مصادر تلوث الماء Sources of Water Pollution

- **مياه الصرف الصحي:** وتشمل المخلفات الطبيعية للإنسان التي تذهب عبر شبكات الصرف الصحي، بالإضافة إلى مياه الغسيل والتنظيف والأنشطة البشرية المختلفة.
- **الملوثات النفطية:** وتشمل جميع المواد النفطية التي تتسرب إلى مياه البحر والمحيطات عند استخراج النفط أو نقله في البحر، وتسبب هذه المواد موت الأحياء البحرية بكميات كبيرة.
- **العناصر السامة:** وتشمل هذه العناصر المعدنية الثقيلة التي تسبب أمراضاً خطيرة للإنسان مثل الزئبق والزرنيخ والرصاص والكاديوم، كما تؤثر هذه المعادن الثقيلة على الأسماك التي تتلوث بها وتؤثر على صحة الإنسان عند تناولها.
- **المطر الحامضي:** يتكون المطر الحامضي بسبب تجمع العديد من المواد السامة في الهواء وتجمعها في طبقات الجو، وعند تساقط الأمطار تختلط بالملوثات وتتفاعل معها وتسبب هطول مطر حامضي ملوث يؤثر على نوعية مياه البحار والمحيطات والتربة والمياه الجوفية، كما يؤثر على النباتات والمنشآت المختلفة.
- **مخلفات المصانع:** تشمل هذه جميع المواد السائلة والصلبة التي يتم طرحها في مياه البحار والمحيطات دون تنقية أو إعادة تكرير، مما يسبب تغير خصائص المياه.
- **المبيدات الحشرية:** تسبب تلوث المياه بطريقة غير مباشرة، إذ أن أجزاءً منها تذهب إلى التربة، مما يسبب تلوث المياه الجوفية فيها.
- **التلوث بالمخلفات الزراعية:** تشمل هذه مخلفات الحيوانات وبقايا النباتات مثل الروث وبقايا الثمار التالفة.

ملوثات الماء Water Pollutants

تلوث الماء هو تغير في الخصائص الكيميائية والفيزيائية للماء نتيجةً لأسباب طبيعية أو أسباب بشرية، مما يجعل الماء غير صالحٍ للشرب، أو للزراعة، أو الصناعة، كما يمكن تعريف تلوث الماء بأنها عملية تداخل للمواد الضارة، والسامة في مناطق التجمعات المائية مثل المياه الجوفية، السطحية، والبحيرات، والجداول، والأنهار، والمحيطات، ووصولاً إلى النقطة التي تتداخل فيها المواد مع الاستخدام المباشر والأداء الطبيعي للأنظمة البيئية. وتشمل هذه المواد على الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض، والنفايات العضوية، والمركبات الكيميائية السامة، والنشاط الإشعاعي الذي يُشكّل المواد المشعة، بالإضافة إلى الزيوت والرواسب.

الملوثات العضوية Organic Pollutants

تشمل المواد الكيميائية العضوية التي تطرح إلى البيئة المائية وتتضمن الفضلات المتطلبة للأوكسجين وتؤثر في النباتات والحيوانات في البيئة المحيطة ويكون مصدرها عادة مياه الصرف الصحي الثقيلة. أدت زيادة النمو الصناعي والسكاني إلى جعل المياه الداخلية كالأنهار والجداول والبحيرات والخزانات وغيرها المستلم الرئيس للمواد العضوية بكميات تفوق قابليتها للتنقية بينما كانت التنقية الذاتية وعمليات التخفيف في السنوات المنصرمة نتيجة لقلة مصادر التلوث كافية في اكثر الاحيان.

تؤثر عملية طرح الفضلات العضوية في البيئة المائية على نوعية المياه ومن ثم على الأحياء الموجودة كما ونوعا معتمدة على مدى تحمل الانواع للتغيرات الحاصلة في تلك البيئة. أجريت العديد من الدراسات العالمية عن التلوث العضوي ومنها ان تلوث مياه المدن عموما ذا مصدر عضوي ويعتمد بشكل كبير على حجم التطور والتوسع السكاني والعمراني وغياب انظمة معالجة المخلفات المنزلية والصناعية.

مصادر التلوث العضوي Sources of Organic Pollution

يتوقف التلوث العضوي في الماء على طبيعة المادة العضوية نفسها وهل هي قابلة للتحلل ام لا وما هي درجة تحللها .

1- الصرف الصحي Wastewater

تطرح معظم المستوطنات الحضرية في بلدان العالم الثالث مياه المجاري في المسطحات المائية القريبة منها وخاصة الأنهار دون معالجتها مما يمهد الطريق لحدوث مشاكل بيئية خطيرة. تتكون مياه الصرف الصحي من المياه المستعملة في المنازل سواء في الحمامات أو المطابخ ومياه الغسيل وكذلك المياه المستعملة في المستشفيات وبعض الورش والمعامل الصغيرة ومحطات الوقود التي تقع داخل المدينة. تكون هذه المياه ملوثة بالكيميائيات السامة والاحياء المجهرية والتي تفسد في نوعية المياه فضلا عن احتوائها على المغذيات النباتية والتي بزيادة تركيزها تزدهر الطحالب وتحدث ظاهرة الأثراء الغذائي Eutrophication التي تؤدي إلى انخفاض في مستوى الأوكسجين وافراز السموم مؤديا الى موت الأسماك وفقدان التنوع الإحيائي.

2- المصادر الزراعية Agricultural Sources

تضم بعض المواد الكيميائية مثل الأسمدة الثلاثية NPK الزراعية المتنوعة المستعملة في تحسين وزيادة الانتاج الزراعي وكذلك المبيدات الكيميائية المستعملة للقضاء على الآفات الزراعية. تنقل مياه البزل كميات كبيرة من أملاح التربة مثل أملاح النترات والفوسفات وغيرها من الكيميائيات الموجودة في الأسمدة الزراعية أو مبيدات الحشائش والحشرات.

3- المصادر الصناعية Industrial Sources

تطرح مياه الصرف الصناعي إلى الأنهار أو البحيرات القريبة منها دون معالجة مسبقة والتي تكون محملة بالمواد الكيميائية السامة والمواد العضوية. ازدادت في الآونة الأخيرة نسبة مياه الصرف الصناعي نتيجة للتوسع في بناء المنشآت الصناعية وزيادة استعمال الكيمياويات مما سبب في تأثيرات سلبية للنظام المائي.

وهي الملوثات العضوية الثابتة والتي تعرف بأنها مجموعة من المركبات العضوية التي تتسم بالسمية العالية والتحلل البطيء في البيئة. كما تتسم بقابليتها للتراكم الحيوي Bioaccumulation خاصة في الأنسجة الدهنية للإنسان التي تنتقل إليه عن طريق السلسلة الغذائية. اهم هذه الملوثات المبيدات مثل (د.د.ت)، المواد الكيميائية الصناعية (مثل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، مركبات ثنائي الفينيل متعدد البروم) والانتاج غير المقصود (مثل الديوكسين والفيوران). تنتقل الملوثات العضوية الثابتة للبيئة المائية عن طريق الهواء والماء والتربة، وذلك يشمل الترسبات الجوية (مع حبيبات الغبار أو هطول المطر)، تصريف النفايات الصناعية السائلة، مصادر النفايات الصلبة والسائلة، بالإضافة الى تصريف المياه العادمة الصناعية والبلدية.

تأثر المركبات العضوية الثابتة في تركيبة مجتمعات العوالق النباتية الذي يعد العنصر الأول في السلسلة الغذائية للأحياء المائية، وتؤثر على نمو الطحالب، ويؤدي تراكم هذه الملوثات في أنسجة الطيور إلى نقصان في سماكة قشرة البيض ونتيجة هذا النقصان تصبح البيوض سهلة التفتت إما عن طريق حركة الأبوين أو بطرق أخرى، وتساعد هذه النتائج على فهم تناقص عدد الطيور البحرية كما لها تأثير سلبي على العديد من الاحياء البحرية الأخرى.

اما تأثيرها على الإنسان فأنها تسبب فرط تقرن في الجلد (البورفيريا الجلدية المتأخرة) وبورفيريا تعنى الصبغة الأرجوانية ومن المرجح أن يكون الاسم إشارة إلى تغيير لون براز وبول المرضى إلى اللون الأرجواني خلال النوبة. و تليف وضخامة الكبد وارتفاع مستوى خمائر الكبد في المصل كما تسرع من تصلب القلب وتسبب إضطرابات قلبية وأذية كلوية واضطرابات

في المجاري البولية واضطرابات في الجهاز التنفسي. من المحتمل ازدياد حالات الاجهاض، ازدياد حالات التشوهات لدى الحوامل، ويعتبر بعض هذه الملوثات أيضا من معطلات الإندوكراين التي تستطيع بتغيير الجهاز الهرموني، تخريب الجهازين التناسلي والمناعي لدى الأفراد المعرضين ونسلهم. وكذلك من المحتمل حدوث تبدل في عدد ووظائف الخلايا اللمفاوية. وتشمل الآثار المحددة للملوثات العضوية الثابتة السرطان والحساسية المفرطة، والإضرار بالجهازين العصبيين المركزي والمحيطي، والاضطرابات التناسلية.

تأثير التلوث العضوي

للتلوث العضوي تأثيرات عديدة على النظام البيئي الذي يتواجد فيه واهم التأثيرات التي تحدثها المواد العضوية على الماء ما يلي:

- التأثير على تبادل واتزان الاوكسجين الذائب في الماء
- التأثير على الصفات والخواص الكيميائية للماء
- التأثير على نواتج البناء والهدم
- التأثير على تنوع الاحياء المائية

تحلل المادة العضوية Decomposition of Organic Matter

يتم تحلل المادة العضوية من خلال الأكسدة Oxidation، والتي تتضمن العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تكسر الجزيئات العضوية من خلال تفاعلات أنزيمية متعددة. وهذا يبين أن هذه التفاعلات تنتج عددا من المركبات العضوية المتوسطة (مثل الأحماض الدبالية)، ولكن في النهاية تتمعدن أو تتحلل المادة العضوية بالكامل إلى ثنائي أوكسيد الكربون وماء، بالإضافة إلى بعض المعادن غير العضوية الأخرى. ومع ذلك، قد تختلف معدلات تفسخ المركبات العضوية المتنوعة بشكل كبير، وقد يكون التكسر الكامل عملية بطيئة جدا تستغرق عدة عقود أو - في حالة المواد الدبالية المستعصية - آلاف السنين بسبب تركيبها المعقد.

لا توجد صيغة كيميائية عامة للمادة العضوية، ومع ذلك، فمن الممكن كتابة معادلة مبسطة عامة للتفاعل، الذي ينطوي فقط على المواد المتفاعلة الأولية والنواتج النهائية:

$$CH_2O + e.a. \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{inorganic } N, P, S$$

حيث يشير CH_2O إلى المادة العضوية و e.a. إلى مستقبلات الالكترون المختلفة (مؤكسدات) المتوفرة في النظام على سبيل المثال الأوكسجين (O_2)، النترات (NO_3) والكبريتات (SO_4) وفي المياه السطحية، يكون الأوكسجين هو المتلقي السائد للإلكترون.

كما ان تحلل المواد العضوية تحت ظروف غنية بالأوكسجين يسير بشكل أسرع وينتج المزيد من الطاقة للبكتيريا من التحلل في بيئات معدومة الاوكسجين. بشكل عام، تزداد معدلات التحلل مع زيادة درجة الحرارة وزيادة الرقم الهيدروجيني . وغالبا ما يتم التحكم في معدل تحلل المواد العضوية بشكل كبير من خلال محتوى النيتروجين، حيث تحتاج الميكروبات إلى النيتروجين لبناء البروتينات، والنيتروجين غالبا ما يكون عنصرا مقيدا لنموها. وفي هذا السياق، فإن النسبة الكتلية للنايتروجين الكلي إلى الكربون العضوي أو نسبة N:C **C:N ratio** هي معامل مهم يحدد معدل التحلل.

في المياه السطحية يؤدي تحلل المادة العضوية إلى انخفاض تركيز الأوكسجين المذاب، وقد يؤثر ذلك سلبا على النظام الإيكولوجي المائي، خاصة إذا كانت المادة العضوية من مصدر بشري (مثل الفضلات المطروحة بعد المعالجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي أو تصريف مياه المجاري غير المعالجة). وعادة ما يقاس استنزاف الأوكسجين باستخدام اختبار المتطلب الحيوي للأوكسجين (BOD_5). اما بالرواسب إن متطلب أوكسجين الرواسب Sediment Oxygen Demand (SOD) هو معدل استهلاك الأوكسجين المذاب في جسم مائي (نهر أو بحيرة أو محيط) بسبب تحلل المواد العضوية الرسوبية. ويتم التعبير عن متطلب اوكسجين الراسب (غم أوكسجين / م^2 / يوم). وغالبا ما يكون المتطلب الحيوي للأوكسجين، ومتطلب أوكسجين الراسب، معاملات مهمة لموازنة الأوكسجين المذاب للمياه السطحية، كما أن تحديدها يوفر معلومات حاسمة لمراقبة نوعية المياه.

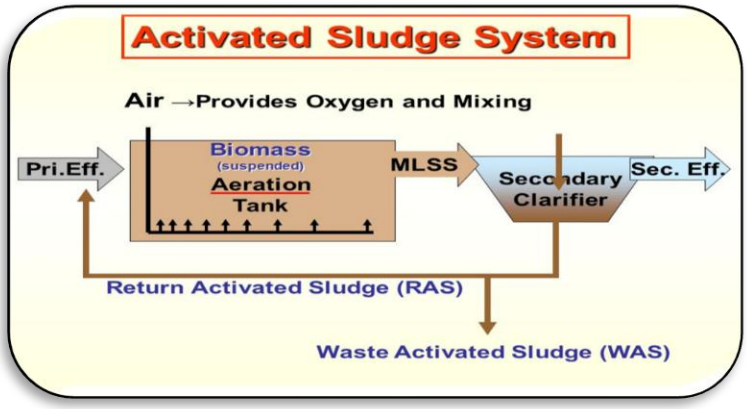
أنظمة المعالجة

يؤدي طرح مياه الفضلات غير المعالجة أو غير تامة المعالجة (المعالجة جزئيا) الى فساد الجسم المائي المستقبل محدثة تأثيرات صحية وبيئية، لذا يمكن تصنيف أنظمة المعالجة لمياه الصرف الصحي من حيث الخصائص التي تميز كل نوع إلى ما يلي :

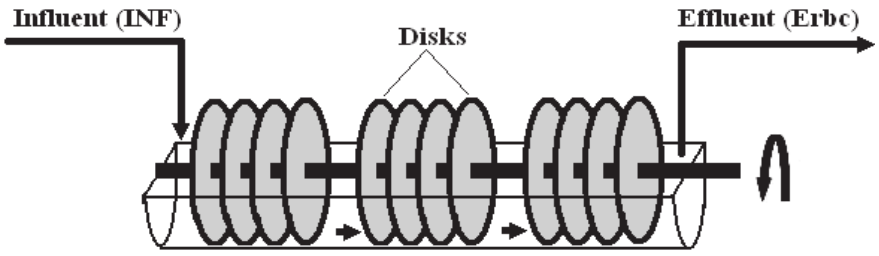
أنظمة المعالجة الميكانيكية

هي الأنظمة التي تعالج المياه بطرائق ميكانيكية تتضمن التهوية والترسيب كنظام الحمأة المنشطة Activated Sludge ويوصف هذا النظام بأنه نظام يقوم على خلط مياه الصرف

الصحي المنسابة إلى خزان التهوية مع الحمأة المنشطة المتواجدة فيه بصورة عالقة. ويطلق على السائل الناتج من عملية الخلط هذه بالسائل المختلط ويمتاز هذا السائل في حالة المعالجة السليمة بلون يميل إلى اللون البني وبرائحة تشبه رائحة التربة غير العفنة. وتلعب الاحياء المجهرية الهوائية في هذا النظام مهمة تحطيم المادة العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي وتحويلها هوائياً إلى ماء وثنائي أوكسيد الكربون وخلايا بكتيرية جديدة .



اما نظام التلامس الحيويّ دائريّ الحركة Rotating Biological Contactors فتتألف وحدة المعالجة من مجموعة من أقراص بلاستيكية غالباً، تدور حول محور مرتبط بها وهي غاطسة إلى حوالي نصف قطرها في مياه الصرف الصحي وبعد خروجها يدخل الهواء ملامساً الغشاء الحيوي الذي تجري المعالجة بوساطته. تمتاز هذه الطريقة باستهلاكها طاقة قليلة وبقلة الحمأة الناتجة عنها.



Rotating Biological Contactors

أنظمة المعالجة اللاهوائية ذات المعدلات السريعة

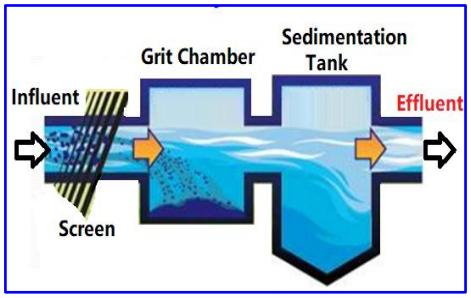
تعتبر المعالجة اللاهوائية التقليدية من أقدم طرق المعالجة المعروفة والتي تتميز بتأخر هضم المواد العضوية مقارنة بالبكتريا الهوائية، إلى أن تم التوصل إلى طرق المعالجة اللاهوائية ذات المعدلات السريعة بدأً من الربع الأخير من القرن الماضي مثل المرشحات اللاهوائية.

محطات معالجة مياه الصرف الصحي Wastewater Treatment Plants

في البداية كانت مياه الصرف الصحي تصرف مباشرةً إلى المياه السطحية دون معالجة، وبما أن تلوث المسطحات المائية أصبح مصدر قلق، فقد أضافت المدن محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي. ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي هي كافة المنشآت التي تبنى في موقع معين لغاية أكسدة المواد العضوية الموجودة فيها وفصل الشوائب الصلبة عن المياه التي يمكن تصريفها بعدئذٍ دون ضرر بالصحة العامة أو إعادة إستخدامها مرة أخرى بعد القضاء على مختلف الملوثات الجرثومية فيها. وعمل محطات معالجة مياه الصرف الصحي بصورة عامة هي تحويل مياه الصرف الصحي إلى مياه معالجة يمكن طرحها إلى الأنهار أو المسطحات المائية بحيث لا تؤثر سلباً على نوعية تلك المياه وطبيعة استخداماتها، لذا يعتمد نوع ودرجة المعالجة المطلوبة على معدل تدفق المياه الثقيلة الخام، ومعدل تدفق مياه النهر وتركيز الملوثات في المياه الثقيلة الخام وتركيزها المطلوب في المياه المعالجة، وكذلك المحددات التي تمليها طبيعة استخدام المياه في النهر.

مراحل المعالجة في محطات معالجة الصرف الصحي

المعالجة التمهيدية Preliminary Treatment



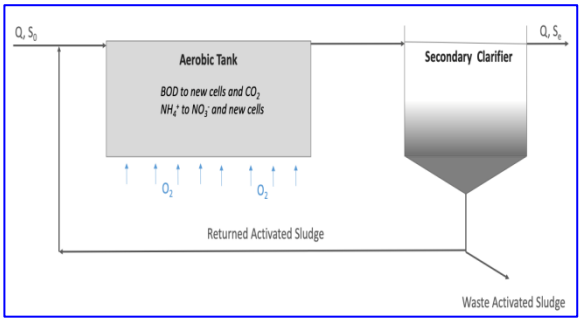
تعنى هذه المرحلة إزالة الأجسام الصلبة كبيرة الحجم عبر استعمال أشباك لالتقاطها ولإزالتها، وكذلك لترسيب الرمال والحصى من خلال تمرير المياه عند دخولها المحطة عبر هوَّة تسقط فيها المواد الصلبة الثقيلة قبل أن تتابع تدفُّقها إلى المرحلة اللَّاحقة. هذه المرحلة هي على أهمية بالغة لجهة حماية تجهيزات محطة المعالجة من الأعطال وخصوصا الأنابيب والمضخات.

المعالجة الأولية Primary Treatment

وتسمَّى أيضا المعالجة الميكانيكية، وهي مرحلة ترسيب المواد الصلبة في أحواض الترسيب الأولية. وعادة تكون هذه الأحواض كبيرة بشكل يسمح للمواد الصلبة

الخفيفة والدهون والزيوت بأن تطفو على سطح الماء، بحيث يسهل كشطها وتنحيتها. إن الهدف الرئيس لهذه المرحلة من المعالجة هو الحصول على سائل متجانس قابل لأن يعالج بيولوجيا في مرحلة لاحقة، من جهة، ومن جهة أخرى، الحصول على الوحل Sludge قابلة للمعالجة بشكل منفصل. تكون أحواض الترسيب عادة مجهزة بتجهيزات ميكانيكية تساعد على تجميع الوحول في قاع الحوض، ومن هناك يتم ضخّها إلى المعالجة في المراحل التالية. وكذلك لإزالة المواد الطافية وتنحيتها من دفق المياه التي يتم معالجتها. وكذلك تجهيزات ميكانيكية لنقل المياه المتجانسة إلى المراحل التالية من المعالجة. تستعمل في هذه المرحلة الأولية بعض المواد الكيميائية لمساعدة المواد على الطَّفو على سطح الماء، وكذلك مساعدة المواد الصلبة على الترسب في القاع. يسمى الوحل المتولِّد عن المعالجة الأولية، الوحل الأولي.

المعالجة الثانوية Secondary Treatment



وتسمَّى أيضا المعالجة البيولوجية Biological treatment تزيل المواد العضوية الذائبة، التي تنتقل من مرحلة المعالجة الأولية. عملية المعالجة البيولوجية تقوم بها مجموعات من الأجسام الدقيقة (جراثيم) التي تستهلك المواد العضوية كغذاء لها، وتحوِّلها إلى النواتج النهائية لعمليات الأيض، ثنائي أوكسيد الكربون والماء والطاقة، هذه الطاقة ضرورية لنمو الاحياء المجهرية وتكاثرها. تتم عملية المعالجة البيولوجية بالترافق مع عملية تهوية فعَّالة تزوِّد الحوض بكميات كبيرة من الهواء (الأوكسجين) لتسهيل عملية التفكُّك الهوائي للمواد العضوية. بعد عملية المعالجة البيولوجية، يتم ضخ المياه إلى أحواض ترسيب ثانوية، حيث تنزل إلى القاع المواد الصلبة المتبقِّية والأجسام الدقيقة الحيَّة (الاحياء المجهرية). يتم التعامل معها بطريقة منفصلة عن السوائل التي تتابع انتقالها ليتم إخضاعها لعمليات التعقيم.

المعالجة الثالثية Tertiary Treatment

المعالجة الثالثية تشتمل على عمليات المعالجة النهائية، التي تهدف تحسين نوعية المياه لكي تستجيب لمستويات محددة. تتحقق هذه المرحلة المتقدِّمة من معالجة المياه عبر تقنيَّات متفاوتة التعقيد والدقَّة، مثل التخثُّر Coagulation والترسيب Sedimentation والترشح Filtration.

يمكن أن تشتمل على توسعة نطاق المعالجة الثنائية (البيولوجية) بعملية إزالة المغذِّيات. وهكذا يمكن الحصول على نوعية متقدمة من المياه باستخدام عمليات هادفة لإزالة ملوثات معينة، ولمزيد من تحسين جودة المياه.

تزيل مرحلة المعالجة الثلاثية ما يزيد عن 99 بالمئة من الملوِّثات الموجودة في المياه العادمة. يمكن لهذه العمليات عالية الكلفة أن تساعد على الحصول على مياه تتوافق مع مواصفات مياه الشرب. وان أهم عملية من عمليات المعالجة الثلاثية هي عملية التعقيم. وهي الخطوة الأخيرة قبل أن تخرج المياه من محطة المعالجة. الوسيلة التقليدية لتعقيم المياه المعالجة هي "الكلورة" أي إضافة كمية من الكلور، أو مركب كلوري، مثل هيبوكلوريت الصوديوم. الكلور يقتل كميات كبيرة من الاحياء المجهرية المُمْرِضَة. ولكن بالمقابل، هناك تحفُّظات كثيرة على استعمال الكلور للتعقيم، حيث أنه يتفاعل مع بقايا المواد العضوية في المياه المعالجة ليكوِّن بعض المركبات الكلورية العضوية، التي تتميز بنشاط مسرطن.

يستعمل أيضا، تعريض المياه للأشعة ما فوق البنفسجية، كوسيلة للتعقيم، ولكن هذه الطريقة لا تتمتع بالفعالية الكافية، وخصوصا عندما تكون المياه غير صافية كفاية، أو لا تزال تحتوي على بعض الجزيئات الصلبة. ويعتبر التعقيم بالأوزون هو الطريقة الأحدث والأعلى فعالية.

المعالجة بالطرق الصديقة للبيئة // معالجات حيوية

المعالجة الحيوية Bioremediation

المعالجة الحيوية يتم من خلالها استعمال كائنات حية (نباتات أو حيوانات أو أحياء دقيقة) لإزالة سمية الملوثات من البيئات المختلفة وهذه المعالجة هي عملية لا تقدر بثمن لأوسع تطبيق في مجال حماية البيئة.

هناك عدد من الاستراتيجيات للمعالجة الحيوية يمكن إن تستعمل لإعادة البيئة الملوثة الى وضع مناسب. ولمعالجة ملوث معين يمكن استعمال واحداً أو أكثر من الاستراتيجيات التالية لضمان نجاح عملية المعالجة الحيوية التي تشمل أنواع من المعالجات هي (المعالجة بالنباتات Phytoremediation والمعالجة بالحيوانات Zooremediation والمعالجة بالبكتيريا Bacterialremediation والمعالجة بالطحالب Phycoremediation والمعالجة بالفطريات Mycoremediation) .

1- المعالجة النباتية Phytoremediation

يتم استعمال النباتات لإزالة أو تحويل الملوثات العضوية ويمكن إن تتم بصورة مباشرة بواسطة استعمال النباتات التي لها القدرة العالية على معالجة الملوثات العضوية وامتصاص المعادن الثقيلة أو بطريقة غير مباشرة بواسطة استعمال النباتات لتحفيز الكائنات الدقيقة في منطقة المحيط الجذري Rhizosphere .

وان أصل كلمة Phyto-remediation هي من Phyto وتعني نبات و remediation وتعني التصحيح أو العلاج، وهي من التقانات الحيوية للنباتات الخضراء التي تستعمل لمعالجة الملوثات في البيئة أو تقليل سميتها أو تقييد حركتها في التربة أو الماء أو من خلال فعاليتها الحيوية والكيميائية والفيزيائية وقدرتها في تنظيف البيئة بأرخص التكاليف. وأن المعالجة النباتية هي تقنية بديلة للطرائق التقليدية التي تعد مكلفة وذات احتياج كبير للطاقة، كما أنها تقنية صديقة للبيئة تعتمد على مبدأ استعمال الطبيعة لتنظيف الطبيعة Using Nature To Cleans Nature. إذ تعتمد نظم معالجة المخلفات السائلة المنزلية الطبيعية أو شبه الطبيعية على استعمال النباتات المائية الكبيرة كأساس في المعالجة، إذ تؤدي إلى تكوين بيئة تساعد على ترشيح المواد العضوية وتنشيط الأحياء المجهرية بإطلاق الأوكسجين عن طريق الجذور، والتحكم بقيم دالة الأس الهيدروجيني pH وامتصاص المركبات العضوية السامة وإنتاج مفرزات قاتلة للجراثيم الممرضة، ويرتبط التفكيك الأفضل للمادة العضوية بقدرة النباتات على تكوين منطقة أكسدة في المحيط الجذري Rhizosphere ضمن رواسب الحمأة، لأن الأوكسجين ينتقل من الأجزاء النباتية الخضراء إلى الأعضاء أو الأجزاء المدفونة، فضلاً عن تسرب كمية من الأكسجين من الجذور إلى المحيط الجذري.

تتضمن المعالجة النباتية عدة عمليات Phytoremediation Processes والتي تعرف بعمليات عزل الملوثات Containment Processes وهي :

- **Phytovolatilization** او **Phytoevaporation التطاير :**

هو قدرة النباتات على امتصاص الملوثات من وسط النمو (التربة او الماء) ثم تحليلها انزيمياً الى مواد تتطاير في الجو عن طريق ثغور الاوراق او السيقان وبتراكيز منخفضة نسبياً.

- **Phytostimulation التحفيز :**

يتم من خلالة تحفيز النشاط الميكروبي بالقرب من الجذور عن طريق الهرمونات النباتية Phytohormones التي تطلق بالجذور وتزيد من فعالية الاحياء الدقيقة المحفزة الموجودة.

- **Phytodegradation** او **Phytotransformation التحلل :**

يشير الى عملية تحليل للملوثات الموجودة بشكل جزئي او كلي عن طريق عملية التمثيل الغذائي Metabolization او تحطيم الملوثات وازالة السمية بعملية التمعدن Mineralization التي يقوم بها النبات عن طريق الانزيمات النباتية وبمساعدة الاحياء الدقيقة الموجودة حول الجذور محولاً المواد الكيميائية الى ثاني اوكسيد الكاربون والماء.

- **Phytostabilization او Phytoimmobilization الاستقرار:**

هنا تقوم النباتات في تغيير حركة الملوثات او تثبيتها في وسط النمو مقللة بذلك تواجدها الحيوي Bioavailability ضمن السلسلة الغذائية عن طريق منع انتشارها وهجرتها الى مكان ابعد.

- **Phytoextraction الاستخلاص :**

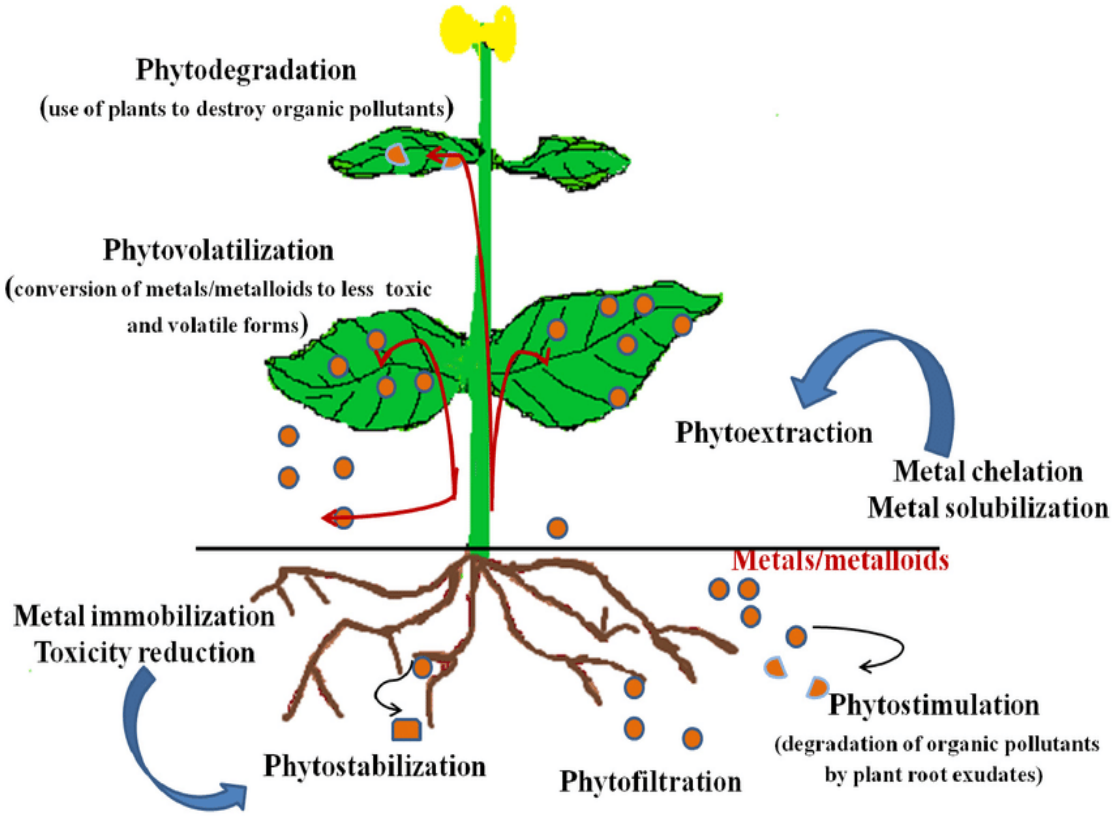
هي عملية استخلاص وامتصاص جذور النباتات للملوثات (المعادن) من وسط النمو ثم نقلها وتراكمها في انسجتها في الجذور والسيقان بعدها يبدا الفعل الانزيمي ومن ثم عملية التثبيت النباتي او استخراجها بعملية النتح Transpiration .

- **Phytoaccumulation التراكم :**

يتم من خلالها سحب الاملاح والعناصر الثقيلة من البيئة الملوثة ومن ثم تراكمها بالجذور. حيث اوضحت الكثير من البحوث الى اهمية النباتات كمراكمات حيوية وذلك لأنها قادرة على احتواء تراكيز عالية للمعادن الثقيلة وبالتالي تراكمها بأجزاء من اجسامها .

- **Rhizofiltration الترشيح الجذري:**

هو قيام جذور النباتات البرية والمائية بامتصاص العناصر الثقيلة والخطرة مثل الرصاص والكروم واليورانيوم والزرنيخ من وسط النمو ومن ثم خزنها بالجذور والاوراق كما في حالة استخدام المعالجة النباتية لمياه الصرف الصحي في الاراضي الرطبة المصطنعة. وتبرز هذه المعالجة بشكل اكبر لنباتات التربة بسبب امتلاكها نظام ليفي وجذري اطول، وبالتالي فان لها القدرة على امتصاص العناصر السامة بشكل اكثر كفاءة.

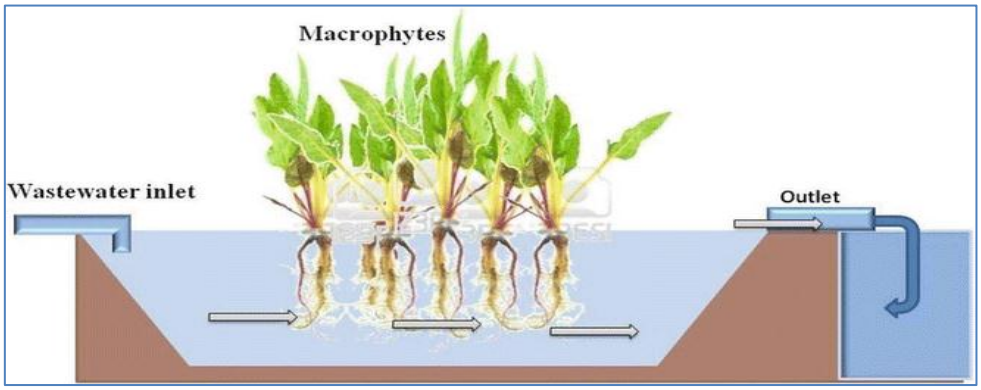


ويعد استعمال النباتات المائية في تنقية وتحسين نوعية المياه هي إحدى أفضل الطرائق التي تغنى عن المحطات الميكانيكية أو الكيميائية لكفائتها العالية في إزالة أو تقليل أكثر أنواع الملوثات. أن النباتات المائية تقوم بمعالجة مياه الفضلات بصورة فعالة وكفوءة ورخيصة نسبياً إذا ما قورنت بأنظمة المعالجة التقليدية المعتمدة. وتطور استعمال النباتات المائية في المعالجة في الولايات المتحدة الأمريكية في فترة التسعينيات من القرن الماضي إذ ازدادت أعداد الأهوار والأراضي الرطبة المشيدة وتم تطوير استعمال النباتات المائية لمعالجة مياه الفضلات الصناعية الثقيلة فضلاً عن معالجتها لمياه الفضلات المنزلية والزراعية.

تطبيقات المعالجة النباتية Application of Phytoremediation

يتم خلال هذه التقانة استعمال النباتات لحل مشاكل التلوث أو الحد منها والتي تكون ضارة للنظم البيئية الأخرى ومثالها استعمال الأراضي الرطبة Wetlands لمعالجة مياه الصرف الصحي، وذلك لتقليل مشاكل التلوث من دون حصول تخريب للتوازن البيئي وبالتالي تجديد المصادر الطبيعية، ويتم خلال هذه التقانة إزالة وتحليل الملوثات من الماء أو التربة مع تحسين قيمة التنوع الإحيائي من خلال نمو الغطاء النباتي المائي .

يطلق على محطات المعالجة بالنباتات والتي تمر فيها المياه الملوثة المعالجة أولياً عبر أحواض مزروعة بالنباتات بالأراضي الرطبة المصطنعة Constructed Wetlands إذ تكون أحواض المعالجة في هذه الأنظمة مملوءة بوسط حصوي أو رملي أو مزيج منهما معاً، وهي تعرف على أنها مناطق مشبعة بالمياه يتم تصميمها هندسياً (غير طبيعية) إذ تكون قادرة على إزالة الملوثات من مياه المجاري وبالتالي تحسين مواصفات المياه المعالجة النهائية قبل تصريفها أو إعادة استعمالها، كما أنها تصنف كمرحلة معالجة ثانوية أو ثالثية حسب الاستعمال للأحواض المختلفة (ذات الجريان تحت سطحي او سطحي) على اعتبار أن المياه الملوثة الداخلة إليها تكون قد عولجت بشكل أولي.



نظام الأراضي الرطبة Constructed Wetlands هو نظام مبتكر لمعالجة مياه الصرف الصحي تقوم بمعالجة المواد العضوية وغير العضوية، وهو نظام بسيط في الإنشاء والصيانة والتشغيل وغير مكلف، إذ تحصل فيه عمليات فيزيائية وكيميائية وحيوية لمعالجة الملوثات الموجودة.

إن استعمال الأراضي الرطبة الطبيعية لتنقية المياه يعود الى آلاف السنين فقد استخدمها الصينيون والمصريون. وأما استعمال الأراضي الرطبة الاصطناعية (أحواض المعالجة بالنباتات) لمعالجة المياه الملوثة فيعود إلى عام 1905 في أستراليا ولكنها بقيت قليلة الاستعمال حتى اعتمدها الأوربيون منذ عام 1950عبر الألمان ثم بدأت بالانتشار في هولندا لعلاج مياه الصرف الصحي خلال الفترة من 1967 - 1969 واستخدمها الأمريكيون منذ عام 1970 واليوم تنشر آلاف محطات المعالجة بالنباتات عبر الولايات المتحدة الأمريكية ودول العالم المختلفة.

ونظراً لأهمية الوظائف البيئية المتعددة التي تؤديها الأراضي الرطبة في حياة البشر فقد اكتسبت اهتماماً واسعاً في السنوات الأخيرة، الأمر الذي دعا الى زيادة عقد المعاهدات والندوات الخاصة بإقامة الأراضي الرطبة منها حسب ما جاء في اتفاقية (رامسار) للأراضي أو المناطق

الرطبة وهي من أقدم الاتفاقيات العالمية في مجال البيئة، إذ وضعت عام 1971 بمدينة (رامسار) الإيرانية، ودخلت حيز التنفيذ في 21 ديسمبر/ كانون الأول من سنة 1975، وهي تعد الاتفاقية الدولية الوحيدة في مجال البيئة التي تعالج نظام بيئي خاص، وتهدف هذه الاتفاقية إلى تشجيع المحافظة والاستعمال العقلاني للأراضي الرطبة عن طريق إجراءات يتم اتخاذها على المستوى الوطني أو القومي وعن طريق التعاون الدولي من أجل الوصول إلى التنمية المستدامة في كل العالم. ويدخل تحت رعاية هذه الاتفاقية العديد من أنواع الأراضي والمناطق الرطبة إذ نجد: (المستنقعات والسبخات والبحيرات والوديان والمروج الرطبة والواحات ومصبات الأنهار ومناطق الدلتا وخطوط المد والامتدادات البحرية القريبة من السواحل والشعاب المرجانية) ويدخل كذلك ضمنها المناطق الرطبة الاصطناعية مثل أحواض معالجة مياه الصرف الصحي وتربية الأسماك والحقول الرطبة لزراعة الأرز وخزانات المياه والملاحات.