تأثير التغيرات المناخية على تآكل الشبابيك الحديدية بقلعة قايتباي الإسكندرية

The effect of climate changes on the corrosion of iron windows in Qaitbay Citadel in Alexandria

م.د/ القدس مختار حامد الأدغم

مدرس – قسم الترميم – كلية الفنون الجميلة – جامعة المنيا

Lect. Al-Quds Mukhtar Hamid Al-Adgham

Lecturer - Department of Restoration - Faculty of Fine Arts - Minya University

alquds@mu.edu.eg

الملخص

يتناول البحث دراسة تأثير التغيرات المناخية على الشبابيك الحديدية لقلعة قايتباي في مدينة الإسكندرية مصر حيث تتعرض منطقة البحر المتوسط ومدينة الإسكندرية إلى تغيرات مناخية كثيرة ينتج عنها أمطار غزيرة وفيضانات ساحلية وتآكل للشواطئ مما يؤثر على المباني الأثرية والتراثية مثل قلعة قايتباي التي تعد من أهم القلاع الدفاعية من القرن الخامس عشر الميلادي. فتتأثر الشبابيك الحديدية لقلعة قايتباي بتواجد مركبات التآكل والصدأ الناتج عن تفاعل الحديد مع البيئة المتلفة المحيطة بالقلعة.

يهدف هذا البحث إلى تقييم تأثيرات التغيرات المناخية التي تؤدي إلى تدهور وتآكل الشبابيك الحديدية بقلعة قايتباي وفهم آلية التآكل الناتج عن البيئة المحيطة بالقلعة.

تمت الدراسة بعمل مقارنة لتأثير التغيرات المناخية للحديد الأثري في فترة زمنية لمدة (عام كامل) من يونيه ٢٠٢٢: يونيه ٢٠٢٣ باستخدام الميكروسكوب الهاتف المحمول لدراسة سطح العينة وشكل طبقة التآكل، والتحليل باستخدام حيود الأشعة السينية XRDلمعرفة مركبات التآكل التي أظهرت أكاسيد الحديد وكلوريدات الحديد وكبريتات الحديد وكربونات الكالسيوم وكلوريد الصوديوم، وكذلك الفحص والتحليل باستخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينية EDX +SEM لدراسة سطح العينات وشكل طبقات التآكل ومعرفة تركيب سبيكة الحديد وعناصر التآكل، ومن ذلك اتضح ان السبيكة الحديدية لشبابيك القلعة من سبيكة (الحديد الزهر) وظهرت عليها عناصر التآكل من الكلور والكبريت والصوديوم والاكسجين والكالسيت، وتم فحص عينة من سطح الحديد باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي (ميكروسكوب الفلزات) لمعرفة أطوار السبيكة الحديدية التي كانت (سبيكة الحديد الزهر الرمادي) مع تواجد أطوار البيرليت والسيمنتيت، وتم استخدام التحليل الكيميائي لمياه البحر المتوسط حول القلعة لمعرفة عناصر ومركبات المكونة لمياه البحر فظهر تواجد لأيونات الكلور والصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم، وقياس صلادة الحديد بجهاز فيكرز، وبمقارنة نتائج الفحص والتحليل للعينات الحديدية الأثرية اتضح ارتفاع نسب عناصر ومركبات التآكل ونقص في صلادة عينة الحديد لشباك قلعة قايتباي ٢٠٢٣ ، مما يؤكد تأثير التغيرات المناخية علي الحديد الأثري.

الكلمات المفتاحية

التغيرات المناخية، تآكل، الشبابيك الحديدية، قلعة قايتباي

Abstract

The research examines the impact of climate changes on the iron windows of Qaitbay Citadel, Alexandria, Egypt, where the Mediterranean region and the city of Alexandria are exposed to many climatic changes that result in heavy rains, coastal floods, and erosion of beaches, which

affects archaeological and heritage buildings such as Qaitbay Citadel, which is one of the most important defensive castles from the fifteenth century AD. The iron windows of Qaitbay Citadel are affected by the presence of corrosion and rust compounds resulting from the interaction of iron with the damaged environment surrounding the citadel.

Comparing the results of the examination and analysis of the archaeological it became clear that there were high levels of corrosion elements and compounds and a decrease in the hardness of the iron sample of the Qaitbay Citadel window in 2023, which confirms the impact of climate change on the artifacts.

Keywords

Climate changes, corrosion, iron windows, Qaitbay Citadel.

١- المقدمة

وفقا لتقارير مكتب الأمم المتحدة للحد من الكوارث والمخاطر خلال الفترة ١٩٩٨-٢٠١٧ وجد أن ارتفاع درجات الحرارة قد تسبب في ٥,٣% من مجمل الكوارث البيئية، في حين تسبب الجفاف بنسبة ٤,٨% للكوارث البيئية، والعواصف الشديدة ٢٨,٢%. والأعاصير ٤٣,٤%، ووفقاً لهذه التقارير فإن زيادة الأنشطة البشرية من صناعة واستخدام الوقود الأحفوري وغيرها هي السبب في الأحداث الجوية والمناخية المتطرفة منذ عام ١٩٥٠ تقريباً، من انخفاض شديد في درجات الحرارة بالفصول الباردة، والعكس بزيادة في درجات الحرارة بالفصول الدافئة، مع زيادة مستويات سطح البحر المرتفعة جداً، وزيادة كذلك في عدد حالات هطول الأمطار الغزيرة والفيضانات، من المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة العالمية ما بين ١,٤ و٥,٨ درجة مئوية بحلول عام ٢١٠٠ .(Hemeda-2021)، وتشير العديد من الدراسات الدولية إلى أن مستويات سطح البحر العالمية سترتفع بمقدار ٠,٢٨ إلى ٠,٩٨ متر (١-٣ قدم) بحلول عام ٢١٠٠، ومنذ عام ١٩٩٠ ارتفع سطح البحر الأبيض المتوسط بمعدل ١٠:٥% أسرع من متوسط القرن العشرين. (Ismail-2018)

وبهذا يعتبر تغير المناخ أمر لا مفر منه وله تأثير متزايد باستمرار علي البيئات الطبيعية والمبنية ، وهذه التغيرات تختلف من ارتفاع درجة الحرارة إلي ارتفاع مستوي سطح البحر إلي التغير في دورات الرطوبة النسبية التي تنتج عن زيادة معدل التلوث وزيادة نسبة الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري، وزيادة نسبة تطرف التغير في المناخ يؤثر ذلك علي التراث الأثري (Daly-2011) ،وتعتبر المياه التهديد الرئيسي للتراث الثقافي متمثلة في مياه الأمطار والفيضانات وتعاقب دورات الرطوبة والجفاف ،وتتعرض المناطق الساحلية لتهديدات خطيرة من ارتفاع مستوي سطح البحر وارتفاع الأمواج مما يؤدي إلي تآكل السواحل ونقص الأرض والضغط الساحلي وتسلل المياه المالحة إلي المياه الجوفية وتأثيرات المد والجزر، ويمكن الربط بين هذه التهديدات بتغير المناخ .(Murphy-2009)

تأسست مدينة الإسكندرية عام ٣٣١ ق.م على الساحل الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط لتكون واحدة من أهم المدن علي ساحل البحر المتوسط وهي ذات أهمية تاريخية وثقافية، ومن أقدم مدن البحر المتوسط وثاني أكبر المدن المصرية، يعيش بها حوالي ٥مليون نسمة، وتعد مركز سياحي واقتصادي مهم حيث تستقبل ٢مليون سائح سنويا، وتتركز بها ٤٠% من الصناعة داخلها وذلك بسبب مينائها البحري الذي يستقبل خطوط الغاز الطبيعي والنفط من السويس، واستخدم الوقود الأحفوري. (Zevenbergen-2017)

تعاني الاسكندرية من ضعف بنية الصرف الصحي وعدم وجود صيانة مناسبة لشبكات التصريف للمخلفات وفي حالة هطول الأمطار الغزيرة فإن الشبكة لن تستطيع تصريف المياه مما يؤدي إلى حدوث فيضانات في الشوارع، وهذا ما حدث في الفترة ما بين ٢٥أكتوبر إلى ٤نوفمبر ٢٠١٥، حيث هطول أمطار غزيرة غير متوقعة أكثر من ١٠٠مللي في ساعتين مما تسبب بحدوث فيضانات شديدة، ووصف بأنه أسوء فيضانات شهدتها مدينة الإسكندرية منذ عقود حيث غمرت المياه حوالي ٦٠% من المدينة بعمق من ٠,٥ إلى ١,٠ متر وبالتالي ارتفاع مستوي سطح البحر. (Elboshy-2019)

تتميز الإسكندرية بمناخ شبه صحراوي حيث يكون الصيف حار جاف والشتاء معتدل دافئ وممطر حيث يكون متوسط هطول الأمطار ٢٠٠مللي سنويا شتاءً ومتوسط هطول الأمطار صيفاً ٥٠ مللي ومتوسط هطول الأمطار ١٩٦مللي علي مدار العام ويتركز أغلب تساقط الأمطار علي المنطقة الساحلية ومن ذلك يكون معدل الرطوبة النسبية عالي جداً، ومتوسط درجة الحرارة في الصيف ١٤°-45° وفي الشتاء 9°- 33°، ولكن هناك اختلاف في درجة الحرارة في النهار والليل والرياح الشديدة مثل رياح الينابيع الساخنة (رياح الخمسين) التي تكون من شهر مارس إلي مايو تصل سرعتها إلي ١٤٠كم في الساعة مصحوبة بالرمال والغبار الصحراوي . (Khatri-2007)

بذلك تعرضت مدينة الإسكندرية إلى التغيرات المناخية من ارتفاع درجة الحرارة حيث ارتفعت درجة الحرارة بها في حدود ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ درجة مئوية في الفترة من ١٩٧٩ إلى ٢٠٠٥، مع زيادة سقوط الأمطار في فصل الشتاء وانخفاض تساقطها في فصل الصيف وارتفاع مستوي سطح البحر ٧,٥٠مللي سنويا وتسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية (Pachauri-2007) فيزيد ذلك من خطر الفيضانات من نقص وتآكل للشواطئ ويحتمل أن يكون ارتفاع الفيضانات بمقدار٠,٥ م: ١م مما يؤدي إلي فقد ٣٠%من المدينة بسبب الفيضانات.(Frihy-2003)

الإسكندرية محاطة من ثلاث جهات بالبحر الأبيض المتوسط ، مما يجعلها معرضة بشكل فريد لارتفاع مستوى سطح البحر الناجم عن ظاهرة الاحتباس الحراري وذوبان القمم الجليدية القطبية (Elboshy-2019) ويعد هذا خطر واضح مهدد لمدينة الإسكندرية التي تعتبر واحدة من مواقع التراث العالمي لليونسكو في منطقة البحر المتوسط المعرضة لخطر الفيضانات الساحلية وتآكل الساحل بسبب ارتفاع مستوي سطح البحر الناتج عن التغيرات المناخية قد تصل إلي فقدان العديد من مواقع التراث الثقافي مثل قلعة قايتباي التي تعد من أهم القلاع العسكرية الدافعية التي تقع علي ساحل البحر المتوسط مباشرة . (Murphy-2009)

وتهدف هذه الورقة البحثية إلى دراسة التأثيرات المتلفة للتغيرات المناخية على النوافذ الحديدية بقلعة قايتباي من خلال دراسة معملية للتغيرات التي تحدث لسطح ومورفولوجية الحديد الاثري، وهذه التغيرات تتمثل في التآكل الناتج عن التجوية الفيزيائية التي تتعرض لها القلعة والتي تمثل تهديداً رئيسياً بسبب ارتفاع مستوي البحر وزيادة طاقة أمواج البحر التي تؤدي إلي الفيضانات والنحر البحري والضغط البحري والرذاذ.(Guillarmod-2015)

جدول رقم (١) يوضح متوسط درجات الحرارة والرطوبة النسبية وهطول الأمطار من سبتمبر ٢٠٠٩إلي يناير ٢٠٢١.

https://www.weather-atlas.com/en/egypt/alexandria

Date	rain fall	Temperature(avr)	Humidity
Sep-09	150mm	26	67%
Nov-09	150mm	15	82%
Nov-10	150mm	15	82%
Des 2010	150mm	20	43%

Nov-11	150mm	20	49%
Sep-15	150mm	22	83%
Oct-15	150mm	24	89%
Nov-15	150mm	20	90%
Sep-16	150mm	20	66%
Nov-17	150mm	18	69%
Des 2018	150mm	15	76%
Nov-19	150mm	16	69%
Jan-21	150mm	15	73%

٢- الطرق والمواد

اعتمدت الدراسة علي مقارنة بين نتائج الفحص والتحليل لعينات الحديد الاثري لقلعة قايتباي بين عامي ٢٠٢٢و٢٠٢٣ باستخدام ميكروسكوب الهاتف المحمول واختبار الصلادة ,XRD, SEM +EDXلتوضيح تأثير التغيرات المناخية علي الحديد الأثري.

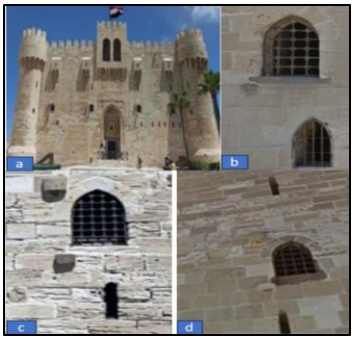
قلعة قايتباي

أسسها السلطان المملوكي الأشرف أبو النصر قايتباي عام (١٤٧٧م -٨٨٢هـ) وانتهي من البناء (١٤٧٩م -٨٨٤هـ) شرق جزيرة رأس التين شمال الإسكندرية بنيت علي موقع منارة الإسكندرية القديمة التي تعرضت لانهيارات جزئية نتيجة للعديد من الزلازل ولكنها دمرت بالكامل بعد زلزالي ١٣٠٣و١٣٢٦م، (Kamal-2021) اهتم الأشرف قايتباي ببنائها لكثرة التهديدات المباشرة من الدولة العثمانية لمصر من الحدود الشمالية، وكذلك السلطان قنصوه الغوري حيث زودها بالأسلحة، وسميت بقلعة المئذنة. (Morcos-2003)تقع مباشرة علي ساحل البحر المتوسط، بنيت علي شكل مربع ١٥٠م×١٣٠م بمساحة ١٧٥٥٠م والبرج الرئيسي لها من الناحية الشمالية الغربية، وينقسم سور القلعة إلي سور داخلي وخارجي، الداخلي يشمل ثكنات الجند ومخازن السلاح أما الخارجي يضم أبراج دفاعية في الجهات الأربعة، الجدار الشرقي يطل علي البحر مباشرة و يشتمل فتحات دفاعية للجنود أما البرج الرئيسي في الفناء الداخلي شكل قلعة كبيرة مربعة ضلعها ٣٠م وارتفاعها ١٧م وتوجد في اركان البرج (أربعة أبراج) نصف دائرية تضم فتحات لرمي الأسهم تنتهي بشرفات بارزة ، (Fareed-2021) ويقع المدخل الرئيسي للبرج في منتصف الضلع الجنوبي، وهو عبارة عن فتحة معقودة مزخرفه بشعار (رنك) السلطان قايتباي. ويشتمل البرج على ثلاثة طوابق. ويشغل مسجد القلعة أكثر من نصف مساحة الطابق الأرضي. ويضم الطابق الثاني حجرات صغيرة بينها ممرات يحتمل أنها كانت تستخدم مخازن للأسلحة والذخيرة. أما الطابق الثالث فيشتمل على قاعة كبيرة (مقعد) خاصة بالسلطان قايتباي كان يجلس فيها ليراقب حركة السفن بالميناء.(El-Darier -2018)

شكل رقم (١) يوضح خريطة القلعة ومخطط وصورة علوية لها.
https://www.google.com/maps/search/Qaitbay Citadel

الشبابيك الحديدية بالقلعة:

يوجد بالواجهة الأمامية أربعة شبابيك حديدية أما كلا من الواجهة الخلفية والغربية المطلة علي البحر فكل واجهه سته شبابيك حديدية بمنتصف ارتفاع القلعة علي شكل مصبعات الأرابيسك، أما الواجهة الشرقية بها سته شبابيك، ونهاية الطابق الأول عبارة عن قضبان حديدية متعامدة وخمسة نوافذ علي شكل مصبعات ارابيسك في منتصف ارتفاع القلعة، أما الزوايا النصف دائرية بكل زاويه شباك حديدي عبارة عن قضبان طولية، وجميع الشبابيك الحديدية عليها نواتج صدأ وتآكل وفقد كامل لبعض الشبابيك وتكسر في بعضها. (Morcos-2003)استخدمت الشبابيك الحديدية في العديد من المباني الاثرية سواء البيوت أو المباني العامة لأغراض جمالية أو للتهوية، وتعاني هذه الشبابيك الحديدية من تأثيرات التلوث والمطر الحمضي والأتربة والرذاذ البحري المحمل بالأملاح وتتأثر أكثر من غيرها من المعادن المعروضة في الداخل .(Megahed-2021)



شكل رقم (٢) يوضح الشبابيك الحديدية المتواجدة في وجهة القلعة لقلعة قايتباي

شكل رقم (٣) يوضح جانب من الشبابيك الحديدية المفقودة لقلعة قايتباي

شكل رقم (٤) يوضح طبيعة ومظاهر التآكل في الشبابيك الحديدية

تتعرض النوافذ الحديدية بقلعة قايتباي للعديد من الأيونات الناتجة عن التلوث الجوي المحيط بالقلعة ورذاذ مياه البحر التي تضرب القلعة وتتشرب داخل مسام الحجر الجيري المستخدم في بناء القلعة في جو رطب جداً وتتسبب في عملية تآكل الحديد

حيث تتكون مركبات تآكل من الأكاسيد القاعدية الليمونيت ذو اللون الأصفر المائل للبني والبيديوكروسايت ذو اللون البني و اكانجيت (هيدروكسي كلوريد الحديد) الذي يتكون من إذابة الحديد في وجود أيونات الكلوريد مما يسبب تآكل حفري وشقوق والجيوثيت ذو اللون البني إلي البني المائل للاحمرار والماجنيتيت وهيدروكسي كلوريد الحديد وأيضا تفاعل لأيونات الكبريتيد مع الحديد في زيادة الرطوبة تكون نواتج بيضاء أو مائلة للبياض ومن كبريتات الحديدوز المائية . (Rémazeilles-2009)

حيث يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التغيرات المناخية على تآكل حديد شبابيك قلعة قايتباي خلال عام كامل من خلال مقارنة نتائج الفحص والتحليل لعينات من حديد شبابيك القلعة علي فترتين ٢٠٢٢و٢٠٢٣.

جدول رقم (٢) يوضح متوسط درجات الحرارة ونسبة الرطوبة ومتوسط هطول الأمطار وارتفاع سطح البحر لمدنية الإسكندرية

https:// www. Time- anddate. com/ weather/ Egypt/ Alexandria/ historic month= 12& year 2022-2023.

Month	Temperature			Humidity			Rainfall	Wave sea
	High	Low	Average	High	Low	Average		1m
June 2022	39	18	25	100%	15%	68%	mm٠	1m
July 2022	34	20	26	94%	38%	68%	0mm	1m
August 2022	36	22	27	94%	28%	68%	.1mm	1-1.5m
September 2022	39	19	26	94%	21%	64%	.8mm	1.5-2m
October 2022	34	15	23	94%	27%	65%	9.4 mm	1.5-2m
November 2022	28	11	19	94%	23%	66%	31.7mm	2-2.5m
December 2022	25	9	17	100%	23%	73%	52.7mm	2-2.5m
January 2023	24	6	14	100%	28%	76%	52.8mm	.5m٢-٢
February 2023	26	7	13	100%	30%	71%	29.2mm	1-1.5m
March2023	33	9	17	100%	9%	67%	14.3mm	1-2m
April 2023	37	10	19	100%	14%	69%	3.6mm	1-2m
May 2023	37	12	22	94%	9%	66%	1.3mm	1.5-2m

الفحص والتحاليل:

- إجراء التحاليل الكيميائية لمياه البحر الأبيض المتوسط حول قلعة قايتباي كما هو موضح في الجدول رقم (٣)
- فحص سطح عينات الحديد الاثري لشبابيك قلعة قايتباي بميكروسكوب الهاتف الخلوي باستخدام إشعاع إضاءة "ميكروسكوب الهاتف الخلوي 60X (Vis 254 – G 8W – Model SBS –Sterilizer Ultraviolet) وهاتف خلوي ماركة OPPO 16.
- فحص وتحليل عينات الحديد باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المجهز بوحدة تشتيت الأشعة السينية ED-X ماركة (Model Quanta JSM-IT200 + ED-X Unit with accelerating Voltage 30 K.V. magnification14x up to 100000 & resolution for Gun.in) بتكبير (500x).
- تحليل عينات الحديد الاثري بجهاز التحليل بحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction مع استخدام أنبوبة المهبط من النحاس Tube Anode of Copper وتيار شدته (٤٠) كيلو / فولت وقوته (٥٥) مم/ أمبير وطول

موجي ١,٥٤,١٨ Å / Aأنجستروم وزاوية بدء 2θ = ٤ وتم أخذ عينات التحليل من أماكن غير ظاهرة وتم تحضيرها بالطحن للحصول علي أفضل النتائج .

- فحص سطح العينة الاثرية المأخوذة من مكان غير ظاهر باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي لتحديد شكل وحجم البلورات والحبيبات المعدنية التي توضح ما تعرض له المعدن من عمليات التشكيل المختلفة التي تؤثر على حجم وشكل وتوزيع الحبيبات المعدنية، تم إعداد العينة للفحص بوضعها في قالب من الأرالديت (يفضل النوع الشفاف منها) بحيث يكون سطح العينة في أعلى القالب مما يسهل إعداد السطح للفحص حيث يتم صقل السطح أولاً جيداً لإزالة ما يعلوه من نواتج تآكل حتى يتم الكشف عن سطح السبيكة استخدام عجلات الصقل المغطاة بالصوف والتي تدور في مستويات أفقية ويوضع عليها سطح المعدن رأسياً مما يُسهل عملية صقله حتي يصل إلي 0.25µm ثم شطف المعدن بالماء وتجفيفه بالكحول لإزالة آثار الماء وأخيراً يجفف بالهواء الساخن يلي ذلك استخدام التآكل التفاضلي باستخدام حمض نيتريك 10% ومن ذلك تكون العينة جاهزة للفحص .
- استخدام مقياس الصلادة باستخدام مقياس فيكرز ماركة لايكا ماكروسيستمز وتم استخدام القياس على ٥ كجم بمقياس فيكرز على عينات الحديد الاثري عام ٢٠٢٢و٢٠٢٣.

٣- مناقشة النتائج:

3-1- التحليل الكيميائي لمياه البحر المتوسط حول قلعة قايتباي:

أوضحت نتائج التحليل الكيميائي لمياه البحر الأبيض المتوسط حول القلعة تواجد كبريتات الصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم، ولأيونات الكلور، وأكاسيد الكبريتات، والفوسفات.

جدول رقم (٣) يوضح التحاليل الكيميائية لمياه البحر المتوسط حول قلعة قايتباي

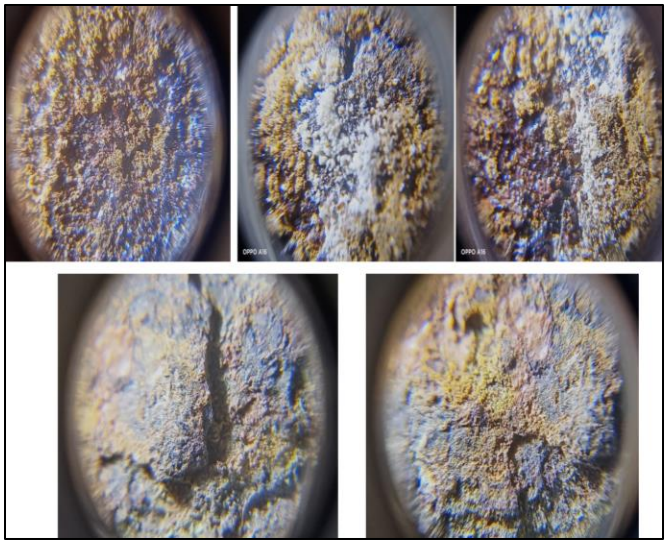
Elements		Results
Cations	Ca^{++}	412-415
	Na^{+}	11.820
	Mg^{++}	1.406
	K^{+}	550
Anions	$HCo3^{--}$	0.690
	CL^{--}	21.242
	$SO4^{--}$	2.980
	$PO4^{---}$	0.19-0.25
Other properties	PH	7.9
	TDS	35.900 mg/l
	Alkalinity	136 mg/l
	Hardness	6620 mg/l

أظهرت نتائج التحليل الكيميائي لمياه البحر الأبيض المتوسط حول قلعة قايتباي توازن جيد في النسب العناصر والمكونات الكيميائية حول القلعة سواء في هذه الدراسة أو الدراسات السابقة. (Abdel-Halim-2016) حيث وجد احتوائها على ملح الهاليت (كلوريد الصوديوم) NaCL وكلوريد المغنيسيوم، $MgCl_2$ وكبريتات الصوديوم Na_2SO_4، وكلوريد الكالسيوم $CaCl_2$. ويتمثل خطر مياه البحر علي الأملاح والرذاذ البحري (الهباء البحري) المحتوي على أملاح الكلوريد والتي تمثل أخطر البيئات للحديد الأثري حيث تسبب الإجهادات والتلف لسبائك الحديد ويتمثل التلف في التآكل عبر أوبين الحبيبات، بالإضافة إلى التأثير الميكانيكي والكيميائي لمياه البحر والرواسب البحرية والتفاعلات الكيميائية المعقدة التي تحدث بين الأملاح ومكونات القلعة من أحجار البناء والمونات وحديد الشبابيك. (Scrivano-2020)

شكل رقم (٥) يوضح تواجد مركبات التآكل على الشبابيك الحديدية

2-3 نتائج الفحص والتحليل لعينة شباك حديد قلعة قايتباي ٢٠٢٢:

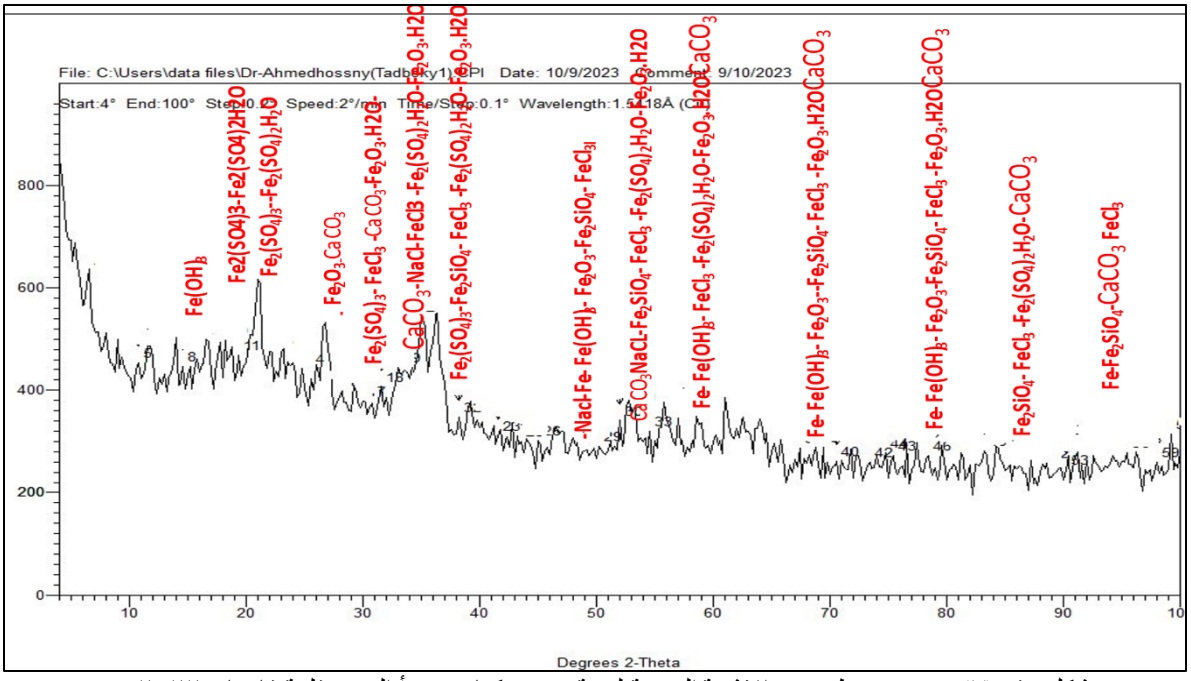
٣-2-1الفحص بميكروسكوب الهاتف الخلوي



شكل رقم (٦) يوضح طبقات التآكل على سطح الحديد الاثري
٢٠٢٢ باستخدام ميكروسكوب الهاتف الخلوي بتكبير 60x.

أوضح الفحص بميكروسكوب الهاتف الخلوي تراكم مركبات التآكل على سطح الحديد الاثري وعدم تجانس طبقات التآكل وتواجد مركبات التآكل باللون البني والأصفر مع تواجد للبثرات البيضاء.

3-2-2- نتائج التحليل بحيود الأشعة السينية لعينة حديد شبابيك قلعة قايتباي ٢٠٢٢:



شكل رقم (٧) يوضح نمط حيود الاشعة السينية لعينة من مركبات صدأ الحديد قلعة قايتباي ٢٠٢٢.

أظهرت نتائج التحليل بحيود الأشعة السينية لعينة حديد شبابيك حديد قلعة قايتباي تواجد مركبات التآكل

$NaCL- CaCO_3 -Fe- Fe(OH)_3- Fe_2O_3-Fe_2(SO_4)_3-Fe_2SiO_4- FeCl_3 -Fe_2(SO_4)_2H_2O-Fe_2O_3.H_2O$

اتضح من خلال التحليل بحيود الأشعة السينية لعينة الحديد الأثري ٢٠٢٢ تواجد مركبات الهاليت NaCl والكالسيت CaCO3 والحديد Fe و الهيماتيت Fe_2O_3و كلوريد الحديد ($FeCl_3$) Iron chloride و أكسيد الحديد المائي Iron oxide hydrate ($Fe_2O_3.H_2O$)و كبريتيد الحديد ($Fe\ So_4$) Iron Sulfite و كبريتات الحديدوز المائية Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(so_4)H_2O$)و سيليكات الحديد Fe_2SiO_4.

تقع النوافذ الحديدية لقلعة قايتباي في بيئة عالية الرطوبة وغنية بالأملاح ،عند تعرض الحديد الاثري للرطوبة العالية يكون سطح الحديد ونقطة المياه خلية جلفانية كهربية حيث يشكل مناطق بسطح الحديد القطب الموجب (المصعد) بينما تمثل مناطق مركبات التآكل مثل مناطق الأكاسيد القطب السالب (المهبط) حين تمثل نقطة المياه أو الطور المائي في المحلول الموصل لمثل هذه الخلية (الإلكترو ليت) ويتأكسد الحديد بسرعة أكثر في مناطق المصعد عنه في المهبط مكون ، وعند تواجد الرطبة العالية والأكسجين وذلك في المناطق المفتوحة فان الحديد يتعرض إلي دورات متتالية من الجفاف والرطوبة وبالتالي دورات متتالية من الأكسدة والاختزال ،في الرطوبة يتأكسد الحديد إلي أكسيد الحديد إلي أكسيد حديديك الذي له لون بني محمر ، (Saleh-2017) وفي حالة وجود ايونات للأملاح أو رذاذ البحر (الهباء البحري) المحتوي علي كلوريدات الصوديوم والكالسيوم التي تعمل كقنطرة ملحية بين المصعد والمهبط حيث تزيد من التوصيل الكهربي للماء فتزيد من عملية تآكل سطح الحديد . (Alcántara-2017)

$$Fe \rightarrow Fe^{2+}+2e^{-}$$

$$O_2+2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$$

يتم امتصاص أيونات الكلوريد علي سطح الحديد والتي تترسب علي السطح بتركيزات عالية، حيث يتم تكوين كلوريد الحديدوز الذي يسرع من التفاعلات المتلفة للحديد حيث يحدث تحلل مائي ويخلق بيئة حمضية علي سطح الحديد، (Watkinson-2019)

يساعد التركيز العالي للكلوريد والبيئة الحمضية زيادة فرصة تكون أكسيد الحديد القاعدي FeOOH والأكاجينيت Akaganéiteواللبيدوكروسيت .
(Rocca-2019)

$$Fe^{2+}+2Cl^{-} \rightarrow FeCl_2$$

$$FeCl_2 +2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2+2Cl^{-}+2H^{+}$$

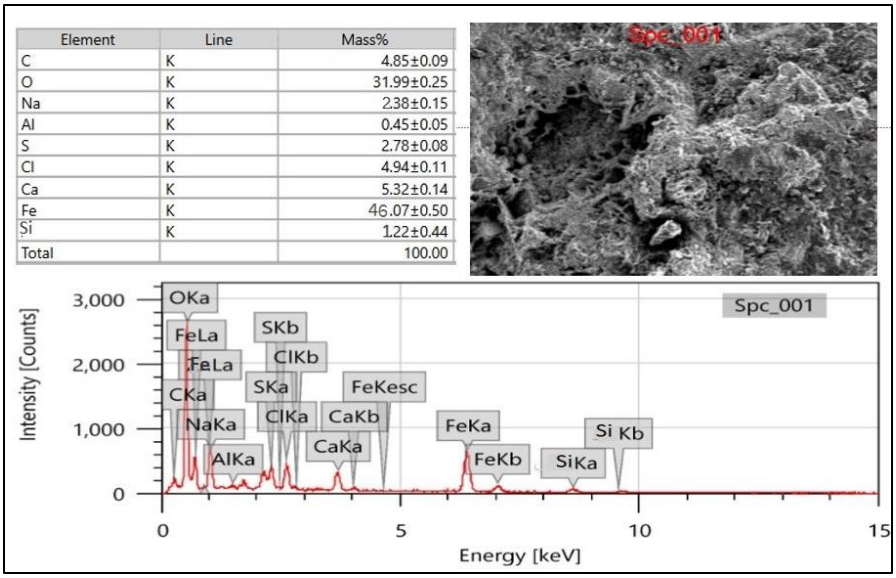
عند تعرض الحديد الاثري للهواء الجاف يتكون عليها طبقة من الأوكسيد تأخذ صور متعددة وتبدأ في تكوين أكسيد الحديدوز wustite FeO في شكل طبقة متماسكة وبزيادة الأوكسجين يتحول هذا الأكسيد إلي أكسيد الحديد المغناطيسي الماجنتيت Fe3O4 Magnetite وهو طبقة تآكل بينية والذي يتحول إلي أكسيد الحديديك الهيماتيت HematititeFe2O3 ويستمر التفاعل بين المعدن والبيئة المحيطة لينتشر طبقة التآكل علي السطح ، وفي الجو الرطب تتكون الأكاسيد القاعدية الليمونيت الأصفر المائل للبني Limonite FeO(OH) واليبيدوكروسايت ذو اللون البني Lipidocrocite FeO(OH) والجيوثيت ذو اللون البني الي البني المحمر Goethite FeO(OH) .(Jegdić-2012)

يحدث تآكل للحديد في وجود ثاني أكسيد الكبريت من الهواء الذي يتحول إلي حامض الكبريتيك (H_2S0_4)في وجود رطوبة نسبية عالية حيث يتفاعل مع الحديد ليكون كبريتات الحديد ($FeSO_4$) متبوعة بالتحول إلى$Fe(OH)_2$ و وأخيرًا الأكسدة في الهواء إلى $Fe(OH)_3$ أثناء فترة التجفيف، ويؤدي فقدان المزيد من الماء إلى تكوين هيدروكسيد الحديد FeOOH المتمثل في الجيوثيت (a-FeOOH) واللبيدوكروسيت (y-FeOOH) وقد تستغرق العملية عدة أيام . (Matthiesen-2003)

ولتواجد Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(SO_4)H_2O$) مع زيادة الرطوبة في الجو تظهر علي سطح القطع الحديدية نواتج تآكل بيضاء او مائلة للبياض وتكون مغطاه بطبقات من التآكل بحيث تكون غير ظاهرة ولكن تظهر في صورة بثرات بيضاء ورواسب فاتحة اللون من كبريتات الحديدوز المائية Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(SO_4)H_2O$) وذلك لأنه يقوم اكسيد الحديد القاعدي بدور القطب السالب بالنسبة للمعدن ويختزل الأوكسجين إلي أيونات قاعدية سالبة ويتحول المعدن الي ايونات حديدوز موجبة ، وتتجه الايونات السالبة الي القطب الموجب حيث تكّون اكسيد الحديد القاعدي $FeO(OH)_2$)وأيونات الكبريتات السالبة الناتجة عن أكسدة الكبريت في الجو فتتجه إلي الحديد وتكون كبريتات الحديدوز المائية ذات اللون الفاتح (Thickett-2012).

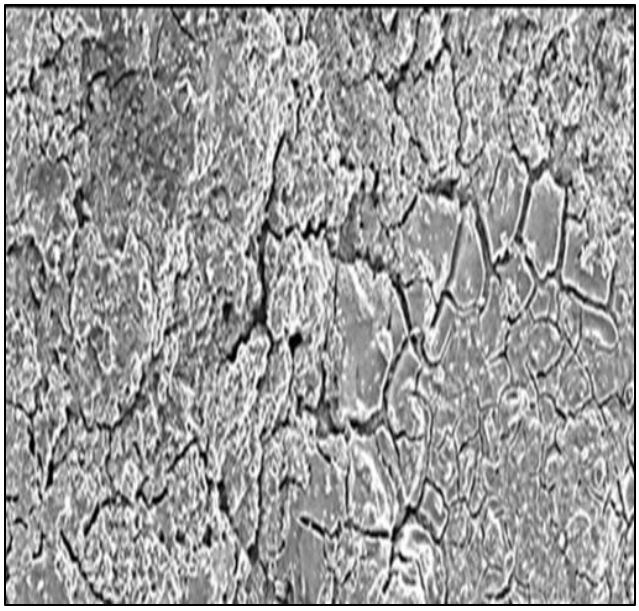
يرجع تواجد أملاح كربونات الكالسيوم (الكالسيت)إلى ذوبان كربونات الكالسيوم المكون الأساسي للحجر الجيري المستخدم في بناء قلعة قايتباي الذي يتبلور ويتزهر على الشبابيك الحديدية، وتواحد لأملاح كلوريد الصوديوم (الهاليت) المتواجدة بصورة طبيعية في الأراضي المصرية وبالأخص في البيئات الساحلية ومتواجد في مياه البحر المتوسط وبالتالي تتواجد في جدران القلعة وتتبلور وتذوب داخل الحجر تبعا لارتفاع وانخفاض نسبة الرطوبة وهطول الأمطار.(El-Gohary-2023)

٣-٢-٣- نتائج الفحص والتحليل باستخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السنية (SEM+EDX لعينة حديد شباك القلعة ٢٠٢٢



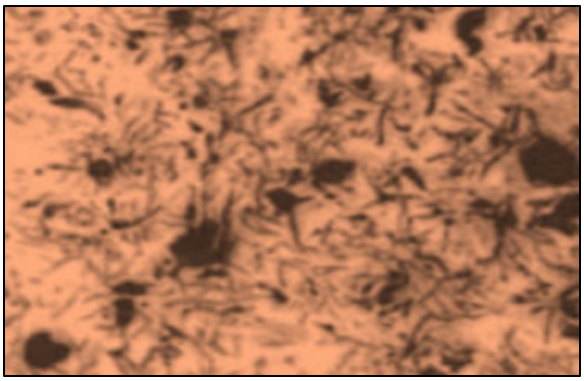
شكل رقم (٨) يوضح تحليل عينة حديد القلعة ٢٠٢٢ باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح حيث اظهر وجود عناصر سبيكة الحديد (الحديد والكربون والسيلكون) ووجود لعناصر مركبات التآكل (الاكسجين والكلور والصوديوم والكبريت والكالسيوم)

اتضح من خلال التحليل بـEDX لعينة الحديد من شباك قلعة قايتباي ٢٠٢٢انها تحتوي علي الحديد ٤٦,٠٧%والكربون ٤,٨٥% وبهذا يتكون سبيكة الحديد الزهر حيث تتكون سبيكة الحديد الزهر الرمادي نسبة كربون تتراوح بين ٢:٥% ، وتواجد للسيلكون ١,٢٢% الذي يذوب داخل السبيكة ويعمل علي تقليل درجة انصهار سبيكة الحديد.-Porgar) (2015بالإضافة إلي تواجد عناصر التآكل الناتجة من الغازات المحيطة ومن الرذاذ البحري متمثلة في الاكسجين ٣١,٩٩% والكلور ٤,٩٤%والكبريت ٢,٧٨%والصوديوم ٢,٣٨% وتواجد الكالسيوم ٥,٣٢%الناتج من ذوبان كربونات الكالسيوم من الأحجار الجيرية المبني بها القلعة .(Jia-2022)



شكل رقم (٩) يوضح شقوق وكسور وعدم استواء طبقة التآكل باستخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح بتكبير 500x أظهر الفحص بالميكروسكوب الالكتروني الماسح لعينة الحديد ٢٠٢٢عدم استواء في طبقات التآكل وتواجد شروخ وكسور في طبقات التآكل.

3-2-4- نتائج الفحص باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي



شكل رقم (١٠) يظهر الفحص باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي ان السبيكة من الحديد الزهر الرمادي طور البيرليت وتواجد قشور الجرافيت بتكبير 100x

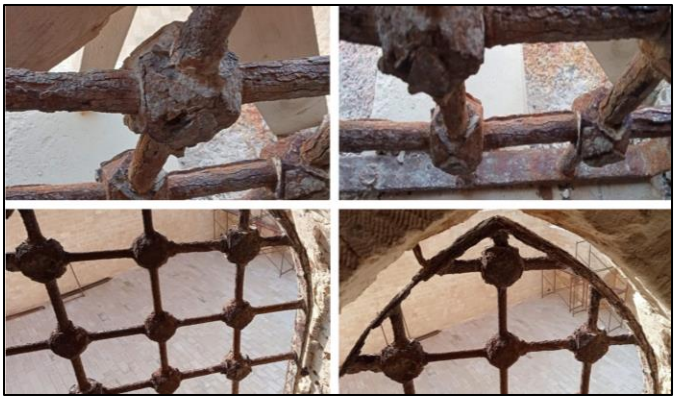
اتضح من خلال الفحص باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي أن عينة حديد شباك قلعة قايتباي كانت من سبيكة الحديد الزهر الرمادي وتتكون من طور البيرليت والذي يكون خليط من شرائح السيمنتيت والجرافيت فظهرت البلورات علي أشكال شجرية، تكون كريبيد الحديد وتواجد الكربون داخل سبيكة الحديد الزهر تقلل درجة انصهار سبيكة الحديد وينتج كمية أكبر من الجرافيت التي تعمل علي تكوين حديد زهر قابل للتشغيل. يذوب السيليكون داخل سبيكة الحديد ويقلل درجة حرارة انصهار الحديد ويتحكم في تفكك السمنتيت وتحوله إلي بيرليت وجرافيت. يظهر السمنتيت والكربون من خلال قشور الجرافيت التي تأخذ اشكال شجرية داخل بينية السبيكة. يتمثل لون حديد الزهر الرمادي الناتج عن تواجد الجرافيت، ويتميز الحديد الزهر بخواصه ميكانيكية عالية وسهولة صبه حيث يتميز بالسيولة العالية وإنتاج مسبوكات ذات دقة عالية.(Scott-1991)

3-2-5-اختبار الصلادة لعينة حديد شباك قلعة قايتباي ٢٠٢٢.

وجد أن صلادة عينة حديد شباك قلعة قايتباي ٢٠٢٢ كان ١٩٠،٤ فيكرز حيث تعرض الحديد الزهر لعوامل التلف المختلفة الناتجة عن تواجده في بيئة مفتوحة متلفة (اختلاف درجات الحرارة والرطوبة وتواجد غازات تلوث ورذاذ بحري محمل بالأملاح) تؤدي إلي نقص في صلادة وقوة الحديد وبالتالي حدوث ضعف في الخواص الميكانيكية (Richards-2003)

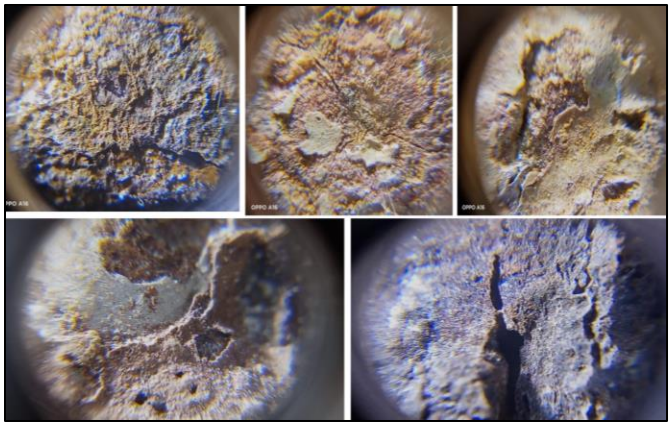
3-3نتائج فحص وتحليل حديد شباك القلعة ٢٠٢٣

شكل رقم (١١) يوضح تآكل وصدأ وتقق وكسور في بعض الشبابيك الحديدية ٢٠٢٣



شكل رقم (١٢) يوضح تحول الشبابيك الحديدية إلى مركبات تآكل٢٠٢٣

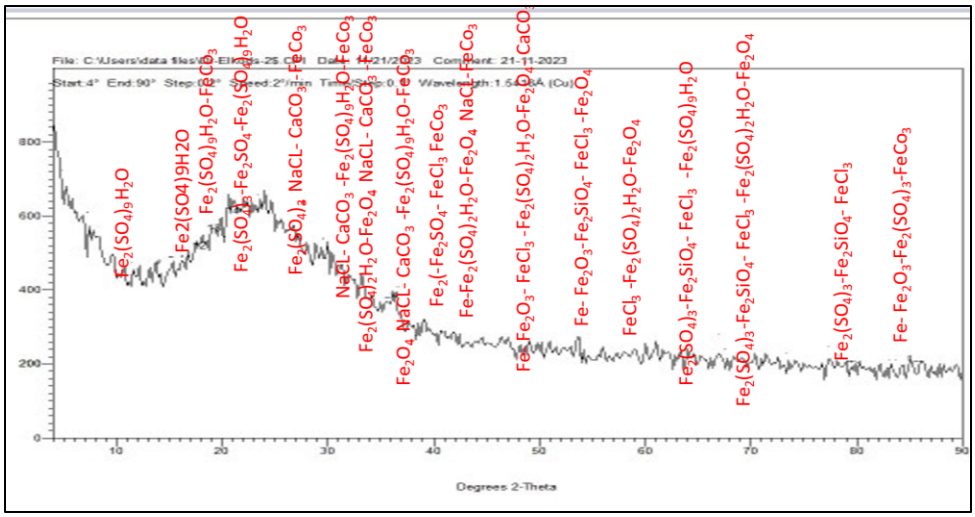
3-٣-1نتائج الفحص بميكروسكوب الهاتف الخلوي لعينة حديد الشباك الاثري لقلعة قايتباي ٢٠٢٣



شكل رقم (١٣) يوضح عدم استواء وكسور وشروخ في طبقات التآكل باستخدام الميكروسكوب الهاتف الخلوي.

اظهر الفحص بالميكروسكوب الهاتف الخلوي لعينة حديد شبابيك القلعة ٢٠٢٣ تراكم طبقات التآكل المختلفة الألوان وتواجد للبثرات البيضاء وكسور وشروخ في طبقات التآكل.

3-3-2-نتائج التحليل بحيود الاشعة السينية لعينة حديد الشباك الاثري لقلعة قايتباي ٢٠٢٣



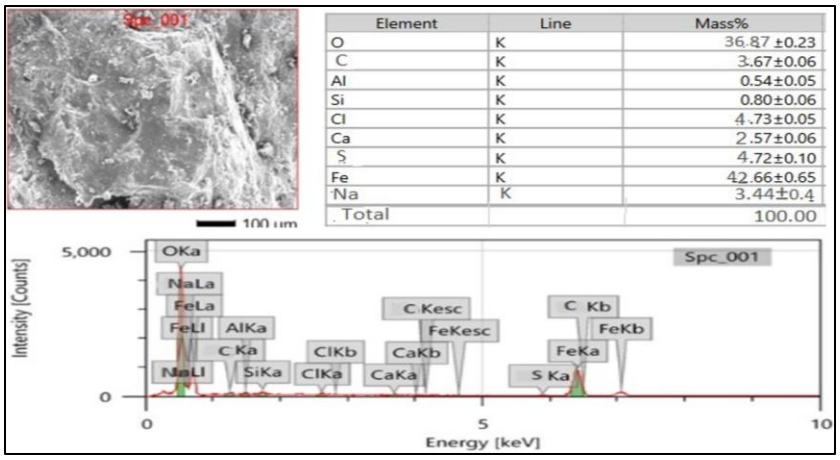
شكل رقم (١٤) يوضح نمط التحليل بحيود الاشعة السينية للحديد الاثري بقلعة قايتباي٢٠٢٣

$FeCo_3$- Fe_2O_3- $Fe_2(SO_4)_9H_2O$-NaCL- $CaCO_3$ -Fe-$Fe_2(SO_4)_3$-Fe_2SiO_4- $FeCl_3$ -$Fe_2(SO_4)_2H_2O$

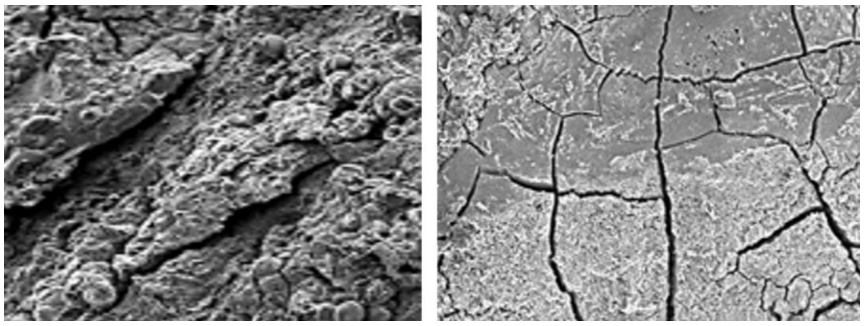
اتضح من خلال التحليل بحيود الأشعة السينية لعينة الحديد الأثري ٢٠٢٣ تواجد مركبات الهاليت NaCl والكالسيت CaCO3 والحديد Fe و الهيماتيت Fe2O3و كلوريد الحديد ($FeCl_3$) Iron chloride و أكسيد الحديد المائي Iron oxide hydrate ($Fe_2O_3.H_2O$) و كبريتيد الحديد ($Fe\ So_4$) Iron Sulfite و كبريتات الحديدوز المائية Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(so_4)\ H_2O$) و سيليكات الحديد Fe_2SiO_4.

تواجد لمركبات التآكل من أكاسيد الحديد وكلوريدات الحديد وكبريتات الحديد كربونات الكالسيوم وكلوريد الصوديوم وذلك لأن القلعة متواجدة في بيئة مفتوحة ذات محتوي رطوبة عالي جدا محمل بالرذاذ البحري (الهباء البحري) المحتوي علي الأملاح والعناصر المتلفة التي تتحد مع الحديد الأثري مكون مركبات تآكل.(Calero -2011)

3-3-3-نتائج التحليل والفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينية لعينة حديد الشباك الاثري لقلعة قايتباي ٢٠٢٣.



شكل رقم (١٥) يوضح تحليل ب EDXلعينة حديد شبابيك قلعة قايتباي ٢٠٢٣.



شكل رقم (١٦) يوضح الشقوق والكسور في طبقات التآكل وعدم استواء طبقة التآكل لعينة الحديد الأثري ٢٠٢٣

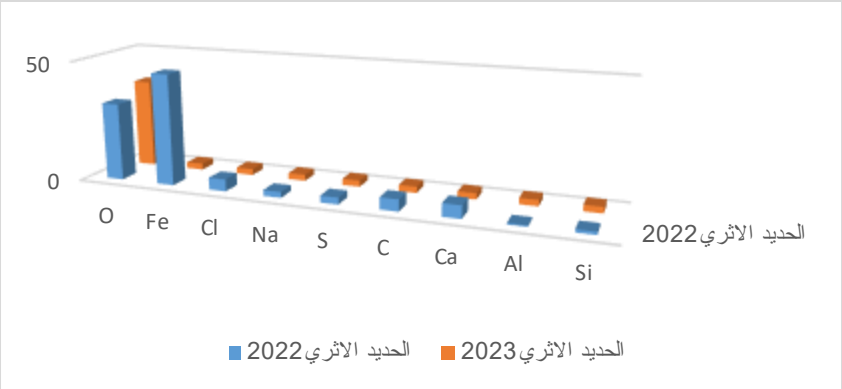
تشير نتائج التحليل ب EDXلعينة حديد شباك قلعة قايتباي ٢٠٢٣ تواجد الحديد Fe٤٢,٦٦% والكربونC ٣,٦٧% والسيلكونSi ٠,٨٠% وعناصر التآكل الاكسجين O٣٦,٨٧ % والكلورCl ٤,٧٣%و الكبريتS ٤,٧٢% والصوديومNa ٣,٤٤% والكالسيوم Ca٢,٥٧% .

أوضحت صور الفحص باستخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح للحديد الاثري ٢٠٢٣ تراكم مركبات الصدأ وتواجد شروخ دقيقة وشروخ واسعة في طبقات الصدأ والتآكل، والشروخ الدقيقة يمكن ان تنمو وتتوسع باستمرار مع استمرار تعرض الحديد الاثري في البيئة المتلفة وبالتالي استمرار عملية التآكل حتى يتسبب في النهاية بانهيار المعدن.-Dieter) 2000)

4-3-3 اختبار الصلادة لعينة حديد شباك قلعة قايتباي ٢٠٢٣:

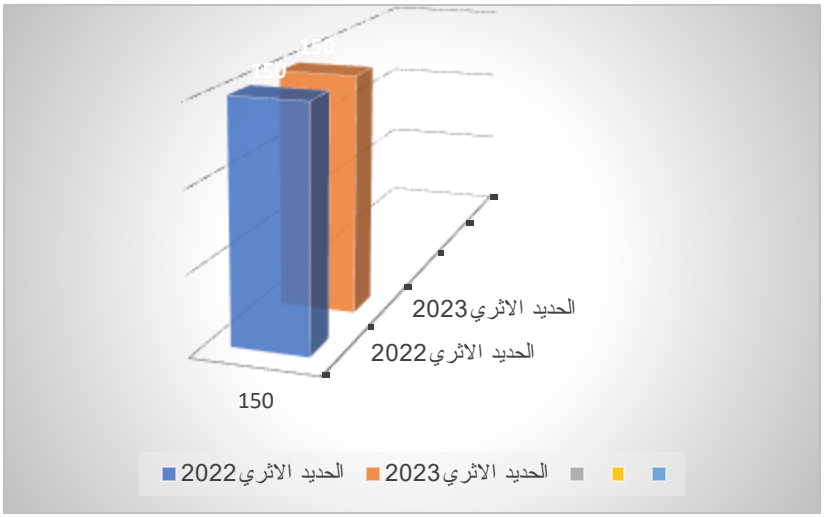
كانت صلادة الحديد الاثري ٢٠٢٣ 150فيكرز حيث حدث انخفاض في صلادة الحديد الاثري مع استمرار عملية التآكل الناتجة عن التعرض لمسببات التلف في بيئة المحيطة بالقلعة (Kraner-2023)

وبمقارنة نتائج التحليل بـEDX وXRDلعينات الحديد من شباك القلعة المأخوذة في ٢٠٢٢و٢٠٢٣ اتضح زيادة نسب عناصر مركبات التآكل لعينة الحديد ٢٠٢٣في مدي زمني عام وذلك لاستمرار تواجد القلعة في البيئة المتلفة مع التغيرات المناخية المتطرفة من زيادة هطول الأمطار وارتفاع مستوي البحر دون عملية صيانة للقلعة أو للحديد الاثري وبالتالي استمرار عملية تفاعل الغازات المتلفة مع الحديد الأثري مسببة مزيد من التآكل والصدأ واضعاف للشبابيك الحديدية الأثرية ، وبمقارنة العينات الأثرية ٢٠٢٢و٢٠٢٣والعينات التجريبية بعد التقادم وفي حالة الحفظ اصبح من الواضح ان عينات الحديد التجريبية في حالة الحفظ مدة عام كامل ثبات في نسب عناصر التآكل بالمقارنة بالعينات التجريبية بعد التقادم لان العينات التجريبية حفظت في ظروف مناخية متحكم بها .



شكل رقم (١٧) يوضح مقارنة التحليل بـEDX عينات حديد شبابيك قلعة قايتباي.

وبمقارنة نتائج قياس صلادة عينات الحديد الاثرية اتضح ان انخفاض في صلادة الحديد الاثري في عام واحد حيث كانت صلادة الحديد الاثري ٢٠٢٢(190.4) فيكرز وصلادة الحديد الاثري ٢٠٢٣كانت 150 فيكرز حيث حدث انخفاض في صلادة الحديد الاثري وذلك لاستمرار تعرضه لعوامل للتلف في بيئة متلفة، وبالتالي فإن استمرار تواجد الحديد الاثري في بيئة متلفة يؤثر على انخفاض صلادة الحديد حيث ان استمرار عملية التآكل يمكن أن يتسبب في النهاية لكسر المعدن أو انهياره.(Gonzalez-2006)



شكل رقم (١٨) يوضح مقارنة الصلادة لعينات حديد شبابيك قلعة قايتباي

٤-الخلاصة

تتعرض منطقة البحر المتوسط ومدينة الإسكندرية للتغيرات المناخية من حيث ارتفاع درجات الحرارة وهطول غزير ومفاجئ للأمطار وبالتالي الفيضانات البحرية وارتفاع مستوي سطح البحر وتآكل الشواطئ، الذي يعرض المباني الأثرية بها لخطر شديد كقلعة قايتباي الأثرية التي يمكن أن تفقد جزء كبير منها إذا ارتفع مستوي سطح البحر خلال السنوات القادمة ولهذا عملت الحكومة على وضع كتل خراسانية ضخمها الهدف منها حماية الشاطئ من التآكل.

ومن خلال ما توصلت إليه الدراسة اتضح أن سبيكة الحديد المصنوع منها شبابيك قلعة قايتباي مصنوعة من سبيكة الحديد الزهر وعليها نواتج تآكل من أكاسيد الحديد وكلوريدات الحديد وكبريتات الحديد الناتجة عن تفاعل الحديد مع البيئة المحيطة ذات محتوي رطوبي عالي ومحمله بالرذاذ البحري (الهباء البحري) المحمل بالأملاح وتواجد كبريتات الكالسيوم (الكالسيت) كملح ناتج من ذوبان كربونات الكالسيوم المكونة للحجر الجيري للقلعة وترسبها علي الشبابيك وملح (كلوريد الصوديوم) الهاليت من مياه البحر أو الهباء البحري، ويوجد فقد كامل في بعض الشبابيك الحديدية .

بمقارنة نتائج التحاليل لعينات الحديد الأثري اتضح حدوث تدهور شديد وتآكل للحديد الأثري وتناقص ملحوظ في صلادة الحديد الاثري وتحول حديد بعض الشبابيك إلى مركبات تآكل وكسور وتشقق لحديد شبابيك قلعة قايتباي خلال عام واحد من يونية ٢٠٢٢ إلي يونيه ٢٠٢٣ وذلك لاستمرار التعرض للبيئية المتلفة المحيطة بالقلعة.

ومن هذا فان استمرار تعرض الحديد الأثري لشبابيك قلعة قايتباي لمسببات التلف الناتجة عن تواجده في بيئة متلفة وتعاني من تغيرات مناخية شديدة على مدار العديد من السنوات وبالتالي استمرار عملية التآكل التي تتسبب حدوث اجهادات وشروخ وفي النهاية انهيار الحديد الاثري.

ومن خلال هذا الدراسة لا يمكن الحد من التأثيرات المناخية ولهذا لابد من اتخاذ إجراءات سريعة لعملية ترميم وصيانة وتطبيق موانع تآكل فعالة للحد من التدهور الشديد والتآكل والفقد لحديد شبابيك قلعة قايتباي.

المراجع:

1 Hemeda.S.,(2021)" Geotechnical modelling of the climate change impact on world heritage properties in Alexandria, Egypt", Herit Sci ,pp 9:73

2 - Ismail.H.,(2018)" Climate change and its impact on coastal cities: A case study from Alexandria from Alexandria" Master's Thesis, the American University in Cairo,pp 82-88.

3-Daly, C.,(2011)"Climate Change and the Conservation of Archaeological Sites: a Review of Impacts Theory Conservation and Management of Archaeological Sites", Technological University Dublin Technological, University Du, School of Surveying and Construction Management (Former DIT),vol. 13, no. 4, p.293-310.

4-Murphy. P., Thackray. D., Wilson. E.,(2009)" Coastal heritage and climate change in England: assessing threats and priorities", Conserv Manag Archaeol Sites , vol 11, issue1,pp9–15.

5 - Zevenbergen, C., Bhattacharya, B., Wahaab, R.A., Elbarki, W.A.,Busker, T., Rodriguez, S.C. N.,(2017)" In the aftermath of the October 2015 Alexandria Flood Challenges of an Arab city to deal with extreme rainfall storms, Natural Hazards, 86, pp.901–917.

6 - Elboshy, B.,Kanae,Sh., Gamaleldin,M.,Ayad,H., Osaragi, T., Elbarki ,W.,(2019)"A framework for pluvial flood risk assessment in Alexandria considering the coping capacity" Environment Systems and Decisions ,vol 39,pp77–94.

7-Khatri, B, K., et-al.,(2007)" Climate change: Alexandria – Egypt", Briefing note Alexnadria,pp.1-9.

8 - Pachauri, R.K and Reisinger, A.,(2007) "Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assess-ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change "IPCC, Geneva, Switzerland,PP 104.

9- Frihy, O. E.,(2003) "The Nile Delta-Alexandria Coast: Vulnerability to Sea-Level Rise, Consequensces and Adaptation. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change", vol 8,issue2, pp. 115-138.

10-Murphy. P., Thackray. D., Wilson .E.,(2009)"Coastal heritage and climate change in England: assessing threats and priorities" Conserv Manag Archaeol Sites,Vol.11(1):9–15.

11 - Kamal.I., Fekri.M,, Abou El-Magd.I., Soliman.N.,(2021)" Mapping the impacts of projected sea-level rise on Cultural heritage sites in Egypt: Case study (Alexandria)" Journal of the Faculty of Tourism and Hotels-University of Sadat City, Vol. 5, Issue (1/2),p5.

12- M. Jacot-Guillarmod, O. Rozenbaum, V. L'Hostis, P. Dillmann, D. Neff, C. Gervais, (2015)"Degradation mechanisms of reinforcing iron rebars in monuments: the role of multiscale porosity in the formation of corrosion products investigated by X- ray tomography" J.Anal. At. Spectrom, Vol 30,PP 580–587.

13-https://www.weather-atlas.com/en/egypt/alexandria,11-10-2023.

14-Morcos, S., Tongring, N., Halim, Y. , El-Abbadi, M., Awad, H.,(2003)"Towards Integrated Management of Alexandria's Coastal Heritage .Coastal Region",and Small Island Papers 14. UNESCO, Paris,p15.

15 - El-Darier.L., El-Darier.L., Suzan Hassan.S., Al-Abassy.D.,(2018)" The Influence of Technological Development on the Sustainability of Architectural Heritage (Documentation and Preservation) – Case Study: Citadel of Qaitbay" International Journal Of Multidisciplinary Studies In Architecture And Cultural Heritage, Vol 1, Issue 1,pp 28 – 58.

16-Fareed. M. W.,(2021)" From Alexandria To Aswan : Role Of The Comite De Conservation Des Monuments De L'Art Arabe" JAARS , Volume 2 , Issue 3 ,pp 22:36.

17- https://www.google.com/maps/search/Qaitbay Citadel ,20-9-2023

18-Morcos, S., Tongring, N., Halim, Y. , El-Abbadi, M., Awad, H.,(2003) "Towards Integrated Management of Alexandria's Coastal Heritage "Coastal Region and Small Island Papers 14. UNESCO,p15.

19- Megahed .M.M., Abdelbar .M.M., Abouelez.E.M El-Shamy.A.M.,(2021)" Polyamide Coating as a Potential Protective Layer Against Corrosion of Iron Artifacts" Egyptian Journal of Chemistry, Egypt. J. Chem. Vol. 64, No 10 pp. 5693 – 5702 .

20- Rémazeilles .C., Neff .D., Kergourlay .F., Foy .E., et al.,(2009)" Mechanisms of long-term anaerobic corrosion of iron archaeological artefacts in seawater", Corrosion Science, vol 51 ,pp 2932–2941.

21- https:// www. Time- anddate. com/ weather/ Egypt/ Alexandria/ historic month= 12& year 2022-2023,14-8-2023.

22- Abdel-Halim. A.M., Aly-Eldeen. M.A.,(2016) "Characteristics of Mediterranean Sea water in vicinity of Sidikerir Region, west of Alexandria, Egypt" The Egyptian Journal of Aquatic Research, Vol 42, Issue 2, PP 133-140.

23- Scrivano S, Gaggero L.(2020)" An experimental investigation into the salt-weathering susceptibility of building limestones" Rock Mech Rock Eng,vol53,pp5329–43.

24 - Alcántara.J., la Fuente.D., Chico.B.,.J., I Díaz.I., Morcillo.M.,(2017)" Marine Atmospheric Corrosion of Carbon Steel: A Review", Materials (Basel). vol10(4)p 406.

25- Watkinson. D.E., Rimmer. M.R., Emmerson. N.J.,(2019)" The Influence of Relative Humidity and Intrinsic Chloride on Post-excavation Corrosion Rates of Archaeological Wrought Iron" Studies in Conservation, P2.

26- Rocca, E., Faiz, H., Dillmann, P., Neff, D., Mirambet, F., (2019)" Electrochemical behavior of thick rust layers on steel artefact" Mechanism of corrosion inhibition Electrochim Acta, vol 316, pp 219–227.

27- Jegdić. B., Radovanović .A.P., Ristić. S., Alil. A.,(2012)" Corrosion of Archaeological Artefact Made of Forged Iron "Association of Metallurgical Engineers of Serbia AMES, Vol 18 ,3, PP 233-240.

28- Matthiesen, H., Hilbert, L. R., and Gregory, D.,(2003) "Siderite as a corrosion product on archaeological iron from a waterlogged environment," Studies in Conservation, 48 ,PP183-194.

29- Thickett. D.,(2012)" Post Excavation Changes and Preventive Conservation of Archaeological Iron" ,PHD, School of Biological and Chemical Sciences, Birkbeck College, University of London,PP 171.

30- El-Gohary.,M.A.,(2023)" The environmental factors affecting the archaeological buildings in Egypt, "IV deterioration by synergistic marine effects", Heritage Science, Springer,pp1:15.

31- Porgar.S., Abrishami.H.,(2015)" An overview of the corrosion of iron and its alloys by using nanotechnology" 2015 International Conference On Material Science ,PP3-4.

1- 32- Jia ,M., P Hu.P., Hu.G.(2022)," Corrosion Layers on Archaeological Cast Iron from Nanhai I", Materials ,vol 15, pp1:15.

33- Scott. D.A.,(1991) "Metallography an Microstructure of Ancient and Historic Metals" The J. Paul Getty Trust,pp.37:42.

34- Calero, J., Alcantara, J., Chico, B., Diaz, I., Simancas, J., de la Fuente, D., Morcillo, M.,(2011)" Wet/dry accelerated laboratory test to simulate the formation of multilayered rust on carbon steel in marine atmospheres" Corros. Eng. Sci. Technol,vol52,pp 178–187.

35-Gonzalez, N.R.,(2006) Aging Effects in 319-Type Alloys, Heritage Branch ,p.30-52.

36-Von L. Richards , David C. Van Aken, and Wayne Nicola,(2003) "Age Strengthening of Gray Cast Iron: Kinetics, Mechanical Property Effects, " AFS Transactions, pp 03037.

37-Kraner. J. , Lazar .T., Mlinar.M., Burja .J.,(2023)" Metal Artefacts and Remains of Armour from Kozlov RobCastle: Metallurgical Analyses as a Tool for Identification and Interpretation of Fragmentary Archaeological Finds" Heritage, 6, pp4653–467.

38- Dieter,G.,(2000) Mechanical Metallurgy ,Mc Graw , Hill Book Co , New York ,p.227.