**الإجهاد الحراري Temperature Stress**

**درجة الحرارة ونمو المحاصيل**

تعد درجة الحرارة من العوامل الأساسية والمحددة لمراحل نمو النبات المختلفة ابتداءً من عملية الإنبات. ويمكن اعتبار المدى الحراري بين 5-35°م ملائما لإنبات معظم بذور النباتات. وعلى المستوى الخلوي فإن العمليات الأيضية كالتنفس والبناء الضوئي والتفاعلات الأنزيمية الأخرى تتأثر كثيرً بدرجات الحرارة فإنها تزداد أو تُسرَع في تفاعلاتها ولغاية درجة مئوية معينة (عادة أقل من 40°م)، إذ أن درجة الحرارة أكثر من 40°م تؤدي إلى إبطال مفعول الأنزيمات مما يسبب عدم إكمال ذلك التفاعل المعني.

والمعروف أن درجة حرارة الجو تصل أحيانا إلى قيمة عالية اكثر من 40°م ، فقي فصل الصيف على سبيل المثال تصل درجة الحرارة نهاراً إلى أكثر من 50°م في المناطق الصحراوية والجافة كما في العراق. لكن النباتات تحافظ على درجة الحرارة داخل أجسامها بحيث لا ترتفع عن الحد المؤثر وذلك من خلال عدد من الأمور من أهمها ما تقوم به من تبديد الحرارة في عملية النتح Transpiration التي يفقد جسم النبات حرارة كبيرة. كما أن ارتفاع الحرارة يسبب زيادة في عملية النتح في النبات فضلاً عن التبخر بشكل عام مما يؤدي إلى الجفاف الذي قد يهلك النباتات.

إن انخفاض درجات الحرارة هو الآخر له تأثيرات سلبية على نمو النباتات خاصة عند وصولها لدرجة الانجماد التي تؤدي إلى تحديد نمو النباتات وبطئ العمليات الأيضية فضلاً عن تغيرات أخرى كانسداد الأوعية الخشبية من خلال تجميد الماء فيها مما يسبب توقف انسياب الماء إلى أعالي النبات في تلك الأوعية وبذلك تموت تلك الأطراف من النبات.

ويتضح مما تقدم أن درجة الحرارة عامل مهم في نمو النبات وتطوره وبالتالي تأثيرها يصبح واضحاً على نوع الغطاء النباتي وانتشاره وغزارته.

**الإجهاد الحراري Heat Stress:**

درجة الحرارة عامل بيئي مهم إذ أن لها تأثير مباشر أو غير مباشر على جميع العمليات الفسيولوجية والأيضية في النبات، لذلك فقد تكون درجة الحرارة عامل بيئي مجهد للنبات. إن درجة حرارة النبات غير ثابتة فهي تتغير مع تغير درجة حرارة المحيط حول النبات، والعامل المحدد لدرجة حرارة أجزاء النبات هو درجة حرارة المحيط الملامس لذلك الجزء منه، وتعتمد

درجة حرارة النبات على الاتزان بين كمية الحرارة الممتصة وكمية الحرارة المفقودة، فإذا زادت الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة ينتج عن ذلك تسخين النبات والعكس إذا نقصت الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة يؤدي إلى تبريد النبات، ولمعظم النباتات الراقية درجة الحرارة التي تعد خطرة ومضره تقع بين 45 - 55°م وتختلف درجة الحرارة الضارة أحيانا بين الخلايا في النبات الواحد نفسه. وهناك نوعان من الإجهاد الحراري :

**أولاً:- إجهاد الحرارة المرتفعة High temperature stress:**

إن ارتفاع درجة الحرارة بشكل عام يؤدي بالنتيجة إلى ارتفاع درجة حرارة النبات ويكون كعامل مجهد لنمو النبات وخاصة في حال انخفاض معدل النتح الذي له دور في تبريد أنسجة النبات وان أضرار النبات الناتجة بسبب ارتفاع الحرارة تعتمد على الفترة الزمنية لتعرض النبات لذلك الارتفاع ومن اهم تأثيرات الحرارة المرتفعة على النبات هي :

1- انخفاض معدل البناء الضوئي وارتفاع معدل التنفس وبذلك يتعرض النبات للجوع عن طريق استهلاك الكربوهيدرات.

2- نقص كمية البروتين النشط نتيجة لتكسيره أو لفقد شكله الطبيعي.

3- تراكم بعض المواد السامة نتيجة زيادة نفاذية الأغشية.

4- زيادة سيولة الدهون خاصة دهون الأغشية الخلوية.

5- تغير في طبيعة الأحماض النووية.

6- ارتفاع معدل النتح مما يعرض النبات إلى إجهاد جفاف.

7- تثبيط النمو وصغر حجم النبات وسقوط الأوراق مبكرا والفشل في تكوين الأزهار.

8- تجمع للبروتوبلازم نتيجة لتأثير الحرارة المدمر لمكونات الخلية حيث أن للحرارة تأثير مدمر على الأغشية والسيتوبلازم.

**أما اهم الأعراض التي تظهر على النبات نتيجة الحرارة المرتفعة فهي :**

1- تلون الأوراق باللون البني وقد تسود بزيادة الإجهاد.

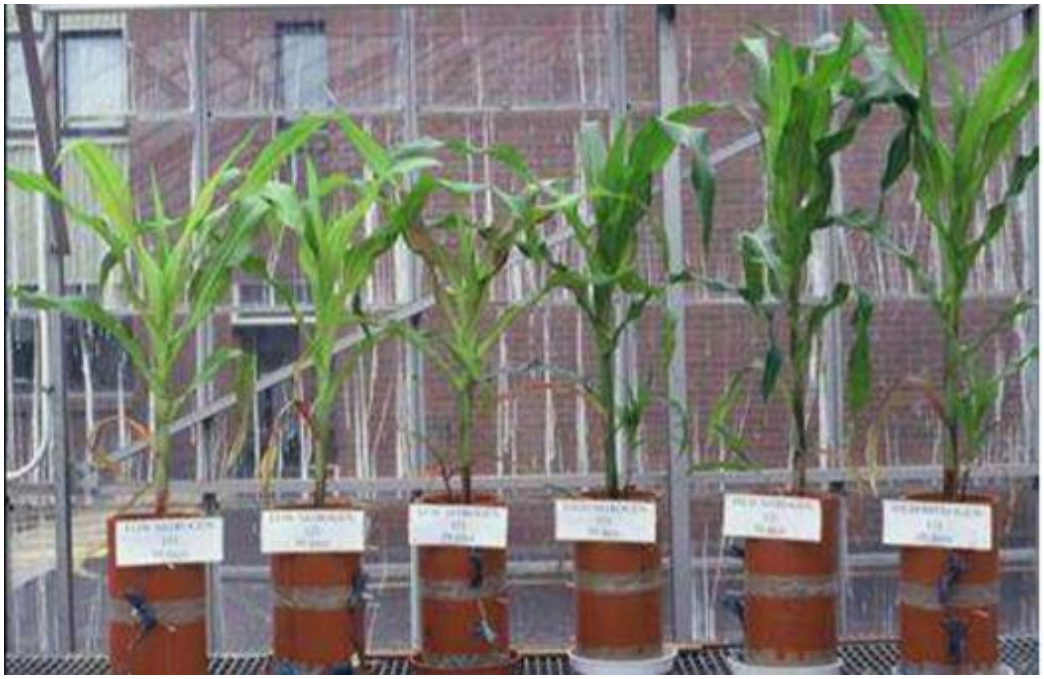
2- ذبول وجفاف عام يصاحبه اصفرار في بداية الإجهاد.

3- ظهور لسع موضعي في الأوراق (قتل موضعي).

4- سقوط الأوراق.

5- صغر حجم النبات والفشل في تكوين الأزهار.

إن أضرار الحرارة المرتفعة تعتمد على الفترة الزمنية للتعرض.



**ويمكن تقسيم النباتات تبعاً لتأثر نموها وعلاقته بدرجة الحرارة إلى ثلاث مجموعات رئيسية وهي:**

**1- نباتات الحرارة المرتفعة Mega thermal plant:** وتشمل النباتات التي يتطلب نموها درجات حرارة عالية لا يقل المعدل السنوي عن 20 °م. إن معظم النباتات المنتشرة في العراق تعود لهذه المجموعة.

**2- نباتات الحرارة المعتدلة Meso thermal plants:** وتتضمن النباتات التي تنتشر في خطوط العرض المتوسطة التي أقلمت نفسها لمواجهة التغيرات الفصلية في درجات الحرارة بين فصول السنة المختلفة.

**3- نباتات الحرارة الواطئة Micro thermal plants:** وتشمل النباتات التي تنتشر في خطوط العرض العليا حيث يكون متوسط درجات الحرارة الشهرية أقل من 10 °م . وتضم كذلك النباتات التي تغطي المناطق القطبية مثل بعض أنواع الطحالب.

ويتضح مما تقدم أن درجة الحرارة عامل مهم في نمو النبات وتطوره وبالتالي تأثيرها يصبح واضحا على نوع الغطاء النباتي وانتشاره وغزارته. وبذلك يمكن فهم جانب من أسباب تنوع الأقاليم الحياتية الموجودة على الكرة الأرضية كالغابات المدارية والحشائش ونباتات المنطقة القطبية والسفوح الجبلية وغيرها.

**تأقلم النباتات لدرجات الحرارة العالية Acclimation of plants to high temperatures**

يمكن لبعض النباتات أن تتحمل درجات الحرارة العالية وذلك بتكوين نوع من القدرة على تحمل الضرر ويشمل ذلك التكيفات التشريحية والفسيولوجية بطريقة مماثلة مما يحصل في التكيف للإجهاد المائي الذي ينقص استعمال الماء بواسطة تبديد الطاقة. وفي البيئات المشمسة الدافئة حيث تكون الأوراق في تحملها الأقصى فان أية زيادة إضافية للحرارة ناجمة عن نقص عملية التبخر للماء أو زيادة امتصاص للطاقة يمكن أن تسبب تلفا للورقة، وحينما ينقص امتصاص الطاقة وتبرد الورقة فان القوة الموجهة لامتصاص الماء تنقص كذلك. ويمكن الاستنتاج بان كلا المجموعتين من النباتات المقاومة للإجهاد المائي أو المقاومة للحرارة إنما تعتمد على التأقلمات نفسها والتي يمكن إيجازها كما يلي:

1- وجود شعيرات ومواد شمعية على سطح الورقة لعكس الحرارة.

2- التفاف الأوراق وتغيير اتجاهاتها لتلافي أشعة الشمس الحارة.

3- نمو أوراق صغيرة مجزأة لتقليل سمك الطبقة المحيطة وبالتالي زيادة عملية فقد الحرارة.

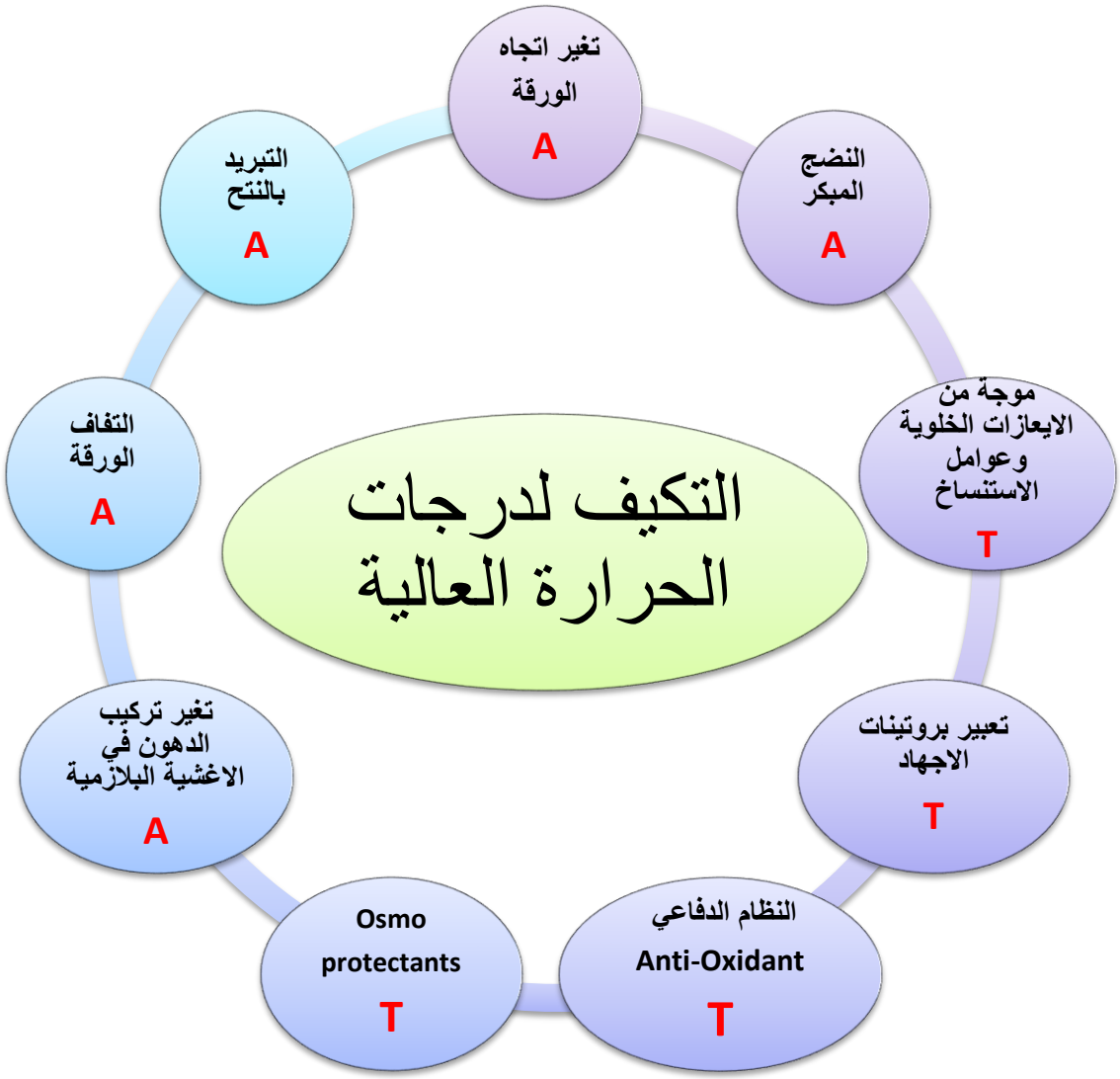
وتمتلك بعض الأعشاب الصحراوية أوراق ذات شكلين لتفادي الحرارة الزائدة ومن أمثلة تلك الأعشاب Encelia farinose الذي يعطي أوراق خضر عديمة الشعيرات في الشتاء وتستبدل بأوراق بيض زغبية في الصيف للغرض أعلاه. ومن جانب آخر فان دراسات مستفيضة قد أجريت على تأثير الزيادة المفاجئة لدرجة الحرارة في تأقلم النباتات والكائنات الدقيقة لظروف ارتفاع درجات الحرارة القاتل. وقد كانت خلاصة تلك الدراسات بان هناك بروتينات معينة يجري بناؤها تحت ظروف الارتفاع المفاجئ لدرجة الحرارة تعرف ببروتينات الصدمة الحرارية Heat shock proteins (HSPs). وشخصت ناسخات خاصة بتلك البروتينات (mRNAs) بعد فترة قصيرة من الصدمة الحرارية (3 – 5 دقائق) ووجد أن الخلايا أو النباتات المستحثة لبناء تلك البروتينات تبدي تحملا حرارياً إيجابياً إذ يمكن أن تتحمل درجات حرارة كانت سابقا تقتل تلك الخلايا أو النباتات. واتضح في السنوات الأخيرة أن تلك البروتينات تمثل عوامل حماية للبلاستيدات الخضر والأنوية، فضلا عن إن قسما منها أنزيمات مرتبطة بآليات التحمل الحراري مثل ثبات البروتينات والتشبع للأحماض الدهنية الخاصة بدهون الأغشية.

**المؤشرات الفسيولوجية والجزيئية لزيادة تحمل النبات لدرجة الحرارة العالية:**

طورت النباتات ميكانيكيات مختلفة لضمان النمو عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية، هذه الاستجابات يمكن ان تصنف الي:

1- الاستجابة طويلة المدى: ويقصد بها التكيف من الناحية المورفولوجية والفينولوجيا مثل: اتجاه الورقة، التبريد بالنتح، تغير تركيب الدهون بالاغشية،.....

2- الاسجابة قصيرة المدى: ويقصد بها تجنب الاجهاد وميكانيكيات الاقلمة مثل: بروتينات الاجهاد، Osmoprotectants، كانسات الجذور الحرة AntiOxidants، النقل الايوني واي عامل ممكن ان يشارك في موجات الايعازات الخلوية (الشكل 4)




**شكل (4) الآليات المختلفة لتحمل النبات لدرجة الحرارة المرتفعة (A= تعني التجنب و T= تعني التحمل)**

**ثانياً:- إجهاد درجة الحرارة المنخفضة Low temperature stress:**

يمكن تقسيم إجهاد الحرارة المنخفضة إلى نوعين :-

1- ينشأ الضرر أو الإجهاد من تعرض النبات إلى درجات حرارة منخفضة أعلى من درجة حرارة التجمد يسمى ( إجهاد البرودة Chilling Stress).

2- ينشأ الضرر أو الإجهاد من تعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة تصل إلى درجة التجمد (إجهاد التجمد Freezing Stress)

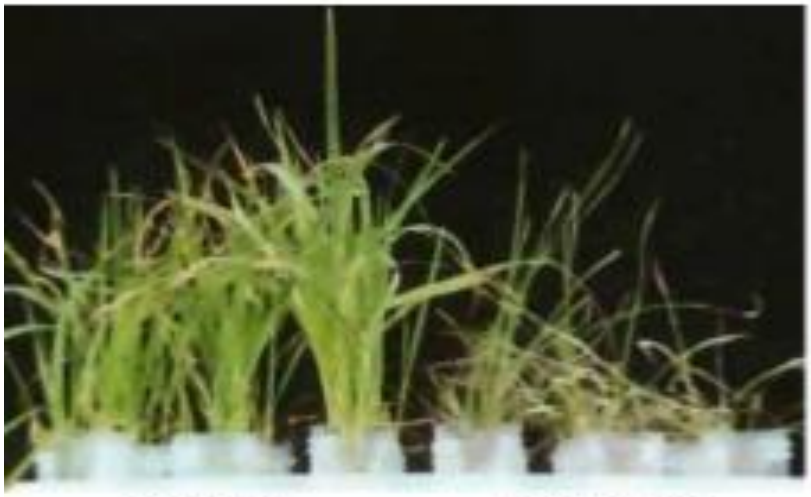
ومن أعراض إجهاد انخفاض الحرارة على النبات هي :-

1- تحدث استجابة بطيئة خلال (5-6) أيام بعد ذلك تظهر أعراض الذبول على النبات.

2- ظهور بقع على أوراق النبات وظهور أعراض نقص العناصر.

3- تقزم النبات وتوقف نموه.

قد يعزى تأثير درجات الحرارة المثلى على الإنبات في ارتفاع عمليات التنفس ونشاط الإنزيمات ومنها Catalase (وهو إنزيم منتشر في الكائنات الحية، تتضمن وظائفه تحفيز تحلل بيروكسيد الهيدروجين $H_2O_2$ إلى ماء وأكسجين، وتوجد علاقة طردية بين بناء صبغات اليخضور ونشاط أنزيم Catalase، وذلك يعني إنه عندما ينشط الإنزيم فإن معدلات إنتاج صبغات اليخضور ترتفع، وعندما ينخفض نشاط الإنزيم تنخفض معدلات إنتاج اليخضور . ووجد أن الأوراق الخضراء الشاحبة يكون نشاط Catalase بها مرتفعاً) إلا أن التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة قد يثبط الإنبات لتأثيره على نشاط إنزيمات التنفس بشكل خاص وعلى الإنزيمات بشكل عام ، كما يعزى الضرر الناتج من انخفاض درجات الحرارة إلى تكوين بلورات من الثلج داخل الخلايا أو بينها ( في المسافات البينية ) مما يؤثر على التركيب الوظيفي للأغشية الخلوية و على البروتوبلازم ( لزوجته ) وبالتالي يؤثر على عمليات النقل.



**إجهاد البرودة Chilling Stress**:

يحدث إجهاد البرودة لمعظم النباتات عند تعرضها لدرجة حرارة أقل من (10 إلى 15°م) وقد تصل إلى صفر مئوي، وقد يسبب إجهاد التجمد موت أنسجة النبات بسبب تكون بلورات ثلجية في أنسجة النبات، ومن الممكن أن تبرد بعض النباتات إلى درجة حرارة أقل من الصفر ولا يحدث لها ضرر إذا لم تتكون البلورات الثلجية فيها، والبلورات الثلجية قد تتكون في المسافات البينية للخلايا أو داخلها.

ولإجهاد البرودة عدة تأثيرات على النبات منها :-

1- توقف حركة السايتوبلازم.

2- زيادة نفاذية الأغشية وتسرب المواد الذائبة من الخلايا.

3- زيادة معدل التنفس وانخفاض معدل البناء الضوئي (الجوع).

4- تضرر أغشية البلاستيدات الخضراء وتكسير الكلوروفيل ( نقص معدل البناء الضوئي ).

5- تراكم المواد السامة.

6- الجفاف وذلك لانخفاض معدل امتصاص الجذور للماء.

7- زيادة معدل هدم البروتين عن معدل بناءه وتراكم NH3 السام.

8- تثبيط عمليات النقل للتغير في طبيعة الدهون المكونة للأغشية.

**إجهاد التجمد Stress Freezing:**

ينشأ إجهاد التجمد من تعرض النبات إلى درجة حرارة منخفضة تصل لدرجة التجمد وقد يسبب التجمد موت أنسجة النبات والسبب الرئيسي للموت هو تكون البلورات الثلجية في أنسجة النبات وقد تتكون البلورات الثلجية خارج الخلايا أو في داخل الخلايا ويعزى الموت والضرر عند تكون الثلج في داخل الخلايا إلى :-

1- الاختلال في التركيب الطبيعي المكونات الخلية النباتية.

2- تجفيف الخلايا.

3- زيادة تركيز المواد السامة في الخلية نتيجة التجفيف.

4- حدوث ضرر للبروتوبلازم نتيجة انتقال الماء من خارج الخلية إلى المسافات البينية (وجود بلورات الثلج).

5- ضرر ميكانيكي تحدثه البلورات في الخارج على الخلية

**مقاومة التجمد Freezing resistance**

يمكن تحسين تحمل التجميد عند درجة (-10°م) وذلك بالتعرض المسبق الى ظروف التبريد (4 °م) أو عن طريق معاملة النبات بحامض الـ ABA دون التعرض للبرودة. إن تلك المعاملات تسبب تغيرات في نمط البروتينات الجديدة المبنية ، ويبدو أن هناك نوعا من التشابه بهذا الخصوص بين التعرض للتبريد أو المعاملة بحامض الـ ABA، فضلا عن ذلك فان الدراسات التي اجريت لغرض تحديد المورث المسؤول عن بناء تلك البروتينات قد أوضحت أن الحامض النووي الرايبوزي mRNA نفسه يمكن أن يستحث في كلتا المعاملتين مما ينعكس على نوع البروتينات المبنية. يتضمن تأقلم بعض النباتات الخشبية لكبح تكوين بلورات ثلجية حتى عند درجات حرارة منخفضة جدا عن نقطة التجمد النظري، وقد لوحظ ذلك في كثير من الأشجار مثل البلوط Oak والدردار Elm والجوز Walnut والورد Rose والتفاح Apple والخوخ Peach والكمثرى Pear وغيرها. وتعتمد مقاومة تلك النباتات للتجمد على سعة المساحات خارج الخلية لإيواء بلورات الثلج المتكونة، فضلا عن قدرة البروتوبلاست على تحمل نزع الماء وبالتالي لا غرابة أن بعض النباتات المتحملة للإجهاد المائي هي أيضا متحملة للتجمد.

**المصادر:**


**صقر، محب طه.2006. أساسيات كيموحيوية وفسيولوجية النبات. كلية الزراعة-جامعة المنصورة. مصر. ع ص230.**

**المعيني، أياد حسين علي ومحمد عويد غدير العبيدي. 2018. الأسس العلمية لإدارة وإنتاج وتحسين المحاصيل الحقلية . وزارة التعليم العالي والبحث العلمي- العراق. ع ص 1067.**

**عواد. حسن عودة. 2009. وراثة وتربية المحاصيل للإجهاد البيئي (الجفاف-الحرارة العالية-التلوث البيئي). الجزء الأول. المكتبة المصرية. للطباعة والنشر والتوزيع. الإسكندرية. جمهورية مصر العربية.**