الفصل الثالث
العمليات الكيميائية
Chemical processes
التـــــآكل Corrosion

obeikandl.com

obeikandl.com

تتطلب دائما التفاعلات الكيميائية وجود مياه لذلك فإن التآكل الكيميائى يكون محتملا فقط عندما تتبلل مواد البناء بالماء .

والمياه لاتشكل – بصفة أساسية – أحد عوامل التلف الكيميائى لمواد البناء الأثرية، وذلك لأن هذا التأثير المتلف للمياه يكون مرتبطا بمادة البناء الأساسية ، والنشاط الكيميائى ، وطاقة الإذابة إلا أن المياه تمثل خطر جد كبير كمصدر محتمل للضغوط الداخلية ، ولكن ليس فى الغالب كعامل كيميائى.

وفى مناقشتنا للعمليات الكيميائية يكون من المفيد أن نميز بين المياه التى تأتى مباشر من الأمطار Rain water وبين المياه التى تترسب على سطح مواد البناء فى شكل طبقة رقيقة Water films بواسطة عمليات التكاثف Condensation.

٣-١- مياه الأمطار Rain water:

مياه الأمطار – غالبا – ماتكون حمضية ، لأن الهواء يحتوى على ثانى اكسيد الكربون والذى يذوب فى الماء مكونا حمض كربونيك وهو حمض ضعيف جدا.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

وفى مثل هذه الظروف فإن كربونـات الكالسيوم والماغنيسيوم الموجـودة فـى بعض مواد البناء ، مثل : مون وملاط الجير ، والحجر الجـيرى ، والرخـام ، ربما تتحول إلى بيكربونات ، وتتحلل ببطء.

كذلك فإن منتجات السيراميك ، مثل : الطوب ، والبلاط، – على وجه الخصوص – التى تتكون أساسا من : سيليكات الكالسيوم والألومنيوم ، التـى غالبا لاتذوب فى الماء ، بالإضافة إلى أن هذه المواد تتمتع بخاصيـة المنـع أو الصد لمياه الأمطار Quite resistant to rain water لكن يجب أن نضيف أن هناك تفاعلات تتم ببطء بينها وبين المياه الحمضية غير معروفة جيدا حتى الآن.

على الجانب الآخر فإن الطبقات الزجاجية Glazes أو الطلاءات التى تستخدم فـى زخرفـة البلاطـات ربمـا تكـون غنيـة بالأكاسـيد القاعديـة Alkaline oxides لذلـك فـإن بعضهـا يكـون قـابلا للذوبـان فىالمـاء الحمضى Soluble in acid water أو حتـى فـى المـاء المتعـادل In neutral water.

أيضا الأحجار الرملية ، تحتـوى علـى بعـض معـادن السيليكا مثـل : الميكا Micas والكلورايت Chlorites والفلسبارات Feldspars التى يحتمـل مهاجمتها بالماء فى نهايـة المطـاف . وعندمـا يحـدث تفـاعل بيـن هـذه المـواد والماء، قد يؤدى هذا التفاعل إلى نزح وفقدان بعض أيونات المعـادن ، مثـل : الكالسيوم والألومنيـوم والبوتاسـيوم والصوديـوم . مـع ملاحظـة أن معظـم الأحجار الرملية تبقى كما هى غير قابلة للذوبان فى الماء.

لكن فى حالة وجود معادن طفلة Clay minerals فإنها تصبح فى وجود الماء أكثر ليونـــــه، وأكثر تضخمـــا مـن المعـــادن الأصليـة Much softer and bulkier.

بالإضافة إلى ذلك فان الحجر الرملى عادة مايكون أكثر مسامية ، وبالتالى ربما تتخلله مياه الأمطار إلى أعماق كبيرة، كما أن الماء يظل على اتصال دائم ، وربما لوقت طويل، مع المعادن المكونة له ، لذلك فإنه يظل رطبا باستمرار ، خاصة مع وجود مياه التكاثف ، التى يكون لها دور أساسى فى عمليات التلف .

وبناء عليه فإن الطبقات السطحية ، وبسمك يصل إلى عدة ملليمترات قد تصبح طرية ومنتفشه أو منتفخة Softend and swollen مسببة تحلل شامل فى الأسطح المعرضة .

بصفة عامة فإن معدلات عملية التآكل تكون قوية جدا فى وجود الماء، وذلك يعتمد على مسامية المواد ونوع المعادن الموجودة بها .

أيضا فإن درجات الحرارة العالية تسبب تعجيل عمليات التآكل خاصة فى المناخ الرطب الاستوائى Wet Tropical Climates .

٣-٢- التلوث الجوى Polluted Atmosphere :

يحتوى الجو الملوث فى المناطق الصناعية فى أوربا " أو أى منطقة صناعية أخرى فى مصر مثلا .. مثل : شبرا الخيمة وحلوان " على كميات مختلفة من أكاسيد الكبريت الناتجة عن حرق الكبريت الداخل فى الوقود وأكسدة ثانى اكسيد الكبريت يؤدى إلى انتاج حمض الكبريتيك ، طبقا للمعادلة الآتية :

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

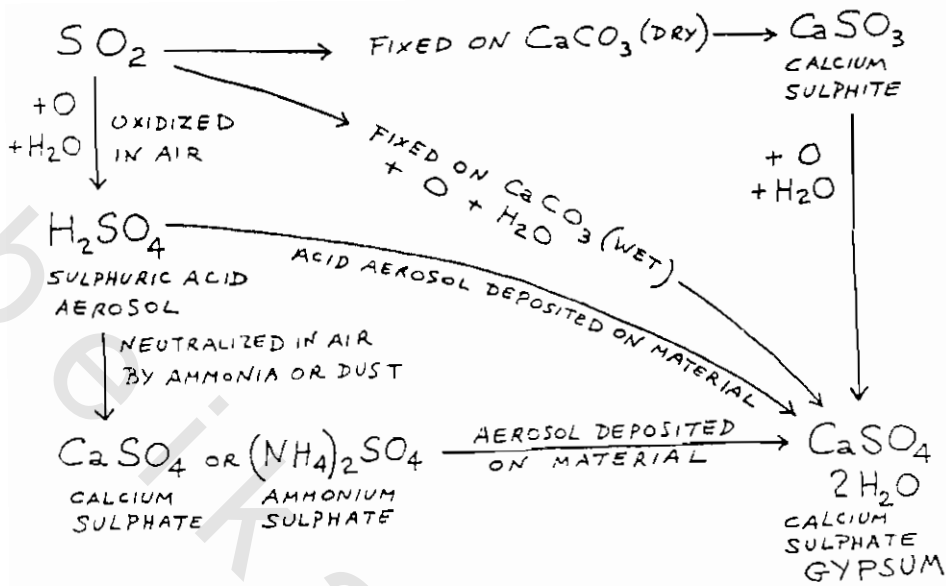
وحمض الكبريتيك حمض قوى ، على عكس حمض الكربونيك ، والماء الذى يحتوى على هذا الحمض يسبب تحلل العديد من المعادن مثل: الكربونات والسيليكات بمعدلات أسرع من الماء الذى يحتوى على حمض الكربونيك فقط.

وقد قام Winkler بحساب معدل تآكل الرخام فى المبانى الأثرية ، عن طريق ملاحظة عروق الكوارتز Quartz veins ووجد أن سطح الرخام يتآكل بنسبة ١ مم لكل ٢٥ سنة.

" أى ١سم/٢٥٠ سنة وهذه نسبة فى رأيى عالية جدا ، إذ أن ذلك يعنى أن البلاطات الرخامية التى تكسو جدران بعض المبانى الأثرية ، والتى يكون سمكها فى الغالب ٢سم ، قد تنتهى وتصبح غير موجودة فى ظرف ٥٠٠ سنة".

وعلى كل حال فإن تأثير تلوث الهواء على مواد البناء معقد جدا ، وغير معروف لنا تماما ، وذلك بسبب وجود العديد من الملوثات التى دائما ماتكون موجودة إلى جانب ثانى اكسيد الكبريت . وبعض هذه الملوثات من الممكن أن تكون سببا فى إنتاج أحماض أخرى غير حمض الكبريتيك .. مثل: حمض الهيدروكلوريك ، وحمض النيتريك ، وحمض الهيدروفلوريك ، وهذه أيضا لها تأثير متلف .

وفيما يلى رسم تخطيطى يوضح الطرق المحتملة التى من الممكن أن يهاجم بها ثانى اكسيد الكبريت مواد البناء المختلفة ، خاصة تلك التى تحتوى على مواد جيرية "ويؤدى فى النهاية إلى تلفها".



شكل رقم (٢٧) يوضح

الطرق المختلفة لمهاجمة غاز ثانى اكسيد الكبريت

لمواد البناء خاصة الجيرية

ويجب ملاحظة أن الملوثات لو انتشرت فى أحجام كبيرة من الهواء فإن محصلة التلوث تكون منخفضة. "على العكس من ذلك لو أن نطاق التلوث ضيق تزيد به نسبة الملوثات ".

ويمكن تحديد نطاق التلوث عن طريق قياس كمية الملوثات الموجودة به ، وكذلك يمكن تحديده عن طريق الظواهر والأحوال الجوية Meteorological factors .

٣-٣- عمليات البلل والجفاف Wet-Drying processes:

دائما تتغطى الأسطح المكشوفة من مواد البنـاء بواسطة طبقة رقيقة من المياه A film of water والتى تكون غالبا رقيقة جدا بحيث تسمح للميـاه بالتسرب من فوق السطح إلى الداخل.

وتتكون هذه الطبقة الرقيقة من الميـاه بواسطة التكاثف ، أو بواسطة تساقط قطرات المياه العالقة فى الهواء ، مثل : رزاز المطر Fine mist أثناء المطر ، أو الضباب Fog، والمياه فى هذا الشكل قد تسبب العديد من التكنيات بصورة أكثر من فعل أو تأثير ماء المطر الذى يصطدم بالأسطح المعرضـه ، لأنها غالبا ماتكون حمضية، وحاملة أو ناقلة لكل جزيئات الملوثات الموجودة فى الجو مثل : السناج Soot والغبار Dust ... الخ.

ونتيجة لذلك فإن ترسبات الشـوائب مـن الجـو، أو نواتـج تفـاعل الأحماض مع المياه قد تؤدى إلى تلفيات لاتمحى من أسطح المواد الأثرية.

أيضا فإن نقط المياه المتكثفة على أسطح مواد البناء عند تشبع الهـواء ببخار الماء ، ربما تتخللها لأعماق مختلفة داخـل المـواد نفسـها ، مستغلة فى ذلك مسام المواد أو الشروخ التى تكونت بواسطة عمليات تلف سابقة ، ولكـن هذه النقط المائيـة قد تعود مـرة ثانيـة إلـى السـطح لكـى تتبخـر عندمـا تسود ظـروف الجفـاف، "وتسـمى هـذه العمليـة دورة البلل والجفـاف Wetting-Drying Cycle".

ويمكـن أن تحـدث دورة الرطوبـة (البلل) والجفـاف عنـد تكرارهـا ، أيضـا، بعض التلفيات ، بسبب مهاجمة الأحماض فى حالة الرطوبـة أو بسـبب

تبلور الملوثات Crystallization of pollutants وتفاعلها مع أسطح مواد البناء فى حالة الجفاف.

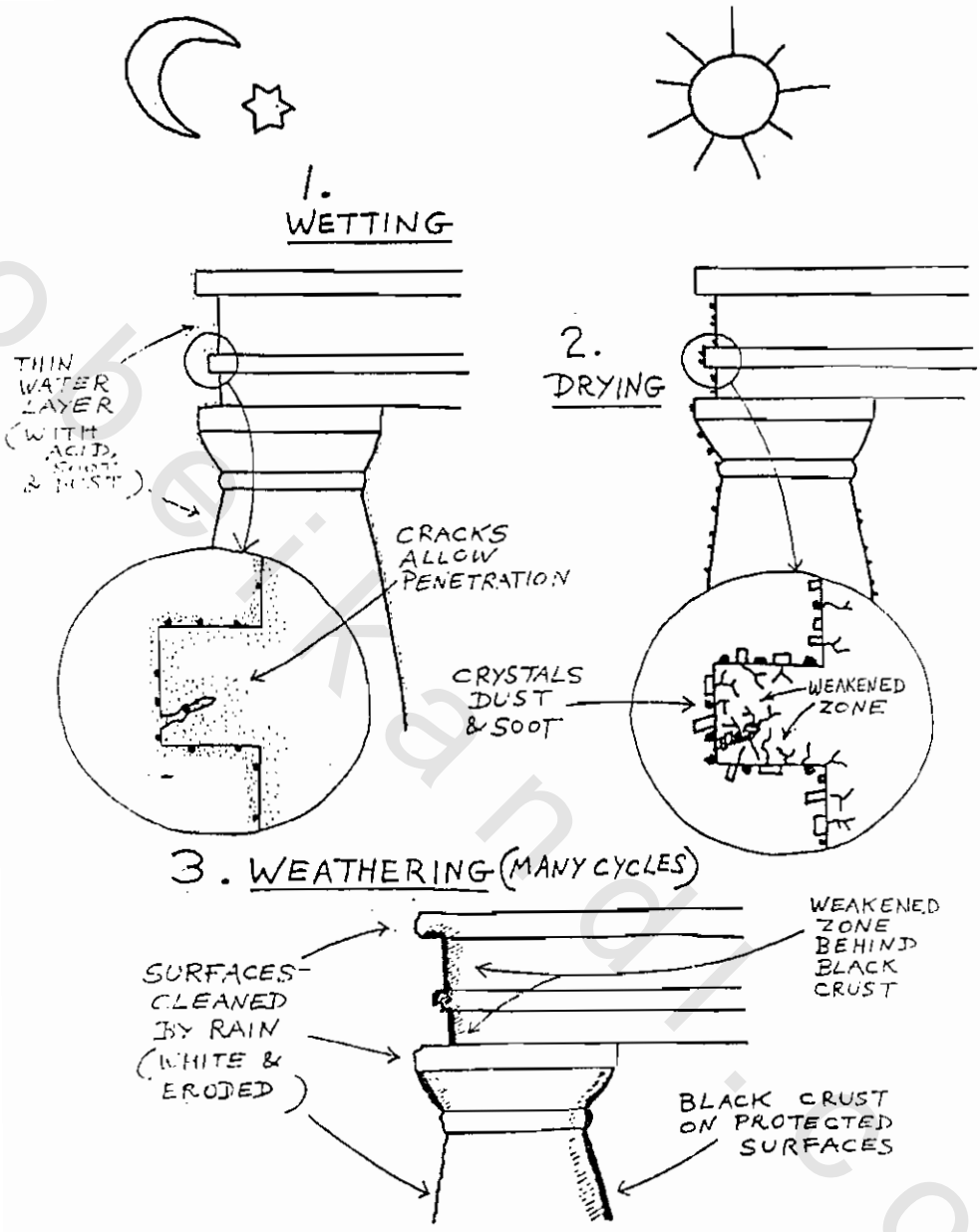
والأسطح التى تتأثر بعمليات الرطوبة والجفاف يمكن التعرف عليها بسهولة فى المبانى الأثرية ، لأنها تكون على شكل طبقات صلبة ترابية من كثرة السناج والغبار Hard crusts, Soiled by Soot and Dust.

انظر الشكل رقم (٢٨).

هذه الطبقات نادرا ماتكون صلبة وغير منفذة للماء، وذلك لأن الشروخ العرضية Cracks traverse تجعلها باستمرار لاتشكل طبقة واقية Protective layer.

هذا على خلاف مايذكره بعض المتخصصين من "ان طبقة الباتينا Patina تشكل طبقة واقية لأسطح مواد البناء ، إذ أن التحلل ربما يستمر خلف هذه الطبقة، والتى غالبا ما تشكل طبقة كاذبة فوق جزء مفكك غير متماسك من المادة ، وقد يتم التلف بسبب دورات الرطوبة والجفاف، بسرعة ، تحت المظهر الخادع The deceptive apperance للسطح المحفوظ جيدا، والمغطى بطبقة باتينا سوداء A dark patina .

وعلى كل حال فإننا نستطيع تقييم حالة تأثر السطح التى تتم بواسطة عمليات التجوية ، انظر الشكل رقم (٢٨)، خاصة عمليات التكاثف وأيضا دورات الرطوبة والجفاف عنداختبار السطح بواسطة النقر أو الضغط عليه Tapping ، وكذلك عن طريق جمع عينات منه وفحصها بالوسائل العلمية الحديثة .



شكل رقم (٢٨) يوضح
تأثير دورات البلل والجفاف وأيضا التجوية
على أسطح مواد البناء

وتعتمد مقاومة مواد البناء المسامية لدورات البلل (الرطوبة) والجفاف على :

* مسام مادة البناء The pore structure.
* مقاومتها الميكانيكية The mechanical strength.

فقد ثبت أن المواد ذات المسامية الأقل Low porosity وذات المقاومة الجيدة للشد Good tensile strength تكون أكثر مقاومة لهذا النوع من التلف الحادث بسبب دورات الرطوبة والجفاف.

كما ثبت أيضا أن الطوب المحروق حرقا جيدا والبلاطات تقاوم فعليا عمليات التلف بسبب دورات الرطوبة والجفاف في حين يتأثر السيراميك غير جيد الصناعة باستمرار هذه الدورات .

كما أن معظم الأحجار الجيرية ، والأحجار الرملية تتأثر بعمليات التلف الناتجة عن دروات البلل والجفاف، بالإضافة إلى المون الجيرية .

هذا مع العلم أن مواد البناء قليلة المسام تنتمي إلى تلك المجموعات التي يمكن أن تظهر مقاومة جيدة لعمليات التلف بصفة عامة ، مثال ذلك : حجر Istrian وهو حجر جيرى دقيق البللورات ، قليل المسام .

أما الرخام الأبيض فيتأثر بصورة مدهشة بواسطة عمليات التجوية ، لأنها تصبح أكثر عداوة Progressively وتصل إلى أعماق كبيرة فى سطح الرخام ، بسبب مساميته العالية الناتجة عن القدم Ageing وأيضا بسبب الشروخ الداخلية التي تحدث في الرخام بسبب دورات الحرارة Thermal cycles .

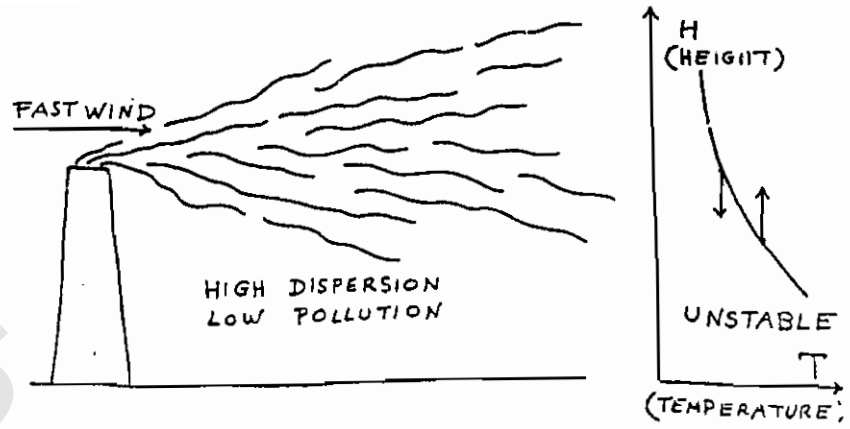
ويجب أن نعلم أن مقدار المسامية والتماسك الداخلى لأى مادة يعتمد فى الواقع على تركيبها الكيميائى .

وقد لوحظ أنه فى كل أنواع الحجر المستخدم فى البناء توجد طبقات مقاومة للتلف Resistant beds وأخرى قليلة المقاومة فى حالة تبادل مع بعضها داخل النوع الواحد من الحجر المستخرج من محجر معين أو من نفس المحجر The same quarry " ولكن لاتوجد طبقات ضد التلف أو تستعصى على عمليات التلف ".

٣-٤- علم المناخ وتلوث الهواء Air Pollution Climatology :

يمكن حساب تلوث الهواء عن طريق حساب كمية الملوثات المنتجة، وأيضا عن طريق رصد عوامل التقلبات الجوية . وبصفة عامة فإنه لو انتشرت الملوثات فى حجم كبير من الهواء فإن المحصلة النهائية تكون ضعيفة.

" وهذا يعنى أنه إذا كانت الرياح شديدة مثلا فإنها تساعد على انتشار الملوثات فى أحجام واسعة من الهواء مما يقلل نسبة التلوث ، أى أن نسبة التلوث تتناسب عكسيا مع حجم الهواء " انظر الشكل رقم (٢٩).

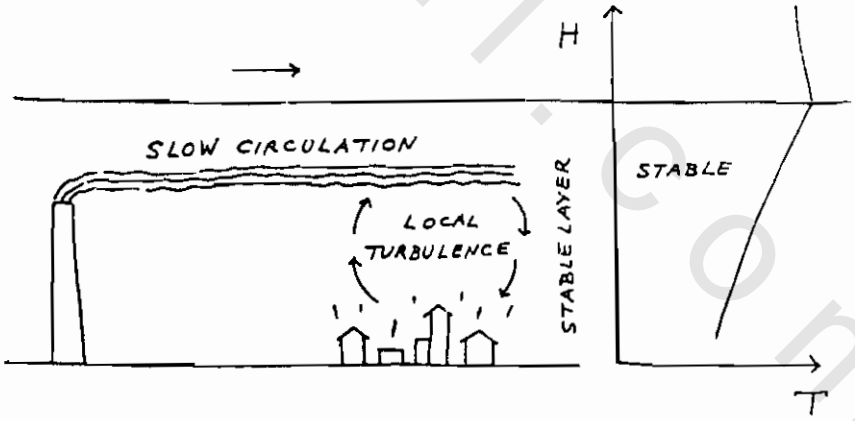


شكل رقم (٢٩) يوضح

فعل الرياح السريعة على الملوثات الناتجة عن المصانع

وعادة فى الغلاف الجوى تقل درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع . وفى مثل هذه الحالات يكون الهواء غير مستقر لأن الهواء الساخن يتجه نحو الارتفاع فوق الهواء البارد.

فى ليالى الشتاء ، بالقرب من الأرض ، تتكون طبقة من الهواء تزداد درجة حرارتها بالارتفاع ، وفى مثل هذه الحالات يستقر الهواء ، لأن الهواء البارد يتجه نحو البقاء فى الطبقة السفلى .. هذه الحالة تسمى : الانقلاب الحرارى Thermal inversion.

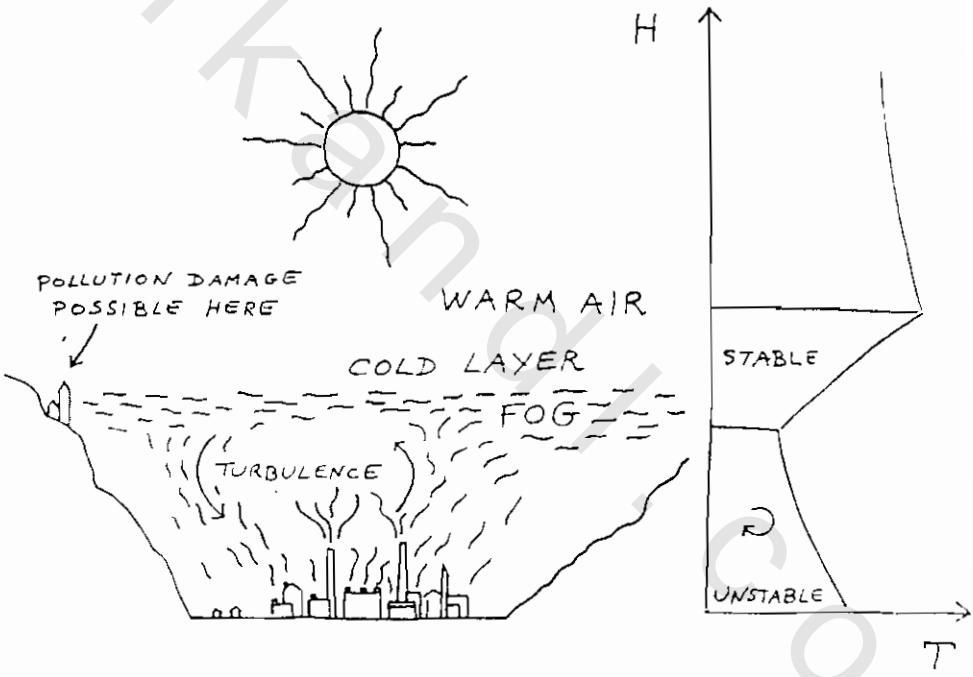


شكل رقم (٣٠) يوضح

ظاهرة الانقلاب الحرارى

فى مثل هذه المناطق تكون دورة الهواء criculation of air عادة منخفضة، والملوثات لاتنتشر "أى تتركز فى نطاق التلوث وتتجه نحو الإنتقال إلى ارتفاع ثابت وتستقر ولكن ربما تعود ثانية إلى الأرض عن طريق مناطق الاضطراب المحلى Local turbulence التى تحدث بسبب الأسطح الدفيئة Warm surfaces مثل المنازل المدفئة Heated Houses.

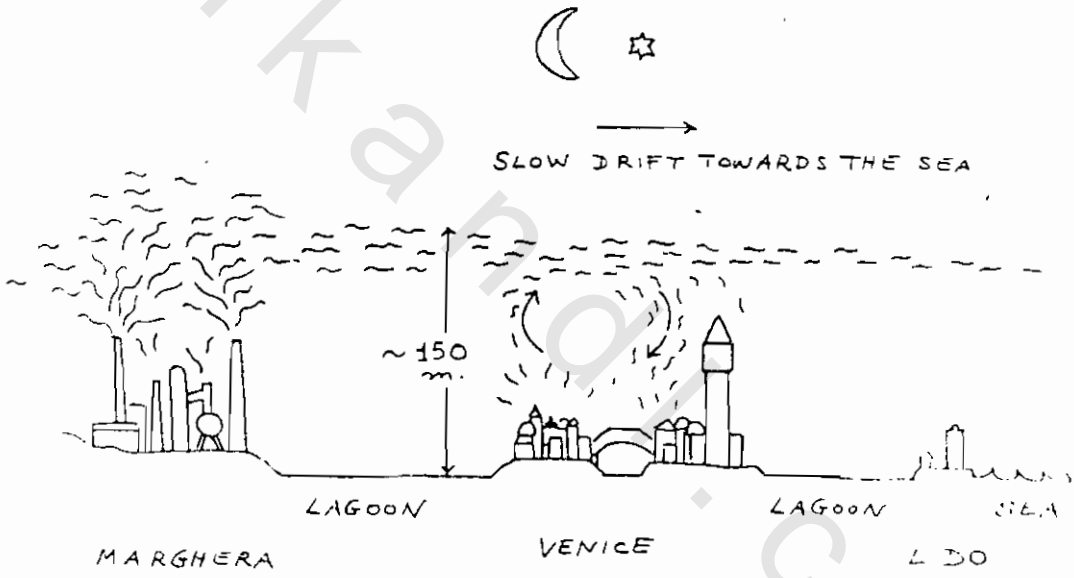
وعلى سبيل المثال تحدث حالات التلوث المرتفعة فى الأودية فى الشتاء ، عندما يحدث الانقلاب الحرارى فى المناطق ذات الضغط العالى ، وذات سرعة رياح منخفضة ، وذات طقس معتدل . انظر الشكل رقم (٣١).



شكل رقم (٣١) يوضح
الانقلاب الحرارى فى الوديان فى فصل الشتاء فى الصباح

وهناك حالة خاصة تحدث فى فينيسيا Venice عندما يحدث تلوث عن طريق المصادر المحلية Local sources مثل : نظم التدفئة فى المنازل . ومصدر آخر هو الانتقال Transport أى انتقال الملوثات من المناطق الصناعية مثل : مدينة Marghera عندما يحدث انقلاب حرارى .. وغالبا ماتحدث هذه الظاهرة فى الخريف والشتاء .

وفى الشتاء بصفة خاصة تكون مدينة فينيسيا أدفأ من البحيرة المتصلة بها ، ويحدث فوقها ظاهرة الاضطراب المحلى Local turbulence والتى غالبا ماتكون بسبب ظاهرة الانقلاب الحرارى . انظر الشكل رقم (٣٢).



شكل رقم (٣٢) يوضح

مدينة فينيسيا فى ليلة شتاء صافية