

# المعالجة النباتية : Phytoremediation

إبراهيم عمر سعيد الحمداني\*  
\*قسم علوم الحياة – كلية العلوم – جامعة تكريت

إن المعالجة النباتية تعتبر من التقانات الحديثة لتنظيف أنظمة الماء والتربة الملوثة وتسمى أيضا بالتقنية الخضراء Green technology التي يمكن ان تعالج المواقع الملوثة بدون ازعاج او ارباك للمناظر الطبيعية الى حد كبير (إن استخدام النباتات لغرض تنظيف التربة والمياه من الملوثات سواء كانت عناصر أو مواد عضوية بدأت بشكل علمي بين عام (1930-1940) عندما كشفت الأبحاث التي أجريت بان هنالك أنواعا من النباتات لها القابلية على ان تتحمل مستويات عالية من العناصر الثقيلة دون أن تتأثر بسميتها (Griffin, 2005) إن فعالية وقوة المعالجة النباتية تعتمد بشكل كبير على صفات النبات وعلى سبيل المثال النمو والبقاء والكتلة الحية الكبيرة وسهولة الحصاد ومدى تحمل وتراكم للعناصر الثقيلة في أجزاء النبات وان فكرة استخدام النباتات للاغراض المعالجة النباتية قد ظهرت لأول مرة في عام (1983) ولكن المفهوم ظهر في الواقع منذ (300) سنة اذ استخدمت بعض الأنواع النباتية لغرض معالجة المياه الملوثة (Henry, 2000) وان استخدام النباتات بصورة عملية لغرض إزالة المعادن من النظم البيئية المختلفة لابد أن تكون هناك قدرة للنباتات على تحمل وتراكم المعادن في أنسجتها. ان معالجة التلوث باستخدام النباتات تتضمن العديد من الطرق والتقنيات وأهمها ما يأتي:

# Phytotransformation (التحولات النباتية) (النقل

بواسطة النبات):-

إذ تقوم النباتات بامتصاص الملوثات العضوية والمعدنية من التربة أو المياه الثقيلة وتحويلها، هذه العملية تعتمد على الامتصاص المباشر للمواد الملوثة وإدخالها في عمليات أيضية داخل النبات، وذلك من خلال تحويل المواد السامة إلى مواد غير سامة أو مواد أقل سمية.

تستخدم هذه الطريقة في المناطق الملوثة بالبتروكيماويات، أو المناطق التي تم تخزين الملوثات فيها مثل نفايات الذخائر الحربية والوقود المتناثر وChlorinated solvents، والمواد الكيميائية الزراعية مثل الأسمدة (Schnoor, 1997) وتستخدم أيضا في حالة المواد العضوية الكيميائية، فبعد دخول هذه الملوثات إلى داخل النبات يعمل على تخزينها وتجزئتها في الأنسجة النباتية الجديدة بواسطة اللكنة ((**Lignification**)، حيث تحصل روابط تساهمية للمواد أو أجزاءها داخل اللكنين في النبات، أو يمكن أن يحدث لها أيض أو تحول إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وبعض المركبات، مثل مركبات كاربونية اليقاتية مثل (Trichloroethylene) TCE) إذ يتحول إلى  $CO_2$  أو مركبات أقل سمية مثل:)

Trichloroethanol , Trichloroacetic acid , Dichloroacetic acid)

(Newman et al., 1997).

# PHYTOTRANSFORMATION

- ❑ chemical modification of environmental substances as a result of plant metabolism resulting in their inactivation, degradation (phytodegradation) or immobilization (phytostabilization).



# Rhizosphere Bioremediation

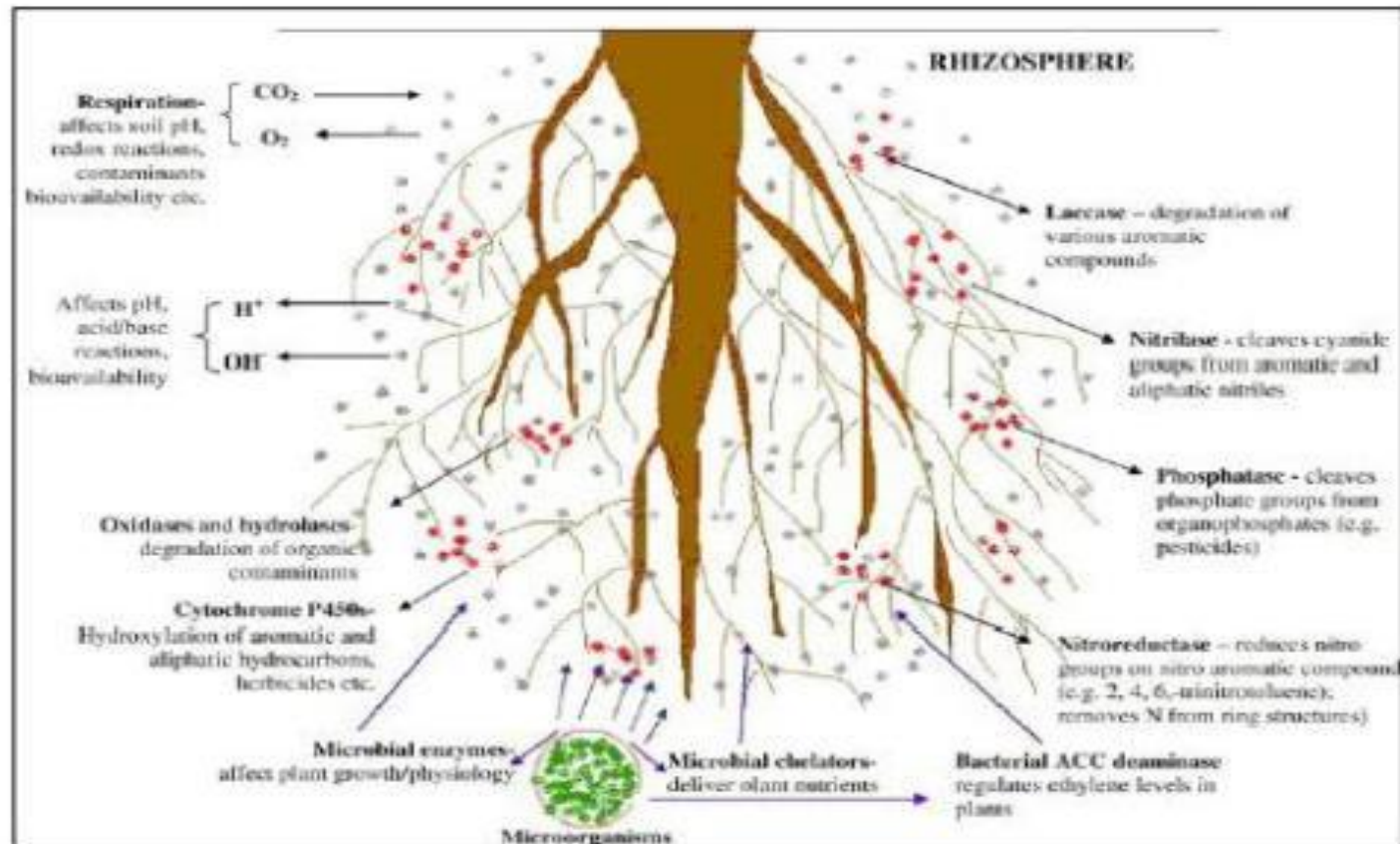
## (المعالجة الحيوية لمنطقة الشعيرات الجذرية)

وتسمى أيضا بـ Rhizodegradation وتشير إلى معالجة التلوث في منطقة الشعيرات الجذرية بواسطة النباتات، إذ تعمل هذه النباتات على زيادة الكربونات العضوية والبكتريا والفطريات في التربة، وهذه العوامل تساعد على تحول المركبات العضوية في التربة. لذا يمكن أن تعرف هذه الطريقة أيضا بـ **Phytostimulation (المحفزات النباتية)** (Schnoor, 1997)، وذلك لان النباتات تقوم بإفراز بعض المواد الى محيطها في التربة والتي بدورها تساعد على تحول المواد الكيميائية العضوية من خلال تحفيز النظام الأنزيمي للبكتريا الموجودة، ومن جهة أخرى قد يحفز نمو أنواع أخرى من الأحياء المجهرية، لقد أوضحت الدراسات بان المواد المفرزة قد تتضمن أحماضا عضوية ذات سلاسل قصيرة و فينولات و مركبات ذات أوزان جزئية مختلفة مثل الأنزيمات والبروتينات (Jordahl *et al.*, 1997) أما بالنسبة للأنزيمات فبعض الأبحاث بينت بان هنالك مجموعة من الأنزيمات المتواجدة في التربة وهي من أصل نباتي لها أهمية كبيرة في عملية التحول، وهذه الأنزيمات هي Dehalognase وهي ضرورية جدا في تفاعلات الـ Dechlorination للـ Chlorinated hydrocarbons وإنزيم Nitroreductase الضرورية في أول خطوة للتحويل للـ (Nitroaromatics)، أما أنزيم Lactase فيساعد على إيقاف التركيب الحلقي للمركبات الاروماتية للملوثات العضوية وأنزيم Peroxidase المهم في تفاعلات الأكسدة والاختزال (Schnoor, 1997; Zynda, 2001).



# Rhizosphere Bioremediation

## (المعالجة الحيوية لمنطقة الشعيرات الجذرية)



**Figure 6.** Enzymatic and microbial activities responsible for the enhanced remediation in rhizospheric zone (From Abhilash *et al.*, 2009).

# Phytostabilization

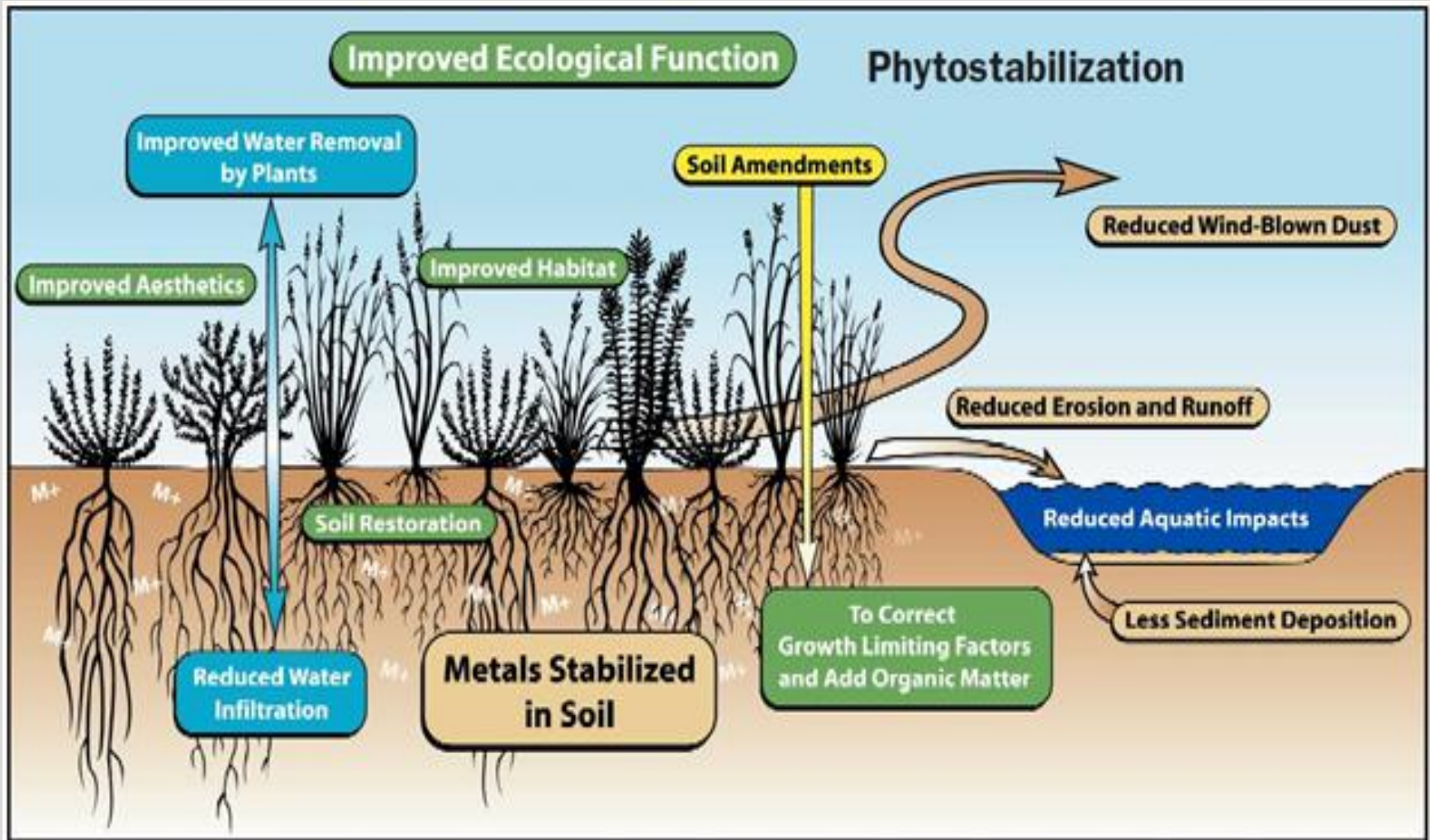
## الاستقرار والتثبيت النباتي

تعمل النباتات على إعاقة الملوثات الموجودة في التربة في مكانها، عن طريق النمو الحاصل لهذه النباتات في التربة، إذ أن نمو النبات وثبات الجذور يعمل على تثبيت الملوثات في التربة، الأمر الذي يمنع انتقال الملوثات ويقلل من تأثيرها، كما يمنع انتقال هذه الملوثات عن طريق الرياح التي تحملها على شكل غبار، والذي يعد من أهم الطرق التي يتعرض فيها الإنسان للمخاطر في المناطق الملوثة، وفي بعض الأحيان قد يحدث سيطرة هيدروليكية على عملية المعالجة، وذلك من خلال ضخ كميات كبيرة من الماء خلال النبات الذي يعمل كمرشحات تمنع عودة هذه الملوثات باتجاه المياه الثقيلة أو باتجاه مصادر التلوث.

تعد هذه الطريقة من أفضل الطرق بالنسبة للمناطق الملوثة بالعناصر، لأنها لا يمكن لها أن تتحلل بشكل نهائي أو تتحول بشكل نهائي، في هذا النوع من المعالجة نحتاج الى نمو نباتات نشطة لمواجهة الجهد المبذول خلال السيطرة الهيدروليكية وحجز الملوثات في المناطق الملوثة، كما يمكن أن تستخدم في إعاقة العناصر المشعة ولكن بمستويات قليلة وبهذا تقلل من مخاطر هذه العناصر ولكن ليس لفترة طويلة (Schnoor, 1997; Zynda, 2001).

# Phytostabilization

الاستقرار والتثبيت النباتي





# Phytoextraction

## الاستخلاص النباتي

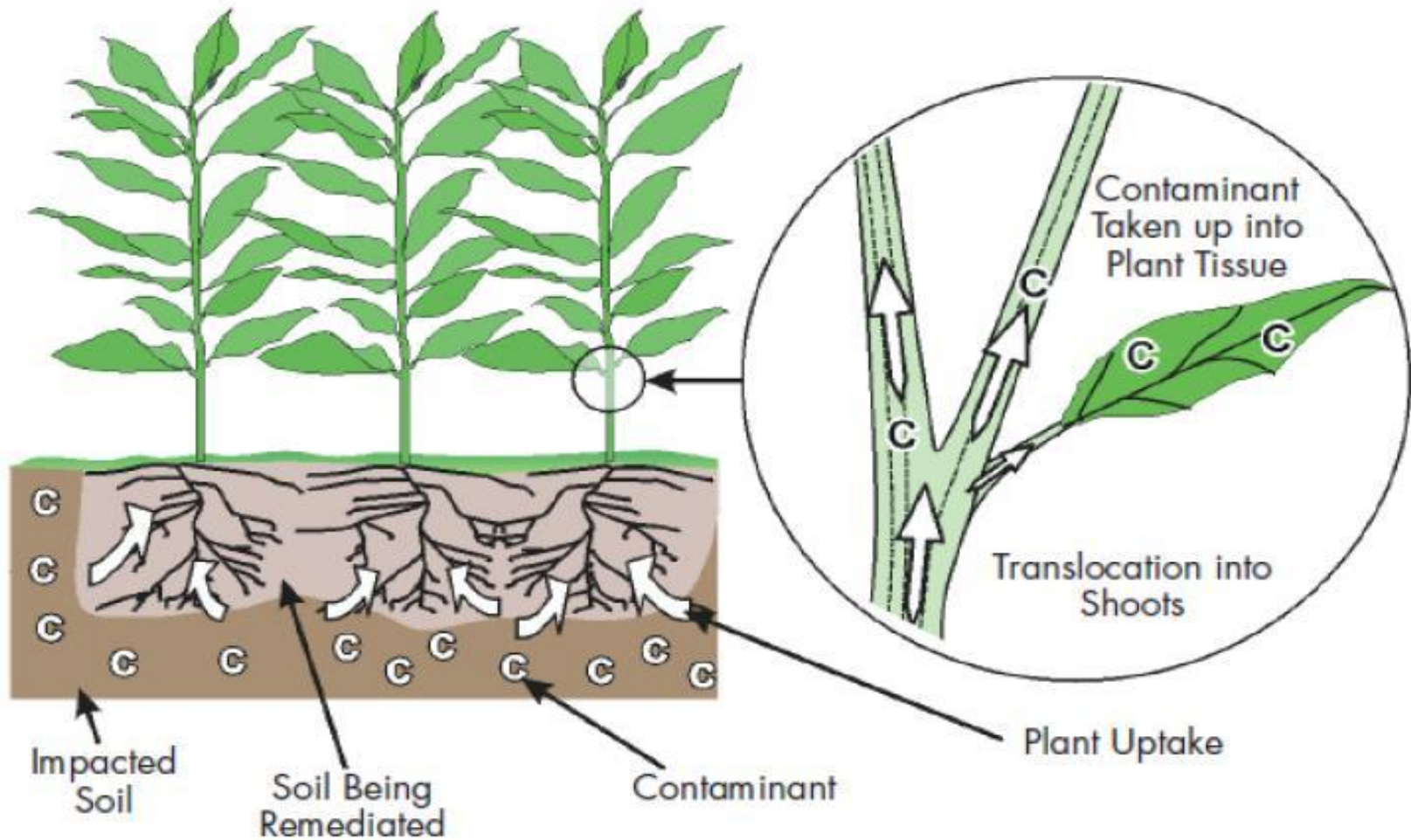
وتسمى أيضا التجميع النباتي Phytoaccumulation تستخدم في هذه الطريقة نباتات لها القابلية على تجميع العناصر داخل أنسجتها، إذ تعمل على نقل العناصر الثقيلة من التربة وتجميعها في الجذور والأجزاء الخضرية، كما يمكن ان تستخدم لغرض استخراج العناصر المشعة، وتعد طريقة اقتصادية إذا ما قورنت مع مشاريع حفر التربة ومعالجتها، أو عمليات النقل والتخلص من الملوثات، ويمكن استخدام العناصر التي تم امتصاصها وتجميعها داخل أنسجة النبات من خلال استخلاصها والاستفادة منها اقتصاديا .

إن الفكرة في هذه الطريقة تعتمد على عامل التجميع (نسبة العناصر في أنسجة النبات مقارنة بالموجود في التربة) وإنتاجية النبات (كيلوغرام مادة جافة في كل موسم)، وبشكل عام نلاحظ بان النباتات تستطيع ان تجمع وبشكل سريع الكاديوم والنيكل والزنك والقصدير والسيلينيوم والنحاس، وبشكل اقل الكوبلت والمغنيسيوم والحديد في حين ان الرصاص والكروم واليورانيوم لا يتم جمعها بشكل جيد، ولكن إضافة بعض المواد قد تسرع من عملية الامتصاص والتجميع داخل النبات، مثلا إضافة الـ **EDTA** يؤدي الى زيادة امتصاص الرصاص (Schnoor,1997 (Lambert et al., 2000;).

# Phytoextraction

الاستخلاص النباتي

## PHYTOEXTRACTION



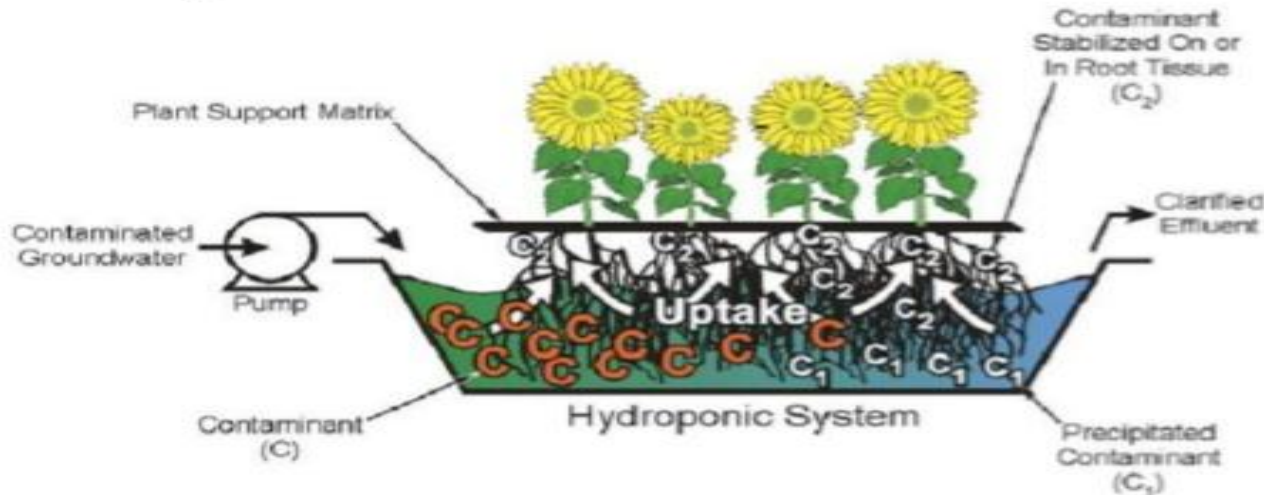
# *Rhizofiltration*

## *الترشيح الجذري*

تشير الى استخدام جذور النباتات لغرض امتزاز وتركيز وترسيب الملوثات المعدنية من أسطح التربة والمياه الثقيلة، حيث يلاحظ بان الجذور تمتز كميات كبيرة من الرصاص والكروم من ماء التربة ومن الماء، وقد تم استخدام نباتات عديدة في هذا النوع من المعالجة منها زهرة الشمس، . تستخدم هذه الطريقة عادة لمعالجة التلوث بالعناصر الثقيلة (Schnoor, 1997).

## **Example of Rhizofiltration**

- In 1995, Sunflowers were used in pond near Chernobyl.



# Phytovolatilization

## التطهير النباتي

تشير إلى استخدام النباتات لغرض تحويل الملوثات إلى أبخرة غير سامة بطرق كيميائية داخل النبات، إذ أن النباتات التي تستخدم تعمل على أخذ الملوثات عن طريق الماء، فبعد دخولها إلى النبات تتحول من شكل إلى آخر، وحال وصولها إلى الأوراق النباتية تتطاير إلى الجو بتركيزات قليلة نسبياً. (Chaney et al., 1997; Zynda, 2001)

## Phyto-volatilization

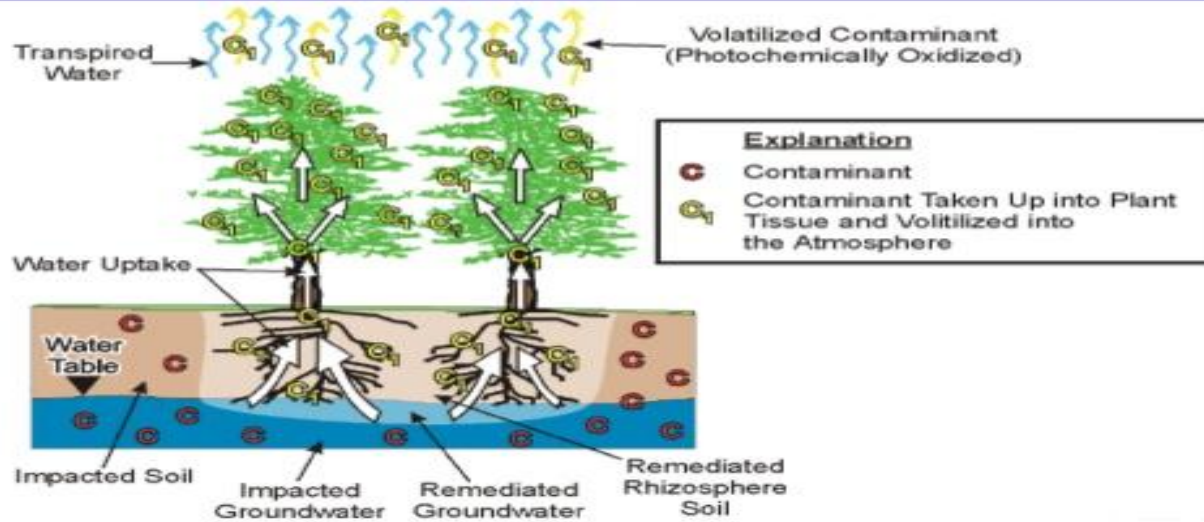
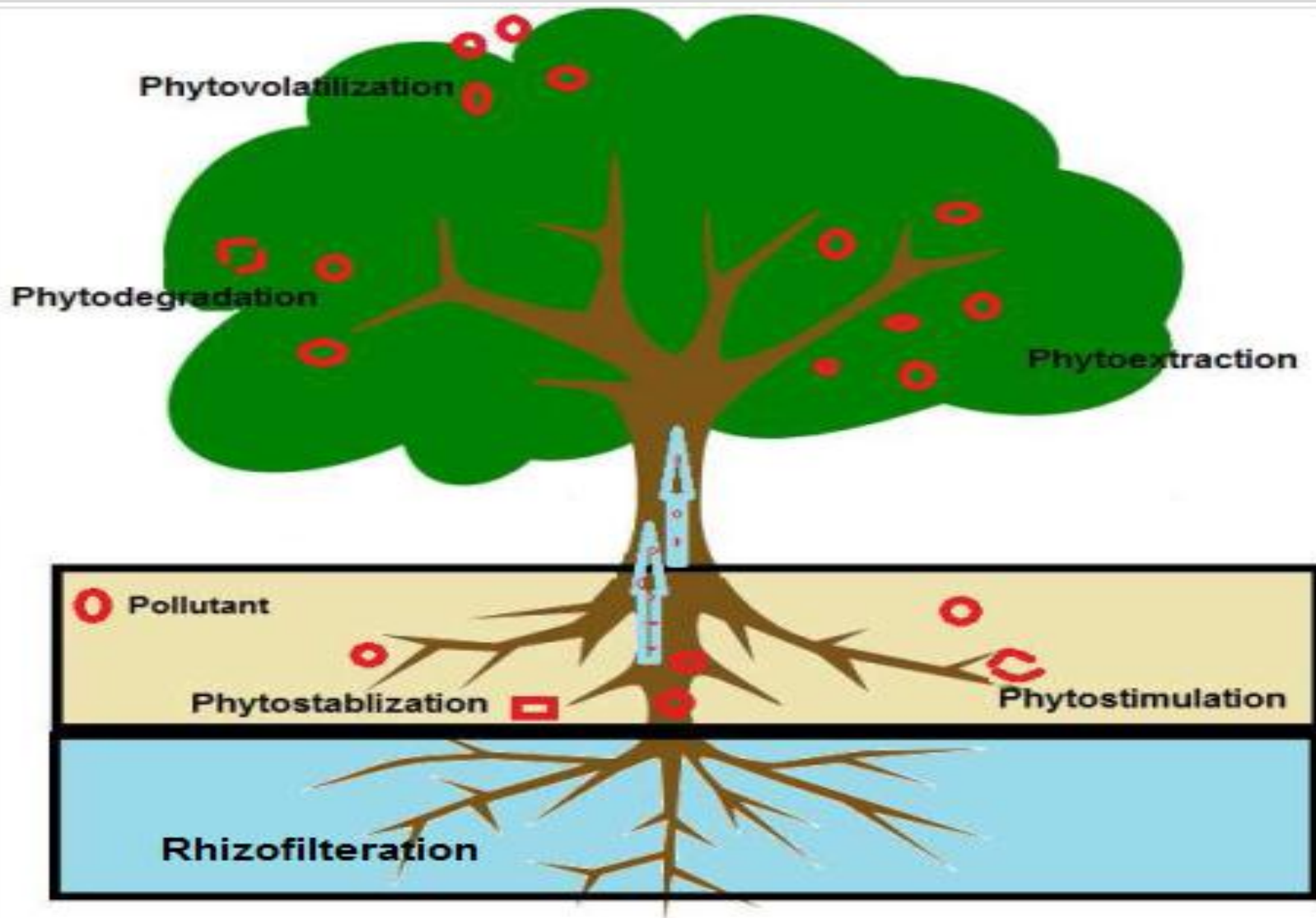


Figure 5: Phyto-volatilization of organic compounds [4]



# Type of phytoremediation



# جدول (1) النباتات المفضلة استخدامها في التقنيات المختلفة للمعالجة النباتية (Hannigan, 2002)

النباتات المستخدمة	الملوثات	الوسط	غاية التقنية	التقنية/الميكانيكية
الخردل الهندي، النخاع، زهرة الشمس، شجرة الحور poplars، الالوسن alyssum	Ag , Cd , Co, Cr, Cu , Hg , Mn , Mo, Ni , Pb , Zn , Cs <sup>137</sup> , Pu <sup>230</sup> , U <sup>235/234</sup>	التربة- الترسبات - مياه الفضلات	استخلاص وتقييد الملوثات	Phytoextractioin الاستخلاص النباتي
الخردل الهندي، زهرة الشمس، زنايق الماء	العناصر ، العناصر المشعة	المياه الثقيلة - المياه السطحية	استخلاص وتقييد الملوثات	Rizofiltration الترشيح الجذري
الخردل الهندي، شجرة الحور poplars، الأعشاب	As, Cd, Cr, Cu , Hs , Pb , Zn	التربة- الترسبات - مياه الفضلات	هدم وتقييد الملوثات	Phytostabilization التثبيت النباتي
الثوت الأحمر، الأعشاب، شجرة الحور، عشبه البرك (cattail)	مركبات عضوية، (TPH , PAHS , Chlorinated solvents , PCBS)	التربة- الترسبات - مياه الفضلات - المياه الثقيلة	هدم وتقييد الملوثات	Rhizodegradation المعالجة الحيوية لمنطقة الجذور
طحالب، شجرة الحور، الصفصاف، السرو، Stonewort	مركبات عضوية، Chlorinated solvents, فينولات	التربة- الترسبات - مياه الفضلات - المياه الثقيلة- المياه السطحية	هدم وتقييد الملوثات	Phytodegradation التحولات النباتية
شجرة الحور، الجت، الخروب، الخردل الهندي	Chlorinated solvents, some Inorganics (Se, Hg and As)	مياه ثقيلة-التربة- الترسبات - مياه الفضلات	استخلاص الملوثات من الوسط وتحريرها الى الجو	Phytovolatilization التطاير النباتي

## أ- الايجابيات

المعادن التي يمكن الحصول عليها يمكن إعادة الاستفادة منها.  
يمكن ان تستخدم لمعالجة التلوث بالمواد المشعة (Sogorka,1997) .  
يمكن ان تستخدم لمعالجة التلوث بالمواد العضوية .  
أدواتها بسيطة .

ذات تكلفة قليلة مقارنة بالطرق الأخرى.

تعد من الطرق المناسبة والنظيفة بالنسبة للبيئة وتلقت استحسان الناس ( Zynda, 2001 ).  
ب - السلبيات:

- 1-نسجه و حامضية وملوحة التربة وتركيز الملوثات في التربة عوامل تؤثر على نجاح عملية المعالجة النباتية (Sogorka, 1997).
- 2-تحتاج لعدة سنوات لتقوم بعملية المعالجة.
- 3- تعتمد على الظروف المناخية.
- 4-تعالج المناطق القريبة من الجذور والمعالجة تكون محدودة.
- 5-استخدام النباتات المستخدمة للمعالجة لأغراض الاستهلاك غير مستساغ من قبل الناس ( Zynda, 2001).

لذلك عند المعالجة بالنباتات يجب ان يؤخذ بعين الاعتبار ما يأتي :

- 1- هل من الممكن ان تستخدم لمعالجة المناطق البعيدة عن الجذور .
- 2- هل من الممكن ان تستخدم لمعالجة المواد السامة الطبيعية والمصنعة.
- 3- هل الطريقة مقبولة من قبل الناس والمجتمع (Zynda,2001).
- 4-مدى الخبرة العملية والفترة الزمنية والكلفة المتوقعة لهذه الطريقة.
- 5-طرق تصريف المتدفقات لهذه الطريقة (Hervey et al ., 2002).

## تجار عن المعالجة النباتية لبعض النباتات

جدول (1) التجميع الحيوي للعناصر (As, Pb, Cd, Zn) المضافة إلى التربة على المجموع الخضري لنبات السعد مايكروغرام / غم وزن جاف بعد مرور (60) يوما من المعاملة

العنصر	المعاملات ppm	تراكيز العنصر في المجموع الخضري
As	Control	74.14e
	10	82.23d
	20	95.40c
	30	118.63b
	50	127.40a
Cd	Control	4.13e
	10	9.25d
	20	13.13c
	30	25.75b
	50	33.75a
Pb	Control	21.03e
	10	39.63d
	20	52.25c
	30	83.25b
	50	93.43a
Zn	Control	63.25d
	10	77.85c
	20	85.08bc
	30	92.98ab
	50	99.69a



**جدول (2) التجميع الحيوي للعناصر (As, Pb, Cd, Zn) المضافة إلى التربة على المجموع الجذري  
لنبات السعد مايكروغرام / غم وزن جاف بعد مرور (60) يوما من المعاملة**

العنصر	المعاملات ppm	تراكيز العنصر في المجموع الجذر
As	Control	102.81e
	10	114.25d
	20	122.20c
	30	130.25b
	50	149.63a
Cd	Control	8.50e
	10	13.25d
	20	16.88c
	30	33.88b
	50	45.50a
Pb	Control	39.00e
	10	45.41d
	20	65.63c
	30	90.25b
	50	113.55a
Zn	Control	77.50e
	10	96.18cd
	20	98.70c
	30	107.70b
	50	123.00a

# جدول (3) تراكم الحيوي للعناصر الثقيلة في انسجة نباتات (القصب والحلفا والحليان) النامية في منطقة عين صوباشي في قضاء تلعفر لسنة 2013

Mg / g					
Plant species	Roots	Shoots	Leave	Flowers	Total
Cadmium (Cd)					
Phragmites australis L	19.3	9.0	16.5	8.3	53.1
Imperata cylindrica	17.7	8.8	14.2	8.1	48.8
Sorghum halepense L.	16.6	9.3	11.7	7.5	45.1
Leade(Pb)					
Phragmites australis L	76.7	47.8	58.7	67.7	250.9
Imperata cylindrica	69.0	39.4	37.5	56.6	202.5
Sorghum halepense L.	56.3	40.0	35.3	42.3	173.9
Cooper (Cu)					
Phragmites australis L	87.7	54.4	58.7	69.9	270.7
Imperata cylindrica	72.0	52.3	67.7	61.0	253.0
Sorghum halepense L.	66.5	50.5	59.0	56.5	232.5
Zinc (Zn)					
Phragmites australis L	348.6	192.7	220.0	144.0	905.3
Imperata cylindrica	217.5	150.0	172.0	126.0	665.5
Sorghum halepense L.	197.3	98.0	101.0	89.6	485.9