دراسة تشخيصية لتقنيات ومواد بناء سور القاهرة الفاطمي المشيد من الطوب اللبن - ومنهجية الترميم وإعادة التأهيل المقترحة

A Diagnostic Study of the Construction Techniques and Materials of the Fatimid Adobe Wall of Cairo - and the Proposed Restoration and Rehabilitation Methodology

محمود عبد الحافظ محمد آدم
قسم ترميم الآثار– كلية الآثار – جامعة القاهرة
mahmoud_adam@cu.edu.eg

الملخص:

تتناول هذه الورقة البحثية دراسة مواد وتقنيات البناء المستخدمة في سور القاهرة الفاطمي، الشمالي/ الشرقي، المشيد من الطوب اللبن، والمكتشف في بداية القرن الحادي والعشرين في محيط برج الظفر بمنطقة الجمالية في القاهرة، وذلك من خلال دراسة التركيب المعدني، وخواص مواد البناء المستخدمة في بناء السور، والتعرف على أسباب ومظاهر التلف بالجدران الطينية المكتشفة. وتقدم الدراسة خطة منهجية لترميم مظاهر التلف بالسور الطيني الفاطمي، بالإضافة إلى تقديم مقترح لتأهيل موقع السور الطيني الأثري؛ من أجل الحفاظ عليه، وتنميته بشكل مستدام. وقد استخدمت الدراسة العديد من التقنيات العلمية في عمليات فحص وتحليل ودراسة مواد البناء في السور، مثل: التحليل بحيود الأشعة السينية X-ray diffraction (XRD) ، والفحص والتحليل والدراسة بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت طاقة الأشعة السينية Scanning electron microscopy (SEM-EDX) . كما تم قياس بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية، مثل: الكثافة، والمسامية، وامتصاص الماء، ونسبة الانكماش بعد الجفاف، والمقاومة للضغط لعينات الطوب اللبن الأثرية، وكذلك للعينات الطينية التجريبية التي تم تصنيعها بغرض الوصول إلى أفضل الخلطات الطينية لصناعة قوالب طوب لبن صالحة للاستخدام في أعمال الترميم والتدعيم للسور الطيني. وكان من أهم نتائج الدراسة أن السور الطيني الفاطمي بمنطقة الجمالية جمع في بنائه بين تقنيتي البناء بالطابية، والبناء بقوالب الطوب اللبن. كما أن الطوب اللبن المستخدم في بناء السور يتميز بمحتواه العالي من السيليكا، إلى جانب وجود معادن الفلسبار وبعض أملاح الكلوريدات والكبريتات. وتعاني مواد البناء المستخدمة في السور من التلف الشديد المتمثل في ضعف وتفكك كتل الطوب والمونة الطينية، وانتشار الشروخ، وتزهر الأملاح، وضعف الأساسات والمداميك السفلى من الجدران، الأمر الذي يتطلب تدخلا عاجلا بإجراءات الصيانة. وقد توصلت الدراسة التجريبية إلى أن الخليط الطيني المكون من (الطينة الصحراوية، الرمل النقي، نسبة من الأسمنت الأبيض، مسحوق السيراميك، نسبة من الجير المطفأ، التبن المقرط) بالنسب المحددة، مناسبا لأغراض الترميم والتدعيم للسور الطيني. كما استخدم برنامج 3D Max في وضع تصور لموقع السور بعد التأهيل. وتؤكد الدراسة أن عملية التأهيل لموقع السور الطيني من أهم أسباب حمايته مستقبلا، وتوصي بضرورة استكمال أعمال الكشف والتنقيب للموقع الأثري، وتنميته بشكل مستدام.

الكلمات المفتاحية: القاهرة الفاطمية، السور الطيني، الطابية، الطوب اللبن، الترميم، التأهيل.

Abstract:

This research paper focuses on the study of the construction techniques used in the Fatimid adobe wall of Cairo, discovered at the beginning of the 21st century, close to Burj al-Zafar in Gamaleya district of Cairo. The research also focuses on studying the mineral composition and properties of the adobe building materials used in building the wall and identifying the causes and manifestations of damage to the discovered adobe walls. The study presents a systematic plan to restore the damage to the Fatimid adobe wall, in addition to presenting a

proposal to rehabilitate the archaeological site of the adobe wall, to preserve and develop it sustainably. The study used scientific methods to examine, analyze, and study building materials. The most important of which are: X-ray diffraction analysis (XRD) and scanning electron microscopy (SEM-EDX). Some physical and mechanical properties were measured on archaeological and experimental adobe samples, such as density, porosity, water absorption, drying shrinkage and compressive strength. Some of the most important results of the study was that the Fatimid adobe wall combined the two techniques of building: Tabiyya (rammed earth) and sun-dried bricks. The mud brick used in building the wall is characterized by its high silica content, in addition to the presence of feldspar minerals and some salts of chlorides and sulfates. The buildings of the wall suffer from weakness and severe damage, and they need urgent intervention with restoration works. The clay mixture consisting of (desert clay, salt-free sand, a percentage of white cement, ceramic powder, a percentage of slaked lime, and chipped straw) in the specified proportions, can be considered suitable for restoration processes of the wall. 3D Max program was used to visualize the Fatimid wall site after rehabilitation. The study considers the rehabilitation of the Fatimid adobe wall site as one of the most important reasons for protecting it in the future and recommends the necessity to complete the excavation works of the archaeological site, and to develop it in a sustainable manner.

Keywords: Fatimid Cairo, Adobe wall, Tabiyya, Mud brick, Restoration, Rehabilitation.

1. المقدمة Introduction

تعد مدينة القاهرة من أعظم مدن العالم، وقد تأسست في أعقاب الفتح العربي لمصر سنة 18هـ/ 639م[1، 2] (ذكر الحداد[3] أن اكتمال الفتح العربي لمصر في سنة 25 هـ (646 / 647 م) حيث تمكن القائد جوهر الصقلي (أو الصقلبي) من وضع أساس القاعدة الفاطمية الجديدة – القاهرة – في يوم الثلاثاء 17 شعبان سنة 358 هـ (7 يوليو 969 م) وشرع في بناء سور عظيم يحيط بالقاهرة لحمايتها من أي عدوان خارجي[4، 5]. ويذكر المقريزي[6] أن القاهرة من وقت تأسيسها، بني سورها ثلاث مرات. البناء الأول قام به القائد جوهر الصقلي، والبناء الثاني قام به أمير الجيوش؛ بدر الدين الجمالي في زمن الخليفة المستنصر، والبناء الثالث قام به الأمير الخصي؛ بهاء الدين قراقوش الأسدي، في سلطنة الملك الناصر صلاح الدين يوسف بن أيوب، أول ملوك القاهرة (شكل 1، 2) ويستطرد المقريزي قائلا: "وقد أدركت من هذا السور

1- ماهر، سعاد، القاهرة القديمة وأحياؤها، دار القلم، 1962، ص 3.
2- فرغلي، أبو الحمد، الدليل الموجز لأهم الآثار الإسلامية والقبطية في القاهرة، الدار المصرية اللبنانية، 1991، ص 9.
3- الحداد؛ محمد حمزة إسماعيل، المؤرخ "قراءة جديدة في السجل التاريخي والأثري لمصر والشرق الأدنى"، ج1، مكتبة زهراء الشرق، 2023.
4- زكي، عبد الرحمن، بناة القاهرة في ألف عام، الهيئة المصرية العامة للكتاب، 1998، ص ص 11 – 17.
5- Ayman Fouad Sayyid, La capitale de l'Egypte jusqu'a l'epoque fatimide, al-Qahira et al-Fustat, Essai de reconstitution topographique, Franz Steiner, Beirut, 1998, pp. 418 – 431.
6- المقريزي، تقي الدين أحمد بن علي، المواعظ والاعتبار بذكر الخطط والآثار"المعروف بالخطط المقريزية"، تحقيق: محمد زينهم ومديحة الشرقاوي، مكتبة مدبولي، ج 2، 1997، ص ص 90 – 91.

قطعا، وآخر ما رأيت منه قطعة كبيرة كانت فيما بين باب البرقية ودرب بطوط، هدمها شخص في سنة ثلاث وثمانمائة -هجرية- وشاهدت من كبر لبنها ما يتعجب منه في زمننا، حتى أن اللبنة تكون قدر ذراع في ثلثي ذراع، وعرض جدار السور عدة أذرع، يسع أن يمر به فارسان، وكان السور اللبن بعيدا عن السور الحجري الموجود الآن، وبينهما نحو الخمسين ذراعا، وما أحسب أنه بقي الآن من هذا السور اللبن شئ"[7].

وأما ما يتعلق بعمارة هذا السور المشيد من الطوب اللبن، فيذكر بعض المتخصصين أن هذا أمر صعب، ذلك أن عواصم مصر الإسلامية لم تكن تعرف نظام التحصين المباشر (أي إقامة الأسوار) إلا بمجيئ القائد جوهر الصقلي، على رأس جيوش الفاطميين من المغرب العربي، وإنشائه لحصن (سور) القاهرة سنة 358 هـ (969 م) وذلك بغرض حماية المدينة وساكنيها ومنشآتها ومقوماتها المادية من أي اعتداء خارجي. ولما كانت أبواب سور جوهر الصقلي قد اندثرت الآن، ولم يتبق منها سوى أسمائها فقط، فضلا عن ندرة ما ورد عنها في المصادر العربية القديمة، فإنه يصعب تحديد عمارتها، وما إذا كانت هذه الأسوار تتبع في تصميمها التخطيط المباشر أم التخطيط المنكسر. والجدير بالذكر أن هذه الأسوار هي التي جدد بناءها القائد بدر الدين الجمالي – كما أسلفنا – بعد أن أضاف للمدينة مساحات جديدة من الأرض فيما بين سنتي 480 هـ و485 هـ (1087 – 1092 م) لكن الذي يتتبع عمارة الجزء المكتشف من السور الطيني الفاطمي يكاد يجزم أن تخطيطه كان يتبع التخطيط المنكسر ذا الجدران التي تتميز بالدخلات والخرجات، لتدعيم السور وزيادة مقاومته، فضلا عن الأغراض العسكرية والدفاعية الأخرى[8، 9].

وقد أشار "كريزويل" أيضا إلى صعوبة تحديد عمارة الجزء محل الدراسة من السور؛ حيث قال: يمكن تتبع تخطيط سور القاهرة في الجزء الأكبر منه، من خلال المعلومات التي أوردها المقريزي، باستثناء الجزء الواقع بين باب النصر وباب البرقية، فليست بين أيدينا أية تفاصيل عنه، غير أن هذا السور أحاط بالمدينة في شكل مستطيل، طول ضلعه 1100م تقريبا من الشرق إلى الغرب، و1150م من الشمال إلى الجنوب. أما السور الذي أقيم فيما بعد، وهو سور الناصر صلاح الدين الأيوبي، فقد كان يقع بعد هذا السور بنحو 30 إلى 50 مترا[10].

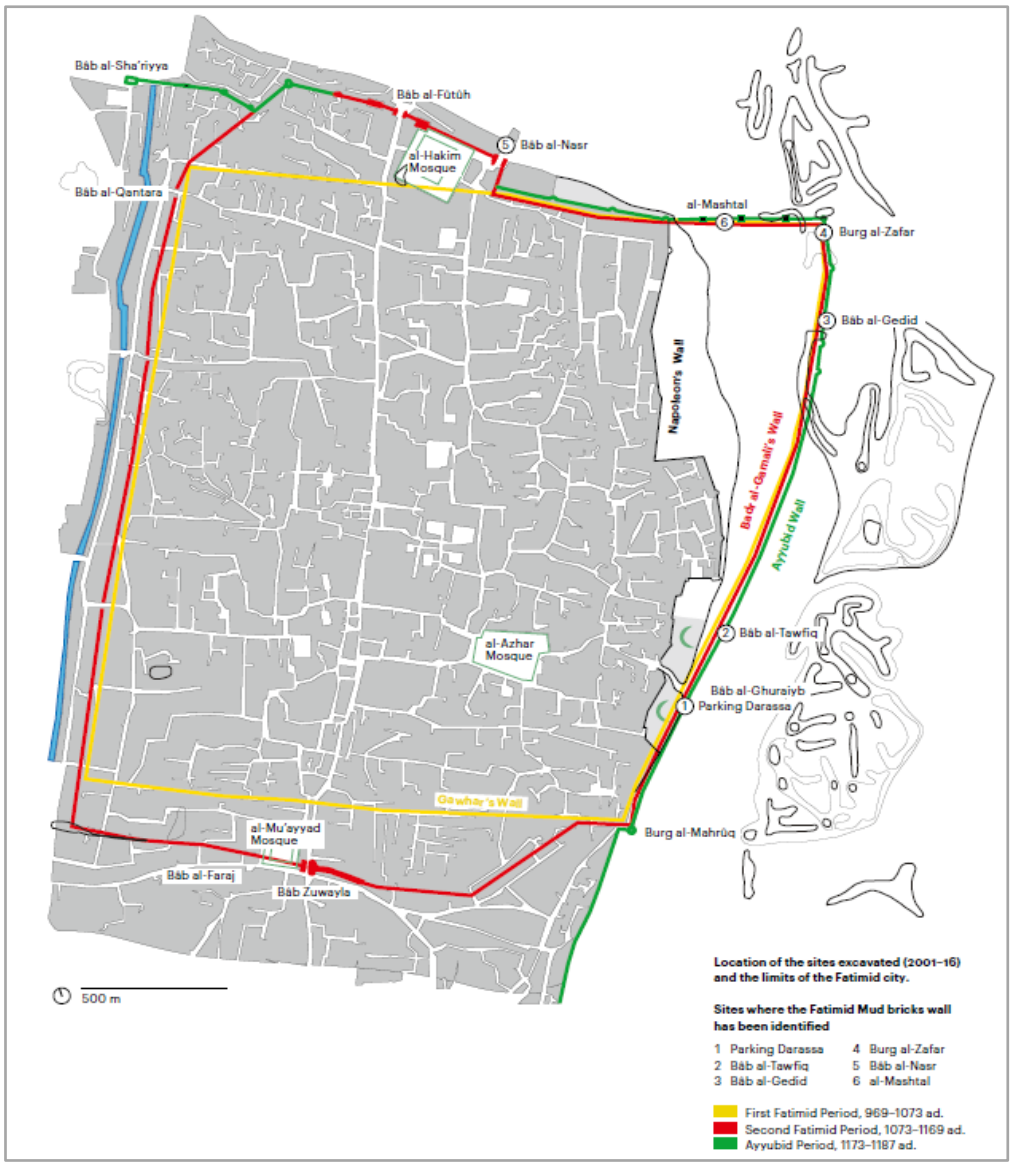
والواقع أن السور الطيني الفاطمي، الذي بناه جوهر الصقلي، وإن كان قد تم الكشف عن أجزاء منه مؤخرا، إلا أنه – حتى وقت كتابة هذا البحث – لا يمكن التكهن بحقيقة عمارته وتخطيطه الأصلي وتصميمه المعماري القديم على الوجه الأكمل، ذلك لأن أكثر جدران هذا السور ما زالت مدفونة تحت طبقات التربة، بل إن أكثر أجزائه تقع تحت المباني الحديثة المشيدة فوقه، حتى أن الأجزاء التي كشفت من السور، أكثرها عبارة عن أطلال ترابية لا يتضح بها معالم الطوب وأبعاده الهندسية بدقة، نظرا لما تعرض له السور من أحمال كبيرة نتيجة الدفن تحت طبقات التربة، فضلا عن عوامل التعرية بعد الكشف. ويتطلب الأمر عملا شاقا حتى يتم الكشف عن باقي أجزاء السور الطيني، ومزيدا من الكشف عن جدرانه وأساساته، حتى يمكن معرفة تخطيطه وأبعاده وعمارته بشكل أكثر دقة وتفصيلا.

7- الآن، وبعد الاكتشافات الحديثة، تبين وجود أجزاء كبيرة من هذا السور، لكن يبدو أنها كانت مختفية تحت طبقات التربة والأنقاض زمن المقريزي.

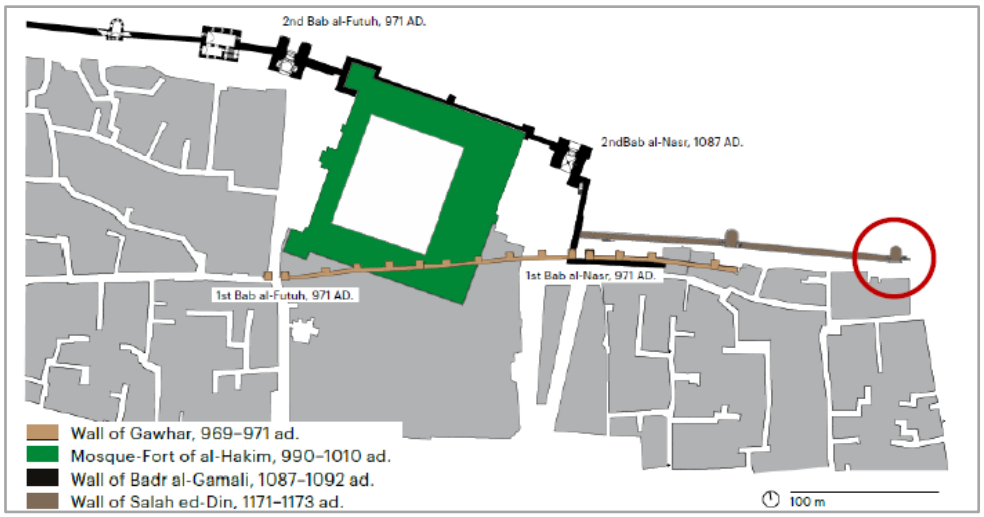
8- عبد النعيم، أسامة طلعت، ملامح تخطيط المدخل المنكسر فى العمارة الدفاعية بين مصر والغرب الإسلامى فيما بين القرنين الخامس والسابع الهجريين (11-13م)، الندوة العلمية الأولى لجمعية الآثاريين العرب، المقالة 17، المجلد 2، العدد 2، 1999، ص 324.

9- Priyoyudanto, F., Islamic City; urban and architectural elements, Selangor, Malaysia, 2014, p. 22.

10- كريزويل، ل.أ.س.، العمارة الإسلامية في مصر، ج1، الإخشيديون والفاطميون، ترجمة: عبد الوهاب علوب، مراجعة وتقديم وتعليق: محمد حمزة إسماعيل الحداد، مكتبة زهراء الشرق ودار القاهرة، الطبعة الأولى، 2004، ص 27.



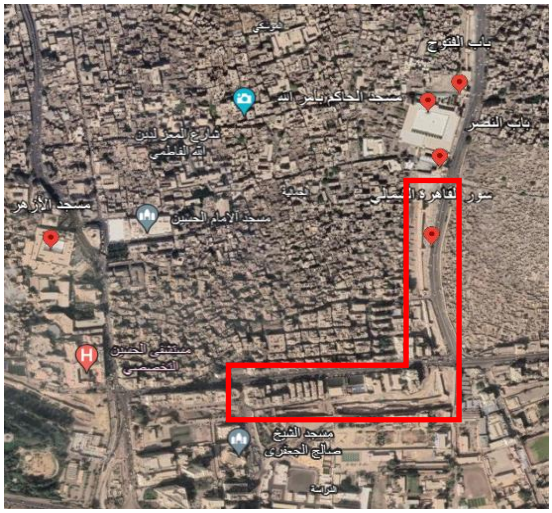
شكل (1): مخطط يوضح مواضع أسوار القاهرة الثلاثة؛ سور جوهر الصقلي، وسور بدر الجمالي، وسور صلاح الدين الأيوبي (عن: Pradines, 2018)



شكل (2): لوحة تفصيلية توضح مواضع أسوار القاهرة من الجهة الشمالية، ويتضح موضع مسجد الحاكم بأمر الله، وبرج الظفر (محاط بدائرة) (عن: Pradines, 2018)

وتركز الدراسة الحالية على الجزء الشمالي/ الشرقي من سور القاهرة الفاطمية؛ المشيد من الطوب اللبن، والواقع بمنطقة الجمالية بالقاهرة، وتحديدا الجزء الواقع في المنطقة ما بين البرج رقم 19 (منطقة المشتل شمالا) والبرج رقم 41 (شرقا)[11] وتقع معظم منطقة الدراسة بالقرب من برج الظفر[12] (صورة 1، 2) و (شكل 3) هذا، وتجدر الإشارة إلى أنه قد تم الإعلان من قبل المسئولين عن الكشف عن أجزاء من السور الطيني الفاطمي في سبتمبر 2015م[13]، وتم البدء في مشروع ترميم شامل لسور القاهرة الشمالي/ الشرقي في ذات العام، إلا أن أعمال الترميم منذ ذلك الوقت موجهة إلى الأسوار الحجرية – سور بدر الدين الجمالي، الواقع في الجهة الشمالية للقاهرة، وسور صلاح الدين الأيوبي، الواقع في الجهة الشرقية للقاهرة – ولم يتم البدء مطلقا في ترميم الأجزاء المكتشفة من السور الطيني الفاطمي، والواقعة في الجزء الشمالي الشرقي لمدينة القاهرة، حتى تاريخه. وجدير بالذكر أن الموقع الأثري تعرض للإهمال لفترات طويلة، وسوء الاستخدام، والتعديات البشرية، إلى جانب التغيرات المناخية التي أثرت سلبا على السور الطيني بدرجة كبيرة.

وتهدف الدراسة إلى التعرف على تقنيات البناء المستخدمة في السور الطيني الفاطمي، ودراسة التركيب المعدني لمواد البناء الطينية المستخدمة في السور، وخواصها الفيزيائية والميكانيكية، وحصر أهم أسباب ومظاهر التلف المؤثرة على موقع ومواد بناء السور الطيني الأثري، وعمل خلطات طينية تجريبية، للوصول إلى أفضل هذه الخلطات من حيث الخصائص، لاقتراح استخدامها في أعمال الترميم والتدعيم للسور الطيني. كما تهدف الدراسة إلى وضع خطة منهجية للحد من المخاطر، وترميم وصيانة السور الطيني، وإعادة تأهيل الموقع الأثري، لتحقيق أهداف التنمية المستدامة لتلك المنطقة التاريخية. وتعتمد الدراسة على المنهج العلمي الوصفي، والتحليلي، والتجريبي.



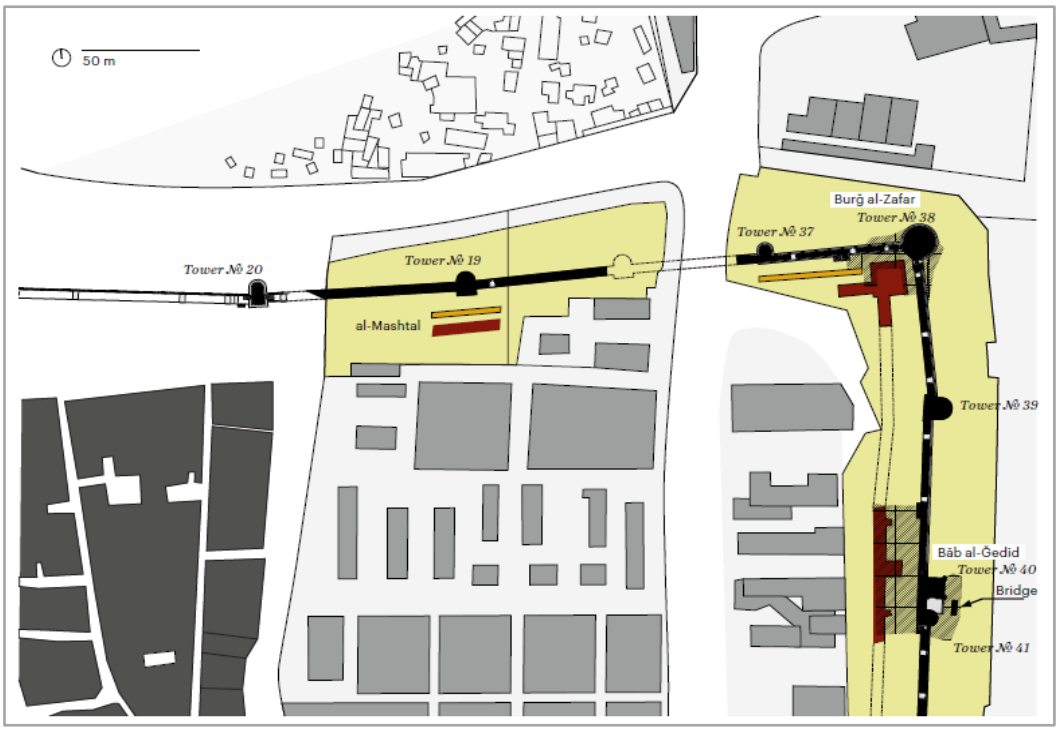
صورة (1): صورة جوية من Google earth تحدد الموقع العام للسور الشمالي/ الشرقي بمنطقة الجمالية، وأهم المعالم الأثرية والمناطق التاريخية المحيطة.

صورة (2): تفصيلة من الصورة السابقة؛ حيث تحدد السور الحجري وبرج الظفر – إلى أسفل – وكذلك موقع الأجزاء المكتشفة حديثا من السور الطيني الفاطمي.

11- هذا الترقيم لأبراج أسوار القاهرة تم في بداية مشروع الترميم، في أواخر التسعينيات، وكانت هذه الأبراج لها أرقام مسجلة على خرائط الآثار، لكن تم الاستغناء عن الأرقام القديمة، والاعتماد على الأرقام الجديدة لسهولة العمل بها.

12- برج الظفر عبارة عن برج من الحجر الجيري، على هيئة ثلاثة أرباع دائرة يقع في الزاوية الشمالية الشرقية من أسوار صلاح الدين، عند التقاء السور الشمالي الفاطمي بالسور الشرقي الأيوبي، ويتكون هذا البرج من ثلاثة طوابق، ويرتفع مستوى الشارع الخارجي حاليا حتى منسوب الطابقين الأول والثاني.

13- جاء ذلك الخبر في جريدة اليوم السابع، وجريدة الشرق، يوم الأربعاء الموافق 2 سبتمبر 2015م.



شكل (3): مسقط أفقي يبين سور القاهرة الشمالي الحجري (سور بدر الدين الجمالي) وكذلك سور القاهرة الشرقي الحجري (سور صلاح الدين الأيوبي) يلتقيان عند برج الظفر. ويتضح جليا من المسقط، الأجزاء المكتشفة حديثا من سور القاهرة الفاطمي، المشيد من الطوب اللبن، سواء في الجهة الشمالية أو الشرقية (سور جوهر الصقلي) (عن: Pradines, 2018)

1.1. بداية الكشف عن السور الطيني الفاطمي The beginning of the discovery

في عام 2000، أطلق المعهد الفرنسي للآثار الشرقية (IFAO) وصندوق الآغا خان للثقافة (AKTC) برنامجا للدراسة والتنقيب والحفاظ على أسوار مدينة القاهرة التي تعود إلى العصور الوسطى، بدعم مؤسسي وإداري من المجلس الأعلى للآثار وقتئذ (وزارة الآثار حاليا) وقد تم إجراء الحفائر في خمسة مواقع: موقف للسيارات بمنطقة الدرّاسة، وباب التوفيق، وباب النصر، وبرج الظفر، والمشتل (يقع بين باب النصر وبرج الظفر) وذكر الدكتور/ ستيفان براديز (Stephane Pradines)[14] مدير بعثة حفائر الكشف عن أسوار القاهرة؛ التابع لمؤسسة الآغا خان، أنه في عام 2001 تم الكشف عن بقايا أسوار طينية ضخمة بالحفائر التي أجريت بمنطقة الدرّاسة بالجمالية، وفي عام 2011 تم الكشف عن سور آخر في موقع برج الظفر، كان هذا السور مشيدا بتقنية الطابية (الطين المدكوك) ويبلغ طول السور الطيني المكتشف 30 متراً، بعرض 1.80 متراً، ويبلغ أقصى ارتفاع له 1.20 متراً. تم بناء هذا السور مباشرة على أساسات من الطوف Cob (كتل طينية) يبلغ سمكها 50سم. وقد ساعدت أعمال الحفر الدقيقة في العثور على مواضع العوارض والأعمدة الخشبية المستخدمة في عملية صب الطين داخل الألواح الخشبية (طريقة الطابية) (صورة 3، 4) كما تم الكشف في عام 2016 عن امتداد لنفس السور في موقع يسمى المشتل، يقع بين باب النصر وبرج الظفر. وقد كان طول هذا الجزء من السور، وطريقة البناء، وعامل القدم، بمثابة تكهنات بأن هذا البناء يشكل جزءاً من سور مدينة القاهرة الأول (سور جوهر الصقلي) حيث

14- Pradines, S., Discovery the Fatimid walls, Journal of Material Cultures in the Muslim World, Brill, June, 2018, pp. 103 – 115.

كانت هناك ثلاثة عناصر مثيرة للاهتمام، أولاً: هذا الجدار قديم جداً، ثانيًا: يتبع محورًا شرقياً غربياً، يمثل الحد الشمالي للمدينة الفاطمية، ثالثا: تم بناؤه باستخدام تقنية الطين المدكوك (الطابية) وهو أسلوب نادرا ما يستخدم في مصر، ولكنه كثيرا ما يستخدم في بلاد المغرب العربي. لكل هذه الأسباب، ترجح أن هذا السور هو أول سور للمدينة الفاطمية في القاهرة، وبالتالي سيكون مؤرخا بين عامي 969 و 971 م.

صورة (3): جزء من السور الطيني الفاطمي المكتشف بالقرب من برج الظفر، وقد بني بطريقة الطابية. الصورة في عام 2011 (عن: Pradines, 2018)

صورة (4): نفس الصورة السابقة، من تصوير الباحث عام 2023، ويتضح تغطية الجزء المكتشف من السور الطيني، وأعمال ترميم السور الحجري.

2. مواد وطرق الدراسة Materials and methods

1.2. مواد وتقنيات البناء Building materials and techniques

تعد مادة الطين هي أساس عمارة السور الفاطمي موضوع الدراسة، ومن المعلوم تاريخيا أن مادة الطوب اللبن (النيئ) المصنوع من طمي النيل أو الطين المنتشر في البيئة الصحراوية، استخدم كمادة بنائية للمنازل والقصور ونحوها على مدار التاريخ المصري، كما استخدمت قوالب الطوب اللبن جنبا إلى جنب مع الأحجار في بناء المعابد والمقابر في جميع المناطق، وخلال جميع الفترات. ولقد كان بناء الجدران والأقبية من الطوب اللبن عبارة عن تقنية اقتصادية وغير معقدة. كما وفرت عمارة الطين ظروفا معيشية وعملا أكثر راحة وملاءمة إذا ما قورنت بالمباني المشيدة من الحجر[15، 16، 17]. وقد شاع ما يقرب من عشرين طريقة للبناء بالطين في ربوع العالم، إلا أن أكثر هذه الطرق شيوعا في المباني الأثرية والتراثية هي: البناء بطوف الطين (كتل طينية تشبه الكرات متوسطة الحجم، تستخدم في البناء وهي في الحالة الرطبة) والبناء بكتل الطوب اللبن المصبوب في قوالب خشبية، والبناء بالطابية (الطين المدكوك) والبناء بالتبن الطيني (يتم جمع التبن ومزجه بالطين السائب "روبة الطين" وصبه في قوالب خشبية، وتجفف في حرارة الشمس)[18، 19]

15- Kemp, B., Soil (including mud brick architecture), Ancient Egyptian materials and technology, Cambridge University press, 2000, pp. 78 – 79.

16- Emery, V. L., Mud-brick architecture, In: Willeke Wendrich (ed.), UCLA Encyclopedia of Egyptology, Los Angeles, 2011, pp. 1, 8.

17- عبد النعيم، أسامة طلعت، العمارة الطينية في وادي حضرموت "مزارات قرية شعب نبي الله هود عليه السلام نموذجا"، مجلة كلية الآثار، العدد الثاني والعشرون، 2019، ص ص 4 – 6.

18- Dethier, J., Mud building architecture in the past, present, and future, In: Islamic Capitals and Cities, Mecca Press, Vol. 14, May, 1990, p. 52.

19- مصطفى، صالح لمعي، الحفاظ على المباني التاريخية في العمارة الطينية، مؤتمر التنمية العمرانية في المناطق الصحراوية ومشكلات البناء فيها، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الرياض، المملكة العربية السعودية، الجزء الثاني (27 – 29 شعبان) 2002، ص 607.

1.1.2. تقنية بناء السور الطيني الفاطمي

تشير الأجزاء التي تم الكشف عنها من السور الطيني الفاطمي موضوع الدراسة إلى أن السور مبني بتقنيتين، هما: البناء بالطابية، والبناء بقوالب الطوب اللبن، فكلا الطريقتين يمكن ملاحظتهما بوضوح في السور الطيني، وإن كانت الأجزاء الأكثر اكتشافا من السور الحالي مبنية بكتل من الطوب اللبن. وفيما يلي توضيح لتقنيتي البناء المستخدمة في السور.

1.1.1.2. طريقة البناء بكتل الطوب اللبن المجففة بحرارة الشمس Sun-dried mud bricks

وهي الطريقة الشائعة في أعمال البناء في مصر منذ عصور ما قبل الأسرات، وحتى وقتنا الحاضر، كما عرف البناء بالطوب اللبن في جميع أنحاء العالم من وقت مبكر جدا. وفي مصر، عرف المصريون القدماء صناعة الطوب اللبن، وتوارثها الناس جيلا بعد جيل[20]. وفيما يتعلق بأحجام ومقاسات الطوب المستخدم في بناء السور الفاطمي، فإن الوضع الراهن للسور، وما وصلت إليه حالة التلف للأجزاء المكشوفة، فضلا عن تغطية الجدران المكتشفة باللباد والبولي إيثيلين، لم يجعل من السهولة تحديد مقاسات الطوب اللبن في جميع الجدران، لكن هناك ثمة ملاحظات، وهي أن هناك تنوعا واضحا في مقاسات الطوب اللبن المستخدم في بناء السور، لكن لا يمكن الجزم بأن هذا التنوع من وقت البناء الأول، ففي الغالب أن هناك مباني أضيفت في وقت لاحق للبناء الأصلي.

وقد سبق القول بأن المقريزي انتابته الدهشة من حجم الطوب المستخدم في بناء السور، والذي أفاد أنه يبلغ الذراع طولا، وثلثي الذراع عرضا. وتشير المصادر التاريخية إلى أن الذراع الذي قصده المقريزي هو الذراع البلدي، الذي كان أساس وحدات القياس المصرية، وطوله 5826مم، مما يعني أن مقاس الطوب المقصود هنا هو 58 × 38.5سم. وأما عن كتل الطوب اللبن التي أمكن للباحث قياس أبعادها، للأجزاء المكشوفة حاليا من السور الطيني، فكان أكثرها ذا مقاس 40 × 20 × 10سم، وهذا هو المقاس الغالب على كتل الطوب اللبن، كما قيس في أجزاء متفرقة من السور الطيني (صورة 5، 6)

صورة (5): قياس أبعاد قوالب الطوب اللبن في الجزء الواقع بالقرب من برج الظفر، كما يتضح استخدام المونة الطينية في ربط أحجار الأساسات.

صورة (6): قياس أبعاد قوالب الطوب اللبن في الجزء الواقع بالقرب من البرج رقم 40، ويتضح تشابه أبعاد الطوب.

20- آدم، محمود عبد الحافظ، دراسة علاج وصيانة المنشآت الطينية التاريخية تطبيقاً على بعض المباني الطينية بمدينة القصر الإسلامية بواحة الداخلة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2007، ص ص 62 – 83.

وأما عن سمك جدار السور، فيتضح أنه – كما ذكر المقريزي، وأكده برادينز – كبير جدا، ربما يصل إلى مترين أو أكثر عرضا، بما يتسع لمرور فارسين فوقه، وهذا ما تم ملاحظته في الموقع الأثري؛ حيث وجدت جدران متنوعة في السمك من 1م حتى 2م تقريبا. ولا تزال هناك امتدادات للجدران تحت طبقات التربة، فلم يتم التمكن من قياس سمكها. ولعل الكشف عن أجزاء جديدة يسفر عن سمات معمارية فريدة لهذا السور الطيني. وتشير المصادر التاريخية إلى أن السبب في تشييد هذه الأسوار الدفاعية العريضة هو تمكين المدافعين عن السور من التعبئة السريعة عند أية نقطة تتعرض للتهديد، عن طريق التسلق، وما إلى ذلك[21]. والجدير بالذكر أن كثير من الجدران الطينية التي تم الكشف عنها بالسور قد بنيت على أساسات من الحجر الغشيم (غير منتظم الأبعاد) حيث تم ربط كتل الأحجار ببعضها بمونة طينية (صور 7، 8، 9)

صورة (7): استخدام كتل الطوب اللبن في تشييد جزء من السور، بالقرب من برج الظفر، وتتضح الأساسات الحجرية، وارتفاع الجدار الطيني الذي لا يتجاوز 120سم.

صورة (8): شكل وحجم بعض أحجار الأساسات، ويتضح بناء بعضها على مستوى سطح الأرض مباشرة.

صورة (9): جزء من السور الذي تم اكتشافه بمنطقة الدرّاسة بالقاهرة، ويتضح السمك الكبير للسور الطيني، في حدود 2م تقريبا.

2.1.1.2. طريقة البناء بالطابية (طريقة البناء المغربية) Tabiyya (Rammed earth)

وتسمى هذه الطريقة أيضا: التابية أو الطوبية أو التابوت أو المركز أو اللوح، وتعني في اللغة المحلية المغربية: قالب التراب المضغوط الذي أدخله الفينيقيون إلى المغرب، واللفظ مشتق من الكلمة الفينيقية "طابية"، وذكرت بعض المصادر أن أصول هذه الطريقة سودانية، نقلها البناؤون السودانيون إلى المغرب. وهي من أقدم التقنيات التي استعملها الإنسان في مبانيه، كما أنها الطريقة الأكثر شيوعا في مباني شمال إفريقيا والأندلس، منذ العصور القديمة، وساد استخدامها بكثرة عند المسلمين، وشملت كل أنواع العمارة بما فيها العسكرية، والمدنية، والدينية. وقد شاعت هذه الطريقة كذلك في العديد من البلدان حول

21- كريزويل، ل.أ.س.، العمارة الإسلامية في مصر، ترجمة: عبد الوهاب علوب، مراجعة وتقديم وتعليق: محمد حمزة إسماعيل الحداد، ص 25.

العالم، ففي إسبانيا كانت تسمى Tapia و Tapial ، وفي البرتغال تسمى Taipa ، ويطلق عليها في فرنسا اسم Pisé de terre[22، 23]، وهذا الاسم الأخير لاتيني الأصل، استعمل لأول مرة في مدينة ليون Lyon عام 1562م، وقد طبقت هذه الطريقة على قاعدة العمل الخاصة بتشييد الجدران بسماكة 50سم على الأقل، باستخدام الطين المدكوك rammed earth عن طريق كبس أو دك الطين بين هياكل خشبية متوازية، مما ينتج عنه قسم كامل صلب من الجدار الطيني[24]. ويذكر "برادينز" أن السور الطيني الذي تم الكشف عنه بالقرب من برج الظفر، ربما بناه المكوّن الأمازيغي (ذو الأصول المغربية) للجيش الفاطمي، وربما قبيلة البرقية الشهيرة (إحدى القبائل المغربية) وغالباً ما يتم استخدام تقنية البناء بالطابية لأسوار المدينة أو للعمارة الضخمة[25].

وأما عن الطريقة المتبعة في تقنية البناء بالطابية، فإن البناء بها يتطلب توفر عدة عناصر أساسية، وهي: القالب الخشبي، والخليط الطيني الذي سيصب بداخله، والمركّز (أو المدوّس) الذي يدك به الخليط الطيني ليندمج بشكل متجانس، والبنّاء ومساعديه. وهناك عناصر أخرى ثانوية تزيد أو تنقص حسب الحاجة وظروف الموقع والبناء. وأما عن العناصر الأساسية المشار إليها، فإن القالب المشار إليه يتركب من عدة قطع أغلبها مصنوع من مادة الخشب. وأما المركّز أو المدوّس، فهو من العناصر الضرورية في تقنية البناء بالطابية، وهو مصنوع من الخشب، ومقسم إلى قسمين: قسم سفلي عبارة عن كتلة خشبية، مثبت على سطحها ذراع خشبية طويلة، تمكن العامل من استخدامها في وضعية الوقوف، حتى تكون قوة دفعه إلى أسفل أكبر، فتزداد فعاليته أكثر[26].

وأما الخليط الطيني المستخدم في تقنية البناء بالطابية، فإنه يعوّل عليه كثيرا في متانة البناء الطيني وقوته، ولذا يتم الاعتناء بإعداده وتحضيره، ويتكون الخليط غالبا من مكونات غير عضوية متمثلة في الطين المخلوط بالحصى والرمال، والتي تعمل بدورها على تقليل الانكماش، والحد من التغيرات الحجمية للخليط الطيني بعد الجفاف، كما أنها تزيد من مقاومة الخليط أثناء عملية الدك وقت البناء. إلى جانب الإضافات نباتية المصدر، مثل التبن المقرط، والأعشاب، والأخشاب المحروقة (الفحم أو الرماد) التي تساعد على تماسك الخليط الطيني بشكل سريع. كما تجدر الإشارة إلى أن مادة الجير تعد أيضا من أهم الإضافات؛ حيث يلعب الجير دورا مهما في ربط مكونات الخليط المختلفة بعد عملية الدك، بالإضافة إلى أن تسرب السائل الجيري إلى الأسطح الداخلية للقالب الخشبي أثناء عملية الدك، يؤدي إلى تكوين طبقة سطحية رقيقة عالية الصلادة، تعمل على حماية أسطح السور المبني، من التفتت والتآكل بفعل عوامل التعرية المختلفة، ولذا لجأ البناؤون في بلاد المغرب الإسلامي، في العهد المرابطي ثم العهد الموحدي من بعده إلى استخدام هذه التقنية البنائية، بإضافة الجير إلى الخليط الطيني، لتقوية أسوارهم، مما زاد من متانتها وصلابتها، كما هو الحال في أسوار مدينة رباط الفتح، ومراكش. وفي بعض المناطق، كان يضاف إلى الخليط الطيني مواد أخرى مثل الشظايا، أوكسر الأحجار الكلسية صغيرة الحجم، أو القطع الحجرية الكبيرة غير المصقولة، وهذه الإضافات تختلف من مكان لآخر، تبعا للعادات المحلية وثقافات الشعوب[27].

22- مهداد، الزبير، مواد وطرق البناء التقليدي، مجلة الثقافة الشعبية، العدد 52، 2021، ص 193.
23- نعمان، إسماعيل، البناء بالتراب في بلاد المغرب الإسلامي: تقنية "الطابية" نموذجا، دورية كان التاريخية، العدد العاشر، ديسمبر، 2010، ص 19.
24- Dethier, J., Mud building architecture in the past, present, and future, p. 52.
25- Pradines, S., Discovery the Fatimid walls, pp. 103 – 115.
26- نعمان، إسماعيل، البناء بالتراب في بلاد المغرب الإسلامي، ص ص 20 – 23.
27- Hamdouni, M. A. and Pandolfo, S., Reflecting on materials and structure: Building cultures and research methodology in the project of a seismic building code for traditional materials in Morocco, In: Hardy, M., Cancino, C. and Ostergren, G. (eds.), Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium, J. Paul Getty Trust, 2009, pp. 67 – 79.

ويتم إضافة الماء إلى الخليط الطيني لتكوين عجينة، يتم صبها على مراحل داخل التابوت (القالب أو الهيكل الخشبي) حيث يتم وضع طبقة من الخليط وتدك جيدا بالمركّز، ثم توضع طبقة أخرى، وهكذا. ويتم دك ذلك العجين الطيني جيدا من قبل بنائين ومساعدين مدربين على هذه الطريقة؛ حيث يتم دك العجين باستخدام المركّز، بقوة شديدة وإتقان ومهارة، حتى تندمج مكونات الخليط بشكل جيد ومتجانس. ويلاحظ في هذه الطريقة أنها تتم على الجدار مباشرة دون حاجة لتجفيف الكتل الطينية أولا ثم بنائها (هذه الطريقة تشبه إلى حد كبير طريقة صب المونة الخرسانية الحديثة هذه الأيام) ويتم عزل الألواح الخشبية المستخدمة من الداخل لمنع التصاق الخليط الطيني بها، وحتى يسهل فكها ونقلها لجزء تالي من الجدار لاستكمال عملية البناء، حتى ينتظم الجدار كأنه وحدة واحدة. ولزيادة متانة السور المنجز بهذه الطريقة، يضاف للخليط الطيني بين الحين والآخر قطع خشبية طولها لا يتجاوز عرض السور، وقليلة السمك، وقطع أخرى طويلة مستقيمة أو ملتوية قليلا، توضع بجوار بعضها على الامتداد الطولي للسور[28، 29] (صورة 10، 11)

صورة (10): طريقة بناء الجدران الطينية بتقنية الطابية (عن: Hamdouni, 2009)

صورة (11): جدار من السور الطيني الفاطمي، مبني بتقنية الطابية (عن: Pradines, 2018)

وبخصوص سمك الجدار المبني بطريقة الطابية فهو في الأغلب لا يقل عن 50سم، إلا نادرا، وذلك لزيادة متانة السور، وتوفير المساحة اللازمة لحركة شخص يدك الخليط في وسط القالب، أما الارتفاع فهو متغير حسب نوع البناء، مع ملاحظة وجود علاقة بين السمك والارتفاع، فكلما زاد ارتفاع السور، كلما زاد سمك الجدار، حتى يكون البناء متماسكا ومتينا، وأكثر مقاومة للعوامل الطبيعية التي قد تتسبب في انهياره كالرياح والعواصف الشديدة. وفي حالة الأسوار الدفاعية التي تتميز بارتفاعها الكبير، يتم التقليص من سمكها كلما ارتفع البناء إلى أعلى، فإذا تم البدء في بناء الجدران بسمك يتراوح بين 80 – 100سم، فإنها تقل إلى سمك 60سم عندما يصل ارتفاعها 3م[30]. وفي سور القاهرة الفاطمي – موضوع الدراسة – وجد أن الأجزاء المبنية بتقنية الطابية يصل سمكها إلى 180سم تقريبا، كما يتراوح طول الكتلة الطينية الواحدة بين 160سم و190سم[31].

وبشكل عام، فإن الأجزاء المكتشفة من السور الآن لا تعطي التصور الكامل والدقيق لأسلوب البناء المتبع في كامل أجزاء السور – الذي لم يتم الكشف عنه بعد – حيث إن كثيرا من كتل الطوب تحولت إلى كومات من التراب، بسبب ضعفها وهشاشتها بفعل عوامل التعرية، وعدم التدخل العاجل بأعمال الترميم والصيانة. لكن أكثر الجزء الظاهر من السور الآن يوضح استخدام طريقة البناء بكتل الطوب اللبن،

28- مهداد، الزبير، مواد وطرق البناء التقليدي، ص ص 193 – 197.
29- حمادي، يوسف، «التابية» طريقة تقليدية لبناء البيوت في المغرب جلبها السوادنيون، جريدة عمان، رئيس التحرير: عاصم بن سالم الشيدي، 19 يونيو 2019.
30- نعمان، إسماعيل، البناء بالتراب في بلاد المغرب الإسلامي، ص 24.
31- Pradines, S., Discovery the Fatimid walls, pp. 103 – 115.

خاصة في الأجزاء العليا من السور. وأما تقنية الطابية فقد استخدمت أحيانا في بناء جدران مستقلة، كما استخدمت أحيانا أخرى في بناء الأجزاء السفلى من بعض الجدران. وهذا الجمع بين الطريقتين البنائيتين يمكن تفسيره بأمرين: الأول، أن البنائين لجأوا – عن قصد – إلى استخدام طريقة البناء بالطابية في الأجزاء السفلى من السور – فوق الأساس مباشرة – في بعض الجدران، ثم علوها بالبناء بقوالب الطوب الطيني المعروفة. والثاني، أن الأجزاء المشيدة بقوالب الطوب اللبن أضيفت في فترات لاحقة لبناء السور الأول الذي شيده جوهر الصقلي، أو كانت عبارة عن أعمال ترميم قديمة للسور – في العصر الفاطمي – تمت باستخدام كتل الطوب اللبن.

2.2. أسباب ومظاهر تلف السور الطيني الفاطمي Deterioration causes and aspects

بمعاينة السور الطيني الفاطمي، في المنطقة محل الدراسة، تبين وجود العديد من مظاهر التلف بموقع السور، بالإضافة إلى مظاهر تلف بالسور نفسه. ومن أهم هذه المظاهر: دفن أجزاء كبيرة من السور تحت طبقات الرديم والمخلفات البيئية، وفقد أجزاء كبيرة من السور الطيني، وتفكك مكونات الطوب اللبن والمونة الطينية الرابطة وتساقط كثير منها، وانتشار الشروخ والشقوق بجدران السور، وتحلل وتساقط الأجزاء السفلى من السور، وتفكك مباني الطوب اللبن وضعف ترابطها، بالإضافة إلى تشوه وضياع معالم الطوب اللبن، وتلف وتحلل الأجزاء العليا من السور والمعرضة بشكل مباشر لسقوط الأمطار، وتلف الكتل الحجرية المستخدمة في بناء أساسات السور الطيني وتحلل المونة الطينية الرابطة بينها، وضعف الجملة الإنشائية لمباني الطوب اللبن بالسور الطيني الأثري، وتحول مساحات كبيرة من السور الطيني إلى أكوام من التراب.

ويمكن حصر أهم أسباب التلف بموقع السور الطيني في التعديات البشرية، وسوء التعامل مع الموقع الأثري؛ حيث تأثر موقع السور بالعديد من التعديات المشوهة للطابع العام، من بينها انتشار أكوام القمامة في مناطق متعددة من الموقع، ووجود بيوت قديمة من الأخشاب والصاج (الصفيح) وأماكن عشوائية لجمع وفرز القمامة في مسار السور[32]. هذا بالإضافة إلى التقادم الطبيعي للسور، وتأثره بالعوامل البيئية المتلفة؛ حيث يعود السور الطيني إلى بداية تأسيس الدولة الفاطمية في مصر، أي مر عليه الآن أكثر من ألف عام. كما أن الفترة الطويلة التي تعرض فيها السور للدفن تحت طبقات التربة، بل والبناء على هذه التربة في العصر الحديث، أدى ذلك لزيادة الأحمال والضغوط الميكانيكية على السور بفعل طبقات الرديم والمباني والحركة المستمرة أعلى السور المدفون، فضلا عن الاهتزازات والحركة المرورية بالقرب من السور، هذا إلى جانب التأثيرات والعوامل المتلفة التي تعرض لها السور بعد الكشف عنه، ومن أهمها – من وجهة نظر الباحث – الصدمة البيئية التي تعرض لها السور الطيني وقت الكشف عنه مما أدى إلى ضعف وتفكك مادة الطوب اللبن والمونة الطينية.

ومن الجدير بالذكر أيضا أن عدم اتخاذ القرار العاجل في التدخل بحماية السور الطيني[33]، فضلا عن العوامل المناخية التي تعرض لها السور من تغيرات حرارية، ورياح، وأمطار.. إلخ. وحتى بعد تغطية السور الطيني بالقماش العازل لحمايته من عوامل التعرية، أدى إلى تعرض السور للتلف، بل تعرض القماش العازل للتلف أيضا بفعل العوامل البيئية والمناخية والبيولوجية، والاستخدام السيئ للموقع بشكل

32- عزب، خالد، مشروع الكشف عن أسوار صلاح الدين الشرقية، دورية كان التاريخية، العدد التاسع، سبتمبر، 2010، ص ص 108 – 109.

33- في الواقع، كان ينبغي بمجرد ظهور بوادر الكشف عن أجزاء السور الطيني الفاطمي، أن يتم اتخاذ أعلى درجات الحيطة والحذر والتأمين للسور الطيني وقت الكشف، وتجنب تعريض الطوب اللبن – وهو مادة سريعة التحلل – للصدمة البيئية، إلى جانب تأمين الموقع الطيني من التأثيرات المباشرة لأشعة الشمس، والأمطار، من خلال عمل حماية كلية عن طريق تغطية الأطلال الطينية المكتشفة بمظلات واقية؛ حيث لا تكفي التغطية بالقماش والبولي إيثيلين في مثل هذه الحال. كما أنه كان ولابد من اتخاذ قرار الترميم العاجل للأجزاء المكتشفة من السور.

عام. كما تجدر الإشارة إلى أن أعمال الترميم التي تجري في ذات الموقع على السور الحجري المتاخم، ودخول وخروج العمال والمعدات الثقيلة من وإلى الموقع الأثري، لا شك أنه كان لها دور كبير في تفاقم حالة السور وتعرضه للتلف الشديد، رغم الحرص الشديد من الجهات المنفذة[34] (صور 12 – 15)

صورة (12): تلف السور الطيني بفعل الدفن وعوامل التعرية.

صورة (13): تلف مباني الطابية بالسور.

صورة (14): تلف وتدهور مباني السور الطيني، وتشوه معالم الطوب اللبن، وفقد في كتل الطوب.

صورة (15) وقوع امتداد السور الطيني أسفل طبقات الردم والمباني الحديثة.

3.2. طرق الدراسة Methods

1.3.2. الفحص البصري Visual examination

يعد الفحص البصري من الوسائل المهمة جدا لدراسة مواد البناء بشكل أولى قبل الشروع في فحوص أكثر دقة؛ حيث يعطي معلومات تخص طبيعة مواد البناء، وأسطحها، ولونها، وطريقة عملها. وقد تم إجراء الفحص البصري على عينات متعددة من الطوب اللبن والمونة الطينية المستخدمة في بناء السور الطيني الفاطمي، باستخدام العين المجردة، والعدسات المكبرة، للتعرف عن قرب على طبيعة المواد الطينية المستخدمة في بناء السور، ودرجة اللون، والتماسك، وحجم المكونات المعدنية، والإضافات العضوية وغير العضوية، والشوائب ونحوها، مما يمكن التعرف عليه بهذه الوسائل[35].

34- M. El-Gohary, Investigation on limestone weathering of El-Tuba minaret El Mehalla, Egypt: a case study, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 10 (1), 2010, pp. 61 – 79.

35 - Stuart, B. H., Analytical techniques in materials conservation, John Wiley& Sons Ltd, England, 2007, p. 43.

2.3.2. التحليل بحيود الأشعة السينية X-ray diffraction analysis (XRD)

يعد التحليل بحيود الأشعة السينية من أهم طرق التحليل المفيدة في التعرف على المكونات المعدنية للمواد الصلبة المتبلورة غير العضوية[36]، وقد استخدم في هذه الدراسة جهاز التحليل بحيود الأشعة السينية ذي المواصفة الآتية:

PAN analytical X-Ray Diffraction equipment model X´Pert PRO with Monochromator, Cu-radiation (λ= 1.542Å) at 50 K.V., 40 M.A. and scanning speed 0.02º/sec. was used. The reflection peaks between 2Θ = 2º and 60º, corresponding spacing (d, Å) and relative intensities (I/Iº) were obtained. The diffraction charts and relative intensities are obtained and compared to ICDD files.

وذلك للتعرف على التركيب المعدني للطوب اللبن والمونة الطينية المستخدمة في بناء السور الطيني؛ حيث تم جمع عدد من العينات الطينية من أماكن متفرقة بالسور، لمعرفة مدى التشابه أو الاختلاف في التركيب المعدني.

3.3.2. الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت طاقة الأشعة السينية Scanning electron microscopy (SEM-EDX)

استخدم الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت طاقة الأشعة السينية لفحص عينات الطوب اللبن والمونة الطينية المستخدمة في السور الطيني موضوع الدراسة، وكذلك لعمل تحليل عنصري، للتعرف على العناصر المكونة لمواد البناء الطينية. وقد استخدم لهذا الغرض، الجهاز ذو المواصفة الآتية:

SEM quanta FEG 250 FEL, USA, equipped with an energy dispersive X-ray detector.

4.3.2. دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات الطينية الأثرية والتجريبية المصنعة لأغراض الترميم والتدعيم Study of physical and mechanical properties

تم قياس الكثافة، ونسبة امتصاص الماء، والمسامية الظاهرية، ونسبة الانكماش في الحجم بعد الجفاف، والمقاومة للضغط لعينات الطوب اللبن الأثرية[37].

1.4.3.2. إعداد العينات الطينية التجريبية

تم إعداد عينات تجريبية، من خلطات طينية متنوعة، وذلك باستخدام الطينة الصحراوية[38] المخلوطة ببعض الإضافات العضوية وغير العضوية، لتحسين خصائص الطوب المصنع، لاستخدامه في أغراض الترميم، والتدعيم، والاستكمال، وإعادة البناء للأجزاء التالفة والمهدمة من السور الطيني الأثري.

---

36 - Stuart, B. H., Analytical techniques, pp. 229 – 232.

37- إمام، محمود، الخرسانة: الخواص، الجودة، الاختبارات، كلية الهندسة، جامعة المنصورة، 2008، ص 206.

38- تعد الطينة الصحراوية هي البديل لطمي النيل في صناعة الطوب اللبن، والصناعات الطينية الأخرى. وقد تم جمع كميات من الطينة الصحراوية المتاخمة للمناطق الزراعية والسكنية من المنطقة الواقعة بين واحتي الداخلة والخارجة، وتحديدا غرب الخارجة، لكن بعد تجهيز العينات وصبها وجد أنها تتشقق بعد الجفاف بنسبة كبيرة جدا، فوقع الاختيار على الطينة الصحراوية الواقعة بالصحراء الغربية، وتحديدا شمال شرق واحة الخارجة، والتي أكدت دراسات سابقة جودة هذه الطينة، لكونها غنية بمعادن الكاولينيت، ونسب قليلة من معادن الإليت والمنتموريللونيت. انظر:

آدم، محمود عبد الحافظ، دراسة تحليلية مقارنة في تلف وعلاج وصيانة المباني الأثرية متعددة مواد البناء بواحتي الخارجة والداخلة – تطبيقا على بعض المباني الأثرية المختارة، رسالة دكتوراه، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2012، ص ص 136 – 137.

وتمثلت الإضافات المستخدمة في تحسين خصائص الخليط الطيني للعينات التجريبية في: التبن المقرط، والرمل، والأسمنت الأبيض، والجير المطفأ، ومسحوق السيراميك[39]. ويبين الجدول رقم 1 مكونات ونسب الخلطات الطينية التجريبية التي تم دراستها. وقد تم قياس الخواص الفيزيائية للعينات الدراسية وفقا للمواصفة الأمريكية ASTM C20-2000 (2003)، كما تم قياس المقاومة للضغط للعينات الطينية الأثرية والتجريبية وفقا للمواصفة الأمريكية ASTM C67-2003a (2003)[40، 41].

جدول (1): أكواد ونسب مكونات العينات الطينية التجريبية

كود العينة	الأبعاد (سم)	المكونات والنسب
1	3 × 3 × 3	45% طينة صحراوية – 55% رمل – 15% أسمنت أبيض
2	3 × 3 × 3	45% طينة صحراوية – 55% رمل – 20% مسحوق السيراميك
3	3 × 3 × 3	45% طينة صحراوية – 55% رمل – 15% أسمنت أبيض – 15% مسحوق السيراميك
4	3 × 3 × 3	45% طينة صحراوية – 65% رمل – 10% جير مطفأ – % تبن مقرط

3. المناقشة والنتائج Results and discussion

1.3. الفحص البصري Visual examination

اتضح من الفحص البصري بالعين المجردة والعدسات المكبرة لعينات الطوب اللبن والمونة الطينية، التي تمت دراستها، أن الطوب اللبن يتنوع تنوعا واضحا في لونه ومكوناته، فبينما كانت هناك كتل طوب ذات لون فاتح، إذ وجدت كتل أخرى داكنة اللون، ويبدو واضحا أن هناك تنوعا كبيرا في مكونات الطوب، ودرجة تماسكه. وتتكون أكثر كتل الطوب المدروسة من نسبة عالية من الرمل الناعم، وبعض كتل الطوب يظهر عليها العجن الجيد نسبيا للخليط الطيني، وبعضها أقل في جودة العجن. وعمد ضاربوا الطوب إلى خلط الطين بمكونات تزيد من متانة الطوب ومقاومته الميكانيكية إلى حد ما. ومن أبرز الإضافات التي أضيفت إلى خلطة الطين التي صنعت منها كتل الطوب اللبن – كما اتضح مبدئيا من الفحص – مسحوق الطوب المحروق ورماد الأفران، بالإضافة إلى نسبة من مادة الجير.

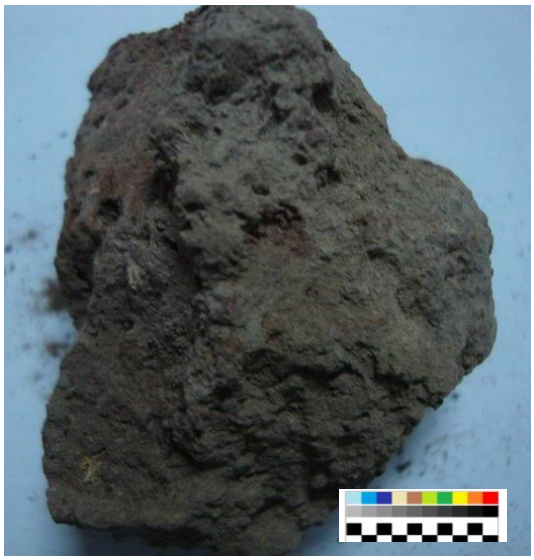
وبشكل عام، فإن مكونات الطوب اللبن في بعض الأجزاء من السور تتسم بدقتها وترابطها إلى حد ما، إلا أن عوامل التجوية المختلفة قد تركت آثارها على هذا الطوب وأدت إلى تحلل مكوناته وتفتتها

39- وقع الاختيار على مسحوق السيراميك لدراسة كفاءته كأحد الإضافات غير العضوية لتحسين جودة الطوب اللبن المصنع لأغراض الترميم، كنوع من إعادة التدوير لمخلفات مصانع السيراميك في مصر، والتي يتجاوز عددها الأربعين مصنعا، يتخلف عنها يوميا مئات الأطنان من كسر السيراميك والمواد الخزفية، والتي يشكل التخلص منها صعوبة بالغة، وعبئا كبيرا على الدولة والمسئولين. كما أن مسحوق السيراميك من الناحية التركيبية عبارة عن مكونات سيليكاتية الأصل، متمثلة في الطينة الأساسية التي تمثل البدن السيراميكي، بالإضافة إلى الرمال. وهناك بعض المكونات الأخرى لا تمثل أهمية كبيرة لنسبتها الضئيلة كالمواد المصهرة والمواد الملونة. ومن هنا يتوافق تركيب مسحوق السيراميك مع طبيعة مكونات الطوب اللبن، ومن هنا جاءت فكرة دراسة استخدامه كمادة مالئة في صناعة الطوب اللبن.

40- El-Mahallawy, M. S., The composition and ceramic properties of some Egyptian shale deposits and their possible utilization as building materials, Ph.D., Dept. of Geology, Faculty of Science, Zagazig Univ., 2004, p. 46.

41- ASTM D 422 – 63, Standard test method for particle- Size analysis of soils, 1991, pp. 612 – 617.

في كثير من المناطق بالسور الأثري. أما المونة الطينية فتظهر تماسكا أقل، فضلا عن زيادة نسبة الرمل بشكل ملحوظ، وزيادة المكونات غير العضوية كبيرة الحجم مثل الزلط وكسر الأحجار، وقد وجدت مونة طينية ذات لون داكن، وأخرى مائلة للاصفرار، ويعد هذا أمرا طبيعيا، مع طول السور وضخامته، فلا بد أنه جمعت له أطيان من أماكن متفرقة من القطر المصري، أدت إلى هذا التنوع الكبير في لون ومكونات وخصائص الطوب[42] (صورة 16، 17)



صورة (16): فحص بصري لعينة من الطوب اللبن الأثري يتضح فيها استخدام الطمي الطيني مع الرمل مع مسحوق الطوب المحروق ونسبة من رماد الأفران.

صورة (17): فحص بصري لعينة من المونة الطينية الرابطة بين قوالب الطوب اللبن، ترتفع بها نسبة الرمل والحصي.

2.3. التحليل بحيود الأشعة السينية X-ray diffraction analysis (XRD)

تم تحليل عينات من الطوب اللبن الأثري والمونة الطينية الرابطة بين قوالب الطوب اللبن، من أماكن متفرقة من السور الطيني الأثري، بطريقة حيود الأشعة السينية XRD للتعرف على المكونات المعدنية للطوب اللبن والمونة الطينية. وقد تبين من نتائج التحليل المعدني للعينات ما يلي:

- أهم المكونات المعدنية غير الطينية للطوب اللبن بالسور الطيني الأثري، طبقا لنسب وجودها بالعينات المدروسة هي: كوارتز quartz (SiO_2) ، وألبيت albite ($NaAlSi_3O_8$) ، وبوليهاليت polyhalite ($K_2Ca_2Mg(SO_4).2H_2O$) ، وكالسيت calcite ($CaCO_3$) ، وكريستوباليت cristobalite (SiO_2) ، وكوسيت coesite (SiO_2) ، وهاليت halite (NaCl).[43]

42- Serena, L., Field methods for the analysis of mud brick architecture, Journal of Field Archaeology, 42, 2017, pp. 351 – 363.
https://doi.org/10.1080/00934690.2017.1345222

43- معدن البوليهاليت يوجد عادة مصاحبا لمعادن الهاليت والسيلفيت. والصيغة الكيميائي له هي: $K_2Ca_2Mg(SO_4).2H_2O$. أما معدنا الكريستوباليت والكوسيت فتركيبهما مماثل لتركيب الكوارتز، والصيغة الكيميائية لهما أيضا هي: SiO_2 وهما من المعادن التي تتميز بخاصية التعدد الشكلي مع الكوارتز؛ حيث يتبلور الكريستوباليت في فصيلة الرباعي tetragonal، بينما يتبلور الكوسيت في فصيلة الميل الواحد monoclinic.

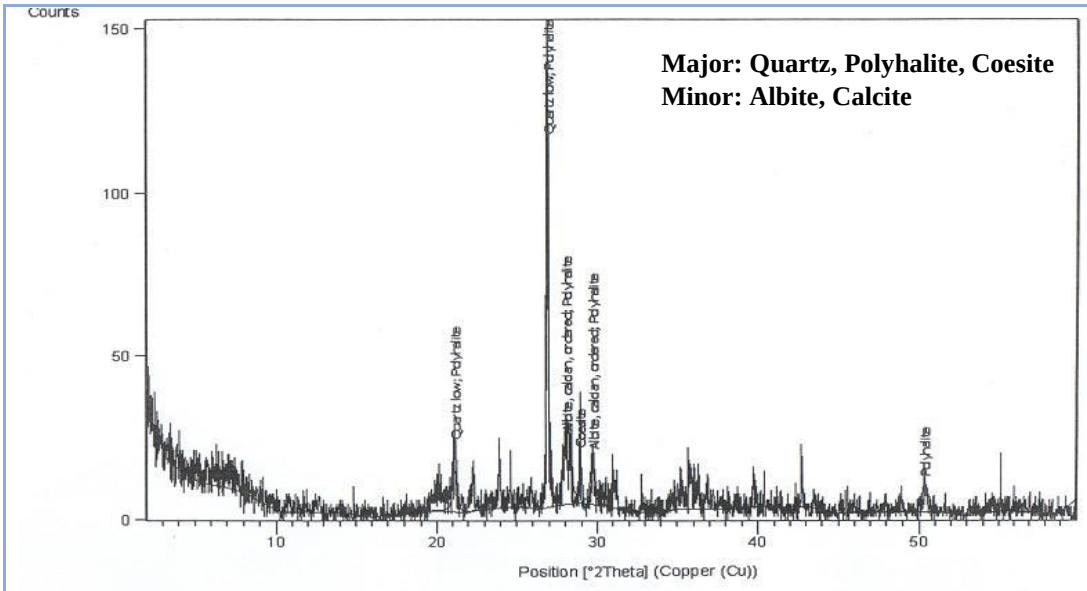
- أهم المكونات المعدنية الطينية للطوب اللبن بالسور الطيني الأثري هي: المونتموريللونيت $(Na(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.xH_2O)$ montmorillonite، والكاولينيت kaolinite $(Al_4Si_4O_{10}OH_8)$.
- أهم المكونات المعدنية غير الطينية للمونة الطينية بالسور الطيني الأثري طبقا لنسب وجودها بالعينات المدروسة هي: كوارتز quartz، وكالسيت calcite ، وهاليت halite ، وألبيت albite، وروتيل (TiO_2) rutile.
- أهم المكونات المعدنية الطينية للمونة الطينية بالسور الطيني الأثري هي: الكاولينيت kaolinite.

وتشير هذه النتائج إلى أن الطوب اللبن المستخدم في السور – طبقا للعينات المدروسة – غني بالرمال، بالإضافة إلى تعرض الطوب للإصابة بأملاح الكلوريدات والكبريتات، ولعل هذا نتيجة لوجود السور في منسوب منخفض أدى إلى تسرب المياه المحملة بالأملاح من التربة إلى حوائط السور. ولا مانع من كون نسبة من هذه الأملاح كانت موجودة بشكل طبيعي في التربة التي صنعت منها كتل الطوب اللبن، لكن الأغلب هو تعرض الطوب اللبن للإصابة بالأملاح، نتيجة التفاعل مع مصادر الرطوبة المختلفة. كما يتضح إضافة الجير عند صناعة الطوب اللبن لتحسين خواص الطوب، ولعل التربة التي صنع منها الطوب أيضا كانت غنية بالمواد الكلسية.

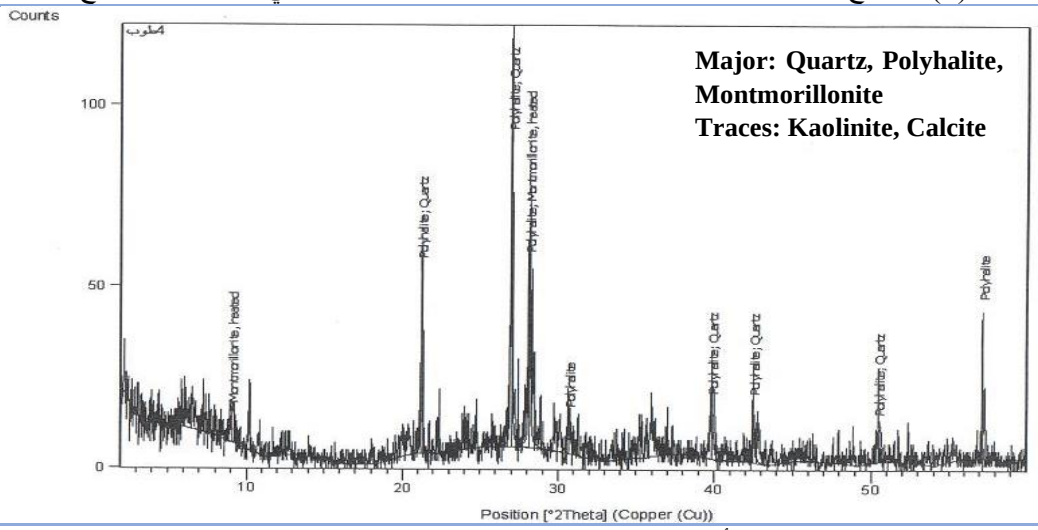
وأما المونة الطينية فتشير النتائج إلى أنها غنية بالرمال، مع وجود نسبة من الجير، وتعرضت – كما هو الحال في الطوب اللبن – للإصابة بالأملاح من المصادر المختلفة. ويوضح الجدول رقم 2 التركيب الكيميائي ومتوسط نسب ظهور المركبات المعدنية في عينات الطوب اللبن والمونة الطينية. كما توضح الأشكال من 4 – 9 نماذج من أنماط حيود الأشعة السينية لعينات الطوب اللبن والمونة الطينية بالسور الطيني الفاطمي بمنطقة الجمالية.

جدول (2): التركيب الكيميائي للمعادن المكونة لمواد البناء الطينية ومتوسط نسب وجودها بالعينات

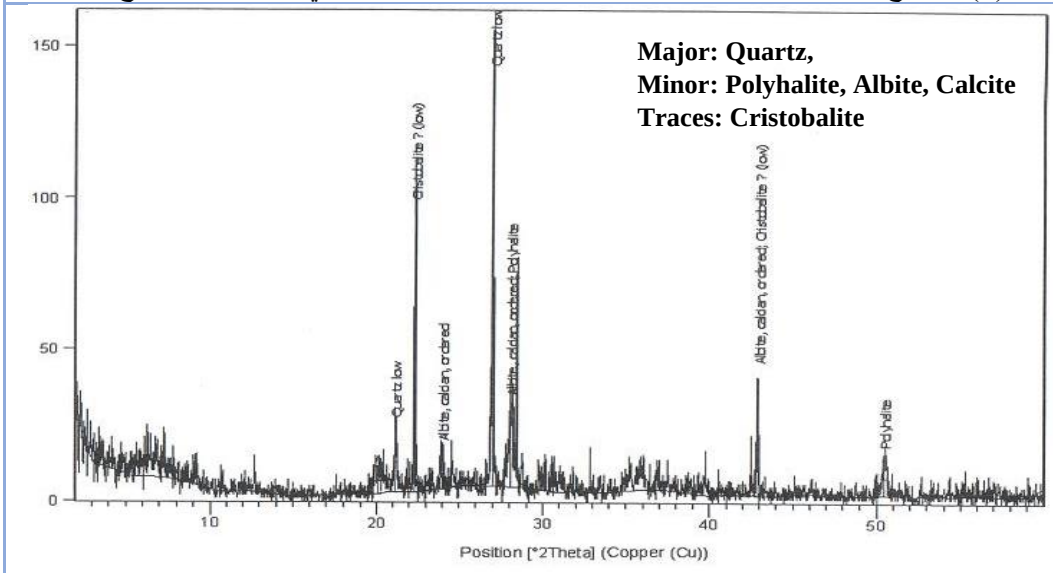
المعدن	الصيغة الكيميائية	الطوب اللبن	المونة الطينية
كوارتز	SiO_2	***	***
ألبيت	$NaAlSi_3O_8$	***	**
بوليهاليت	$K_2Ca_2Mg(SO_4).2H_2O$	**	-
كالسيت	$CaCO_3$	**	**
كريستوباليت	SiO_2	*	-
كوسيت	SiO_2	**	-
هاليت	$NaCl$	*	**
روتيل	TiO_2	-	*
الكاولينيت	$Al_4Si_4O_{10}OH_8$	**	**
المونتموريللونيت	$Na(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.xH_2O$	***	**
حيث: *** نسبة عالية، ** نسبة متوسطة، * نسبة قليلة، - لا يوجد.			



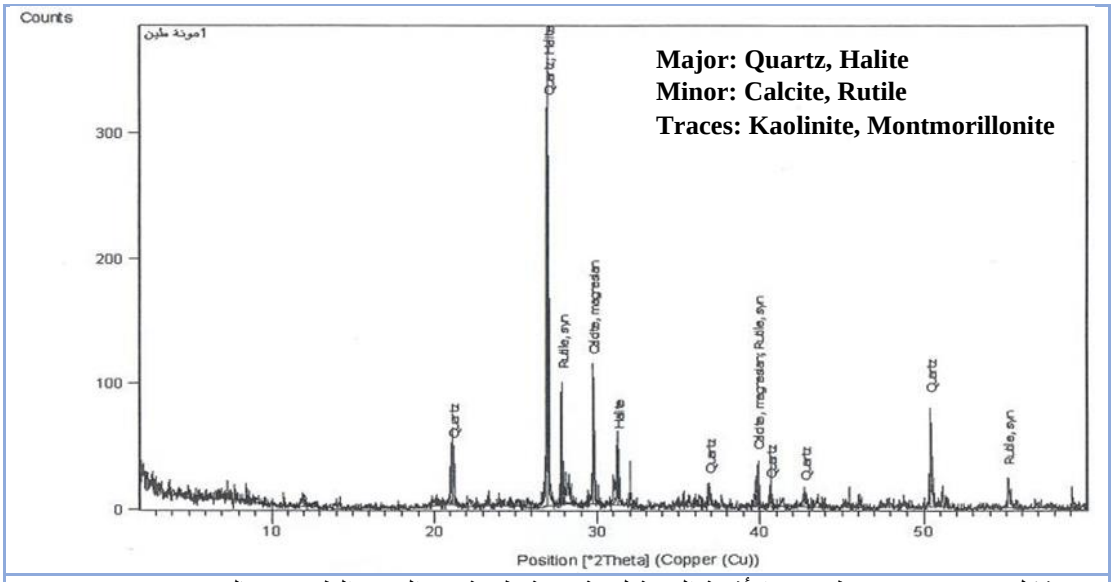
شكل (4): يوضح نمط حيود الأشعة السينة لعينة طوب لبن من السور الطيني – بالقرب من برج 35



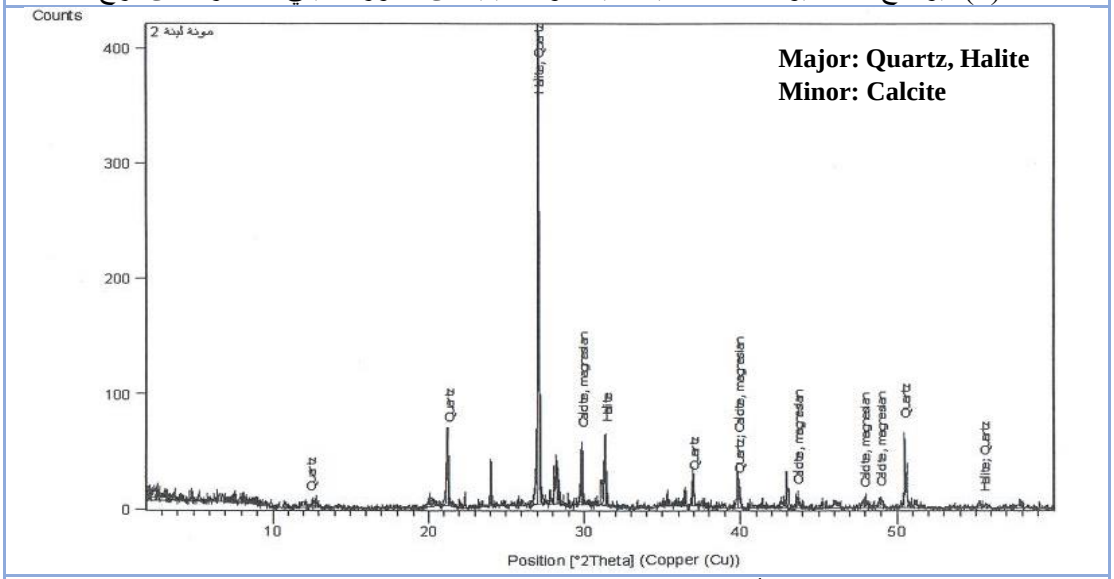
شكل (5): يوضح نمط حيود الأشعة السينة لعينة طوب لبن من السور الطيني – بالقرب من برج الظفر



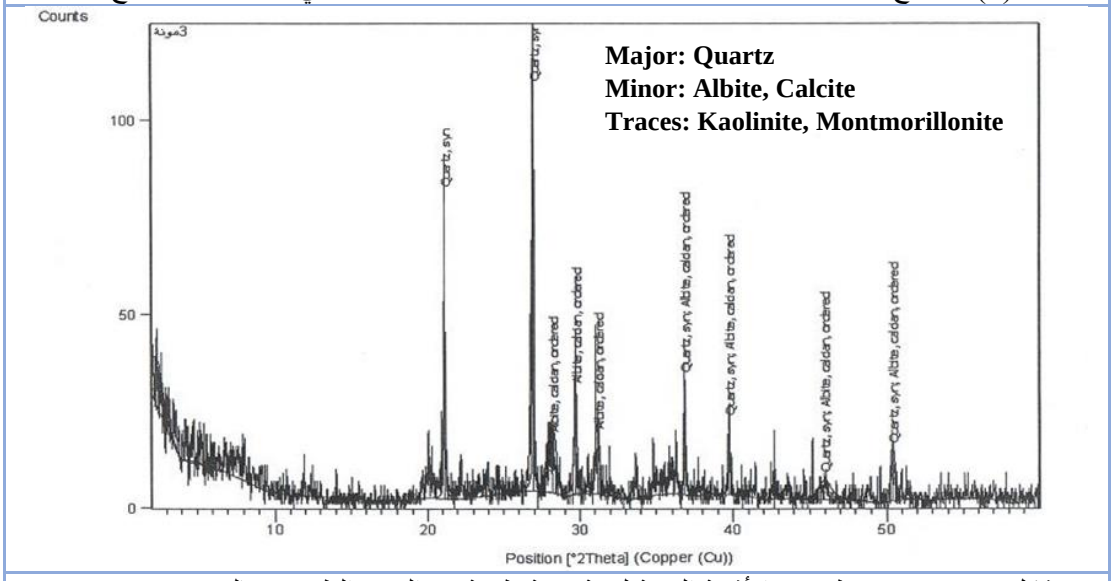
شكل (6): يوضح نمط حيود الأشعة السينة لعينة طوب لبن من السور الطيني – بالقرب من برج 40



شكل (7): يوضح نمط حيود الأشعة السينة لعينة مونة طينية من السور الطيني – بالقرب من برج 35



شكل (8): يوضح نمط حيود الأشعة السينة لعينة مونة طينية من السور الطيني – بالقرب من برج الظفر

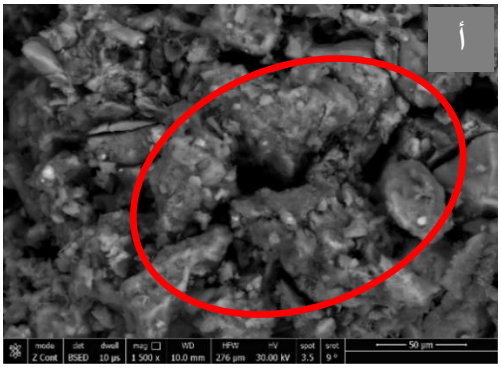


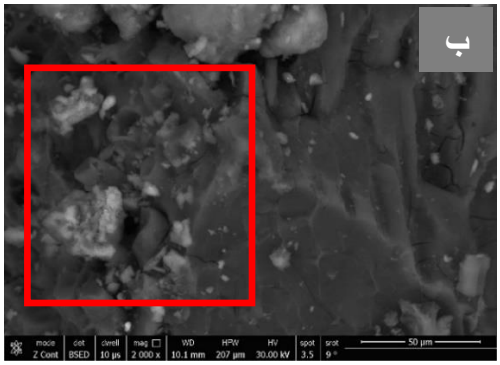
شكل (9): يوضح نمط حيود الأشعة السينة لعينة مونة طينية من السور الطيني – بالقرب من برج 40

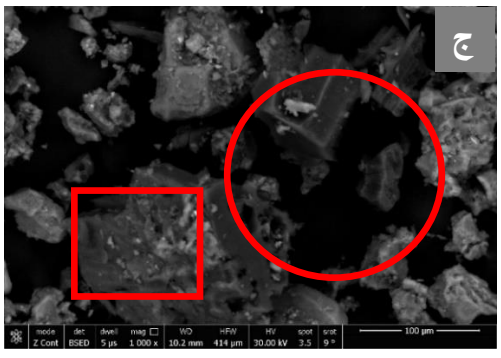
3.3. الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت طاقة الأشعة السينية Scanning electron microscopy (SEM-EDX)

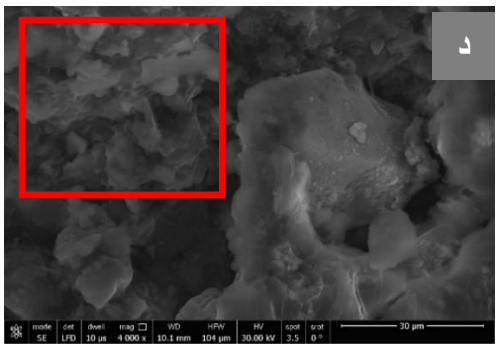
أوضح الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح لعينات الطوب اللبن (شكل 10 أ، ب) وعينات المونة الطينية (شكل 10 ج، د) احتواء كل من الطوب اللبن والمونة الطينية على نسبة عالية من الرمال والحصى غير المتجانسة في أحجامها، بالإضافة إلى انتشار البلورات الملحية في الطوب والمونة الطينية. بعض حبيبات الكوارتز ذات حواف مستديرة، ويمكن عزو ذلك إلى سببين رئيسيين؛ الأول: وهو استخدام طينات ذات أصل نهري؛ حيث من المرجح استخدام طمي النيل بكثرة في صناعة الطوب اللبن المستخدم في بناء السور. والثاني: وهو بفعل التجوية التي تعرض لها الطوب اللبن والمونة الطينية خلال فترة الاستخدام، وكذلك فترة دفن السور تحت طبقات التربة؛ حيث أثرت الرطوبة الأرضية على وجه الخصوص على مواد بناء السور الطيني، وتسببت في تلف كبير لها، وتزهر الأملاح عليها، ولذا يظهر من الفحص الميكروسكوبي، التفكك، ووجود العديد من الفراغات في الطوب اللبن والمونة الطينية[44].

كما اتضح من التحليل العنصري لعينات من الطوب اللبن والمونة الطينية (شكل 10 هـ، و) وجود العناصر الآتية: السيليكون Si، والأكسجين O_2، والكربون C، والألومنيوم Al، والكالسيوم Ca، والبوتاسيوم K، والكلور Cl، والكبريت S، والماغنسيوم Mg، والنحاس Cu، والحديد Fe، والتيتانيوم Ti، والفسفور P. ويمثل الكربون والأكسجين أهم العناصر الأساسية في الطوب اللبن، في حين يوجد الكالسيوم بنسبة متوسطة، والسيليكون بنسبة أقل، بينما توجد العناصر الأخرى بنسب ضئيلة. أما المونة الطينية، فيمثل فيها الأكسجين والسيليكون العنصرين الأساسيين، كما يوجد الكربون والحديد بنسب متوسطة، بينما توجد العناصر الأخرى بنسب ضئيلة. وتؤكد نتائج التحليل العنصري بواسطة EDX نتائج التحليل المعدني بواسطة XRD؛ حيث يغلب على مكونات الطوب اللبن والمونة الطينية وجود الرمل والجير، فضلا عن وجود الأملاح كأحد مظاهر التلف، هذا إلى جانب العناصر الدالة على المعادن الطينية المتمثلة في معادن الكاولينيت والمنتموريللونيت.

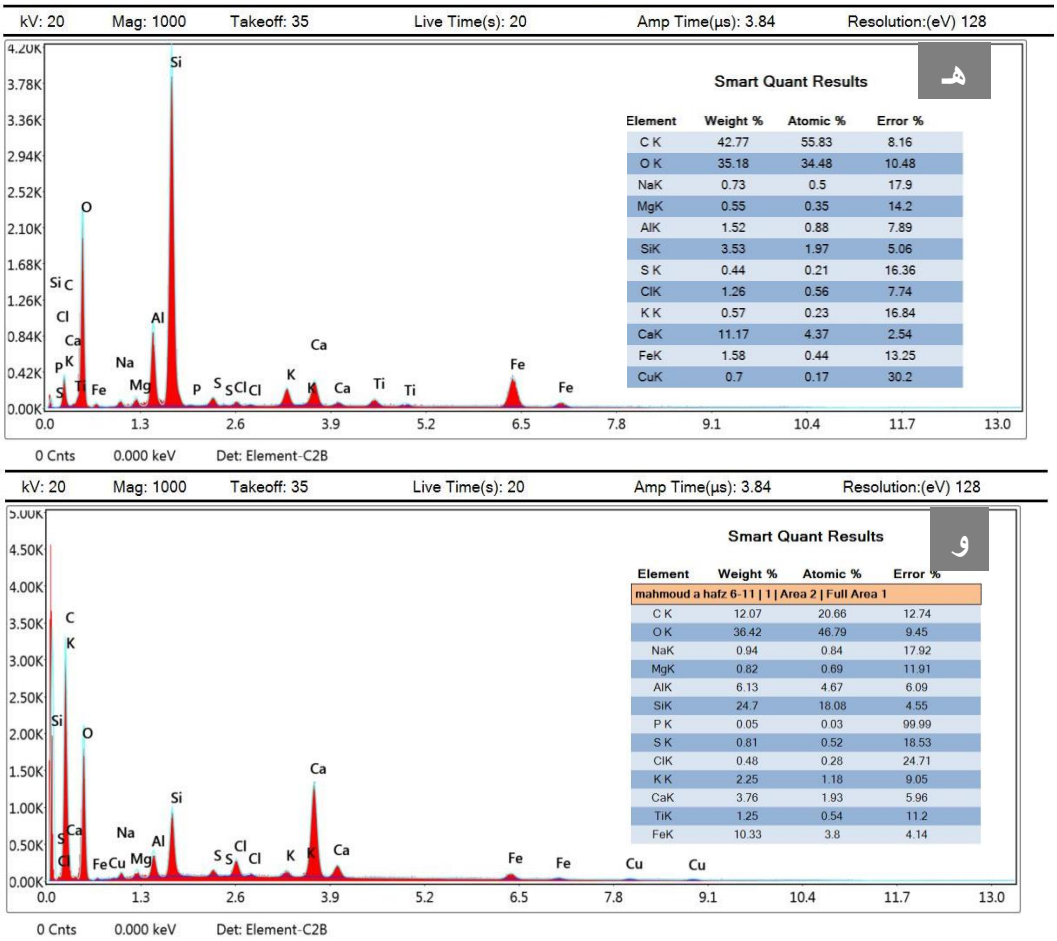








44- El-Gohary M., The Contrivance of new mud brick for restoring and preserving the Edfa ancient granary-Sohag, Egypt, IJCS, Vol. 3 (2), 2012, pp. 67 – 78.



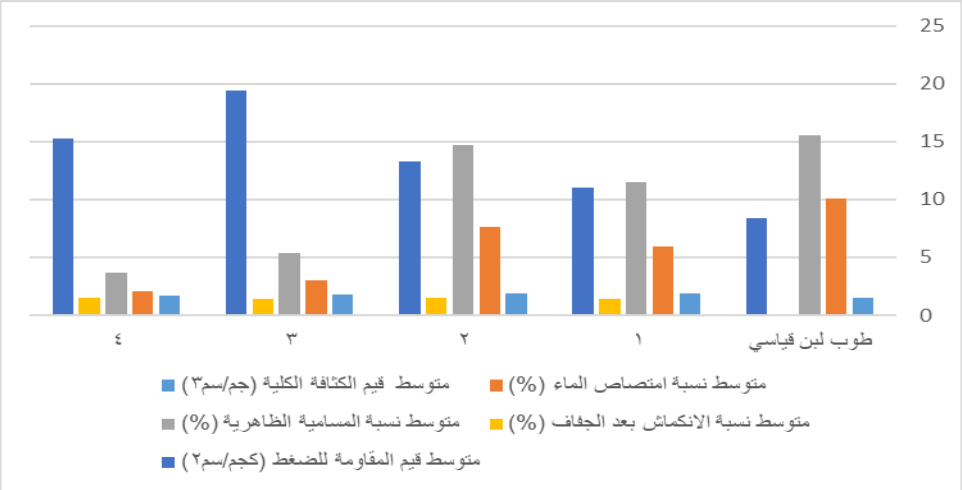
شكل (10): الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX (أ، ب) صورتان بـ SEM لعينات الطوب اللبن يتضح بها زيادة نسبة الرمل والحصى، ووجود فراغات "مشار إليها بأشكال دائرية" وتزهر ملحي "مشار إليه بأشكال مربعة"، (ج، د) صورتان بـ SEM لعينات المونة الطينية يتضح عليها تأثير التجوية والتزهر الملحي، (هـ) التحليل العنصري لعينة من الطوب اللبن، (و) التحليل العنصري لعينة من المونة الطينية.

4.3. دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات الطينية الأثرية والتجريبية المصنعة لأغراض الترميم والتدعيم Study of physical and mechanical properties

لما كانت صناعة طوب لبن حديث لأغراض التدعيم والاستكمال وإعادة بناء الأجزاء المهدمة من السور، هدفا رئيسيا لهذا البحث، فقد تم اختيار الطينة الصحراوية وخلطها ببعض الإضافات العضوية وغير العضوية، وعمل خلطات طينية وصبها في شكل مكعبات، ودراسة خصائصها الفيزيائية والميكانيكية؛ لاقتراح أفضلها للاستخدام في أعمال الترميم والتدعيم للسور الطيني.

ويوضح الشكل رقم 11 نتائج دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات الأثرية والمصنعة حديثا لأغراض الترميم. ويمكن أن نستنتج من النتائج المبينة أن العينة رقم 3 المكونة من الخليط الطيني (45% طينة صحراوية – 55% رمل – 15% أسمنت أبيض – 15% مسحوق السيراميك) قد أبدى خصائص ميكانيكية جيدة، بالإضافة إلى خواص فيزيائية مقبولة من الناحية العملية، ولتحسين خصائص العينة يمكن الدمج بينها وبين مكونات العينة رقم 4، وذلك بإضافة نسبة من الجير المطفأ، لا تتجاوز 10% من وزن الخليط في الحالة الجافة، وكذا إضافة التبن المقرط بنسبة لا تتجاوز 5% من وزن الخليط في الحالة الجافة، إلى خليط العينة رقم 3، لتقليل الانكماش بعد الجفاف، للحفاظ على جودة الطوب المصنع

لأغراض الترميم والتدعيم[45، 46]. والجدير بالذكر أنه تم تعريض العينات الطينية التجريبية للتقادم بالحرارة عند درجة 60 درجة مئوية 10 ساعات يوميا لمدة 20 يوم، كما تم تعريض العينات للتشبع بالماء عن طريق غمر العينة في الماء، وإخراجها مباشرة وتعريضها للبيئة الخارجية، عدة دورات، وذلك لدراسة مقاومة العينات الطينية التجريبية للظروف البيئية القاسية. وقد أبدت العينة رقم 3 ثباتا ملحوظا لتأثير الحرارة والرطوبة، تليها العينة رقم 4 ثم العينة رقم 1 وأخيرا العينة رقم 2.



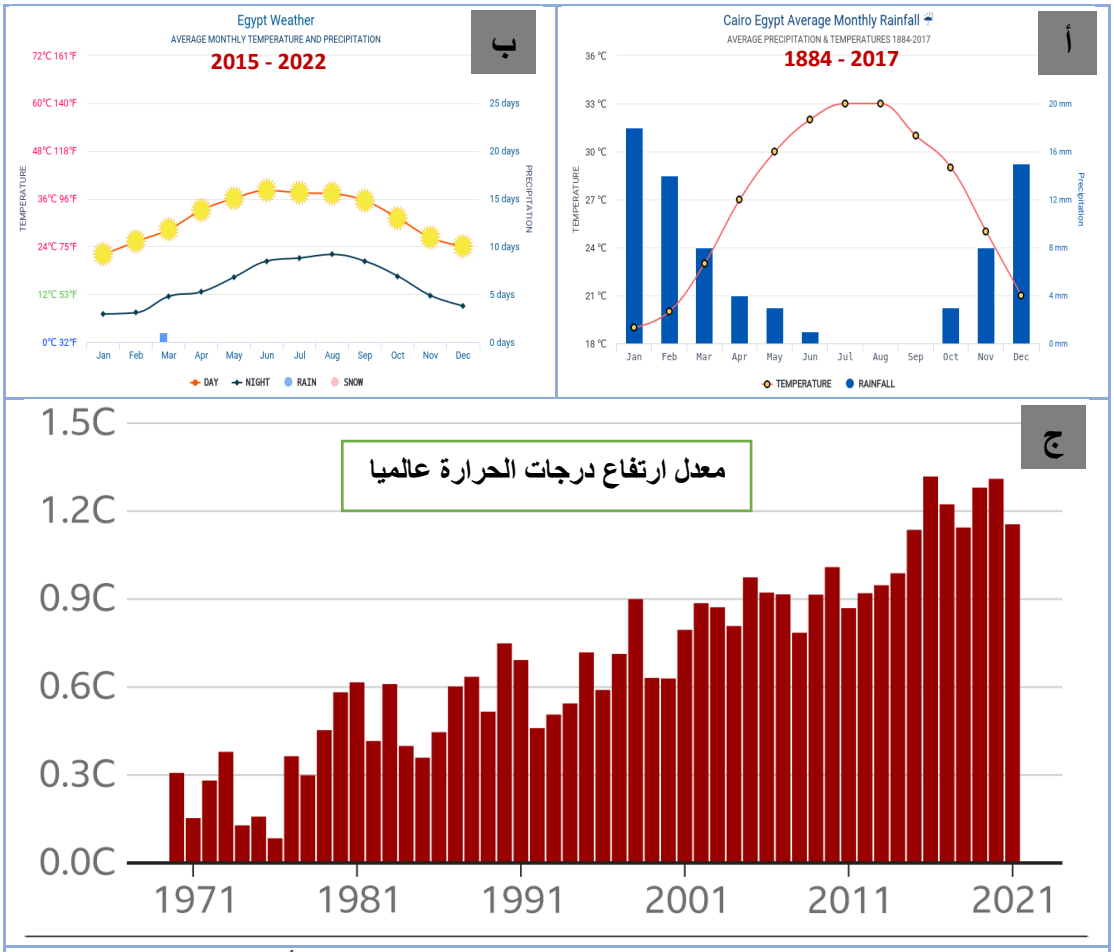
شكل (11): متوسط نتائج قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات الأثرية والتجريبية

4. خطة الترميم وإعادة التأهيل المقترحة لموقع السور Restoration and rehabilitation plan

من الضروري وضع تصور شامل ومنهجية متكاملة لترميم السور الطيني الفاطمي، وإعادة تأهيل موقع السور؛ تحقيقا لأهداف التنمية المستدامة للمواقع التراثية والمناطق التاريخية. ولا يخفى أهمية ذلك في ظل التغيرات المناخية التي تشهدها مدينة القاهرة، والعالم بأكمله في السنوات الأخيرة. ولا شك أن الأجزاء التي تم الكشف عنها من السور الطيني تتعرض للتغيرات البيئية القاسية من وقت الكشف عنها وحتى الآن. والذي يتتبع حالة المناخ بمدينة القاهرة يجد أن السنوات الأخيرة شهدت تقلبات جوية وظروف مناخية غير مسبوقة، فلو تناولنا – على سبيل المثال لا الحصر – درجات الحرارة والرطوبة التي تعد من أهم وأخطر عوامل التلف للمباني الطينية، نجد عدم استقرار واضح في البيانات المسجلة – طبقا لهيئة الأرصاد الجوية بمصر – ويوضح الشكل رقم 12 بعض البيانات المسجلة لدرجات الحرارة، ومعدلات هطول الأمطار بمدينة القاهرة خلال الأعوام الماضية، مع مقارنة تلك المعدلات قديما وحديثا، وبالأخص معدلات التغير في درجات الحرارة قبل وبعد الثورة الصناعية؛ حيث تشير الإحصائيات إلى أن صيف عام 2021م هو الأكثر حرارة مقارنة بالأعوام الخمسة الماضية، منذ عام 2017م؛ حيث سجلت درجات الحرارة في ذلك العام أعلى من المعدلات الطبيعية بقيم تتراوح بين 3 – 4 درجات مئوية، كما يتضح ذلك جليا على مدينة القاهرة (جدول رقم 3) ويرجع السبب في ارتفاع درجات الحرارة في ذلك العام إلى التغيرات المناخية التي أثرت على العالم أجمع؛ حيث تشير التقارير الدولية لشهر يونيو 2021 أن بعض المدن في كندا قد سجلت 50 درجة مئوية في الظل، وفي الكويت وصلت درجة الحرارة إلى 54 درجة

45- El-Gohary M., The Contrivance of new mud brick, pp. 67 – 78.
46- Abdelmegeed, M. M., Modified mud bricks for strengthening historic earthen structures: Towards sustainable and green restoration, Shedet, No. 7, 2020, pp. 263 – 276.

مئوية، وفي العراق وصلت إلى 52 درجة مئوية[47]. ونتيجة لهذه التغيرات المناخية، وما يتبعها من تغيرات حرارية كبيرة، ومعدلات سقوط أمطار غير مسبوقة، ونشاط في الرياح، وارتفاع معدلات التلوث بكل أنواعه، فإن التدخل العاجل لحماية الأجزاء المكتشفة من السور الطيني الفاطمي بمنطقة الجمالية، بات أمرا حتميا، حفاظا على البقية الباقية من السور من التلف والدمار.



شكل (12): بعض البيانات المسجلة للعوامل المناخية والتغيرات الطارئة عليها (أ) متوسط درجات الحرارة ومعدل هطول الأمطار على مدينة القاهرة في الفترة من 1884 حتى 2017م (ب) متوسط درجات الحرارة ومعدل هطول الأمطار على مدينة القاهرة في الفترة من 2015 حتى 2022م[48]، ويتضح الزيادة في درجات الحرارة مؤخرا، (ج) معدل ارتفاع درجات الحرارة عالميا (بالدرجات المئوية C) عما كانت عليه في عصور ما قبل الصناعة، ويتبين أن سنة 2021م كانت خامس أكثر السنوات سخونة على الإطلاق[49].

جدول (3): متوسط درجات الحرارة صيفا على مدينة القاهرة خلال الأعوام الأخيرة (عن هيئة الأرصاد الجوية)

المدينة	صيف 2017	صيف 2018	صيف 2019	صيف 2020	صيف 2021
القاهرة	40 - 38	38 - 37	39 - 38	38 - 35	42 - 38

47- الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية، تقرير عن فصل الصيف عام 2021 ومقارنته بخمسة أعوام ماضية، 2021. https://www.civilaviation.gov.eg/Companies/Meteorology

48-http://hikersbay.com/climate-conditions/egypt/cairo/alzrwf-almnakhyh-fy-alqahrh.html?lang=ar (Egypt, 2023)

49- https://www.bbc.com/arabic/science-and-tech-59942147 (Egypt, 2023)

1.4. خطة الترميم المقترحة للسور الطيني Restoration plan

يقترح الباحث المنهجية الآتية لأعمال التدخل المطلوبة، لترميم وحماية السور الطيني الفاطمي:

- عمل حرم للموقع الأثري لحماية السور الطيني من التعديات أو العبث، وكذلك حمايته من الضرر نتيجة مرور المركبات أو المعدات أو الأفراد بالموقع.
- تغطية الأجزاء المعرضة من السور الطيني بمظلات ذات كفاءة عالية لحماية السور من الأمطار، وأشعة الشمس المباشرة[50، 51].
- إجراء أعمال التوثيق والتسجيل العلمي والرفع المعماري ودراسات الوضع الراهن، للسور الطيني المكتشف. ويجب أن يتضمن الرفع المعماري مساقط أفقية ورأسية وقطاعات وتفاصيل لكافة أجزاء السور الطيني الأثري. كما يجب تحديد مواقع الصور الفوتوغرافية على المساقط الأفقية وعمل دليل للقطات. كما يلزم توثيق كافة مظاهر التلف وتوقيعها على المساقط الأفقية. ويتم عمل رسومات الرفع المعماري باستخدام مقياس رسم مناسب وتنفذ على برنامج الأوتوكاد (AutoCAD (2D - 3D.
- إزالة طبقات الرديم والكشف عن السور الطيني الأثري وامتداداته، وهي مرحلة على جانب كبير من الأهمية، فهي التي ستعطي الانطباع الكامل عن حجم العمل المطلوب، فضلا عن كونها ستحدد مسار العمل بالسور وتكشف عن طبيعة الأجزاء المدفونة تحت الأنقاض، ومدى الارتباط بين أجزاء السور المختلفة، وإمكانية الجمع بين الأجزاء المنفصلة عند الترميم. وتضم هذه المرحلة أيضا إزالة الرمال والأتربة والمخلفات من محيط السور والتي يسبب بعضها ضغوطا جانبية على السور الطيني، وللكشف عما إذا كانت هناك مبان سفلية غير واضحة للعيان. مع التأكيد على أن أي جزء يكشف عنه من السور الطيني يجب حمايته كليا من عوامل التعرية.
- عمل جسات يدوية أو مكاشف للتعرف على نوعية وطبيعة الأساسات في السور الطيني الأثري، وحالتها من التلف ومتطلبات التدعيم والحماية والعزل للأساسات. وقد يتطلب الأمر إزالة الكتل المفككة واستبدالها بكتل طوب حديثة، أو إجراء ملء للعراميس بمونة محسنة الخواص بمواد طبيعية، أو ربما يتطلب الأمر عمل طبقات تكسية بمونة طينية محسنة الخواص، أو التدعيم بكتل من الأحجار..إلخ.
- صنع كتل طوب لبن حديثة محسنة الخواص، لأغراض الترميم والتدعيم وإعادة البناء والاستكمال. ويمكن استخدام الخليط الطيني الذي سبق اقتراحه في هذه الدراسة، أو الاستعانة بالخبراء في هذا الأمر[52].
- البدء بترميم المناطق ذات الأوضاع الحرجة من السور الطيني، وتتضمن المناطق الضعيفة من الجدران أو الأساسات أو الأجزاء السفلى من المبنى، والتي حدث بها فقد لمادة البناء، أوتقع عليها أحمال علوية قد تتسبب في انهيار البناء الطيني (صورة 18) ويراعى عند البناء، الكشف عن المداميك الأصلية وعمل ترابط جيد بين المباني الحديثة والأثرية.
- ترميم الأساسات الحجرية للسور الطيني، عن طريق إزالة الأتربة من بين المداميك وكتل الأحجار والتنظيف الجيد، ثم التطرية بالماء النقي، وملء الفراغات بين الأحجار بمونة طينية محسنة الخواص، ويمكن استخدام الخليط الطيني المشار إليه في صناعة الطوب اللبن، ولا مانع من استخدام مواد عازلة

50- Toracca, G., Porous building materials, ICCROM, second edition, 1982, pp. 100 – 101.

51- Alvarenga, M. A., Adobe: Constructive method and thermic characteristics, In: Proceeding of 6th international conference on the conservation of Earthen architecture, Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico, U.S.A., October 14-19, 1990, pp. 357 – 362.

52- دليل أعمال ترميم المباني الطينية والحجرية، المؤتمر الدولي الأول للتراث العمراني في الدول الإسلامية، الهيئة العامة للسياحة والآثار، المملكة العربية السعودية، 2009.

ذات كفاءة جيدة ومناسبة للمباني الأثرية، لمنع تأثر الأساسات بالرطوبة الأرضية. وقد يتطلب الأمر استبدال بعض كتل الأحجار التالفة، ويتم ردم الأساسات بعد انتهاء الترميم تماما برمل نقي جاف خالى من الأملاح[53] (صورة 19)

صورة (18): فقد كتل الطوب من الأجزاء السفلى من السور، تحتاج إلى ترميم عاجل

صورة (19): ضعف وتفكك المونة الطينية الرابطة بين أحجار الأساسات وتساقطها، تحتاج إلى الترميم

- ترميم الشروخ بحوائط السور الطيني، وهي من مظاهر التلف الشائعة بمباني الطوب اللبن، ويمكن بإيجاز اتباع الطريقة الآتية في ترميم الشروخ[54]:

أ- في حالة الشروخ الشعرية والصغيرة يتم تنظيف الشروخ بالفرش الناعمة، وباستخدام مضخة هواء يدوية، ثم تندية مواضع الشروخ جيدا وملئها بمونة طينية مكونة من نفس مكونات الطوب اللبن باستثناء الأسمنت الأبيض، فلا يفضل إضافته، ويمكن تعويضه بنسبة من الجير المطفأ؛ حيث تنخل هذه المكونات وتخلط بالماء العذب بكمية كافية، مع مراعاة جعل المونة الطينية المستخدمة في علاج الشروخ أكثر سيولة حتى تتمكن من التسرب داخل الشروخ وملئها جيدا. وبعد الجفاف يتم إزالة المونة الزائدة وتحسين المظهر العام باستخدام الفرر المختلفة والفرش ذات الخشونة المناسبة.

ب- في حالة الشروخ والشقوق الكبيرة، يتم فك كتل الطوب اللبن على جانبي الشرخ وتنظيف فراغ الشرخ جيدا بالفرش ومضخة الهواء إن لزم الأمر، ثم تندية المكان جيدا بالماء العذب، ثم البناء بالطوب اللبن المصنع حديثا وربط الكتل بالمونة الطينية، ومراعاة توافق المداميك مع بعضها في طريقة البناء (الآديات والشناويات) وأيضا مراعاة قطع الحل، لضمان عدم حدوث الشروخ مرة أخرى.

ج- في حالة الشقوق الواسعة جدا ووجود انفصال في حوائط السور (خاصة في الأجزاء المغطاة أو المدفونة تحت الرديم وغير المعروف طبيعة التلف بها بالتحديد) فيمكن استخدام عوارض خشبية تثبت في لب الجدار أو على مسافة مناسبة من وجه واحد من الجدار أو من الوجهين حسب حالة الشرخ. ويتم تثبيت العوارض الخشبية بعد النقر في الجدار برفق وعمل فراغ مستطيل لتثبيت العوارض الخشبية بداخله، باستتخدام المونة الطينية واستكمال ترميم الشرخ بكتل الطوب اللبن. ويجب قبل وضع العوارض الخشبية في الجدار الطيني أن تعالج ضد التلف البيولوجي باستخدام أي ماد من مواد التعقيم المعروفة لدى المتخصصين بشرط ان لا تكون سامة، ولا تضر بالبيئة، على أن تطبق مادة التعقيم على الأخشاب بواسطة الدهان بالفرشاة في جميع الأحرف عدة مرات لضمان التشرب الكامل.

- الحقن بالمون الطينية محسنة الخواص – بمواد طبيعية – لسد الفراغات والفجوات الموجودة في لب الجدار الطيني؛ حيث أدى سقوط الأمطار بالإضافة إلى عوامل التلف المختلفة من رياح وتغيرات

53- أبو الحسن، رجب، ترميم المباني الأثرية المشيدة بالطوب اللبن: قصر أمنمحات الثالث بتل بسطة نموذجا، مجلة السياحة والآثار، جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا، 1، 1 (يونيو)، 2022، ص ص 153 – 176.

54- Babor, D. and Plian, D., The preservation of adobe buildings, Bul. Inst. Polit. Iaşi, t. LVI (LX), f. 1, 2010, pp. 17 – 25.

حرارية وتلف بيولوجي إلى نحر الأجزاء العليا من الجدار الطيني وتسرب النحر إلى اللب الداخلي وتكوين ثقوب وفراغات وشقوق، فيستخدم في هذه الحالة أسلوب القمع والأنبوب لصب المونة الطينية السائلة في هذه الفجوات بعد تنظيف مواضعها بمضخة هواء قدر المستطاع.

- حماية الأجزاء العليا من السور، المعرضة لسقوط الأمطار، باستخدام مواد مقاومة للرطوبة والأمطار، وتعرف هذه الطريقة عند المتخصصين باسم التغطية العلوية، ويتم فيها بناء مداميك حماية وعزلها جيدا حتى لا تتأثر بالأمطار، ويجب عند البناء تجنب التشويه البصري للسور الأصلي[55].
- عملية التكحيل للعراميس (ملء العراميس) حيث إنه يوجد تحلل للمونة الطينية في معظم أجزاء السور الطيني الأثري، لذا فإنه بعد استكمال أعمال الترميم الإنشائي والمعماري للسور وعلاج التربة والأساسات وتدعيم الأجزاء السفلى وعلاج الشروخ وكافة مظاهر التلف، يتم تفريغ (تفتيح) وتنظيف العراميس من المونة الطينية المفككة، وتندية مواضعها، وملئها بالمونة الطينية محسنة الخواص.
- استكمال الأجزاء الناقصة، وإعادة بناء الأجزاء المهدمة من حوائط السور الطيني، وتدعيم الأجزاء المفقودة من الجدران الطينية، وذلك باستخدام المونة الطينية والطوب اللبن المصنع حديثا؛ حيث يتم تنظيف الجدار ميكانيكيا أولا لإزالة الأتربة المتراكمة على سطح الطوب، وإظهار المداميك الأصلية، ثم استخدام القدوم أو الأجنة والجاكوش، والتكسير برفق لإزالة الأجزاء المهشمة والمفككة وتهيئة المواضع لعملية الاستكمال أو إعادة البناء، مع الأخذ في الاعتبار ضرورة تندية مواضع البناء بالماء العذب قبل تطبيق المونة الحديثة حتى لا يحدث انفصال. ويجب أن تتم أعمال البناء طبقا للأصول القديمة وطريقة الربط المتبعة في الجدار الأثري، وعمل ترابط جيد ومحكم بين القديم والحديث، وأن لا تتسب أعمال البناء الحديثة في تشويه الطابع العام للسور الأثري[56].
- تطبيق الشيد الطيني، والمقاومة البيولوجية؛ حيث سيتطلب الأمر تكسية بعض الأجزاء من السور بطبقة من الشيد الطيني لحمايته من العوامل الجوية، ويراعى في هذا الصدد وجود تجانس بين الأجزاء المطبق عليها الشيد والأجزاء الأخرى غير المطبق عليها، ويقترح في هذه الطبقة أن تتكون من طينة الكاولينيت بنسبة 30% ورمل نقي خال من الأملاح بنسبة 65% وجير مطفأ بنسبة لا تتجاوز 5%. وأما المقاومة البيولوجية للموقع، فيقترح أن تتم مرتين في العام، وباستخدام مواد صديقة للبيئة، على أن يكون هناك إدارة متكاملة للمكافحة البيولوجية integrated pest management[57].

55- عبده، مختار على عبد الحفيظ، أساليب حماية الجدران الطينية من عوامل التعرية في المباني التراثية، الهيئة العامة للسياحة والآثار، الرياض، 23 – 28 مايو، 2010، ص 20.

56- Ali, A. G., , Elsoqayem, O. A., Rizq, S. Y., Ali, H. G., Fawzy, H. H, Shabkab, M. S., Helmy, R. R., Lashen, A. A. and ElSheikha, A. A., A proposal to rehabilitate Ouda Pasha archaeological agency in historic Cairo based on the building's data and the needs of its surrounding urban, Advanced Research in Conservation Science, Vol. 3, Issue 1, 2022, pp. 13 – 29.

57- أعد الباحث هذه المنهجية المقترحة لترميم السور طبقا لرؤيته الحالية للموقع، ووفقا للأجزاء المكتشفة بالفعل، ويمكن أن تكون هناك مستجدات أخرى نتيجة عمليات الكشف والتنقيب، تتطلب إضافة خطوات أخرى ومنهجيات جديدة للتعامل مع الأجزاء المكتشفة حديثا، وتعد هذه المنهجية المقترحة منهجية عامة، لكن تطبيقها يحتاج إلى مهنية وحرفية في التعامل مع هذه النوعية من المباني، لذا يجب أن يقوم بأعمال الترميم فريق مدرب على التعامل مع المباني الطينية الأثرية. وللمزيد من تفاصيل أعمال الترميم الواردة بهذه المنهجية المقترحة، يمكن الرجوع إلى الدراسات التي قدمها الباحث في أعمال ترميم مشابهة، ومن هذه الدراسات:

- آدم، محمود عبد الحافظ، دراسة علاج وصيانة المنشآت الطينية التاريخية، تطبيقا على بعض المباني الطينية بمدينة القصر الإسلامية، 2007.

- آدم، محمود عبد الحافظ، دراسة تحليلية مقارنة في تلف وعلاج وصيانة المباني الأثرية متعددة مواد البناء بواحتي الخارجة والداخلة، 2012.

- Adam, M. A. M., Archaeometric study and restoration implementation of archaeological Roman adobe bath at Karanis – Fayoum, Advanced Research in Conservation Science, Vol. 4, Issue 1, 2023.

2.4. خطة مقترحة لإعادة تأهيل موقع السور الطيني Rehabilitation plan

من أهم الوسائل لحماية الموقع الأثري واستدامته، تأهيله وعدم عزله عن بيئته ومجتمعه، لذا يمكن استغلال المساحة الكبيرة التي يقع فيها السور الطيني، ويصاحبه في أجزاء كبيرة منها السور الحجري للقاهرة (صورة 20، 21) في عمل بانوراما أثرية جاذبة للسياحة المحلية والدولية، بما يحقق أهداف التنمية المستدامة sustainable development والرؤية المستقبلية للدولة المصرية.

صورة (20): المساحة الكبيرة لموقع السور الطيني من جهة السور الشمالي (امتداد شرق – غرب) ويشير السهم إلى موضع المباني المكتشفة من السور الفاطمي

صورة (21): مساحة واسعة لموقع السور الطيني من جهة السور الشرقي (امتداد شمال – جنوب) ويشير السهم إلى الأطلال المكتشفة من السور الطيني الفاطمي

ولتحقيق هذا الهدف، يستعرض الباحث المقترح الآتي لعملية التأهيل والحفاظ المستدام لموقع السور الطيني الفاطمي:

- إنجاز أعمال الترميم والتدعيم والاستكمال وإعادة البناء بكافة مراحلها.
- رفع جميع الأنقاض والمخلفات والرديم من الموقع الأثري ومحيطه.
- عمل درج (سلم) عند بداية الموقع الأثري من جهة الشارع الرئيسي، للنزول من خلاله إلى موقع السور الطيني الأثري؛ حيث إن موقع السور منخفض عن منسوب الأرض الحالية عدة أمتار. ويقترح أن تكون الدرجات عريضة ومن الحجر الجيري المصقول.
- رصف أرضية الموقع حول السور الطيني الأثري ببلاطات من الحجر الجيري المصقول، أو ببلاطات من حجر البازلت؛ بحيث تكون متوافقة مع الطابع العام للموقع الأثري.
- مراعاة عمل ميول طفيف في منسوب الأرضيات، بعيدا عن جسم السور الطيني من الجانبين (يكون خط امتداد السور أعلى نقطة في مساحة الأرضيات) ويتم اختيار موقع مناسب بعيدا عن السور الطيني لعمل خط صرف للمياه في الأرض، لسحب مياه الأمطار الساقطة بعيدا عن السور. كما يجب أن يكون خط الصرف غير مشوه للطابع العام، ومزود بغرف تفتيش على مسافات مناسبة، وتكون نقطة التجميع الرئيسية بعيدة تماما عن الموقع الأثري. كما يجب أن يتم تطهير (تنظيف) خط الصرف باستمرار لعدم حدوث انسداد.
- من الأفضل تركيب مظلات ثابتة للحماية الكلية والدائمة للسور الطيني الأثري. ويشترط في هذه المظلات أن لا تشوه الطابع العام للموقع الأثري، ولا تتسبب في إحداث تشوه بصري، ولا تخفي معالم السور الطيني الأثري، حتى للناظر من مسافة بعيدة، وهذا يتطلب أن يكون سطح المظلات مرتفع نسبيا عن السور الطيني. ويجب أن تكون هذه المظلات مزودة بنظام صرف ذاتي لتجميع مياه الأمطار الساقطة عليها وصرفها بعيدا عن السور الطيني الأثري (إلى خط الصرف المشار إليه سابقا) تأكيدا على حماية السور الطيني من تأثير الأمطار. كما يشترط في المظلات المستخدمة أن تكون سهلة التركيب والصيانة، ويمكن فكها في أي وقت دون إحداث تلف للموقع الأثري أو تشويه للطابع العام، وأن تكون مصممة من مادة

مقاومة لعوامل التعرية كالرياح والأمطار والحرارة.. الخ. وأن تحقق الحماية الكاملة للجدران الطينية. ومن الجدير بالذكر أنه نظرا لتشعب جدران السور الطيني الأثري وعدم امتداده في خط واحد، فإن هذا يعني عمل مظلة كبيرة، أو عدد من المظلات التي يستوعب كل منها جزءا من السور، فيراعى هذا عند التصميم من خلال دراسة مساحة كل جزء سيتم تغطيته على حده، حتى لا تظهر هذه المظلات موزعة في الموقع بصورة عشوائية، وإنما يجب أن تكون هذه المظلات فعالة ومقبولة بصريا، وغير مشوهة للطابع العام للموقع الأثري.

• عمل حرم يبعد عن السور مسافة نصف متر تقريبا من كل جانب، لمنع الزوار من المساس بجسم السور الطيني.

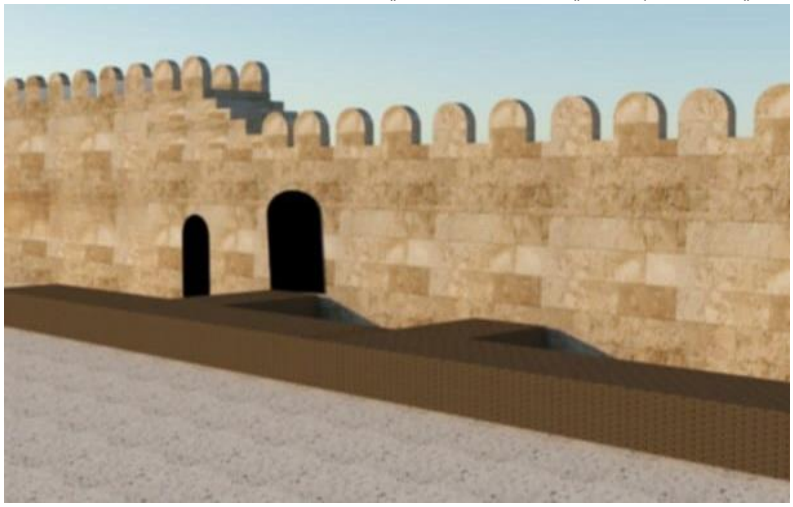
• عمل تصميم جيد ومدروس لأماكن كشافات الإنارة، وطريقة الإضاءة الليلية للموقع الأثري. ويمكن استخدام باطن المظلات (الجزء الداخلي منها) لتثبيت كشافات إضاءة هادئة – بخلاف كشافات الإضاء الرئيسية – بشكل غير مرئي للعيان. ويتم اختيار الإضاءة المناسبة لعرض السور الطيني الأثري بشكل جمالي متميز. ويراعى عزل خط الكهرباء جيدا حتى لا يتأثر بمياه الأمطار، ولا يحدث تشويها للطابع العام للموقع الأثري. وكل ذلك يجب دراسته جيدا قبل التنفيذ، مع الاستعانة بالمتخصصين للوصول إلى أفضل النتائج، مع ضرورة التأكيد على تطبيق ووضع جميع وسائل الحماية مثل: طفايات الحريق وأنظمة الإنذار المبكر عن الحريق fire alarm systems، وكاميرات المراقبة..الخ.

• يمكن عمل سيناريوهات عرض رائعة بالموقع الأثري من خلال استغلال سطح السور الطيني الأثري (الجزء العلوي من السور) أو حرم السور لعرض بعض القطع أو التحف الفنية الإسلامية (لوحات، جداريات، أواني فخارية، مشغولات يدوية.. الخ) خاصة من القطع التي تم العثور عليها في الموقع الأثري ذاته أثناء الحفائر والتنقيبات، بالإضافة إلى عرض لوحات تبين تطور بناء السور الأثري، ومراحل الكشف عنه، وخطوات ترميمه، إضافة إلى مراحل تطور عمارة القاهرة الفاطمية، مع عرض خرائط ولوحات أثرية، بشرط أن تكون محفوظة ومعروضة بطريقة سليمة.

ويمكن عمل شاشات عرض تثقيفية بالموقع الأثري، تحت إشراف المختصين. ويمكن استغلال ساحة الموقع الأثري في تقديم برنامج تلفزيوني هادف عن الآثار والتراث أوالتاريخ والحضارة الإسلامية، أو عمل أمسيات دينية في المناسبات الخاصة.. الخ، كل ذلك تحت متابعة وإشراف الفريق المختص بالآثار والترميم، ضمانا لصيانة وحماية السور الطيني الأثري ومحيطه وتنميته بصورة مستدامة. ومن الضروري في موقع أثري معد ليكون مزارا سياحيا، أو متحفا مفتوحا، أن تتوفر فيه بعض الخدمات اللوجستية، مثل الكافيتريات، ودورات المياه، وأماكن الترفيه والتسوق، وجميعها ينبغي اختيار موقعها وتصميمها بشكل دقيق ومتقن. وتوضح الأشكال 13 – 17 تصورا باستخدام برنامج التصميم الهندسي ثلاثي الأبعاد (3D Max – 2021) لجانب من الرؤية المقترحة لتأهيل موقع السور الطيني الفاطمي.

شكل (13): رسم هندسي تخيلي باستخدام برنامج 3D Max يوضح امتداد السور الطيني بجوار السور الحجري.

شكل (14): رسم هندسي تخيلي باستخدام برنامج 3D Max تفصيلي من الشكل السابق، يوضح المساحة بين السور الطيني والحجري، والتي يمكن استغلالها في عمل عرض للمقتنيات الأثرية الإسلامية.



شكل (15): رسم هندسي تخيلي باستخدام برنامج 3D Max يوضح امتدادات السور الطيني الفاطمي بعد الترميم، وعلاقتها بالسور الحجري كما يبدو من الأطلال المكتشفة حاليا.

شكل (16): رسم هندسي تخيلي باستخدام برنامج 3D Max يوضح جزءا من السور الطيني بعد ترميمه، وعمل حرم يحيط بالسور لحمايته من تعديات الزائرين، وكذلك رصف الأرضيات بشكل يتناسب وطبيعة الموقع الأثري.

شكل (17): رسم هندسي تخيلي باستخدام برنامج 3D Max يوضح موقع السور الطيني الأثري بعد إضافة الخدمات اللوجستية، وفتح الموقع للزيارة.

5. الاستنتاجات Conclusions

ناقشت الدراسة التقنيات البنائية لسور القاهرة الفاطمي، المشيد من الطوب اللبن، وذلك من واقع الأطلال التي تم الكشف عنها مؤخرا، والتي يمكن من خلالها أن نستنتج أن السور الفاطمي الأول الذي شيده جوهر الصقلي سنة 358هـ / 969م، قد بني بطريقة الطابية (الطين المدكوك) وكذلك بكتل الطوب اللبن المعروفة في مصر. لازالت أكثر مباني السور مدفونة تحت طبقات التربة والمباني الحديثة، وسوف يسفر الكشف المستقبلي لأطلال السور الطيني عن سمات معمارية وإنشائية فريدة لهذا السور. وتبين من الفحوص والتحاليل ودراسات الوضع الراهن للسور، أن الأطلال الطينية المكتشفة قد بنيت من طمي النيل والطينة الصحراوية، مع استخدام بعض الإضافات لتحسين خصائص الطوب اللبن والمونة الطينية، من أهمها: الرمال، ومسحوق الطوب المحروق، والجير. كما ترتفع نسبة الرمل في كل من الطوب اللبن والمونة الطينية. وتعاني الأطلال الطينية للسور من الضعف والتلف الشديد، نتيجة الدفن في التربة، وكذلك بفعل العوامل البيئية والمناخية بعد عملية الكشف عن السور. يحتاج السور الطيني إلى مزيد من الكشف والتنقيب، والدراسات العلمية للتعرف على عمارته وتصميمه بشكل دقيق، كما يتطلب الموقع الأثري تدخلا عاجلا بأعمال الترميم والحماية والتأهيل، وقد قدمت الدراسة منهجية علمية، وخطة مقترحة لأعمال الترميم المطلوبة للأجزاء المكتشفة من السور الطيني، وكذلك خطة مقترحة لعملية التأهيل لموقع السور الطيني الفاطمي، بغرض الحفاظ على هذا الموقع الأثري الفريد، وتنميته بشكل مستدام.

الشكر والتقدير Acknowledgment

يتوجه الباحث بخالص الشكر وعظيم التقدير إلى كل من: أ.د. محمد حمزة إسماعيل الحداد؛ أستاذ الآثار والحضارة الإسلامية، وعميد كلية الآثار، جامعة القاهرة سابقا، وأ. محمد عبد الحافظ؛ بشركة كهرباء الوادي الجديد، وأ. محمد عبد الحميد؛ بالقاهرة التاريخية، وم. مصطفى طوبار، وأ. محمود عبد الراضي، وم. حسن جمال؛ بشركة وادي النيل للمقاولات، وأ. مصطفى كمال؛ بالمركز القومي لبحوث الإسكان والبناء، على تعاون سعادتهم، ومشاركتهم البناءة بالتوجيه والنصح والمساعدة.

المراجع References

المراجع العربية

- أبو الحسن، رجب، ترميم المباني الأثرية المشيدة بالطوب اللبن: قصر أمنمحات الثالث بتل بسطة نموذجا، مجلة السياحة والآثار، جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا، 1، 1 (يونيو)، 2022.
- آدم، محمود عبد الحافظ، دراسة علاج وصيانة المنشآت الطينية التاريخية تطبيقاً على بعض المباني الطينية بمدينة القصر الإسلامية بواحة الداخلة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2007.
- آدم، محمود عبد الحافظ، دراسة تحليلية مقارنة في تلف وعلاج وصيانة المباني الأثرية متعددة مواد البناء بواحتي الخارجة والداخلة – تطبيقا على بعض المباني الأثرية المختارة، رسالة دكتوراه، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2012.
- الحداد؛ محمد حمزة إسماعيل، المؤرخ "قراءة جديدة في السجل التاريخي والأثري لمصر والشرق الأدنى"، ج1، مكتبة زهراء الشرق، 2023.
- المقريزي، تقي الدين أحمد بن علي، المواعظ والاعتبار بذكر الخطط والآثار"المعروف بالخطط المقريزية"، تحقيق: محمد زينهم ومديحة الشرقاوي، مكتبة مدبولي، ج 2، 1997.
- الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية، تقرير عن فصل الصيف عام 2021 ومقارنته بخمسة أعوام ماضية، 2021.
- إمام، محمود، الخرسانة: الخواص، الجودة، الاختبارات، كلية الهندسة، جامعة المنصورة، 2008.
- حمادي، يوسف، «التابية» طريقة تقليدية لبناء البيوت في المغرب جلبها السوادنيون، جريدة عمان، رئيس التحرير: عاصم بن سالم الشيدي، 19 يونيو 2019.
- دليل أعمال ترميم المباني الطينية والحجرية، المؤتمر الدولي الأول للتراث العمراني في الدول الإسلامية، الهيئة العامة للسياحة والآثار، المملكة العربية السعودية، 2009.
- زكي، عبد الرحمن، بناة القاهرة في ألف عام، الهيئة المصرية العامة للكتاب، 1998.
- عبد النعيم، أسامة طلعت، العمارة الطينية في وادي حضرموت "مزارات قرية شعب نبي الله هود عليه السلام نموذجا"، مجلة كلية الآثار، العدد الثاني والعشرون، 2019.
- عبد النعيم، أسامة طلعت، ملامح تخطيط المدخل المنكسر فى العمارة الدفاعية بين مصر والغرب الإسلامى فيما بين القرنين الخامس والسابع الهجريين (11-13م)، الندوة العلمية الأولى لجمعية الآثاريين العرب، المقالة 17، المجلد 2، العدد 2، 1999.
- عبده، مختار على عبد الحفيظ، أساليب حماية الجدران الطينية من عوامل التعرية في المباني التراثية، الهيئة العامة للسياحة والآثار، الرياض، 23 – 28 مايو، 2010.
- عزب، خالد، مشروع الكشف عن أسوار صلاح الدين الشرقية، دورية كان التاريخية، العدد التاسع، سبتمبر، 2010.
- فرغلي، أبو الحمد، الدليل الموجز لأهم الآثار الإسلامية والقبطية في القاهرة، الدار المصرية اللبنانية، 1991.
- كريزويل، ل.أ.س.، العمارة الإسلامية في مصر، ج1، الإخشيديون والفاطميون، ترجمة: عبد الوهاب علوب، مراجعة وتقديم وتعليق: محمد حمزة إسماعيل الحداد، مكتبة زهراء الشرق ودار القاهرة، الطبعة الأولى، 2004.
- ماهر، سعاد، القاهرة القديمة وأحياؤها، دار القلم، 1962.
- مصطفى، صالح لمعي، الحفاظ على المباني التاريخية في العمارة الطينية، مؤتمر التنمية العمرانية في المناطق الصحراوية ومشكلات البناء فيها، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الرياض، المملكة العربية السعودية، الجزء الثاني (27 – 29 شعبان) 2002.
- مهداد، الزبير، مواد وطرق البناء التقليدي، مجلة الثقافة الشعبية، العدد 52، 2021.
- نعمان، إسماعيل، البناء بالتراب في بلاد المغرب الإسلامي: تقنية "الطابية" نموذجا، دورية كان التاريخية، العدد العاشر، ديسمبر، 2010.

المراجع الأجنبية

- Abdelmegeed, M. M., Modified mud bricks for strengthening historic earthen structures: Towards sustainable and green restoration, Shedet, No. 7, 2020.
- Adam, M. A. M., Archaeometric study and restoration implementation of archaeological Roman adobe bath at Karanis – Fayoum, Advanced Research in Conservation Science, Vol. 4, Issue 1, 2023.

- Ali, A. G., , Elsoqayem, O. A., Rizq, S. Y., Ali, H. G., Fawzy, H. H, Shabkab, M. S., Helmy, R. R., Lashen, A. A. and ElSheikha, A. A., A proposal to rehabilitate Ouda Pasha archaeological agency in historic Cairo based on the building's data and the needs of its surrounding urban, Advanced Research in Conservation Science, Vol. 3, Issue 1, 2022.
- Alvarenga, M. A., Adobe: Constructive method and thermic characteristics, in: Proceeding of 6th international conference on the conservation of Earthen architecture, Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico, U.S.A., October 14-19, 1990.
- ASTM D 422 – 63, Standard test method for particle- Size analysis of soils, 1991.
- Ayman Fouad Sayyid, La capitale de l'Egypte jusqu'a l'epoque fatimide, al-Qahira et al-Fustat, Essai de reconstitution topographique, Franz Steiner, Beirut, 1998.
- Babor, D. and Plian, D., The preservation of adobe buildings, Bul. Inst. Polit. Iaşi, t. LVI (LX), f. 1, 2010.
- Dethier, J., Mud building architecture in the past, present, and future, In: Islamic Capitals and Cities, Mecca Press, Vol. 14, May, 1990.
- El-Gohary M., The Contrivance of new mud brick for restoring and preserving the Edfa ancient granary-Sohag, Egypt, IJCS, Vol. 3 (2), 2012.
- El-Mahallawy, M. S., The composition and ceramic properties of some Egyptian shale deposits and their possible utilization as building materials, Ph.D., Dept. of Geology, Faculty of Science, Zagazig Univ., 2004.
- Emery, V. L., Mud-brick architecture, In: Willeke Wendrich (ed.), UCLA Encyclopedia of Egyptology, Los Angeles, 2011.
http://digital2.library.ucla.edu/viewItem.do?ark=21198/zz0026w9hb
- Hamdouni, M. A. and Pandolfo, S., Reflecting on materials and structure: Building cultures and research methodology in the project of a seismic building code for traditional materials in Morocco, In: Hardy, M., Cancino, C. and Ostergren, G. (eds.), Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium, J. Paul Getty Trust, 2009.
- Kemp, B., Soil (including mud brick architecture), Ancient Egyptian materials and technology, Cambridge University press, 2000.
- M. El-Gohary, Investigation on limestone weathering of El-Tuba minaret El Mehalla, Egypt: a case study, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 10 (1), 2010.
- Pradines, S., Discovery the Fatimid walls, Journal of Material Cultures in the Muslim World, Brill, June, 2018.
- Priyoyudanto, F., Islamic City; urban and architectural elements, Selangor, Malaysia, 2014.
- Serena, L., Field methods for the analysis of mud brick architecture, Journal of Field Archaeology, 42, 2017.
https://doi.org/10.1080/00934690.2017.1345222
- Stuart, B. H., Analytical techniques in materials conservation, John Wiley& Sons Ltd, England, 2007.
- Toracca, G., Porous building materials, ICCROM, second edition, 1982.

المواقع الإلكترونية

- https://www.civilaviation.gov.eg/Companies/Meteorology (Egypt, 2023)
- http://hikersbay.com/climate-conditions/egypt/cairo/alzrwf-almnakhyh-fy-alqahrh.html?lang=ar (Egypt, 2023)
- https://www.bbc.com/arabic/science-and-tech-59942147 (Egypt, 2023)