ينتج من إتحاد العناصر المفصولة بالغسل والماء هيدروكسيد قلوى عند تفاعل الهيدروكسيد القلوى مع غازات التلوث الجوى ، تنتج أملاح مختلفة مثل الكربونات فى وجود ثانى أكسيد الكربون Co_2 ، ونلاحظ أن وجود غاز ثانى أكسيد الكربون Co_2 منفرداً لا يكون له تأثير خاص ، أما فى حضور الماء وبملامسة الأكسجين فإنه يصبح عامل تلف لا يستهان به حيث يتحول إلى حمض الكربونيك طبقاً للمعادلة الآتية :

$$Co_2 + H_2o \longrightarrow H_2Co_3$$

ويمكن إيجاز نواتج التلف " الكربونات " الناتجة عن حمض الكربونيك على أسطح الزجاج وهى : .

- كربونات البوتاسيوم K_2Co_3
- كربونات الصوديوم Na_2Co_3
- كربونات الكالسيوم " الكالسيت " $CaCo_3$
- ثنائيات التميؤ للصوديوم والكالسيوم $Na_2Ca\ (Co_3)\ 2H_2O$.

كما ينتج من تفاعل So_2 مع الكربونات التى تكونت عن طريق تفاعل الهيدروكسيدات مع Co_2 لينتج الكبريتات على سطح الزجاج .

$$(OH)^- + Co_2 \longrightarrow Carbonates$$

$$Carbonates \xrightarrow{So_2 + H_2o} Sulfates$$

كذلك تنتج الكبريتات فى وجود ثانى أكسيد الكبريت So_2 **الذى** يتحول إلى ثالث أكسيد الكبريت So_3 بعد تأكسده ، و الذى يذوب بسرعة فى بخار الماء الموجود فى الجو متحولاً إلى حمض كبريتيك .

$$So_2 + O_2 \longrightarrow So_3$$
$$So_3 + H_2o \longrightarrow H_2So_4$$

ويهاجم حمض الكبريتيك الزجاج ويتفاعل مع العناصر القلوية المفصولة بالغسل ليعطى كبريتات تلك العناصر والتى تختلف فى مقدار ذوبانها ، وهى التى تُكون طبقات أو نواتج التلف على أسطح الزجاج فعلى سبيل المثال يتفاعل هيدروكسيد البوتاسيوم مع حمض الكبريتيك لينتج كبريتات البوتاسيوم . ويمكن إيجاز نواتج التلف " الكبريتات " الناتجة عن حمض الكبريتيك على الأسطح الزجاجية والتى تختلف فى معدلات قابليتها للذوبان : –

- كبريتات البوتاسيوم : K_2So_4 ذات قابلية للذوبان 120 جرام/ لتر .
- كبريتات الصوديوم : $Na_2\ So_4$

- كبريتات الماغنسيوم : $MgSo_4$
- كبريتات الكالسيوم المتميئة " الجص Gypsum" $CaSo_4$ (H_2o) و لها قابلية ضعيفة للذوبان 2.4 جرام/ لتر .
- كبريتات الكالسيوم والبوتاسيوم : " السنجنيت Syngenite " K_2Ca (So_4) $2H_2o$ وهى ذات قابلية ضعيفة للذوبان 2.5 جرام/ لتر .

ب – الحرارة : – Temperature

إن الخطورة الكامنة من تغير درجات الحرارة على الزجاج الأثرى تتحدد فى مظهرين للتلف يتمثلان فى : –

1 – إذا تعرض الزجاج لتغير موضعى لدرجة الحرارة بشكل مفاجئ وكبير فإنه سوف ينكسر . فالبناء الزجاجى له خاصية توصيل سيئ للحرارة .

2 – الزخارف والرسومات التى تطبق على الأسطح الزجاجية لها معامل تمدد وانكماش تختلف عن معامل تمدد وانكماش الزجاج الخالى من الزخارف ، ويرجع ذلك إلى وجود أكاسيد معدنية فى تركيب الملونات لذا فإن الاستمرار فى تذبذب درجات الحرارة بين الارتفاع والانخفاض يؤدى إلى انفصال طبقات الألوان من على الأسطح الزجاجية والتعجيل من تلف وسقوط تلك الملونات . ويعتمد ذلك أساساً على طبقة المواد الملونة وما تحويه من أكاسيد معدنية مكونة لها . كذلك طريقة التطبيق لتلك الملونات فإن تطبيق الملونات على البارد يجعلها عرضة للتساقط بشكل أسرع . كذلك التطبيق فى درجات حرارة منخفضة لا تسمح باندماج المادة الملونة داخل سطح الزجاج مما ينتج عن ذلك تساقط للزخارف والرسومات التى تطبق على الأسطح الزجاجية . كما أنها تعمل كعامل مساعد فى مراحل تلف الزجاج بفعل الرطوبة فالتذبذب فى درجة الحرارة يعمل على أنكماش طبقة السليكا المتميأة وأصابتها بالتشقق .

جـ – الضوء : . Light

إن تعرض الزجاج للضوء (الطبيعى والصناعى) وما يحمله من إشعاعات ضارة تؤدى إلى ظهور مظاهر التلف على الآثار الزجاجية . فالإشعاعات الضوئية لها تأثير كيميائى – ضوئى Photochimique على الزجاج .

فالأشعة الضوئية ، تحت الحمراء أو فوق البنفسجية ، تكون ضارة على الزجاج وبشكل خاص على الزجاج المصاب بتغيرات فعلية فمثلاً الزجاج المصاب بالتشققات الدقيقة Crizzling ، والذى

يكون له نسق زجاجى مفتوح يمكن أن يتغير لونه بدرجات تتراوح من اللون البنى الباهت ، وحتى البنى الفاقع المائل للبنفسجى .

كما أن الأشعة تحت الحمراء يكون لها تأثير حرارى يمكن أن يسبب تغيرات مفاجئة للرطوبة النسبية أو يسبب تسخين موضعى شديد يضر بحالة الزجاج الأثرى . أما الأشعة فوق البنفسجية ينتج عنها تلون الزجاج بدرجة لون خفيفة ، أو ما يطلق عليه ظاهرة التشميس Solarization حيث تميل بعض الألوان إلى التلون بدرجة من اللون الأرجوانى Purple . كذلك عند تعرض الزجاج لأى إشعاعات طبيعية أو صناعية ، كالأشعة السينية فإنه يصاب بالإعتام .

والسبب المباشر فى تلوين الزجاج عديم اللون عند تعرضه للأشعة بدرجة من اللون الأرجوانى ، إنما ينتج عن تفاعل أكسيد الحديديك Fe_2o_3 الموجودة كشوائب فى المواد الخام المستخدمة فى صناعة الزجاج " وأكسيد المنجنيز الثنائى " Mno^{+2} المضاف إلى خلطة الزجاج لإزالة اللون الناتج عن تواجد أكاسيد الحديد حيث يختزل أكسيد الحديديك إلى أكسيد الحديدوز .

$$Fe_2o_3 + Mn^{+2}O \xrightarrow[\text{أو صناعية}]{\text{أشعة طبيعية}} FeO + Mn_2o_3$$

د- عوامل ومظاهر التلف البيولوجى للآثار الزجاجية:-

يعتبر نمو الكائنات الحية الدقيقة عاملاً مساعداً يؤثر فى تلف الزجاج . وتنقسم الكائنات الحية الدقيقة التى يمكن أن تنمو على سطح الآثار الزجاجية إلى : .

الفطريات : Fungi - البكتريا : . Bacteria - الطحالب : . Algae

ويرى نوتين Newton أن نمو الكائنات الحية الدقيقة من طحالب أو فطريات لا يهاجم الزجاج النظيف ، ولكن نموها يحتاج إلى إتساخات أو شحوم ، وأيضاً إلى حُفر تكون مركزاً تثبت نفسها من خلالها فوق سطح الزجاج وأصابته بالتآكل نتيجة اختزان هذه الكائنات للرطوبة ، مما يعجل من سرعة تلف الزجاج .

ولكن كرومبين Krumbein وفى الدراسة الشاملة التى أجرها على مظاهر التلف البيولوجي للزجاج أثبت ما يلى : -

- يمكن نمو الكائنات الحية الدقيقة على الزجاج النظيف " الغير محتوى على اتساخات أو شحوم " وذلك فى وجود قدر كاف من الرطوبة النسبية .

قسم ترميم الآثار
الفرقة الثالثة

- يتسبب نمو الكائنات الحية الدقيقة فى إيجاد طبقات حيوية Biofilms على سطح الزجاج مما يؤدى إلى تغير الخصائص الفيزيائية له .
- أن نمو الكائنات الحية الدقيقة يهاجم بعض العناصر الداخلة فى تركيب الزجاج مثل الفسفور (P) والبوتاسيوم (K) والحديد (Fe) والمنجنيز (Mn) والكالسيوم (Ca) وأن نموها يساعد بعض هذه العناصر على الهجرة ، بينما تتميز السليكا بالثبات وعدم الحركة أو الهجرة .
- أن نمو هذه الكائنات يسرع من العمليات الفيزيوكيميائية على سطح الزجاج ، حيث يمتص الماء من الجو .
- أن نمو هذه الكائنات يغير من قيمة الأساس الهيدروجينى PH لسطح الزجاج ، بعضها يخفض هذه القيمة إلى (2: 4) ، والبعض الأخر والذى يحتوى على أجزاء ذات تركيب ضوئى " مثل بعض أنواع الطحالب " يرفع هذه القيمة إلى أكثر من (10) .
- أنها تنقل الماء من مكان لأخر على سطح الزجاج ، مما يؤدى إلى خلق بيئة قابلة لنزح وهجرة المواد القلوية .