بحوث المؤتمر العلمي الأول
لكلية العلوم

التلوث البيئي وتحديات الاستدامة البيئية

تحت شعار : التصالح مع البيئة

سرت 14 اكتوبر 2025م

تحرير

ا.د. عبدالسلام الصالحين محمد

ا.د. حسين مسعود ابومدينه

د. أشرف مصطفى ابوسنينة

د. فتحية عبدالجواد موسى

منشورات مركز البحوث والاستشارات بجامعة سرت

الطبعة الأولى 2025م

Types of Article Open Access

المؤتمر العلمي الأول لكلية العلوم – جامعة سرت

"التلوث البيئي وتحديات الاستدامة البيئية"

EPESC

14 أكتوبر 2025

الجزء الثاني: خاص بالورقات المقدمة باللغة العربية

الوكالة الليبية للرقم الدولي الموحد للكتاب (ISBN)
ISBN 978-9959-891-67-9

لجان المؤتمر

اللجنة العليا

أ.د. سليمان مفتاح الشاطر	رئيس الجامعة
أ.د. الطيب محمد القبي	وكيل الجامعة
د. أشرف مصطفى أبوسنينة	عميد الكلية

اللجنة العلمية

أ.د. عبد السلام الصالحين محمد	كلية العلوم / جامعة سرت	رئيساً
أ.د. احميد محمد يونس	كلية العلوم / جامعة سرت	عضواً
أ.د. رمضان عبدالمولى الهنداوي	كلية العلوم / جامعة عمر المختار	عضواً
أ.د. تهاني يونس عمر	كلية العلوم / جامعة سرت	عضواً
د. فتحية عبد الجواد موسى	كلية العلوم / جامعة سرت	عضواً

اللجنة التحضيرية

أ. زينب رجب الفيتوري	رئيساً
أ. علي محمد عمرناجي	عضواً
أ. علي عبد الرحيم الغزالي	عضواً
د. سعاد أحمد أبومريم	عضواً
عبد الحليم مفتاح الشاطر	عضواً
خالد جمعة امهلهل	عضواً
سفيان سالم الشعالي	عضواً
علي مصطفى مكادة	عضواً
يوسف الكرامي	عضواً

محرري كتيب المؤتمر:

أ.د. عبد السلام الصالحين محمد
ا.د. حسين مسعود ابومدينة
د. أشرف مصطفى أبوسنينة
د. فتحية عبد الجواد موسى

ايميل التواصل: epesc@su.edu.ly

موقع المؤتمر: https://su.edu.ly/research/index.php/conferences/science/sc1

المحتويات

1. الدور الإيكولوجي لنبات الخروع *Ricinus communis* L في التكيف مع تلوث التربة بالمعادن الثقيلة في البيئات الساحلية شبه القاحلة: دراسة حالة وادي السهل الغربي، شمال شرق ليبيا 220

2. استخدام مخلفات البلاستيك الصناعي في تطوير مستشعر حساس ومرن للكشف عن الزلال (الألبومين) في الدم 229

3. مقارنة كهروكيميائية لإنتاج غاز الهيدروجين من مياه البحر مع مصادر مائية اخرى: دراسة حالة من محطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق - ليبيا 244

4. الأمن البيئي في ظل تطور الذكاء الاصطناعي واستخدامه في منظومة أسلحة الدمار الشامل: دراسة في ضوء القانون الدولي العام 257

5. تقدير نسبة تلوث سمكة البوري ببعض الناصر الثقيلة (Cd, Pb, Cu) في حوض سرت. 269

6. تأثير ملوحة المياه المختلفة على أداء النمو ومعدل البقاء وبعض الخصائص الكيميائية في اسماك البلطي كمورد اقتصادي في ليبيا 275

7. دراسة الغطاء النباتي لحافة الجنوبية الجبل الاخضر- شرق ليبيا 286

8. استخدام بعض المستخلصات النباتية كمبيدات صديقة للبيئة لمكافحة (سوس الدقيق) خنفساء الدقيق المشابهة *Tribolium confusum* (duVal) (*Coleoptera: Tenebrionidae*) 305

9. تأثير نبات عدس الماء *Lemna minor* على بعض الخواص الكيميائية في مياه الصرف الصحي في مدينة البيضاء 324

10. التلوث الصناعي للمياه كتهديد للأمن المائي: مقاربة قانونية لحماية الموارد المائية 339

11. صناديق التعويضات كوسيلة من وسائل التعويض الحديث عن الضرر البيئي 364

12. تأثير المياه السوداء على جودة إنتاج محطات التناضح العكسي في مدينة طبرق 382

13. تأثير اضافة مصدر كربون ومصدر نيتروجين على التركيب الكيميائي للبروتينات والدهون 396

14. انتاج الغاز الحيوي من المخلفات العضوية نهج مستدام لتعزيز الطاقة النظيفة في مدينة طبرق 404

15. رصد المخاطر البيئية وآثارها على المواقع الأثرية في مدينة لبدة الكبرى شمال غرب ليبيا 420

16. أوجه حماية البيئة وأحكام المسئولية عن التلوث البيئي وفقا لأحكام القانون الليبي 440

17. البيئة والأمن في العلاقات الدولية "دراسة تحليلية مقارنة ليبيا – اليابان" 455

18. تقييم أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمدينة رأس لانوف وإمكانية إعادة استخدام المياه المعالجة 476

19. دراسة الخواص الفيزيائية لمياه الشرب بحي المجاهد / هون – الجفرة 496

20. تقييم كفاءة أداء محطات معالجة مياه الصرف الصناعي في رأس لانوف 504

The First Scientific Conference of the Faculty of Science - Sirte University Environmental Pollution and Challenges of Environmental Sustainability (EPESC), Oct. 14, 2025

رصد المخاطر البيئية وآثارها على المواقع الأثرية في مدينة لبدة الكبرى شمال غرب ليبيا

سليمان الحويمدي[1] ، عبد السلام المثناني[2]، الهادي أبو قرين[3]، علي عكاشة[4]
[1]قسم علوم البيئة، كلية العلوم الخمس، جامعة المرقب، ليبيا
[2]قسم علوم البيئة، كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة وادي الشاطئ، ليبيا
[3]مدير عام المركز الليبي لأبحاث تغير المناخ، ليبيا
[4]كلية العلوم، الجامعة الأسمرية، والمركز الليبي لأبحاث التنمية المستدامة
Corresponding Author Email: soalhuweemdi@elmergib.edu.ly

Article History:

Received: 09 April 2025

Revised: 26 May 2025

Published: 15 November 2025

الكلمات المفتاحية:

التأثيرات البيئية؛ تلوث الهواء؛ الخمس؛ عوامل المناخ؛ لبدة الكبرى؛ المواقع الأثرية.

ملخص البحث: استهدفت هذه الدراسة تقييم فعالية المسوحات الأثرية واسعة النطاق في مدينة لبدة الكبرى باستخدام تقنيات متقدمة مثل التصوير الفوتوغرافي والمسوحات الميدانية، بهدف تحسين إدارة المواقع الأثرية وحمايتها بيئيًا وثقافيًا. ركزت الدراسة على تحليل التفاعل بين البيئة والتراث الحضري، معتمدًا على بيانات دقيقة جمعت خلال فترة زمنية محددة، مما سمح برصد التغيرات وتأثيراتها بمرور الوقت. أظهرت النتائج أن هذه المسوحات تعزز فهم السياق البيئي للمواقع الأثرية، حيث ساهمت تقنيات التصوير في توثيق حالتها وتقييم التهديدات المحتملة. كما أكدت الدراسة على أهمية دمج التقنيات الحديثة في التخطيط الحضري المستدام، لا سيما في مواجهة تحديات مثل التوسع العمراني والتلوث وتغير المناخ، والتي قد تؤثر على سلامة المواقع الأثرية عبر عوامل كالتعرية أو فقدان التنوع البيولوجي. ورغم عدم تحديد حجم عينة الدراسة أو تفصيل جميع التأثيرات البيئية المباشرة، إلا أنها أبرزت الحاجة إلى تعاون متعدد التخصصات لموازنة التنمية والحفاظ على التراث. خلُصت الدراسة إلى أن المسوحات المتقدمة تقدم أدوات فعّالة لرصد المخاطر البيئية، لكنه أوصى بتوفير مزيد من التفاصيل في الدراسات المستقبلية لتحليل أكثر شمولًا للتأثيرات المحددة على المواقع الأثرية.

1. المقدمة:

تشتهر المدن الأثرية بكونها مواقع تاريخية تحمل آثار الحضارات القديمة وتعكس تاريخ وتراث الشعوب التي عاشت فيها. هذه المدن مفتوحة للجمهور وتُعد وجهات سياحية مهمة، حيث تعرض هندستها المعمارية القديمة ومعالمها التاريخية للزوار من جميع أنحاء العالم، وتتمتع المدن الأثرية بأهمية كبيرة لعدة أسباب. أولًا، تُقدم شهادة حية على تاريخ البشرية وتطورها،

مما يعزز فهم وتقدير الحضارات السابقة وتراثها. كما تُتيح فرصة لدراسة العمارة والفنون والتكنولوجيا القديمة، مما يُسهم في إثراء المعرفة العامة بالعالم القديم. (Coletti, 2024)، ومع ذلك، تواجه المدن الأثرية تحديات حقيقية فيما يتعلق بالحفاظ عليها وحمايتها. ويعود ذلك جزئيًا إلى التدهور الطبيعي الذي تتعرض له المباني والمعالم القديمة بمرور الوقت، كما يُمكن أن يكون للعوامل البيئية، مثل التعرض للأمطار والرياح وتغيرات المناخ، تأثير سلبي على الهياكل الأثرية، وقد تتعرض المدن الأثرية للسرقة والتخريب والتدمير المتعمد على يد أفراد غير مسؤولين (Sorrentino et al, 2024)، تواجه المناطق والمواقع الأثرية حول العالم العديد من المخاطر والأزمات والكوارث الطبيعية والبشرية والتي من شأنها تهدد المناطق والمواقع الاثرية بشكل مباشر مما يؤدى إلى هدم جزئي أو كلى لتلك المباني والمنشآت الأثرية والتراثية، ولعبت الابحاث العلمية دوراً مهما في مجال دراسة المناطق والمواقع الاثرية حول العالم في حالة المباني والمنشآت بصفة عامة والآثار بصفة خاصة، وذلك لبنائها في عصور وأزمنة مختلفة، والعلم الحديث له دور رئيسي في الحفاظ على تلك المباني والمنشآت الأثرية. (Abotleb & El-Mekawy, 2019).

تزخر ليبيا بالعديد من المواقع الأثرية الهامة على مستوى الإرث الإنساني العالمي، وبالإضافة الى جبال جبال أكاكوس التي تقع في جنوب ليبيا، وتشتهر بمنابعها الرائعة ومناظرها الطبيعية الخلابة، بما تحتويه من رسومات قديمة تعود إلى آلاف السنين، توجد أربعة من المدن الأثرية المهمة المصنفة من منظمة اليونسكو كجزء من الإرث الإنساني العالمي، من هذه المدن مدينة شحات القديمة التي تقع شمال شرق ليبيا، وهي مدينة شحات يونانية تطورت في العصر الروماني، تضم العديد من المعابد والمسارح وآثارًا ونصوصًا قديمة، وكذلك مدينة صبراتة القديمة التي تقع على الساحل الغربي لليبيا، وتضم العديد من المعالم الأثرية المتنوعة التي ترجع الى بداية العصرين الحديث والبيزنطي كالقلاع والأماكن الدينية والحمامات، اما مدينة غدامس القديمة فتقع في جنوب غرب ليبيا وهي محاطة بالأسوار والمنازل التقليدية، التي تنتهي بالأصداف والأحجار ويمتد تاريخها إلى العصور القديمة، وعلى رأس هذه المواقع الاثرية الهامة في ليبيا تأتي مدينة لبدة الكبرى، التي تقع شمال غرب ليبيا وتُعتبر من أهم المدن الأثرية في ليبيا، وتواجه المدن الأثرية في ليبيا عموما ومدينة لبدة تحديدا العديد من المخاطر التي تهدد بقاءها، منها الحروب والصراعات، حيث تُستهدف المواقع الأثرية في بعض الاحيان عسكريًا أو تُقصف عشوائيًا، مما يفقد البشرية تراثًا لا يُعوَّض. كما تتعرَّض هذه المواقع لخطر النهب والسرقة، مما يُفقد الدول تراثها الثقافي. (Bogdan, et al, 2022)، ويُعد الإهمال وعدم الصيانة والترميم إلى تدهور المواقع الأثرية. وأخيرًا، تُشكل السياحة غير المسؤولة تهديدًا كبيرًا، حيث يتسبب الزائرون غير المهتمين بالحفاظ على التراث في تخريب المواقع أو الإضرار بها، مما يستدعي تعزيز الوعي الثقافي وفرض إجراءات حماية صارمة. (Westley, et al, 2023)، بالإضافة إلى ذلك، تلعب المخاطر الطبيعية والبيئية دورًا كبيرًا في التدهور، مثل التآكل بفعل الأمطار والرياح والحرارة والتلوث.

تعد مدينة لبدة أحد اهم المواقع الاثرية في ليبيا لكونها تمثل حقبة هامة جدا من التاريخ الليبي حيث كانت عاصمة الدولة الرومانية في حقبة الامبراطور سيبتيموس سيفيروس، وتشتهر لبدة بمدينتها القديمة التي تعود إلى العصرين الأوروبي والبيزنطي، وتضم مسارح ومعابد وقصورًا مهمة، وغيرها من المواقع الاثرية التي تمثل جميع مظاهر الحياة في تلك الحقبة، وقد تأسست مدينة لبدة بواسطة الفينيقيين كمحطة تجارية خلال الألف الأول ق.م، واعتبرت من أهم مدن فينيقيا في ليبيا. يعود أقدم آثارها إلى القرن السادس ق.م، وازدهرت في العصر الروماني، خاصة في عهد الإمبراطور سيبتيموس سيفيروس، تميزت لبدة بموقعها الاستراتيجي وقربها من نهر عين كعام، مما ساهم في عمرانها السريع. على الرغم من انحطاطها في أواخر القرن السادس ق.م، حاول الإغريق تأسيس مستعمرة فيها، لكن القرطاجنيين استولوا عليها وأعادوا عمرانها، ومن أهم آثار المدينة تشمل حمامات هادريان، قوس سيبتيموس سيفيروس، والمسرح. عرفت المدينة في المصادر

التاريخية باسم "لبتس ميجالي" و"لبتس ماجنا"، ويعتقد أن اسمها مشتق من "لبقي" الفينيقي. ازدهرت لبدة في الفترة الرومانية، حيث أصبحت مركزاً حضارياً واقتصادياً. تاريخ المدينة شهد فترات من الازدهار والانحطاط، حيث تأثرت بالاحتلالات المختلفة، بما في ذلك الوندال والبيزنطيين. بحلول الفتح الإسلامي في القرن السابع الميلادي، لم يتبقَ من عمران المدينة سوى بقايا، وفي السنوات الأخيرة، تم اكتشاف آثار جديدة، مثل أرضية موزاييك تعود إلى القرن الأول والثاني الميلادي، مما يعكس الغنى التاريخي والثقافي للمدينة (Shahut, Ahweita,2025) ، ولما لهذه المواقع الاثرية من أهمية فانه يجب اتخاذ تدابير فعّالة لحمايتها من المخاطر التي تتعرض لها، والعديد من هذه التدابير متعارف عليه في الكثير من المواقع الاثرية العالمية، مثل التعاون بين الحكومات والهيئات الأثرية والمجتمعات المحلية لحماية هذا التراث الثقافي المهم، وإجراء عمليات ترميم وصيانة دورية للمباني والمعالم التاريخية، ورفع مستوى الوعي العام بأهمية المدن الأثرية وضرورة حمايتها، وتشجيع السياح على زيارتها بمسؤولية واحترام المواقع الأثرية، وتعزيز الوعي والتثقيف بالقيمة الثقافية والتاريخية لهذه المدن من خلال البرامج التعليمية وورش العمل والندوات.(Hollesen, et al, 2024)، وجل التدابير السابقة هي تدابير عامة للحميات من التعديات البشرية الا انها قد لا تفيد في حماية المدن الأثرية من المخاطر البيئية كالعوامل المناخية والتلوث البيئي، الذي يستوجب إجراءات وتدابير خاصة تبنى على دراسات تقييمية حقيقية لواقع هذه المدن الاثرية ونوع التأثيرات التي تتعرض لها، ومن هنا تظهر أهمية اجراء دراسات ميدانية لاستنباط اهم الاخطار البيئية المحدقة بهذه المواقع ومستوى خطورتها على هذا الإرث الإنساني (Okasha et al., 2022)

يمكن للعوامل البيئية، كالرطوبة والمواد الكيميائية، أن تؤثر سلبًا على المباني والمنشآت الأثرية بمرور الوقت، إذ تُسبب تآكلًا وتدهورًا لموادها، وتعتمد عمليات التجوية الطبيعية على نشؤ ضغط داخلي internal stress بالصخر مسبباً تكسره، وقد يتشقق الصخر بطول مستويات انفصال الى طبقات تختلف كثيراً في شكلها وحجمها حسب طبيعة تركيب الصخر (Kuzmichev et al., 2020)، ومن أهم عمليات التجوية الطبيعية ما يطلق عليه التجوية بالعزل (Megahed, 2020)، وتبلور الأملاح ممن محاليلها داخل الشقوق والفجوات وزيادة حجمها (Saaed et al., 2022)، **وتأثير** اختلاف معاملات التمدد والانكماش لمكونات الصخور، والأملاح المترسبة بشقوق وفجوات ومسام الصخور (Wang et al., 2023) ، تجمد الماء الموجود بشقوق وفجوات ومسام الصخر، والماء البللوري (Abotleb et al., 2019)، وعملية التأدرت الأملاح وزيادة حجمها (Giustetto, 2020)، وخف الحمل أو إزالة الضغط فوق الصخور بتعرية الطبقات السطحية من الصخر، (Markantonis et al., 2023)، التآكل بالاحتكاك عند انزلاق صخر فوق آخر، (Milanesi, et al, 2018)، أثر المد والجزر (Nikolaus et al., 2022)، تكرار تشرب الماء والجفاف (Sarno et al., 2021)، الضغط الميكانيكي لجذور النباتات الممتدة بين شقوق الصخور مسببا إزاحتها من مكانها وتكسرها، (KOPENETZ et al., 2018)، تأثير الحيوانات القارضة والحشرات، (Ruiz et al., 2023)، بالإضافة الى تأثير البراكين والهزات الأرضية والزلازل في إحداث التغييرات المفاجئة مثل تكسير وتحطيم لصخور القشرة الأرضية وتغيير لمعالم الطبيعة.

تتعرض المواقع الأثرية للتلوث البيئي الناتج عن النشاط الصناعي وتلوث الهواء وتلوث المياه، ولا تقتصر آثار تلوث الهواء على الكائنات الحية من إنسان وحيوان وطيور وأسماك، وإنما يمتد هذه التأثيرات أيضاً إلى المباني والآثار والمنشآت، إذ يقلل من عمر المباني ويزيد في معدلات تآكلها كما أنه يرفع من تكلفة صيانتها. كما انه يتسبب في تغير لون الأحجار وتشوهات جمالية للمباني والتماثيل الأثرية (Oliveira et al., 2021)، وتتعرض المدن لتأثيرات الطقس والتغيرات المناخية، كالأمطار الغزيرة والرياح العاتية والعواصف الرملية وتغيرات درجات الحرارة. وقد تُسبب هذه العوامل تآكل المباني والهياكل الأثرية مع مرور الوقت، حيث تؤثر حركة الهواء الرأسية والافقية بشكل كبير على التحكم في انتشار الملوثات ;Ruiz et al., 2023

(Sesana et al., 2021) ويؤثر الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة في التفاعلات الكيميائية للملوثات، حيث تزداد خطورتها مع شدة الإشعاع وانخفاض الحرارة. كما تساهم الرياح المحلية والثبات الجوي في حبس الملوثات، خاصة في المناطق المنخفضة، بينما تعمل الجبهات الهوائية على تبديدها تدريجياً. (Kumar et al., 2021)

هناك العديد من ملوثات الهواء الشائعة في بيئة المدن الحضرية وتعتبر اكاسيد النيتروجين والكبريت من اكثرها شيوعا وتأثيرا على المواقع الاثرية، وتنتج اكاسيد النيتروجين من احتراق الهواء عند درجات حرارة عالية (Alhewaimdei & Okasha, 2019)، وبعض الأنشطة البيولوجية الطبيعية (Westley et al., 2023)، ووسائل النقل (Andreou et al., 2022)، وتبلغ نسبته المنبعثة من مصادر صناعية ثابتة مثل الأفران الصناعية 30% ، أما 70% فتُنسب إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية، وتساهم اكاسيد النيتروجين مع المُركّبات الهيدروكربونية في تكوين الغيوم السوداء في سماء بعض المدن (Gonzále et al., 2022)، وبالإضافة الى اكاسيد النيتروجين توجد أكاسيد الكبريت الملوثة للغلاف الجوي، والتي يعد غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من أهمها على الإطلاق وأكثرها انتشارا في الغلاف الجوي، وهو غاز عديم اللون ذو رائحة قوية، وينجم عن حرق الوقود الأحفوري (Ibrahim et al 2012c & Altae et al., 2022) ، ويعتبر هذا الغاز من أشد ملوثات الهواء خطورة على النظام البيئي، بما فيه كل من الإنسان والحيوان والنبات على حدٍ سواء، والمسبب الرئيسي للمطر ألحامضي، وتساهم المصادر الطبيعية بحوالي 66% من كمية الكبريت الداخلة إلى الهواء الجوي، بينما النشاطات البشرية تساهم بـ 33% من كمية الكبريت (Natarajan et al., 2021)، وتزداد سنوياً بسبب عمليات التطور البشري، وازدياد الطلب على الطاقة، وزيادة تعدين الخامات المعدنية، والتي أغلبها في صورة كبريتيدات، (Raoufifar & Oudbashi, 2023)

وتهدف هذه الدراسة إلى تقييم التهديدات البيئية التي تواجه المواقع الأثرية في مدينة لبدة الكبرى الليبية بسبب الظواهر الطبيعية والعوامل البيئية، من أجل توفير بيانات علمية تساعد في التخطيط البيئي الفعال لصون التراث الثقافي في ليبيا.

2. موقع الدراسة وطريقة العمل:

2.1. موقع الدراسة

تم العمل في هذه الدراسة على مدينة لبدة الأثرية والتي تقع على الساحل الشمالي الغربي لليبيا عند مصب وادي لبده على بعد 3 كيلومترات شرقي مدينة الخمس، التي تبعد 120 كم شرق مدينة طرابلس عاصمة ليبيا، بين دائرتي عرض 35°35'25"N -35°55'84'N وخطي طول 18°15'01"E -18°15'23.13"E ، وتقسم المدينة الاثرية الى عدة مواقع اثرية كما يظهر من الشكل (1).

2.2. طريقة العمل

تعد الجولات الميدانية وعمليات المراقبة المستمرة والتصوير الفوتوغرافي أحد اهم الأدوات المستخدمة في تتبع التغيرات التي تطرأ على المواقع الاثرية بشكل عام بحيث يمكن دراستها في أي وقت فيما بعد، كما انها تسمح بإجراء المقارنات الزمنية عن طريق دراسة مجموعة صور التقطت في أوقات مختلفة لنفس المكان ومعرفة التغير الذي حدث على هذا المكان والتحقق من ظاهرة معينة (Shahut & Ahweita, 2025; POPPEMA et al., 2019; Balakrishnan et al., 2023; Nikolaus et al., 2023)، وبناء عليه اعتمدت هذه الدراسة في تقييم المخاطر البيئية التي تتعرض لها المدينة الاثرية على المنهج الوصفي حيث تم في البداية تجميع المعلومات والوثائق المتاحة عن المواقع الاثرية الهامة في المدينة، ومن ثم قام

الفريق البحثي بعدة جولات تفقدية لكل موقع من المواقع الاثرية داخل المدينة، ومن خلال المشاهدات العينية واخذ الصور الفوتوغرافية ومقارنتها بصور قديمة وبمواقع أخرى وتحليلها تم وصف اهم التأثيرات البيئية السلبية التي تتعرض لها هذه المواقع الاثرية الهامة.

شكل (1): مواقع منطقة الدراسة في مدينة لبدة الأثرية الواقعة في شمال غرب ليبيا. (1=المسرح، 2=السوق، 3=قوس سبتيموس، 4=معبد جوبيتر، 5=ساحة الألعاب، 6=باب اويا، 7=حمامات هدريان، 8=معبد الحوريات، 9=الميدان الجديد، 10 حلبة المصارعة)، كما وجدت في (Okasha, et al, 2022).

3. تقييم المخاطر في مدينة لبدة الأثرية:

3. 1. التجوية الكيميائية

3. 1. 1. التأثير على الصخور

تأثير التلوث على صخور بناء المدينة يتمثل في تآكل الصخور الجيرية والرخام بالدرجة الأولى، وبنسبة قليلة في الأنواع الأخرى من الصخور، ويحدث التآكل تحت تأثير الغازات الحمضية مثل ثاني أكسيد الكبريت، إذ يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت والماء في الهواء مع الصخور الجيرية ($CaCO_3$)، لتُكوّن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4.2H_2O$)، والانهيدرايت (كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$)، وهذه الكبريتات تتحور في الماء مما تُسبب في تآكل كتل البناء والمونة المُستخدمة في تماسك كُتل البناء، وتستطيع كبريتات الكالسيوم أن تتخلل مسامات الصخور الجيرية، وتتبلور من جديد وتتمدد لتُسبب مزيداً من التآكل وتُضعِف الصخور، ويتحول ثاني أكسيد الكربون في وجود الرطوبة إلى حمض كربوني، والذي بدوره يحوّل الصخور الجيرية إلى بيكربونات، والتي تذوب في الماء، وتنجرف بفعل الأمطار، وهذه العمليات الكيميائية تتسبب أيضاً في تآكل التماثيل والأعمدة الرخامية (Bogdan et al., 2022)من المعلوم أن الطوب لا يتأثر بثاني أكسيد الكبريت، ومع ذلك، فإن المواد الرابطة في الطوب التي تتكون من الرمل وكربونات وهيدروكسيد الكالسيوم، وهذه المواد يمكن أن تتفتت بفعل الملوثات الحمضية (Khallaf, 2023)، وبشكل عام فإن مواد الربط الكربوناتية من المحتمل أن تكون أكثر عرضة لاختراق من الحجر الرملي، والإسمنت البورتلاند هو مادة قلوية، وبالتالي فهو عادةً ما يكون عرضة للتأثر بالملوثات الحامضية، ومن خلال المشاهدات الميدانية نلاحظ وجود عملية تآكل الصخور التي تسمى "التجوية الحمضية" أو "التجوية الكيميائية". الحجارة التي تعرضت لهذه العملية تظهر عليها علامات واضحة للتلف والتفتت، كما يظهر في الصورة (شكل 2)، حيث تؤدي العوامل البيئية مثل الأمطار الحمضية، التي تكون غالبًا حمض الكبريتيك وحمض النيتريك، إلى تآكل الصخور والحجارة بطريقة كيميائية. عندما تتفاعل هذه الأحماض مع المعادن الموجودة في الحجارة مثل الكالسيوم والمغنيسيوم، تتكون مركبات جديدة تسبب تآكل الحجر. تتأثر الحجارة بشكل خاص إذا كانت تحتوي على

معادن قلوية مثل الكالسيت (كربونات الكالسيوم)، حيث يتم تحلل هذه المعادن بفعل الأحماض الحمضية لتشكل مركبات جديدة مثل كبريتات الكالسيوم ونترات الكالسيوم. هذا التفكك يؤدي إلى تفتت الحجارة وتلفها مع مرور الزمن. بالإضافة إلى الأمطار الحمضية، يمكن أن تلعب التربة والمواد الكيميائية الأخرى دورًا في تفاقم تآكل الحجارة. هذه العملية تمثل تأثيرًا حقيقيًا على التاريخ الطبيعي للكثير من المعالم الصخرية والمباني التاريخية التي تعرضت لهذه العملية على مر الزمن. (Siegesmund, et al, 2021)

تتعرض مدينة لبدة بسبب وقوعها في منطقة الخمس للعديد من مصادر التلوث التي تنتج الملوثات المختلفة والتي من أهمها اكاسيد النيتروجين واكاسيد الكبريت (Okasha, 2014)، وتعد محطة كهرباء الخمس احد اكبر مصادر انبعاث هذه الغازات في المنطقة المجاورة للمدينة الاثرية (Ibrahim et al ., 2011 & Ibrahim et al., 2012a) ، بالإضافة الى وجود مصانع الاسمنت التي ينتج عن حرق الخامات والوقود المستخدم فيها كميات من انبعاثات الغازات الملوثة (Okasha, 2012; Ibrahim et al., 2012b & Okasha et al., 2013)، ومن خلال المشاهدات العينية (شكل 2) لوحظ ان تأثير هذه الملوثات على الحجارة الأثرية متكرر بكل كبير في مدينة لبدة.

وفي بعض الأحيان لا تتأكل الصخور بنفس المعدلات كما يظهر على سبيل المثال في الشكل رقم (3) الذي نلاحظ فيه اختلاف في حجم التأثير من صخرة لأخرى وهذا الاختلاف يمكن ان ينتج عن عدة عوامل محتملة كاختلاف التركيب الكيميائي للصخور، أو تعرض هذه الصخور (محتمل قبل استخدامها في الترميم) لعوامل بيئية محددة بشكل أكثر تركيزاً، وقد لوحظت تأثيرات مماثلة لما تم العثور عليه في المكونات الرخامية لمدينة لبدة الاثرية في الكثير من الواقع الاثرية العالمية ومنها على سبيل المثال ما يسمى بهو الاستقلال في فيلادلفيا، وتمثال الحرية بأمريكا، ونصب واشنطن التذكاري وهو عبارة عن مسلة من الجرانيت مكسوة بالرخام، والرخام يتأثر بشدة بملوثات الهواء ذات الطابع الحمضي (أكاسيد الكبريت والنيتروجين)، وخاصةً في وجود معدلات عالية من الرطوبة الجوية أو كميات كبيرة من المطر (Cirrincione et al., 2021) .

شكل 2: بعض الصور تبين تأثير التجوية الكيميائية على صخور مدينة لبدة

شكل 3: صورة تبين اختلاف معدلات تآكل وتلف الصخور في الجدران والمواقع الاثرية

3. 1. 2. التأثيرعلى المعادن

يعتمد معدل صدأ المعادن بشكل كبير على معدلات الرطوبة والأمطار ونوع الملوث ودرجة الحرارة، ويعد تلوث الهواء أحد اهم هذه العوامل، فهو يتسبب في تسريع صدأ وتآكل المعادن وتغير خصائصها الميكانيكية والكهربائية, فمثلاً يتسبب أكسيد الكبريت في صدأ طبقة الزنك المستخدمة في جلفنة الحديد وطبقة الحماية من الصدأ، حيث ان تآكل الطبقة الخارجية للمعادن عموماً يعتبر عملية كهروكيميائية تزداد نشاطيتها عند التعرض للملوثات، ويسبب غاز ثاني أكسيد الكبريت معظم الضرر على المعادن، والكلوريدات أيضاً تلعب دوراً هاماً في عملية التآكل بينما لم يتم تأكيد دور أكاسيد النيتروجين في تآكل المعادن (Siegesmund et al., 2021).

وتشمل اهم الآثار المشاهدة لتأثير العوامل البيئية والتلوث على المدينة الاثرية تعزيز تآكل أسياخ الحديد الصلب الداخلة في تكوين الخرسانة وتثبيت الاعمدة والتماثيل الاثرية، حيث لوحظ بكثرة تآكل حديد التسليح الداعم للمكونات الاثرية (شكل 4)، كما لوحظ ان هناك بعض الملوثات الحمضية التي تؤثر على اسطح التماثيل المعدنية مسببة تآكلها، وهذه التأثيرات التي تمت ملاحظتها في مدينة لبدة يمكن مشاهدتها كذلك في كثير من العواصم والمدن التي تعرضت إلى تلوث الهواء، ففي لندن على سبيل المثال لوحظ تفتت بعض أحجار برج لندن، وكنيسة "وستمنسترآبي (Kapsomenakis et al., 2022)، وللحد من التجوية الكيميائية الناتجة عن التلوث البيئي وتأثيرها على المدينة الاثرية ومكوناتها الهامة يجب العمل على وقف التلوث من مصادره الرئيسية وهناك العديد من التقنيات التي يمكن استخدامها محليا لوقف هذا التدهور الناتج عن التلوث من المصدر مثل استخدام تقنيات معالجة الملوثات قبل انبعاثها للبيئة كالإمتزاز على حشوات خاصة (Ibrahim et al., 2016; Ibrahim & Okasha, 2023)، او عن طريق تنمية الغطاء النباتي الطبيعي حول المنطقة الصناعية التي تنتج عنها الملوثات (Okasha, 2017).

شكل 4: صورتين تبين تأثر المكونات المعدنية داخل المدينة الاثرية بالعوامل البيئية

3. 1. 3. التأثير على الدهانات

الدهانات هي مزيج معقد من البوليمرات والمواد الملونة وغيرها من المواد المضافة ويمكن أن يحدث تلف للطلاء والمواد البوليميرية من ترسب المواد الحمضية عليها ومن المؤكسدات الكيميائية الضوئية، وتشمل الآثار المحتملة فقدان اللمعان وتآكل الأسطح البوليميرية، وفقدان التصاق الطلاء والتفاعل مع الأصباغ الحساسة ومواد الحشو مثل كربونات الكالسيوم، مسببة التقصف والتكسير وخاصة في المواد المرنة (شكل 5)، ويتركز التأثير المباشر للملوثات الحمضية على الأصباغ، والحشو الموجود في الطلاء يكمن في تسريع تآكلها ويكون الأثر الأكبر لغاز ثاني أكسيد الكبريت على مواد الحشو

في الدهانات ككربونات الكالسيوم، بينما أكاسيد النيتروجين ليس لها سوى تأثير بسيط على الدهانات (Kumar et al., 2021).

شكل 5: صورة تبين تأثر الألوان والصبغات الخاصة بالفسيفساء والنقوش الاثرية بالعوامل البيئية

3. 2. تأثير الكائنات الحية

يمكن للكائنات الحية كالنباتات والحيوانات أن تؤثر على المدن القديمة، عندما تنمو النباتات على المباني وتُسبب أضرارًا. علاوة على ذلك، يمكن لبعض الحيوانات، مثل الطيور أو الحشرات، أن تُلحق أضرارًا جسيمة بالتماثيل والنصب التذكارية، وتؤثر النباتات وبعض الحشرات والكائنات الحية الدقيقة التي تنمو تحت ظروف مناخية مختلفة في الصخور المتواجدة في منطقة الدراسة، وينتج عن نمو وتحليل النباتات مواد عضوية متحللة، وتحدث هذه التغيرات من خلال الأنشطة الحيوية، والتي تتفاعل فيها نواتج التجوية الكيميائية للصخر مع ما يضاف إليه من مواد عضوية ويطلق على هذه التجوية تجوية حيوية، وهذا توضيح بسيط لأهم العوامل.

3. 2. 1. تأثير النباتات

للنباتات دور مهم في عمليات التجوية بمختلف أنواعها، حيث تشارك في التجوية الفيزيائية عن طريق الجذور، والسوق ، والجذوع، وشوهد في بعض المواقع في مدينة لبدة ان النباتات التي تنمو طبيعياً في مناطق غير متوقع تؤدي الى تهشيم المباني، كما هو واضح من الصور في (شكل 6)، وما لم يتم اتخاذ التدابير اللازمة حيال الحد من نموها فإنها سوف تكون أحد عوامل التفتت، وعندما تموت هذه النباتات فإنها تتحلل تاركة وراءها بعض المواد العضوية التي يمكنها التفاعل مع المعادن والصخور التي سبق وان نمت حولها ، وبذلك تكون قد هيئة بيئة جديدة للنمو النباتي لاحقاً (Seila & Selim, 2023). وتشير بعض الدراسات الى ان تراكم المواد العضوية مثل الأوراق والأشجار الصغيرة والأمور الأخرى التي تتراكم حول الحجارة، مما يؤثر على مظهرها ويغير الشكل الأصلي للمعالم الاثرية. (Sesana et al., 2021)، كما أن تأثير النباتات ونواتج تحللها مع الجسيمات المعدنية للصخور المجواة يسبب إحداث تغير في التجوية الكيميائية (Rovella et al., 2020).

شكل 6: صورتين تبين ظاهرة تأثير النباتات عن طريق الجذور، والسوق، والجذوع على الصخور

3. 2. 2. تأثير الكائنات الحيو انية

تؤثر العديد من الكائنات الحيوانية مثل القوارض والطيور والحشرات بشكل كبير على المدن الحضرية وخاصة منها المدن الأثرية، فعلى سبيل المثال تتسبب فضلات الطيور والحيوانات الديدان والنمل تعمل على عمل فجوات في الصخور مما يجعلها عرضه أكبر للتجوية (شكل 7) ، خاصة في الصخور التي تستطيع الحفر فيها، ويساعد على تهيئة المناخ للعوامل الأخرى للتجوية، والتي تقوم بدورها في تفتيت الصخور وانهيارها، بخاصة في المناطق التي تنتشر فيها الأطيان كما هو الحال في الأرضيات، وكذلك بعض الحشرات الطائرة تبني مساكنها من نفس المادة الصخرية التي تعيش عليها، فإنها تعمل أيضا على تجوية المناطق الأثرية (Seila & Selim, 2023) .

شكل 7: صورة تبين ظاهرة تأثير القوارض والحشرات عن طريق عمل فجوات في الصخور

3. 2. 3. الطحالب والأشنات وغيرها

الطحالب والأشنات والحزازيات هي أيضا من العوامل الحيوية التي تمت ملاحظة تأثيرها في أكثر من موقع في المدينة الاثرية (شكل 8)، وهذه الكائنات تنمو نتيجة توفر الرطوبة العالية ومياه الأمطار، وبعد موتها وتفسخها، تترك بقع على جدران المعالم الأثرية، والتي تعمل على تشوه المعالم الأثرية وخرابها (Ravan et al., 2023).

شكل 8: صورة تبين ظاهرة تأثير الطحالب والأشنات والحزازيات على المعالم الأثرية

3. 3. التجوية الفيزيائية

3. 3. 1. التعرية

تشير التعرية إلى العمليات الطبيعية التي تؤدي إلى تآكل الصخور والحجارة على مر الزمن، وهذه العملية يمكن أن تكون نتيجة التعرض المستمر لهذه الحجارة لبعض العوامل البيئية مثل الرياح، الأمطار، والتغيرات الحرارية (Kumar et al., 2021)، وقد لوحظت هذه التأثيرات في العديد من المواقع كما يظهر في الصورة بـ (شكل 9).

شكل 9: صورتين تبين ظاهرة التعرية في بعض الصخور تحت تأثير العوامل البيئية

3. 3. 2. التكسر

تكسر أجزاء من التماثيل الأثرية مثل الأنوف يمكن أن يكون ناتجًا عن عدة عوامل منها التعرض المستمر لعوامل البيئة الخارجية مثل التغيرات الجوية والرياح والأمطار يمكن أن يسبب تآكلاً وتقشراً في الجزء العلوي من التمثال بمرور الزمن هذا يمكن أن يؤدي في النهاية إلى تكسر الأجزاء الدقيقة مثل الأنف، والتغيرات الحرارية أو التباينات الحرارية الشديدة بين

النهار والليل يمكن أن تسبب تمدداً وانكماشاً في الحجر، مما يمكن أن يؤدي أيضًا إلى تشقق وتكسر الأجزاء الدقيقة، والاهمال والتقادم قد تكون التماثيل الأثرية تعرضت للتقادم بسبب عوامل مختلفة مثل الاهمال، التلوث، التخريب، كما هو واضح من الصورة بـ (شكل 10) هذا يمكن أن يجعل الحجر أقل قوة وأكثر عرضة للتكسر. (Spezzano et al., 2021)

شكل 10: صورتين تبين ظاهرة تكسر أجزاء من التماثيل الأثرية

3. 3. 3. التقشر

يتضح من الصورة الموجود في (شكل 11) حدوث عملية تقشر في المدينة الاثرية، والتقشر هو عملية تدهور تؤدي إلى انفصال الطبقات الخارجية للعمود الأثري، وهذا التأثير يمكن أن يحدث نتيجة للتعرض المتكرر للرطوبة والأمطار والتغيرات الحرارية اليومية عندما تتسرب المياه داخل المسامات الصخرية في الحجر، ثم تتجمد وتتمدد وتنكمش مع التغييرات في درجات الحرارة، يمكن أن تسبب قوة التمدد والانكماش تشقق الطبقات الخارجية للحجر، مما يؤدي في النهاية إلى التقشر وتفاعل بعض المواد الكيميائية الموجودة في الحجر مع العوامل البيئية مثل الأمطار الحمضية يمكن أن يسهم في تفتت الحجر وتقشره أيضاً (Kapsomenakis et al., 2022) .

شكل 11: صورتين تبين ظاهرة تقشر عن طريق التعرض المتكرر للتغيرات الحرارية

3. 3. 4. التشقق

التشقق يحدث عندما تتعرض اللوحة الرخامية لضغوط ميكانيكية تفوق قدرتها على تحملها هذه الضغوط كالمبين في الصورة بـ (شكل 12)، ويمكن أن ينجم هذا التشقق عن تغييرات في درجات الحرارة، الرطوبة، التمدد والانكماش، أو التأثيرات الخارجية مثل الصدمات الميكانيكية، وأيضاً التعرض لظروف بيئية قاسية مثل التغيرات الجوية المفاجئة والرطوبة العالية يمكن أن يسهم في تكسر وتشقق الرخام. على سبيل المثال، عندما تتعرض اللوحة للماء وتتجمد المياه داخل المسام، يحدث تمدد يمكن أن يسبب تكسر الرخام (Siegesmund et al., 2021)، والتأثير الناتج عن تفاعل المواد الكيميائية مع الرخام يمكن أن يؤدي إلى تدهوره وتكسره. على سبيل المثال، التعرض للأمطار الحمضية يمكن أن يسبب

تآكل الرخام وضعفه، مما يزيد من احتمالية التكسر. التشققات التي تظهر على العمود الأثري، يمكن تفسيرها علميًا بأن سببه التخلخل الحراري (Thermal Stress)، حيث تواجه الأحجار التاريخية تغيرات حرارية يومية، حيث يتعرض العمود الأثري لتأثير ارتفاع درجة الحرارة خلال النهار وانخفاضها ليلاً. هذه التغييرات الحرارية المفاجئة يمكن أن تؤدي إلى تمدد وانكماش الحجر بشكل غير متجانس، مما يسبب في نهاية المطاف تشكل التشققات.

شكل 12: صورتين تبين ظاهرة تشقق عن طريق التعرض لبعض الضغوط الميكانيكية أو التخلخل الحراري

3. 3. 5. البري والنحت الصخري

الرياح القوية التي تحمل الرمال والأتربة ثم ترتطم بالحجارة تتسبب في حدوث عمليات نحت وبري للصخور والاعمدة كما يظهر في الحالة الموجودة بالصورة في (شكل 13)، وهذا النحت يسرع في تآكل سطحها بمرور الوقت والرياح القوية يمكن أن تسبب تشكيلًا طبيعيًا للحجارة عبر عملية التآكل والتجوية. (González et al., 2022)

شكل 13: صورة تبين ظاهرة البري والنحت الصخري عن طريق الرياح القوية والرمال

3. 4. التجوية الميكانيكية (عمليات الردم والنحر)

يمكن بسهولة ملاحظة تأثيرات التجوية الميكانيكية على المدينة الاثرية في المناطق المعرضة لتأثير طاقة الأمواج، حيث يمكن أن تكون عاملاً مؤثراً في تآكل الحجارة الأثرية خاصة إذا كانت تقع بالقرب من مياه البحر كما يلاحظ من الصورة رقم (14)، حيث ان تأثير الأمواج يمكن أن يزيد من تعرض سطح الحجارة للتآكل نتيجة الاحتكاك الميكانيكي بسبب حركة الأمواج وارتطامها بالحجارة يمكن أن يسبب احتكاكاً ميكانيكياً يؤدي إلى تآكل الحجارة وتشققها بمرور الوقت، كما تشير الدراسات الى ان تأثير الأمواج والرذاذ الناتج عنها يمكن أن يزيد من تعرض الحجارة للرطوبة، مما يؤدي إلى تآكلها بشكل أسرع (Raoufifar & Oudbashi, 2023).

عمليتا الردم والنحر تلعبان دورًا هامًا في تأثير الحجارة الأثرية الموجودة على البحر. عملية الردم تشمل تنحيت الحجر بخطوط عميقة أو نقاط لإنشاء تفاصيل دقيقة على الحجر عندما تكون المدينة الأثرية موجودة على البحر تكون معرضة للردم بسبب تأثير الأمواج والرطوبة، وبذلك يمكن أن يحدث تآكل كيميائي وميكانيكي على الحجارة. وبالتالي فإن المياه البحرية ذات الملوحة العالية يمكن أن تسبب تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تآكل الحجر بشكل تدريجي. وبالنسبة لعملية النحر تتضمن تنحيت الحجر بشكل عميق ودقيق لإنشاء تشكيلات وأشكال معقدة. (Elatrash, 2006 & Alhilo et al., 2020)، ويظهر في الصور الموجودة في (شكل 14) تأثير عمليات الردم المستمر على معالم المدينة الاثرية، ويمكن تفسير الردم برمال البحر على أنه نوع من التأثيرات الناتجة عن تأثيرات البيئة البحرية والعوامل البيئية المميزة للمناطق الساحلية. تتأثر الحجارة الأثرية التي توجد بالقرب من الشواطئ بمجموعة من العوامل التي يمكن أن تؤدي إلى تراكم رمال البحر عليها. تتعدد العوامل التي تؤدي إلى ردم الحجارة الأثرية برمال البحر، حيث يساهم المد والجزر في نقل الرمال من قاع البحر وترسيبها على الحجارة الساحلية، بينما تعمل الرياح البحرية القوية على حمل الرمال ونثرها فوق الأسطح الأثرية. كما تلعب التيارات البحرية دوراً مهماً في نقل الرواسب الرملية وتراكمها حول الحجارة، بالإضافة إلى تأثير العوامل الجوية الأخرى مثل الأمطار الغزيرة والثلوج والعواصف التي تزيد من معدل تراكم الرمال وتسرع عملية الردم. تراكم رمال البحر على المواقع الأثرية يمكن أن يكون عملية طبيعية تستغرق وقتًا طويلًا وقد يؤدي إلى تغيير شكلها الأصلي ويمكن أن يؤثر على جمالها وقيمتها الأثرية.(Abdel Galil, 2007 and Wang et al., 2023)

شكل 14: صور تبين ظاهرة الردم بالرسوبيات البحرية في إخفاء المعالم الأثرية

4. الخلاصة والتوصيات:

مما سبق نستنتج ان مدينة لبدة الأثرية بصفتها احد اهم المعالم الاثرية في ليبيا، تتعرض الى العديد من المخاطر البيئية التي تهدد بقاءها واستمرارها كإرث انساني وان هذه المخاطر البيئية تتنوع بين مخاطر طبيعية لا يمكن التخلص منها او وقفها كتأثير البراكين والامواج والمد والجزر، ومخاطر طبيعية يمكن الحد من تأثيرها باستخدام بعض التقنيات المتطورة مثل تأثير الرياح والكائنات الحية وبعض المخاطر الناتجة عن تأثير العامل البشري والتي يعتبر التلوث من أهمها ويجب العمل على الحد منها من المصادر، كما لوحظ من المشاهدات الميدانية وجود تداخل بين العديد من التأثيرات على صخور ومكونات المدينة الاثرية، ولحماية هذه المدينة العريقة، يجب اتباع استراتيجيات متكاملة تشمل الحفظ، والصيانة، والتوعية، والإدارة المستدامة أهم الطرق لحماية مدينة لبدة الأثرية الصيانة والترميم الدوري ترميم الآثار المتضررة بسبب العوامل الطبيعية (التعرية، الأمطار، الرطوبة) أو البشرية (التخريب، التعديات). استخدام تقنيات علمية متطورة في الترميم للحفاظ على المواد الأصلية قدر الإمكان. حماية الفسيفساء والجداريات بتغطيتها أو نقل القطع الهشة إلى متاحف، التحكم في العوامل البيئية ومكافحة التصحر وزحف الرمال بزراعة الأشجار حول الموقع وإنشاء حواجز طبيعية. تنظيم إدارة المياه لمنع تآكل الأساسات الأثرية، الحد من التلوث الناتج عن الأنشطة الصناعية أو البشرية القريبة، ولضمان الوصول الى افضل النتائج يجب اجراء دراسة شاملة ومستفيضة وتجميع عينات من الصخور المتعرضة لهذه العوامل للوقوف على السبب الرئيسي في تلفها ووضع توصيات الحماية اللازمة.

المصادروالمراجع:

Abdel Galil, H. Abu Arabia, M. Elatrash and A. Y. Okasha, (2007) assessment of sand transported by wind along the ancient Libda city beach and its impact on the ancient constructions, *The 2nd Basic Sciences Conference*, 4-8/11/2007, Al-Fateh University, Tripoli, Libya

Abotleb Thanaa Ali Ali, Asmaa M. El-Mekawy; (2019) An Applied Study of the Effect of Air Pollution on Non-Environmentally Friendly Colors of Archaeological Oil Paintings in The Vicinity of the Nubia Museum in Aswan; *International Journal of Advanced Science and Technology*; 28, No. 16, pp. 747 – 762

Alhewaimdei Suliman O. and Aly Y. Okasha, (2019) Effect of sulphur dioxide emissions from Mellitah Gas Plant on air quality of nearest cities, Journal of Marine Science and Environmental Technologies (JMSET), 5(1).

ALhilo E A, S A Kuba, A F Dirweesh; (2020) Nanotechnology use to preserve the durability of archaeological brick buildings in Al-Najaf city; 4th International Conference on Engineering Sciences (ICES)

Andreou Georgia M, Julia Nikolaus, Kieran Westley, Crystalel Safadi, Lucy Blue, Ash Smith, Colin Breen; (2022) Big Data in Maritime Archaeology: Challenges and Prospects from the Middle East and North Africa; JOURNAL OF FIELD ARCHAEOLOGY; 47(3), 131–148

Artesani Alessia, Francesca Di Turo, Margherita Zucchelli, Arianna Traviglia; (2020) Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage–An Overview; Coatings,10, 217

Balakrishnan Perumal, Ammar Abulibdeh, Tahsin Abul Kasem Kabir; (2023) Assessment of the Impact of Anthropogenic Evolution and Natural Processes on Shoreline Dynamics Using Multi-Temporal Satellite Images and Statistical Analysis; Water, 15, 1440

Bogdan Alexandru, Dorina Chambre, Dana Maria Copolovici, Tudor Bungau, Constantin C. Bungau, Lucian Copolovici; (2022) Heritage Building Preservation in the Process of Sustainable Urban Development: The Case of Brasov Medieval City, Romania; Sustainability,14, 6959

Cirrincione Laura, Patrizia Ferrante, Maria La Gennusa, Giorgia Peri, Gianfranco Rizzo, Gianluca Scaccianoce; (2021) Visually *niversity for Natural Science, 26*, 85–100.

Okasha, A. Y. (2014). Main industry stack emissions dispersion over Khums City in North-Western Libya. *Journal of Environment and Human, 1*(10), 635–641.

Okasha, A. Y. (2017). The effect of vegetation cover to mitigation of pollutant emissions from industrial sources in the Khoms Region, Northwest Libya. *Jordan Journal of Agricultural Sciences, 13*(2), 275–285.

Okasha, A. Y., Diab, N., Abu-Arabia, H., & Elatrash, M. (2022). Effect of Khoms power station stack emission impact on the ancient city of Leptis Magna, Libya. *An-Najah University Journal for Research - A (Natural Sciences), 36*(1), 1–20.

Okasha, A. Y., Hadia, E. A., & Elatrash, M. S. (2013). Ecological effect of Mergheb Cement emissions on the vegetation in the Northwest Libya. *International Journal of Sciences, 2*(9), 34–40.

Oliveira, M. L. S., Neckel, A., Pinto, D., Maculan, L. S., Dotto, G. L., & Silva, L. F. O. (2021). The impact of air pollutants on the degradation of two historic buildings in Bordeaux, France. *Journal of Cleaner Production, 328*, 129554. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129554

Poppema, D. W., Wijnberg, K. M., Mulder, J. P. M., & Hulscher, S. J. M. H. (2019). Scale experiments on aeolian deposition and erosion patterns created by buildings on the beach. In *Coastal Sediments 2019* (pp. 1693–1707). World Scientific. https://doi.org/10.1142/9789811204487_0147

Raoufifar, M., & Oudbashi, O. (2023). Atmospheric corrosion in the metal pool of Ali Qapu palace in Isfahan: An experimental study. *Heritage Science, 11*, 138. https://doi.org/10.1186/s40494-023-00985-6

Ravan, M., Revez, M. J., Pinto, I. V., Brum, P., & Birkmann, J. (2023). A vulnerability assessment framework for cultural heritage sites: The case of the Roman Ruins of Tróia. *International Journal of Disaster Risk Science, 14*, 26–40. https://doi.org/10.1007/s13753-022-00469-4

Rovella, N., Aly, N., Comite, V., Randazzo, L., Fermo, P., Barca, D., Alvarez de Buergo, M., & La Russa, M. F. (2021). The environmental impact of air pollution on the built heritage of Historic Cairo (Egypt). *Science of the Total Environment, 764*, 142905. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142905

Ruiz, R., Alonso-Guzman, E. M., Martinez-Molina, W., Chavez-Garcia, H. L., Arreola-Sanchez, M., Borrego-Perez, J. A., Navarrete-Seras, M. A., Velazquez-Perez, J. A., & Morales-Rosales, L. A. (2023). Environmental decay of ignimbrite patrimonial monuments in the dry, urban, and non-industrial atmosphere of Morelia (México). *Heritage, 6*(4), 3137–3158. https://doi.org/10.3390/heritage6040167

Saaed, M. W. B., Ali, A. B., El-Barasi, Y. M., & Rahil, R. O. (2022). Potential and perspectives for establishing protected areas in El-Jabal El-Akhdar region, northeast Libya; an overview and example from 'El-Abyar area. *Journal of Degraded and Mining Lands Management, 9*(3), 3453–3464. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3453

Seila, F., & Selim, G. (2023, June 14-15). *Libya's cultural heritage sites at risk: Problems, challenges and risks after the 2011 revolution* [Conference presentation]. 6th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA-2023), Istanbul, Turkey.

Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J., & Hughes, J. J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change, 12*(4), e710. https://doi.org/10.1002/wcc.710

Shahut, A. M. A., & Nsr, A. A. F. O. (2025). The impact of human factor on the damage and loss of the archaeological monuments of the city of Leptis Magna. *Journal of Academic Research (Humanities), 29*, 103–125.

Siegesmund, S., Menningen, J., & Shushakova, V. (2021). Marble decay: Towards a measure of marble degradation based on ultrasonic wave velocities and thermal expansion data. *Environmental Earth Sciences, 80*, 395. https://doi.org/10.1007/s12665-021-09676-6

Sorrentino, B., Screpanti, A., & De Marco, A. (2024). Corrosion on cultural heritage buildings in Jordan in current situation and in future climate scenarios. *Scientific Reports, 14*, 25373. https://doi.org/10.1038/s41598-024-77195-y

Spezzano, P. (2021). Mapping the susceptibility of UNESCO World Cultural Heritage sites in Europe to ambient (outdoor) air pollution. *Science of the Total Environment, 754*, 142345. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142345

Wang, J., Du, M., & Shan, X. (2023). Effect of marine Streptomyces on corrosion behavior of X65 steel in simulated offshore oilfield produced water system. *Journal of Materials Research and Technology, 24*, 7925–7937. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.043

Westley, K., Nikolaus, J., Emrage, A., Flemming, N., & Cooper, A. (2023). The impact of coastal erosion on the archaeology of the Cyrenaican coast of Eastern Libya. *PLOS ONE, 18*(4), e0283703. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283703

Westley, K., Andreou, G., El Safadi, C., Huigens, H. O., Nikolaus, J., Ortiz-Vazquez, R., Ray, N., Smith, A., Tews, S., Blue, L., & Breen, C. (2023). Climate change and coastal archaeology in the Middle East and North Africa: Assessing past impacts and future threats. *The Journal of*

Island and Coastal Archaeology, 18(2), 251–283. https://doi.org/10.1080/15564894.2021.1955778

Monitoring Environmental Risks and Their Impacts on Archaeological Sites in The City of Leptis Magna, Northwest Libya

Sulayman Alhuweemdi[1], Abodsalm M. Almtnani[2], Elhadi Abogrean[3], Aly Okasha[4]

[1]Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of elmergib, Libya

[2]Department of Environmental Sciences, Faculty of Environment and Natural Resources, Wadi Alshatti University, Libya

[3]Director General of the Libyan Climate Change Research Center, Libya

[4]Faculty of Sciences, Alasmariya University, and the Libyan Center for Sustainable Development Research

Abstract

This study aimed to evaluate the effectiveness of large-scale impact surveys in the city of Leptis Magna using multiple techniques, such as time-lapse photography and daily surveys, to manage the identification of reliable, culturally relevant sites. The study focused on analyzing the interaction between the environment and urban heritage, relying on accurate data collected over a specific period of time, allowing for long-term monitoring of their impact. It concluded that these surveys were able to understand the environmental context of archaeological sites, with imaging techniques contributing to the planning of potential situations and impacts. The recent study also emphasized the importance of integrating elements into sustainable urban planning, particularly in the face of challenges such as urban expansion, pollution, and climate change, which may affect the integrity of archaeological sites through focusing on issues such as erosion or multi-cultural diversity. While the technical study did not specify the scope of the study or the impact of all long-term adverse effects, it highlighted the need for multi-disciplinary collaboration to balance development directly with heritage. The study was selected based on the fact that advanced surveys provide effective tools for monitoring many small issues It did, however, recommend that more research be considered in order to examine the benefits of identifying archaeological sites in greater detail.

Keywords: air pollution; AlKhums; archaeological sites; climate factors; environmental impacts; Leptis Magna