الجمعية الجغرافية المصرية

أخطار التجوية على هرمى هوارة واللاهون بمنخفض الفيوم

" دراسة فى الجيومورفولوجيا التطبيقية "

د. هويدا توفيق أحمد حسن

المدرس بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية التربية ــ جامعة عين شمس

سلسلة بحوث جغرافية

العدد المائة وعشرة ــ ٢٠١٨

لا يسمح إطلاقا بترجمة هذا الكتاب الى أية لغة أخرى، أو بإعادة إنتاج أو طبع أو نقل أو تخزين أى جزء منه، على أية أنظمة استرجاع بأى شكل أو بأى وسيلة، سواء اليكترونية أو ميكانيكية أو مغناطيسية أو غيرها من الوسائل، قبل الحصول على موافقة خطية مسبقة من الجمعية الجغرافية المصرية.

Copyright ® 2018, Printed by Al-Resala Press, Tel.: 0122 65 78 757 e-mail: gamal_elnady@yahoo.com

All rights reserved. This book is protected by copyright. No part of it may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from The Egyptian Geographical Society.

قواعد النشر

تهدف هذه السلسلة إلى نشر البحوث الجغرافية الأصيلة التى يقوم بها الجغرافيون المصريون المتخصصون، بهدف تعريف المؤسسات العلمية العالمية والعربية، بالنشاط العلمى الذى تتبناه وتتوفر عليه الجمعية الجغرافية المصرية.

وتقوم بحوث هذه "السلسلة" على الدراسات الجغرافية الميدانية، وعلى البحوث التى تهتم بطرح رؤى جديدة فى مناهج البحث الجغرافى وأساليبه، كما تعنى بالبحوث النفعية فى مختلف مجالات الجغرافيا التطبيقية، وهو ما يتيح للجغرافيين العرب والأجانب الإطلاع على ما تقوم به الجمعية الجغرافية المصرية التى تعد أقدم الجمعيات الجغرافية فى العالم العربى، كما تعد زائدة فى إجراء البحوث والدراسات الجغرافية الجادة والأصلية.

وقد تتضمن بحوث هذه "السلسلة" ملخصات مكثفة لرسائل الماجستير والدكتوراة المجازة فى الجامعات المصرية والعربية وغيرها.

ويشترط فى البحوث التى تنشر ضمن هذه السلسلة مراعاة القواعد التالية:

- تقبل للنشر فى هذه السلسلة البحوث التى تتسم بالأصالة وتسهم فى تقدم المعرفة الجغرافية.
- يقدم مع البحوث المكتوبة باللغة العربية ملخص (Abstract) باللغة الإنجليزية. كما يقدم مع البحوث المكتوبة بلغة أجنبية ملخص باللغة العربية.
- لا يزيد البحث عن ١٥٠ صفحة، ويجوز لمجلس الإدارة استثناء البحوث الممتازة من هذا الشرط.
- يشترط ألا يكون العمل المقدم قد سبق نشره أو قدم للنشر فى أية جهة أخرى.
- يقدم البحث فى صورته الأخيرة المقبولة للنشر من ثلاث نسخ مرفقاً به اسطوانة ليزر (CD) مستخدماً إحدى برمجيات معالجة النصوص مع نظام ويندوز المتوافق مع IBM، على أن تكون الكتابة ببنط ١٤ ومسافة ١ بين الأسطر، وتقدم الخرائط والصور والأشكال مستقلة محفوظة فى صورة JPEG أو Tiff و Resolution ٢٠٠ فأكثر.
- يفضل أن تقدم الخرائط والأشكال البيانية بالألوان بحيث لا تتجاوز مساحتها (١٢ سم عرض × ١٨ سم طول)، وإن تعذر ذلك تقدم بالأبيض والأسود وفق القواعد الكارتوجرافية.
- يكتب الباحث اسمه واسم البحث فى ورقة منفصلة ويكتفى بكتابة عنوان البحث فقط على رأس البحث مراعاة لسرية التحكيم.
- يعرض البحث على اثنين من المحكمين من كبار الأساتذة فى مجال التخصص، وفى حالة اختلاف رأى المحكمين، يرسل البحث إلى محكم ثالث مرجح، وبناء على تقاريرهم يمكن قبول البحث للنشر أو إعادته للباحث لإجراء التعديلات أو التصويبات الضرورة قبل نشره.
- البحوث التى تقدم للنشر لا ترد إلى مقدميها سواء نشرت أو لم تنشر.
- تحتفظ الجمعية بحقوق النشر كاملة.
- يسلم للباحث ٥٠ نسخة من بحثه بعد نشره، وإذا أراد نسخاً إضافية يسد ثمنها طبقاً لسعر البيع الذى تحدده الجمعية.

فهرس المحتويات

الموضــوع	صفحة
الملخص.	١١
المقدمة.	١٢
موقع منطقة الدراسة.	١٣
أهداف الدراسة.	١٤
مناهج الدراسة.	١٧
مصادر ووسائل الدراسة	١٧
- الدراسات السابقة.	١٧
- الدراسة الميدانية.	١٩
- التحليلات المعملية.	١٩
أولاً : العوامل المؤثرة فى نشاط عمليات التجوية بهرمى هوارة واللاهون.	٢٠
١) الخصائص المناخية.	٢١
أ- درجة الحرارة.	٢٢
ب- التبخر.	٢٤
ج- الرطوبة.	٢٨
د- الرياح.	٢٨
٢) المياه الأرضية.	٣١
أ- مناسيب المياه الأرضية.	٣٢
ب- الخصائص الكيميائية للمياه الأرضية.	٣٦
ثانياً : خصائص الصخور المستخدمة فى بناء هرمى هوارة واللاهون.	٣٧
١) الخصائص الجيولوجية.	٣٨
أ- التركيب المعدنى.	٣٨
ب- التركيب الكيميائى.	٤٢
ج- نسيج الصخر.	٤٤

٢) الخصائص البتروفيزيائية.	٤٦
أ- المسامية.	٤٦
ب- نسبة امتصاص الصخور للمياه (٪).	٥١
ج- قدرة تحمل الصخور للضغط.	٥٢
ثالثاً : مظاهر التدهور الناتج عن تأثير عمليات التجوية بهرمى هوارة واللاهون.	٥٢
١) مظاهر التدهور المرتبطة بالتجوية داخل الصخر بهرمى هوارة واللاهون.	٥٣
أ- الطريقة الأولى (التحليل الهيدروكيميائى).	٥٣
ب- الطريقة الثانية (التحليل المجهرى).	٥٦
٢) مظاهر التدهور المرتبطة بالتجوية على السطح الخارجى للصخر بهرمى هوارة واللاهون.	٥٨
أ- مظاهر التجوية الكيميائية.	٦٠
ب- مظاهر التجوية الميكانيكية.	٦٢
الخاتمة.	٦٦
التوصيات.	٦٧
الملاحق.	٦٩
المراجع والمصادر.	٧٣

فهرس الجداول

م	عنوان الجدول	صفحة
١	المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لبعض عناصر المناخ بمحطة الفيوم.	٢٢
٢	النسب المئوية لعدد مرات هبوب الرياح من الاتجاهات المختلفة وسرعتها فى فصول السنة لمحطة الفيوم.	٣٠
٣	نسبة المواد الكربوناتية وغير الذائبة (بواقى حمضية) بعينات الدراسة.	٤٢
٤	الخصائص البتروفيزيائية لعينات الحجر الجيرى بمنطقة الدراسة.	٤٨
٥	نسبة المسامية بعينات منطقة الدراسة باستخدام جهاز الضخ الزئبقى MIP.	٤٨
٦	نسبة أحجام المسام ودرجة استجابة الصخر للتجوية لثلاث عينات من الحجر الجيرى بمنطقة الدراسة.	٤٩

فهرس الخرائط والأشكال

م	عنوان الخريطة أو الشكل	صفحة
١	موقع منطقة الدراسة.	١٤
٢	أجزاء هرمى هوارة واللاهون.	١٥
٣	موقع محطة الفيوم المناخية بالنسبة لهرمى الدراسة.	٢١
٤	المعدل الشهرى لدرجات الحرارة بمحطة الفيوم (١٩٦٠-٢٠٠٥).	٢٤
٥	المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية بمحطة الفيوم (١٩٦٠-٢٠٠٥).	٢٦
٦	المتوسط الشهرى للمطر بمحطة الفيوم عام ٢٠٠٥.	٢٧
٧	المعدلات الشهرية للتبخر بمحطة الفيوم (١٩٦٠-٢٠٠٥).	٢٨
٨	الارتفاعات بمنطقة الدراسة.	٣٣
٩	التغير فى مساحة الأراضى الزراعية بمنطقة الدراسة فى الفترة من ١٩٨٥ إلى ٢٠١٧م.	٣٤
١٠	الترع والمصارف بمنطقة الدراسة.	٣٥
١١	جيولوجية منطقة الدراسة.	٣٥
١٢	التركيب المعدنى لبعض عينات منطقة الدراسة باستخدام الأشعة السينية X-ray.	٣٩
١٣	العلاقة بين أقطار المسام وحجم المسام التراكمى لبعض عينات صخرية بمنطقة الدراسة.	٥٠
١٤	العلاقة الارتباطية بين نسبة المسامية ودرجة امتصاص الصخور للمياه بعينات منطقة الدراسة.	٥١

فهرس اللوحات الفوتوغرافية

م	عنوان اللوحة	صفحة
١	الأجزاء المكونة لهرمى هوارة واللاهون.	١٦
٢	أثر تغيرات درجات الحرارة فى نشاط عملية التجوية الميكانيكية، والتى أدت إلى انتشار الشروخ والشقوق داخل الأثر وخارجه بالمقابر الجنوبية بهرم اللاهون.	٢٥
٣	أثر التغيرات فى معدلات الرطوبة والمطر ودرجات الحرارة فى تجوية الطوب اللبن المكون لهرم هوارة.	٢٧
٤	أثر ارتفاع معدلات التبخر فى نشاط عملية التجوية الملحية بالمدخل الرئيسى بهرم هوارة على هيئة تفلور ملحى.	٢٩
٥	ارتفاع منسوب المياه الأرضية بالمدخل الرئيسى لهرم هوارة.	٣١
٦	التركيب المعدنى لصخر الجرانيت بهرم اللاهون باستخدام الميكروسكوب المستقطب.	٤١
٧	النسيج الصخرى ببعض عينات منطقة الدراسة باستخدام الميكروسكوب الضوئى المستقطب (قوة تكبير ٤٠٠ مرة)	٤٥
٨	مظاهر التدهور بالمدخل الرئيسى لهرم هوارة.	٥٧
٩	مظاهر التدهور بالمقابر الجنوبية بهرم اللاهون.	٥٩
١٠	تكوين عروق الجبس الليفى فى مقابر غرب اللاهون.	٦١
١١	مظاهر التدهور بالتقشر بصخور هرم هوارة.	٦٣
١٢	التفتيت الحبيبى بالمعبد الجنائزى بهرم اللاهون والذى تراوح بين البودرة وحجم الحصى.	٦٤
١٣	التراجع الخلفى من سطح أحجار المدخل الرئيسى لهرم هوارة مع تزهر شديد للأملاح على سطح الأحجار الجيرية ونشع داخل تلك الأحجار.	٦٦

فهرس الملاحق

م	عنوان الملحق	صفحة
١	التحليل الهيدروكيميائى لعينات التربة والصخور بهرمى منطقة الدراسة.	٧٠
٢	تصنيف (Farmer, 1968) لمسامية الحجر الجيرى.	٧١
٣	تصنيف درجة استجابة الصخر للتجوية الملحية وتفسيره.	٧١
٤	تصنيف (Moen, 1967) لصلادة الحجر الجيرى بناء على نسبة امتصاص الصخور للمياه.	٧١
٥	تصنيف قدرة تحمل الصخور للضغوط وفقا لتقسيم الكود الامريكى للخصائص الميكانيكية بالصخور.	٧٢
٦	مظاهر التلف حسب تقسيم (Fitzner, et al., 2002).	٧٢

الملخص

الواقع أن العديد من تراثنا الثقافى التاريخى يعانى من تدهور خطير (ولاسيما من التجوية) بعضه طبيعى، والبعض الآخر نتيجة التدخل البشرى، لذا فإن الحفاظ على هذا التراث أصبح مسألة ملحة خاصة وهى مناطق تخضع لفترة طويلة للتأثير البشرى والظروف البيئية المحيطة، والذى يؤدى إلى تدهورها أو تغيير مشهدها التاريخى. وعلى ذلك اهتمت وبشدة العديد من المنظمات العالمية والمحلية لبقاء هذا التراث الثقافى والحفاظ عليه بداية من الفن الصخرى البسيط إلى المعابد الكبيرة.

ويعد هرمى هوارة واللاهون محل الدراسة واحد من أهم المعالم الأثرية التاريخية بمنخفض الفيوم المبنية من الطوب اللبن، والذى يعانى وبشدة من تأثير عمليات التجوية بشقيها الميكانيكى والكيميائى.

وتهدف الدراسة الحالية إلى تحديد العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة فى نشاط عمليات التجوية ومدى استجابة التكوينات الصخرية المكونة لهرمى هوارة واللاهون لفعل التجوية، وتحديد أهم مظاهر التلف الناشئ عن عمليات التجوية ومحاولة تصنيف أشكالها.

ولتحقيق هذه الأهداف تم دراسة عناصر المناخ المختلفة وإبراز أثرها على الهرمين، بالإضافة إلى دراسة المياه الأرضية باعتبارها من أهم العوامل البيئية المؤثرة على هرمى الدراسة، كما تم التطرق إلى دراسة خصائص الصخر المكون للهرمين بيتروجرافيًا ومعدنيًا وبتروفيزيائيًا وميكانيكيًا ومجهريًا، ومن نتائجها تم عمل تقييم لأشكال التجوية والضرر الناتج عنها، فى محاولة لحماية الهرمين من تلك الأخطار.

الكلمات المفتاحية : هرمى هوارة واللاهون– التراث الثقافى– عمليات التجوية– أشكال التجوية– مظاهر التلف (التدهور) – المياه الأرضية.

المقدمة :

أصبحت المجتمعات العالمية تشعر بالقلق إزاء فقدان التراث الثقافى التاريخى، والذى يصعب استرجاعه أو تعويضه، ونتيجة لذلك تزايدت الأبحاث التى تتناول عوامل التلف والحفاظ على الصخور المكونة لهذا التراث، فمعرفة العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة على الصخور تمكننا من التحكم فى تلفها. وخاصة أن الآثار لم تبق على حالتها منذ أن شيدت وحتى الوقت الحاضر، حيث تتعرض باستمرار لتأثير العوامل البيئية الطبيعية، والتى يمكن أن تؤثر سلبا عليها وفى تغيير مظهرها التاريخى وربما تصل بها إلى مرحلة الانهيار.

وتعد اهرامات مصر أكثر المواقع الأثرية شهرة فى العالم، والتى تعود أغلبها إلى المملكة القديمة ٢٦١٣-٢١٨١ ق.م. وقد كان معظم الاهتمام فى بناء الأهرامات على الحجر الجيرى، ثم بعد ذلك بنيت من الطوب اللبن وتم تكسية البناء من الخارج بالحجر الجيرى الأبيض غير السميك (Keatings, et al., 2007, p. 533).

ويعد هرمى هوارة واللاهون بمنخفض الفيوم من أهم هذه الأهرامات المبنية من الطوب اللبن[١] (شكل ١)، وتعد الآثار المكتشفة بها آثارًا فريدة فى ذاتها، وبالتالى لابد من الحفاظ عليها وحمايتها من التلف، حيث أن تلفها قد يؤدى إلى زوالها إلى الأبد.

---

(١) على الرغم من أن بناء هرمى الدراسة من الطوب اللبن، إلا أنهما استطاعا مقاومة عوامل البيئة الخارجية وبخاصة الأمطار التى تسقط من وقت لآخر خلال عمرهما الطويل، ولم تستطع أن تزيلهما، ويرجع ذلك إلى تكسية تلك الأنواع من الأهرام بالحجر الجيرى، ومع إزالة هذه التكسية بمرور الزمن، تعرض الطوب اللبن المكون الأساسى للهرمين لتأثير كافة العوامل الخارجية، والتى أثرت فيهما بشكل واضح كما سيتضح فى الصفحات القادمة.

موقع منطقة الدراسة :

تقع منطقة الدراسة فى جنوب شرق منخفض الفيوم الذى يعد أعمق المنخفضات بهضبة الحجر الجيرى الأيوسينى بالصحراء الغربية، ويتصل بنهر النيل عن طريق بحر يوسف وتتصرف مياهه فى المنخفض من خلال فتحة اللاهون، ويقع بها موقعين من أهم المواقع الأثرية فى هذه المنطقة، وهما شكلى (١، ٢) ولوحة (١):

- **الموقع الأول** : هرم هوارة ويقع على بعد ٩كم جنوب شرق مدينة الفيوم عند تقاطع دائرة عرض ً٢٥ َ١٦ ٢٩° شمالاً وخط طول ً٥٨ َ٥٣ ٣٠° شرقًا، ويبعد هرم هوارة ومعبده اللابيرنث (قصر التيه) أهم الآثار الموجودة فيه، ويسمى بهرم امنمحات الثالث، ويبلغ ارتفاعه حوالى ٥٨م وطول كل ضلع من أضلاعه حوالى ١٠٠م. ويشبه هرم هوارة هرم اللاهون من حيث مدخله الرئيسى من الناحية الجنوبية وفتحة غرفة الدفن، وعمارته المشيدة بالطوب اللبن، وكساءه الخارجى من الحجر الجيرى الأبيض (خليفة، ٢٠١٢، ص ١٣٧).
- **الموقع الثانى** : هرم اللاهون ويقع بمدخل مدينة الفيوم عند تقاطع دائرة عرض ً٠٨ َ١٤ ٢٩° شمالاً وخط طول ً١٦ َ٥٨ ٣٠° شرقًا، ويسمى بهرم سنوسرت الثانى أحد ملوك الدولة الوسطى، ويضم معبد الوادى والذى تحيط به منازل قديمة مبنية بالطوب اللبن (العزب ومنصور، ٢٠٠٠، ص ٣١٤). ويتميز هذا الهرم بأن قاعدته الداخلية عبارة عن كتلة من الصخر الطبيعى (ارتفاعها ١٢م)، وقد شيد الهرم فوق هذه الكتلة الصخرية من الطوب اللبن ثم تم تكسية البناء من الخارج بالحجر الجيرى. ويبلغ ارتفاع الهرم ٤٨م وطول قاعدته ١٠٦م، وفى الناحية الشرقية يوجد المعبد الجنائزى، وإلى الشمال من الهرم يوجد ثمانية مقابر صخرية وكذلك بقايا هرم الملكة، وإلى الجنوب منه يوجد أربعة مقابر لأفراد الأسرة المالكة، وقد تبين من الدراسة الميدانية أن المدخل الرئيسى للهرم من الناحية الجنوبية على عكس المعتاد فى بناء الأهرامات أن تكون المداخل فى الناحية الشمالية، ووجود فتحة غرفة الدفن من أعلى وليس من أحد الجوانب (فخرى، ١٩٦٣، ص ٣١٦).

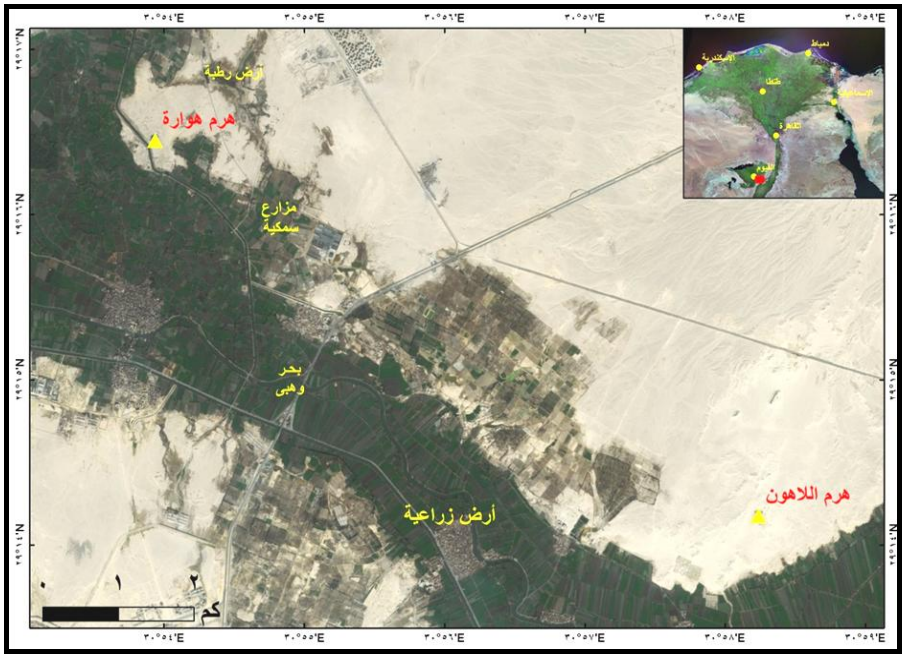
أهداف الدراسة:

بناءً على الوضع الحالى للموقعين الأثريين موضوع الدراسة، وحالة التجوية بهما نتيجة تفاعل الظروف البيئية مع مواد البناء المشيد بهما الموقعين، جاءت الدراسة الحالية لتحقيق الأهداف التالية:

١ –تحديد العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة فى نشاط عمليات التجوية سواء أكانت عوامل داخلية متمثلة فى خصائص مواد البناء المستخدمة فى بناء الأثر أو عوامل خارجية ساهمت فى زيادة نشاطها، ومحاولة التعرف على مدى استجابة التكوينات الصخرية المكونة للهرمين لفعل التجوية.

٢ –التعرف على مظاهر التدهور الناتج عن عمليات التجوية بأنواعها، ومحاولة تصنيف أشكالها وتحديد درجة وشدة تدهورها.

٣ – الوصول إلى طرق فعّالة لتجنب تلك الأخطار أو حل بعض المشاكل الناجمة عنها، وكيفية حماية الهرمين من تلك الأخطار.

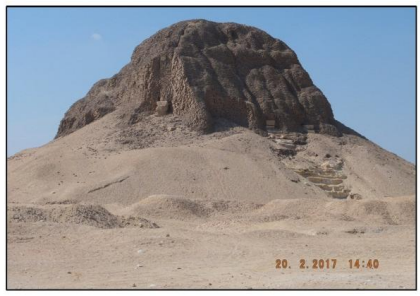


شكل (١) : موقع منطقة الدراسة.

المصدر: مرئيات Google Earth (2017).

شكل (٢) : أجزاء هرمى هوارة واللاهون.

المصدر: مرئيات Google Earth (2017).



هرم اللاهون

هرم هوارة

المقابر الشمالية بهرم اللاهون

المعبد الجنائزى بهرم هوارة (الجانب الشرقى لبحر وهبى)

المعبد الجنائزى بهرم اللاهون

المعبد الجنائزى بهرم هوارة (الجانب الغربى لبحر وهبى)

المقابر الجنوبية بهرم اللاهون

لوحة (١) : الأجزاء المكونة لهرمى هوارة واللاهون.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

مناهج الدراسة :

اعتمدت الدراسة الحالية على عدد من المناهج البحثية، تمثلت فيما يلى:

١ -**المنهج التاريخى** : ويقوم على دراسة ظاهرة محددة خلال فترات زمنية مختلفة، وقد اتبعته الدراسة فى رصد التوسع الزراعى وأثره على المنطقة الأثرية، ورصد تغيرها فى فترات زمنية مختلفة.

٢ -**المنهج التطبيقى** : ويعد المنهج الذى تسعى إليه الدراسات الجغرافية التطبيقية، وذلك لإيضاح دور الجغرافيا بصفة عامة والجيومورفولوجيا بصفة خاصة فى خدمة الإنسان فى علاقته مع البيئة المحيطة به، وقد اتبعته الدراسة فى دراسة مظاهر التلف الناتجة عن عمليات التجوية وأخطارها، ومحاولة طرح الحلول المناسبة لها.

مصادر ووسائل الدراسة:

اعتمدت الدراسة فى تحقيق أهدافها على عدد من المصادر والوسائل، وهى:

- **الدراسات السابقة :**

تعددت الدراسات التى تناولت تجوية الصخور المكونة للمبانى الأثرية، سواء من قبل الجيومورفولوجيين أو من قبل تخصصات أخرى كالجيولوجيا، وعلم الآثار. ومن أهم هذه الدراسات، على سبيل المثال:

* دراسة (El-Gauri and Holdren, 1981)، وموضوعها "Preliminary report on the deterioration of stone at the sphinx" وتناولت دراسة تلف حجر أبو الهول. وأقرت أن السبب الرئيسى وراء تدمير أبو الهول تبلور الأملاح بمساعدة نظام المسام السائدة فى هذه الصخور.

* دراسة (Abdel-Tawab, and Mahmoud, 1992)، وموضوعها "Geotechnical problems in the area between Mansheit El Sader and East Cairo" وقد تناولت تلف المبانى القديمة من ٢٠-٥٠ سنة مضت ، وتوصلت إلى أن معدل

التجوية فى الحجر الجيرى المارلى المكون لتلك المبانى حوالى ٦٨,٣٠ سم٣/سنة.

* دراسة (Soliman, 2000)، وموضوعها "Wind-Erosion of Sedimentary Rock Monuments" وقد تناولت دراسة نحت الرياح للصخور الرسوبية للآثار المصرية، وتوصلت إلى أن نحت الرياح يعد واحد من أكثر العوامل الهامة فى تلف الآثار المصرية القديمة.
* دراسة (Fitzner, et al., 2003)، وموضوعها "Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt" وقد تناولت الآثار الحجرية فى صعيد مصر، وتوصلت إلى أن كل الآثار تعانى من تلف التجوية، وتمت الدراسة على معبدى الكرنك والأقصر، من خلال دراسة الخصائص البتروجرافية للأحجار الرملية لجبل السلسلة وتصنيف السلسلة الى حجر رملى ١ و ٢ و ٣ و ٤ ثم قامت بتصنيف أشكال التجوية فى كل نوع منها بواسطة الأربع مجموعات التى اقترحتها الدراسة.
* دراسة (على مصطفى كامل ميرغنى، ١٩٩٨)، وموضوعها "التجوية الكيميائية بوصفها خطرا طبيعيا على المنشآت بالمناطق الساحلية بمدينة الإسكندرية"، وتوصلت هذه الدراسة إلى حصر مظاهر التجوية الكيميائية بمنطقة الدراسة فى العديد من المظاهر، كما قامت بحصر أثر التجوية على المنشآت، ودراسة العوامل المؤثرة عليها.
* دراسة (أحمد إبراهيم محمد صابر، ٢٠١٢)، وموضوعها "أخطار التجوية الملحية على المبانى الأثرية بمدينة القاهرة" وتناولت العوامل المؤثرة فى التجوية الملحية بالمنطقة وحاولت التعرف على مصادر هذه الأملاح والتلف الناشئ عنها وتوصلت إلى أن المياه الأرضية بمساعدة عوامل المناخ لعبت دوراً خطيراً فى تلف وتآكل مواد البناء، وقد اعتمدت الدراسة على تصنيف (Arnold) فى تمييز أربعة نطاقات مختلفة للتلف من المياه الأرضية.
* دراسة (ماجد شعلة وآخرون، ٢٠١٥)، وموضوعها "التجوية وآثارها الجيومورفولوجية فى تشكيل مقابر الأنفوشى الأثرية بمدينة الإسكندرية" وكشفت

الدراسة عن تعرض مقابر الانفوشى باستمرار لعمليات التجوية نتيجة نشاط عوامل وعمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية والبيولوجية، وقامت الدراسة بتطبيق تصنيفى (Fitzner, 2002) و (Kamh, 2004) فى قياس معدلات التجوية ورتبها، وتوصلت إلى تباين رتب شدة عمليات التجوية بمقابر الانفوشى بين الرتب المنخفضة والشديدة جدا.

- **الدراسة الميدانية :**

تمثل الدراسة الميدانية أهم مصادر البيانات فى البحث الجيومورفولوجى، وقد اعتمدت الدراسة عليها فى جمع العينات والبيانات المطلوبة لمعرفة مصادر التدهور، بالإضافة إلى عينات من التربة الحاملة للآثر، كما تم التقاط الصور الفوتوغرافية لأهم الأشكال الناتجة عن التجوية.

- **التحليلات المعملية :**

لاكتشاف مظاهر التلف بالصخر والعوامل المسببة له اعتمدت الدراسة على عدد من التحليلات، وهى:

- **حيود الأشعة السينية** X-ray diffraction: ويهدف إلى التعرف على التركيب المعدنى للصخر ومن خلاله يمكن تحديد درجة مقاومة الصخر لعوامل التلف المختلفة.
- **الميكروسكوب الضوئى المستقطب:** يتم عمل قطاعات رقيقة (Thin-Section) فى الصخر على شكل شرائح يتم فحصها تحت الميكروسكوب المستقطب، والهدف منه التعرف على التركيب المعدنى للصخر ونوع نسيجه، كما يُظهر أى مظاهر تلف مبدئية يمكن أن توجد داخل الصخر.
- **الميكروسكوب الالكترونى الماسح:** ويستخدم للتعرف على مظاهر التلف المختلفة الناتجة عن التجوية داخل الصخر، وكذلك الكشف عن بعض المعادن التى يصعب الكشف عنها تحت مستوى تكبير الميكروسكوب المستقطب.

- **التحليل البتروفيزيائى:** للتعرف على مسامية الصخر ودرجة امتصاصه للمياه وقدرة تحمله للضغوط، كما تم استخدام إحدى التجارب المعملية والتى تسمى MIP (جهاز الضخ الزئبقى– Mercury Intrusion Porosimetry)، للتعرف على أقطار المسام داخل العينة الواحدة، وقد أمكن من خلالها حساب درجة استجابة الحجر للتجوية.
- **التحليل الهيدروكيميائى:** يتم على المستخلص المائى الذى يتم تحضيره من العينات المجمعة من مناطق الدراسة وتتبع طريقة العالم (Rhsadels, 1981) وهى تهدف إلى التعرف على الأملاح الكلية الذائبة والكاتيونات والأنيونات، وقد تم استخدامه فى تحليل عينات الصخور والطوب اللبن والتربة.

ويضم البحث الجوانب التالية:

أولاً: العوامل المؤثرة فى نشاط عمليات التجوية بهرمى هوارة واللاهون.

ثانياً: خصائص الصخور المستخدمة فى بناء هرمى هوارة واللاهون.

ثالثاً: مظاهر التدهور الناتج عن تأثير عمليات التجوية بهرمى هوارة واللاهون.

وفيما يلى دراسة لتلك الموضوعات على النحو التالى:

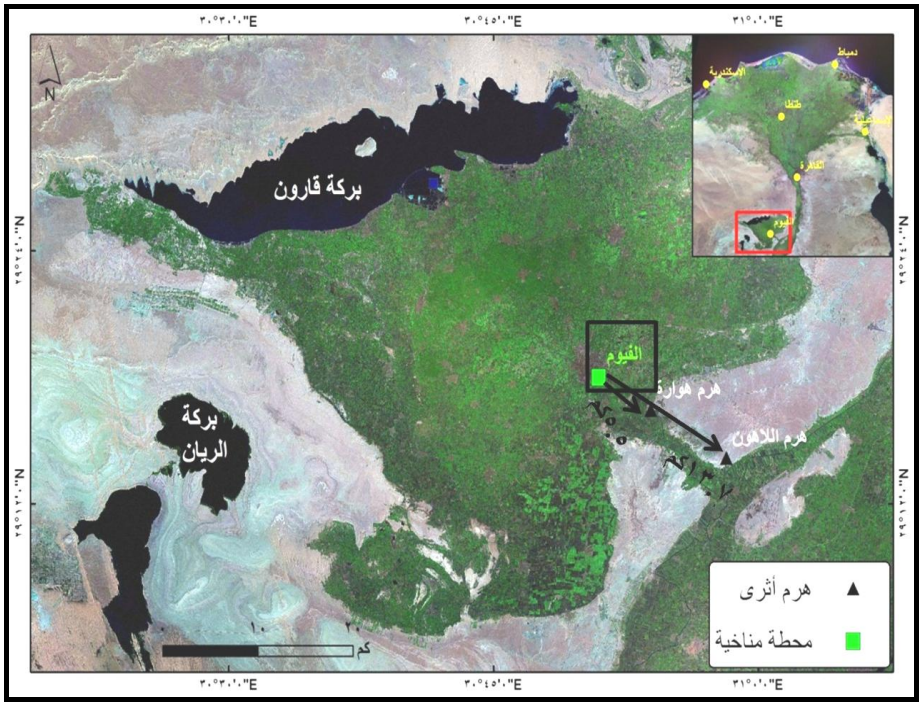
أولاً – العوامل المؤثرة فى نشاط عمليات التجوية بهرمى هوارة واللاهون :

تتعدد العوامل المؤثرة فى عمليات التجوية وتتشابك بدرجة يصعب معها تحديد عامل واحد يكون مسئولاً عن نشاطها، حيث تعد عملية التجوية للصخور هى نتاج التفاعل بين البنية الداخلية للصخور ومكوناتها المعدنية، والمناخ بعناصره المختلفة والنشاط البشرى.

وقد كشفت نتائج الدراسة الميدانية العديد من العوامل البيئية التى تدخل فى تفاعلات فيزوكيميائية مع مواد البناء بمنطقة الدراسة، فتحدث بها أضرارًا خطيرة ومنها: عناصر المناخ المختلفة، والمياه الأرضية، وفيما يلى دراسة تلك العوامل دراسة تفصيلية:

١) الخصائص المناخية :

تعد الخصائص المناخية من العوامل الطبيعية المهمة التى لها تأثير كبير على فعل ونشاط ومعدل التجوية بمنطقة الدراسة، وقد تم الاعتماد فى تحليل الخصائص المناخية بمنطقة الدراسة على محطة الفيوم[١] لقربها من موقعى الهرمين (شكل ٣)، وتتمثل تلك الخصائص فى الحرارة والرطوبة والتبخر والرياح، والتى نعرض لها على النحو التالى (جدول١):



شكل (٣) : موقع محطة الفيوم المناخية بالنسبة لهرمى الدراسة.

المصدر: مرئيات Google Earth (2017).

---

(١) تقع محطة الفيوم عند دائرة عرض ١٨َ ٢٩° شمالا، وخط طول ٥١َ ٣٠° شرقا، وارتفاعها بالمتر + (٢٣,٤٣م).

جدول (١) : المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لبعض عناصر المناخ بمحطة الفيوم.

الشهور	عناصر المناخ					
	المعدل الشهرى (م)	أقصى درجة حرارة (م)	أدنى درجة حرارة (م)	الرطوبة النسبية ٪	المتوسط الشهرى للمطر (مم)	المعدل الشهرى للتبخر (مم/شهر)
ديسمبر	١٤,٠	٢١,٥	٧,٧	٦٧,٢	٢,٢	٣,٢
يناير	١٢,٧	٢٠,٣	٦,٠	٦٦,٢	٢,٠	٣,٢
فبراير	١٤,١	٢٢,١	٦,٨	٥٩,٥	٢,٠	٤,٤
الشتاء	**١٣,٦**	**٢١,٣**	**٦,٨**	**٦٤,٣**	**٢,١**	**٣,٦**
مارس	١٧,١	٢٥,٢	٩,٥	٥٥,١	٧,٤	٦
إبريل	٢١,٤	٣٠,٣	١٣,٢	٤٧,٣	–	٨,٤
مايو	٢٥,٣	٣٣,٩	١٦,٨	٤٣,١	–	٩,٠
الربيع	**٢١,٣**	**٢٩,٨**	**١٣,٢**	**٤٨,٥**	**٢,٥**	**٧,٨**
يونيو	٢٨,٢	٣٦,٨	١٩,٨	٤٤,١	–	١٠,٠
يوليو	٢٨,٨	٣٧,١	٢١,٢	٤٩,٧	–	١١,٠
أغسطس	٢٨,٦	٣٦,٩	٢١,٣	٥٣,٨	٠,٦	٩,٦
الصيف	**٢٨,٥**	**٣٦,٩**	**٢٠,٧**	**٤٩,٢**	**٠,٢**	**١٠,٢**
سبتمبر	٢٦,٧	٣٤,٧	١٩,٨	٥٥,٧	٤,٢	٨,٢
أكتوبر	٢٣,٨	٣١,٤	١٧,٠	٥٧,٦	٠,١	٦,٧
نوفمبر	١٨,٧	٢٦,١	١٢,٣	٦٤,٤	١,٦	٤,٤
الخريف	**٢٣,١**	**٣٠,٧**	**١٦,٤**	**٥٩,٣**	**١,٩٦**	**٦,٤**
المتوسط السنوى	**٢١,٦**	**٢٩,٧**	**١٤,٣**	**٥٥,٣**	**٢٠,١**	**٧,٠**

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية فى الفترة (١٩٦٠-٢٠٠٥).

أ – درجة الحرارة :

تعد درجة الحرارة أكثر عناصر المناخ تأثيرًا فى تجوية التكوينات الصخرية، وبخاصة فى المناطق الصحراوية (المعرضة للإشعاع الشمسى) كمنطقة الدراسة والتى تتميز بالتغيرات المستمرة فى درجات الحرارة اليومية.

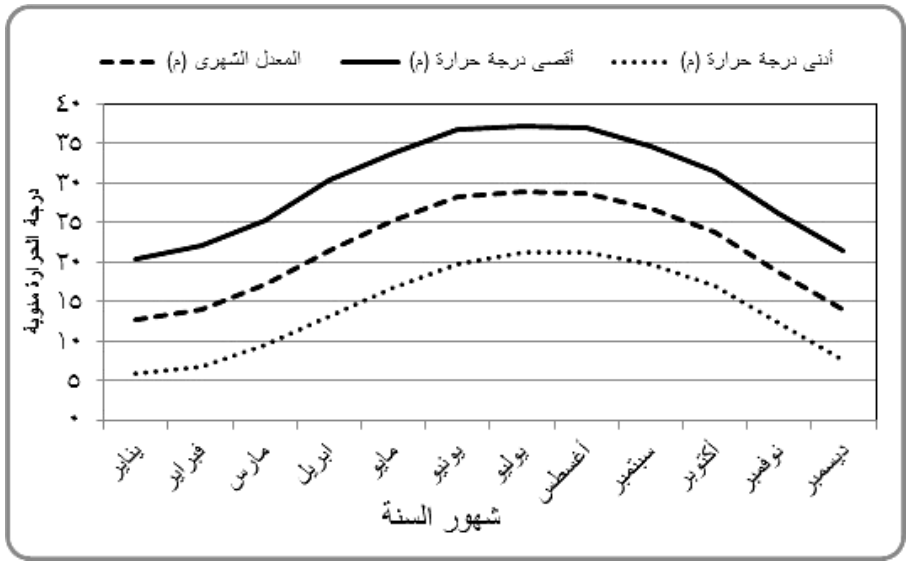
وتتعرض مواد البناء بصفة عامة يوميًا وكذلك موسميًا لدورات مختلفة فى درجة الحرارة، وهذه الدورات المتتابعة تعتبر مصدر من مصادر الضغوط المتولدة داخل الآثر حيث تتمدد مواد البناء بالتعرض للحرارة وتنكمش بالبرودة، مما يؤدى فى النهاية إلى حدوث شقوق وشروخ دقيقة داخل وخارج الآثر (عبد الحميد، ١٩٩٧، ص ٦٢).

ويتضح من تحليل الجدول (١) والشكل (٤) المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجات الحرارة بمنطقة الدراسة ما يلى:

- يصل المتوسط السنوى لدرجة الحرارة بمحطة الفيوم ٢١,٦°، ويعد شهر يوليو أكثر شهور السنة ارتفاعًا لدرجة الحرارة بمعدل شهرى ٢٨,٨°، وشهر يناير أكثر شهور السنة انخفاضا فى درجة الحرارة بمعدل شهرى ١٢,٧°.
- سجلت أعلى درجة حرارة فى شهر يوليو ٣٧,١°، بينما أدنى درجة حرارة فسجلت فى شهر يناير ٦°.
- بلغ المتوسط الفصلى لدرجة الحرارة أقصى درجة له فى فصل الصيف ٢٨,٥°، كما سجلت أعلى درجة حرارة فى نفس الفصل ٣٦,٩°، بينما وصل إلى أدناه فى فصل الشتاء ١٣,٦°، وبلغت أدنى درجة حرارة به ٦,٨°.

يتضح مما سبق مدى التفاوت والتغير الكبير بين معدلات درجة الحرارة بصفة يومية (ليلاً ونهاراً) أو بصفة موسمية (صيفاً وشتاءً) وهذا التفاوت يؤدى إلى ضعف التركيب البنائى لمواد البناء، وهذا ما حدث فى منطقة الدراسة، حيث أدت التغيرات المستمرة لدرجات الحرارة إلى تلف مكونات الطوب اللبن المستخدم فى هرمى هوارة واللاهون؛ نتيجة تمدد وانكماش المكونات المعدنية للطوب بصورة غير متجانسة وباستمرار. كما أن الأحجار المكونة للمعابد الجنائزية والمقابر بالهرمين تعرضت

للتشقق والشروخ بسبب الضغوط المتولدة عن الاختلافات الحرارية اليومية والموسمية الكبيرة (لوحة ٢).

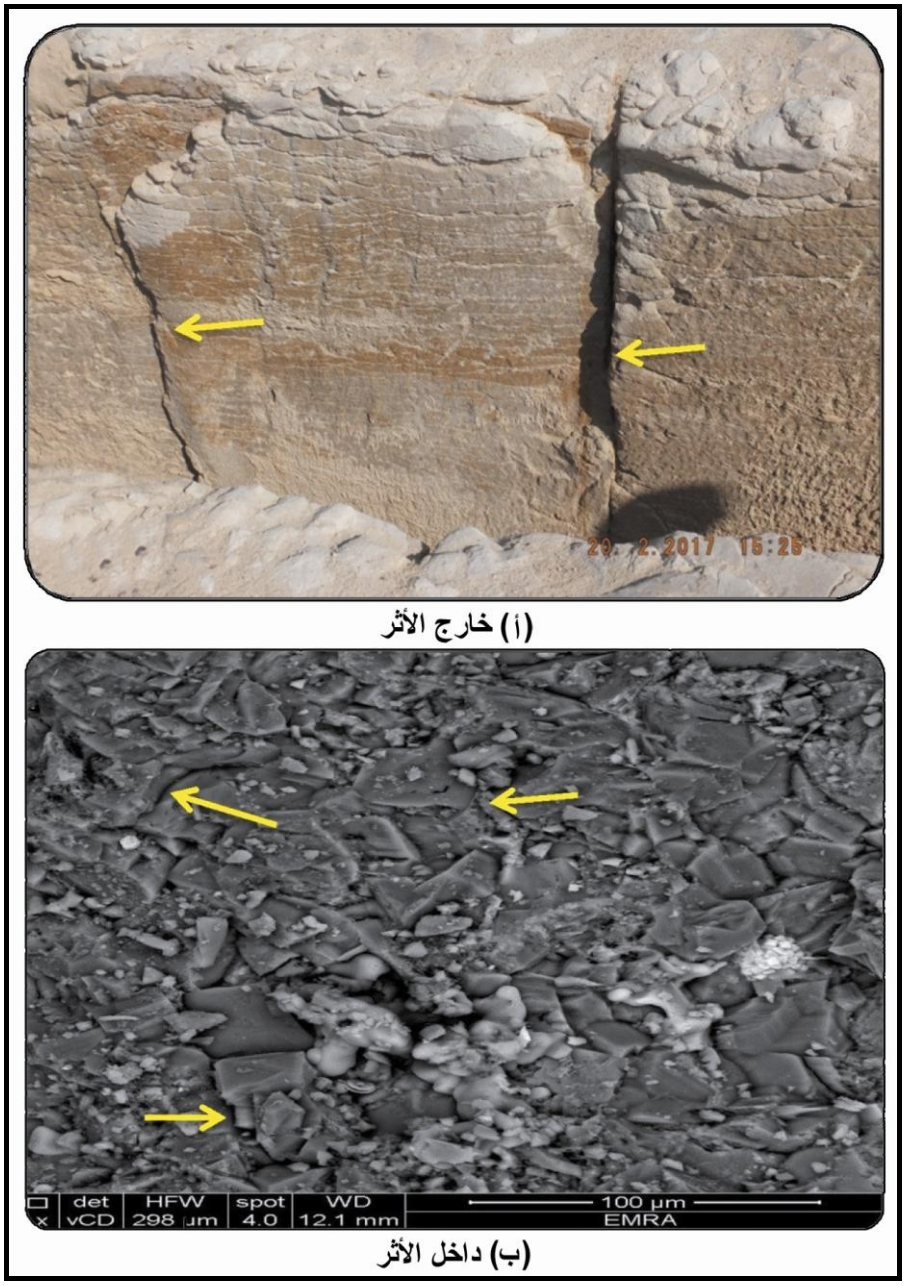


شكل (٤) : المعدل الشهرى لدرجات الحرارة بمحطة الفيوم (١٩٦٠-٢٠٠٥).

المصدر: إعداد الباحثة بناءً على بيانات جدول (١).

ب -الرطوبة :

وتعد الرطوبة من أخطر العوامل المتلفة لأسطح جدران وأسقف المقابر والمبانى الأثرية بمنطقة الدراسة، ويرجع ذلك إلى أن التركيب الجزيئى للماء – والذى يعد أهم العوامل المحفزة للتجوية الكيميائية بكافة صورها – ينتج عنه تحلل وذوبان الأملاح القابلة للذوبان فى الماء وبالتالى يحدث تبلور أو إعادة تبلور للأملاح على الجدران والأسقف (السقا، ٢٠٠٨، ص ٨٠). بالإضافة إلى ميكانيكية انتفاش معادن الطين المكون الأساسى للطوب اللبن؛ نتيجة ارتفاع معدلات الرطوبة والتى تصل أقصاها فى فصل الشتاء ٦٤,٣٪، وأدناها فى فصل الربيع ٤٩,٢٪ كما يوضحه جدول (١) وشكل (٥).



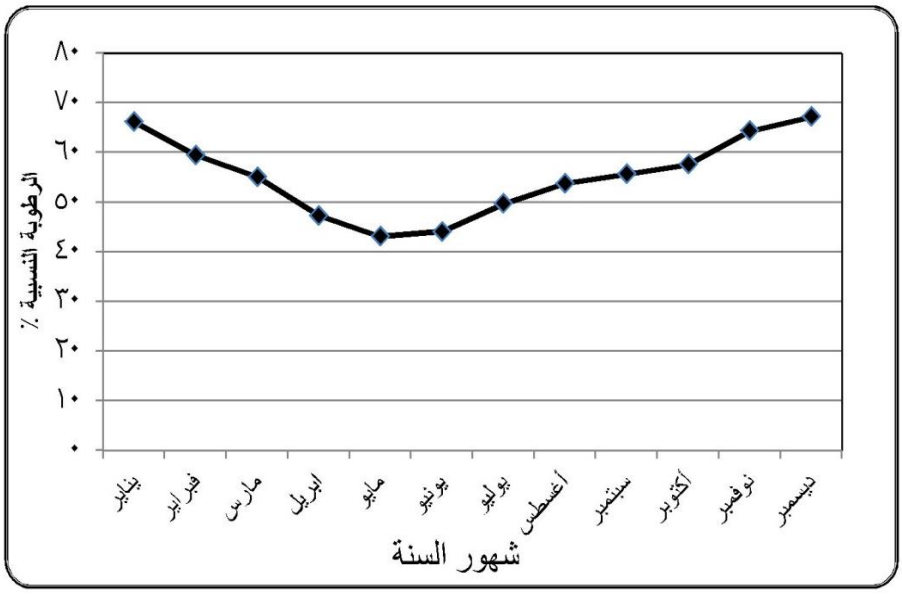
(أ) خارج الأثر

(ب) داخل الأثر

لوحة (٢) : أثر تغيرات درجات الحرارة فى نشاط عملية التجوية الميكانيكية، والتى أدت إلى انتشار الشروخ والشقوق داخل الأثر وخارجه بالمقابر الجنوبية بهرم اللاهون.

المصدر: أ- تصوير الباحثة ٢٠١٧.

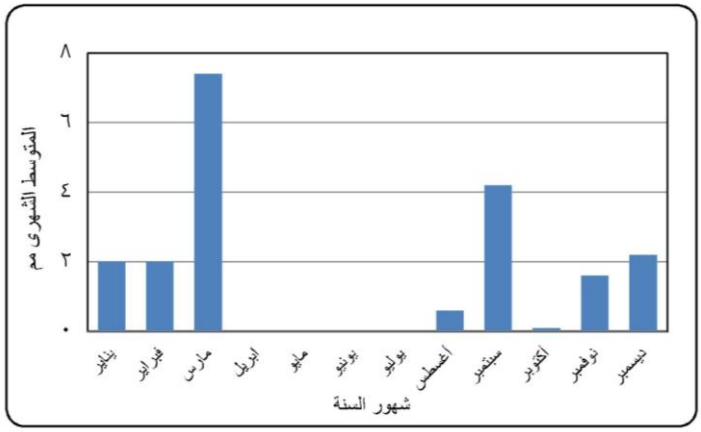
ب- تم التصوير بالمعامل المركزية بالمساحة الجيولوجية ٢٠١٧ (الميكروسكوب الإلكتروني).



شكل (٥) : المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية بمحطة الفيوم (١٩٦٠-٢٠٠٥).

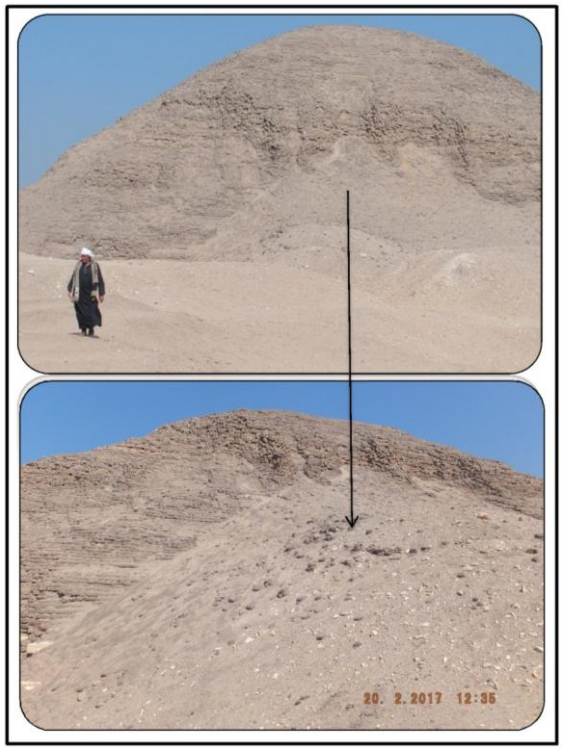
المصدر: إعداد الباحثة بناءً على بيانات جدول (١).

وكان لارتفاع الرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة أثره البالغ فى حدوث تلف فى لبنات هرمى الدراسة وانتشار الشروخ والشقوق بها وانفصال مكوناتها المعدنية بحيث تحولت أجزاء منها إلى تراب، وذلك نتيجة لامتصاص معادن الطين كميات كبيرة من هذه الرطوبة ثم فقدها بسهولة ويسر حال انخفاض معدلات الرطوبة، أو تبخر هذه المياه من داخل الطوب نتيجة لارتفاع درجة الحرارة. وعلى الرغم من ندرة سقوط المطر بمنطقة الدراسة والذى يصل مجموعه ٢٠,١ ملليمتر (جدول ١ وشكل ٦)، فإنه يتسرب ويتغلغل عبر الشقوق والشروخ بصخور المبانى الأثرية، مما أدى إلى إضعاف الصخر، والذى ساعد على تشويه المظهر الخارجى للطوب اللبن المكون لهرمى الدراسة (لوحة ٣)، بالإضافة إلى تعرض الحبيبات المعدنية المكونة للأسطح الصخرية إلى الذوبان أو التفتت.



شكل (٦) : المتوسط الشهرى للمطر بمحطة الفيوم عام ٢٠٠٥.

المصدر: إعداد الباحثة بناءً على بيانات جدول (١).

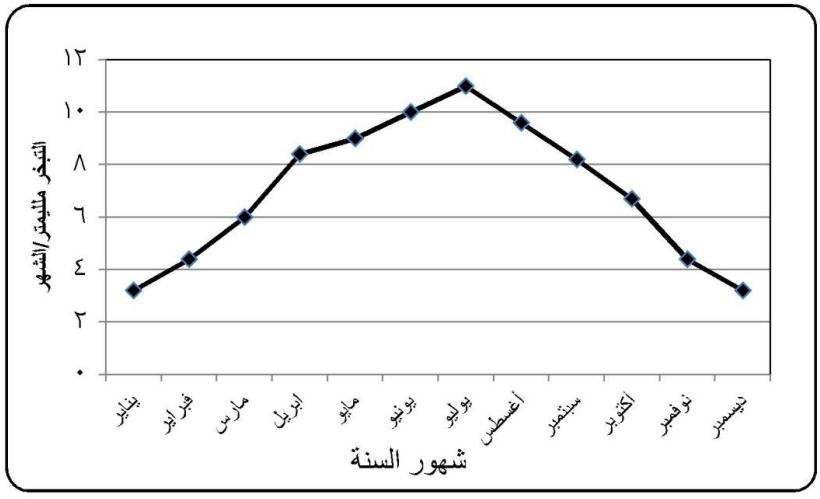


لوحة (٣) : أثر التغيرات فى معدلات الرطوبة والمطر ودرجات الحرارة فى تجوية الطوب اللبن المكون لهرم هوارة

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

ج- التبخر:

يعد التبخر من أهم العوامل المؤثرة فى عملية التجوية على الصخور، وقد تبين من تحليل (جدول ١ وشكل ٧) أن أعلى معدل للتبخر بمنطقة الدراسة بلغ ١١ مم فى شهر يوليو، وهذا ساعد على هجرة الرطوبة (الناتجة عن ارتفاع المياه الأرضية) من داخل المسام تجاه السطح بفعل الخاصية الشعرية، وعندما تتبخر هذه المياه يترسب معدن الهاليت (كلوريد الصوديوم) على هيئة طبقة رقيقة من الأملاح، ومع استمرار نمو البللورات يترتب عليه ضغوط على الصخر تؤدى إلى تفككه (ميرغنى، ١٩٩٨، ص ٢١٦)، ويعد المدخل الرئيس لهرم هوارة من أشد أجزاء المنطقة تأثرا بالتجوية الملحية والتى تظهر على جدرانه وسقفه على هيئة تفلور ملحى (لوحة ٤).



شكل (٧) : المعدلات الشهرية للتبخر بمحطة الفيوم (١٩٦٠-٢٠٠٥).

المصدر: من إعداد الباحثة بناءً على بيانات جدول (١).

د- الرياح :

تعد الرياح أحد عناصر المناخ التى تؤثر بشدة فى نشاط عمليات التجوية على المبانى الأثرية بمنطقة الدراسة نظرًا لتعرضها المباشر لها. وهناك عدد من العوامل تحكم درجة التلف والتجوية بواسطة الرياح، أهمها المواد المستخدمة فى البناء،

وطبيعة الرياح (سرعتها واتجاهها)، والبنية الأثرية وما تحتويه من شقوق وفواصل، ومدى الفترة الزمنية التى تعرض لها الأثر منذ تشييده، ومحتوى الرطوبه به (Soliman, 2000, p. 68).

لوحة (٤) : أثر ارتفاع معدلات التبخر فى نشاط عملية التجوية الملحية بالمدخل الرئيسى بهرم هوارة على هيئة تفلور ملحى.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

ويتضح من جدول (٢) أن الرياح الشمالية هى السائدة فى منطقة الدراسة فى جميع فصول السنة بمتوسط سنوى ٣٥,١٪، إلا أنها تسود فى فصلى الصيف والخريف حيث بلغت ٥١,٣ و ٣٩,٣٪ على الترتيب، ويقل هبوبها فى فصل الشتاء. كما يتضح من الجدول أن فصلى الصيف والربيع من أكثر الشهور التى تزيد فيها سرعة الرياح، حيث تبلغ ٦,١ م/ث و٥,٣ م/ث على التوالى.

وقد تبين من الدراسة الميدانية أن الرياح تقوم بدور مؤثر فى تلف مكونات الطوب اللبن لهرمى هوارة واللاهون، حيث تقوم الرمال المندفعة بقوة الرياح بتفتيت مكونات الطوب محدثة ما يسمى بالتجوية الحفرية (الثقوب والحفر) على السطح (خليفة، ٢٠١٢، ص ١٣٩)، والذى ترتب عليه تآكل المادة اللاحمة للطوب اللبن، مما تسبب فى حدوث خلل فى الاتزان بين طبقاته، وهذا يظهر جليًا فى هرم هوارة. كما أن للرياح تأثير فى عملية التغيير المفاجئ الذى يحدث فى درجات الحرارة

والرطوبة النسبية وذلك نتيجة لاحتفاظها بدرجات حرارة المناطق القادمة منها ونشرها فى الوسط المحيط بالأماكن التى تفد إليها (Amoroso and Fassina, 1983, p. 12)، مثل رياح الخماسين التى تتأثر بها منطقة الدراسة فى فصل الربيع، فتجلب معها درجات حرارة مرتفعة تعمل على زيادة معدلات التبخر لمحاليل الأملاح عند مرورها على الأسطح المختلفة للأحجار تاركة الأملاح متزهرة على السطح (Lehmann, 1970, p. 35).

جدول (٢) : النسب المئوية لعدد مرات هبوب الرياح من الاتجاهات المختلفة وسرعتها فى فصول السنة لمحطة الفيوم.

الاتجاهات	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	سكون	السرعة م/ث
الشتاء	١٧,٢	١٥,٧	١,٠	٠,٧	٥,٤	٩,٢	٧,٣	٩,١	٣٤,٤	٣,٢
الربيع	٣٢,٦	٣٠,٠	٢,٢٠	١,٠	٣,٢	٤,٤٠	٤,٣	٨,٥	١٣,٨	٥,٣
الصيف	٥١,٣	٣٥,٢	٠,٥	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٩	٦,٤	٤,٨	٦,١
الخريف	٣٩,٣	٣٣,٧	٠,٦	٠,٣	١,٢	١,٨	٢,٠	٥,٢	١٥,٩	٥,٠
المتوسط السنوى	**٣٥,١**	**٢٨,٧**	**١,١**	**٠,٥**	**٢,٥**	**٣,٩**	**٣,٦**	**٧,٣**	**١٧,٣**	**٤,٩**

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية، ١٩٦٨-٢٠٠٥.

أما سرعة الرياح فلها أيضًا دور بالغ التأثير بمنطقة الدراسة، حيث يبلغ متوسطها السنوى ٤,٩ م/ث، وساعد ذلك على تخلل الرطوبة داخل مسام الأحجار بهرمى هوارة واللاهون، ومن ثم ترتب عليه نشاط عمليات التجوية سواء الميكانيكية أو الكيميائية، مما أثر سلبا عليهما.

٢) المياه الأرضية :

تعد المياه الأرضية بشقيها السطحى والجوفى من أهم وأكثر العوامل والقوى المتلفة لآثار منطقة الدراسة، متمثلة فى المقابر الجنوبية فى هرم اللاهون، والمقبرة وحجرات الدفن أسفل هرم هوارة والمدخل الرئيسى المؤدى إليها (لوحة ٥)، حيث يعد المحتوى المائى المتسرب داخل هذه الأحجار عاملاً خطيرًا يتسبب فى العديد من عمليات التلف للأثر وللتربة الحاملة له.

لوحة (٥) : ارتفاع منسوب المياه الأرضية بالمدخل الرئيسى لهرم هوارة.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

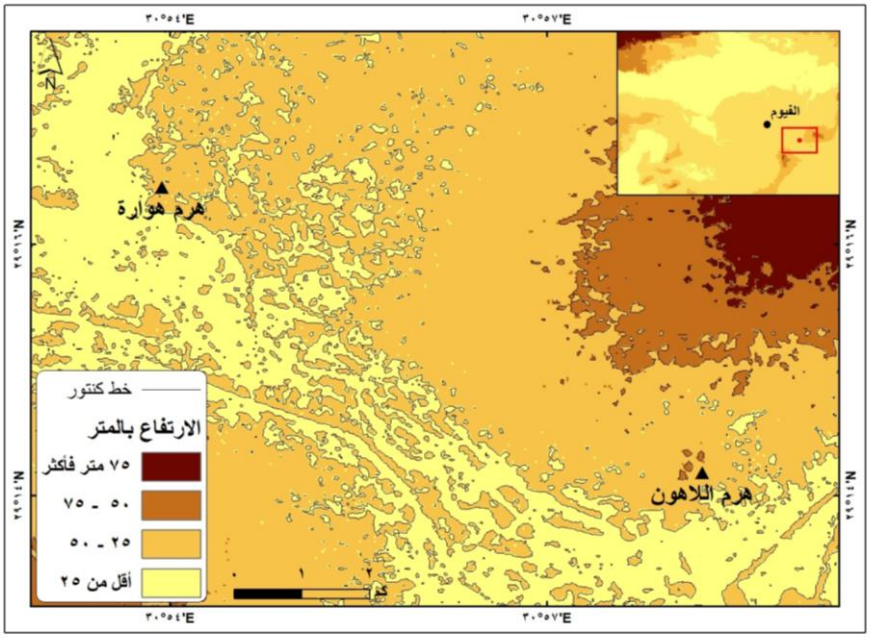
أ – مناسيب المياه الأرضية :

تتباين مناسيب المياه الأرضية بمنطقة هرم هوارة، حيث تصل إلى +٣,٤م[١] على الجانب الشمالى والشرقى للهرم، فى حين تتراوح بين +٠,٧ و +١,٥م على الجانب الجنوبى. والمقبرة وحجرات الدفن أسفل الهرم مستوى المياه بها +١,٠م، وعلى الجانب الغربى يتراوح ما بين +١,٥ و +٢,٠م (Szynkiewicz, 2015, pp. 1-2)، (لوحة ٥). أما هرم اللاهون فيتراوح مستوى المياه الأرضية به بين −١,٨م و −٢,٥م (Dahab, 1988, p. 89)، والمقابر الجنوبية (وهى ٣ مقابر متأثرة) فيبلغ منسوب المياه الأرضية بها تقريبا +٣,٠م، وقد تم سحب المياه منها أثناء عمل الحفائر عام ٢٠١٦، ولكنها ارتفعت مرة أخرى، ويرجع السبب فى ذلك إلى العديد من العوامل، وهى:

- يقع هرم هوارة على منسوب٢٥,٦م فوق منسوب سطح البحر، أما المناطق المحيطة به فيتراوح منسوبها بين ٢٦,٧م عند الجانب الشرقى للهرم، و٢١,٣م فوق منسوب سطح البحر فى جنوب وغرب الهرم، حيث تمتد ترعة بحر وهبى والتى تبعد عنه ٢٠م، أدى ذلك إلى ارتفاع منسوب الماء الأرضى بالهرم، على الرغم من انخفاض منسوبه مقارنة بها، ويرجع ذلك إلى أن مقبرة الدفن تقع على منسوب ١٧م فوق منسوب سطح البحر، حيث تنخفض ٨,٦م عن قاعدة الهرم، مما جعلها بمثابة خزان لمياه الصرف الزراعى. ولكن يختلف الوضع فى منطقة هرم اللاهون وذلك لأنه تم بنائه على ربوة عالية على منسوب ٢٦م، ويرتفع هذا المنسوب فى المقابر الشمالية إلى ٣٠م فوق منسوب سطح البحر، إلا أنه ينخفض كلما اتجهنا نحو الجنوب من ٢١,٦م إلى ١٧م فوق منسوب سطح البحر عند المقابر الجنوبية، و١٦,٤م عند المزارع السمكية والأراضى الزراعية المجاورة لها، (شكل ٨) والتى كانت السبب الرئيسى فى ارتفاع منسوب الماء الأرضى بها.

---

(١) (+) وتعنى ارتفاع منسوب الماء الأرضى على السطح من منسوب قاعدة الهرم. (−) وتعنى منسوب الماء الأرضى يقع أسفل منسوب سطح الأرض بمقدار معين حسب كل منطقة.



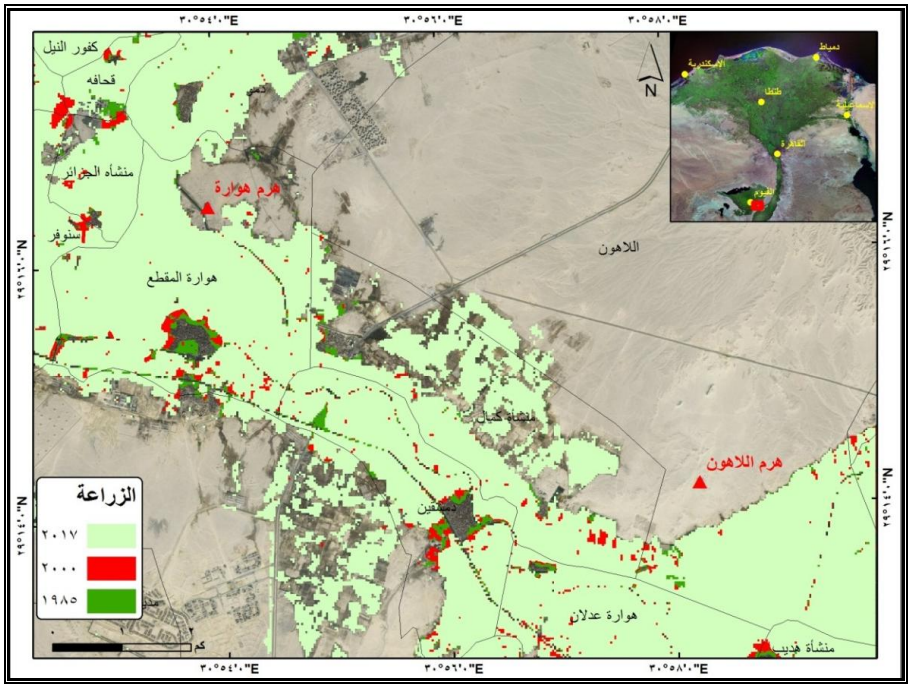
شكل (٨) : الارتفاعات بمنطقة الدراسة.

المصدر: ASTER DEM بدقة ٣٠ متر.

- التوسع المستمر فى مساحة الأراضي الزراعية، حيث بلغ ٣٠,٧٢ كم٢ فى عام ١٩٨٥م وارتفع ليصل إلى ٣٨,٨٥ كم٢ عام ٢٠١٧م، بزيادة قدرها ٨,١٣ كم٢، وما يترتب عليه من إنشاء الترع والمصارف لخدمة ذلك التوسع، والذى انتشر بالمناطق المحيطة بهرم هوارة، والجزء الجنوبى فقط من هرم اللاهون (شكل ٩ و ١٠)، مما أدى إلى ارتفاع مستوى المياه الأرضية بتلك المناطق.
- يعد الخزان الذى يرجع إلى العصر الرباعى هو الخزان الرئيس فى منطقة الدراسة، وتتألف صخوره أساسا من الرمل والزلط المختلط بالطين والغرين. ويتراوح سمكه بين ١٢ و ٤٢م، وعمق المياه به يتراوح بين ١,٨م قرب اللاهون و ٠,٤ م قرب مدينة الفيوم (Dahab, 1988, p. 88). ويعنى ذلك أن منسوب المياه يقترب من سطح الأرض بمنطقة الدراسة، وأن منسوبه يتأثر بالتسرب الرأسى من المياه السطحية ومن المياه الجوفية من خزان الإيوسين الواقع أسفله منخفض النفاذية (Shedid,

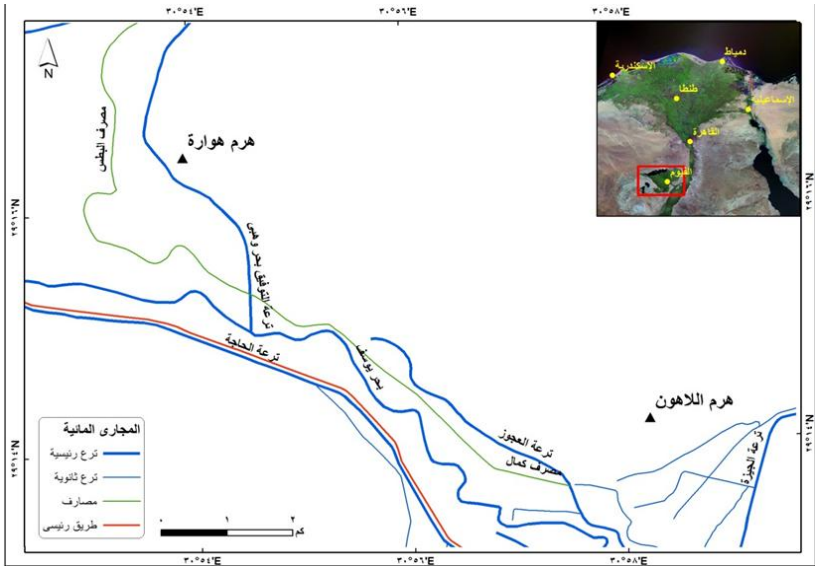
1994, pp. 152-156)، بالإضافة إلى النشع الجانبى والرأسى لمياه التربة من الأراضى الزراعية القريبة من الهرمين، وقد ساعد على ذلك رواسب الزمن الرابع والتى تتكون من الرمل الناعم والغرين والزلط التابع لرواسب طمى النيل الحديث الذى تتألف منه منطقة الدراسة (شكل ١١)، والذى يتميز بنفاذية عالية، مما أدى إلى زيادة عمليات تسرب المياه إلى الخزان الرباعى، وارتفاع منسوب الماء الأرضى بالمنطقة.

يتضح من دراسة العوامل المؤثرة على المياه الأرضية بهرمى هوارة واللاهون أن السبب الرئيسى فى ارتفاعها ناتج عن الترع والمصارف والمزارع السمكية والأراضى الزراعية المحيطة بالهرمين ، والتى تعد مصادر تغذية للخزان الجوفى بالمنطقة.



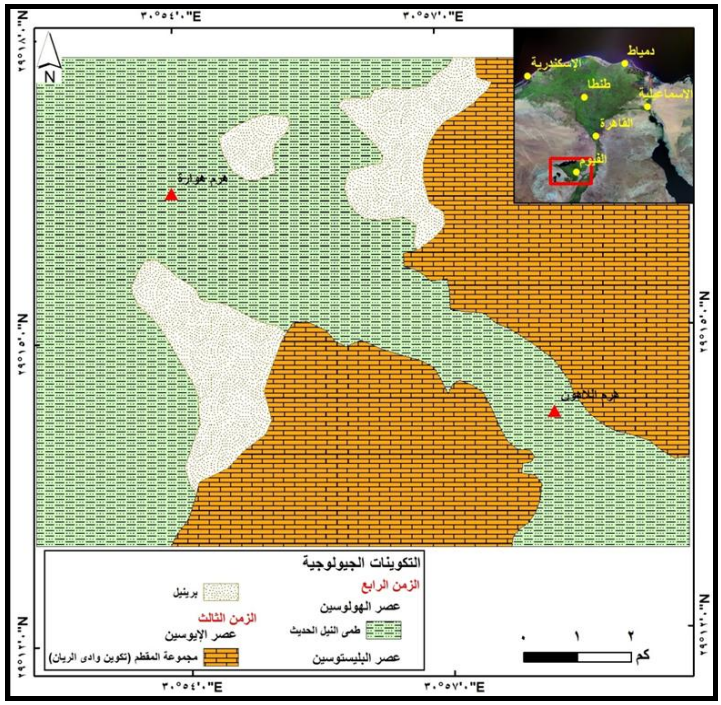
شكل (٩) : التغير فى مساحة الأراضى الزراعية بمنطقة الدراسة فى الفترة من ١٩٨٥ إلى ٢٠١٧م.

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على Landsat (TM) لعامى ١٩٨٥و٢٠٠٠–Landsat (OLI) لعام ٢٠١٧



شكل (١٠) : الترع والمصارف بمنطقة الدراسة.

المصدر: الخرائط الطبوغرافية. مقياس ١ : ٥٠٠٠٠، لوحات (إهناسيا المدينة والفيوم)، عامى ١٩٩٦–١٩٩٧م.



شكل (١١) : جيولوجية منطقة الدراسة.

المصدر: خريطة كونكو مقياس ١: ٥٠٠٠٠٠ لوحة بنى سويف، عام ١٩٨٧م.

ب - الخصائص الكيميائية للمياه الأرضية :

تعد دراسة الخصائص الكيميائية ذات أهمية كبيرة بمنطقة الدراسة، حيث تشارك فى تحديد كم ونوع المركبات الكيميائية الذائبة فى المياه الأرضية، ومدى تأثيرها المتلف بكل محتوياتها على المواقع الأثرية نتيجة احتواء تلك المياه على كميات كبيرة من الأملاح الذائبة.

وقد قام (Keatings et al., 2007, p. 543) بدراسة الأملاح الكلية الذائبة والتوصيل الكهربائى للمياه الأرضية بهرم هوارة والمياه السطحية ببحر يوسف وترعة بحر وهبى وبعض المصارف المحيطة بالمنطقة باعتبارها مصادر للمياه الأرضية بهرم هوارة، وقد أظهرت نتائج الدراسة، وجود تفاوتات كبيرة بينها، حيث تبين زيادة كمية الأملاح الكلية الذائبة فى عينة المياه الأرضية بهرم هوارة والتى بلغت ٦٧٧٠٠ جزء فى المليون، ودرجة التوصيل الكهربائى ١٥٩ مللى موه/ثانية، وعلى الرغم من أن المياه الأرضية داخل الهرم تسربت من قناة بحر وهبى التى لم تتعدى ملوحتها الكلية الذائبة ٣٠٠ جزء فى المليون، فإن المحتوى الملحى العالى فى المياه الأرضية داخل الهرم، يرجع سببه إلى الأملاح الذائبة داخل التربة بمنطقة الهرم، والتبخر الشديد الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة، خاصة أن هذه المياه راكدة لا تتجدد كمياه قنوات الرى والصرف.

وعلى هذا فإن الخصائص الكيميائية للمياه الأرضية لها دور مهم فى ارتفاع الأملاح الكلية الذائبة للأحجار المكونة للمواقع الأثرية ومكوناتها المعدنية وذلك ما أكدته نتائج تحليل الأملاح الكلية الذائبة لعينات مختلفة من منطقة الهرمين محل الدراسة[١]، حيث تبين من (ملحق ١) الآتى:

---

(١) وقد روعى فى اختيار العينات أن تمثل منطقة الدراسة بكل صخورها المختلفة (حجر جيرى – جرانيت – طوب لبن).

- ارتفاع درجة ملوحة التربة بمنطقة هرم هوارة، حيث سجلت أقل درجة ملوحة ١٠٧٨٥ جزء فى المليون بجوار هرم هوارة و ١٣٤٤٢ جزء فى المليون قرب الأراضى الزراعية بهرم هوارة كأعلى درجة ملوحة، وعلى الرغم من أن عملية غسيل التربة تقلل الملوحة بالتربة إلا أن درجة ملوحتها مرتفعة، ويرجع ذلك إلى أن مناخ منطقة الدراسة حار جاف لذلك فإنه من المتوقع ارتفاع المياه بالخاصية الشعرية وبخاصة أملاح الكلوريدات التى تتزهر على سطح التربة متسببة فى ارتفاع الأملاح الكلية الذائبة.
- ارتفاع درجة الملوحة بين العينات الصخرية بمنطقة الدراسة والتى تراوحت بين ٣٥٤٢ جزء فى المليون فى صخر الجرانيت بالمقابر الشمالية بهرم اللاهون و١١٢٤٣ جزء فى المليون بمدخل هرم هوارة، وهذا يؤكد أنه كلما اقتربت الصخور من مصدر المياه الأرضية زادت الأملاح الذائبة بها والعكس صحيح.
- ارتفاع درجة الملوحة بالطوب اللبن بهوارة، إذ تراوحت بين ٧٢٢١ و ١١٠٣٢ جزء فى المليون، ويرجع ذلك لقربها من تربة الأراضى الزراعية، حيث يمتص الطوب اللبن المياه (النشع) وتزيد درجة ملوحته. بالإضافة إلى أن الطوب اللبن المبنى به الهرمين يحتوى على كمية من الأملاح الذائبة ضمن الشوائب الطبيعية المختلفة لمكوناته، أو ناتجة من التفاعلات الفيزيوكيميائية والبيولوجية بين مكوناته وقوى التلف المختلفة (حميدة، ٢٠٠٣، ص ١٣٤).

ثانياً – خصائص الصخور المستخدمة فى بناء هرمى هوارة واللاهون :

تعد الخصائص الداخلية للصخور من العوامل الرئيسية التى يتوقف عليها فعل التجوية، فهى بمثابة العوامل التى تنبع من داخل الأثر ومكوناته، وعلى أساسها فإن عوامل التلف تتنوع وتتباين، لذلك من الضرورى دراستها دراسة تفصيلية على النحو التالى:

١) الخصائص الجيولوجية :

تختلف نوعيات الصخور تبعا لاختلاف ظروف نشأتها ومكوناتها المعدنية ونسيجها وتتفاوت فى خصائصها الفيزيائية تبعا لذلك وكذلك فى قدرتها على تحمل عوامل التلف المختلفة (عبد الحميد، ١٩٩٧، ص ٣٨). وتتمثل الخصائص الجيولوجية فى دراسة التركيب المعدنى والنسيج الصخرى، حيث تعتمد معدلات التجوية فى المبانى الأثرية على قدرة مكوناتها المعدنية على مقاومة عمليات التجوية المختلفة، إضافة إلى درجة تجانس تلك المعادن (شعلة وآخرون، ٢٠١٥، ص١٥)، وفيما يلى دراسة لتلك الخصائص على النحو التالى:

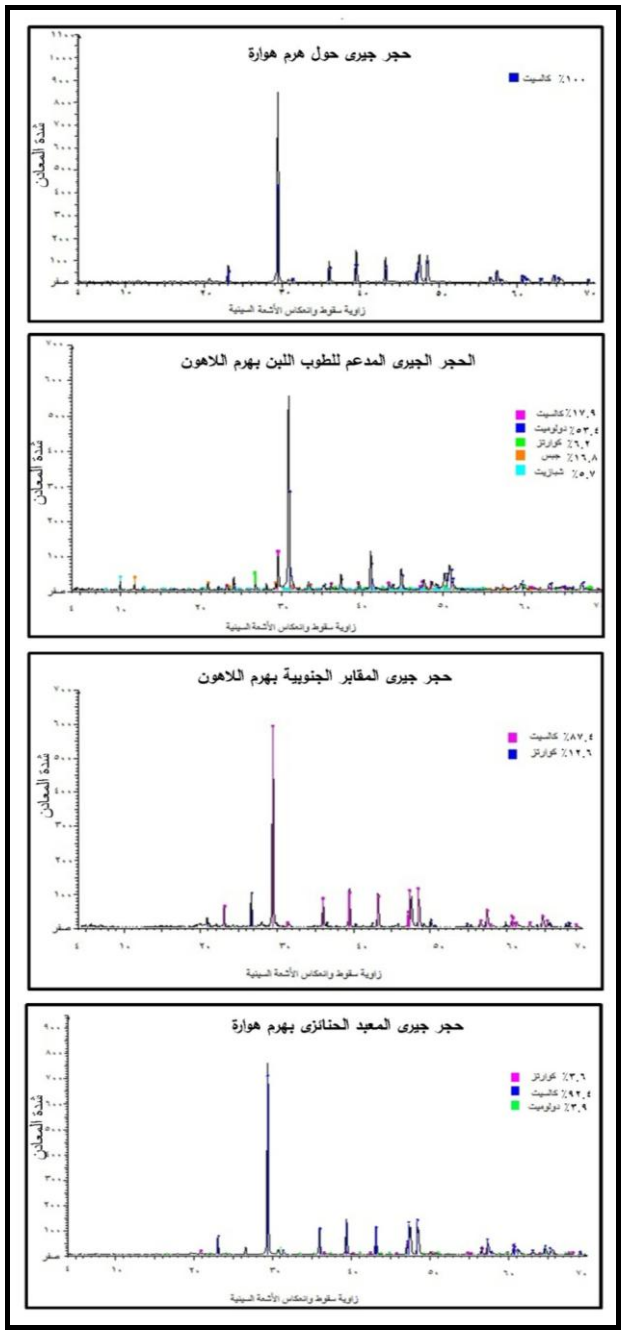
أ – التركيب المعدنى :

تباينت أنواع الصخور المشيدة بها منطقة هرمى هوارة واللاهون ما بين حجر جيرى، وحجر جيرى طينى (مارلى)، ودولوميتى، وصخور الجرانيت – المبنى بها أساس المعبد الجنائزى باللاهون – بالإضافة إلى الطوب اللبن. وقد كان لهذا التنوع أثره فى اختلاف التركيب المعدنى لهذه الصخور، ومدى استجابتها لعمليات التجوية المختلفة.

وقد قامت الباحثة بتجميع عدد أربع عينات من الأحجار الجيرية بمنطقة الدراسة للتعرف على التركيب المعدنى لها (شكل ١٢).

يتضح من تحليل (شكل١٢) ما يلى:

- يظهر معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم) فى جميع عينات الدراسة سواء بصورة أساسية كمكون رئيس دون وجود أى معادن أخرى ثانوية أو كمكون أساسى بالإضافة إلى ظهور معادن أخرى ثانوية، إذ تراوحت نسبته بين ١٧,٩٪ فى الحجر الجيرى المدعم للطوب اللبن باللاهون و١٠٠٪ فى المدخل الرئيسى لهرم هوارة، وتكمن خطورة معدن الكالسيت فى أنه من المعادن سريعة التأثر بفعل عمليات التجوية وخاصة التجوية الكيميائية إذا توفرت الظروف المناسبة لذلك.



شكل (١٢) : التركيب المعدنى لبعض عينات منطقة الدراسة باستخدام الأشعة السينية X-ray.

المصدر: تم التحليل بالمركز القومى للبحوث، ٢٠١٧.

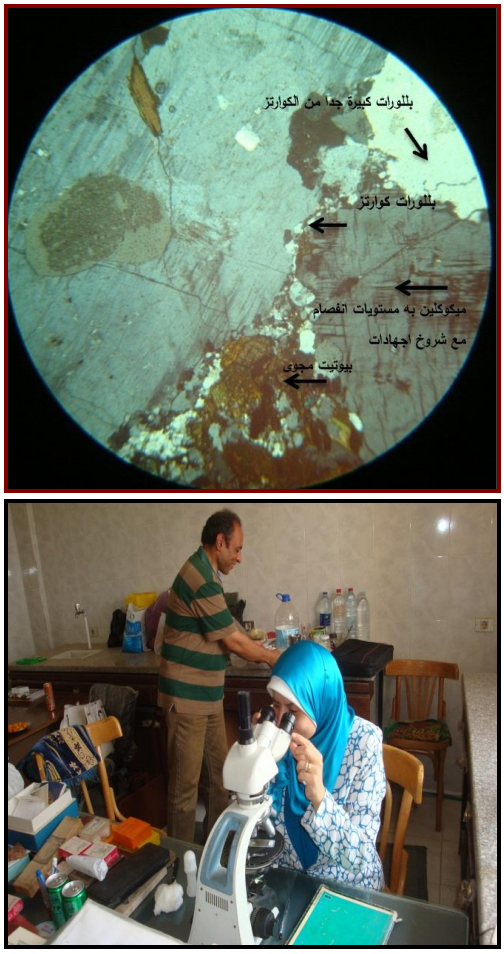
- وجود معدن الكوارتز [1] كمعدن ثانوى بمعظم عينات الدراسة بنسب متوسطة تراوحت بين ٣,٦٪ كأقل نسبة بالمعبد الجنائزى بهوارة و ١٢,٦٪ بالمقابر الجنوبية باللاهون. وعلى الرغم من أن الكوارتز أكثر مقاومة لعمليات التجوية الكيميائية، ولكنه فى الوقت نفسه أكثر تأثراً بعمليات التجوية الميكانيكية.
- تبين من التحليل وجود معدن الدولوميت سواء كمكون أساسى بحجر جيرى اللاهون ٥٣,٤٪ أو كمكون ثانوى بالمعبد الجنائزى بهوارة بنسبة ٣,٩٪، كما لوحظ وجود الجبس باللاهون بنسبة ١٦,٨٪ ووجوده دلالة على مظهر تلف ناتج عن تحول كربونات الكالسيوم إلى كبريتات الكالسيوم مع وجود الكبريتات تحت تأثير مياه الأمطار.
- عدم ظهور معدن الهاليت بتحليل الحيود السينية (X-ray) إلا أنه أمكن التعرف عليه من خلال التحليل الكيميائى الذى سيأتى ذكره لاحقًا، والذى يثبت تأثر منطقة الدراسة بكل عيناتها، لارتفاع نسبة معدن الهاليت بها.
- أتضح من تحليل الحيود السينية وجود معدن (Chabazite) بهرم اللاهون وهو عبارة عن سيلكات الكالسيوم والألومنيوم المائية بنسبة ٥,٧٪، وكان ذلك من الغريب لأن هذا المعدن من مجموعة معادن Zeolite والمشهورة بتواجدها مصاحبة للصخور البركانية، وبالتالى نشأته فى منطقة الدراسة نتيجة تأثير المحاليل الملحية ذات درجة الحرارة المنخفضة على الصخور الكربوناتية، حيث قامت مياه الأمطار بإذابة كربونات الكالسيوم وحولتها إلى بيكربونات الكالسيوم فى وجود الطوب اللبن (سيلكات الالمونيوم المائية – معادن الطين) المحيط به – والذى بدونه كان لا يمكن تكون ذلك المعدن – فتتحد سيلكات الألومنيوم المائية مع بيكربونات الكالسيوم تحت درجات حرارة منخفضة

---

(١) يعد وجود الكوارتز مختلطا بحبيبات الحجر الجيرى سببًا فى إضعاف أو تقوية الصخر، ففى حالة وجود الكوارتز كمادة لاحمة للصخر من شأنه تقوية الصخر أمام عمليات التجوية، أما إن كان الكوارتز كمعدن ثانوى ترسب حول الحبيبات الأصلية للصخر، يكون من شأنه إضعاف الصخر وبالتالى يسهل تجويته وتفتته (عوض و محمود، ٢٠٠٧، ص ١٥٤).

نتيجة لذلك يخرج الكربون نهائيا ويتبقى الكالسيوم مع السيلكون مع الألومنيوم مكونًا فى النهاية معدن Chabazite، لذلك يمكن أن نطلق عليه فى منطقة الدراسة بأنه معدن سطحى النشأة (Deer, et al., 1966, pp. 393-399).

- تم تمييز مكونات الجرانيت بهرم اللاهون بواسطة الميكرسكوب الضوئى المستقطب حيث يتكون من الكوارتز وبعض المعادن الثانوية البنية الداكنة والخضراء الداكنة مثل البيوتيت بالإضافة إلى الميكوكلين (لوحة ٦).



لوحة (٦) : التركيب المعدنى لصخر الجرانيت بهرم اللاهون باستخدام الميكروسكوب المستقطب.

المصدر: تم التصوير بكلية العلوم، جامعة الأزهر ٢٠١٧.

يتضح من التحليل السابق أن التركيب المعدنى لجميع عينات منطقة الدراسة أحد الأسباب الرئيسية الذى جعلها أكثر تأثرا بعمليات التجوية المختلفة، بالإضافة إلى معادن الطين المكون الأساسى للطوب اللبن والمارل الذى يتألف أساسًا من الطفل والجير، وكلها معادن قابلة للانتفاش فى وجود المياه، مما جعلها عرضة لعمليات التجوية الكيميائية والملحية.

ب -التركيب الكيميائى :

أمكن التعرف على نسبة المواد الكربوناتية والمواد غير الذائبة بعينات منطقة الدراسة من خلال التحليل الكيميائى (جدول ٣).

جدول (٣) : نسبة المواد الكربوناتية وغير الذائبة (بواقى حمضية) بعينات الدراسة.

الموقع	نسبة المواد الكربوناتية ٪	نسبة المواد غير الذائبة (AIR) ٪
حجر جيرى حول هرم هوارة	٩٦,٣	٣,٧
حجر جيرى اساس معبد التيه بهرم هوارة	٩٣,٢	٦,٨
حجر جيرى مجوى مدخل هرم هوارة	٩٤,١	٥,٩
حجر جيرى مجوى اللاهون	٩٥,٥	٤,٥
حجر جيرى صلب اللاهون	٩٦,٤	٣,٦
حجر جيرى مجوى بمقابر غرب اللاهون	٩٧	٣
تربة هوارة	٣	٩٧
تربة بجوار هرم هوارة	٦	٩٤
طوب لبن هوارة	٤	٩٦
طوب لبن هوارة	٤	٩٦

المصدر: تم التحليل بالمعامل المركزية لكلية الهندسة جامعة كفر الشيخ ٢٠١٧.

تبين من جدول (٣) الحقائق التالية:

- ارتفاع نسبة المواد الكربوناتية (نسبة المواد الجيرية) فى صخور الحجر الجيرى والتى تراوحت بين ٩٣,٢٪ بمعبد التيه بهوارة، و٩٧٪ بمقابر غرب هرم اللاهون. وانخفاض نسبتها بعينات التربة والطوب اللبن، حيث لوحظ ارتفاع نسبة المواد الجيرية بتربة هوارة بجوار الهرم عن عينة التربة الأخرى بنفس المنطقة، ويرجع ذلك إلى أن تلك المواد الكربوناتية مصدرها الصخور الكربوناتية المجاورة بالتجوية الميكانيكية وليست الكيميائية.
- انخفاض نسبة المواد غير الذائبة Acid Insoluble Residue[١] بعينات صخور الحجر الجيرى والتى تراوحت بين ٣٪ بمقابر غرب اللاهون، و٦,٨٪ بمعبد التيه بهوارة، إلا أن وجود هذه الشوائب ولو بنسب منخفضة يضعف من صلابة الصخر ويتلفه.
- ترتفع نسبة المواد غير الذائبة بعينات مدخل هرم هوارة، وأساس معبد التيه بهوارة، وحجر جيرى اللاهون (مجوى) نتيجة لانخفاض نسبة الكربونات بها، وهذا يعنى أن عمليات التجوية الملحية لها تأثير مدمر على مكون الكربونات أكثر من تأثيرها على المواد غير القابلة للذوبان، مما يجعلها أكثر سهولة فى تجويتها وإزالتها (Ibrahim and Kamh, 2005, p. 186)، وبالرجوع إلى الظروف البيئية الخارجية يتضح أنها أكثر العينات تأثرًا بعملية التجوية الملحية، نتيجة ارتفاع منسوب المياه الأرضية بها، هذا بالنسبة لعينات الحجر الجيرى. أما بالنسبة لتربة هرم هوارة فقد أثبتت دراسة الأملاح الكلية الذائبة تأثرها بالتجوية الملحية، حيث أدى النشع الرأسى للمياه وما تحتويه من أملاح من أسفل التربة إلى سطحها، فى زيادة نشاطها وانعكس ذلك على نسيجها. أما عن الطوب اللبن فإن الأملاح الذائبة الموجودة داخل التركيب المعدنى له، إلى جانب العوامل البيئية الخارجية كالمياه الأرضية، والعوامل المناخية ساعدت على نشاط التجوية الملحية به. وعلى هذا فإن كل الخصائص تتداخل مع بعضها البعض وتؤثر فيما بينها ولا يمكن دراسة خاصية دون الأخرى.

---

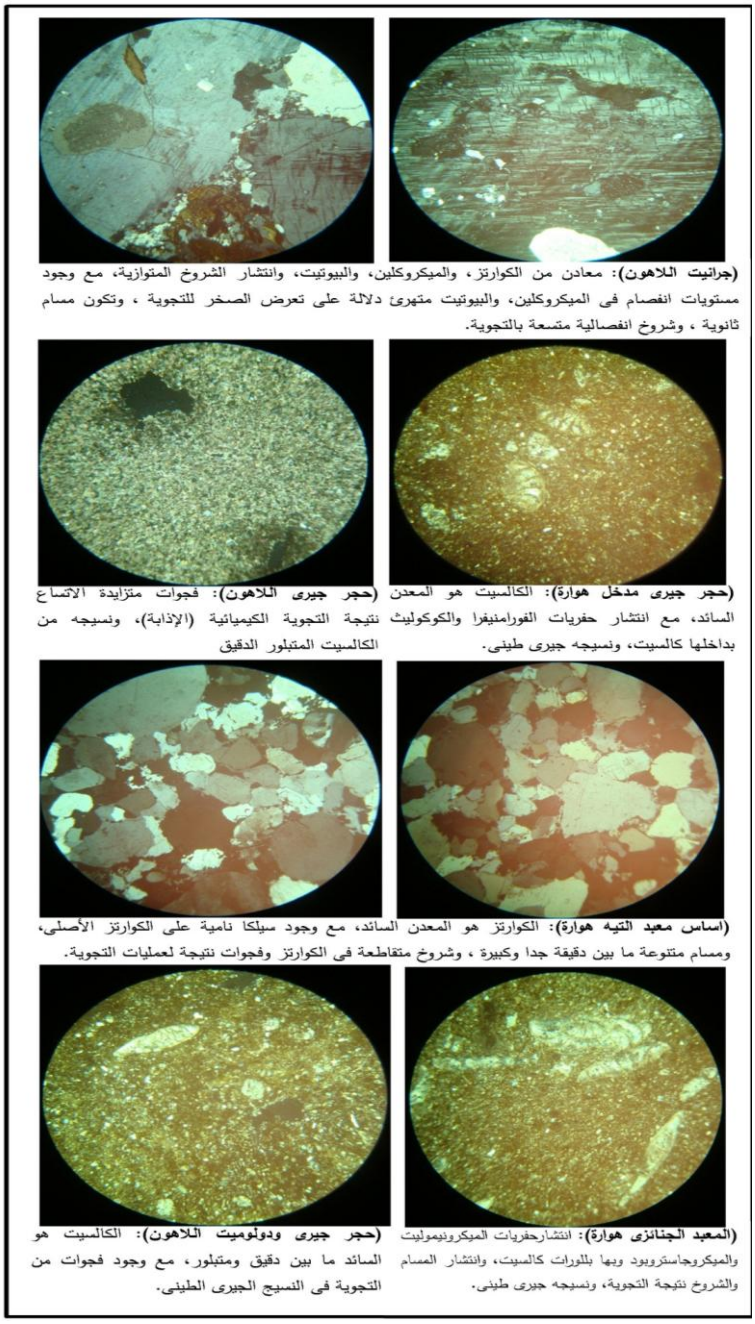
(١) الرواسب المتبقية بعد الغسيل بالحمض وهى مواد غير قابلة للذوبان.

ج- نسيج الصخر :

يهدف إلى التعرف على شكل الحبيبات والبلورات المكونة للصخر والعلاقة بينها، كذلك يمكن التعرف على المواد اللاحمة لحبيبات المعادن وعمليات التغير التى تحدث لبعض المعادن، هذا فضلا عن إمكانية التعرف على التلف الذى يحدث لنسيج الصخر والمعادن المكونة له، ومدى تأثره بعمليات التجوية المختلفة (عطية، ١٩٩٥، ص ١٠٩).

وبناءً على ذلك فقد تم تصوير عدد ٦ عينات لمنطقة الدراسة باستخدام الميكروسكوب الضوئى المستقطب (بقوة تكبير 400x)، ومن فحص العينات (لوحة ٧) وتحليل نتائجها يتضح الآتى:

- تنتشر الحفريات بمعظم عينات الدراسة، حيث تسود حفريات الفورامنيفرا، والكوكوليث من الأراجونايت وهو معدن غير مستقر سهل التجوية، وفى النهاية يتحول إلى كالسيت بمدخل هرم هوارة، والحفريات ثلاثية الحجرات والكوكوليث بعينات اللاهون، أما عن المعبد الجنائزى بهوارة فيجمع بين حفرية ميكروجاستروبود، وحفرية ميكرونيموليت.
- يسود فى جميع عينات الدراسة النسيج الصخرى الذى يعرف (Lime-mud) حسب تقسيم (Folk, 1962) وهو نسيج جيرى فى حجم حبيبات الطين، فيما عدا الجرانيت باللاهون والمعبد الجنائزى بهوارة (جرانيت + حجر رملى وكونجلوميرات) حيث تسود بللورات الكوارتز بهما، ويسود نسيج من الكالسيت المتبلور الدقيق بالمقابر الجنوبية باللاهون. وعلى الرغم من أن النسيج الطينى يتميز بمقاومته العالية لعمليات التجوية الملحية وخاصة عملية تبلور الأملاح، إلا أنه تبين من الدراسة الميدانية تأثر عينات ذلك النسيج بعمليات التجوية الملحية، ويمكن أن نرجع ذلك للظروف البيئية المحيطة بتلك العينات والمتمثلة فى المياه الأرضية كما سبق ذكره.



لوحة (٧) : النسيج الصخرى ببعض عينات منطقة الدراسة باستخدام الميكروسكوب الضوئى المستقطب (قوة تكبير ٤٠٠ مرة)

المصدر: تم التحليل بالمعامل المركزية بكلية العلوم جامعتى الإسكندرية والأزهر ٢٠١٧م.

- تعرض جميع عينات الدراسة لفعل التجوية (على اختلاف درجة تأثرها)، والتى ظهرت فى: كثرة تكون المسام والفجوات، والتى تعد بمثابة ممرات تمر المياه والأملاح من خلالها، مما ساعد فى تنشيط عمل التجوية الكيميائية، إلى جانب الشروخ المتقاطعة والمتوازية وتبلور الكالسيت ونمو السيلكا على الحجر الأصلى (الكوارتز) بهوارة (كونجلوميرات)، كل ذلك بالإضافة إلى انتشار الحفريات يضعف من مقاومة الصخور المكونة لمنطقة الدراسة لعمليات التجوية ويجعلها أكثر تأثرا بها.

٢) الخصائص البتروفيزيائية :

تتمثل فى المسامية، ودرجة امتصاص المياه، وقدرة تحمل الصخور للضغط. وتعد دراستها على درجة كبيرة من الأهمية، ويرجع ذلك لأنها تعبر عن الخصائص البنائية للصخر، وبالتالى تمكننا من التعرف على درجة مقاومته لعوامل التجوية المختلفة وتحديد درجة التلف التى تطرأ عليه، وفيما يلى دراسة لتلك الخصائص.

أ- المسامية[١] Porosity :

تعرف مسامية الصخور: بأنها نسبة حجم الفراغات البينية بين حبيبات الصخر إلى حجم الصخر الكلى، وتختلف هذه النسبة فى الأنواع المختلفة للصخور، فالصخور النارية والمتحولة تتميز بقلة أو انعدام مساميتها على العكس من الصخور الرسوبية، بل إن الصخور الرسوبية تختلف فيما بينها فى درجة مساميتها فنجد الأحجار الجيرية أقل فى نسبة المسامية من الصخور الطينية (سلامة، ١٩٨٣، ص ٨)، وعلى ذلك تؤدى غالبًا زيادة المسامية إلى إضعاف مقاومة الصخر للتجوية والعكس صحيح.

---

(١) تم حساب نسبة المسامية بطريقتين هما: طريقة الغمر بالماء وهذه الطريقة التقليدية وتعد الكشف الأولى لمسامية الصخر، والطريقة الثانية طريقة حديثة يستخدم فيها الزئبق لحساب نسبة توزيع المسام ذات الأقطار المختلفة من مسامية الصخر أو ما يسمى PSD (Pore Size Distribution) والتى تجعله يستجيب للتجوية أو لا يستجيب وهذه الطريقة تستخدم جهاز الضخ الزئبقى MIP. وتعد هذه الطريقة واحدة من المعاملات الأساسية فى متابعة صلابة الصخر ومدى تأثره بالتجوية الملحية (Kamh, 2017, p. 1).

وطبقا للجدولين (٤ و ٥) يمكن استنتاج الآتى:

- ترتفع نسبة المسامية فى الحجر الجيرى بصفة عامة بمنطقة الدراسة، حيث سجلت أعلى نسبة مسامية فى قوالب الحجر الجيرى المدعمة للطوب اللبن بهرم اللاهون، والتى وصلت إلى ٢٥,٨٪، وأدنى نسبة مسامية بلغت ١٥,٣٪ بصخور الحجر الجيرى المشيد به المعبد الجنائزى بهوارة (جدول ٤).
- طبقا لتصنيف (Farmer, 1968) (ملحق ٢)، فعينات الدراسة تتراوح فى درجة مساميتها بين المتوسطة والمرتفعة، وهذا يعكس مدى تأثر المنطقة بصفة عامة بالتجوية على مختلف أشكالها، وخاصة التجوية الكيميائية والتى كانت لها دور كبير فى زيادة درجة المسامية عن طريق توسيع الفراغات داخل الصخور بإذابة الأملاح الموجودة بها، مما انعكس على زيادة قدرتها على امتصاص المياه.
- تطابقت نتائج نسبة المسامية بكلا الطريقتين (الماء – والزئبق) للعينات المدروسة، وأظهرت نتائج MIP توزيع حجم أقطار المسام داخل الصخر، ودرجة استجابة الصخور للتجوية الملحية SSI (Salt Susceptibility Index) والتى أمكن تفسيرها فى (جدول ٦) باستخدام تصنيف (Yu and Oguchi, 2010)، كما يوضحه (ملحق ٣).
- يلاحظ من نتائج MIP (جدول ٥ وشكل ١٣)، أن هرم هوارة يستجيب للتجوية بدرجة عالية تراوحت بين ١٢,٧٩و١٤,١٨ وكان توزيع أقطار المسام السائدة معظمها تقع فى الفئة من ٠,١ إلى ٢,٥، ونفس هذه الفئة تقع بها مسام عينة هرم اللاهون، وعلى الرغم من ذلك فهذه العينة تستجيب للتجوية، أى أنها أكثر مقاومة لعمليات التجوية من عينات هرم هوارة، وهذا على عكس نسبة المسامية بتلك العينات (جدول ٤)، والتى ارتفعت بهرم اللاهون بينما كانت متوسطة بهرم هوارة. ويعنى ذلك أن الأقطار الكبيرة أو الصغيرة المسام ليست شرطاً للاستجابة العالية أو المنخفضة للتجوية، إنما نوع الملح هو العامل المؤثر فى تلك الحالة، فهناك ملح له القدرة على الانتشار بدرجة عالية فيحتاج مسام واسعة يتمدد فيها، وهناك ملح درجة انتشاره منخفضة بطىء التمدد فيحتاج مسام ضيقة، وبالتالى الأقطار الكبيرة المسام

فيه تصبح لا قيمة لها كما هو الحال فى عينة هرم اللاهون، وأن أقطار المسام الصغيرة التى تقع فى الفئة من ٠,١ إلى ٠,٥ هى المؤثرة فى هرم هوارة، أضف إلى ذلك أن هناك عوامل ساعدت فى ذلك وزادت من تأثر عينات هرم هوارة بالتجوية وهى ارتفاع مستوى المياه الأرضية بها مما زاد من تأثرها بالتجوية الملحية لشدة ملوحتها، على العكس فى عينة هرم اللاهون لبعد مستواه عن المياه الأرضية.

جدول (٤) : الخصائص البتروفيزيائية لعينات الحجر الجيرى بمنطقة الدراسة.

المكان	الخصائص البتروفيزيائية		
	درجة امتصاص المياه٪	المسامية٪ (بطريقة الغمر بالماء)	قدرة التحمل كجم/سم٢
كنجلوميرات (هوارة)	---	---	٧٩
حجر جيرى حول هرم هوارة	١٥,٢٣	١٩,٨	٦٥
حجر جيرى هوارة (المدخل)	١٧,٥	٢٢,٨	٥٠
أساس معبد التيه بهوارة	١٣,٥	١٧,٦	٨٥
حجرجيرى هوارة(المعبد الجنائزى)	١٠,٢	١٥,٣	٨٦
جرانيت (اللاهون)	---	---	١٤٥
حجر جيرى ودولوميت اللاهون	١٧,٨٧	٢٢,٤	٨٥
قوالب الحجر الجيرى المدعمة للطوب اللبن باللاهون	١٩,٩	٢٥,٨	٦١
المقابر الجنوبية باللاهون	٢٠,٧	٢٣,١	٦٦
حجر جيرى مقابر غرب اللاهون	١١,٦	١٩,١	٧٤

المصدر: تم التحليل بالمعامل المركزية بكلية الهندسة جامعة كفر الشيخ، ٢٠١٧.

جدول (٥) : نسبة المسامية بعينات منطقة الدراسة باستخدام جهاز الضخ الزئبقى MIP.

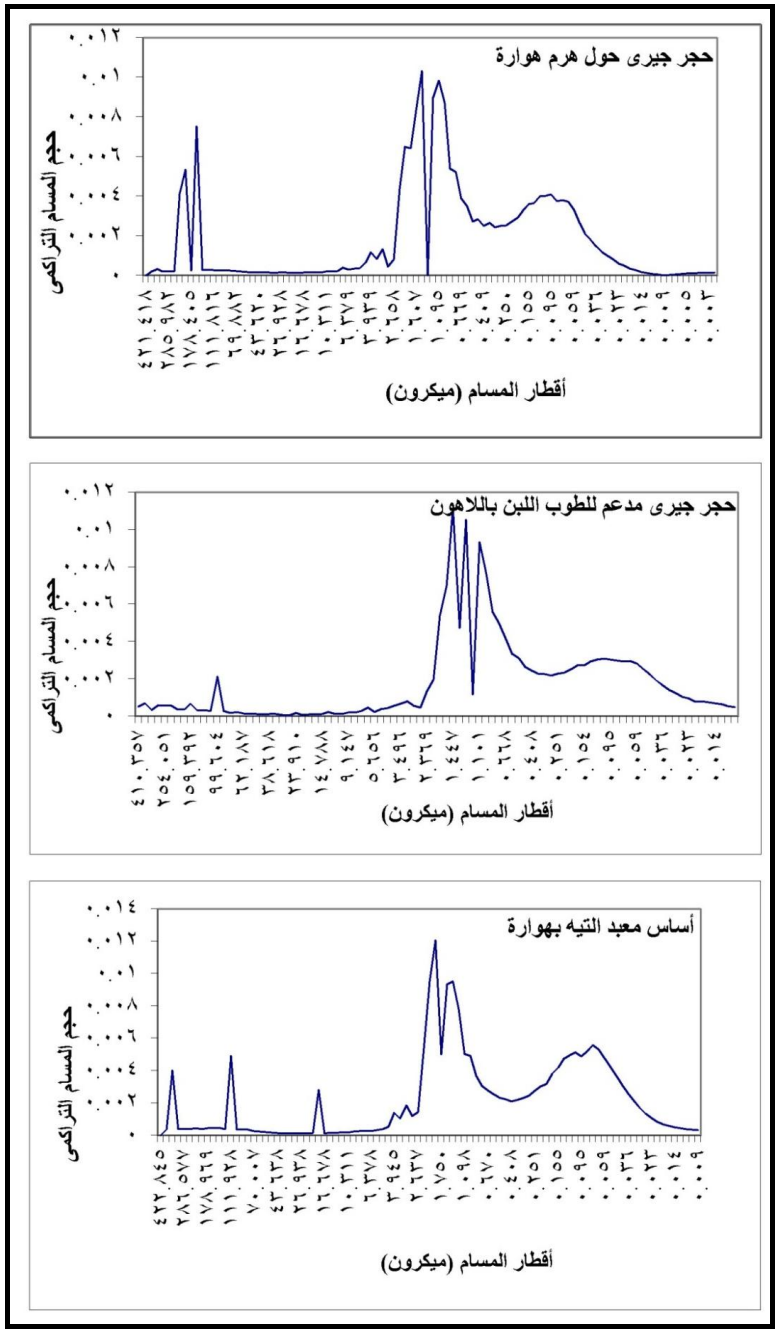
المكان	المسامية ٪ (MIP)
حجر جيرى حول هرم هوارة	١٩,٨٨
أساس معبد التيه بهوارة	١٧,٥٦
قوالب الحجر الجيرى المدعمة للطوب اللبن باللاهون	٢٥,٧٦

المصدر: تم التحليل بالمعامل المركزية بالشركة العامة للبترول، ٢٠١٧.

جدول (٦) : نسبة أحجام المسام ودرجة استجابة الصخر للتجوية لثلاث عينات من الحجر الجيرى بمنطقة الدراسة.

المكان	قيمة SSI	تفسير درجة الاستجابة SSI	توزيع حجم أقطار المسام داخل الصخر (ميكرون)					
			أقل من ٠,٠٥	٠,١-٠,٠٥	٠,٥-٠,١	١-٠,٥	٢,٥-١	٥,٠-٢,٥	أكثر من ٥
حول هرم هوارة	١٢,٧٩	يستجيب للتجوية بدرجة عالية	٧,٤٢	١٣,٧٢	٢٣,٢١	٢٢,٠٦	٢٧,٠٧	٣,٤٢	٣,١١
معبد التيه بهوارة	١٤,١٨	يستجيب للتجوية بدرجة عالية	٦,٢٣	٧,٧٠	٣٢,٤٣	٥,٩٣	١٩,٤٣	١٦,٠٠	١٢,٣٢
اللاهون	٨,٤٥	يستجيب للتجوية	١١,٠٠	١٠,٤٢	٢١,٣٤	١٨,٤٢	٣٣,٤٧	٢,٢٤	٣,١١

المصدر: تم التحليل بالمعامل المركزية بالشركة العامة للبترول ٢٠١٧ (باستخدام جهاز MIP).



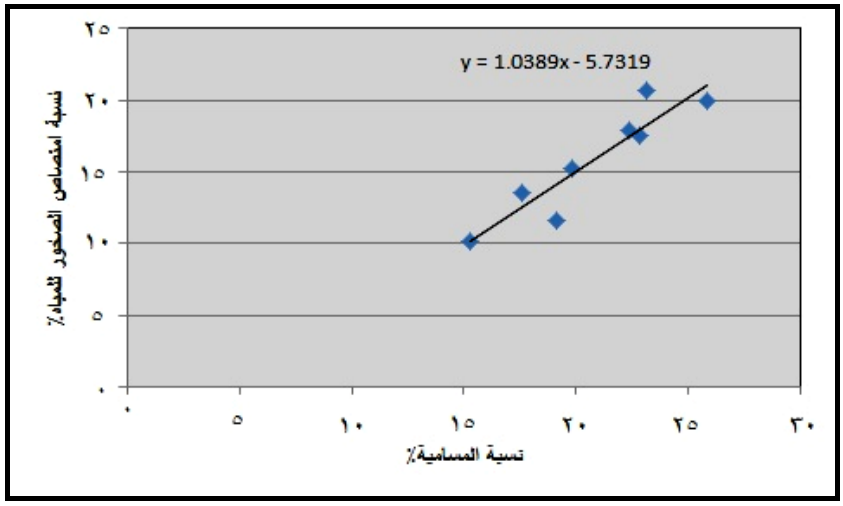
شكل (١٣) : العلاقة بين أقطار المسام وحجم المسام التراكمى لبعض عينات صخرية بمنطقة الدراسة.

المصدر: تم التحليل بالشركة العامة للبترول ٢٠١٧.

ب- نسبة امتصاص الصخور للمياه (٪) Water absorption :

يعرف الامتصاص: بأنه النسبة بين حجم عينة من الصخر وحجم الماء الممتص، وعن طريقه يمكن تحديد مقدار الفترة الزمنية لتبخر المياه من سطح الصخور، فكلما ارتفعت نسبة امتصاص المياه، كان تسرب المياه ورشحه سريعًا وأقل تعرضًا للفقد بالتبخر، وبالتالى تستفيد عمليات التجوية من هذه المياه فى زيادة نشاطها، وكلما كانت نسب امتصاص المياه منخفضة كان تسرب المياه بطيئا، وبالتالى يصبح أكثر تعرضا للتبخر (عطا، ١٩٩٢، ص ٢٣١)، وبالتالى يقل نشاط فعل التجوية، ومن تحليل نتائج (جدول ٤) لنسب امتصاص المياه يتضح الآتى:

- توجد علاقة طردية بين نسب امتصاص المياه ودرجة المسامية بصخور عينات الدراسة بلغت ٠,٩٢ (شكل ١٤)، أى كلما زادت نسبة المسامية بالصخر، زاد نسبة امتصاصه للمياه حيث سجلت أقل نسبة امتصاص للمياه بالمعبد الجنائزى بهوارة ١٠,٢٪، بينما سجل أعلى نسبة امتصاص للمياه بالمقابر الجنوبية باللاهون ٢٠,٧٪.



شكل (١٤) : العلاقة الارتباطية بين نسبة المسامية ودرجة امتصاص الصخور للمياه بعينات منطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على جدول (٤).

- تتباين صخور عينات الدراسة فى درجة صلادتها (ملحق ٤)، بناءً على نسبة امتصاص المياه لتصنيف (Moen, 1967) فيما بين متوسطة وضعيفة جدا، مما يعكس تأثر جميع منطقة الدراسة بالتجوية بأشكالها المختلفة.

ج- قدرة تحمل الصخور للضغط :

يقصد بقدرة تحمل الصخر درجة مقاومته للإجهادات المختلفة سواء كانت ضغوطًا واقعة عليه، أو شداً وذلك قبل أن يتهشم (عبيدو، ١٩٦٩، ص ٨٢). ويتضح من جدول (٤) الآتى:

- تتباين عينات الدراسة فى قدرة تحمل صخورها للضغوط، والتى تراوحت بين ٥٠ كجم/سم^{٢} كأدنى درجة مقاومة للتحمل فى مدخل هرم هوارة، و ١٤٥ كجم/سم^{٢} كأعلى درجة تحمل فى جرانيت اللاهون.
- تقع كل عينات الدراسة تحت فئة قدرة التحمل المنخفضة للضغوط وفقا لتقسيم الكود الأمريكي للخواص الميكانيكية للحجر الجيرى (ملحق ٥)، والذى يتضح منه شدة تأثر عينات الدراسة بعمليات التجوية، والتى تظهر نتائجها بجميع عينات الدراسة فى صورة أشكال من التلف – والتى أظهرها التركيب المعدنى، والكيميائى، والأملاح، والدراسة البتروجرافية– سيأتى ذكرها بالتفصيل فى الصفحات القادمة.

ثالثاً – مظاهر التدهور الناتج عن تأثير عمليات التجوية بهرمى هوارة واللاهون :

يعانى هرمى هوارة واللاهون من تأثير فعل التجوية، والتى يظهر أثرها على هيئة أشكال ومظاهر تدهور دالة عليها، تختلف من مكان لآخر نتيجة لتباين العوامل المؤدية إليها، ولطبيعة مواد البناء المعرضة للتجوية، وقد يظهر أثرها على السطح الخارجى للصخر بما يمكن من تتبعه ودراسة درجته وخطورته، وقد لا يظهر إلا داخل الصخر، وبالتالى من الصعب تحديد أثره ودراسة درجته إلا من خلال بعض التحليلات الخاصة بذلك، وعلى هذا قامت الباحثة بدراسة هذه النقطة من خلال محورين رئيسيين وهما:

١- أشكال التدهور المرتبطة بالتجوية داخل الصخر بهرمى هوارة واللاهون.

٢- أشكال التدهور المرتبطة بالتجوية على السطح الخارجى للصخر بهرمى هوارة واللاهون.

وسنقوم فيما يلى بدراستها على النحو التالى:

١) مظاهر التدهور المرتبطة بالتجوية داخل الصخر بهرمى هوارة واللاهون :

للتعرف على مظاهر التدهور الناتجة عن عمليات التجوية بالأحجار المستخدمة بهرمى الدراسة تم الإعتماد على طريقتين فى التحليل وهما :

أ- الطريقة الأولى (التحليل الهيدروكيميائى) :

تضم صخور وتربة منطقة الدراسة العديد من الأنواع الملحية أهمها أملاح الكلوريدات والكبريتات والبيكربونات (ملحق ١)، والتى تتفاوت فى درجة ذوبانها حيث تنقسم إلى أملاح قليلة وعالية الذوبان، وغير قابلة للذوبان فى الماء، وتعد أملاح الكلوريدات - وأشهرها كلوريد الصوديوم - وأملاح الكبريتات - وأشهرها كبريتات الكالسيوم والصوديوم - من أخطر أنواع الأملاح الموجودة بمنطقة الدراسة، ويرجع ذلك لأنها أملاح هيجروسكوبية لها القدرة على امتصاص الرطوبة من الهواء المحيط، وتكوين محلول ملحى ينتقل عبر مسام الأحجار بالخاصية الشعرية (موسى، ٢٠٠١، ص ١٤٥)، وبذلك تتحول الأملاح من اللامائية إلى المائية، بالإضافة إلى أنه مع وجود المياه تشترك الأملاح فى تفاعلات كيميائية مع الصخور محولة سطح الصخر إلى مواد جديدة تتلف باقى أجزاء الصخر (قمح، ٢٠١١، ص ٩٧). وفيما يلى تناول لتلك الأملاح.

* **الأملاح الكلية الذائبة :**

تتباين درجة الملوحة بالعينات الصخرية بمنطقة الدراسة، حيث تراوحت بين ٣٥٤٢ جزء فى المليون فى صخر الجرانيت بالمقابر الشمالية بهرم اللاهون، و١١٢٤٣ جزء فى المليون بمدخل هرم هوارة.

* **أملاح الكلوريدات :**

أتضح من نتائج التحليل الهيدروكيميائى أن أهم أملاح الكلوريدات بعينات الدراسة تمثلت فى كلوريدات الصوديوم والبوتاسيوم، وسنعرض لهما على النحو التالى:

- **كلوريد الصوديوم:** تتراوح نسب تركيزه بين ٢٢,٦٪ بالحجر الجيرى الصلب بهرم اللاهون، و٤١,٤٪ بعينة الحجر الجيرى والدولوميت بهرم اللاهون، وتقترب النسب كثيرًا فى باقى العينات. وتكمن خطورته فى أنه من الأملاح ذات القدرة العالية فى امتصاص الرطوبة من الجو، وبالتالى تنتقل بسهولة خلال مسام الصخور ومواد البناء. والترسيبات السطحية لهذه الأملاح لها مسامية تمكنها من امتصاص الرطوبة الجوية مرة أخرى، وتهاجر بها فى صورة محاليل ملحية داخل نسيج الصخر. وبتكرار هذه العملية يزيد الضغط على نسيج الصخر فيؤدى إلى تفتته وتقشره (المحارى، ٢٠٠٦، ص ٧٦). وزيادة تركيز ملح كلوريد الصوديوم (الهاليت) بعينات الدراسة تعد مؤشرًا إلى أن مصدرها هو المياه الأرضية.
- **كلوريد البوتاسيوم:** تراوحت نسب تركيزه بين ١,١٪ بالحجر الجيرى المجوى بهرم اللاهون، و ١٢,١٪ بالعينة الممثلة لتربة هوارة، مما يشير إلى انخفاض نسب تركيزه.

* **أملاح الكبريتات :**

يتضح من تحليل (ملحق ١) أن أهم أملاح الكبريتات فى عينات منطقة الدراسة، هى كبريتات الكالسيوم، والصوديوم، والماغنسيوم، وفيما يلى تناول تلك الأملاح كل على حدة:

- **كبريتات الصوديوم** : تأتى فى المرتبة الأولى فى نسب تركيزها بعينات الدراسة، حيث تراوحت بين ١٨,٤ و ٣٢,١٪، سجلت أقل نسبة تركيز بصخور الجرانيت باللاهون وأعلى نسبة تركيز حول هرم هوارة، وتكمن خطورته على عينات منطقة الدراسة فى تحوله باستمرار بين الطور الجاف والطور المتميئ والذى يتسبب عنه زيادة فى حجم بلوراته، مما يؤدى إلى تفتتها وبالتالى تلفها وتجويتها (قمح، ٢٠١١، ص ١٣٢).
- **كبريتات الكالسيوم:** تأتى فى المرتبة الثانية بعد كبريتات الصوديوم فى نسب تركيزها، حيث تراوحت بين ١٠,٢٪ بالحجر الجيرى المجوى باللاهون، و ٣٢,٤٪ بالطوب اللبن بهوارة.
- **كبريتات الماغنسيوم:** تراوحت نسبة تركيزه بين ١,٤٪ فى تربة هوارة، و ٨,٩٪ فى المقابر الجنوبية فى اللاهون، مما يشير إلى انخفاض نسب تركيزه. ويرجع وجود كبريتات الماغنسيوم بمقابر هرم اللاهون إلى تفاعل أيون الكبريت فى الجو مع الماغنسيوم فى الدولوميت الموجود كمكون أساسى فى الحجر الجيرى بهذه العينة فى الجو الرطب.

* **أملاح البيكربونات :**

تمثلت أهم أملاح البيكربونات بعينات الدراسة فى بيكربونات الكالسيوم والتى تراوحت نسب تركيزها بين ٠,١٪ بتربة هوارة، و ١٢,٨٪ بصخور الجرانيت باللاهون، وتكمن خطورتها فى قابليتها العالية للذوبان عن كربونات الكالسيوم.

يتضح من العرض السابق وجود أملاح الكبريتات والكلوريدات بنسب مرتفعة بعينات الدراسة، مما شكل ضغطًا وجهدًا متزايدًا على نسيج الصخر ودرجة مقاومته مسببًا ضغوطًا ميكانيكية عنيفة وتلفًا كيميائيًا بأسطح الصخور المشيد بها موقعى منطقة الدراسة. وقد لاحظت الباحثة تفتت أجزاء من الحجر الجيرى والطوب اللبن عند مدخل هرم هواره وتساقطه، نتيجه لارتفاع نسب تركيز كبريتات الصوديوم وكلوريد الصوديوم، مما يوضح القدرة التدميرية لهما.

ب- الطريقة الثانية (التحليل المجهرى) :

وقد تم فيها استخدام جهاز الميكرسكوب الإلكترونى الماسح فى تحديد نواتج ومظاهر التدهور داخل الصخر (لوحة ٨ و ٩)، والتى تبين منهما ما يلى:

* **مدخل هرم هوارة الرئيسى (حجر جيرى) :**

يتضح من الصورة (٨-أ) وجود ملح الهاليت متبلور على نسيج حفرية الكوكوليث، وتفكك شديد فى نسيج الصخر مما يدل على تأثرها بالتجوية الملحية، كما يتضح وجود فجوات ومسام ثانوية Micro-Pitting.

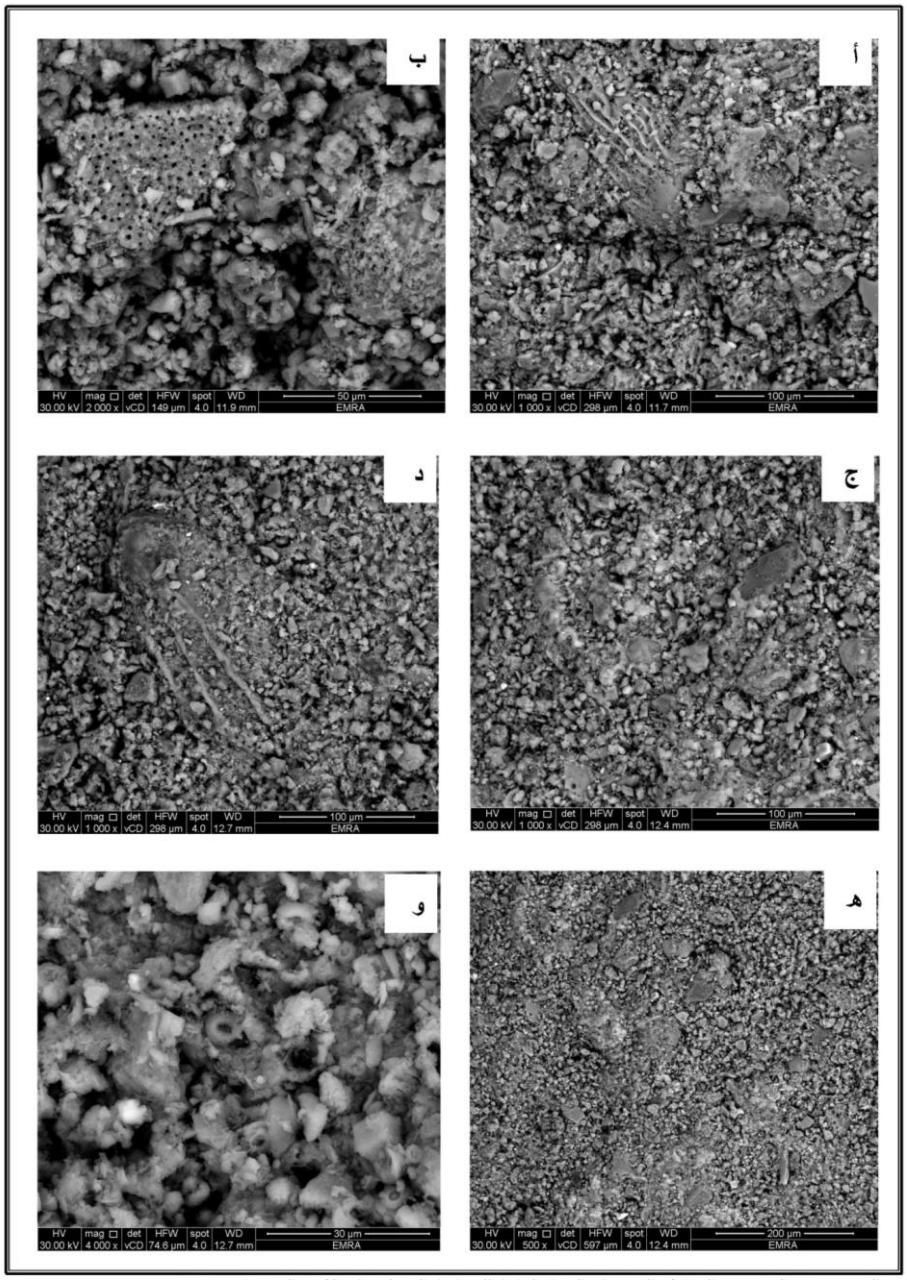
صورة (٨-ب) ويلاحظ أيضًا بها وجود مسام كثيفة ثانوية على بللورات الكالسيت، والمسام متنوعة القطر تتراوح ما بين الصغيرة والكبيرة، كما يلاحظ ظهور أملاح الكبريتات الإبرية المتبلورة، وملح الهاليت مما يعكس نشاط عمليتى التجوية الملحية والكيميائية بها، مما أدى إلى تفتيت شديد فى نسيج الصخر.

صورة (٨-ج) يظهر بها بللورات الكالسيت المكون الأساسى للصخر وأملاح الهاليت والكبريتات ومسام متوسطة على تلك البللورات مما نتج عنه نسيج مفكك.

صورة (٨-د) انتشار واضح لأملاح الكبريتات مما يشير إلى فعل التجوية الكيميائية فى تحويل كربونات الكالسيوم إلى كبريتات الكالسيوم، وأثر ذلك فى ظهور نسيج مفتت بالتجوية، كما يظهر بالصورة حفرية الكوكوليث من الأراجونايت وهو معدن غير مستقر سهل التجوية لو نضج واستقر لتحول إلى الكالسيت.

صورة (٨-هـ) ويظهر به أيضًا أملاح الكبريتات والهاليت ومسام كثيفة بين البللورات جعلت نسيج الصخر الكالسيت متهرئ بشدة.

صورة (٨-و) تنوعت حفرية الكوكوليث ما بين ظهورها كاملة وظهورها من الاراجونايت، كما يظهر بها كبريتات كثيفة ومسام بين بللورات الكالسيت أدت إلى تهرئ شديد بنسيج الصخر وأملاح.



لوحة (٨) : مظاهر التدهور بالمدخل الرئيسى لهرم هوارة

(باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح).

المصدر: تم التصوير بالمعامل المركزية بالهيئة العامة للمساحة الجيولوجية والثروة المعدنية ٢٠١٧.

* **المقابر الجنوبية – اللاهون (حجر جيرى) :**

يتضح من تحليل صورة (٩–أ) بللورات كالسيت متفككة بالتجوية وبللورات كالسيت كاملة التبلور بينها شروخ ومسام، وظهور حفرية ثلاثية الحجرات تتخللها مسام دقيقة ومتوسطه، بالإضافة إلى كالسيت مجوى عبر مستويات انفصامه أى مستويات ضعفه الموجودة أصلاً فى المعادن أثناء تكوينها.

صورة (٩–ب) تشبه كثيرًا الصورة السابقة بالإضافة إلى ظهور الهاليت يغطى الكالسيت وبيئة مسام كثيفة.

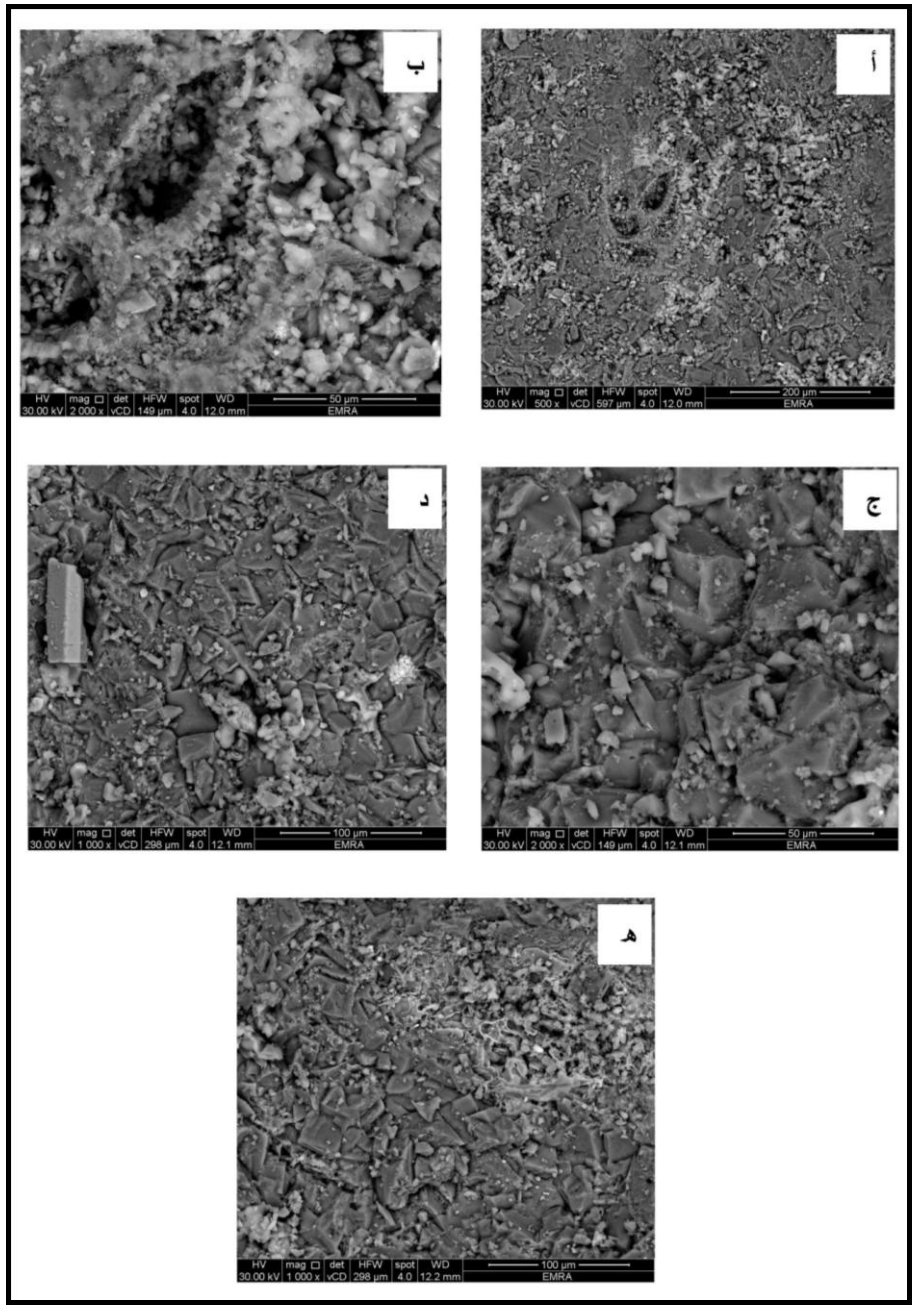
صورة (٩–ج) تختلف هذه الصورة عن سابقيها فى ظهور معدن الدولوميت والشروخ المتوسطة والهاليت، والتى من شأنها أن ساعدت على تفتت وتهشيم فى نسيج الصخر مع شروخ ومسام.

صورة (٩–د) ظهور أملاح الكبريتات الإبرية والهاليت مع الكالسيت والدولوميت وبللورة كالسيت واضحة على الجانب الأيسر من الصورة ومسام كبيرة.

صورة (٩–هـ) انتشار الهاليت بكثافة مع وجود شرخ دقيق فى الهاليت المغطى للكالسيت وشروخ ناتجة عن التجوية، كما ظهرت أملاح الكبريتات ومعدن الدولوميت.

٢) مظاهر التدهور المرتبطة بالتجوية على السطح الخارجى للصخر بهرمى هوارة واللاهون :

تتباين الأشكال أو المظاهر الناتجة عن التجوية تبعا لتباين العمليات التى أدت إليها، وقد حظى موضوع تصنيف مظاهر التلف (التدهور) على المبانى الأثرية على اهتمام العديد من الدراسات وتنوعت التقنيات المستخدمة لتحديد درجتها وخطورتها، ومن أشهر هذه التصنيفات ما قام به كل من (Fitzner, et al., 2002) و (Kamh, 2009) بإدخال نموذج لتحديد فئة الضرر لأشكال التجوية المختلفة، تراوح ما بين تلف غير مرئى إلى تلف شديد جدا.



لوحة (٩) : مظاهر التدهور بالمقابر الجنوبية بهرم اللاهون (باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح).

المصدر: تم التصوير بالمعامل المركزية بالهيئة العامة للمساحة الجيولوجية والثروة المعدنية ٢٠١٧.

وقد قامت الباحثة بحصر المظاهر المرتبطة بالتجوية على السطح الخارجى للصخر لمنطقة الدراسة فى المظاهر المرتبطة بالتجوية الكيميائية والميكانيكية وهذا هدف الدراسة وهو تحديد أخطار التجوية على منطقة الدراسة معتمدة فى ذلك على تصنيف (Fitzner, et al., 2003, p. 1094)، وسنقوم فيما يلى بتناولهما.

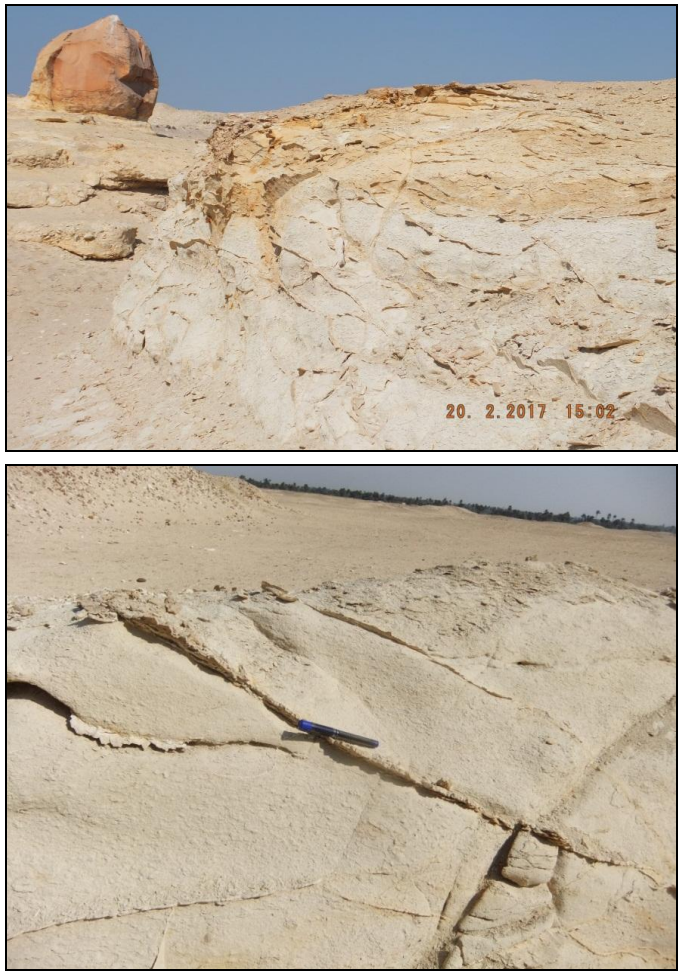
أ- مظاهر التجوية الكيميائية :

تتمثل عمليات هذا النوع من التجوية بمنطقة الدراسة فى الأكسدة والذوبان والتى تزداد قوة نتيجة لتوفر مصادر الرطوبة. وتعتبر الصخور والمعادن المحتوية على مركبات الحديد هى الأكثر عرضة لعملية الأكسدة(١)، وتظهر آثار هذه العملية فى تلون بعض أسطح صخور المبانى الأثرية باللونين الأحمر أو البنى بدرجاتهما، وتسود الأكسدة على سقف المدخل المؤدى إلى مقبرة هرم هوارة والحجر الجيرى المدعم له ويرجع ظهورها فى هذه المنطقة إلى احتواء الأحجار الجيرية بها على نسب صغيرة من أكاسيد الحديد (Pininska and Hemdan, 2008, p. S128) ونشع المياه الذى يعانى منه المدخل نتيجة لارتفاع منسوب المياه الأرضية به، مما ترتب عليه تفاعل الأكسجين مع الصخور الجيرية المكونة له ليظهر اللون البنى على سطحه.

أما عن عملية الإذابة فتنتشر انتشارًا كبيرًا بمعظم صخور منطقة الدراسة – ويعد الماء المكون الأساسى لتلك العملية سواء مطر أو رطوبة أو مياه أرضية – والتى تظهر فى صور مختلفة تتمثل فى تساقط طبقة الملاط فى الحجر الجيرى والذى يتألف فى منطقة الدراسة من الجبس وتآكل المادة اللاحمة فى الطوب اللبن والتى تتألف من الطين. وتكوين الفجوات والحفر والتى ظهرت من خلال الميكروسكوب المستقطب فى العديد من مناطق الدراسة، ومن مظاهر عملية الإذابة التى لاحظتها الباحثة بمنطقة الدراسة تكون عروق الجبس الليفى فى صخور ـــ

(١) هى اتحاد وتفاعل الأكسجين مع المعادن الموجودة فى الصخر مكوناً أكاسيد تكون أقل مقاومة لعمليات التعرية (البدرى،٢٠٠٨، ص١٢١).

الحجر الجيرى المارلى بهرم اللاهون (لوحة ١٠)، والجبس الذى تكون من تحول كربونات الكالسيوم بالكبريت من أى مصدر مثل مياه الأمطار، أو مياه الصرف، أو معادن كبريتية بمواد البناء إلى كبريتات الكالسيوم المائية كما توضحها المعادلة التالية: $CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$، كما أن لعملية الذوبان دور واضح بمنطقة الدراسة فى ظهور معادن جديدة لم تكن لتظهر بدونها والتى تمثلت فى تكوين معدن Chabazit.



لوحة (١٠) : تكوين عروق الجبس الليفى فى مقابر غرب اللاهون.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

ب- مظاهر التجوية الميكانيكية :

تعد التجوية الميكانيكية من أهم العمليات السائدة بمنطقة الدراسة، وقد تمثلت فى التقشر السطحى، والكنتورى، والشقوق، والشروخ والتفتت الحبيبى، وتبلور الملح، والنقر (الفجوات)، والتراجع الخلفى. على النحو التالى:

- **التقشر Exfoliation :** ينشأ نتيجة لتتابع عمليتى التمدد والانكماش التى تحدث بسبب التباين فى درجات الحرارة بين الليل والنهار وخاصة فى المناخ الجاف، مما يترتب عليه انفصال الأجزاء السطحية للصخر على هيئة أشرطة توازى أسطحها، وبما أن الصخور رديئة التوصيل للحرارة، لذا فاختلاف درجات الحرارة بين الليل والنهار يجعل التمدد أو الانكماش أسرع على سطح الصخر من داخله ويترتب عليه تقشر الطبقة السطحية، وبتوالى هذه العملية يتكون التقشر السطحى والكنتورى. ويظهر التقشر بمنطقة هرم هوارة على كتل الحجر الجيرى ودرجة تلفه متوسط إلى شديد بنسبة ٢٪ من مساحته، كما يظهر على كتل الحجر الرملى والجرانيت المشيد به معبد التيه (لوحة ١١).
- **الشقوق والشروخ Fissures and Cracks :** تنشأ نتيجة للتباين فى درجات الحرارة، أو بفضل النمو البللورى للأملاح داخل المسام، والذى يصاحبه ظهور شروخ على المقياسين الدقيق والمرئى، وقد تنمو هذه الشروخ إلى أبعاد كبيرة تشمل الجدار المتأثر بالكامل (شعلة وآخرون، ٢٠١٥، ص ٣٦). وتنتشر الشقوق والشروخ الرأسية والأفقية بمنطقة الدراسة فى الطوب اللبن بهرمى هوارة واللاهون وفى الحجر الجيرى حيث تتراوح ما بين متوسطة إلى شديدة، وقد كان لانتشار أملاح الكلوريدات وخاصة الهاليت وأملاح الكبريتات تأثيرها الواضح فى نشأة تلك الشقوق والشروخ والتى أوضحتها التحاليل الهيدروكيميائية السابق ذكرها.
- **التفتت الحبيبى Granular Disintegration :** عبارة عن جميع الفتات التى تظهر نتيجة لفعل التجوية الميكانيكية، حيث تنفصل من سطح الصخور إما على هيئة بودرة (حبيبات دقيقة جدا)، أو حبيبات أكبر (حصى ورمل خشن). ويعد التفتت الحبيبى من أهم المظاهر المميزة والمنتشرة بمعظم صخور منطقة الدراسة بصفة عامة وببقايا المعابد الجنائزية بهرمى اللاهون وهوارة بصفة خاصة (لوحة ١٢).

التقشر بأحد بلوكات الحجر الرملى المشيد به معبد التيه

التقشر أحد بلوكات الحجر الجيرى أسفل الهرم

التقشر بجزء من الجرانيت الوردى بمعبد التيه

لوحة (١١) : مظاهر التدهور بالتقشر بصخور هرم هوارة.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

لوحة (١٢) : التفتيت الحبيبى بالمعبد الجنائزى بهرم اللاهون والذى تراوح بين البودرة وحجم الحصى.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

- **التبلور الملحى** Salt Crystallization : يوجد العديد من الأملاح التى لها القدرة على التبلور والظهور على سطح الصخر وخارج مسامه وتعرف بالتفلور الملحى وقد تتراكم تلك الأملاح على سطح الصخر مكونة قشرة ملحية تغطى المنطقة التى تظهر بها، وتقاس بسمك تلك القشرة ومساحة السطح الذى تغطيه (الأنصارى، ٢٠١٤، ص ١١٣٩).

وتتأثر منطقة الدراسة بالتجوية الملحية بصفة عامة وهذا ما أكدته نتائج تحليل الأملاح الذائبة ونسب الأملاح، والتى ظهر بها الارتفاع الكبير لكلوريد الصوديوم (الهاليت)، وتظهر آثار التجوية الملحية على المدخل الرئيسى لهرم هوارة بدءًا من النشع المائى والذى يظهر فى أرضية المدخل والجزء الأدنى من جدرانه نتيجة ارتفاع مستوى المياه الأرضية به ثم يتحول إلى تزهر يغطى جدران وسقف المدخل على هيئة راقات ملحية من الهاليت، كما أن هناك نسب مرتفعة من أملاح الكبريتات بمنطقة الدراسة، إلا أنها لا تظهر على السطح الخارجى للصخر، بل تتركز داخل مسام الصخور ولا يمكن رؤيتها مباشرة إلا تحت الميكروسكوب الإلكترونى الماسح كما سبق ذكره، أما كلوريد الصوديوم فهو يظهر على السطح الخارجى للصخر ويوجد أيضًا بين مسامه.

- **الثقوب (النقر – الفجوات)** Pitting : هو شكل من أشكال التآكل المحلى الذى يؤدى إلى تكوين ثقوب فى الصخور، محدثة فقد قليل لمادة الصخر مع تأثير بسيط على

سطحه، فى حين أنه يضر بالبنية الداخلية للصخور الأثرية (Ismael, 2015, pp. 15-16)، وترجع نشأة الثقوب بمنطقة الدراسة إلى عاملين رئيسيين وهما: العوامل البيولوجية والتى تمثلت فى المنطقة بحشرة النمل الأبيض المتوطنة بالمنطقة والتى تهاجم لبنات الطوب اللبن بضراوة شديدة مما يفقدها التماسك نتيجة فقدانها المواد النباتية الرابطة التى التهمها (خليفة، ٢٠١٢، ص ١٣٩). والعوامل المناخية التى تمثلت فى عنصر الرياح والمتسبب فى تكوين الثقوب أو ما يسمى بالتجوية الحفرية نتيجة عملية برى الحبيبات بما تحمله من رمال.

- **التراجع الخلفى** : عبارة عن ضعف فى الصخر ناتج عن تأثير عمليات التجوية المختلفة وخاصة الميكانيكية، التى تؤدى إلى تهشيم وتفتيت للصخر يصاحبه تآكل أو تراجع خلفى لسطح الصخر، وإما أن يكون هذا التآكل عبارة عن راقات من سطح الصخر، أو قطع من الصخر. وتتعرض جميع صخور منطقة الدراسة لهذه الظاهرة ولكن مقدارها يختلف من صخر لآخر حسب درجة تجانس كل صخر[١]، حيث بلغ مقدار التراجع حوالى ٠,٢ سم فى صخر الجرانيت ببقايا المعبد الجنائزى بهرم هوارة، بينما تراوح بين ٠,٥ و٢ سم بالمدخل الرئيسى لهرم هوارة (لوحة ١٣)، كما تراوح بين حوالى ٠,٤سم ببقايا الطوب اللبن المبنى به المعبد الجنائزى بهرم هوارة و ٠,٨ سم ببقايا الطوب اللبن المبنى به المعبد الجنائزى بهرم اللاهون، كما بلغ حوالى ٠,٥ سم بالمقابر الجنوبية بهرم اللاهون (الدراسة الميدانية، ٢٠١٧).

---

(١) تراوحت درجة التجانس بين عينات الدراسة ما بين المتوسطة والمرتفعة، إلا فى المدخل الرئيسى لهرم هوارة والمقابر الجنوبية باللاهون فكانت منخفضة ويعنى ذلك تأثير ودور ارتفاع منسوب المياه الأرضية الناتج عن الصرف الزراعى فى تجوية وتدهور مواضع تلك العينات، لأنها ساعدت فى تنشيط عمليات التجوية الكيميائية والملحية بهما. وتأتى أهمية معرفة درجة تجانس الصخر فى التعرف على شكل التجوية المتأثر بها بمعنى إذا كان الحجر غير متجانس (منخفضة) التجوية به تأخذ شكل الشرائح أو فقد قطع من الصخر (كما فى مدخل هوارة)، وعلى العكس من ذلك فى حالة الحجر متجانس (مرتفعة) التجوية به تأخذ شكل البودرة (المصدر: تم التحليل بمعامل كلية العلوم جامعة كفر الشيخ ٢٠١٧).

لوحة (١٣) : التراجع الخلفى من سطح أحجار المدخل الرئيسى لهرم هوارة مع تزهر شديد للأملاح على سطح الأحجار الجيرية ونشع داخل تلك الأحجار.

المصدر: تصوير الباحثة ٢٠١٧.

الخاتمة :

كشفت دراسة أخطار التجوية على هرمى هوارة واللاهون بمنخفض الفيوم عن عدد من **النتائج** التى يمكن إيجازها فى النقاط التالية:

١- تحديد أهم العوامل البيئية الضارة التى تتعرض لها منطقة الدراسة وتحدث بها أضرارًا خطيرة وتمثلت فى عناصر المناخ المختلفة ، والمياه الأرضية.

٢- ارتفاع منسوب المياه الأرضية بالمقبرة وحجرات الدفن الموجودة أسفل هرم هوارة والمدخل الرئيسى المؤدى إليها والمقابر الجنوبية فى هرم اللاهون، والتى نتج عنها العديد من عمليات التلف للأثر والتربة الحاملة له.

٣- سيادة الأملاح الهيجروسكوبية ذات القدرة على امتصاص المياه من الهواء المحيط وتكوين محلول ملحى ينتقل عبر مسام الأحجار بالخاصية الشعرية ومع وجود المياه تشترك الأملاح فى تفاعلات كيميائية مؤدية إلى تجوية وتلف الصخور.

٤- تباينت أنواع الصخور المشيدة بها منطقة الهرمين ما بين حجر جيرى وحجر جيرى طينى ودولوميتى وصخور الجرانيت بالإضافة إلى الطوب اللبن.

٥- تعرض جميع عينات الدراسة لفعل التجوية (على اختلاف درجة تأثرها) ويظهر ذلك فى كثرة المسام والفجوات واتساعها إلى جانب الشروخ المتقاطعة والمتوازية بالإضافة إلى انتشار الحفريات، مما أثر ذلك فى ضعف مقاومة الصخور المكونة لهرمى الدراسة لعمليات التجوية المختلفة.

٦- تراوحت درجة المسامية بالهرمين ما بين المتوسطة والمرتفعة، أدى ذلك إلى زيادة قدرتها على امتصاص المياه مما انعكس على تأثر المنطقة بعمليات التجوية على مختلف أشكالها وخاصة التجوية الكيميائية.

٧- تبين من نتائج جهاز الضخ الزئبقى MIP أن عينات هرم اللاهون أكثر مقاومة لعمليات التجوية من عينات هرم هوارة.

٨- قدرة تحمل الصخور المشيد بها هرمى هوارة واللاهون منخفضة، نتيجة شدة تأثرها بعمليات التجوية سواء الميكانيكية أو الكيميائية.

٩- تتباين المظاهر الناتجة عن التجوية تبعا لتباين العمليات التى أدت إليها والتى ظهرت آثارها بمنطقة الدراسة فى مظاهر التجوية الميكانيكية ومظاهر التجوية الكيميائية.

١٠-تمثلت مظاهر التجوية الكيميائية بمنطقة الدراسة فى عمليات الأكسدة والذوبان، أما مظاهر التجوية الميكانيكية فظهرت فى التقشر والشقوق والشروخ والتفتيت الحبيبى وتبلور الملح والنقر والتراجع الخلفى.

التوصيات :

يمكن تقديم مجموعة من التوصيات التى يمكن أن تفيد فى الحد من الأخطار على هرمى هوارة واللاهون، وهى:

١- علاج الشروخ والفواصل الصخرية بالمونة المناسبة بحيث تحتوى على مواد تكون طاردة للمياه.

٢- ضرورة المتابعة الدورية والصيانة للأجزاء التى حدث لها تلف بهرمى الدراسة وذلك لملاحظة أى تغيرات قد تطرأ عليها، لتلافى المشاكل قبل حدوثها.

٣- يجب التعرف على طبيعة الأملاح الموجودة بالأثر، قبل البدء فى عملية إزالتها، ومن دراسة الأملاح بمنطقة الهرمين تم التوصل إلى أنها من الأملاح القابلة للذوبان وعليه يمكن إزالتها وهى جافة بالطرق الميكانيكية أو عن طريق الغسيل المباشر لها بالماء.

٤- لتقليل أثر الرياح وخاصة المحملة بالرمال فى المناطق المكشوفة بهرمى هوارة واللاهون، يجب عمل مصدات للرياح من خلال تشجير المناطق المحيطة بها، ويمكن تنفيذ ذلك حول هرم اللاهون وخاصة شماله وغربه حفاظاً على المقابر الموجودة به.

٥- استخدام تقنيات السحب الآمن للمياه أسفل هرم هوارة، وخفض منسوب المياه الأرضية به، وهذا يستلزم دراسات متخصصة فى التربة الحاملة للهرم – لمعرفة خصائص طبقاتها – ودراسات هيدرولوجية لمعرفة منسوب المياه الأرضية وحركاتها وتصرفاتها واتجاه سريانها ومصدرها، بالإضافة إلى حفر آبار استكشافية حول الهرم، وأى حساب خاطئ لأى من هذه الدراسات ربما يتسبب فى انهيار هرم هوارة أثناء سحب المياه الأرضية منه (الفقى، ١٩٩٨، ص ص ٢٠٤-٢٠٦).

٦- سحب المياه الأرضية بواسطة شبكة صرف مغطى فى منطقة هرم هوارة تقع بين الهرم وترعة بحر وهبى وعمل بئر عميق لتجميع المياه من الشبكة لرفعها لتصب فى ترعة بحر وهبى، وتنفيذ مصرف قاطع من الجهة الشرقية بهدف تخفيض مناسيب المياه الأرضية أسفل الهرم (Allam, 2002, p. 335).

٧- حفر مجموعة من آبار الصرف حول هرم هوارة، والبدء فى برنامج طويل المدى لتحويل مسار ترعة بحر وهبى من حول الهرم (Abou-Heleika, 2005, p. 16)، وفى الوقت الحاضر يمكن العمل على تبطينها بالخرسانة المانعة لتسرب المياه منها إلى الهرم.

٨- تنفيذ مصرف قاطع فى منطقة هرم اللاهون، بين المقابر الجنوبية المتأثرة بالمياه الأرضية والمزارع السمكية الواقعة جنوبها بهدف تخفيض مناسيب المياه الأرضية بها، ويلى ذلك سحب المياه من تلك المقابر بالطرق الآمنة.

٩- لابد أن تتجه أنظار الجهات المعنية متمثلة فى المجلس الأعلى للآثار إلى توفير كافة الإمكانات المادية التى تساعد فى تنمية منطقة هرمى هوارة واللاهون باعتبارها مناطق سياحية فى غاية الأهمية، وذلك بوضع ميزانية تخصص بالكامل لترميم الأجزاء التى تلفت، وإعادة بناء ما تم تلفه نهائيا.

١٠-ضرورة التعاون بين الباحثين الأثريين المختصين بالترميم والجيومورفولوجين سواء المصريين أو الأجانب فى رصد وتقييم الأخطار التى تتعرض لها منطقة هرمى هوارة واللاهون، ووضع مقترحات كل فى مجال تخصصه تساعد فى الحد من هذه الأخطار ومعالجتها بشكل سريع ودورى.

الملاحق

ملحق (١) التحليل الهيدروكيميائى لعينات التربة والصخور بهرمى منطقة الدراسة

الموقع	الملوحة الكلية (جزء فى المليون)	التوصيل الكهربى (ملى موة/ ثانية)	النسبة المئوية للاملاح الكلية					
			كلوريد الصوديوم	كلوريد بوتاسيوم	كبريتات صوديوم	كبريتات كالسيوم	كبريتات ماغنيسيوم	بيكربونات كالسيوم
حجر جيرى ودولوميت باللاهون	٩٨٣٥	٨.٤٥	٤١.٤	٦.٨	٢٠.٥	٢٠.٥	٩.١	١.٧
جرانيت اللاهون	٣٥٤٢	٤.١	٣٥.٢	٤.٦	١٨.٤	٢٥.٦	٣.٤	١٢.٨
حجر جيرى هوارة (حول الهرم)	١١٢٤٣	١٠.٧٦	٣٠.٧	٩.٤	٣٢.١	١٤.٨	٥.٧	٧.٣
(تربة) هوارة	١٠٧٨٥	٩.٤٥	٢٨.٥	١٢.١	٢٨.٢	٢٩.٧	١.٤	٠.١
طوب لبن هوارة	١١٠٣٢	١٠.٤٣	٢٥.٧	٦.٥	٢٦.٣	٣٢.٤	١.٨	٧.٣
حجر جيرى (المدخل) هوارة	٩٩٣٦	٨.٦١	٣٠.٥	٣.٨	٢٦.٨	٣١.٦	٥.٣	٢
حجر جيرى اللاهون (قرب مزرعة سمكية)	١٢٣٢٨	١٣.٥	٣٢.٤	١.١	٢٨.٥	١٠.٢	٧.٩	٢
المقابر الجنوبية فى اللاهون	١١٥٤٣	١٢.٧	٢٢.٦	٥.٣	٣١.٦	٢٥.٣	٨.٩	٦.٣
(تربة) هوارة	١٢٤٧٦	١١.٧٦	٣٥.٢	٣.٩	٢٥.٧	٢١.٦	٥.٥	٨.١
طوب لبن هوارة	٧٢٢١	٧.٢١	٢٧.٥	٦.٦	٣٠.٩	٢٨.٧	٤.٢	٢.١
تربة مشبعة بالمياه (هوارة)	١٣٤٤٢	١٢.٢٧	٣٢.٨	٤.٩	٢٤.٨	٣٢.٦	٣.٨	١.١
(حجر جيرى) اساس معبد التية بهوارة	٧٨٩٣	٧.١١	٢٨.٩	٦.٣	٢٩.٨	٣٠.٨	٢.٢	٢
حجر جيرى من مقابر غرب اللاهون	١١٢٣٢	١٢.٥	٣٠.٦	٤.٨	٢٥.٧	٢٩.١	٥.٨	٤
حجر جيرى هوارة (المعبد الجنائزى)	٧٩٢٢	٦.٩٨	٢٦.٩	٨.٩	٢٨.٢	٢٥.٨	٦.٣	٣.٩

المصدر: تم تحليل العينات بالمعامل المركزية بكلية الهندسة جامعة كفر الشيخ، ٢٠١٧

ملحق (٢) : تصنيف (Farmer, 1968) لمسامية الحجر الجيرى.

درجة المسامية	المسامية ٪
منخفضة	١-١٠
متوسطة	١٠-٢٠
مرتفعة	٢٠ فأكثر

المصدر: Kamh, 2007, p. 39

ملحق (٣) : تصنيف درجة استجابة الصخر للتجوية الملحية وتفسيره.

درجة استجابة الصخر للتجوية SSI	التفسير
من صفر إلى أقل من ٢	مقاوم للتجوية بدرجة فائقة
من ٢ إلى أقل من ٣	مقاوم للتجوية بدرجة عالية
من ٣ إلى أقل من ٦	مقاوم للتجوية
من ٦ إلى أقل من ١٢	يستجيب للتجوية
من ١٢ إلى أقل من ١٦	يستجيب للتجوية بدرجة عالية
من ١٦ إلى أقل من ٢٠	يستجيب للتجوية بدرجة فائقة

المصدر: Yu and Oguchi, 2010, P. 50.

ملحق (٤) : تصنيف (Moen, 1967) لصلادة الحجر الجيرى بناء على نسبة امتصاص الصخور للمياه.

امتصاص المياه ٪	أقل من ٣	٣-٧,٥	٧,٥-١٢	١٢-١٧	أكثر من ١٧
تصنيف الصلابة	صلد جدا	صلد	متوسط	ضعيف	ضعيف جدا

المصدر: Kamh, 2007, p. 40

ملحق (٥) : تصنيف قدرة تحمل الصخور للضغوط وفقا لتقسيم الكود الامريكى للخصائص الميكانيكية بالصخور.

قدرة تحمل الصخور للضغط (كجم/سم٢)	التصنيف		
	منخفضة	متوسطة	مرتفعة
	١٢٠	٢٨٠	٥٥٠

المصدر: قمح، ٢٠١١، ص ١٧٨.

ملحق (٦) : مظاهر التلف حسب تقسيم (Fitzner et al., 2002).

المجموعات الرئيسية	المجموعات الثانوية (الفرعية)
١- تصنيف (فرز) المادة الصخرية	الرمل - التساقط - التقشر الموازى - التقشر غير الموازى
٢- فقد المادة الصخرية	الفجوات (النقر) - إزالة النقوش - الخشونة السطحية - التراجع الخلفى
٣- تكوين رواسب على المادة الصخرية	التفلور الملحى - القشرة السطحية - التلف الميكروبيولوجى - مستعمرات الحشرات - تأثير الطيور - الكتابة على الجدران - التلوث.
٤- الشروخ	الشقوق - الفواصل - الصدوع
٥- عدم الاستقرار البنائى	
٦- انهيار الحوائط	
٧- تلف طبقات الجص والملاط	انفصال الجص - سقوط طبقة الملاط

المصدر: Fitzner, et al., 2002, p. 320

ثم قام بتعديلها إلى أربع مجموعات رئيسية:

١- المجموعة الأولى فقد المادة الصخرية.

٢- المجموعة الثانية تغير الوان سطح الصخر.

٣- انفصال المادة الصخرية.

٤- المجموعة الرابعة الشقوق/ التشوه Fitzner, et al., 2003, p. 1094.

المراجع والمصادر

أولاً – المراجع العربية :

١ –الأنصارى، مدحت سيد (٢٠١٤): أخطار التجوية الملحية على المنشآت بمدينة الإسكندرية، دراسة فى الجيومورفولوجية التطبيقية، مجلة كلية الآداب – جامعة بنها، العدد ٣٧، الجزء الثالث.

٢ –البدرى، عبد الحكيم أحمد (٢٠٠٨) : دراسة مقارنة لتأثير عمليات التجوية على النقوش الصخرية التسجيلية بالصحراء الشرقية والغربية وطرق علاجها وصيانتها، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٣ –السقا،عبد الحليم محمد (٢٠٠٨): دراسة الظروف الجيوبيئية وتأثيرها على طبقات التصوير الجدارى بمقابر جبل الموتى بواحة سيوة وطرق العلاج والصيانة تطبيقا على احدى المقابر المختارة، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآثار جامعة القاهرة.

٤ –الفقى، عبد الفتاح (١٩٩٨): أزمة ارتفاع منسوب المياه الجوفية فى المنشآت العامة والآثار وتهديدها بالانهيار، المؤتمر السنوى الثالث لإدارة الكوارث والأزمات، وحدة بحوث الأزمات، كلية التجارة جامعة عين شمس، المجلد الثانى، ص ص ٢٠٢–٢١١.

٥ –المحارى، سلمان أحمد (٢٠٠٦): دراسة تأثير عوامل التلف المختلفة على أطلال بعض المواقع الأثرية بمملكة البحرين ومقترحات الترميم والصيانة تطبيقا على الأطلال الأثرية بموقع سار، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآثار جامعة القاهرة.

٦ –حميدة، سيد محمد سيد (٢٠٠٣) : التقييم العلمى لميكانيكية التجوية الملحية وأهم مصادرها فى بعض البيئات الأثرية المصرية وتأثيرها على الأحجار الجيرية والرملية المستخدمة فى المنشآت الأثرية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٧ -خليفة، رضا عبد الحليم (٢٠١٢) : أهم أعمال البعثة المصرية البولندية بمنطقة آثار هرم هوارة بالفيوم موسمى ٢٠٠٨-٢٠٠٩، المؤتمر الدولى الثالث بعنوان التأثير والتأثر بين الحضارات القديمة، المجلد الثالث، مركز الدراسات البردية والنقوش ، جامعة عين شمس.

٨ -سلامة، حسن رمضان (١٩٨٣) : مظاهر الضعف الصخرى، وآثارها الجيومورفولوجية، نشرة دورية محكمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٥٣.

٩ -شعله، ماجد وقمح، جمال وأبو الريش، كوثر (٢٠١٥) : التجوية وآثارها الجيومورفولوجية فى تشكيل مقابر الانفوشى الأثرية بمدينة الإسكندرية – مصر، دراسة حالة فى الجيومورفولوجيا التطبيقية، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٤٢٢، ص ص ١-٨١.

١٠ -صابر، أحمد إبراهيم محمد (٢٠١٢) : أخطار التجوية الملحية على المبانى الأثرية بمدينة القاهرة، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية، العدد السابع والأربعون.

١١ عبد الحميد، طارق أحمد (١٩٩٧) : دراسة العوامل البيئية المؤثرة على معبد هيبس بالواحات الخارجة وطرق علاجه وصيانته، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآثار جامعة القاهرة.

١٢ عبيدو، إبراهيم (١٩٦٩) : الجيولوجيا الهندسية والخرائط الجيولوجية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

١٣ عزب، خالد ومنصور، أيمن (٢٠٠٠) : الأهرامات المصرية أسطورة البناء والواقع، الطبعة الأولى، عين للدراسات والبحوث الإنسانية والاجتماعية، القاهرة.

١٤ عطا، محمد فوزى أحمد (١٩٩٢) : مناخ الساحل الشمالى الغربى فى مصر وآثاره الجغرافية، دراسة فى الجغرافيا المناخية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب – جامعة القاهرة.

١٥ عطيه، حمدان ربيع (١٩٩٥) : دراسة علاج وصيانة معبد سيتى الأول والأوزوريون بمنطقة أبيدوس، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار – جامعة القاهرة.
١٦ عوض، سمير أحمد ومحمود، عبد المنعم أحمد (٢٠٠٧) : مقدمه فى علم الرسوبيات، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.
١٧ فخرى، أحمد (١٩٦٣) : الأهرامات المصرية، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.
١٨ قمح، جمال محمد عيسوى (٢٠١١) : التجوية الملحية على المبانى والآثار فى بعض بلدان العالم، مطابع جامعة المنوفية.
١٩ محمد، أمانى حسين (٢٠١٣) : أخطار التجوية على المبانى الأثرية بمحافظة الإحساء المنطقة الشرقية المملكة العربية السعودية، مجلة كلية الآداب، جامعة أسيوط، العدد الخامس والأربعون، ص ص ١٦٤–٢٣٥.
٢٠ موسى، أبو بكر محمد أبو بكر (٢٠٠١) : دراسة تأثير التركيب الجيولوجى على تلف المقابر المحفورة بالصخر بمنطقة أثار سقارة تطبيقًا على إحدى المقابر المختارة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
٢١ ميرغنى، على مصطفى (١٩٩٨) : التجوية الكيميائية بوصفها خطرا طبيعيا على المنشآت بالمناطق الساحلية بمدينة الإسكندرية، مجلة كلية الآداب – جامعة الزقازيق، العدد ٢٢، ص ص ٢٠٧–٢٥٣.

ثانيًا : المراجع غير العربية :

1. Abou Heleika, M.M, (2005): Simulation of the Grondwater Aquifer in the Area Around Hawara Pyramid Using Electrical and shallow Refraction Seismic Measurements, El-Minia Science Bulletin, volume 16, 1-16.
2. Allam, A.R., (2002): Groundwater Via Hawara Pyramid degradation, Proceedings of the first Conference on El-Fayoum "El-Fayoum between the past and the present" Future of the Archaeological and the touristic development 7-8 April 2002.

3. Amoroso, G., Fassino, V,. (1983): Stone Decay and Conservation Atmospheric Pollution cleaning, consolidation and protection, materials science, Monographs, New York.
4. Dahab, K.A.A., (1988): Geological and Hydrogeological studies of the Faiyum depression and its vicinities, M.Sc. Geology of department, Faculty of Science, Menoufia University.
5. Deer W.A, Howie, R.A., Zussman J., (1966): An introduction to the Rock-Forming minerals Chabazite p.393-399.
6. Fitzner, B., Heinrichs, K., and Bouchardiere, D., (2002): Damage index for stone monuments. Protection and Conservation of the cultural Heritage of the Mediterranean Cities, Proceedings of the 5th Int. Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Sevilla, Spain, 5-8 April 2000: 315-326.
7. Fitzner, B., Heinrichs, K., and Bouchardiere, D., (2003): Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt, Building and Environment, Vol. 38, Issues 9-10 (Building Stone Decay: Observation, Experimens and Modeling), pp. 1089-1103.
8. Folk, R., (1962): Spectral Subdivision of Limestone types. In: Ham, WE.(ED), Classificationof carbonate Rocks. Memoir American Association of petroleum Geologists, V.1, pp. 62-84.
9. Ibrahim, H., and Kamh, G.M., (2005): The negative effect of environmental geological condition of some geo-archaeological sites of North Coast and Alexandria, Environ Geol 49: 179-187.
10. Ismael, H., (2015): The Climate and its Impacts on Egyptian Culture Heritage: El Nadora Temple in El-Kharga Oasis, Western Desert of Egypt as a Case study, De GRUYETER, Present Environment and sustainable Development, PESD, VOL.9 No.1-35.Doi: Vol. 9, No. 1, 1-35.Doi: 10. 1515/pesd-2015-000, July.
11. Kamh, G.M.E., (2007): Petrographic, geotechnical and durability investigations of sandstone from El-Silsila Nubian quarries used for restoration, a case study. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, 13(1): 39-56.
12. Kamh, G.M.E. (2009): Quantification and Pre- Modeling of Damage Category of Weathering Forms for Monumental Rocks Based on Field Measurements, Some Egyptian Archaeological sites, case study, Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 15, No. 1, 21-38.
13. Kamh, G.M.E., (2017): Investigating Single and Mixed Resins for Treating Moderately Weathered Limestone of Archaeological Sites, New Applied Techniques, Earth Sciences Vol, x, No. x, 2017, pp.x-x. Doi: 10, 116481j.xxxx2017xxxxxx.
14. Keatings, K., Tassie, G.J., Flower, R.J., Hassan, F.A., Hamdan, M.A.R., Hughes, M., and Arrowsmith, C., (2007): An Examination of Groundwater Within the Hawara Pyramid, Egypt, Geo archaeology , An International Journal, Vol.22, No 5, 533-554.
15. Lehmann, J., (1970): Damage by accumulation of solublesalts in stone work. In. conservation of stone, 2nd ed., Vol. I, IIC, 1970.

16. Pininska, J., Hemdan, E., (2008): Geomechanical study of building materials of the Hawara Pyramid (Fayoum, Egypt) GEOLOGIJA 2008 Vol. 50. Supplement.p. s126-s130, Doi: 10.2478/v/0056-008-0037-Y.
17. Shedid, A.G., (1994): Geological and Hydrogeological studies on El-Faiyum area and its vicinities and the propability of Groundwater pollution in the area, Ph.D Geology of department, Faculty of Science, Menoufia University.
18. Soliman, S.M., (2000): Wind- Erosion of Sedimentary Rock Monuments. Fifth Approach to Environmental Geoegyptology in Sedimentology of Egypt. Journal of the Sedimentological Society of Egypt, Vol. 5. Part 2. Cairo. Pp. 65-74.
19. Szynkiewicz.A., (2015): GPR research around the Hawara Pyramid (Fayum, Egypt), Conference paper KART- GEO, 51-649, Wroclaw (Poland) ul. Bacciarellego 39/1.
20. Yu, S. and C.T. Oguchi(2010): Is Sodium Sulfate invariably effective in destroying any type of rock? Natural Stone Resources for Historical Monuments, Priley and Torok "eds" Geological Society, London, Special puplication, v.333, pp.43-58.

ثالثا – المصادر :

١- هيئة الأرصاد الجوية، بيانات غير منشورة فى المدة (١٩٦٨-٢٠٠٥).

٢- هيئة المساحة العامة، الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٥٠٠٠٠ لوحات (إهناسيا- الفيوم) عامى ١٩٩٦-١٩٩٧.

٣- الهيئة العامة للبترول، كونكو مقياس ١: ٥٠٠٠٠٠ (لوحة بنى سويف).

٤- هيئة الاستشعار عن بعد، المرئيات الفضائية (ASTER DEM-LandsatTM-Landsat Oli) لأعوام ١٩٨٥و٢٠٠٠و٢٠١٧- جوجل ايرث عام ٢٠١٧.

Dangers of Weathering on The Pyramids of Hawara and El-Lahun in Fayoum Depression "A study in Applied Geomorphology"

ABSTRACT

Indeed, many of our historical cultural heritage suffers from a serious deterioration (especially from weathering), some natural, some enhanced by human impacts. Therefore, the preservation of this heritage has become a pressing issue especially for territories subjected to a long period of human action and surrounding environmental conditions, which leads to its deteriorating or changing its historical scenery. Therefore, many international and local organizations were deeply interested in maintaining and preserving such cultural heritage, from the simple rock art to the large temples.

The pyramids of Hawara and El-Lahun are the most important historical monuments in Fayoum depression are the mud brick building, which suffers greatly from the effects of weathering processes both mechanical and chemical.

The current study aims at determination the physical and human factors affecting the activity of weathering processes and the response of the rock formations that form the Hawara and El-Lahun pyramids to the act of weathering, and determination the most important aspects of the damage resulting from the weathering processes and trying to classify their forms.

To achieve these aims, the different elements of the climate were studied and their effect on the two pyramids was studied, in addition to the study of ground water as one of the most important environmental factors affecting on the study area. Also, the study of characteristics of the rock, which is composed of the pyramids, petrography, metallic, petro physical, mechanical and microscopic, has been conducted. Through results, the weathering forms and the resulting damage were evaluated in an attempt to protect the pyramids from these dangers.

Key Words: Hawara and El-Lahun pyramids - cultural heritage - weathering processes - aspects of the damage - ground water.

الإصدارات السابقة
لسلسلة البحوث الجغرافية

١. Dental Conditions of the Population of Maadi Culture as Affected by the Environment. (In English) by "F. Hassan et al." (1996).
٢. هضبة الأهرام: أشكالها الأرضية ومشكلاتها، أ.د. سمير سامى، ١٩٩٧.
٣, القرى المدمرة فى فلسطين حتى عام ١٩٥٢، أ.د. يوسف أبو مايلة وآخرون، ١٩٩٨,
٤, جيومورفولوجية منطقة توشكى وإمكانات التنمية، أ.د. جودة فتحى التركمانى، ١٩٩٩,
٥. موارد الثروة المعدنية وإمكانات التنمية فى مصر، د. أحمد عاطف دردير، ٢٠٠١.
٦, صورة الأرض فى الريف، د. محمد أبو العلا محمد، ٢٠٠١,
٧. القاهرة: الأرض والإنسان، أ.د. سمير سامى محمود، ٢٠٠٣,
٨, الماء والأفلاج والمجتمعات العمانية، د. طه عبد العليم، ٢٠٠٤,
٩, المناطق الخضراء فى القاهرة الكبرى، د. أحمد السيد الزاملى، ٢٠٠٥,
١٠. التنمية السياحية بمدينة الغردقة وأثرها السلبى على البيئة، د. ماجدة محمد أحمد، ٢٠٠٥,
١١, بين الخرائط التقليدية وخرائط الاستشعار عن بعد، د. هناء نظير على، ٢٠٠٦,
١٢, الواقع الجغرافى لمدينة سيوة، د. عمر محمد علي، ٢٠٠٦,
١٣, صادرات الموالح المصرية إلى السوق العربية الخليجية، أ.د. إبراهيم غانم، ٢٠٠٦,
١٤. الجغرافيا الاقتصادية فى ضوء المتغيرات العالمية المعاصرة، أ.د. إبراهيم الديب، ٢٠٠٦.
١٥, الأبعاد الجغرافية للسياحة العلاجية فى مصر، د. فاطمة محمد أحمد، ٢٠٠٦,
١٦, تحليل جغرافى لحركة النقل على مداخل مدينة المحلة الكبرى، د. عبد المعطى شاهين، ٢٠٠٧,
١٧. المقومات الجغرافية للتنمية السياحية فى محافظة الوادى الجديد، د. المتولي السعيد، ٢٠٠٧,
١٨. الهجرة العربية الدائمة إلى الولايات المتحدة الأمريكية من ١٩٨٠ إلى ٢٠٠٤، د. أشرف عبده، ٢٠٠٧,
١٩, مياه الشرب فى مدينة الجيزة، د. فاطمة محمد أحمد عبد الصمد، ٢٠٠٧,
٢٠. الجيوب الريفية المحتواة فى التجمعات الحضرية المخططة بمدينة الجيزة، د. أشرف عبده، ٢٠٠٧,
٢١, الأبعاد الجيوديموجرافية لانتخابات مجلس الشعب المصرى عام ٢٠٠٥، د. سامح عبد الوهاب، ٢٠٠٨,
٢٢, الأوقاف الخيرية فى مصر، أ.د. صلاح عبد الجابر عيسى، ٢٠٠٩,
٢٣. صناعة السيارات فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، ٢٠٠٩,
٢٤, المناخ والملابس فى مدينة الرياض، د. هدى بنت عبد الله عيسى العباد، ٢٠٠٩,
٢٥, قضايا الطاقة فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، ٢٠٠٩,

٢٦, الثروة المعدنية فى محافظة المنيا، د. أحمد موسى محمود خليل، ٢٠٠٩,

٢٧. التباينات اليومية لدرجة الحرارة بمدينة مكة المكرمة. د. مسعد سلامة، ٢٠٠٩,

٢٨. التحليل الجغرافى لدلالة أسماء المحلات العمرانية بمنطقتي عسير وجيزان، د. إسماعيل يوسف، ٢٠٠٩,

٢٩, تحليل جغرافى لمنطقتين عشوائيتين فى مدينة جدة، د. أسامة جستنية و أ. مشاعل المالكي، ٢٠٠٩,

٣٠. الفقر فى غرب إفريقيا، د. ماجدة إبراهيم عامر، ٢٠١٠,

٣١, بعض ملامح التنمية العمرانية فى محافظة المجمعة (السعودية)، د. علاء الدين عبد الخالق علوان، ٢٠١٠,

٣٢, تنمية السياحة البيئية والأثرية بمنطقة حائل، د. عواطف بنت الشريف، ٢٠١٠,

٣٣, سكان سلطنة عُمان، د. جمال محمد السيد هنداوى، ٢٠١٠,

٣٤, التجديد العمرانى للنواة القديمة بالمنصورة، د. مجدى شفيق السيد صقر، ٢٠١١,

٣٥, تغير المعطيات المكانية وأثرها فى التنمية السياحية بقرية البهنسا، د. ماجدة جمعة، ٢٠١١.

٣٦, الاتجاهات الحديثة فى جغرافية الصناعة، أ.د. إبراهيم على غانم، ٢٠١١,

٣٧. المعايير التخطيطية للخدمات بالمملكة العربية السعودية، د. نزهه يقظان الجابري، ٢٠١١,

٣٨, تداخل المياه البحرية والجوفية بشمال الدلتا بين فرعي دمياط ورشيد، د. أحمد صابر، ٢٠١١,

٣٩, أحجار الزينة فى المملكة العربية السعودية، د. شريفة معيض دليم القحطاني، ٢٠١١,

٤٠. التنوع الحيوى بإقليم الجبل الأخضر بالجماهيرية العربية الليبية، د. عادل معتمد، ٢٠١١,

٤١, التحليل المكاني للتغيرات العمرانية واتجاهاتها الحالية والمستقبلية في المدينة المنورة للفترة من (١٣٦٩-١٤٥٠هـ) الموافق (١٩٥٠-٢٠٢٨م)، د. عمر محمد على محمد، ٢٠١١,

٤٢. المراوح الفيضية وأثرها على طريق قفط – القصير، د. محمد عبد الحليم حلمي، ٢٠١٢.

٤٣, أطالس فرنسية : عرض وتحليل، د. عاطف حافظ سلامه، ٢٠١٢,

٤٤, التنوع المكانى لأنماط النمو الريفى فى المنطقة الغربية بالسعودية، د. محمد مشخص، ٢٠١٢,

٤٥. الحافة الحضرية لمدينة المحلة الكبرى : رؤية جغرافية، د. أحمد محمد أبو زيد، ٢٠١٢,

٤٦, الخصائص المكانية والخدمية للمجمعات التجارية، د. عبدالله براك الحربي، ٢٠١٢,

٤٧, أخطار التجوية الملحية على المباني الأثرية بمدينة القاهرة، د. أحمد صابر، ٢٠١٢,

٤٨. تقدير أحجام السيول ومخاطرها عند المجرى الأدنى لوادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة، د. محمد سعيد البارودي، ٢٠١٢,

٤٩, التساقط الصخري والتراجع الساحلي في منطقة عجيبة السياحية، د. طارق كامل، ٢٠١٢,

٥٠, جغرافية التنمية الاقتصادية بمنطقة ساحل محافظة كفر الشيخ، د. محروس المعداوى، ٢٠١٢,

٥١. الضوابط المناخية للعجز المائى فى شبه جزيرة سيناء، د. صلاح عماشة، ٢٠١٢,
٥٢, الضوابط البيئية للسياحة بمحافظة الفيوم، د. فاطمة محمد أحمد عبد الصمد، ٢٠١٢,
٥٣, مواقف السيارات والأزمة المرورية بمحافظة القاهرة، د. رشا حامد سيد حسن بندق، ٢٠١٢,
٥٤. ثلاثون عاما من النمو العمرانى الحضرى بمحافظة أسوان، د. أشرف عبد الكريم، ٢٠١٢,
٥٥, الخريطة الجيومورفولوجية لجبل عير بالمدينة المنورة، د. متولي عبد الصمد، ٢٠١٢,
٥٦, المدينة الصناعية الثانية بمدينة الرياض، د. عبد العزيز بن إبراهيم الحرة، ٢٠١٢,
٥٧. التغير الكمي والنوعي لاستخدامات الأرض بأحياء المدينة المنورة، د. عمر محمد على، ٢٠١٢,
٥٨, استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في رصد ومعالجة مشكلة العشوائيات السكنية بالمدينة المنورة، د. عمر محمد على محمد، ٢٠١٢,
٥٩, شارع بورسعيد بالقاهرة : دراسة تحليلية فى جغرافية النقل، د. منى صبحي، ٢٠١٢,
٦٠. التمدد الحضرى لمدينة ديرب نجم، د. مجدى شفيق السيد صقر، ٢٠١٣,
٦١, التحليل المكانى لتوزيع خدمة محطات تعبئة وقود السيارات بمدينة مكة، د. عمر محمد، ٢٠١٣,
٦٢, تحليل جغرافي للتعليم الأساسي بقرى مركز أطفيح، د. فاطمة عبد الصمد، ٢٠١٣,
٦٣. نظم المعلومات الجغرافية ودعم اتخاذ القرار التنموي، د. عاطف حافظ سلامه، ٢٠١٣,
٦٤. جيومورفولوجية قاع الفريح شرق المدينة المنورة وإمكانات التنمية، د. متولي عبد الصمد، ٢٠١٣,
٦٥. ملامح الفقر الحضري وخيارات التنمية، د. إسماعيل يوسف إسماعيل، ٢٠١٣.
٦٦. Abha Town (Kingdom of Saudi Arabia): A Study in Social Area Analysis. (In English) by "Dr. Ismail Youssef Ismail" (2013).
٦٧. نحو صناعة مطورة لحماية البيئة في محافظة أسيوط، د. أحمد عبد القوى أحمد، ٢٠١٣,
٦٨. الرؤية الجغرافية لواقع ومستقبل خريطة استخدامات الأرض بوسط م الرياض، د. أشرف عبد الكريم، ٢٠١٣,
٦٩, تنمية النقل البحرى والخدمات اللوجستية فى إقليم قناة السويس، د. منى صبحي نور الدين، ٢٠١٣,
٧٠, استخدامات الأرض في حلوان، د. فاطمة عبد الصمد، ٢٠١٣,
٧١, تحليل جغرافى لبعض حوادث السكك الحديدية المصرية، د. منى صبحي، ٢٠١٤,
٧٢. خصائص المحلات العمرانية على الجزر الرملية، د. إسماعيل يوسف إسماعيل، ٢٠١٤,
٧٣, تيسير الوصول إلى الخدمات العامة فى مدينة أسوان، د. أشرف عبد الكريم، ٢٠١٤,
٧٤, الأبعاد الجغرافية لهجرة المصريين غير الشرعية إلى أوروبا، د. محمد حسانين، ٢٠١٤,
٧٥. التباين المكاني لمحطات الوقود في المدينة المنورة، د. أشرف على عبده، ٢٠١٤,
٧٦, المخلفات الصلبة في مدينة الجيزة، د. فاطمة محمد أحمد عبد الصمد، ٢٠١٤,

٧٧, جيومورفولوجية ساحل البحر الأحمر بين رأسي بناس وغارب، د. محمد عبد الحليم، ٢٠١٤,
٧٨. التحولات العمرانية في منطقة النواة بمدينة أبوعريش، د. سعيد محمد الحسيني، ٢٠١٤,
٧٩, الضجة المرورية والسائدة بمدينة شبين الكوم، د. إسماعيل علي إسماعيل، ٢٠١٤,
٨٠, الأبعاد الجغرافية للاتصالات السلكية واللاسلكية فى مدينة طنطا، د. عبدالسلام عبدالستار، ٢٠١٤,
٨١, مستقبل زراعة المحاصيل الزيتية في مصر، د. صبري زيدان عبد الرحمن، ٢٠١٤,
٨٢, تغير مساحة الأراضى الزراعية غربىً دلتا النيل، د. بهاء فؤاد مبروك، ٢٠١٤,
٨٣, أماكن النحر بمنى، د. فائزة محمد كريم جان عبد الخالق، ٢٠١٤,
٨٤, جغرافية النقل العام بالحافلات في محافظة الدقهلية، د. محمد صبحي إبراهيم، ٢٠١٥,
٨٥. التقييم الاقتصادى والبيئى لخريطة التغيرات فى استخدامات الأرض، د. مسعد بحيرى، ٢٠١٥,
٨٦, القوة العاملة المنزلية الوافدة من الإناث فى المملكة العربية السعودية، د. اشرف علي عبده، ٢٠١٥,
٨٧. التحليل المكانى لنفوذ محطات تقوية شبكات المحمول وكفاءتها فى مدينة بنها، د. مسعد بحيرى، ٢٠١٥,
٨٨. الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، د. أحمد موسى محمود خليل، ٢٠١٥,
٨٩, الأبعاد المكانية للإصابة بعدوى أنفلونزا الطيور في مصر، د. صبحي رمضان، ٢٠١٦,
٩٠, الخريطة الجيومورفولوجية لمنطقة فوهة الوعبة بالسعودية، د. هيا بنت محمد العقّيل، ٢٠١٦,
٩١. رصد التغيرات والأخطار الجيومورفولوجية الناجمة عن بناء قناطر نجع حمادي، د. أحمد صابر، ٢٠١٦,
٩٢. التجارة الخارجية المصرية مع الأسواق العربية (٢٠٠٠-٢٠١٤م)، د. رضا سليم، ٢٠١٦,
٩٣, جيومورفولوجية جبل القارة بالإحساء شرق المملكة العربية السعودية، د. محمد عبد الحليم، ٢٠١٦,
٩٤. الأبعاد المكانية لحالات العنف ضد المرأة في مدينة الرياض، د. ابتسام إبراهيم القاضي، ٢٠١٦,
٩٥. الشوارع التجارية الرئيسية في المدينة المنورة، د. اشرف علي عبده، ٢٠١٧.
٩٦, الحراك السكني في المدينة المنورة، د. اشرف علي عبده، ٢٠١٧,
٩٧. التحليل الجيومورفولوجي لمنحدرات الحافة الشرقية لهضبة الجلالة البحرية، د. هبه صابر دسوقي، ٢٠١٧.
٩٨. السياحة الثقافية والصناعات التراثية بمناطق العمران التقليدي بسلطنة عمان، د. سيد رمضان، ٢٠١٧,
٩٩. الصقيع وتأثيره على بعض المحاصيل الزراعية بمنطقتي حائل والقصيم، مشبب بن محمد، ٢٠١٧,
١٠٠. العمالة السياحية فى محافظة البحر الأحمر، د. راوية محسوب، ٢٠١٧,

١٠١. تراتبية العمالة وفقا للجنسية في سوق العمل في سلطنة عمان، د. منتصر إبراهيم وآخرون، ٢٠١٧,

١٠٢. حالة الهواء ومواقع المنشآت التعليمية والصحية بمدينة سوهاج، د. إسماعيل علي إسماعيل، ٢٠١٧,

١٠٣. الشروم على الساحل الغربي للمملكة العربية السعودية، د. وفاء صالح على الخريجي، ٢٠١٧,

١٠٤. الفاعلية التسويقية لبورصة الأسماك بمحافظة كفرالشيخ، د. إيهاب لطفي البرنس، ٢٠١٧.

١٠٥. مظاهر الضعف الصخري ودورها الجيومورفولوجي في تشكيل هشيم المنحدرات، د. أحمد صابر، ٢٠١٧,

١٠٦. الاحترار العالمى ومستقبل استهلاك الطاقة المنزلية في مصر (الأثر والتكيف). د. محمد توفيق محمد ابراهيم، ٢٠١٨,

١٠٧. ديناميكية استخدام الأرض بالعزيزية فى مكة المكرمة، عفاف عبد الله أحمد القاسمي و أ.د. عاطف حافظ سلامة، ٢٠١٨.

١٠٨. التباين المناخي بين ساحلي المملكة العربية السعودية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، د. سهام بنت صالح العلولا، ٢٠١٨,

١٠٩. معبر سمنود النهري بين محافظتي الدقهلية والغربية، د. محمد صبحي إبراهيم، ٢٠١٨.

الجمعية الجغرافية المصرية

مجلس الإدارة

الأستاذ الدكتور	/ السيد السيد الحسينى إبراهيم	(رئيس مجلس الإدارة)
" "	/ فتحى محمد أحمد أبو عيانة	(نائـب الرئيـس)
" "	/ شحاته سيد احمد طلبه	(الأميـن العام)
" "	/ محمد عبد الرحمن الشرنوبى	(أمـين الصندوق)
" "	/ نبيل سيد إمبابى عبد الرازق	عضو مجلس إدارة
" "	/ احمد حسن إبراهيم	عضو مجلس إدارة
" "	/ فتحى محمد مصيلحى خطاب	عضو مجلس إدارة
" "	/ فتحى عبد العزيز أبو راضى	عضو مجلس إدارة
" "	/ محمد إبراهيم محمد شرف	عضو مجلس إدارة
" "	/ أحمد السيد محمد الزاملى	عضو مجلس إدارة
" "	/ عبدالله علام عبده علام	عضو مجلس إدارة
" "	/ مصطفى محمد محمد البغدادى	عضو مجلس إدارة
" "	/ المتولى السعيد احمد احمد	عضو مجلس إدارة
" "	/ محمد نور الدين السبعاوى	عضو مجلس إدارة
" "	/ عمر محمد على محمد	عضو مجلس إدارة

المراسـلات :

جميع المراسلات المتصلة بهذه الدورية توجه إلى الأستاذ الدكتور رئيس مجلس إدارة الجمعية الجغرافية المصرية (١٠٩ شارع قصر العينى – صندوق بريد ٤٢٢ محمد فريد – القاهرة – تليفون : ٢٧٩٤٥٤٥٠ – فاكس : ٢٧٩٥٦٧٧١).

البريد الإلكتروني : **E-mail : ggeoegypt@gmail.com**

موقع الجمعية الجغرافية المصرية على شبكة الانترنت : **www.EgyptianGS.com**