أخطار التجوية على المباني الأثرية بمحافظة الأحساء المنطقة الشرقية – المملكة العربية السعودية

☜إعـــداد

د/ امانى حسين محمد

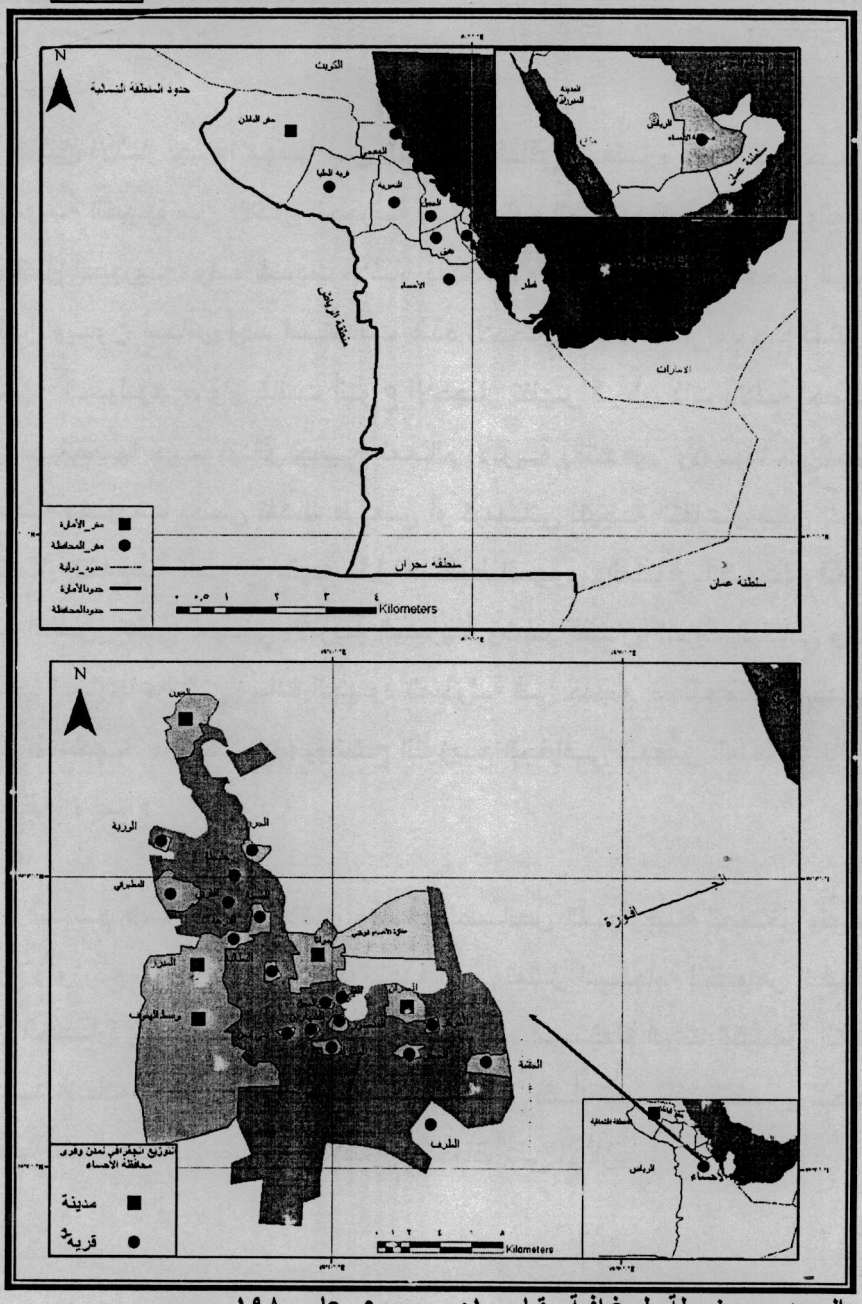
مدرس بقسم الجغرافيا

كلية الآداب – جامعة أسيوط

مقدمة

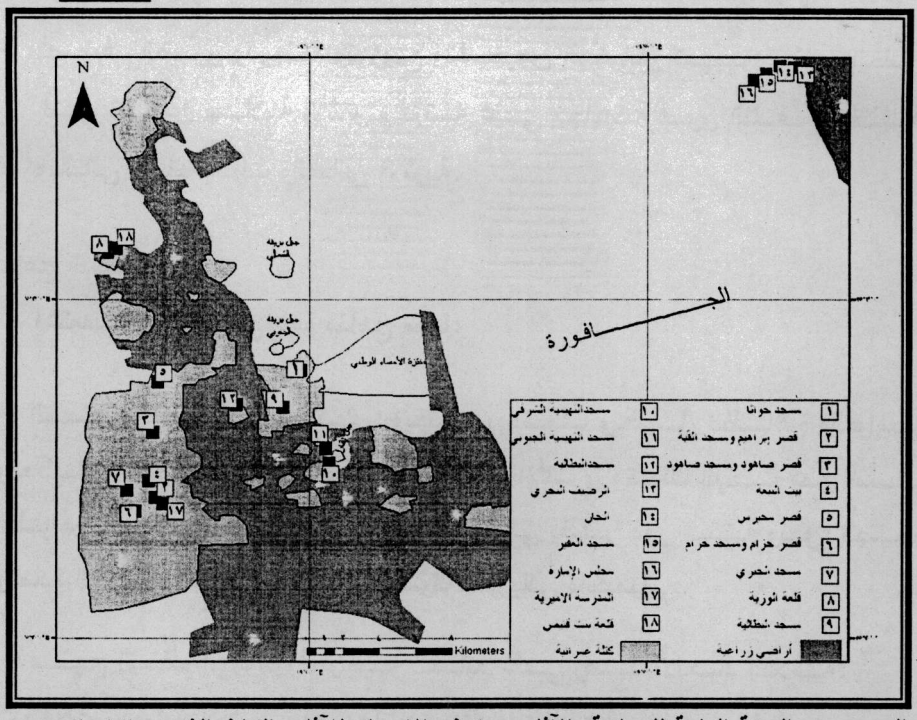
تمثل الآثار جزءاً مهماً من التراث الثقافي المعماري العالمي، حيث أن المجموعة الكبيرة من الآثار الحجرية تشمل المعالم التاريخية الحديثة والمباني والهياكل الحجرية. وقد شيدت الآثار بالأحساء (شكل ١) من الحجر الجيري والطين وبدون أساس وقد استخدمت هذه الأحجار لبناء الآثار ويرجع ذلك إلى تاريخها الجيولوجي، وإن كانت أنواع الأحجار تظهر قرون ذات دلالة إحصائية في خصائصها حيث تتأثر جميع المعالم الأثرية بالتدهور ولاسيما من جانب التجوية وهو ما يعني تفكك طبيعي أو كيميائي نتيجة التفاعل بين الحجر والعوامل الخارجية المؤثرة عليه مثل المحيط الحيوي والمناخ والتلوث، وقد أدى تزايد الضرر على المباني الأثرية الحجرية وخطر فقدان التراث الثقافي والذي يصعب استرجاعه إلى زيادة الجهود المبذولة في جميع أنحاء منطقة الدراسة للحفاظ عليها. والشكل (٢) يوضح التوزيع الجغرافي لبعض المباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

وقد تم عمل تقييم للآثار وفقاً للخصائص الليثولوجية للصخر ونوعه، ونوع وتوزيع أشكال التجوية ودرجتها التي تمثل استجابة للظواهر الطبيعية من الحجارة إلى عمليات التجوية. وقد تم استخدام أدوات القياس الكمي لتحديد فئات الضرر ومؤشراته وترتب على ذلك تصنيف الضرر للحجر والعملية للمساهمة في تشخيص الأضرار والحفاظ على الآثار.



المصدر: – خريطة طبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، عام ١٩٨٠.
– خريطة الأحساء الإدارية ١:٥٠٠٠٠٠، عام ٢٠١١.

شكل (١): موقع منطقة الدراسة.



المصدر: – الهيئة العامة للسياحة والآثار ، متحف الإحساء للآثار والتراث الشعبي ٢٠١٢.
– الدراسة الميدانية ٢٠١١– ٢٠١٢.

شكل (٢): التوزيع الجغرافي لبعض المباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

أهداف البحث:

- تشخيص حالة التدهور التي تعاني منها المباني الأثرية من تغير وتفكك فيزيائي وكيميائي وتحلل، وتحديد ملامح هذا التدهور ونوع وشدة التدهور.
- تحديد العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في التدهور، وعمليات التفاعل وآليات التدهور.
- الوقوف على خصائص المواد المستخدمة في بناء المباني الأثرية.
- رصد تطور تدهور المباني الأثرية وخصائص الأحجار ومعدلات التدهور وعرض نماذج من تدهور الحجر وتشخيصها.

- تصنيف الضرر ودرجته وتوزيع وتشخيص المخاطر تمهيداً لوضع الحلول التي تضمن سلامة الأثر وقدرته على مجابهة قوى التلف المختلفة، وبالتالي صيانة التراث والمباني الأثرية.

مناهج البحث:

اعتمدت الدراسة على عدة مناهج منها:

- المنهج الوصفى التحليلي: ويهتم بوصف وتحليل الظاهرة والعوامل والعمليات المؤثرة فيها وارتباطها بالعناصر الأخرى وكذلك البحث عن أسباب الظواهر من حيث تباينها وتغايرها. وبالتالي يظهر دور البنية ونوع الصخر والمادة اللاحمة وشكل المسام على السلوك الفيزيائي والكيميائي.

- منهج النظم الجيومورفولوجية القائم على رصد الأبعاد الثلاثة: المدخلات والعمليات والمخرجات (عاطف معتمد، ٢٠٠٨، ص١٥).

مصادر ووسائل الدراسة:

- الدراسات السابقة:

وجدت دراسات جغرافية تناولت الأحساء بصفة عامة وأخرى غير جغرافية تناولت الأماكن الأثرية في الأحساء بصفة خاصة من ناحية المحافظة عليها وتجديدها، ولكن تندر كثيراً الدراسات الجغرافية في دارسة موضوع أخطار التجوية. ومن أهم الدراسات:

١- عبد الله أحمد سعد الطاهر (١٩٩٩): الأحساء – دراسة جغرافية.
٢- عبد الرحمن إبراهيم القو (بدون تاريخ): الخطة الاستراتيجية لحفظ وتجديد وإعادة إعمار الأماكن الأثرية بحي الكوت بمنطقة الأحساء.

٣- علي بن صالح المغنم (٢٠٠٦): جوامع ومساجدها: دراسة توثيقية حضارية أثرية.

٤- محمد عبد اللطيف (٢٠١١): المدارس الشرعية والمساجد الأثرية في الأحساء.

- العمل الميداني:

اعتمدت الباحثة على الدراسة الميدانية لجمع البيانات ودراسة أشكال التدهور الناجمة عن التجوية بأنواعها المختلفة والتقاط الصور الفوتوغرافية وجمع البيانات المطلوبة لمعرفة مصادر التدهور ومدى تأثيرها على المباني الأثرية خلال الفترة من ٢٠١١/١٠/١٠ إلى ٢٠١٢/٣/٤.

- التحليلات المعملية:

لتحديد مظاهر التدهور في المباني الأثرية وعوامل وجودها المختلفة تم الاعتماد على التحليلات الآتية:

- التحليل البتروفيزيائي: ويشمل المسامية ودرجة امتصاص المياه وقدرة تحمل الصخر للضغوط.
- التحليل الهيدروكيميائي: مثل نسبة الأملاح الذائبة، والكاتيونات، والأنيونات.
- الميكروسكوب المستقطب Thin-Section: يستخدم في التعرف على التركيب المعدني للعينة ونسيجها، وكذلك في فحص أي عمليات تلف مبدئية، كذلك الكشف عن التلف الميكانيكي الذي يمكن أن يحدث داخل حبيبات المعادن للعينة نتيجة زيادة الضغط المؤثر عليها والتعرف على وجود الأملاح.

- الميكروسكوب الالكتروني الماسح: يستخدم في تشخيص نواتج ومظاهر التلف داخل مواد البناء، كما يستخدم في دراسة عمليات التلف الميكروبيولوجي الذي يحدث للأحجار الكربونية، بالإضافة إلى دراسة طبقة إكسالات الكالسيوم التي تتكون على أسطح الأحجار الجيرية داخل المباني الأثرية.
- حيود الأشعة السينية X-Ray: وهي طريقة تعطي مباشرة اسم المركبات أو المعادن وذلك لأنها تتعامل مع البناء البللوري للمادة، كما يمكن بواسطتها تحديد كمية المركبات داخل العينة، كما تستخدم في التعرف على معظم المعادن السليكانية ومظاهر التلف وعوامله، بالإضافة إلى التعرف على درجة مقاومة الأثر لعمليات التجوية المختلفة (محمد مصطفى، ٢٠٠٩، ص ص ١٦٥- ١٦٦).

ويضم هذا البحث الجوانب التالية:

أولاً: العوامل المؤثرة في التجوية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

ثانياً: خصائص مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

ثالثاً: مظاهر التلف الناشئ عن تأثير التجوية على المباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

وفيما يلي دراسة تلك الموضوعات:

أولاً: العوامل المؤثرة في التجوية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء:

تتعدد العوامل التي تؤثر في حدوث التجوية بمنطقة الدراسة ويمكن تحديدها في نوعين، عوامل طبيعية وأخرى بشرية وتتمثل فيما يلي:

أ- العوامل الطبيعية: وتشمل الخصائص المناخية، والمياه تحت الأرضية، والتفاعلات الفيزيوكيميائية بين عناصر الجو ومواد البناء.

ب- العوامل البشرية: وتتمثل في عمر المبنى وهو عمر البناء الأثري، ومواد الترميم الخاطئ، وشبكات الصرف الصحي القريبة من مواقع الآثار.

(أ) العوامل الطبيعية:

تساهم العوامل الطبيعية متمثلة في المناخ ومنسوب المياه تحت الأرضية في نشاط عمليات التجوية على المباني الأثرية بمنطقة الدراسة، وفيما يلي دراسة للعوامل الطبيعية المؤثرة في عمليات التجوية:

١- الخصائص المناخية:

تقع منطقة الأحساء ضمن المنطقة المدارية ذات المناخ الصحراوي الحار والجاف والذي يتصف بقلة المطر وارتفاع درجات الحرارة نهاراً وانخفاضها ليلاً وانخفاض الرطوبة النسبية وارتفاع معدلات التبخر،الأمر الذي يؤدي إلى نشاط عمليات التجوية بمنطقة الدراسة،ويتضح ذلك فيما يلي:

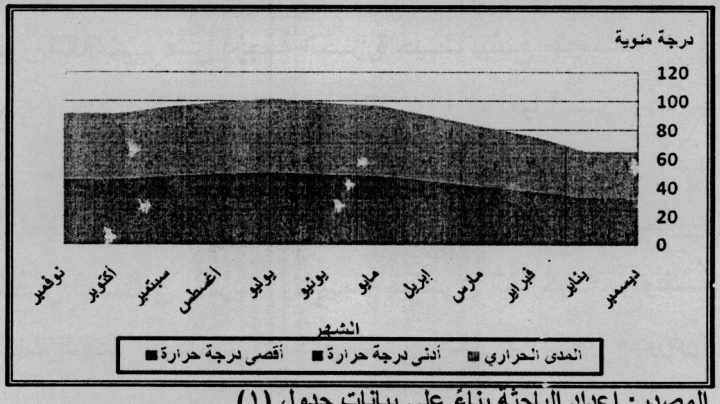
- درجة الحرارة:

يتضح من الجدول (١) والشكل (٣) أن شهر يوليو هو أكثر شهور العام ارتفاعاً في درجات الحرارة إذ يبلغ متوسطه ٣٧,٧م، في حين يعد شهر يناير أكثر الشهور انخفاضاً في درجة الحرارة حيث يبلغ متوسطه ١٤,٧م. وقد سجلت أقصى درجة حرارة ٥٠,٨م في عام ٢٠٠٧، أما أدنى درجة حرارة هي -٣,٢م في عام ١٩٨٩. وقد ترتب على المدى الحراري الكبير أحد مظاهر التجوية بالمنطقة ممثلاً في التفكك الميكانيكي لبعض الصخور والأحجار المستخدمة في المناطق الأثرية ولاسيما الجدران الخارجية، وتوضح الصورة (١) أثر عمليات التفكك الميكانيكي لصخور الجدران الخارجية لقصر محيرس.

جدول (١): المعدلات المناخية بمحطة الهفوف خلال الفترة ١٩٧٣-٢٠٠٧.

المتغيرات / الشهر	درجة الحرارة (درجة مئوية)				المطر مم٣		الرطوبة النسبية%	التبخر مم
	المتوسط الشهري	أقصى درجة حرارة	أدنى درجة حرارة	المدى الحراري	أكبر كمية سقطت	المتوسط الشهري	المتوسط الشهري	المتوسط الشهري
ديسمبر	١٦,٦	٣٢,٥	٠,٨	٣١,٧	١٤٠,	٢٢,٢	٥٧	١٠,٨
يناير	١٤,٧	٣٢,٧	– ٣,٢	٣٥,٩	٦٣,١	١٦,٦	٥٧	٩,٣
فبراير	١٧,١	٣٧,٨	١,٠	٣٦,٨	٧٣,٥	١٣,٠	٥٠	٩,٦
الشتاء	١٦,١	٣٤,٣	– ٠,٥	٣٤,٨	٩٢,٢	١٧,٣	٥٤,٧	٩,٩
مارس	٢١,٣	٤١,٢	٠,٧	٤٠,٥	١١١,	١٨,٠	٤٥	١٠,٧
إبريل	٢٧,١	٤٥,٠	٧,٣	٣٧,٧	٤٤,٣	١٠,٤	٣٨	١٢,٧
مايو	٣٣,٢	٤٨,٥	١٧,٠	٣١,٥	١٥,٣	١,٦	٢٧	١٣,٠
الربيع	٢٧,٢	٣٥,٩	٨,٣	٣٣,٦	٥٦,٩	١٠,٠	٣٦,٧	١٢,١
يونيو	٣٦,٢	٤٩,٣	١٨,٣	٣١,٠	٠,٣	٠,٥	٢٢	١٢,٥
يوليو	٣٧,٧	٥٠,٨	٢٣,٢	٢٧,٦	١,١	٠,١	٢٣	١٤,٥
أغسطس	٣٧,١	٤٩,٧	١٩,٧	٣٠,٠	١٩,٤	٠,٩	٢٩	١٧,٣
الصيف	٣٧,٠	٤٩,٩	٢٠,٣	٢٩,٥	٦,٩	٠,٣	٢٤,٧	١٤,٨
سبتمبر	٣٣,٧	٤٨,٠	١٧,٣	٣٠,٧	٠,٠	٠,٠	٣٣	١٥,٨
أكتوبر	٢٩,١	٤٠,٦	١٣,٠	٣٢,٦	٧,٧	٠,٦	٣٩	١٤,٨
ديسمبر	٢٢,٤	٤٥,٨	٥,٨	٤٠,٠	٩٤,٦	٥,٧	٤٧	١٢,٥
الخريف	٢٨,٤	٤٩,٥	١٢,٠	٣٤,٤	٣٤,١	٢,١	٣٩,٧	١٤,٤
المتوسط السنوي	٢٧,٢	٤٢,٢	°٩,٨	٣٣,١	٤٧,٦	٧,٤	٣٨,٩	١٢,٨

المصدر:الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، بيانات غير منشورة، خلال الفترة من ١٩٧٣-٢٠٠٧.



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

شكل (٣): معدلات درجات الحرارة العظمى والصغرى والمدى الحراري بمنطقة البحث.

صـــــورة (١): التفكـــــك الميكـانيكي لصـخور الجـدران الخارجية لقصر محيرس. ناظراً نحو الشمال الشرقي.

وقـد أثـرت درجـات الحـرارة المرتفعـة وخاصـة فـي فصـل الصـيف علـى طبقـات المـلاط فـي العديـد مـن المبـاني الأثريـة بمحافظـة الأحسـاء، حيـث يمـتص سـطح الأثـر الطاقـة الحراريـة الناتجـة عـن الأشـعة الحمـراء، ويـؤدي عـدم قـدرة الصـخور الموجـودة أسـفل طبقـة المـلاط علـى التوصـيل الحـراري، إلـى ارتفـاع درجـة الحـرارة فـــي طبقـــة المـــلاط الخارجيـــة مقارنـــة بالكتـــل الصـــخرية الموجـــودة بالحـــائط الأساسـي، الأمـر الـذي يترتـب عليـه تمـدد وانكمـاش الطبقـة الخارجيـة، ومـع تكـرار هـذه العمليـة فيحـدث تقشـر وسـقوط لطبقـة المـلاط وتنكشـف الحـوائط الموجـودة أسفل منها.

وقـد بلـغ المتوسـط الفصـلي لدرجـة الحـرارة ١٦,١م فـي فصـل الشـتاء، ويرتفـع فـي فصـل الربيـع إلـى ٢٧,٢م وكـذلك يرتفـع أكثـر فـي فصـل الصـيف فيصـل إلـى ٣٧م ثـم يـنخفض فـي فصـل الشـتاء. ولا شـك أن هـذا التغيـر فـي درجـات الحـرارة بمنطقـة الدراسـة يـؤثر تـأثيراً مباشـراً فـي نشـاط التجويـة بأشـكالها المختلفـة ولاسيما الميكانيكية والملحية.

ويسـجل المـدى الحـراري السـنوي بمحطـة أرصـاد الهفـوف (٣٣,١م) ارتفاعـاً ملحوظـاً ويرجـع ذلـك إلـى نـدرة الغطـاء النبـاتي والبعـد عـن المـؤثرات البحريـة

وانخفاض الرطوبة النسبية، كما يتباين المدى الحراري الفصلي بالمنطقة، حيث يعد فصل الشتاء أقل الفصول في المدى الحراري بينما يعد فصل الصيف أكثر الفصول ارتفاعاً في المدى الحراري (٢٩,٥م) الأمر الذي يترك أثره على المباني الأثرية ولاسيما نشاط الأملاح بها.

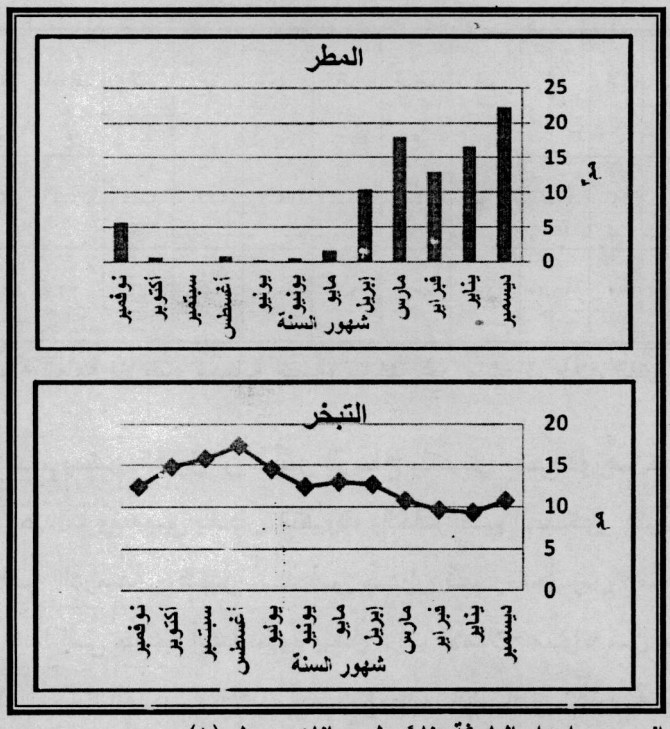
ويؤدي التغير في درجات الحرارة بين الليل والنهار إلى زيادة معدلات تبلور الأملاح ومن ثم زيادة نشاط عمليات التجوية الكيميائية والميكانيكية في نفس الوقت، حيث أنه في حالة انخفاض درجة الحرارة تتعرض بعض الأملاح مثل كبريتات الصوديوم والماغنسيوم إلى تناقص سريع في تحللها، أما في حالة ارتفاع درجة الحرارة تزيد من فعل عملية التبخر وبالتالي فإن الأملاح عالية الذوبان ينتج عنها بللورات كبيرة الحجم (Thomos,D.S.C.,1989,p.18).

كما تتعرض طبقة الملاط (الطلاء الخارجي) وكذلك الكتل المستخدمة في البناء (وهي من الصخور الجيرية) للضغوط الداخلية نتيجة المدى الحراري اليومي، حيث أن أملاح كلوريد الصوديوم تتمدد ويزداد حجمها بنسبة ١% خلال اليوم، وبالتالي تسهم في إحداث تشققات بنسب متفاوته على الطلاء (Cooke,R.U.,Doornkamp,J.C.1982,p.143).

- التبخر:

توضح بيانات الجدول (١) والشكل (٤) أن فصل الصيف أكثر الفصول ارتفاعاً في معدلات التبخر، حيث تبلغ ١٥مم، ويعد شهر يونيو أكثر الشهور ارتفاعاً حيث تصل إلى ١٧,٣مم، ويعزى ذلك إلى جفاف الهواء وارتفاع درجة الحرارة هذا إلى جانب خلو السطح من النبات الطبيعي، ومع حلول فصل الشتاء تهبط معدلات التبخر ليبلغ أدنى المعدلات حيث سجل ١٠مم.

وبناءً على ما سبق يمكن القول بأن عمليات التجوية ولاسيما التجوية الملحية يشتد تأثيرها بمنطقة الدراسة في فصل الصيف، حيث يقترن ارتفاع درجة الحرارة بارتفاع معدلات التبخر، وبالتالي فإن ارتفاع درجة الحرارة خلال ساعات النهار خاصة في فصل الصيف يؤدي إلى ارتفاع محاليل الملح نحو السطح بفعل الخاصية الشعرية فتتعرض للتبخر عند السطح أو بالقرب منه مرسبة ما بها من أملاح، وباستمرار هذه العملية تنمو البللورات الملحية مسببة اجهادات كبيرة على الحبات التي تلامسها مما يؤدي إلى تفكك الصخر (محمد صبري محسوب، ١٩٩٧، ص ص ٨٥-٨٦).



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

شكل (٤): معدلات المطر والتبخر الشهري بمنطقة البحث.

- الرياح:

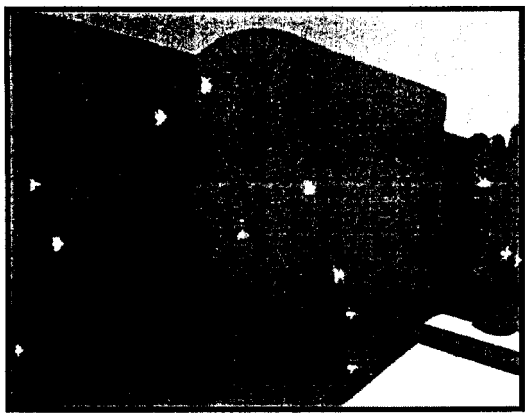
يلاحظ من الجدول (٢) أن الرياح الشمالية هي الرياح السائدة على محافظة الأحساء، وتقدر متوسط سرعة هبوبها سنوياً ١٦,٢كم/الساعة، بينما الرياح الشمالية الغربية يبلغ متوسط سرعتها ١٤,٤كم/الساعة، أما الرياح الجنوبية فإن تأثيرها كل منها يكاد يكون منعدماً، كما تتراوح أقصى سرعة للرياح ما بين ١٤٤كم/الساعة للرياح الشمالية و٧٥,٦كم/الساعة للرياح الشمالية الغربية.

جدول (٢): المتوسط السنوي لاتجاهات الرياح وسرعتها بمحافظة الأحساء كم/الساعة.

الاتجاه	ش ش غ	ش ش غ	ش	ش	ش	ش	ش	ش ش غ	ش	ش	ش ش غ	ش ش غ
متوسط السرعة	١٢,٦	١٤,٤	١٤,٤	١٢,٦	١٢,٦	١٦,٢	١٢,٦	١٤,٤	١٢,٦	١٠,٨	٩	١٠,٨	١٢,٦
أقصى سرعة	٦٤,٨	٧٢	٧٢	١٤٤	٨١	٧٢	٧٥,٦	٦٨,٤	٦٨,٤	٧٢	٧٣,٨	٧٠,٤	

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة، بيانات غير منشورة، خلال الفترة من ١٩٧٣-٢٠٠٧.

ويوجه عام يمكن القول أن تأثير الرياح يقتصر على دورها كعامل نحت، فتؤدي إلى إحداث وتعميق بعض الثقوب والحفر في الصخور اللينة بالمباني الأثرية بمنطقة الدراسة، وظهر ذلك في جدران قصر محيرس ومسجد جواثى (صورة ٢). هذا إلى جانب أنها تقوم بنقل ذرات الأملاح سواء من مياه الخليج العربي أو السبخات الملحية القريبة من إحدى المناطق الأثرية متمثلة في ميناء العقير وما به من مباني الرصيف البحري والخان ومسجد العقير ومجلس الإمارة وإعادة توزيعها على واجهات وحوائط المباني الأثرية وبالتالي تسهم في تفعيل دور التجوية.



صورة (٢): الثقوب والحفر في الجدران الخارجية بمسجد جواثى نتيجة فعل الرياح.
ناظراً نحو الشمال.

حيث أن رذاذ البحر يتميز باحتوائه على نسبة عالية من أملاح الكلوريدات والكبريتات وغيرها من الأملاح والمواد الضارة، ونظراً لأن المباني الأثرية قد شيدت من مواد بناء عالية المسامية لها القدرة على امتصاص أكبر قدر من الرطوبة الجوية أو الأرضية فإن هذه الرذاذ المالح ينفذ بسهول ويسر إلى داخل مكونات مواد البناء وطبقاتها المختلفة فيحدث بها أضرار فيزيوكيميائية خطيرة خاصة عندما تتبلور الأملاح الذائبة فيه بأحجام بللورية مختلفة داخل مواد البناء، حيث يؤدي إلى نشأة ضغوط داخلية يكون من شأنها انتشار التشققات في هذه المواد الإنشائية (محمد عبد الهادي، ١٩٩٥، ص١٥).

- المطر:

يتميز نظام المطر في الأحساء بصفاته الصحراوية من صغر المعدلات السنوية والتباين الشديد في كمياته من سنة إلى أخرى وسقوطه بصورة مفاجئة ومركزة، كما يتبين ذلك من الجدول (١) الذي يوضح المتوسط الفصلي والسنوي لكميات المطر الساقطة بمنطقة الدراسة كما يلي:

- تتعرض منطقة الدراسة لكمية كبيرة من المطر، حيث يبلغ المتوسط السنوي ٧,٤مم^{٣}.
- تسقط أكبر كمية مطر على منطقة الدراسة في الشتاء فقد بلغت ١٧,٣مم^{٣}، ويليه فصل الربيع ١٠مم^{٣}، ثم الخريف ٢,١مم^{٣}، وتكاد تنعدم في فصل الصيف حيث لم تتعد كمية المطر الساقطة ٠,٣مم^{٣}(الشكل ٤)، ويرجع ذلك إلى كثرة المنخفضات الجوية في فصل الشتاء عن باقي الفصول.
- قد تسقط كميات فجائية من المطر تفوق قدرة التربة على التبخر والتسرب مما يعني حدوث السيول كما حدث عام ١٩٩٢ وبالتالي التأثير على الأثار.

وجدير بالذكر أن سقوط المطر على أسطح المباني الأثرية وتغلغلها وسرعة تسربها خلال الشقوق والمسام يترتب عليه ارتفاع المحتوى المائى لمواد البناء وبالتالي إذابة الأملاح بها بعد انتهاء التساقط وجفاف الحائط مما يتسبب في تلف الأحجار، كما ينتج عن سقوط ذرات المياه مباشرة على المباني الأثرية حدوث حفر وتجويفات بالحوائط، ونشاط عمليات التجوية التي ينجم عنها تفكك الصخر وتحلله ونقله تجاه أقدام الحوائط.

وتكون مياه المطر أكثر خطورة في تفاعل مكوناتها مع مواد البناء إذا كانت مياه المطر حامضية، فنتيجة وجود ثاني اكسيد الكربون Co_2 كمكون طبيعي في الجو فإن حمض الكربونيك يذاب في مياه المطر التي تتحول إلى محلول حمض الكربونيك والذي يحول مادة كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ سواء كانت موجودة في مونة الجير أو كشوائب في مونة الجبس أو مواد البناء المختلطة إلى مادة بيكربونات الكالسيوم $Ca(Hco_3)_2$ القابلة للذوبان في الماء التي يتم نزحها بواسطة المياه، مما يؤدي إلى مزيد من عمليات التفكك والضعف لمواد البناء (Shouil, 1991,p.p.243-244).

- الرطوبة النسبية:

يتبين من دراسة الرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة (جدول ١) ما يلي:

- ارتفاع معدل الرطوبة النسبية في فصل الشتاء والخريف، حيث تبلغ ٥٤,٧% و٣٩,٧% على الترتيب، ويليهما فصلا الربيع والصيف، إذ يبلغ ٣٦,٧% لفصل الربيع و٢٤,٧% لفصل الصيف.
- يبلغ المتوسط السنوي ٣٨,٩% ويرجع ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة بمنطقة الدراسة مما يعني ارتفاع القدرة الاستيعابية للهواء من الرطوبة، حيث تتناسب الرطوبة عكسياً مع متوسطها الحراري.

ومن ثم يمكن القول أن الرطوبة من أخطر عوامل التلف الفيزيوكيميائية حيث تساهم في معظم عمليات التجوية الكيميائية سواء الأكسدة أو التكرين أو الإذابة أو التحلل المائي، والذي يترتب على وجودها داخل مواد البناء أضرار جسيمة متمثلة في تصدع وانهيار المباني.

٢- المياه تحت الأرضية:

توجد المياه الأرضية في نطاقين أحدهما نطاق المياه الجوفية Ground Water والأخر نطاق مياه تحت التربة Sub-soil water، ويطلق تعبير الماء الأرضي أو الجوفي على المياه التي توجد في النطاق المشبع من التكوينات أو الطبقات الأرضية، ويعرف بالمياه تحت السطحية عندما يظهر في الطبقات تحت السطحية في النطاقات غير المشبعة حيث تكون الفراغات والفجوات والشقوق مملوءة بالماء والهواء.

وعلى أية حال إذا ما ارتفع منسوب الماء تحت سطح الأرض سواء عن طريق الخاصة الشعرية أو ارتفع منسوب الماء الجوفي أو ارتفع مستوى الماء بالتربة، فإن عمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية سوف تنشط من وجهة النظر الجيومورفولوجية مما يترتب على ذلك تأثيرات مباشرة وغير مباشرة على التربة وما فوقها من مباني أثرية (علي مصطفى مرغني، ٢٠٠٢، ص ١).

وفيما يلي دراسة مناسيب ونوعية المياه تحت الأرضية ومدى تأثيرها في منطقة الدراسة على النحو التالي:

- مناسيب المياه تحت الأرضية:

تتعرض المباني الأثرية في محافظة الأحساء لارتفاع وتذبذب مناسيب المياه تحت الأرضية مما يتسبب في عمليات التلف والتقليل من الخواص الميكانيكية للحجر، ويتمثل التأثير الحقيقي لهذه المياه فيما تحمله من أملاح أو مواد عضوية موجودة في مصادر هذه المياه أو التربة التي تختزنها. ويوضح الجدول (٣) مناسيب المياه تحت الأرضية بالمناطق الأثرية بمحافظة الأحساء.

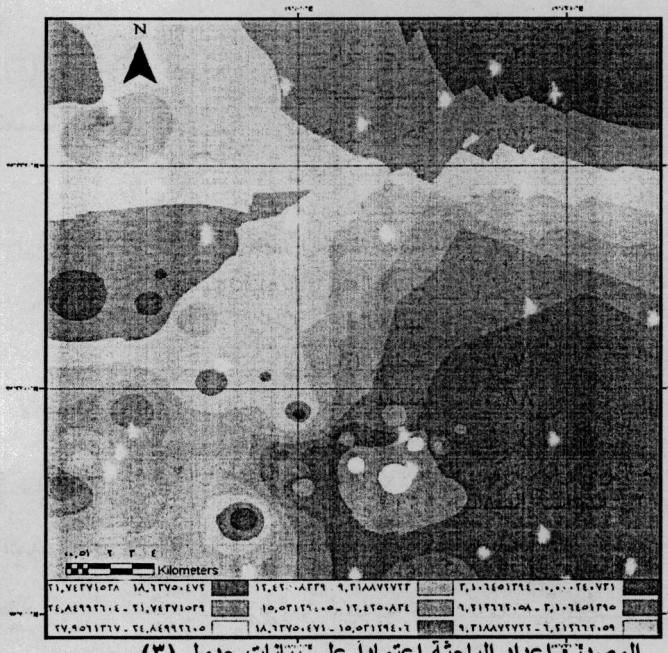
يتبين من الجدول (٣) والشكل (٥) أن مستوى المياه تحت الأرضية في محافظة الأحساء يتباين من مكان إلى آخر، ويمكن تصنيفها على النحو التالي:

- مناطق مناسيب المياه تحت الأرضية أقل من متر تحت سطح الأرض: وتنشر في بعض المواقع، حيث تمثل ٥٥% من إجمالي المواقع بمنطقة الدراسة، وتشمل قصر إبراهيم، المدرسة الأميرية، مسجد الجبري، مسجد

جدول (٣): مناسيب المياه تحت الأرضية بمحافظة الأحساء.

الموقع	منسوب المياه تحت الأرضية (متر)	الموقع	منسوب المياه تحت الأرضية (متر)
قصر إبراهيم	- ٠,٣٠	مسجد جواثى	- ٠,٥٧
بيت البيعة	- ١,٦	مسجد الجعلانية	- ٠,٩٨
المدرسة	- ٠,٨٨	قصر الوزية	- ٠,٨٠
مسجد القبة	- ١,٢	قلعة بنت قنيص	- ٠,٧٣
قصر خزام	- ١,٠	مسجد التهيمية الشرقى	- ٠,٧١
مسجد خزام	- ١,٣	مسجد التهيمية الجنوبى	- ١,٢
قصر	- ١,٠	ميناء العقير- الرصيف البحرى	- ٠,٥
مسجد	- ١,٠	ميناء العقير- الخان	- ٠,٨٠
قصر	- ١,٧	مجلس الإمارة	- ٠,٩٥
مسجد	- ٠,٨٨	مسجد العقير	- ١,٢
المتوسط العام (- ٠,٩٧)			

المصدر: هيئة الري والصرف، إدارة الري (قسم المياه والتربة)، بيانات غير منشورة، الأحساء، ٢٠١٢. الدراسة الميدانية ٢٠١٢.



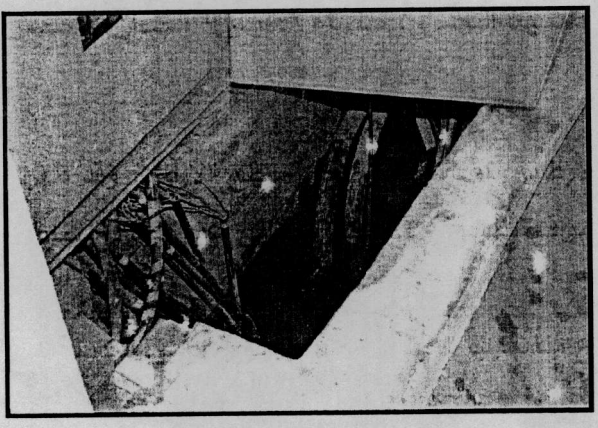
المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على بيانات جدول (٣).

شكل (٥): مناسيب المياه تحت الأرضية في محافظة الأحساء.

جواثى، مسجد الجعلانية، قصر الوزية، قلعة بنت قنيص، مسجد التهيمية الشرقي، ميناء العقير- الرصيف البحري، ميناء العقير- الخان، مجلس الإمارة.

• مناطق مناسيب المياه تحت الأرضية أكثر من متر تحت سطح الأرض: وقد ظهرت في باقي المواقع، إذ بلغت ٩ مواقع بنسبة ٤٥% من إجمالي عدد المواقع بمنطقة الدراسة.

يتضح مما سبق ارتفاع مناسيب المياه تحت الأرضية في العديد من المناطق خاصة مدينة الهفوف وقرى الكلابية والبطالية والعيون، حيث يبلغ المتوسط العام – ٠,٩٧ متر تحت سطح الأرض (صورة ٣).



صورة (٣): ارتفاع منسوب المياه تحت الأرضية بقصر إبراهيم.
ناظراً نحو الجنوب.

- الخصائص الكيميائية للمياه تحت الأرضية:

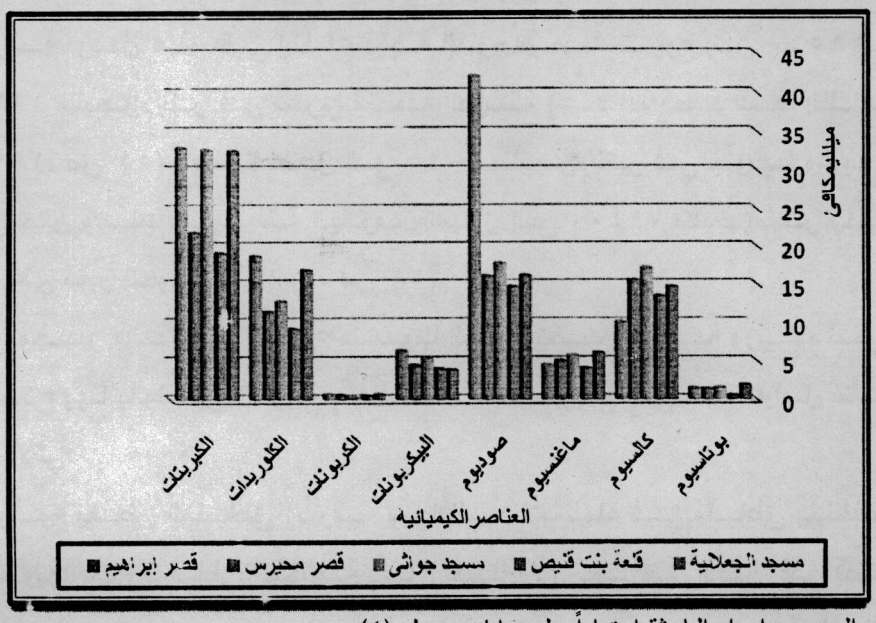
تعد المياه تحت الأرضية خطراً يهدد المباني الأثرية، وتسهم في تلف وتآكل مواد البناء بالمواقع الأثرية نتيجة زيادة نسبة الأملاح الذائبة فيها. ومن أهم هذه الأملاح الصوديوم والبيكربونات والكبريتات إلى جانب معامل

الحموضة PH والتوصيل الكهربائي EC (ميرفت ثابت صليب، ٢٠٠٨، ص ١١٤). والجدول (٤) والشكل (٦) يوضح الخصائص الكيميائية للمياه تحت الأرضية بمحافظة الأحساء.

جدول (٤): الخصائص الكيميائية للمياه تحت الأرضية بمحافظة الأحساء.

العناصر / الموقع	PH	EC	الكاتيونات (بالميلليمكافئ)				الأنيونات (بالميلليمكافئ)			
			K^+	Ca_2^+	Mg_2^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3	Cl^-	So_4^-
قصر إبراهيم	٧,٣	٣,٩	١,٩	١٤,٧	٦,١	١٦,٢	٣,٩	٠,٧	١٦,٩	٣٢,٥
قصر محيرس	٦,٩	٣,٢	٠,٥	١٣,٥	٤,١	١٤,٧	٤,٠	٠,٥	٩,٢	١٩,١
مسجد جواثى	٧,٠	٤,٢	١,٦	١٧,٢	٥,٨	١٧,٨	٥,٥	٠,٢	١٢,٨	٣٢,٦
قلعة بنت قنيص	٧,٠	٣,٨	١,٤	١٥,٦	٥,١	١٦,١	٤,٥	٠,٦	١١,٤	٢١,٨
مسجد الجعلانية	٦,٦	٥,٩	١,٥	١٠,١	٤,٥	٤٢,٤	٦,٤	٠,٧	١٨,٧	٣٢,٩

المصدر: عبد الله بن حسين مبارك، ٢٠١٢، ص ٣٨-٣٩، و ٨٤-٨٥.



المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على بيانات جدول (٤).

شكل (٦): الخصائص الكيميائية للمياه تحت الأرضية بمحافظة الأحساء.

توضح بيانات الجدول السابق أن درجة تركيز البوتاسيوم تراوحت بين ٠,٥ و١,٩ ملليمكافئ بمنطقة الدراسة، في حين بلغت أعلى درجة لتركيز الكالسيوم في مسجد جواثى حيث بلغت ١٧,٢ ملليمكافئ، في حين تراوح تركيز الماغنسيوم بين ٤,١ و ٦,١ ملليمكافئ بمحافظة الأحساء.

أما درجة تركيز الأنيونات فقد لوحظ ارتفاع درجة تركيز الكلوريدات والكبريتات بمنطقة الدراسة، حيث تراوحت بين ٩,٢ و١٨,٧ ملليمكافئ، و١٩,١ و٣٢,٩ ملليمكافئ على الترتيب، بينما تراوحت درجة تركيز الكربونات والبيكربونات بين ٠,٢ و٠,٧ ملليمكافئ، و٣,٩ و٦,٤ ملليمكافئ على التوالي.

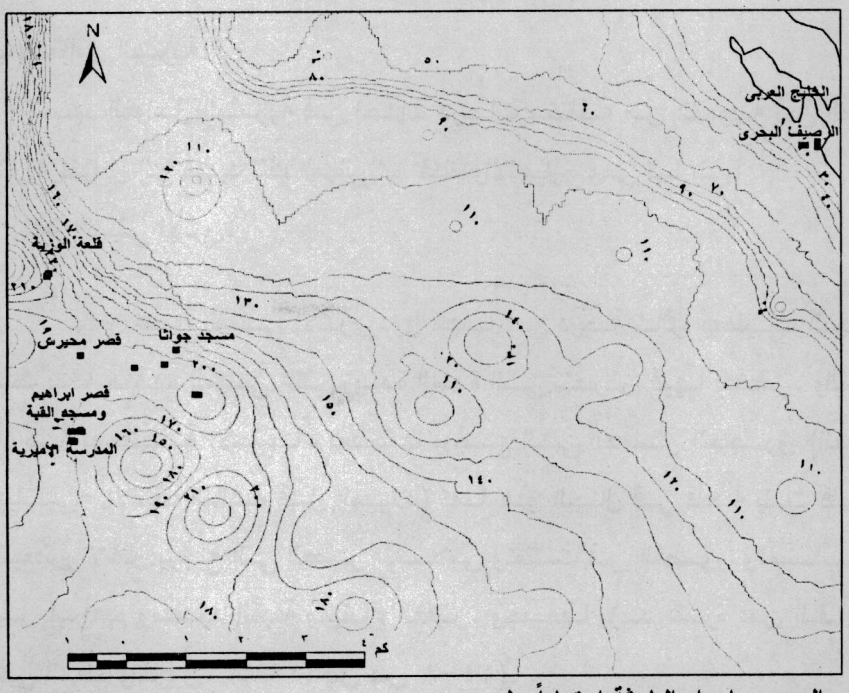
كما تشير بيانات الجدول إلى أن معامل الحموضة PH يتراوح بين ٦,٦ و٧,٣، كما تتراوح درجة التوصيل الكهربائي EC بين ٣,٢ و٥,٩ بمنطقة الدراسة. ويدل هذا على ارتفاع درجة الملوحة حيث تتراوح بين ١٥٦٠ إلى ١٦٢٥ ملليجرام/لتر في شرق منطقة الدراسة (عبد الله أحمد سعد الطاهر، ١٩٩٩، ص ٥٥) ، بينما تصل إلى ٦٠٤٥ ملليجرام/لتر في جنوبها وغربها، في حين وصلت في منطقة الهفوف والمبرز إلى ٧٩٤٠٠ ملليجرام/لتر (خليل بن علي معبر الحوياني، ٢٠١١، ص ١٨).

وجدير بالذكر إن ارتفاع منسوب المياه تحت الأرضية وزيادة نسبة الأملاح بها بالمناطق الأثرية بمحافظة الأحساء يرجع إلى عدة عوامل تتمثل في الآتي:

- وقوع بعض المناطق الأثرية بمحافظة الأحساء في مناطق ينخفض منسوبها عن المناطق المحيطة بها (الشكل ٧)، كما هو الحال في قصر إبراهيم ومسجدا الجبري وجواثى والرصيف البحري. كما نجد أن بعض المباني تهبط إليها بدرجات من السلالم مثل مسجد التهيمية الشرقي؛مما يجعلها بؤراً

لتجمع المياه المتسربة من شبكات المياه والصرف، وارتفاع مناسيبها بداخلها، ومن ثم التأثر بتلك المياه وما تحتويه من أملاح، مما يسبب الضرر بالمباني الأثرية بأشكاله المختلفة.

• وقوع إحدى المباني الأثرية متاخمة لساحل الخليج العربي، متمثلاً في ميناء العقير والذي يشمل الرصيف البحري، والخان، ومسجد العقير، ومجلس الإمارة، الأمر الذي يتسبب في رفع منسوب المياه تحت الأرضية وازدياد نسبة الأملاح بتلك المباني، وبالتالي إلحاق الضرر بها إلى حد انهيارها.



المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على:
- خريطة طبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، عام ١٩٨٠.
- خريطة الهيئة العامة للسياحة والآثار ، ٢٠١٢.

شكل (٧): الخريطة الكنتورية لمحافظة الأحساء.

• يبلغ معدل استهلاك مياه الشرب بالأحساء نحو ٤١٢ ألف متر مكعب يومياً، ويبلغ كمية الصرف الصحي ٢١٨ ألف متر مكعب يومياً (وزارة المياه والكهرباء، بيانات غير منشورة، ٢٠١٢)، ونظراً أن معظم المناطق بمنطقة الدراسة تعاني من عدم وجود شبكات صرف صحي من جهة، وتهالك شبكات الصرف الصحي من جهة أخرى، مع الأخذ في اعتبار بوجود دورات المياه داخل المباني الأثرية، فقد ترتب على ذلك ارتفاع منسوب المياه تحت الأرضية حيث أصبحت الجدران السفلية مغمورة بمياه الرشح والصرف الصحي مسببة تلف العديد من المباني الأثرية (راجع صورة ٣).

(ب) العوامل البشرية:

تسهم العوامل البشرية في إحداث درجات مختلفة من التجوية في المباني الأثرية فتؤدي إلى تهديد تلك المباني بالتفكك والانهيار، وهي كما يلي:

١- عمر المبنى الأثري:

يؤدي عمر المبنى الأثري دوراً مهماً في درجة تأثره بعمليات التجوية، حيث يساعد قدم المبنى على زيادة المدة التي تتعرض فيها للخطر. والمباني الأثرية بمحافظة الأحساء بعضها يرجع إلى العصر الحجري (العصر الهيليني- الألف الثالثة قبل الميلاد) كما هو الحال في قلعة بنت قنيص، والبعض الآخر يرجع إلى العصر الإسلامي وتمثلت في القصور والمساجد مثل قصر إبراهيم ومسجد القبة وميناء العقير، وجميعها يزيد عمره عن ألف سنة (علي المغنم وأخرون، ١٩٧٨، ص ص ٨-١٤).

٢- شبكة الصرف الصحي القريبة من المواقع الأثرية:

تشير البيانات الواردة من بلدية محافظة الأحساء أن شبكة الصرف الصحي تغطي ٤٠% من الكتلة العمرانية بكل من الهفوف والمبرز بالإضافة إلى البيارات الخاصة، وأن مدينتا الهفوف والمبرز تخدمها شبكة صرف صحي بطاقة تبلغ ١٠٥١١٦م٣/اليوم، وقرية الشعبة بطاقة ٣٠٤٢م٣/اليوم أي أن إجمالي معدل الصرف بحاضرة الأحساء يبلغ ١٠٨١٥٨م٣/اليوم. وعلى الرغم من ذلك فإن المنطقة القديمة بالمبرز والهفوف توجد بها شبكة صرف قديمة غير مطابقة للمواصفات، وتتكون من قنوات أسمنتية وخرسانية ومواسير فخار قديم أو بلاستيك ضعيف السماكة وتستخدم الآبار للصرف مما يسبب الطفح والتلوث وارتفاع منسوب المياه الجوفية والأرضية (وزارة الشئون البلدية والقروية، ٢٠٠٩، ص ص ٢٩٢-٢٩٧).

ويترتب على اختلاف منسوب الأرض في محافظة الأحساء أن تصبح المباني الأثرية القريبة من العمران أكثر عرضة للتأثر بمياه الصرف التي تحمل الأحماض المختلفة ويعرضها إلى التدهور خاصة وإن التفاعلات الكيميائية بين مياه الصرف الصحى ومكونات مواد البناء كبيرة وذلك فى ظل وجود العناصر الحمضية فى مياه الصرف مثل أيدروليك، واليدروفلورى، الموزيانيك، والنيريك، والكبريتات، مما يعنى ذلك انحلال لمواد البناء بسرعة (حسين محمد جمعة، بدون سنة، ص ٩٧). مما يساعد على زيادة فعل التجوية الكيميائية، ويتضح هذا الأمر في قصر إبراهيم ومسجد الجبري في مدينة الهفوف، وقصرا صاهود ومحيرس في المبرز، بالإضافة إلى مسجد جواثى في قرية الشعبة.

٣- الترميم الخاطئ:

تهدف عملية الترميم إلى إعادة الأثر بقدر الإمكان إلى حالته الأصلية من خلال عملية علاج مظاهر التلف التي تسببها عوامل التلف المختلفة بأسلوب علمي صحيح، أما إذا أجريت هذه العملية بطريقة خاطئة فإما أن تسرع بزوال الأثر أو تغييره مظهره، خاصة وأن العملية الترميمية في كثير من الحالات لا تعتمد على دراسة علمية شاملة للأثر وفهم العوامل المحيطة. وقد لاحظت الباحثة خلال الدراسة الميدانية وجود العديد من أوجه القصور في عمليات الترميم للمباني الأثرية بمحافظة الأحساء، حيث تبين استخدام الجص أو الجبس الأبيض في معظم المباني مثل قصر إبراهيم وقصر خزام والمدرسة الأميرية وبيت البيعة (صورة ٤) وهو مادة صلبة ملونة من ثنائي هيدرات كبريتات الكالسيوم، كما يتم خلطها بالمياه الجوفية عالية الملوحة (٢٤٠٠ جزء في المليون)، وبذلك يكون لها مخاطر كبيرة جداً على المباني الأثرية حيث تتحد كبريتات الكالسيوم مع الأسمنت فيصبح الحجر الجيري ومع مرور الزمن هشاً جداً مما يؤدي إلى ظهور الشقوق وبالتالي تصدع الأبنية، كما يتم استخدام مونة الأسمنت الخطيرة والتي من أشهرها الأسمنت البورتلاندي، كالتي استخدمت في عمليات ترميم قصر محيرس والمدرسة الأميرية (صورة ٥) ومسجد جواثى وترتب عليها انهيار جدران المبنى.

ويرجع التلف لاستخدام الأسمنت الذي يحتوي على سيليكات الكالسيوم وسيليكات الألومنيوم وكذلك كبريتات الكالسيوم وبعض الأملاح القلوية التي تتغلغل داخل مواد البناء مسببة تلف خطير بها مثل تبلور الأملاح بها بالإضافة إلى ظهور التشققات الدقيقة والواسعة بها نتيجة الاختلاف في درجة الصلادة ومعامل التمدد والانكماش بين مواد البناء القديمة والأسمنت المستخدم في الترميم (Lamei, S., 1995, p.147).

صورة (٤):استخدام الجبس الأبيض في ترميم جدران بيت البيعة. لاحظ التشققات. ناظراً نحو الشمال.

صورة (٥): استخدام الأسمنت البورتلاندي في ترميم جدران المدرسة الأميرية. ناظراً نحو الشرق.

ثانياً: خصائص مواد البناء المستخدمة في المباني الأثرية بمحافظة الأحساء:

تعد خصائص مواد البناء من العوامل الحاكمة فى مدى تعرض المبانى لمظاهر التجوية، وتتمثل هذه الخصائص فى مدى مقاومة مواد البناء للعوامل الطبيعية والبشرية سابقة الذكر، ولاسيما الأملاح ، وحجم التلوث بالغبار الملحى. وتؤكد دراسة كوك (Cooke,& Doornkamp, 1982,p.145) أن تعرض مواد البناء للأملاح يحدث تغير فى الخصائص الكيميائية لمواد البناء، وهو الأمر الذى يترتب عليه ضعف هذه المنشآت، ويؤثر فى عمرها.

وبناءً على هذا فإن حجم التلفيات بالمنشأة يتحدد أثره على حجم الغبار الملحى فى مواد البناء. فقد تتعرض مواد البناء للتلوث الملحى نتيجة لرذاذ البحر، أو التبخر الذى يحدث للمياه الأرضية، ومن ثم تعرض المباني للتلف وأخطار التشقق والانهيار. لذلك كان من الأهمية دراسة خصائص مواد البناء في منطقة الدراسة وتحديدها، وفيما يلي عرض لأهم هذه الخصائص (جدول ٥).

جدول (٥): بعض الخصائص الفيزيائية لعينات الحجر الجيري بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

موقع العينة	المسامية (%)	امتصاص المياه (%)	موقع العينة	المسامية (%)	امتصاص المياه (%)
قصر إبراهيم (قديمة)	٤٥,٦٥	١٤,٣٤	بيت البيعة (حديثة)	٣٧,١٧	٢٠,٤٦
قصر إبراهيم (حديثة)	٣٤,٢٨	٣٥,٩٨	الرصيف البحري (قديمة)	٢٦,٦٨	٢٣,١٨
المدرسة الأميرية (قديمة)	٣٠,٠٠	٢٤,٣٠	الرصيف البحري (حديثة)	٢٨,٧٢	٨,٢٧
قلعة بنت قنيص (قديمة)	٤١,٣٦	٢٦,٠٤	مسجد جواثى (قديمة)	٢٦,٣٢	٧,٧٨
قلعة الوزية (قديمة)	٤١,٣٨	٢١,٠٨	مسجد جواثى (حديثة)	٢٩,٨٧	١٤,٢٤
بيت البيعة (قديمة)	٣٨,١٠	٢٧,٣٠	مسجد الجعلانية (قديمة)	٣٦,٦٣	١٥,٩٤

المصدر: تم التحليل بمعمل الأراضي والمياه، كلية الزراعة، جامعة أسيوط، ٢٠١٢.
(قديمة): عينات من الحوائط المبنية من الحجر الأصلي. (حديثة): عينات من حوائط تم لها ترميم.

(١) المسامية:

تشير معظم الدراسات إلى أن الضرر الواقع على المباني الأثرية يحدث نتيجة تشرب المياه من خلال المسام الموجودة في الكتل الصخرية المقامة منها تلك المباني. ويتم ذلك عند ٢٠ درجة مئوية (Tsuia,N.,&et.al.,2003,p.p.112-113)، حيث يحدث تطور للشقوق والتصدعات نتيجة لتغيرات درجة الحرارة بسبب تبخر المياه أو السوائل من الشقوق، وبالتالي تبلور الأملاح داخلها والتي تتطور خلال تلك التغيرات نتيجة الانحلال الكيميائي وتشكيل الأنواع المعدنية الجديدة (Bourges,V.A.,2006,p.43).

فمن خلال فهم تقنيات المسامية Porosity والنفاذية Permeability وأثرهما في التجوية تبين أن التغيرات في سطح المباني الحجرية يمكن أن تحدث بسرعة أو ببطء نتيجة اختلاف معدلات استجابة خصائص الحجر إلى الظروف البيئية، بالاعتماد على نظام المسام وحركة الأملاح أثناء عمليات التجفيف (Buj,O.J.,&et.al.,2011, p.393).

ويتضح من تحليل الجدول (٥) وجود تباين في درجة المسامية في الأحجار الجيرية المستخدمة في تشييد المباني الأثرية، حيث تراوحت بين ٢٦,٣٢% و٤٥,٦٥%، وسجلت أقل درجة للمسامية بمسجد جواثى بالعينة القديمة، وأعلى درجة مسامية بقصر إبراهيم بالعينة الحديثة بمتوسط ٣٤,٢٨%.

وإذا قارنا درجة المسامية لعينات الأحجار القديمة والأحجار الحديثة يلاحظ ارتفاع درجة المسامية بالأحجار القديمة في جميع عينات منطقة الدراسة، ماعدا عينتان وهما المأخوذتان من الرصيف البحري ومسجد جواثى، وأن دل ذلك على شئ فإنما يدل على أن التجوية الملحية لها دور في زيادة المسامية، حيث تؤدي إلى إذابة بعض الأملاح الموجودة داخل المواد، كما أن الانتقال بين عمليتي التبللور والتميؤ تؤدي إلى توسيع الفراغات داخل الحجر الجيري، ومن ثم تعمل على زيادة درجة المسامية للمباني وقدرتها على امتصاص المياه.

(٢) درجة امتصاص المياه:

من خصائص الحجر الجيري في منطقة الدراسة زيادة درجة المسامية – كما سبق واتضح – وبالتالي زيادة درجة امتصاص المياه، ومن ثم انخفاض مقاومة الصخر لعمليات التلف الناتجة عن التجوية، حيث أن امتصاص الصخر للمياه أو الرطوبة من أهم العوامل التي يتم عن طريقها معرفة مدى قابلية الصخر للتلف، وقد تراوحت بعينات الحجر الجيري بمنطقة الدراسة بين ٧,٧٨ و٣٥,٩٨% بمتوسط عام بلغ ١٩,٩١%، وسجلت أقل قدرة امتصاص للمياه بمسجد جواثى بالعينة القديمة، وأعلى قدرة امتصاص بقصر إبراهيم بالعينة الحديثة التي تم استخدامها بعملية الترميم.

(٣) درجة الصلابة:

تعبر درجة الصلابة عن مقاومة الحجر الجيري للأحمال الواقعة عليه قبل أن يتهشم أو قبل تحوله إلى حبيبات سائبة، وتقدر بعدد الكيلوجرامات/سم^{٣} (محمد مصطفى، ٢٠٠٩ ، ص ٤٨). والجدول (٦) يوضح قدرة تحمل صخور الحجر الجيري بمنطقة الدراسة للضغوط، حيث تم دراسة قدرة تحمل الحجر الجيري للضغوط لمعرفة قدرة الصخر على مقاومة الضغط الناتج عن أشكال التجوية المختلفة.

جدول (٦): قدرة تحمل صخور الحجر الجيري
بمحافظة الأحساء للضغوط (مقاومة التحمل الميكانيكي).

موقع العينة	قدرة التحمل كجم/سم٣	موقع العينة	قدرة التحمل كجم/سم٣
قصر إبراهيم	٥٣,٥٣	مسجد جواثى	٤٢,٤٨
المدرسة الأميرية	١٤,٢٨	مسجد الجعلانية	٥١,٥٧
قلعة بنت قنيص	٢١,٤٢	بيت البيعة	٨٩,٢٥
الرصيف البحري	٧,١٤	قلعة الوزية	٨٣,٠٠

المصدر: تم التحليل بمعمل الأراضي– كلية الزراعة، جامعة أسيوط ،٢٠١٢.

ويتبين من الجدول أن الأحجار الجيرية المشيد بها مباني بيت البيعة، وقلعة الوزية، سجلت أكبر قوة تحمل للضغوط حيث ارتفعت على ٨٠ كجم/سم^{٣}، في حين سجلت العينات المأخوذة من باقي المواقع أقل قوة تحمل، ومن ثم تكون أكثر عرضة للتلف والتفتت من العينات الأخرى في حالة تأثرها بالتجوية، كما هو الحال في الرصيف البحري، والمدرسة الأميرية، وقلعة بنت قنيص، ومسجد جواثى ومسجد الجعلانية وقصر إبراهيم.

ويرجع ذلك إلى أن مقاومة بعض الأحجار ضعيفة للضغوط، ومن ثم تصبح سهلة التفتت نتيجة تأثرها بالعديد من العوامل أهمها التركيب المعدني

والكيميائي ووجود المواد غير الذائبة وانتشار الحفريات والمادة اللاحمة، بالإضافة إلى أن كثير من الأثار بمنطقة الدراسة يتم تغطية الحجر الأصلي (الحجر الجيري) بطبقة من الطين.

(٤) النسيج المعدني والحفريات:

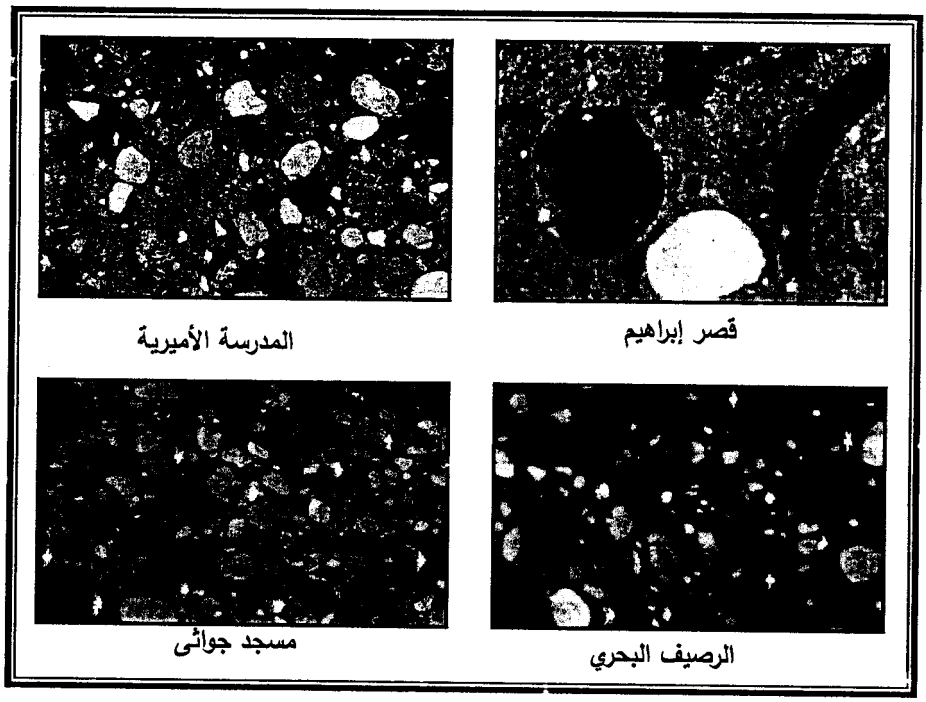
استخدم الميكروسكوب المستقطب Thin-section في تحليل العينات ولدراسة النسيج المعدني والحفريات بالأحجار الجيرية المشيد بها المباني الأثرية بمحافظة الأحساء لمعرفة مدى تأثر الأحجار بنشاط التجوية. ومن الصورة (٦) تبين الآتي:

انتشار كسرات الحفريات وحبيبات الكوارتز بعينات الأحجار بالمدرسة الأميرية، والرصيف البحري، ومسجد جواثى، ومسجد الجعلانية، ونسيج الحجر الجيري في تلك العينات يعرف Wackestone. أما عينات الأحجار من بيت البيعة تحتوي على حبيبات الكوارتز الناعمة من نسيج Succrose وشظايا كبيرة من نسيج Plecypodes، كما تنتشر الحفريات ومنها المحاريات والقواقع وحبيبات الكوارتز الغرينية بقصر إبراهيم ونسيجه يعرف Lim-Mud[1]، وهذا النسيج أكثر مقاومة لعمليات تبلور الأملاح عن النوع الأول، حيث يتسم هذا النسيج بالمرونة ومن ثم في حالة النمو البلوري للأملاح فأنه يضغط على هذا النسيج دون كسر أو تفتت ثم في حالة عدم التبلور فيعود

---

[1] يستخدم مصطلح Lim-Mud كمرادف لمصطلح الجير الدقيق الحبيبات أو كبديل لمصطلح الوحل الجيري أو حجر الطين ويشتمل على حبيبات حجمها أقل من ٢٠ ميكرون، أما Wackestone أو حجر الواكي فيتكون من حبيبات ذات أحجام أكبر من ٢٠ ميكرون، وبالنسبة Succrose و Plecypodes فهي أحجار شديدة الترابط مع بعضها ويتخللها لاحم طيني (محمد بن عبد الغني،١٩٨٧، ص ٣١٢).

الصخر إلى شكله الأساسي؛ إلا أن وجود المكريت كمادة ترابط بين الأحجار واستخدام الطين كطبقة خارجية ترتب عليه تعرضها للانتفاخ والتساقط ومن ثم تعرض الحجر الأصلي لعمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية في جميع المباني المدروسة بمحافظة الأحساء.



المصدر: تم التحليل والتصوير بمعمل كلية العلوم، جامعة أسيوط، ٢٠١٢.

الصورة (٦): نماذج من تحليل عينات الأحجار الجيرية المشيد بها المباني الأثرية بمحافظة الأحساء عن طريق الميكروسكوب المستقطب (Thin- Section).

(٥) التركيب المعدني:

تعد دراسة التركيب المعدني للصخور المستخدمة في البناء ذات أهمية كبيرة ولاسيما في دراسة أخطار التجوية، حيث يساعد هذا في تحديد

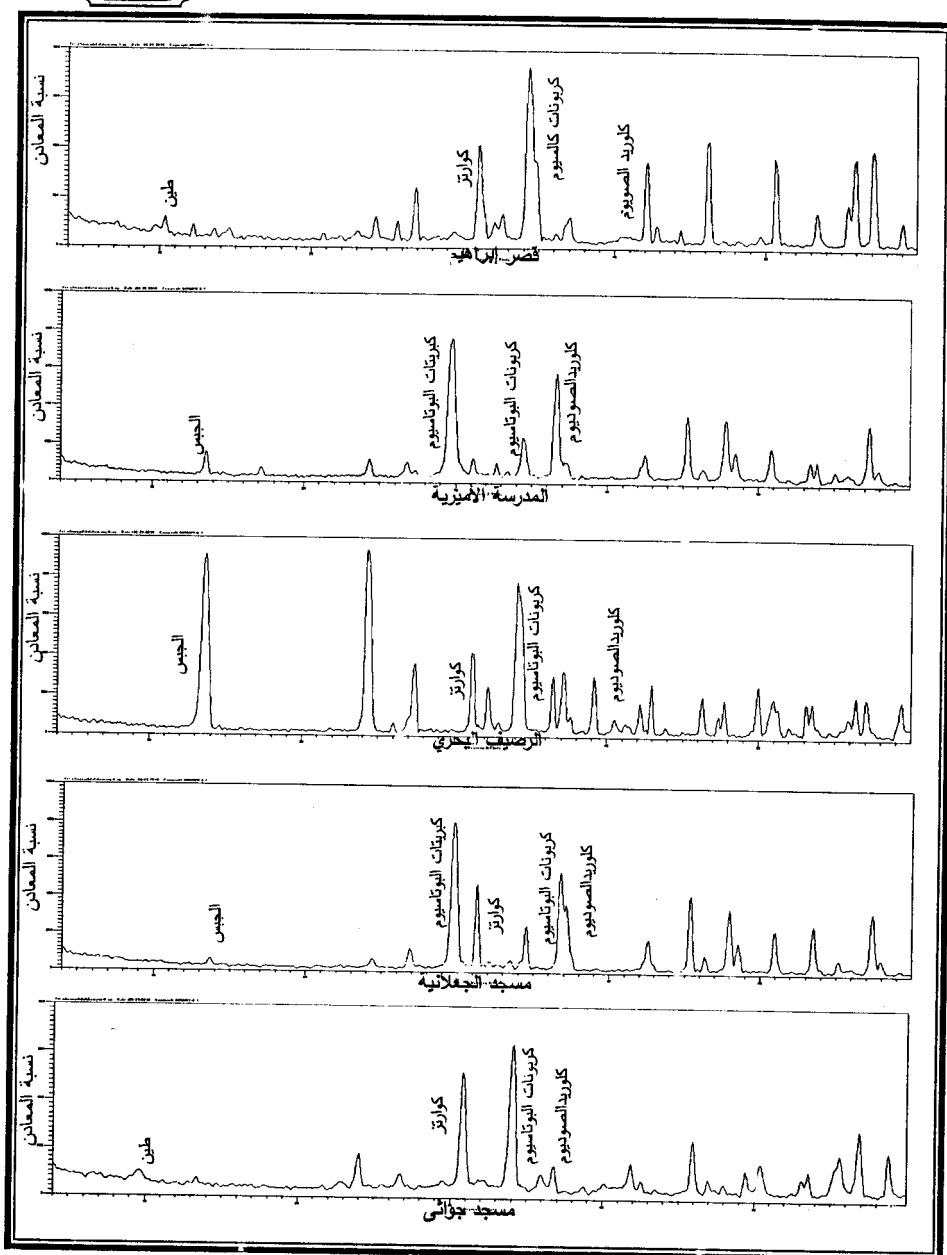
وتشخيص العوامل الطبيعية المؤثرة في الصخر وتسهم في حدوث الخطر، حيث أن الاختلاف والتفاوت في نسبة المعادن المكونة لنسيج الصخور وكذلك المواد اللاحمة تؤثر في تفاوت درجة الإضرار بالأثر.

وجدير بالذكر أن معظم الصخور تحتوي على بعض المكونات الأساسية من الأملاح أو العناصر الكيميائية التي يمكن أن تكون الأملاح بعد انطلاقها من الشبكة البللورية للمعادن المكونة للصخر عن طريق التجوية الكيميائية لها (Goudie.A.,&Viles,H.,1997,p.69). ومن ثم تسهم في تعرض المباني المصنوعة من تلك الأحجار لمظاهر التلف والانهيار.

وقد تبين للباحثة خلال الدراسة الميدانية أن الحجر الجيري هو أهم أنواع الصخور التي شاع استخدامها في المباني الأثرية بمحافظة الأحساء عبر العصور التاريخية المختلفة، بالإضافة إلى استخدام الطفل والرمال وأحجار المرجان في مباني ميناء العقير.

وقد تم تجميع خمس عينات من الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء ثم تحليلها عن طريق حيود الأشعة السينية (X-Ray)، للتعرف على التركيب المعدني لها (شكل ٨)، حيث تبين مايلي:

أن المكون الرئيسي لعينات الحجر الجيري هو مادة كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ التي تعتبر مادة الحجر الأساسية، إذ تراوحت بين ٣٨,٧% و ٥٥,٧% في قصر إبراهيم ومسجد جواثى على الترتيب، مع وجود نسبة متوسطة من معدن الكوارتز Sio_2 في جميع عينات الدراسة، حيث تراوحت بين ٥,٦% و٣٨,٦% وقد سجلت أقل نسبة بعينة مسجد المدرسة الأميرية بينما أعلى نسبة فسجلت بمسجد جواثى.



المصدر: تم التحليل بمعمل الفيزياء– كلية العلوم، جامعة أسيوط، ٢٠١٢.

شكل (٨): تحليل حيود الأشعة السينية (X-Ray) لعينات الأحجار الجيرية المشيد بها المباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

كما تبين من التحليل وجود نسبة من معدن كلوريد الصوديوم Nacl (الهاليت) في معظم عينات الدراسة، إذ تراوحت بين ٨,٠% و٣٢,١٣% في قصر إبراهيم والمدرسة الأميرية على الترتيب، بالإضافة إلى وجود كبريتات البوتاسيوم $CaSo_4$ بجميع عينات الدراسة وتراوحت بين ١١,٦% و٤٢,٢%، كما ظهرت معادن أخرى في شكل شوائب بعينات المدرسة الأميرية ومسجد الجعلانية والرصيف البحري- ميناء العقير، بالإضافة إلى نسبة من الطين والآلومنيوم في عينات مسجدا الجعلانية وجواثى وقصر إبراهيم.

ومما سبق تتضح الحقائق التالية:

- تعد مادة كربونات الكالسيوم مادة الحجر الأساسية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

- وجود الجبس بالعينات قد يكون ناتجاً كمظهر تلف من تحول كربونات الكالسيوم إلى كبريتات الكالسيوم نتيجة تفاعلها مع غاز ثاني أكسيد الكبريت في وجود الماء (رحاب جلال درويش، ٢٠٠٧، ص ٩٥).
- وجود الهاليت (الملح الصخري) بنسبة كبيرة في كل من قصر إبراهيم والمدرسة الأميرية، مما يدل على وجود نسبة عالية من الأملاح بالعينات، وهو ما أكده بالفعل التحليل الكيميائي للأملاح الذائبة، حيث بلغت ٤٧٨٧٢ و٥٨٢٤٠ ملليجرام/كجم على التوالي.
- وجود الانهيدريت (كبريتات الكالسيوم غير المائية) فهو ناتج من تحول الجبس المائي بفعل الحرارة وفقدان المياه إلى جبس لامائي.

كما يتضح من الجدول (٧) أن نسبة المواد غير الذائبة بعينات الحجر الجيري بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء ظهرت في جميع العينات، حيث تراوحت نسبتها بين ٩,٠٩% و٨٣,٦٣%، ووجود المواد غير الذائبة في

عينات منطقة الدراسة حتى ولو بنسب صغيرة لكنها تضعف من صلابة الصخر، بمعنى تعرضها بشكل أكبر لجميع عمليات التجوية ومن ثم زيادة التلف والتدهور.

جدول (٧): نسبة المواد غير الذائبة بعينات الحجر الجيري بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

الموقع	نسبة المواد غير الذائبة
قصر إبراهيم	٨١,٨٠
المدرسة الأميرية	١٠,٩٠
قلعة بنت قنيص	٨٠,٠٠
قلعة الوزية	٨٣,٦٣
بيت البيعة	٢١,٨٠
مسجد جواثي	٦٥,٤٥
مسجد الجعلانية	٩,٠٩
الرصيف البحري – ميناء العقير	١٠,٩٠

المصدر: تم التحليل بمعمل الأراضي بكلية الزراعة، جامعة أسيوط، ٢٠١٢.

ثالثاً: مظاهر التلف الناشئ عن تأثير التجوية على المباني الأثرية بمحافظة الأحساء:

تتعرض المباني الأثرية بمحافظة الأحساء لعوامل تلف بيئية خطيرة تتسبب في تلف مواد البناء المستخدمة، ومن ثم تنوع مظاهر هذا التلف في حدتها وخطورتها ما بين التجوية الميكانيكية والكيميائية. وتحاول الدراسة الكشف عن أخطار التجوية على المباني الأثرية بمنطقة الدراسة.

(١) مظاهر التجوية الميكانيكية:

وهي تفكك الصخور إلى شظايا ومفتتات بطريقة ميكانيكية دون حدوث تغيرات في خصائصه الكيميائية. وتتنوع أشكال التجوية الميكانيكية بتنوع العوامل الطبيعية المؤثرة فيها (محمد صبري محسوب، ١٩٩٧، ص ٤٩). ومن خلال الدراسة الميدانية تمكنت الباحثة من حصر أهم مظاهر التجوية الميكانيكية في الجدران الخارجية والداخلية أيضاً على النحو الذي يوضحه الجدول (٨) والشكل (٩).

جدول (٨): مظاهر التجوية الميكانيكية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

مظاهر التجوية الميكانيكية بالجدران الخارجية	عدد المباني المتأثرة	%	مظاهر التجوية الميكانيكية بالجدران الداخلية	عدد المباني المتأثرة	%
١- التقشر والفواصل والشقوق	٢١	٦٨,٩٦	١- التقشر والفواصل والشقوق	١٤	٦٦,٦٧
٢- تفكك حبيبي	٦	٢٠,٦٩	٢- تفكك حبيبي	٣	١٤,٢٨
٣- تفكك كتلي	٣	١٠,٣٥	٣- تفكك كتلي	٤	١٩,٠٥
المجموع	٣٠	١٠٠	المجموع	٢١	١٠٠

المصدر: الدراسة الميدانية خلال الفترة ٢٠١١/١١/٢١ - ٢٠١٢/٣/٤.

المصدر:إعداد الباحثة اعتماداً على بيانات جدول (٨).

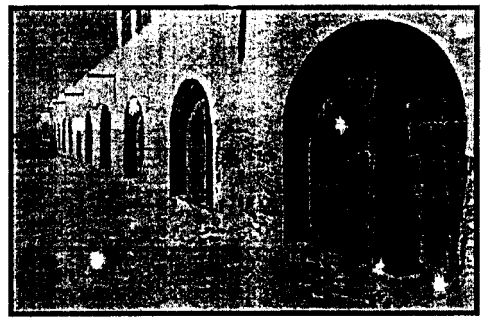
شكل (٩): مظاهر التجوية الميكانيكية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

يتضح من الجدول (٨) والشكل (٩) أن أشكال التجوية الميكانيكية بمنطقة الدراسة تتمثل في التقشر، والتفكك الحبيبي، والتفكك الكتلي)، وفيما يلي عرض لهذه الأشكال:

- التقشر Exfoliate:

التقشر والتكسر وما يرتبط به من وجود الفواصل والشقوق وسقوط طبقة الملاط الخارجية (الصورتان ٧و٨)، وقد احتل هذا المظهر النسبة الأكبر من حيث عدد المباني المتأثرة، فقد بلغت ٦٨,٩٦% في الجدران الخارجية ٦٦,٦٧% في الجدران الداخلية. وغالباً ما يحدث ذلك نتيجة لتمدد الطبقات الرقيقة السطحية ثم انكماشها بمعدل أكبر، ومع تكرار التمدد والانكماش تنفصل الطبقات السطحية عن جسم الصخر ثم تسقط، ويرجع ذلك إلى المدى الحراري الكبير والذي يقدر في محافظة الأحساء بنحو ٣٣م.

كما يرتبط حدوث التقشر أيضاً باستخدام الصخور رديئة التوصيل للحرارة في إقامة المباني الأثرية أو عمل طبقة الملاط الخارجية، حيث أن الأجزاء السطحية من الصخر تسخن بشكل أسرع من الأجزاء الداخلية مما ينتج عنه اجهاد القص للأجزاء السطحية دون الأجزاء الداخلية للصخر فتنفصل الأجزاء السطحية وتسقط (Judy,E,2005,p.19). ويظهر تقشر الصخور في المباني الأثرية بمحافظة الأحساء في شكل سقوط أجزاء الطبقة الخارجية لجدران القصور والمساجد المصنوعة من الحجر الجيري والطيني، كما هو الحال في قصر إبراهيم ومسجد جواثى والمدرسة الأميرية، حيث حدث تقشر كنتوري يتراوح سمكه بين ٣- ١٠مم.



صورة (٧): التقشر وسقوط طبقة الملاط في جدران مبنى الخان– العقير. ناظراً نحو الشمال الشرقي.

صورة (٨): الشقوق في أعمدة قصر صاهود. ناظراً نحو الشمال.

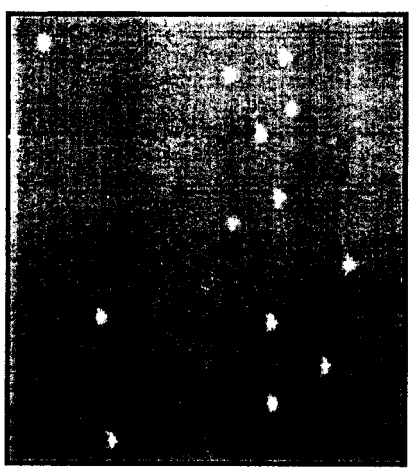
ويرجع ذلك إلى وجود نطاقين جاف ورطب مما يساعد على عملية التقشر، ولانتشار أملاح الكبريتات وخاصة أملاح كبريتات الصوديوم بالأحجار الجيرية المشيد بها المباني الأثرية، حيث يزداد حجم أملاح كبريتات الصوديوم ٣٠٠% وتحدث ضغوط على جدران مسام الكتل الحجرية، مما يؤدي إلى اجهادات تميؤ مدمرة لبيئة الحجر وحدوث التقشر (محمد عبد الهادي، ١٩٩٥، ص١٠٤). كما يحدث ذلك أيضاً عند تبلور ملح كبريتات الماغنسيوم خلف سطح الحجر مما تسبب تقشره وانفصاله (إبراهيم محمد عبد الله، ٢٠٠٠، ص ١٩٩). حيث يتسبب ملح كبريتات الماغنسيوم في تلف وتآكل مواد البناء المستخدمة في تشييد المنشآت الأثرية بنحو ٣٥% زيادة عما تسببه الأطوار المختلفة لملح كبريتات الصوديوم خلال دورات التبلور الخاصة بهذا الملح (سيد محمد حميده، ٢٠٠٣، ص ٢٦٤).

- التفكك الحبيبي Granular disintegration :

ينشأ التفكك الحبيبي من تباين ألوان المعادن المكونة للصخر وبالتالي اختلاف قدرات المعادن على امتصاص الحرارة، والتباين في معامل التمدد الخاص بمختلف المعادن المكونة للصخر (ممدوح تهامي عقل،

١٩٩٦،ص٣٥). وظهر هذا التفكك الحبيبي بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء بنسبة ٢٠,٦٩% و١٤,٢٨% في الجدران الخارجية والداخلية على الترتيب بمنطقة الدراسة، كما هو الحال في قصر صاهود والمدرسة الأميرية وبيت البيعة والسور الخارجي بمسجدا الجعلانية وجواثى ومسجدا التهيمية الشرقي والجنوبي (الصورتان ٩ و١٠). ويرجع ذلك لتأثير الإشعاع الشمسي في المناطق ذات المناخ القاري حيث تزداد درجة حرارة الصخر أثناء النهار وتنخفض ليلاً مما يعرض الصخور للتفكك والسقوط.

صورة (٩): التفكك الحبيبي في جدران السور الخارجي بمسجد الجعلانية. ناظراً نحو الجنوب الشرقي.

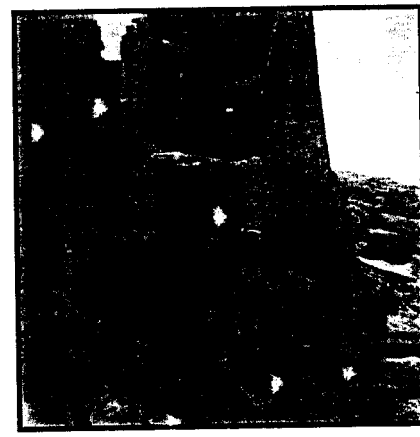


صورة (١٠): التفكك الحبيبي في جدران السور الخارجي بمسجد التهيمية الجنوبي. ناظراً نحو الشمال الشرقي.

- التفكك الكتلي Block disintegration:

تعمل التجوية الميكانيكية على تكسير حجم الصخر وانقسامه إلى كتل على طول خطوط الفواصل وسطوح الانفصال. وتتأثر الصخور الجيرية في المباني الأثرية بالأحساء بعمليات التفكك الكتلي والحبيبي في نفس الوقت،

فقد بلغت نسبتها ١٠,٣٥% بالجدران الخارجية و١٩,٠٥% بالجدران الداخلية من إجمالي المباني المدروسة، ويرجع ذلك إلى كثرة الفواصل الرأسية والأفقية بصورة كبيرة، وقد يؤدي التفكك الكتلي إلى سقوط أجزاء من المبنى الأثري (الصورتان ١١ و١٢) التي توضح انهيار الجدران الخارجي لقصر محيرس وقلعة بنت قنيص، وقد تفككت أجزاء منه وسقطت أخرى على الأرض بفعل الجاذبية.



صورة (١١): التفكك الكتلي في الجدران الخارجية لقصر محيرس. ناظراً نحو الشمال الشرقي.

صورة (١٢): التفكك الكتلي في الجدران الخارجية بقلعة بنت قنيص. ناظراً نحو الجنوب الغربي.

ويتضح من الجدول (٨) أن هناك اختلاف في توزيع مظاهر التجوية الميكانيكية على الجدران الخارجية والداخلية تبعاً لتعرضها لدرجات الحرارة المباشرة، حيث لوحظ أن الجدران الخارجية (٣٦,١٤%) أكثر تأثراً بالتجوية الميكانيكية بالمقارنة بنظيرتها الداخلية (٢٤,٧١%).

ومن خلال الدراسة الميدانية تم قياس مجموعة من الفواصل Joints السائدة بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء، وتراوح متوسط أطوالها بين ١٠- ٣٠٠سم، واتساعها بين ٠,١- ٩سم باتجاهات مختلفة بحيث تتقاطع مع

بعضها البعض. ومما ساعد على وفرتها وانتشارها اتساع مساحة التكوينات الجيرية، وتعمل الفواصل على تقطع الصخور لكي تنشط بعد ذلك التجوية الميكانيكية في تفككها وتعرضها للسقوط في هيئة كتل مختلفة في الحجم والشكل، حيث تراوحت أطوال الكتل المفككة بين ٢٠– ٧٠سم، أما عرضها فتراوح بين ١٠– ٦٥سم.

(٢) مظاهر التجوية الكيميائية:

هي عملية من شأنها التغير الكيميائي للمحتوى المعدني للصخر نتيجة لتفاعله مع الظروف الجوية المتمثلة في الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. وقد ظهرت أشكال التجوية الكيميائية على الآثار بمنطقة الدراسة في صور مختلفة أهمها ما يلي (الجدول ٩ والشكل ١٠):

جدول (٩): مظاهر التجوية الكيميائية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

مظاهر التجوية الكيميائية بالجدران الخارجية	عدد المباني المتأثرة	%	مظاهر التجوية الكيميائية بالجدران الداخلية	عدد المباني المتأثرة	%
١– نشع المياه	١٤	٢٦,٤٢	١– نشع المياه	١٧	٢٦,٥٦
٢– سقوط الطلاء	١٣	٢٤,٥٢	٢– سقوط الطلاء	١٧	٢٦,٥٦
٣– سقوط طبقة الملاط	١٢	٢٢,٦٤	٣– سقوط طبقة الملاط	١٥	٢٣,٤٤
٤– سقوط المادة اللاحمة	١١	٢٠,٧٥	٤– سقوط المادة اللاحمة	١٠	١٥,٦٣
٥– تكوين الفجوات والكهوف	٣	٥,٦٧	٥– تكوين الفجوات والكهوف	٥	٧,٨١
المجموع	٥٣	١٠٠		٦٤	١٠٠

المصدر: الدراسة الميدانية خلال الفترة ٢٠١١/١١/٢١ – ٢٠١٢/٣/٤.

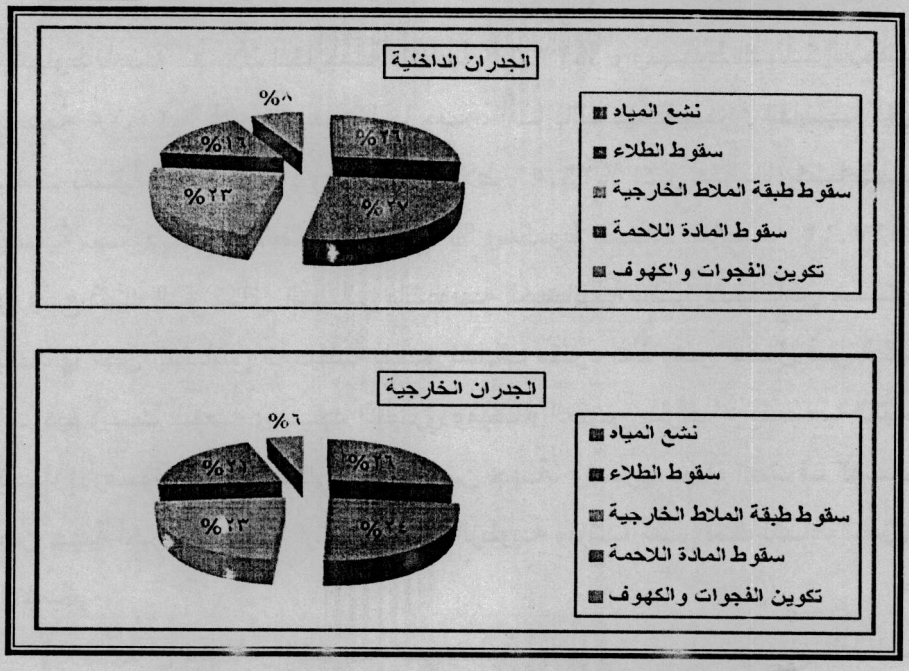
– نشع المياه بجدران المباني وانتفاخ الطبقة الخارجية وتبلور الأملاح (صورة ١٣)، وبلغت نسبتها ٢٦,٤٢%، وسقوط طبقة الطلاء ٢٤,٥٢%،

وسقوط طبقة الملاط الخارجية بنسبة ٢٢,٦٤% ، وسقوط المادة اللاحمة بنسبة ٢٠,٧٥% في الجدران الخارجية. أما بالنسبة للجدران الداخلية فقد بلغت نسبة نشع المياه وسقوط الملاط ٢٦,٥٦% لكل منهما، كما بلغت نسبة سقوط طبقة الطلاء ٢٣,٤٤% وسقوط المادة اللاحمة ١٥,٦٣%، ويرجع ذلك إلى تأثر المباني بالتجوية الكيميائية نظراً لانخفاض مستوى بعضها عن المناطق المحيطة بنحو نصف متر، كما هو الحال في قصر إبراهيم وبيت البيعة ومسجد الجبري وميناء العقير، فارتفاع منسوب المياه تحت الأرضية بتلك المباني الأثرية من جهة، وتسرب مياه الصرف الصحي من جهة أخرى أدى إلى ارتفاع نسبة الرطوبة وترتب على ذلك نشاط التجوية الكيميائية.

ويلاحظ أن مظاهر التجوية الكيميائية أكثر وضوحاً بالجدران الداخلية (٧٥,٢٩%) عن الجدران الخارجية (٦٣,٨٦%)، وذلك لبعدها عن التأثر المباشر بأشعة الشمس وبالتالي زيادة فعل نشاط التجوية الكيميائية الناتج عن صعود المياه بالخاصة الشعرية، والإفراط في استخدام المياه بالداخل ومن ثم تسربها في الجدران وتفاعلها مع مواد البناء.

ويرتبط بعملية نشع المياه بالجدران تعرضها للتأكسد بصفة دائمة بسبب تفاعل الأكسجين مع المعادن الموجودة بالصخور المستخدمة في بناء القصور والمساجد والمباني الأثرية فيظهر اللون الأحمر الغامق أو البني الفاتح على الصخور الجيرية (صورة ١٤)، كما يترتب على ذلك طمس الألوان وضياعها.

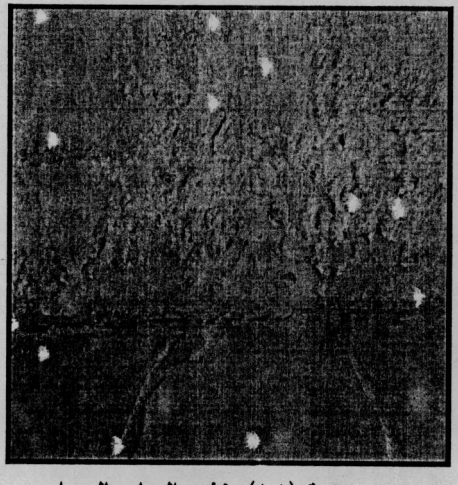
فعندما يحدث تبلور للأملاح خلال مسام الصخور المشيدة منها المباني الأثرية أسفل طبقة الملاط نتيجة تتابع عمليات الرطوبة والتجفيف يترتب عليها ضغوط موضوعية من الداخل إلى الخارج، ولاسيما في حالة وجود كبريتات



المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على الجدول (٩).

شكل (١٠): مظاهر التجوية الكيميائية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

صورة (١٣): نشع االمياه بالجدران وانتفاخ الطبقة الخارجية وتبللور الأملاح بالرصيف البحري- الخفير.
ناظراً نحو الشمال الشرقي.



صورة (١٤): نشع المياه بالجدران وتعرضها للأكسدة بقصر إبراهيم.
ناظراً نحو الغرب.

وكلوريد الصوديوم (Flatt,R.J.,2002,p.p.444-447).وتنتهي تلك العملية بانفصال وسقوط المحارة، فعند حدوث السيول بالقرب من المناطق الأثرية أو سقوط المطر فإن هذا يعمل على تبلل السطح الخارجي للواجهات الخارجية للمباني فيؤدي إلى انتفاخ هذه الأسطح لتشبعها بالرطوبة، مما يؤدي إلى زيادة حجم القشرة الخارجية مع ثبات حجم الأجزاء الداخلية للمباني الأثرية، ومع تعرض المباني لأشعة الشمس فإنها تجف وتنفصل ثم تتساقط. كما تحدث هذه الحالة أيضاً في حالة ما إذا كانت الفراغات في المسام غير كافية لترسيب الأملاح، فإن بللوراتها تولد ضغطاً على الحوائط في المناطق الضعيفة، مما يؤدي إلى انفصال أجزاء من طبقة المحارة وتساقطها (خالد محمد الحمصاني، ٢٠٠٧، ص ١٣٣).

وقد تبين من الزيارات الميدانية انتشار ظاهرة تساقط الملاط في العديد من المباني الأثرية بمحافظة الأحساء، حيث ظهرت بكل من قصر إبراهيم، ومسجد القبة، والرصيف البحري والخان ومجلس الإمارة بالعقير، وبيت البيعة، والمدرسة الأميرية، وقصر خزام، ومسجد خزام، وقصر صاهود، ومسجد الجعلانية، أي بنسبة ٥٠% من مساحة الحوائط التي حدث بها التساقط، كما ظهرت بنسبة أقل من ذلك في مسجد جواثى، وقصر الوزية، وقلعة بنت فنيص، ومسجد التهيمية الشرقي و التهيمية الجنوبي.

ويرتبط بعملية سقوط طبقة الملاط الخارجية اتساع الفواصل وقد يصل الأمر في بعض الحالات إلى سقوط أجزاء من المبنى الأثري، كما هو الحال في قلعة بنت قنيص وقصر محيرس ومسجد جواثى ومسجد الجعلانية وقلعة الوجاج وقلعة الوزية، والتي تبلغ نسبتهم ٩,٠٩% من إجمالي المناطق المدروسة.

- تكوين الفجوات والكهوف:

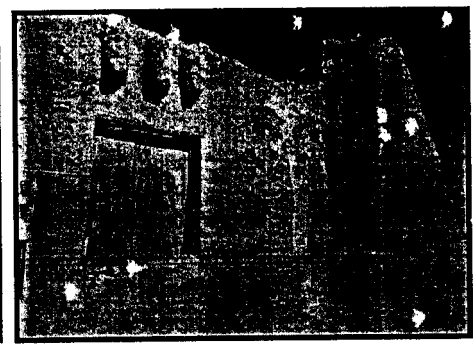
وتحدث نتيجة اتحاد ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي مع مياه المطر فيتكون حمض الكربونيك المخفف H2Co3 ذو القدرة الفائقة على إذابة الصخور الجيرية، وقد يؤدي هذا الحمض إلى تحلل الصخور وتغير في خواصها الكيميائية والمعدنية عند ارتفاع درجة الحرارة.

ويزداد الأمر خطورة عندما يتحد حمض الكربونيك المخفف مع كربونات الكالسيوم الموجودة في الصخور الجيرية المستخدمة في المباني الأثرية فتتحول بعد ذلك إلى محلول الكالسيوم Ca(Hco3) وينساب المحلول الجديد داخل مسام الصخور التي تحتوي الشقوق، فيصل إلى داخل الصخر فيعمل على تكوين فجوات وكهوف (محمد صبري محسوب، ١٩٩٧، ص٩٤).

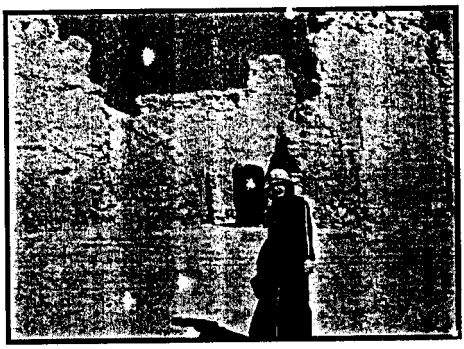
ومع ارتفاع درجة الحرارة يصعد المحلول إلى سطح الصخر بسبب الخاصية الشعرية Capillarity force، وعندما تجف المياه يتطاير ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي، ثم تترسب قشرة صلبة من كربونات الكالسيوم على الجدران الخارجية للمباني الأثرية المصنوعة من الحجر الجيري.

كما تنتج فجوات وحفر الإذابة من خلال حموضة وقلوية المياه الباطنية، فعندما تقل درجة الحموضة PH عن "٩" تصبح بعض أنواع من السليكا والأمونيا قابلة للذوبان، أما إذا زادت درجة الحموضة PH عن "٤" فإن الأمونيا تذاب بسهولة جداً في المياه على العكس في حالة المياه المتعادلة فإن الأمونيا تصبح غير قابلة للذوبان (محمد صبري محسوب، ٢٠٠٢، ص ٩٣). ومن خلال تحليل معامل الحموضة PH بمحافظة الأحساء، وجد أن متوسطها "٧" وهذا يعني مدى تأثير المياه الباطنية على إذابة الصخور الجيرية في المباني الأثرية بمنطقة الدراسة، وقد ظهر ذلك بنسبة ٥,٦٧%

في الجدران الخارجية ، بينما بلغت ٧,٨١% بالجدران الداخلية في الرصيف البحري والخان وقصر محيرس وقلعة بنت قنيص وقلعة الوزية (الصورتان ١٥و١٦).



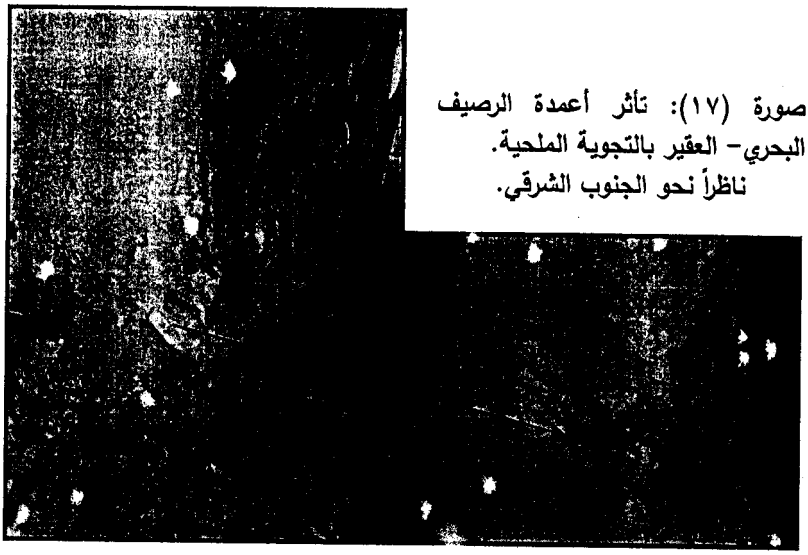
صورة (١٥): حفر الإذابة بقلعة الوزية. ناظراً نحو الشمال الشرقي.



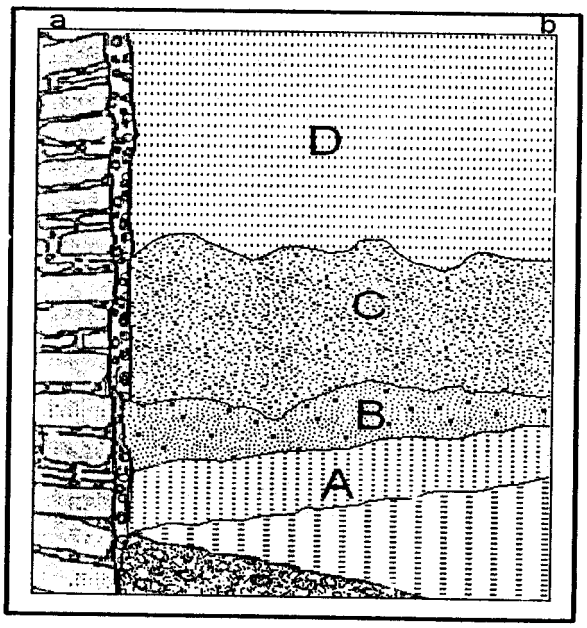
صورة (١٦): حفر الإذابة بقلعة بنت قنيص. ناظراً نحو الشمال.

- التجوية الملحية Salt weathering:

تتأثر المباني الأثرية في محافظة الأحساء بعمليات التجوية الملحية وإن كانت بدرجات متفاوتة من مكان لآخر، حيث تظهر آثار التجوية الملحية على المباني الأثرية بدءاً بالنشع المائي ثم التزهر، فقد تأخذ عملية التجوية الملحية مواضع صغيرة من المبنى ولكن درجة تأثرها تكون أشد من المواضع والمساحات الكبيرة، فقد لوحظ خلال الدراسة الميدانية أن أعمدة الرصيف البحري- العقير المشيدة من الحجر الجيري قد تأثرت بشدة بعملية التجوية الملحية مما أدى إلى ضعف تركيبها البنائي وتفتتها (الصورة ١٧). ومن ثم في حالة استمرار عملية التلف وعدم الصيانة والترميم فإن تدهورها سوف يعرض الميناء بالكامل للتساقط والانهيار.



صورة (١٧): تأثر أعمدة الرصيف البحري- العقير بالتجوية الملحية.
ناظراً نحو الجنوب الشرقي.



المصدر: Zehnder,K., 2007, p.357

شكل (١١): المستويات المختلفة التي يمكن ملاحظتها في منطقة الرطوبة الصاعدة داخل إحدى الجدران.

ومن خلال الدراسات الميدانية وجدت أربعة نطاقات مختلفة للرطوبة بمنطقة الدراسة وبمقارنتها بتقسيم Arnold (شكل ١١) اتضح ما يأتي:

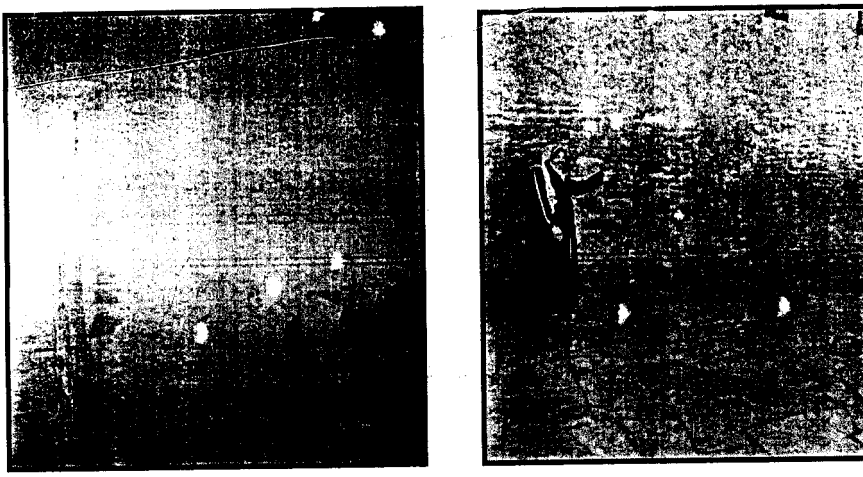
- النطاق A: يقع فوق سطح الأرض مباشرة، وهو نطاق الرشح أو النشع Seepage Zone، ويظهر أعلى معامل للتلف. وينتشر هذا النطاق في نحو ٨٠% من المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً بمحافظة الأحساء، ويرجع ذلك إلى ارتفاع مناسيب المياه تحت الأرضية وبالتالي ارتفاعها إلى أعلى بالخاصية الشعرية.
- النطاق B: وهو نطاق التزهر وعادة يعد أكثر النطاقات تعرضاً للتلف، حيث تظهر التلفيات في شكل تفتتات حبيبية وتشققات متكررة. وتشمل تلك التزهرات والقشور الملحية أملاح كبريتات الماغنسيوم وأملاح كبربتات الصوديوم، كما يتواجد الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) بصفة دائمة. وينتشر هذا النطاق أيضاً في عدد كبير من المباني الأثرية بالأحساء، ويرجع ذلك إلى زيادة المحلول الملحي به ومع ارتفاع درجة الحرارة أدى ذلك إلى تبلور الأملاح وظهورها على السطح أو داخل الحوائط على شكل أملاح في جميع المباني الأثرية بمنطقة الدراسة.
- النطاق C: يظهر به تلفيات أقل وقد لا تظهر أي تلفيات، ويبدو بشكل مظلم يتغير مع الوقت فيكون أشد كثافة عندما يكون الجو المحيط رطباً، أو أقل كثافة عندما يكون الجو المحيط جافاً. ويرجع هذا الظلام إلى الرطوبة الممتصة من الهواء بفعل بعض الأملاح ذات الخاصية الهيجروسكوبية. وقد يكون هذا النطاق بضعة سنتيمترات ارتفاعاً إلا أنه قد يصل في بعض الأحيان إلى بعض الأمتار، وغالباً ما يظهر متقطعاً مما يدل على انتشار الأملاح بشكل غير متجانس في هذا النطاق. وينتشر في بعض المباني الأثرية بمنطقة الدراسة لاسيما بالحوائط التي تمثل الواجهات الخارجية.

• النطاق D: يمثل سطح الحجر الطبيعي الذي لم يطرأ عليه أي تغيير، وينتشر في بعض المباني الأثرية بمحافظة الأحساء وخاصة تلك التي تتسم بالارتفاع الشديد، حيث تكون بعيدة عن مصادر الأملاح.

وجدير بالذكر أن المباني الأثرية بمحافظة الأحساء التي تم دراستها ميدانياً تتباين بها تلك النطاقات (صورة ١٨)، ويرجع ذلك إلى التباين في مصادر الرطوبة ولاسيما المياه تحت الأرضية بكل منطقة، وارتفاع درجة الحرارة، والخصائص الفيزيائية ونوع الأملاح، وهل هذه الحوائط من الواجهات الخارجية أم الداخلية للمباني وغيرها من العوامل التي تحدد درجة تأثر المبنى بعملية التجوية الملحية، والتي نوضحها على النحو التالي:

- الفئة الأولى: مبان تشتمل على أربعة نطاقات وتنتشر في قصر إبراهيم، وبيت البيعة، ومسجد الجبري، والخان- العقير(صورة ١٨- أ)، وتمثل ٢٠% من إجمالي عدد المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً والتي تبلغ ٢٠ مبنى أثري.
- الفئة الثانية: مبان تشتمل على ثلاثة نطاقات وتتمثل في مسجد القبة، والمدرسة الأميرية، ومسجد جواثى، وقصر خزام ومسجد خزام، ومسجد العقير ومجلس الإمارة بالعقير (صورة ١٨- ب)، وتبلغ نسبتها ٤٠% من إجمالي عدد المباني المدروسة.
- الفئة الثالثة: مبان تشتمل على نطاقي A وD ويبلغ نسبتها ٢٠% من إجمالي عدد المباني المدروسة وتشمل مسجد التهيمية الجنوبي، ومسجد التهيمية الشرقي، ومسجد الجعلانية، ومسجد صاهود.

- الفئة الرابعة: مبان تشمل نطاق واحد وتمثل ٢٠% من إجمالي عدد المباني المدروسة بالأحساء، وتشمل النطاق B وهو نطاق التزهر وتظهر في قصر محيرس، وقصر صاهود، وقلعة الوزية، وقلعة بنت قنيص.



أ- الخان- العقير

ب- قصر إبراهيم

صورة (١٨): المستويات المختلفة لنطاقات الرطوبة داخل الجدران بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

ومن خلال دراسة نطاقي الرشح والتزهر كما يظهر في الجدولين (١٠ و١١) والصورتين (١٩و٢٠) يتضح أن جميع المباني الأثرية التي تم دراستها ميدانياً تتأثر بالرشح وبالتزهر بمتوسط ٨٤,٢٥ سم و١٣٠,٤سم على الترتيب مع وجود تباين في درجة التأثر، فوجود نطاق الرشح المشبع بالأملاح الذائبة مع الحرارة المرتفعة التي تتسم بها محافظة الأحساء خاصة في فصل الصيف أدى إلى سرعة تبخر الماء أو السوائل الحاملة للأملاح داخل الجدران فتتبخر السوائل وتتبلور الأملاح تدريجياً، ولقد أدى استمرار عمليات البلل والجفاف والتبلور وإعادة تبلور الأملاح سواء على الأسطح الخارجية

للحوائط أو داخلها إلى ضعف التركيب البنائي لمواد البناء، ومن ثم تفككها وضعف قوة تماسك حبيباتها وتساقطها.

جدول (١٠): متوسط ارتفاع الرشح من سطح الأرض حتى بداية التزهر بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

م	اسم المبنى الأثري	ارتفاع الرشح (سم)		المتوسط بالسم
		أقل ارتفاع	أعلى ارتفاع	
١	قصر إبراهيم	٢٢	١١٠	٦٦
٢	مسجد القبة	١٠	١٥٠	٨٠
٣	بيت البيعة	١٥	١٢٠	٦٧,٥
٤	المدرسة الأميرية	١٠	١٥٥	٨٢,٥
٥	قصر خزام	٢٣	١٥٠	٨٦,٥
٦	مسجد خزام	٢٠	٧٠	٤٥
٧	قصر صاهود	٧	٢٣٠	١١٨,٥
٨	مسجد صاهود	٥	٢٠٠	١٠٢,٥
٩	قصر محيرس	٦	١٨٥	٩٥,٥
١٠	مسجد الجبري	١٥	١٥٠	٨٢,٥
١١	مسجد الجعلانية	١٠	٥٠	٣٠
١٢	قلعة بنت قنيص	٦٠	١٠٠	٨٠
١٣	مسجد جواثى	٢٠	١٨٠	١٠٠
١٤	قلعة الوزية	٣	٣٠	١٦,٥
١٥	مسجد التهيمية الجنوبى	٥	١٨٣	٩٤
١٦	مسجد التهيمية الشرقى	٢٠	٧٥	٤٧,٥
١٧	الرصيف البحرى- العقير	٣٦	٢٥٠	١٤٣
١٨	الخان	١٠٠	٢٩٨	١٩٩
١٩	مسجد العقير	٤١	١١٣	٧٧
٢٠	مجلس الإمارة بالعقير	٤٨	٩٥	٧١,٥
	المتوسط	٢٣,٨	١٤٤,٧	٨٤,٢٥

المصدر : الدراسة الميدانية ٢٠١٢.

جدول (١١): متوسط نطاق التزهر بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

م	اسم المبنى	متوسط الارتفاع(سم)	م	اسم المبنى	متوسط الارتفاع (سم)
١	قصر إبراهيم	٩٥	١١	مسجد الجعلانية	٩٠
٢	مسجد القبة	١٢٠	١٢	قلعة بنت قنيص	١٢٥
٣	بيت البيعة	١١٠	١٣	مسجد جواثى	١٧٠
٤	المدرسة الأميرية	١١٥	١٤	قلعة الوزية	٢٥٠
٥	قصر خزام	١٨٠	١٥	مسجد التهيمية الجنوبي	١٧٣
٦	مسجد خزام	١٣٠	١٦	مسجد التهيمية الشرقي	٧٥
٧	قصر صاهود	١٥٠	١٧	الرصيف البحري- العقير	١٢٠
٨	مسجد صاهود	١٢٣	١٨	الخان – العقير	١٧٧
٩	قصر محيرس	١٢٥	١٩	مسجد العقير	٥٥
١٠	مسجد الجبري	٢٠٠	٢٠	مجلس الإمارة بالعقير	٢٥
			المتوسط		١٣٠,٤

المصدر : الدراسة الميدانية ٢٠١٢.

وقد أدى تكرار هذه العملية إلى تكوين طبقات ملحية على أسطح أحجار المنشآت الأثرية، وخاصة واجهات هذه المباني، ويتراوح سمك هذه الطبقات من أقل ٠,٢ مم إلى ١,٣سم كما هو الحال في الرصيف البحري بميناء العقير (راجع الصورة ١٨).

وتتمثل أهم الأضرار الناتجة عن هذه الطبقات في حجز الرطوبة داخل الأحجار وأسفلها وينشأ عن ذلك تقشر وتشقق الطبقات السطحية للأحجار (سيد محمد سيد، ٢٠٠٣، ص ٢٩٥)، وبالتالي حدوث مزيد من التلف ويرجع ذلك إلى أن تلك الطبقات تختلف في تكوينها من بيئة إلى أخرى وذلك ما أكدته نتائج التحاليل الكيميائية للعينات المختلفة من المواقع الأثرية موضع الدراسة (جدول ١٢).

جدول (١٢): الخصائص الكيميائية للأملاح بعينات الأحجار الجيرية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

الموقع	الأملاح الكلية (ملليجرام/جم)	الكاتيونات (ملليمكافئ/ كجم)				الأنيونات (ملليمكافئ/ كجم)				أملاح الكلوريدات (%)			أملاح البيكربونات (%)	أملاح الكبريتات (%)		
		K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	HCO_3^-	CO_3	SO_4^-	Cl^-	$CaCl_2$	NaCl	KCl	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$CaSO_4$	Na_2SO_4
قصر إبراهيم	٤٧٨٧٢	١٠٢,٠	٢٦٠,٠	٤٠,٠	٣٤٠,٠	٢٤,٠	٠,٠	٣٨١,٦	٣٠٠,٠	٣,١٧	٣٠,١٢	٢,١	١,١٣	٤,٨	٣٥,٥	٩,٧٧
المدرسة الأميرية	٥٨٢٤٠	٦١,٠	٤٠٨,٠	٥٠,٠	٣٩٠,٠	٤,٠	٠,٠	٩٥,٤	٨٠٠,٠	٢٧,٣	٢٦,١٩	٤,٩	٠	٢,٧	١٩,٨	٧,٠٦
قلعة بنت قنيص	٢٤٩٦	٩,٠	١٠,٨	٧,٠	١١,٠	٥,٠	٠,٠	٢١,٦	١٠,٢	١٠,١	٣٣,٠٠	٠	١,٥١	٢,٨	٤٣,٣٤	٢,١١
قلعة الوزية	٢٢٤٠	٦,٠	٩,٨	٢,٢	١٢,٠	٥,٠	٠,٠	٥,٥	١٤,٠	١١,٤٦	٢٨,٧٣	١٢,٠٩	٣,١٨	٢,٦٧	١٥,٣٥	٨,٠٤
بيت البيعة	١٠٤٩٦	٣,٥	٥٠,٠	٨,٠	١٠٢,٠	٨,٠	٠,٠	٨٤,٦	٧١,٢	١٧,١٨	٢٢,٠٩	٢,١٥	٢,١١	٢,٣٦	٢٣,٣٤	٨,٩٤
الرصيف البحري	٢٤٥٧٦	٥,٧	٨٠,٠	٢٠,٠	٢٧٠,٠	٤,٠	٠,٠	٦٣,٠	٣١٠,٠	١٢,١٦	٥٦,٨١	١,١٣	٠,١٣	٢,٠٩	١٠,٦٦	٨,٩٤
مسجد جوائى	١٣٩٧٧	٦,٦	٩٠,٠	٣٠,٠	٨١,٠	٦,٠	٠,٠	٥٦,٢	١٥٠,٠	٧,٥٨	٣١,٨٧	٠,٧١	٠	٨,٦١	٣٥,٧١	٧,٢٢
مسجد الجعلانية	٢٥٩٨٤	٣٣,٠	٢٣٠,٠	٣٠,٠	١١٠,٠	٦,٠	٠,٠	١١٧,٠	٢٧٠,٠	١٨,٢٩	٢١,١٥	٠,٧١	٠	٥,٢٩	٤١,٣٢	٦,١٩

المصدر: تم التحليل بمعمل الأراضي بكلية الزراعة، جامعة أسيوط، ٢٠١٢.

- الأملاح الكلية الذائبة:

يتضح من الجدول (١٢) وجود تباين كبير جداً في درجة الملوحة بين عينات منطقة الدراسة، حيث تراوح الفرق بين أعلى وأدنى درجة ملوحة ٤٥٦٣٢ ملليجرام/كجم، إذ تراوحت درجة الملوحة بين ٢٢٤٠ و ٥٨٢٤٠ ملليجرام/كجم، وقدر أقل تركيز بقلعة بنت قنيص وأعلى تركيز بقصر إبراهيم، أما باقي العينات فتراوحت درجة الملوحة بين ٢٤٩٦ و ٤٧٨٧٢ ملليجرام/كجم.

وقد تم تصنيف أهم أنواع الأملاح المسببة لتلف وتفتت مواد البناء المستخدمة في المنشآت الأثرية إلى: أملاح الكلوريدات، والكبريتات، والكربونات، والنترات، وفيما يلي دراسة لأهم الأملاح المنتشرة في المباني الأثرية بمنطقة الدراسة (جدول١٢) على النحو التالي:

- أملاح الكلوريدات:

تتميز الأحجار الجيرية المستخدمة في تشييد المباني الأثرية بمنطقة الدراسة باحتوائها على أملاح الكلوريدات بنسبة مرتفعة ولاسيما الطبقة الملحية الصلبة التي تعلو أسطح جدران المباني الأثرية، وتمثلت في كلوريد الصوديوم NaCl وكلوريد البوتاسيوم CaCl وكلوريد الكالسيوم Kcl. حيث تتميز هذه الأملاح بقدرتها على امتصاص المياه نظراً لمساميتها العالية مع سهولة فقدها مرة أخرى عند الجفاف فتتسبب في تلف وتآكل الجدران بدرجة عالية وخاصة في الأجزاء السفلية منها (عودة محمد الأغا، ٢٠٠٦، ص١٣٢).

ويتضح من الجدول (١٢) وجود تباين واضح في درجة تركيز كلوريدات الصوديوم، فقد وجدت مباني تقل بها درجة تركيز كلوريدات

الصوديوم عن ٣٠%، وقد سجلت قصر إبراهيم وقلعة بنت قنيص والرصيف البحري ومسجد جواثى. في حين زادت درجة تركيز كلوريدات الصوديوم على ٣٠% في باقي العينات، حيث تراوحت بين ٣٠,١٢% و٥٦,٨١ % وسجلت أعلى درجة تركيز بالرصيف البحري.

كما اتضح من التحليل الكيميائي لعينات الحجر الجيري وجود ملح كلوريد البوتاسيوم وكلوريد الكالسيوم، حيث تراوحت درجة تركيز كلوريد البوتاسيوم بين ٠,٧١% و١٢,٠٩% وقد سجلت أقل درجة تركيز بمسجدا جواثى والجعلانية، وأعلى درجة تركيز بقلعة الوزية، أما باقي العينات فتراوحت بين ١,١٣% و٤,٩%.كما توجد عينة واحدة لم يسجل بها أي تركيز.

أما عن تركيز كلوريد الكالسيوم فقد لوحظ أنها تراوحت بين ٣,١٧% و٢٧,٣% بكل من قصر إبراهيم والمدرسة الأميرية على الترتيب. أما باقي العينات فتراوح تركيزها بين ٧,٥٨% و١٨,٢٩%.

وبناءً على ماسبق يمكن القول أن أملاح الكلوريدات توجد في تركيزات عالية في مادة الأساس للمباني الأثرية بمحافظة الأحساء، وأن مصدرها هو المياه تحت الأرضية، حيث تحتوي الرطوبة الموجودة في التربة على الأملاح الذائبة وتتحرك هذه الأملاح بعد ذوبانها على هيئة محاليل ملحية داخل الجدران وعند تبخر الماء الحامل تترسب تاركة الأملاح لتتبللور على أسطح الحوائط أو أسفلها مما تؤدي إلى سد مسام هذه الأسطح وبالتالي يترتب عليها المزيد من مظاهر التلف.

• أملاح الكبريتات:

تتمثل أهم مصادر أملاح الكبريتات بصفة عامة في المياه تحت الأرضية والتلوث الجوي. وتعد أملاح الكبريتات ولاسيما كبريتات الكالسيوم، وكبريتات

الصوديوم، وكبريتات الماغنسيوم، وكبريتات البوتاسيوم من أهم الأملاح التي تلعب دوراً خطيراً في تلف وتدمير المكونات المعدنية المختلفة للأحجار وطبقة الملاط وتحولها إلى مواد هشة (Feilden,B.,1982,p.105). حيث أنها أول الأملاح التي تتبللور عند تبخر الماء وكل من نترات وكلوريدات الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم تبقى لمدة أطول ذائبة على هيئة محاليل لأنها أكثر ذوبانية في الماء مقارنة بالكبريتات وتتصف هذه الأملاح بأنها هيجروسكوبية أي تمتاز بقدرتها العالية على امتصاص الماء ومن الممكن أن تعود مرة أخرى إلى داخل جدران المباني الأثرية بعد ذوبانها في بخار الماء تاركة الكبريتات على السطح (أهم عوامل ومظاهر تلف الفسيفساء الأثرية، ٢٠١١، ص١).

وقد ظهر من التحليلات أن أهم أملاح الكبريتات الموجودة في عينات منطقة الدراسة هي: كبريتات الصوديوم ، وكبريتات الكالسيوم، وكبريتات الماغنسيوم (جدول ١٢). وفيما يلي دراسة تلك الأملاح:

يتضح من الجدول زيادة في درجة تركيز كبريتات الصوديوم عن ٦% في سبعة عينات، حيث تراوحت بين ٦,١٩% و٩,٧٧%، في حين قلت عن ذلك في عينة واحدة، حيث سجلت أقل درجة تركيز بقلعة بنت قنيص وأعلى درجة تركيز ببيت البيعة والرصيف البحري.

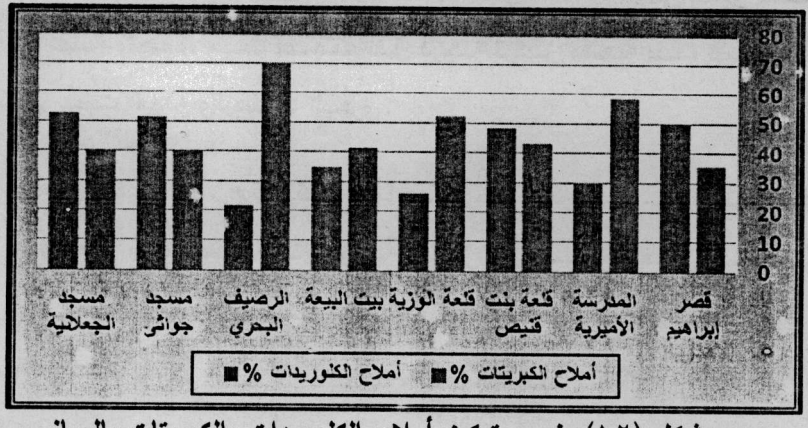
أما عن تركيز أملاح كبريتات الماغنسيوم فقد تراوحت درجة تركيزها بين ٢,٠٩% و٨,٦١% وسجلت أقل درجة تركيز بالرصيف البحري وأعلى درجة تركيز بمسجد جواثى، بالإضافة إلى كبريتات الكالسيوم فقد لوحظ أن درجة تركيزها تراوحت بين ١٠,٦٦% بالرصيف البحري و٤٣,٣٤% بقلعة بنت قنيص.

كما يوضح الجدول (١٣) والشكل (١٢) أن نسبة تركيز أملاح الكلوريدات بمنطقة الدراسة تراوحت بين ٣٥,٣٩% و٧٠,١% أما نسبة تركيز الكبريتات فتراوحت بين ٢١,٦٩و٥٢,٨% مع ملاحظة أن نسبة تركيز أملاح الكلوريدات أعلى من نسبة تركيز الكبريتات بمنطقة الدراسة، وقد بلغ المتوسط العام لأملاح الكلوريدات ٤٧,٦٢% حيث ارتفعت على ٥٠% في ثلاث عينات من ثماني، أما أملاح الكبريتات فقد بلغ المتوسط العام٣٩,٣٢% حيث تعدت على ٥٠% بعينتان من ثمانية عينات.

جدول (١٣): نسب تركيز أملاح الكلوريدات والكبريتات بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

موقع العينة	الكلوريدات %	الكبريتات %	موقع العينة	الكلوريدات %	الكبريتات %
قصر إبراهيم	٣٥,٣٩	٥٠,٠٧	بيت البيعة	٤١,٤٢	٣٤,٦٤
المدرسة الأميرية	٥٨,٣٩	٢٩,٥٦	الرصيف البحري	٧٠,١	٢١,٦٩
قلعة بنت قنيص	٤٣,١	٤٨,٢٥	مسجد جواثى	٤٠,١٦	٥١,٥٤
قلعة الوزية	٥٢,٢٨	٢٦,٠٦	مسجد الجعلانية	٤٠,١٥	٥٢,٨

المصدر: تم التحليل بمعمل الأراضي بكلية الزراعة ، جامعة أسيوط ،٢٠١٢.

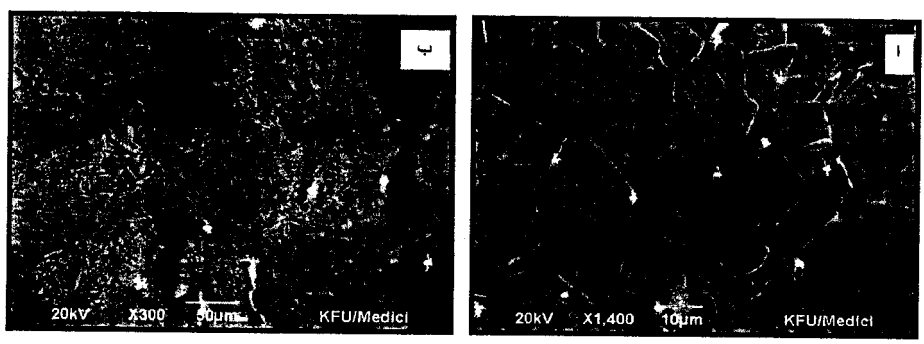


شكل (١٢): نسب تركيز أملاح الكلوريدات والكبريتات بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

وجدير بالذكر أن وجود أملاح الكلوريدات والكبريتات معاً لها تأثير فيزيائي مدمر وعنيف على سطح الحجر الجيري ولتشخيص نواتج مظاهر التلف داخل مواد البناء تم استخدام جهاز الميكروسكوب الالكتروني الماسح، وقد تبين الآتي في عينات منطقة الدراسة:

• الرصيف البحري – العقير:

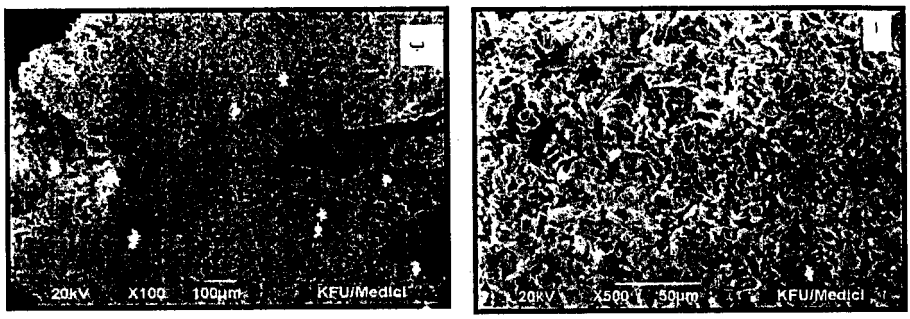
يتضح من الصورة (١٩- أ) وجود أملاح الكبريتات منشورية الشكل ومتبللورة مما يدل على التجوية الكيميائية وتحول كربونات الكالسيوم إلى كبريتات الكالسيوم، مع وجود فجوات على سطح الصخور. أما الصورة (١٩- ب) فيوجد بها أيضاً بللورات أملاح الكبريتات والفجوات والشقوق الكبيرة الضخمة.



صورة (١٩): عينة من الحجر الجيري بالرصيف البحري- العقير.

• قصر إبراهيم:

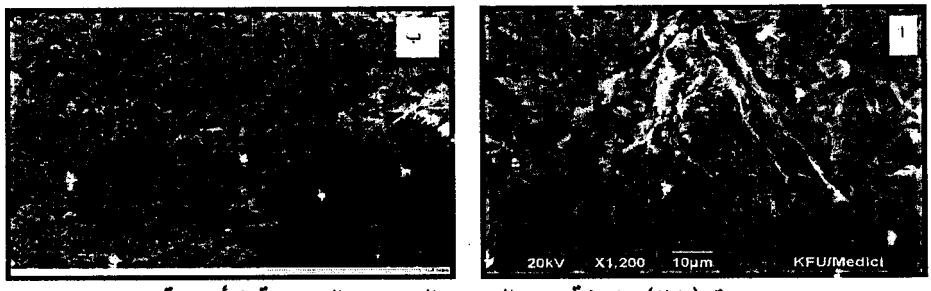
توضح الصورة (٢٠- أ) وجود بلورات ملحية كبيرة الحجم مع الحطام الصخري الناتج من التجوية الملحية، كما لوحظ وجود وفرة في المسام الدقيقة بالحجر مما يساعد على التلف بالنمو البللوري للأملاح. وتوجد في الصورة (٢٠- ب) سلفات بللورات الملح المتراكمة بشدة على الصخر مع وجود تفتيت ونقر بسبب الملح.



صورة (٢٠): عينة من الحجر الجيري بقصر إبراهيم.

• المدرسة الأميرية:

تشير الصورة (٢١- أ و ب) إلى تدهور شديد في نسيج الصخور في شكل جزيئات، وتساقط لمكونات الصخر، ووجود بللورات الملح إبرية في الغالب.



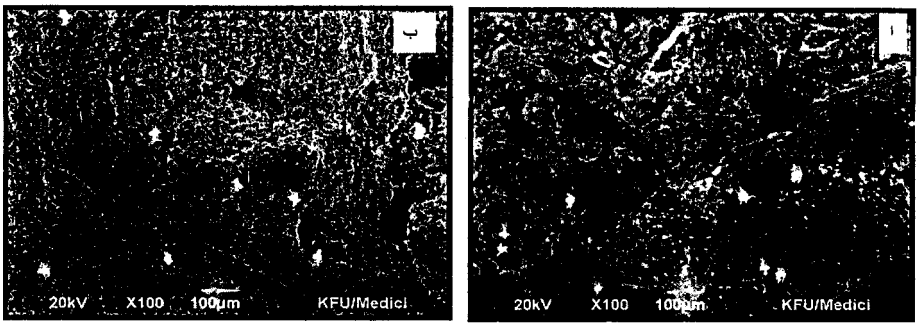
صورة (٢١): عينة من الحجر الجيري بالمدرسة الأميرية.

• مسجد جواثى[1]:

تظهر الصورة (٢٢- أ) مسام واسعة وشظايا السطح، مع وجود صدوع صغيرة ضيقة. كما توضح الصورة (٢٢- ب) سطح صخرة بيضاء مع طفح الملح، كما يمكن الكشف عن شقوق ضيقة طويلة ناتجة عن عملية التلف.

---

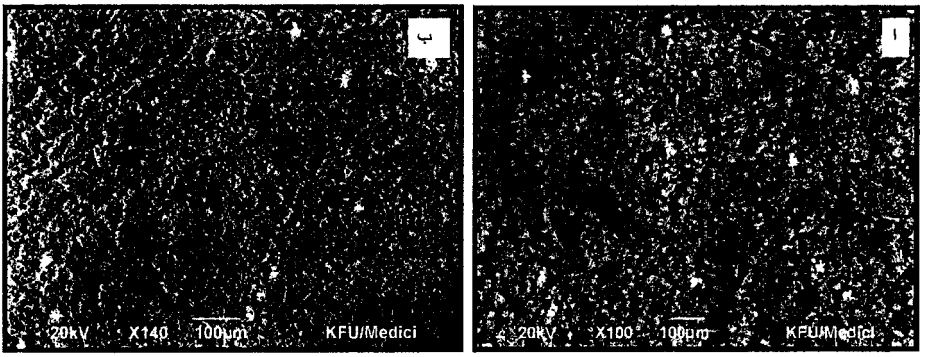
[1] جواثا بالهمزة هو وعد أصله من جأث الرجل إذا فزع فهو مجؤوث أي مذعور فكأن الأهالي لما كانوا يرجعون إليها عند الفزع سموها بذلك وهذا يؤيده وجود حصن بالموقع. وهو ثاني مسجد أقيمت فيه صلاة الجمعة في الإسلام، ويبعد عن الهفوف حوالي ١٧كم (ليلى بنت صالح محمد زعزوع، ٢٠٠٩، ص ٣٩٠).



صورة (٢٢): عينة من الحجر الجيري بمسجد جواثى.

- مسجد الجعلانية:

تبين الصورة (٢٣- أ) تجزئة شديدة للصخور مختلطة مع بللورات الملح، ويلاحظ وجود المسام الصغيرة على نطاق واسع في جميع أنحاء عينة الاختبار. كما توضح (الصورة ٢٣- ب) تدهور صغير وتفتيت الصخور السطحية مع وجود حفر وفقدان لجزيئات الصخر السطحية بسبب تبللور الملح داخل المسام الصخرية.



صورة (٢٣): عينة من الحجر الجيري بمسجد الجعلانية.

الخاتمة:

أولاً: النتائج:

أسفرت دراسة أخطار التجوية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء عن عدد من النتائج تتمثل أهمها فيما يلي:

١- تواجه الآثار بالأحساء أخطار التجوية الميكانيكية والكيميائية؛ نتيجة للظروف المناخية للمنطقة والظروف البيئية المتغيرة من رطوبة وجفاف- مع ملاحظة أن المياه تحت الأرضية المشبعة بالأملاح هي المصدر الرئيسي للرطوبة- بالإضافة إلى التدخل البشري في تلك المباني متمثلاً في سوء شبكات الصرف والترميم الخاطئ باستخدام الجبس والأسمنت البورتلاندي، كما هو الحال في قصر إبراهيم والمدرسة الأميرية.

٢- استخدم في تشييد المباني الأثرية بمحافظة الأحساء الحجر الجيري، وقد تبين من الدراسة الميدانية والتحليلات المعملية أن مادة كربونات الكالسيوم هي مادة الحجر الأساسية بالمباني الأثرية بمنطقة الدراسة، مع ملاحظة وجود بعض المعادن الأخرى مثل الطين والهاليت والجبس والكوارتز.

٣- تتميز معظم الأحجار التي استخدمت في تشييد المباني الأثرية بمحافظة الأحساء بارتفاع المسامية وقدرتها على امتصاص المياه، حيث بلغ المتوسط العام ٣٤,٦٨% و١٩,٩١ % على الترتيب، مع ارتفاع درجة الحرارة وطاقة التبخر، إذ بلغ المتوسط العام ٢٧,٥م و١٢,٨مم التوالي، على الأمر الذي ساعد في تنشيط عمليتي التجوية الميكانيكية والكيميائية، ومن ثم تعرض مواد البناء للتلف والانهيار.

٤- تتباين المباني الأثرية بمحافظة الأحساء من حيث درجة تأثرها بالتجوية الميكانيكية، حيث تظهر آثارها في:

• التقشر والتكسر بنسبة ٦٨,٩٦% و٦٦,٦٧% بالجدران الخارجية والداخلية من إجمالي المناطق المدروسة بمنطقة الدراسة على الترتيب، وذلك نتيجة عمليات التمدد والانكماش المرتبطة بارتفاع المدى الحراري بمنطقة الدراسة والذي بلغ ٣٣م.

• التفكك الحبيبي بنسبة ٢٠,٦٩% و١٤,٢٨% بالجدران الخارجية والداخلية من إجمالي المباني الأثرية على التوالي، وذلك لتأثير الإشعاع الشمسي بمنطقة الدراسة والذي يترتب عليه زيادة درجة حرارة الصخر أثناء النهار وانخفاضها ليلاً مما يعرض الصخر للتفكك والسقوط.

• التفكك الكتلي بنسبة ١٠,٣٥% بالجدران الخارجية، والداخلية ١٩,٠٥% من إجمالي المباني الأثرية حيث تعمل التجوية الميكانيكية على تكسير الصخر وانقسامه على طول خطوط الفواصل وسطوح الانفصال.

٥- تتأثر المباني الأثرية أيضاً بمحافظة الأحساء بالتجوية الكيميائية في مظاهر مختلفة هي:

• نشع المياه بجدران المباني وانتفاخ الطبقة الخارجية وتبلور الأملاح، وبلغت نسبتها ٢٦,٤٢%، وسقوط طبقة الطلاء ٢٤,٥٢%، وسقوط طبقة الملاط الخارجية بنسبة ٢٢,٦٤% ، وسقوط المادة اللاحمة بنسبة ٢٠,٧٥% في الجدران الخارجية. أما بالنسبة للجدران الداخلية فقد بلغت نسبة نشع المياه وسقوط الملاط ٢٦,٥٦% لكل منهما، كما بلغت نسبة سقوط طبقة الطلاء ٢٣,٤٤% وسقوط المادة اللاحمة ١٥,٦٣%، من إجمالي المباني الأثرية على التوالي نتيجة انخفاض مستوى المناطق عن المباني المجاورة وارتفاع منسوب المياه من ناحية وتسرب مياه الصرف الصحي من ناحية أخرى.

• تكوين الفجوات والكهوف نتيجة لتسرب المحاليل الملحية بالخاصية الشعرية إلى الجدران وارتفاع درجة حموضتها بمنطقة الدراسة، حيث بلغ متوسط معامل الحموضة PH "٧" ومن ثم تتسبب المياه تحت الأرضية في إذابة الصخور الجيرية بالمباني الأثرية بمحافظة الأحساء.

• التجوية الملحية وما يرتبط بها من التلف العام للأحجار الأثرية نتيجة الرشح والتزهر، حيث أثبتت التحليلات المعملية وجود أملاح الكلوريدات والكبريتات. وقد بلغ المتوسط العام للرشح في المباني الأثرية ٨٤,٢٥ سم وبلغ المتوسط العام للتزهر ١٣٠,٤سم مع تكون طبقات ملحية على أسطح المنشآت الأثرية تراوح سمكها بين أقل من ٠,٢ إلى ١,٣سم وبألوان تتراوح بين الأبيض والأسود.

ثانياً: التوصيات:

بعد تشخيص الحالات المختلفة لأخطار التجوية التي تسبب تلف المباني الآثرية ومعرفة أسبابها وكيفية حدوثها نحتاج إلى:

- ضرورة استخدام الاسمنت المقاوم للأملاح "sulfate Resistant S.R.S Cement" في الأجزاء الأرضية من المنشآت المعرضة بشكل دائم للرطوبة والأملاح والكلوريدات المذابة في التربة والمياه الجوفية أو الأجزاء من المنشآت البحرية التي تتعرض للأبخرة المائية المحملة بالرطوبة.
- استخدام الخرسانة الناعمة Fair-Face Concrete في الأجزاء الأرضية من المنشآت والمواجهة للحرارة والرطوبة خاصة الأبنية المقابلة للشواطئ وذلك لتفادي حدوث التشقق أو الإقلال منه وتوفير الغطاء المناسب لحديد التسليح ثم استخدام الإضافات إلى الخرسانة عند الصب لتلائم الظروف البيئية وتحسن الخواص أثناء الصب في المناخ الحار.

- ضرورة توفير مختبر لفحص مواد الإنشاءات واختيار المواد الإنشائية ذات المواصفات الجيدة والتأكد من صلاحيتها للاستخدام.
- التركيز على استخدام المواد العازلة للرطوبة والحرارة والتي لا تتأثر بالظروف المناخية المختلفة وتناسب أجزاء المنشأة المختلفة وعدم التهاون في اختيار المواد العازلة ذات المواصفات العالمية وتناسب مناخ المنشأ (عودة محمد الأغا، ٢٠٠٦، ص ص ١٤١- ١٤٣).
- استخدام أسلوب قطع الجدران على ارتفاع حوالي متر وذلك باستخدام منشار قطع، ثم يتم وضع شرائح من البلاستيك ذات قوة تحمل كبيرة في أماكن القطع لتمنع ارتفاع المياه تحت الأرضية بالخاصية الشعرية داخل الجدران.
- تصريف المجاري المائية عن المعالم والمواقع الأثرية.
- تغطية البقايا الأثرية الأكثر حساسية للأمطار بسقوف معدنية.
- الحفاظ على الرطوبة النسبية داخل المعالم الأثرية.
- وضع أجهزة لقياس الرطوبة ودرجة الحرارة وتغيراتها.
- ضرورة استخدام التقنيات العلمية الحديثة في مجال ترميم وصيانة المباني الأثرية، وأن تتم عملية العلاج والحفاظ طبقًا لما نصت عليه المواثيق الدولية.
- يوصي بعمل مخرات للمناطق المعرضة للسيول وخاصة المناطق المجاورة للمناطق الأثرية.
- ضرورة إنشاء جمعيات لتنمية الوعي الأثري والثقافي من المجتمع المدني وخاصة في المناطق والمجتمعات التي تقع في محيطها المناطق الأثرية للمشاركة في الحفاظ على المواقع الأثرية الموجودة بالمنطقة لخلق التعاطف الجماهيري مع مواقع الآثار والمنشآت لتجنب الإتلاف البشري المتعمد، مع

التوعية العلمية المبسطة لكيفية الحفاظ على المباني الأثرية لتجنب الإتلاف البشري الغير متعمد.

-العمل على زيادة الوعي الأثري والثقافي لدي المجتمعات التي تقع في محيطها المناطق الأثرية، واستغلال كل وسائل الإعلام ومناهج التربية والتعليم والوسائط المتعددة من وسائل تعليمية توضيحية للأثر وقيمته وعوامل تلفه وإتلافه.

المراجع والمصادر:

أولاً: المراجع العربية:

١- إبراهيم محمد محمد عبد الله (٢٠٠٠): دراسة علاج وصيانة مواد البناء والعناصر الزخرفية في بعض المباني الأثرية بمدينة رشيد، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٢- أهم عوامل ومظاهر تلف الفسيفساء الأثرية، السبت ٢٦ نوفمبر ٢٠١١ .Toratagadir, blogspot.com

٣- حسين محمد جمعة (بدون تاريخ) ، "عزل وحماية المنشآت الخرسانية ضد الرطوبة، التآكل، الكيماويات، الحرارة"، وبدون مكان نشر.

٤- خالد محمد أحمد الحمصاني (٢٠٠٧): دراسة مشاكل الأملاح وعلاجها في الصور والنقوش الجدارية بمنطقة سقارة تطبيقاً على إحدى المقابر المختارة من عصر الدولة القديمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٥- خليل بن علي معبر الحوياتي (٢٠١١): نمط التغير المكاني والزماني في تقييم جودة المياه الجوفية في واحة الأحساء بالمملكة العربية السعودية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم البيئة والمصادر الطبيعية الزراعية، كلية العلوم الزراعية والأغذية، جامعة الملك فيصل، الأحساء.

٦- رحاب جلال درويش (٢٠٠٧): دراسة التلف الفطري لمواد البناء في المباني الأثرية بمدينة القاهرة: أسباب وميكانيكية التلف وطرق العلاج، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٧- سيد محمد سيد حميده (٢٠٠٣): التقييم العلمي لميكانيكية التجوية الملحية وأهم مصادرها في بعض البيئات الأثرية المصرية وتأثيرها على

الأحجار الجيرية والرملية المستخدمة في المنشآت الأثرية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٨- عاطف معتمد عبد الحميد (٢٠٠٨): الاستفادة من بيانات الاستشعار عن بعد في دراسة الأراضي الرطبة (منطقة الأحساء- شرق السعودية)، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٣٣٦، الكويت.

٩- عبد الله أحمد سعد الطاهر (١٩٩٩): الأحساء – دراسة جغرافية، مطابع الحسيني الحديثة، الأحساء، المملكة العربية السعودية.

١٠- عبد الله حسين مبارك الحميد (٢٠١٢): دراسة تأثير جودة المياه لطبقتي النيوجين والدمام الجوفية على تآكل أنابيب الآبار في واحة الأحساء، المملكة العربية السعودية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم البيئة والمصادر الطبيعية الزراعية، كلية العلوم الزراعية والأغذية، جامعة الملك فيصل، الأحساء.

١١- على المغنم، دانيال بوتس، جوتري فراي، دونالد ساندرز، ك.ك.لامبرج كارلنسكي (١٩٧٨): برنامج المسح الأثري الشامل لأراضي المملكة العربية السعودية. التقرير المبدئي عن المرحلة الثانية لمسح المنطقة الشرقية، أطلال، حولية الآثار العربية السعودية، العدد الثاني،إدارة المتاحف بوزارة المعارف السعودية، الرياض.

١٢- على مصطفى كامل مرغني (٢٠٠٢): ارتفاع منسوب المياه تحت الأرضية كخطر طبيعي في بعض قرى ومدن مصر من منظور جيومورفولوجي، مجلة كلية الآداب، العدد ٢٢، السنة ٧١، ، جامعة الزقازيق.

١٣- عودة محمد الأغا (٢٠٠٦): التآكل في المنشآت وآثاره السلبية، مجلة جامعة الأقصى، العدد ١٠، فلسطين.

١٤- ليلى بنت صالح محمد زعزوع (٢٠٠٩): مسجد جواثا: مركز سياحي في محافظة الأحساء. المجلة الجغرافية العربية، العدد ٥٤، الجزء الثاني، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

١٥- محمد بن عبد الغني مشرف (١٩٨٧): أسس علم الرسوبيات، عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض.

١٦- محمد صبري محسوب (١٩٩٧): جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة.

١٧- محمد صبري محسوب (٢٠٠٢): البيئة الطبيعية- خصائصها وتفاعل الإنسان معها، دار الفكر العربي، القاهرة.

١٨- محمد عبد الهادي (١٩٩٥): تأثير البيئة البحرية على تلف المنشآت الأثرية بالإسكندرية، المؤتمر الدولي الأول عن البيئة والتنمية في إفريقيا، جامعة أسيوط ، مصر.

١٩- محمد عبد الهادي (١٩٩٥): دراسات علمية في ترميم وصيانة الأثار غير العضوية، مكتبة زهراء الشرق، القاهرة.

٢٠- محمد مصطفى محمد عبد الحميد (٢٠٠٩): دراسة لأسباب تصدع وانهيار المباني الأثرية الإسلامية والحلول المقترحة للآثار المختارة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

٢١- ممدوح تهامي عقل (١٩٩٦): الأشكال الناتجة عن تجوية الجرانيت المصري، مجلة كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، المجلد الرابع والعشرون، الإسكندرية.

٢٢- ميرفت ثابت صليب (٢٠٠٨): تأثير المياه الجوفية على المباني الأثرية، دار العالمية للنشر والتوزيع، القاهرة.

ثانياً: المصادر:

١- إدارة المساحة الجوية، وزارة البترول والثروة المعدنية، السعودية، لوحة الأحساء NG39-SW، مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، عام ١٩٨٠.

٢- الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، بيانات غير منشورة، خلال الفترة من ١٩٧٣-٢٠٠٧.

٣- هيئة الري والصرف، إدارة الري (قسم المياه والتربة)، بيانات غير منشورة، الأحساء، ٢٠١٢.

٤- الهيئة العامة للسياحة والآثار، متحف الأحساء للآثار والتراث الشعبي، ٢٠١٢.

٥- وزارة الشئون البلدية والقروية (٢٠٠٩): مشروع إعداد المخطط الهيكلي لمحافظة الأحساء، التقرير الثاني، المخطط الهيكلي لمحافظة الأحساء، الجزء الثاني: مخطط التنمية الشاملة، وكالة الوزارة لتخطيط المدن، بلدية الأحساء، الأحساء، السعودية.

٦- وزارة الشئون البلدية والقروية، وكالة الوزارة لتخطيط المدن، بلدية الأحساء – الإدارة العامة للتخطيط العمراني، خريطة الأحساء، مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، عام ٢٠١٢.

٧- وزارة المياه والكهرباء، بيانات غيرمنشورة، الأحساء، ٢٠١٢.

ثالثاً: المراجع الأجنبية:

1. **Bourgès, V.A. (2006): Holistic correlation of physical and mechanical properties of selected natural stones for assessing durability and weathering in the natural environment, Dissertation der Fakultät für**

Geowissenschaften der Ludwigs – Maximilians - Universität München.

2. Buj, O., Gisbert, J., Mckinley, J.M., and Smith, B. (2011): Spatial characterization of salt accumulation in early stage limestone weathering using probe permeametry, Earth Surf. Process. Landforms 36, John Wiley & Sons, Ltd.
3. Cooke, R.U. & Doornkamp, J.C. (1982): Urban Geomorphology in Dryland. Oxford Univ. press, New York.
4. Feilden, B. (1982): Conservation of Historic Buildings - Technical studies in Arts, Archaelogy and Architecture, Butter Worth Co (Publishets) Ltd, England.
5. Flatt, R.J. (2002): Salt damage in porous material: how high supersaturation are generated, Journal of Crystal Growth 242, Elsever. U.S.A.
6. Goudie, A. & Viles, H. (1997): Salt Weathering Hazards, John Wiley and Sons, England.
7. Judy, E. (2005): Above the weathering frony-contrasting approaches,Vol.67.
8. Lamei, S. (1995): Restoration of the Mosque of Al-Zahir Baybars in Cairo, in yhe Restoration and

conservation of Islamic monuments in Egypt, the American univ. Cairo.

9. Thomas, D.S.C. (1989): Arid Zone geomorphology, Belhaven, press, London.

10. Tsuia, N., Flatt, R. J., Scherer, G.W.(2003): Crystallization damage by sodium sulfate, Journal of Cultural Heritage 4, Elsevier SAS.

11. Zehnder, K. (2007): Long-term monitoring of wall paintings affected by soluble salts, Environ geol.,Vol 52, Issue 2, Springer, Verlag.