المادة/ أساسيات التلوث

المرحلة/ الثانية

قسم علوم البيئة

د. أنسام أحمد سعدون الحمداني

تلوث التربة Soil Pollution

يعرف تلوث التربة بصورة مختصرة بانه الفساد الذي يصيب التربة فيغير من صفاته وخصائصه الطبيعية او الكيميائية او الحيوية بشكل يجعلها توثر بصورة مباشرة او غير مباشرة على من يعيش فوق سطحه من انسان او حيوان او نبات .

تتعرض التربة الى مشكلة التلوث منذ زمن طويل ومنذ القدم كان السبب الاساسي في تلوث التربة عمليات الري بمياه الانهار بأساليب غير صحيحة اما الان وبسبب التطور العلمي والتقني للإنسان وتغير الوضع الاجتماعي له تعددت مصادر تلوث التربة ، منها مايلوث بصورة مباشرة او غير مباشرة ، فالمباشرة تتمثل باستخدام المبيدات في الاغراض الزراعية او التلوث بالنفايات الصناعية او عوادم السيارات وغيرها اما غير المباشرة فتحدث عندما يختلط بها الماءالملوث بالمواد الكيميائية سواء بسبب الامطار الساقطة او من المجاري المائية .

تتباين نسبة تلوث ات وتفاعلات المواد والعناصر فيها وبالتالي زيادة تركيز تلك الملوثات ولايقتصر اثر التلوث على النبات فحسب بل يمتد الاثر ليشمل الانسان والحيوان حيث يؤدي مثلا تلوث المحاصيل الغذائية بالكيمياويات الضارة الى اصابة الانسان بالأمراض بسبب تناوله للأغذية الملوثة سواء كانت اغذية نباتية او حيوانية والتي تعد في هذه الحالة وسطا لنقل السموم الى الانسان .

يتسبب تلوث التربة بفقدان خصوبتها اذ يؤدي الى قتل البكتريا المسؤولة عن تحليل المواد العضوية الموجودة في التربة والانواع المسؤولة عن تثبيت عنصر النتروجين كما قد يؤدي الى تلوث التربة ببعض المسببات المرضية من كائنات دقيقة بكترية وفطرية وفايروسية وقد تحتوي ايضا على مصدر العدوى بديدان الامعاء من بيوض ويرقات والتي قد تصل الى التربة مباشرة عن طريق الانسان او عن طريق مياه الري الملوثة بمياه الصرف الصحي .

ويعد الوعي البيئي من اهم الطرق للحفاظ على التربة من التلوث ويتحقق ذلك عن طريق رفع المستوى التعليمي والثقافي وتعليم الافراد كيفية التعامل مع التربة بحيث يصبح جزء من سلوك الفرد وتختلف ملوثات التربة الا انه يمكن تقسيمها الى :

١- ملوثات مباشرة :

يقصد بها الملوثات المحددة والمعلومة والتي يمكن قياس كمية الملوثات الصادرة منها مثل انابيب الصرف الصحي والصرف الصناعي .

٢- ملوثات غير مباشرة :

وهي التي من الصعب قياس كمية التلوث الناتجة عنها وذلك لانتشارها لمساحات واسعة مثل التلوث الناجم من الاسمدة الكيميائية والمبيدات الزراعية التي تحملها المياه السطحية الى الاراضي الزراعية وتلوث الهواء الجوي الناتج من عوادم السيارات والمصانع والتي تنتقل الى التربة بواسطة الامطار او الترسيب .

وتعتمد حركات الملوثات في التربة على الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة ويتوقف معدل انتقال الملوثات على خصائص التربة الفيزيائية بالتحديد التوزيع الحجمي للحبيبات لأنها تؤثر على حركة الماء والهواء خلال التربة كما ان رقم ال PH يؤدي الى ترسب العناصر الثقيلة فالزرنيخ والسيلينيوم مثلا يكونان اكثر حركة في الظروف القاعدية بينما الرصاص والزنك والكادميوم تزداد حركة هذه العناصر في الظروف الحامضية .

يمكن تقسيم ملوثات التربة وفقا للتركيب الكيمياوي لها الى :

اولا / ملوثات عضوية Pollutants Organic وتشمل :

١- **هيدروكاربونات عطرية حلقية Aromatic hydrocarbons polycyclic**: ومصادرها احتراق الفحم والبترول والخشب ، الاسفلت ، انبعاث عوادم السيارات والشحوم .
٢- **مركبات النيتروالعطرية Nitro aromatic** : ومصادرها القابل والمبيدات الحشرية والمبيدات البكترية
٣- **الفينولات والانيلينات Phenols and Anilines** : ومصادرها المبيدات البكترية ومياه الصرف والمصانع والمواد الصباغية ومبيدات الحشرات .
٤- **الهالوجينات العطرية Aromatic Halogenated** : ومصادرها مبيدات الحشائش وحرق المخلفات الطبية والمخلفات الصلبة واحتراق البترول والفحم والاطارات .
٥- **الهالوجينات الاليفاتية Aliphatic Halogenated** : ومصادرها صناعة البلاستك
٦- **المبيدات Pesticides** : ومصادرها الزراعة وصناعة المبيدات .
٧- **منتجات البترول** : ومصادرها صناعة تكرير البترول والسيارات والصناعة .

ثانيا / ملوثات غير عضوية Pollutants Inorganic وتشمل :

المعادن الثقيلة والنتروجين والنظائر المشعة

مصادر تلوث التربة :

اولا / مصادر طبيعية : وهي ناتجة من التربة نفسها حيث ان التربة خليط من معادن نتجت من ملوثات التجوية الفيزيائية والكيميائية والحيوية لصخور القشرة الارضية مكونة مادة الاصل ومن ثم فأنها تتواجد طبيعيا في التربة لأنها جزء من مكوناتها .

ثانيا / الهواء الجوي : يعد تلوث الهواء من اخطر انواع التلوث البيئي حيث يترسب التراب الموجود فيه والناتج من دخان المصانع وحرق الوقود وعوادم السيارات مما يجعل المناطق التي يترسب فيها سوداء وملوثة حيث نلاحظ بان نواتج حرق الوقود يؤدي الى تكوين مركبات سامة في التربة بعد سقوطها عليها مثل المركبات النتروجينية والاوكسجينية والهالوجينات وقد تتلوث التربة بهذه المركبات نتيجة سقوطها مع الامطار والتي تتفاعل معها مكونة اكاسيد واحماض تذيب بعض عناصر ومركبات التربة او تعمل على زيادة حامضية التربة مما يؤثر على الاحياء الموجودة فيها كما يمكن ان تحتوي هذه الامطار على عناصر ذائبة وسامة مثل المعادن الثقيلة كالرصاص والنحاس وبذلك فهي تسبب خللا كبيرا في مكونات التربة وبالتالي تلوثها .

ثالثا /التلوثبالأسمدة الكيميائية والعضوية : يعد تزايد عدد السكان وتناقص انتاجية الارض سببا مباشرا لتلوث التربة مما ادى المزارعين الى اتباع اسلوب الزراعة المكثفة والى الاستنزاف المستمر للعناصر الغذائية الموجودة في التربة وخاصة النتروجين ومع محدودية استخدام الاسمدة العضوية والاتجاه نحو استخدام الاسمدة الكيمياوية وخاصة النتروجين قد ادى الى التلوث بالنترات . فضلا عن ان مركبات الفسفور تؤدي الى ترسيب بعض العناصر النادرة الموجودة في التربة الزراعية والتي يحتاجها النبات في نموه وتحويلها الى مركبات عديمة الذوبان في الماء .

تقوم البكتريا والكائنات الدقيقة الاخرى بالتربة بتحويل المواد النتروجينية في هذه الاسمدة الى نترات يمتص النبات جزء منها ويتبقى الجزء الاكبر في التربة وماءها ويكون هناك عدم اتزان بين العناصر الغذائية داخل النبات مما يؤدي الى تراكم كميات كبيرة من النترات في الاوراق والجذور . كما ان الاسمدة العضوية الناتجة من مخلفات المواشي والدواجن تحتوي على تركيزات عالية من الزنك والنحاس و كل هذا يؤدي بالتالي الى تسمم التربة والنبات .

ومما سبق يمكن تلخيص اهم اسباب التلوث بالأسمدة الكيمياوية الى :

١- **التكثيف المحصولي** : يؤدي الى استنزاف مستمر للعناصر الغذائية الموجودة في التربة وخاصة النتروجين .
٢- **كميات الامطار الساقطة ومياه الري** : تؤدي زيادة تلك الكميات الى تسرب هذه الاسمدة وخاصة النتروجينية الى المياه الجوفية في باطن الارض والذي يؤدي الى تلوثها او تنتقل مع مياه الصرف الزراعي الى المجاري المائية وبالتالي تضر الكائنات الحية والنباتات عند اعادة استخدامها في الري . اما الاسمدة الفوسفاتية فهي لاتذوب في الماء والاسراف فيها يؤدي الى ترسيب بعض العناصر النادرة في التربة والتي يحتاجها النباتات في نموه وتحويله الى مواد عديمة الذوبان في الماء حيث تكون هذه العناصر بعيدة عن جذور النباتات ولاتستطيع امتصاصها .

٣- **البكتريا والكائنات الدقيقة الحية** : تقوم بتحويل المواد النتروجينية في هذه الاسمدة الى نترات وهذا يزيد من خطر تلوث التربة بالنترات .

رابعا / الملوحة : نتيجة لما تعانيه بعض الترب من تفاوت كبير في خصائصها الكيميائية والفيزيائية والطبوغرافية بسبب طبيعة تكوينها وتعاقب الفيضانات عليها فضلا عن النظام الزراعي السائد وطرائق الري المستخدمة وعدم وجود نظام صرف طبيعي او اصطناعي كفوء ادى الى ارتفاع نسبة الاملاح في بعض الترب

خامسا / التلوث بالنفط الخام المحترق والمتسرب : عند احتراق النفط الخام فان الفائض منه يؤدي الى تشبع التربة فضلا عن تلوث المياه الجوفية كما يتم معدنة (Mineralization) جزء من النفط المسكوب بواسطة النشاط الميكروبي لبكتريا الهوائية الاجبارية (Obligate Aerobic Bacteria)وهذا يسبب نقصا كبيرا في تركيز الاوكسجين مما يشكل خطورة بالغة على الكائنات الحية . يؤثر وصول المركبات الهيدروكاربونية الى التربة المشبعة على هيئة نفط خام او غاز طبيعي على الخلايا النباتية كما يؤدي الى تغير في تركيب التربة ودرجة تماسكها ويقلل من محتواها من المادة العضوية . كما ان النفط الخام المتدفق من انابيب نقل النفط يشجع نمو ونشاط بعض الكائنات الدقيقة لتحول المركبات الهيدروكاربونية الى مركبات عالية السمية تؤثر بدرجة كبيرة على المجاميع الميكروبية الاخرى المنتشرة في التربة وهذا يؤدي الى الحد من الاتزان البيئي ، كم يشجع احتراق النفط الخام نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بالعديد من التحولات الميكروبية ومنها عملية الميثلة (Methylation) والذوبانية (Solubilization)والتطاير (Volatilization) وتلك العمليات ذات اضرار مختلفة على النظام البيئي كما تمتاز مساحات التربة الملوثة بالنفط الخام بقشرة سوداء . كذلك تمتاز التربة الملوثة بالنفط الخام باحتوائها على المركبات الاروماتية حيث تتراكم في الانسجة النباتية والحيوانية اذ تكون مادة مسرطنة للحيوانات عندما تأكل النباتات المختزلة لهذه المركبات .

سادسا / التلوث بالنفايات الصلبة : يؤدي التزايد المستمر في اعداد السكان مع التقدم التكنولوجي الكبير والتحسين في مستويات المعيشة الى تزايد المخلفات الصلبة سواء كانت منزلية او صناعية او تجارية والتي يتركها الفرد خلال فعالياته اليومية مما وجب التخلص من هذه المخلفات . تشمل المخلفات الصلبة على مخلفات الاغذية التي تنتج من مخلفات مطابخ المنازل والمطاعم والمستشفيات وهي مخلفات عضوية قابلة للتعفن وتسهم في تجمع الحشرات والقوارض ومخلفات قابلة للاحتراق كالورق والكارتون والبلاستك والمطاط والصوف والاخشاب وغيرها . كذلك المخلفات من المعادن والزجاج والمواد الخزفية والسيارات التالفة والاطارات القديمة كما تشمل مخلفات مواد البناء والتأسيسات الكهربائية فضلا عن المخلفات الناتجة عن محطات معالجة الفضلات ومن اخطر تلك النفايات هي النفايات الطبية كونها تحتوي على مواد صلبة متنوعة ومواد طبية معدية مما تشكل خطرا على حياة الانسان خاصة الذين يتعاملون مع هذه النفايات بشكل مستمر .

سابعا / التلوث بالمبيدات : يعرف المبيد بانه كل مادة كيمياوية تستعمل لمقاومة الآفات الحشرية او الفطرية او العشبية اذ ترش المحاصيل بالمبيدات للقضاء على الآفات والحشرات وفي بعض الحالات يصل الامر الى رش التربة نفسها ورغم فائدة تلك المبيدات في القضاء على الحشرات

الا انها تؤثر سلبا على الاحياء الدقيقة التي تعيش في التربة بالإضافة الى انها قد تقتل بعض الحشرات مثل النمل والنحل والديدان التي تعد بدورها مبيدات طبيعية تسهم في القضاء على العديد من الآفات التي تصيب المزروعات . تقسم المبيدات من الناحية الكيميائية الى مجاميع مختلفة نذكر اهمها واخطرها :

أ- **المبيدات الفسفورية العضوية** : ومنها الباراثيون والمالاثيون و دايكلوروفوس وديازيفون وهي مبيدات شديدة متوسطة الثبات في الطبيعة وهي تؤدي الى تسمم الانسان .

ب- **المبيدات الهيدروكاربونية المكلورة** : وتشمل على مبيدات الحشرات مثل الدرين و اندرين ومركب دي دي تي والكلوردين وجميعها مبيدات سامة شديدة الثبات تذوب في الدهون ومحفزة لأمراض السرطان .

ت- **مبيدات القوارض** : وتشمل فوسفيد الزنك ومانعات التجلط وهي تؤدي الى حدوث التهابات في الجهاز التنفسي للإنسان وحدوث بول دموي واورام دموية .

ث- **مبيدات اخرى متنوعة** : وتشمل زرنيخات الرصاص والكالسيوم واكاسيد النحاس ومبيدات زئبقية وجميعها مركبات شديدة السمية تكمن خطورتها في كون اغلبها عبارة عن مركبات حلقية بطيئة التحلل ولاحتواء بعضها على العناصر الثقيلة ذات درجة سمية عالية للنبات . كما ان زيادة نواتج تكسرها يزيد من تركيز وتراكم كميات من عناصر الكلور والفسفور والنترات عن الحد المسموح به في الترب الزراعية ويتأثر بها الحيوانات والانسان سواء بصورة مباشرة او غير مباشرة .

هناك عدة انواع من المبيدات تبقى لفترات طويلة في البيئة بعد رشها على المحاصيل النباتية لذلك لابد من الاخذ بالنظر بعض الامور المهمة قبل رش هذه المبيدات وهي :

١- **نوع المبيد** : يختلف تأثير نوع المبيد الملوث للتربة باختلاف نوع المبيد وتركيبة .

٢- **درجة ذوبان المبيد** : يميل المبيدات قليلة الذوبان في الماء الى البقاء في التربة فترة اطول من المبيدات كثيرة الذوبان فعلى سبيل المثال يمكن لمبيد الدي دي تي ان يبقى في الارض 30 سنة بسبب قلة ذوبانه على العكس يمكث مبيد الكاربوفوران في الارض لمدة اسبوع لان درجة ذوبانه في الماء عالية.

٣- **كمية المبيد واسلوب استخدامه** : كلما زادت كمية الميد المضافة الى التربة الزراعية كلما زادت درجة تلوث التربة والنبات كما ان طريقة اضافة المبيد في الحالة السائلة او الصلبة تلعب دورا كبيرا في تحديد مدة بقاءه في الارض كذلك تؤثر طريقة أضافته سواء اكانت مباشرة للأرض او عن طريق رش النبات على درجة تلويث المبيد للتربة والنبات .

٤- **حرث التربة :** يؤدي حرث التربة الى زيادة سرعة اختفاء المبيدات منها .

٥- **درجة حرارة ورطوبة التربة** : تؤثر درجة حرارة التربة تاثيرا ايجابيا على سرعة تبخر المبيد وعدم بقائه بين حبيبات التربة فكلما زادت درجة حرارة التربة زادت سرعة تبخر المبيد وخروجه من التربة .كما يؤثر مقدار الرطوبة في التربة على بقاء المبيدات فيها فقد اتضح ان الماء يزيح الالدرين من حبيبات التربة مما يؤدي الى تبخير مقدار كبير منه وبالتالي سرعه نفاده .

٦- **الخصائص المناخية والطقسية** السائدة : يتأثر تراكم المبيد وبقاءه في التربة بحالة الجو مثل الضوء ودرجة الحرارة ودرجة الرطوبة والرياح حيث يعتمد تحلل المبيد على كمية الضوء والحرارة اللذان يؤثران على تفاعلات الاكسدة والاختزال والتحلل المائي كما ان درجة رطوبة الجو والرياح تعملان على تعجيل او ابطاء سرعة تحلل المبيد حسب نوع المبيد ونوع التربة .

ثامنا / التلوث بالعناصر الثقيلة : تعد المعادن الثقيلة من الملوثات غير المباشرة للترب والتي لايمكن قياسها او تحديد المساحات الملوثة بسببها وهي تتمثل ب (الحديد ، المنغنيز ، الزئبق ، الزنك ، النحاس ، الرصاص ، الكادميوم ، القصدير ، النيكل ، الكوبلت وغيرها .....) .

تؤدي بعض هذه المعادن وكما هو معروف في حالة وجوده في التربة دورا مهما في حياة الاحياء المختلفة وفعالياتها البايولوجية ولها القابلية على الانتقال الى النبات والحيوان وبالتالي للإنسان وتعد هذه المعادن ذات فائدة وغير ملوثة اذا كانت بتراكيز قليلة جدا فمثلا الحديد لنسان وتعد هذه المعادن ذات فائدة وغير ملوثة اذا كانت بتراكيز قليلة جدا فمثلا الحديد له اهمية كبيرة ومعروفة في تركيب الدم والانزيمات ويعد كل من المنغنيز والنحاس والزنك محفزات انزيمية مختلفة .

تكمن خطورة هذه المعادن في عدم تحللها وتفسخها بوساطة البكتريا والعمليات الطبيعية الاخرى فضلا عن ثبوتيتها التي تمكنها من الانتشار لمسافات بعتي تمكنها من الانتشار لمسافات بعيدة عن موقع نشوئها او مصادرها . ومما يزيد من خطورتها اما يزيد من خطورتها ايضا هو قايضا هو قابليتها على التراكم الحيوي في انسجة واعضاء الكائنات الحية سواء النباتية او الحيوانية او الانسان الذي يتغذى عليها . تعد الصناعات من اهم الملوثات بعد الصناعات من اهم الملوثات بهذه المعادن كما في صناعات الاسمنت والصناعات الكيميائية مثل صناعة الاصباغ والمبيدات ومعامل انتاج الطابوق وصناعة البطاريات والورق وصناعة البلاستك والصناعات الكهربائية والتي تطرح هذه المنشئات الصناعية عددا كبيرا من الابخرة والغازات والجسيمات التي تحتوي على الكثير من المعادن الثقيلة التي تؤدي الى تلوث التربة .

تلوث الماء Water Pollution

يعرفتلوث الماء على انه اي تغيير في الخصائص الفيزيائية والكيميائية او البيولوجية مما يجعل نوعية المياه التي نتعامل معها غير ملائمة للاستخدام هذا من ناحية البشر اما بالنسبة لكثير من الكائنات الحية الاخرى فان بعض التغيرات قد تكون مفيدة لبعض منها وضارة بالبعض الاخر . فزيادة المغذيات التي تحث على استهلاك الاوكسجين عن طريق ازدهار مجموعة من المحللات يمكن ان تكون قاتلة بالنسبة للأسماك .

وعادة ما يحدث التلوث من مصادر متعدد مثل المصانع ومحطات توليد الطاقة الكهربائية ومحطات معالجة المياه والمناجم وابار النفط والمبيدات الذائبة في الماء الجاري واول هطول

للأمطار بعد فترة جفاف عادة ما تحوي على تراكيز عالية من الملوثات الحامضية والنفطية وغيرها .

مصادر تلوث المياه :

اولا / المصادر المدنية لتلوث المياه : وتشمل جميع محطات تصفية المجاري التي تطرح مياهها الى الانهار سواء كانت معالجة او غير تامة المعالجة ، كما تشمل على اي تصريف للمياه العادمة غير المعالجة التي تطرح من مجمعات مدنية كبيرة كالفنادق والمستشفيات او المعاهد او المدارس التي تقام احيانا بالقرب من الانهار لاسيما في دول العالم الثالث، كما ان هناك العديد من السواحل البحرية التي تعاني من تلوث شديد بسبب كثرة التجمعات السكانية بالقرب منها خصوصا في مواسم السياحية . تتصف المياه الناتجة من هذه التجمعات بزيادة المحتوى العضوي من المواد القابلة للتحلل العضوي في المياه وبالتالي ارتفاع كمية الاحتياج البايولوجي للاوكسجين مع زيادة للمؤشرات التالية : العوالق ، النتروجين ، النترات ، البكتريا القولونية اضافة لوجود المسببات المرضية .

ثانيا / المصادر الصناعية لتلوث المياه : لا يختلف اثنان في ان الصناعة هي من اهم وانشط المصادر المسببة للتلوث في المياه وخصوصا بالمواد الكيميائية (كالحوامض والقواعد والمواد السامة) وتختلف هذه المواد المطروحة بحسب نوع الصناعة ومما يزيد من حجم هذه المشكلة ان اغلب هذه الصناعات تحتاج الى المياه اثناء العمليات الانتاجية فالماء ان لم يدخل في الصناعة كمادة اساسية او اولية فانه يستخدم لاغراض اخرى كالتبريد او غسل المواد وغيرها ، وتقدر الدراسات المتخصصة بان احتياج المياه الصناعية الى الاوكسجين يقد بثلاثة او اربعة اضعاف ما يحتاجه مياه الفضلات المنزلية ، كما ان بعض الانشطة الصناعية تؤدي الى جميع انواع التلوث مرة واحدة فمن جهة تبعث ملوثات الى المياه واخرى الى الهواء وثالثة الى التربة على شكل فضلات صلبة ومن هذه الصناعات :

١- **الصناعات الغذائية (Food Industries)**: وهي قطاع واسع جدا من الصناعات المهمة لحياة الانسان في كل مكان من العالم وتشمل بشكل رئيسي معامل انتاج الحليب ومشتقاته وتعليب اللحوم ومعامل السكر وتعليب الفواكه وانتاج العصائر ومعامل الزيوت النباتية وغيرها .... تطرح هذه الصناعات مياه فضلات صناعية محملة بكميات كبيرة من المواد العضوية القابلة على التحلل لذلك فان اعلى قيمة للاحتياج البايوكيمياوي للاوكسجين وكذلك الكيمياوي (COD , BOD) تسجل في هذا القطاع بالإضافة لارتفاع المؤشرات التالية : العكورة ، العوالق الصلبة ، الكلوريدات ، النتروجين ، الدهون والشحوم .
٢- **الصناعات النسيجية (Textile Industry)**: وهي صناعات منتشرة في كل مكان من الدول الفقيرة الى الدول الغنية والمتقدمة وتعتمد العمليات الانتاجية على الماء بدرجة كبيرة لاسيما في عمليات غسل المواد الاولية (الصوف على وجه الخصوص) التي ترفع تركيز العوالق بدرجة كبيرة وكذلك عمليات الصبغ والتلوين التي تستخدم اصباغا هي املاح المعادن الثقيلة او مواد عضوية سامة . كما تعمل على تلويث المياه عن طريق الشوائب والاوساخ والياف الصوف التالفة ودقائق رملية والاتربة ودهون

ومعادن ثقيلة يرافق ذلك ارتفاع في قيمة الاحتياج البايوكيميائي للاوكسجين وتؤدي الصناعات القطنية الى تلوث مشابه ولكن بدرجة اقل .

٣- **معامل الدباغة (Tannery Industry)**: وهي قطاع اخر شديد التلويث للمياه وتعتمد هذه الصناعة على استلام جلود الحيوانات من المجازر وغسلهاثم تحضيرها لعملية الدباغة والصباغة بأصباغ خاصة تتآلف من مركبات سامة مما يؤدي الى ارتفاع في قيمة الدهون والشحوم والاملاح والمعادن الثقيلة بالإضافة الى ارتفاع الاحتياج البايوكيميائي للاوكسجين .

٤- **الصناعات الكيمياوية (Chemical Industry)**: وهذا القطاع متعدد الانواع فمنها صناعة الحوامض والقواعد والمبيدات والمنظفات وغي ذلك من الصناعات وتكون المياه الناتجة من هذه الصناعات ذات دالة حامضية هيدروجينية (pH) مختلفة بين حامضية وقاعدية وهذا يعتمد على طبيعة الانتاج كما يؤدي الى ارتفاع قيمة الاحتياج الكيمياوي للاوكسجين كما يؤدي الى زيادة الفسفور او النترات او الكبريتات بالإضافة الى المواد الملونة وارتفاع درجة الحرارة احيانا .

٥- **الصناعات النفطية ومصافيها (Petroleum industries and refineries)** : الصناعات النفطية ملوثة للبيئة ابتدأ من مراحل التنقيب عن النفط وما تطرحه من مياه تبريد وتسهيل عمليات الحفر مرورا بمرحلة تصفية النفط وتكريره ومرحلة نقلة بالناقلات او خطوط الانابيب وانتهاء بمرحلة استخدامه بالاحتراق . تختلف الملوثات الناتجة عن كل مرحلة وهي في الغالب تشترك في ارتفاع قيمة الهيدروكاربونات النفطية والعوالق والاملاح والمركبات الفينولية ومركبات الكبريت العضوية والا عضوية واغلب هذه الملوثات ذات تأثير على حواس الانسان بحيث يستطيع تمييز طعمها او روائحها كما ان لهذه المركبات تأثيرات سامة للأحياء المائية

٦- **الصناعات المعدنية والتعدين (Ore Mining)** : وتشمل مناطق استخراج الخامات المعدنية والفحم ومصادر الخامات وينتج عنها مياه ملوثة بالعوالق الصلبة بشكل كبير او بحوامض قوية مثل الكبريتيك فضلا عن المعادن ومنها الثقيلة .

٧- **الصناعات المطاطية والبلاستيكية (Rubber and Plastic Industries)**: يحتوي مياه الفضلات الصناعية لهذه الصناعات على مواد عضوية قابلة للتحلل العضوي وبذلك تكون قيمة الاحتياج البايوكيميائي للاوكسجين عالية بالإضافة الى مواد ذات رائحة (اي مواد قابلة للتطاير) .

٨- **الصناعات الورقية :**بالإضافة الى تلوث الهواء الواسع النطاق الذي ينتج من هذه الصناعات فان التلوث بالمياه لايقل اهمية عنه . اذ يطرح هذا القطاع من الصناعة الاف الامتار المكعبة من مياه الفضلات مقابل انتاج الورق والعجينة الورقية ويعتمد نوع الملوثات وتركيزها على طريقة الانتاج وهي غالبا ما تكون متألفة من خليط معقد من الكيمياويات السامة . بالإضافة الى ما يقرب من 50% من الفضلات السيليلوزية والتي تكون معتمة بدرجة كبيرة ولذلك فأنها تسبب تأثيرات خطيرة على البيئة المائية لدى طرحها ومن هذه التأثيرات حرمان النباتات من ضوء الشمس مما يخفض من الانتاجية النباتية ، كما ان ميلها للتحلل الحيوي يحرم البيئة النباتية من الاوكسجين اللازم لها .

ثالثا / المصادر الزراعية الملوثة للمياه :

تشكل الزراعة جانبا اساسيا وهاما لحياة الانسان فالزرعة توفر لملايين البشر ما يطلبونه من منتجات زراعية كغذاء يومي وتلبية للطلب المتزايد على المواد الغذائية فقد اصبحت الزراعة الحديثة تتطلب استخدام الكيمياويات الزراعية لتحسين نوعية المنتجات باستخدام المبيدات الزراعية لوقاية المحاصيل والفواكه والخضر او استخدام الاسمدة الكيمياوية لتحسين نوعية المنتج لذا تشكل الزراعة جانبا اساسيا وهاما لحياة الانسان فالزرعة توفر لملايين البشر ما يطلبونه من منتجات زراعية كغذاء يومي وتلبية للطلب المتزايد على المواد الغذائية فقد اصبحت الزراعة الحديثة تتطلب استخدام الكيمياويات الزراعية لتحسين نوعية المنتجات باستخدام المبيدات الزراعية لوقاية المحاصيل والفواكه والخضر او استخدام الاسمدة الكيمياوية لتحسين نوعية المنتج لذلك فقد ادخلت لهذا الغرض العديد من المركبات العضوية واللاعضوية وهي تستخدم بكميات تقدر بملايين الاطنان سنويا في عموم العالم . نلاحظ بان الاسمدة الكيميائية تتألف من واحد اواكثر من املاح العناصر الثلاثة وهي النتروجين والفسفور والبوتاسيوم ، ان تزايد تراكيز هذه العناصر الثلاثة في البيئية المائية يؤدي الى حالة الاثراء الغذائي المتمثلة في زيادة نمو الهائمات النباتية في المياه مما يخفض صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة وتمثل زيادة تراكيز النترات في المياه خطرا ذا طبيعة خاصة عند استهلاك المياه الملوثة بها خصوصا للأطفال الرضع ، اذ تختزل النترات (No_3)الى نتريت (No_2) في معدة الاطفال بسبب فعالية انزيم الرينين في الجهاز الهضمي يعقب ذلك اتحاد النتريت بعد امتصاصه من الامعاء مع الهيموغلوبين في الدم محولا اياه الى مركب اخر ويكون غير قادر على نقل الاوكسجين ويعرف بمركب الميثيموغلوبين (Methemogobin).

انواع الملوثات :

هناك العديد من الملوثات المائية ولعل اشهرها الممرضات (Pathogens) والعناصر الثقيلة والسامة والرسوبيات والمغذيات .

اولا/ ملوثات المياه السطحية :

١- **الملوثات المعدية (Infections Pollutants)**: لعل اشهر واخطر الملوثات المعدية التي توجد في امعاء الحيوانات ذات الدم الحار ومنها الانسان مثل البكتريا والطفيليات والفيروسات . وخلال فترات الهطول الشديد يحذر خبراء الصحة من الاقتراب من التجمعات المائية وذلك بسبب احتمال تلوث الماء الجاري بمسببات هذه الامراض . وعادة ما يجري فحص المياه لبيان مدى احتواء الماء على الممرضات عن طريق ترشيح العينات المائية حيث لا تمر البكتريا من خلال ورق الترشيح . ثم تضاف سوائل مغذية للبكتريا للسماح لها ببناء مستعمرات خلال فترة اربع وعشرين ساعة واذا ما تم بناء اكثر من مستعمرة تعتبر المياه غير صالحة للشرب .

٢- **العادم المستهلك للاوكسجين)Oxygen Demanding Waste(**: يعتبر تركيز الاوكسجين المذاب في الماء Dissolved oxygen مؤشرا هاما على نوعية مياه السدود والانهار والبحيرات بصورة عامة . ويؤثر في هذا التركيز الاوكسجين الذي تنتجه النباتات الخضراء خلال النهار وعمليات تنفس الكائنات الخضراء والمائية ليلا ونهارا .كما يؤثر في ذلك مايذوب من اوكسجين الهواء في الماء . وتؤدي اضافة بعض انواع العادم الى الماء مثل بقايا الطعام ومياه الصرف الصحي وروث الحيوانات الى زيادة استهلاك الاوكسجين من قبل المحللات وبالتالي الى نقص في تركيزه . ويعبر عن اثر دخول هذه المواد الى الماء بمصطلح الاوكسجين المتطلب حيويا (BOD) Biological Oxygen Demand وهذا فحص لكمية الاوكسجين المذاب الذي استهلكته المكروبات الموجودة في الماء خلال فترة مقدارها خمسة ايام لتحليل المواد العضوية وهناك فحص اخر يسمى الاوكسجين المتطلب كيمياويا Chemical Oxygen Demand(COD) يجري تنفيذه باستخدام عامل مؤكسد لا تمام تحليل المادة العضوية في الماء وعلى الرغم من كون هذه الطريقة اسرع الا انها تعطي نتائج ذات قيمة اعلى نظرا لتأكسد مركبات لا تتم اكسدتها عادة من قبل البكتريا . ومن الجدير بالذكر بان المياه يجب ان تحتوي على تركيزات اعلى من (4) ملغم / لتر من الاوكسجن لاستمرار حياة الاسماك .

٣- **الاثراء الغذائي (Eutrophication)**: يساهم الاثراء الغذائي ، اي الوفرة في الغذاء كزيادة تركيز الفسفور والنتروجين في تلوث المياه بشكل كبير فالغذاء الوفير يساهم في زيادة معدلات نمو النبات مما يؤدي الى احداث تعاقبات بيئية غير محمودة . فالبحيرات ذات مستويات التغذية القليلة اذا ما عانت من مشكلة الاثراء الغذائي فان نمو الطحالب فيها سيزدهر . كما ستنمو انواع اخرى من النباتات المائية مما سيؤدي بالتالي الى زيادة الروائح الكريهة وارتفاع سمية المياه وانعدام صلاحيتها للشرب وزيادة عمليات الترسيب . كما يحدث الاثراء الغذائي في البحار ايضا ولعل اشهر بحار العالم معاناة من هذه المشكلة هو البح الابيض المتوسط .ولعل من اهم الاجراءات الواجب اتخاذها هو عدم الافراط في استخدام الاسمدة ومكافحة تعرية التربة .

٤- **العناصر الثقيلة والسامة (Heavy and Toxic Metals)**: تستخدم المجتمعات الحديثة مركبات كيمياوية مختلفة في الصناعة والزراعة والامور المنزلية كما ان هناك استخدام مستمر للمركبات الجديدة .والكثير من هذه المركبات يمكن ان يصل الى المياه السطحية والجوفية ومن بين الكيمياويات السامة العناصر الثقيلة مثل الكادميوم والرصاص والزئبق والقصدير والسيلينيوم والاحماض والاملاح والنترات .

٥- **الرسوبيات (Sediments)** : تتضمن الرسوبيات ما تجلبه الرياح والمياه الجارية الى البحيرات والانهار والاودية وهي من اكثر مصادر التلوث كونها تنقل الملوثات الاخرى وتنشرها على مساحات واسعة وتستقر الرسوبيات ذات الحبيبات الصغيرة من نوع الغرين والطين في قيعان التجمعات المائية على شكل طبقات رقيقة وقبل ان تستقر في القاع تساهم في تعكير المياه والحد من استخداماتها المختلفة . كما تساهم العكورة في الحد من كمية الضوء الضروري للنباتات ولنموها كما تساهم ايضا في رفع درجة

حرارة المياه عن طريق امتصاص الطاقة الشمسية ، كما انها تزيد من تكلفة معالجة المياه لجعلها صالحة للشرب .

٦- **المواد العضوية السامة (Toxic Organic Compounds)**: تستخدم الصناعة والزراعة الاف المركبات الكيمياوية العضوية المصنعة في انتاج المواد البلاستيكية والادوية والاصباغ والكثير من هذه المواد ذو سمية عالية جدا . ومما يزيد من هذه المشكلة ان بعضا من هذه المركبات لا يتحلل بالسرعة الكافية بحيث يشكل وصولها الى المياه تهديدا خطيرا للصحة . ومن اشهر الملوثات العضوية الديوكسين Dioxin والهيدروكاربونات المكلورة Hydrocarbons Chlorinated .

٧- **التلوث الحراري (Thermal Pollution)** : تتأثر الحياة المائية الى حد كبير بالتغيرات في درجات الحرارة بعيدا عن مستوياتها العادية فارتفاع درجة الحرارة يواكبه نقص في كمية الاوكسجين المذاب. ويقوم البشر بتلويث التجمعات المائية عن طريق صرف المياه الساخنة الناتجة عن توليد التيار الكهربائي والصناعات الاخرى وللتقليل من الاثار السلبية للتلوث الحراري عادة ما يطلب من الشركات انشاء ابراج لتبريد الماء قبل صرفه الى الانهار والبحيرات المجاورة .

ثانيا / ملوثات المياه الجوفية :

تعتمد كثير من البلاد على المياه الجوفية كمصدر رئيسي للماء ويتهدد هذا المصدر خطران رئيسيان اولهما الاستنزاف وثانيهما التلوث والسبب الرئيسي هي المياه العادمة التي مصدرها الحفر وشبكات الصرف الصحي التالفة . وبما ان حركة المياهالجوفية بطيئة فان تحري مشكلة التلوث عادة ما يتأخر وفي حالة حدوث التلوث والتعرف على مصدره لابد من ايقاف مصدر التلوث ومحاولة ضخ المياه الجوفية الملوثة اذا كانت محدودة الانتشار وهجر البئر فترة من الزمن ريثما تزول المشكلة .

ثالثا / ملوثات المحيطات Ocean Pollution:

تشهد مياه البحار والمحيطات بالقرب من الكثير من الشواطئ ومن مصبات الانهار والمدن الساحلية عمليات تلوث بالنفايات السامة وغي السامة وبالبقع النفطية وتقدر الخسائر عن ذلك ببلايين الدولارات . كما تطرح في مياه المحيطات كميات كبيرة من العوادم الصناعية والمنزلية ومثل هذه العوادم تكون غنية بالعناصر الثقيلة والسامة كما تلقي اساطيل النقل البحري واساطيل صيد السمك كميات كبيرة من العوادم غير المعالجة بالإضافة الى الحروب والحوادث المؤسفة من اسكاب النفط من الناقلات حيث تؤثر البقع النفطية سلبا على الحياة البحرية وعلى الشواطئ .

معالجة مياه الفضلات :

تشكل مياه الفضلات المنزلية Domestic Waste Water او مياه المجاري المنزلية التي تنتج عن المدن مصدرا رئيسيا من مصادر تلوث المياه ولذلك فان من الضروري اخضاعها الى معالجة للحد من المواد العضوية القابلة للتحلل فيها قبل طرحها الى المصادر المائية او قبل

الاستفادة نها في استخدامات ذات درجات ادنى . ولذلك فمن المعتاد ان تسبق مرحلة المعالجة البيولوجية مراحل تمهيدية هي كما يأتي :

١- **المعالجة الميكانيكية Mechanical treatment**: ان طرق المعالجة الميكانيكية او الفيزيائية المتبعة في مجال المعالجة يكون بإزالة الاجزاء الكبيرة والاجسام الطافية من خلال تمرير المياه في مشبكات معدنية او ترسيب العوالق الصلبة .
٢- **المعالجة الكيمياوية Chemical treatment** : وهي اضافة بعض المواد القليلة الضرر على البيئة لغرض معادلة حامضية او قاعدية مياه الفضلات او لترسيب المعادن الثقيلة ويكثر استخدام هذه المعالجات في محطات معالجة مياه الفضلات الصناعية .
٣- **المعالجة البايولوجي treatment Biological** : وهي اكثر انواع المعالجة شيوعا واكثرها كفاءة في المعالجة وتتم على مرحلة او مرحلتين واحيانا ثلاثة مراحل .

ويتحدد نوع المعالجة المطلوب اجراؤها على عدة معايير من اهما :

أ- موقع التصريف النهائي الى النهر او البحيرة او الساحل البحري ومدى اهمية جوانب استخدامات المياه.
ب- عامل التخفيف (dilution factor)الذي يقدمه المصدر المائي نسبة الى حجم التصريف .
ت- الغاية من استخدام المياه في الموقع بعد التصريف ومدى الخطورة المحتملة على مستخدمي تلك المياه او الاحياء المائية في المصدر .
ث- الكلفة الاقتصادية المترتبة على تطوير وحدات المعالجة بما يتلاءم مع الاستخدام النهائي للمياه .

تقسم عملية معالجة مياه الفضلات المنزلية الى ثلاثة مراحل بشكل عام :

المعالجة الاولية Primary Treatment: وهي ابسط المراحل وتبدا من عملية ازالة الاجسام الطافية والعوالق الصلبة بطرق ميكانيكية ، حيث تمرر المياه القادمة من شبكة مجاري المدينة خلال مشبكات معدنية لعزل الاجسام الطافية الكبيرة الحجم ويتم بعد ذلك ازالة الدهون والرغوة الطافية فوق سطح الماء بواسطة قاشطات (Skimmers) او اذرع ميكانيكية دوارة ، يعقبها تمرير المياه الى احواض خاصة تستقر فيه المياه لفترة وجيزة لترسيب ما تحمله من مواد عالقة ويعرف هذه الاحواض (Sedimentation tank) بأحواض الترسيب وما ينتج من ترسبات في هذه المرحلة يعرف احيانا بالحماة الفجة او الاولية Raw or primary sludge والتي تحتوي على 94-99% ماء . ينتج عن هذه المرحلة كميات كبيرة من غاز الميثان (CH_4) الذي يعرف بالغاز الحيوي Bio gas يستخدم عادة كمصدر طاقة في نفس المحطة وذلك في تدفئة الاحواض وتنشيط الحماة او لإدارة المضخات وغير ذلك وبانتهاء هذه المرحلة تكون مياه الفضلات قد تخلصت من مايقارب من 40% من العوالق الصلبة لكنها ما تزال محتوية على تراكيز عالية من الملوثات ومع ذلك فان العديد من دول العالم الثالث تكتفي بهذه المرحلة وتقوم بتعقيم المياه بغاز الكلور .اما في الوقت الحاضر فنلاحظ بان هناك العديد من الممارسات الحديثة تستخدم لتعديل اجراءات تصريف مياه المجاري بعد معالجتها للاستخدام

الزراعي بدلا من اعادتها الى المصادر المائية المخصصة لمياه الشرب ويتركز اكثر هذه الاتجاهات على ري المزروعات التي لاتؤكل مباشرة بل تحتاج الى تجفيف او عمليات تحضير مثل بذور زهرة الشمس او فول الصويا او المزروعات التي لاتؤكل مثل الكتان و القطن .

المعالجة الثانوية Secondary Treatment : وهذه هي المرحلة الحقيقية للمعالجة البايولوجية وتشمل ازالة ماتبقى من المواد العضوية بواسطة تكسيرها حيويا بتشجيع نمو الاحياء المجهرية الموجودة اصلا في مياه الفضلات بتوفير الظروف الملائمة لها تحت سيطرة دقيقة مما يؤدي الى ازالة حوالي 90% من هذه المواد العضوية وهناك طريقتين رئيسيتين هما :

١- **استخدام المرشح التنقيطي Trickling filter**: وتعتمد الطريقة على ضخ المياه في انابيب مثقبة فتؤدي الى رش المياه بالتنقيط او بالرذاذ على طبقات من الحصى ذات سمك عدة اقدام وتسمح هذه الطبقات بمرور المياه من خلال طبقات الحصى فتعمل البكتريا المتكاثرة فيما بينها على تكسير المواد العضوية وتخليص المياه منها ، فتصل الى اسفل الحوض حيث توجد شبكة اخرى من انابيب افقية تقوم بجمع المياه الواصلة ونقلها الى خارج الحوض .

٢- **طريقة الحمأة المنشطة Activated Sludge Method**: تعتمد هذه الطريقة على استخدام البكتريا الموجود في الحمأة لتكسير المواد العضوية وتتم العملية بإيصال المياه القادمة من المرحلة الاولى الى حوض يعرف بحوض التهوية (Aeration Tank) حيث يخلط مع الحمأة لعدة ساعات بينما يضخ الهواء في المياه لغرض اغناءها بالأوكسجين الذائب فتتكاثر المحللات بدرجة كبيرة نظرا لوفرة الظروف الملائمة لها من اوكسجين ذائب ومواد عضوية فتنشط بذلك عمليات التحلل . تمرر بعد ذلك المياه الى احواض ترسيب لإزالة الحماة الغنية بالأحياء المجهرية ويمكن وصف الحماة في هذه الحالة بانها منشطة Activated ويمكن استخدامها مجددا ، لذا تتم اعادتها الى احواض التهوية لتخلط مع وجبة جديدة من الفضلات . ان المياه الناتجة من هذه المرحلة يمكن ان تدخل المرحلة الثالثة من المعالجة او ان تصرف الى خارج المحطة بعد تعقيمها بغاز الكلور وتمتاز طريقة الحماة المنشطة بأهمية كبيرة وكفاءة عالية لكنها تفقد كفاءتها جزئيا او كليا احيانا في حالة وجود مواد سامة في مياه الفضلات ويعود السبب في ذلك الى سمية بعض المركبات الصناعية للأحياء المجهرية . وبغية التخلص من الكميات الكبيرة من الحماة الاولية التي تتجمع عادة في المحطة فأنها تتعرض الى عمليات تجفيف لإزالة الماء الزائد منها وذلك بتجفيفها باستخدام الحرارة او في الهواء الطلق وتحول بعد ذلك الى مرحلة مستقلة تعرف بمرحلة الهضم وذلك بجمعها في حوض يعرف بخزان الهضم Digestion tankتجري فيها عمليات التحلل في ظروف لاهوائية وتعزل بعد ذلك ، حيث يتم التخلص النهائي منها اما بالطمر بالحرق او باستخدامها كمخصبات للتربة الزراعية باعتبارها مواد عضوية متحللة وحاوية على تراكيز مناسبة من النتروجين والفسفور وغيرها من المواد الضرورية لتحسين الانتاج الزراعي .

المعالجة الثالثة Tertiary treatment: وهي مرحلة متطورة من اجراءات المعالجة التي تتم على المياه الناتجة من المرحلة الثانوية ولاتستخدم الا في حالات معينة وتعتمد على اشكال مختلفة من المعالجات الكيمياوية مثل اضافة مواد كيمياوية لإزالة بعض المواد مثل النترات والفوسفات او بعض العوالق الصلبة وغيرها الا ان هذه المرحلة غير مألوفة عموما في الوقت الحاضر .

العمليات الملحقة بمراحل المعالجة Adjunct processes :

- **تخمير الحماة Sludge Digestion** : تتعرض الحماة في محطات المعالجة الى معالجة بيولوجية متقدمة تتضمن تخميرها في جو يخلو من الاوكسجين حيث تتحلل المواد العضوية الى احماض عضوية بسيطة وتتصاعد غازات اشهرها غاز الميثان وثاني الكاربون وكبريتيد الهيدروجين اما ما يتبقى فيشبه في طبيعته الدبال ويسمى الدمان .
- **انتزاع ماء الحماة Sludge Dewatering** : يتطلب التخلص من الحماة في مكبات الطمر الصحي التخلص من محتواها المائي ويمكن ان يتم ذلك بنشرها فوق طبقة من الرمل الناعم او باستخدام اجهزة الطرد المركزي او بطرق مختلفة من الترشيح .
- **تجفيف الحماة Sludge Drying**: عند استخدام الحماة لأغراض التسميد لابد من تجفيف وانتزاع الماء منها وتعقيمها قبل تعبئتها وتغليفها ويتم ذلك باستخدام الحرارة حيث يجري ضمان قتل جميع انواع الممرضات مما يؤمن الاستخدام الامن لهذه المادة .
- **الحرق Incineration** : يتم تعريض الحماة لدرجات حرارة عالية مما يؤدي الى حرق المادة العضوية والقضاء على امكانية استخدامها كسماد وفي الحرق اختزال لحجم الحماة وتسهيل التخلص منها في مكبات النفايات الصلبة المنزلية.

وبشكل عام :

١- عدم القاء الدهونات والزيوت والمنظفات الكيميائية والمبيدات في شبكة الصرف الصحي .
٢- استخدام المنتجات عديمة السمية .
٣- ترشيد استهلاك المياه للحد من استنزاف مصادرها .
٤- استخدام كميات مناسبة من المخصبات والاسمدة الطبيعية والقليل من الصناعية .
٥- عدم اغراق الحدائق المنزلية بالمياه واستخدام الري بالتنقيط لتجنب وصول الاسمدة الى المياه الجوفية
٦- عدم القاء النفايات في شبكات الصرف الصحي .
٧- استعمال الحفر الاسمنتية المبطنة من جميع جوانبها لمنع رشح الملوثات وعدم وصولها الى المياه الجوفية .

تلوث الهواء Air pollution

الاصل في الهواء ان يكون نظيفا خاليا من الملوثات كما ورد في كثير من المصادر غير ان تزايد اعداد البشر وكثرة استعمالهم للوقود الاحفوري في وسائل النقل والصناعة ادى الى اضافة مواد كثيرة للهواء بحيث لا تخلو بقعة من الارض من هذه الملوثات بغض النظر عن مستوى التلوث . غير ان الحقيقة تقتضي بان نذكر ان ما يضيفه الانسان من ملوثات الى الهواء لا يزيد عن عشر مايضيفهاالطبيعة سنويا من الملوثات نفسها . فالبراكين تضيف مثلا غازي ثاني اوكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين بينما يؤدي تحلل المادة العضوية في المستنقعات الى خروج كميات كبيرة من غاز الميثان اما الاشجار فينتج عنها ملايين الاطنان من المواد العضوية الطيارة وغيرها .....

ملوثات الهواء ومصادرها :

تقسم ملوثات الهواء الى قسمين اولية وثانوية تبعا لألية انتاجها فالملوثات الاولية هي تلك التي تخرج الى الهواء من مصدر التلوث مباشرة كغاز ثاني اوكسيد الكبريت الذي يضاف الى الهواء عند حرق الفحم الحجري مثلا اما الملوثات الثانوية فينتج من تفاعل الملوثات الموجودة في الهواء بعضها البعض . ويمكن تعريف تلوث الهواء بانه اي تغير في تركيز واحد او اكثر من المكونات الطبيعية الغازية للهواء الطبيعي سواء كان هذا التغير زيادة او نقصان او ظهور غازات او ابخرة او جسيمات عالقة او غير ذلك .

اولا / الملوثات الاولية Primary Pollutions : وهي مجموعة من المواد تغلب عليها الاكاسيد كما ينتجها الطبيعة .

١- **اكاسيد الكاربون** : ثاني اوكسيد الكاربون هو غاز الكاربون الرئيسي في الجو.90% من هذا الغاز مصدرها تنفس الكائنات الحية غير ان هذه الكمية تستهلك من جديد في عملية التركيب الضوئي من قبل النباتات . يطلق الانسان سنويا 5بليون طن من ثاني اوكسيد الكاربون في عمليات حرق الوقود الاحفوري وحرق الغابات وهو ما يشكل نسبة 0.4%تقريبا مما هو موجود في الغلاف الجوي . ينتج غاز Coمن اتحاد الكربون بالأوكسجين عند احتراق الاول احتراقا غير تام ومصدر الكاربون في هذه الحالة هو الوقود النفطي او الفحم بأنواعه او الغاز الطبيعي وهي الانواع الرئيسية لمصادر الطاقة على وجهة الارض وتعرف مجتمعة بالوقود الاحفوري (Fossil Fuels)ويعود سبب هذه التسمية الى منشأها وهو المواد العضوية الحيوانية والنباتية التي انطمرت في باطن الارض قبل ملايين السنين وتحولت بفعل الحرارة والضغط الشديدين الى الوقود النفطي والفحم الحجري والغاز الطبيعي ، اما مصادره الاحتراقية فتشمل مواقع حرق الوقود اينما كانت ومنها معامل الطابوق والاسمنت والزجاج ومحطات توليد الكهرباء وغيرها الا ان اكفأ المصادر الاحتراقية في اطلاق غاز اكاسيد الكاربون وخاصة احادي اوكسيد الكاربون فهو قطاع النقل والمواصلات وذلك بسبب كثرة اعدادها وانتشارها في جميع انحاء العالم وحتى في المناطق السكنية والريفية وهو يشكل 50%من مجموع الانبعاثمن المصادر الاحتراقية الناتجة عن نشاط الانسان وغاز احادي اوكسيد الكاربون غاز سام للإنسان والاحياء الاخرى وهو عديم اللون والطعم والرائحة وهذا ما يزيد من خطورته اذ ان المتعرض له قد يغيب عن الوعي دون ان يحس بوجود الغاز ويتركز التأثير السمي لهذا الغاز في ميله الشديد للتفاعل مع صبغة الهيموغلوبين في الدم مما يؤدي الى تحولها الى مركب ثابت نسبيا هو الاوكسي هيموغلوبين وبذلك تتناقص كمية الاوكسجين المجهزة للأنسجة الجسمية واول الاعضاء التي تتأثر بهذا النقص هو الدماغ .

يمكث غاز احادي اوكسيد الكاربون في البيئة حوالي شهرا واحدا فقط يتحلل بعدها ويتلاشى الا ان طريقة تلاشيه واختفائه لاتزال غير مؤكدة تماما ولكن يعتقد بان النباتات قد تمتص جزءا منه ويلتصق الجزء الاخر على سطوح بعض الاجسام الصلبة مثل دقائق التربة بينما تمتص الاحياء المجهرية في التربة جزءا ثالثا منه . اما تحوله الى Co_2 فانه يبدو ممكنا وسهلا من الناحية النظرية فقط اما في الطبيعة فانه ان كان يتم فعلا فانه يجري بصورة بطيئة بحيث لاتشكل اي اهمية تذكر . اما بالنسبة للتأثيرات البيئية للغاز تتعلق بتأثيره على النباتات اذ يتسبب غاز احادي اوكسيد الكاربون تثبيط عملية تثبيت النتروجين اللازم للفعاليات الحيوية ونمو النبات وخاصة عند التراكيز العالية حيث نلاحظ تساقط الاوراق والشيخوخة المبكرة للنبات ويلاحظ هذا بشكل واضح في النباتات النامية على جوانب الطرق المزدحمة بالسيارات كما انها تميل الى الاتحاد مع احد الانظمة الانزيمية الهامة في الخلايا النباتية والمسؤول عن حرق السكر لغرض انتاج الطاقة اللازمة للخلية وهذا مايعرف بالتنفس الخلوي مسببا تثبيط العملية في الخلايا النباتية ولايعرف مثل هذا التأثير في الخلايا الحيوانية او البشرية . وبقي ان نذكر ان معظم هذا الغاز يذهب في تفاعلات ثانوية لتكوين الاوكسجين والاوزون القريب من سطح الارض .

٢- **اكاسيد الكبريت ومركباته** : يصل الكبريت الى الجو بطرق عديدة مثل البراكين على شكل So_2 وتحلل المواد العضوية لاهوائيا(كبريتيد الهيدروجين) وغبار الصحراء الحامل للكبريتات وغير ذلك . غير ان اهم مركبات الكبريت في الجو هو غاز ثاني اوكسيد الكبريت . ومن اكثر الانواع تاثيرا على البيئة وصحة الانسان هوSo_2بالدرجة الاساسية وثلاثي اوكسيد الكبريت So_3بدرجة ادنى . ويعود منشأ هذه الاكاسيد من وجود عنصر الكبريت في الوقود الاحفوري بأنواعه الفحم والنفط والغاز والذي يتحول عن حرقة الى غازSo_2فينطلق الى الهواء بكميات هائلة الحجم سنويا . غازSo_2عديم اللون ذو رائحة نفاذة ومميزة ومخرمشللأنف ويمكن للإنسان ان يحس بطعمه على اللسان ويمتلك هذا الغاز تاثيرا ساما على الاحياء المجهرية الموجودة في التربة مما يؤثر على خصوبة التربة في المناطق الملوثة كما ان له تأثير سام على النباتات ايضا ويمكن استخدام النباتات كدليل على تلوث هواء منطقة ما بهذا النوع من الغازات حيث تظهر على النباتات اعراض تشباه لدرجة كبيرة اعراض التيبس الناتجة عن الجفاف او الاجهاد وهو الاصفرار في مناطق مابين العروق ثم الاصفرار الشامل مع التقادم الزمني . ولقد وجد ان ايقاف التعرض الى الملوث سواء بحجب المصدر الملوث او بنقل النباتات الى مناطق نقية قد حفز الاوراق على استعادة اخضرارها . كما تعمل على تأكل المباني الحجرية والكلسية والتماثيل والنصب والاثار القديمة وتأكلالمنشآت المعدنية كالجسور وابراج الاتصالات والكهرباء ، واخيرا فان اكاسيد الكبريت عموما تؤثر على اصباغ الاجزاء المعدنية واصباغ المباني فتفقدها الوانها الزاهية كما تقلل بنفس الوقت من مقاومتها للرطوبة الجوية . اما بالنسبة لمصير الغاز في البيئة فهو قد يتاكسد الى ثلاثي الاوكسيد ثم الى حامض الكبريتيك او الامونيوم الذي قد يترسب على شكل بلورات دقيقة وهذا ما يعرف بالترسيب الجاف وقد يقضي مدة تتراوح ما بين (٥-١٤ يوم) على هذا الشكل المعلق في الهواء او ان يذوب في مياه الامطار ليصل الى التربة ويكون في مثل هذا الشكل الكيمياوي مفيد للنبات .

٣- **اكاسيد النتروجين** : تنتج اكاسيد النيتروجين اثناء حرق الوقود الاحفوري فيتاكسد نيتروجين الهواء المصاحب للاوكسجين او الموجود في الوقود الى اوكسيد النتريك Noاولا الذي بدوره يتاكسد الى ثاني اوكسيد النيتروجين No_2بني اللون . يذوب هذا الغاز في الماء ويصبح مكونا في المطر الحامضي ثم انه يسهم في تكوين الاوزون القريب من سطح الارض . 45%من هذا الغاز في الجو هو انتاج البشر كذلك ينتج ايضا من اكسدة الامونيا الناتجة من تحلل المادة العضوية والاسمدة . اما الاشكال الاخرى من اكاسيد النتروجين فهو غاز اوكسيد النتروز الذي كان يستخدم في الجراحة كغاز مخدر وكان يعرف باسم الغاز المضحك نظرا لشكل الشخص المتعرض له والذي كان يبدو كما لو كان يضحك بينما في حقيقة الامر فان الغاز يسبب تقلص عضلات الفكين فيبدو الشخص في تلك الهيئة .

في فوهات الانبعاث الغازي مثل انبوبة العادم في السيارات او فوهات المداخن يكون غاز اوكسيد النتريك Noهوا الشكل السائد لكنه يتحول فورا الى غاز ثنائي اوكسيد النتروجين بعد عملية تأكسد سريع

$$2\,No_2 \longrightarrow 2No + O_2$$

ثم يعود الغاز الناتج No_2 الى التحلل تحت تأثير ضوء الشمس وبوجود غاز الاوزونO_3 مكونا الشكل الاول له Noوتنكسر بذلك جزئية الاوزون متحولة الى اوكسجين ذري شديد الفعالية لايلبث ان يتحد مع جزيئة اوكسجين اخرى متحولا الى اوزون مرة اخرى .

$$NoNo_2 + O \longrightarrow$$

$$O_3O_2 + O \longrightarrow$$

وهذه التفاعلات لها اهمية بالغة في تكوين ظاهرة الضباب الدخاني ، احدى اشهر واخطر ظواهر تلوث الهواء في المدن الكبرى . ليس لغاز اوكسيد النتريك اهمية بيئية او صحية عدا امكانية تحوله الى ثنائي الاوكسيد ، وغاز اوكسيد النتريك بحد ذاته غير سامة ويمتلك قابلية الاتحاد بهيموغلوبين الدم في الانسان والحيوان الا انه ليس له القابلية على اختراق الحويصلات الرئوية والوصول الى الدم والارتباط بالهيموغلوبين .
اما غاز ثنائي اوكسيد النيتروجين وهو الشكل الاكثر وجودا في الهواء فهو غاز سام ويمكن للإنسان ان يميز رائحته ويبدا تأثير هذا الغاز بالتهاب الرئتين يعقبها استسقاء الرئتين بعد عدة ايام وفي التراكيز العالية يكون قاتلا للإنسان في خلال عدة دقائق الا ان الوصول الى هذه التراكيز يكون في حالات استثنائية فقط .
اما النباتات فهي اكثر تحملا للتراكيز العالية من اكاسيد النتروجين هذا مع العلم بان النتروجين ومركباته تعتبر من العناصر الاساسية لتغذية النباتات وان ذوبان الاكاسيد في مياه الامطار يعتبر ظاهرة طبيعية ومهمة جدا لنمو النبات وتكاثره لا ان التراكيز العالية منه يؤدي الى تساقط اوراق الاشجار وتلاحظ مثل هذه الظاهرة بكثرة في المناطق المجاورة لمعامل الاسمدة النتروجينية اما زيادة المركبات النتروجينية في المياه فله تأثيرات سلبية من نوع اخر تتمثل في تنشيط نمو الهائمات النباتية وحدوث ظاهرة الاثراء الغذائي .
تسبب اكاسيد النتروجين تأثيرات بيئية متفرقة منها قصر الالوان للأقمشة وتشويه الالياف النسيجية القطنية او تدخل في تكوين الامطار الحامضية مع اكاسيد الكبريت وفي مثل هذه الحالات يكون لها دور في تأكل الاجزاء المعدنية للجسور واعمدة الكهرباء .

٤- **الفلزات :** تضاف الى الهواء سنويا كميات ليست قليلة من بعض الفلزات الضارة بصحة الانسان والبيئة مثل الرصاص والزرنيخ والزئبق والكادميوم وغيرها وينتج معظمها من حرق الوقود الاحفوري خاصة الفحم الحجري والبترول وتوجد في الجو على شكل بخار او مادة معلقة في الهواء . فالرصاص مثلا يخرج من احتراق البنزين في وسائل النقل ويؤدي تكدس الرصاص في الجسم الى شكل من اشكال التخلف العقلي للأطفال .
اما الزئبق فيضاف الى الهواء من حرق الفحم او من المبيدات الفطرية .

٥- **الهالوجينات :** ونخص من بينها الفلور والكلور التي تستعمل في غازات الثلاجات وغيرها على شكل مركبات الكاربون والكلور والفلور (Chlorofluorocarbons) التي ينتج منها 600 مليون طن سنويا والتي اثرت كثيرا في تأكل طبقة الاوزون .

٦- **المواد المعلقة في الهواء :** وهي مواد صلبة او قطرات سائلة معلقة في الهواء ومن امثلتها الغبار وحبوب اللقاح والدخان وبعض الفلزات . قد يزيد ما ينتجه الانسان من

هذه المواد عن 100 مليون طن سنويا . غير ان البراكين وعواصف الصحراء قد تنتج ما يربو على 100مرة انتاج البشر من هذه المواد المعلقة . ويبدو ان الحبيبات الدقيقة جدا هي اكثر خطورة لأنها تدخل مع هواء التنفس الى الرئتين مسببة امراض الجهاز التنفسي ومنها سرطان الرئة .

٧- **المواد العضوية والطيارة :** وهي مجموعة من المركبات العضوية التي توجد في الهواء على شكل غازات وهي من انتاج الطبيعة في غالبيتها . فالنباتات تنتج ما مقداره 350مليون طن من مركبات الايزوبرين و 450 مليون طن من مركبات التربين ($C_{10}H_{15}$) بينما تطلق المستنقعات وزراعة الارز وغيرها ما مقدار 400 مليون كن من غاز الميثان . يتاكسد الجزء الاعظم من هذه المواد في الجو الى اكاسيد الكاربون وهناك مجموعة اخرى من المواد الطيارة تطلقها الصناعات الكيميائية ومصافي البترول واحتراق الوقود الاحفوري في وسائل النقل والصناعة مثل البنزين والتلوين والكلوروفورم وغيرها هذه المجموعة الاخيرة بشرية المصدر وتكثر في المدن الكبيرة .

ثانيا / الملوثات الثانوية : وهي الملوثات التي تنتج من تفاعل الملوثات الاولية بمساعدة الاشعة فوق البنفسجية لإنتاج مواد جديدة خطرة على الصحة والبيئة وتسمى هذه الملوثات ايضا بالملوثات الكيموضوئية Photochemical . وتشمل

١- **الاوزون** : ينتج غاز الاوزون قريبا من سطح الارض في المدن الكبرى ذات الجو الملوث من خلال تأثير الاشعة فوق البنفسجية على الاوكسجين الجزيئي O_2 او غاز ثنائي اوكسيد النتروجين وفي كلتا الحالتين يتحرر الاوكسجين الذري النشط الذي يتحد مع جزيء اوكسجين مكونة جزيء اوزون O_3 وكما موضح في التفاعلات التالية :

$$O_2 + UV \longrightarrow O+O$$

$$O+O_2 \longrightarrow O_3$$

$$No_3 + UV \longrightarrow No + O$$

$$O+O_2 \longrightarrow O_3$$

الاوزون مؤكسد قوي يؤدي الى اضرار واضحة في النباتات ومواد البناء كالدهانات والمطاط والبلاستك وبعض اجزاء جسم الانسان الحساسة كالعيون والرئتين فهو ملوث خطر قرب سطح الارض ولكنه مفيد في طبقات الجو العليا . ومن المهم ان نعرف بان غاز الاوزون هوا احد المكونات الطبيعية للهواء في الغلاف الجوي وتبلغ نسبته الحجمية (0.02) جزء بالمليون ولهذا فهوا يعتبر من الغازات النادرة وهو غاز معروف منذ اكثر من 200 عام وقد تم اثبات وجوده في الطبقة الملامسة لسطح الارض في عام 1858 وتشير الكثير من الدلائل العلمية المتوفرة اليوم بان تناقص غاز الاوزون ستؤدي الى زيادة شفافية الغلاف الجوي تجاه الاشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس مما يترتب عليه تأثيرات سلبية على الحياة على سطح الارض وان تناقص تراكيز غاز الاوزون يكون واضح بشكل كبير فوق قطبي الكرة الارضية حيث تكون

طبقة الاوزون في اقصى سمك لها . بينما تكون في ادنى سمك لها فوق خط الاستواء . ويعود سبب تناقص سمك الاوزون فوق القطبين الى :

أ- ان مسار الاشعة الشمسية يكون في اقصاه فوق منطقة القطبين وبذلك فان التفاعلات الكيمياضوئية التي تحطم الاوزون تكون في اقصى معدلاتها في القطبين .

ب- لأسباب مناخية تتعلق بحركة الرياح والتي تحمل الملوثات من مناطق الكرة الارضية في حركة دوامية لتوصلها فوق منطقة القطبين .

٢- **نترات البيروكسي استيل** : يقوم الاوزون او اوكسيد النتريك الناتجان من التفاعلات الضوئية بالتفاعل مع مواد عضوية طيارة لإنتاج مركبات عضوية تدعى نترات البيروكسي استيل واختصارها PAN.

٣- **الضبخن Photochemical Smog**: اشتق المصطلح ضبخن Smog من مصطلحي الضباب Fog و الدخان Smoke وينتج الضبخن من تفاعل بعض الملوثات الهوائية مثل ثاني اوكسيد النيتروجين والمركبات العضوية الطيارة بحضور الاوكسجين وبمساعدة الاشعة البنفسجية فينتج الاوزون ونترات البيروكسي اسيتيل PANs وبعض المركبات العضوية الاخرى . كما ان جزءا من هذه التفاعلات تدخل في تكون الاوزون . ويوضح التفاعل التالي مجمل ما يجري . لاحظ وجود No_2 في طرفي المعادلة لأنه يعود لوضعه الاولي باتجاه الاوكسجين ليبدا من جديد في تكوين الاوزون .

$$No_2 + UV + VOC + O_2 \rightarrow No_2 + O_3 + PAN + Aldehydes$$

يسمى هذا النوع ضبخن لوس انجلوس ويحدث عندما يكون الهواء ساكنا في المدن الكبرى . ذات المناخ الجاف الحار حيث توجد اشعة الشمس اللازمة للتفاعلات السابقة فتصبح المدينة محاطة بقبة من هذا الضباب الدخاني الذي قد يحجب اكثر من 30 % من ضوء الشمس . غير ان الرياح والامطار تساعد على التخلص منه وتنبع خطورة الضبخن الكيميائي الضوئي من وجود ملوثات هوائية خطرة خاصة على جهاز التنفس . في حين يسود المدن الباردة الماطرة كمدينة لندن (ضبخن لندن)تلوث بغاز ثاني اوكسيد الكبريت وغيره ولكن دون وجود تفاعلات ضوئية ولهذا النوع من الضبخن اثر ضار على التنفس .

٤- **الهطل الحامضي Acid precipitation**: ان اكاسيد الكبريت والنيتروجين ما ان تتحد مع الماء حتى تصبح حامضيا وقد تنزل مع مياه المطر او مع الثلج او حتى تبقى معلقة مع قطرات الماء في الغيوم التي تلامس الجبال العالية وفي كل الحالات يكون الهطل حامضيا . قد تصل حموضة المطر العادي الى 5.7 بسبب ذوبان ثاني اوكسيد الكاربون الجوي في حين وجود اكاسيد الكبريت والنيتروجين قد يعمل على ايصال الرقم الهيدروجيني الى اقل من 4واحيانا اقل بكثير . تسهم اكاسيد الكبريت بثلثي الحموضة بينما تسهم اكاسيد النتروجين بالثلث الباقي .لقد تفاقمت مشكلة الامطار الحامضية بعد ان عمدت المصانع الملوثة للهواء الى زيادة ارتفاع مداخنها بغية تشتيت الدخان مع تيارات الهواء على ارتفاعات عالية نسبيا . الا ان هذه المعالجة للتلوث موقعيا قد ادت الى انتقال ملوثات الهواء لمسافات ابعد عابرة حدود الدول وقد يستغرق عبور هذه الملوثات عدة ايام تتحول خلالها من غاز ثنائي اوكسيد الكبريت الى حامض

الكبريتيك او الكبريتات او غيرها احيانا . تتسبب الامطار الحامضية في العديد من التأثيرات السلبية على النظم البيئية تتمثل في تغيير حامضية المياه والتربة . ويؤثر انخفاض تركيز ايون الهيدروجين في المياه على الاحياء المائية عموما وعلى الاسماك خصوصا ، كما تسبب مشاكل زراعية عند هطولها على التربة بالإضافة على تأثيرها على المباني الرخامية والكلسية وعلى النصب والمنحوتات والاثار القديمة .

معالجة التلوث الهوائي :

الفكرة الرئيسية في مسالة معالجة ملوثات الهواء هي التخلص من الملوثات بقد المستطاع اما قبل خروجه (باستعمال وقود غير ملوث مثلا)او اثناء خروجه من مصدر التلوث ذلك لأنه اذا وصل الملوث الى الهواء انتشر فيه وصعبت عملية التخلص منه . ليس بوسع احد ان يسيطر على مصادر التلوث الطبيعي كالغازات والغبار الذي ينتج عن البراكين او المواد العضوية الطيارة التي تنتج عن النباتات او ميثان المستنقعات . اما مصادر التلوث البشري فان بالإمكان التعامل مع الكثير منها وتقليل الملوثات الى حدود دنيا او حتى التخلص منها .

تختلف طريقة معالجة الملوث حسب نوعه ، كان يظن سابقا ان اطالة مداخن المصانع وما في حكمها سيؤدي الى بعثرة الملوثات بعيدا في الجو ومن ثم تخفيف تركيزها . غير انه مهما عملت هذه المداخن فأنها ستبقى قصيرة بالنسبة لطبقة الهواء الدنيا وسيبقى ما تنفثه قريبا من جو المدينة وفيما يلي اهم طرق السيطرة على الملوثات :

أ- **ازالة الكبريت من مصادر الوقود الاحفوري :** يستعمل الفحم الحجري بكثرة في اوربا والولايات المتحدة والصين وهو اكثر اشكال الوقود الأحفوري الحاوي على الكبريت وبالتالي اكثرها تلويثا للبيئة بأكاسيد الكبريت ومن اساليب التعامل مع هذه المسألة :
١- استعمال انواع الفحم الحجري الاقل كبريتات .
٢- استعمال الغاز الطبيعي بدل الفحم الحجري .
٣- تطوير بدائل الطاقة الاخرى كالطاقة الشمسية .
٤- خلط الفحم الحجري بالحجر الجيري وعند خروج اكاسيد الكبريت اثناء الحرق تتفاعل مع كربونات الكالسيوم مكونة كبريتات الكالسيوم او الجبس .
٥- سحب اكاسيد الكبريت من الغاز الناتج من حرق الفحم بدفع محاليل قلوية او معلق من مسحوق الحجر الجيري على الغاز الناتج من الاحتراق .
٦- استخلاص الكبريت من الفحم او البترول في مصانع خاصة قبل استعمال هذه المواد كوقود .

ب- **السيطرة على اكاسيد النتروجين** : يمكن السيطرة على 50% من اكاسيد النتروجين المنبعثة من احتراق الوقود في الآلات عن طريق ما يعرف بالحرق المرحلي . يحرق الوقود اولا على درجات حرارة مرتفعة في جو فقير بالأوكسجين حيث لا تتشكل اكاسيد النيتروجين وفي المرحلة الثانية يكمل الاحتراق في درجات حرارة منخفضة في جو غني بالأوكسجين وفقير بالوقود مما يقلل تكون اكاسيد النتروجين مرة اخرى .

ت- **ازالة المواد المعلقة** : قد يكون المرشحات Filter على مداخن المصانع المنتجة للمواد المعلقة من اسهل الطرق المباشرة لتقليل ما تخرجه هذه المصانع الى الجو كمصانع

الاسمن مثلا .ويمكن التحكم في المرشحات وحجمها وعددها لانقاص التلوث بهذه المواد الى حدودها الدنيا كما يحدث حاليا في المصانع .

الاحتباس الحراري Global warming :

ان مشكلة الاحتباس الحراري تتعلق بتراكم غاز ثاني اوكسيد الكاربون وغازات اخرى في الغلاف الجوي مما يمنع انتشار حرارة الكرة الارضية الى الفضاء الخارجي وهي توضع تحت مسميات مختلفة منها ظاهرة الاحتباس الحراري او التغير المناخي العالمي Global Climate Change او ظاهرة البيوت الزجاجية Green House Effect او قد تسمى بمشكلة الدفيئات باعتبارها كلمة عربية . ومهما تكن المسميات فان المشكلة واحدة تتعلق بزيادة نسبة Co_2 في الغلاف الجوي وهو غاز غير سام وهوا اساس ديمومة الانتاج الغذائي على سطح الارض . لكي نستطيع تفهم هذه العملية يجب فهم طبيعة الاشعاع الشمسي من حيث علاقته بالحرارة فالطاقة الشمسية هي عبارة عن امواج كهرومغناطيسية تتآلف من الاطوال الموجية منها ما هو محصور في مدى ضيق جدا كالأشعة التي تستطيع العين البشرية رؤيتها والتي تعرف بالأشعة المرئية Visible Lightوهو ببساطة الضوء الذي نراه والمتالف من الوان الطيف المعروفة والمحصورة ما بين الاطوال الموجية 780-400 نانوميتر اما الموجات الاقصر فتعرف بالأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Lightوما دونها هي اشعة اكس واشعة كاما . اما الاطوال الاكبر من 780 نانوميتر فتعرف بالأشعة تحت الحمراء وهي الحرارة . تعقبها الموجات الميكروية ثم الامواج الراديوية . ان الاشعة المرئية تمثل جزء صغير للغاية من مجموع اطوال الاشعة الكهرومغناطيسية ومن ضمن خصائصها انها ذات قدرة على اختراق طبقات الغلاف الجوي دون مقاومة كما تستطيع اختراق زجاج النوافذ بعكس الاشعة تحت الحمراء التي ليس لها قدرة على ذلك ومن الحقائق المعلومة ايضا ان اصطدام موجات الاشعة المرئية باي حاجز يؤدي الى تحولها الى حرارة ، وبهذه الطريقة فان الاشعة المرئية في ضوء الشمس والداخلة الى جو الارض تتحول الى حرارة بعد اصطدامها بالموجودات فتبقى حبيسة في الداخل ، وفي الغلاف الجوي للأرض يعمل غاز ثاني اوكسيد الكاربون والغازات الاخرى القابلة على حبس الحرارة في جو الارض وكلما زادت تراكيز غاز ثاني اوكسيد الكاربون والغازات الاخرى في الغلاف الجوي كلما زادت كمية الحرارة المحتبسة في جو الارض .

امتصاص العناصر المغذية Absorption of Nutritional Element

لا يمتص النبات العناصر الغذائية المختلفة بمعدل واحد خلال مراحل حياته وكقاعدة عامة تحدث اكثرية امتصاص العناصر المغذية خلال مدة النمو الفعال للنبات . في الماضي افترض الباحثون بان الاملاح غير العضوية يأخذها النبات برفقة الماء بعملية حرة ثم اقترح بان امتصاص الاملاح يعتمد على فرق المحتوى الازموزي . كما افترض بان انتقال المغذيات الى مناطق النبات المختلفة يعتمد على سحب النتح ولكن بعد ذلك ظهرت عدم كفاية هذه المقترحات في تفسيرها للاختلافات في مكونات الاملاح في النبات مقارنة بمكوناتها في الوسط الذي ينمو فيه النبات . فمثلا وجد ان الايونات تتعرض لقوتين رئيسيتين هما القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكيمياوية والاخرى ناشئة عن منحدر الطاقة الكهربائية . فبالنسبة للأولى تتحرك الايونات من الجهة ذات التركيز العالي الى الجهة ذات التركيز الواطئ وبالنسبة للثانية فالأيونات الموجبة تتحرك باتجاه الجهة المشحونة بشحنة سالبة بينما الايونات السالبة تتحرك باتجاه الجهة المشحونة بشحنة موجبة . اي ان حركة الايونات تعتمد على فرق الطاقة الكهربائية . ولقد اتضح بان الخلايا تكون عادة مشحونة بشحنة سالبة مقارنة بالوسط الخارجي ولهذا فان حركة الايونات عبر غشاء البلازما وغشاء الفجوة تعتمد على فرق الشحنات الكهربائية السائدة وكذلك فرق التركيز بين داخل وخارج الخلية وتتوقف الحركة عند حصول التوازن بين القوة المحركة للأيونات بين داخل وخارج الخلية . ومن اهم طرق الامتصاص التي يعتقد بها في الوقت الحاضر هي :

أ-الامتصاص الحر او السالب او الفيزيائي Passive Absorption: يحدث الامتصاص الحر اثناء تلامس الجذور مع محلول التربة وتتميز هذه العملية بانها لا تحتاج الى طاقة وان الايونات تصل في النهاية الى حالة توازن ديناميكي بين خارج وداخل الخلية . كما ان الامتصاص غير متخصص جدا بالنسبة للأيونات وان تبادل الايونات يحدث في ما يسمى بالفراغ الحر(اي في جدران الخلايا والمسافات البينية) وقد يحدث الامتصاص الحر بعدة وسائل منها :

١-الانتشار Diffusion : وهو مرور المواد من الوسط الاكثر تركيزا الى الوسط الاقل تركيزا . فقد وجد انه عند نقل نبات نام في محلول مغذي مخفف الى محلول مغذي مركز فان الايونات تدخل بسرعة الى الانسجة النباتية حتى يحصل حالة التوازن بين المحلول المغذي في الفراغ الحر والمحلول الخارجي

٢-تبادل الايونات Ion Exchange: وهي ان الايونات الموجبة والسالبة الموجودة في محلول التربة قد تمر الى داخل الخلايا او الى الفراغ الحر بين الخلايا وفي الخلايا وتحل محل ايونات موجبة وسالبة اخرى ملتصقة على اسطح الاغشية الخلوية او جدران الخلايا . مثلا البوتاسيوم يتبادل مع ايونات الهيدروجين والنترات تتبادل مع ايونات الهيدروكسيل وبهذه الطريقة قد يحدث الامتصاص بصورة اكثر مما هو متوقع بعملية الانتشار .

٣-اتزان دونان Donnan Equilibrium: درس دونان تأثير الايونات المثبتة داخل الخلية ولنفرض ان بعض الايونات السالبة قد ثبتت في الخلية وعند انتشار اعداد متكافئة من ايونات سالبة وموجبة الى داخل الخلية يكون توزيع الايونات على جانبي الغشاء غير متساو ونتيجة لذلك يكون تركيز الايونات السالبة داخل الخلية اكثر من خارجها ولأجل ان يتم التوازن

الكهربائي يجب ان تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء الخلوي لمعادلة الايونات السالبة المثبتة داخل الخلية وبذلك يكون تركيز الايونات الموجبة في الخلية اكثر من خارجها بينما تركيز الايونات السالبة في الخلية اقل مما في خارج الخلية . ان فرضية Donnan قد تفسر سبب تجمع الايونات السالبة في الخلية اكثر مما في خارجها في حالة وجود ايونات موجبة مثبتة مسبقا في الخلية .

٤-النقل الكتلي Mass Flow or Bulk Flow : يفترض بعض الباحثين بان الايونات قد تتحرك الى الجذور مع الماء بعملية الجريان الكتلي وان اية زيادة في النتح ستسبب زيادة في معدل الامتصاص ولكن لا يعرف بالضبط هل ان تأثير النتح مباشر او غير مباشر .

ومن ذلك نستنتج ان قسما من الاملاحقد يؤخذ بميكانيكية حرة عن طريق انتشار الايونات الى الفراغ الحر في النسيج كم يمكن ان تتجمع الايونات في الخلية بعملية اتزان دونان واخيرا بسبب سحب النتح التي تؤدي الى اخذ الايونات مع الماء بعملية الجريان الكتلي .

أ- **الامتصاص الحيوي او النشط Active Absorption or Active Transport**: تعد هذه العملية من العمليات الفسيولوجية المهمة التي تجري في اغشية الخلايا النباتية مثل غشاء البلازما وغشاء الفجوة وتعد الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فيه الايونات المختلفة السالبة والموجبة وبكميات متكافئة كهربائيا ويمتاز هذا النوع من النقل ب :

١- ان العملية تتطلب صرف طاقة حيوية لدفع الايونات الى داخل الخلية ولهذا تعتمد على توفر الاوكسجين وتتأثر بالمواد السامة وارتفاع وانخفاض درجة الحرارة وتقل في الظلام .
٢- كما ان العملية تتخصص في امتصاص بعض الايونات بكمية اكثر من الاخرى .
٣- تمتاز بتجمع الايونات في الخلية اكثر مما في الخارج اي عدم الوصول في النهاية الى حالة الاتزان الديناميكي بين داخل وخارج الخلية وتكون عملية تجمع الايونات فيالخلايا مستمرة حتى ولو كان تركيز الايونات في الخلايا اكثر مما هوا في محلول التربة .
٤- تحدث في الجزء الداخلي من الخلية كالأغشية والسايتوبلازم او الفجوة .
٥- غالبا ما يطلق على العملية بنظرية الحامل Carrier Hypothesisاي فرضية المركب الحامل والتي تفترض بان الايونات او الجزيئات المنقولة بمساعدة الطاقة تتحد مع المركب الحامل الذي هوا احد مكونات غشاء الخلية وتكون مركبات معقدة ثم تمر عبر الغشاء الخلوي الى داخل الخلية ومن ثم يتحلل المركب المعقد ليترك الايون داخل الخلية وبعد ذلك يعاد المركب الحامل الى هيئته الاولى الى خارج الغشاء وتزود بالطاقة لتكون جاهزة لعملية النقل التالية .

العوامل المؤثرة في عملية امتصاص الاملاح :

١- **درجة الحرارة Temperature :** بصورة عامة يزداد معدل امتصاص املاح العناصر الغذائية بازدياد درجة الحرارة من الصفر المئوي الى 40 م وبعد ذلك ينخفض الامتصاص وهذا ما يفسر عدم استطاعة النباتات من النمو في البيئة الحارة او

الباردة جدا وقد يعود ذلك الى ان عمل الانزيمات او الحوامل يتوقف في الحدود المتطرفة من درجات الحرارة .

٢- **الفرق في تركيز الايونات Ions Concentration Gradient :** كلما كان الفرق في تركيز الايونات بين محلول التربة والخلية عاليا ازدادت عملية نفوذ ايونات العناصر الغذائية باتجاه الموضع ذي التركيز الواطئ .

٣- **تفاعل التربة (PH) :** يؤثر ال PHعلى عمليةامتصاص العناصر الغذائية من قبل النبات بطرق عديدة منها :

A- **التنافس بين ايونات العناصر الغذائية اثناء عملية الامتصاص :**مثلا عندما يكون تفاعل التربة حامضيا فان ايونات الهيدروجين تقلل من امتصاص الايونات الموجبة الاخرى بينما تزيد من امتصاص الايونات السالبة على افتراض ان ايونات الهيدروجين ستتنافس مع الايونات الموجبة الاخرى للوصول الى المواقع الفعالة في الحامل . كما ان زيادة ايونات الهيدروكسيل OHاو البيكاربونات HCO_3 في حالة التربة العالية ال PH ستنافس الايونات السالبة كالنترات والكبريتات والفوسفات .

B- **التأثير على توفر العناصر الغذائية للنبات :** يؤثر الPH على جعل مركبات العناصر الغذائية بصورة ذائبة وبالتالي يؤثر على امتصاصها من قبل النبات .

C- **التأثير على عمل الانزيمات والحومل :** وجد ان القيم العالية جدا او الواطئة جدا للPHفي التربة تسبب اضرارا للخلايا بسبب توقف عمل الانزيمات او حوامل الايونات وبذلك يقل معدل الامتصاص من قبل النبات .

٤- **الضوء Light** : ان تأثير الضوء في فتح وغلق الثغور وكذلك في عملية التركيب الضوئي تؤثر بصورة غير مباشرة على امتصاص المغذيات ويظن ان فتح وغلق الثغور يؤدي الى زيادة الحركة الكتلية للماء (عند فتح الثغور) بسبب سحب النتح وبالتالي يزداد امتصاص المغذيات . كما ان الطاقة الضوئية المتحولة الى طاقة كيميائية بعملية التركيب الضوئي تسهل امتصاص المغذيات حيويا .

٥- **الهواء (الاوكسجين)** : لقد وجد ان امتصاص المغذيات حيويا ينخفض بقلة الاوكسجين وقد يكون بسبب قلة توفر الطاقة اللازمة لتسهيل النقل النشط .

٦- **التأثيرات المتبادلة بين المغذيات Interaction of Nutrients** : لقد وجد ان امتصاص احد الايونات المغذية قد يتأثر بوجود الايون التابع لمغذي اخر مثلا لوحظ ان امتصاص البوتاسيوم والبروم يكون قليلا في حالة غياب الكالسيوم في الوسط الخارجي للخلايا ويزداد الامتصاص عند وجود الكالسيوم بتركيز مناسب ولكن زيادة الكالسيوم كثيرا يثبط امتصاص البوتاسيوم والبروم .

٧- **النمو Growth**: لقد وجد ان امتصاص المغذيات يتأثر كثيرا بحالة نمو النبات وان نمو النسيج النباتي او النبات قد يسبب زيادة المساحة السطحية للنبات وعدد الخلايا وتكوين المواقع الفعالة الجديدة او الحوامل الجديدة .

٨- **حجم جزيئات المادة** : لقد وجد انه كلما كبر حجم الجزيئة بطؤ نفوذها الى داخل الخلية .

٩- **الاضرار الميكانيكية Mechanical Injury**: تزداد عادة نفاذية المواد عند حصول الاضرار الطبيعية كشق وقطع الجذور وبذلك يكون الامتصاص الحر قد زاد .

التاثير الضار لزيادة تركيز العناصر الغذائية :

أ- ان زيادة احد العناصر الغذائية قد يتسبب عنه نقص امتصاص عنصر مغذ اخر وبالتالي يعاني النبات نقص العنصر الاخر . فزيادة الكالسيوم تبطئ امتصاص البوتاسيوم والعكس بالعكس وتسمى هذه الظاهرة بالتضاد وباختصار فقد وجد ان زيادة الفسفور تسبب نقص البوتاسيوم والزنك وكذلك زيادة البوتاسيوم تسبب نقص الكالسيوم والمغنسيوم وزيادة النحاس والمنغنيز تسبب نقص الحديد .

ب- ان زيادة احد العناصر قد تسبب ضررا للسايتوبلازم في الخلايا ويفقد السايتوبلازم فعاليته وحيويته مما يؤدي الى موت الخلايا .

ت- ان زيادة تركيز العناصر في التربة تسبب نقص امتصاص الماء من قبل الجذور .

نقل المغذيات Translocation of Nutrients:

السؤال المهم كيف تتحرك المغذيات عبر القشرة الى الاجهزة الناقلة في الاسطوانة المركزية ؟ وذلك اذا كان امتصاص المغذيات يحدث بعملية حرة او نشطة وان بعض المغذيات تنتقل الى ما يسمى بالفراغ الحر ومن ثم الى الفراغ الداخلي (الذي افترض بانه السايتوبلازم والفجوات) والذي تتجمع فيه المغذيات بتراكيز اعلى مما في الوسط الخارجي . لقد افترض بان المغذيات تنتقل حتى القشرة الداخلية حيث يوجد شريط كاسبر (Casparian Strip)المعرقل للحركة اما بعملية حرة او بطريقة ال Symplast(اي خلال سايتوبلازم الخلايا المتجاورة والمرتبطة بالخيوط السايتوبلازمية plasmodesmata) .اما كيفية عبور المغذيات للقشرة الداخلية شريط كاسبر (المشبع بالسوبرين والمستمر في جدران الخلايا ويحيط بالأسطوانة الوعائية كما ان السايتوبلازم في خلايا القشرة الداخلية ملتصق بشدة مع هذه الحزمة ولهذا لا تستطيع المغذيات العبور خلال جدران الخلايا او بين الجدران والسايتوبلازم) فيجب ان يحدث خلال السايتوبلازم نفسه . ان اشهر الفرضيات المتعلقة بعبور المغذيات للقشرة الداخلية تفترض وجود تدرج في قلة الاوكسجين من القشرة الى الاسطوانة المركزية مع ازدياد تركيز ثاني اوكسيد الكاربون في الاسطوانة المركزية اكثر من القشرة وهذا يعني قلة الفعاليات الحيوية قرب الاوعية الخشبية وبما ان الطاقة تصرف لآجل تجمع المغذيات ضد فرق التركيز ومسك هذه المغذيات فان خلايا الاسطوانة الوعائية تسهل فقدان او نقل المغذيات منها وبما ان الانتشار الى القشرة خلال شريط كاسبر مستحيل لذلك يكون الممر الوحيد هو الحركة الى الاوعية الخشبية .

نقل المغذيات في الخشب :لقد توفرت الادلة التي تشير الى ان المغذيات المتجمعة في القنوات الخشبية للجذور تنتقل عاليا في مجرئ سحب النتح في الانسجة الخشبية للساق ومن الادلة على ذلك تجربة ازالة اللحاء اذ لوحظ ان حركة النقل العالية لا تتوقف كما وجدت كميات كبيرة من الاملاح في انسجة الخشب وذلك بتحليل العصارة الخشبية مباشرة . فضلا عن ذلك ازدياد معدل امتصاص المغذيات بازدياد معدل النتح .

التغذية الورقية في النباتات Foliar Nutrition of Plants : ان بعض النباتات المائية مثل الالوديا وغيرها تمتص معظم العناصر المغذية من الماء بواسطة اوراقها الغاطسة . وطبيعي لا توجد طبقة الكيوتكل او الثغور في مثل هذه النباتات ولهذا يحدث الامتصاص

مباشرة . اما في النباتات الراقية فمع امتلاكها لطبقة الكيوتين (الكيوتكل) السميكة التي تغطي خلايا البشرة في الاوراق الا انها تستطيع امتصاص بعض ايونات العناصر المغذية عن طريق الاوراق . ويظهر ان الثغور لا تسمح بعملية امتصاص المغذيات بسبب صغر الثغور وازدياد التوتر السطحي للماء . ان حدوث التشقق في كيوتكل الاوراق وكذلك وجود الخيوط او القنوات السايتوبلازمية الممتدة من خلايا البشرة الى منطقة الكيوتكل قد يكون ممرا لدخول المغذيات الى الاوراق ويلاحظ في الآونة الاخيرة رش بعض المغذيات على الاوراق النباتية بدلا من اضافتها بسبب قلة ذوبان هذه المغذيات في التربة .

طبيعة المركب الحامل Nature of Carrier : ان طبيعة المركب الحامل غير متفق علية وقد اقترحت عدة مركبات لتقوم بدور الحامل منها :

١- **السايتوكروم Cytochrome :** ان السايتوكروم مركب بروتيني ذو صيغة يحتوي على مجموعة ال Prophyrin التي تحوي في وسطها على الحديد . يشترك السايتوكروم في عدة عمليات حيوية كالتركيب الضوئي والتنفس والامتصاص النشط .

٢- **مركبات ال Phospholipids** : هذه المركبات الموجودة في الاغشية الخلوية قد تؤدي دور الحامل في نقل الايونات الموجبة والسالبة .

٣- **الحامل المعتمد على الطاقة (ATP)**: يعتقد وجود انزيمات ال ATPase في الاغشية الخلوية وخاصة غشاء البلازما وان هذه الانزيمات تسبب تحلل ال ATP كالاتي :

$$ATP \longrightarrow ADP^{-} + (O= P(OH)_2)^{+}$$

Phosphoryl Cation

وان هذه الطاقة تستعمل في نقل الايونات الموجبة والسالبة .