: تآكل وتفتت الحجارة وتآكل ملاط الربط على الواجهة الشمالية للبرج.

الشكل 9: نمو شجيرة من عائلة المصطكي على الواجهة الشمالية للبرج دون تأثير مباشر على الاستقرار الهيكلي

- **جدول 1 : يوضح نسب تقريبية للأضرار في الواجهة الشمالية للبرج**

م	نوع الضرر	موقع الضرر	نسبة الضرر	السبب
1	كيمائي	في منتصف الواجهة الشمالية	%4	عوامل مناخية(نمو بعض النبات)
2	كيمائي	الواجهة الشمالية	%19	عوامل مناخية(تأكل بعض الأحجار بسبب الرطوبة الناتجة عن تسرب مياه الامطار الى داخل الجدران)
3	ميكانيكي	الواجهة الشمالية	%85	عوامل صراع(فجوات في الجدران وتهشم وتفتت بعض أجزاء من الأحجار بسبب المقذوفات المباشرة والاعيرة النارية)

تحليل النتائج والارتباط بتغير المناخ:

يتضح من نتائج الجدول (1) وجود تباين كبير في مستويات الأضرار؛ حيث سُجّل أعلى معدل للأضرار بنسبة 85% ناجم عن العوامل الميكانيكية المرتبطة بالنزاعات المسلحة، وهو نوع من التدهور يُضعف مباشرة الإطار الإنشائي للبرج ويجعله أكثر عُرضة للعوامل الخارجية الأخرى. في المقابل، بلغ أدنى معدل للأضرار 4% نتيجة نمو النباتات في منتصف الواجهة الشمالية، وعلى الرغم من انخفاض هذه النسبة، فإنها ترتبط ارتباطًا وثيقًا بظواهر التغير المناخي؛ إذ تسهم تغيّرات درجات الحرارة وارتفاع معدلات الرطوبة في تهيئة بيئة خصبة لنمو النباتات والطحالب على الأسطح الحجرية، ما يؤدي بمرور الوقت إلى تغلغل الجذور وحدوث تفتت كيميائي وميكانيكي للأحجار.

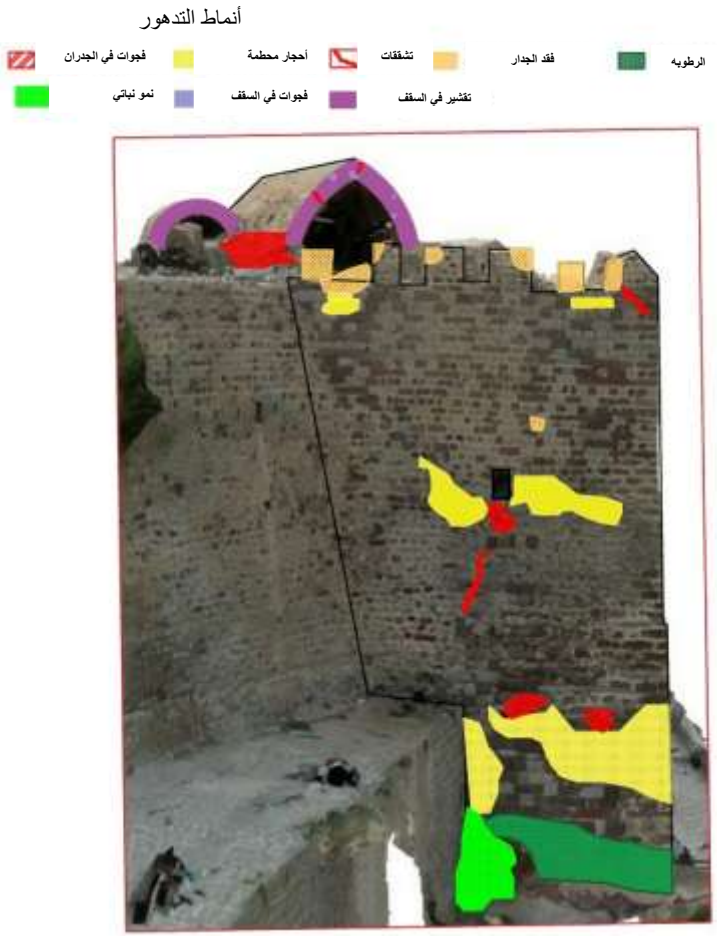
الأضرار التراكمية والتأثير المناخي:

ترتبط العلاقة بين الأضرار والتغير المناخي بشكل أوضح في المعدل المتوسط البالغ 19%، والناجم عن تآكل الأحجار بسبب الرطوبة وتسرب مياه الأمطار؛ حيث تُسهم شدة الظواهر المناخية المتطرفة، مثل الأمطار الغزيرة غير المنتظمة، في تسريع عمليات التآكل الكيميائي. وعند اجتماع هذه العوامل المناخية مع الأضرار الميكانيكية الناتجة عن النزاع (الفجوات والتفتت)، يصل البرج إلى حالة حرجة؛ إذ تعمل الفجوات الناجمة عن المقذوفات كممرات سهلة لاختراق المياه والرطوبة إلى أعماق الجدران، مما يضاعف سرعة التدهور الإنشائي ويحوّل الأضرار البسيطة إلى مخاطر جسيمة تهدد بقاء المبنى التاريخي.

2.1.3 توثيق وتحليل الأضرار الإنشائية لواجهة البرج الشرقية

يبلغ ارتفاع الواجهة 13.33 م، بعرض 3 م، مع سُمْك للجدار يصل إلى 0.50 م. وقد شُيّد الجدار باستخدام نوعين من الأحجار الرسوبية المصقولة والمشذبة، إلى جانب أحجار الجرانيت، ونُفِّذ وفق نظام مداميك منتظمة ومتراصّة ومترابطة. ويتكوّن النسيج البنائي من طبقة خارجية وأخرى داخلية، تفصل بينهما نواة داخلية من الأحجار الصغيرة، استُخدم فيها القضاض كملاط رابط، كما تحتوي الواجهة على فتحة حائطية واحدة .

يشير الفحص الميداني إلى أن هذه الواجهة لم تتعرض لقصف مباشر وعنيف مقارنة بالواجهة الشمالية، إذ اقتصر الضرر الإنشائي على انهيار بعض الأجزاء العلوية من الجدران. غير أن الواجهة أظهرت تأثرًا واضحًا بالعوامل البيئية والمناخية؛ حيث ساهمت التقلّبات الحرارية المرتبطة بالتغير المناخي، إلى جانب الأمطار الغزيرة وتسرب المياه إلى داخل المداميك، في إضعاف الملاط الرابط وتآكله من بين الأحجار، مما أدى إلى تفتتها وفقدان تماسكها. كما أسهم احتجاز المياه خلف الجدران في ظهور مظاهر الرطوبة والأملاح على الأسطح الحجرية، بالإضافة إلى نمو بعض النباتات بالقرب من جدران الواجهة، وهو ما يمثّل عاملًا إضافيًا في تسريع عمليات التدهور، كما هو موضّح في الشكل.(10)



الشكل 10: يوضح الأضرار التي لحقت بالواجهة الشرقية للبرج الشمالي.

الشكل (11): يوضح تآكل الحجر

الشكل (12): يوضح العوامل البيولوجية والمناخية المؤثرة على البرج

يوضّح الشكل (11) تآكل الأحجار؛ فمع مرور الوقت وغياب أعمال الصيانة الدورية تتعرّض مواد البناء للتآكل بفعل العوامل الجوية المختلفة مثل الأمطار والرياح والتقلّبات الحرارية، مما يسرّع من معدلات التدهور السطحي والإنشائي للأحجار.

ويُظهر الشكل (12) العوامل البيولوجية والمناخية المؤثرة في البرج؛ إذ لوحِظ نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة في الزوايا المنخفضة من البرج نتيجة ارتفاع الرطوبة، ويُعد ذلك من صور التدهور الكيميائي-البيولوجي التي تُسرّع تفتّت الأحجار وتغيّر لونها بفعل التفاعلات الحيوية. كما تنمو بالقرب من أساسات الواجهة شجرة متوسطة الحجم ، وهي شجرة جبلية تتحمّل درجات الحرارة المرتفعة والجفاف والتقلبات المناخية. وعلى الرغم من امتداد جذورها في التربة المحيطة بالأساسات ومحدودية مستوى تغلغلها داخل البنية مقارنةً بأنواع أخرى من الأشجار، فإن استمرار وجودها، ولا سيما مع توفر الرطوبة، قد يؤدي بمرور الوقت إلى تفكك بعض أحجار الأساسات.

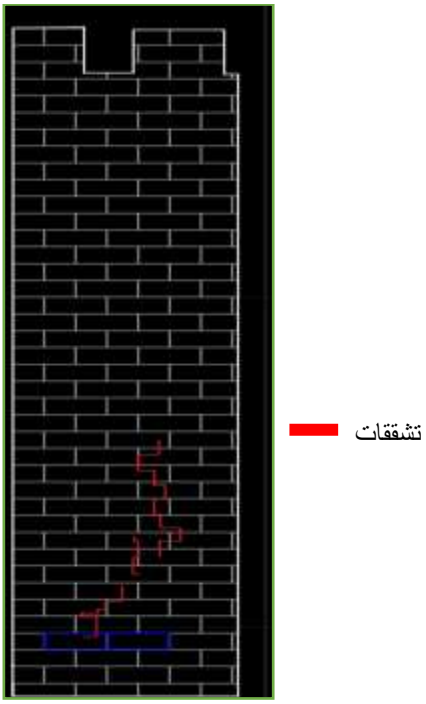
جدول 2 : يوضح نسب تقريبية للأضرار في الواجهة الشرقية للبرج

م	نوع الضرر	موقع الضرر	نسبة الضرر	السبب
1	كيمائي	اسفل الواجهة	%10	عوامل مناخية(نمو بعض النبات)
2	كيمائي	الواجهة الشمالية	%19	عوامل مناخية(تأكل بعض الأحجار بسبب الرطوبة الناتجة عن تسرب مياه الامطار الى داخل الجدران)
3	ميكانيكي	الواجهة الشمالية	%30	عوامل صراع(فجوات في أعلاه الجدران وتهشم وتفتت بعض أجزاء من الأحجار بسبب المقذوفات المباشرة والاعيرة النارية)

3.1.3 توثيق وتحليل الأضرار الإنشائية لواجهة البرج الغربية

يبلغ ارتفاع الواجهة الغربية للبرج 13.33 م، بعرض 3 م، بينما يصل سُمْك الجدار إلى 0.50 م. وقد شُيّد الجدار باستخدام نوعين من الأحجار الرسوبية المصقولة والمشذَّبة، إلى جانب أحجار الجرانيت، ونُفِّذ وفق نظام المداميك المرصوصة والمترابطة. ويتكوّن النسيج البنائي من طبقة خارجية وأخرى داخلية، تتوسطهما نواة داخلية من الأحجار الصغيرة استُخدم فيها القضاض كملاط رابط، ولا تحتوي هذه الواجهة على أي فتحات حائطية .

يُظهر الفحص أن هذه الواجهة لم تُشكّل واجهة رئيسية لتأثيرات النزاع المسلّح، بخلاف واجهات أخرى أكثر تعرّضًا للهجمات، ويعود ذلك جزئيًا إلى موقعها المحمي طبوغرافيًا وانخفاض درجة تعرّضها للعوامل المناخية. كما تُعد الواجهة الغربية أقل عرضة لتأثيرات الرياح والأمطار، إذ تهبّ الرياح الموسمية السائدة في مدينة تعز غالبًا من الاتجاه الجنوبي الغربي، مما يجعل الواجهات الجنوبية والجنوبية الغربية الأكثر تعرّضًا للرياح والهطولات المطرية. كذلك أسهم محدودية تعرّض الواجهة الغربية لأشعة الشمس المباشرة خلال ساعات الذروة النهارية في الحد من ظواهر التمدد والانكماش في مواد البناء، الأمر الذي قلّل من تطوّر الشروخ السطحية ومن معدلات تدهور المواد الإنشائية، كما هو موضّح في الشكل**(13)** .



الشكل 13: يوضح الأضرار التي لحقت بالواجهة الشرقية للبرج الشمالي.

4.1.3 توثيق وتحليل الأضرار في أقبية (أسقف) البرج

يُغطّى سقف البرج الشمالي الشرقي بأقبية نصف أسطوانية (أقبية برميلية) ذات امتداد طولي، شُيّدت باستخدام مواد تقليدية من الطوب الأحمر المحروق ومكسوّة بطبقة من مادة القضاض. وتبلغ المساحة الإجمالية لسقف البرج نحو 134 م^2 .

أظهر التوثيق والفحص الميداني مجموعة من مظاهر التدهور يمكن تلخيصها فيما يأتي:

- ظهور شرخ رأسي عميق مصحوب بتفكك مساحات واسعة من طبقة القضاض في بعض الأقبية، ويُعزى ذلك إلى الاهتزازات الناجمة عن الغارات الجوية وقذائف المدفعية، وإلى الأثر المباشر لأشعة الشمس الشديدة خلال ساعات الذروة، إضافة إلى الرطوبة الناتجة عن الرياح الجنوبية والأمطار الموسمية، مما يؤدي إلى تكرار دورات التمدد والانكماش في المواد الإنشائية .
- رصد فجوات واسعة في سقف أحد الأقبية البرميلية نتيجة إصابة مباشرة بمقذوف، وتفاقم الضرر بفعل تعرّض مواد البناء والملاط الرابط لتقلّبات الطقس والأمطار الموسمية.
- تفكك وتساقط أجزاء من طبقات الطلاء بسبب التأثير المتزامن للاهتزازات والعوامل المناخية وقذائف المدفعية ونمو النباتات، حيث يسهم تغيّر المناخ في إضعاف قوة التماسك بين الطبقات وتسريع تآكل المواد .
- ظهور تشققات وتفتّت في جدران البرج عند نقاط التقاء الأقبية بالجدران، نتيجة التعرّض المتزامن لإجهادات ميكانيكية وبيئية؛ إذ تُسهم الرطوبة والتقلّبات الحرارية في تسريع تدهور المواد التقليدية وفقدانها لقدرتها الإنشائية.

الشكل 13: يوضح الأضرار التي لحقت بالأقبية الأسطوانية للبرج الشمالي.

الشكل 14: يوضح وجود الشقوق

الشكل 15: يوضح نباتCenchrus setaceus

جدول رقم 3 : يوضح نسب تقريبية للأضرار في الجملون (السقوف) للبرج

م	نوع الضرر	موقع الضرر	نسبة الضرر	السبب
1	كيمائي	جانبي الجملون	%20	عوامل مناخية(نمو بعض النبات)
2	كيمائي	الواجهة الشمالية	%19	عوامل مناخية(تأكل واندثار السقوف بسبب الرطوبة الناتجة عن تسرب مياه الامطار الى داخل مواد السقف)
3	ميكانيكي	الواجهة الشمالية	%400	عوامل صراع(فجوات في أعلاه الجملون وتهشم لطبقة القضاض بسبب المقذوفات المباشرة والاعيرة النارية)

يوضح الشكل (14) وجود تشققات وفجوات وتفكك في مادة القضاض في سقف القبّة البرميلية نتيجة النزاع المسلح، وقد تفاقم ذلك تحت تأثير عوامل التغير المناخي. تشير هذه المظاهر إلى ضعف الغطاء الواقي للسقف وزيادة قابلية مواد البناء لاختراق المياه والتدهور المتسارع.

كما يوضّح الشكل (15) وجود نباتCenchrus setaceus ، وهو حشيشة سريعة النمو تتحمل الجفاف والحرارة، ويُعد خطرها على البرج مرتفعًا لأنها تتغلغل في الفواصل الحجرية وتعمل على توسيعها، ومع التغير المناخي وارتفاع درجات الحرارة وفترات الجفاف يزداد انتشارها، مما يسرّع من تدهور الجدران.

جدول 4: يوضح تحليل العام لنوع الأحجار المستخدمة في بناء البرج الشمالي الشرقي في القلعة

الصورة	اسم الحجر	نوع الحجر	خصائصه
	الجرانيت	صخر ناري	يتميز بصلابته العالية ومتانته ومقاومة للتاكل والعوامل الجوية يمتص كمية اقل من الماء مما يجعله مقاوما للرطوبة ويتحمل التغيرات الحرارية والرطوبة
	الحجر الجيري	صخر رسوبي	اخف من الجرانيت ومقاوم نسبيا للتعرية يعكس الحرارة فيحافظ على برودة الداخلي

2.3 توثيق الأضرار الداخلية

1.2.3 تحليل الأضرار

تُظهر الجدران الداخلية للبرج نمطًا واضحًا من التدهور الإنشائي يتمثل في تفكك طبقة اللياسة) اللي (plaster وانفصالها عن سطح الحجر، وتدهور الملاط، وظهور شروخ عميقة وفجوات ناتجة عن الاهتزازات والصدمات، إضافة إلى تآكل وضعف العتب الخشبي الحامل للفتحات. وتعود العوامل الرئيسة المتسببة في ذلك إلى: نفاذ الرطوبة وعمليات تبلور الأملاح، الإهمال وغياب الصيانة الدورية، والتعرض للانفجارات والاهتزازات الناتجة عن النزاع المسلح .

3.2.2تحليل تفصيلي للأضرار

أولًا – تفكك طبقة اللياسة: لوحِظ انفصال واسع وشديد لطبقة اللياسة عن سطح الحجر، مع تساقط مساحات كبيرة منها وانكشاف السطح الحجري، كما هو موضح في الشكل (16) .

- نفاذ الرطوبة إلى داخل الجدار عبر الشروخ والفجوات، مع فقدان طبقات العزل.
- انتقال الأملاح الذائبة داخل المحلول المائي عبر مسامات الملاط وطبقة اللياسة .

وعند تبخر الماء، تتبلور الأملاح داخل مسامات اللياسة وتتمدّد (تبلور الأملاح)، مُولِّدة ضغوطًا داخلية عالية تتجاوز قوة التلاصق بين طبقة اللياسة وسطح الحجر، ما يؤدي إلى تقشّر وانفصال اللياسة، وتآكل الملاط، وانكشاف السطح الحجري القاعدي.

الشكل 16: يوضح انفصال طبقة الملاط عن سطح الحجر.

ب. تدهور مواد البناء بسبب الإهمال وغياب الصيانة: يحدث تآكل تدريجي لمواد البناء (الملاط، الطين، الأحجار غير المشذّبة) نتيجة التعرض المتكرر للأمطار الغزيرة والرياح المحمّلة بالرطوبة، إلى جانب التقلّبات الحرارية بين الليل والنهار التي تؤدي إلى تمدد المواد وانكماشها، مع غياب أعمال الصيانة الدورية والإصلاحات المؤقتة، مما يفضي إلى تدهور تراكمي في نسيج المبنى.

ج. الشروخ والفجوات الناتجة عن النزاع (الاهتزازات والقذائف): تُظهر الجدران شروخًا بأنواع متعددة، تتراوح بين شروخ عرضية صغيرة وفجوات عميقة تخترق سُمْك الجدار، كما هو موضح في الشكل (17). وتُسهم هذه الفجوات في زيادة نفاذية الجدار، وتسهل اختراق المياه والهواء، بما ييسّر انتقال الأملاح ويضاعف عمليات التدهور الكيميائي والميكانيكي. وتتراوح درجة الضرر بين شروخ عرضية سطحية وتدهورات إنشائية عميقة تستلزم تدخلات تدعيم ودعائم مؤقتة وأعمال ترميم موضعي في مناطق الفجوات العميقة.

الشكل 17: يوضح الشقوق والفجوات في الجدران الداخلية.

د. الأضرار التي لحقت بالعتبات الخشبية أعلى الفتحات (الأبواب والنوافذ): نتيجة نفاذ الرطوبة يتعرّض الخشب لتدهور بيولوجي (تعفّن) ونشاط حشري، مما يقلّل من قدرة العتب على تحمّل الأحمال الرأسية للكتل الحجرية الواقعة فوقه، ويؤدي إلى هبوط موضعي وظهور شروخ ثانوية في الجدران أعلى العتب. وتتمثّل هذه الأضرار على العتبات الخشبية في تعفّن الخشب وتآكله بفعل انتشار النمل الأبيض (الأَرَضَة)، كما هو موضح في الشكل (18)، وهو ما يستلزم تقييم حالة كل عتب على حدة لتحديد نوع التدخل المناسب، سواء بإجراء إصلاحات موضعية، أو تدعيم جزئي، أو الاستبدال الكامل في حال فقدان قدرته على تحمّل الأحمال.

الشكل (18): يوضح الأضرار التي لحقت بالعتبات الخشبية فوق الفتحات (الأبواب والنوافذ).

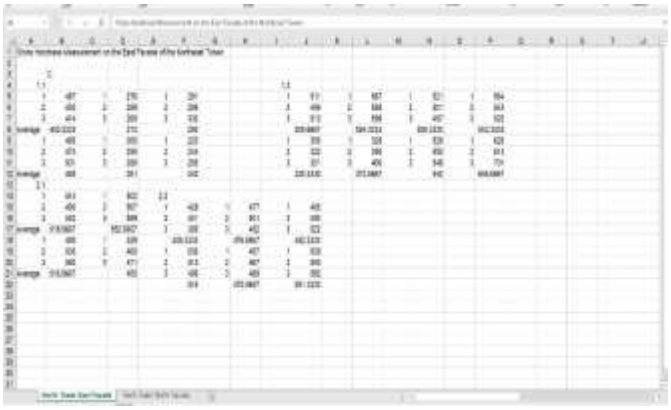
ويبين الجدول 5: النسب التقريبية للأضرار في الجدران الداخلية للبرج الشمالي الشرقي.

م	نوع الضرر	موقع الضرر	مساحة الضرر	نسبة الضرر	السبب
1	كيميائي	الجدران الداخلية في البرج الشمالي الشرقي	50	%20	عوامل مناخية
2	ميكانيكي	الجدران الداخلية في البرج الشمالي الشرقي	20.9	%13	عوامل الصراع

4. قياس صلادة الحجر: جهازProceq Bambino

تم استخدام مطرقة الارتداد لقياس صلادة أسطح الأحجار (Proceq Bambino) بهدف تقييم تباينات صلادة السطح الحجري داخل منطقة الدراسة. وقد جرى تسجيل القيم المقاسة وتوثيقها في ملف الإكسل المرفق بعد الانتهاء من القياسات الحقلية. وتم اختيار منطقتين مُمثِّلتين لحالة الأحجار وتحديدهما على الواجهتين الشمالية الشكل (20) والشرقية للبرج الشكل (19).

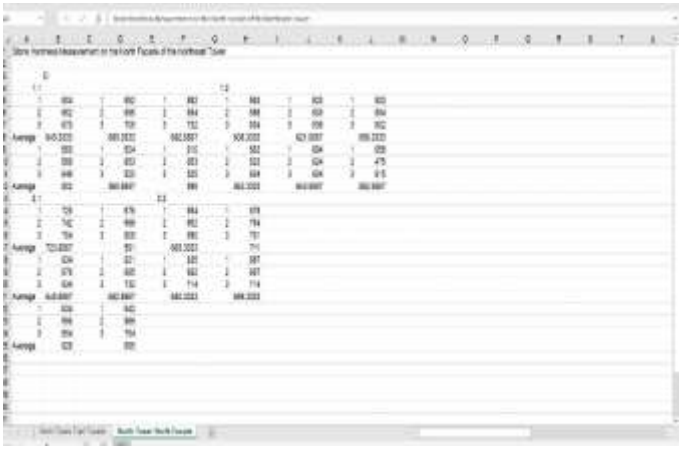
(أ)



(ب)

الشكل 19: الواجهة الشرقية للبرج الشمالي: (أ) مواقع قياسات صلابة الحجر؛ (ب) يوضح ملف.Excel

(أ)

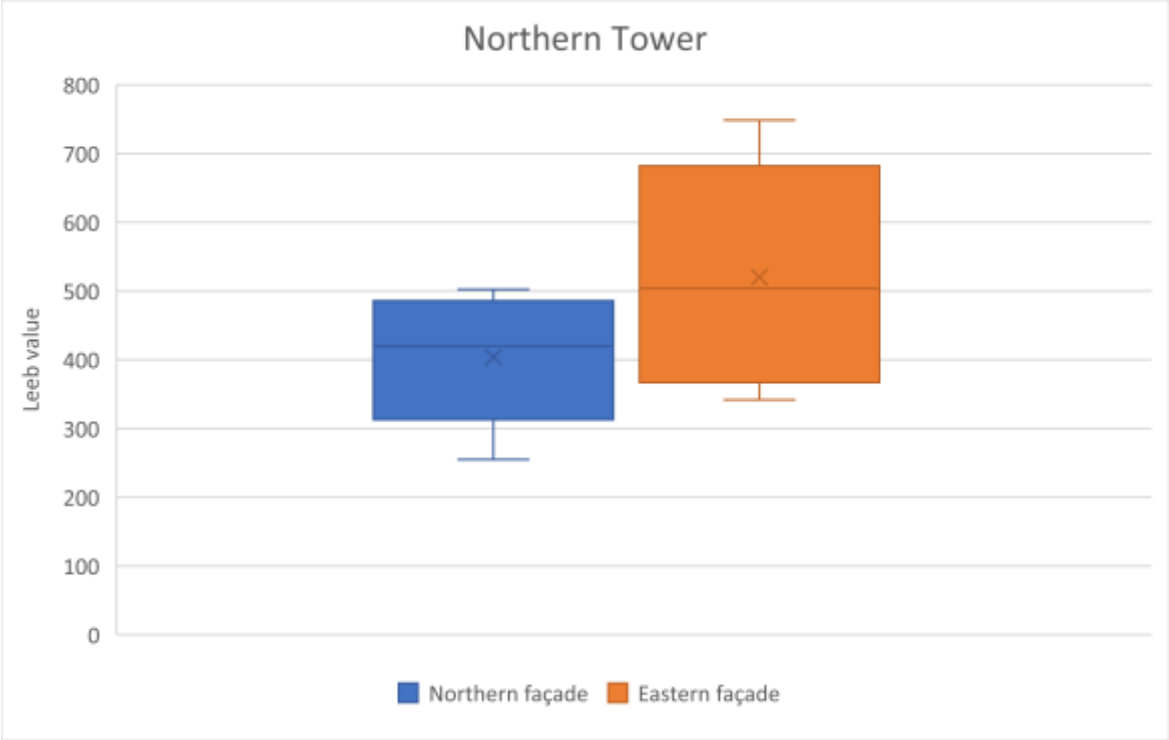


(ب)

الشكل 20 : الواجهة الشمالية للبرج الشمالي: (أ) مواقع قياسات صلابة الحجر؛ (ب) يوضح ملف.Excel

1.4 مقارنة الواجهة الشمالية بالواجهة الشرقية

لا توجد دلائل سياقية تشير إلى وجود اختلاف جوهري في نظام البناء الحجري المستخدم في إعادة تشييد البرج. ومع ذلك، تُظهر المقارنة المباشرة (الشكل 1 والجدول 1) أن المداميك الحجرية في الواجهة الشرقية أكثر صلادة في المتوسط؛ حيث بلغ متوسّط صلادة ليب 503.8 (n=270) على 16 كتلة حجرية(، مقارنةً بمتوسّط 420.05 في الواجهة الشمالية (n=240) على 12 كتلة .(وتُبيّن مجموعتا البيانات قدرًا متقاربًا من التباين العام، غير أن الواجهة الشرقية تُظهر مدى أوسع لقيم الصلادة، ما يدل على تباين أكبر في صلادة الكتل الحجرية الفردية داخل هذه الواجهة.

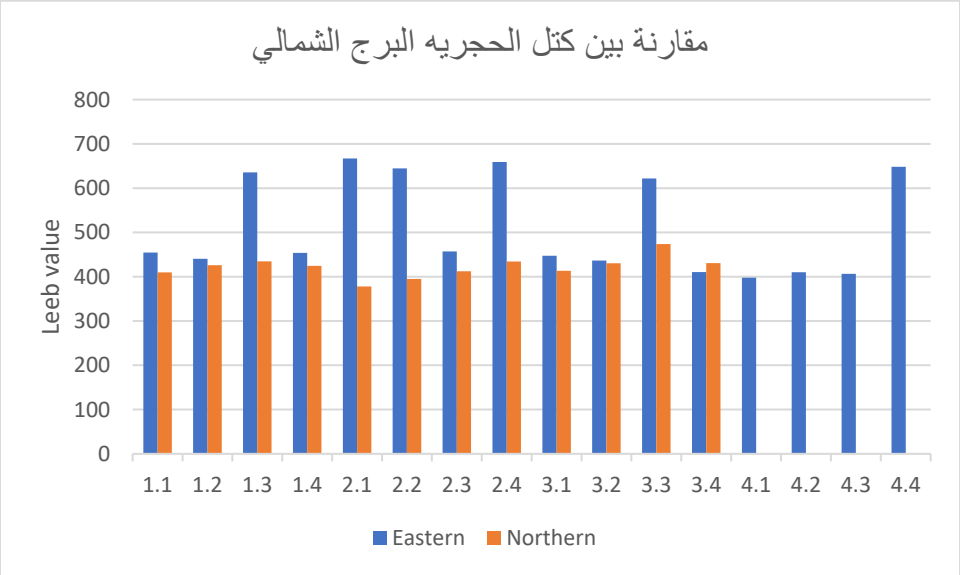


الشكل 21: مقارنة متوسط الواجهة الشمالية والشرقية والرباعيات والحد الأقصى لانتشار القياسات.

الجدول 6: القيم المحسوبة للواجهة الشمالية والشرقية

	الواجهة الشرقية	الواجهة الشمالية
الحد الأدنى	341.6667	254.6667
StDev -1	391.8743	371.0784
متوسّط	503.7778	420.0458
StDev+1	615.6813	469.0132
الحد الأقصى	748.3333	502.3333

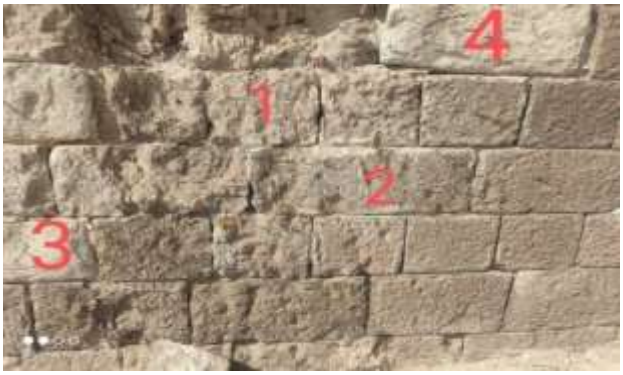
عند تقييم هذه الواجهات على مستوى الكتل الحجرية، يتبيّن أن ارتفاع متوسّط الصلادة في الواجهة الشرقية يعود بالفعل إلى بعض الكتل الفردية، ولا سيما الكتل 1.3، 2.1، 2.2، 2.4، 3.3 و4.4 (الشكل 22). وتتطابق هذه الكتل مباشرة مع نوع الحجر الأبيض جدًّا المستخدم في أعمال الترميم، والذي يتميّز عادةً بكثافة أعلى ومسامية أقل، ما يفسّر صلادته الأكبر ومقاومته الأعلى للتدهور مقارنةً بالأحجار المحيطة. ومن المرجّح أن تتدهور هذه الكتل بمعدّل أقل من بقية الأحجار، إلا أن اختلاف خصائصها الفيزيائية قد يؤثر في حركة الرطوبة داخل الجدار، سواء بعرقلة مرورها أو بإعادة توجيه مسارها نحو مناطق أضعف في المداميك الأصلية.



الشكل 22 : تقييم الكتلة الفردية للبرج الشمالي، مع الإشارة إلى قيم أعلى بشكل انتقائي للأعمال الحجرية ذات الألوان الفاتحة

5. قياس الرطوبة: جهاز Protimeter

أُجري أثناء المعاينة الميدانية للبرج الشمالي الشرقي في قلعة القاهرة اختبارٌ لقياس الرطوبة في واجهات البرج. وتحت إشراف المهندس بلال خلال فترة التدريب، استُخدم جهاز قياس الرطوبة Protimeter لتحديد مستويات نفاذ الرطوبة في المبنى، حيث شمل التدريب طريقة تشغيل الجهاز من خلال غرس الأقطاب في المادة، فتظهر القراءات على الشاشة مصحوبة بمؤشرات لونية (الأخضر = جاف، الأصفر = في منطقة الخطر، الأحمر = رطب). وتشير القراءات التي تقل عن 10 إلى سطح جاف، بينما تمثّل القيم بين 10–20 حالة مهددة بالرطوبة، في حين تدل القراءات التي تتجاوز 20 على مستويات رطوبة مرتفعة.



No.	Type of Stone	Moisture Level
1	Limestone	49
2	Limestone	30.4
3	Granite	24.1
4	Granite	18.9

الشكل 21: مقياس الرطوبة **Protimeter** للواجهة الشمالية

No.	Type of Stone	Moisture Level
1	Limestone	21.2
2	Granite	24.6
3	Limestone	19.8
4	Granite	12.4
5	Limestone	24.3
6	Granite	21.3

الشكل 22: مقياس الرطوبة **Protimeter** للواجهة الغربية

أظهر الفحص أن أحجار الجرانيت لا تتأثر بشكل كبير بالرطوبة، في حين أن أحجار الحجر الجيري أكثر قابلية للتأثر بها، لا سيما في الأجزاء السفلية القريبة من الأساسات. ولوحِظ أن الأحجار المجاورة للأساسات أكثر رطوبة من باقي الأحجار، مما يشير إلى تأثير ظاهرة الرطوبة الصاعدة وتراكم الرطوبة عند قاعدة الجدران. كما بيّنت النتائج أن الواجهتين الشمالية والغربية هما الأكثر تعرضًا للرطوبة مقارنة ببقية الواجهات، ويُرجَّح أن ذلك يعود إلى تعرّضهما المباشر للعوامل الجوية والاتجاهات السائدة للأمطار والرياح.

الاستنتاج

تخلص الدراسة إلى أن البرج الشمالي الشرقي في قلعة القاهرة يواجه حالة من التدهور الإنشائي المركّب الناتجة عن تداخل العوامل الميكانيكية المرتبطة بالنزاع مع العوامل الكيميائية والفيزيائية المرتبطة بالبيئة المحيطة. وقد أثبت التحليل الفوتوغرامتري والنمذجة ثلاثية الأبعاد أن الفجوات العميقة والشروخ الناتجة عن القصف المباشر في الواجهتين الشمالية والشرقية أخلّت بالتوازن الكتلي للجدران، ورفعت من معدلات نفاذية المياه، وسرّعت تآكل الوحدات الحجرية والملاط الرابط .

كشفت الاختبارات الفيزيائية عن تباينات حادة في استجابة المواد الإنشائية؛ إذ أظهرت أحجار الحجر الجيري والملاط التقليدي ضعفًا ملحوظًا أمام تأثير تبلور الأملاح مقارنةً بأحجار الجرانيت الصلبة، ما أدى إلى تدهور مواد الربط بفعل ارتفاع مستويات الرطوبة التي تجاوزت 20% في المناطق المتضررة، وفقدان التماسك بين الطبقات الداخلية والخارجية للجدران (طبقات اللياسة والدعامة). ويُفسّر ذلك تساقط طبقات اللياسة، وظهور الشروخ الرأسية العميقة في الفواصل والأسقف، وتدهور العتبات الخشبية بفعل العوامل البيولوجية والحشرية .

وتشير الدراسة إلى أن التغيرات المناخية، المتمثلة في التقلّبات الحادة في درجات الحرارة وتزايد حدة الأمطار الموسمية، ستسهم في تسريع الانهيارات الإنشائية في حال عدم التدخل الفوري؛ إذ سيؤدي استمرار تسرب المياه عبر الفجوات غير المعالجة إلى تضخيم الضغوط الهيدروليكية داخل الجدران وتفاقم تآكل المكونات العضوية، مما يضع البرج أمام خطر الانهيار الجزئي أو الكلي، ويستدعي تبنّي استراتيجية عاجلة للصيانة الوقائية .وعليه، فإن الحفاظ على هذا المعلم التاريخي يتطلّب منهجية متكاملة تبدأ بتدخّل إنشائي عاجل لمعالجة الفجوات، يتبعه إعداد خطة ترميم شاملة تستند إلى المعايير الدولية للحفظ ومبدأ توافق المواد. وتوصي الدراسة بمعالجة الجذور المسببة للرطوبة والأملاح، إلى جانب اعتماد نظام مراقبة مستمرة، لضمان استقرار البرج والحفاظ على أصالته التاريخية بوصفه تراثًا ثقافيًا للأجيال القادمة .

التوصيات

استنادًا إلى نتائج التقييم الميداني والتحليلين الإنشائي والمادي، تؤكد الدراسة ضرورة تنفيذ حزمة من التدخلات المتكاملة وفق أولويات واضحة للحد من مظاهر التدهور والحفاظ على القيم التاريخية والمعمارية للبرج. وتشير النتائج إلى أهمية البدء بالتدخلات العاجلة في الواجهتين الشمالية والشرقية والكورنيشات، من خلال معالجة الفجوات والشروخ مباشرةً بعد التنظيف الشامل، وحقنها أو ملئها بملاط ترميمي متوافق في خصائصه الفيزيائية والميكانيكية مع المواد الأصلية، بما يضمن السلامة الإنشائية ويحد من التدهور المتسارع. وتؤكد الدراسة ضرورة استخدام مواد ترميم متوافقة، خاصة الملاط، في جميع مراحل التدخل لتجنّب مشكلات عدم التلاؤم المادي على المدى البعيد التي قد تفاقم الأضرار، مع تدعيم الجدران الضعيفة في أجزاء المبنى المختلفة بطرق تحترم القيم التراثية وتلتزم بمبدأ الحد الأدنى من التدخل وقابلية العكس قدر الإمكان.

وتبيّن النتائج أن الرطوبة والأملاح من أهم عوامل تدهور مواد البناء، مما يفرض ضرورة تحديد مصادرها، خاصة في الأساسات والأسقف، لمعالجتها جذريًا؛ وذلك بإزالة الأملاح المتراكمة من الجدران المتضررة قبل إعادة اللياسة، وتحسين تصريف المياه، وتطبيق عزل مناسب للجدران الرطبة للحد من النفاذية وضمان استدامة المعالجات. أما العناصر الخشبية، فيوصى بإجراء تقييم شامل لحالة العتب، مع استبدال التالف منها بشدة وتدعيم المتأثر جزئيًا باستخدام مواد وتقنيات متوافقة مع خواص العناصر الأصلية، حفاظًا على السلامة الإنشائية والقيمة التاريخية. وتختتم الدراسة بالتوصية باعتماد برنامج مراقبة دورية مستمرة لكامل مكوّنات البرج لرصد تطوّر حالته الإنشائية والمادية، وتقييم فعالية التدخلات، وضمان استدامة أعمال الترميم على المدى الطويل.

References

1. Al-Jazeera. (2015). *Qal'at al-Qahira in Taiz: Tourism, art, and history*. https://www.aljazeera.net
2. General Authority for Antiquities and Museums, Taiz. (2023). *Reports and study on Cairo Citadel*. Taiz.
3. General Authority for Antiquities and Museums. (2025). *Authority resumes restoration and maintenance of Cairo Citadel after World Heritage listing* (as cited in Bran Press).
4. Heritage for Peace. (2023). *Field report: Documentation and damage assessment of Cairo Citadel in Taiz*.
5. Jasim, M. A. R. (2020). Some landmarks and plans of Taiz city during the Rasulid and Tahirid era. *Journal of Yemeni Studies*, Sana'a.
6. National Information Center. (n.d.). *Cairo Citadel in Taiz: Its history and architectural importance*.
7. Shwateh Press. (2014). Cairo Citadel in Taiz.
8. UNDP/UNESCO/ICOMOS. (n.d.). *Guiding principles for cultural heritage conservation*.
9. Voices for Green. (2024). *Taiz and climate: From drought to floods*.

المشروع 3.

أثر التغير المناخي على استقرار البرج الغربي : قلعة القاهرة، تعز

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم حالة الأحجار في البرج الغربي وتحديد العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في استقراره، من خلال اعتماد منهج بحثي متكامل يجمع بين التقييم الميداني والتحليل الرقمي. وقد أُجريت زيارات ميدانية منظّمة شملت توثيق مظاهر التدهور باستخدام استمارة تقييم أُعدّت لتحليل الحالة الراهنة، كما تم إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد عالي الدقة للبرج باستخدام برنامج Agisoft Metashape اعتمادًا على صور جوية ملتقطة بالطائرات المسيّرة، في حين استُخدم برنامج AutoCAD لإعداد الرسومات التنفيذية التفصيلية، وتحديد مواقع الشروخ وأنماط التدهور وأنواع الأحجار.

ولتعزيز تحليل المواد، نُفّذت قياسات للرطوبة السطحية باستخدام جهاز Protimeter، إلى جانب اختبارات صلادة السطح باستخدام جهاز Proceq Bambino على واجهات البرج المختلفة، بهدف تقييم أثر العوامل المناخية في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمواد الأحجار. وتسهم نتائج هذه الدراسة في فهم آليات التدهور التي يتعرض لها البرج، وتوفير أساس علمي يدعم قرارات التدخل وأعمال الحفظ لهذا المعلم التراثي في ظل ظروف بيئية ونزاعية معقّدة.

1. المقدمة

تُعدّ قلعة القاهرة أحد أبرز المعالم التاريخية في مدينة تعز، وتمثّل قيمة معمارية وثقافية استثنائية، إذ تجسّد نموذجًا معماريًا دفاعيًا يعكس الطبقات الزمنية المتعدّدة التي مرّت بها المدينة، نتيجة التعديلات والإضافات التي شهدتها خلال العصور الأيوبية والرسولية والعثمانية، إلى جانب ما تتسم به من تنوّع في المواد الحجرية، وأنواع الملاط، والتراكيب المعمارية[1]. وقد أدّت هذه الخصائص إلى تباين في السلوك الإنشائي لعناصر القلعة عبر الزمن، ولا سيما في الأجزاء المعرّضة مباشرةً للعوامل البيئية.

يُعد البرج الغربي أحد العناصر الدفاعية في قلعة القاهرة، إذ استُخدم تاريخيًا برجًا للمراقبة والدفاع بفضل موقعه الاستراتيجي المشرف على الجهة الغربية من القلعة؛ ويتكوّن البرج من طابقين، خُصّص الطابق الأرضي غرفةً ومخزنًا، بينما يضم الطابق العلوي غرفة واحدة، وتمتاز جدرانه بسُمْك كبير يعكس الطابع الدفاعي للبرج. ومع تحوّل الوظيفة الدفاعية للقلعة في الوقت الراهن، يُستغل البرج الغربي لأغراض ثقافية تُقام فيه معارض تراثية، غير أنّه تعرّض خلال العقود الأخيرة لتدهور متسارع ناتج عن عاملين رئيسين متداخلين: النزاع المسلّح والتغير المناخي. وتشير التقارير والدراسات الصادرة عن مكتب الآثار في مدينة تعز إلى أن نحو 70% من حجم التدهور الراهن في البرج الغربي يعود إلى الآثار المباشرة للنزاع، بما في ذلك القصف والانفجارات التي أدّت إلى تفكك أجزاء من الواجهات، وانهيار بعض الزوايا، وظهور شروخ إنشائية عميقة أثّرت مباشرة في سلامة الهيكل، في حين تُظهر الدراسات أن قرابة 30% من مظاهر التدهور ناتجة عن العوامل المناخية التي أسهمت في تسريع وتيرة التدهور الإنشائي والبيئي.

تُبيّن الأبحاث المرتبطة بالمباني التاريخية المشيَّدة على المنحدرات الصخرية أن هذه المواقع تُعد من أكثر النظم الإنشائية هشاشة، وتتأثر مباشرةً بالأمطار المفاجئة التي تؤدي إلى تليين طبقات التربة، وحدوث انزلاقات صخرية دقيقة، وإضعاف الأساسات، إضافةً إلى تسريع عمليات التآكل وفقدان الكتل الحجرية بفعل التغيرات الحرارية واتجاهات الرياح[3]. وتتفاقم هذه التأثيرات في البيئات الجبلية مثل مدينة تعز التي تشهد تذبذبات حرارية واضحة بين الليل والنهار، إلى جانب أنماط مطرية غير منتظمة، مما يبرز أهمية الحفاظ المعماري بوصفه أداة أساسية لإطالة عمر المباني التراثية وحمايتها من التدهور الناجم عن العوامل الطبيعية والبشرية مع ضمان استمرارية قيمها التاريخية والثقافية ودورها المجتمعي.[5]

وعلى مستوى مدينة تعز، أدّت تقلبات المناخ إلى تعرية التربة وتكرار الانهيارات الصخرية، مما يشكّل تهديدًا مباشرًا للمعالم التاريخية المشيَّدة في مواضع مرتفعة، وفي مقدمتها قلعة القاهرة. كما أسهم اضطراب أنماط هطول الأمطار وارتفاع معدلات الرطوبة وتغيّر مستويات المياه الجوفية في زيادة امتصاص الأحجار للمياه وتبلور الأملاح في مسامها، وهو ما قاد إلى تفتت سطوحها، وتقشّر الطبقات الحجرية، وفقدان جزء من قيمتها الدلالية والثقافية[6]. وتتجلّى آثار هذه العوامل المناخية بوضوح في البرج الغربي، حيث يؤدّي تشبّع الصخور بالمياه خلال المواسم المطرية، يعقبه الجفاف المتكرّر، إلى دورات متعاقبة من التمدد والانكماش في المواد الحجرية، ما يسرّع تشكّل الشروخ وتفكك الكتل الإنشائية، خصوصًا عند نقاط التقاء المواد غير المتجانسة. وقد فاقم غياب الصيانة الوقائية وأعمال الترميم الدورية من هذه الآثار، وجعل البرج أكثر عرضةً لمخاطر عدم الاستقرار الإنشائي وفقدان قيمته المعمارية والتاريخية.[7]

وعليه، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الحالة الراهنة للبرج الغربي في قلعة القاهرة من خلال منهج متكامل يجمع بين التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد، والمعاينة الميدانية، والتحليل الإنشائي، والاختبارات الفيزيائية للأحجار، بغية تحديد مصادر الضعف الإنشائي الناتجة عن تداخل تأثيرات النزاع والتغير المناخي، واقتراح حلول عملية تسهم في حفظ البرج وتعزيز استقراره الإنشائي في المستقبل.

وفي عام 2023 اتخذت الجهة المختصة إجراءً وقائيًا مؤقتًا لتدعيم البرج الغربي بعد ظهور مؤشرات واضحة على ضعف إنشائي وخشية من انهياره وتأثيره المحتمل على الزوّار والسكان المقيمين أسفل القلعة؛ إذ تمثّلت هذه المعالجات المؤقتة في تنفيذ أعمال تدعيم خارجي باستخدام دعامات معدنية لتثبيت الكتل المتضرّرة وتأمينها كحل طارئ يستهدف الحد المباشر من المخاطر إلى حين توفّر الدعم اللازم لتنفيذ أعمال الترميم الشامل.

2. المنهجيه

تعتمد هذه الدراسة على تصميم بحثي متعدد الأساليب لدراسة أسباب التغير المناخي والصراع على قلعة القاهرة حيث تم اختيار البرج الغربي كحالة دراسية نظرا لما شهده من أضرار واضحة خلال السنوات الأخيرة.

تعرض البرج الغربي لتدهور نتيجة غياب اعمال الصيانة منذ اندلاع الصراع المسلح, إضافة الى التأثيرات المناخية المستمرة من 2015 وحتى الوقت الراهن. وانطلاقا من ذلك, تقوم الدراسة على التحليل الميداني للحالة الانشائية للبرج, مدعوما بأعمال التوثيق البصري والقياسي, الى جانب استخدام الاستبيان المعد من قبل الدكتورة ليزا كأداة تقييم منهجية, بهدف دعم عملية التقييم وفهم أبعاد المشكلة من الجوانب المختلفة. وفي الجانب التوثيقي والتحليلي تم الاستعانة ببرنامج Agisoft Metashape لإنشاء نموذج ثلاثي الابعاد للبرج الغربي اعتمادا على معالجة الصور, بينما استخدم برنامج AutoCAD لإعداد الرسومات ثنائية الابعاد التفصيلية, مما أسهم في تسهيل رصد المشكلات الإنشائية وتحديد مواقع التصدعات والتدهور بدقة أكبر.

بالإضافة الى اجراء اختبارات فيزيائية على احجار الواجهة , شملت قياس صلابة الأحجار باستخدام جهاز Proceq Bambino, إضافة الى اختبار قياس الرطوبة وذلك لتقييم تأثير العوامل البيئية على البرج الغربي.

3. التحليل والنتائج

يتناول هذا الفصل عرض وتحليل النتائج المستخلصة من العمل الميداني والتوثيقي والاختبارات الفيزيائية التي أجريت على البرج الغربي ، بهدف دراسة حالة الأحجار للبرج الغربي وفهم طبيعة العوامل المؤثرة عليها.

الشكل 1: صورة جوية للموقع العام لقلعة القاهرة، تظهر منطقة دراسة البرج الغربي محاطة بدائرة حمراء.

1.3 الزيارة الميدانية والمعاينة البصرية

شملت المرحلة الأولى تنفيذ زيارة ميدانية إلى البرج الغربي لإجراء مسح بصري شامل لحالته الإنشائية؛ حيث جرى توثيق البرج من الداخل والخارج، وفُحصت الواجهات الثلاث (الغربية، والشمالية، والجنوبية) وتم توثيقها. وأظهر الفحص أن سُمْك الجدار يقارب 0.90 م، وهو ما يعكس الطابع الدفاعي للبرج. كما بيّنت القياسات الميدانية أن ارتفاع الواجهة الغربية يبلغ نحو 12 م بعرض يقارب 8.20 م، في حين يبلغ ارتفاع الواجهة الشمالية حوالي 10.30 م بعرض 4.25 م، وارتفاع الواجهة الجنوبية نحو 10.70 م بعرض يقارب 5.80 م. وتركّزت المعاينة على رصد مظاهر التدهور الإنشائي الظاهرة.
وأظهرت نتائج الفحص البصري وجود تباين في درجة التدهور بين الواجهات الثلاث؛ إذ تُعد الواجهتان الجنوبية والغربية الأكثر تضررًا بسبب التهدم الجزئي في أجزائهما العلوية، والمتمثل في فقدان أجزاء حجرية إلى جانب شروخ واضحة كما هو موضّح في الشكلين (3، 4)، في حين تُعد الواجهة الشمالية أقل تضررًا؛ حيث لوحظ انهيار التاج المسنن في أعلى الواجهة الجنوبية مع ظهور تشققات في الواجهة، كما هو موضّح في الشكل (3).

الشكل 2: يوضح الواجهة الشمالية(2025)

(2025) الشكل 3: يوضح الواجهة الجنوبية

الشكل 4: يوضح الواجهة الغربية(2025)

2.3 نتائج الاستبيان

تم الاعتماد باستخدام الاستبيان الذي أرسلته الدكتورة ليزا لتقييم استقرار الأحجار على مقياس تدريجي من (0–5) لقياس درجة مؤشرات التدهور الظاهرة في البرج. ويشمل هذا التقييم معايير محددة لحالة الأحجار، مثل صلادة السطح، الشروخ، التصفح الطبقي، التقشّر، الأضرار السابقة، وقابلية الخدش. وتُدرَس كل خاصية وفق مقياس تدريجي من 0 إلى 5، حيث يمثّل المستوى 0 عدم وجود تلف، بينما يمثّل المستوى 5 أقصى مراحل التدهور، مثل إمكان خدش الحجر بالظفر أو بالعملة أو بأداة حادة لتقدير مستوى التماسك الفيزيائي.

وأظهرت نتائج استمارة التحليل الميداني للحالة الإنشائية للبرج الغربي غيابَ مظاهر التصلّب السطحي في مواد الأحجار، كما هو موضح في الشكل (5)، إذ سجّل هذا المؤشر قيمة (0)، بما يدل على تعرّض العناصر الإنشائية والطبيعية مباشرةً للعوامل البيئية من دون وجود طبقات حماية سطحية. كما يبيّن الشكل (5) في صورة مقرّبة أن النتائج تشير إلى وجود شروخ في الأحجار؛ إذ سجّل البرج الغربي مستوى متوسطًا من التشقق بقيمة (3)، ويرجّح ارتباط ذلك بالأحمال الإنشائية وتأثير الرطوبة المتراكمة داخل الكتل الحجرية.

وأظهرت نتائج الاستبيان أيضًا غيابَ مستويات التصفح الطبقي في الحجر المستخدم في البرج (0)، بما يدلّ على عدم وجود انفصال واضح على طول مستويات التطبق الجيولوجي، إلى جانب عدم رصد مظاهر تقشّر في حجر البرج (0). كما لم تُسجَّل أي دلائل على أضرار سابقة ناتجة عن الحريق أو الكتابات الجدارية (الغرافيتي) أو تدخّلات بشرية في الموقع.

وفيما يتعلق بمقاومة المادة، تبيّن خلال الزيارة الميدانية أن الحجر لا يمكن خدشه بالظفر أو بالعملة، في حين يمكن خدشه بأداة حادة مثل السكين؛ وهو ما يشير إلى درجة متوسطة من تماسك الحجر مع قابليته للتأثر بالعوامل البيئية والميكانيكية على المدى الطويل.

الشكل 5: تظهر الصور واجهات البرج بدقة عالية، موضحة حالة الحجارة، 2025.

3.3 النمذجة ثنائية وثلاثية الأبعاد: التوثيق والتحليل الإنشائي والفني

تم إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للبرج باستخدام تقنيات الفوتوغرامتري، من خلال معالجة مجموعة من الصور الجوية الملتقطة بواسطة طائرة مسيّرة. وقد جرى توليد النموذج اعتمادًا على 120 صورة رقمية، كما هو موضَّح في الشكل (6)، واستُخدم برنامج Agisoft Metashape لإنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق للبرج.

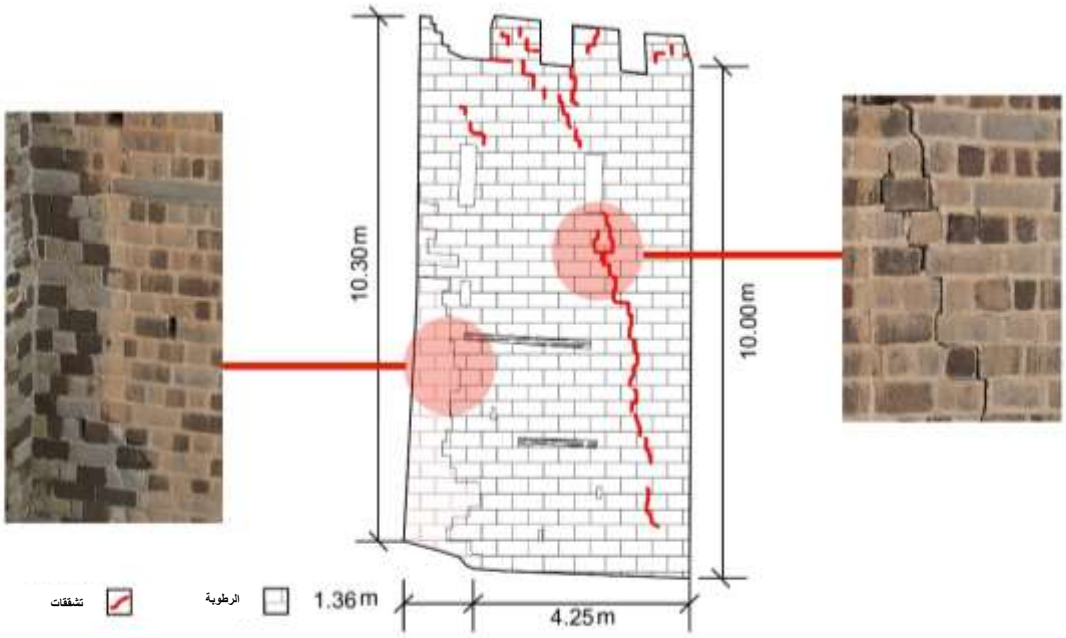
الشكل 6: الصور الملتقطة بواسطة طائرة بدون طيار، عام 2025.

تم تنفيذ سير العمل في أربع مراحل رئيسية: محاذاة الصور، وتوليد السحابة النقطية الكثيفة، بناء النموذج الشبكي والتنميط ، ثم (Texturing) الخامات بالصور .وأسفرت هذه المراحل عن تكوين نموذج ثلاثي الأبعاد واضح، كما هو موضَّح في الشكل (7)، مما أسهم في تسهيل عملية التحليل الإنشائي والفني وتقييم الحالة الإنشائية بدقة عالية. وقد أتاح النموذج توثيقًا دقيقًا للحالة الراهنة للبرج، وتحليل الأضرار والعيوب الإنشائية، ورصد مظاهر تدهور مادة الحجر، وتحديد مواقع تآكل الأحجار، ودعم التقييم الفني لمستويات الخطورة ودرجة الاستقرار الإنشائي.

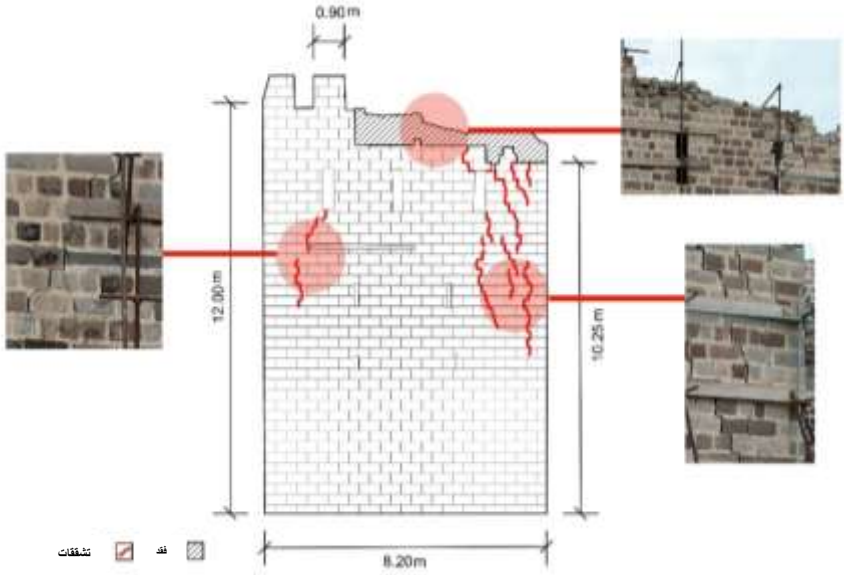
الشكل 7: يوضح مخرج النموذج ثلاثي الأبعاد للبرج الغربي باستخدام برنامج.Agisoft Metashape

استنادًا إلى مخرجات النموذج ثلاثي الأبعاد، جرى استيراد صور الطائرة المسيّرة عالية الوضوح إلى برنامج AutoCAD لإعداد رسومات تنفيذية دقيقة لكل واجهة، كما هو موضَّح في الأشكال (8–9–10)، تُبيّن تفاصيل البرج، ومواقع الشروخ، ومناطق التآكل، وانفصال الطبقات، لتُستخدم مرجعًا أساسيًا لأعمال الترميم وتوثيق الحالة الراهنة للاستقرار الإنشائي وحالة الأحجار في البرج .

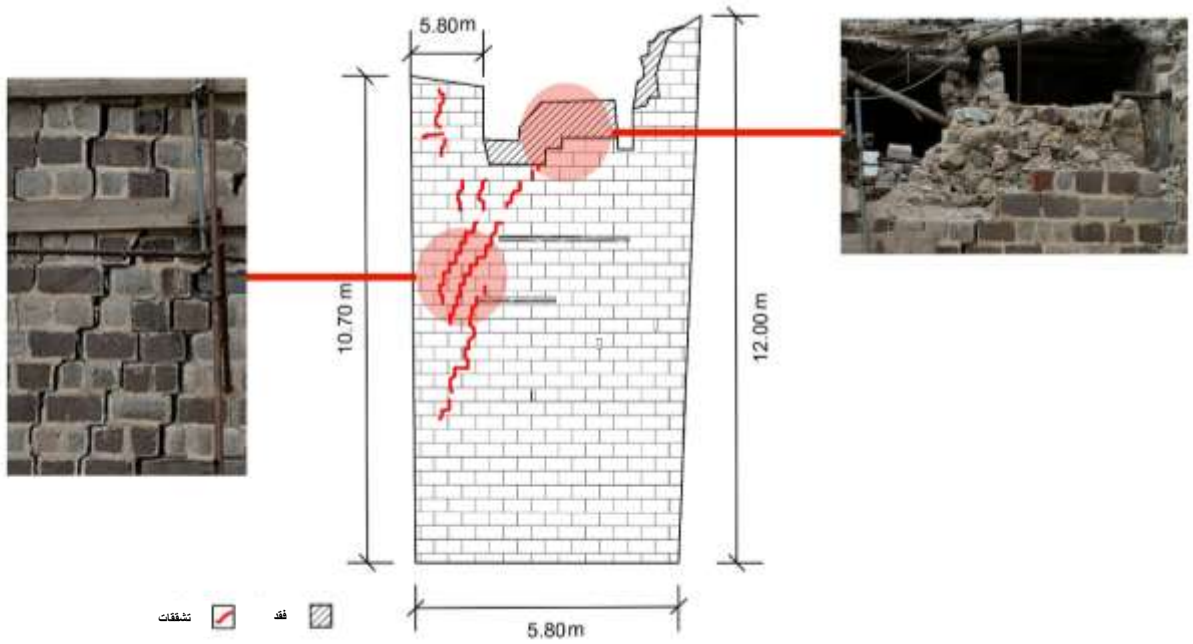
وبالاستناد إلى مخرجات التوثيق ثلاثي الأبعاد ورسومات الواجهات، أُجري تحليل إنشائي وفني للبرج كشف عن تغاير واضح في مواد البناء المستخدمة، يُعزى إلى تعدّد المراحل التاريخية للبناء والتدخلات المتعاقبة عبر الزمن؛ وقد انعكس ذلك في استخدام أحجار تختلف في خصائصها الفيزيائية من حيث الصلادة ومعدل الامتصاص. كما لوحظت شروخ رأسية وأفقية، وتآكل في الملاط، وضعف في مادة الربط، إلى جانب تدهور جزئي في الجزء العلوي من البرج نتيجة آثار النزاع، كما هو موضَّح في الأشكال(10–9–8) .



الشكل 8: يوضح الواجهة الشمالية للبرج الغربي



الشكل 9: يوضح الواجهة الغربية للبرج الغربي



الشكل 10: يوضح الواجهة الجنوبية للبرج

4.3 الخصائص الفيزيائية لأحجار البرج الغربي

شملت هذه المرحلة فحص الخصائص الفيزيائية للأحجار المكوّنة للبرج الغربي، وذلك عبر تنفيذ نوعين من الاختبارات الحقلية. جرى اختيار مواقع القياس على الواجهات الثلاث (الشمالية، والغربية، والجنوبية) في مناطق محددة قرب قاعدة البرج، استنادًا إلى الملاحظات الميدانية الأولية التي أظهرت تآكلًا في أسطح الأحجار بتلك المواضع. وقد أكّد مهندس إنشائي مختص من مكتب الآثار أن قرب الأحجار من الأساسات يجعلها أكثر عرضة لتراكم الرطوبة بفعل تسرّب مياه الأمطار، كما هو موضّح في الشكل (14)، إضافةً إلى وجود غطاء نباتي ضار يؤثر في الاستقرار الإنشائي، كما يظهر في الشكلين.(15–16)

واستكمالًا لهذا التحليل، أُجريت دراسة لأنواع الأحجار المستخدمة في الواجهات؛ حيث رُسمت واجهات البرج مع تحديد نوع كل حجر. وتبيّن أن البرج يتكوّن من أحجار من الحجر الجيري وأخرى من الجرانيت، كما هو موضّح في الشكل (11)، وأن نسبة الأحجار الجرانيتية المستخدمة في واجهات البرج الغربي أكبر مقارنةً بأحجار الحجر الجيري.

الشكل 11: يوضح أنواع الحجارة المستخدمة في واجهات البرج الغربي

1.4.3 أثر تغيّر المناخ وأضرار النزاع على البرج الغربي داخليًا وخارجيًا

لوحِظ أيضًا غياب التهوية الكافية داخل البرج، إذ يقتصر الاعتماد على المزاغل، ورغم أن هذه المزاغل أدّت في الماضي وظيفة عسكرية، فإنها لا توفّر تهوية مناسبة، مما ينعكس سلبًا على البيئة الداخلية للبرج. وقد أسهم ضعف التهوية في تراكم الرطوبة داخليًا، الأمر الذي أدّى إلى انفصال طبقات اللياسة عن الجدار كما هو موضح في الشكل (12)، وتفكك طبقة اللياسة في الأسقف، وتعفّن الأخشاب نتيجة الرطوبة الناجمة عن تسرب مياه الأمطار إلى داخل المبنى، وما ترتّب على ذلك من تآكلها كما يظهر في الشكل.(13)

الشكل 12: يوضح الأضرار التي لحقت بالجدران الداخلية للبرج، 2025

الشكل 13: يوضح الأضرار التي لحقت بالسقف الداخلي للبرج، 2025

يوضّح تحليل الأضرار أن انفصال الجدران في البرج نتيجة القصف المباشر بقذائف المدفعية والاهتزازات الناجمة عن الصواريخ يمثّل ضررًا رئيسيًا أوليًا يُقدَّر بنحو 60–70% من إجمالي الأثر. وتُضعِف هذه الضربات العناصر الإنشائية وتُحدث شروخًا وفجوات تسمح بتسرّب مياه الأمطار إلى داخل الجدران، ما يسهم لاحقًا في زيادة حجم الضرر بنسبة 30–40% عبر تآكل المواد، وتفاقم الانفصال، ونمو العفن، خاصة في ظل غياب أعمال الترميم السريعة. ومن المتوقَّع أن يزداد هذا الإسهام إذا ارتفعت معدلات هطول الأمطار مستقبلًا، الأمر الذي قد يفضي إلى انهيار البرج. كما تُسجَّل درجات متفاوتة من شدة التآكل في مبنى البرج الغربي، وقد وُضع مقياس تدريجي كما هو موضَّح في الجدول (1) يُستخدم لتقييم درجة التآكل في الأحجار مع توضيح نوع التآكل المصاحب لكل درجة.

الجدول (1): يوضح الجدول تقييم نوع ودرجة التآكل في الحجارة

الصورة	نوع التآكل	درجة التآكل	الملاحضات او الأسباب
	تآكل ميكانيكي (بسبب القصف المباشر)	10/8	تهشم الأحجار وتفتتها بفعل القصف المباشر
	تآكل كيميائي (بسبب الرطوبة والاملاح)	10/7	تفكك وتآكل سطحي للاحجار نتيجة تعرضها المستمر للرطوبة والاملاح

2.4.3 اختبار الرطوبة(Protimeter)

تم قياس مستويات الرطوبة السطحية للأحجار باستخدام جهاز Protimeter على الواجهات الثلاث (الشمالية، والجنوبية، والغربية) بهدف تقييم مدى تأثّر الأحجار بالرطوبة. وتعتمد القيم المعتمدة في تفسير نتائج القياس على المعايير الفنية لمكتب آثار تعز، حيث تشير قراءات الجهاز التي تقل عن (10) إلى سطح جاف، وتمثل القيم بين (10–20) تعرّضًا للرطوبة، بينما تدل القراءات التي تتجاوز (20) على وجود رطوبة عالية. كما أظهر التحليل غياب نظام تصريف فعّال، مما أدى إلى تراكم الرطوبة في الأحجار، وتُظهر الأشكال (14–15) مواقع مسارات الرطوبة في الأجزاء العلوية من الواجهات.

الشكل 14: تظهر الصورة الحجارة المحددة باللون الأحمر لمسارات الرطوبة على الواجهة الغربية.

الشكل15: تظهر الصورة الحجارة المحددة باللون الأحمر لمسارات الرطوبة على الواجهة الشمالية.

<u>الواجهة الشمالية</u>

أظهرت القياسات على الواجهة الشمالية تسجيل قيم رطوبة مرتفعة في معظم نقاط الفحص؛ إذ بلغت أعلى قراءة (52) في الحجر الجيري، تلتها قراءات مرتفعة أخرى في أحجار جيرية عند (45 و45.5)، وهي قيم تدل وفق المعايير المعتمدة على رطوبة عالية جدًا. كما سُجّلت قراءة (35) في أحد مواضع الحجر الجرانيتي، ما يشير أيضًا إلى تعرّضه لمستوى مرتفع من الرطوبة، في حين تراوحت قراءات بعض أحجار الجرانيت بين (12.8–16.6) ضمن نطاق الرطوبة المتوسطة، وسجّل الحجر الجيري قراءة (13.4) دالّة على رطوبة متوسطة. وتعكس هذه النتائج قدرة أعلى لأحجار الحجر الجيري على امتصاص الرطوبة مقارنةً بأحجار الجرانيت، نظرًا لارتفاع مساميتها وقابليتها الأكبر لتشبع الماء.

إضافةً إلى ذلك، فإن محدودية تعرّض الواجهة الشمالية لأشعة الشمس تُضعِف عمليات التجفيف الطبيعية، مما يؤدي إلى احتفاظ الحجر بالرطوبة لفترات طويلة، وهو ما يزيد احتمالية تدهور الخصائص الميكانيكية للأحجار وتراجع مقاومتها مع مرور الزمن.

Number	Stone type	Humidity level
1	limestone	52
2	Granite stone	35
3	limestone	45
4	limestone	45.5
5	Granite stone	12.8
6	Granite stone	16.6
7	limestone	13.4

الشكل 16: مقياس الرطوبة Protimeter للواجهة الشمالية

الواجهة الغربية

Number	Stone type	Humidity level
1	Granite stone	21.7
2	limestone	24.6
3	Granite stone	12.8
4	limestone	25.4

الشكل 17: مقياس الرطوبة Protimeter للواجهة الغربية

أظهرت نتائج القياسات على الواجهة الغربية تباينًا في مستويات الرطوبة بين أنواع الأحجار؛ حيث سجّل الحجر الجيري قراءات مرتفعة بلغت (24.6 و25.4)، وهي قيم تدلّ على رطوبة عالية. في المقابل، أظهرت أحجار الجرانيت قراءات متباينة تراوحت بين (12.8–21.7)، ما يشير إلى نطاق يتدرج من رطوبة متوسطة إلى عالية. ويُعزى هذا التباين إلى تعرّض الواجهة الغربية لتقلبات مناخية متكرّرة، تؤدي إلى تمدّد الأحجار وانكماشها مع تغيّر درجات الحرارة والرطوبة، وهو ما يسرّع من عمليات التدهور في المواد الحجرية بمرور الوقت.

الواجهة الجنوبية

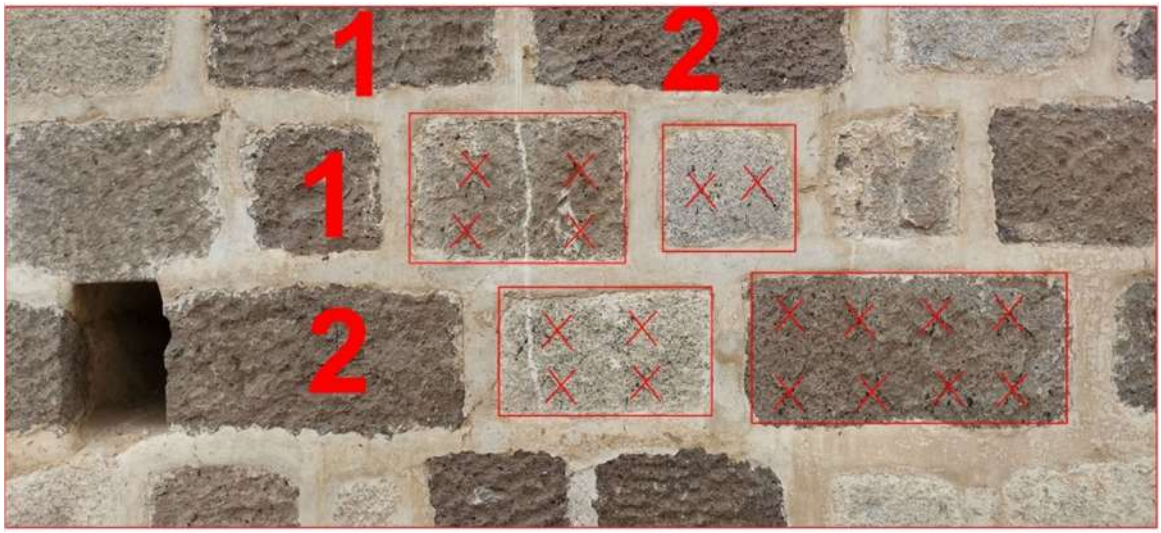
Number	Stone type	Humidity level
1	Granite stone	12
2	limestone	27
3	limestone	31

الشكل 18: مقياس الرطوبة البروتيميتر للواجهة الغربية

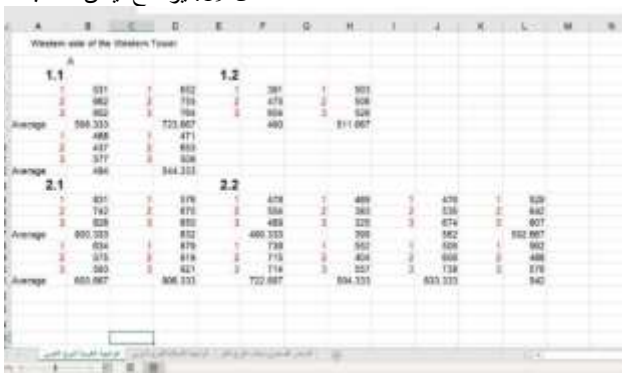
أظهرت نتائج اختبار الرطوبة على الواجهة الجنوبية قراءة منخفضة نسبيًا في الحجر الجرانيتـي بلغت (12)، ما يشير إلى مستوى رطوبة متوسطة. في المقابل، سجّل الحجر الجيري قراءات مرتفعة وصلت إلى (27 و31)، وهي قيم تدلّ على وجود رطوبة عالية داخل الأحجار.
وعلى الرغم من أن الواجهة الجنوبية تتعرّض لأشعة الشمس لفترات أطول مقارنةً بالواجهة الشمالية، الأمر الذي يساهم في خفض مستويات الرطوبة السطحية، فإن نتائج القياس تؤكد استمرار تأثير الرطوبة في أحجار الحجر الجيري، ولا سيما في ظل ارتفاع معدلات هطول الأمطار وزيادة رطوبة الجو المرتبطة بالتغير المناخي.

3.4.3 اختبار صلابة السطح(Proceq Bambino)

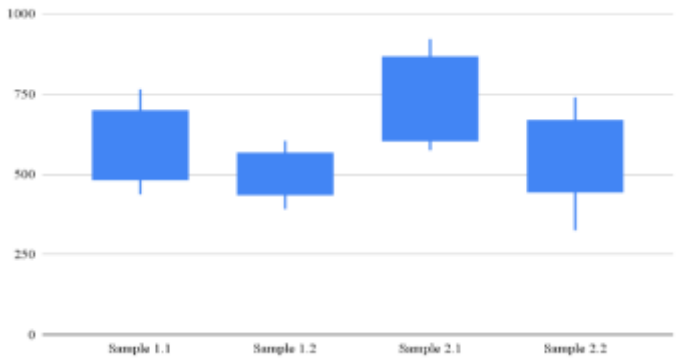
تم اختيار نقطتين (أ، ب) لاختبار صلابة الصخور، حيث تم اختيار النقطة أ من الواجهة الغربية والنقطة ب من الواجهة الغربية.



الشكل 19: يوضح قياس صلابة الحجر في البرج الغربي، الواجهة الغربية (أ)

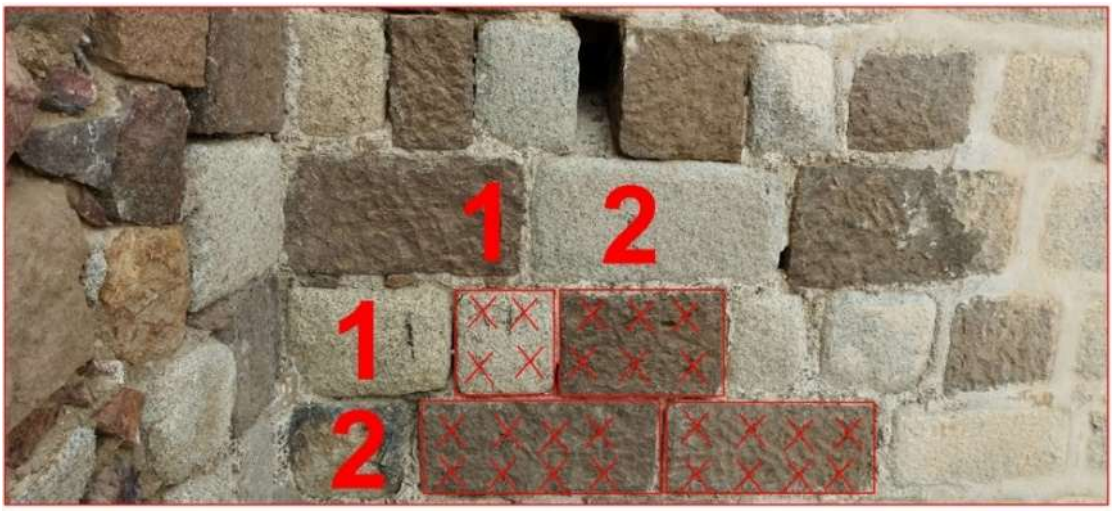


الشكل 20: يوضح قيم قياس الاختبار على الواجهة الغربية أ

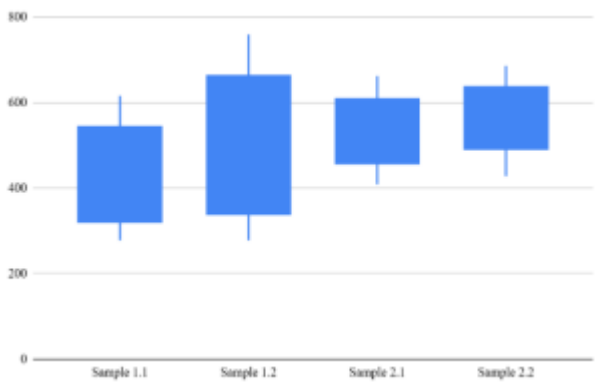


الشكل 21: يوضح نتائج الاختبار على الواجهة الغربية أ

أظهر تحليل هذا الجزء من البيانات أن العيّنتين 1.1 و2.2 تُعدّان في حالة جيدة نسبيًا، مع ملاحظة أن العينة 2.2 تُظهر تباينًا أكبر يميل نحو القيم المنخفضة، وهو ما قد يشير إلى بداية تدهور في خصائص الحجر في بعض المواضع، أي إن البنية الحجرية لم تعد متماسكة بالكامل كما كانت من قبل، ويظهر ذلك في النتائج على شكل اتجاه نزولي لبعض قيم الصلادة. أمّا نتائج العينة 2.1 فتُظهر قدرتها على تحمّل عوامل التجوية أكثر من غيرها، إذ ظلّت خصائصها (مثل التماسك/الصلادة أو مؤشرات المتانة المستخدمة في الاختبار) أعلى أو أقل تأثرًا، ما يدل على مقاومة أفضل للتدهور في هذه المواضع مقارنةً ببقية العينات.



الشكل 22: يوضح قياس صلابة الحجر في البرج الغربي، الواجهة الشمالية (ب)

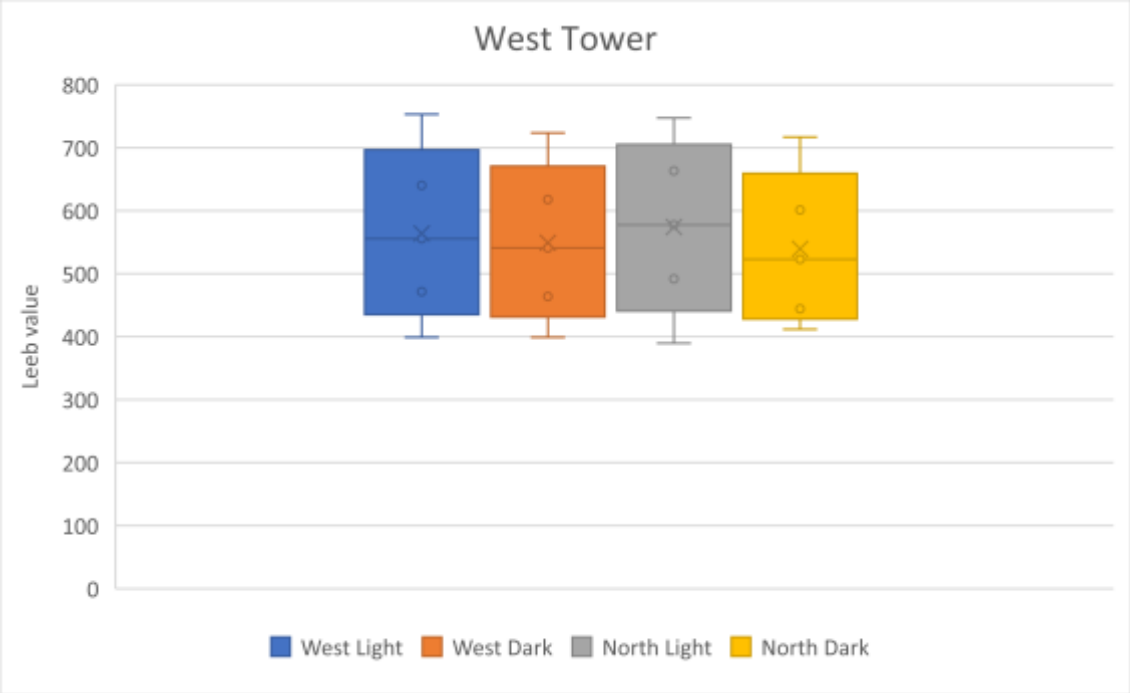


الشكل 24: يوضح نتائج الاختبار على الواجهة الشمالية ب

الشكل 23: يوضح قيم قياس الاختبار على الواجهة الشمالية ب

تُظهر قياسات الصلادة أن أحجار الجدار الشمالي تسجّل انخفاضًا نسبيًا في القيم بنسبة 15% تقريبًا (متوسط ليب 595.4 في الواجهة الغربية مقابل 507.9 في الواجهة الشمالية)، وهو ما يشير إلى احتمالية تدهور متسارع نتيجة ارتفاع مستويات الرطوبة في تلك المنطقة.

لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية بين الأحجار المستخدمة في الواجهة الشمالية والواجهة الغربية للبرج الغربي، كما يتضح في الشكل (25) والجدول (2). ويُرجَّح أن السبب في ذلك هو أن الكتل التي جرى اختيارها للقياس هي جميعًا كتل إحلال جديدة لم تتعرض بعدُ لعمليات التدهور مع الزمن، ولم تتأثر بأضرار النزاع. وتبدو جميع الكتل في حالة سليمة دون اختلاف ملحوظ بينها من حيث اللون، كما هو موضَّح في الشكل.(26)



الشكل 25: مقارنة بين الكتل الحجرية ذات الألوان الفاتحة والكتل الحجرية ذات الألوان الداكنة، مقسمة حسب الواجهة

الجدول 2: القيم المحسوبة للبرج الغربي، مقسمة حسب لون الحجر

	الواجهة الشمالية	الواجهة الشمالية	الواجهه الغربية	الواجهه الغربية
	الكتل الحجر (غامق)	الكتل الحجر (فاتحة)	الكتل الحجر (غامق)	الكتل الحجر (فاتحة)
الحد الأدنى	411.6667	389.6667	399	399
StDev -1	444.2971	491.9549	463.7594	471.4552
متوسّط	522.78	577.609	540.8274	555.8125
StDev+1	601.2629	663.2631	617.8954	640.1698
الحد الأقصى	717	747.3333	723.6667	753

الاستنتاج

تخلص هذه الدراسة إلى أن البرج الغربي في قلعة القاهرة بمدينة تعز يواجه تحديات إنشائية معقّدة ناتجة عن تفاعل تأثيرات التغير المناخي مع آثار النزاع المسلح. وقد بيّن التحليل الرقمي والتوثيق باستخدام تقنيات الفوتوغرامتري والنماذج ثلاثية الأبعاد وجود ارتباط وثيق بين اضطراب أنماط هطول الأمطار وارتفاع معدلات الرطوبة من جهة، وتسارع التدهور الفيزيائي لأحجار البرج من جهة أخرى؛ إذ كشفت مخرجات التوثيق (الأشكال 9، 10، 11) عن تدهور حرج يتمثل في فقدان مادة الحجر، وتفكك ملاط الربط، وظهور شروخ إنشائية عميقة، وتآكل ميكانيكي وكيميائي متقدّم بلغ درجة (10/8) نتيجة القصف المباشر واستمرار تأثير الرطوبة.

وأظهرت الاختبارات الحقلية باستخدام جهازي Protimeter و Proceq Bambinoتباينًا كبيرًا في استجابة المواد الإنشائية؛ حيث سجّلت أحجار الحجر الجيري في الواجهة الشمالية مستويات خطورة حرجة تجاوزت (50)، أدّت فعليًا إلى انخفاض صلادة السطح بنسبة 15% مقارنةً بالواجهات الأخرى. ويعكس هذا التباين، الناجم عن عدم تجانس المواد عبر المراحل التاريخية المختلفة، وجود نقاط ضعف إنشائية تجعل البرج أكثر عرضة للتقلّبات الحرارية وفقدان التماسك، خصوصًا مع ضعف التهوية ونمو الغطاء النباتي الضار عند القاعدة بما يهدد استقرار الأساسات.

وبناءً على هذه النتائج، تبيّن أن البرج يواجه تهديدًا مستقبليًا حرجًا يتمثل في تسارع التآكل الميكانيكي؛ إذ إن استمرار العوامل الحالية، مثل سوء تصريف المياه وقصور التهوية، قد يسهم في إضعاف التماسك السطحي وتآكل مواد الربط تدريجيًا، بما قد يحوّل الشروخ القائمة إلى حالات انفصال كتلي خطيرة تُضعف استدامة العناصر الإنشائية واستقرار البرج ككل ما لم يُتدخّل عبر استراتيجيات ترميم مستدامة.

التوصيات

استنادًا إلى نتائج التحليل الميداني والاختبارات الفيزيائية والتوثيق ثلاثي الأبعاد، توصي الدراسة بإعطاء أولوية لمعالجة مشكلة الرطوبة بوصفها العامل الأكثر تأثيرًا في استقرار البرج الغربي، وذلك عبر تحسين تصريف مياه الأمطار ومنع تجمعها على الأسطح العلوية وحول الأساسات، وإزالة الغطاء النباتي القريب من قاعدة البرج للحد من رطوبة التربة. كما تؤكد النتائج أهمية اعتماد معالجات ترميمية متوافقة مع طبيعة الأحجار المستخدمة، وخصوصًا الحجر الجيري عالي الامتصاص، من خلال تدعيمها بمواد قابلة للتنفس، وإعادة تأهيل الملاط المتدهور باستخدام مواد جيرية تقليدية.

وتوصي الدراسة باستبدال الدعامات المعدنية المؤقتة بحلول إنشائية دائمة ومدروسة تستند إلى مخرجات النموذج ثلاثي الأبعاد، إلى جانب تحسين التهوية الداخلية للبرج بوسائل غير تدخّلية للحد من تراكم الرطوبة والأضرار الداخلية للعناصر الإنشائية. كما توصي باعتماد برنامج مراقبة دورية يعتمد على قياسات الرطوبة وصلادة السطح في النقاط نفسها لضمان تتبّع تطوّر الحالة الإنشائية وتقييم فاعلية إجراءات المعالجة في ظل استمرار التغيرات المناخية.

References

1. Al-Hakimi, S. (2020). Historical evolution and architectural characterization of Yemeni hilltop fortresses. Sana'a University Press.
2. Basent, U. (2023). Rehabilitation and reuse of heritage value buildings and achieving safety standards [Master's thesis, Helwan University]. Egypt.
3. UNESCO. (2018). Impact of climate change on stone materials in historic buildings. UNESCO.
4. UNESCO. (2019). Managing heritage sites exposed to climate change. UNESCO Publishing.
5. Weather Spark. (n.d.). Average weather in Ta'izz, Yemen year-round. Retrieved January 4, 2026, from https://weatherspark.com/y/103107/Average-Weather-in-Ta%E2%80%98izz-Yemen-Year-Round#Figures-Summary
6. Weather Spark. (n.d.). Average weather in Ta'izz, Yemen year-round. Retrieved January 4, 2026, from https://weatherspark.com/y/103107/Average-Weather-in-Ta%E2%80%98izz-Yemen-Year-Round#Figures-Rainfall
7. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. (n.d.). Retrieved January 4, 2026, from https://wires.onlinelibrary.wiley.com/share/XI7RQHNUJY9YAXTIBSME?target=10.1002/wcc.710

المشروع 4.

تأثير التغيرات المناخية على الغطاء النباتي وانعكاسه على السلامة المعمارية والإنشائية لقلعة القاهرة – تعز 2025م

الملخص

يتناول هذه الورقة البحثية دراسة تأثير التغيرات المناخية على الغطاء النباتي في قلعة القاهرة بمحافظة تعز، وتحليل انعكاساته على السلامة الإنشائية والمعمارية للقلعة. يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي المدعوم بالدراسة الميدانية، حيث تم رصد أنواع الغطاء النباتي وانتشاره، وتحليل علاقته بمظاهر التدهور المختلفة في عناصر القلعة. وتوصلت الدراسة إلى أن التغيرات المناخية أسهمت في زيادة كثافة وانتشار الغطاء النباتي، مما أدى إلى تسريع عمليات التدهور البنيوي. ويختتم البحث بجملة من التوصيات الفنية والإدارية الهادفة إلى الحد من هذه التأثيرات والحفاظ على القلعة كمعلم تراثي بارز.

3. المقدمة

في ظل التغيرات المناخية المتسارعة التي يشهدها العالم خلال العقود الأخيرة، أصبحت مواقع التراث الثقافي أكثر عرضة لمخاطر بيئية متزايدة تهدد استدامتها وقيمتها التاريخية. وتُعد القلاع والحصون التاريخية من أكثر المنشآت تأثرًا بهذه التغيرات، نظرًا لتداخل عناصرها المعمارية مع العوامل الطبيعية المحيطة بها، ومن بينها الغطاء النباتي الذي يتأثر بشكل مباشر بالتقلبات المناخية.

تُعد قلعة القاهرة بمحافظة تعز واحدة من أبرز المعالم التاريخية في اليمن، لما تحمله من قيمة معمارية وتاريخية تعكس مراحل متعددة من تطور المدينة. وقد أدى تغير الأنماط المناخية، مثل ارتفاع معدلات الأمطار الموسمية، وتزايد فترات الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة، إلى إحداث تغيرات ملحوظة في الغطاء النباتي المحيط بالقلعة وداخل نطاقها، سواء من حيث كثافته أو نوعيته أو انتشاره العشوائي.

يسهم هذا التغير في الغطاء النباتي في إحداث تأثيرات مباشرة وغير مباشرة على الهيكل الإنشائي والمعماري للقلعة، حيث تتسبب جذور النباتات في تشقق الأحجار والمونة التقليدية، وتزيد الرطوبة الناتجة عن النمو النباتي من معدلات التدهور الفيزيائي والكيميائي لمواد البناء، فضلًا عن دورها في تسريع عمليات التعرية والانهيارات الجزئية في بعض المواضع الحساسة.

وانطلاقًا من ذلك، تسعى هذه الورقة البحثية إلى دراسة تأثير التغيرات المناخية على الغطاء النباتي في قلعة القاهرة بمحافظة تعز، وتحليل انعكاساته على سلامة الهيكل المعماري للقلعة، مع التركيز على تحديد المخاطر الناتجة واقتراح آليات علمية وعملية للإدارة المستدامة للغطاء النباتي، بما يسهم في حماية هذا المعلم التاريخي والحفاظ عليه للأجيال القادمة.

2 . مراجعة الأدبيات

1.2 تغيّر المناخ وتأثيره على المواقع التراثية

يُعرَّف تغيّر المناخ بأنه تحوّلات طويلة الأمد في العناصر المناخية، مثل درجات الحرارة ومعدلات سقوط الأمطار ومستويات الرطوبة وتكرار فترات الجفاف، وقد أصبح أحد العوامل الرئيسة المؤثرة في المواقع التراثية، نظراً لاعتمادها على مواد بناء تقليدية شديدة الحساسية للتقلبات المناخية .

يسهم ازدياد معدلات الأمطار وارتفاع الرطوبة في تسرب المياه داخل الجدران، مما يضعف الملاط الرابط ويؤدي إلى تكوّن الأملاح وتدهور الأحجار، كما توفر الرطوبة المستمرة بيئة ملائمة لنمو النباتات والكائنات الحية الدقيقة . وعلى النقيض من ذلك، تتسبب فترات الجفاف الممتدة في انكماش مواد البناء وظهور تشققات إنشائية، ويُعدّ التعاقب بين فترات الجفاف والأمطار من أخطر العوامل التي تُسرّع معدلات التدهور في المباني التاريخية .

2.2 الغطاء النباتي وتأثيره على المباني الأثرية

يُعدّ الغطاء النباتي من أبرز العوامل البيئية المؤثرة في سلامة المباني الأثرية، ويشمل النباتات العشبية والشجيرات والأشجار الصغيرة التي تنمو داخل الشقوق والفواصل المعمارية .

وتنبع خطورة هذه النباتات من جذورها التي تتغلغل في عناصر البناء مسببة ضغطاً ميكانيكياً يؤدي إلى تفكك الأحجار واتساع الشروخ . كما يساهم نمو النباتات في احتجاز الرطوبة داخل الجدران، مما يُسرّع من عمليات التدهور الفيزيائي والكيميائي لمواد البناء، في حين يؤدي تراكم المخلفات النباتية إلى خلق بيئة رطبة تشجّع على استمرار نمو النباتات، الأمر الذي يجعل الغطاء النباتي غير المُدار تهديداً مباشراً لاستقرار المباني الأثرية .
تناولت العديد من الدراسات العربية والدولية تأثير تغيّر المناخ في المواقع التراثية، مع تركيز خاص على أثر الأمطار والرطوبة في تدهور مواد البناء التقليدية، فيما أبرزت دراسات أخرى الدور السلبي للغطاء النباتي في إضعاف البُنى المعمارية للمباني التاريخية، ولا سيما في المناطق الجبلية والرطبة.

وأشارت تقارير ودراسات صادرة عن منظمات دولية معنية بالتراث، مثل اليونسكو والمجلس الدولي للمعالم والمواقع(ICOMOS) ، إلى أنّ تغيّر المناخ يمثّل أحد التحديات الرئيسة التي تواجه حماية المواقع التراثية، مؤكدةً ضرورة إدماج البعد المناخي والبيئي في استراتيجيات الصيانة والترميم . ومع ذلك، ما تزال الدراسات التطبيقية التي تربط بين تغيّر المناخ والغطاء النباتي وتأثيرهما المشترك على المواقع التراثية في اليمن محدودة، وبوجه خاص فيما يتعلّق بقلعة القاهرة في محافظة تعز، وهي الفجوة التي تسعى هذه الدراسة إلى معالجتها.

3.2 تأثير تغيّر المناخ في الغطاء النباتي بقلعة القاهرة: تحدٍّ للإرث الطبيعي والتاريخي

يمثّل التغير المناخي عامل ضغط مباشر على الغطاء النباتي في البيئات الجبلية شبه الجافة مثل بيئة قلعة القاهرة في تعز، حيث تشير الدراسات المناخية في اليمن إلى تزايد تواتر موجات الجفاف، وتذبذب كميات الأمطار بين فترات نقص حاد وهطول غزير مفاجئ، وما يرافق ذلك من انجراف للتربة وتدهور في قدرة المنحدرات على دعم الغطاء النباتي المستقر. كما تُظهر الدراسات البيئية في المرتفعات اليمنية أن تغير نمط الرطوبة ودرجات الحرارة أدى تاريخيًا إلى تحوّلات في توزيع الأنواع النباتية، مع حساسية خاصة للأنواع المرتبطة بالمدرجات الزراعية القديمة والأنظمة التقليدية لاستغلال المنحدرات.
في هذا السياق، يسهم ارتفاع درجات الحرارة وتزايد حدّة الجفاف في إضعاف نمو الأنواع النباتية المحلية المعمّرة، مقابل إتاحة الفرصة لانتشار أنواع عشبية سريعة النمو، غالبًا ما تكون متطفلة وتمتلك أنظمة جذرية عدوانية تسهّل تغلغلها في الشقوق والفواصل البنائية داخل الأنسجة الحجرية للعناصر المعمارية التاريخية، بما يزيد من مخاطر التفكك والانهيار في الأجزاء الأثرية المكشوفة. كما تؤدي الفيضانات المفاجئة الناتجة عن العواصف المطرية القصيرة والشديدة إلى اقتلاع النباتات السطحية وتجريف الطبقات العليا من التربة الرقيقة المحيطة بالقلعة، وتعرية الجذور المتبقية، الأمر الذي يسرّع من مسار التصحر وفقدان الغطاء النباتي الذي كان يضطلع بدور أساسي في تثبيت التربة وتحقيق قدر من الاستقرار البصري والبيئي للمشهد الثقافي المحيط بالموقع.
وتشير التقارير الدولية المتخصصة إلى أن المواقع التراثية ذات القيمة الطبيعية، ولا سيما تلك المصنّفة أو المُرشَّحة ضمن الأطر التي تعتمدها منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو) والهيئات الشريكة مثل المركز الدولي لدراسة صون وترميم الممتلكات الثقافية (إيكروم)، باتت مهدَّدة ليس فقط بفقدان مادتها البنائية التقليدية، بل أيضاً بتغيّر أنماط الغطاء النباتي التاريخي الذي يُعد جزءًا من القيمة التراثية للموقع، سواء بوصفه خلفية منظورية للمشهد الأثري أو باعتباره سجلًّا حيًّا للتفاعل طويل الأمد بين الإنسان وبيئته المحلية. وفي حالة قلعة القاهرة، التي كانت تحيط بها في السابق مساحات خضراء ومدرجات مزروعة على السفوح المحيطة كما تذكر بعض الدراسات والمشروعات التوثيقية الحديثة عن القلعة، فإن زيادة تواتر موجات الجفاف والفيضانات خلال العقود الأخيرة أدّت إلى انحسار واضح لهذا الغطاء النباتي، بما يهدد بفقدان أحد المكوّنات الجوهرية لهوية الموقع التاريخية والبصرية، ويحوّل التغير المناخي إلى تحدٍّ مباشر للإرثين الطبيعي والثقافي على حدٍّ سواء

3. المنهجيه

تستند هذه الدراسة إلى منهجية علمية متكاملة تهدف إلى تحليل تأثير التغيرات المناخية على الغطاء النباتي في قلعة القاهرة بمحافظة تعز، وانعكاس ذلك على السلامة الإنشائية والمعمارية للقلعة. وقد تم اختيار المناهج وأدوات البحث بما يتناسب مع طبيعة الدراسة وأهدافها، وبما يضمن الوصول إلى نتائج دقيقة وموثوقة. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه المنهج الأنسب لدراسة الظواهر البيئية والمعمارية في المواقع التراثية، حيث تم من خلاله وصف مظاهر التغير المناخي السائدة في قلعة القاهرة، ورصد حالة الغطاء النباتي وانتشاره، وتحليل علاقته بمظاهر التدهور المختلفة في عناصر القلعة المعمارية والإنشائية.

كما تم توظيف المنهج الميداني من خلال الزيارات الميدانية المتكررة لموقع قلعة القاهرة، والتي مكّنت الباحث من الوقوف المباشر على الواقع الحالي للموقع وتحديد أماكن تركز الغطاء النباتي ورصد الأضرار الناتجة عنه بما يسهم في تعزيز الجانب التطبيقي للدراسة وربط الإطار النظري بالواقع العملي.

4. التحاليل والنتائج

اعتمدت الدراسة على مجموعة من أدوات جمع البيانات التي تكاملت فيما بينها لتحقيق أهداف البحث، وتمثلت في الآتي:

1.4 توثيق الغطاء النباتي المتطفل على السلامة الإنشائية للعناصر المعمارية

من خلال الزيارات الميدانية المتكررة لموقع قلعة القاهرة، والتي مكّنت الباحثة من المعاينة المباشرة للوضع الراهن للموقع وتحديد أماكن تركز الغطاء النباتي. وخلال هذه الزيارات، تم رصد وتوثيق ما يقارب عشرين نوعًا من النباتات المختلفة المنتشرة داخل القلعة وعلى عناصرها المعمارية والإنشائية، شملت نباتات شجرية، وشجيرية، وعشبية، ومتسلقة، تراوحت درجات خطورتها بين المنخفضة والمرتفعة من حيث تأثيرها على السلامة الإنشائية والجمالية للموقع.

وقد شمل هذا التوثيق تسجيل الأسماء الشائعة والعلمية للنباتات، وتوصيف خصائصها العامة، ومدى تكيفها مع الظروف المناخية السائدة، إضافة إلى تقييم درجة الخطورة المحتملة لكل نوع، لا سيما ما يتعلق بقدرة الجذور على التغلغل داخل الشقوق الحجرية أو الامتداد قرب الجدران والأساسات. ومن بين الأنواع التي تم توثيقها ميدانيًا: اشفلا(Capparis cartilaginea) ، بيتوم/بطم(Pistacia atlantica) ، التين(Ficus carica) ، التين البري (Ficus cordata)، الصبار/التين الشوكي(Opuntia ficus-indica) ، شائكثيوم(Cenchrus setaceus) ، حشف/ورد الشوك Lantana) (viburnoides، الغلف(Cissus rotundifolia) ، السيزال(Agave sisalana) ، سنط العنبر(Vachellia farnesiana) ، الخُزامى (Lavandula dentata)، الخُبيزة(Malva parviflora) ، إضافة إلى أنواع أخرى عشبية وزاحفة ذات تأثيرات متفاوتة.

وقد أسهم هذا الجهد الميداني في تكوين قاعدة بيانات نباتية أولية خاصة بموقع قلعة القاهرة، تدعم التحليل العلمي للدراسة، وتعزز الربط بين الإطار النظري والواقع الميداني، كما تُعد مرجعًا أساسيًا لصياغة التوصيات المتعلقة بإدارة الغطاء النباتي والحد من مخاطره على المباني التاريخية.
كما تم تحليل مشكلات إنبات الغطاء النباتي على الإنشاء المعماري للقلعة من خلال دراسة آليات تغلغل الجذور داخل الفواصل والمداميك الحجرية، وتأثير ذلك على تماسك المونة، واستقرار الأحجار، وازدياد معدلات التفكك والتشققات، فضلًا عن دور الغطاء النباتي في احتجاز الرطوبة وتسريع عمليات التدهور الفيزيائي للعناصر المعمارية، بما يؤثر سلبًا على السلامة الإنشائية للموقع. أن النباتات العشبية والشجيرات الصغيرة تمثل النمط الأكثر انتشارًا، حيث لوحظ تغلغل جذورها داخل الشقوق والفواصل، مما أدى إلى اتساعها وتفكك بعض الأحجار خاصة في المناطق التي تعاني من ضعف في المونة الرابطة. كما كشفت المعاينة عن ارتباط واضح بين ارتفاع مستويات الرطوبة الناتجة عن تسرب مياه الأمطار وزيادة كثافة الغطاء النباتي، الأمر الذي أسهم في تسريع مظاهر التدهور الفيزيائي والكيميائي لمواد البناء. كما كشفت المعاينة الميدانية أن الأتربة المتراكمة في أجزاء واسعة من القلعة، الناتجة عن تدمير بعض المباني، وانسداد قنوات تصريف المياه قد شكّلت بيئة ملائمة لانتشار الغطاء النباتي بمختلف أنواعه إذ تعمل هذه الأتربة عند امتزاجها بالرطوبة كوسط إنبات فعّال يعزز من استمرار نمو النباتات وتكاثرها خاصة في المناطق المهملة أو غير المُصانة.
مما يوضح ان تفاعل العوامل المناخية مع الظروف البيئية المحلية داخل القلعة، ولا سيما الرطوبة وتراكم الأتربة، قد أسهم بشكل مباشر في تفاقم مشكلة الغطاء النباتي وتحويله من عنصر طبيعي إلى عامل تهديد حقيقي للسلامة المعمارية والإنشائية لقلعة القاهرة.

الشكل 1: الصور تظهر مجموعة من النباتات العشبية. المصدر: الباحث. الموقع: قلعة القاهرة، تعز، 2025

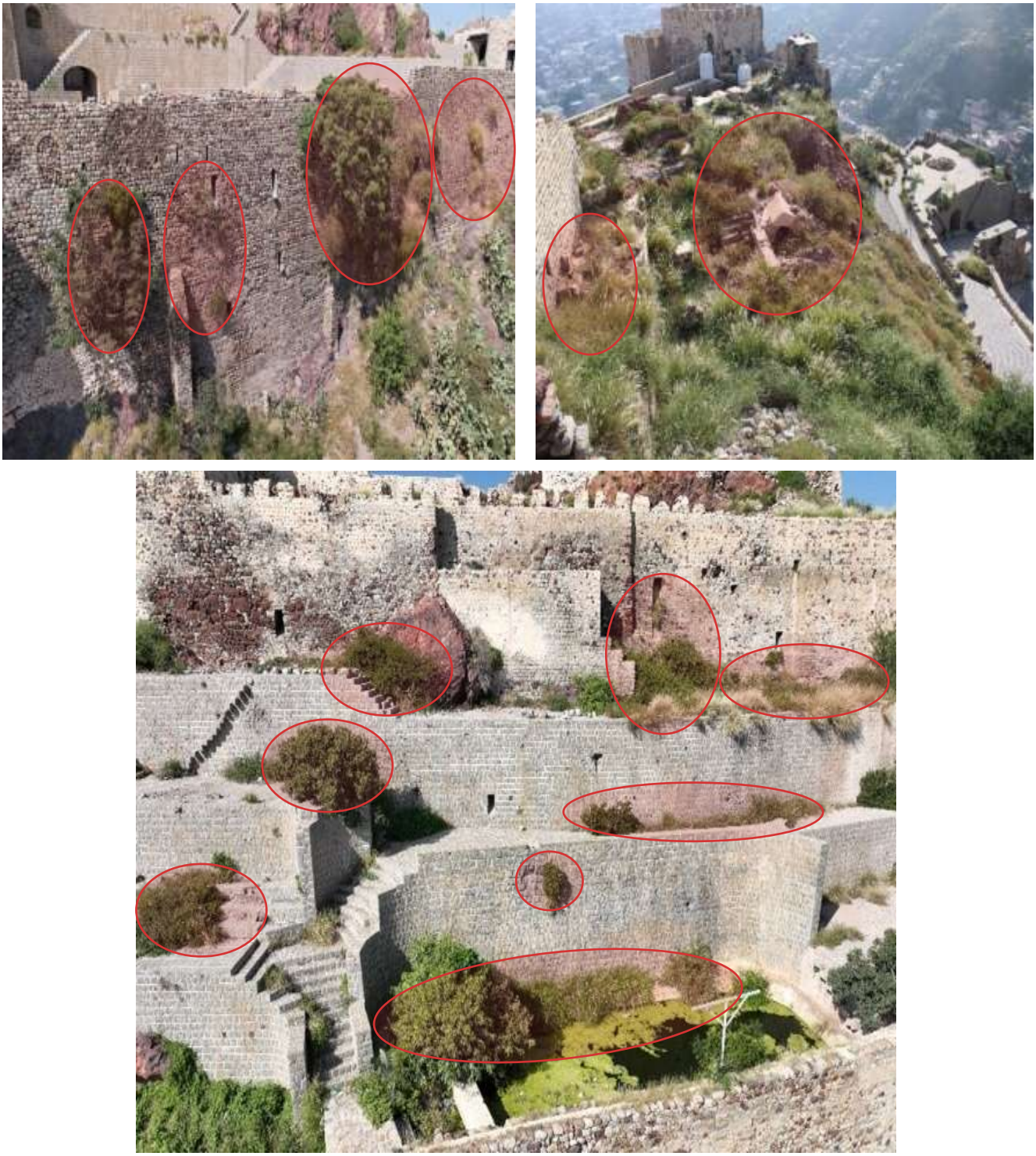
الشكل 2: الصور تظهر مجموعة من النباتات الشجيرات. المصدر: الباحث. الموقع: قلعة القاهرة، تعز،2025

الشكل 3: الصور تظهر مجموعة من الاشجار. المصدر: الباحث. الموقع: قلعة القاهرة، تعز،2025

2.4 التوثيق الفوتوغرافي والتقنيات الداعمة ونتائجها

تم استخدام التصوير الفوتوغرافي كأداة توثيقية أساسية لدعم المعاينة الميدانية، حيث أسهم في تسجيل الحالة الراهنة لعناصر قلعة القاهرة قبل تنفيذ الدراسة وأثناء مراحلها المختلفة. وقد ركز التوثيق الفوتوغرافي على إبراز مظاهر انتشار الغطاء النباتي، وتحديد مواقع نموه على الجدران، والأساسات، والأسطح المعمارية، إضافة إلى توثيق الأضرار الناتجة عنه مثل التشققات، وتفكك الأحجار، واندثار المواد الرابطة التقليدية.

وأظهرت نتائج التوثيق الفوتوغرافي وجود علاقة مباشرة بين كثافة الغطاء النباتي ومستوى التدهور في العناصر المعمارية، إذ لوحظ أن المناطق التي تشهد نموًا نباتيًا كثيفًا تُعد الأكثر تعرضًا للتشققات وارتفاع الرطوبة، خاصة في المواضع القريبة من قنوات تصريف المياه المسدودة والمناطق التي تتجمع فيها الأتربة.



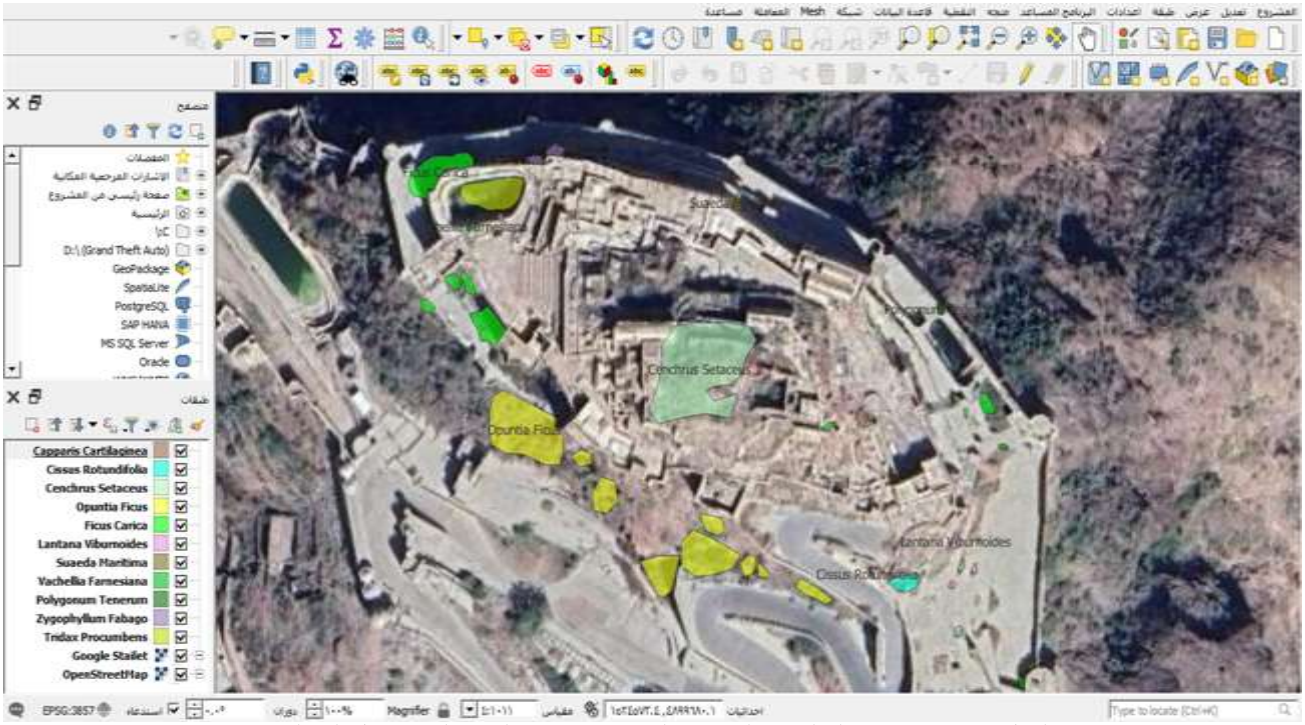
الشكل 4: تُظهر الصور الجوية الملتقطة بواسطة طائرات بدون طيار تركيز الغطاء النباتي داخل الشقوق والمفاصل الحجرية والمناطق المعرضة للرطوبة، مما يشكل خطراً على السلامة البنيوية للعناصر المعمارية.

التصوير الجوي باستخدام الطائرة المسيّرة (الدرون) بوصفه أداة مكملة للتوثيق الأرضي حيث أتاح رصد المشهد العام للموقع وتحديد نطاق انتشار الغطاء النباتي في المناطق المرتفعة أو غير القابلة للوصول المباشر. وأسهمت الصور الجوية في الكشف عن نمو نباتي كثيف فوق قمم الجدران، وفي الأسطح العلوية، وهي مناطق لم يكن بالإمكان توثيقها بدقة بالتصوير الأرضي وحده، مما عزز من شمولية النتائج ودقتها.

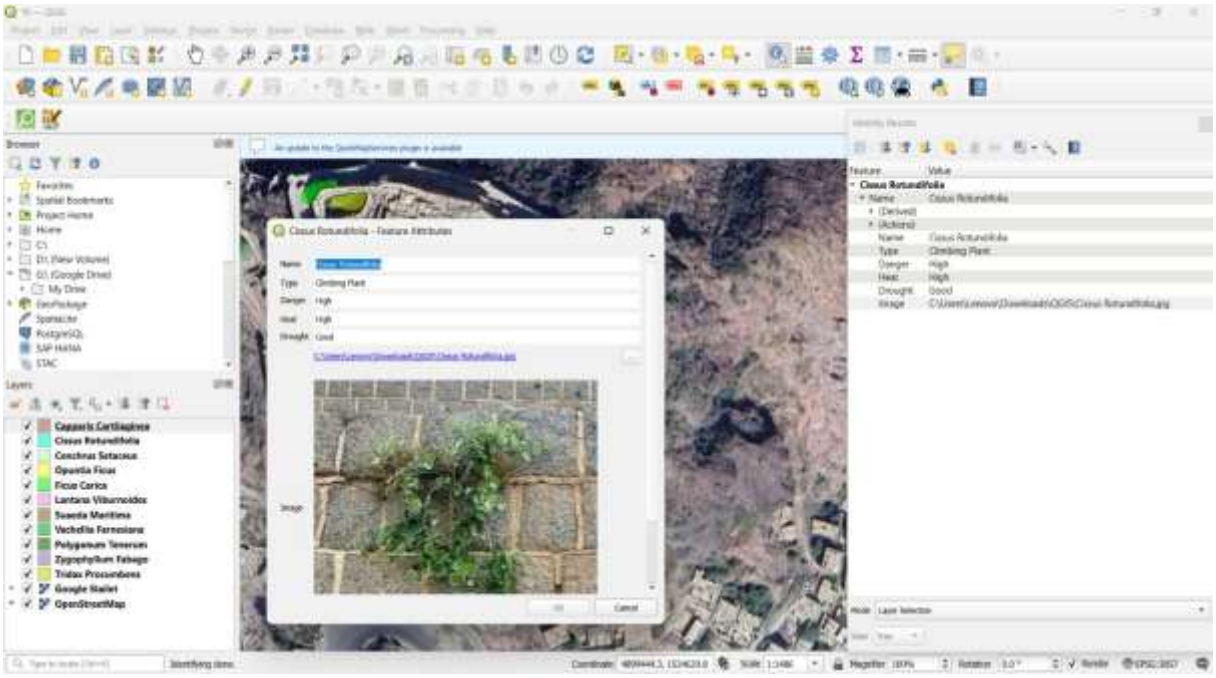
4.2.1 التقنيات الداعمة : QGIS

بالاستفادة من الصور الأرضية والجوية، تم استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل البيانات المكانية، حيث أُعدّت خرائط رقمية تُبيّن التوزيع المكاني للغطاء النباتي داخل قلعة القاهرة، مع تصنيفه وفق النوع والكثافة ودرجة الخطورة .وقد تم ذلك من خلال إنشاء طبقات مكانية مستقلة تمثل مواقع النباتات المرصودة، وربط كل طبقة بقاعدة بيانات وصفية (Attribute Table) تتضمن اسم النبات، اسمه العلمي، نوعه النبات، درجة الخطورة الإنشائية، ومادة توثيق بصري متمثلة في صور ميدانية وجوية.

وأتاح هذا الأسلوب التحليلي ربط مواقع الغطاء النباتي مباشرة بحالة العناصر المعمارية المتضررة، مما مكّن من تحديد المناطق الأكثر هشاشة داخل القلعة، خاصة في مواقع التشققات والفواصل الحجرية، والمناطق المعرضة لتجمع المياه وتراكم الأتربة. كما أسهم الربط بين الطبقات المكانية والبيانات الوصفية في تصنيف النباتات وفق مستوى تأثيرها المحتمل على السلامة الإنشائية، وتوضيح أنماط تركز الأنواع ذات الخطورة المرتفعة في مناطق بعينها، كما هو موضح في الشكل(6) ، الذي يعرض نموذجًا لخرائط التوزيع النباتي المرتبطة بالجدول الوصفي.



الشكل (5): خريطة نظم المعلومات الجغرافية التي توضح توزيع الغطاء النباتي داخل قلعة القاهرة



الشكل (6): خريطة نظم المعلومات الجغرافية توضح توزيع الغطاء النباتي داخل قلعة القاهرة، مصنفة حسب النوع ومستوى الخطر، مع ربط البيانات المكانية بجدول وصفي مدعوم بالصور الوثائقية.

3.4 تأثير التغيرات المناخية على الغطاء النباتي في قلعة القاهرة وانعكاساتها على السلامة الإنشائية

تم جمع وتحليل البيانات المناخية المتوفرة لمنطقة قلعة القاهرة بمحافظة تعز، والتي شملت درجات الحرارة، ومعدلات هطول الأمطار السنوية، ومستويات الرطوبة النسبية، وذلك على مدى الفترات المناخية المختلفة خلال القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين. ويهدف هذا التحليل إلى فهم العلاقة بين التغيرات المناخية ونمو الغطاء النباتي، وتحديد العوامل البيئية التي تسهم بشكل مباشر في تدهور العناصر المعمارية والإنشائية للقلعة، باعتبارها أحد المواقع التراثية ذات الحساسية البيئية العالية.

تشير الدراسات الصادرة عن منظمات دولية مثل اليونسكو (UNESCO) والمركز الدولي لدراسة صون وترميم الممتلكات الثقافية (ICCROM) إلى أن مخاطر التغير المناخي لا تقتصر على تدهور المواد الحجرية فحسب، بل تمتد لتشمل النظم البيئية المحيطة بالمواقع الأثرية وأنماط الغطاء النباتي التاريخي، والذي يُعد جزءًا لا يتجزأ من القيمة الثقافية والبيئية لهذه المواقع. وفي هذا السياق، تُعد قلعة القاهرة من النماذج المعرضة لتأثيرات التغير المناخي نتيجة موقعها الطبوغرافي وخصائصها المناخية.

الفترات الزمنيه متمتدة لتغيّر المناخ في مدينه تعز وفقًا لتقارير[1] meteoblue :

خلال الفترة الممتدة من (1900–2000)، اتسم مناخ محافظة تعز بقدر من الاعتدال العام مع تباينات مكانية واضحة ناتجة عن التنوع الطبوغرافي، حيث شهدت المناطق الجبلية والمرتفعات صيفًا معتدلًا وشتاءً باردًا نسبيًا، في حين اتسمت المناطق المنخفضة الغربية بمناخ صحراوي ساحلي. وبلغ المتوسط السنوي لدرجات الحرارة نحو 21°م، بينما تركزت معدلات هطول الأمطار في فصل الصيف بفعل الرياح الموسمية، مع تسجيل متوسط سنوي يقارب 737.1 ملم، وبلغ متوسط الرطوبة النسبية نحو 55.9%، مع ارتفاعها في المناطق المرتفعة. وقد وفّرت هذه الظروف المناخية بيئة ملائمة لنمو النباتات الموسمية، خاصة في المناطق التي تحتفظ بالرطوبة لفترات أطول داخل النسيج المعماري للقلعة.
أما خلال الفترة (2000–2010)، فقد استمر الطابع المناخي المعتدل، لا سيما في المناطق الجبلية، مع استقرار نسبي في درجات الحرارة وتسجيل معدلات أمطار مرتفعة نسبيًا، بلغ متوسطها نحو 600 ملم سنويًا، ووصلت في بعض المناطق الجبلية، مثل جبل صبر، إلى قرابة 1000 ملم. وأسهم هذا الارتفاع في معدلات الهطول في زيادة مستويات الرطوبة بعد مواسم الأمطار، مما عزز من فرص إنبات الغطاء النباتي داخل الشقوق والفواصل الحجرية، وخصوصًا في المناطق الأقل تعرضًا لأشعة الشمس المباشرة.

وخلال الفترة (2010–2025)، أظهرت البيانات المناخية استمرار الاعتدال الحراري على مدار العام مع امتداد نسبي للفصول وتراجع التباين الحراري، حيث بلغ متوسط درجات الحرارة اليومية خلال فصل الشتاء نحو 15.3°م، وارتفع تدريجيًا في فصل الربيع ليصل إلى 20.1°م، في حين سجلت درجات الحرارة ذروتها خلال فصل الصيف بنحو 23.4°م. كما حافظت معدلات الأمطار على متوسط سنوي يقارب 600 ملم، مع ارتفاع مستويات الرطوبة النسبية بعد مواسم الأمطار، واستقرار متوسطها السنوي عند حدود 55.9%. وقد أسهمت هذه الظروف في استمرار نمو الغطاء النباتي وتوسّعه، لا سيما في المناطق المعمارية المنخفضة والفواصل الحجرية والمناطق المطمورة بالأتربة.

وأظهر تحليل العلاقة بين البيانات المناخية وتوزع الغطاء النباتي وجود ارتباط مباشر بين ارتفاع مستويات الرطوبة وكثافة النمو النباتي داخل القلعة، حيث كانت الجدران المتشققة، والفواصل بين المداميك، والأساسات المعرضة لتجمع المياه أكثر المواقع عرضة للإنبات النباتي. كما أدت فترات الجفاف المصحوبة بارتفاع درجات الحرارة إلى انكماش المواد الطينية والكلسية المستخدمة في البناء، مما ساهم في زيادة التشققات وتسهيل تغلغل جذور النباتات داخل النسيج الإنشائي. وأسهم تكرار دورات الترطيب والجفاف في تسريع عمليات التدهور الفيزيائي للمواد البنائية، وتعميق تأثير الغطاء النباتي المتطفل على السلامة الإنشائية للعناصر المعمارية للقلعة.

4.4التحليل الزمني للتوثيق الفوتوغرافي ودلالاته على تغيّرات الغطاء النباتي

تم دعم تحليل التغير المناخي من خلال إجراء تحليل زمني للصور الفوتوغرافية الموثَّقة لـقلعة القاهرة عبر فترات زمنية مختلفة، نظرًا لأهمية هذا النوع من التوثيق في تتبّع تطوّر الغطاء النباتي ورصد ديناميكيته داخل الموقع. وقد أظهرت الصور الملتقطة عام 2004 انتشارًا ملحوظًا للغطاء النباتي في عدة أجزاء من القلعة، بما يعكس تأثير العوامل البيئية والمناخية السائدة آنذاك في تعزيز نمو النباتات، خاصة في العناصر المعمارية المعرَّضة لتجمّع الرطوبة.

الشكل 7: صورة لقلعة القاهرة عام 2004.

الشكل رقم 8 توضح الصور الملتقطة عام 2023، فقد كشفت عن سيادة شبه كاملة للغطاء النباتي على معظم أجزاء القلعة، مع زيادة واضحة في كثافته وامتداده المكاني. ويتّسق هذا المشهد مع نتائج تحليل البيانات المناخية التي أظهرت ارتفاع مستويات الرطوبة الموسمية وتكرار فترات الهطول المطري، إلى جانب غياب أعمال الصيانة الدورية خلال تلك المرحلة، مما أسهم في تفاقم انتشار الغطاء النباتي المتطفّل داخل النسيج المعماري للقلعة.

الشكل 8: صورة لقلعة القاهرة عام 2023.

وفي المقابل، أظهرت الصور الملتقطة عام 2025 تراجعًا واضحًا في انتشار الغطاء النباتي، حيث بدت القلعة شبه خالية من النباتات نتيجة تنفيذ أعمال إزالة الغطاء النباتي وتحسين مستوى العناية بالموقع. ويؤكد هذا التباين الزمني أن انتشار الغطاء النباتي لا يرتبط بالعوامل المناخية وحدها، بل يتأثر بصورة مباشرة بمستوى الإدارة والصيانة والتدخّل البشري، الأمر الذي يبرز أهمية السياسات الوقائية في حماية المواقع التراثية.

الشكل 9: صورة لقلعة القاهرة عام 2025.

وقد بيّنت الدراسة وجود ارتباط واضح بين التغيرات المناخية في منطقة قلعة القاهرة وبين نمو الغطاء النباتي وتوزيعه داخل الموقع، وما يترتّب على ذلك من آثار سلبية في السلامة المعمارية والإنشائية للقلعة. وأشار تحليل البيانات المناخية إلى أن تذبذب معدلات الأمطار وارتفاع مستويات الرطوبة أسهما في تهيئة بيئة ملائمة لنمو النباتات، خاصة في المناطق التي تعاني من ضعف تصريف المياه وتراكم الأتربة.

كما أظهرت الرفوعات الحقلية وعمليات التوثيق الفوتوغرافي أن الغطاء النباتي يتركّز بصفة رئيسية في الشقوق والفواصل المعمارية، وعلى الأسطح المعمارية المنخفضة وبالقرب من الأساسات، حيث تخترق الجذور – ولا سيما لأنواع النباتات سريعة النمو – هذه المواضع مسبّبة تفكّك الأحجار وتدهور مواد الربط وزيادة معدلات التشقّق.

وكشف التحليل الزمني للصور (2004، 2023، 2025) عن تغيّرات واضحة في كثافة الغطاء النباتي، بلغت ذروتها خلال الفترة السابقة لأعمال الصيانة، ثم انخفضت بصورة ملحوظة بعد تنفيذ تدخلات الإزالة والمعالجة. وقد أسهم التصوير الجوي باستخدام الطائرات المسيّرة، إلى جانب تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، في تحديد مناطق الخطورة العالية التي تتركّز فيها النباتات ذات الأثر الإنشائي السلبي، خاصة في المواضع المرتفعة وصعبة الوصول، بالإضافة إلى إنشاء قاعدة بيانات مكانية توثّق مواقع تغلغل الغطاء النباتي ومستويات الخطورة المرتبطة بها.

ويؤكد الربط بين البيانات المناخية والتحليل الزمني للصور والمشاهدات الحقلية أن التغيرات المناخية تُسرّع من وتيرة تدهور العناصر المعمارية عبر تكرار دورات الترطيب والجفاف، بما يعزّز انتشار الغطاء النباتي المتطفّل ويُضخّم أثره السلبي في استقرار العناصر المعمارية والإنشائية لقلعة القاهرة.

5.4 تحليل مقارن لدرجة الخطورة الإنشائية للغطاء النباتي في قلعة القاهرة:

من خلال المسح الميداني أن تأثير الغطاء النباتي على السلامة الإنشائية للعناصر المعمارية في قلعة القاهرة يختلف اختلافًا جوهريًا باختلاف نوع النبات وخصائص الجذور ومعدل النمو وموقع التمركز داخل النسيج المعماري للقلعة. وبناءً على ذلك يمكن ترتيب النباتات وفق تدرّج تصاعدي في مستوى الخطورة الإنشائية يبدأ بالنباتات العشبية الموسمية، مرورًا بالشجيرات، وينتهي بالأشجار سريعة النمو.

أولًا: النباتات العشبية الموسمية (خطورة منخفضة)

تُعد النباتات العشبية الأقل تأثيرًا على الاستقرار الإنشائي، نظرًا لامتلاكها جذورًا سطحية قصيرة العمر لا تتجاوز عادة طبقات التربة المتراكمة فوق العناصر المعمارية كما هو موضح في الشكل رقم 8. وتظهر هذه النباتات بشكل مؤقت عقب مواسم الأمطار، ثم تذبل خلال فترات الجفاف مما يحد من قدرتها على إحداث أضرار بنيوية مباشره.
إلا أن خطورتها تكمن في تأثيرها غير المباشر حيث تسهم في احتجاز الرطوبة على الأسطح والجدران وتزيد من فرص تسرب المياه إلى داخل الفواصل الحجرية، وهو ما يؤدي إلى تسريع عمليات التآكل وتهيئة بيئة مناسبة لنمو الشجيرات والأشجار الأكثر خطورة. وعليه، فإن خطورتها تُصنّف على أنها وقائية وتراكمية وليست إنشائية مباشرة.

الشكل 10: صور تُظهر نمو نباتات عشبية داخل الشقوق والفواصل الحجرية بجدار قلعة القاهرة

ثانيًا: الشجيرات متوسطة النمو (خطورة متوسطة)

تمثل الشجيرات مرحلة انتقالية بين النباتات العشبية والأشجار، وتتميز بجذور ليفية متشعبة قادرة على التغلغل داخل الشقوق والفواصل المعمارية.
وقد أظهرت المعاينة الميدانية أن هذه الجذور تؤدي إلى توسيع الشقوق القائمة بفعل الضغط الحيوي المستمر ما يضعف تماسك الأحجار ويزيد من معدلات تفكك المونة.
كما أن بقاء الشجيرات لفترات طويلة دون إزالة يرفع من مستوى الخطورة تدريجيًا، إذ تتحول جذورها إلى نقاط إجهاد داخل الجدران والأساسات.
لذلك تُصنّف هذه الفئة على أنها خطورة إنشائية متوسطة إلى مرتفعة في حال إهمال المعالجة الدورية.

الشكل 11: صور توضح أحد مواقع نمو الشجيرات على جدار قلعة القاهرة، حيث تظهر النباتات متغلغلة في الشقوق والفواصل الحجرية، بما يشير إلى تأثيرها المحتمل على تماسك العناصر المعمارية.

ثالثًا: الأشجار سريعة النمو (خطورة عالية جدًا)

تُعد الأشجار أكثر أنواع الغطاء النباتي تدميرًا للعناصر المعمارية، نظرًا لامتلاكها جذورًا وتدية عميقة وقوية تتغلغل في الأساسات والجدران الساندة، وتُحدث ضغطًا مستمرًا يؤدي إلى تفكك الأحجار، وانفصال الكتل المعمارية، وحدوث تشققات هيكلية واسعة.
وتزداد خطورة الأشجار عندما تنمو بالقرب من مناطق تخزين او تصريف المياه أو في المنخفضات الرطبة، حيث يتسارع نموها ويزداد حجم جذورها ما يضاعف التأثير الإنشائي السلبي. وفي بعض الحالات لوحظ أن وجود الأشجار أدى إلى انتفاخات موضعية في الجدران وانهيارات جزئية، وهو ما يجعلها تمثل أعلى مستويات الخطورة داخل الموقع.

الشكل 11: الصور تُظهر نمو الأشجار داخل قلعة القاهرة بالقرب من العناصر المعمارية والأساسات.

الاستنتاجات

تُظهر هذه الدراسة أن تغيّر المناخ يمثّل عاملًا حاسمًا في التأثير على استقرار المواقع التراثية، كما يتجلّى ذلك بوضوح في حالة قلعة القاهرة في محافظة تعز. وقد أثبت التحليل المناخي والزمني وجود ارتباط مباشر بين تقلبات معدلات هطول الأمطار وارتفاع مستويات الرطوبة من جهة، وبين نمو الغطاء النباتي واتساعه داخل الموقع من جهة أخرى، الأمر الذي أسهم في تفاقم مظاهر التدهور المعماري والإنشائي.

وأوضحت النتائج أن الغطاء النباتي، ولا سيما النباتات والأشجار سريعة النمو، يُعد عامل ضغط فاعلًا وليس ثانويًا؛ إذ تؤدي الجذور المتغلغلة في الشروخ والفواصل المعمارية إلى تفكك الأحجار وفقدان مواد الربط، مما يضعف تماسك العناصر الإنشائية. كما تبيّن أن تكرار دورات البلل والجفاف الناتجة عن تغيّر المناخ يسهم في تسريع هذه العمليات ويزيد من هشاشة المواد التقليدية المستخدمة في بناء القلعة.

كذلك أظهرت المقارنة الزمنية للصور الفوتوغرافية (2004–2023–2025) أن غياب التدخلات الوقائية الدورية يؤدي إلى توسّع الغطاء النباتي وزيادة كثافته، في حين يسهم تنفيذ أعمال الإزالة والصيانة المنتظمة بصورة مباشرة في الحد من انتشاره وتقليل مخاطره. وأكدت الدراسة أيضًا فعالية توظيف التقانات الحديثة، مثل التصوير الجوي ونظم المعلومات الجغرافيةGIS ، في رصد التغيّرات المكانية في الغطاء النباتي، وتحديد مناطق الخطر، ودعم اتخاذ القرار في إدارة المواقع التراثية.

وبناءً على ما سبق، تؤكد الدراسة أن معالجة أثر الغطاء النباتي في قلعة القاهرة لا يمكن فصلها عن فهم السياق المناخي والبيئي للموقع. وإن حماية القلعة وضمان استدامتها يتطلّبان اعتماد نهجٍ علمي متكامل يربط بين التحليل المناخي، والرصد الميداني، والتدخلات الفنية المدروسة، بما يكفل الحفاظ على قيمتها التاريخية والمعمارية على المدى البعيد.

التوصيات

في ضوء النتائج والاستنتاجات التي توصّلت إليها الدراسة، توصي الورقة بضرورة اعتماد نهج علمي متكامل في التعامل مع تأثير تغيّر المناخ والغطاء النباتي في قلعة القاهرة، بما يضمن حماية الموقع والحفاظ على سلامته المعمارية والإنشائية على المدبين القصير والبعيد. ويتضمن ذلك تنفيذ برامج دورية ومنظمة لإدارة وإزالة الغطاء النباتي، مع التركيز على معالجة جذور النباتات، خصوصًا الأشجار والشجيرات سريعة النمو، باستخدام أساليب فنية مدروسة ومتوافقة مع مبادئ حفظ المباني التاريخية.

كما توصي الدراسة بتحسين أنظمة تصريف مياه الأمطار داخل القلعة، وإعادة تأهيل القنوات المسدودة، والحد من تراكم التربة، نظرًا لدورها المباشر في خفض مستويات الرطوبة والحد من البيئات الملائمة لنمو الغطاء النباتي. وتُعد هذه الإجراءات من أهم التدخلات الوقائية التي تسهم في تقليل معدلات التدهور المرتبط بالعوامل المناخية.

وتؤكد الدراسة أهمية اعتماد التقانات الحديثة، مثل التصوير الجوي بالطائرات المسيّرة ونظم المعلومات الجغرافيةGIS ، كأدوات دائمة لرصد ومتابعة الغطاء النباتي، وتحديد المناطق عالية الخطورة، وتحديث قواعد البيانات المكانية والوصفية للموقع بصورة مستمرة لدعم اتخاذ القرار القائم على الأدلة في إدارة المواقع التراثية.

كما توصي الورقة بإجراء دراسات مناخية وبيئية طويلة الأمد لموقع قلعة القاهرة، بهدف استشراف اتجاهات تغيّر المناخ المستقبلية وتقييم تأثيراتها المحتملة على الموقع، ودمج هذه النتائج في خطط الصيانة والحماية. وتؤكد كذلك ضرورة تعزيز التنسيق المؤسسي بين الجهات المعنية بالآثار والترميم والبيئة، بما يضمن تكامل الجهود وتوحيد آليات العمل.

وأخيرًا، تشدّد الدراسة على أهمية إدماج إدارة الغطاء النباتي ضمن خطط الإدارة الشاملة للموقع، ورفع مستوى الوعي بأهمية الصيانة الوقائية المستمرة بوصفها عنصرًا أساسيًا في ضمان استدامة قلعة القاهرة والحفاظ على قيمتها التاريخية والمعمارية للأجيال القادمة.

المشروع 5.

تعزيز الوعي المجتمعي بآثار التغير المناخي على التراث الثقافي في مدينة تعز(قلعة القاهرة)

الملخّص

تركز هذه الدارسة علي تعزيز الوعي المناخي وتأثير التغير المناخي علي التراث والصراع واهتم الدراسه بحال قلعة القاهرة التاريخية لدي المعلمين والطلاب من خلال برنامج توعوي يربط المحتوى بالواقع المحلي، ولا سيما بما يتعلق بقلعة القاهرة في مدينة تعز باعتبارها أحد أبرز المعالم التاريخية المعرضة للتأثر بالعوامل المناخية . اعتمد البحث منهجًا مختلط توعويًا من خلال توزيع استبيان على المعلمين لقياس مستوى معرفتهم الأولية بالقضايا المناخية وتوعويا من خلال توزيع كتيب توعي عن تاثير التغير المناخي على التراث و الصراع قلعه القاهرة التاريخية ، إضافة إلى تنفيذ جلسة شرح لطلاب المدرسة شملت توزيع كتيّب مبسّط يوضح مفهوم تغير المناخ وأهميته، ودور الغطاء النباتي في حماية المناخ والمواقع الأثرية. عكس البرنامج اثر إيجابي علي مستوى فهم المشاركين لأهمية الحفاظ على البيئة والغطاء النباتي باعتبارهما عنصرين أساسيين في حماية المواقع التراثية مثل قلعة القاهرة، كما أبرز الحاجة إلى تطوير برامج مدرسية مستمرة في مجال التوعية المناخية.

مشكلة البحث

يعاني الغطاء النباتي في مدينة تعز من التدهور الملحوظ الذي يشهده نتيجة التأثيرات المناخية المتزايدة وعلي راسها الجفاف وتراجع معدل هطول الامطار خلال السنوات الأخيرة وقد أسهمت هذه الظروف في ضعف نمو النباتات الامر الذي انعكس سلبا علي التوازن المناخي وعلي الرغم من أهمية دور التوعية المناخي في مواجهة التحديات الا ان مستوى الوعي لدي كل من المعلمين والطلاب حول اهمية الغطاء النباتي وعلاقته بالتغير المناخي لايزال محدودا داخل المدارس ومن هنا تم اقتراح تنفيذ برنامج توعوي يسهم في تعزيز ادراك المعلمين والطلاب بأهمية الغطاء النباتي ودوره في حماية البيئة في ظل التغيرات المناخية الراهنة

1:2 سؤال البحث :

ما مدى الوعي البيئي لدى المعلمين والطلاب حول الغطاء النباتي والتغير المناخي في مدارس تعز .

أهداف البحث

1. قياس مستوى وعي الطلاب والمدرسين حول الغطاء النباتي وتغير المناخ قبل التوعية.
2. تنفيذ جلسة توعوية وشرح مبسط حول أهمية الغطاء النباتي وتغير المناخ.
3. إعداد وتوزيع كتيب تعليمي داعم للمحتوى التوعوي يركز علي التغير المناخي والغطاء النباتي واثار الجفاف علي البيئة المحلية والمواقع التراثية (قلعة القاهرة) .

1.المقدمة

أصبحت التوعية المناخية ضرورة ملحّة في ظل التطورات المناخية المتسارعة وتراجع الغطاء النباتي في العديد من المناطق، وهو ما قد ينعكس سلبًا على البيئة والموروث الثقافي والمعالم التاريخية. وتُعد قلعة القاهرة في مدينة تعز مثالًا مهمًا على المواقع التي يمكن أن تتأثر بغياب الوعي المناخي لدى أفراد المجتمع، مما يبرز أهمية إدراج موضوعات مثل تغير المناخ والغطاء النباتي ضمن الأنشطة التعليمية والتوعوية.

وعلى خلاف الدراسات التي تتناول الآثار العلمية المباشرة لهذه الظواهر، يركّز هذا البحث على الجانب التوعوي ، ويهدف إلى تنمية فهم المعلمين والطلاب للمفاهيم الأساسية المتعلقة بتغير المناخ وأهمية الغطاء النباتي في حماية المواقع الأثرية واستقرار البيئة. ولتحقيق ذلك، تم تنفيذ برنامج توعوي شامل تضمن توزيع كتيّب تعليمي وشرح مباشر للطلاب، إضافة إلى استبيان موجّه للمعلمين لتقييم مستوى الوعي البيئي لديهم وربط نتائجهم بالمحتوى المقدم.

وتسعى هذه الدراسة إلى إبراز الدور الحيوي للمؤسسات التعليمية في تعزيز الوعي البيئي، والتأكيد على أن حماية المواقع التاريخية مثل قلعة القاهرة تبدأ من بناء فهم صحيح لدى الأجيال حول أهمية البيئة والغطاء النباتي في الحفاظ على التراث الطبيعي والثقافي.

1.1. التغير المناخي

أشارت تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) إلى أن التغيرات المناخية تُعد من أبرز العوامل المؤثرة على النظم البيئية الطبيعية، حيث يسهم ارتفاع درجات الحرارة وتراجع معدلات هطول الأمطار في زيادة فترات الجفاف، مما يؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. وأكدت هذه التقارير أن الجفاف المتكرر يُعد مؤشرًا واضحًا للتغير المناخي، وله تأثير مباشر على استدامة الغطاء النباتي وتوازن النظم البيئية (IPCC, 2022).
كما أوضحت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) أن الغطاء النباتي يلعب دورًا محوريًا في حماية التربة من الانجراف، وتنظيم المناخ المحلي، والحفاظ على التنوع البيولوجي. وبينت المنظمة أن تدهور الغطاء النباتي الناتج عن الجفاف وتغير المناخ يؤدي إلى زيادة التصحر ، مما ينعكس سلبًا على البيئة والمجتمعات المحلية (FAO, 2020).
وفي السياق ذاته، أكدت تقارير برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) أن تأثيرات التغير المناخي لا تقتصر على البيئات الطبيعية فقط، بل تمتد لتشمل المواقع الحساسة والمناطق ذات القيمة البيئية والثقافية، حيث يؤدي تدهور الغطاء النباتي أو نمو النباتات العشوائية إلى زيادة مخاطر التدهور البيئي. كما شددت هذه التقارير على أهمية التوعية البيئية كأداة أساسية لتعزيز فهم المجتمعات المحلية للعلاقة بين التغير المناخي والغطاء النباتي ودعم جهود الحماية البيئية (UNEP, 2019).
ويتوافق ما سبق مع توجه البحث الحالي الذي يركز على التوعية البيئية بأهمية الغطاء النباتي وعلاقته بالتغير المناخي والجفاف، من خلال رفع مستوى الوعي لدى المعلمين والطلاب حول هذه القضايا وتأثيرها على البيئة المحلية.

2.1 نبذه تعريفية للقلعة القاهرة

تُعد قلعة القاهرة في مدينة تعز من أبرز المعالم التاريخية والأثرية في اليمن، إذ يعود تاريخ إنشائها إلى فترات مبكرة من العصور الإسلامية، وتحديدًا إلى العصر الصليحي، ثم شهدت القلعة توسعات وترميمات خلال العهدين الأيوبي والرسولي. وقد لعبت القلعة دورًا سياسيًا وعسكريًا مهمًا، نظرًا لموقعها الاستراتيجي المرتفع الذي يطل على مدينة تعز، مما جعلها مركزًا للدفاع والحكم، إضافة إلى كونها رمزًا حضاريًا يعكس تطور العمارة العسكرية في تلك الحقب التاريخية.
سابقًا، تميزت قلعة القاهرة ومحيطها بوجود غطاء نباتي طبيعي صورة رقم (1)، شمل نباتات محلية وأشجارًا متناثرة ساهمت في استقرار التربة وتقليل الانجراف، كما أضفت طابعًا بيئيًا وجماليًا على الموقع الأثري. وكان هذا الغطاء النباتي يلعب دورًا مهمًا في حماية المنحدرات المحيطة بالقلعة من تأثيرات الأمطار والسيول، فضلًا عن مساهمته في الحفاظ على التوازن البيئي في المنطقة. إلا أن الغطاء النباتي في محيط قلعة القاهرة شهد تدهورًا ملحوظًا، نتيجة لتغير الظروف المناخية، وعلى رأسها تراجع معدلات هطول الأمطار انخفضت تقريبًا بنسبة 10–15٪ مقارنة بالعقود السابقة بناء علي دراسة مكتب الهيئة للإثار والمتاحف ، وازدياد فترات الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة. وقد أدت هذه العوامل إلى ضعف نمو النباتات الطبيعية واختفاء بعضها، في مقابل ظهور نباتات عشوائية تنمو داخل الشقوق والجدران الأثرية. كما أسهمت الأنشطة البشرية، مثل الإهمال وقلة الصيانة والتوسع العمراني غير المنظم، في تسريع تدهور الغطاء النباتي وزيادة الضغط على الموقع الأثري.

وقد انعكس هذا التدهور البيئي بشكل مباشر على سلامة القلعة، حيث ساهمت جذور النباتات العشوائية في إحداث تشققات في الجدران والأساسات، بينما أدى ضعف الغطاء النباتي إلى زيادة معدلات الانجراف وتآكل التربة، ما يهدد استقرار المنحدرات المحيطة بالموقع. إضافة إلى ذلك، فقد أسهم فقدان الغطاء النباتي في تراجع المظهر الجمالي والطبيعي للقلعة مقارنة بما كانت عليه في السابق.

صورة (1) توضح الصور قلعة القاهرة 2014لعام انتشار الغطاء النباتي بداخلها و على المنحدرات

2. منهجية البحث

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج المختلط، الذي يركّز على تنفيذ برنامج توعوي بيئي بهدف إلى رفع مستوى الوعي لدى المعلمين والطلاب حول قضايا تغير المناخ والغطاء النباتي، وربطها بحماية المواقع التراثية، وبالأخص قلعة القاهرة في مدينة تعز.
بدأت المرحلة الأولى بجمع بيانات أولية من خلال استبيان موجّه للمعلمين في المدارس المستهدفة، بهدف التعرف على مستوى المعرفة العامة بالمفاهيم البيئية وتحديد الجوانب التي تحتاج إلى تركيز في البرنامج التوعوي.

في المرحلة الثانية، تم إعداد محتوى توعوي تعليمي مناسب للفئة المستهدفة، شمل كتيّبات مبسطة ومواد شرح تناولت موضوعات تغير المناخ، الغطاء النباتي، وأهمية الحفاظ على البيئة والمواقع التاريخية، مع مراعاة تبسيط المعلومات وربطها بالسياق المحلي. أما المرحلة الثالثة، فقد تمثلت في تنفيذ البرنامج التوعوي ميدانيًا داخل عدد من المدارس، من خلال جلسات شرح تفاعلية للطلاب، وتوزيع الكتيّبات التعليمية، وفتح باب النقاش حول السلوكيات البيئية اليومية ودورها في حماية البيئة.وشملت المرحلة الرابعة نزولًا ميدانيًا إلى قلعة القاهرة، حيث تم تقديم شرح تطبيقي حول أهمية الموقع التاريخي، والمواد التقليدية المستخدمة في بنائه وترميمه، وعلى رأسها مادة القضاض، مع توضيح علاقتها بالحفاظ على القلعة واستدامتها.

3. محتوى البرنامج التوعية

تم إعداد استبيان موجّه للمعلمين لقياس مستوى وعيهم بمفاهيم تغير المناخ وأهمية الغطاء النباتي، وتناول الاستبيان محاور عامة تشمل مدى إدراك المعلمين للتغيرات المناخية، وفهمهم لدور الغطاء النباتي في حماية البيئة والمواقع التاريخية، واستعدادهم للمشاركة في برامج توعوية.

كما تم تنفيذ برنامج عملي في اربع مدارس بمدينة تعز(مدرسة اقرا, مدرسة دار القران ,مدرسة النبراس ومدرسة مجمع هائل) توعية الطلاب، شملت شرحًا مبسطًا لمفهوم التغير المناخي ، وأسبابه، مثل انبعاث الغازات ونقص الغطاء النباتي، إضافة إلى توضيح أهمية الغطاء النباتي في حماية التربة وتحسين البيئة المحيطة بالمواقع الأثرية. وقد تم توضيح حالة قلعة القاهرة كنموذج محلي، لربط المعلومات النظرية بالواقع، مع عرض صور وأمثلة عملية توضح تدهور الغطاء النباتي وأثره على البيئة المحيطة بالقلعة. وتم توزيع كتيّب توعوي يحتوي .

1.3 الاستبيان

تم توجيه الاستبيان إلى عينة من المعلمين والمعلمات في أربع مدارس بمدينة تعز، وذلك بهدف تقييم مستوى وعيهم بأهمية الغطاء النباتي وعلاقته بتغير المناخ، إضافة إلى مدى إدراكهم لتأثير هذه العوامل على قلعة القاهرة باعتبارها موقعًا أثريًا مهمًا. وقد تم اختيار المعلمين كونهم فئة مؤثرة في نقل المعرفة البيئية والتوعوية إلى الطلاب والمجتمع، مما يجعل مستوى وعيهم مؤشرًا مهمًا لنجاح البرامج التوعوية المقترحة. كما هو موضح في الصوره (2).

صورة رقم (2)صوره توضح توزيع اورق الاسبيان على المعلمين

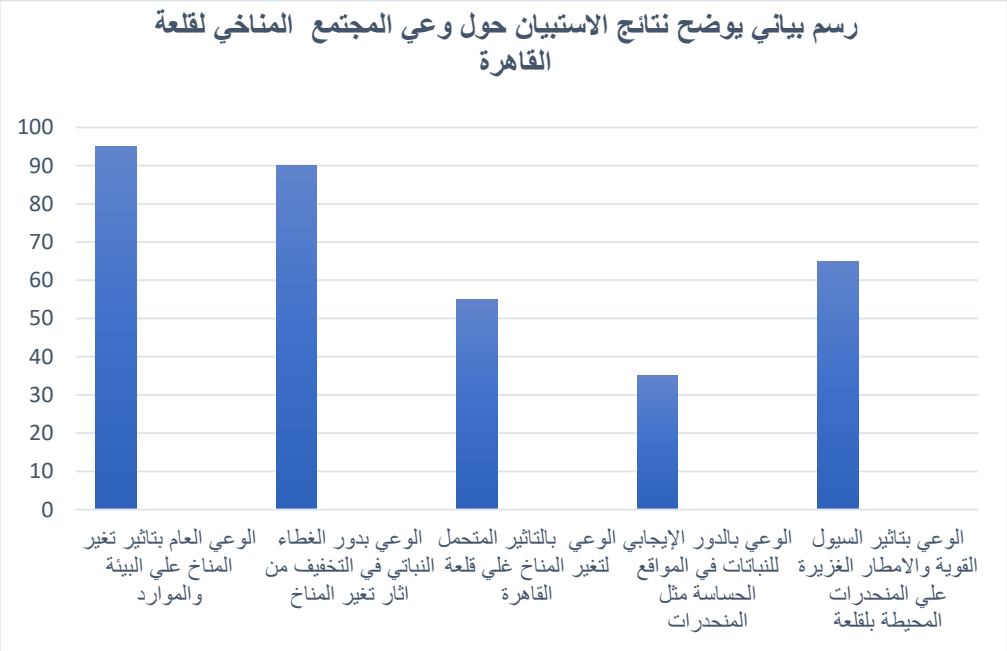
وبناءً على ذلك، تم تحليل نتائج الاستبيان الاختياري والمقالي للخروج بصورة واضحة عن مستوى الوعي المناخي الحالي لدى المدرسين
بدأ الاستبيان بطرح سؤال حول تأثير الظروف المناخية المتغيرة على البيئة والموارد، وقد أظهرت النتائج أن نسبة الوعي كانت مرتفعة وبلغت 95%. تم طرح هذا السؤال لقياس مستوى الفهم العام لدى المدرسين لمفهوم تغير المناخ، كونه الأساس الذي تُبنى عليه بقية محاور البحث. وتوضح هذه النسبة أن غالبية المشاركين يدركون التأثير العام لتغير المناخ، مما يدل على وجود وعي بيئي أولي جيد.

كما تضمن الاستبيان سؤالًا حول دور الغطاء النباتي في تقليل آثار تغير المناخ، حيث بلغت نسبة الوعي 90%. وجاء طرح هذا السؤال بهدف التعرف على مدى إدراك المدرسين للعلاقة المباشرة بين الغطاء النباتي وحماية البيئة. وتشير النتائج إلى أن المدرسين يمتلكون معرفة جيدة بأهمية الغطاء النباتي بشكل عام، إلا أن هذا الإدراك يظل في إطار المفهوم النظري أكثر من كونه تطبيقيًا.

وفيما يتعلق بالسؤال الخاص بـ التأثير المحتمل لتغير المناخ على قلعة القاهرة، فقد انخفضت نسبة الوعي إلى 55%. وتم إدراج هذا السؤال لربط المفاهيم المناخية العامة بالموقع الأثري محل الدراسة. ويعكس انخفاض النسبة وجود ضعف في الربط بين تغير المناخ وتأثيره المباشر على المواقع الأثرية، مما يبرز الحاجة إلى تعزيز التوعية البيئية المرتبطة بالتراث.

كما تم طرح سؤال عن الدور الإيجابي للنباتات عندما تكون في مواقع مناسبة مثل المنحدرات الترابية المحيطة بالقلعة، حيث بلغت نسبة الوعي 35%. وهدف هذا السؤال إلى قياس فهم المشاركين للفرق بين الغطاء النباتي النافع والضار. وتشير النتيجة المنخفضة إلى محدودية المعرفة حول إدارة الغطاء النباتي المناسب للمواقع الأثرية، وليس مجرد وجود النباتات بشكل عام.
أما سؤال تأثير السيول القوية والأمطار الغزيرة على المنحدرات المحيطة بقلعة القاهرة، فقد بلغت نسبة الوعي 65%. وتم طرح هذا السؤال لتقييم إدراك المدرسين للمخاطر الطبيعية المرتبطة بتغير المناخ، خاصة في المناطق الجبلية. وتوضح النتائج أن هناك وعيًا متوسطًا بالمخاطر، لكنه لا يزال بحاجة إلى دعم بمعلومات علمية أكثر تفصيلًا.

وبالانتقال إلى الأسئلة المقالية، فقد أظهرت الإجابات أن معظم المدرسين يمتلكون معرفة عامة بتاريخ قلعة القاهرة دون تعمق في الجوانب المعمارية والمناخية، وهو ما يوضح سبب طرح هذه الأسئلة لتقييم مستوى المعرفة التفصيلية. كما بينت الإجابات إدراكًا جزئيًا لأضرار نمو النباتات العشوائية وارتفاع درجات الحرارة على جدران القلعة وأسُسها، حيث ربط ا المدرسين ذلك بظهور التشققات وتآكل الجدران.
وفي المجمل، تشير نتائج الاستبيان بنوعيه الاختياري والمقالي إلى أن مستوى الوعي لدى المدرسين جيد في الجوانب العامة، لكنه ضعيف نسبيًا في الجوانب التطبيقية المتخصصة المرتبطة بالمواقع الأثرية. وباحتساب المتوسط العام، يمكن تقدير مستوى الوعي الكلي بنحو 68%_70%، مما يؤكد الحاجة إلى تعزيز برامج التوعية الصوره رقم (3) .



الشكل (3) : مخطط نتائج الاستبيان : وعي المعلمين بتأثيرات تغير المناخ على قلعة القاهرة

2.3 أنشطة تعزيز الوعي

إن الحفاظ على البيئة المحلية والتراث التاريخي يتطلب تعاونًا مجتمعيًا واسعًا يبدأ من المدرسة، ويستند إلى برامج تعليمية وأنشطة تطبيقية مستمرة. ومن خلال تطبيق المقترحات المطروحة، يمكن تعزيز قدرة المجتمع على مواجهة آثار تغير المناخ، وحماية المواقع الطبيعية والتراثية للأجيال القادمة.

تم العمل على أنشطة لأطفال في سن ما بين 10 إلى 12 سنة لتعزيز الوعي حول تأثير التغير المناخي وأثره على التراث والصراع، وذلك بشرح مبسط جدًا يناسب الأطفال. ولتعزيز ذلك، تم تنفيذ زيارات لأربع مدارس داخل مدينة تعز، وشرح الدروس للطلاب، وتوزيع كتيبين؛ الأول عن تغير المناخ، والثاني عن تغير المناخ كما هو موضح في الفقرة..(3.3)

صورة رقم (4): صور توضح توزيع الكتيب على الطلاب خلال الزيارات المدرسيه .

واستكمالًا لما تم شرحه في المدرسة، تم تنفيذ زيارة تطبيقية إلى قلعة القاهرة في مدينة تعز بهدف تعريف الطلاب والمعلمين على الغطاء النباتي الموجود في القلعة، حيث توجد نباتات تساهم في حماية المواقع الأثرية، وأخرى تضر بالمكونات التاريخية للقلعة، صورة رقم (5)، مع التركيز على مادة القضاض التي تُعد من أهم المواد التقليدية المستخدمة في البناء اليمني القديم. وخلال النزول، تم تقديم شرح تفصيلي حول ماهية القضاض، وطرق استخراجه، وآليات تصنيعه، وأسباب اعتماده في ترميم القلعة.

صورة (5): نزول الميداني لطلاب بقلعه القاهرة واستكمال تم شرح في المدرسه ايصا شرح ماده القضاض التقليديه

ضمن أنشطة التوعية المدرسية حول أهمية الغطاء النباتي للحد من أثر التغير المناخي، وبشكل مبسط، تم توزيع شتلات على الطلاب، حيث قاموا بدورهم بزراعتها في حوش المدرسة والاعتناء بها من خلال ريها بالمياه والاهتمام بها، بما يعزز لديهم قيم المسؤولية البيئية والمشاركة الإيجابية في الحفاظ على البيئة، صورة رقم.(6)

صورة رقم (6) توضح الصوره نشاط زراع داخل حديقه المدرسه .

3.3 محتوى الكتيب

في إطار تنفيذ البرنامج التوعوي تم إعداد كتيبين توعويين موجّهين لطلاب المدارس، يتناول الأول موضوع تغير المناخ صورة رقم(7)، بينما يركز الثاني على الغطاء النباتي صورة رقم (8) وعلاقته بالمواقع الأثرية، وبالأخص قلعة القاهرة بمدينة تعز. وقد صُمم محتوى الكتيبين بأسلوب مبسط يجمع بين المعلومات العلمية والبعد الثقافي والتراثي، بما يتناسب مع الفئة العمرية المستهدفة ويعزز من مستوى الاستيعاب والاهتمام.
جاء إعداد هذه الكتيبات استجابةً للحاجة إلى وسيلة تعليمية توعوية تسهم في رفع مستوى الوعي البيئي لدى الطلاب، في ظل تزايد آثار تغير المناخ وتدهور الغطاء النباتي، وما يترتب على ذلك من تهديد مباشر للمواقع الأثرية. كما يهدف الكتيب إلى سد الفجوة المعرفية لدى الطلاب حول مفاهيم تغير المناخ وأسبابه ومظاهره وتأثيراته، وربطها بالواقع المحلي والتراث الثقافي المتمثل في قلعة القاهرة.
تضمن الكتيب الأول تعريفًا بتغير المناخ، وأسبابه الرئيسية، وأهم مظاهره، وتأثيراته البيئية والإنسانية، إضافة إلى لمحة تاريخية عن قلعة القاهرة، بهدف إبراز العلاقة بين التغيرات المناخية وحالة المواقع الأثرية. أما الكتيب الثاني فقد تناول مفهوم الغطاء النباتي، وأهميته البيئية، والعوامل المؤثرة فيه، وأسباب تدهوره، وطرق الحفاظ عليه، مع تسليط الضوء على واقع الغطاء النباتي في قلعة القاهرة وتأثيره على سلامة المباني الأثرية. ويُتوقع أن يسهم هذا الكتيب في تعزيز المعرفة البيئية لدى الطلاب، وتنمية إحساسهم بالمسؤولية تجاه حماية التراث الطبيعي والأثري، وتشجيعهم على تبني سلوكيات إيجابية تسهم في الحفاظ على الغطاء النباتي والحد من الممارسات الضارة بالبيئة. كما يعد الكتيب أداة داعمة للأنشطة التوعوية الميدانية، ويساعد في ترسيخ المفاهيم التي تم شرحها خلال البرنامج التوعوي .

صورة(7)كتيب عن تغير المنا خ

صورة(8) كتيب الغطاء النباتي

مناقشة النتائج

أظهرت نتائج الاستبيان وجود فجوة واضحة في مستوى الوعي البيئي لدى المعلمين في المدارس الأربع قبل تنفيذ البرنامج التوعوي، خاصة فيما يتعلق بربط تأثيرات تغير المناخ بتدهور الغطاء النباتي المحيط بقلعة القاهرة. فقد بينت النتائج أن مستوى الوعي العام كان متوسطًا؛ إذ أفاد نحو 65% من المعلمين بامتلاكهم معرفة عامة بتغير المناخ، في حين لم تتجاوز نسبة من يدركون دور الغطاء النباتي في حماية المواقع التاريخية 70%، مما يشير إلى ضعف الفهم المتخصص للعلاقة بين الظواهر المناخية والتغيرات البيئية المحلية.

كما أوضحت النتائج أن معظم المعلمين لم يكونوا على دراية كافية بأثر انخفاض معدلات الأمطار والجفاف المتكرر خلال السنوات الأخيرة على اختفاء النباتات الطبيعية وتعرّض التربة للتآكل في محيط القلعة، وهو ما يعكس محدودية الربط بين المفاهيم النظرية والواقع البيئي المحلي.
بعد تنفيذ البرنامج التوعوي، الذي شمل تقديم كتيّبات تعليمية وشرح المفاهيم البيئية بطريقة مبسطة وتفاعلية، لوحظ تحسن ملحوظ في مستوى الوعي لدى المشاركين. فقد ارتفعت نسبة المعرفة بتأثيرات التغير المناخي إلى حوالي 85%، كما ازدادت نسبة فهم أهمية الغطاء النباتي ودوره في حماية البيئة والمواقع الأثرية. وأصبح المعلمون أكثر قدرة على تفسير أسباب التدهور المناخي وربطها بالعوامل المناخية.

تؤكد نتائج هذه الورقة أن التوعية المدرسية تمثل عنصرًا أساسيًا في تعزيز الثقافة المناخية لدى الطلاب والمعلمين، خاصة في ظل التحديات المناخية وتدهور الغطاء النباتي الذي يشهده محيط قلعة القاهرة. وقد أظهر البرنامج التوعوي الميداني فعاليته في رفع مستوى الوعي وإكساب الفئات المستهدفة مفاهيم مناخية صحيحة، مما يعكس أهمية استمرار مثل هذه المبادرات داخل المدارس.إن الحفاظ على البيئة المحلية والتراث التاريخي يتطلب تعاونًا مجتمعيًا واسعًا يبدأ من المدرسة، ويستند إلى برامج تعليمية وأنشطة تطبيقية مستمرة. ومن خلال تطبيق المقترحات المطروحة، يمكن تعزيز قدرة المجتمع على مواجهة آثار تغير المناخ، وحماية المواقع الطبيعية والتراثية للأجيال القادمة.

الحلول والمقترحات

انطلاقًا من نتائج الاستبيان والمشاهدات الميدانية، يمكن اقتراح مجموعة من الإجراءات التي يمكن أن تساهم في تعزيز الوعي المناخي وحماية الغطاء النباتي حول قلعة القاهرة، ومنها:

1. إدراج مفاهيم التغير المناخي والغطاء النباتي ضمن المنهج الدراسية
2. تنظيم حملات تشجير تطوعية حول القلعة .
3. تنفيذ برامج تدريب مستمرة للمعلمين في مجال البيئة والمناخ.
4. تفعيل الأنشطة المناخية داخل المدارس مثل مسابقات النظافة، المعارض البيئية، وزراعة النباتات داخل ساحات المدارس.
5. توفير مواد تعليمية بصرية مثل ملصقات.
6. التنسيق بين المدارس والهيئات البيئية لإقامة ندوات وزيارات ميدانية.
7. تشجيع الطلاب على تبني سلوكيات يومية صديقة للبيئة، مثل ترشيد استهلاك الماء، الحفاظ على الأشجار، وعدم رمي المخلفات.
8. إجراء دراسات دورية لتقييم حالة الغطاء النباتي حول القلعة ومتابعة التغيرات المناخية.

المراجع :

1. (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/
2. IPCC. (2019). Special Report on Climate Change and Land (SRCCL).https://www.ipcc.ch/srccl/
3. (PDF)https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads /sites/4/2022/11/SRCCL_Full_Report.pdf
4. FAO. (2020). Drought and Land Degradation in Drylands.https://www.fao.org/land-water/land/dryland s/en/
5. UNEP. (2019). Climate Change and Ecosystem Degradation.https://www.unep.org/resources/report/clima te-change-and-ecosystem-degradation