

مدرسة العلوم الأساسية

قسم العلوم والهندسة البيئية

شعبة علوم البيئة

# دراسة نظرية لتقييم ملوثات الهواء على صخور مدينة لبدة الأثرية

**Theoretical study to assess air pollutants on the  
Leptis Magna archaeological rocks**

إعداد / ناصر محمد دياب

بكالوريوس في علوم الارض والبيئة - جامعة المرقب

العام الجامعي 1997-1998 م

إشراف

أ.د حسن الحسين ابو عربية

د علي يوسف عكاشة

دراسة مقدمة لغرض استكمال متطلبات الحصول على الإجازة العليا (الماجستير)

في العلوم والهندسة البيئية

ربيع 2015م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي  
خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ  
وَإِنَّمَا نُحْيِيهِ بِرُسُولِ رَبِّنَا  
مَا نُبَيِّنُ لَهُ لَئِنْ أَقْرَأَ  
يَدْرِكْ أَهْوَىٰهُ وَمَا يَدْرِكْ  
أَهْوَىٰهُ إِلَّا بِرُحْمِ رَبِّنَا  
وَإِنَّمَا يُعَلِّمُهُ الْغَيْثُ  
بِإِذْنِ رَبِّنَا لِيُنذِرَ  
بِآيَاتِنَا الْكُبْرَىٰ

- ﴿1﴾ اِقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ﴿1﴾ خَلَقَ الْإِنْسَانَ  
مِنْ عَلَقٍ ﴿2﴾ اِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ﴿3﴾ الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ  
﴿4﴾ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ﴿5﴾

صَدَقَ رَسُولُ اللَّهِ ﷺ  
عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ

~سورة العلق آية (1 - 8)~

قال رسول الله ﷺ:

”من سألني طريقاً يلتمس فيه علماً سهل الله

له طريقاً إلى الجنة“

صدق رسول الله ﷺ

## الإهداء

إليّ النبع الطيب كطيبة الارض إليّ ..... والبرقي (رحمها الله)

إليّ من أنار لـــــــي الطريق إليّ ..... والبرقي

إليّ من سائر كتبي سدة الحياة ورفاهيتها إليّ ..... زوجتي

إليّ أولادني الأثمنين أتمنّي لكم العسر عن طلب العلم

## الشكر والتقدير

الشكر لله رب العالمين الذي أثار لنا طريق العلم والمعرفة

أتقدم بجزيل الشكر إلى كلا من :

- مصنع البرج للإسمنت زليتن قسم التحاليل الكيميائية وبالأخص / م . عبدالله عبد الدائم
- معهد النفط الليبي طرابلس قسم إعداد الشرائح الميكروسكوبية.
- هيئة الأرصاد الجوية الخمس.
- كلية العلوم البحرية - الجامعة الاسمرية زليتن.
- إدارة مراقبة اثار لبده الخمس.
- من دواعي سروري وامتناني ،يشرفني ويسعدني إن أتوجه بالشكر والتقدير إلى رئاسة وأساتذة وكوادر الأكاديمية الليبية مصراته التي حققت لنا مكانا نتمناه.



## قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	
ا	الآية القرآنية	
ب	الإهداء	
ج	الشكر والتقدير	
د	قائمة المحتويات	
ز	قائمة الجداول	
ح	قائمة الأشكال	
ل	الملخص عربي	
م	الملخص إنجليزي	
الفصل الأول المقدمة		
الصفحة	الموضوع	ت
1	المقدمة	1
1	تمهيد	1.1
3	موقع الدراسة	2.1
4	الهدف من البحث	3.1
4	الدراسات السابقة	4.1
8	تلوث الهواء	5.1
9	مصادر تلوث الهواء	1.5.1
10	تأثيرات تلوث الهواء على مواد البناء	2.5.1
15	انتشار الملوثات في البيئة	3.5.1
21	طرق المحاكاة الحاسوبية	4.5.1
الفصل الثاني الجزء العملي		
26	جيولوجية المنطقة وعلاقتها بمباني المدينة	1.2
27	الصخور المستخدمة بالمباني الأثرية بمدينة لبددة	2.2

33	بيانات محطة الكهرباء	3.2
33	محطة كهرباء الخمس البخارية	1.3.2
36	محطة كهرباء الخمس الغازية	2.3.2
38	البيانات المناخية	4.2
38	درجة الحرارة	1.4.2
39	الرطوبة النسبية	2.4.2
40	كميات الامطار	3.4.2
40	سرعة واتجاه الرياح	4.4.2
44	العوامل البيئية المؤثرة على المدينة الأثرية	5.2
44	التجوية الميكانيكية (الفيزيائية)	1.5.2
51	التجوية الكيميائية	2.5.2
54	التجوية الحيوية	3.5.2
57	العوامل المساعدة على سرعة التجوية	4.5.2
61	تقدير تركيز الغازات الحمضية في المدينة	6.2
61	برنامج محاكاة انتشار الملوثات	1.6.2
62	تجهيز الخرائط	2.6.2
63	إدخال البيانات إلى برنامج معالجة الانتشار	3.6.2
63	حساب معدلات تآكل الرخام	7.2
65	التحقيق العملي والميداني	8.2
65	الاختبارات باستخدام جهاز فلورة الأشعة السينية	1.8.2
65	الفحص باستخدام المجهر الضوئي المستقطب	2.8.2
الفصل الثالث النتائج والمناقشة		
68	النتائج والمناقشة	3
68	تراكيز الملوثات في المدينة الأثرية	1.3
72	معدلات التآكل المتوقعة في صخور المدينة	2.3
76	تحليل العينات بالأشعة السينية المفلورة	3.3

76	عينات الرخام	1.3.3
76	عينات الحجر الجيري	2.3.3
78	عينات الجرانيت	3.3.3
79	عينات الشست	4.3.3
80	الحجر الجيري الرملي	5.3.3
82	نتائج الفحص باستخدام المجهر الضوئي المستقطب	4.3
82	الصخور الرسوبية	1.4.3
85	الصخور النارية	2.4.3
86	الصخور المتحولة	3.4.3
الفصل الرابع الاستنتاجات والتوصيات		
93	الاستنتاجات	1.4
94	التوصيات	2.4
المراجع		
95	المراجع العربية	
96	المراجع الانجليزية	
105	مراجع شبكة المعلومات	
106	الملحق	

## قائمة الجداول

رقم الجدول	الموضوع	الصفحة
1.2	درجة شيوع التركيب الصخري للصخور المحلية والمستوردة والمستخدمة في المباني الصخرية	35
2.2	أهم البيانات المستخدمة من محطتي الكهرباء الخمس.	37
3.2	مجموعة من العينات بالموقع مع نوع الصخر	66
1.3	القيم الحدية لتركيز الملوثات الغازية الخاصة بجودة الهواء الجوي لبعض المواصفات القياسية لدول العالم.	69

## قائمة الأشكال

الصفحة	الموضوع	رقم الأشكال
3	مواقع منطقة الدراسة.	1.1
13	تحول التماثيل الرخامية إلى أشكال متنافرة نتيجة التآكل والتلف.	2.1
16	أنواع انتشار الملوثات .	3.1
26	الخارطة الجيولوجية لمنطقة مدينة لبداء الاثرية.	1.2
28	عمود من الجرانيت يظهر حالة التقشر .	2.2
30	يوضح المقطع a صخور جدار من المدينة إما المقطع b مكشف الصخور من رأس الحمام.	3.2
36	صورة القمار الصناعية لمحطة الكهرباء البخارية.	4.2
36	الإنبعاثات الصادرة من مداخن هذه المحطة الأربعة بالعين المجردة.	5.2
37	صورة القمار الصناعية لمحطة الكهرباء الغازية.	6.2
38	متوسط المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة بمنطقة الخمس لمدة 10 سنوات (مركز الأرصاد الخمس).	7.2
39	المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية بمنطقة الخمس (مركز الأرصاد الخمس).	8.2
40	كمية السقط المطري على منطقة الخمس (مركز الأرصاد الخمس).	9.2
41	المعدلات الشهرية لسرعة الرياح في منطقة الخمس (مركز الأرصاد الخمس).	10.2
42	وردة الرياح بمنطقة الخمس للأشهر من يناير حتى أغسطس.	11.2

43	وردة الرياح بمنطقة الخمس للأشهر من سبتمبر حتى ديسمبر وسنويا.	12.2
45	تقشر الجزء المعرض للجو من الصخر وتفتته وانفصاله عن السطح.	13.2
46	شقوق الأعمدة الرخامية والتي تنهار بسبب النمو البلوري للمياه.	14.2
47	الفجوات المتكونة نتيجة حركة المياه بها وإذابتها للمواد اللاحمة.	15.2
48	مجرى مائي في قوس النصر اختفت فيه النقوش.	16.2
49	تأثير الرياح على جدران المدينة الأثرية ( تجوية تفاضلية).	17.2
50	أحد الأعمدة الشيسية المتأثرة بالرطوبة.	18.2
51	عمود من الشيست يبين دور التيارات البحرية في تغيير معالم الصخور المتحولة	19.2
52	تجوية المادة اللاحمة ومن ثم الفلسبار في أحد الأعمدة الجرانيتية	20 .2
53	الكهوف والفجوات في تكوين الخمس .	21 .2
53	تأكسد بعض الكتل الصخرية .	22 .2
55	نمو النباتات نتيجة انتقال البذور بواسطة الرياح.	23 .2
56	حركة النمل في الصخور.	24 .2
56	مساكن بعض الحشرات في الكتل الصخرية.	25 .2
57	بعض أنواع الطحالب والأشنات والحزازيات.	26 .2
58	إبراز مستوى التطبق الحوضي نتيجة عمليات التجوية.	27.2
58	بعض الأماكن تمت بها عملية التجوية .	28.2
59	تأثير الرطوبة في الأعمدة البعيدة عن البحر	29 .2

59	تأثير الرطوبة في الأعمدة القريبة عن البحر.	30 .2
60	بعض مواقع الترميم بالأسمنت .	31 .2
62	موقع العينات ومصدر الإنبعاث.	32 .2
70	التراكيز المتوقعة لأكاسيد النيتروجين في المنطقة المجاورة لمحطة الكهرباء ومدينة لبددة الاثرية.	1.3
71	التراكيز المتوقعة لثاني أكسيد الكبريت في المنطقة المجاورة لمحطة الكهرباء ومدينة لبددة الاثرية.	2.3
73	معدلات التآكل السنوية في الرخام بمدينة لبددة الاثرية تحت تأثير التلوث من محطة الكهرباء بالخمس	3.3
74	خطوط الكنتور تبين معدلات تآكل السنوية للرخام في المدينة الاثرية الخمس	4.3
77	النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينة من الرخام وعينة من القشور المتكونة عليها.	5.3
78	النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينات من الحجر الجيري وعينات من القشور المتكونة عليها.	6.3
79	النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينة من الجرانيت وعينة من القشور المتكونة عليها.	7.3
80	النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينات من الشست وعينات من القشور المتكونة عليها.	8.3
81	النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينات من الحجر الرملي وعينات	9.3

	من القشور المتكونة عليها.	
82	صورة جدار من صخر رسوبي من الحجر الجيري الرملي بالمجهر المستقطب.	10.3
83	صورة قاعدة عمود من صخر رسوبي من الحجر الجيري بالمجهر المستقطب.	11.3
84	صورة عمود من صخر رسوبية من الحجر الجيري بالمجهر المستقطب.	12.3
84	صورة صخر رسوبية من الحجر الجيري بالمجهر المستقطب.	13.3
85	صورة صخر ناري من الجرانيت بالمجهر المستقطب.	14.3
86	صورة صخر ناري من الجرانيت الوردية بالمجهر المستقطب.	15.3
86	من المسرح صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب.	16.3
87	من المسرح صورة صخر متحول من الشست بالمجهر المستقطب.	17.3
88	صورة أخذت من السوق صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب.	18.3
88	صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب من قوس سييتموس سيفروس.	19.3
89	صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب من معبد جوبيتر.	20.3
89	صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب من ساحة الألعاب.	21.3
90	صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب من البوابة الغربية.	22.3
90	صورة صخر متحول من بالمجهر المستقطب من حمامات هدریان.	23.3
91	صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب من معبد الحوريات.	24.3
91	من الميدان الجديد صورة صخر متحول من الرخام بالمجهر المستقطب.	25.3



## المخلص

تشير الأبحاث العلمية حول العالم إلى أن الإنبعاثات الناجمة عن عملية إحتراق الوقود بنوعيه الثقيل والخفيف والغاز الطبيعي، تتسبب في تأثيرات سلبية على الصحة العامة، وتؤدي إلى تدني مستوى البيئة المحيطة بما فيها تآكل المباني الاثرية.

وفي هذا البحث تمت دراسة تأثير الإنبعاثات الصادرة من محطتي كهرباء الخمس (البخارية والغازية) على مدينة لبداء الأثرية المجاورة لهذه المحطة، وذلك بإستخدام برامج معالجة الإنتشار، لحساب تراكيز الملوثات الغازية (اكاسيد الكبريت والنيتروجين) في مدينة لبداء الاثرية تحت تأثير المتغيرات المناخية، وبالتعويض في معادلات رياضية متخصصة تم حساب معدلات تآكل بعض أنواع الصخور تحت تأثير هذه الملوثات، كما تم التحقق من وجود تغيرات كيميائية في تركيب صخور المدينة بعد تحليلها باستخدام جهاز الاشعة السينية المفلورة، ودراستها ووصفها بواسطة المجهر المستقطب.

من خلال النتائج تبين وجود تراكيز عالية من الملوثات المنبعثة من المصدر المذكور، والتي تتحرك في فترات معينة من العام باتجاه المدينة الاثرية، وبمحاكاة هذه النتائج عبر الحاسب الآلي عن طريق برنامج داسبر وجدت إن صخور المدينة متأثرة من هذه الإنبعاثات إلى جانب بعض الملوثات الأخرى وأكثر المناطق تأثرا بها هي الأعمدة والتماثيل الرخامية.

## Abstract

Scientific researches indicate that the pollutants emission from power plant cause negative impacts on ancient buildings as a corrosion.

This research investigation the effect of emissions from steam and gas Khoms power plants on the city of Leptis Magna archaeological adjacent to the station, using dispersion programs to calculate the concentrations of pollutant gaseous (sulfur and nitrogen oxides) in the city of Leptis Magna archaeological under the influence of climatic variables, and compensation in mathematical equations specialized been calculated rates eat marble under the influence of these pollutants, and has been verified the presence of chemical changes in the composition of the rocks of the city through analysis of the components using the XRF, it also has been detected tissues rock samples by polarized microscope.

The results obtained from this study showed the possibility of the presence of high concentrations of these pollutants in the ancient city which greatly affect the city rocks as the marble columns and statues.

# الفصل الأول

## المقدمة

## 1. المقدمة

### 1.1 تمهيد

تعد مدينة لبدّة إحدى المدن الأثرية أكبر المدن في حوض البحر المتوسط، حيث تحتوي على مواقع أثرية تمثل حضارات متعاقبة من رومانية وبيزنطية وفينيقية، وقد تم تصنيفها لدى منظمة اليونسكو التابعة للأمم المتحدة كتراث إنساني عالمي منذ العام 1984 م. تحتوي المدينة على كنوز لا تقدر بثمن متمثلة في الكم الهائل من المباني التي أبدع فيها فناني ومهندسي وبنائي تلك العصور، من حيث التنوع في استخدام الأحجار المختلفة والنقوش التي تزين بعض الجدران والأعمدة. وعلي الرغم من انقضاء ثلاثة عقود على البدء في تشغيل محطة كهرباء الخمس البخارية، ونحو عقد ونصف علي إنشاء محطة الخمس الغازية التي تقع على مسافة لا تتجاوز 3 كيلومترات شرق مدينة لبدّة الأثرية، إلا أن تأثير الانبعاثات الغازية الناجمة عن حرق الوقود الثقيل والخفيف والغاز الطبيعي وأثارها البيئية بصفة عامة، وعلي أثار لبدّة بصفة خاصة، موضع تساؤل في الرأي العام وذلك لعدم وجود دراسات علمية حول الأضرار الناجمة عن هذه الملوثات.

وأمام هذا الإرث العظيم ومابه من مظاهر تلف مختلفة نتيجة لتعرضه للتجوية، التي قد تتسبب في إتلاف مكوناتها التاريخية لوقوعها ضمن نطاق منطقة التلوث، التي كان ولا بد من أن يضع العلماء والباحثين نصب أعينهم المحافظة عليها، وذلك بإجراء الدراسات والبحوث، واقتراح الحلول العلمية، حتي يتم وضع الحلول المناسبة للمحافظة عليها قبل فوات الأوان. لذا وقع الاختيار علي دراسة تقييم تأثير الملوثات الناتجة عن محطة كهرباء الخمس علي بعض صخور وأحجار هذه المدينة، وفهم ميكانيكيات التلف المختلفة الناتجة عن هذه الملوثات.

أسست مدينة لبدّة بواسطة الفينيقيين كمحطة تجارية خلال الألف الأول قبل الميلاد (ق.م)، وأقدم آثارها ترجع إلى القرن السادس ق.م. وكان الاسم القديم لها (لبتس) Lipts، وتعد

أهم مدينة فينيقية في ليبيا، وقد استطاع الفينيقيون أن يعمروا البلاد بسرعة نظرا لخصوبة أرضها، واعتدال مناخها وصلاحيته للسكن، ولأن لها ميناء مأمون وصالح للملاحة ولوقوعها على نهر عين كعام، ومما زاد في سرعة عمرانها العلاقات الطيبة التي نشأت بين السكان الأصليين والفينيقيين نتيجة لحسن معاملتهم لهم، وقد اعتراها الانحطاط في أواخر القرن السادس (ق. م.) (باقر، 1973). وفي هذا الوقت حاولت مجموعة من الإغريق بقيادة الأمير الإسبرطي دوريبوس أن تنشئ مستعمرة عند مصب نهر عين كعام، منتهزه ما اعترى لبدّة من التآخر والانحطاط، وقد تم لها ما أرادت. خاف القرطاجيين من تسرب النفوذ الإغريقي، فلم يلبثوا أن هاجموا وخرّبوا مستعمراتها وطردوا الإغريق، واستولوا على لبدّة وما حولها، وأعادوا إليها ما فقدت من عمرانها وحضاراتها، وأطلق على هذه المنطقة اسم "أمبوريا"، وصارت جزءا من أملاك قرطاجة، وتمتع باستقلال داخلي، وبقيت تحت حكمهم إلى أوائل القرن الثاني قبل الميلاد (باقر، 1973).

كانت لبدّة من بين أكبر المدن وأوسعها عمراناً في العصر البونيقي والفينيقي فالروماني وبصورة خاصة في عهد الأباطرة من سفيروس (193 - 225م) الذين ينحدرون من أسرة عريقة من مدينة لبدّة نفسها، وقد أستطاع الفينيقيون أن يؤسسوا لهم مراكز تجارية على طول الساحل الأفريقي الشمالي، ويرجح بعض علماء الآثار أن تأسيس لبدّة قد تم بعد أن أسس القرطاجيون عاصمتهم (في ضواحي مدينة تونس العاصمة)، وذلك سنة 814 ق.م، وفي رواية أخرى أن تاريخ تأسيس مدينة لبدّة يعود إلى القرن السادس ق.م، فقد عثر فيها على الحفريات التي قامت بها جامعة بنسلفانيا سنة 1961م على قطع فخارية بالقرب من ميدان المدينة ترجع إلى ذلك العهد، وفي الفترة التي كانت فيها خاضعة للسلطة القرطاجنية، صمدت المدينة في وجه نوميديا الأفريقية حتى أنها استمرت قائمة بعد خراب قرطاجنة الذي تم على يد الرومان

عام 146ق.م، ثم انضوت تحت حكم المملكة النوميديّة بصفة استقلالية ( باقر، 1973 ).  
أهم آثار هذه المدينة هي حمامات هادريان، وقوس سبتموس سفيروس، وقوس تراجان،  
والفورم القديم، والبازيلكا، وبعض المعابد المختلفة، والسوق البونيقي، والمسرح، والامفثياتير  
وغيرها. كانت لبدّة في بادي أمرها مركزاً تجارياً أيام الفينيقيون في أبحارهم من سواحل سوريا  
إلى سواحل البحر الأبيض المتوسط للتجارة مع أسبانيا وذلك حوالي القرن 12ق.م، واستخدمت  
من قبلهم كمحطة تجارية أو ميناء مؤقت لإرسال السفن وتبادل البضائع المختلفة ( باقر، 1973).

## 1. 2 موقع الدراسة

تقع مدينة لبدّة الأثرية على ساحل البحر الأبيض المتوسط، على بعد حوالي 3 كيلومترات  
شرقي مدينة الخمس، عند مصب وادي لبدّه التي تبعد 120 كم شرق مدينة طرابلس عاصمة ليبيا  
(شكل 1.1)، وتحدد منطقة الدراسة من الشمال بالبحر الأبيض المتوسط وتقع بين دائرتي عرض

$35^{\circ}35'25''N - 35^{\circ}55'84''N$  وخطي طول  $18^{\circ}15'1''E - 18^{\circ}15'23.13''E$



(شكل 1.1) مواقع منطقة الدراسة .

### 3.1 الهدف من البحث

يهدف البحث إلى التعرف على الملوثات الغازية (مكوناتها، ونسبها، ومعدل انتشارها بمدينة لبداء الأثرية) الناتجة من محطة كهرباء الخمس الواقعة بجوار مدينة لبداء الأثرية، ودراسة بعض مظاهر التلف التي تعرضت وتتعرض لها أحجار المدينة نتيجة لتأثير هذه الملوثات، علاوة على فهم ميكانيكيات التلف المختلفة المؤدية لهذه المظاهر.

#### 1. 4 الدراسات السابقة

لقد تم الاطلاع على العديد من الدراسات العلمية التي تعرضت لتأثير العوامل الخارجية على الصخور والمباني الاثرية، وخاصة الملوثات الغازية منها، ففي دراسة Torfs and Grieker (1997) حول تأثير التركيزات المختلفة من ثاني أكسيد الكبريت على الحجر الجيري، حيث قام فيها بتعريض عينات مختلفة السمك من الحجر الجيري، لمياه الجريان السطحي لمدة 5 شهور، فوجد متوسط تركيز أكسيد الكبريت في مياه الجريان السطحي من  $SO_2$  (23 ppb) ومنها ثبت إن عمليات الغسيل أثرت في هذه الأحجار. ودرس Yerrapragada et al (1996) تأثير تركيز 10 ppm من  $SO_2$ ,  $NO_2$  على الحجر الكلسي والتعرض أما جاف أو الرطب في ولاية لوينزفيلي، ووجد أن سمك القشور الجبسية الناتجة من التعرض ل  $SO_2$  بعد سنة هي  $1.9 \mu m$ ، ووجد أيضا إن سطح النحت الناتج من الأمطار  $4.5 \mu m$  في السنة، نتيجة ذوبان الكلس من الرخام الأصلي. كما قام Delalieux et al (1997) بالدراسة على قوالب الرخام، حيث عُرضت لمدة 8 أيام للضباب، وبعد ثلاث قياسات لتركيزات الملوثات الأساسية عليها قدر  $SO_2$  (7ppb)، وأكسيد النيتروجين 131 ppb، والأجزاء العالقة (الجسيمات) كما إن كل عينات الجبس التأثير يكون ملحوظ عليها في البيئة الملوثة الناتجة من الضباب المائي اكبر من مياه الأمطار الملوثة، ودرس Zappia et al

(1998) بعض العينات في البيئة الأوربية منها الرخام والحجر الجيري، وتمت الدراسة على كلا من الآثار ذات الرسوم، والتي لا يوجد بها رسوم، وفسر ميكانيكية التلف الأولى هو السلفنة  $SO_2$  حيث يكون تأثيرها أكبر على صخور الرخام mortars من الصخور الأخرى، نتيجة الخشونة العالية للصخر، ووجد أن نواتج التلف والتحطيم تكون أعلى في الرسوم المحجوبة عن الأمطار، وبذلك يكون التعرض الجاف للملوثات أكثر ضررا على الرسوم والزخارف الأثرية. وفي دراسة Boke (1999) الذي قام بتعريض مطحون كربونات الكالسيوم لـ (  $SO_2$  10 ppm) و 90% رطوبة نسبية، لمدة 24 يوم، أن الجسيمات (المواد العالقة) المحملة في الهواء تزيد من معدل السلفنة بنسبة 20%. وقام Sabbioni et al (2001) بدراسة على صخور الرخام وذلك بأخذ عينات أثرية من أماكن مختلفة من المواقع الأثرية في أوروبا. ووجد إن زيادة تركيز الملوثات بالنسبة للمباني تهدد عمر المبنى، ووجد أن تكوين الجبس هي الميكانيكية الأولية للهدم وتليها تفاعل ما بين الجبس والكالسيوم ألومنيوم هيدريد. وفي دراسة أخرى لنفس الباحث في (2002) على صخور الرخام لتأكيد نتائج بحثه الأول (2001) حيث اخذ عينات ووجد أن الجبس هو الناتج الأولى للهدم والتلف في جميع العينات وان الخطوة الثانية تفاعل الجبس مع الكالسيوم ألومنيوم هيدريد ويتكون (كبريتات غير ذائبة) ووجد الكبريت في مكونات الهدم كما انه بين أن  $SO_2$  هو أكبر واعنف ملوث في عملية الهدم تجاه صخور الرخام. ودراس (2003) Marinoni et al تأثير ملوثات الهواء على الخرسانات، حيث تم جمع عيناته من داخل نفق سكك حديدية في ايطاليا وكان هذا النفق محاط ببيوت مع وجود كثافة لوسائل المواصلات والتي تؤدي إلى زيادة معدلات  $SO_2$  ، وفي سنة 1970 كان تركيز  $SO_2$  (11ppb)، وسنة 2002 كان تركيزه (132ppb) وكانت تراكيز اكاسيد النيتروجين ثابتة تقريبا (52ppb) بالنسبة للفترة المأخوذة ، ووجد أن خليط الملوثات من (الجسيمات،  $NO_x$ ،  $CO_2$



(SO<sub>2</sub>) تسبب في تكوين القشور على هيئة شجرية على الخرسانة، كما وجد إن نسبة النيترات موجودة بنسبة كبيرة في القشور الجبسية وجسيمات الدخان الأسود توجد بنسبة كبيرة، وبذلك تقل جودة المواد لان المواد المتداخلة تسبب التحطم التدريجي للخرسانة، والصخور الرملية والجيرية. كما اخذ Mar et al (2014) عينات من ميناء أثري، ومن أسفل الأسطح والمكونات الأصلية (على الترتيب) لتعيين مقدار التلف والتحطم، حيث وجد مكونات الانحلال الرئيسية على السطح بها مركبات النيتريت تم تحديدها بشكل واضح، والعينات ذات القشور السوداء بها الجبس وحبيبات الهباب الأسود، بينما عينات الحجر الرملي تأثرت بشكل كبير وتحطمت عن الحجر الجيري نتيجة خشونتها العالية. وفي إطار المشروع الأوروبي قام et al Tzanis (2011)، بتقييم عينات من المعادن والزجاج، والمواد الحجرية عند تعرضها لتلوث الهواء في المحطة التي تم تثبيتها لهذا الغرض على سقف مبنى وعلى إرتفاعات مختلفة يقع في وسط أثينا، والغرض الرئيسي من إجراء المشروع تحديد التآكل وآثار تلوث الهواء على المواد المختلفة، حيث كانت مجموعة من العينات محمية من المطر وجزئيا من الرياح ، ومجموعة أخرى غير محمية، ولتحديد هذه الآثار، تم إجراء التحليل الكيميائي للعينات، والتغير في الوزن، والسك حيث كانت النتائج التي تم الحصول عليها بعد مناقشتها ومحاولة تفسيرها تشير إلى حدوث تغيرات وبنسب مختلفة على هذه المواد. ويوضح بحث يعرض نتائج دراسة كيميائية لقشور سوداء وجدت على الصخور، قام به Donatella et al في سنة (2014) على الآثار في ثلاث مدن ايطالية، درست بتقنيات المجهر الضوئي، والمجهر المسح الضوئي الإلكتروني بالإضافة إلى الأشعة السينية، والطيفية والأشعة تحت الحمراء، إلى جانب الاستئصال بالليزر، والطيف الكتلي، لتحديد تركيزات المعادن الثقيلة. ولوحظ تلوث الأجسام بالمعادن الثقيلة، وخاصة الرصاص والزنك في المدينة الكبيرة والصناعية، مما يعكس تلوث الهواء الحاد جدا، كما

أظهرت النتائج للمدن الثلاثة أن التلوث يتأثر بعوامل كثيرة مختلف منها مصادر التلوث البشرية، ارتفاع أخذ العينات، ومدة التعرض، وشكل سطح الترسيب. ووضح (ابوعربية وآخرون ، 2004ب) نسب تأثير أنواع التجوية المختلفة على صخور مدينة لبداء الاثرية، ووجد أن أهم أربعة أنواع تجوية مؤثرة على صخور تكوين سيدي الصيد هي العامل الحياتي والتكربن والتغيير الحراري والتقشر، وتأثير التجوية على صخور تكوين الخمس في مناطق مختلفة من المدينة، والتي من حيث عددها وأنواعها ضعفين ونصف الضعف من مؤثرات تكوين سيدي الصيد، إذ يدخل بها بالإضافة إلى أنواع التجوية السابقة كل من التأكسد والتحلل بالماء، والتشبع بالماء، والنمو البلوري، والعامل النباتي، ويبين تأثير تكوين قرقارش بعوامل التجوية المختلفة ، والتي منها يظهر أنه متأثر بنفس عوامل تكوين الخمس إلا أنه يختلف معه من حيث ترتيب المؤثرات، وهذا عائد إلى طبيعة التكوين الصخري له، حيث وجد أن أعلى النسب ترجع لعملية التكربن ثم تليها عملية العامل الحياتي وتعبها عملية التحلل المائي، ويبين تأثير التجوية على الصخور المتحولة، وبالمقارنة على مجمل أنواع المؤثرات على الصخور الرسوبية السابقة نجد أن هناك فارق كبير في نسبة عوامل التجوية ، عاكساً لطبيعة كل نوع من الأنواع الصخور السابقة، ثم المواقع التي بها هذه الصخور، حيث أن أغلب الصخور المتحولة هي في أماكن موجهة للتيارات، ومفتوحة وسطحها المعرض للتجوية أكبر من الكتل الرسوبية، ولذلك فإن دور التجوية بها إلى حد ما يُعتبر كبيراً، وأن أكبر نسبة يرجع لعمليات التأكسد، وعملية التقشر وعملية التكربن، ثم عملية التشبع بالماء والتغيير الحراري، وأقلها عملية التحلل المائي وعملية النمو البلوري (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).

من خلال بعض البحوث التي تم استعراضها، نلاحظ أن هناك تعرض لعمليات التلوث والتلف لبعض الأحجار المستخدمة لأغراض البناء والزينة والتكسية الخارجية، والمدن الأثرية هي جزء

من هذه المباني وتتعرض بشدة لهذه العوامل، خاصة أنها تتعرض للملوثات والتلف لفترات أطول من غيرها من المباني، ولهذا لا بد من دراستها للعمل على تقليل مثل هذه الأضرار بأكثر قدر ممكن.

## 1. 5 تلوث الهواء

يُعرف تلوث الهواء بأنه تعرض الغلاف الجوي لمواد كيميائية، أو جسيمات مادية، أو مركبات بيولوجية تسبب تغير من خواصه الطبيعية، قد تكون طبيعية أو ناتجة عن نشاط الإنسان، وبذلك تسبب الضرر والأذى للإنسان والكائنات الحية الأخرى، أو تؤدي إلى الأضرار بالبيئة الطبيعية، إن اهتمام الإنسان بتلوث الهواء يعتبر حديث نسبياً، حيث بدأ بعد انطلاق الثورة الصناعية وزيادة عدد الوفيات الناتجة عنه، ومن هنا ازداد الاهتمام العالمي للحد من تلوث الهواء، لتجنب الكوارث التي أصابت بعض المدن، والتي منها كارثة تلوث الهواء في لندن سنة 1952م، حيث كانت معظم مدن إنجلترا مغطاة بالضباب لمدة خمسة أيام، وأدت إلى حالة من التحول الحراري غير العادي المصحوب بانخفاض شديد في درجة الحرارة، مما سمح بتراكم دخان المنزل والمصانع فوق المدينة، مكوناً طبقة سميكة من الضباب الدخاني، تسبب في إغلاق المطارات وتوقف وسائل النقل الشبه تام تقريباً، وصاحب هذه الظاهرة انتشار أمراض الجهاز التنفسي والقلب، وزيادة ملحوظة في معدل الوفيات، (إسلام، 2001). وتصنف الملوثات إلى ملوثات أولية وهي المواد التي تصدر بشكل مباشر من إحدى العمليات، مثل الرماد المتناثر من ثورة أحد البراكين، أو غاز أول أكسيد الكربون المنبعث من عوادم السيارات، أو ثاني أكسيد الكربون المنبعث من مداخل المصانع، والملوثات الثانوية وهي المواد التي لا تنبعث في الهواء بشكل مباشر، وإنما تتكون نتيجة لتفاعل الملوثات الأولية مع بعضها البعض، ومن الأمثلة المهمة على ذلك ما يحدث بطبقة الأوزون بالقرب من سطح، وبعض الملوثات قد تكون أولية وثانوية

في الوقت نفسه، أي أنها تتبعث في الهواء بشكل مباشر وتكون ناتجة أيضاً عن بعض الملوثات الأولية الأخرى. وللحفاظ على الهواء نظياً، وخفض الأضرار الناجمة عن تلوثه وتدهور البيئة المحيطة بالإنسان، وُضعت قيم حدية لتقييم جودة الهواء في محيط الإنسان والبيئة، تستخدم كمرجع قياسي في الحكم على مستوى تلوث الهواء (إسلام، 2001).

### 1. 5. 1 مصادر تلوث الهواء:

هناك العديد من المصادر التي تؤدي إلى تلوث الهواء نذكر منها:

#### 1. 5. 1. 1 مصادر التلوث بأكاسيد النيتروجين

يُطلق على المركبات الغازية الناتجة عن اتحاد الأوكسجين والنيتروجين إسم أكاسيد النيتروجين، وتشمل غاز ثاني أكسيد النيتروجين ( $NO_2$ )، وغاز أول أكسيد النيتروجين ( $NO$ )، وتتكون هذه الأوكاسيد تحت درجات حرارة عالية في محركات الإحتراق الداخلي، تساهم الأنشطة البيولوجية الطبيعية في النسبة الأكبر لإنبعاث أكاسيد النيتروجين، حيث قدر أنتاجها حوالي  $10^7 \times 50$  طن من أكاسيد النيتروجين سنوياً في عام 1970م، بينما يقدر أنتاج المصادر الصناعية  $10^7 \times 5$  طن من أكاسيد النيتروجين (Robinson and Robbins, 1970)، ومساهمة وسائل النقل في إنبعاث أكاسيد النيتروجين تبلغ 8 ملايين طن في عام 1972م، إلا أن 87% من هذه الكمية ناتجة عن محركات عربات النقل (Wolforum, 1972)، وهذه الكمية برغم من أنها قليلة ولكنها خطيرة جداً لتركزها داخل التجمعات البشرية، وتبلغ نسبته المنبعثة من مصادر صناعية ثابتة مثل الأفران الصناعية 30% ، أما 70% فتُنسب إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية (Raczynski and Watson, 1999). وهي غازات سامة تؤدي إلى الموت إذا وصلت نسبتها في الهواء خلال نصف ساعة إلى 0.07% ، وتساهم مع المركبات الهيدروكربونية في تكوين الغيوم السوداء في سماء بعض المدن (حاتوغ وابودية، 1996).

## 1. 5. 1. 2 مصادر التلوث بأكاسيد الكبريت

هناك العديد من أكاسيد الكبريت الملوثة للغلاف الجوي، إلا أن أهمها على الإطلاق وأكثرها إنتشاراً في الغلاف الجوي هو غاز ثاني أكسيد الكبريت ( $SO_2$ )، وهو غاز عديم اللون ذو رائحة قوية، وينجم عن حرق الوقود الأحفوري (الفحم والنفط)، وعن إنصهار الخامات المعدنية التي تحتوي على الكبريت، ويعتبر هذا الغاز من أشد ملوثات الهواء خطورة على النظام البيئي، بما فيه كل من الإنسان والحيوان والنبات على حدٍ سواء، والمسبب الرئيسي للمطر الأحامضي. تساهم المصادر الطبيعية بحوالي 66% من كمية الكبريت الداخلة إلى الهواء الجوي وخصوصاً في صورة كبريتيد، إلا أنه ينتشر بشكل منتظم على مساحات الكرة الأرضية، بينما النشاطات البشرية تساهم بـ 33% من كمية الكبريت، وتزداد سنوياً بسبب عمليات التطور البشري، وازدياد الطلب على الطاقة، وزيادة تعدين الخامات المعدنية، والتي أغلبها في صورة كبريتيدات، وقد أشار (الخطوف، 1995) إلى أن كمية ثاني أكسيد الكبريت المنبعثة في أوروبا عام 1965 م كانت 150 مليون طن، وتكمن خطورة المصادر البشرية لإنبعاث ثاني أكسيد الكبريت في تركزه في الأماكن والمناطق الآهلة بالسكان.

## 1. 5. 2 تأثيرات تلوث الهواء على مواد البناء

لا تقتصر آثار تلوث الهواء على الكائنات الحية من إنسان وحيوان وطيور وأسماك ، وإنما تمتد هذه التأثيرات أيضاً إلى المباني والآثار والمنشآت، إذ تُقلل من عمر المباني وتزيد في معدلات تآكلها كما أنها ترفع من تكلفة صيانتها.

## 1. 5. 2. 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 ( $\text{CaCO}_3$ )، لتكوّن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ )، والانهيدرايت (كبريتات الكالسيوم  $(\text{CaSO}_4)$ )، وهذه الكبريتات تتحور في الماء مما تسبب في تآكل كتل البناء والمونة المستخدمة في تماسك كتل البناء، وتستطيع كبريتات الكالسيوم أن تتخلل مسامات الصخور الجيرية، وتتبلور من جديد وتتمدد لتسبب مزيداً من التآكل وتضعف الصخور، ويتحول ثاني أكسيد الكربون في وجود الرطوبة إلى حمض كربوني، والذي بدوره يحول الصخور الجيرية إلى بيكربونات، والتي تذوب في الماء، وتتجرف بفعل الأمطار، وهذه العمليات الكيميائية تسبب أيضاً في تآكل التماثيل والأعمدة الرخامية (Tian et al, 1999).

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 (Ukberg, 1990; Lipfert, 1987)، وبشكل عام فإن مواد الربط الكربوناتية من المحتمل أن تكون أكثر عرضة لإختراق من الحجر الرملي، والإسمنت البورتلاند هو مادة قلوية، وبالتالي فهو عادةً ما يكون عرضة للتأثر بالملوثات الحامضية، وتشمل الآثار المحتملة والملموسة تلون وتآكل السطح، وتعزيز تآكل أسياخ الحديد الصلب الداخلة في تكوين الخرسانة، ومع ذلك بالنسبة لجميع هذه الآثار (باستثناء تآكل السطح) تُعد الأضرار الأكثر احتمالاً أن يحدث إحلال لأيونات الكلوريد محل الكربونات، بدلاً من التفاعل مع الملوثات مثل ثاني أكسيد الكبريت، ويُعد تآكل حديد التسليح العامل الرئيسي في التأثير على

الخرسانة، وذلك إذا كانت طبقة الخرسانة التي تغطي الفولاذ غير سميكة بما فيه الكفاية، والملوثات الحمضية تؤثر فقط على السطح وتآكل السطح لا يؤثر على السلامة الهيكلية وبالتالي ليس له تأثير على متانة الخرسانة، ومع ذلك في بعض الأحيان أدى التلوث بثاني أكسيد الكبريت بالفعل إلى تآكل كربونات الكالسيوم الصلبة، مؤدية إلى الزيادة والتوسع في الشقوق ( Webster and Kukacka, 1986)، ويمكن مشاهدة ذلك في كثير من العواصم والمدن التي تعرضت إلى تلوث الهواء، ففي لندن على سبيل المثال لوحظ تفتت بعض أحجار برج لندن، وكنيسة "وستمنستر آبي (Webster and Kukacka, 1986)، كما يشاهد ذلك بشكل واضح في كنيسة "استنبول" حيث بلغ عمق التآكل في بعض أحجارها الجيرية نحو 0.025 م إي بوصة كاملة، نتيجة التفاعل بين هذه الأحجار وبين غاز ثاني أكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك المحمل بهما المطر والرطوبة الجوية، هذا ويظهر تآكل الآثار والمباني التاريخية في أوروبا، من الأكربول إلى القصر الملكي في أمستردام، ومباني العصور الوسطى، والمباني التذكارية في "كراكاو" ببولندا، وتماثيل مدينة سانت بطرس بورغ أن التلوث قد تسبب في أضرار كبيرة للعديد من الآثار، حيث تحولت التماثيل النصفية الكلاسيكية التي نحتت من الرخام إلى أشكال متنافرة بلا آذان ولا أنوف شكل (2.1).

كما لوحظ أن التلوث الناجم عن التساقط الكثيف للكبريت تسبب في تكوين طبقة من الحجر المتعفن سمكه 0.1 م (إي أربع بوصات)، فوق الجدران الخارجية لكاتدرائية "دورهام" الشهيرة (Boden, 1989). وقد قام خبراء البيئة اليونانيون وبجهود كبيرة من أجل إنقاذ معبد "الأكروبوليس"، الذي يقع على هضبة عالية وسط أثينا، بعد أن بدا أن جدرانه تتحلل بسبب ارتفاع معدلات تلوث البيئة في العاصمة اليونانية. وفي المكسيك أدت الأمطار الحمضية الناتجة عن تلوث الهواء المتساقط على شبه جزيرة بوكانوا، وعلى كثير من مناطق جنوب المكسيك إلى

تدمير العديد من الآثار التاريخية، مثل الصور الجدارية والأحجار الضخمة المنحوتة، التي خلفها قدامى الهنود الحمر (Tian et al, 1999). وتشير بعض الدراسات الأمريكية، إلى أن تلوث الهواء قد يمنع ناطحات السحاب، والصروح الوطنية التاريخية، أن تعمر كما عمرت صروح أوروبا طوال تاريخها. إن من بين المباني التي تأثرت بشدة بالتلوث ما يسمى ببهو الاستقلال في فيلادلفيا، وهو



شكل (1. 2) تحول التماثيل الرخامية إلى إشكال متنافرة نتيجة التآكل والتفتت، (موقع جامعة ميشيغان، على الشبكة العنكبوتية) البهو الذي تم فيه إعلان الاستقلال، وتمثال الحرية، ونصب واشنطن التذكاري وهو عبارة عن مسلة من الجرانيت مكسوة بالرخام (Ashenden, 1979)، والرخام يتأثر بشدة بملوثات الهواء ذات الطابع الحمضي (أكاسيد الكبريت والنيتروجين)، وخاصةً في وجود معدلات عالية من الرطوبة الجوية أو كميات كبيرة من المطر (Boden, 1989).

### 1. 2. 5. 1 التأثير على المعادن

أهم العوامل الرئيسية التي تؤثر على معدل صدأ المعادن هي الرطوبة والأمطار ونوع الملوث ودرجة الحرارة، وعليه فإن تلوث الهواء يكون أحد هذه العوامل، فهو يتسبب في صدأ وتآكل المعادن، وتغير خصائصها الميكانيكية والكهربائية، فمثلاً يتسبب أكسيد الكبريت في صدأ طبقة الزنك المستخدمة في جلفنة الحديد والحماية من الصدأ، ويعد الألومنيوم أكثر مواد البناء



مقاومة للتآكل، وبالتالي فإنه يحتفظ بمظهره لسنوات، حتى في ظل الظروف المدارية، وعلى الرغم من مقاومة الألومنيوم للصدأ، إذ تُكوّن سبائك الألومنيوم طبقة سطحية للحد من تمكّن الصدأ منها عند تعرضها لثاني أكسيد الكبريت، إلا أن التجارب العملية تُشير إلى أن التراكيز العالية من الغاز (في حدود 280 جزء في المليون) تتسبب في صدأ الألومنيوم عند مستويات رطوبة تفوق 70%، وتُكوّن بودرة بيضاء من كبريتات الألومنيوم، كما أن تعرض النحاس في المفاتيح الكهربائية لكبريتيد الهيدروجين يزيد من مقاومتها الكهربائية مما يؤدي إلى فاقد في الطاقة الكهربائية أثناء إنتقالها عبر الأسلاك النحاسية (Boden, 1989). تآكل الطبقة الخارجية للمعادن عموماً يعتبر عملية كهروكيميائية تحدث فقط عندما يكون السطح رطب، ويتم تحديد معدل تآكل المعادن عن طريق تفاعلاتها، وأهمها هي الرطوبة والأمطار ودرجة الحرارة ومستويات الملوثات في الغلاف الجوي، 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 (Kucera, 1994).

### 1. 2. 5. 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 اللصق وتآكل الأسطح البوليميرية، وفقدان التصاق الطلاء والتفاعل مع الأصباغ الحساسة و مواد الحشو مثل كربونات الكالسيوم، مسببة التقصف والتكسير وخاصة في المواد المرنة، 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 (Spence, 1975; Haynie and Spence, 1984).

## 1. 5. 3 انتشار الملوثات في البيئة

### 1. 5. 3. 1 العوامل المؤثرة في إنتشار الملوثات في الهواء

بعد انطلاق المواد الملوثة من مصدرها إلى الهواء تبدأ بمرحلة الانتقال و التشتت و التي تكون بالاتجاهين الأفقي و العمودي، وتتوقف سرعة وكمية إنتشار الملوثات على سرعة الوسط الناقل لها، وعند اختفاء الرياح و سكون الهواء يَكُون التشتت بطئا لكونه يحدث بسبب الانتشار فقط إما الرياح فتقوم بنقل المواد الملوثة و باتجاه حركتها و بسرعة تتناسب و سرعتها . هذه الحركة للمواد الملوثة ضرورية اذ لولاها لتركزت في مناطق محصورة، و تكون نتيجة التلوث الحاد ظهور مشاكله عديدة . تلعب درجة حرارة الغلاف الجوي دورا مهما في انتقال المواد الملوثة خصوصا عند حدوث الانتكاس و الذي يؤدي إلى انعدام التيارات الهوائية العمودية و بالتالي إلى الانتشار ألبطي للمواد الملوثة إي ارتفاع تركيزها(إسلام، 2001م ) .

ويعتمد نمط انتشار الدخان على نمط تغيير درجة حرارة الغلاف الجوي العمودي و على هذا الأساس يمكن حدوث ستة أنواع من الانتشار وهي:

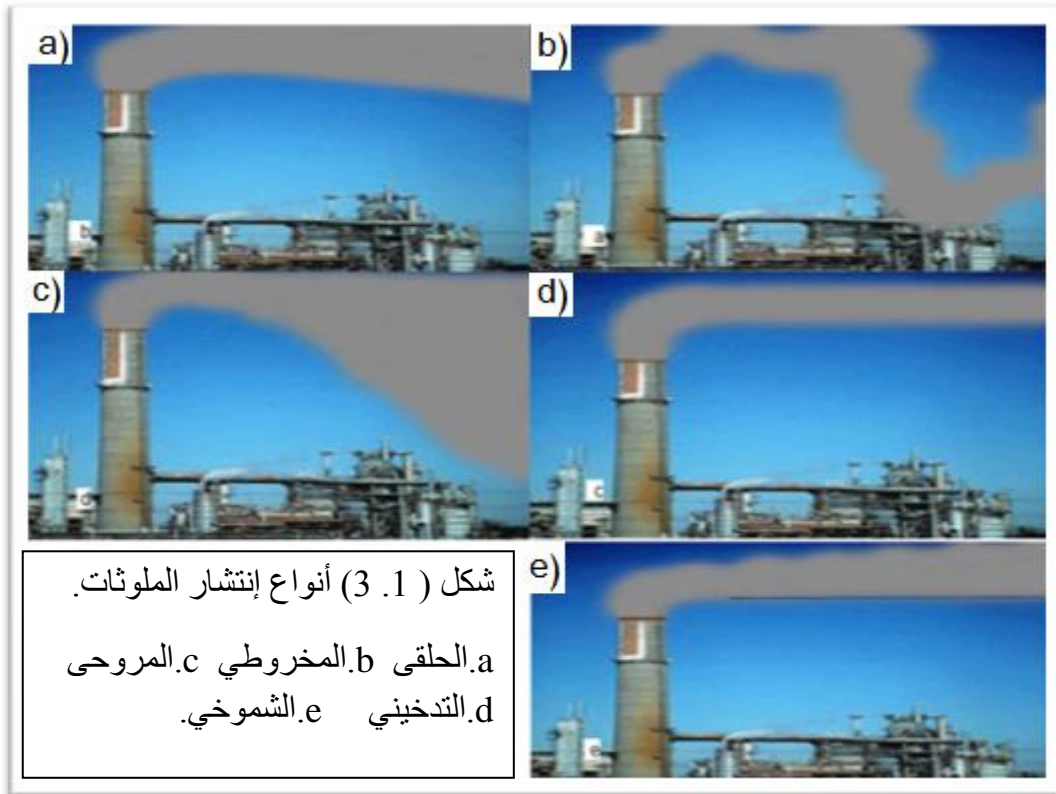
1- الانتشار الحلقي : يحدث عندما يكون معدل هبوط درجة حرارة الجو من النوع الأدبيات وفي هذه الحالة يكون الهواء شديد الاضطراب في حركته الاضطراب الناتج من الحرارة العالية يسبب تكون كتل هوائية مضطربة كبيرة الحجم و التي تساعد في تشتيت الدخان بسرعة و هذا يؤدي إلى إيصاله إلى سطح الأرض بسرعة شكل (1. 3a).

2- الانتشار المخروطي : و يحدث عندما يكون معدل هبوط درجة حرارة الغلاف الجوي من النوع الادبياتي (حالة من الضغط) أو تحته، و يكون شكل الدخان بشكل المخروط وينتشر بسرعة ابطى من الانتشار الحلقي شكل (1. 3b).

3- الانتشار المروحي: يحدث عندما يكون معدل تغيير درجة حرارة الجو موجبا إي تزداد درجة الحرارة عموديا تحت و فوق المدخنة و يكون الانتشار ضعيف جدا و هذه اضعف حالات الانتشار لكون الهواء ساكن جدا شكل (1. 3c).

4- الانتشار التسخيني: عندما تبدأ الشمس بتسخين الأرض يسخن الهواء القريب منها مسببا انكسار الانتكاس المستمر، وإذا استمرت الحالة سيحدث تغيير سالب في درجة الحرارة للطبقة الملاصقة للأرض مؤديا إلى حدوث تيارات هوائية دوامية تقوم بخلط الهواء في هذه الطبقة شكل (1. 3d).

5- انتشار أشموخي: يحدث عندما يكون الانتكاس في منطقة الهواء تحت المدخنة فقط، و هذا يمنع حدوث تيارات الخلط من هذه الطبقة بل تحدث في الطبقات الأعلى، هذه الحالة قد تحدث عند المساء وعندما ينمو الانتكاس الإشعاعي قرب السطح شكل (1. 38e).



6- الانتشار المحبوس : في هذه الحالة ينحبس الدخان بين طبقتين فيهما انتكاس ويبقى الطبقة الوسطية بينهما والتي تنخفض فيها درجة حرارة الغلاف الجوي عموديا و لهذا لا ينتشر عموديا إلا ضمن المنطقة المحصورة (إسلام، 2001م).

#### عوامل زيادة التلوث الحاد وتقليل الانتشار:

يحدث التلوث الحاد بسبب تصريف كميات كبيرة من المواد الملوثة إلى الجو، و انحسارها فوق المنطقة المصابة بسبب ظروف جوية معينة (إسلام، 2001م ) وأهم هذه الظروف هي :

- 1 - انعدام أو ضعف التيارات الهوائية الأفقية.
- 2 - استقرار الجو الذي يسبب تقلص الحركة العمودية للهواء.
- 3 - وجود الضباب الذي يشجع تكون المواد الملوثة الثانوية، ويعيق وصول ضوء الشمس إلى سطح الأرض لكسر الانتكاس.
- 4 - ارتفاع الضغط الجوي الذي يؤدي إلى حركة عمودية للهواء باتجاه الأرض.
- 5 - غياب الامطار التي تغسل الهواء.

#### 1. 5. 3. 2 نمذجة إنتشار الملوثات في الهواء

إن نمذجة تلوث الهواء هو أداة رقمية تستخدم لوصف العلاقة السببية بين الانبعاثات والأرصاء الجوية والتركيزات في الغلاف الجوي والترسيب وعوامل أخرى، ومن المعلوم أن قياسات تلوث الهواء تعطي المعلومات الكمية حول التركيزات والترسيب على المحيط، ولكنها تصف فقط نوعية الهواء في مواقع وأوقات محددة، دون إعطاء توجيهات واضحة بشأن تحديد أسباب مشكلة نوعية الهواء، بينما نمذجة تلوث الهواء يمكن أن تُعطي وصف أكثر إكتمالاً لمشكلة نوعية الهواء بما في ذلك تحليل العوامل والأسباب، (مصادر الانبعاثات وعمليات

الأرصاد الجوية، والتغيرات الفيزيائية والكيميائية)، وبعض التوجيهات بشأن تنفيذ تدابير التخفيف، وتلعب نماذج تلوث الهواء دوراً هاماً في المجالات العلمية المختلفة، وذلك بسبب قدرتها على تقييم الأهمية النسبية للعمليات ذات الصلة، وتعد نماذج تلوث الهواء الطريقة الوحيدة التي تقيس العلاقة الحتمية بين الانبعاثات والتركيزات وترسيبها أو تموضعها، بما في ذلك النتائج المترتبة عليها في الماضي والمستقبل وسيناريواتها (تصوراتها) المختلفة وتحديد فعالية إستراتيجيات التخفيف، وهذا يجعل نمذجة تلوث الهواء عملية لا غنى عنها في العديد من المجالات، مثل تطبيقات المراقبة والمعايرة والبحوث والطب الشرعي وغيرها، ويتم تحديد تركيزات المواد في الغلاف الجوي عن طريق وسائل إنتقال الملوثات، وإنتشارها، والتغيرات الكيميائية، والترسيب على الأرض، وقد تم قياس سرعة عملية الإنتقال في السوائل ودُرست على فترات طويلة منذ القدم، فعلى سبيل المثال متوسط سرعة الرياح تمت دراسته منذ قرون وذلك في استخدامه لأغراض الإبحار، بينما دراسة إنتشارها (حركة مضطربة) هو أكثر حداثة وتُعد من بين أول المقالات التي تذكر الإضطراب في الغلاف الجوي، وهي تلك التي ذكرها تايلور في مطلع القرن الماضي، ( Taylor, 1921 and Taylor, 1915).

### 1. 5. 3. 2. 1 نموذج جاوس لإنتشار الملوثات

أحد التحديات الأولى في تاريخ نمذجة تلوث الهواء كان فهم خصائص إنتشار أعمدة الدخان المنبعثة من المداخن الصناعية الكبيرة (Bosanquet, 1936) ولهذا الغرض تم تطوير نموذج بسيط (هو نموذج جاوس Gaussian Plume Model ) وكان هذا النموذج يستخدم بشكل أساسي للحصول على حساب الحد الأقصى لتأثير مستوى سطح الأرض على أعمدة الدخان وأبعد مسافة من المصدر يمكن أن تتأثر بهذا الدخان، ونموذج جاوس تمت صياغته بناء على دراسات تطبيقية لظاهرة الإنتشار الأفقي والرأسي لعمود الدخان، وقياس الإنحراف

المعياري للتوزيع المكاني للتراكيز في عمود الدخان (Boubel, 1994)، كما قدمت تجارب الهندسة الوصفية لعمود الدخان وتأثير الانحراف المعياري على توزيع التراكيز في كلاً من الإتجاهين العمودي والأفقي، بوصفها مرتبطة بحالة الإستقرار في الغلاف الجوي وإتجاه الرياح والمسافة من المصدر (Boubel, 1994)، ودرجة الإستقرار في الغلاف الجوي هو العامل الذي يميز الوضع المضطرب للغلاف الجوي، ويتراوح هذا العامل من مستقر جداً (class F)، مروراً بالطبيعي (class D)، وتصل إلى غير مستقر للغاية (class A).

وفي ستينيات القرن الماضي، توصلت الدراسات المتعلقة بتشتت الغازات من نقطة المصدر، وتم توسيع نطاق البحث في هذا المجال حيث أجريت دراسات كبيرة من قبل هوجستروم (Hogstrom, 1964)، وثيرنر (Turner, 1964)، كما تطورت العديد من المعادلات والنماذج الخاصة بأعمدة الدخان وإرتفاعاتها من قبل مور (Moore, 1967)، وإنتشر إستخدام وتطبيق نموذج جاوس لعمود الدخان على العالم كله، وأصبح النموذج القياسي في كل البلدان الصناعية لحساب الإرتفاع المطلوب للمداخن الصناعية للحصول على تصاريح، كما أشار إلى ذلك بريلاند (Beryland, 1975)، كما تم إستخدام وتطبيق نموذج جاوس أيضاً على مصادر الإنبعاث على طول الخط والمصادر المنبعثة من مساحة واسعة، وتدرجياً بدأ إدراك أهمية إرتفاع عمود الخلط والتأثير الكبير للجاذبية الأرضية والإرتفاع عن مستوى سطح الأرض على تراكيز الملوثات (Holzworth, 1967 and Deardorff, 1975)، وعليه فقد تم تطوير نموذج جاوس بإدراج عوامل أخرى متعددة على هذا النموذج لتشمل آثار إرتفاع عمود الإختلاط (Yamartino, 1977).

## 1. 5. 3. 2 نماذج إنتشار ملوثات الهواء الأخرى

إن إنبعاثات ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين من المداخن العالية يمكن أن يؤدي إلى إنخفاض الأُس الهيدروجيني على مسافات كبيرة من المصادر، كما أصبح من الواضح أن الأوزون في الولايات المتحدة كان مشكلة في المناطق الريفية والمناطق الصناعية على حد سواء، وهكذا كان من الواضح من هذه الحالات أنه لا يمكن أن يتمثل بشكل كامل عبر معادلة بسيطة كنموذج جاوس. وبالتالي ظهرت طريقتين للنمذجة المختلفة، هما طريقة لاغرانج Lagrangian modeling و طريقة نموذج أولر Eulerian modeling، وفي طريقة لاغرانج لنمذجة إنتشار الملوثات، وعملية طرد الهواء أو نفخة تتبع على طول المسار، مع إفتراض أنه يحافظ على هويتها خلال مساره، بينما في طريقة أولر للنمذجة يتم تقسيم المنطقة قيد الدراسة إلى شبكة من الخلايا، وذلك في كل الإتجاهات الرأسية والأفقية.

أما طريقة لاغرانج للنمذجة إتجهت في البداية إلى وصف الإنتقال بعيد المدى للكبريت، وذلك من خلال الدراسات التي قام بها الياسين (Eliassen and Saltbones, 1975) وفيشر (Fisher, 1975)، وقد بدأ الياسين العمل على نموذج مسار خاص به، الذي أستخدم على مر السنين لحساب تلوث الهواء عبر الحدود للملوثات الحمضية وتراكيزها عبر فترات زمنية مختلفة، والنفاعات الكيموضوئية التي تحدث عليها، وكثيراً ما تستخدم طريقة لاغرانج للنمذجة في تغطية فترات طويلة من الوقت تصل إلى سنوات، كما استخدمت طريقة أولر للنمذجة في البداية مع الدراسات التي قام بها

(Reynolds, et, al. 1973) للأوزون في المناطق الحضرية، والدراسة التي قام بها Shir (and Shieh, 1974) على ثاني اكسيد الكبريت في المناطق الحضرية، وكذلك الدراسات التي

قام بها كارمايكل (Carmichael and Peters, 1979) عن الكبريت على مستوى الإقليم، وتوصلت دراسات النمذجة التي قام بها رينولدز على حوض لوس أنجلوس إلى إقترح النموذج المعروف بنموذج Urban Air shed Model-UAM والذي وُضع لمحاكاة التفاعلات الكيميائية وحالياً تستخدم طريقة أولر للنمذجة في محاكاة الانتشار لمدة زمنية محدودة تستمر لعدة أيام.

وبشكل عام فإن معظم الدراسات باستخدام نماذج لاغرانج تم تطبيقها في أوروبا وعلى مدى واسع من المسافات ولفترات زمنية أطول، وتركزت هذه الدراسات في المقام الأول على ثاني أكسيد الكبريت، أما نموذج شبكة أولر فقد تم تطبيقه في الغالب في الولايات المتحدة الأمريكية، على الكثير من المناطق الحضرية وتقتصر على الظروف العرضية، وتُركز في المقام الأول على الأوزون  $O_3$  حيث استخدمت في دراسة طرق تكونه (Sklarew, 1971)، وظهرت الدراسات في وقت مبكر على كلاً من طريقة أولر وطريقة لاغرانج للنمذجة بواسطة (Liu and Seinfeld, 1974) (Friedlander and Seinfeld, 1969).

#### 1. 5. 4 طرق المحاكاة الحاسوبية

ظهرت حديثاً بعض نماذج الكمبيوتر المتخصصة في محاكاة إنتشار الملوثات في الهواء، والتي تعتبر ذات أهمية كبيرة في تطوير عمليات النمذجة، ويتم إستخدامها من قبل مجموعة كبيرة من العلماء حول العالم، وبعضها توصي بها وكالة حماية البيئة الأمريكية لمحاكاة إنتشار وتفاعلات المواد الكيميائية كغاز ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأهم هذه البرامج هي: - - برنامج AERMOD: هو برنامج يحاكي عملية إنتشار الملوثات بفرضية الحالة المستقرة لنموذج جاوس لأعمدة الدخان، فإنه يستخدم حقل فردي للرياح لنقل الأنواع المنبعثة (Cimorelli et al., 2005)، وحقل الرياح يُشتق من حركة الهواء السطحية والعلوية



والإرصاد الجوية في الموقع، كما يجمع هذا البرنامج البيانات الجيوفيزيائية مثل الارتفاعات و التضاريس وإستخدام الأراضي مع بيانات الإرصاد الجوية لإشتقاق عوامل الطبقة الحدية boundary layer، مثل إرتفاع عمود الإختلاط ودرجة الإستقرار والإضطراب إلخ، ويستخدم هذا البرنامج حالياً بكثرة في معظم التطبيقات التنظيمية في الولايات المتحدة (Hanna et al., 2007).

برنامج CALPUFF: يستخدم هذا البرنامج لمحاكاة التشتت في ظروف الهواء غير المستقر وفقاً لطريقة لاغرانج للنمذجة، ويتميز هذا البرنامج الذي يستند على نموذج جاوس بأنه يمكنه القيام بمحاكاة واقعية لنقل المواد في حالات الهدوء (Larkin et al., 2009)، والظروف الراكدة والتضاريس المعقدة والمناطق الساحلية مع نسيم البحر والبر، وينصح بهذا البرنامج للمحاكاة بعيدة المدى في الاتجاهين (المسافة أكثر من 80 كيلومتر) والدراسات التي تتطوي على تقييم التأثيرات المرئية لأعمدة الدخان (Scire et al., 1999).

برنامج ISC-PRIME: يعتمد هذا البرنامج على قياس بيانات الإرصاد الجوية ساعة بساعة، بحيث يمثل الظروف التي تمر بها إنبعاثات المصدر (البيانات في مواقع محددة)، وبالتالي فإنه يمكن إستخدامه بإدخال بيانات الإرصاد الجوية كل ساعة وبشكل متتابع لتقدير التركيزات في المناطق المحيطة، بالإضافة إلى ذلك يمكنه علاج معدلات الإنبعاثات الثابتة للمصدر نفسه طوال فترة النمذجة، أو قد تختلف من شهر، لموسم، أو لساعة من اليوم، أو فترة زمنية أخرى، ويمكن تحديد هذه العوامل لمعدل إنبعاثات متغير ولمصدر واحد أو لمجموعة من المصادر.

برنامج RTDM: يعتمد هذا البرنامج على نموذج جاوس لإنتشار الملوثات في الحالة المستقرة وهو مصمم لتقدير تركيزات على مستوى الأرض وعلى شبكة محددة من المستقبلات بالقرب من واحدة أو أكثر في موقع مشترك من مصادر التلوث، بحيث يتم تطبيقه على المناطق الريفية، و توصي وكالة حماية البيئة (2005) بإستخدام هذا البرنامج للمناطق التي تضاريسها وعرة، وبها إرتفاعات تعادل إرتفاع عمود الدخان أو أعلى (Paine and Egan, 1987)، حيث أن هذا البرنامج يُعد متفوق تقنياً على البرامج الأخرى في هذا المجال لأنه يوفر تركيزات في شبكة

من المستقبلات في المناطق الريفية باستخدام سلسلة زمنية من ساعة إدخال البيانات الخاصة بالإرصاد الجوية، ويتم احتساب أي آثار للبناء أو الهضاب والمرتفعات على إنتشار الملوثات، كما يمكن للبرنامج تمثيل التغيرات الساعية في انبعاثات المصدر.

- برنامج PUFF-PLUME: هو نموذج يُستخدم للمساعدة في التنبؤ حول كيف تشتت ملوثات الهواء في الغلاف الجوي، ويعتمد على نموذج تشتت جاوس لتوقع إنتقال المواد الكيميائية (النويدات) المشعة والترسب الرطب والجاف، وذلك بإدخال بيانات حقيقية عن الإرصاد والتنبؤات الجوية وذلك لتقدير الجرعة المستنشقة من أشعة غاما (أي الإشعاع)، وقد وُضعت لأول مرة من قبل المختبر الوطني شمال غرب المحيط الهادئ the Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) في 1970م، وقد أستخدم في البداية من قبل وزارة الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية لإستخدامه في الإستجابة لحالات الطوارئ لإنطلاق المواد المشعة إلى الغلاف الجوي، وهي واحدة من مجموعة من الرموز لإطلاقها في الغلاف الجوي.

- DISPERSION: هو برنامج يستخدم لتوقع تشتت الملوثات في الغلاف الجوي على نطاق محلي وقد وُضع هذا البرنامج من قبل وحدة أبحاث نوعية الهواء في الإرصاد الجوية السويدية والمعهد الهيدرولوجي Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) وتقع في نورشوبينغ Norrköping ، ويستخدم هذا البرنامج على نطاق واسع في السويد من قبل الوكالات المحلية والإقليمية البيئية، ومختلف المستخدمين الصناعيين وفي الخدمات الإستشارية التي تُقدمها SMHI وللأغراض التعليمية.

-ADMS: هو برنامج متقدم لحساب تركيزات الملوثات في الغلاف الجوي المنبعثة سواء بإستمرار من مصادر نقطة الخط، وحجم المنطقة أو بشكل متقطع من مصادر النقطة وقد تم تطويره من قبل كامبريدج البيئية للإستشارات البحثية Cambridge Environmental Research Consultants (CERC) في المملكة المتحدة بالتعاون مع مكتب الإرصاد الجوية في المملكة المتحدة وجامعة ساري University of Surrey، وتم الإفراج عن النسخة الأولى من

هذا البرنامج في عام 1993م، والإصدار الثالث في فبراير 1999م، وحالياً يظهر الإصدار الخامس منه سنة 2013م، ويعمل على مايكروسوفت ويندوز، ويتضمن البرنامج خوارزميات تأخذ بعين الاعتبار آثار الإنجراف والمباني المجاورة ضمن مسار سحابة التلوث، وآثار التضاريس المعقدة وتأثير المواقع الساحلية الرطبة، وتسوية الجاذبية والترسيب الجاف، والتقلبات على المدى القصير في تركيز الملوثات، والتفاعلات الكيميائية، والإضمحلال الإشعاعي وأشعة غاما، وذلك عبر وصف إرتفاع عمود التلوث، ولفترات زمنية تتراوح بين قصيرة جداً إلى المعدل السنوي ويشمل النظام أيضاً بالقدرة على معالجة بيانات الإرصاء الجوية المدخلة.

-RIMPUFF: هو برنامج لمحاكاة إنتشار الملوثات على نطاق محلي وقد وضعه ريسو المختبر الوطني للطاقة المستدامة DTU، الدنمارك Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy, Denmark، وهو نموذج الإستجابة للطوارئ للمساعدة في التعامل مع منظمات إدارة الطوارئ الكيميائية، والنشرات النووية والبيولوجية والإشعاعية في الغلاف الجوي وإستخدم هذا البرنامج في عدة مراكز للطوارئ الوطنية الأوروبية للتأهب والتنبؤ بالكوارث النووية العرضية والكوارث الناتجة عن الغازات الكيميائية (أرغوس)، والأمراض المحمولة جواً كإنتشار فيروس الحمى القلاعية ويقوم البرنامج بحساب التشتت في الغلاف الجوي لحظياً ويغطي مسافات تصل إلى 1000 كيلومتر من جهة الإصدار مع مراعاة تقلب الرياح المحلية ومستويات الإضطرابات المحلية، وتأثيرها على أوقات النقل من بضع ثوان وتصل إلى اليوم، ويحسب أيضاً الترسيب الرطب والجاف و مستويات كثافة الأمطار والإضطرابات المحلية.

برنامج DISPER: هو برنامج لتحليل تشتت ملوثات الهواء من إنتاج شركة Canarina Environmental Software الأسبانية في العام 2007م، حيث يقوم البرنامج بحساب تركيز الملوثات في كل نقطة من الهواء لكل مصدر من مصادر الملوثات وظروف الجو وفقاً لنظام محاكاة عمليات التشتت التي لديه، ويتميز هذا البرنامج بأنه نظام سريع وعملي لتقييم تشتت الملوثات في الهواء، وهو برنامج سهل الاستخدام نسبياً كما أن النموذج الرياضي الذي يستخدمه البرنامج يوفر خيارات لنمذجة الانبعاثات الناجمة عن مجموعة واسعة من المصادر التي قد تكون موجودة في المناطق الصناعية والمناطق الحضرية، ويعتمد هذا البرنامج على معادلة جاوس بإفتراض حالة الهواء المستقرة، ويستخدم لتقدير إنتشار الملوثات المنبعثة من المصادر النفطية للمداخن، والطرق وأكوام التخزين والسيور الناقلة، وتصنف مصادر الانبعاث إلى ثلاثة أنواع أساسية من المصادر (نقطة وخط ومنطقة)، نموذج التشتت يستخدم سجلات بيانات الإحصاء الجوية لتحديد الظروف الملائمة لإرتفاع العمود والنقل ونظراً لسهولة إستخدامه فإن هذا البرنامج يستخدم في العديد من الجامعات والمنظمات المعنية بتلوث البيئة.

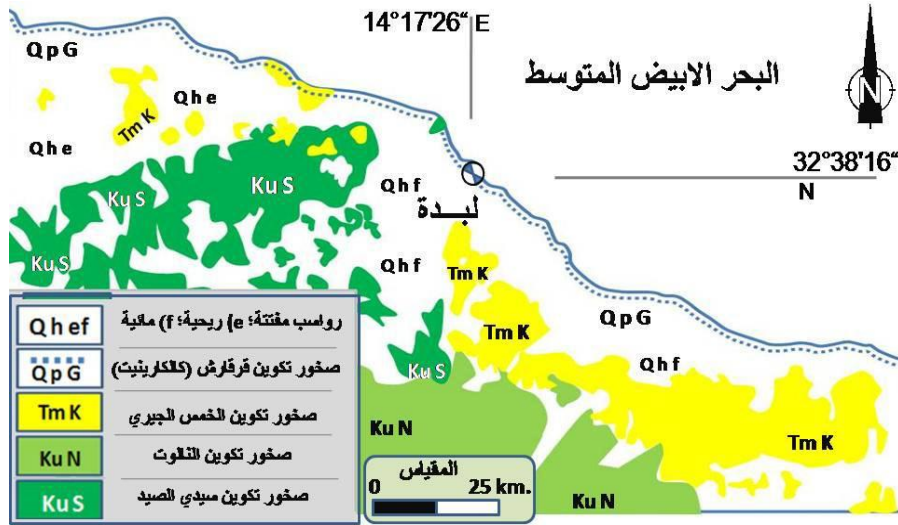
الفصل الثاني

الجزء العملي

## 2. الجزء العملي

### 1.2 جيولوجية المنطقة وعلاقتها بمباني المدينة

إن التعرف على جيولوجية المنطقة والتركيب الصخري للكتل الصخرية التي شيدت منها مدينة لبة، ذو أهمية كبيرة في عمليات الكشف عن الإضرار التي تتعرض لها كالتجوية والتآكل والتلف، حيث تحيط بالمدينة مكاشف ثلاثة وحدات صخرية، تشكل المكون الأساسي لصخورها، تتموضع من الجنوب الغربي مكاشف صخور الحجر الجيري، والمارل، والحجر الجيري الرملي، والدولومايت (تكوين سيدي الصيد السينومانية)، ومن الجنوب الشرقي تظهر أغلب مكاشف صخور الحجر الجيري، والحجر الجيري العضوي (تكوين الخمس المايوسيني)، والقليل منها يقع إلى الجنوب الغربي (شمال مكاشف تكوين سيدي الصيد)، أما مكاشف صخور الكالكرينيت (تكوين قرقاش البلايستوسيني) فتحدها من الشمال الشرقي والشمال الغربي الشكل (2. 1) ، ولقرب هذه المكاشف من المدينة يحتمل أن تحتوي على محاجر(مقالع) استخدمت كمصادر للكتل الصخرية التي شيدت منها المدينة (Minas et. al.; 2005).



شكل (2. 1): الخارطة الجيولوجية لمنطقة مدينة لبة الاثرية، بعد (Minas et. al.; 2005).

## 2.2 الصخور المستخدمة بالمباني الأثرية بمدينة لبدّة

بنيت المدينة من كتل صخرية ذات إبعاد محددة ، تم تهيئتها في المقالع، وتميزت بمقاومتها لظروف التجوية وجمال مظهرها ( Flugel, 2004 ). تضم المدينة كل أنواع الصخور: النارية، والرسوبية، والمتحولة، وتختلف نسب تواجد هذه الأنواع وفق مواقع استغلالها ومقدار مقاومتها لعوامل التجوية التي مرت عليها. وقد شيدت معظم جدرانها وأرضياتها من صخور كاربونايتية (ابوعربية وآخرون ، 2004ب)،

وفيما يلي شرح موجز لأهم أنواع الصخور بالمدينة:

### 1-الصخور النارية

تشكل هذه الصخور نسبة بسيطة بالمقارنة مع أنواع الصخور الأخرى في مدينة لبدّة، توجد هذه الصخور في أماكن بارزة بالمدينة، حيث نجدها قد استخدمت في الأعمدة، وفي البلاط والواجهات وفي بعض الأدوات المنزلية كالمعاصر والرحى، وتنقسم هذه الصخور إلى:

#### الصخور الجوفية :

وهي الصخور التي تكونت في الأصل تحت السطح، نتيجة تصلب الصحارة في باطن الأرض، وبسبب الانخفاض التدريجي لكل من الضغط والحرارة، منها الجرانيت والجرانوديورايت (الحمضية) والديورايت (المتوسطة). صخور الجرانيت الوردي استخدمت في الأعمدة الداخلية تحديدا في حمامات هادريان (والقائم منها حاليا 14 عمود)، وكذلك في ساحة سيبتيموس سيفروس وفي قاعة المحكمة شكل(2.2)، تمتاز هذه الصخور بلونها الفاتح وقلة المعادن المافية فيها، حيث يظهر سطح بعضها الخارجي محبب نتيجة لتأثير عمليات التجوية عليها التي يصل إلى درجة



شكل (2. 2) عمود من الجرانيت يظهر حالة التقشر.

التقشر، إما الجرانوديورايت يغلب عليه اللون الرصاصي، وأهم مواقع استخدامها في السوق البونيفي والبازيلكا، ويكون تأثيره بالعوامل الخارجية أقل نوعاً من غيره من الصخور الحامضة، ويسمى في أعمال البناء بالجرانيت الرمادي، تركيب هذه الصخور كتلي ونسيجها متوسط (1 - 2م) إلى خشن الحبيبات (3 - 6 مم) ماعدا القليل منها له حبيبات من متوسطة إلى صغيرة. صخور الديورايت مستخدمة كأعمدة في مناطق متفرقة من المدينة، ولونها رصاصي إلى مسود تتأثر هذه الأعمدة بشدة بعمليات التجوية والبرى ، بعض هذه الأعمدة ترتفع بها نسبة الكوارتز مما قد يضعها في مجموعة كوارتز ديورايت الذي يمتاز بحبيباته المتوسطة والتي تتراوح ما بين (2 - 3 مم) (ابوعربية وآخرون ، 2004 أ).

#### الصخور السطحية أو البركانية:

هي تلك الصخور المتصلبة بسرعة على سطح الأرض أو بالقرب من منه، والتي خرجت على هيئة صهير (لافا) من فوهات البراكين والشقوق. استخدمت هذه الصخور بكميات قليلة في مدينة لبد، حيث كان استخدامها نادرا كمواد بناء في البلاط إنما التركيز الأكبر عليها كان في الرحي والمعاصر والمطاحن، وفي الأسواق كمعدات قياسية، ومن أشهر أنواعها



البازلت والفونولايت والتراخايت والتوف والخفاف، حيث كان للبازلت دورا مهما في صناعة الأدوات المنزلية، والمطاحن والمعاصر، أما الفونولايت والتراخايت استخدم في الأرضيات، خاصة في حمامات هادريان، والتوف والخفاف في بعض مواد البناء.

## 2-الصخور الرسوبية

وهي تلك الصخور التي تكونت من تفتت الصخور السابقة التكوين، وتشكل حوالي 80% من الصخور المستخدمة في بناء مدينة لبدة الأثرية، ومن أهم الصخور الرسوبية المشيدة بها المدينة، التي جلبت من ثلاثة وحدات طباقية صخرية وهي:

- تكوين الخمس، مصدرها مقلعي (محجري) رأس الحمام(عضو رأس المنوبية) والآخر في وادي غنيمة (عضو النقازة)

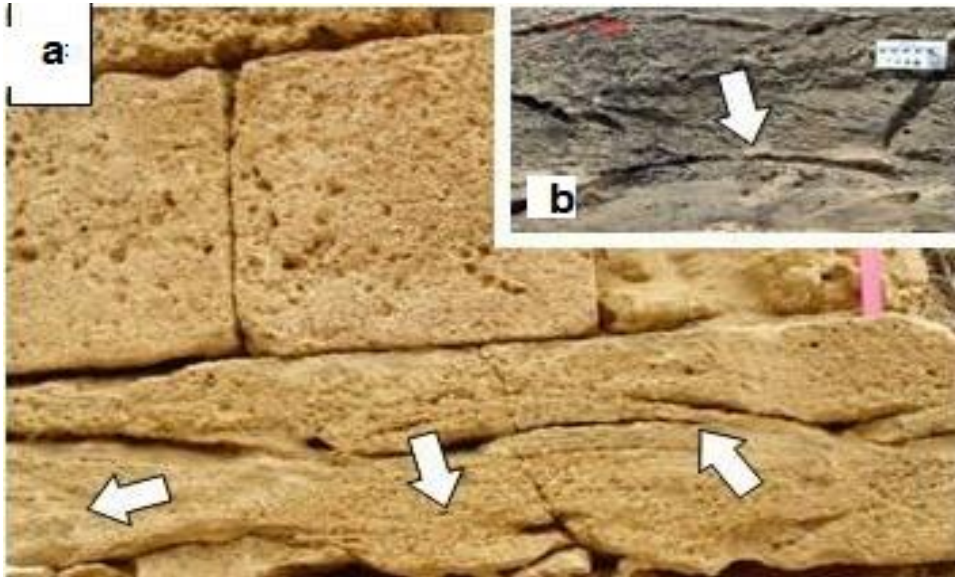
- تكوين سيدي الصيد (عضو عين طبي) المتميز بصخور مصدرها المقالع الواقعة قرب ميناء الخمس وفي وديان هجم الحقن و الصياح وقوقاس.

- تكوين قرقارش الجيري الرملی، وتحديدًا عضو كروط، الذي يمثل المكون الأساسي لجدران المدينة، جلبت صخوره من مقالع منطقة النقازة وكروط ومن مكاشفة الواقعة قرب الميناء.

ومن الصخور الرسوبية المستخدمة في بناء مدينة لبدة الأثرية ما يلي:

**الصخور الجيرية الدولومايتية** — وهي صخور متماسكة وصلبة تتكون من الحجر الجيري الدولومايتي الذي استخدم بشكل واسع في الأرضيات أو في المدرجات، والطرق لمقاومته العالية للاحتكاك، استخدمت الصخور الجيرية الدولومايتية في بناء الأسوار وتشيد الجدران في حمامات هادريان، و معبد الحوريات ربات المنابع (نوفيميوم) وغيرها، لقد أتضح أن هذه الصخور مصدرها هي مكاشف صخور تكوين سيدي الصيد المنتشرة حول منطقة الخمس(محمد كمال الدين، 1926).

الصخور الجيرية – تتكون من الكالسايت مع نسب قليلة من السليكا والطفل وأكاسيد الحديد والدولومايت. يستخرج الحجر الجيري عادة من المناطق المجاورة للمكان الذي تستخدم فيه كمواد بناء (محمد كمال الدين، 1926)، استخدمت الصخور الجيرية في بناء الأسوار وتشيد الجدران ونادرا ما تكون على شكل أعمدة كما هو الحال في الشارع الطولي والشارع العرضي، وحمامات هادريان وساحة الألعاب الرياضية، ومعبد الحوريات ربات المنابع (نوفيميوم)، ولقد شاع استخدام الحجر الجيري في أرضيات المدينة أبان الفترة الرومانية وتحديدا في المنطقة الجنوبية من المدينة، في حين تحدد انتشاره شمالا أبان الفترة البيزنطية ويزداد استخدامها في جدرانها شمالا وجنوبا وغيرها، ويتميز المستخدم منه في مدينة لبداء والمنكشف في المناطق المحيطة بالمدينة باحتوائه على تراكيب التوفا وهي حجر جيري مسامي، ومتصفح متكون من الينابيع ومساقط المياه وهذا ما أشار له (Demico and Hardie, 1994) كما في رأس الحمام الذي يحتوي أيضا على التطبيق المتقاطع القبوي والحوضي والشبيه بعظم السمك (شكل 2. 3).



يوضح (شكل 2. 3) خلال المقطع a صخور جدار من المدينة إما المقطع b مكشف الصخور من رأس الحمام

الصخور المارلية (الأطيان الجيرية) استخدمت الصخور المارلية في بناء بعض الأسوار وتشيد الجدران، في الشارع الطولي والشارع العرضي ، وحمامات هادريان وساحة الألعاب الرياضية ومعبد الحوريات ربات المنابع (نوفيميوم)، حيث كان وجودها بأعداد بسيطة لا تتجاوز بضعة قطع في كل مكان ، ولم يكن استخدامها بشكل واضح كما هو في الصخور الجيرية بسبب ضعف تماسكها وقلة مقاومتها للظروف الطبيعية، (والتي ربما لم تسمح بحفظها ) وتتميز باللون الأخضر المصفر (محمد كمال الدين، 1926).

صخور الجير الرملى (الكالكرينيت) **Calcarenite** المتماسكة – تمثل أكثر استخدام للكتل الصخرية في المدينة بصخور الرمل الجيري ( الكالكرينيت ) المجلوب من تكوين قرقارش- عضو قروط كون العضو الثاني والمعروف بكعام ذو طبيعة رخوة ضعيفة الالتحام بخلاف قروط، والسمة المميزة لهذا التكوين هو تركيبه الصخري الذي ليس له نظير في مكاشف صخور المنطقة، والمتكون من تفتت وتجمع لأصداف البحرية مختلطة بالرمال بنسب متفاوتة مشتقة بالأصل من صخور جيرية سابقة التكون (Garrison, 2003) تعود لصخور تكويني الخمس وسيدي الصيد. تنتشر هذه الصخور ذات العمر الرباعي على طول الشريط الساحلي المحيط بمدينة لبة، حيث يختلف في سمك مكاشفها ودرجة تماسكها ومكوناتها الكيميائية من موقع لآخر (Minas and Bakush, 2007)، ومحتواها من المادة اللاصقة قليلة، الأمر الذي يعكس سهولة تفتتها ويحدد من طبيعة مواقع استخدامها، تم استخدامها على نطاق واسع في بناء الأسوار وجدران المدينة لدرجة أصبحت المكون الأساسي لجدرانها، سواء كانت هذه المباني بيزنطية أو رومانية، في حمامات هادريان وساحة الألعاب الرياضية وفي الشارع الطولي والعرضي وغيرها، ولم تستخدم في الأرضيات بسبب سهولة تفتتها وتكسرها بمجرد تعرضها للاحتكاك.

### 3- الصخور المتحولة

تتكون الصخور المتحولة من الصخور الرسوبية أو نارية أو المتحولة تعرضت لضغط وحرارة عاليتين، تصنف هذه الصخور نسبة إلى نسيجها إلى صفائحية وغير صفائحية، تمثل الصخور الصفائحية في عمارة مدينة لبداء صخور الشيست المستخدمة في الاعمدة، والصخور الغير صفائحية يمثلها كل من الرخام والكورتزيت والمستخدم في الارضيات واحواض السباحة والاعمدة وغيرها ومن هذه الصخور (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).

الشيست يتميز هذا الصخر بتورق شديد واضح للعين المجردة مرتبة في اتجاهات متوازية، يمكن فصل هذه التورقات بسهولة على طول مستوياتها كما هو الحال في لبداء حيث أدت التجوية الى انفصال هذه الصفائح في اكثر من عمود عن بعضها البعض، خاصة في ترانس معادن المايكا على هيئة طبقات متوازية ممتدة لمسافات، يفصلها رقائق من الكوارتز الدقيقة، كما في صخور المايكا شيست والكوارتز شيست وغيرها، إن الملاحظ في هذه الأعمدة أنها نحتت بدقة متناهية على طول امتداد الصفائح ويعتقد ان ذلك يعود إلى أن مستخدميها أرادوا من هذا الأمر الجانب الجمالي حيث قصها بهذه الكيفية يبرز جمال تصفحها، الناتج عن تبادل ترانس المايكا مع المعادن الأخرى.

الرخام يختلف عن الشيست بأنه لا يحتوى على التورق، حيث إن حبيباته لا تنتظم في اتجاه واحد بل تكون في اتجاهات مختلفة، ويتكون من تحول الصخور الجيرية (الكلسية) بتأثير الضغط والحرارة، إن صخور الرخام لها ألوان مختلفة، وذلك بسبب وجود الشوائب بها وبالتالي تكسبه ألوانه الجميلة الزاهية، وخاصة بعد الصقل. والرخام المستخدم في المدينة متعدد الألوان منه الأبيض والمختلط بالسواد (الجرانيتي) والأسود وغيرها، من حيث التكوين ينقسم إلى الرخام الكتلتي والذي يستخدم في البلاط والواجهات، وفي التيجان وقواعد الأعمدة. ويستخدم بكثرة في

أحواض السباحة حيث تلبط بها الأرضيات لخاصيتها الممتازة في انعدام المسامية و يستخدم في بعض الأعمدة، إما الرخام الناصع البياض (الحليبي) يستخدم في صناعة التماثيل، وخصوصاً في حمامات هادريان، والنوع الأخر هو البريشا التكتونية والذي يستخدم فقط في الأعمدة (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).

والجدول (2. 1) يوضح درجة شيوع التراكيب الصخرية المحلية والمستوردة المستخدمة في بناء وتشيد المدينة وفق ما ورد عن (Fitzner et. el.,2002).

## 2.2 بيانات محطة الكهرباء:

تضم محطة الكهرباء بالخمس محطتي أحدهما بخارية والأخرى غازية، حيث تم الحصول على المعلومات الخاصة بالمحطتين (البخارية والغازية) بالخمس من خلال عدد من الزيارات الميدانية، والمقابلات الشخصية مع مهندسين من العاملين بالمحطة.

### 1.3.2 محطة كهرباء الخمس البخارية:

تقع المحطة شرق مدينة ليد الأثرية، على بُعد 3 كم، على شاطئ البحر شكل (2. 4)، وتتكون من أربعة وحدات إنتاجية، كل منها بطاقة 100 ميغاوات، وتعمل هذه المحطة بالوقود الثقيل، ودخلت المحطة الخدمة في بداية الثمانينات من القرن الماضي، ويتم تزويدها بالوقود عن طريق البحر بناقلات خاصة للوقود الثقيل، وبراً عن طريق صهاريج محمولة على شاحنات، وتتبعث الغازات منها عن طريق أربعة مداخن يبلغ ارتفاع كل منها 90 متراً، وبقطر 2.20 متراً، ويصل معدل إنبعاث الغازات من المحطة إلى 1800 متر مكعب بالساعة، وبدرجات حرارة حوالي 450 م° (درجة حرارة الغازات الناتجة عن الاحتراق)، وبسرعة خروج تقارب 15 m/sec، وتشتمل الإنبعاثات على الغازات التالية:  $SO_2 - H_2 - NO - CO_2$  - تقارب  $O_2 - N_2$ ، ويمكن ملاحظة هذه الإنبعاثات الصادرة من المداخن الأربعة -في بعض الحالات-

بالعين المجردة في الأفق فوق شاطئ البحر ولمسافات بعيدة تصل إلى عشرات الكيلومترات من ناحية البحر شكل (2. 5)، يبين إحدى الحالات التي تظهر فيها هذه الإنبعثات واضحة في الأفق.

جدول (1-2): درجة شيوع التركيب الصخري للصخور المحلية والمستوردة والمستخدم في المباني الصخرية (Fitzner et. el.,2002)

رقم الموقع في الخرائط المستخدمة في مملكة الآثار	صخور جلبت من المكاشف الصخرية الرسوبية المحيطة بالمدينة												الإحداثيات والارتفاعات باستخدام GPS			مواقع الدراسة الحالية	فترة الإنشاء قبل الوقت الحاضر (مملكة تارابدية)
	درجة شيوع التركيب الصخري												الإحداثيات بنظام الدرجات العشرية Decimal degree				
	أعداد الأعمدة الصخرية						Calcarenite الرمل الجيري		Limestone الحجر الجيري		Dolomite الدولومايت		ارتفاع الموقع (متر) وخط العرض	شمال	شرق		
	Schist متحولة	Marble متحولة	Granite نارية	Calcarenite الرمل الجيري	Limestone الحجر الجيري	Dolomite والدولومايت	الجدران	الأرضيات	الجدران	الأرضيات	الجدران	الأرضيات					
1812							ش			ن		ش	165	14.2891	32.6356	Arch Septimius Severus	1
1936	18									ش			122	14.2921	32.6357	The Palaestra	2
1936	10	10	18				ش		م	ش			125	14.2916	32.6350	The Hadrianic Baths	3
1709	8		5						م	ش			149	14.2929	32.6358	The Nymphaeum	4
1509 بيزنطي	7						ن				ش	ش	162	14.2931	32.6364	A Church	5
1784	28											ش	79	14.2938	32.6365	The Colonnaded street	6
1709	34		10						ن	ن	ش	ش	59	14.2937	32.6371	The Sevrans Forum	7
1509 بيزنطي		4	38						ن	ن	ش	ش	158	14.2942	32.6377	The Sevrans Basilica	8
1809		4					م		ش	ش		ن	106	14.2957	32.6391	The Curia	9
1962	10	20					ش		م			م	59	14.2949	32.6392	The Old Forum	10
1709			2							م		ن	76	14.2955	32.6390	The Old Basilica	11
1909 بيزنطي							ش		م	ش	ن	م	66	14.2947	32.6391	The Old Forum Church	12
2017		4		5			ن		ش	ش		ن	36	14.2948	32.6395	Temple of liber pater	13
1809		6		10			م		ش		م		92	14.2951	32.6396	Temple pf Roma and Augustus	14
1509 بيزنطي							م		ش	ش	ن		59	14.2941	32.6386	The Byzantine Gate	15
2017	9	8	40				ش			ن		ش	106	14.2922	32.6382	The Market	16
1973							ش		م	ش		ن	69	14.2921	32.6378	Arch of Tiberius	17
1918							ش		م	ش		م	106	14.2917	32.6376	Arch of Trajan	18
1997							ش		م	ش	ن	م	125	14.2910	32.6374	The Chalcedicum	19
2010	31	13	25				ش		م	ش		ن	106	14.2906	32.6384	The Theatre	20
	4						ش		م	ش		ش	208	14.2962	32.6386	The west Gate	21
	10						م		ش	ش	ن	ش	182	14.2878	32.6370	The Schola and Baths	22
1809	5								ش	ش		ن	185	14.2848	32.6400	Arch of marcus Aurelius	23
							م		ش				46	14.2916	32.6402	Seaward Baths	24
					4		ش			ن			119	14.2861	32.6414	Hunting Baths	25

درجة الشيوع : ش - شائعة ، م - معتدلة، ن - نادرة (حددت على أساس نسبة تواجدها < 66% "ش" ، < 33-66% "م" ، < 33% "ن" ، وهو مماثل للأسلوب الافتراضي المستند على الخبرة الحقلية .



شكل (2. 4) صورة بالأقمار الصناعية لمحطة كهرباء الخمس البخارية.



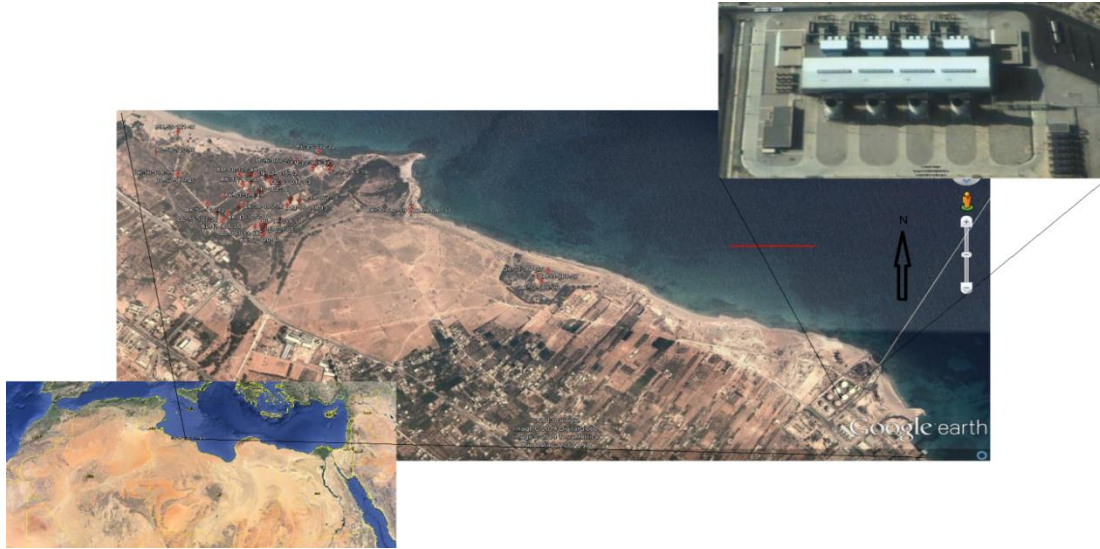
شكل (2. 5) الإنبعاثات الصادرة من مداخل هذه المحطة الأربعة بالعين المجردة

### 2.3.2 محطة كهرباء الخمس الغازية:

تقع بجوار المحطة البخارية، وتتكون من أربعة وحدات إنتاجية كل منها بقدرة 150 ميغاوات، ويستخدم فيها الغاز الطبيعي كمصدر للوقود. دخلت المحطة الخدمة في منتصف عقد التسعينيات من القرن الماضي شكل (2. 6)، وعادةً ما يلاحظ انبعاثات  $NO_x$  ذو اللون البني



المحمر المنبعث من مداخنها في الأفق على امتداد شاطئ البحر، وتتدفق الغازات الناتجة عن الاحتراق بدرجات حرارة تتراوح من 400 – 450°م، من أربعة مداخن ارتفاع كل منها نحو 30 متراً، وبقطر 3 أمتار. ويبين الجدول (2. 2) أهم خصائص محطتي الكهرباء الغازية والبخارية، حيث كانت تركيز غاز أكسيد النيتروجين المنبعث من المحطة الغازية 8399 جرام على الثانية (g/s)، وتراكيز غازات ثاني أكسيد الكبريت، واكاسيد النيتروجين المنبعثة من المحطة البخارية 1211 و129 جرام/الثانية (g/s)، لكل من على التوالي ( Ibrahīm et al 2012).



شكل (2. 6) صورة بالأقمار الصناعية لمحطة كهرباء الخمس الغازية.

جدول (2. 2): أهم البيانات المستخدمة من محطتي الكهرباء الخمس (Ibrahīm et al 2012).

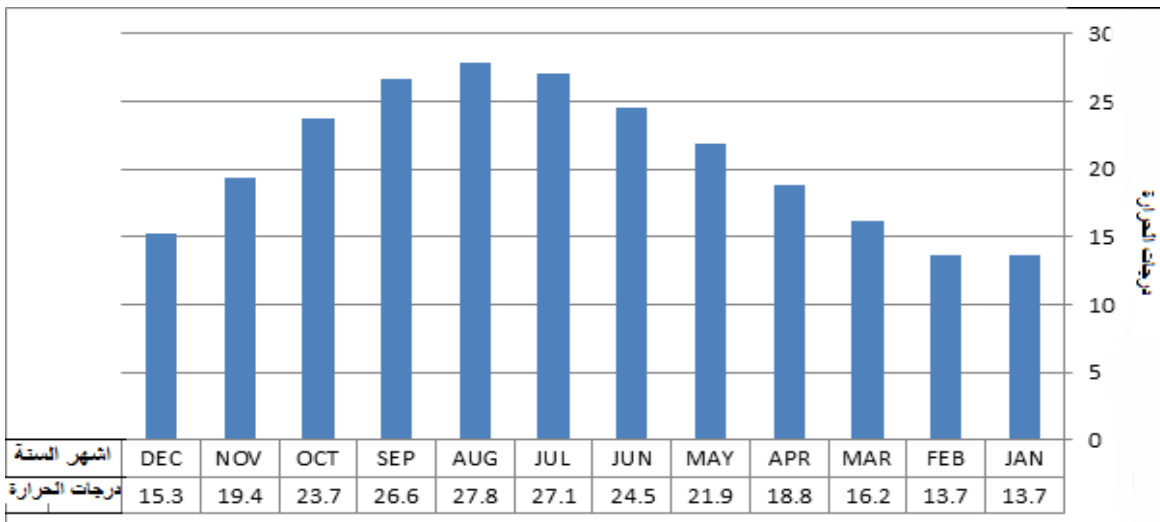
محطة الكهرباء	الحرارة C°	الارتفاع متر	القطر متر	NO <sub>x</sub> g/s	SO <sub>2</sub> g/s
الغازية	400	30	3	8399	--
البخارية	450	90	2.2	129	1211

## 4.2 البيانات المناخية لموقع الدراسة:

إن العوامل الجوية هي الأساس في انتشار التلوث، وسرعة انتقالها من المصدر إلى البيئة المحيطة، لذلك روعي الاهتمام بها في هذه الدراسة والتوسع والإلمام بالبيانات وخاصة التي يمكن أن تساعدنا في الوصول إلى النتائج والأهداف المطلوبة في هذه الدراسة، والعوامل الجوية هي الأساس المكون للطقس والمناخ، وقد تم في هذا البحث استخدام البيانات المناخية الواردة في السجلات الشهرية لمحطة أرصاد الخمس، وذلك لمدة 10 سنوات من سنة 2004 حتى سنة 2013 حسب التالي :

### 1.4.2 درجة الحرارة:

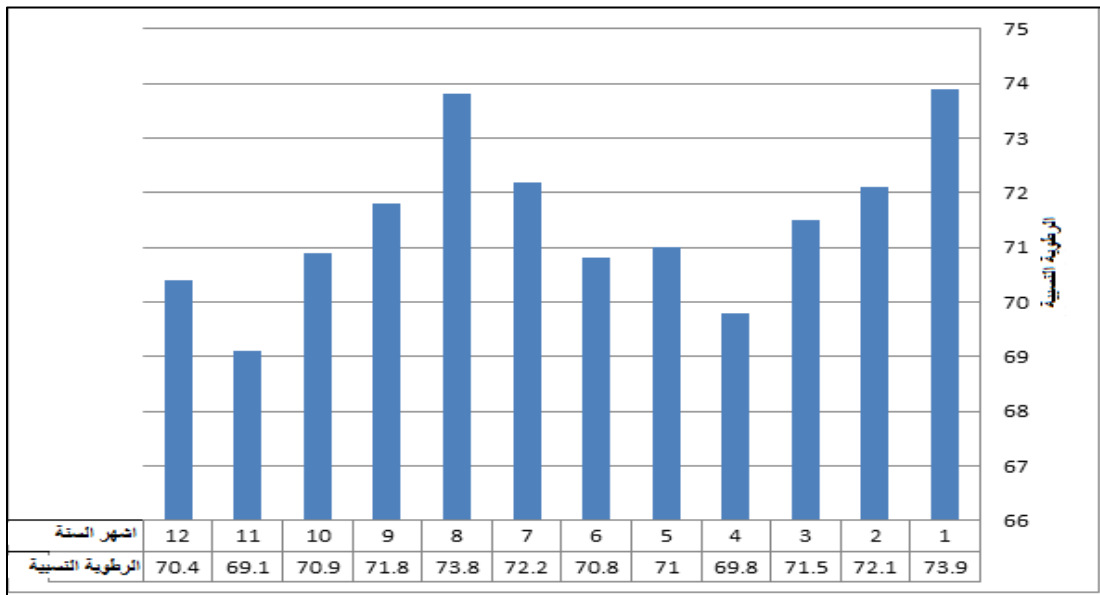
تعتبر الحرارة أهم العناصر المناخية نظراً لأن اختلاف درجاتها يؤثر في العناصر الأخرى، كالضغط الجوي والرياح والرطوبة والتكاثف، وبالتالي الأمطار، ويتفاوت متوسط درجة حرارة الهواء الجوي كما يظهر من شكل (2. 7) في منطقة الخمس من قرابة 13.7 درجة مئوية في شهر يناير وحتى 27.8 درجة مئوية في شهر أغسطس.



شكل (2. 7): متوسط المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة بمنطقة الخمس لمدة 10 سنوات (مركز الأرصاد الخمس).

## 2.4.2 الرطوبة النسبية:

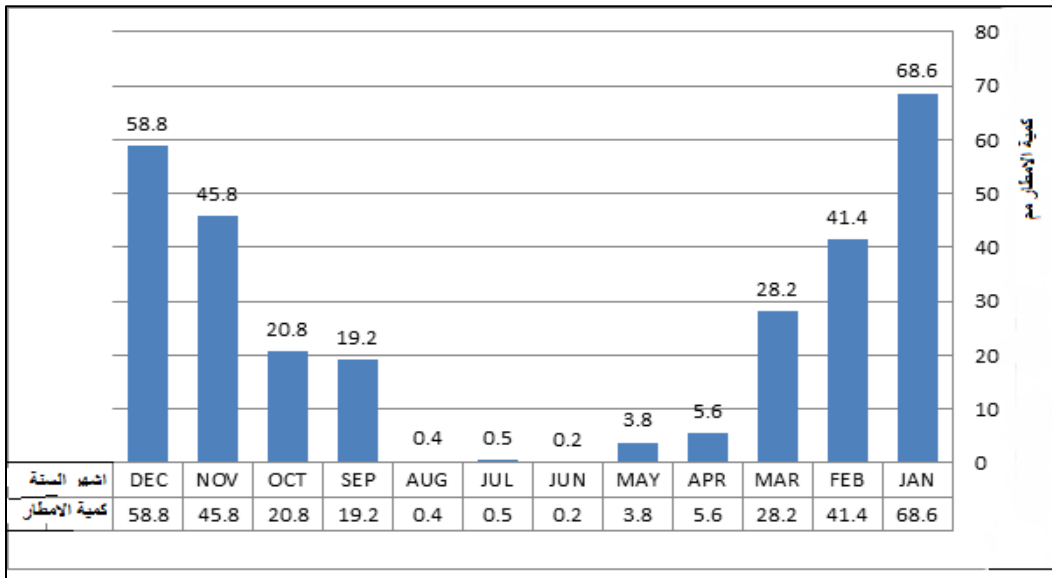
تعرف الرطوبة النسبية على أنها النسبة المئوية لكمية بخار الماء الموجودة في الهواء الجوي في درجة حرارة وضغط معين، إلى الكمية التي يمكن أن يحملها في نفس درجة الحرارة والضغط، وتلعب الرطوبة النسبية دورا مهما في زيادة تأثير الغازات الحمضية الملوثة للهواء الجوي، عبر المساهمة في إذابة هذه الغازات، وتكوين الأحماض المخففة، ولذلك فإننا نجد أنها احد العوامل المهمة في معادلة حساب تأثير التلوث على صخور المدينة الأثرية، وبالدرجة الأولى الصخور التي تحتوي على كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ )، وأهمها الحجر الجيري، والحجر الجيري الدولومايتي، والحجر الجيري الرملي والرخام، وتختلف كمية الرطوبة من مكان إلى آخر، حيث أنها دائما تكون أعلى في الأماكن الملاصقة لشاطئ البحر، وتقل كلما اتجهنا بعيدا عن الشواطئ، ويعتبر الهواء جافا إذا كانت النسبة اقل من 50 %، والرطوبة تكون معتدلة إذا انحصرت ما بين 50 و 70 %، و إذا زادت عن ذلك فتعتبر الرطوبة عالية ويمثل الشكل (2. 8) توزيع الرطوبة النسبية في منطقة الدراسة من 2004 - 2013م.



شكل (2. 8) المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية بمنطقة الخمس (مركز الأرصاد الخمس).

#### 4.2. 3 كميات المطر:

تعتبر الأمطار من العناصر المهمة في المناخ، وهي تسهم في تكوين المطر الحامضي، والذي يعتبر أحد عوامل التآكل للصخور، وبحكم أن منطقة الدراسة تقع على ساحل البحر، ذات الامطار الفصلية، التي تبدأ في السقوط في أواخر فصل الخريف، وتستمر خلال فصل الشتاء فتصل إلى أعلى مستوى لها في شهري ديسمبر ويناير شكل(2. 9) ، وتقل في فترة الربيع لتتعدم في فصل الصيف، وهذه الأمطار غير متساوية في الكمية والموعد.

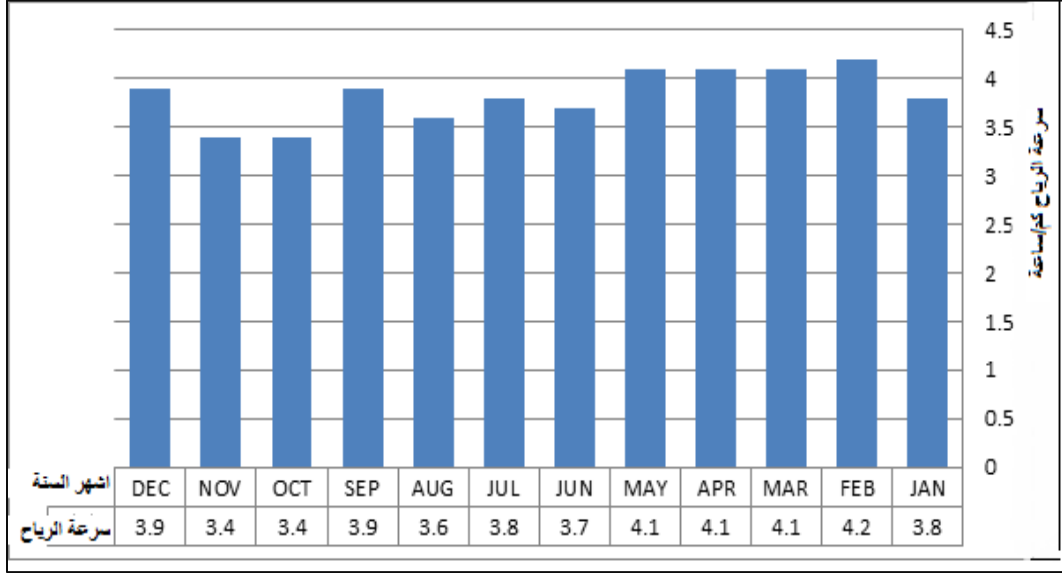


شكل (2. 9): كمية السقط المطري على منطقة الخمس(مركز الأرصاد الخمس).

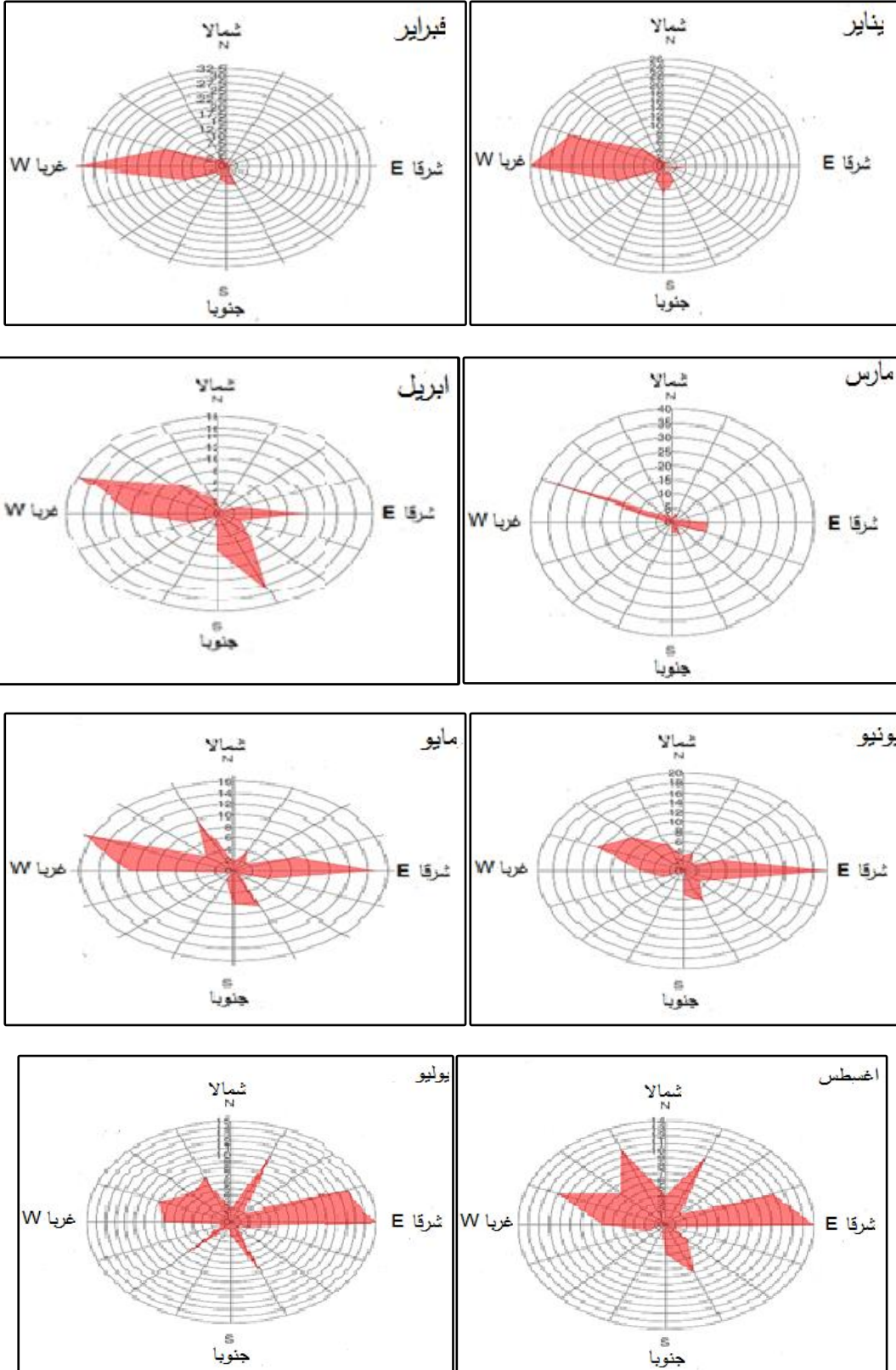
#### 4.2. 4 سرعة واتجاه الرياح:

الرياح هي عبارة عن هواء متحرك على سطح الأرض بسرعات مختلفة، وهي أحد العوامل المؤثرة في تكوين الامطار والرطوبة، وبالتالي في تدخل ضمن العوامل التي تؤثر على عوامل التآكل، ويمثل الشكل (2. 10) المتوسط الشهري لسرعة الرياح في منطقة الخمس،

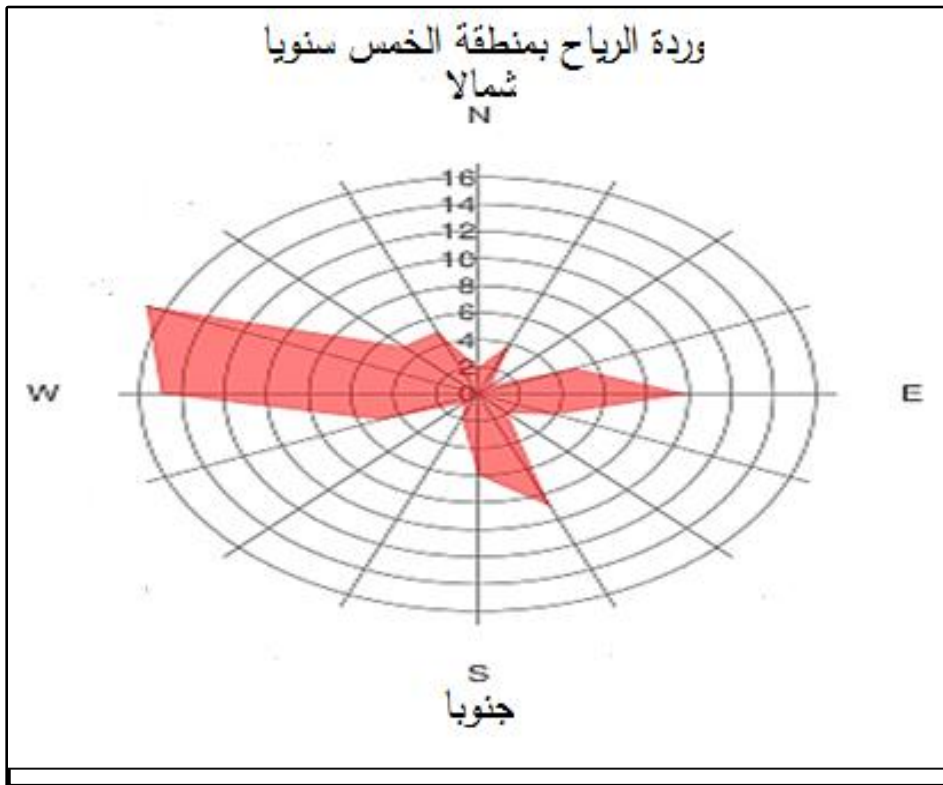
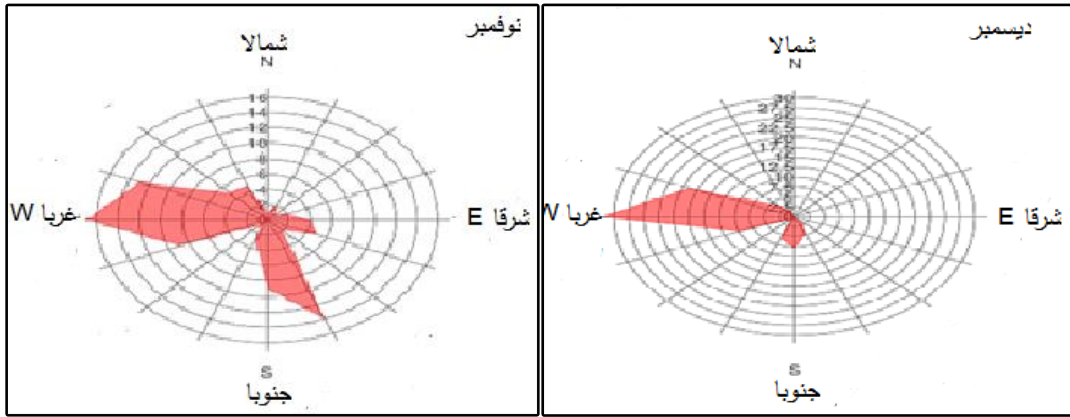
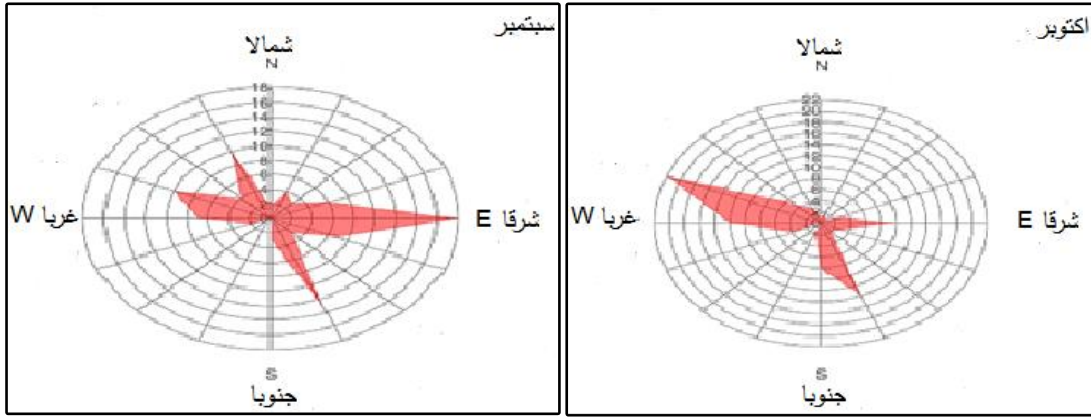
ويظهر منه إن معدلات سرعة الرياح الشهرية تتراوح من 3.4 كم/ساعة في شهر نوفمبر إلى 4.2 كم/ساعة في شهر فبراير.



شكل (2. 10) المعدلات الشهرية لسرعة الرياح في منطقة الخمس (مركز الأرصاد الخمس).  
وغالبًا ما يُشار إلى اتجاهات الرياح بوساطة استعمال 360° موضحةً على دائرة ويمكن الإشارة من هذه الدائرة إلى اتجاه الشمال بدرجة الصفر وتهب الرياح الشرقية من درجة 90° والرياح الجنوبية من 180° والغربية من درجة 270°، وغالبًا ما تختلف الرياح في السرعة والاتجاه عند الارتفاعات المتعددة. ويظهر من الأشكال (11.2 و 12.2) إن اتجاهات الرياح تتفاوت من فصل لآخر، حيث تسود في فصل الشتاء الرياح التي تهب من اتجاه الغرب، بينما في فصل الصيف فإن الرياح السائدة هي الرياح التي تهب من اتجاهات الشمال والشرق (ابوعربية واخرون، 2004ب).



شكل (2. 11) وردة الرياح بمنطقة الخمس للأشهر من يناير حتى أغسطس (شبكة المعلومات).



شكل (2. 12) وردة الرياح بمنطقة الخمس للأشهر من سبتمبر حتى ديسمبر وسنويا (شبكة

المعلومات).

## 5.2 العوامل البيئية المؤثرة على المدينة الأثرية

التجوية هي العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية التي تؤثر على مكونات سطح الأرض أو بالقرب منه، ولقد عرفت التجوية بأنها عملية تكسير وتفتيت للصخور، وتحولها إلى نواتج في حالة تعادل مع الظروف الطبيعية لمنطقة ما. وينتج عن التجوية للصخور والأحجار المكونة للمدن الأثرية، جسيمات وقطع صخرية مفككة تشمل الحصى والرمل والترية، الأمر الذي يؤدي إلى التغير في أشكال بعضها، وظهور بعض الأشكال الجديدة بها، تبعاً لاختلاف التركيب الصخري والمعدني من ناحية، ومدى فعل التجوية وطول المدة، أو الزمن الذي يتعرض له الصخر، والجسيمات والقطع الصخرية المفككة لا تستقر في موقع ثابت، بل تنتقل من مكان إلى آخر كلما توفرت لها العوامل التي تمكنها من ذلك وأهمها الرياح، وتتوقف هذه العملية على شكل وحجم الحبيبات، ودرجة الصلادة، وبالتالي فهي قد تصطدم ببعض الصخور الأخرى مما يؤدي إلى حدوث عمليات البري الصخري، ومن هنا فهي تسهل دور العمليات السطحية على الصخور والمعادن كالتأكسد والذوبان وغيرها (شاهين، 1994م)، وهذا ما سيتم التطرق له في هذا البحث من التجوية على صخور مدينة لبداه الأثرية.

### 1.5.2 التجوية الميكانيكية (الفيزيائية) :-

تشكل المياه والحرارة أهم عاملين في التجوية الميكانيكية للصخور، وتعمل على تكسير وتفتيت الصخور بدون أي تغير في تركيبها الكيميائي، ولهذه العملية أهمية كبيرة في الإسراع من عمليات التجوية الكيميائية، والحياتية للصخور، وذلك لما تولد من زيادة في المساحة السطحية، وأهم أنواع هذه التجوية التي تم العثور عليها في صخور المدينة الأثرية هي :



## 5.2. 1. 1 التقشر وتغيير درجات الحرارة.

إن اختلاف درجة الحرارة بين الليل والنهار يؤدي إلى تكرار تمدد الصخور وانكماشها، وهذا يؤدي فيما بعد إلى خلخلة أجزائها وتفتتها، فعندما ترتفع درجة الحرارة بالنهار تسخن الصخور إلى درجة عالية، أما عند انخفاضها أثناء الليل فتبرد الصخور نتيجة للإشعاع من سطحها المعرض للجو، بينما يظل باطن الصخر ساخن، ويؤدي هذا إلى التشقق وتقشر الجزء المعرض للجو من الصخر وتفتته وانفصاله عن السطح، ويمتاز الصخر المتماسك المنتظم بهذه الخاصية، حيث تنقشر أجزاء الخارجية على شكل صفائح بموازية سطح الصخرة، ففي الكتل الصخرية بالمدينة سمك الصفائح لا يتعدى بعض المليمترات، أما الأبعاد السطحية لها تتراوح ما بين (9×4) إلى (11×6) سم شكل (2. 13) (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



شكل (2. 13) تقشر الجزء المعرض للجو من الصخر وتفتته وانفصاله عن السطح.

## 5.2. 1. 2 النمو البلوري.

تساعد الحرارة الواطئة بصورة غير مباشرة على تكسير وتفتيت الصخور، إذا أن المياه العالقة بين الشقوق أو المفاصل أو المسامات الصخرية تتجمد عند انخفاض درجات الحرارة ،

مما يسبب زيادة في حجمها بحوالي 10 %، وهذه الزيادة تؤدي إلى الضغط على الصخور، مما يسهل بالتالي تكسيرها وتفتيتها، هذا التأثير يكون أكثر فعالية وسهولة على طول مستويات التصفح، أو داخل المسامات، أو في المناطق التي تكون فيها المواد اللاحمة، والتي تذوب بفعل هذه المياه بالنهار، وهذا واضح في الصخور الرسوبية، وكذلك في الأعمدة الرخامية (البريشيا التكتونية) الشكل (2. 14)، التي تنتشر في حمات هادريان، حيث يبدأ تساقط الأجزاء تتابعاً بمجرد إذابة المادة اللاحمة، وتركها لفراغات تكون ملائمة لتجمع المياه فيها (شاهين، 1994).



شكل (2. 14) شقوق الأعمدة الرخامية والتي تنهار بسبب النمو البلوري للمياه.

### 3. 1. 5.2 التشبع بالماء والجفاف :

إن سقوط الأمطار الغزيرة أو السيول (بين 300-400 mm في السنة) على الساحل الغربي لليبييا، لها اثر كبير في تجوية وتعرية الصخور، ونظرا لموقع المدينة ضمن هذا المناخ، والمتميز بسقوط كميات كبيرة من الأمطار شتاء، مقارنة بنسبة الأمطار المتوسطة على الساحل، فان تلك الكميات الكبيرة من مياه الأمطار الساقطة، تعمل على تفتت وتكسير الكتل الصخرية بالمدينة، مما يسبب في النحت المستمر لها موسم بعد الآخر، وتعمل على تكوين فتحات تكون

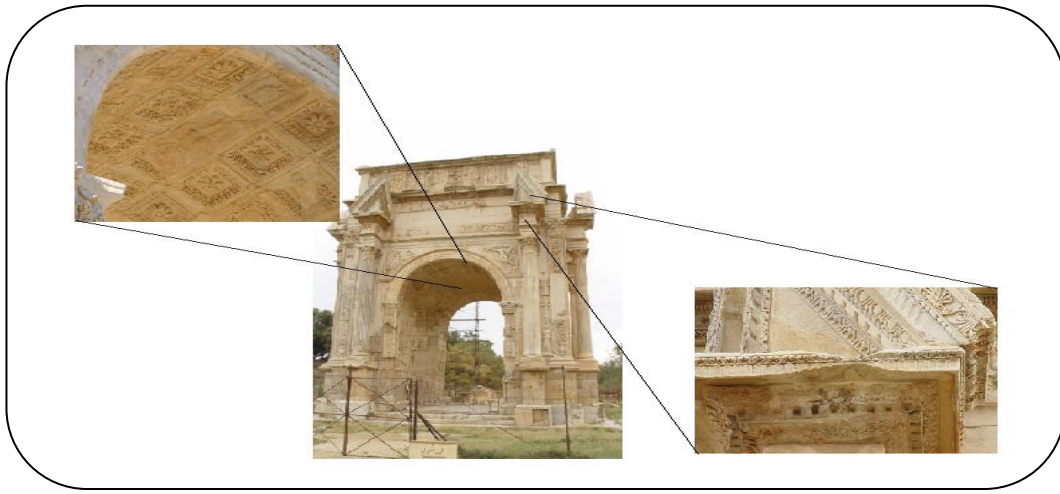
من الأعلى صغيرة، ومن الأسفل كبيرة نتيجة لحركتها، خاصة في الصخور التي تتكون من الرمل والجير، ومن أكثر الصخور المتعرضة لذلك هي صخور تكوين قرقارش، بسبب مساميتها العالية وقابليتها علي امتصاص الماء، واهم العوامل المؤدية إلى ذلك هو التركيب الصخري، فكلما زادت المسامية والنفاذية نشط هذا العامل الشكل (2. 15).



شكل (2. 15) الفجوات المتكونة نتيجة حركة المياه بها وإذابتها للمواد اللاصقة. هذا الفراغ الحادث يعبئ بالطيني والغرين السطحي الذي يمتص بعض هذه المياه ويكون لاحقا أحد عوامل التفتت بطريقة من الطرق السابقة، أو أن يحدث مجرى لنقل الطمي من الأعلى إلي الأسفل على هيئة مراوح طينية. كما أنها تكون مجاري لها في أسقف بعض المباني الموجودة في المدينة مثل ما هو موجود في قوس النصر، الشكل (2. 16)، بل وتتعدى ذلك إلى أن تعمل على مسح بعض النقوش والمعالم التي في طريقها فتؤدي بذلك لتغيير معالمها، وفي بعض الحالات أدت مياه الأمطار إلى غمر المدينة بالمياه والطيني، الذي كان السبب في تفتت وإذابة الصخور الجيرية الرملية وبذلك أدت إلى انهيار بعض المناطق في المدينة ( هيثم، 2012م ).

## 5.2. 1. 4 عمليات البري والنحت الصخري :

تحدث التجوية كذلك نتيجة عمليات البري أو المسح التي تتعرض لها الصخور نتيجة حركة الرياح. يبدأ فعل الرياح بالتقاطها للمفتتات الصخرية، فالغبار وحببيبات الرمال هي من الأدوات التي تستخدمها الرياح لبري وصقل ونحت الصخور، وبما إن مدينة لبداء تقع بالقرب من البحر فإنها تؤثر عليها الرمال الشاطئية المتحركة بفعل الرياح بدرجة كبيرة ويتوقف التأثير المباشر للرياح على ثلاث أمور هي :



الشكل (2. 16) مجرى مائي في قوس النصر اختفت فيه النقوش

أ. الحمولة: وهي حمولة الرياح من المفتتات الصخرية، وهي الأداة التي تؤثر الرياح بواسطتها في الصخور، لذلك فإن ازدياد الحمولة يساعد على التأثير السريع، وإبراز مظاهر النحت بواسطة الرياح.

ب. السرعة: سرعة هبوب الرياح من العوامل المهمة التي تساعد على ازدياد حمولتها من المفتتات، ويجعل ارتطام الحبيبات أو احتكاكها بالصخور وبمرور الزمن أكثر تأثيراً، مما يساعد على إبراز مظاهر النحت بفعل الرياح .

ج. طبيعة الصخور: الصخور الرسوبية الهشة ذات الحبيبات المفككة المتواجدة بكثرة في مدينة لبداء، يمكن أن تتأثر بفعل الرياح بسرعة ملحوظة، وعلى العكس من ذلك فإن الصخور



النارية، والمتحولة يمكنها أن تقاوم فعل الرياح لفترة زمنية طويلة، وتهب على المدينة الأثرية أربعة أنواع من الرياح، منها رياح القبلي في فصل الصيف، وتكون محملة بالأتربة والغبار، ولهذه الرياح دور كبير في التأثير على المدينة، بحمل كميات كبيرة من حبيبات الرمل، تؤدي إلى نقر الأحجار، والمباني، والتماثيل، من خلال حفرها وخدشها وتشويها وتآكلها بمرور الزمن الشكل (2. 17) ، والتي يطلق عليها التجوية التفاضلية (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



شكل (2. 17) تأثير الرياح على جدران المدينة الأثرية (تجوية تفاضلية).

## 5.2. 1. 5 التيارات البحرية والرطوبة:

تشمل التجوية البحرية ما تفعله مياه البحر عن طريق الأمواج من تكسير وتحطيم للصخور، وتنشأ هذه الحركة نتيجة عدة عوامل هي: فعل الرياح أثناء الملامسة والاحتكاك بالسطح العلوي للمياه، مما يسبب الحركة التموجية للمياه. وتأثير حركات المد والجزر والتي تحدث نتيجة التجاذب بين كل من الشمس والقمر من جهة والأرض من جهة أخرى، وتعمل الرياح على دفع الأمواج صوب الساحل وبتزايد سرعة الرياح على الشواطئ، خاصة في فصل الشتاء فتكثر وترتفع الأمواج ، التي تلامس الكتل الصخرية المشيدة منها مدينة لبداء الأثرية ،

نتيجة لبناء المدينة بالقرب من الشاطئ، مما يسبب في تفتت وتكسير صخور المدينة، وقد لعبت الرطوبة البحرية في مدينة لبدّة دوراً كبيراً من حيث تغيير المعالم وتحطيم وتدمير الآثار والشكل (2. 18) يبين أحد الأعمدة التي يظهر عليها تأثير الرطوبة.



شكل (2. 18) أحد الأعمدة الشيسيتية المتأثرة بالرطوبة

بينما الشكل (2. 19) يبين دور التيارات البحرية في تغيير معالم الصخور المتحولة. أثناء النهار حيث يصل أدناه الساعة 12 ظهراً ، ويلاحظ أن الرطوبة النسبية خلال فصل الصيف ترتفع ومن خلال دراسة البيانات لمحطة الأرصاد الجوية في مدينة الخمس تبين أن المتوسط اليومي للرطوبة النسبية العظمى يرتفع أثناء الليل (يبلغ ذروته الساعة 12 ليلاً) وينخفض قيمتها نسبياً عن تلك في فصل الشتاء. وبشكل عام ترتفع الرطوبة النسبية في المدينة الأثرية طوال العام وذلك بسبب التأثيرات البحرية (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



شكل (2. 19) دور التيارات البحرية في تغيير معالم الصخور المتحولة (عمود من الشيست)

### 2.5.2 التجوية الكيميائية :-

تضم التجوية الكيميائية تفاعلات متعددة، يستخدم في معظمها الماء والأكسجين وثنائي أكسيد الكربون والحوامض والمواد العضوية، وتعمل هذه على تغيير وتبديل المعادن إلى معادن أخرى، أكثر تحملاً للظروف السائدة على سطح الأرض، أو بمعنى آخر تكون أكثر مقاومة للتعديل والتغير، وتعتمد التجربة الكيميائية على عاملين رئيسيين هما طبيعة العمليات الكيميائية ونوعية الصخور المجاورة. وأهم أنواع هذه التجوية التي تم العثور عليها في صخور المدينة الأثرية هي :-

### 2.5.2.1 التحلل المائي .

هي عملية تفاعل أيون الهيدروجين  $H^+$  والهيدروكسيل  $OH^-$  الناتج من تحلل الماء مع المعادن، ونلاحظ هذا عادة مع معادن الفلسبارات ( $KAISi_3O_8$ )، والسليكات الأخرى الحاوية على الألمونيوم، حيث تتحول هذه المعادن إلى معادن طينية، وأهم مناطق التأثير بهذا العامل

تظهر على الأعمدة الجرانيتية، والتي تبدأ فيها التجوية من المواد اللاحمة ثم إلى الفلسبار  
شكل (2. 20) (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



شكل (2. 20) تجوية المادة اللاحمة ومن ثم الفلسبار في أحد الأعمدة الجرانيتية.

### 2. 5.2 . 2 التكرين .

يتحد ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  بالجو مع قطرات المطر مكوناً حامض الكربونيك  
المخفف  $H_2CO_3$ ، والذي يسقط على الأرض على هذه الهيئة، وتتأثر صخور المدينة الأثرية  
بهذه العملية، وهذا الأمر يظهر جلياً في الصخور الكربوناتية أو الحاوية عليها، وبخاصة صخور  
تكوين قرقارش، حيث نجد بها الكثير من الفجوات والكهوف (ميكروكارست)، الناتجة من فعل  
الحامض وفي بعض الأحيان يؤدي ذوبان الصخور المتبقية إلى انهيار الكهوف والفجوات،  
ويكون ذلك عن طريق إذابة المكونات الجيرية، وبذلك تتفكك وتحرر حبيبات الرمل التي تنهار  
إلى أسفل تاركة وراءها الفراغات والفجوات التي تسمى بالكارست شكل (2. 21) .





شكل (2. 21) الكهوف والفجوات في تكوين الخمس .

### 3.2.5.2 التآكسد .

التآكسد هو عبارة عن اتحاد الأكسجين مع العناصر أو المعادن، وتتم هذه العملية عادة مع المعادن الحاوية على أيون الحديد الذي يكون في حالة اختزال وتبدل هذه العملية من لون المعدن، وما يزيد سرعة هذه العملية على سطح المعادن وجود بخار الماء في الجو، وتتوقف عملية التآكسد على نسبة الرطوبة في الجو، والتآكسد في الصخور بالمدينة الأثرية واضح وأشد الصخور تعرضا لها هي الصخور الجيرية الدولومائيتية، وذلك بسبب وجود المواد اللاحمة التي يدخل ضمنها بعض العناصر القابلة للأكسدة بشكل سريع شكل (2. 22) (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



شكل (2. 22) تآكسد بعض الكتل الصخرية .

## 5.2. 3 التجوية الحيوية : -

تؤثر 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 ، كما أن تأثير النباتات ونواتج تحللها مع الجسيمات المعدنية للصخور المجاورة يسبب إحداث تغيير في التجوية الكيميائية، 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.

### 5.2. 3. 1 النباتات:

للنباتات دور مهم في عمليات التجوية بمختلف أنواعها، حيث تشارك في التجوية الفيزيائية عن طريق الجذور، والسوق ، والجذوع ، بل في بعض الأحيان الأوراق كذلك في تهشيم المباني الحديثة والقديمة منها، الأمر الذي أعطها أهمية في دراسة التجوية، وعليه فالنباتات خاصة التي تنمو طبيعياً قد تنمو في مناطق غير متوقع تواجدتها بها ، 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 بيئية جديدة للنمو النباتي لاحقاً شكل (2. 23) (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



شكل (2. 23) نمو النباتات نتيجة انتقال البذور بواسطة الرياح.

### 2.3.5.2 الحشرات :-

الديدان والنمل تعمل على عمل فجوات في الصخور مما يجعلها عرضة أكبر للتجوية، خاصة في الصخور التي تستطيع الحفر فيها، ويساعد على تهيئة المناخ للعوامل الأخرى للتجوية، والتي تقوم بدورها في تفتيت الصخور وانهارها، خاصة في المناطق التي تنتشر فيها الأطيان كما هو الحال في الأرضيات، الشكل (2. 24)، وكذلك بعض الحشرات الطائرة تبني مساكنها من نفس المادة الصخرية التي تعيش عليها، الشكل (2. 25) فإنها تعمل أيضا على تجوية المناطق الأثرية.





الشكل (2. 24) حركة النمل في الصخور .



شكل (2. 25) مساكن بعض الحشرات في الكتل الصخرية.

### 3. 3. 5.2 الطحالب والأشنات وغيرها : –

الطحالب والأشنات والحزازيات هذه للكائنات تنمو نتيجة توفر الرطوبة العالية ومياه الأمطار، وبعد موتها وتفسخها، تترك بقع على جدران المعالم الأثرية، والتي تعمل على تشويه المعالم الأثرية وخرابها الشكل (2. 26) (ابوعربية وآخرون ، 2004ب).



الشكل (2. 26) بعض أنواع الطحالب والأشنات والحزازيات.

#### 5.2. 4 العوامل المساعدة على سرعة التجوية :-

هناك العديد من العوامل التي تساعد بشكل أوضح على سرعة التجوية منها: -

1 - نقاط الضعف الصخري (التراكيب الأولية) حيث تحتوي الصخور بأنواعها تراكيب متنوعة تعدا مؤشراً على مدى ضعف الصخور مثل الطبقات وهي مستويات الترسيب للرسوبيات فوق بعضها البعض التي تصل إلى مستوى الطبقات، وبالتالي فإن هذه المستويات تكون مختلفة في مقاومة عوامل التجوية المختلفة مما يجعلها نقطة أساسية من نقاط هدم الصخور وتفتيتها شكل (2. 27) .

2 - التركيب الصخري ( المعادن المكونة له) تختلف الصخور في تركيبها المعدني، وبالتالي التركيب الكيميائي من نوع لآخر، وهذا ما يميزها عن بعضها البعض، ولكل نوع من هذه المعادن خصائص تميزه عن غيره، ويتضح ذلك من خلال تباين تأثير القوى الخارجية من تجوية وتعرية لنوع الصخر الواحد عليها شكل (2. 28) . فالصخور النارية أكثر مقاومة للتجوية من الصخور الرسوبية، بها تباين في التأثير الفعلي. والأخيرة بأنواعها المختلفة أكثر

الصخور استجابة لعمليات التعرية والتجوية لأنها تتكون من معادن لافلزية كالكربونات والأملاح، إضافة إلى تأثير العوامل المختلفة يكون متبايناً من مكان لآخر حسب البيئة التي توجد فيها تلك الصخور جافة أو رطبة، قريبة أو بعيدة من مصدر الرطوبة،



شكل (2. 27) إبراز مستوى التطبق الحوضي نتيجة عمليات التجوية.



الشكل (2. 28) بعض الأماكن تمت بها عملية التجوية .

كما هو الحال في الصخور المتحولة الشيست التي تتكون منها أعمدة مدينة لبدده شكل (2. 29)

و شكل (2. 30) .





الشكل (2. 29) تأثير الرطوبة في الأعمدة البعيدة عن البحر .



الشكل (2. 30) تأثير الرطوبة في الأعمدة القريبة عن البحر.

### 3 - نفاذية ومسامية الصخور:

النفاذية السماح هي مقدرة المياه على المرور خلال التكوينات الصخرية، وهذه الخاصية تختلف من نوع صخر لآخر، أما المسامية فهي نسبة حجم الفراغات بالصخر إلى الكتلة الصخر الكلية، ولا تعنى إن الصخور المسامية نفاذة بل توجد بعض الصخور ذات مسامية عالية ولكنها قليلة النفاذية مثل الصخور الطينية، وذلك لعدم اتصال المسامات ببعض، ولذلك لا تسمح للماء بالتحرك من خلالها، في حين تكون الصخور الجيرية وصخور الكالكرينيات ذات مسامية عالية، وبالتالي تسمح بمرور الماء خلالها مما يزيد أوسعها، ومن ثم تفتتها.

## 5 - التعامل المخطئ مع الآثار :

الأسمنت مادة صناعية تستخدم لربط الكتل الصخرية مع بعضها البعض، ويدخل ضمن تركيبة مواد مختلفة تضاف إلى بعضها البعض، ومن المعروف إن بعض هذه المواد له معامل تمدد ينتج عن تأثير الحرارة واختلاف نسبة مكوناته، وعند استخدامه في الترميم، وخاصة في المناطق المغلقة، دون النظر إلى معامل التمدد، نجدها بعد فترة قد انفصلت من مكانها، لتكون عامل من عوامل التجوية الحديثة، وهذا النوع من الترميم واضح حالياً في قواعد الأعمدة الجرانيتية بالمدينة، والشكل (2. 31) يظهر كمية الاسمنت ومكان وكيفية استخدامها.



الشكل (2. 31) بعض مواقع الترميم بالأسمنت .

## 6. التلوث البيئي:

مدينة لبدّة تتعرض باستمرار لعمليات تلوث بيئي، وذلك من خلال التطور الصناعي والعمراني في مدينة الخمس، حيث توجد محطة التحلية ومصانع الأسمنت إلى شرق وغرب



المدينة، ناهيك عن العدد الكبير من وسائل النقل التي تسير على الطريق التي تربط ما بين سوق الخميس والخمس، وفي بعض الأحيان ما قد يحمل من دول جنوب أوروبا الصناعية بواسطة الرياح والإمطار، وبذلك تكون المدينة قد تعرضت للأبخرة والغازات المختلفة من مصادر متعددة، وفي هذا البحث سوف تقتصر الدراسة على دور محطة التحلية بغرب الخمس.

## 2.6 تقدير تراكيز الغازات الحمضية في المدينة

### 2.6.1 برنامج محاكاة انتشار الملوثات

من أجل تقدير إنتشار تراكيز ما يتوقع وجوده من ملوثات مختلفة في الهواء الجوي بالمدينة الاثرية تمت محاكاة ما تم الوصول إليه، بواسطة الحاسب الآلي عن طريق إستخدام برنامج متخصص في تمثيل إنتشار الملوثات انتشار الملوثات وهو برنامج Air pollution dispersion modeling software (DISPER V:4.0)، والذي يعتمد على إستخدام نماذج متطورة عن معادلة جوسيان لتمثيل إنتشار الملوثات، ويفترض هذا البرنامج أن إنبعاث الملوثات من المصدر يكون بشكل مستمر وثابت ، وعمليات الإنتشار والإنبعاث تتبع الحالة المستقرة، والملوثات تنتشر في إتجاه هبوب الرياح ، وسرعة وإتجاه الرياح ثابتين في كل عملية تقدير، ويتميز برنامج معالجة الإنتشار دسبر DISPER بالقدرة على التعامل مع عدة مصادر للإنبعاث في آنٍ واحد، والتعامل مع الإنبعاث النقطي أو الخطي.

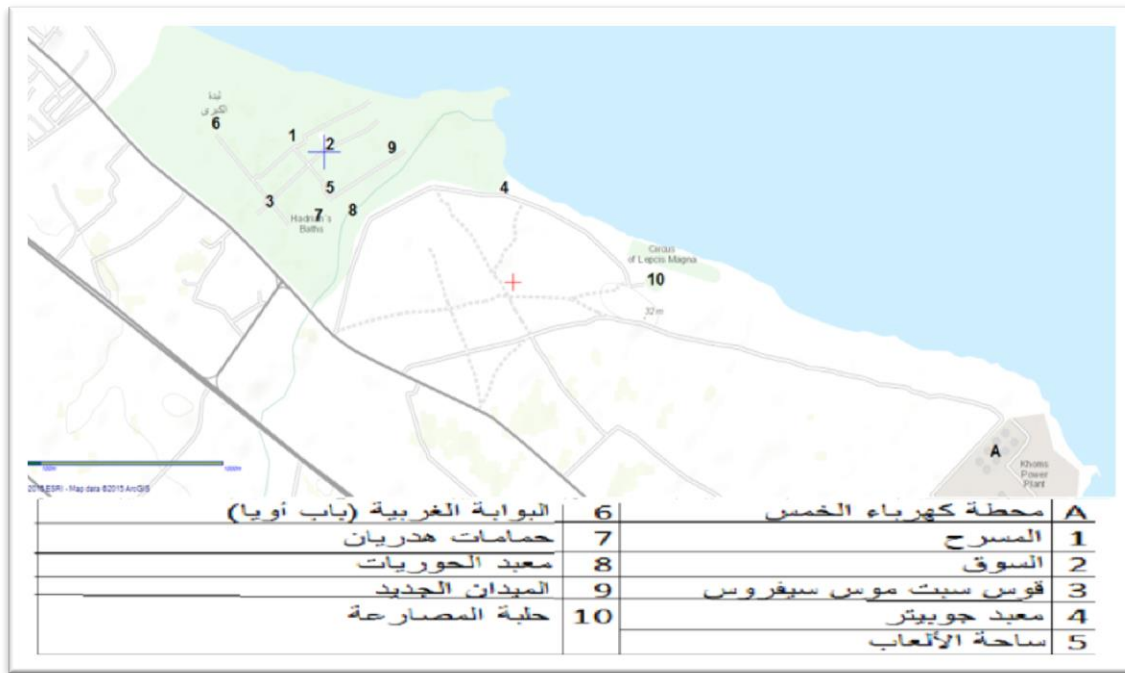
وللبرنامج المقدرة على عرض وتقديم النتائج التي يتم التوصل لها بإشكال مختلفة منها:

- إسقاط البيانات على الخرائط الجغرافية وبمقاييس رسم مختلفة .
- إسقاط البيانات على صور وخرائط الأقمار الصناعية وبمقاييس رسم مختلفة .
- إستخدام الإحداثيات الكارتيزية لتصدير البيانات إلى برنامج رسم الخرائط GIS.

وقد أُستخدم هذا البرنامج في دراستنا الحالية لتقدير إنتشار أكاسيد النيتروجين وثنائي أكسيد الكبريت، وذلك تحت تأثير الظروف المناخية المحلية.

## 2.6.2 تجهيز الخرائط

في هذه الدراسة أُستخدمت خرائط وصور الأقمار الصناعية الخاصة بموقع Google(earth,2012) لتطبيق النتائج عليها، وذلك بعد تحديد موقع محطة الكهرباء، والمواقع الهامة في المدينة الاثرية على الخريطة، وبعد اخذ صور الأقمار الصناعية لهذه المواقع المختلفة، تم بإستخدام برنامج رسم الخرائط (ArcGIS V:9.2)، تم تجهيز خريطة لموقع العينات المدروسة، ومحطة الكهرباء (مصدر الإنبعاث) شكل (2. 32).



شكل(2. 32) يبين مواقع العينات ومصدر الإنبعاث.

## 2.6.3 إدخال البيانات إلى برنامج معالجة الانتشار

إن عملية تجميع وإدخال البيانات من أهم المراحل في الدراسة، ويعتمد هذا البرنامج على مصدقية ودقة النتائج التي يتم تجميعها وإدخالها لمعالجة الانتشار، وهذه البيانات تمثل

### - مصدر التلوث:

ويقصد به مصدر الانبعاثات، وهنا يتطلب الأمر إدخال جميع البيانات الهندسية والفنية المتعلقة بالمصدر، وهي كمية التدفق للملوثات (الانبعاثات) بـ (جرام/ثانية)، وسرعة خروج الملوثات من المصدر بـ (متر/ثانية)، ودرجة حرارة الملوثات عند خروجه بـ (الكلفن) وارتفاع عمود الخلط بالمتر، ويقصد بعمود الخلط (المدخنة) والقطر الداخلي للمدخنة بـ (المتر).

### - البيانات المناخية:

درجة الاستقرار الجوي وهي Pasquill stability category درجة حرارة الهواء الجوي بـ (كلفن)، وسرعة الرياح بـ (متر/ثانية) وإتجاهها، ودرجة الاستقرار الجوي وقد أجريت الحسابات على أساس المعدلات السنوية للبيانات المناخية لكل محطة إرساد.

### -مصادر البيانات:

تم تجميع البيانات من مصادر مختلفة متمثلة في مصدر الانبعاث (محطة كهرباء الخمس) والبيانات المناخية (مركز الأرصاد الجوي الخمس).

## 2.7 حساب معدلات تآكل الرخام:

لقد توصل الباحثون إلى معادلات تجريبية لحساب معدلات تآكل رخام بملوثات الهواء الجوي، أهمها معادلة روتس (3.1) التي وضعت من قبل (Roots, 2008):

$$R = 3.1 + 0.85 + 0.0059 [SO_2] RH + 0.054 \text{ rain} [H^+] + 0.078 [NO_2] RH \text{-----}(1.2)$$

حيث:

$$[SO_2] = \text{تركيز ثاني أكسيد الكبريت ميكروجرام /متر}^3$$

$$[NO_2] = \text{تركيز ثاني أكسيد النيتروجين ميكروجرام /متر}^3$$

$$R = \text{معدل التآكل بالميكرومتر في السنة}$$

$$RH = \text{الرطوبة النسبية}$$

$$\text{Rain} = \text{المطر بالمليمتر}$$

$H^+$  = تركيز ايون الهيدروجين في مياه الامطار بالمنطقة، وتم الحصول عليه من (الدوفاني، 2006).

وقد تم حساب كميات التآكل في الرخام لكل شهر على حدة، وفق المعلومات والبيانات المناخية التي تم الإشارة إليها سابقاً، والتراكيز الناتجة عن عملية معالجة الانتشار، وذلك عبر التعويض بالمعادلة السابقة مع القسمة على 12 نظراً لكون تطبيقنا في هذه المعادلة للحصول على كمية التآكل الفعلية في كل شهر، وذلك باستخدام نسبة تواجد الرياح في اتجاه المدينة الأثرية كما يلي:

نسبة تواجد الرياح = مجموع التكرارات في اتجاه المحطة/ مجموع التكرار الكلي للرياح

واستخدمت نسبة تواجد الرياح في حساب كمية التآكل الفعلية في كل شهر، عبر ضرب نسبة تواجد الرياح في كل شهر في كمية التآكل الشهرية التي تم حسابها عبر التعويض في معادلة التآكل، و لحساب كمية التآكل السنوية تجمع كميات التآكل في كل أشهر السنة.

## 2. 8 التحقيق العملي والميداني:

للتأكيد أكثر على وجود تجوية وتآكل لصخور المدينة الأثرية ثم إجراء بعض التحاليل التطبيقية، متمثلة في تحليل لبعض العينات بواسطة الأشعة السينية، وعمل قطاعات شرائحية رقيقة ودراستها، ووصفها تحت المجهر المستقطب، إضافة إلى الوصف النظري لها من خلال مسح ميداني للموقع، شملت عينات لأهم أنواع الصخور المكونة للمدينة والتي تضم صخورا رسوبية وناارية ومتحولة، وحساب معدلات تآكل في كل منطقة من مناطق مدينة لبداء الأثرية، تم القيام بجولات ميدانية، وجمع عينات وفحصها للتحقق من وجود تأثير حقيقي للملوثات على المدينة الأثرية، وينقسم هذا الجزء العملي إلى قسمين هما:

### 2. 8. 1 الاختبارات باستخدام جهاز فلورة الأشعة السينية.

تم تجميع عدد 30 عينة من المناطق المختلفة في المدينة الأثرية بحيث تمثل هذه العينات أنواع الصخور المختلفة المتكونة منها الأعمدة والتماثيل الأثرية بالمدينة، وهي الرخام والجرانيت والشست والحجر الجيري والحجر الرملي وبواقع 3 مكررات لكل نوع، ومن العينة الأصلية قبل التأثير عليها وهي من نفس الصخر ولكنها عينة كاملة غير مفتته من داخل الصخر، والقشور المتوقع أنها ناتجة عن التغير في التركيب الكيميائي، وقد تم فحص العينات باستخدام جهاز فلورة الأشعة السينية XRF.

### 2. 8. 2 الفحص باستخدام المجهر الضوئي المستقطب.

تم تجميع 16 عينة من 10 مواقع مختلفة داخل المدينة الأثرية جدول (2. 3)، واخذ صورة لكل موقع عينة وتحديد موقعها عن طريق GPS، والمواقع أخذت بناء على أهمية الموقع أثريا والمسافة بين المواقع فيما بينها وبعدها عن محطة الكهرباء، وكانت العينات مختلفة

من حيث النوع، منها الصخور النارية (الجرانيت)، والرسوبية (الحجر الجيري - الجيري الرملي - الحجر الرملي)، والمتحولة ( الرخام - الشست).

جدول (2. 3) : مجموعة من العينات بالموقع مع نوع الصخر

ت	الموقع	الإحداثيات	نوع الصخر	وجه الاستخدام	ملاحظات	
1	المسرح	شمال	رخام	قاعدة مزخرفة	قشور	
		14.2906	الشست	عمود	صلب إلى قشور	
2	السوق	32.6382	رخام	قاعدة	قشور	
			14.2922	الجرانيت	عمود	هش
				الحجر الجيري	قاعدة حبال	صلب
3	قوس سبتموس	32.6356	رخام	حائط	قشور	
4	معبد جوبيتر	32.3820	رخام	قاعدة عمود	قشور	
			14.1744	الحجر الجيري	عمود	صلب إلى قشور
5	ساحة الألعاب	32.6357	رخام	عمود	قشور	
6	البوابة الغربية (باب اويا)		رخام	قاعدة	قشور	
7	حمامات هدريان	32.6350	رخام	أرضية	صلب إلى قشور	
8	معبد الحوريات	32.6358	رخام	قاعدة عمود	قشور	
			14.2929	الحجر الجيري	جدار	هش
9	الميدان الجديد	32.6371	رخام	قاعدة عمود	قشور	
			14.2937	الشست	عمود	قشور
10	حلبة المصارعة	32.1756	الحجر الجيري	مقعد	صلب إلى قشور	

تم تجهيز الشرائح المجهرية عبر اخذ قطع من الصخر المراد دراسته في المختبر وذلك بمركز بحوث النفط، وبعد تجهيز الشرائح الممتلئة للعينات تم فحص العينات باستخدام مجهر ضوئي مستقطب Polarized Microscope من نوع Motic موديل Type 102M.

## الفصل الثالث

### النتائج والمناقشة



### 3. النتائج والمناقشة

لا تقتصر آثار تلوث الهواء على الكائنات الحية، من إنسان وحيوان ونبات، وإنما تمتد هذه التأثيرات أيضاً إلى الإنشاءات من مباني وآثار والمنشآت وغيرها، حيث إن تأثيرها يؤدي إلى الرفع من معدلات تآكلها، وبالتالي يقلل من عمر هذه المباني. إن تأثير ملوثات الهواء المختلفة كأكسيد الكبريت والنيتروجين على مواد البناء، قد تمت دراسته في العديد من الدراسات السابقة، نظراً لما يعنيه هذا التأثير على المنشآت الأثرية، والنصب التذكارية، والإرث الإنساني بشكل عام، ومن أهم هذه الملوثات هي ارتفاع تركيز أكاسيد الكبريت والنيتروجين في الهواء، وفي ظل وجود نسبة من الرطوبة تكون أحماضاً تسبب تآكلاً لأحجار المباني والمنشآت.

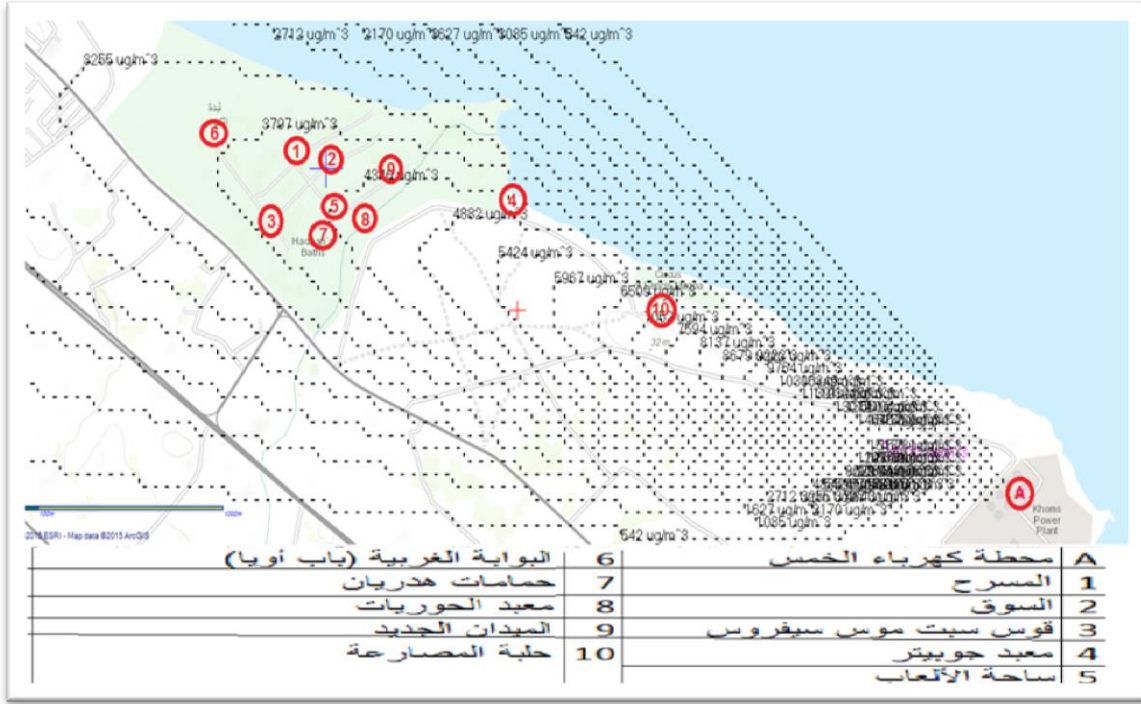
#### 3. 1 تراكيز الملوثات في المدينة الأثرية

إن الزيادة في الانبعاثات الغازية لمحطتي الكهرباء بالخمس يمكن أن تؤدي إلى زيادة في تراكيز غازات  $NO_x-SO_2$  فوق المناطق المجاورة لها، والتي منها مدينة لبدة الأثرية، متجاوزة القيم الحدية في المواصفات واللوائح الدولية الخاصة بجودة الهواء، والجدول (3. 1) يبين هذه الحدود لبعض الدول في العالم، بما فيها المعايير الموصى بها من منظمة الصحة العالمية، مما يجعل المنطقة بما فيها من بشر وحجر عرضه لتأثيراتها المختلفة، خاصة البشر حيث تعد المناطق المجاورة للمحطة، والواقعة ضمن نطاق تأثيرها هي الأكثر تدهوراً من حيث جودة الهواء.

جدول (3. 1) القيم الحدية لتركيز الملوثات الغازية الخاصة بجودة الهواء الجوي (ميكروجرام/م<sup>3</sup>) لبعض المواصفات القياسية لدول العالم.

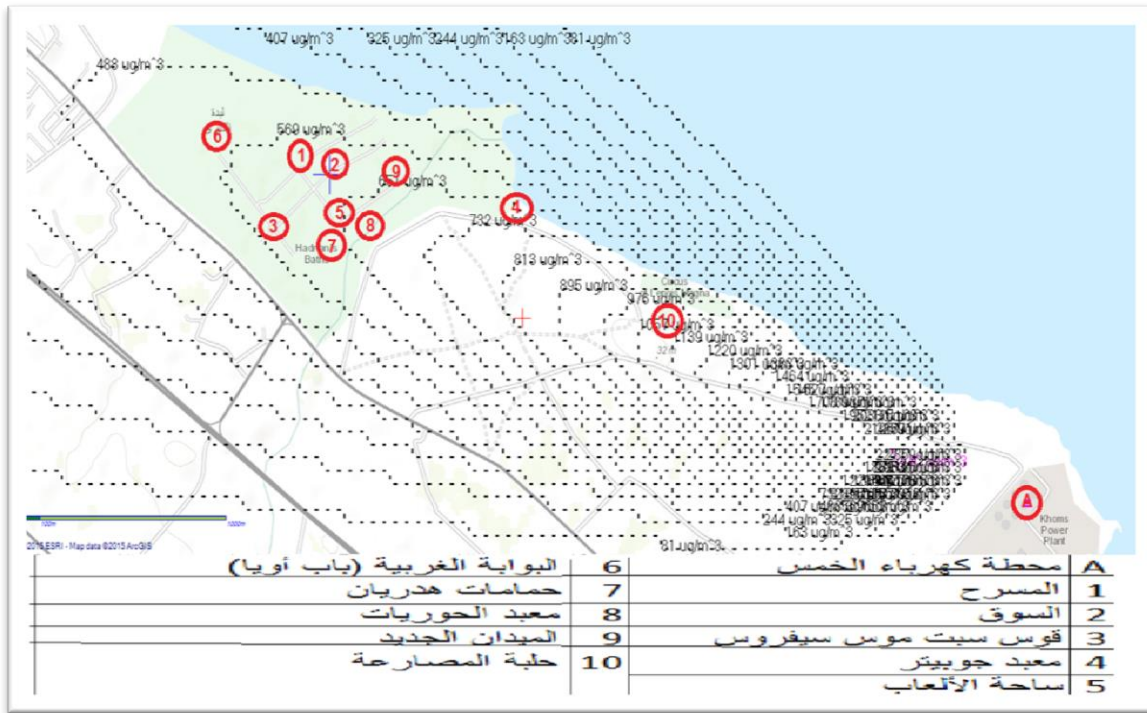
المعيار نوع الانبعاث	المفوضية الأوروبية للبيئة ميكروجرام/م <sup>3</sup>	المعايير السعودية ميكروجرام/م <sup>3</sup>	المعايير مصر ميكروجرام/م <sup>3</sup>	المعايير ليبيا ميكروجرام/م <sup>3</sup>
ثاني أكسيد الكبريت (SO <sub>2</sub> )	350/ ساعة	85	350/ ساعة	350/ ساعة
أكاسيد النيتروجين (NO <sub>x</sub> )	200/ ساعة	100	400/ ساعة	400/ ساعة
المرجع	ECE, 2010 ECE, 1997	رئاسة الأرصاد وحماية البيئة، 2003	القانون المصري، 2005	الهيئة العامة للبيئة 2008

يمثل الشكل (3. 1) تراكيز غازات أكاسيد النيتروجين في منطقة الدراسة، والناجمة عن انتشار الإنبعاثات الغازية عبر الرياح المتجهة من جهة محطة الكهرباء إلى مدينة لبداء الاثرية، ويظهر منه أقصى تركيز لأكاسيد النيتروجين في الهواء الجوي، كانت في محيط حلبة المصارعة بمدينة لبداء الاثرية وهي 6509 ميكروجرام /متر<sup>3</sup>، إما داخل المدينة الاثرية فقد تتراوح من 4340 - 3255 ميكروجرام /متر<sup>3</sup>، وبمقارنة هذه التراكيز المتحصل عليها من عملية محاكاة الانتشار عبر برنامج الدسبر مع المعايير الدولية لجودة الهواء، ومن جدول (3. 1) تبين أنها تزيد عشرة أضعاف لأقصى تركيز مسموح به لأكاسيد النيتروجين في الهواء.



شكل (3.1): التراكيز المتوقعة لأكاسيد النيتروجين في المنطقة المجاورة لمحطة الكهرباء ومدينة لبدَة الاثرية.

كما يتبين من الشكل (3.2) والذي يمثل التراكيز المتوقعة لغاز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي بالمنطقة، والناجمة عن انتشار الإنبعاثات الغازية لمحطة الكهرباء، تحت تأثير الرياح المتجهة من جهة المحطة إلى مدينة لبدَة الاثرية، إن تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريت بلغت في محيط مسرح المصارعة - والذي يمثل الحد الشرقي للمدينة الاثرية - 976 ميكروجرام/متر<sup>3</sup> ، أما داخل المدينة الاثرية يتراوح التركيز بين 651- 488 ميكروجرام /متر<sup>3</sup> وبمقارنة هذه التراكيز المتحصل عليها من عملية المحاكاة مع المعايير الدولية لجودة الهواء والمشار إليها في جدول (3.1) تبين أنها تفوقها بعدة إضعاف لأقصى تركيز مسموح به لأكاسيد الكبريت في الهواء وفقا لجميع المعايير الدولية.



شكل (3. 2): التراكيز المتوقعة لثاني أكسيد الكبريت في المنطقة المجاورة لمحطة الكهرباء ومدينة لبدة الاثرية.

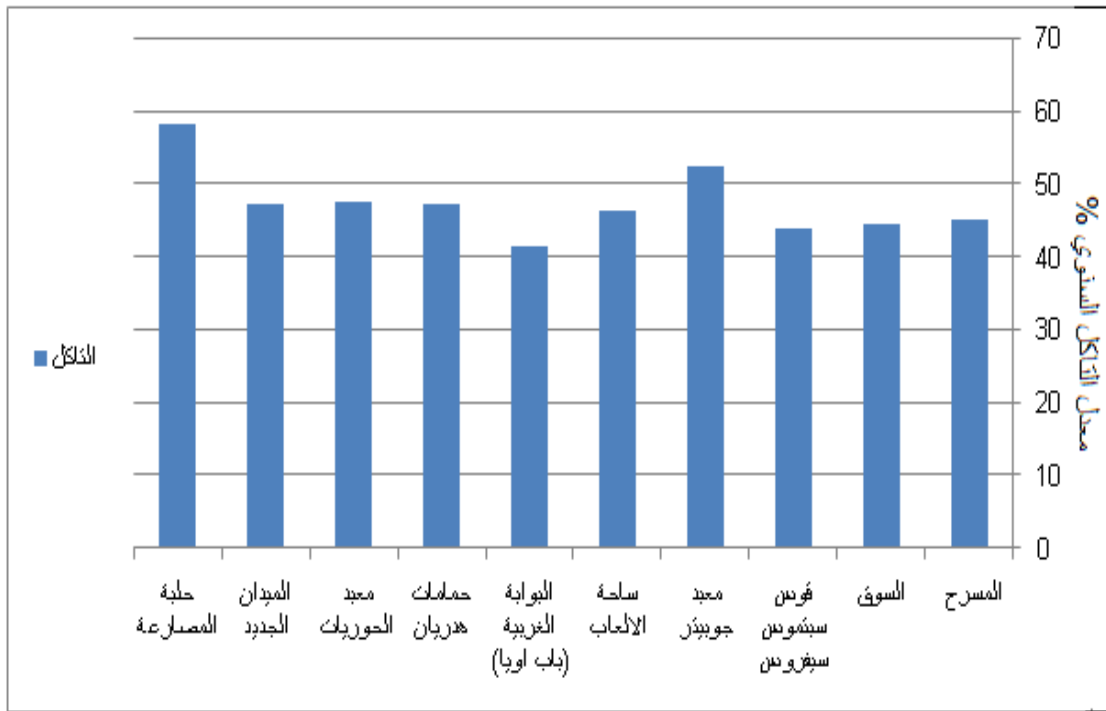
ويمكن إن يعزى الارتفاع في التراكيز القصوى لأكاسيد الكبريت والنيتروجين المتحصل عليها بمدينة لبدة، بشكل أساسي لقربها من محطة توليد الطاقة الكهربائية، والجدير بالذكر إن هذا الارتفاع في تراكيز الغازات الملوثة في منطقة الدراسة ليس بشكل دائم على مدار السنة، وإنما يمثل هذا الارتفاع في التراكيز الأوقات التي تهب فيها الرياح على المدينة الاثرية من جهة محطة الكهرباء، وهذا عمليا يمثل ما نسبته 16% من أيام السنة ( Raczynski, A and Watson, R.T. 1999) ، إن تراكيز غازات ثاني أكسيد الكبريت واكاسيد النيتروجين العالية يمكن الإحساس بوجودها في الهواء الجوي بواسطة الشم، إذا أصبحت تراكيزه في نطاق 1,000–3,000 ميكروجرام/م<sup>3</sup>، وهذا يظهر عند مقارنة النتائج المتحصل عليها من معالجة الانتشار مع الملاحظات الميدانية للسكان في المنطقة القريبة من المحطة، والذين يؤكدون وجود روائح حادة وكريهة للهواء القادم من اتجاه محطة الكهرباء، مما يعزز صحة النتائج المتحصل

عليها من عملية معالجة الانتشار. وعلى الرغم من أن التراكيز المتوقعة لانتشار ثاني أكسيد الكبريت في الهواء الجوي بمنطقة الدراسة، تعد أقل من تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين، إلا أنه يشكل ملوثاً رئيسياً، وعلى الأخص في المناطق الأقرب إلى محطة الكهرباء بسوق الخميس، ولبدة، متجاوزة المعايير الموصى بها من منظمة الصحة العالمية، مما يزيد من احتمال ارتباط هذا الملوث بالمنطقة بأمراض الجهاز التنفسي والعيون، والجدير بالذكر هنا أن مصادر أخرى للتلوث كالسيارات ومصانع الاسمنت تساهم أيضاً في تدني الهواء الجوي والصحة العامة، وهذا ما لم تتناوله هذه الدراسة.

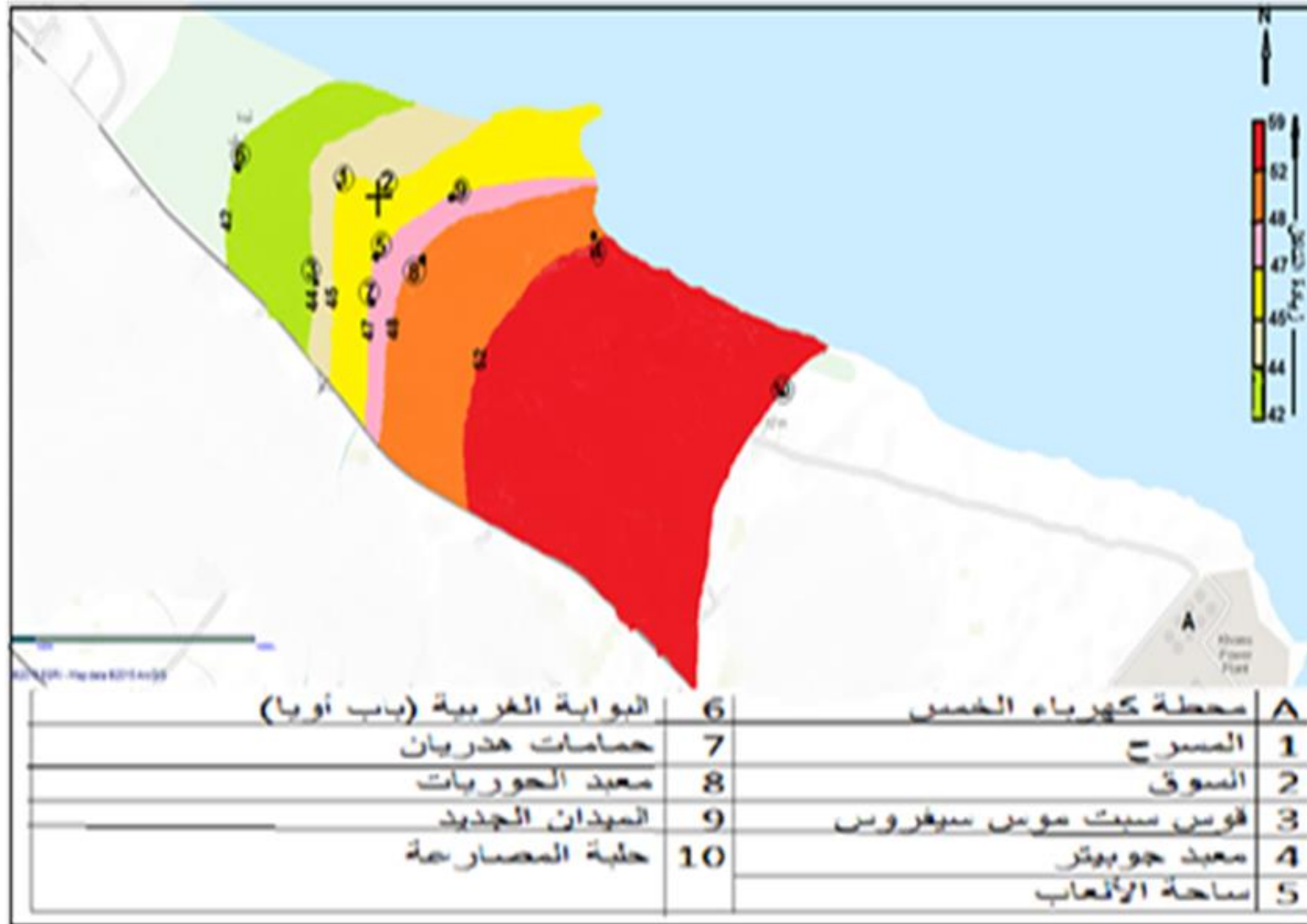
### 2.3 معدلات التآكل المتوقعة في صخور المدينة

لقد تم دراسة معدلات التآكل المتوقعة على صخور الرخام بالمدينة، كنموذج للدراسة في هذا الجزء، بعد إن اختيرت عينة من الرخام من مناطق مختلفة بالمدينة، وبالتعويض في معادلة تآكل الرخام والتي تم الإشارة إليها في الباب الثاني وباستخدام تراكيز كل من ثاني أكسيد الكبريت واكاسيد النيتروجين المتحصل عليها من عملية معالجة الانتشار باستخدام برنامج الدسبر نحصل على المعدلات الشهرية لتآكل الرخام بالمدينة الاثرية والموضحة في الشكلين (3.3 و 3.4). وتبين هذه النتائج وجود تأثير واضح للتلوث الناتج عن محطتي الكهرباء على الأعمدة الرخامية للمدينة الاثرية، ويتضح أيضاً إن هذا التأثير يكون اكبر ما يمكن في شهر مارس وكل من أغسطس وسبتمبر، وهذا الارتفاع يمكن إن يرجع إلى ارتفاع معدلات الرطوبة النسبية، في هذه الأشهر كما يظهر من شكل (1.13). وجمع المعدلات الشهرية للتآكل في الرخام نجد إن معدل التآكل السنوي في الرخام بالمدينة الاثرية يمكن إن يبلغ 58.53 ميكرومتر في السنة، وهذا الرقم يعد كبيراً إذا ما لاحظنا إن مدينة أثرية يبلغ عمرها آلاف السنين وتعد من الإرث الإنساني التاريخي حيث إننا يمكن إن نفقد ما يعادل 1.75 ملم في غضون ما يقرب من 30

سنة، وهذا يعني إننا في هذه المدة قد نفقد هذا الإرث الإنساني المهم الذي عمره آلاف السنين وتوضح الصورة المرفقة بالملحق ( 7 ) حجم التأثير الذي يعنيه تآكل في الرخام بمقدار 3 ملم على تمثال رخامي، وتتفق هذه النتيجة التي تحصلنا عليها مع ما أشار إليه ابو عريبة وآخرون سنة (2004ب) من إن الأعمدة الرخامية والجرانيتية للمدينة الاثرية تتعرض بشكل ملحوظ لعمليات تآكل شديد، وعليه فأننا يجب إن نعمل من الآن على حماية هذه المدينة العريقة من التلف، شكل (3. 4) خطوط الكنتور تبين معدلات تآكل السنوية للرخام في المدينة الاثرية الخمس.

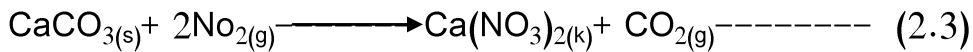


شكل ( 3. 3 ): معدلات التآكل السنوية في الرخام بمدينة لبدة الاثرية تحت تأثير التلوث من محطة الكهرباء بالخمس.



شكل (3. 4) خطوط كونتورية تبين معدلات التآكل السنوية للرخام في المدينة الأثرية.

ويشكل الرخام الجزء الأكبر والأكثر عرضة للضرر في المدينة الأثرية، فمنه تتشكل التماثيل الأثرية، والأعمدة الرخامية المختلفة والمميزة لهذه المدينة العظيمة (ابوعربية وآخرون، 2004)، ويتكون الرخام بأنواعه المختلفة كيميائياً من مادة كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$ ، وهذه المادة بطبيعتها القلوية تتأثر بشدة بملوثات الهواء ذات الطابع الحمضي (أكاسيد الكبريت والنتروجين) وخاصة في وجود معدلات عالية من الرطوبة الجوية أو كميات كبيرة من المطر، حيث أنه عند تعرض الرخام إلى هذه الأكاسيد في وجود الأكسجين فإنه يتحول إلى أملاح كبريتات ونيترات مسببة التآكل وذلك وفق للمعادلات التالية (Boden, 1989):



ويلاحظ من المعادلة الأولى أنه يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت مع الرخام سيتكون الجبس (كبريتات الكالسيوم) والذي له حجم أكبر من حجم الرخام الأصلي مما سيؤدي إلى تشقق وتقشر أعمدة وتماثيل الرخام المتواجدة في مدينة لبدة الأثرية كما يظهر بوضوح في الصور المدرجة في الملاحق من 1 إلى 3 و5، وكذلك بالنسبة للحجر الجيري والجرانيت أوضحت بالملاحق 4 و6، كما يعتبر الجبس نترات الكالسيوم أكثر ذوبانية في الماء من الرخام مما يساعد على إزالته عبر الغسيل بمياه الأمطار، وهذا يؤكد على التأثير السلبي لأكاسيد الكبريت والنتروجين على الرخام، حتى في أوقات الجفاف على الرغم من أن التأثير يكون أشد مع وجود مياه الأمطار نظر لتكون المطر الحمضي، كما يلاحظ إن وجود أكاسيد النتروجين بالإضافة إلى كونها تسبب التآكل عبر إذابة الرخام كألاح نترات الكالسيوم، فإنها أيضاً تؤدي إلى زيادة تأثير أكاسيد الكبريت عبر عملية الأكسدة.



### 3.3 تحليل العينات بالأشعة السينية المفلورة

لغرض الزيادة في التدقيق لمعدلات التآكل تم الاستعانة بتحليل كيميائية لبعض العينات لمعرفة نسبة الاكاسيد بها، والتي تشير إلى مقدار التغير في التركيب الكيميائي للصخور وكانت كالتالي:

#### 3.3.1. عينات الرخام:

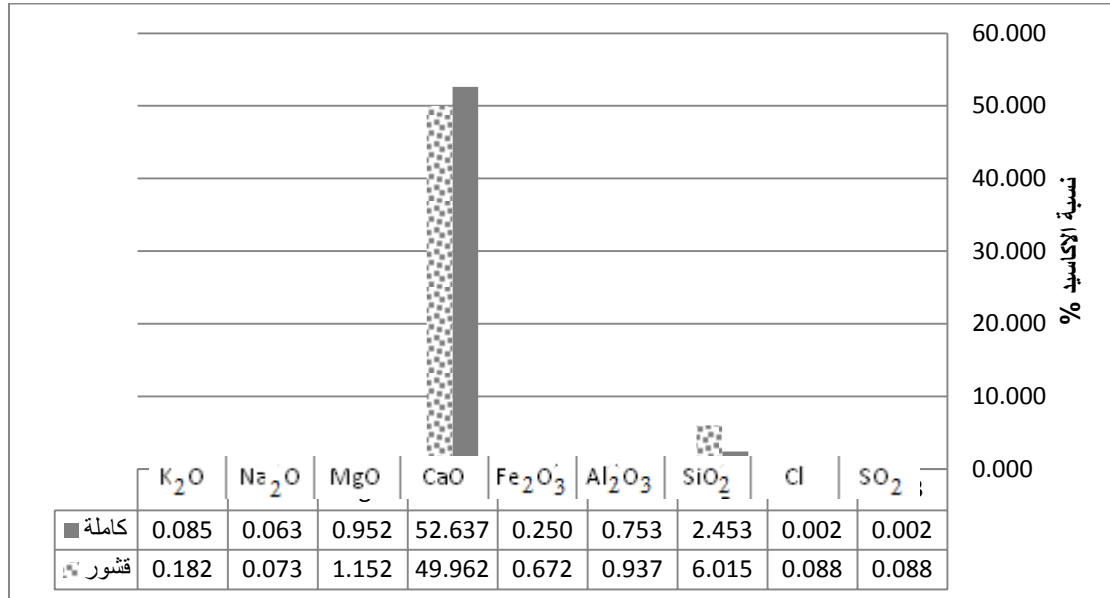
من نتائج تحليل الأشعة السينية المفلورة لعينة من الرخام، وعينة من القشور المتكونة عليها، كما هي مبينة بالشكل (3.5)، والتي تظهر إن المكون الرئيسي الداخل في تكوين الرخام هو الكالسيوم (على صورة كربونات كالسيوم)، حيث تبلغ نسبة تواجده في العينات الأصلية 52.637 % من إجمالي العناصر المكونة للعينة، وإن هذه النسبة قد انخفضت إلى 49.962 % في عينات القشور المأخوذة من على نفس عينات الرخام، وهذا الانخفاض يمكن إن يرجع بشكل أساسي إلى عمليات التجوية الكيميائية، الناتجة عن تكون كبريتات الكالسيوم، التي بالرغم من كونها شحيحة الذوبان في الماء  $K_{sp}(CaSO_4)=4.93 \times 10^{-5}$  إلا أنها تبقى أكثر ذوبانية من مركبات كربونات الكالسيوم ( $K_{sp}(CaCO_3)=3.36 \times 10^{-9}$ ) (إسلام، 2001م)، ومما يؤيد فرضية تكون الكبريتات في عينات قشور الرخام تواجد مركبات الكبريت فيها، حيث بلغت نسبة تواجدها 0.088 % بعد إن كانت في العينات الأصلية نادرة التواجد.

#### 3.3.2. عينات الحجر الجيري:

تعتبر مركبات الكالسيوم المكون الرئيسي لعينات الحجر الجيري، حيث تبلغ نسبة تواجدها في هذه العينات قرابة 47 % من إجمالي المكونات، ومعه توجد مركبات السيليكون بنسبة 10 %، وبمقارنتها بنتائج تحاليل القشور المأخوذة من نفس العينة تبين، إن مركبات الكالسيوم تزداد في عينات القشور وتبلغ نسبتها 48.813 %، بينما تتخفف نسبة تواجد مركبات

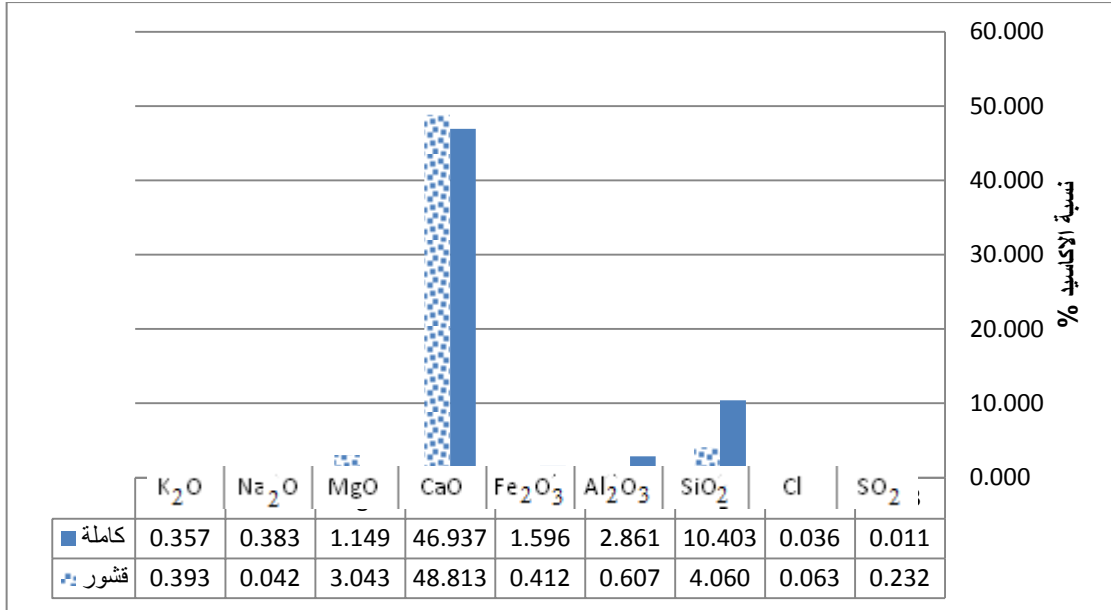
السيكون حتى 4.06% والشكل (3. 6) يوضح المقارنة بين عدع النسب، وهذه التغيرات في

### التركيب الكيميائي



شكل (3. 5): النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينة من الرخام وعينة من القشور المتكونة عليها.

بين العينات الأصلية وعينات القشور، يمكن إن ترجع بشكل كبير إلى تأثيرات التفاعلات الكيميائية، وعمليات التجوية على التركيب الكيميائي على هذا الحجر، ومما يؤكد هذه الفرضية وجود انخفاض ملحوظ في نسبة تواجد مركبات بعض العناصر الأخرى في عينات القشور، مقارنة بالعينات الأصلية فمركبات الصوديوم على سبيل المثال انخفضت نسبتها من 0.383% إلى 0.042%، وكذلك الحال بالنسبة لمركبات السيلكون والالومنيوم والحديد ، بينما ارتفعت نسبيا مركبات الماغنيسيوم من 1.149% إلى 3.043%، وكذلك مركبات الكبريت ارتفعت نسبة تواجدها من 0.011% إلى 0.232% وهذا يمكن إن يكون ناتجا عن تكون كبريتات الماغنيسيوم وكبريتات الكالسيوم.

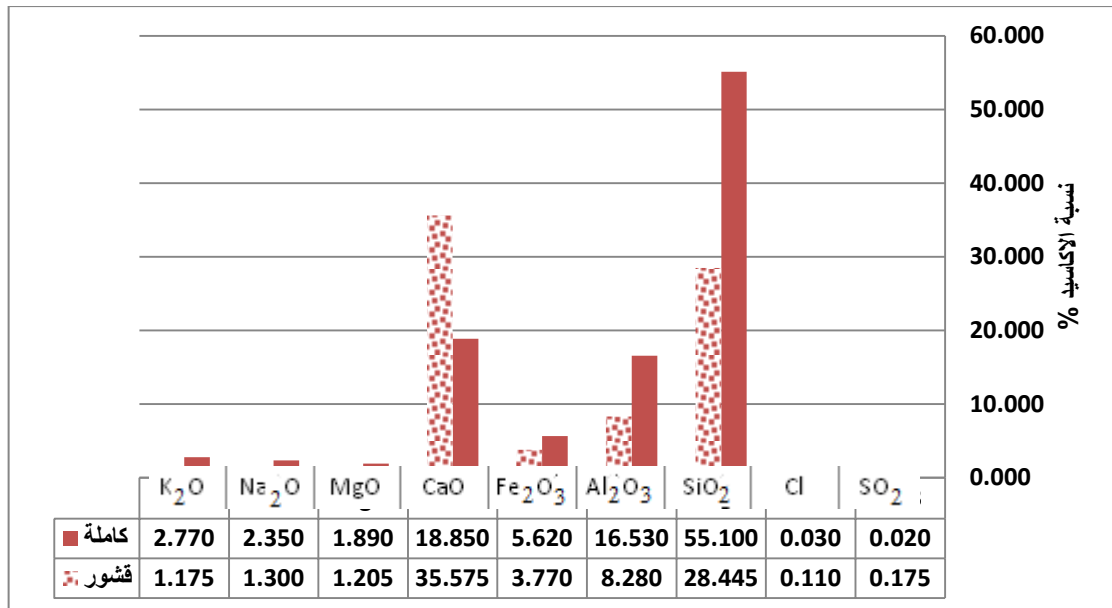


شكل (3. 6): النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينات من الحجر الجيري وعينات من القشور المتكونة عليها.

### 3. 3. 3. عينات الجرانيت:

إن نتائج تحليل الأشعة السينية المفلورة لعينات الجرانيت، وعينات القشور المتكونة عليها، والنسبة المئوية لتواجد هذه العناصر في العينات. أن عينات الجرانيت في الأصل كانت تتكون بشكل أساسي من أكاسيد السيلكون بنسبة أكبر من 55% وأكاسيد الكالسيوم بنسبة 18.85% مع بعض أكاسيد الألومنيوم بنسبة أكبر من 16%، وإن عمليات التجوية المختلفة على العينات قد أدت إلى نقص ملحوظ في نسبة تواجد أكاسيد السيلكون في القشور المتكونة على العينات حيث قلت إلى 28.445%، وكذلك في أكاسيد الألومنيوم والذي انخفضت نسبة تواجد مركباته إلى قرابة النصف حيث بلغت 8.28%، وهذا يمكن أن يرجع إلى تفتت الصخر وتساقط بعض المركبات المكونة له أو تطايرها مع الرياح وعوامل التعرية الأخرى، بينما ازدادت نسبة تواجد مركبات الكالسيوم في قشور الجرانيت حتى بلغت 35.575% مما يدل على وجود ترسيب لأملاح كلوريدات الكالسيوم ذائبة في الماء مع احتمال وجود تجوية

كيميائية للصخر تكون عنها مركبات كبريتات الكالسيوم الشحيحة الذوبان في الماء، ومما يعزز هذه الفرضية زيادة نسبة اكسيد الكبريت في عينات القشور (0.175 %) مقارنة بعينة الخام الأصلية ( 0.02 %)، وكذلك الحال بالنسبة للكلوريد فقد كانت نسبة تواجده 0.03 % وبلغت هذه النسبة 0.11 %، والشكل (3. 7) يبين مقارنة بين النسبي في كل من العينة الصخرية والقشور التي تكونت عليها بفعل التجوية.

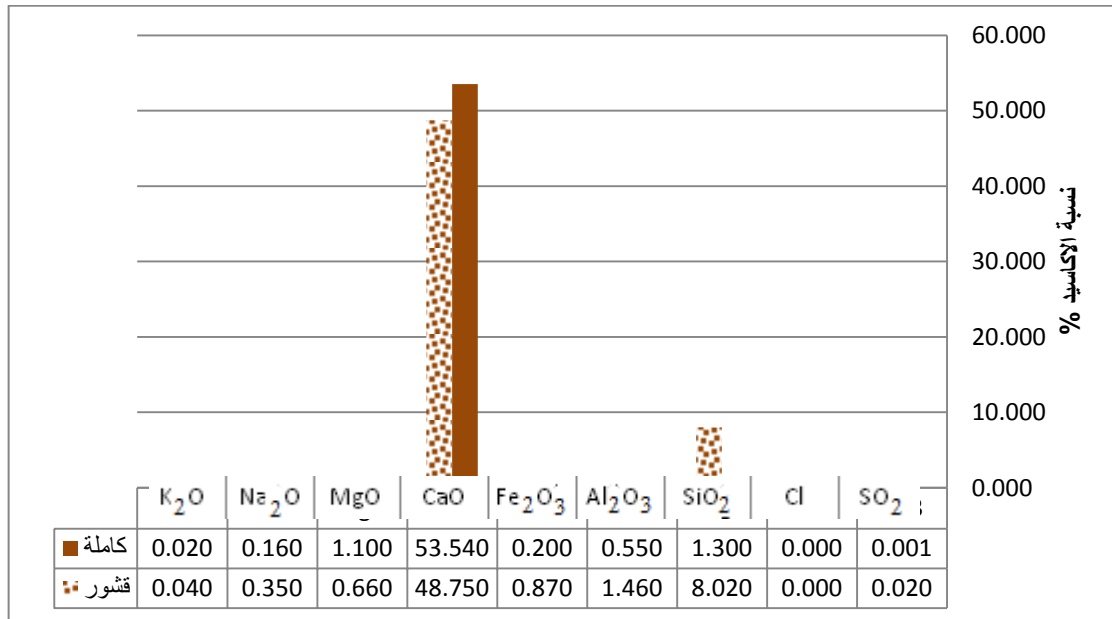


شكل (3. 7): النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينة من الجرانيت وعينة من القشور المتكونة عليها.

### 3. 3. 4 عينات الشست:

يظهر من نتائج تحليل عينات الشست المبينة في شكل (3. 8) إن أكثر من 53.5% من مكونات العينة الأصلية يتكون من مركبات الكالسيوم، وان هذه المركبات انخفضت في عينات القشور (أو الفتات) إلى 48.75%، وهذا الانخفاض يمكن إن نعزوه إلى عمليات تجوية وتفتت وتطاير مع الرياح لعينات الشست، ولكون العينات أخذت من مناطق بعيدة نسبياً عن البحر وقليلة التعرض لمياه الامطار، وبالتالي للانخفاض النسبي في تأثير عملية الذوبان على عينات الصخر الأصلي، ومما يعزز هذه الفرضية الارتفاع الملحوظ في نسبة تواجد مركبات العناصر

الأكثر ذوبانية في عينة القشور، مثل الصوديوم والبوتاسيوم والالومنيوم والحديد والتي ارتفعت من 0.16% إلى 0.35% ومن 0.02% إلى 0.04% ومن 0.55% إلى 1.46% ومن 0.2% إلى 0.87% لكل منها على التوالي، كما يدل عدم وجود أملاح الكلوريد في العينات بسبب بعيدها عن البحر، مما يعني عدم التعرض لرياح ماء البحر وترسب أملاح الكلوريد التي لوحظت في عينات الأنواع الأخرى من الصخور التي تم دراستها، إلا إن وجود زيادة نسبية في نسبة تواجد أملاح الكبريت في عينات القشور مقارنة بالعينات الأصلية، يمكن اعتباره مؤشرا على تعرضها لعمليات تجوية كيميائية، نتيجة التلوث بأكاسيد الكبريت، التي تذوب في الماء المكون لرتوبة الهواء الجوي ومن ثم تترسب على السطح الخارجي للصخور.

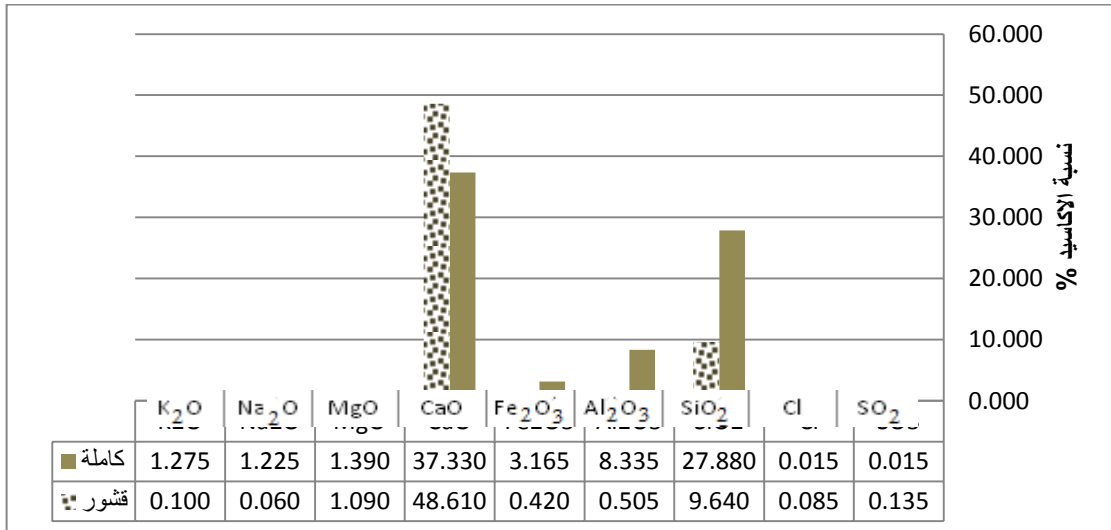


شكل (3. 8): النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينات من الشست وعينات من القشور المتكونة عليها.

### 3. 3. 5 الحجر الجيري الرملي:

يتكون هذا الحجر بشكل أساسي من مركبات السيلكون (SiO<sub>2</sub>) ومركبات الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>)، وهذا ما يمكن ملاحظته في تركيب العينات الأصلية التي أخذت من المنطقة، وتم

تحليلها باستخدام جهاز الأشعة السينية المفلورة والممثلة والشكل (3. 9) يبين نسب كل من هذه المركبات، حيث بلغت نسبة تواجد مركبات السيلكون والكالسيوم في العينات المدروسة 27.88% و 37.33% لكل منهما على التوالي، كما تواجد مركبات لكل من الألومنيوم والحديد في هذه العينات الأصلية بنسبة تبلغ 8.335% و 3.165% لكل منهما على التوالي، إلا أنه يلاحظ أيضا من الشكل (3. 9) إن التركيب الكيميائي للحجر قد تغير بشكل ملحوظ في عينات القشور مقارنة بالعينات الأصلية حيث انخفضت بشكل واضح نسبة تواجد مركبات السيلكون حتى بلغت 9.64%، وكذلك انخفضت نسبة تواجد مركبات كل من الألومنيوم والحديد وبلغت 0.505% و 0.42% لكل منهما على التوالي، وهذا الانخفاض في نسبة التواجد شمل أيضا مركبات كل من الصوديوم والبوتاسيوم والماغنيسيوم، بينما كان هناك ارتفاع واضح في نسبة تواجد مركبات الكالسيوم التي بلغت 48.61%، وكذلك وجد ارتفاع ملحوظ في نسبة تواجد مركبات الكبريت والكلوريد، وهذه التغيرات الواضحة في التركيب الكيميائي بين عينات الحجر الرملي وعينات القشور (الفتات) المتكونة عليه يدل بشكل كبير على حدوث عمليات تجوية كيميائية لهذا الصخر.



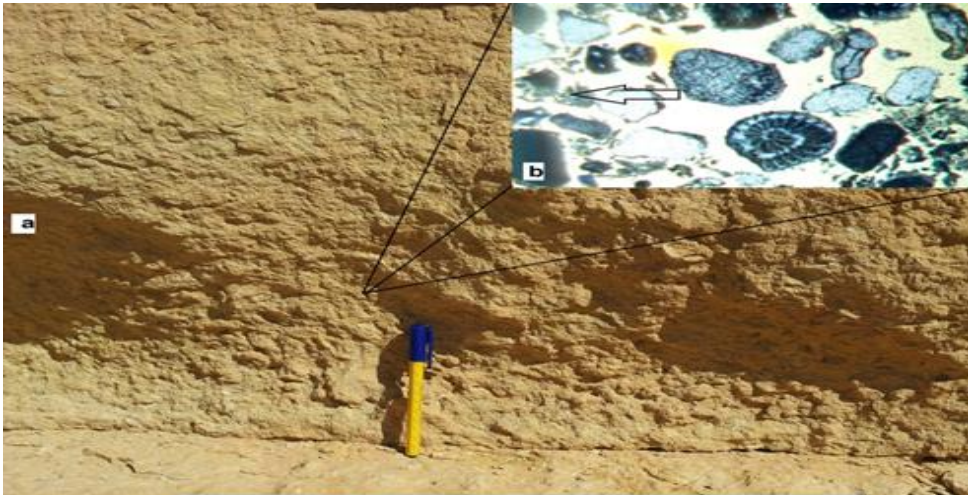
شكل (3. 9): النسبة المئوية لتواجد العناصر الرئيسية في عينات من الحجر الرملي وعينات من القشور المتكونة عليها.

### 4.3 نتائج الفحص باستخدام المجهر الضوئي المستقطب

المجهر المستقطب هو أحد الأدوات الرئيسية لدراسة المعادن بدرجات تكبير مختلفة، وخاصة المعادن المكونة للصخور وبالدرجة الأولى المعادن الشفافة، ولغرض معرفة التغيرات التي طرأت على الصخور، تم عمل شرائح رقيقة (Thin Section) ودرستها لعدد (16) عينة من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، وفيما يلي شرح مبسط لمظاهر تأثير العوامل الخارجية على سطح الصخور، ومقارنته مع ما يمكن رؤيته بالعين المجردة.

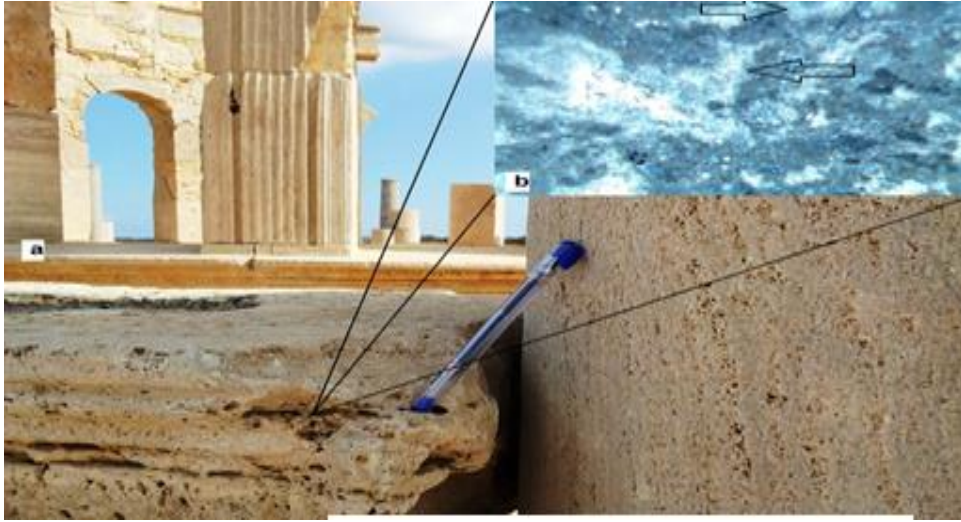
#### 1.4.3. الصخور الرسوبية

- عينة حجر الجيري الرملي: أخذت من معبد الحوريات وهي صخور رسوبية تتكون حبيبات دقيقة من الكالسيوم والكوارتز والفلسبار (تكوين قرقارش)، وهو كثيف ومتجانس، يحدث فوران سريع مع حمض الهيدروكلوريك المخفف الشكل (3. 10)، المقطع a يبين إن الصخر متأثر بعمليات التجوية من خلال المادة اللاصقة الأكثر ضعفا ثم الأكثر صلابة فبتفتت الصخر. المقطع ألمجهري b يوضح بعض المتحجرات بها تآكل وتفتت كما مبين بالسهم والتفتت أكثر وضوحا حتى باستخدام اليد نتيجة الإذابة للمادة اللاصقة.



شكل (10.3) a جدار من الحجر الجيري الرملي b صورة المجهر المستقطب.

- **عينة الحجر الجيري:** أخذت من السوق وهي صخور رسوبية غير فتاتيه، من حبيبات دقيقة من الكالسيوم (تكوين الخمس)، وهو كثيف ومتجانس يحدث فوران سريع مع حمض الهيدروكلوريك المخفف الشكل (3. 11) المقطع a يبين إن الصخر متأثر بعمليات التجوية من خلال الثقوب الأكثر ضعفا ثم الأكثر صلابة فافتتت الصخر، والشريحة المجهرية b توضح إن الصخر اقله كالسييت، وهي بلورات بيضا اللون ذات حواف غير منتظمة نتيجة الإحلال الكبير الذي حدث للعينة مبينة باللون الداكن.



شكل(11.3) a قاعدة من الحجر الجيري b صورة المجهر المستقطب.

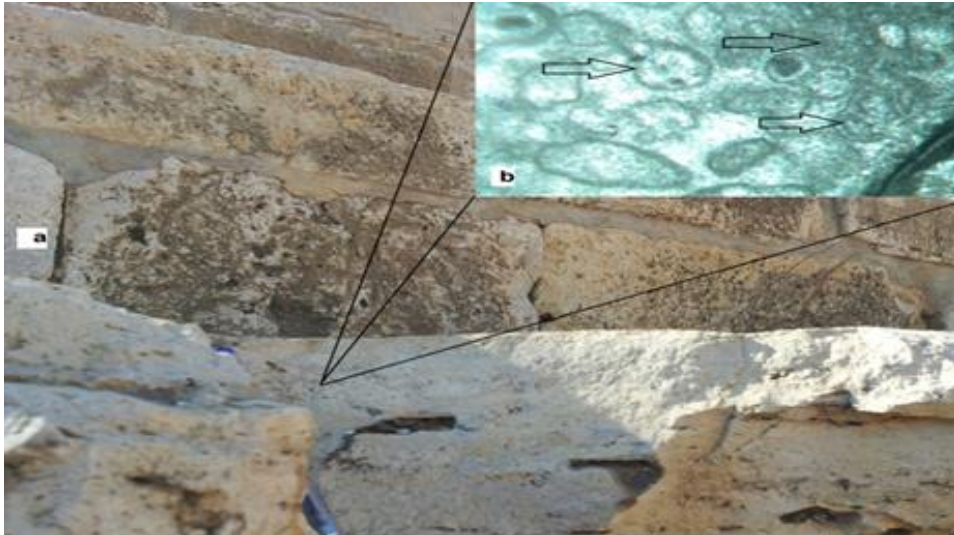
- **عينة الحجر الجيري:** من معبد جوبيتير وهي صخور رسوبية غير فتاتيه من حبيبات دقيقة من الكالسايت (تكوين النقازة )، وهو كثيف ومتجانس يحدث فوران سريع مع حمض الهيدروكلوريك المخفف، الشكل ( 3. 12) المقطع a يبين إن الصخر متأثر بعمليات التجوية من خلال الثقوب الأكثر ضعفا ثم الأكثر صلابة فافتتت الصخر، والشريحة المجهرية b توضح إن الصخر حدث له إحلال وتآكل، كما مبين من خلال حواف المتحجرات السهم الأول والثاني إما السهم الثالث يوضح تآكل ضعيف بسبب صلابة المتحجر.





شكل (12.3) a عمود من الحجر الجيري b صورة المجهر المستقطب.

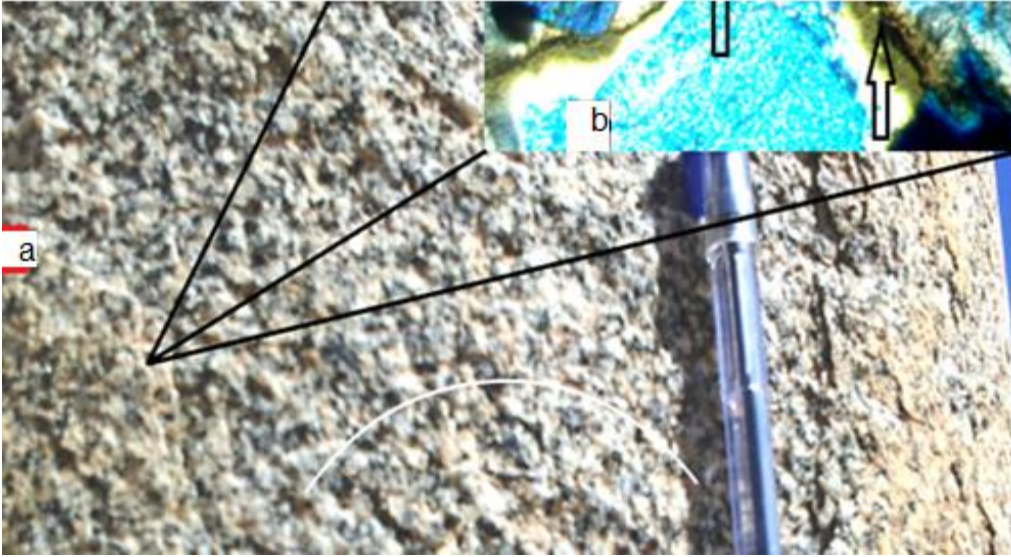
- عينة من الحجر الجيري: موقعها حلبة المصارعة وهي صخور رسوبية غير فتاتيه من حبيبات دقيقة من الكالسايت (تكوين النقازة)، وهو كثيف ومتجانس يحدث فوران سريع مع حمض الهيدروكلوريك المخفف، الشكل (3.13) المقطع a يبين إن الصخر متأثر بعمليات التجوية من خلال الثقوب الأكثر ضعفا ثم الأكثر صلابة فيتفتت الصخر، الشريحة المجهرية b توضح انحلال كبير في حواف البلورات وتكون انطقه من معادن جديدة على الحواف وأحيانا انحلال كامل للبلورة كما في السهم العلوي.



شكل (13.3) a مقاعد حجر الجيري b صورة المجهر المستقطب.

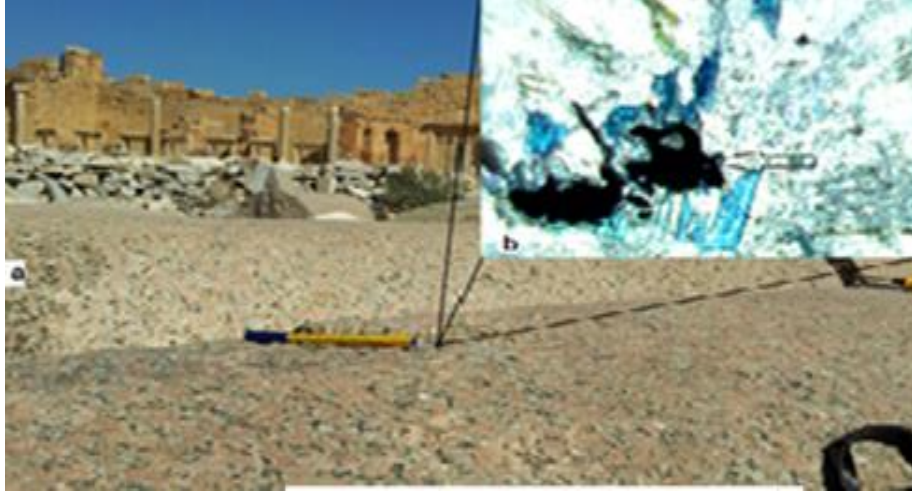
### 2.4.3 الصخور النارية :

- **عينة جرانيت وردى**: أخذت العينة من السوق البونيفي، وهو صخر ناري خشن الحبيبات، المعادن الأساسية فيه كوارتز وفلدسبار والمعادن الثانوية بايوتايت، هورنبلند ومسكوفاييت، يتحكم لون الفلدسبار في لون الصخر كله، حيث يكون إما رماديا أو ورديا أو مائلا إلى الأحمر الشكل (14.3) المقطع a. وبعد دراسة العينة تحت المجهر تبين هناك تغير في حواف البلورات وإحلال معادن جديدة كما مبينة بالأسهم في المقطع b، إما المقطع a يبين القشور التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، يعني بان هناك تحلل وإذابة بين بلورات المعادن تجعلها أكثر هشاشة وانسلاخ، وهذا ما توصلت إليه النتائج السابقة من حيث التآكل.



شكل (14.3) a صورة قشور على عمود الجرانيت، b صورة المجهر المستقطب.

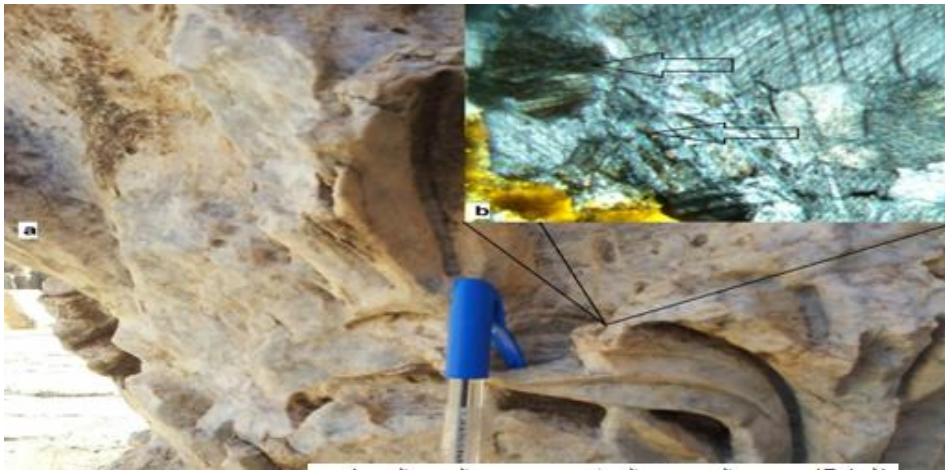
- **عينة جرانيت وردى**: من الميدان الجديد وهي صخور نارية فاتحة اللون خشنت الحبيبات، المعادن الأساسية فيه كوارتز وفلدسبار، والمعادن الثانوية بيوتايت وهورنبلند ومسكوفاييت، يتحكم لون والفلدسبار في لون الصخر كله، حيث يكون رماديا، أو ورديا، الشكل (3. 15) المقطع a، الشريحة المجهرية المقطع b السهم يوضح إحلال معادن جديدة على البلاجيوكليز، ومن خلال الشريحة إن العينة في بداية الإحلال خلال حواف البلورات ولم تصل إلى التفكك .



شكل (3.15) صورة عمود الجرانيت a صورة المجهر المستقطب. b

### 3.4.3 الصخور المتحولة

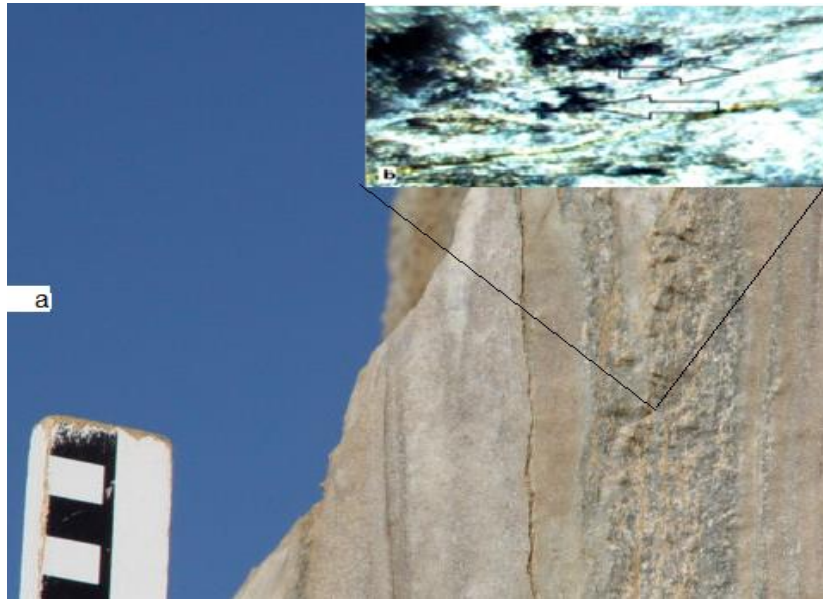
- عينة رخام: أخذت من المسرح الروماني، صخور ذات اللون من الأبيض إلى الرمادي كما موضح بالشكل (3.16)، المقطع a يوضح سرعة التآكل والانحلال أسرع بسبب مساحة السطح، الذي يكون أكبر في العينات المزخرفة لأن التعرض يكون أكبر من السطح المستوي. الشريحة المجهرية b توضح إن الصخر حدث له إحلال، وكذلك تغير اللون إلى الأسود مبين بالسهم، والسهم الثاني يبين الإحلال والتآكل في فواصل معدن الكالسيت.



شكل (3.16) زخرفة من المسرح a، صورة المجهر المستقطب. b



- **عينة شيست:** أخذت من المسرح الروماني، وهي صخور متحولة، معظمها يتكون من معادن صفائحية مرتبة بشكل متوازي، يفصل عادة عبر الأسطح المتوازية شكل (3. 17)، الشريحة المجهرية b توضح إن الصخر متكون من صفائح متسلسلة من المايكا والهورنبلند مابين (بالسهم العلوي)، وتحت الصفائح يوجد الكوارتز والفلدسبار، والتآكل والإحلال حدث على معادن الفلدسبار الأضعف والمتمثل باللون الأسود، وكذلك الشقوق (تحت السهم) مبينا تآكل وإحلال بين بلورات المعادن.

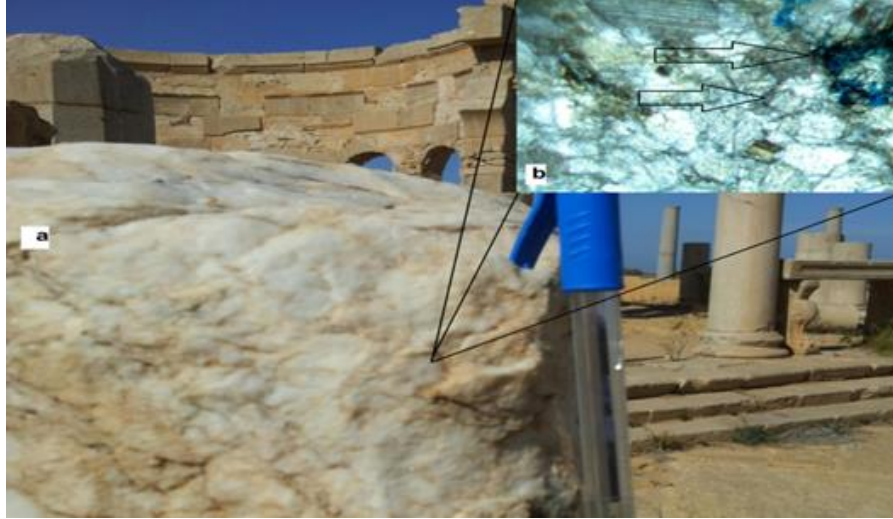


شكل (17.3) عمود من الشيست في المسرح a، صورة المجهر المستقطب b.

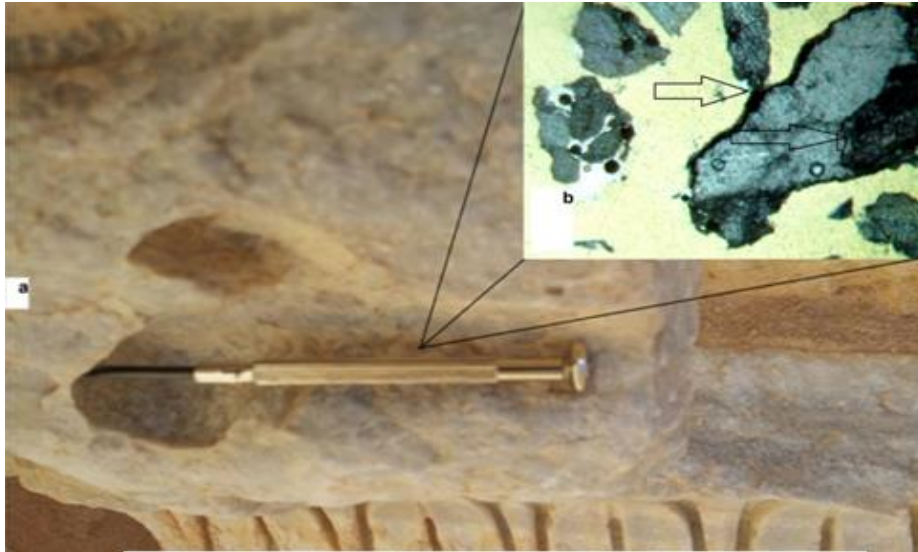
- **عينة رخام:** اختيرت من السوق البونيفي، ونها من الأبيض إلى الرمادي كما موضح بالشكل (3. 18) في المقطع a، حيث تظهر علامات التآكل والانحلال أسرع بسبب مساحة السطح، فكلما زادت مساحة السطح زادت الصخور تأثراً، والشريحة المجهرية b تبين ذلك بوضوح أكثر من حيث تفكك وتآكل داخل الفواصل بين البلورات والمتمثلة باللون الغامق.

- **عينة رخام:** تم اختيارها من قوس سبتيموس سيفيروس، لونه من الأبيض إلى الرمادي كما موضح بالشكل (3. 19) المقطع a، والشريحة المجهرية تظهر فيها التآكل والتفكك من خلال

معادن تنمو فوق الأخرى في الإطراف كما مبين بالسهم، وكذلك اللون الأسود من جهة السهم الثاني يوجد إحلال.



شكل (3. 18) قاعدة من الرخام من السوق a، صورة المجهر المستقطب b.



شكل (3. 19) زخرفة من الرخام منقوش سبتيموس سيفروس a، صورة المجهر المستقطب b.

- عينة رخام: رخام من الأبيض إلى الرمادي اللون، من معبد جوبيتر، كما موضح بالشكل (3. 20) المقطع a، والشريحة المجهرية b توضح إن الصخر كله من معدن الكالساييت، وكذلك نمو

جديد بين البلورات كما موضح بالسهم، دليل على التآكل بين البلورات، يؤكد ما توصل إليه بالدراسة النظرية السابقة .



شكل (20.3) قاعدة من الرخام من معبد جوبيتير a، صورة المجهر المستقطب b.

- عينة رخام: جمعت من ساحة الألعاب لونها أبيض رمادي، ويسمى بالبريشية التكتونية كما موضح بالشكل (3. 21) المقطع a، والشريحة المجهرية b توضح تغير في بلورات الكالسيت ناهيك عن الفواصل وإحلال معادن أخرى والمشار إليها بالأسهم، والإحلال كما موضح مسبقا إما إن تكون كبريتات أو نترات محل الكربونات.



شكل (21.3) عمود من الرخام من ساحة الألعاب a، صورة المجهر المستقطب b.

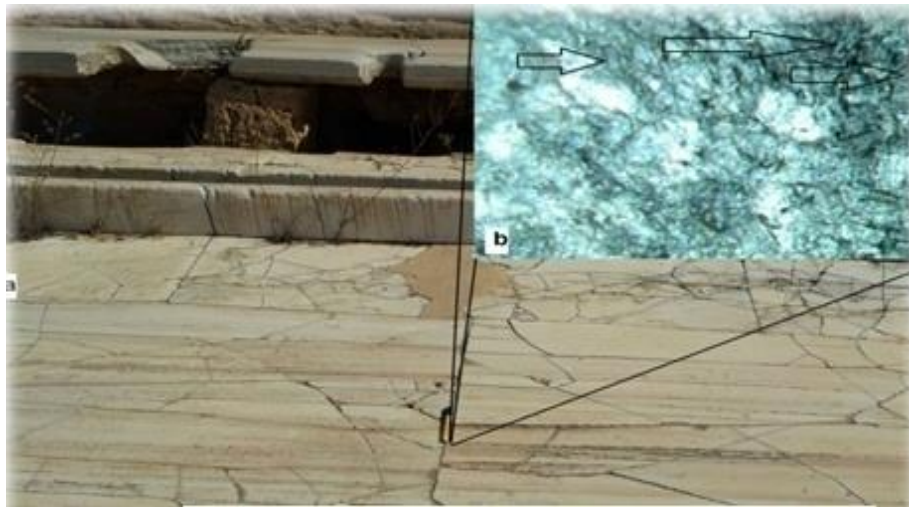


- عينة رخام: من البوابة الغربية لونها من الأبيض إلى الرمادي كما موضح بالشكل (3. 22) المقطع a، والشريحة المجهرية b توضح الأسهم تفكك وتآكل داخل الفواصل بين البلورات والمتمثلة باللون الغامق.



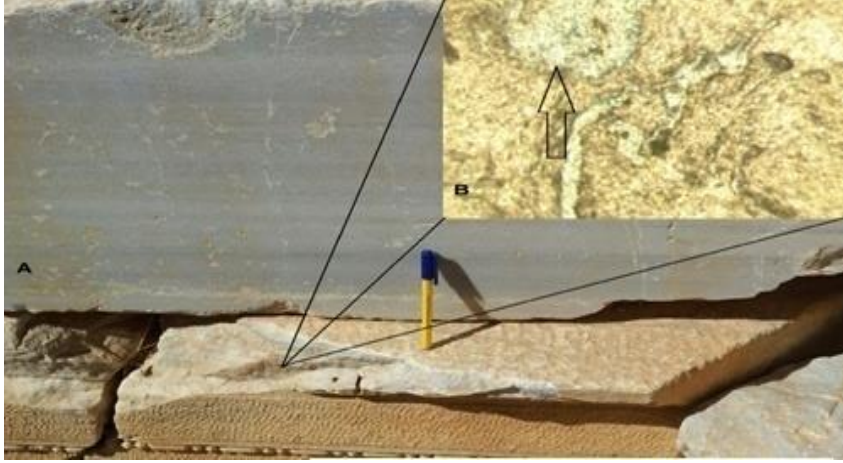
شكل (3. 22) قاعدة من الرخام من البوابة الغربية a، صورة المجهر المستقطب b.

- عينة رخام: لونها من الأبيض إلى الرمادي من حمامات هادريان (ملقاة على الأرض)، كما موضح بالشكل (3. 23) المقطع a، والشريحة المجهرية b توضح بان هناك إحلال ينمو فوق بلورة الكالساييت اللون الأسود والمشار إليها بالأسهم التي على اليمين، واختفى حواف بلورة الكالساييت بسبب الإحلال المتغلغل من خارج البلورة إلى داخلها (السهم الذي على اليسار).



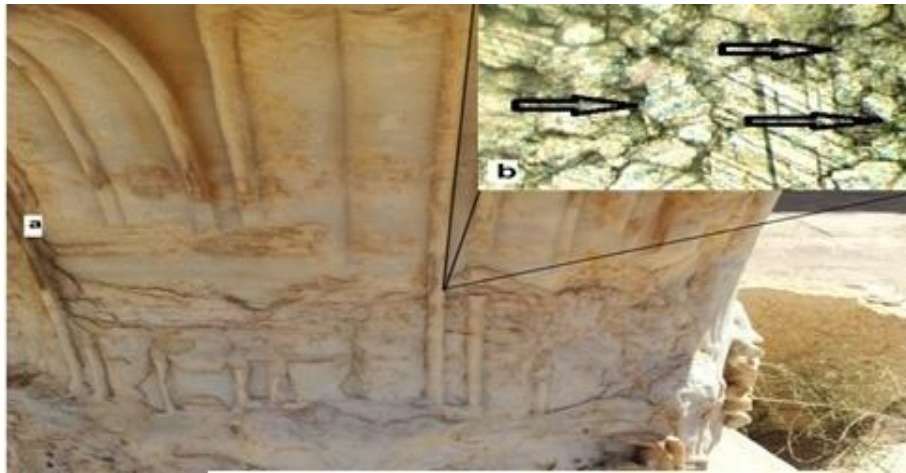
شكل (3. 23) أرضية رخام من حمامات هادريان a، صورة المجهر المستقطب b.

- عينة رخام: من معبد الحوريات، اللون من الأبيض إلى المادي كما موضح بالشكل (24.3).  
المقطع a، الشريحة في المقطع b توضح تآكل وإحلال معادن أخرى في حواف البلورة، أي في مناطق الضعف في بلورة الكالسيت .



شكل (24.3) قاعدة رخام من معبد الحوريات a، صورة المجهر المستقطب b.

- عينة الرخام: من الميدان الجديد، لونها من الأبيض إلى الرمادي كما موضح بالشكل (25.3).  
المقطع a، الشريحة المجهرية b توضح تفكك وتآكل داخل الفواصل بين البلورات والتمثلة باللون الغامق.



شكل (25.3) قاعدة مزخرفة من الرخام من الميدان الجديد a، صورة المجهر المستقطب b.



من خلال الدراسة النظرية بواسطة برنامج المحاكاة الانتشار داسير، تبين هناك ارتفاع في تركيز الغازات (اكاسيد النيتروجين والكبريت)، وتطبيق هذه النتائج على معادلة روتس لقياس التآكل على الخام، وجد نسبة التآكل تصل 1.75 مم خلال 30 سنة، من بداية تشغيل المحطة الكهربائية، ولتأكيد النتائج النظرية تم استخدام جهاز الاشعة السينية المفلوره على عينات من الصخور المشيدة منها المدينة الاثرية، وكانت النتائج تؤكد بان هناك تآكل وتفتت وتغيير في نسب تواجد المعادن داخل الصخور، وللتأكد أكثر تم الكشف عن العينات بالمجهر الضوئي المستقطب ومن خلال صور الشرائح تبين وجود إحلال وتآكل وتفتت بين بلورات المعادن في الصخور، وبهذه النتائج فان المدينة الاثرية المتميزة قد تفقد معالمها الاثرية نتيجة الملوثات الغازية .

## الفصل الرابع

### الاستنتاجات والتوصيات

## 4 الاستنتاجات والتوصيات

### 1 . 4 الاستنتاجات

من خلال ما تم عرضه في سياق البحث، يتضح جليا إن هناك كميات كبيرة من الإنبعاثات الغازية في الهواء الجوي، مصدرها محطتي كهرباء الخمس، الواقعة ليس ببعيد عن منطقة لبددة الاثرية بشكل خاص، ومنطقتي الخمس وسوق الخميس بشكل عام، وتتمثل هذه الإنبعاثات الغازية في بعض المكونات من المركبات الكيميائية أهمها (  $CO_2 - NO_x$  ) والتي تعتبر عالية السمية وضاره بما يحيط بها من بشر وحجر، وهذا لا يعني إننا نتجه إلى الدخول إلى الدعوة إلى إقفال المحطة بل إلى الدعوة إلى استخدام الأساليب العلمية والحديثة للمحافظة على البيئة.

لقد تم التوصل إن هناك تأثير واضح على صخور مدينة لبددة الاثرية يتمثل في إحداث عمليات تآكل وتجوية لهذه الصخور، وتعتبر الغازات المنبعثة من المحطة هي إحدى مصادر الرئيسية لتآكل اثار مدينة لبدده، بحيث يتم إحداث عمليات إحلال واستبدال بين المركبات والعناصر الكيميائية، وأهم هذه الأمثلة هو إحلال واستبدال كربونات الكالسيوم إلى كبريتات أو نترات الكالسيوم، وتعتبر المركبات الأخيرة سريعة الذوبان في الماء، وبالتالي تجد إن العديد من القطع الاثرية، ذات القيمة الثقافية الإنسانية العالمية لتاريخ وحضارات الشعوب تنتهي وتتآكل بشكل تدريجي، قد يكون ذلك غير مرئي للعيان، ولكنه مع مرور الزمن يمكن رؤية أثاره، وهي عمليات لا يمكن ترميمها أو صيانتها، خاصة إذا كانت متعلقة بالنقوش التي تتواجد على قطع صخرية قد جلبت خصيصا منذ الأف السنين لتشييد المدينة، وقد صقلت بشكل ملفت للنظر جعل من هذه المدينة قبلة للسائحين.

## 2.4 التوصيات

1. إجراء المزيد من الدراسات باستخدام برامج أكثر تطوراً ويمكنها معالجة البيانات في فترة زمنية طويلة وممتدة.
2. إجراء المزيد من الدراسات على مصادر التلوث الأخرى بالمدينة وتأثيرها على الصخور بالمدينة، مثل مصانع الإسمنت ووسائل النقل وغيرها.
3. إجراء دراسات عملية لقياس تركيز الهواء الفعلية في المدينة، وتأثيرها على مكونات المدينة الاثرية.
4. إجراء المزيد من الدراسات على التأثيرات الصحية والبيئة الأخرى لمحطة الكهرباء على سكان المدينة.

المراجع

## المراجع

### - المراجع العربية

- ابو عربية حسن، مينا س هيثم، قرصع ربيع وابورقيقة حمزة (2004أ)، مواد البناء المشيدة منها مدينة لبد ء الكبرى وكيفية المحافظة عليها، المؤتمر الوطني الثاني ل مواد البناء والهندسة الإنشائية، جامعة المرقب، الخمس.
- ابو عربية حسن، مينا س هيثم، قرصع ربيع وابورقيقة حمزة (2004ب)، العمليات الخارجية المؤثرة على مواد بناء مدينة لبد ء الاثرية وطرق الوقاية منها، المؤتمر الوطني الثاني ل مواد البناء والهندسة الإنشائية، جامعة المرقب، الخمس.
- إسلام أحمد، (2001) التلوث الكيميائي وكيمياء التلوث، دار الفكر العربي، مدينة النصر، القاهرة.
- الخالصي هيثم عبد الأمير ، (2012): علاقة صخور مكاشف تكاوين فترة السنوماني - البلايستوسين المحيطة بمدينة لبد ء الاثرية مع الكتل الصخرية المستخدمة في بناءها والواقعة شمال غرب ليبيا، جامعة ذي قار كلية العلوم.
- الدوفاني ليلي بشير، (2006): دراسة تحليلية لمياه الامطار والمياه الجوفية بمنطقة الخمس (رسالة ماجستير، غير منشورة)، كلية العلوم جامعة المرقب.
- الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، (2003)، مقاييس حماية البيئة، وثيقة رقم (1409-01)، وزارة الدفاع الطيران، المملكة العربية السعودية.
- الصطوف، عبدالإله الحسين، (1995) : التلوث البيئي- مصادره وأثاره وظروف الحماية، منشورات جامعة سبها- ليبيا.

- القانون المصري، (2005)، بقرار وزاري رقم 1741 لسنة 2005، الملاحق التنفيذية للقانون رقم 4 لسنة 1994 في شأن البيئة.

- الهيئة العامة للبيئة، (2008)، مشروع قانون الاشتراطات البيئية لحماية الهواء من التلوث، ليبيا.

- باقر، طه ( 1973 )؛ لبدة الكبرى، الدار الوطنية، العراق، 22 3 ص.

- حاتوغ علياء ومحمد ابودية، (1996)، علم البيئة، الطبعة الثانية، دار الشروق، عمان، الأردن.

- شاهين، عبد المعز، (1994)؛ ترميم وصيانة المباني الأثرية والتاريخية، مطابع المجلس الأعلى للآثار مصر، 190 ص.

- كمال الدين محمد (1926): مبادئ علم الصخور، المركز الوطني للإعلام والتوثيق، جامعة القاهرة.

- مركز الارصاد الخمس، تقارير غير منشورة لبيانات مناخية من 2004 - 2013م.

#### - المراجع الانجليزية

- Ashenden. T. W., (1979), Effects of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> pollution on transpiration in phaseolusvalgaris, Environmental pollution, 18, pp. 40-45.

- Beryland. M. Y., (1975). Contemporary problems of atmospheric diffusion and pollution of the atmosphere. Gidrometezdat, Leningrad, translated into English by NERC, US EPA.

- Boden. H., (1989), Approaches in modeling the impact of air pollution induced material degradation, International institute for applied systems analysis, Austria, pp. 89–104.
- Böke. H., Göktürk. H., Caner. E. N., and Demirci. S., ( 1999): Effect of Airborne Particles on SO<sub>2</sub> Calcite Reaction, Applied Surface Science. Vol. 140, pp.70– 82.
- Bosanquet. C. H., (1936), The Spread of Smoke and Gas from Chimneys. Trans. Faraday Soc. 32:1249.
- Boubel. R., (1994), Fundamentals of Air Pollution, 3rd edition. Academic Press.
- Carmichael. G. R., and Peters, L. K., (1979), Numerical simulation of the regional transport of SO<sub>2</sub> and sulfate in the eastern United States, Proc. 4th Symp.on turbulence, diffusion and air pollution, AMS 337.
- Cimorelli. A. J., Perry. S.G., Venkatram. A., Weil. J. C., Paine. R. J., Wilson. R.B., Lee. R.F., Peters, W.D., and Brode. R.W., (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. Journal of Applied Meteorology 44, pp. 682–693.
- Deardorff. J. W., (1975):Simulation of the Wangara Atmospheric Boundary Layer Data. TETSUJI YAMADA AND GEORGE MELLOR.



Geophysical Fluid program , Princeton University, Princeton, N. J.  
08540.

- Delalieux. F., Sweevers. H., and Vangrieken. R., (1997): Weathering Mechanisms of Pentelic Marble under Ambient Atmospheric Conditions Derived from Runoff Studies. In: 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin. A.Moropoulou, F.Zezza, E.Kolias and I.Papachristodoulou, Eds, Rhodes, pp.151–159.
- Demicco. R. V., Hardie. L. A., (1994): Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits. SEPM Atlas Series, 1, 265p.
- Donatella. B., Valeria. C., Cristina. M. B., Alessandra. B., and Mauro. F. R., (2014): Galactic evolution of r-process elements the role of compact binary mergers, [www.clinicalneuropsychiatry.org](http://www.clinicalneuropsychiatry.org) /91–100P. بتاريخ (2014-4-10)
- ECE, (1997), European Commission Environment."SO<sub>2</sub>, POSITION paper", Final Report –November.
- ECE, (2010), European Commission Environment "Air Quality Standards". Website: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. (2014) .

- Eliassen. A., and Saltbones. J., (1975), Decay and transformation rates of SO<sub>2</sub> as estimated from emission data, trajectories and measured air concentrations *Atm. Env.* 9:425.
- Fisher. B. E. A., (1975), The long-range transport of sulfur dioxide, *Atmospheric Environmental*, 9, p 1063.
- Fitzner. B., Heinrichs. K., and Bouchardiere. D., (2002): Damage index for stone monuments.– in: Galan, E. and Zezza, F. (ed.): *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities, Proceedings of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Sevilla, Spain, 5–8 April 2000: 315–326*, Swets & Zeitlinger, Lisse, The Netherlands.
- Flugel. E., (2004), *Microfacies of carbonate rocks. Analysis, Interpretation and Application* 1st edition, Springer, p 976.
- Friedlander. S. K., and Seinfeld. J. H., (1969), A Dynamic Model of Photochemical Smog, *Environ., Science Technol.*, 3, 1175.
- Garrison. E. G., (2003): *Techniques in Archaeological Geology*, Springer, pp 304.
- Hanna. S. R., Kintigh. E., and Baker. D., (2007). Uncertainties in air toxics calculated by the dispersion models AERMOD and ISCST3 in the

- Houston ship channel area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46, pp.1372–1382.
- Haynie. F. H., and Spence. J. W., (1984). Air Pollution Damage to Exterior Household Paints. *Journal of Air Pollution Control Association* 34, pp. 941–944.
  - Högstrom. U., (1964), An experimental study on atmospheric diffusion *Tellus*, 16:205.
  - Holzworth. G. C., (1967). Mixing depth, wind speed and air pollution potential for selected locations in the U.S.A., *J. Appl. Met.*6:1039.
  - Ibrahim. H. G., Okasha. A. Y., Elatrash. M. S., and Elmishregi. M. A., (2012), Computer Assessment of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emitted From Khoms Power Station in Northwestern Libya, *International Journal of Modern Engineering Sciences*, 1(1): 45–54.
  - Kucera. V., (1994).The UN ECE International Cooperative Programme on Effects on Materials, Including Historic and Cultural Monuments. Report to the working group on effects within the UN ECE in Geneva, Swedish Corrosion Institute, Stockholm.
  - Larkin. N. K., O’Neill. S.M., Solomon. R., Raffuse. S., Strand. T., Sullivan. D., Krull. C., Rorig. M., Peterson. J., and Ferfuson S.A.,

- (2009). The BlueSky smoke modeling framework. *International Journal of Wildland Fire* 18, pp. 906–920.
- Lipfert. F. W., (1987). Effects of Acidic Deposition on the Atmospheric Deterioration of Materials. *Materials Performance*, 12, National Association of Corrosion Engineers.
  - Liu. M. K., and Seinfeld. J. H., (1974). On the Validity of Grid and Trajectory Models of Urban Air Pollution, *Atmos. Environ.*, 9.
  - Mar. V., Pieter. H., Augustin. C., Xavier. G., Bart. D., Ina. V., and John. A., (2014): Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe, *Atmospheric Environment*, pp. 95–105.
  - Marinoni. N., Pellizon, Birelli. M., Rostagno. C., and Pavese. A., (2003): The effects of atmospheric multi pollutants on modern concrete. *Atmos. Environ.* 37, 4701–4712.
  - Minas. A. H., El-Bakush. H. S., (2007): Shoreline outcrops comparison of Gargaresh Formation with Quaternary calcarenite rocks of Cyrenaica, Northern Libya, the fifth international conference on the geology of Africa vol.(1), p-p. vi-71 – vi- 85) Assiut – Egypt.
  - Minas. H., Mustafah. N., and Bu-Arabyia. H., (2005): Provenance and lithologic analysis of Mosaic Roman villas, Northwestern Libya, Issue No.12, pp. 61–72.

- Moore. D. J., (1967), Physical aspects of plume models, Atmospheric Environmental, 1, p 411.
- Paine. R. J., and Egan. B. A., (1987). User's Guide to the Rough Terrain Diffusion Model (RTDM) (Rev 3.20) ERT Document No.P-D535-585.Environmental Research and Technology, Inc.
- Raczynski. A., and Watson. R. T., (1999). "Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998 – Toward Cleaner Production", The World Bank Group, The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington D.C..
- Reynolds. S., Roth. P., and Seinfeld. J., (1973). Mathematical modeling of photochemical air pollution Atm. Env 7.
- Robinson. E., and Robbins. R. C., (1970). Gaseous Sulphur Pollutants from urban and natural sources J. Air Pollut. Contr. Assoc. 20, pp. 303-306
- Roots. O., (2008): Materials corrosion and air pollution Long-term studies at the Lahemaa monitoring station, Estonia, chemistry, 57, 2, pp107-116
- Sabbioni. C., Bonazza. A., and Zappia. G., (2002): Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal,Journal of Cultural Heritage, pp. 83-88.

- Sabbioni. C., Zappia. G., Riontino. C., Blanco. M. T., Aguilera. J. , Puertas. F., Vanbalen. K., and Toumbakari. E. E.,(2001): Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars, Atmos. Environ. 35, pp 539–548.
- Scire. J. S., Strimaitis. D. G., and Yamartino. R. J., (1999).A user's guide for the CALPUFF dispersion model (version 5.0).Earth Tech Inc., Concord, MA, USA.
- Shir. C. C., and Shieh. L. J., (1974).A generalized urban air pollution model and its application to the study of SO<sub>2</sub>-distribution in the St. Louis Metropolitan area, J. Appl. Met.19, pp.185–204.
- Sklarew. R. C., ( 1971). A particle-in-cell method for numerical solution of the atmospheric diffusion equation and application to air pollution problems; Systems, Science and Software, Ca-Reg 35R-844, Voll.
- Spence. J. W., (1975). Effects of Gaseous Pollutants on Paints: A Chamber Study. Journal of Paint Technology 47, 57–63.
- Taylor. G. I., (1915). Eddy motion in the atmosphere Phil. Transactions of the Royal Soc. of London.Series A, 215, 1.
- Taylor. G. I., (1921). Diffusion by continuous movements proc. London Math. soc. 20, 196.

- Tian. K. L., Krigsvoll. H. G., and Henriksen. J. F., (1999). Building materials Pollution Cost in Guangzhou. Air Quality Management and Planning System for Guangzhou. NORAD Project CHN 013.
- Torfs. K., and Grieken. R. V., ( 1997): “Chemical Relations between Atmospheric Aerosols, Deposition and Stone Decay Layers on Historic Buildings at the Mediterranean Coast”, Atmospheric Environment. Vol. 31, No. 15, pp. 2179–2192.
- Turner. D. B., (1964). A Diffusion Model for an Urban Area. Journal of Applied Meteorology, 3(1), pp. 83–91.
- Tzanis. C., Varotsos. C., Christodoulakis. J., Tidblad. J., Ferm. M., Ionescu. A., Lefevre. A. S., Theodorakopoulou. K., and Kreislova. K., (2011), On the corrosion and soiling effects on materials by air pollution in Athens, Greece, Atmospheric Chemistry and Physics, 11, 12039–12048.
- Ukberg ,(1990).The Effects of Acid Deposition on Buildings and Building Materials. UK Building Effects Review Group. HMSO, London.
- Webster. R. P., and Kukacka. L. E., (1986). Effects of Acid Deposition on Portland Concrete. In: Materials Degradation Caused by Acid Rain. American Chemical Society, 1986, pp. 239–249.

- Wolfrum. J., (1972), Bildung von Stickoxiden bei der Verbrennung, Chemie-Ingenieur-Technik, 44, pp. 656-659..
- Yamartino. R. J., (1977) A new Method for computing pollutant concentrations in the presence of limited vertical mixing. APCA Note Book 27(5), 467.
- Yerrapragada. S. S., Chirra. S. R., Jaynes. J. H., Li. S., Bandyopadhyay, J. K., And Gauri. K. L., (1996):Weathering rates of marble in laboratory and outdoor conditions, Journal of Environmental-Asce, 122, 856-863.
- Zappia. G., Sabbioni. C., Riontino. C., Gobbi. G., and Favoni. O.,(1998): 'Exposure tests of building materials in urban atmosphere', Science of the Total Environment, 224, 235-244.

- مراجع شبكة المعلومات الدولية/

- تقرير من الشركة العامة للكهرباء متوفر على موقع الانترنت، (2013-4-2) ،

<http://www.auptde.org/>

- موقع أبحاث جامعة ماساشوتس الأمريكية (2010) متوفر على الانترنت في الموقع :

<http://www.northeastchp.org/nac/businesses/emissions.htm>

- موقع شركة رأس لأنوف، (2010)، <http://www.raslanuf.ly/ar/default.aspx>



الملحق



ملحق ( 1 ) صورة للفشور الجبسية المتكونة على الرخام تحت تأثير التلوث بثاني أكسيد الكبريت

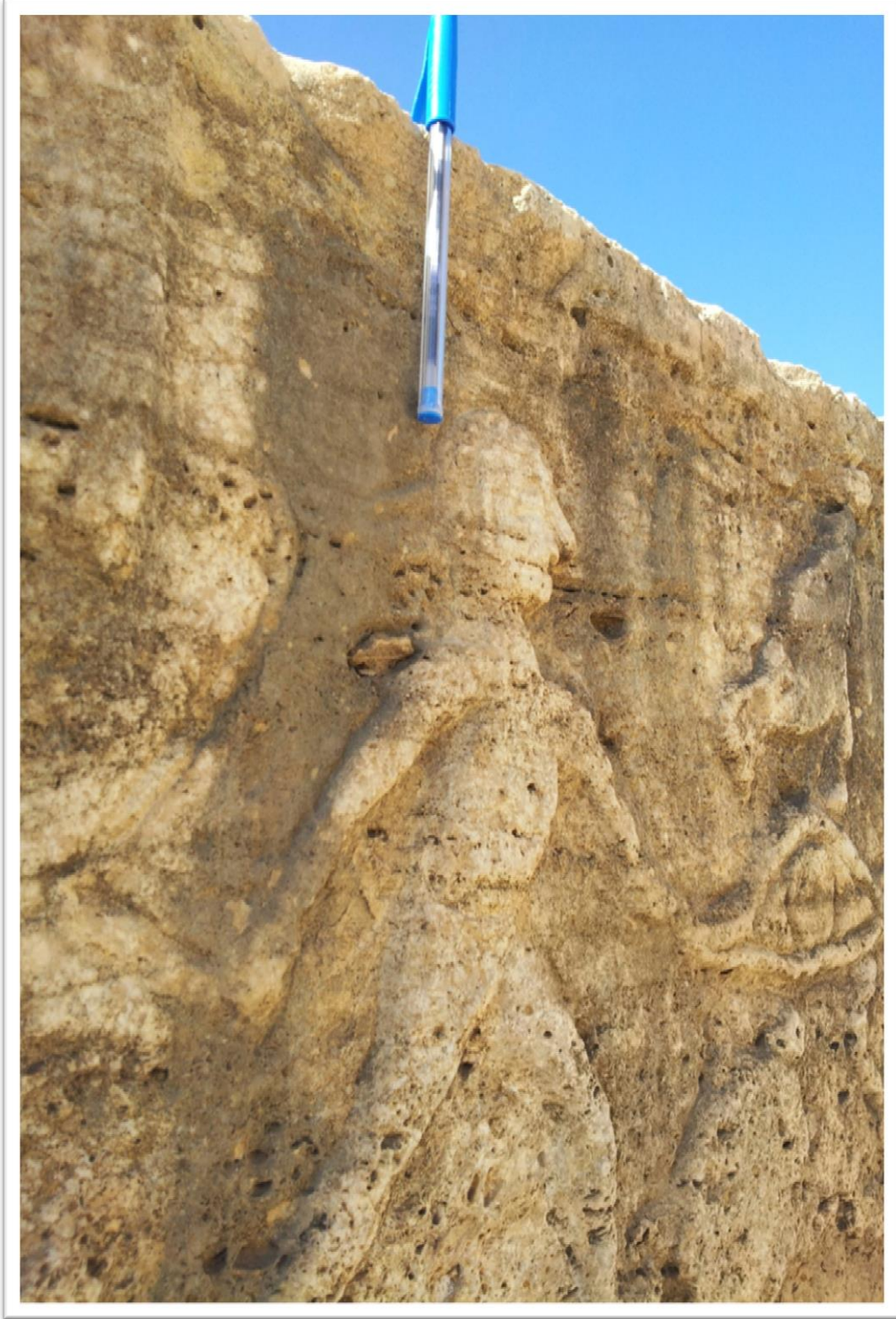


ملحق (2) صورة لتآكل القشور الجبسية المتكونة على عمود من الرخام تحت تأثير التلوث  
بثاني أكسيد الكبريت





ملحق (3) صورة للأعمدة الرخامية المنقوشة بدقة والمعرضة للتلف بسبب التلوث بأكاسيد الكبريت والنيتروجين

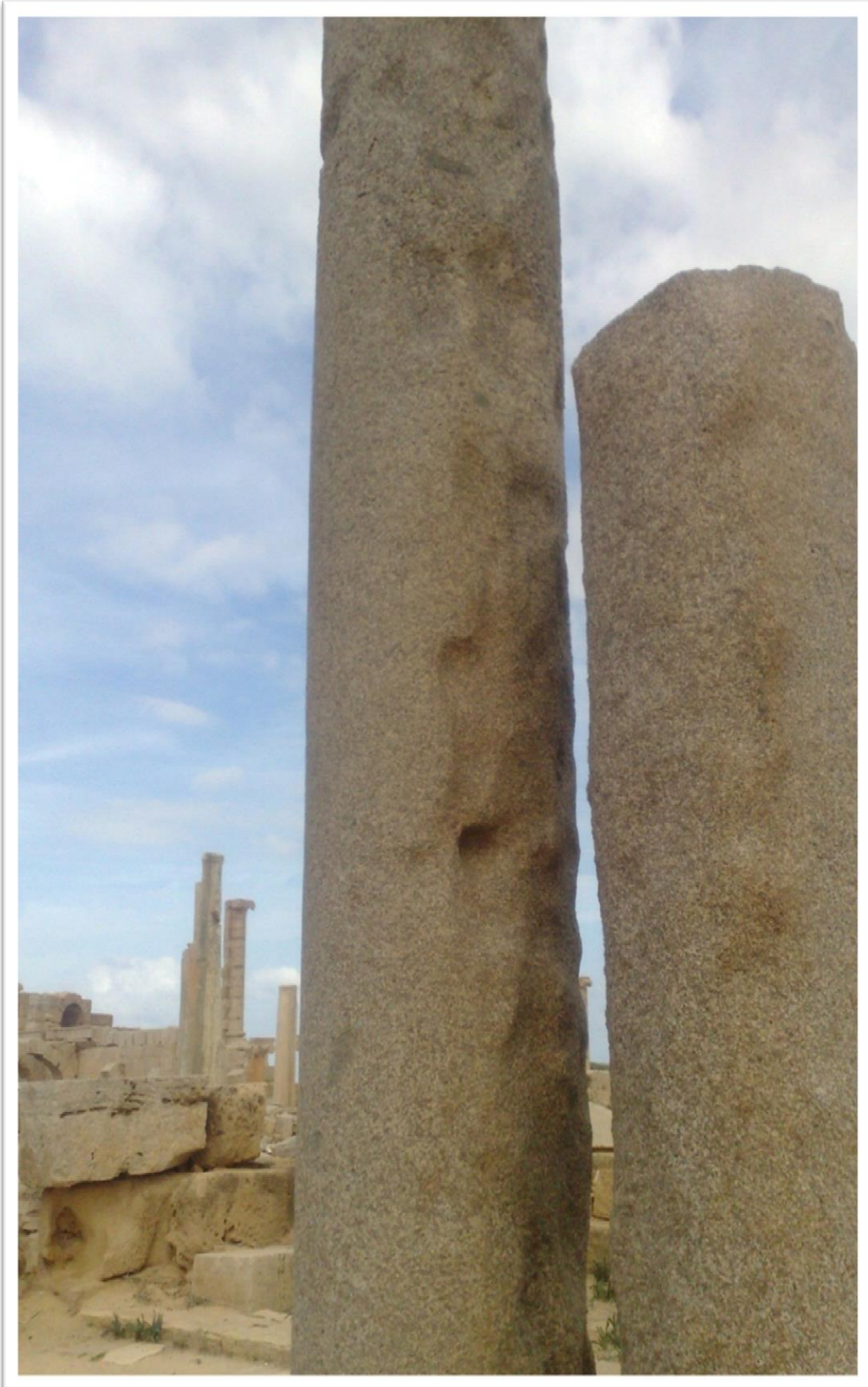


ملحق (4) صورة لتمثال منحوت على الصخور الجيرية قد تعرض للتلآف بسبب عوامل التجوية وفقد ما لا يقل عن 2 مللرتر من سطحه.





ملحق (5) صورة لتمثيل منحوتة على الرخام وقد بدأت تتعرض للتلف بسبب التلوث  
بأكاسيد الكبريت والنتروجين



ملحق (6) صورة للأعمدة الجرانيتية المعرضة للتلف بسبب التجوية الكيميائية والذي يظهر واضحا في اتجاه النحت حيث تقع محطة الكهرباء يمين هذه الصورة.





ملحق ( 7 ) يبين مقارنة بين صورتين لأحد المعالم التاريخية في أوروبا وقد تأكل بمعدل 3 مليمتر في الفترة بين عامي (1908-1969) (Tian et al, 1999).