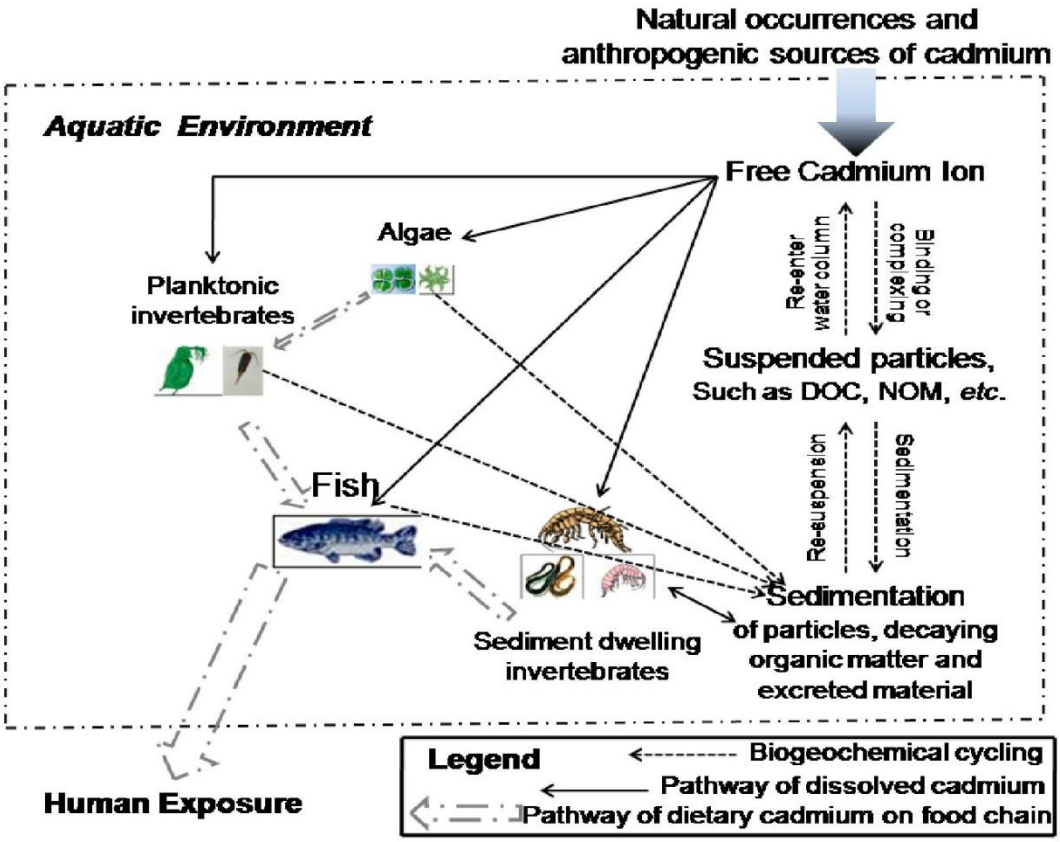
المحاضرة الرابعة

ب - الكادميوم

للكادميوم علاقة وثيقة بالزئبق والزنك وهذا المعدن الفضي اللون اللين يستخدم في صناعات الغلونة الالكترونية Electroplating ، وعند حرق مخلفات المواد المصنعة أو حرق بطاريات النيكل - الكادميوم المعروفة ، فإن الكادميوم سيتحرر الى الجو ويكون أحد ملوثاته ، كذلك يصل الكادميوم الى الإنسان من خلال الغذاء ، أما وصوله الى الموارد المائية فهو قليل نسبيا على الرغم من ملاحظة أن بعض الطحالب تقوم بتركيزه في أنسجتها مثل الطحالب الخضراء المزرقة شكل (2- 6)، وقد تعزى بعض الأعراض المرضية التي تسببها المياه قليلة العسرة الى ذوبان الكادميوم الموجود في أنابيب الإسالة في الماء وذلك لإنعدام وجود أيونات تعيق مثل هذا الذوبان (كالمغنيسيوم والكالسيوم) ، حيث تشكل أملاح هذه العناصر التي تترسب على شكل طبقة تبطن الأنابيب وتعزل مادة معدنها عن المياه الجارية فلا تذوب فيه شوائب الكادميوم الموجودة في معدن الأنبوب ، وليس هناك حالات معروفة عن التسمم بالكادميوم عن طريق إستخدام الماء على الرغم من كثرة حالات التسمم به عن طريق الجهاز التنفسي وعن طريق الغذاء وعلى عكس الزئبق فأن جميع أملاح الكادميوم سامة ، وفي هذا الإتجاه وجد (الجوهري ، 1998) مختبريا أن هذا المعدن كان ذا خاصية سمية للفطريات *Aspergillus niger*، *Fusarium solani* و *Trichoderma harzianum* ومعروف بأن هذه الفطريات هي ضرورية وأساسية في عمليات التحلل البايولوجي للعديد من المركبات العضوية في التربة ، وبذلك فإن تواجد هذا المعدن بتراكيز عالية في البيئة سوف يغير الإتزان البيئي .



شكل (2- 6) تواجد الكادميوم في البيئة المائية .

ج- الرصاص Lead

على الرغم من ضآلة وجود الرصاص في تركيب القشرة الأرضية حيث لا يتعدى تركيزه (12.5) جزء بالمليون من تكوين القشرة إلا أنه من أكثر المعادن تداولا من قبل الناس في حياتهم اليومية .

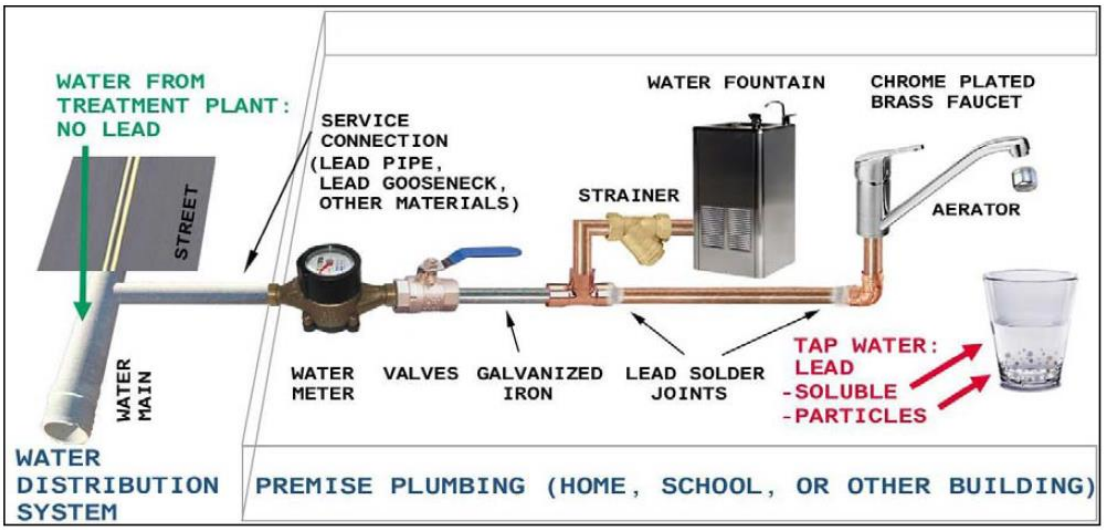
يكون لون معدن الرصاص رماديا وقوامه ذا ثبوتية واضحة كما أنه يمتاز بسهولة إستخلاصه من خاماته ولهذا كان الرصاص من أول المعادن التي أكتشفت من قبل الإنسان وعرفت منذ أيام البابليين والمصريين القدماء ، ويعد كبريتيد الرصاص (PbS) الخام الرئيسي ويستحصل بهذا الشكل في مختلف أنحاء العالم .

أدى عدم الإستعمال الصحيح للرصاص بسبب عدم معرفة خواصه التسممية الى حدوث كوارث وحوادث تسمم عديدة خلال تاريخ الإنسان المدون ، حتى أن البعض يعزو أسباب سقوط الامبراطورية الرومانية الى التسمم بالرصاص بعد أن قام الرومان بتطوير عملية إيصال المياه الى البيوت بإستعمال شبكة أنابيب مصنوعة من الرصاص

،وبهذا الخصوص لازالت أنابيب الشبكة المائية في المدن تحوي نسبة من الرصاص تدعو الى القلق وعند مراجعة التاريخ والظروف الموضوعية لحوادث التسمم بالرصاص نرى أن جميعها تقريبا كانت عن طريق تلوث المياه بالرصاص ، وفي الوقت الحاضر ، وبعد إنتشار الرصاص أكثر من أي وقت مضى في تاريخ البشرية .

يعد الرصاص من أهم العناصر الملوثة للهواء بالإضافة الى تلويثه للمياه ، وإن تراكيزه الموجودة في البيئة حاليا تدعو الى القلق الشديد .

فيما يخص تلوث المياه بالرصاص فقد حدثت عدة كوارث تسمم بالرصاص في عدد من الدول الأوربية قبل سنوات ، وكان السبب إستعمال أنابيب مياه حاوية على نسبة عالية من الرصاص فيها . لقد تم التعويض في معظم الدول المتقدمة عن أنابيب الرصاص في نقل المياه وتوزيعها في البيت حيث يتم النقل من محطات تصفية وإعداد المياه الى المجمعات السكنية بواسطة أنابيب حديدية وأما شبكة الأنابيب الداخلية في البيوت فتصنع أما من الحديد المغلون أو النحاس شكل (3- 6) . وتجدر الإشارة الى أنه من الممكن إستعمال شبكات الأنابيب الرصاصية في حالة تداول المياه الطبيعية الجوفية بسبب إحتوائها على تراكيز عالية من أيونات العسرة (الكاربونات $CO^{=}$ والكبريتات SO_4^{-}) والتي تتفاعل مع أيونات الرصاص في حالة وجودها وتكون كاربونات وكبريتات الرصاص غير الذائبة .



شكل (3- 6) وجود الرصاص في شبكات وأنابيب توزيع المياه الى المستهلكين .

تأثيرات الرصاص في جسم الإنسان :-

لايقتصر دخول الرصاص الى جسم الإنسان على الرصاص الناتج من نشاطات الإنسان لوحدها ، ولكن الرصاص في الغذاء نتيجة وجوده الطبيعي في التربة والمياه وحتى في الهواء بسبب عمليات تعرية التربة قد وجد طريقه الى جسم الإنسان منذ وجد الإنسان على الأرض ، بدون شك يتضح إن الجزء الأعظم في الوقت الحاضر يدخل عن طريق الهواء .

تعتمد الفعالية البايولوجية للرصاص في جسم الإنسان على الطبيعة الكيميائية للمركب الرصاصي ، نجد مثلا أن مركبات الرصاص العضوية مثل (رابع أثيلات الرصاص) تمتص مباشرة وبسرعة من قبل الأغشية المخاطية وحتى من قبل جلد الإنسان وتعد هذه الخاصية ذات خطورة كبيرة على الناس المعرضين لها مثل العمال في مصانع تحضير هذه المواد ، أما عند حرق الكازولين الحاوي على رابع أثيلات الرصاص فإن المركبات اللاعضوية الناتجة ليست لديها هذه الخاصية الخطرة ولكنها تمتص وتدخل الجسم عن طريق جهاز التنفس وعن طريق جهاز الهضم ، وإذا ما قارنا هذين الطريقين نلاحظ أن 5 – 10% فقط من الرصاص الداخل عن طريق الجهاز الهضمي يتسنى له الوصول الى الدم في حين 30- 40 % من الرصاص الداخل عن طريق الجهاز التنفسي يمكن وصوله الى الدم ، لذا فإن الكمية التي تدخل عن طريق الهواء ولو أن تركيز الرصاص أقل كثيرا في الهواء مما هو عليه في الغذاء أو في الماء فإن هذه الكمية لاتقل عن تلك الداخلة عن طريق جهاز الهضم . بعد وصول الرصاص الى الدم فإنه يخزن في العظام أو يطرح بعضه من الجسم عن طريق البول ، وهذه الميكانيكية تمنع تركز الرصاص في ألياف الجسم اللينة وسوائله ، وتعد العظام المكان المفضل لتجمع الرصاص بسبب التشابه بين أيوني الكالسيوم (Ca^{2+}) والرصاص (Pb^{2+}) ، ويوجد في الإنسان البالغ العادي الذي يزن 65 كيلوغراما من 100 الى 400 ملغم من الرصاص ويتجمع من 90 الى 95 % منه في الهيكل العظمي .

أظهرت التجارب على الحيوانات أن الرصاص لايبقى ثابتا في مكان تجمعه ولكنه يتحرك ويدور في الجسم ، إن نصف العمر له في العظام تتراوح بين سنتين الى ثلاث سنوات ، إن ظاهرة تحول الرصاص من عضو الى آخر في الجسم وإنتقاله من العظام الى أعضاء أخرى هي ظاهرة خطيرة قد تودي بحياة الإنسان مما يعجل بحدوثها إصابة الإنسان بالحمى المختلفة ، كما تعد الإصابة بالامفيبيا (بطء تخثر الدم) أول إشارات الإصابة بالتسمم بالرصاص ويحدث ذلك بسبب تداخل الرصاص في عملية تخليق مادة

الهيم Heme - المادة المكونة الرئيسية للهيموكلوبين ، ويحدث نتيجة لذلك تناقص كبير في عدد وعمر الكريات الحمر في الدم ، وأظهرت الدراسات الطبية أن الرصاص يؤدي الى إيقاف الإنزيم الخاص لتخليق مادة الهيم ، كما أظهرت هذه الدراسات أيضا أن الرصاص يتداخل ويبطل عمل إنزيمات أخرى في الجسم وخاصة في الكلية ، كما أن التسمم بالرصاص لايقتصر على الإنسان فقط بل وجدت حالات إصابة في الحيوانات والطيور والتي أدت فعلا الى موتها ، وقد تكون هناك حالات إصابة أكثر بكثير مما تمت ملاحظته وتسجيله بسبب عدم الإهتمام بتقصي أسباب موت العديد من الحيوانات .

د ـ المنظفات

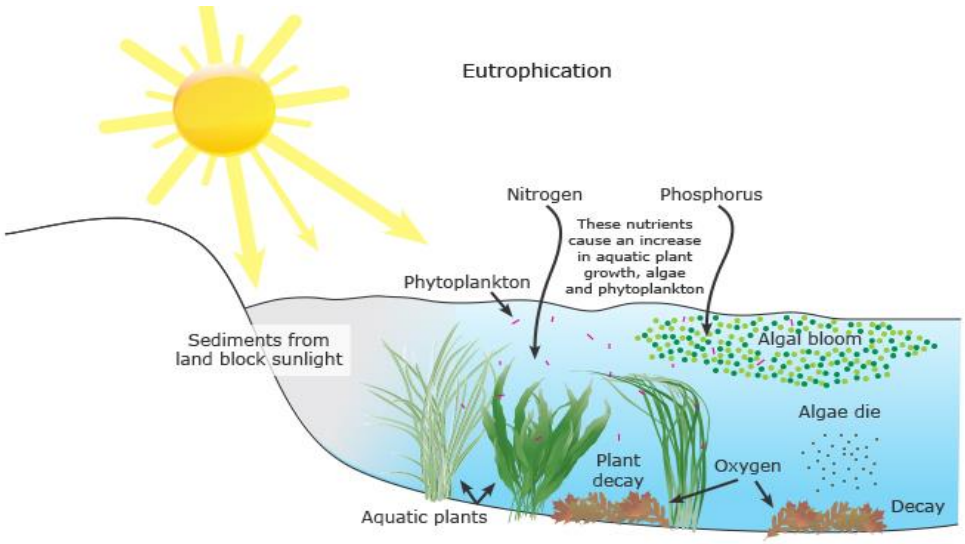
بدأت صناعة مساحيق الغسيل في أواسط الثلاثينات من القرن الماضي ، بعد أن غدت المواد الأولية لصناعة الصوابين التقليدية وهي الشحوم الحيوانية لاتكفي لحاجات السوق ، ولإستعمال هذه الشحوم بصورة متزايدة في الصناعات الغذائية وغيرها مما جعل أسعارها عالية لا تلائم صناعة الصابون ، وتطورت صناعة مساحيق الغسيل بشكل مذهل خلال عشرات قليلة من السنين وتمثل هذه الأيام أكثر من 80 % من حاجة السوق العالمية الى مواد التنظيف . حدثت زيادة إنفجارية في إستعمال مساحيق الغسيل في كافة أنحاء العالم بعد إنتهاء الحرب العالمية الثانية ، وقد حصل هذا الإقبال الكبير على إستعمال المنظفات نظرا لما لها من مميزات جذابة في سرعة وكفاءة التنظيف مقارنة بالصابون إضافة الى رخص سعرها .

بدأت أولى البوادر السلبية على البيئة المتسببة من مساحيق الغسيل في نهاية الأربعينيات وخلال الخمسينات وتمثلت في تراكم الرغوة (Foam) وعد تفككها بسهولة بواسطة البكتيريا الطبيعية (Slow biodegradability) وسببت هذه الرغوة مشاكل للأحياء المائية لأنها عرقلت التبادل الغازي بين الماء والهواء وبعد تقصي أسباب المشكلة بالبحث العلمي الدؤوب أعزيت الأسباب الى الطبيعة الكيميائية لجزيئة العامل المنظف (Surfactant) ، وجاء الحل في أواسط الستينات من القرن الماضي فقد تبين أن العامل المنظف الذي يحوي سلسلة كاربونية متفرعة يقاوم التفكك البكتيري في حين تتفكك الجزيئة بسهولة بواسطة البكتيريا الطبيعية عندما تحوي الجزيئة على سلسلة مستقيمة .

المشكلة البيئية الحالية المتسببة من مساحيق الغسيل لاتتعلق بالعامل المنظف ولكنها ذات علاقة بالعامل المنشط الذي يحتويه مسحوق الغسيل وهو مادة ثلاثي متعدد فوسفات الصوديوم وهو أكثر المنشطات شيوعا في الإستعمال في مختلف أنحاء العالم ، ولاتوجد

مشكلة من ناحية بقاء هذا المركب وعدم تفككه كما لاحظنا في حالة الرغوة لأنه يتحلل مائيا بسرعة الى مكونات بسيطة ليس لها أي تأثير تسممي على البيئة .

تؤثر المنظفات بشكل غير مباشر على الموارد المائية خاصة البحيرات والمياه الراكدة ، وسبب ذلك هو التركيز العالي لمادة الترايبوليفوسفات Tripolyphosphate الذائبة في الماء والتي تشكل جزءا كبيرا من مادة المنظف وتدخل هذه المادة (مركب الفوسفات) مع مطروحات الفضلات المدنية بالدرجة الأولى والفضلات الصناعية بالدرجة الثانية الى الموارد المائية ، حيث تزيد من نسبة تركيز الفوسفات في المورد المائي الذي يستقبل هذه الفضلات ، والنتيجة هو حدوث نمو غزير Bloom في عدد الطحالب الخضراء المزرقة لتوفر تركيز عالي من الفوسفات في بيئتها شكل (3- 6) ومثل هذا النمو الغزير في عدد خلايا الطحالب الخضراء المزرقة يكون مفيدا لزيادة إنتاجية البحيرة Lake Productivity حيث توفر مصادر غذائية مناسبة لبيئة الأحياء ولكن عندما تزيد كمية الطحالب الخضراء المزرقة عن الحد المعقول فإنها تصبح مشكلة ، ويؤدي مثل هذا النمو الغزير في أعداد الطحالب الخضراء المزرقة وغيرها من الحياة الخضراء الى زيادة إنتاج الأوكسجين خلال ساعات الضوء (النهار) وهذا جيد ولكن الذي يحدث هو أن نفس الأحياء تتنفس الأوكسجين خلال ساعات الليل مما يؤدي الى هبوط مستواه الى درجة قد تكون خطرة على الأحياء المائية العليا كالأسماك ، كما أنه من الجدير بالذكر هنا أن المنظفات هي ليست المصدر الوحيد للفوسفات في مياه الموارد المائية بل هناك مصادر عديدة أخرى كما سنرى .



© Copyright, 2013. University of Waikato. All rights reserved.

شكل (3- 6) ظاهرة النمو الغزير (Bloom) للطحالب الخضراء المزرقة .

ظاهرة الإثراء الغذائي (الإخصاب) Eutrophication

الماء الصافي والخالي من الشوائب لايمكن أن يديم أي نوع من أنواع الحياة المائية في الطبيعة إذ سرعان ما تتسرب الشوائب الى المياه النقية وبنسب مختلفة حسب نوعية المصدر وعوامل أخرى ، أما البحيرة التي تكون فيها الأنشطة الحياتية محدودة فإنها تدعى محدودة الإخصاب Oligotrophic ، وعندما تكون معتدلة الإخصاب (أي متوسطة النشاط الحياتي) فإنها تدعى Mesotrophic ، أما إذا كانت كثيرة الإخصاب أي أن النشاط الحياتي فيها عالي فإنها تدعى Eutrophic ، وفي الوقت الذي تكون فيه البحيرات محدودة الإخصاب صافية وقليلة العكرة بسبب قلة الطحالب الخضراء المزرقة العالقة وغيرها من الأحياء الدقيقة فإن البحيرات المعتدلة الإخصاب تكون أقل صفاء بسبب الكثرة النسبية للأحياء المائية العالقة ، وتكون البحيرات الخصبة عكرة ومخضرة اللون ، وتعزى زيادة الحياة المائية (وبالذات الخضراء) الى عوامل عديدة محتملة كزيادة تراكيز الفسفور والنتروجين والكربون .

يعد الفسفور من أقل العناصر تركيزا في الموارد المائية وذلك بسبب قلة ذوبان معظم أشكاله في الماء ويبلغ معدل تركيزه في الموارد المائية بحدود (0.02) ملغم / لتر ، حيث لايكفي مثل هذا التركيز لإدامة عدد محدود من الحياة المائية ، لذلك عند وجود

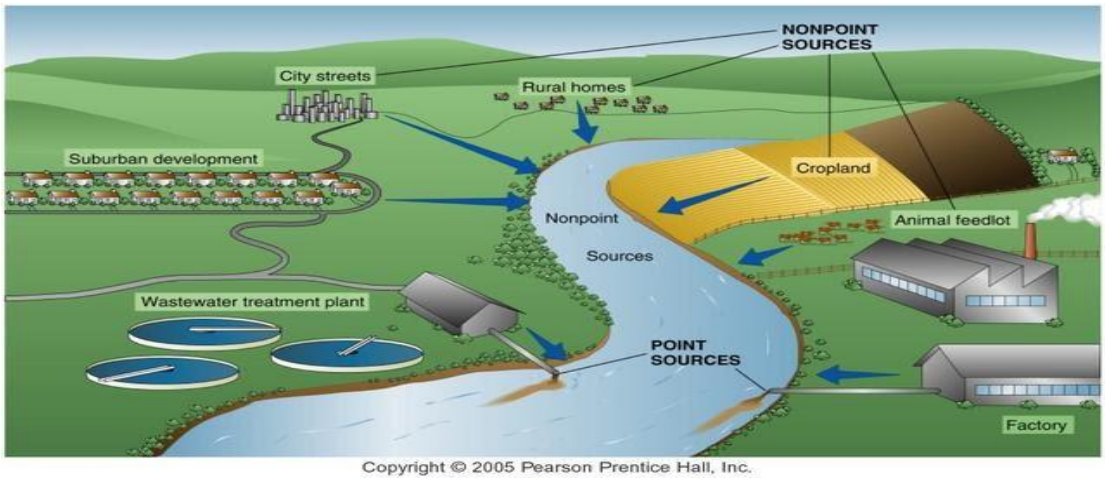
مصدر جديد للفسفور فإن التركيز الجديد للفسفور سيكون بإمكانه إدامة كميات أكبر من الطحالب الخضراء المزرقة التي تزداد بشكل مفاجيء أحيانا وهو ما يعرف بالثورة الطحلبية ، وعلى الرغم من أن مصير الفسفور الداخل الى الجسم المائي الراكد سوف ينتهي في رواسب القعر فإن تركيز الفسفور الذائب سيحدد تركيز الطحالب الخضراء المزرقة في الجسم المائي والتي عند زيادتها عن الحدود المعقولة ستؤدي الى خلق عنصر محدد آخر (بدل الفسفور) لنموها ألا وهي أشعة الشمس حيث تؤدي العكرة العالية الى عدم وصول كمية كافية من الضوء لإدامة الحياة الخضراء مما يؤدي الى موتها وتحللها في المناطق العميقة من البحيرة مؤدية أحيانا الى نقصان وخلل في موازنة الأوكسجين ، كذلك فإن إفراز الطحالب الخضراء المزرقة لما يسمى بالتوكسينات يؤدي الى جعل الماء غير صالح للشرب أو لشرب الحيوانات ، إضافة الى أن التراكيز العالية من الطحالب الخضراء المزرقة تخلق مشاكل جمة في منشآت محطات التصفية كوحدات الترسيب والمرشحات .

لقد أدى التباين في تركيز الفسفور المسبب للثورة الطحلبية الى جدل كبير حول جدية أهمية الفسفور في حدوث النمو الغزير للطحالب الخضراء المزرقة ، ففي بعض حالات الإخصاب كان تركيز الفسفور في الماء لايتجاوز (0.001) ملغم / لتر في حين لم يحدث إخصاب في بحيرة أخرى يتجاوز تركيز الفسفور فيها (0.05) ملغم / لتر لهذا السبب برزت فكرة أعتبار المواد العضوية كمسبب رئيسي للإخصاب ، حيث تسبب المواد العضوية زيادة في تركيز البكتيريا التي تعمل على تحليل المادة العضوية وإنتاج غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يصل تركيزه في بعض المياه الملوثة الى أكثر من (20) ملغم / لتر ، حيث تسبب هذه التراكيز العالية من ثاني أوكسيد الكربون زيادة في نشاط الطحالب الخضراء المزرقة وبالتالي حدوث غزارة في عددها ، ويدعي أنصار الفسفور كعنصر محدد ومسؤول عن الإخصاب بأن تراكيز الفسفور الذائب في الماء لايعني شيئا لإن معظم ميزانية الفسفور الموجود في المورد المائي الخصب هو موجود في خلايا الطحالب الخضراء المزرقة وليس في الحالة الذائبة ، وفي الحقيقة لايبقى لمثل هذا الخلاف معنى إذا أردنا أن نحدد إخصاب البحيرات بمعالجة مياه الفضلات المطروحة اليها معاملة ثالثية Tertiary حيث أن مثل هذه المعاملة تزيل كل من الفسفور ومصادر الكربون على حد سواء . يبين الجدول(1- 6) أهم مصادر الفسفور الصناعية والطبيعية .

جدول (1 - 6) مصادر الفسفور في مصادر المياه .

مصدر الفسفور	تركيزه في المصدر(ملغم / لتر)
مياه الفضلات البلدية	9 - 3.5
مياه الفضلات الصناعية	متباينة
مياه السيل الزراعي	1.1 - 0.05
مياه السيل المطري(في المدينة)	1.5 - 0.01
مياه الأمطار	0.03 - 0.01

ومن أهم مصادر الفسفور هي مطروحات الفضلات المدنية ومياه السيل الزراعي Agriculture Runoff وتعد المنظفات مسؤولة عن نصف الفسفور الذي يطرح خلال فضلات المدينة ، أما مصدر الفسفور في مياه السيل الزراعي فهو الأسمدة الفسفورية حيث يتسرب في الغالب مابين 10 - 25 % من هذه الأسمدة الى مياه السيل الزراعي وتكون بذلك خسارة للفلاح ومشكلة للبيئة ، كذلك تضيف فضلات حقول تربية الدواجن والماشية كميات كبيرة من الفسفور تعادل ما تضيفه المنظفات كما في الشكل (6 - 4) .



شكل (4- 6) مصادر الفسفور الصناعية

ولابد من تلخيص حالة البحيرات عند تعرضها للإخصاب حيث تتجاوز هذه الحالة (فوق الإخصاب) ، حيث تكون البحيرة فوق الخصبة Hyper eutrophication بحالة نوعية سيئة وتحدث بها تغيرات جذرية حيث تنهار معظم نظم البيئة فيها فجأة، أما أسلوب معالجة ظاهرة الإثراء الغذائي (الإخصاب) فيتركز على إزالة الفسفور من مصادره أومن الجسم المائي ، ويبدو إن تحديد مصادر الفسفور هو أكثر عملية من بقية الحلول الأخرى التي لامجال لذكرها في هذا الكتاب .