معالجة تلوث التربة

من واجبات الإنسان الذي أسهم في تلوث التربة أن يحاول إصلاح ما أفسد بإتباع ما يلي:

1- مكافحة السلوكيات الخاطئة التي تؤدي إلى حدوث التلوث بكافة صوره وإتباع طرق ري ملائمة حتى تحتفظ التربة بمستوى معين من الملوحة يتناسب مع النباتات المزروعة ونوعية التربة مع توفير نظام صرف جيد حتى لا تتراكم الأملاح في التربة.

2- التوسع في استخدام الأعداء الطبيعيين للحشرات و الديدان بدلا من المواد الكيماوية.

3- العودة إلى استخدام الأسمدة العضوية لأنها تعتبر من أهم عوامل خصوبة التربة وتحسين خواصها الفيزيائية والكيميائية والحيوية مع قصر استخدام الأسمدة الكيميائية على التربة التي تحتاج إلى أنواع معينة من العناصر.

4- عدم السماح للمصانع بتصريف مخلفاتها نهائيا في مجاري المياه الطبيعية وخاصة في الأنهار.

5- الاهتمام بتعدد المحاصيل في دورة زراعية متوازنة .

6- مكافحة تملح التربة .

7- معالجة مياه المجاري قبل استخدامها للري وذلك منعاً لانتشار الأمراض التي تنتقل الى الانسان بواسطة المياه الملوثة المستخدمة في ري المحاصيل الزراعية من جهة والمحافظة على خصوبة التربة على المدى الطويل من جهة ثانية .

8- وضع التشريعات اللازمة لمكافحة تلوث التربة:

- التشريعات المتعلقة بالتخلص من المخلفات الصلبة.
- التشريعات المتعلقة بالتخلص من الفضلات السائلة .
- التشريعات المتعلقة بحماية البيئة الزراعية.
- التشريعات الخاصة بحماية الطبيعة.
- تنشيط الابحاث المتعلقة بمكافحة تلوث التربة.

التقانات الحياتية المستخدمة لمعالجة التربة

يوجد العديد من المحاولات لإزالة الملوثات من التربة وذلك باستخدام تقنيات مختلفة وللأسف فإن هذه التقنيات غير كافية لإزالة الملوثات وغالباً ما يستخدم اكثر من تقنية لتنظيف التربة حيث أن التركيب المعقد للتربة ووجود العديد من الملوثات يجعل إزالة الملوثات من التربة امراً صعباً ومكلفاً. لذا اتجهت الانظار الى استخدام التقانات الحياتية التي لا يهدد استعمالها البيئة، او المحيط، وهي في الأغلب طاقة بديلة لا إفرازت سامة لها.

المعالجة الحيوية Bioremediation

تتمثل المعالجة الحيوية في الاستفادة من عملية التمثيل (الآيض) الجرثومي (البكتيري) في التخلص من المواد الملوثة، حيث يمكن تصنيف التقانات المستخدمة إلى أيٍ من تقانة في الموقع In sito أو خارج الموقع Ex sito. تتضمن تقانة في الموقع In sito معالجة المواد الملوثة في الموقع الذي توجد به، في حين تتصف تقانة خارج الموقع Ex sito بمعالجة الملوثات في أماكنٍ أخرى دون المكان الذي وُجِدَت به. وقد تحدث عملية المعالجة الحيوية من تلقاء نفسها (التخفيف أو الهزال الطبيعي، أو المعالجة الحيوية الداخلية الأساسية) أو يتم دعمها وتحفيزها بمساعدة إضافة المخصبات لزيادة الإتاحة الحيوية داخل الوسيط (التحفيز الحيوي).

المعالجة الحيوية بالكائنات الدقيقة

وتعرف هذه الطريقة باستخدام كائنات دقيقة (بكتيريا، فطريات، طحالب) لامتصاص وتحليل وتكسير المواد الملوثة السامة وخصوصاً المعادن الثقيلة والمشتقات البترولية وازالتها من اماكن التلوث واستخدامها في عملية النمو الحيوي لما لهذه الكائنات من مقدرة كبيرة على تحمل تراكيز عالية من المواد السامة من خلال مقدرتها على النمو وامتصاص تلك المواد السامة، كما أن بعض الكائنات لها القدرة على النمو على المخلفات الكيميائية واستخدامها كغذاء وقد استطاع العلماء عزل انواع من البكتيريا والفطريات والتي تستطيع استخدام المواد البترولية ومشتقاتها كمادة غذائية. هذا وقد أثبتت بعض صور التقدم الحديثة نجاحاً كبيراً من خلال إضافة سلالات ميكروبية متوافقة للوسيط (المحفز) بهدف زيادة ودعم قدرة الميكروبات القائمة على تكسير الملوثات.

كما أن الجراثيم المستخدمة لأداء وظيفة المعالجة الحيوية تقوم بعملية التحلل البيولوجي Biodegradation وفي هذه الطريقة يتم زيادة قدرة الكائنات الحية الدقيقة على تحلل الملوثات طبيعيا وذلك عن طريق زيادة اعدادها ونشاطها. وتتأثر عملية التحلل البيولوجي للملوثات بالصفات البيئية والكيميائية للتربة مثل الرطوبة ودرجة الحرارة والاس الهيدروجيني الـ pH والميكروبات الموجودة وصلاحية العناصر.

ويجب ان يأخذ في الاعتبار ان الميكروبات قد تكون فعالة في تحلل ملوث ما دون الاخر. وعلى سبيل المثال لذلك، المعادن الثقيلة والتي منها الكادميوم والرصاص، حيث لا يتم امتصاصهما أو حتى الإمساك بهما من قِبَلِ الكائنات الدقيقة. هذا بالإضافة إلى تواجد أشباه المعادن مثل الزئبق المتواجد في سلسلة الغذاء والذي قد يزيد من تفاقم الأمور سوءً. فأثبتت

المعالجة النباتية Phytoremediation قدرتها في مثل تلك الظروف وذلك لأن النباتات الطبيعية قادرة على التراكم الحيوي Bioaccumulation لمثل تلك السموم داخل أجزائها البارزة عن سطح الأرض، والتي يتم حصادها بعد ذلك في سبيل التخلص منها. وهنا نلاحظ أن مثل تلك الكتل الحيوية التي تم حصادها والمحتوية على تلك المعادن الثقيلة يمكن تركيزها إلى أقصى حدٍ بعد ذلك من خلال عملية الحرق والترميد أو حتى من خلال إعادة تدويرها مرةً أخرى ليتم استخدامها في مختلف الأغراض الصناعية.

معالجة الاراضي الملوثة باستخدام النباتات

تقانة استخدام النباتات في معالجة الاراضي الملوثة تعتمد اساسا على مقاومة النباتات للملوثات والتي تعني مقدرة النباتات على تجميع تراكيز عالية من المواد السامه في انسجتها دون ان تتأثر دورة حياتها.

المعالجة النباتية Phytoremediation

ويتم خلال تقانة المعالجة النباتية استخدام انواع من النباتات ذات القدرة العالية على امتصاص وتجميع وتركيز مستويات عالية من العناصر في انسجتها وذلك لمعالجة الاراضي الملوثة. واغلب هذه النباتات تكون عشبية محدودة النمو وتنمو في مواقع المناجم القديمة الغنية بالعناصر. ولذلك تتركز الجهود الان على تحسين نمو النباتات المراكمة للعناصر Hyperaccumulation لاستخدامها في معالجة الاراضي الملوثة. ومن الناحية الاخرى ولمحدودية المجموع الخضري للنباتات المراكمة للعناصر فانه يجري دراسة استخدام وتقييم بدائل من النباتات ذات المجموع الخضري الكبير مثل الاشجار والحشائش لاستخدامها في المعالجة على الرغم من ضعف مقدرة هذه النباتات نسبيا على تراكم العناصر بالمقارنة بالنباتات العشبية الاخرى.

ان مجال استخدام النباتات في معالجة الاراضي الملوثة في الوقت الحاضر اصبح اكثر اتساعا ليشمل جميع العمليات التي تستخدم فيها النباتات بهدف احتواء (عزل) او ازالة الملوثات مثل خفض حركة وتحلل وتطاير الملوثات غير العضوية مثل العناصر الثقيلة والنظائر المشعة والملوثات العضوية.

عمليات المعالجة النباتية Phytoremediation Processes وتشمل:-

عمليات عزل الملوثات Containment Processes وعمليات ازالة الملوثات Removal Processes .

1- عمليات عزل الملوثات Containment Processes

وتقسم هذه العمليات الى :

التثبيت Phytostabilization

هذه التقنية تستخدم لمنع حركة وانتقال الملوثات العضوية وغير العضوية من التربة الى المناطق المجاورة والى المياه الجوفية. وتعتمد هذه التقانة على استخدام النبات كدعامة ميكانيكية لتثبيت التربة بواسطة جذور النباتات وبالتالي حماية سطح التربة من الفقد بواسطة التعرية بالرياح او الماء كما انها تقلل من معدلات تسرب الملوثات الى المياه الجوفية عن طريق زيادة معدل النتح بواسطة النباتات المزروعة.

عملية تثبيت الملوثات بواسطة النباتات تتطلب تحمل النبات لتراكيز عالية من الملوثات في التربة وايضا تتطلب نباتات ذات مجموع جذري قوي ومتشابك فوق سطح التربة وذلك لوجود علاقة قوية بين حماية التربة من عوامل التعرية والغطاء النباتي للتربة.

التقييد Phytoimmobilization

تستخدم هذه التقانة النباتات لتقييد حركة وانتقال الملوثات الذائبة في التربة وكما يلي :

- ادمصاص وامتصاص الجذور للملوثات.
- مساعدة النباتات في ترسيب وتكوين مركبات ضعيفة الذوبان.
- تغيير خواص التربة التي تؤثر على حركة الملوثات.
- زيادة النشاط الميكروبي مما يؤدي الى تقييد حركة الملوثات بواسطة الميكروبات (تثبت الملوثات بواسطة الميكروبات من خلال الادمصاص والامتصاص وتخليق الميكروبات لمركبات قليلة الحركة وينتج عن ذلك ان تصبح الملوثات جزءا من دبال التربة).

اما بالنسبة الى تقييد الملوثات غير العضوية تشمل الامتصاص بواسطة الجذور وتفاعلات الاكسدة والاختزال مثل Cr(VI) السام الى Cr(III) غير الذائب. وقد ثبت بواسطة الاشعة

السينية ان نبات الخردل *Brassica Juncea* (L.) له القدرة على اختزال عنصر Cr(VI) المتحرك والسام الى صورة اقل سمية وغير متحرك مثل Cr(III).

ايضا تكون مركبات فوسفاتية قليلة الذوبان في منطقة الجذور يمكن ان يؤدي الى تقييد حركة بعض العناصر السامة مثل الرصاص. فقد ثبت وجود حبيبات معدن Pyromorphite (فوسفات الرصاص) في منطقة جذور نبات *Agrostis capillaris* (L.) المقاوم لعنصري الزنك والرصاص عند زراعته في اماكن تعدين الزنك والرصاص. كما ان خفض انتقال الملوثات غير العضوية من الجذور الى السيقان تعتبر هامة جدا في عملية تقييد حركة الملوثات وذلك لمنع انتقال الملوثات ودخولها الى السلسلة الغذائية ولذلك يجب التنبه عند انتقاء النباتات المستخدمة في هذه العملية. اما تقييد الملوثات العضوية في التربة بواسطة النباتات يشمل ايضا الامتصاص بواسطة الجذور والتثبيت الميكروبي ويمكن القول ان استخدام النباتات لتقييد حركة الملوثات العضوية في التربة يطبق اساسا مع الملوثات العضوية التي تكون مركبات قليلة الذوبان او المركبات التي تحصل فيها ادمصاص وبقوة عند سطوح معادن الطين.

وتم تطبيق هذه التقانة في بعض المواقع الملوثة مثل مناطق التعدين والمناطق المضاف اليها الحمأة باستخدام بعض النباتات المقاومة للملوثات غير العضوية مثل *Festuca rubra* ونبات *Agrostis capillaris* وادى ذلك الى تقييد حركة الزنك والكادميوم في مواقع التلوث بنسبة 85 %. وكذلك العديد من الملوثات العضوية الموجودة في الحمأة مثل PCB, Chlordane امكن تقييد حركتها باستخدام نباتات *Poplars* (*Populus hybridus* L.) والذرة وبعض الحشائش مثل *Festuca*.

2- عمليات ازالة الملوثات Removal Processes

تنقسم هذه العمليات الى :

- **الاستخلاص Phytoextration**

وهي عمليات استخلاص المكونات العضوية والمعدنية من التربة عن طريق الامتصاص بواسطة النباتات وانتقالها الى المجموع الخضري الموجود فوق سطح التربة. اذ تتميز النباتات بمقدرتها على استخلاص العناصر الغذائية والمركبات العضوية الموجودة في التربة بتركيزات منخفضة وتجميعها في الساق والاوراق او الجذور ولذلك فان تقانة الاستخلاص للملوثات بواسطة النباتات استغلت لاستخدام النبات كمضخة تعمل بالطاقة الشمسية. ولاستخلاص كميات كبيرة من الملوثات يجب ان تكون النباتات المختارة لذلك ذات مجموع خضري كبير وقادره على

استخلاص كميات كبيرة من الملوثات ونقلها من الجذور الى المجموع الخضري الذي يتم حصاده والتخلص منه بطريقة مناسبة. وعلى ذلك تصبح العمليات الاساسية في استخلاص النباتات للملوثات هي امتصاص الجذور وانتقال الملوثات وتجمعها في المجموع الخضري. ويمكن زيادة قدرة النباتات على استخلاص الملوثات من التربة عن طريق تغيير الصفات الكيميائية للتربة وزيادة نشاط الميكروبات التي تعمل على زيادة حركة الملوثات وبالتالي زيادة امتصاصها بواسطة الجذور.

كما درست عمليات الامتصاص للملوثات غير العضوية وبشكل مكثف، فالعناصر الغذائية مثل Zn, Co, Mo, Mn, Cu, Fe تتواجد في انسجة النباتات وبتراكيز قليلة ومع ذلك يوجد عدد كبير من النباتات تعرف بالنباتات المراكمة Hyperaccumulators لها القدرة على تراكم العناصر مثل Mn, Cu, Zn, Ni بتراكيز عالية (0.1 – 5 %) من الوزن الجاف في انسجتها دون ان يؤثر ذلك على نموها. ولقد تم اختبار قدرة العديد من النباتات على ازالة الملوثات غير العضوية من التربة بتجارب حقلية وقد اثبتت نجاحها في معالجة الاراضي الملوثة. حيث ان اغلب النباتات المستخدمة هي نباتات برية عشبية ذات مجموع خضري قليل.

التحلل Phytodegradation

وهي عمليات التحلل داخل النبات او تحلل المواد العضوية بواسطة النباتات بمساعدة الميكروبات في منطقة الجذور Rhizosphere. ويعتبر استخدام النباتات لتحلل الملوثات العضوية هو البديل لاستخدام المعالجة الميكروبيولوجية في إزالة الملوثات العضوية من التربة مثال لذلك النباتات (صفصاف مهجن ، فاصوليا، فول صويا، قمح ، ذرة ، برسيم حجازي، سبانخ) ويحدث التحلل كلاتي:-

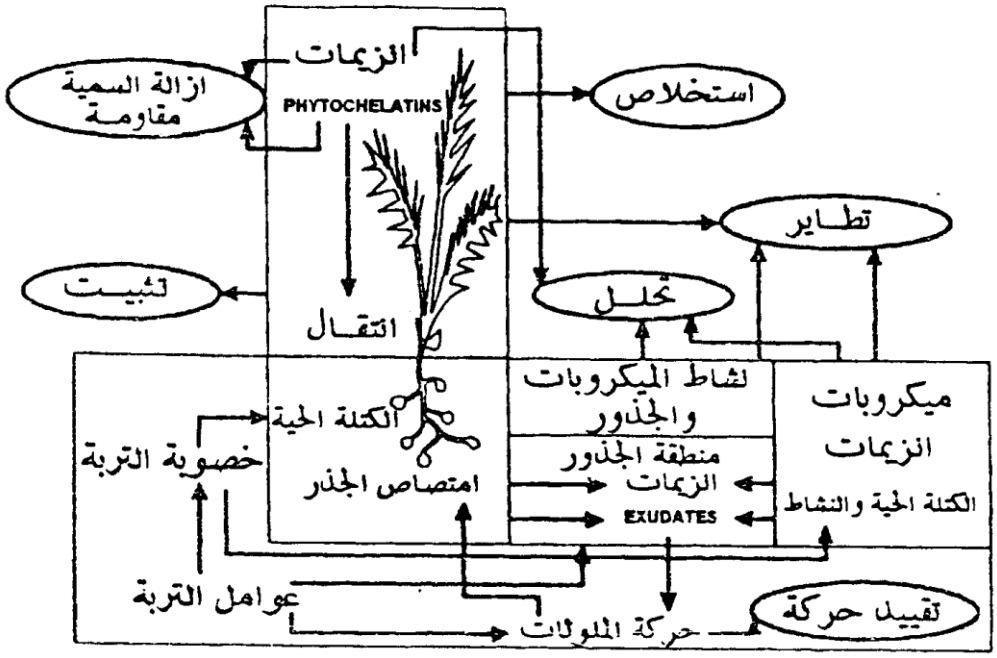
ينشط تحلل الملوثات العضوية في التربة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في منطقة الجذور Rhizosphere ، ثم تتحلل الملوثات العضوية في التربة بواسطة الانزيمات المفرزة من قبل النباتات وإمتصاص الملوثات بواسطة النباتات ويتبع ذلك تحولات كيميائية تعمل على ابطال السمية للملوثات العضوية الأصلية وتحويلها الى مركبات معدنية في خلايا النبات .

التطاير Phtovolatilization

وتتم عن طريق انزيمات متخصصة يمكنها تحوير وتحلل وفي النهاية تطاير الملوثات في نظام التربة والنبات والميكروبات. وذلك من خلال إزالة ملوثات التربة العضوية وغير العضوية والتي تكون مركبات متطايرة بواسطة النباتات، والعمليات الرئيسية التي تتعلق بتطاير الملوثات بواسطة النباتات تشمل:-

قيام النباتات بمساعدة الميكروبات على تحويل الملوثات العضوية الى مركبات متطايرة من خلال تخليق مركبات الميثيل وثنائي الميثيل المتطايرة لبعض المعادن والهاليدات ويعتبر وجود ونشاط بعض الانزيمات المتخصصة لتحلل هذه المركبات ضروري لإتمام التفاعلات الحيوية.

وعن طريق هذه العمليات الثلاث السابقه (الاستخلاص والتحلل والتطاير بواسطة النباتات) يمكن التخلص من ملوثات التربة وتتوقف درجة ازالة الملوثات من التربة على نوع الملوثات والخواص الجيوكيميائية للتربة. ونتيجة لان البكتريا والفطريات في التربة مع الجذور تلعب دورا هاما في هذه العمليات فأننا سوف نشير الى المعالجة النباتية بانها (نظام المعالجة النباتية والميكروبية).



رسم تخطيطي مبسط يوضح العمليات التي تجري عند استخدام النباتات لمعالجة الاراضي الملوثة

لتطوير وزيادة كفاءة النباتات في معالجة الأراضي الملوثة يجب إتباع الخطوات التالية:-

- التعرف على الهدف (التربة ،المناخ، ونوع الملوثات).
- إنتقاء النباتات التي يمكنها إزالة الملوثات .
- دراسة العمليات الاساسية والميكانيكيات المختلفة في تكنولوجيا معالجة النباتات للأراضي الملوثة .

- استخدام الهندسة الوراثية لتحسين صفات المعالجة في النباتات.
- اختيار التكنولوجيا المطورة.
- تقويم التكاليف الاقتصادية والبئيه لهذه التكنولوجيا ومقارنتها بالاختبارات الاخرى.

كما يجب التركيز على ثلاثة محاور لتطوير تكنولوجيا المعالجة النباتية للأراضي الملوثة وهي:-

1- تحسين الصفات الجينية ذات العلاقة في النباتات المستخدمة في المعالجة النباتية مثل الشكل الخارجي للجذر وافرازات الجذور وانزيمات ازالة السمية وغيرها.

2- تحسين ظروف بيئة التربة من الناحية الفيزيائية والتغذية لتصبح بيئة مثالية لنمو النباتات المستخدمة في المعالجة. ايضا إضافة بعض المواد المحسنة للتربة لزيادة صلاحية العناصر الغذائية للامتصاص بواسطة النباتات.

3- ادارة العمليات الزراعية مثل ادارة المحصول والسيطرة على الحشائش والامراض وتكنولوجيا الحصاد.