

تقييم أضرار التجوية الفيزيائية على صخور مواد بناء مدينة صبراتة الأثرية، شمال غرب ليبيا

اسماعيل الفرجاني الشوشان¹، الصادق بشير أخميرة²، هيثم عبد الأمير مينا³^{2,1} جامعة المرقب، كلية العلوم-الخمس، قسم علوم الأرض والبيئة، elforjismail@yahoo.com³ جامعة المرقب، كلية العلوم-الخمس، قسم علوم الأرض والبيئة (سابقا)،

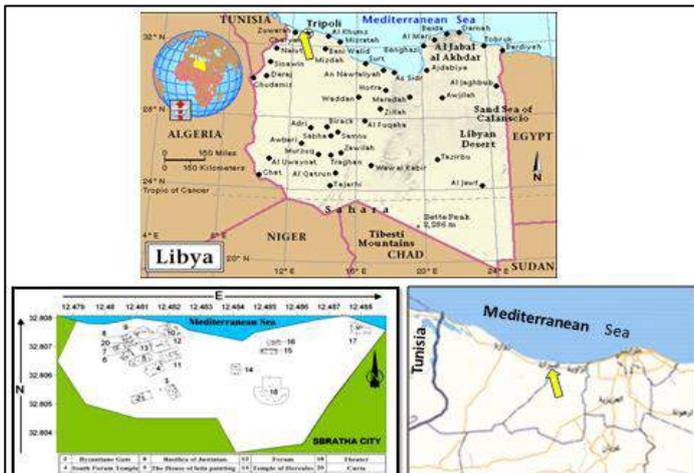
Abstract الخلاصة

تعتبر الجيولوجيا الأثرية أحد الطرق الهامة والتي من خلالها يتم دراسة وتقييم أثر أضرار أشكال مجموعات التجوية المختلفة على المباني الأثرية والقديمة وفقا لدراسات (Fitzner et. al., 2002, 2004). أظهرت نتائج تقييم أضرار التجوية الفيزيائية لمجموعة "فقدان مادة الصخر" (Loss of stone material group) على مباني مدينة صبراتة الأثرية اختلاف وتباين من حيث درجة شدة ضرر أشكال التجوية التابعة لهذه المجموعة والتي أدت الى تلف مواد بناء المدينة وكذلك من حيث طريقة انتشار هذه الأضرار المختلفة في أنحاء المدينة. فمن خلال التجوية التراجعية أو الخلفية "Back weathering form"، أكدت الملاحظات الحقلية والخرائط العملية الى وجود تأثير كبير وفعال لعدد (4) أشكال من التجوية المؤثرة "Individual weathering form" على معظم مباني المدينة والتي وصلت درجة شدة ضررها من الشديدة الى الشديدة جدا (Severe Damage) - 4 درجات الى Very Severe Damage (5 درجات). ومن خلال التجوية بالحسارة والفقدان "Break out weathering form"، أكدت الملاحظات الحقلية والخرائط العملية وجود تأثير كبير وفعال لعدد (3) أشكال من التجوية المؤثرة على معظم مباني المدينة الأثرية وصلت درجة شدة ضررها من الشديدة الى الشديدة جدا أيضا. أما من خلال التجوية التشكيلية أو التضاريسية "Relief weathering form"، أكدت الملاحظات الحقلية والخرائط العملية وجود تأثير كبير (2) من أشكال التجوية المؤثرة على معظم مباني مدينة صبراتة الأثرية وصلت درجة شدة ضررها اجمالا من الشديدة الى الشديدة جدا في أحدها، والآخرى كانت معتدلة (Moderate Damage 3 درجات). يجدر بالذكر أن أشكال التجوية المؤثرة الأخرى كان لها درجات شدة ضرر أقل من معتدلة (أقل من 3 درجات) وقد تصل الى أضرار غير ملحوظة "No-visible Damage - 0 درجة) وذات انتشار محدود جدا في معظم الأحيان. ومن خلال حوصلة تقديرات درجة شدة أضرار أشكال التجوية السابقة والمحورة في صورة دليل التجوية والتدهور الخطي "Linear deterioration index" ودليل التجوية والتدهور التقدمي "Progressive deterioration index"، أكدت هذه الدلائل تضرر معظم مباني مدينة صبراتة الأثرية وبشكل كبير حيث بلغت خطورة هذه الأضرار درجات شديدة وشديدة جدا ومعتلة أحيانا. واستنادا الى ما تم التوصل اليه من نتائج واستنتاجات فيما يخص ما ذكر من أضرار (وخاصة البالغة منها)، تم رفع توصية الى جهات الاختصاص لحماية مباني مدينة صبراتة التي تتعرض للتلف والانحيار المستمر مع عدم اهمال تلك الأضرار التي لم تبلغ درجة شدة ضررها الدرجة البليغة (الشديدة والشديد جدا).

المقدمة Introduction:

تعتبر عملية تقييم أضرار تجوية الكتل الصخرية المستخدمة كمواد بناء في المباني الأثرية وليدة تظافر علمي الآثار والجيولوجيا اللذان أنتجا علم جديد أطلق عليه في العقود الأخيرة اسم (الجيواآركيولوجي أو الجيولوجيا الآثارية - Geoarchaeology) حيث اعتبره (Rapp & Hill, 1998) من الطرق المفيدة جدا في تقييم أضرار التجوية وتحديد مصادر تلك الكتل الصخرية المستخدمة في إنشاء المدن الأثرية. وتجدر الإشارة إلى أن الكتل الصخرية المستخدمة في تشييد المباني الأثرية عبارة عن صخور تم تهيئتها في محاجر مختارة ومنتقاة بأبعاد محددة لغرض استخدامها في تشييد المباني، مع الأخذ بعين الاعتبار مقاومتها لظروف التجوية وجمالية مظهرها لاستخدامها لاحقا في الأبنية الصخرية (Flugel,2004) كما هو الحال مع مدينة صبراتة الأثرية المطلة على الشاطئي.

تقع مدينة صبراتة على الساحل الشمالي الغربي لليبييا على بعد 67 كم غرب مدينة طرابلس الغرب وتحدد بخط عرض وطول كالتالي: خط عرض = 32° 48'05.59" (شمالا) و خط طول = 12° 29'02.60" (شرقا) (www.marefa.org) (ar.wikipedia.org/wiki) (شكل-1).



شكل (1) موقع منطقة الدراسة ومواقع المباني المختارة للدراسة بالمدينة الأثرية.

(Google maps)، (ar.wikipedia.org/wiki).

تهدف الدراسة الحالية الى تقييم أضرار التجوية الفيزيائية الناتجة بفعل فقدان مادة الصخر وهي أحد الطرق التي تؤدي الى تفتيت وتكسر كتل أحجار البناء لمدينة صبراتة والتي قد تعمل على انجهاها مع مرور الزمن. من خلال هذا العمل سوف يتم التركيز على تصنيف أضرار هذا النوع المذكور من أنواع التجوية الفيزيائية وتحديد أماكنها بداخل المدينة وتبين شدة ضرر كل صنف منها على كتل مواد البناء. كما

يتطلب من خلال هذا العمل تخريط شدة هذه الأضرار ومن ثم تقدير دليل التدهور الخطي والتقدمي لهذه الأضرار.

طرق الدراسة Methodology:

- 1- تخريط المواقع الأثرية المختارة باستخدام جهاز تحديد المواقع (GPS - Global Position System)،
- 2- تقدير شدة أضرار التجوية الفيزيائية لهذا النوع من التجوية بالمدينة الأثرية وتقدير النسبة المئوية لكل ضرر وفق رتب (Fitzner, 2002).
- 3- حساب وحوصلة دليل التدهور الخطي والتقدمي لهذا النوع من التجوية وفق (Fitzner, 2002, 2004).

التتابع الطبقي (الاستراتيجرافي) Stratigraphic Column:

تخيط بموقع الدراسة من الجنوب والجنوب الشرقي سلسلة صخور جبال نفوسة والتي منها تم استعمال بعض الوحدات الصخرية في بناء هذه المدينة الأثرية. كما تبعد مدينة صبراتة الأثرية عن سلسلة جبال نفوسة بحوالي 86.19 كيلو متر حيث تغطي المنطقة رواسب تتراوح أعمارها بين الترياسي المتأخر (Late Triassic) والعصر الرابع (Quaternary).

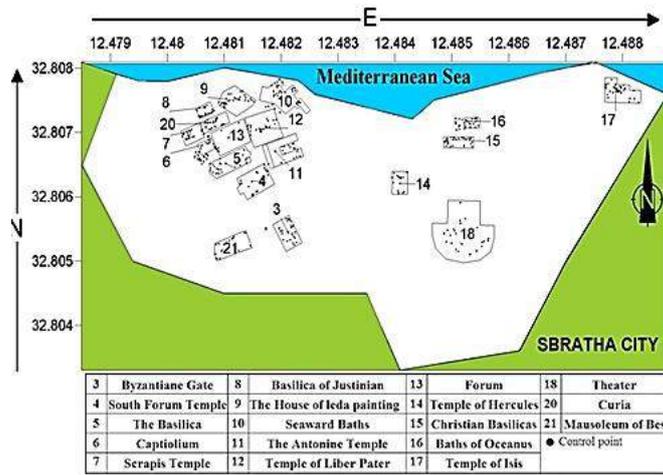
تعتبر دراسات (El Hinnawy & Cheshitev, 1975) لتقسيم التتابع الطبقي لمنطقة الجوار للمدينة الأثرية بصبراتة من الدراسات المهمة لتوضيح التسلسل الطبقي للصخور المنكشفة لجبال نفوسة والمناطق المحيطة بها. التتابع الطبقي شكل (2) يلخص ظهور العديد من التكاوين الجيولوجية (Geologic Formations) موضحا سمك كل منها ونوع الصخرية (Lithology) وزمن ترسيبها أو أعمارها (Age).

Thickness (m)	Lithology	Formation/Member	Age
25		Aeolian deposits Sand dunes	Holocene
65 - 45		Qasr alhaj Gargaresh and Jeffara Formation.	Pleistocene
50- 30		Al Assah Formation	Pleistocene
50		Nalut Formation	Cenomanian-Turonian
60 - 55		Sidi asid Fm.	Yefrin Member
70 - 60			Ayn tobi Member
60 - 45		Kiklah Formation	Albian
85 - 70		Ar Rajban Formation	Cabao Member
75 - 20			Shakshuk Member
150 - 30			Khashm az Zarzur Member
35 - 30		Takbal Formation	Bathonian
100 - 140		Bir al ghanam Fm.	Abreg Member
20			Abu Niran Mb.
> 150			Jafar Member

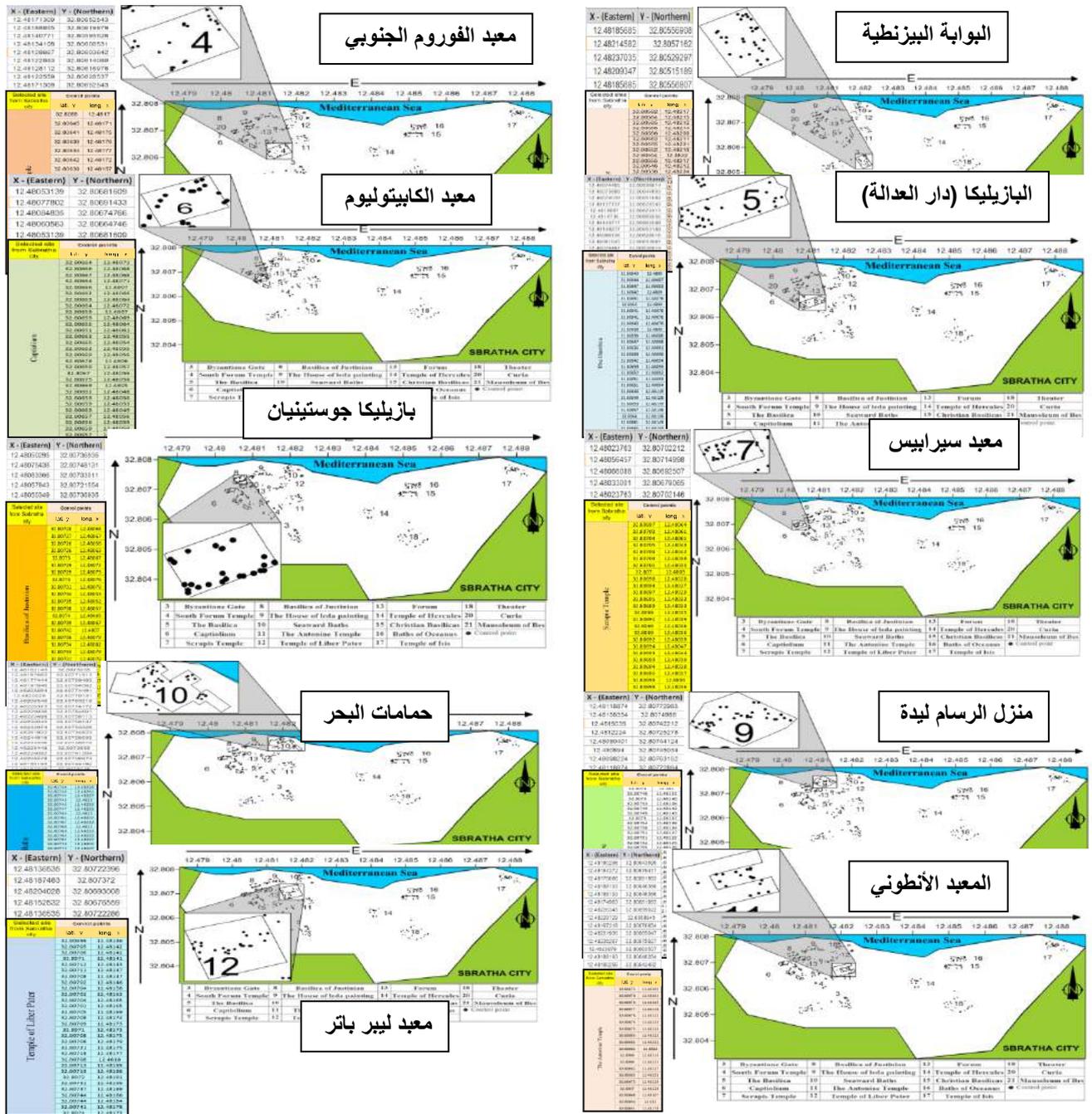
شكل (2) التتابع الطبقي بجبل نفوسة محور من: محور عن: (El Hinnawy & Cheshitev, 1975).

تخريط المواقع الأثرية المختارة للدراسة Mapping of the selected Archaeological Locations :

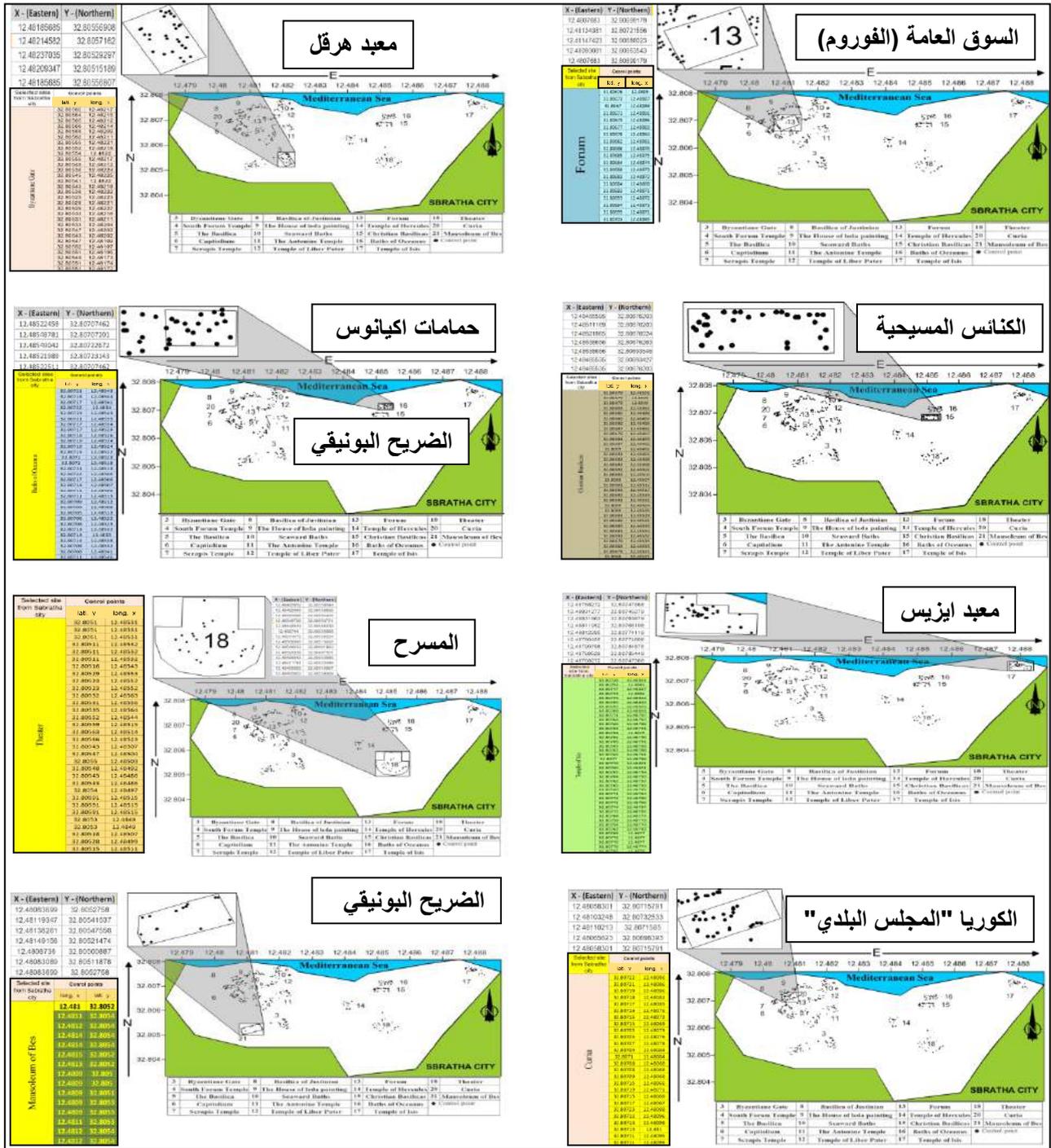
تم تخريط المواقع الأثرية بمدينة صبراتة والمختارة وفق توزيع جغرافي متناسق قدر الإمكان وذلك لغرض المعالجات الإحصائية، وتصنيف أنواع الأضرار الظاهرة في مواد بناء المدينة حيث تم تخريط (18) موقعا أثريا باستخدام جهاز (GPS (Global Position System) لكي تكون إحداثيات هذه المواقع مطابقة للإحداثيات العالمية لتخريط الخرائط من جهة وتثبيت مواقع العينات والأضرار الظاهرة على المباني الأثرية من جهة أخرى. شكل (3) يوضح الثمانية عشر موقعا المختارة للدراسة والذي ورد مسبقا بشكل (1) (الخارطة السفلى إلى اليسار). أما لوحتي الخرائط (1) و (2) يوضحان تخريط الـ (GPS) للمواقع الأثرية المختارة للدراسة بمدينة صبراتة الأثرية.



شكل (3) المواقع الأثرية المختارة للدراسة والتي تم تخطيطها بواسطة جهاز التموضع العالمي (GPS).



لوحة الخرائط (1): تخطيط لمواقع الدراسة المختارة وتحديد نقاط السيطرة لها وفق نظام تحديد المواقع العالمي GPS المختارة داخل مدينة صبراتة الأثرية.



لوحة الخرائط (2): تخطيط لبقية مواقع الدراسة المختارة وتحديد نقاط السيطرة لها وفق نظام تحديد المواقع العالمي GPS المختارة داخل مدينة صبراتة الأثرية.

أضرار التجوية الفيزيائية على صخور (مواد بناء) مدينة صبراتة الأثرية:

تختلف وتنوع أضرار المباني الأثرية الناتجة من التجوية بشكل عام باختلاف الظروف التي تقع تحت تأثيرها صخور تلك المباني. تنقسم العوامل المسببة لظهور الأضرار على المباني الأثرية إلى عوامل داخلية مصدرها تأثيرات باطن الأرض (كالزلازل والحركات الأرضية) وعوامل خارجية مصدرها التأثيرات التي ليس لها علاقة بباطن الأرض، والمتمثلة بالتجوية التي من ضمنها التجوية الفيزيائية (الميكانيكية)، والتي عرفت بعدة تعريفات من بينها التعريف الذي يقول بأنها: عبارة عن عملية تحطيم وتفتيت الصخور بدون إحداث أي تغيير كيميائي بها (Charles C. P., 2015 و Pamela J. W., 2013)، وقد ارتبطت هذه العملية الطبيعية بعوامل أخرى مساعدة مثل التذبذب الحراري والتقشر واختلاف ألوان الصخور (أو ما يعرف بالتغيير اللوني).

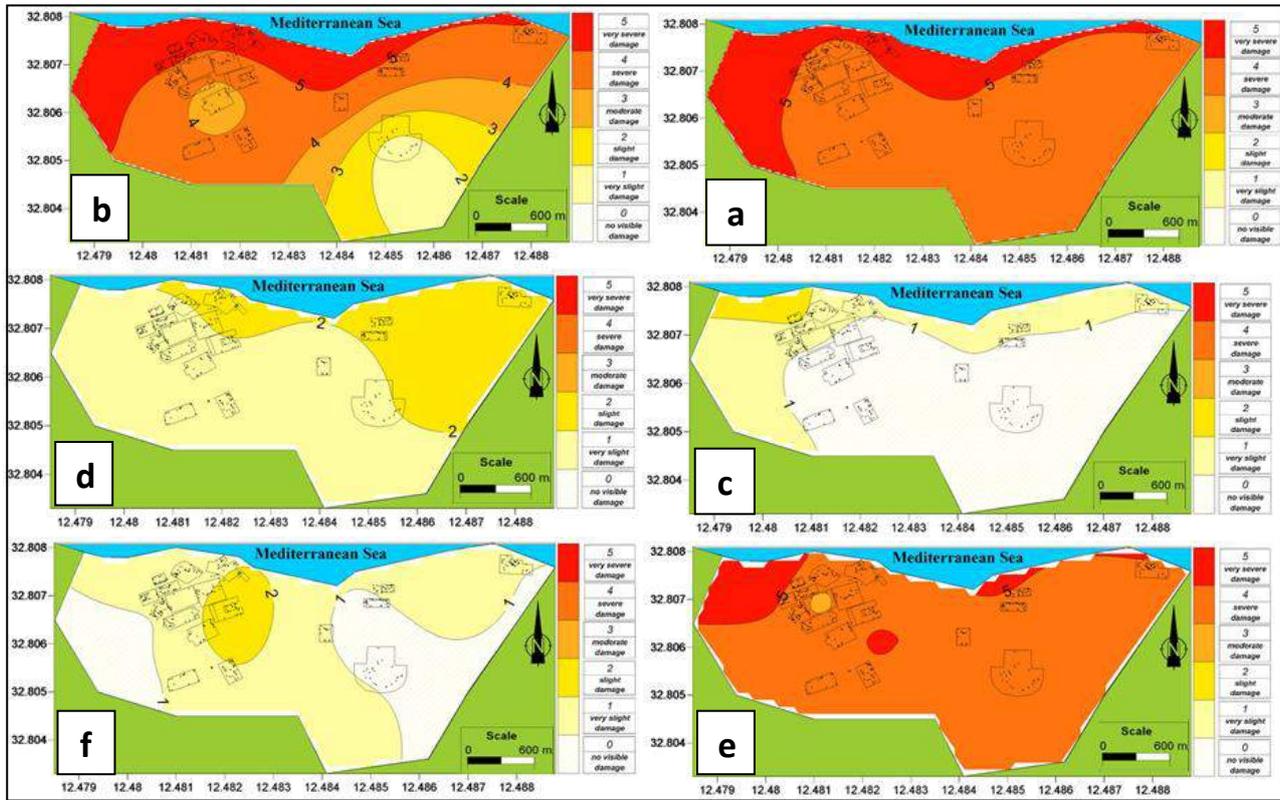
عرض لاهم أشكال التجوية الفيزيائية المتمثلة في فقدان مادة الصخر بمنطقة الدراسة "Loss of stone material":

هناك عدة أشكال تفقد بها مادة الصخر، وعليه تم تصنيف أضرار التجوية الفيزيائية على المباني الأثرية بمدينة صبراتة والتابعة لهذا النوع من التجوية الى عدة أصناف وذلك حسب تصنيف (Fitzner & Heinrichs, 2004) وكما يلي: (جدول-1)

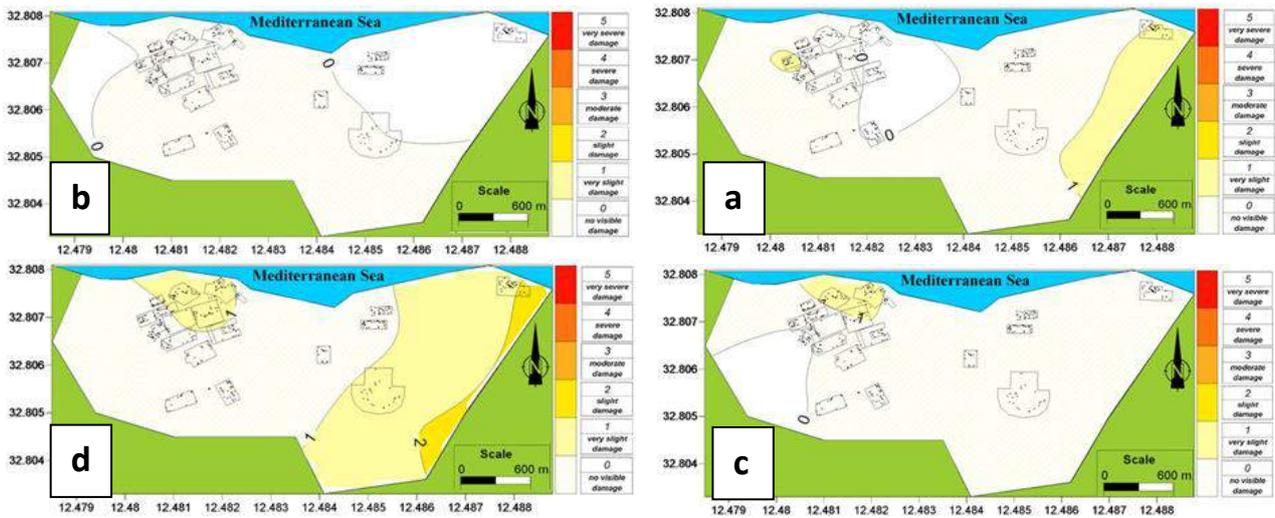
جدول (1) عرض لاهم أشكال التجوية التجوية الفيزيائية (الأساسية والمؤثرة) المتمثلة في فقدان مادة الصخر التي تم رصدها بمدينة صبراتة الأثرية وذلك حسب تصنيف (Fitzner et. al., 2004).

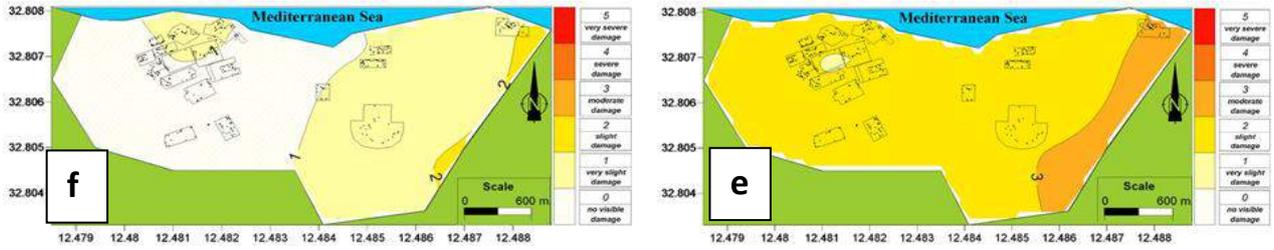
مجموعة التجوية "فقدان مادة الصخر" (Weathering Group: Loss of Stone Material)			
رقم الشكل	رقم لوحة الخرائط	أشكال التجوية المؤثرة (Individual weathering forms)	الشكل الأساسي للتجوية (Main weathering form)
a	3	فقدان مادة الصخر في شكل رقائق " Back weathering due to loss of scales	التجوية التراجعية أو الخلفية "Back weathering"
b	3	التشظي والفتت "Back Weathering due to lose of crumbs/ splinbers	
c	3	فقدان قشرة السطح الخارجي للصخور " Back weathering due to less of crusts	
d	3	التلم والتكور "Rounding and notching"	التجوية التشكيلية (التضاريسية) "Relief weathering"
e	3	التجوية السنخية (الشبيهة بخلايا النحل) " Alveolar or Honeycomb Weathering	
f	3	التجوية المعتمدة على بنية الصخر الأصلي " Weathering dependent on stone structure	
a	4	تجوية مكونات الصخر " Weathering out of stone components	
b	4	الازالة الخارجية لمكونات الصخر " Clearing out of stone components	
c	4	التخشن "Roughening"	
d	4	تضاريس الاذابة الكارستية الدقيقة: "Micro karst"	
e	4	الحفر الصغيرة "Small cavities"	
f	4	التغيرات الناتجة بسبب التدخل البشري " Relief due to anthropogenic impact	
a	5	الأختيارات الناتجة بفعل الانسان " Break out due to anthropogenic impact	التجوية بالخسارة (فقدان) "Break out weathering"
b	5	الأختيارات الناتجة بسبب أعمال البناء " Break out due to constructional causes	
c	5	الأختيارات الناتجة بسبب عوامل طبيعية " Break out due to natural causes	
d	5	الأختيار بسبب عوامل غير سهلة التمييز أو لا يمكن تحديدها " Break out due to non-recognizable cause"	
e	5	التراجع بتجوية وفقد صفائح صخرية معتمدا على تركيبة الصخر "Back weathering due to loss of stone flakes dependent on	

		stone structure"	التجوية التراجعية أو الخلفية "
f	5	"Back weathering due to loss of undifinable stone aggregates/pieces"	"Back weathering

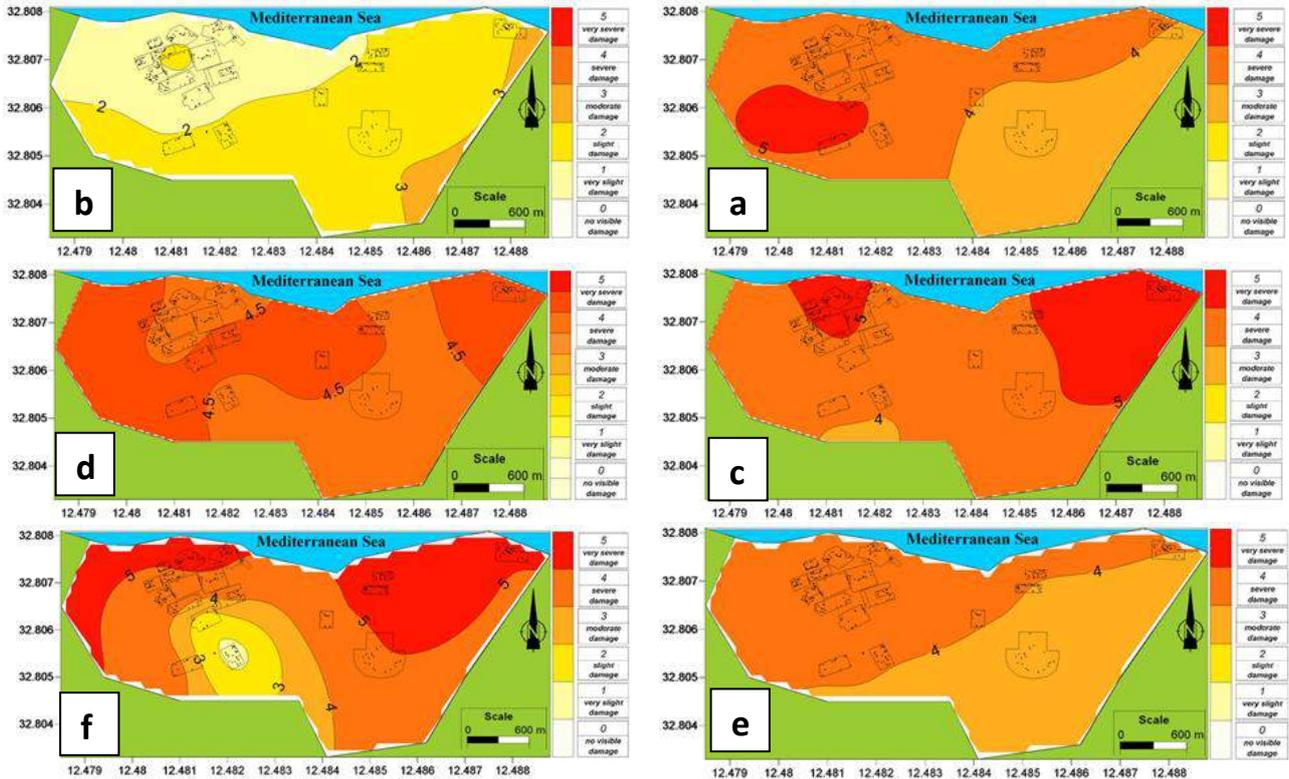


لوحة الخرائط (3): توضح توزيع أضرار وكذلك شدة أضرار أصناف التجوية الفيزيائية المتمثلة في فقدان مادة الصخر "loss of stone material" والتي تم ملاحظتها على مباني مدينة صبراتة الأثرية بشمال غرب ليبيا. (a) التجوية بفقدان مادة الصخر في شكل رقائق، (b) التجوية بفقدان مادة الصخر بالتشظي والتفتت، (c) التجوية بفقدان مادة الصخر في شكل قشور خارجية سطحية، (d) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة التشم والتكور، (e) التجوية بفقدان مادة الصخر على هيئة شبيهة بخلايا النحل، (f) التجوية بفقدان مادة الصخر معتمدا في ذلك على بنية الصخر الأصلي.





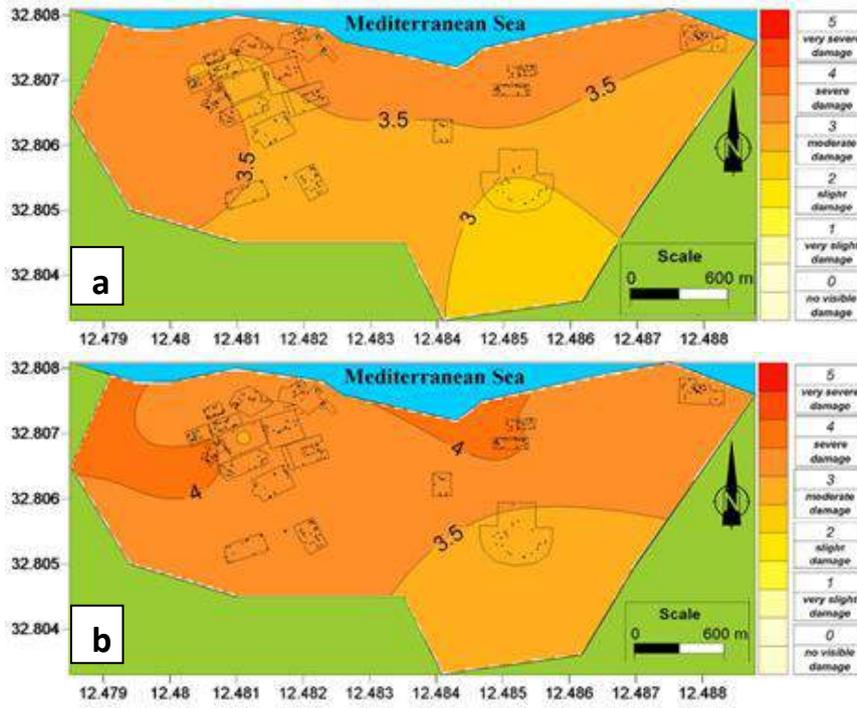
لوحة الخرائط (4): توضح توزيع أضرار و شدة أضرار أصناف التجوية الفيزيائية المتمثلة في فقدان مادة الصخر "loss of stone material" والتي تم ملاحظتها على مباني مدينة صبراتة الأثرية بشمال غرب ليبيا. (a) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة التجوية الخارجية لمكونات الصخر، (b) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة ازالة مكونات الصخر الخارجية السطحية، (c) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة تحشن السطح الخارجي لمكونات الصخر، (d) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة تضاريس الاذابة الكارستية الدقيقة، (e) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة الحفر الصغيرة، (f) التجوية بفقدان مادة الصخر بواسطة التغيرات الناتجة بفعل التدخلات البشرية.



لوحة الخرائط (5): توضح توزيع أضرار وكذلك شدة أضرار أصناف التجوية الفيزيائية المتمثلة في فقدان مادة الصخر "loss of stone material" والتي تم ملاحظتها على مباني مدينة صبراتة الأثرية بشمال غرب ليبيا. (a) الأضرار الناتجة بفعل الانسان، (b) الأضرار الناتجة بسبب البناء، (c) الأضرار الناتجة بسبب عوامل طبيعية، (d) الأضرار بسبب عوامل غير سهلة التمييز، (e) التجوية التراجعية بفقد صفائح صخرية معتمدا في ذلك على تركيب الصخر، (f) التجوية التراجعية بخسارة قطع أو تجمعات صخرية غير محددة.

تقدير دليل التجوية (التدهور) الخطي والتقدمي لاصناف التجوية الفيزيائية المتمثلة في "فقدان مادة الصخر" "Estimation of linear and progressive indices for the physical weathering group " loss of stone material"

بعد تحديد وتقدير شدة أضرار التجوية لاصناف التجوية الفيزيائية والمتمثلة في فقد مادة الصخر (Loss of stone material) لكافة مباني مدينة صبراتة الأثرية نقوم بتقدير دليل التجوية (التدهور) الخطي والتقدمي، وذلك وفقا لطريقة (Fitzne et. al., 2002). درجة شدة ضرر دليلي التجوية الخطي والتقدمي وكذلك توزيع وانتشار كل منهما على مباني مدينة صبراتة الأثرية تم توثيقه بلوحة الخرائط (6)، شكل (a) وشكل (b).



لوحة الخرائط (6): توضح درجة شدة ضرر دليبي التجوية الخطي (a) والتقدمي (b). لاحظ أماكن انتشار ضرر هذين الدليلين.

مناقشة أضرار مجموعة التجوية المتمثلة في فقدان مادة الصخر وأسبابها ودرجة شدتها وأماكن انتشارها بمدينة صبراتة الأثرية:

Discussion of Weathering Detriorations belonging to "Loss of stone material group" within "Sabratalh Archaeological City"

تعد طرق دراسة أضرار التجوية الفيزيائية على مختلف المباني (لا سيما الأثرية) وتخریطها من الطرق الناجحة والمفيدة في تسهيل تحديد أماكن ومعرفة شدة أضرار أصناف التجوية المتعددة. تعتبر دراسات (Fitzner et.al., 1995, 2001, 2002, 2004) من الدراسات القيمة التي أوضحت من خلالها العديد من الطرق الجيدة لدراسة أشكال التجوية العاملة على المباني الأثرية "weathering forms on stone monuments" وكذلك تصنيف أنواع التجوية و تشخيص الأضرار الناتجة عنها وتحديد درجة شدتها على أحجار مباني المدن الأثرية القديمة متضمنا في ذلك دراسة دلائل التجوية بانواعها ومن ثم تخریطها "weathering classification, damage diagnosis, damage categories, damage indices and mapping". كما أسهمت دراسات (Rapp, et.al, 1998) في وضع أسس للدراسات المتعلقة بالجيولوجيا الأثرية أو "Geoarchaeology". بعض الدراسات الأخرى في هذا المجال مثل (Rohert et.al. 2007) و (Mohamed Khalaf, 2008) و (Nabil. A. Abd Tawab, 2012 & 2014) وغيرها أسهمت في دراسة المباني الأثرية وتحديد أنواع التجوية وأضرارها وكيفية عملها. تم إخضاع المباني الأثرية والقديمة لمثل هذه الدراسات في العديد من دول العالم العربي ودول العالم الاخر. يجدر بالذكر أن العديد من مظاهر التجوية التي تم رصدها بمنطقة الدراسة تتشابه مع العديد من ما تم رصده ودرسته بدول أخرى.

فيما يخص مناقشة موضوع البحث الحالي بمدينة صبراتة الأثرية واستخلاص النتائج سوف نبدأ بتحليل خرائط توزيع أضرار وكذلك شدة أضرار أصناف التجوية المتمثلة في فقدان مادة الصخر كالتالي. [ملاحظة: يمكن معرفة أسماء المباني المتضررة بالرجوع الى خارطة شكل (3)].

بالنظر في لوحة الخرائط (3): الخارطة في شكل (a) توضح توزيع أضرار وكذلك شدة أضرار تجوية صخور بناء المدينة الأثرية بواسطة فقدان مادة الصخر في شكل رقائق "back weathering due to loss of scales" موازية للسطح الخارجي للصخر بسبب عوامل التجوية الفيزيائية المختلفة والتي تؤدي الى تراجع خلفي لمقياس هذه الكتل الصخرية (Fitzner et.al.,2004). تراوحت درجة شدة الضرر لهذا النوع اجمالاً ما بين الضرر الشديد جدا (very severe damage - أي بمقدار 5 درجات) والضرر الشديد (severe damage - أي بمقدار 4 درجات) حسب تصنيف (Fitzner et.al.,2004). كما نلاحظ من الخارطة عدم ارتباط ضرر هذا النوع من التجوية والمعروف بالتجوية الخلفية بتركيب صخري محدد. لهذا السبب تم ملاحظته في أنواع مختلفة ومتنوعة من صخور بناء المدينة. فقد لوحظ على صخور المدينة من النوع الجيري (Limestone, Dolomite) والجيرية الفتاتية (Limestone detrital) والمعروفة بالكالكارينيت (Calcarenite) والتي أظهرت أكثر شيوعاً. كما تم ملاحظة هذه الأضرار على صخور الرخام بالمدينة الأثرية

(Marble). نستنتج من هذه الخارطة أن الأضرار الشديدة جدا لهذا النوع من التجوية قد تركزت في الجانب الغربي والشمال الغربي والشمال من المدينة وتصبح أقل ضررا (أي شديدة) نحو المناطق الجنوبية الشرقية والشرقية والمناطق الوسطى والجنوبية الغربية.

الخارطة في شكل (b): توضح أضرار التجوية الفيزيائية على مباني المدينة الأثرية والناجمة عن طريق التشطي والتفتت "back weathering due to loss of crumbs or splinters" حيث عرف هذا النوع من التجوية الخلفية بأنها فقدان في الفتات أو الشظايا الصخرية بشكل منتظم و موازيا لسطح الصخور والذي ينتج بسبب عوامل التلف للتجوية الفيزيائية بانواعها المختلفة (Fitzner et.al., 2004). من الخارطة نلاحظ أن درجة شدة الضرر تتراوح ما بين الشديدة جدا (very severe damage - 5 درجات) والضعيفة جدا (very slight damage - 1 درجة). كما يلاحظ من الخارطة ان أثر هذا الضرر كان أكثر شدة في الجزء الشمالي الغربي والجنوب الغربي وجزء كبير من مناطق الوسط والشمال الشرقي وجزء من شرق المدينة (من 4 الى 5 درجات) وبصفة خاصة على الأسطح الخارجية لتلك المباني أكثر مما هو عليه الحال في الأسطح الداخلية وربما يكون السبب في ذلك هو أن الجدران الخارجية للمباني هي الأسطح الأكثر عرضة للجو ولأشعة الشمس المباشرة أكثر من الأسطح الداخلية. يلاحظ أيضا انخفاض درجة شدة ضرر هذا النوع من التجوية في الجزء الكبير المتبقي من الشرق حيث تتدرج من معتدلة (3 درجات) ثم الضعيفة الى الضعيفة جدا (2 الى 1 درجة) باتجاه الجنوب الشرقي للمدينة. بصفة عامة نجد أن هذا النوع من الأضرار يكون منتشرا في أغلب مناطق المدينة حيث لوحظ على الصخور الجيرية الفتاتية والصخور الجيرية واللذان يعتبران من أكثر الصخور استخداماً في مباني المدينة.

الخارطة في شكل (c): وتوضح التجوية بفقدان قشور للسطح الخارجي للصخر "back weathering due to loss of crusts". هذا النوع من التجوية الخلفية أيضا عبارة عن فقدان بشكل منتظم لمادة الصخر في اتجاه مواز للسطح الأصلي للصخر نتيجة لانفصال الغلاف الخارجي أو قشرة الصخر متضمنا في ذلك المادة اللاصقة للصخر "detachment of crusts with adherent stone material" (Fitzner et.al., 2004). لم ينتشر هذا النوع من الضرر في مدينة صبراته الأثرية بشكل كثيف بل توزع بنسب ضعيفة نسبيا، حيث نشاهد أثر هذا الضرر على أسطح المباني الخارجية، وخاصة تلك المعرضة للشمس المباشرة (اليومية أو الفصلية) أكثر فترة ممكنة، على عكس المناطق الواقعة في الظلال. نلاحظ من الخارطة أن درجة هذا الضرر بصفة عامة كانت ضعيفة جدا (very slight damage - 1 درجة) وقد انحصرت في أجزاء ضيقة من مناطق الشمال والشمال الشرقي وأجزاء أكثر اتساعا نسبيا نحو الغرب وجزء محدود من الجنوب الغربي. أما درجة شدة الضرر الضعيفة (slight damage - 2 درجة) فقد تركزت في شريط ضيق من الشمال الغربي.

الخارطة في شكل (d): ويظهر أضرار التجوية الفيزيائية بواسطة التثلم والتكور "rounding & notching". من خلال دراسة هذا النوع من الضرر والذي يسمى أحيانا بالشحذ أو الصقل والظاهرة على أسطح المباني بمدينة صبراته الأثرية حيث بواسطته تجوى حواف الكتل الصخرية أولاً ويبقى منتصف الكتل الصخرية بارزا أو مسنن تتخلله أشكال مقوسة وأنصاف كروية (تحدبات وتقرعات). الجدير بالذكر أن هذا النوع من التجوية يتبع أشكال التجوية التضاريسية أو التشكيلية (relief) والذي يحدث فيه تغير في الاطار العام لشكل الصخرة "morphological changes" نتيجة لعمليات التجوية التفاضلية (selective weathering processes) وعمليات التجوية الجزئية (partial weathering processes) (Fitzner et.al., 2004). من الخارطة نلاحظ انتشار ضرر هذا النوع من التجوية في جميع أنحاء المدينة الأثرية ولكن بدرجات شدة ضرر ضعيفة (slight damage - 2 درجة) وضعيفة جدا (very slight damage - 1 درجة).

الخارطة في شكل (e): وتظهر فيها توزيع أضرار وشدة أضرار التجوية الفيزيائية بفقدان مادة الصخر بواسطة التجوية السنخية (alveolar or honeycomb weathering). وهو أحد أنواع التجوية التضاريسية أو التشكيلية أيضا (relief weathering) وفيه يتشكل سطح الكتل الصخرية على هيئة سينخات (alveolae) أو تجويفات صغيرة متماسة جنبا الى جنب مشكلة ما يشبه خلايا النحل (honeycomb) (Fitzner et.al., 2004). لهذا النوع من الضرر عدة أطوار تبدأ من الطور الأول وتنتهي بالطور الخامس. ففي بداية الأمر تظهر تركزات لبقع ملحية، والتي بدورها تسلسل ضغوط تسبب في تفتت السطح القريب منها مع مرور الزمن، لتزداد شدة تركيز هذه الأملاح في الطور الخامس، وهو ما ستصل إليه الكتل الصخرية عند تعرضها لهذا النوع من التلف، كما أن سبب هذا النوع من الضرر يرجع إلى تشقق أو الفقدان الجزئي للغلاف الخارجي للصخور نتيجة للإجهاد الميكانيكي الناتج من ارتفاع وانخفاض أشعة الشمس (Rohert E. et al., 2007). بالنظر الى الخارطة نلاحظ أن جميع نواحي المدينة قد شملها هذا الضرر وقد تراوحت درجة شدته ما بين الشديد جدا (very severe damage - 5 درجات) والمعتدلة (moderate damage - 3 درجات). يمكن القول اجمالا أن 95% من مباني المدينة الأثرية قد تأثرت بالضرر الشديد جدا الى الشديد (very severe damage - 5 درجات و severe damage - 4 درجات). يجدر بالذكر أن أكثر أنواع الصخور المدينة تأثرا بهذا الضرر هي صخور الكالكارينيت (calcarenite) والتي تتبع صخور تكوين قرقارش المترسبة بالزمن الرابع (Quaternary) والتي تعتبر أكثر صخور البناء شيوعا بالمدينة.

الخارطة في شكل (f): وتظهر فيها أضرار التجوية المعتمدة على بنية الصخر "weathering out dependent on stone structure" وهو يتبع أشكال التجوية التشكيلية (relief weathering) وفيه تتشكل كتل البناء الصخرية وتلف بعوامل التجوية المختلفة معتمدا في ذلك على السمات أو الملامح التركيبية للصخر مثل: الطباق (bedding) و التورق أو التصفح (foliation) والانتشاء أو الالتفاف (banding) وغيرها من السمات التركيبية

الأخرى للصخور التي في كثير من الأحيان تظهر بشكل مخطط (striped patterns) (Fitzner et al., 2004). لوحظت أضرار هذا النوع من التجوية على معظم جدران المدينة الأثرية حيث يستثنى منها أجزاء من غرب وجنوب غرب وكذلك شرق المدينة. درجة شدة هذا الضرر اجمالاً كانت ضرر ضعيف جداً (very slight damage - 1 درجة) مع وجود أضرار درجة شدتها لا تتجاوز (2 درجة) أي ضعيفة (slight damage) في أماكن محدودة من الوسط والشمال.

بالنظر في لوحة الخرائط (4): الخارطة في شكل (a): توثق أضرار التجوية بفقدان مادة الصخر والمتمثلة في تجوية مكونات الصخر "weathering out of stone components" وهي أحد أشكال التجوية التشكيلية (relief weathering). وفيها تتشكل كتل البناء الصخرية للمدينة بسبب فعل عمليات التجوية التفاضلية (selective weathering processes) على مكونات الصخر الأقل مقاومة لعوامل التجوية (sensitive stone components) مثل: عدسات الطين (clay lenticles) وعقد الليمونيت (limonite nodes) المكونة في بنية الصخر أو بسبب انفصال في مكونات الصخر المترابطة مثل: الحصى (pebbles) وقطع الحفريات (fossil fragments) وغيرها من المكونات التي تؤلف الصخر حيث تتشكل فيها الصخرة على هيئة تجاويف أو حفر مجوفة (hole-shaped forms) (Fitzner et al., 2004)، من الخارطة نلاحظ أن درجة شدة أضرار هذا النوع من التجوية لم يتجاوز (1) درجة ولقد تراوح ما بين الضرر غير الواضح (no visible damage - 0 درجة) والضعيف جداً (very slight damage - 1 درجة). وبصفة عامة يمكن القول بأن هذا الضرر على مباني المدينة الأثرية يعتبر ضرراً غير واضح فيماعداد شريفاً ضيقاً ناحية الشرق وأماكن محدودة جداً في الشمال الغربي يكون درجة شدة ضررها ضعيفة جداً.

الخارطة في شكل (b): توضح أثر أضرار التجوية الناتجة بسبب إزالة مكونات لصخور البناء بالمدينة الأثرية (clearing out of stone components) وهو أحد أشكال التجوية التشكيلية أيضاً (relief weathering) حيث يتشكل فيه صخر البناء على هيئة مكونات صخرية مترابطة بارزة إلى الخارج (protruding compact stone components) مثل: الحصى وقطع الحفريات والعقد الصخرية (concretions) وذلك نتيجة لفعل عمليات التجوية التفاضلية (selective weathering) (Fitzner et al., 2004). ضرر هذا النوع من التجوية لم يكن واضحاً في أرجاء المدينة الأثرية ويصنف بالضرر غير الواضح (no visible damage) وبدرجة ضرر قدرها (0) درجة.

الخارطة في شكل (c): والتي تظهر أثر وتوزيع شدة أضرار التجوية الفيزيائية الناتجة بواسطة عمليات التخشن (roughening) وهي أحد أشكال التجوية التشكيلية أو التضاريسية. وفيها يفقد صخر البناء نعومة سطحه الخارجي ويتغير بذلك صفقه ويصبح أكثر خشونة نتيجة للمياه التاكل (corrosion processes) التي تعمل على سطحه أو نتيجة لفقدانه للحبيبات الصخرية الدقيقة من على سطحه الناعم (Fitzner et al., 2004). بصفة عامة تعتبر شدة ضرر هذا النوع من التجوية غير واضحة في جميع أنحاء المدينة (no visible damage - 0 درجة) حيث يستثنى من ذلك نطاق محدود جداً ناحية الشمال الشرقي والذي كانت فيه درجة شدة الضرر ضعيفة جداً (very slight damage - 1 درجة).

الخارطة في شكل (d): وتلخص أثر أضرار التجوية الفيزيائية الناتجة بسبب تضايرس الاذابة الكارستية الدقيقة (micro karst) أحد أشكال التجوية التشكيلية (relief weathering) والتي فيها تخضع كتل البناء الصخرية لفعل عمليات التاكل (corrosion) وخاصة على أسطح الصخور الكربونية الأصل (carbonate rocks) مثل الحجر الجيري والدولوميت (limestone & dolomite) (Fitzner et al., 2004). بالنظر في الخارطة نلاحظ أن مناطق محددة فقط من المدينة الأثرية قد تأثرت بأضرار هذا النوع من التجوية وحيث تركزت الصخور الكربونية الأصل وبالتحديد مناطق شرق وشمال شرق وجنوب شرق المدينة في شريط متسلسل ثم تظهر بعد انقطاع في منطقة محدودة شمال شرق المدينة. بصفة عامة تراوحت درجة شدة الضرر ما بين الضرر غير الملاحظ (no visible damage - 0 درجة) والضرر الضعيف (slight damage - 2 درجة).

الخارطة في شكل (e): وتظهر أثر أضرار التجوية الفيزيائية الناتجة بسبب الحفر الصغيرة (pitting) وهي أحد أشكال التجوية التشكيلية أو التضاريسية. وفي هذا النوع من التجوية تخضع صخور البناء لفعل عوامل التاكل المختلفة (corrosion processes) مثل: عمليات التاكل المحفزة بالطرق الحيوية المنشأ (biogenetically induces corrosion) وعمليات التاكل الطبيعية كالرياح ومياه الأمطار حيث تقوم بعمل ثقوب أو حفر صغيرة في الصخر وخاصة الصخور الكربونية المنشأ (Fitzner et al., 2004). الجدير بالذكر أن هذا النوع من أضرار التجوية يمكن أن يتطور إلى ضرر التجوية السنخية (الشبيهة بخلايا النحل). نلاحظ من الخارطة أن جميع مناطق المدينة قد تأثرت بهذا النوع من الضرر والذي تراوحت درجة شدته ما بين الضرر الضعيف جداً (very slight damage - 1 درجة) والضرر المعتدل (moderate damage - 3 درجات). بصفة عامة تعتبر درجة شدة الضرر الضعيفة (slight damage - 2 درجة) الأكثر انتشاراً على مباني المدينة (75% تقريباً) ويبلغ الضرر المعتدل (20% تقريباً).

الخارطة في شكل (f): والتي توثق أضرار التجوية الفيزيائية الناتجة عن التغيرات بسبب التدخلات البشرية "relief due to anthropogenic impact" وهو أحد أنواع التجوية التشكيلية أو التضاريسية (relief weathering) والذي ينتج بسبب فعل وتدخلات الإنسان والتي تؤثر بشكل سلبي على كتل البناء الصخرية مثل: الخدوش (scratches) وغيرها من هذه الأفعال (Fitzner et al., 2004). من الخارطة نلاحظ أن درجة شدة الضرر لهذا النوع من التجوية الفيزيائية تراوح ما بين الضرر غير الملاحظ والضرر الضعيف.

بالرجوع الى لوحة الخرائط (5): الخارطة في شكل (a) توضح أثر التجوية الفيزيائية المتمثلة أيضا في فقدان مادة الصخر عن طريق الانهيارات الناتجة بفعل الانسان "brack out due to anthropogenic impact" وهي أحد أشكال التجوية بالخسارة والفقدان "break out weathering" حيث يتم من خلالها فقدان لمكونات الصخر المتماسكة. وفي هذا النوع من التجوية تنهار وتفصل أجزاء الكتل الصخرية للمدن الأثرية بسبب فعل عوامل انسانية تشمل على سبيل المثال لا الحصر الاتي: الاثار السلبية للحروب (war impacts) وكذلك الاعمال التخريبية بصفة عامة التي تؤثر سلبا على مباني المدينة الأثرية (vandalism) بالاضافة الى المحاولات التي يقوم بها الانسان في عمليات الترميم غير المدروسة والأفعال التي تصدر من قبل الزوار التي تؤدي الى الهدم والانهيار (Fitzner et.al.,2004). بالنظر الى الخارطة نلاحظ أن كل مباني المدينة الأثرية بصيراة قد تأثرت بهذا النوع من الأضرار. تراوحت درجة شدة أضرار هذا النوع من التجوية ما بين المعتدلة (moderate damage - 3 درجات) والشديدة جدا (very severe damage - 5 درجات).

الخارطة في شكل (b): رصدت هذه الخارطة توزيع أضرار ودرجة شدة أضرار آثار التجوية الفيزيائية المتمثلة في الانهيارات الناتجة بسبب أعمال البناء "break out due to constructional causes" وهو أحد أشكال التجوية بالخسارة والفقدان "break out weathering". في هذا النوع من التجوية يحدث انهيار لكتل البناء الصخرية نتيجة للاثار الجانبية والسلبية المتولدة من صدأ مواد الحديد وغيرها الداخلة في بناء بعض من مباني المدينة الأثرية (wedge effect of rusting iron) وكذلك عدم الأخذ بمقدار التحميل للمباني بحيث تكون عرضة لضغوطات أعلى مما احتسبت عليه عند الانشاء (Fitzner et.al.,2004). نلاحظ من الخارطة أن أضرار هذا النوع من التجوية قد انتشر في جميع أنحاء المدينة الأثرية وبدرجات شدة ضرر تراوحت ما بين الضرر الضعيف جدا (very slight damage - 1 درجة) و الضرر المعتدل (moderate damage - 3 درجات). يلاحظ أن درجة شدة الضرر المعتدلة كانت محدودة جدا وأقل انتشارا من الضررين الاخرين (الضعيفة والضعيفة جدا).

الخارطة في شكل (c): وثقت هذه الخارطة أضرار التجوية الفيزيائية والمتمثلة في الانهيارات الناتجة بسبب عوامل طبيعية (break out due to natural causes) والتي تتبع أشكال التجوية بالخسارة والفقدان "break out weathering". يقوم هذا النوع من التجوية بالتأثير على كتل أحجار البناء بشكل طبيعي، كحدوث الزلازل "earthquakes" واقتحام الجذور الوتدية لارضيات المباني بشكل مفاجئ "wedgework of roots" ورد فعل القوة الناتجة عن تقاطع الشقوق بسطح الأرض "intersection of fractures" وغيرها من العوامل الطبيعية كالرياح والتي تؤدي الى انهيار الكتل الصخرية للمباني الأثرية (Fitzner et.al.,2004). نلاحظ من الخارطة أن درجة شدة ضرر هذا النوع بصفة عامة كانت شديدة (severe damage - 4 درجات) وقد تراوحت عمليا ما بين المعتدلة (moderate damage - 3 درجات) وفي مناطق محدودة جدا وبقلة ناحية الجنوب الغربي، وكذلك الشديدة جدا (very severe damage - 5 درجات). لقد تأثرت كل مباني المدينة لضرر هذا النوع من التجوية.

الخارطة في شكل (d): وترصد أضرار التجوية الفيزيائية عن طريق الانهيار بسبب عوامل غير سهلة التمييز أو لا يمكن تحديدها "break out due to non-recognizable causes". عبارة عن أضرار تحدث لكتل صخور بناء المدينة الأثرية بسبب عوامل غير معروفة وغير سهلة التمييز حيث نجدها منهارة بدرجة كبيرة جدا يصعب فيها تحديد العامل أو السبب الرئيسي في انهيارها. هذا النوع من التجوية يتبع أشكال التجوية بالخسارة والفقدان "break out weathering" (Fitzner et.al.,2004). نلاحظ من الخارطة أن جميع أرجاء ومباني المدينة الأثرية قد طالها ضرر هذا النوع من التجوية وبدرجة شدة قدرها (5 درجات- أي شديدة جدا- very severe damage) في أغلب المناطق. يذكر أن بعض المناطق من المدينة الأثرية قد تأثرت باضرار شديدة (severe damage - 4 درجات).

الخارطة في شكل (e): تستعرض هذه الخارطة أثر أضرار ودرجة شدة أضرار التجوية الفيزيائية المتمثلة في التجوية التراجعية بفقد صفائح صخرية معتمدا في ذلك على تركيبة الصخر "back weathering due to loss of stone layers dependent on stone structure" وهو أحد أشكال التجوية التراجعية "back weathering". عبارة عن فقدان مادة الصخر بشكل منتظم وفي هيئة صفائح باتجاه مواز لسطح الكتل الصخرية معتمدا في ذلك على تركيبة الصخر (Fitzner et.al.,2004). يلاحظ من الخارطة انتشار ضرر هذا النوع من التجوية في كل مباني المدينة الأثرية وبدرجة شدة ضرر شديدة جدا (very severe damage - 5 درجات) ومعتدلة (moderate damage - 3 درجات).

الخارطة في شكل (f): وثقت هذه الخارطة أضرار التجوية الفيزيائية والمتمثلة في فقدان لقطع صخرية غير محددة من كتل البناء "loss of undefinable back weathering due to stone aggregates or pieces". وهو عبارة عن فقدان لقطع أو تجمعات صخرية من كتل البناء لجدران بعض المباني الأثرية بالمدينة بحيث لا يمكن تحديد عدد القطع المفقودة منها ولا يمكن تحديد أيضا الطريقة التي تم بها فقدان هذه القطع. هذا الضرر يتبع أشكال التجوية التراجعية أو الخلفية "back weathering" أضرار هذا النوع من التجوية انتشر في جميع مباني المدينة الأثرية وبدرجة شدة ضرر بصفة عامة كانت شديدة (severe damage - 4 درجات) الى شديدة جدا (very severe damage - 5 درجات) (حوالي 85% من مباني المدينة). أضرار درجة شدتها ضعيفة جدا (very slight damage - 1 درجة) و معتدلة (moderate damage - 3 درجات) (حوالي 15% من مباني المدينة).

بالنظر في لوحة الخرائط (6): هذه اللوحة تستعرض تقديرات دليل التجوية والتدهور الخطي "linear deterioration index" وكذلك التقدمي "progressive deterioration index" لمجموعة الأضرار المذكورة سابقا في لوحات الخرائط (3 و 4 و 5) والتابعة لمجموعة التجوية الفيزيائية المتمثلة

في فقدان مادة الصخر "loss of stone material". ووفقا لعمليات تقدير دللي التدهور الخطي والتقدمي فان دليل التدهور الخطي يكون موافقا لمتوسط درجة الضرر لنوع التجوية (average damage category) بينما يؤكد دليل التجوية التقدمي على أعلى قدر لدرجات الضرر لنوع التجوية (proportion of higher damage categories). يعد دللي التدهور الخطي والتقدمي طريقة مناسبة ومقنعة لوصف وتقييم ولتقدير كمية ومعدل الأضرار الظاهرة على صخور بناء المدن الأثرية. كما يسهم استعمال دللي التجوية المذكورين في عمل مضاهاة ما بين مواد الصخور الداخلة في بناء المدن الأثرية وتحديد مدى مقاومتهم لعوامل التلف والتدهور وهما بالتالي يشيران الى مدى أهمية عمليات الترميم الطارئة والمتوجب القيام بها لمباني المدن الأثرية (Fitzner et. al., 2004). وعليه سوف نحلل الخرائط الخاصة لهذين الدليلين لما لهما من أهمية كما أسلفنا أعلاه.

الخارطة في شكل (a): ويظهر فيها واضحا توزيع متوسط مجموع أضرار أشكال التجوية الفيزيائية المتمثلة في فقدان مادة الصخر وكذلك درجة شدة ضررها على مباني مينة صبراتة الأثرية في هيئة دليل التدهور الخطي. درجة شدة الضرر لهذا الدليل كانت على النحو التالي: ضرر ضعيف الى معتدل (slight to moderate damage - 2 الى 3 درجات) بالمناطق الجنوبية الشرقية من المدينة الأثرية، ضرر معتدل (moderate damage - 3 درجات) شرق ووسط وجنوب غرب المدينة الأثرية، ضرر شديد (severe damage - 4 درجات) مناطق الشمال والشمال الغربي للمدينة الأثرية.

الخارطة في شكل (b): ويظهر فيها واضحا توزيع أعلى قدر لدرجات ضرر أشكال التجوية التي تم رصدها سابقا في هذا البحث وهي في هيئة دليل التدهور التقدمي. درجة شدة الضرر لهذا الدليل كانت على النحو التالي: ضرر معتدل (moderate damage - 3 درجات) بالمناطق الجنوبية الشرقية للمدينة، ضرر شديد (severe damage - 4 درجات) شرق وشمال شرق ووسط وشمال غرب وجنوب غرب المدينة الأثرية، ضرر شديد جدا (very severe damage - 5 درجات) أجزاء من الشمال والشمال الغربي والغرب للمدينة الأثرية.

الاستنتاجات Conclusions

من خلال ما تم عرضه ومناقشته من أضرار التجوية الفيزيائية لمجموعة "فقدان مادة الصخر" (Loss of stone material) والمؤثرة على مباني المدينة الأثرية بصبراتة وهي أحد مجموعات أضرار التجوية الفيزيائية وفقا لما جاء في دراسات (Fitzner et.al., 2002, 2004) نستنتج النقاط التالية:

1- فيما يخص التجوية التراجعية أو الخلفية "Back weathering" والتي شملت خمسة أشكال للتجوية المؤثرة "individual weathering forms" (فقدان مادة الصخر في شكل رقائق- التشطي والتفتت- التراجع بحسارة قطع أو تجمعات صخرية غير محددة - التراجع بفقدان صفائح صخرية معتمدا في ذلك على تركيبة الصخر- فقدان قشرة السطح الخارجي للصخر)، تعتبر الاربعة الأولى من هذه الاشكال للتجوية الفيزيائية أكثر تأثيرا على مباني صخور المدينة الأثرية حيث وصلت درجة شدة الضرر لها الى شديدة (severe damage - 4 درجات) وشديدة جدا (very severe damage - 5 درجات) وذلك في معظم مباني المدينة.

2- فيما يخص التجوية بالخسارة والفقدان "Break ou weathering" والتي شملت أربعة أشكال للتجوية المؤثرة "Individual weathering forms" (الانحيارات بسبب عوامل غير سهلة التمييز- الانحيارات بفعل الانسان- الانحيارات بسبب البناء- الانحيارات بسبب عوامل طبيعية)، تعتبر الثلاثة الأولى من هذه الأشكال للتجوية الفيزيائية أكبر فعالية وتأثيرا على مباني المدينة الأثرية بصبراتة حيث وصلت درجة شدة الضرر لها بصفة عامة ما بين الشديدة (Severe damage - 4 درجات) و الشديدة جدا (very severe damage - 5 درجات) وذلك في معظم مباني المدينة.

3- فيما يخص التجوية التشكلية أو التضاريسية "Relief weathering" والتي شملت تسعة أشكال للتجوية المؤثرة "Individual weathering forms" (التجوية السنخية (شبيهة بخلايا النحل)- التجوية بالحفر الصغيرة- التثلم والتكور- التجوية المعتمدة على بنية الصخر الأصلي- تجوية مكونات الصخر- الازالة الخارجية لمكونات الصخر- التخشن- تضاريس الازابة الكارستية- التغيرات الناتجة بسبب التدخلات البشرية)، تعتبر أشكال التجوية الأولى والثانية من هذه الاشكال أكثر فعالية وتأثيرا حيث وصلت درجة شدة الضرر للأولى (السنخية) من شديدة (Severe damage - 4 درجات) الى شديدة جدا (Very severe damage - 5 درجات)، أما الثانية (الحفر الصغيرة) فوصلت الى المعتلة (Moderate damage - 3 درجات) وذلك في معظم أرجاء المدينة.

4- فيما يخص الأضرار الناتجة عن تقديرات دليل التجوية والتدهور الخطي "Linear Deterioration Index" ودليل التجوية التقدمي "Progressive Deterioration Index"، تعتبر جميع مباني مدينة صبراتة الأثرية متضررة بشكل كبير جدا وخاصة في مناطق الشمال والوسط وغرب وشمال شرق وجنوب غرب المدينة حيث وصلت درجة شدة الضرر الى شديد (Severe damage - 4 درجات) وشديدة جدا (Very severe damage - 5 درجات). يعتبر الجنوب الشرقي أقل تضررا حيث وصلت درجة شدة الضرر الى معتدلة (Moderate damage - 3 درجات تقريبا).

التوصيات Recommendations

يوصي فريق البحث من خلال هذه المجلة العلمية الموقرة والمهادفة جهات الاختصاص القائمة على صيانة المدن الأثرية بليبيا بحماية مباني مدينة صبراتة الأثرية من أضرار التجوية الفيزيائية التابعة لمجموعة التجوية "فقدان مادة الصخر" والتي تم توضيحها في هذا البحث تفاديا من انهيارها اخذين بعين الاعتبار درجة خطورة كل منها وذلك حسب ما أوردناه مع عدم الاهمال درجات الخطورة المتدنية منها. كما يوصي فريق البحث باستكمال دراسة بقية أضرار مجموعات التجوية الفيزيائية الاخرى حسب (Fitzner, 2002, 2004) والتي تؤثر سلبا عل مباني مدينة صبراتة.

الشكر والعرفان Acknowledgments

يسر فريق البحث أن يتوجه الى هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا " Authority of Natural Science Research and Technology" بالشكر والتقدير وأسمى ايات العرفان لتمويلها ودعمها المالي وتوجيهاتها العلمية لهذا البحث.

المراجع References

- Charles C. P., 2015. Physical Geology, McGraw-Hill, 15th Edit, p.106-115.
- El Hinnawy & Cheshitev, 1975. Explanatory Booklet for geological map of Libya (1:250,000, Sheet Tarabulus NI33-13, industrial research centre. Libya.
- Fitzner, B. Heinrichs, K and Kownatzki, R., 1995. Weathering Forms Classification, and Mapping. Denkmalpflege and naturwissense , naïf , natur –stelnkonservier , ungl , 41 – 88. Berlin Verlag Ernst , & sohn, p288.
- Fitzner, B., Heinrichs, K., 2001. Damage diagnosis of stone monuments – weathering forms, damage categories and damage indices. –In: Prikryl,R., Viles, H.A. (eds.): Understanding and managing stone decay. – Proceedings of the International Conference 'Stone weathering and atmospheric pollution network (Swapnet 2001).
- Fitzner, B., Heinrichs, K., La Bouchanjere, D., 2002. Limestone weathering of historical monuments in Cairo, Egypt. –In: Siegesmund, S., Weiss, T., VolXbrecht ,A. (eds.): Natural stone, weathering phenonema, conservation strategies and case studies. – Geological Society London, Special Publication1 205, 217-239.
- Fitzner, B. and, Heinrichs, k., 2004. Photos, atlas of weathering forms On stone numents.
- Flugel , E., 2004. Microfacies of Carbonates Rocks, Springer ,Verlag, Berlin, p. 976.
- Mohamed, K. Khalaf, 2008. Degradation and Conservation of Marble Floors in Archaeological Buildings, 5th Symposium of the Hellenic Society for Archaeometry, 8-12 Oct., 2008, Athens, Greece.
- Pamela J. W., 2013. Weathering at the "Wayback Machine", Georgia Perimeter College.
- Rapp, G.R., and , Hill, C.L., 1998. Geoarchaeology : the earth science approach to archaeological interpretation,(Yale Univ. Press), p 274.
- Rothert E, And Eggers T, Cassar J, Ruedrich J., 2007. Stone Properties Weathering Induced By Salt Crystallization of Maltese Obigerina Limestone, Geological Society, London, Special Publications, 271:189-198.
- Nabil A. Abd El-Tawab, 2012. Degradation and Conservation of Marble in the Greek Roman Hadrianic Baths in Leptis Magna, Libya. International Journal of Consevation Science, Vol. 3, Issue 3, Jul-Sept., 2012: 163-178.
- Nabil A. Abd El-Tawab, 2014. Honeycomb Weathering of Limestone Buildings in the Archaeological Sites of Leptis Magna, Libya. International Journal of Consevation Science, Vol. 5, Issue 2, Apr-Jun., 2014: 189-202.