العوامل الطبيعية والبيئية
المؤثرة في المباني الاثرية

أ.م.د. حيدر فرحان حسين الصبيحاوي
وفاء رحيم عمران المعموري

العوامل الطبيعية والبيئية المؤثرة في المباني الاثرية

أ.م.د. حيدر فرحان حسين الصبيحاوي
وفاء رحيم عمران المعموري

لاشك أن الطبيعة هي محور حياة الإنسان والمحفز الأول على العمل والإبداع، وتتزايد أهمية الطبيعة على مر العصور، وهي محاولة الإنسان لفهم كرته الأرضية وموقعها وما يدور حولها ، ويتفق معظم العلماء والباحثين على إن البيئة الطبيعية هي العامل الأساس في ظهور الحضارات وتطورها، وكان لأبناء الرافدين منذ ظهور الحضارات القديمة مروراً بالحضارات العربية قبل الإسلام والحضارة الإسلامية المتعاقبة على هذه الأرض المعطاء عناية واسعة في دراسة البيئة الطبيعية ومحاولة تسخير هبات الله لخدمة بني البشر، والتكيف مع ظروف البيئة الطبيعية لخلق أجواء ديمومة الحياة وتطورها، كون البيئة هي الرافد والأساس الذي تستند عليه مقومات التطور وبناء الحضارات، وفي تخطيط التكوينات المعمارية، ويلاحظ ذلك أيضاً في المدينة العربية الإسلامية ، إذ إن المناخ أثر بصورة مباشرة وفعالة وكان له الأثر الواضح في تخطيط الشوارع وتمديد اتجاهاتها، وتشابهت هذه التأثيرات في معظم المدن الإسلامية، سيما أن أغلب تلك المدن يقع في المناطق الحارة فتلاحقت المباني وتدرجت مقاييس الشوارع وأصبحت الساحات المكشوفة عنصراً رئيساً في تخطيط التكوينات المعمارية المختلفة وأخذت الواجهات والعناصر المعمارية الأخرى المتصلة بالتهوية والإضاءة أنماطاً متشابهة فتكررت أمثلتها في المدن الإسلامية المختلفة [١].

بمعنى آخر إن الإنسان اضطر إلى التكيف مع المناخ وعناصره المختلفة، إذ استخدم قواه العقلية والجسدية وسائل للتخفيف من قساوة الطبيعة، وتعد العمارة هي إحدى تلك الوسائل التي ابتدعها الإنسان إذ استخدام المواد البنائية والحلول البنائية للتغلب على تلك البيئة [٢].

لهذا يمكن القول إن الطبيعة وعواملها لها الأثر الأكبر على المواد البنائية، بل حتى على طريقة التصميم وتوزيع الفضاءات واستخدامات المبنى الذي فرضته البيئة أحياناً والتي اختلفت من مكان لآخر حسب طبيعة المنطقة المقام فيها المبنى، والتي أصبحت فيما بعد ميزة حضارية تتمتع بها البلدان تبعاً لطرز البناء والتصميم التي عبرت عن خصائص الفكر الإنساني التي كفلت له التعامل بصيغ علمية

عكست قدرته المعرفية على تجاوز المشاكل التي حالت بينه وبين تطلعاته في بناء حضارة مدنية تطاول الزمان. [٣]

وعليه فإن للبيئة أثرها في كل مكان و زمان على المباني والصروح التاريخية من حيث الرطوبة والأمطار والرياح والإشعاع الشمسي ،وغيرها وكل هذه الأسباب منفردة أو مجتمعة تؤدي الى التلف التدريجي للمباني ومن ثم الى الانهيار ولكي تتم الصيانة بصورة فعالة للمباني عليها تشخيص الأضرار ومن ثم تتم المعالجة وفقاً لطبيعة الضرر ومن أهم الأضرار التي تصيب المباني هي:

أولاً- الرطوبة:

وهي عبارة عن جزيئات بخار ماء منفردة ذات طاقة عالية وهناك حد أقصى لكمية بخار الماء الذي يستطيع الهواء الاحتفاظ به، والنقطة التي يصبح عندها الهواء مشبعاً تسمى نقطة التشبع وهي الحد الأقصى لبخار الماء في الهواء والذي يصل إلى حالة اتزان مع سطح مُستوٍ من الماء الخالص أو الثلج الموجودين عند درجة حرارة الهواء نفسها، والموجود في حالة اتزان مع سطح مستوٍ من الماء الخالص أو الثلج الموجودين عند درجة حرارة الهواء نفسها، وتختلف قيمة التشبع مع اختلاف درجة الحرارة، فأننا نستطيع تحديد هذه العلاقة بشكل كمي، ويمكن التعبير عن كمية البخار عن طريق ضغط بخار الماء، والذي يعرف بأنه القوة بالنسبة لوحدة المساحة التي تخلقها حركة جزيئات البخار، وهناك قانون خاص في علم الجغرافية يعرف باسم (الديناميكية الحرارية) لتحديد كمية البخار في الجو بصورته البخارية والسائلة[٤].

والرطوبة نوعان : الأول هو الرطوبة المطلقة ، والثاني هو الرطوبة النسبية، وتعني الرطوبة المطلقة الكمية الحقيقية لبخار الماء المتواجد بالهواء وتقاس بعدد الغرامات في المتر المكعب الواحد من الهواء، ومن هنا عرفت أيضاً باسم الرطوبة الكلية وتعتمد الرطوبة المطلقة في تشبعها على درجة الحرارة في حالة انخفاضها أو ارتفاعها، أما الرطوبة النسبية فهي نسبة بخار الماء في حجم معين من الهواء وبين كمية بخار الماء المطلوب لتشبع القدر نفسه، وبين حجم الهواء وهو في درجة الحرارة نفسها، وبهذا يتضح الفرق بينهما وبين الرطوبة المطلقة أو الموجودة بالفعل في الهواء [٥].

أما النسبة المئوية لكمية الرطوبة الموجودة في الهواء، وإلى كمية الرطوبة التي يمكن أن يستوعبها الهواء عند التشبع فتسمى الرطوبة النسبية وتقل هذه النسبة في فصل الشتاء والخريف لتصل إلى أقصاها

في فصل الصيف ويعد الهواء جافاً إذا كانت رطوبته النسبية أقل من ٥٠% ومتوسط الرطوبة إذ كانت٦٠-٧٠% ورطباً وشديد الرطوبة إذا زادت النسبة عن ٧٠% ، وإن ارتفاع نسبة الرطوبة يشير إلى تضرر المبنى بالعفنيات التي تعتاش في ظروف تلك النسبة الملائمة لها[٦]، فهي تقوم بواسطة جهازها الانزيمي بعملية تحليل السليلوز الموجود في الخشب الى مواد بسيطة التركيب قابله للذوبان في الماء كذلك تقوم بأكسدة هذه المواد وتحويلها الى ثاني اوكسيد الكاربون لتحويلها الى طاقة لازمة لاستمرار وجودها وهذا يؤدي الى انكماش الخشب وضعف قوته الميكانيكية الساندة للجدران او السقوف او أي مكان اخر في البناء نظرا لكثرة استخدامه في المباني الاثرية والتراثية [٧].

ويوجد ثلاث انواع من العفنيات التي تصيب المباني بسبب الرطوبة منها التعفن البني وهو احد انواع الفطريات ويتميز هذا النوع بتحليل السليلوز بسرعه عالية اكبر من غيره اذ تتخلل الخيوط الفطرية الى داخل الخشب وتقوم بتفكيك النسيج الخشبي وهذا ما أكدته الفحوصات المختبرية ، فعند اخذ عينات من الاخشاب المصابة وجد ان الخيوط الفطرية ملتصقه بها بلورات الكالسيوم والبوتاسيوم كما وجدت ثقوب في الجدران نتيجة لاستهلاك السكريات وصولا الى الجدران صورة رقم (٢)، وهناك نوع اخر من العفنيات وهو العفن الابيض وهو احد انواع الفطريات القادر على تغطية السطوح في اشكال اسفنجية وعادة ما تتكاثر عن طريق استنساخ الجراثيم في المناطق ذات الرطوبة العالية و يتميز هذا النوع من العفن ايضا بوجود الخيوط الفطرية التي تساعد على تغلغله الى داخل الخلية العضوية وبصورة اعمق وقد اثبتت الفحوص المختبرية ان هذا النوع من العفنيات يهاجم اخشاب البلوط بصورة اكثر من الاخشاب الاخرى صورة رقم (٣) ، والنوع الثالث من العفنيات وهو ما يسمى بالتعفن الطري وهو الاكثر انتشارا في المباني التراثية إذ يمتاز هذا النوع بكونه يهاجم الصفيحة الخشبية بكاملها وبصورة عامه فان اصابة الاخشاب والمباني بالفطريات تعتمد على درجة الحرارة والرطوبة وفي جميع انواع الفطريات فان المباني قد تتضرر بفعل مهاجمة تلك الفطريات للأخشاب الساندة للجدران والسقوف التي تتضرر وتصبح قابله للكسر والتهشم مما يفقد خواصه الميكانيكية وتضعف مقاومته للدعم والاسناد اضافه الى فقدانه اللون والشكل[٨].

ويمكن قياس درجة الرطوبة في المباني، منها جهاز المرطاب الشعري (Hygro meter) وهو مقياس الرطوبة التقليدي لقياس محتوى الرطوبة في بيئة رطبة أو هوائية بمقدار النسبة المئوية للماء في

مادة معينة ، إذ يستند الى قدرة الشعرة الموجودة فيه والتي تتمدد نتيجة ارتفاع الرطوبة وتتقلص عندما يكون الجو جافاً، وهذا المقياس موثوق به بالنسبة لقيمة الرطوبة التي تزيد عن ٢٠% صورة رقم (٤)[٩].

وهناك مصادر عدة للرطوبة منها:

١ . **الأمطار:** وهي أحد العناصر التي تسبب ضرراً للمباني ، وأحد مصادر الرطوبة داخل مواد البناء، إذ لا يمكن أن نتصور مباني بمأمن عن تأثير الأمطار ولا يوجد تدابير وقائية تمنع وصولها إلى تلك المباني الأثرية والترابية، والتي يختلف حجم تضررها بحسب موقع البناء ومادته الإنشائية، ويتوقف حجم الضرر على معدل تساقط الأمطار وسرعة الرياح والتركيب المسامي لمواد البناء ووجود الشروخ في المونات ومواد البناء، ومن أخطار الأمطار هو تفكك مونة البناء وتساقط الملاط من على الجدران وضياع النقوش والألوان وتحرك الأساسات وإذابة ونزح المواد الرابطة لحبيبات الكتل الحجرية وإذابة الأملاح وحملها إلى أماكن مختلفة [١٠].

وقد أضافت لنا الهندسة المعمارية حلولاً لمعالجة كميات الأمطار ومنع تسربها الى داخل المباني ومنها عمل بروزات بنائية في أعلى الجدران لتعمل كمظلة أو قبعة تحمي البناء كما مبين في الشكل رقم (١)، والحل الثاني هو عمل غطاء للسطح العلوي للجدار بشكل منحدر يصرف مياه المطار نحو الخارج أو يقلل الامتصاص إلى أقل حد ممكن كما مبين في الشكل رقم (٢) [١١]، ومن أكثر أنواع الأغطية استعمالاً في الوقت الحاضر هي ألواح الألمنيوم وهي مادة لا تصدأ بالعوامل الجوية بسرعة ويسهل استعمالها كمادة عازلة لكسوة الأسطح الخارجية للجدران والقباب والقبوات نظراً لصيانتها غير المكلفة وسهولة تركيبها، فضلاً عن سعرها المناسب وخفة وزنها قياساً بالعوازل الأخرى للسقوف كألواح الحديد والاستانلس استيل [١٢].

٢ .**التكاثف:** وهو عملية يتحول بها بخار الماء بعد التشبع الى الحالة السائلة في شكل جسيمات دقيقة والمطر الذي يسقط بصورة مائلة قليلاً ما يدخل الى البناء لكنه يبرد مسبباً التكاثف على وجهه الداخلي، إذ يحتوي الهواء البارد على كمية من بخار الماء أقل مما هو عليه في الهواء الساخن ونتيجة لذلك تقترب الرطوبة إلى الجدران عندما يبرد الهواء المحمل بالرطوبة بفعل عملية التكاثف ، وانخفاض درجة حرارة الهواء ، ومن نتائج التكاثف ظهور قطرات مائية على سطوح الجدران ، وأيضاً ظهور قطرات مائية على شكل بقع متفرقة على الجدران، وللتكاثف ميزة كونه ظاهرة غير

مستمرة الحدوث وتحدث دائماً بسبب الحرارة الواطئة عندما يتواجد الماء بفعل التكاثف، إذ يكون تواجده غزيراً في الجص ونادراً في مادة الجدار الداخلية وتعتمد معالجة التكاثف على رفع درجة حرارة الجدار أما بالتدفئة أو بالتهوية الجيدة للغرف بالنسبة للمباني غير المأهولة [١٣].

٣ .**المياه الجوفية:** وهي المياه المتكونة تحت سطح الأرض التي تسير من خلال مسامات تربتها إلى أن تستقر على منسوب معين يكاد يكون ثابتاً لكل منطقة وتنساب المياه الجوفية كالمياه السطحية من المناطق المرتفعة إلى المناطق المنخفضة [١٤]، وللمياه الجوفية تأثيران هما: التأثير الكيميائي الذي يعمل على إذابة المواد البنائية التي تحتوي على كاربونات الكالسيوم محدثة فجوات في التربة تسبب انهيار المباني، والتأثير الآخر هو التأثير الميكانيكي للمياه الجوفية، إذ أن التربة المشبعة بالمياه تكون أقل تماسكاً بفعل ضغط المياه على الأسس، وبعد مرور زمان كافٍ يتخذ الماء مسام أخرى مصحوباً بزيادة ضغط المبنى وزيادة الإجهاد على التربة الضعيفة التي تفقد قابليتها على الحمل ، بسبب زيادة نسبة المياه الجوفية، إذ أن الكثافة الثقلية للتربة المغمورة تقارب نصف توازنه فضلاً عن تضرر الأجزاء العليا منه بالرطوبة بفعل الخاصية الشعرية التي تعمل على جلب الأملاح من التربة تسبب تهشم وتفتت المادة البنائية [١٥].

ويظهر ذلك واضحاً في مئذنة الكفل في محافظة بابل والتي تعود الى (٧١٦-٧٣٦هـ) وتشير المصادر التاريخية الى إن السلطان سعيد بهادر خان بن السلطان أولجياتو أتم بناء هذه المنارة بعد وفاة والده، ومئذنة الكفل هي من أروع مآذن العراق وتتألف من خمسة أقسام (القاعدة- البدن- الحوض- الرقبة- الشرفة) قاعدتها مربعة الشكل طول ضلعها ٥م وارتفاعها ٥.٩ م أما البدن فأنه ذو شكل اسطواني ومشيدة من الأجر [١٦].

ولقد تعرضت المئذنة نتيجة عوامل الطبيعية من أمطار ورياح وحرارة ورطوبة وغيرها من عوامل التعرية وباقي المؤثرات التي أدت إلى تلف وخراب غالبية أجزاء المنارة العمارية والزخرفية صورة رقم (٥) ، وهذا ما حث إحدى القائمين على شؤون المرقد للقيام بصيانة بعض أقسامها البنائية وترميم نقوشها الزخرفية بغية المحافظة على معالم هذا الأثر بالاشتراك بين مديرية الأشغال العامة ومديرية الآثار العامة عام ١٩٣٩م، وقد كانت صيانة الاثنين يشوبها بعض الهفوات وهذا ما أشارت إليه أحد الوثائق إلى تصرف أحد البنائين تصرفاً سيئاً ، وذلك بتغيير أماكن الكتابة وإحلال أحدها محل الأخرى، مما أدى إلى

تشويه الكتابة الأصلية وهذا ينافي شروط الصيانة الأثرية وأشارت الوثيقة إلى إيقاف العمل في حينه، ورفع ما كتب حديثاً وإعادة الأسطر المحولة إلى أماكنها الأصلية(١٧).

والمئذنة هي احد المنشآت البنائية في الكفل التي تعرضت لخطر المياه الجوفية والرطوبة العالية اضافة الى العوامل الجوية الاخرى، ففي عام (٢٠٠٧) أجريت دراسات وبحوث مشتركة عن واقع حال الموقع، بين دائرة الآثار وشركة الإدريسي لعمل الدراسات والبحوث المختبرية والهندسية حول ميلان المئذنة والتشققات الحاصلة في بدنها وبقية مرافق الموقع، فضلاً عن دراسة أعدتها الشركة الإيرانية (أيمن سازه فدك) عام (٢٠١٣) والتي حددت الاضرار في القاعدة والبدن للمئذنة (١٨).

وتتلخص تلك الأضرار في نسبة ميلان المئذنة الواضح والمتأثر بالعوامل الطبيعية كالأمطار والرياح والحرارة اضافة الى نسبة الرطوبة العالية في قاعدتها بفعل المياه الجوفية التي أضرت بأسس القاعدة، الامر الذي أدى الى فقدان كسوة الجدران المتمثلة بالطلاء الجصي نتيجة ارتفاع منسوب الرطوبة الى مستوى عالٍ من قاعدة المئذنة وبقية جدران الأبنية الأخرى في الكفل (١٩)، كذلك انهيار بعض المقرنصات أسفل بدن المئذنة ووجود ثقوب متعددة في رقبة المئذنة مع تعرية وتآكل أغلب الآجر (٢٠) الصور رقم(٦و٧) .

أما عن كيفية التخلص من المياه الجوفية فهناك طريقة معتمدة في العراق وهي طريقة المبزل القاطع وتتلخص هذه الطريقة بإيقاف وصول الماء إلى تربة المبنى وأسسه بعمل تصميم خاص يناسب الموقع ويتم عن طريقه تصريف مياه المنطقة وحمايتها من تأثيرات المياه الأرضية وذلك بالحفاظ على منسوب ثابت للمياه الجوفية باستخدام أنابيب مثقبة وبأقطار مناسبة ومغطاة بطبقة من المواد المرشحة كما تم ذلك في مبنى المدرسة المستنصرية في بغداد التي أثبتت التجربة نجاحها (٢١).

ثانياً: الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة:

تعد الطاقة الشمسية الأساس الذي تقوم عليه جميع أشكال الحياة على كوكب الأرض وينقسم الإشعاع الشمسي الى ثلاثة أنواع رئيسة حسب المدى الطيفي، **النوع الأول:** هو مجموعة الأشعة البنفسجية وأشعة أكس وأشعة جاما، **والنوع الثاني:** الأشعة المرئية وتمثل كميتها إجمالي الإشعاع الشمسي

بنحو ٤٠%، أما **النوع الثالث:** الأشعة الحرارية تحت الحمراء وتشكل ٤٦% من إجمالي الإشعاع الشمسي في حين يتعرض الجزء الواصل الينا من هذه الاشعة اثناء رحلته الى الارض الى التشتت والتبعثر والامتصاص بتأثير الغازات و المواد العالقة وأوضحت قياسات الأقمار الاصطناعية أن نحو ٤٩% من الإشعاع الشمسي المتجه نحو الأرض يؤثر بنسبة ٥١% التي تستهلك في العمليات الطبيعية مثل التحول الحراري صورة تكاثف بخار الماء والتساقط والرياح والتيارات المائية والتمثيل الكلوروفيلي وغيرها [٢٢].

إن شدة الإشعاع الشمسي وطول مدة سطوعه على سطح الأرض وكذلك زاوية سقوطه، فضلاً عن اختلاف طول الليل والنهار على مدار العالم ووضع الأرض بالنسبة للشمس أدى إلى تباين تلك النسب من منطقة إلى أخرى، فمثلاً أن منطقتنا العربية تتميز بطول فصل الصيف مما أدى إلى أن تكون أشعة الشمس عمودية وذات درجات حرارة عالية وصلت إلى أكثر من ٥٠%، وهذا ما دفع المعمار الإسلامي إلى إيجاد حلول بنائية لعدة ضرورات بيئية منها ارتفاع درجات الحرارة صيفاً فاستحدثت وظيفة البادكير وغيرها من الحلول [٢٣].

لم يقتصر تأثير الاشعاع الشمسي على طبيعة تخطيط المباني فحسب، بل انعكس ذلك التأثير على طبيعة المادة البنائية نفسها، إذ أن شدة الإشعاع الشمسي وارتفاع درجات الحرارة صيفاً وانخفاض تلك النسب شتاءً أدت إلى خلخلة توازن البناء نتيجة تمدد الجدران وانكماشها بصورة متكررة مسببة قوى وإجهادات للمبنى[٢٤]، والتي تظهر بصورة ملحوظة في المناطق ذات الطابع الصحراوي ، إذ يكون الجو صحواً والرطوبة النسبية قليلة ترتفع درجة الحرارة وتسخن الجدران إلى درجة عالية بفعل الإشعاع الشمسي وأثناء الليل تنخفض درجة الحرارة فتبرد السطوح الخارجية للجدران نتيجة فقدانها الحرارة من سطوحها الخارجية المعرضة للجو بينما يظل باطن الجدران ساخناً، إذ أن الجدار غير متجانس لاحتوائه على معادن عدة لكل منها معامل تمدد خاص وقابلية خاصة للفقدان والاكتساب الحراري تبعاً لمادتها الإنشائية ولونها، فالمواد التي تكون غامقة تكون قابلية امتصاصها للأشعة أكبر كمية من تلك التي تكون ذات لون فاتح، وكذلك فإن كثافة مادة البناء تعمل على رفع مقاومته الحرارية إذ أن المباني المشيدة من جدران سميكة يمكنها المحافظة على درجات حرارتها ومنع التدفق والتوصيل إلى داخل المبنى وقابليتها على نقل الحرارة والرطوبة والتبخر وغيرها تكون قليلة قياساً بالجدران القليلة السمك[٢٥]، وهناك عدة مصطلحات يرد

ذكرها عندما يتم التطرق لتأثير الحرارة على المباني منها: التخلف الزمني (Time lag) وهو الفارق الزمني في وصول الموجة الحرارية من السطح الخارجي للعنصر الإنشائي وإلى السطح الداخلي للمبنى وأيضاً معامل النقص وهو النسبة بين أقصى تغير في درجات الحرارة للسطح الداخلي للبناء وخارجه خلال ٢٤ ساعة [٢٦]، وأيضاً مقياس العزل الحراري وهو ما يسمى بمعامل النقل الحراري وهو قابلية الجدار أو السقف لتسريب الحرارة بين داخل وخارج المبنى والذي عن طريقه يمكن معرفة نسبة العزل الحراري من حيث مقاومته للرطوبة والحرارة والحريق والعزل الصوتي [٢٧].

لذا فإن الاختلاف الحراري في مواسم السنة ونسبة الإشعاع الشمسي وزاويته على المبنى يؤثر تأثيراً سلبياً على المبنى مسبباً حدوث ميلان وتحدب وتشققات وتهشمات في أغلب أجزائِه [٢٨]، وهذا ما نراه واضحاً في المنارة الحدباء قبل سقوطها على يد داعش الإجرامي في عام (٢٠١٧) ، إذ تميزت هذه المئذنة بظاهرة التحدب وهو أحد المؤثرات الفيزيائية للإشعاع الشمسي التي تطرأ على الأبنية، فقد تظهر هذه الظاهرة في الأبراج والمآذن عندما تكون أشعة الشمس مركزة على جهة معينة مدة طويلة نسبياً والجهة المعاكسة معرضة إلى إشعاع شمسي أقل وأحياناً تتعرض إلى رطوبة جوية فيحصل هناك فارق بدرجات الحرارة بين الجهتين يؤدي إلى حدوث تمدد وانكماش، إذ أن الجدران المعرضة لأشعة الشمس تتمدد والجهة الأخرى تكون في حالة انكماش بفعل البرودة ونتيجة لهذا الفارق حصل التحدب والميلان في الجزء العلوي من المئذنة الذي يحوي الحوض والرقبة والذي انهار وأعيد بناؤه في فترات أخرى لاحقة ، وذلك بمعالجة بدن المئذنة من تأثير الاجهادات بطريقة تثبيت أسسها بالركائز الحديدية الجذرية عام (١٩٨١) [٢٩] .

ثالثاً- الأملاح:

تعد الأملاح من العوامل التي تشكل ضرراً على المباني لما لها من تأثيرات كيميائية وإنشائية على المبنى ، إذ تؤدي إلى تصدع الجدران وتشويهها، ويمكن تقسيم الأملاح التي تعمل على تلف المبنى على نوعين ، هما:

أ- الأملاح الذائبة.

ب-الأملاح غير الذائبة.

إذ أن التربة تحتوي على الكثير من الأملاح المختلفة مثل الكلوريدآت والكبريتات والفوسفات والنترات والكربونات التي تعد من أهم العوامل المساعدة في تلف المباني الأثرية عند ذوبانها بالماء وتنتقل إلى البناء بمساعدة الرطوبة والتبخر[٣٠].

أما الأملاح غير الذائبة فهي تكون في المادة الإنشائية المكونة للبناء مثل الطابوق والجص فتتفاعل الأملاح في داخلها مع عناصر الرطوبة أو الماء محدثة تفاعلات كيميائية مضرة بالمبنى [٣١]، فالماء هو العامل المحرك لحركة الأملاح التي تظهر بشكل متبلور أو متزهر نتيجة امتصاص الطابوق للماء، وغالباً ما يحتوي على كميات كبيرة من غاز ثنائي أوكسيد الكاربون ويكون مذاباً فيه وبذا يكون عبارة عن حامض الكربونيك المخفف الذي يذيب قسماً من كربونات الكالسيوم ويحولها إلى كربونات الكالسيوم الحامضية ،وهي مادة قابلة للذوبان بالماء تعمل على السطح وإن هذه المادة قلقة وغير ثابتة إذ سرعان ما تفقد ماؤها وتتحول إلى أملاح الكلس التي تترسب على وجه البناء بشكل متبلور أو غير متبلور وهو ظهور كتل ملحية على شكل بلورات صغيرة جدا وتنتشر بكثرة احيانا في اسس المباني والجدران وكل هذا يعتمد على مسامية المواد الإنشائية ونوع القيمة المستعملة فيها ويظهر ذلك جليا في صنع الطابوق مثلاً الذي تحتوي طينته على الغرين والرمل إضافة إلى ترسبات الطينة نفسها التي ممكن أن تحتوي على أملاح كثيرة فضلاً عن درجة الحرارة بالجو والرطوبة النسبية ومستوى الماء الأرضي وهذه العوامل منفردة أو مجتمعة تؤثر على ظهور نسبة الأملاح على المباني [٣٢].

وتلعب الرطوبة مع درجة الحرارة دوراً كبيراً في عملية إذابة وإعادة بلورة الأملاح ، ففي حالة ارتفاع نسبة الرطوبة وانخفاض درجة الحرارة تذوب الأملاح القابلة للذوبان في الماء وتنتشر داخل مسام الأحجار الخاملة والطابوق والجص ، وفي حالة تبخر الماء وارتفاع درجة الحرارة تكون الفرصة متاحة لبلورة الأملاح ويمكن لبلورات الملح أن تتفاعل بزيادة حجمها نتيجة تعرضها للهواء [٣٣]، ويمكن التخلص من الاملاح بواسطة طريقة المبزل القاطع والتي تم التطرق اليها في الحديث عن المياه الجوفية[٣٤].

والطريقة الثانية هي تقوية المادة الضعيفة في البناء بمواد لا تسد مسامها ومن أفضل المواد التي يمكن استخدامها في هذا الغرض محلول النيو سليلوز في الأسيتون أو محلول الكلاتون الذائب في الكحول الأثيلي الساخن (٩٠%) ، ويمكن إزالة الأملاح من السطوح غير المنقوشة وغير الملونة وإذا كانت ملونة يفضل تثبت الألوان قبل البدء باستخلاص الأملاح بالمحاليل التي لا تسد مسام المواد وغالباً

ما تستخدم طريقة الحمامات المائية وهي تغطية السطوح الملونة بعد تثبيتها وغير الملونة كذلك بالماء العذب وبعض المحاليل لإزالة عوالق الأملاح [٣٥].

وهناك طريقة أخرى تقتضي بأكساء الجدران بعد غسلها بالماء بطبقة جديدة خفيفة مشابهة لخواص المادة الأصلية وذات مسامية عالية بحيث تسمح بحدوث التبلور، بين الكساء القديم والجديد مما يؤدي الى تقشر طبقة الكساء الجديد بعد مدة دون أن يحدث ضرراً على المادة الأصلية وبذلك تكون عملية الأكساء هذه هي للمحافظة على مظهر البناء بين فترة وأخرى [٣٦].

وعلى الرغم من كثرة طرق معالجة الأملاح إلا أن بعضها يكون له عيوب في المعالجة، فهناك طرق تستمد في معالجتها على استعمال حامض الكلوريك المخفف وهذا الحامض يفاعل كربونات الكالسيوم في الأوجه المعرضة للملح، إذ ان عيوب هذه الطريقة تتلف الوجه وتقلل من تماسكه إذا احتوت المادة المراد معالجتها سواءً أكانت طابوقاً أم حجراً أم جصاً على مواد كلسية بنسبة عالية التي يمكن أن يتلفها الحامض عند إذابته ، لذلك يجب فحص المواد قبل أن تتم معالجتها ليتسنى معرفة تركيبها الكيميائي وقيمة ذلك التركيب لتتم معالجته بصورة مناسبة وصحيحة، والمعالجة الأهم في جميع الأضرار هو منع وصول المؤثرات أياً كان نوعها للمباني، فبالنسبة لمعالجة الأملاح فإن المؤثر الفعال في ظهورها هو الرطوبة سواءً أكانت من الأسس بفعل الرطوبة وخاصية (التوصيل الشعري) أم من السطوح بفعل سواء تصريف مياه الأمطار [٣٧].

رابعاً- الريـاح

يأتي ذكر الرياح في الوطن العربي وفي العراق بعد الضغط الجوي نتيجة للترتيب الدراسي لعناصر المناخ وليس بالنسبة للدور الذي تحتله الرياح كعنصر مؤثر في طبيعة المناخ ، لأن الأمطار في العراق والوطن العربي لها الصدارة من حيث الأهمية كعنصر مؤثر في الطبيعة والمناخ بصورة عامة، ولاشك أن الرياح تقوم بعاملين عامل هدمي متمثل بالنحت والتعرية بإحدى الوسائل وهي التذرية وتتم بواسطة قوة دفع الهواء وضغطه واحتكاكه بالسطح فحيثما وجدت مساحة من سطح الأرض الجافة المحتواة على مواد متفككة أو قليلة التماسك مثل حبيبات الرمل الخشنة التي تحملها بعيداً عن مصادرها، والوسيلة الأخرى للرياح التحزيز وتتم بواسطة الرياح المحملة بالرمل، إذ تعمل هذه الرياح على نحت الصخور والمواد

الأخرى في طريقها محدثة خطوطاً دقيقة فيها وتكون عادة في اتجاه الريح وهذا ما نراه في الصخور الصحراوية والمباني التي تعمل على تأكلها [٣٨].

وبالنسبة للعراق بصورة عامة فإنه يتأثر بنوعين من الرياح، رياح شمالية غربية قادمة من البحر المتوسط وغالباً ما تكون رطبة وباردة، ورياح شرقية ناتجة عن الضغط الأسيوي وغالباً ما تلتقي هذه الرياح في وسط وجنوب العراق محدثة أمطاراً تؤدي إلى ارتفاع الرطوبة النسبية في تلك المناطق[٣٩]، وأن اتجاه الرياح وسرعتها لها أثر في تلف المباني فعندما يكون اتجاه هبوب الرياح موازياً لسطح البناء يكون نحت الرياح بشكل خطوط مستقيمة وغائرة تساهم في تلف معالم البناء وزخارفه وكتاباته، وأما إذا كان اتجاهها عمودياً فيكون النحت على شكل تجاويف دائرية، وكلما زادت سرعة الرياح وشدتها فهي تزداد خطورة على ذلك لقدرتها على حمل حبيبات الرمال الأكثر والأكبر [٤٠].

ولا يقتصر تأثير الرياح فقط على النحت والإرساب بل لها تأثير كبير في عملية التغير المفاجئ الذي يحدث في درجات الحرارة نتيجة احتفاظها عند انتقالها بدرجة الحرارة القادمة منها فضلاً عن تغير منسوب الرطوبة والضغط الجوي نتيجة الرياح، وكل هذه العوامل لها تأثير على خلخلة البناء وتفكك حبيباته مما يساعد على ضعف الأجزاء المجوفة في المباني فضلاً عن الزخارف البارزة والمخرمة لاسيما تلك المعمولة من الجص، إذ يسهل على الرياح نحتها [٤١].

ومن اهم الاساليب التي من الممكن التقليل فيها من خطر الرياح على المباني الاثرية هي :

١ .ازالة الرمال من حول المباني التراثية والتاريخية .

٢ .اقامة مصدات للرمال المتحركة .

٤ .تثبيت الارض حول المباني لمنع انجرافها مع الريح .

٥ .تشجير المناطق المجاورة للمباني الاثرية والتراثية[٤٢].

خامساً- الأمطار الحامضية

تنتج الأمطار الحامضية عن الاستخدام المتزايد لجميع أنواع الوقود مثل الفحم ومشتقات البترول المختلفة في الصناعات ومحركات إنتاج الطاقة الكهربائية ومحركات المركبات بجميع أنواعها المختلفة

والاستخدامات المنزلية الى اختلاطها بمياه المطر أثناء سقوطه وتفاعله معه وتحول مياه الأمطار إلى محاليل صمغية، نتيجة لتلوث هوائنا بالغازات الكيميائية المنبعثة من تلك الاستخدامات أو بفعل الإشعاعات الناتجة عن التفجيرات والحروب التي أثرت على البيئة بصورة عامة بكل أصنافها، لذا فإن قطرات المطر أثناء نزولها تختلط بكمية التلوث الحاصل وتسقط حاملة معها جسيمات الحوامض والمواد المشعة أو الملوثة، وغالباً ما يحوي المطر الحمضي على ثاني أوكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين المنبعثة من مصادر بشرية وصناعية تتخذ جزيئات الماء في الغلاف الجوي أشكالاً متعددة على هيئة سحب أو ندى أو مطر وثلج وبرد والتي تكون متحدة مع غاز ثنائي أو كسيد الكبريت فتنتج حامض الكبريتيك مع غاز أوكسيد النتروجين فتنتج حامض النيتروز ومع غاز ثنائي أوكسيد النيتروجين فينتج حمض النتريك وتتم عملية تحول الماء المتساقط إلى أحماض في مواقع الغازات المسببة للحمضية أو في مواقع أخرى تبعد مئات الكيلومترات عن مصادر الغازات وتتساقط عليها على شكل تساقط حمضي يؤثر في المنشآت والمباني والأعمال الفنية والتاريخية بالمدن كما يتفاعل مع مواد البناء والطلاء[٤٣]، وقد تعرضت كثير من القصور والمعابد والهياكل الأثرية في العديد من دول العالم ولاسيما الأوربية إلى التآكل والنحت والإذابة مثل مدينة استكهولم في السويد التي أصابها الضرر الحمضي وأدى إلى إتلاف القصر الملكي وبعض الكنائس وقد تم حصر نحو (٢٧) مدينة أوربية تتعرض مبانيها للنحت والإذابة، بسبب التركيز العالي للأمطار الحمضية [٤٤].

أما في العراق فلا توجد هناك دراسة جادة توضح كمية الضرر الناتج عن هذه الأمطار وأثرها على النظام البيئي والعمراني، سيما أن البلاد منذ مدة ليست بالقليلة تعاني من مواد سامة مصدرها الحروب والانبعاثات التي خلفتها المواد الكيميائية الناتجة بفعل الحروب أو بفعل الاستخدام البشري الخاطئ لمصادر الطاقة، لهذا فأن الأمطار بصورة عامة سواءً أكانت حامضية أم بشكل تساقط طبيعي هي من العوامل المؤثرة في المباني تبعاً لكمية سقوط المطر والظروف المحيطة لكل منطقة حيث أن كمية الأمطار الساقطة تختلف من منطقة إلى أخرى مضافاً إليها درجات الحرارة ونوع التربة فارتفاع درجات الحرارة يزيد من كمية المياه المفقودة، وأن انتشار التربة المسامية يؤدي إلى فقد كميات كبيرة من المياه [٤٥]، وهذا ما يحدث في العراق الذي يتسم فيه موسم سقوط المطر بالتذبذب والذي يبدأ من تشرين الثاني وتتباين في توزيعها المكاني فتزداد كلما تقدمنا نحو الشمال وتقل كلما تقدمنا نحو الجنوب والجنوب الغربي ويعود ذلك إلى اختلاف البيئة الشمالية عن البيئة الجنوبية في العراق من حيث التضاريس ودرجة

الحرارة التي على أساسها تحدد الصفة العامة للمناخ، وهذا التذبذب والاختلاف في عناصر المناخ في العراق أدى إلى اختلاف البيئة العمرانية لأقاليمه الشمالية عن الجنوبية فضلاً عن مدى تأثر المباني بعناصر المناخ لكل إقليم، ويتم حساب كثافة الأمطار بقسمة كمية الأمطار على فترات سقوطها محسوبة بالساعة ويفيد قياس متوسط كثافة الأمطار في تتبع مدى إمكانية الاستفادة أو الضرر من مياه الأمطار، إذ يعطي هذا المتوسط معدل تسرب المياه في الطبقات الأرضية أو اندفاعها في شكل فيضانات مدمرة في حين لا يؤدي انهيارها – بنفس الكمية– خلال مدة زمنية اطول تتكون نصف يوم (١٢ ساعة) إلى النتائج نفسها، نتيجة إلى تسرب جزء منها إلى الطبقات الأرضية وتبخر جزء آخر سواء على سطح الأرض أو خلال طبقات الجو أثناء السقوط، ومعنى ذلك أن كثافة الأمطار تفيد في تحديد الأثر الفعلي لها سواء على الحياة أو على المباني[٤٦].

سابعاً– الغازات المحيطة وتلوث الجو

لقد تزايد التلوث الجوي في الآونة الأخيرة تبعاً لتزايد مصادره بفعل الحروب ومصادر الانبعاثات من المصانع وعوادم السيارات وغيرها مما ساعد على انتشار الغازات والحوامض في الهواء التي يمكنها التفاعل مع الهواء الجوي وبظروف جوية مثل الضوء والرطوبة ودرجة الحرارة وبمساعدة تلك الظروف تتحول إلى مواد مضرة للمعادن والأحجار والأنسجة وغيرها ويشكل الهواء الجوي حالياً إحدى المشاكل الكبرى التي تهدد الآثار وتساعد على تلفها لدرجة أن بعض الدول اضطرت إلى استبدال التماثيل بأخرى من الجص أو طلائها بمادة عازلة وهذا ما يكلف الكثير [٤٧].

وأثبتت الدراسات أن الغازات المحيطة بالجو هي ذات اثر فعلي لا يقل خطورة عن المسببات الأخرى، فمثلاً وجود ثاني أوكسيد الكبريت الذي يتحول بوجود الضوء إلى ثالث أوكسيد الكبريت وهو في أعلى معدلاته أثناء النهار، وبذلك يكون من أكثر الغازات الجوية ضرراً بالمباني الأثرية بشكل عام ، إذ يتمتع هذا الغاز بسرعة تفاعله مع المواد البنائية والسطوح الجصية بفعل وجود الرطوبة في هذه المواد، مما يتسبب في نخر وتآكل المواد التي امتصته[٤٨]، وكذلك غاز ثنائي أوكسيد الكاربون Co_2 الموجود في الهواء الجوي وهو المسؤول على النشاط الإنساني بنسبة(٢%) فقط من مكوناته الطبيعية ، في حين إذا ازدادت هذه النسبة عن الحد الطبيعي يعد غازاً ملوثاً سينا اذا وجد في المباني المغلقة والأثرية التي لا

توجد فيها تيارات هوائية تتخلص من تركيز هذا الغاز مما يؤثر على المباني باتحاده مع عناصر أخرى متلفاً المواد البنائية بإظهاره الأملاح عليها [٤٩].

سادساً: الزلازل والصواعق

لا يمكن للإنسان التنبؤ بحدوث الزلازل وكيف ومتى الا قبل وقت قصير من حدوثها حيث يسعى لدرء اخطارها ، وتسبب الزلازل والصواعق اضرار بالغة للأبنية الاثرية مثل الخلخلة والتشقق واحيانا الانهيار وغيرها من الاخطار ، وتتناسب هذه الاخطار مع شدة الزلازل ومدته ، فالجدران ضعيفة الترابط وعناصر البناء المفصولة جزئيا كالمداخل والابراج والزوايا وعناصر الربط الضعيفة تكون عرضة للسقوط الكلي ، و في حالة الصواعق فأمكن عن طريق تركيب مانعات الصواعق لردء اخطارها ، وفي هذه الحالة لابد من دراسة المبنى التاريخي ودراسة توزيع تركيب مانعات الصواعق واجراء فحص دوري لها رغبة في ابقائها جاهزة الفاعلية[٥٠]، وخلاصة القول ان الزلازل والصواعق تسبب في تدمير الكثير من المواقع والمباني الاثرية والتراثية لتتركها فيما بعد لعاديات الزمن وتقادمه كما حصل ذلك منذ وقت قريب على احد جدران حصن الاخيضر في كربلاء المقدسة مما ادى الى حدوث تصدع بفعل الهزات الارضية والصواعق وقد تم اصلاحه ومعالجته[٥١].

سابعاً- تأثير الكائنات الحية على المباني

أولاً- النمل الأبيض(الأرضة)

يعد النمل الأبيض أو الأرضة من أكثر الحشرات ضرراً أو تأثيراً على مواد البناء، ولاسيما أن الإصابة بالنمل الأبيض لا تلاحظ إلا عند استفحال المشكلة نظراً لما تتميز به معيشة النمل الأبيض من حياة تتسم بالسرية بعيداً عن الضوء، فيما عدا في فترات الهجرة وتكوين مستعمرات جديدة التي يتحول فيها لون الحشرات من اللون الأبيض إل اللون البني الداكن، إذ تكون لها القدرة على التعرض للضوء مع تكون الأجنحة استعداداً لغزو منطقة أخرى من البناء، وغالباً ما يتخذ النمل الأخشاب ملاذاً له، وذلك لأنه مادة عضوية تحتوي على نسبة معينة من السليلوز حالها حال المخطوطات والمنسوجات ويمكن ملاحظة وجودها عن طريق رؤية الأنفاق التي تشبه الرمل أو وجود أجنحة متكسرة [٥٢] ، ويتمثل دور النمل

الأبيض في عمليات تلف المباني فيما يقوم به من حفر أنفاق يتخذها مأوى له في التربة أسفل الأساسات ما يؤدي إلى خلخلة التربة، ومن ثم تصدع المباني أو الجدران فضلاً عن تأثيره على الملاط أو طبقة المونة أو الأخشاب التي تحمل عناصر إنشائية هامة في البناء والتي تعمل على تفتيتها ومن ثم فقدان صلابتها وتماسكها [٥٣].

ثانياً- الكائنات الحية الأخرى

تقوم الكائنات الحية بدور مماثل لعوامل التلف الأخرى ومنها ما هو يرى العين المجردة مثل الفئران والطيور التي تسبب فضلاتها وجثثها وأعشاشها تفاعلات حمضية تؤثر على المباني، وهناك الكائنات المجهرية التي تساعدها ظروف معينة على العيش في المباني الأثرية ومنها الرطوبة، إذ تظهر هذه الكائنات على شكل بكتريا وطحالب وفطريات تؤثر على أساسات المبنى وجدرانه [٥٤].

الهوامش:

[١] عثمان، محمد عبد الستار، المدينة الإسلامية، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، ١٩٩٠، ص٩٤.

[٢] الصبيحاوي ، حيدر فرحان حسين ، المعالجات التخطيطية والمعمارية لأثر البيئة الطبيعة في المدينة العربية الإسلامية في العراف حتى سنة ٦٥٦هـ/١٢٥٨م، أطروحة دكتوراه غير منشورة مقدمة الى مجلس كلية الآداب، جامعة بغداد، ٢٠١٤، ص٨.

[٣] محمد، هيثم قاسم، حلول البناء في مباني الموصل خلال العصور الإسلامية، أطروحة دكتوراه غير منشورة مقدمة الى مجلس كلية الآداب، جامعة الموصل، ٢٠١٢، ص٤.

[٤] عبد العزيز، فتحي، الأصول العامة في الجغرافية المناخية والنباتية ، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية ، ٢٠٠٣، ص٢٧٦.

[٥] عبده وجاد الله ، طلعت أحمد وحورية محمد ، في أصول الجغرافيا العامة ، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية ، ٢٠٠٠م ، ص٥٩٥.

[٦] ياسين، رشا عبد العظيم، دراسة تأثير التلف البايولوجي على المكونات الثرية"، مجلة الملوية للدراسات الأثارية والتاريخية، مج ٤، ع ٨، ٢٠١٧، ص٢٧٧.

[7] Darwish,s.s,Elhadidi,the effect of fungal decany on ficussycomorous wood ,international conservation science,vol 4,Issue3,2013,271-282.

[٨] شاهين، عبد المعز، الاسس العلمية لعلاج وترميم وصيانة الكتب والمخطوطات والوثائق التاريخية، القاهرة، الهيئة العامة للكتاب ،١٩٩٠، ص٧ .

[٩] شيمري، لور، المناخ، ، ط١، السعودية، ٢٠١٤، ص٦٢.

[١٠] مزاري، الرطوبة في المباني، ص٩.

[١١] الرواف، إنشاء المباني، ص٣٢.

[١٢] السرحان، فرح فاهم ، " تأثير الرطوبة على المباني وطريقة عزل الرطوبة، ومواد العزل المستخدمة"، مقال على الموقع الرسمي لكلية الهندسة جامعة بابل، ٢٠١١،

engineering.uobabylon.edu.iq

[١٣] صليب ، مرفت ثابت ، تأثير المياه الجوفية على المباني الاثرية ، ط١، الدار العلمية للنشر، مصر،٢٠٠٨، ص٧.

[١٤] الشكرجي، والمحمدي، يوسف ونوري، هندسة الأسس، بغداد، ١٩٨٥، ص١٥٤.

[١٥] الشكرجي ، والمحمدي ،هندسة الاسس ، ص ١٥٦.

[١٦] الحديثي، عطا، " مئذنة الكفل" ، مجلة سومر، ١٩٧٤، ص١٢٢.

[١٧] للمزيد من التفاصيل: انظر الوثيقة رقم ا ر هـ ت والمؤرخة في ١٩٣٩/٩/٣، قسم التوثيق التراثي، الهيئة العامة للآثار والتراث.

[١٨] الكرعاوي، عقيل حماد، مئذنة الكفل تاريخها- عمارتها- صيانتها، أمانة مسجد النخيلة التاريخي والمزارات الملحقة به، ١٤٣٥هـ- ٢٠١٤م، ص٦٦.

[١٩] بارح، محمد جواد، تقرير مفصل عن أعمال هيئة التعري والتنقيب، الكفل، الموسم الأول عام ١٩٩٩، قسم التوثيق، رقم ١٧/هـ ت.

[٢٠] موسى، مريم عمران، الكفل ، الهيئة العامة للآثار والتراث ، ص٣٢.

[٢١] الكفلاوي، التشقق والانهار ، ص٥٤.

[٢٢] شرف، محمد إبراهيم، خرائط الطقس والمناخ، دار المعرفة الجامعية، مصر ، ٢٠٠٥، ص٢٢.

[٢٣] وزيري، يحيى، تطبيقات على عمارة البيئة، مكتبة مدبولي، ٢٠٠٢، ص٢٥.

[٢٤] كنانه، محمد ثابت، وآخرون، مبادئ علم الجيولوجيا الهندسية، بغداد، ١٩٧٩، ص٢٠١.

[25] Paude, smith (Hand book of moisture Determination and Control: Principies, Techinques, A application), New York, 1974,P.26

[٢٦] الموسوي، هاشم عبود، العمارة والمناخ، ط١، عمان، ٢٠٠٧، ص٨١.

[٢٧] ساكو، زهير، إنشاء المباني، ص٢١٠.

[28] Feiled, Bernard, conservation of History Buildings, Londin, 1982, vol.2,p.88.

[٢٩] الكفلاوي، التشقق والأنهيار، ص٢٩.

(٣٠) فرج ، منتهى خالد ، "تأثير العوامل الطبيعية على المباني التراثية في مدينة سامراء انموذجا "، مجلة الملوية للدراسات الاثارية والتاريخية ، مج ٣ ، ع ٦ ، ٢٠١٦ ، ص ٣٣ .

(31) Willam, Yong, (Salt Action on stone in Heritage Building USA , Boston 1973, P. 140.

(٣٢) الرواف، يوسف، انشاء المباني والمواد البنائية، ط٦، ١٩٨٢، ص١٠.

(33) Croci , G, The conserration and Strutural restoration of architectural computational mechanice pub USA , 1996, P. 12.

(٣٤) ينظر الى : المياه الجوفية ، ص ١٠ .

(٣٥) خطاب، سعيد علي، ترسيم وصيانة المباني الأثرية المعمارية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، ٢٠٠٨، ص٨٤.

(٣٦) اللامي، علاء حسين جاسم، أساليب صيانة المباني التراثية العراقية للفترة ١٨٠٠-١٩٥٠، رسالة ماجستير غير منشورة مقدمة إلى كلية الآداب جامعة بغداد، ٢٠٠٨، ص٣٨.

(37)Hodges ,Rather ,(The Use Electro dialysis to Remove Soluble Salts) , Iccrom , 1970, p. 77.

(٣٨) أبو راضي، فتحي عبد العزيز، أسس الجغرافية الطبيعية، دار المعرفة الجامعية، ٢٠٠٦، ص٣٠٠.

(٣٩) العاني والمشهداني، خطاب صكار وإبراهيم عبد الجبار، جغرافية الوطن العربي، ط١ ، جامعة بغداد ، ١٩٩٩، ص١١١.

(٤٠) عفيفي، هالة، دراسة استخدام التقنيات النحت والاستنساخ في عمليات ترميم الآثار وتنطبق على بعض الآثار الجصية الإسلامية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآثار، ٢٠٠١، ص١٤٤.

(41)Honey borne B.,D., weathering and decay of masoury, in conservation of building ston, Butter worth Heinemann, 1998, p.153-180.

(٤٢) شاهين ، ترميم وصيانة المباني الاثرية والتاريخية، ص ٢٠٤ .

(٤٣) العيساوي، فايز محمد، أسس الجغرافية البشرية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ٢٠٠٦، ص٣٥٥.

(٤٤) أبو راضي، فتحي عبد العزيز، الأصول العامة في الجغرافية المناخية والنباتية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ٢٠٠٣، ص٤٣٠.

(٤٥) شرف، محمد إبراهيم محمد، جغرافية لمناخ والبيئة، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ٢٠٠٤، ص٣٥٣.

(٤٦) العاني والمشهداني، جغرافية الوطن العربي، ص١١١.

(٤٧) العودات، محمد، التلوث وحماية البيئة، ط٣، الأهالي للطباعة والنشر، الجزائر، ١٩٩٨، ص٥٤.

(48) Fassina, V,. Air Pollution of stone decay in " the deterioration and conservation of stone", Unisco, 1983, p.135.

[49]Mora, P.Mor, Land Philpot, conservation of wall paintings, Iccrom,Scotland, 1984, p.184.

[٥٠]شعث ، المعالم التاريخية ، المؤتمر السادس عشر للأثار والتراث ، الكويت ، ٢٠٠٣ م ، ج١، ص٥٢ .

[٥١]اثناء زيارتنا الميدانية للموقع .

[٥٢] البنا، عبد الفتاح ، دراسة مقارنة للمواد والطرق في علاج وصيانة الآثار الحجرية وتأثيرها على خواصها، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٠، ص٨٩.

[٥٣] شاهين، ترميم وصيانة المباني، ص١٨٠.

[٥٤] عفيفي، دراسة استخدام التقنيات، ص١٤٥.