محطات المعالجة بالنباتات

Constructed Wetlands

Plan, Design & Construction Guide

إعداد

الدكتور المهندس

عبد الرزاق محمد سعيد التركماني

دكتوراه في هندسة البيئة

مدير موقع الهندسة البيئية (www.4enveng.com)

عضو لجنة خبراء المياه السوريين IPN

حمص – سورية

2009

للإتصال:
إيميل : admin@4enveng.com
صندوق البريد : P.O.Box 3673 - Homs - Syria
موبايل : +963 - (0) 955250275

بسم الله الرحمن الرحيم

المحتويات

أولا": مدخل إلى محطات المعالجة بالنباتات
ثانيا": الصرف المائي عبر الترب أو الميديا (الحصويات، الرمال)
ثالثا": النباتات المائية المستخدمة ضمن محطات المعالجة بالنباتات
رابعا": أساسيات و مبادئ إزالة الملوثات بمحطات المعالجة بالنباتات
خامسا": أحواض النباتات ذات الجريان الحر
سادسا": أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الأفقي
سابعا": أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي
ثامنا": أحواض النباتات المختلطة

المراجع العلمية

أولا" - مدخل إلى محطات المعالجة بالنباتات:

تعريف الأراضي الرطبة المصطنعة / Constructed Wetlands / :

يطلق على محطات المعالجة بالنباتات و التي تمر فيها المياه الملوثة المعالجة أوليا" عبر أحواض مملوءة بالميديا (رمل ، حصى) و المزروعة بالنباتات (القصب مثلا") بالأراضي الرطبة المصطنعة.

و هي تعرف على أنها مناطق مشبعة بالمياه يتم تصميمها هندسيا (غير طبيعية) بحيث تكون قادرة على إزالة الملوثات من مياه المجاري الخام و بالتالي تحسين مواصفات المياه المعالجة النهائية قبل تصريفها أو إعادة استخدامها.

كما أنها تصنف كمرحلة معالجة ثانوية أو ثالثية حسب الاستخدام للأحواض المختلفة (ذات جريان تحت سطحي و سطحي) على اعتبار أن المياه الملوثة الداخلة إليها تكون قد عولجت بشكل أولي.

إن استخدام الأراضي الرطبة الطبيعية لتنقية المياه يعود آلاف السنين إلى الوراء فقد استخدمها الصينيون و المصريون. و أما استخدام الأراضي الرطبة الاصطناعية "أحواض المعالجة بالنباتات" لمعالجة المياه الملوثة فيعود إلى ١٩٠٥ في استراليا و لكنها بقيت قليلة الاستخدام حتى اعتمد عليها الأوربيون منذ عام ١٩٥٠ عبر الألمان و استخدمها الأمريكيون منذ عام ١٩٧٠.

حسنات محطات المعالجة بالنباتات:

أ- عدم الحاجة إلى نقلها بعيدا عن مساكن المواطنين
ب- كلفة البناء المنخفضة و سهولة الإنشاء و التشغيل و الصيانة .
ج- كلف التشغيل و الصيانة المنخفضة بسبب اعتمادها على المعالجة البيولوجية الطبيعية .
د- الإزالة الفعالة للملوثات و العوامل الممرضة و بيوض الديدان .
ه- قدرتها الكبيرة على تحمل تذبذبات التدفقات بالإضافة إلى ثباتيتها العالية و الموثوقية في الأداء.
و- الحمأة الناتجة هي الحمأة الأولية فقط.
ز- إعادة استخدام المياه المعالجة في ري المحاصيل كما يعاد استخدام النباتات في موسم الحصاد بعد قطعها كعلف للحيوانات.

عيوب محطات المعالجة بالنباتات:

أ- المساحة اللازمة للمحطة تكون كبيرة مقارنة مع محطات المعالجة التقليدية.
ب- تتطلب مواد ملء (حصى ، رمل ، حجارة) بكميات كبيرة نسبيا".
ج- إن تحلل المواد الصلبة الخام و الكتلة الحيوية يمكن أن تؤدي إلى انسداد بعض أجزاء وسط الفلتر (الميديا).
د- عدم معالجة الحمأة الأولية الناتجة بشكل مناسب يؤدي لانتشار الروائح .
ه- استبدال وسط الفلترة يكون مكلفا" بحال تطلب الأمر ذلك بسبب سوء التشغيل أو التصميم لهذه المحطات.

تصنيف محطات المعالجة بالنباتات (الأراضي الرطبة)

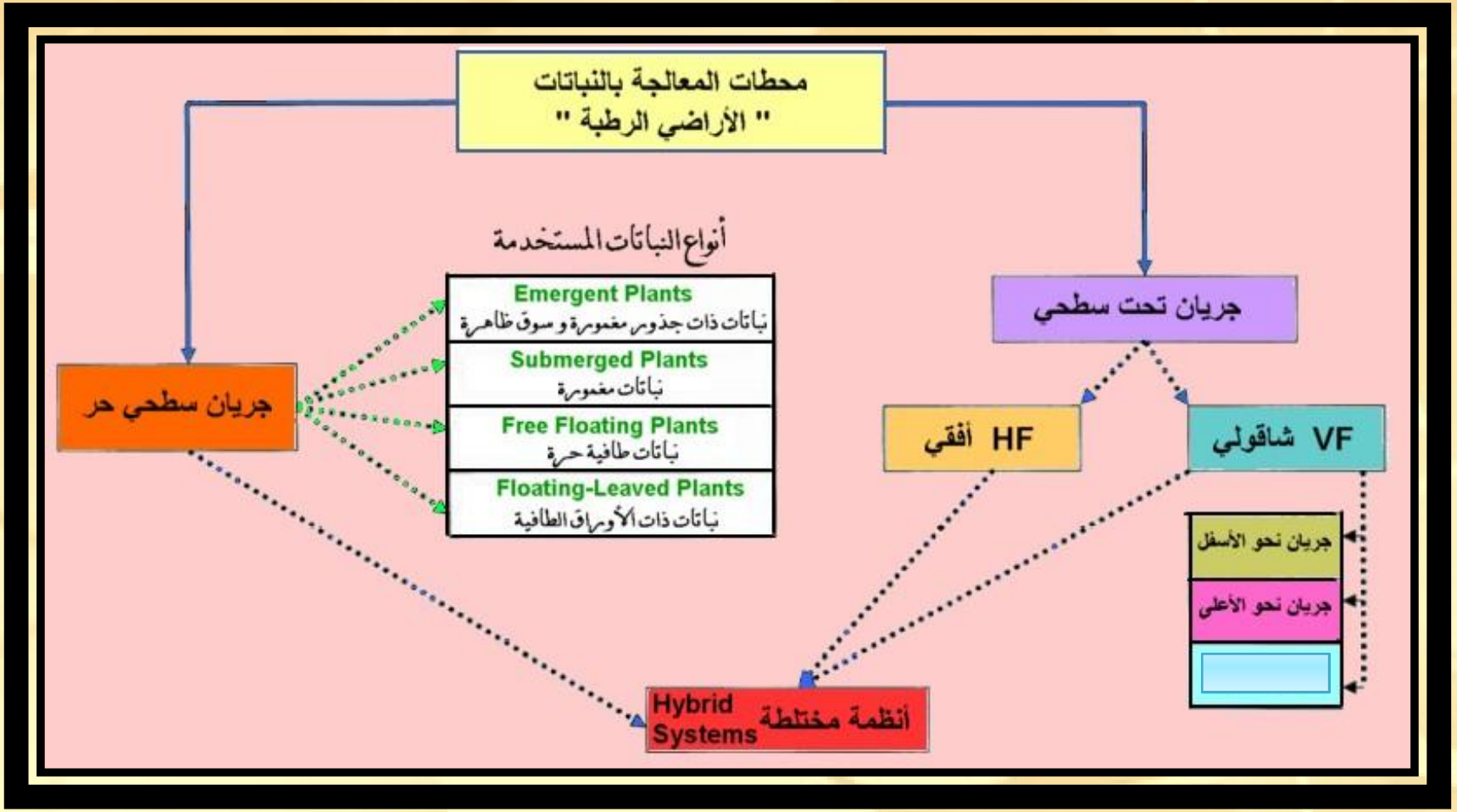
أ- تصنيف الأراضي الرطبة تبعا" للنباتات المستخدمة :

- محطة المعالجة ذات **النباتات الطافية** (Floating plants)
- محطة المعالجة ذات **النباتات المغمورة** (Submerged plants)
- محطة المعالجة **بالنباتات ذات الجذور المغمورة و السوق الظاهرة** (Rooted emergent plants)

ب - تصنيف الأراضي الرطبة تبعا" لاتجاه تدفق المياه عبر الميديا:

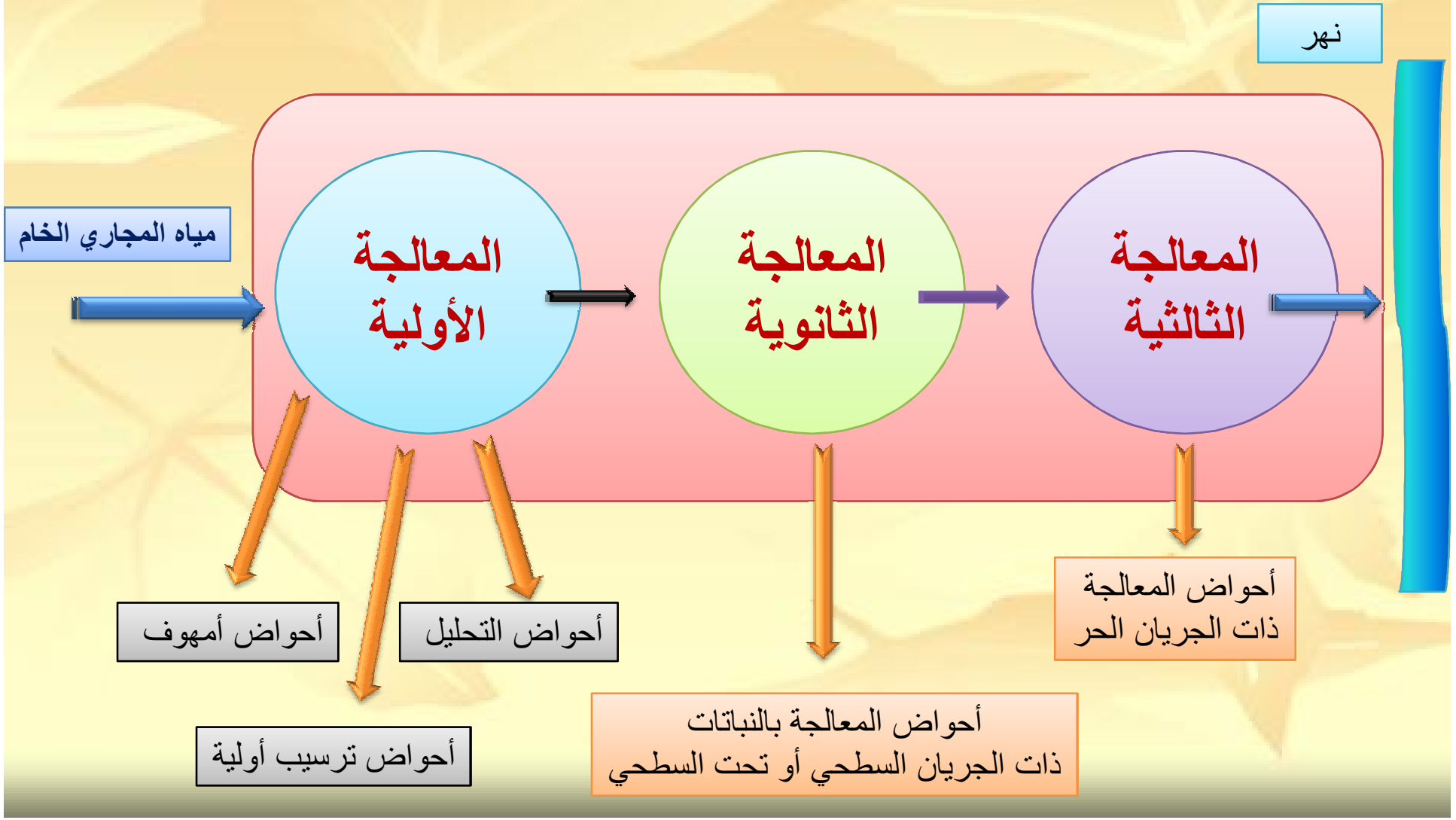
- محطة المعالجة ذات الجريان **السطحي الحر** Free water surfaceو يرمز لها (FWS).
- محطة المعالجة ذات الجريان **التحت سطحي الأفقي** Subsurface horizontal flow و يرمز لها (SHF or HF).
- محطة المعالجة ذات الجريان **التحت سطحي الشاقولي** Subsurface vertical flowو عادة ما يرمز لها (SVF or VF).
- محطة المعالجة ذات **الجريانات المتنوعة** (أفقي + شاقولي ..الخ) Hybrid system

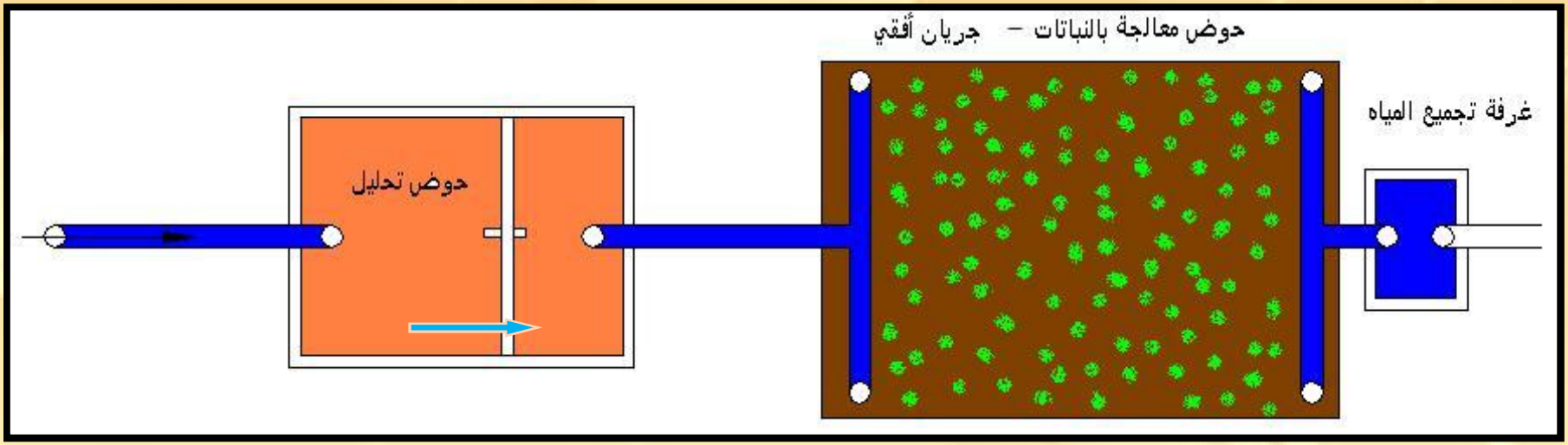
الصورة يبين إحدى محطات المعالجة بالنباتات الطافية بالولايات المتحدة الأمريكية

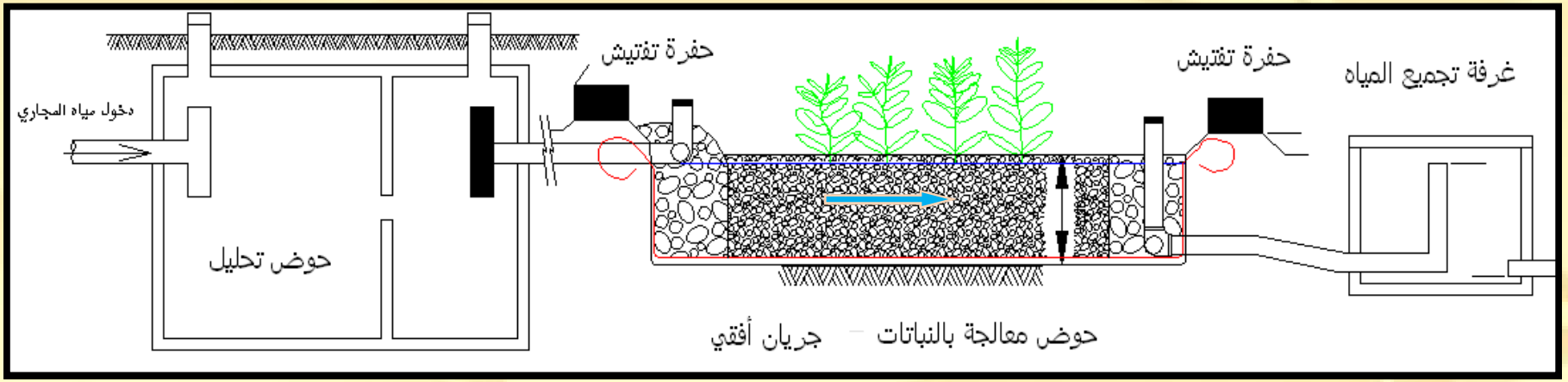


الشكل يبين أنواع محطات المعالجة بالنباتات حسب الجريان

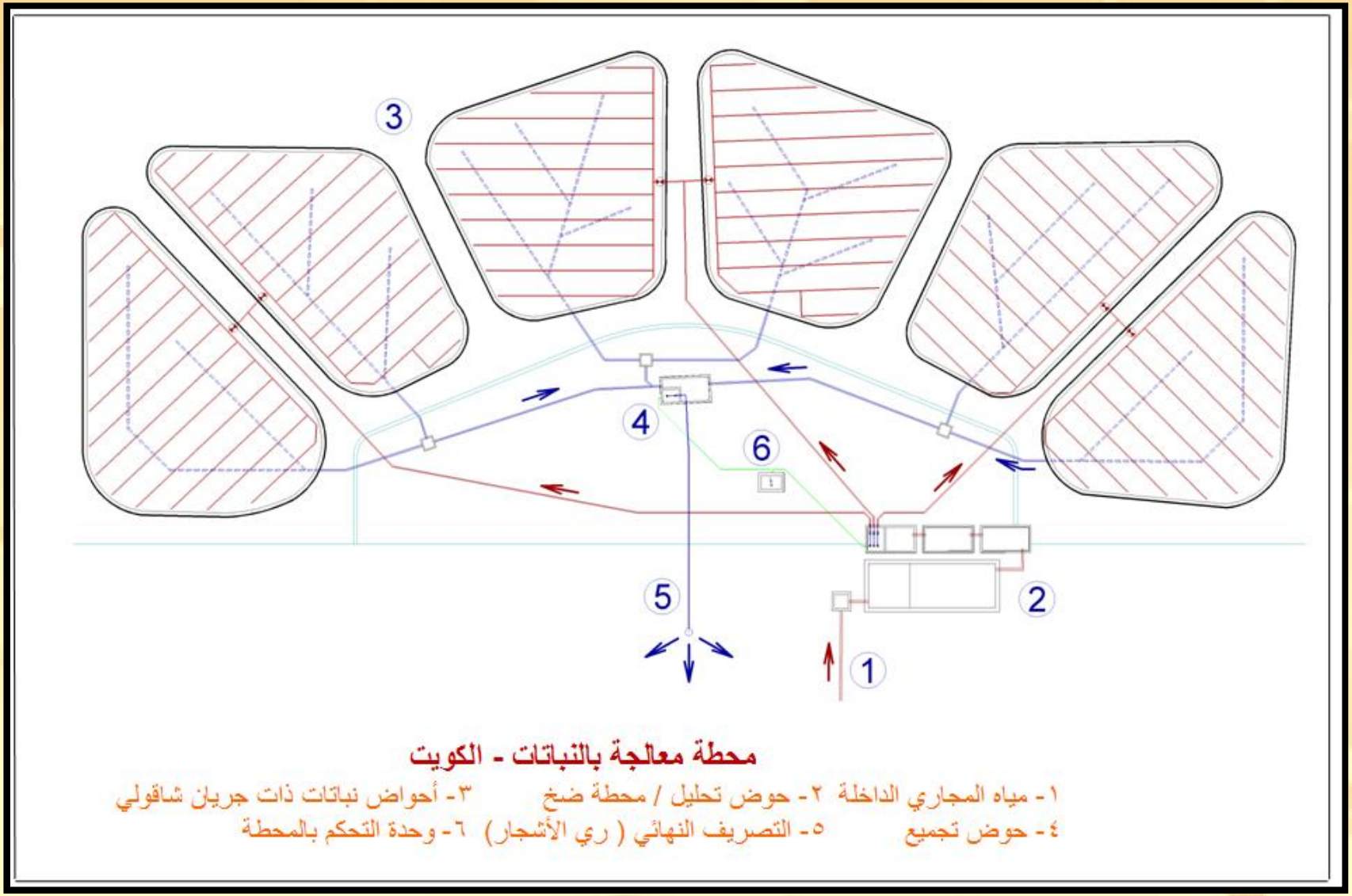
المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات :







مخطط عام مع مقطع شاقولي لمحطة معالجة بالنباتات ذات الجريان الأفقي



مخطط عام لمحطة معالجة بالنباتات ذات الجريان الشاقولي

ثانيا"- الصرف المائي عبر الترب أو الميديا (الحصويات، الرمال)

معامل الصرف

نظرا" لكون أحواض المعالجة بالنباتات تعتمد على مرور المياه ضمن الأحواض المزروعة بالنباتات عبر أوساطها (رمل – حصى،..الخ) فإنه من الضروري التطرق إلى **الصرف المائي عبر الترب الزراعية**.

معامل النفاذية

يقصد بالصرف الزراعي بعملية **التخلص من المياه الفائضة عن حاجة النبات** سواء كانت هذه المياه سطحية أم تحت سطحية، وذلك باستخدام الصرف الطبيعي أو بواسطة تنفيذ شبكات صرف لهذا الغرض.

عناصر تصميم نظام الصرف

* تحديد المسافة بين المصارف (L):

أهم عنصر يجب تحديده عند تصميم شبكات الصرف هو تحديد المسافة ما بين المصارف (L)، فالمسافة البينية بين المصـــارف لها الأثر الكبير على السيطرة على مستوى الماء الأرضي. العوامل المؤثرة في تحديد المسافة بين المصارف تعتمد على:

١ - نوعية التربة التي تنعكس على: أ- معامل التوصيل الهيدروليكي k (النفاذية) ب- مسامية التربة n

٢ - نوع النبات

٣ - العوامل المناخية السائدة في المنطقة

• معامل الصرف (Df) :

مقنن الصرف أو معامل الصرف، وهو يبين العلاقة بين معدل كمية المياه المراد التخلص منها بواسطة أي مصرف إلى المساحة التي يخدمها ذلك المصرف، أو أنه يعبر عن كمية المياه المراد التخلص منها بواسطة المصرف بنفس معدل تراكمها.

تتمثل فائدة إيجاد مقدار معامل الصرف في أنه يساعد على تقدير أبعاد قطاعـــات المصـــارف المكشـــوفة (المفتوحـــة) وأقطـــار المصارف المغطاة (الأنابيب) وكذلك قدرة المضخات اللازمة بالإضافة إلى المنشآت الأخرى.

و يعبّر عن معامل الصرف كما يلي:

١- عمق مكافئ من المياه بالنسبة لوحدة الزمن (مم/يوم)

٢- وحدة تصرف ثابتة من المياه بالنسبة لوحدة المساحة (مم/يوم/هكتار)

٣- وحدة المساحة التي تعطي تصرفاً مقداره وحدة واحدة لمدة يوم (عدد الهكتارات التي تعطي تصرفاً من مياه الصرف مقداره م٣/ثا لمدة يوم).

* تقدير قيمة معامل الصرف:

حتى يتم إيجاد مقدار معامل الصرف فلا بد من الأخذ بعين الاعتبار جميع قيم الفواقد الناتجة عن التسرب العميق من سطح التربة أثناء عمليات الري أو المطر، وكذلك مقدار الاحتياجات الغسيلية، ويمكن تقدير قيمة معامل الصرف من المعادلة التالية:

$$D_f = \frac{(P + C) \cdot I}{2400\ F}$$

حيث أن:

Df= معامل الصرف (مم/ساعة)

P= نسبة المياه التي تفقد بالتسرب العميق (كنسبة مئوية من مياه الري المضافة)

C= نسبة المياه التي تفقد بالتسرب العميق من القنوات (كنسبة مئوية من مياه الري المضافة)

I= كمية مياه الري المضافة إلى الحقل كعمق مكافئ (مم)

F= الفترة الزمنية ما بين الريات (يوم)

مثـــــال تطبيقي:

أرض زراعية تروى معدل ٢٠ سم كل ١٥ يوم، نسبة التسرب العميق تمثل ٢٥% من مياه الـــري المضافة، والرشح من قنوات الري يساوي ١٠%، احسب معامل الصرف لهذا الحقل.

الحـــــل:

$$D_f = \frac{(25+10)\times 200}{2400\times 15} = 0.95 \text{mm/hr}$$

قوى الخاصية الشعرية:

تنتج هذه القوى عن اختلاف قوى الجذب للماء ما بين الماء وجدران الوعاء الناقل، وهي تدعى قوى التلاصق لحالة تلاصق جزيئات الماء مع الجدران، كما تدعى قوى التماسك لحالة تماسك جزيئات الماء مع بعضها البعض، فإذا كانت قوى التلاصق أكبر من قوى التماسك ارتفع الماء في الأنبوب الشعري، وهذا بدوره يعتمد على مقدار الشد السطحي وقوى التماسك والتلاصق. **إن ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية يعتمد على نوع التربة**، ففي الترب الخشنة يكون ارتفاعه أقل من ذلك في الترب الناعمة، كما هو موضح في الجدول.

الجدول ارتفاع الماء الشعري في أنواع مختلفة من الترب

نوع التربة	ارتفاع الماء، سم
تربة رملية خشنة	٢ – ٥
رمل	١٢ – ٣٥
رمل ناعم	٣٥ – ٧٠
سلت	٧٠ – ١٥٠
طين	٢٠٠ - ٤٠٠

حركة ماء التربة:

قانون دارسي

هذا القانون يوضح حركة الماء الأرضي داخل التربة، توصل العالم دارسي لهذا القانون نتيجة لتجارب على نموذج رملي، فالشكل التالي يبين مخطط للتجربة التي أجراها سنة ١٨٥٦م، لاحظ دارسي بأن **كمية المياه المتدفقة من خلال نموذج الرمل بوحدة الزمن (التصرف) تتناسب طردياً مع الفرق في الضاغط الهيدروليكي للماء عند منطقتي دخول وخروج الماء من نموذج الرمل**، وهذا الفرق في الضاغط يعبر عنه كما يلي:

$$\Delta h = h1 - h2$$

كما وجد أيضاً بأن **التصرف يتناسب عكسياً مع طول نموذج الرمل الذي يعبر عن طول مسار التدفق**، ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالصيغة التالية:

$$Q = K \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot A$$

Q= معدل التدفق خلال نموذج الرمل (L^3T^{-1})
Δh= الفاقد في مقدار الضاغط (L)
L= طول مسار التدفق (L)
A= مساحة مقطع الأنبوب (L^2)
K= ثابت التناسب، ويعتمد على طبيعة الرمل والسائل (LT^{-1})، ويدعى **معامل النفاذية أو التوصيل الهيدروليكي**.

ولكن السرعة الظاهرية يمكن التعبير عنها كالآتي: $v = \frac{Q}{A}$ و الميل الهيدروليكي (i) : $\frac{\Delta h}{L}$

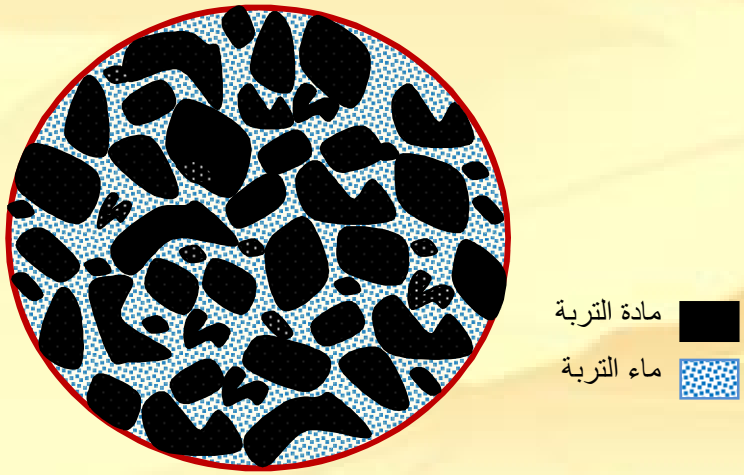
نحصل على قانون دارسي بصيغته البسيطة كما يلي: $v = - k.i$

وعليه ينص قانون دارسي بأن **السرعة الظاهرية تتناسب طردياً مع الضاغط الهيدروليكي باتجاه التدفق**، والإشارة السالبة تبين بأن التدفق يكون باتجاه الضاغط الهيدروليكي الأقل.

السرعة الظاهرية والسرعة الحقيقية:

تكون سرعة تدفق الماء خلال فراغات التربة البينية أكبر من السرعة الظاهرية التي تمثل سرعة الماء خلال عمود وكأنه فارغ من التربة (الشكل ٧)، فالسرعة الحقيقية (v_a) تعتمد على مسامية التربة (n) ، و تساوي:

$$v_a = \frac{Q}{A \cdot n} = \frac{v}{n}$$



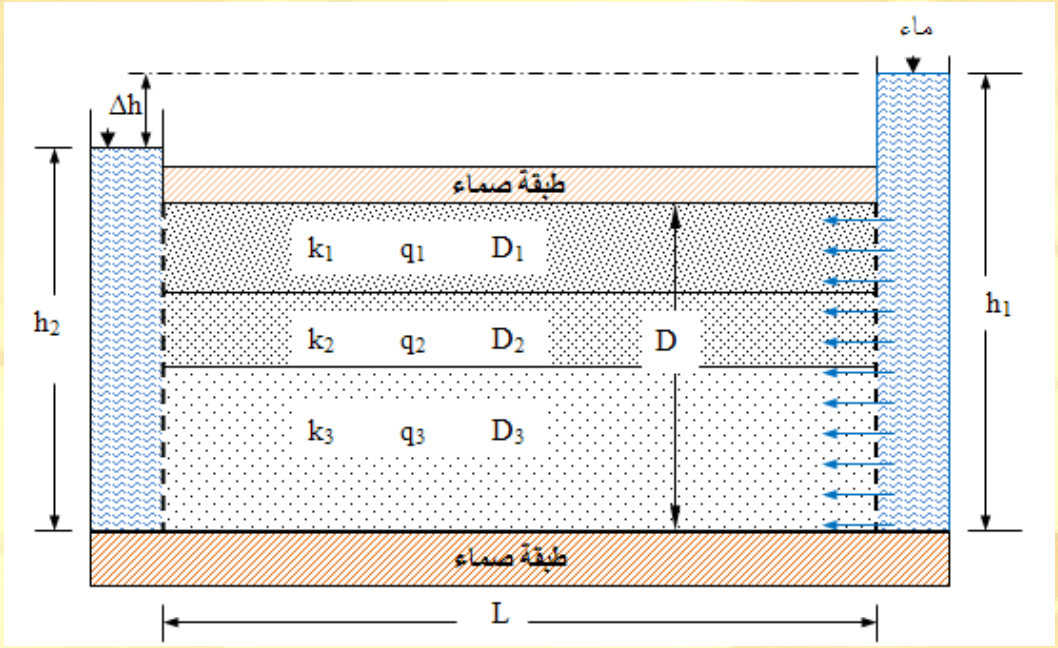
شكل يبين مقطع يبين مساحة مقطع الماء الفعلية الموجودة بين الفراغات البينية للتربة

حركة الماء في التربة متعددة الطبقات

أولا" : التدفق الأفقي خلال عدة طبقات من التربة

لتكن لدينا تربة مكونة من ثلاث طبقات، معامل التوصيل (نفاذية) لكل منها يساوي k_1، k_2 ، k_3 ، وسمكها على التوالي يساوي D_1 ، D_2 ، D_3 ، و طول المقطع L.

$$Q = K \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot A$$



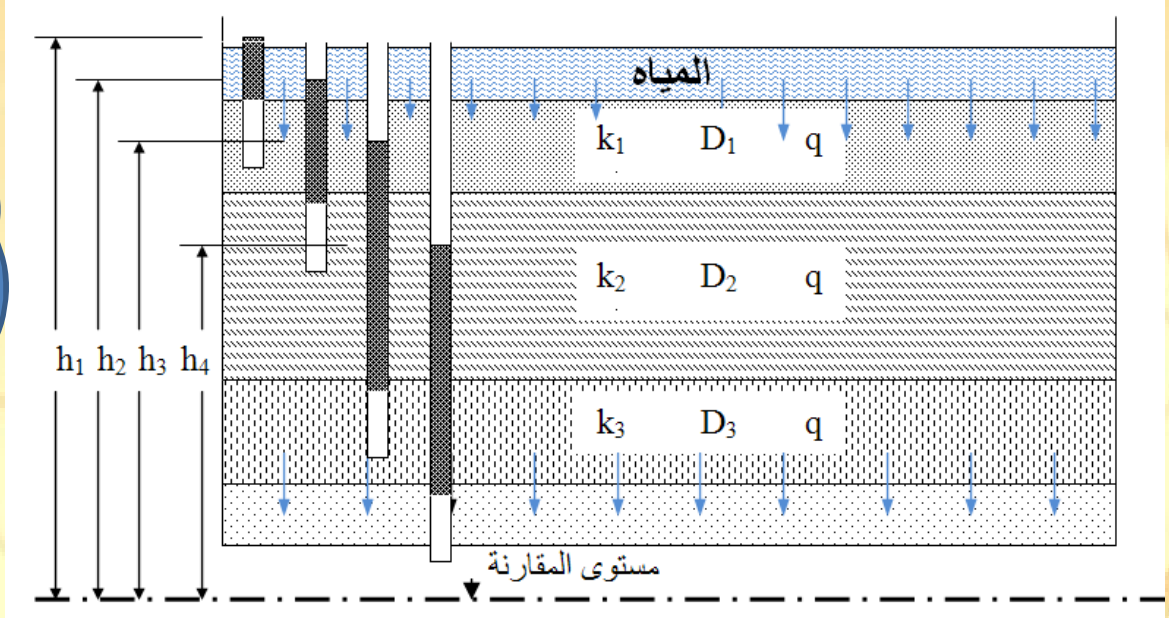
متوسط معامل النفاذية بالاتجاه الأفقي الفعال

$$\overline{k_h} = \frac{k_1.D_1 + k_2.D_2 + k_3.D_3}{D_1 + D_2 + D_3} = \frac{\sum (k.D)}{D}$$

ثانياً" : التدفق الشاقولي خلال عدة طبقات من التربة

لتكن لدينا تربة مشبعة مكونة من ثلاث طبقات مختلفة السماكة و النفاذية، يتدفق الماء من خلال هذه الطبقات رأسياً، ومقدار تصرفه Q لوحدة المساحة، معامل التوصيل لكل طبقة يساوي k_1 ،k_2 ،k_3 و سمكها D_1 ،D_2 ،D_3 على التوالي.

$$Q = K \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot A$$



معامل النفاذية الفعالة لعدة طبقات بوجود تدفق شاقولي

$$\bar{k}_v = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{\frac{D_1}{k_1} + \frac{D_2}{k_2} + \frac{D_3}{k_3}} = \frac{\sum D}{\sum \frac{D}{K}} = \frac{\sum D}{\sum C}$$

* نفاذية التربة:

تعد النفاذية صفة مهمة للتربة خاصة في حالة وضع التصاميم للمصارف، فهي تدل على قابلية التربة لإمرار الماء خلالها، أي أنها تعبر عن معدل أو سرعة مرور الماء خلال التربة، و وحداتها هي (L/T). وتقاس نفاذية التربة في المختبر أو في الحقل.

بسبب عدم تجانس التربة و عدم تشابه خواصها الطبيعية فإن نفاذية الترب تختلف حسب نوع كل منها، و يكون التباين في القيم كبير جداً ما بين التربة الرملية والتربة الطينية، والجدول (٢) يبين القيم النمطية لأغلب أنواع الترب المختلفة، ويمكن الاستدلال بهذه القيم عند الحاجة. و الجدول قيم نمطية لنفاذية أنواع مختلفة من التربة:

نوعية التربة	النفاذية (متر/يوم)
طينية	أقل من ٠.٠٠١
مزيجية	حوالي ٠.٠١
مزيجية رملية	٠.١ – ١.٥
رملية مع طين	٠.٥ – ١.٠
رمل ناعم	١.٠ – ٥.٠
رمل متوسط الخشونة	٥.٠ – ١٥.٠
رمل خشن	١٥.٠ – ٥٠.٠

ثالثا": النباتات المائية المستخدمة ضمن محطات المعالجة بالنباتات

* تلعب النباتات المائية عدة أدوار ضمن أحواض المعالجة بالنباتات المائية و لكن الـــدور الرئيســـي للنباتات المائية هو طبيعة عملها **كمحفزات لعمليات التنقية**.

* إن عملية التنقية تنتج عن مزيج من العمليات الميكروبية و الكيميائية و الفيزيائية.

* إن النباتات **لا تلعب دورا هاما في الإزالة المباشرة** لبعض المكونات مثل النتروجين و الفوسفور أو المواد العضوية ولكن يمكن الحديث عن **المساهمة بالتخلص من ١٠ - ٢٠ %** منها أثناء فتـــرة نمـــو النباتات.

* تعطي النباتات **دعما فعالا للنمو البكتيري** على الجذمور النباتي (بمنطقة الجذور) كما أن الهـــواء يتم توجيه إلى منطقة الجذور ضمن النبات بواسطة آليات متعددة.

* كما أن النباتات تلعب دورا في **الحفاظ على الناقلية الهيدروليكية** ضمن الأحـــواض و هـــذا يمنـــع الجريانات القصيرة من الحدوث .

تصنيف النباتات و أنواعها:

توجد أنواع مختلفة من النباتات المستخدمة في المعالجة تم تصنيفها ضمن مجموعات :

- النباتات العائمة ذات الجذور المثبتة في التربة،
- النباتات ذات الجذور المغمورة و السوق و الأوراق الظاهرة،
- النباتات المغمورة كليا بالمياه،
- النباتات القصبية ذات البنية الخشبية ،
- النباتات القصبية ذات البنية العشبية،
- النباتات الطافية ذات الجذور المعلقة ... الخ.

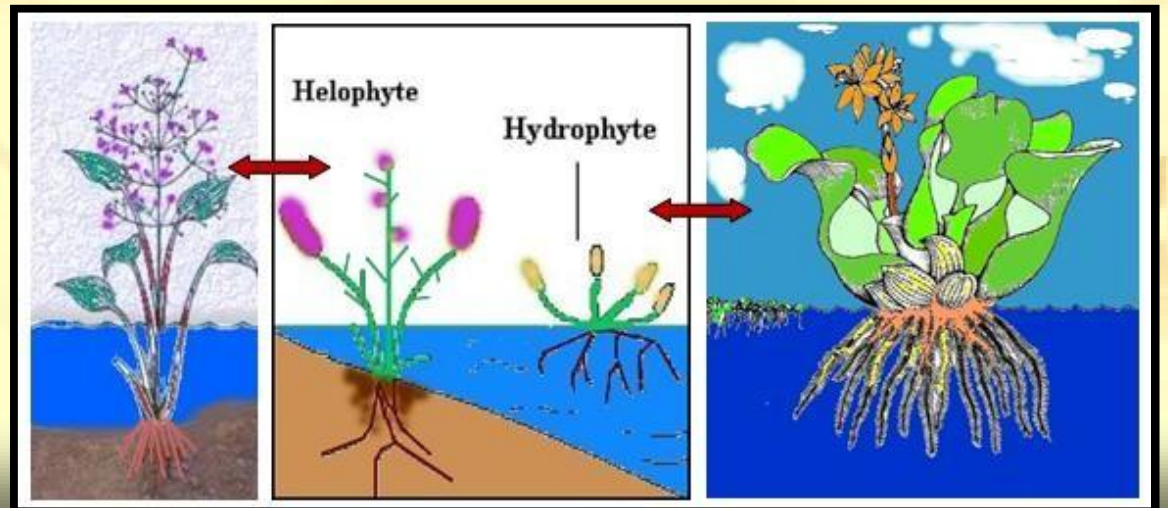
عادة ما ينصح باستخدام النباتات المتوفرة في منطقة إنشاء المحطة نظرا لتكيفها مع ظروف المنطقة.

و قد ظهرت أول التصنيفات بالنسبة للترب الرطبة جدا" و هي:

-(أ) **Hydrophytes**: و هي تلك النباتات التي تتشكل ضمن الماء.

-(ب) **Helophytes** : و هي تلك النباتات التي تتشكل ضمن السبخات بحيث تمتد جذورها عبر التربة.

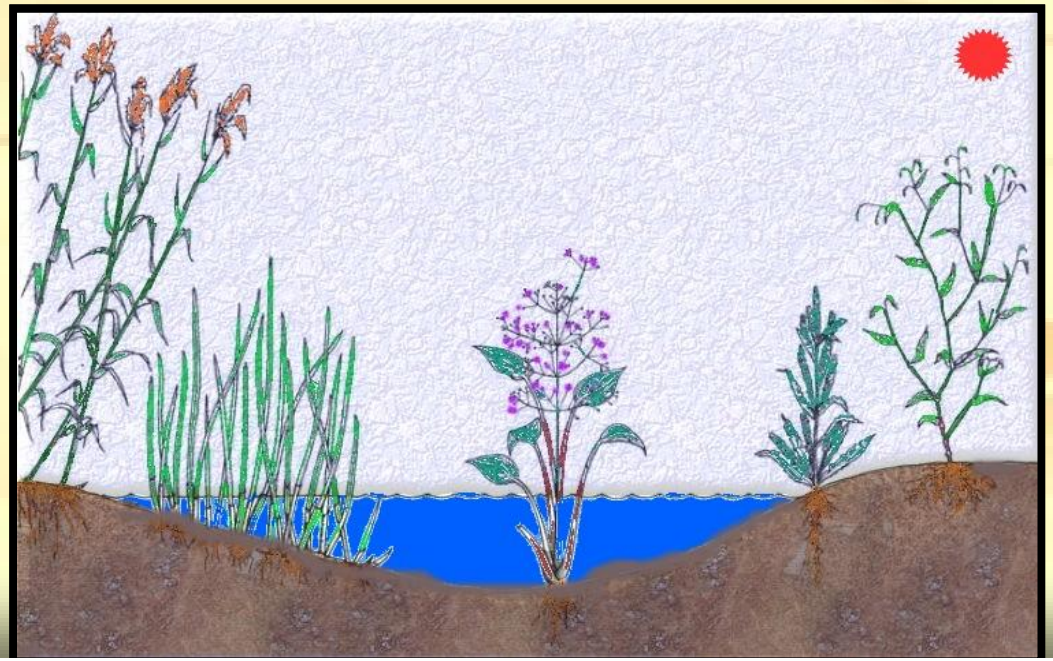
و يعد العالم البيئي Clements (1920) أول من وسّع تعريف Hydrophytes لتشمل ضمنا" النباتات من النوع Helophytes .



و مع مرور الزمن و عبر أبحاث العلماء مثل العالم Clements (1929) و العالم Daubenmire (1947) و العالم Sculthorpe (1967) فقد ظهرت لاحقا" تصنيفات سهلة و شائعة لأنواع النباتات المائية و هذه الأنواع تتلخص فيما يلي:

-(1) Emergent Macrophytes:

و هي النباتات الكبيرة ذات الجذور المغمورة و السوق الطويلة و الأوراق الظاهرة(الشكل). و تعتبر هذه النباتات شائعة الاستخدام ضمن الأراضي الرطبة و السبخات حيث تنمو ضمن منسوب مياه بعمق ٠.٥ متر أسفل التربة إلى مياه سطحية بعمق 1.5 متر أو أكبر.



و من الأمثلة على هذه **النباتات القصب (Phragmites) و نبات (Typha)**. إن الجذور و السوق الأرضية (Rhizomes) في هذه النباتات توجد بشكل دائم ضمن منطقة الترسبات و بحالة لاهوائية و هي بحاجة للحصول على الأكسجين من الهواء عبر أجزاء النبات الهوائية لاستمرار النمو. و بشكل مشابه فإن الأوراق التي تكون تحت سطح الماء عليها أن تكون قادرة على التنفس اللاهوائي لفترة قصيرة حتى تتأمن البيئة الجوية الهوائية (Aerial Habitat) لاسيما و أن محتوى الأكسجين ضمن الماء منخفض جدا" إذا ما قورن بالهواء الجوي. و عموما" فهذا الصنف من النباتات المائية تضم الأنواع التالية:

Acorus calamus (Sweet flag), *Baumea articulata* (Jointed twigrush), *Bolboschoenus* (*Scirpus*) *fluviatilis* (Marsh clubrush), *Carex* spp. (Sedges), *Cyperus papyrus* (Papyrus), *Eleocharis* spp. (Spikerushes), *Glyceria maxima* (Sweet mannagrass), *Juncus* spp. (Rushes), *Phalaris arundinacea* (Reed canarygrass) **Phragmites australis** (Common reed), *Panicum hemitomon* (Maidencane), *Pontederia cordata* (Pickerelweed), *Sagittaria* spp. (Arrowheads), *Scirpus* spp. (Bulrushes), *Sparganium* spp. (Bur-reeds), *Spartina* spp. (Cordgrasses), **Typha spp.** (Cattails), *Zizania aquatica* (Wild rice).

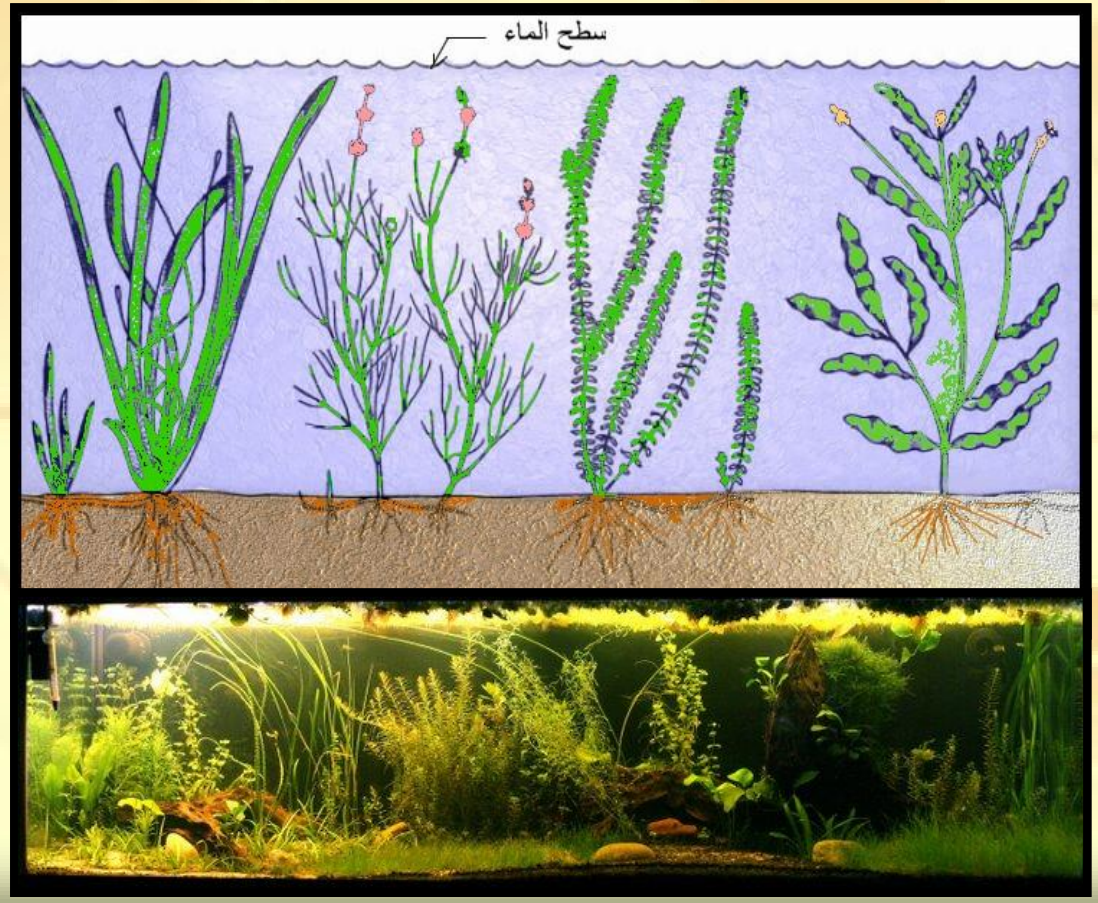
Typha / Cattail / نبات

نباتات القصب (Phragmites australis)

نبات *Carex spp. Sedges*

-(2) Submerged Macrophytes:

و هي نباتات كبيرة مغمورة بالماء، و هي تنمو بمختلف الأعماق شرط وصول الضوء اليها. و تنتمي إلى مجموعة النباتات متغايرة الأطوار (Heterogenous Group) كما يبدو في الشكل. إن وجودها ضمن المياه بشكل دائم و ضعف الضوء ضمن المياه أدى إلى حدوث تغييرات في بنيتها بحيث أضحت تتكيف مع النمو و التكاثر ضمن المياه و هي مغمورة.



عموما" فهذا الصنف من النباتات المائية تضم الأنواع التالية:

Cacomba caroliniana (Fanwort), Ceratophyllum spp. (Coontails), Eggeria densa (Brazilian waterweed), Elodea spp. (Waterweeds), Hydrilla verticillata (Hydrilla), Isoëtes spp. (Quillworts), Myriophyllum spp. (Watermilfoils), Najas spp. (Water nymphs, Naiads), Potamogeton spp. (Pondweeds), Utricularia spp. (Bladderworts).

(3)- Floating Leaved Macrophytes:

• ***النباتات الطافية الحرة***:

هذا النوع من النباتات يعيش على سطح الماء و له أنواعا" كثيرة حسب الظروف البيئية المناسبة. و غالبا" ما تكون النبتة على سطح الماء و جذورها تمدد ضمن الماء. هناك نوع من هذه المجموعة يدعى Eichhornia crassipes و يتصف بأنه النبات الأسرع نموا" في العالم.

و من انواعها ذكر:

Eichhornia crassipes (Water hyacinth) or *Pistia stratiotes* (Water lettuce), Lemnaceae (Duckweeds) *Lemna minor*, *L. gibba*, *L. trisulca*, *Salvinia natans*, *Wolffia* spp.

- ***النباتات الطافية ذات الجذور الممتدة داخل التربة:***

هذه النباتات الطافية قادرة على بلوغ القاع عبر سوقها الطويلة حيث تنمو جذورها ضمن قاع الحوض و يتراوح عمق الماء لمثل هذه النباتات بين 0.5 إلى 3 متر تقريبا". و هذه النباتات متكيفة مع حركة المياه و لذلك فهي تتمتع بالمرونة الكافية اتجاه الاجتهادات المختلفة الناشئة ضمن الوسط المائي. و تتميز هذه النباتات بعمرها القصير (30-50 يوم) و يمكن أن تتجدد دورة حياتها حوالي أربعة مرات بالسنة، و من الأمثلة عليها نذكر:

Nuphar or *Nymphaea*, *Brassenia*, *Potamogeton natans*

رابعا": أساسيات و مبادئ إزالة الملوثات بمحطات المعالجة بالنباتات

دور النباتات المائية في محطات المعالجة بالنباتات:

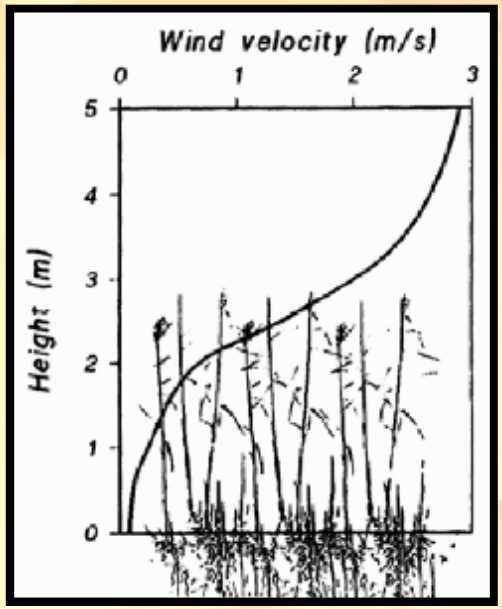
يعتبر وجود النباتات الكبيرة (كالقصب مثلا") أحد أهم السمات المميزة لمحطات المعالجة بالنباتات مقارنة مع الأنظمة الطبيعية الأخرى المستخدمة لمعالجة مياه المجاري مثل برك الأكسدة. تمتلك النباتات التي تنمو ضمن محطات المعالجة بالنباتات (الأراضي الرطبة) العديد من المزايا الخاصة بعملية المعالجة مما يجعلها عنصرا" أساسيا" في مثل هذه المحطات.

خصائص النبات	الأهمية في المعالجة	
أنسجة النبات المحاطة بالهواء الجوي	• ضوء خفيف • تأثير التغير الطفيف بالمناخ • سرعة الريح المنخفضة • منظر جمالي لمحطة المعالجة • تخزين المغذيات ضمنها	نمو منخفض للعوالق النباتية العزل الحراري أثناء طقس الشتاء تخفض من خطر قلع النباتات بقوة الريح
أنسجة النبات المغمورة بالماء	• تأثير الترشيح • سرعة المياه المنخفضة • تؤمن مساحة سطحية لنمو الطبقة البيولوجية Biofilm • تطرح الاكسجين المنحل للوسط المائي مما يزيد التحلل الهوائي للملوثات • تستهلك المغذيات	تطرد إلى الخارج المواد المترسبة الكبيرة زيادة معدل الترسيب
الجذور و أشباه الجذور (الجذمور) ضمن وسط الفلتر أو التربة	• تؤمن ثباتية سطح الفلتر (التربة) • تمنع الوسط من الانسداد في الأحواض ذات الجريان الشاقولي • تحرر الأكسجين مما يساعد على النترجة • تستهلك المغذيات • تحرر مضادات حيوية	

إن وجود النباتات ضمن حوض المعالجة يؤدي إلى:

- **توزيع و تخفيض سرعة التيار المائي:** و هذا ما يساعد على تأمين ظروف أفضل لعملية ترسيب المواد الصلبة المعلقة.

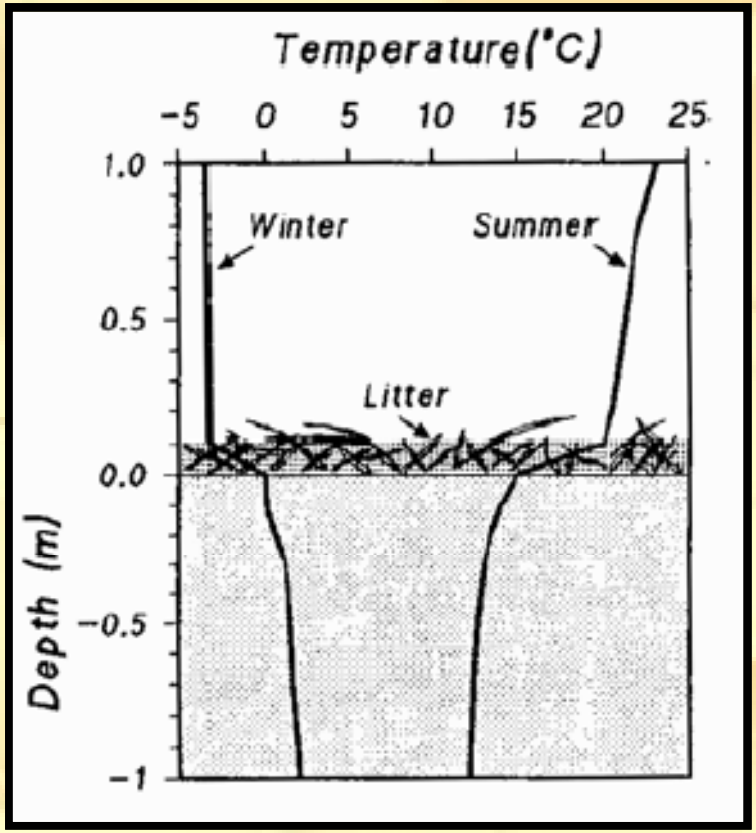
- الجزء العلوي من النبات فوق السطح يؤدي الى **تخفيف سرعة الرياح قرب سطح التربة او الماء** كما يظهر في الشكل، و هذا بدوره **يؤمن شروط مناسبة لترسيب المواد الصلبة المعلقة** و يحسن إزالة المواد الصلبة في أحواض النباتات ذات الجريان الحر.



الشكل يبين تأثير ارتفاع النباتات فوق السطح في تخفيف سرعة الرياح عند سطح الحوض

• كما أن النباتات **تحد من نفاذ الضوء إلى الماء**: مما يقلل من نمو الطحالب.

• كما أن النباتات **تلعب دورا" هاما في العزل الحراري للحوض** و خصوصا" في فصل الشتاء عندما يكون الطقس باردا" كما يظهر في الشكل.



الشكل يبين دور النباتات في العزل الحراري للوسط

* **تمنع النباتات الانسدادات في الأحواض ذات الجريان الشاقولي**: حيث تتم تغذية الحوض من السطح العلوي.

•**حركة الرياح تؤدي بالنباتات الى الاهتزاز**: أي مساعدة المياه بالدخول الى ضمن الحوض عبر الفراغات التي يصنعها ساق النبات نتيجة الاهتزازات المتكررة.

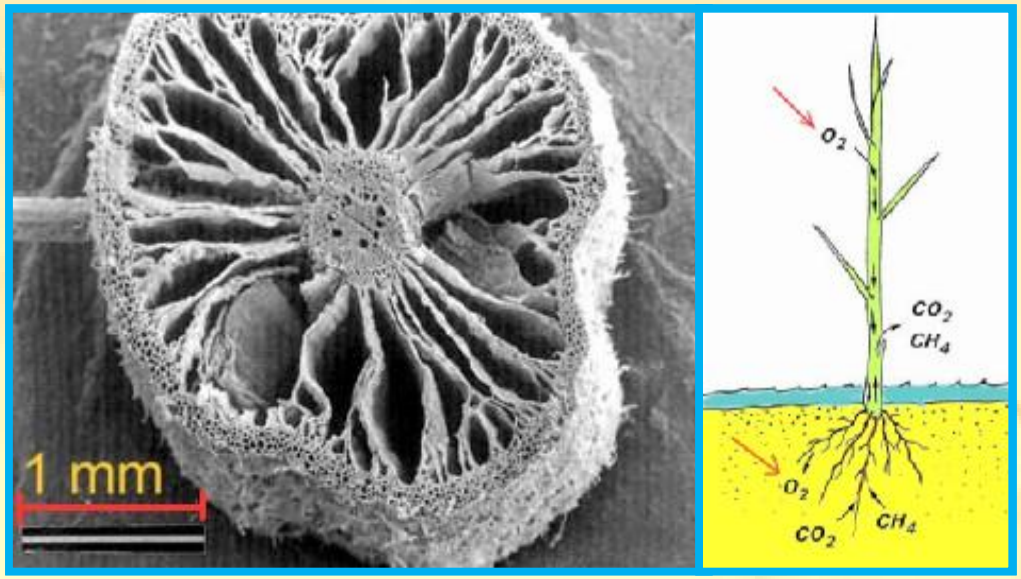
* تقوم الأوراق و سوق النباتات المغمورة بالماء **بتأمين سطوح لنمو الكتلة البيولوجية عليها**. كما أن أنسجة النباتات المغمورة بالماء **تستعمر من قبل الطحلبيات** و البكتريا (الشكل)، حيث تقوم الطحالب باستهلاك المغذيات و بتزويد المياه بالأكسجين المنحل نتيجة التركيب الضوئي و تقوم البكتريا بهضم المواد العضوية.

الشكل يبين تشكل مستعمرات من الطحالب و البكتريا على سوق النباتات المغمورة بالمياه

• تقوم **الجذور و أشباه الجذور** بتأمين سطوح التصاق تنمو عليها الكتلة البكتيرية لتشكل الطبقة البيولوجية حيث تطرح الأكسجين و تتم أكسدة الملوثات بالإضافة إلى النترجة.

• أوضحت الدراسات أن العدد الكلي للكائنات الدقيقة على محيط الجذر و لمسافة **1mm** بدءا" من سطح الجذر **تزيد عشرة مرات** عن تلك الموجودة على مسافة 15-20 mm بدءا" من السطح. و قد أظهرت الدراسات المجهرية أن التجمعات البكترية تغطي ما يعادل من 5-10 % من مساحة سطح الجذر.

* إن الأكسجين المنطلق من الجذور(Up to 3 g O_2/m^2) يلعب دورا مهما" في **ترسيب الحديد و المغنزيوم و تحسين عملية النترجة و أكسدة المركبات الضارة و ذوبان الكبريتات.**



الشكل يبين الفجوات الهوائية الموجود في أحد جذور النباتات

إن الدرجة العالية للتنوع الحيوي الموجود ضمن هذه الأنظمة تسمح بحدوث آليات متنوعة للتحلل للعديد من المركبات و **بسرعة أكبر** عما يتم في محطات المعالجة التقليدية. وقد أثبتت محطات النباتات قوتها و كفاءتها في عملية التنظيف و المعالجة ، حيث أن محتواها من الكائنات الدقيقة متنوع جدا و يزيد على **٥٠٠٠ نوع مختلف من البكتريا** بالمقارنة مع ٢٠٠-٣٠٠ نوع من البكتريا الموجودة في غيرها من أنظمة المعالجة التقليدية.

آليات إزالة الملوثات و فعالية أحواض المعالجة بالنباتات:

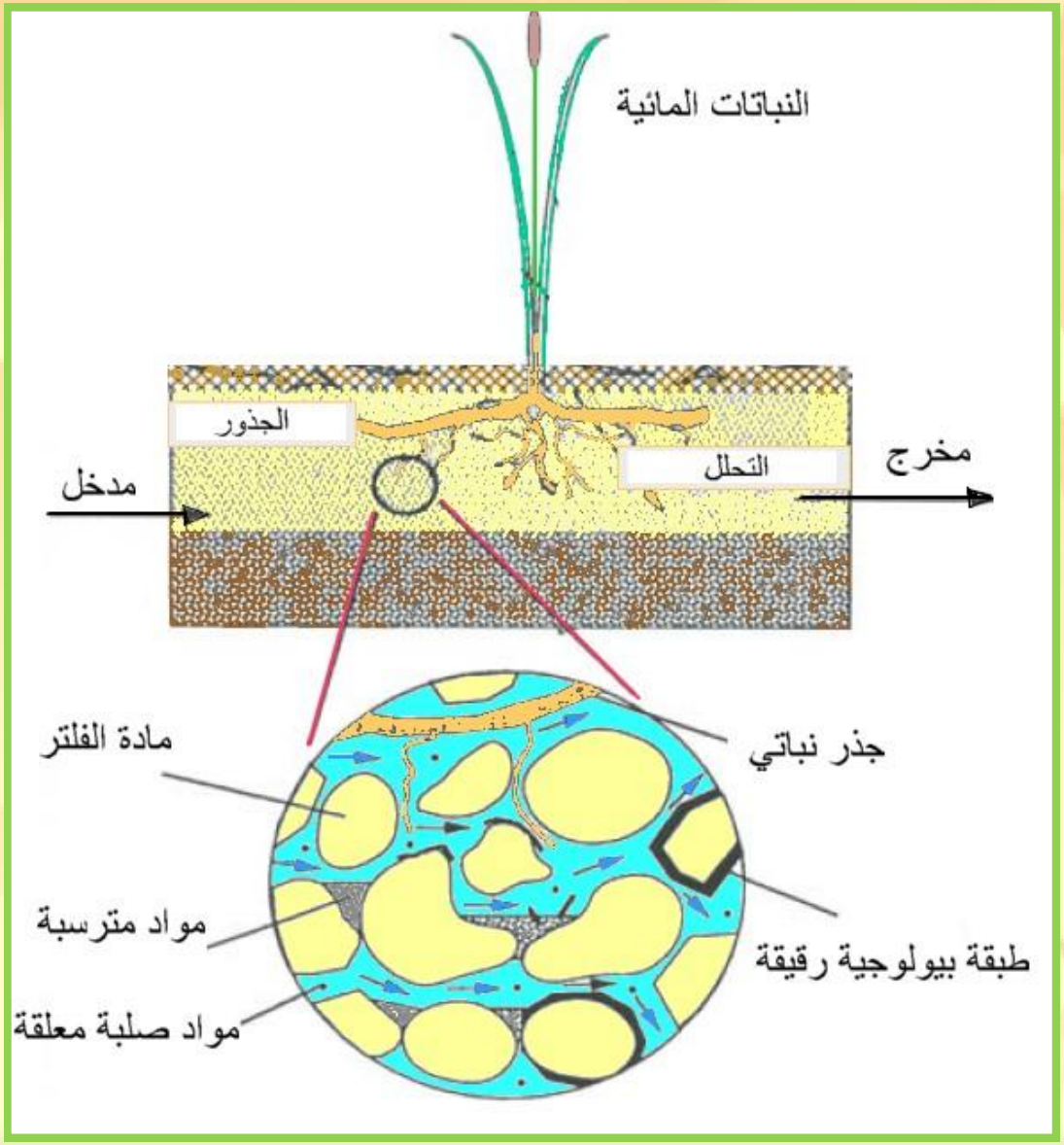
هناك عمليات معقدة من **بيولوجية** إلى **فيزيائية** و **كيميائية** تجري ضمن أحواض المعالجة بالنباتات و ذلك من اجل تحسين مواصفات المياه الخارجة من الحوض. هذه الآليات تعتمد على التفاعلات المتبادلة بين مياه المجاري و الكائنات الدقيقة و النباتات و وسط الفلترة.

١ - **المواد العضوية**: يتم أكسدتها و تحليلها لمواد بسيطة و منتجات ثانوية و ذلك عبر الطبقة الرقيقة البيولوجية التي تتشكل على سطوح مادة الفلتر و على سوق و جذور النباتات و التي تحتاج لتتكون مدة تصل بين ثلاثة إلى ستة شهور.

٢ - **المواد الصلبة المعلقة**: يتم حجزها عبر عمليات الترسيب و الفلترة و من ثم يتم تحلل الجزء العضوي منها بينما يبقى الجزء الغير عضوي محجوزا" ضمن الفلتر.

٣ - **المغذيات**: إن عمليات **النترجة** تكون منخفضة في الأحواض ذات الجريان الأفقي بسبب قلة الأكسجين اللازم لذلك بينما تحصل النترجة بشكل جيد ضمن أحواض المعالجة ذات الجريان الشاقولي بسبب توفر الأكسجين، و يتم استنفاذ (استهلاك) قسم من النتروجين عبر النباتات. أما **الفوسفور** فيتم التخلص من جزء منه عبر ***الامتصاص الكيميائي*** له عبر وسط الفلتر و جزء أقل يمتص عبر النباتات.

٤ - **العوامل الممرضة**: يتم التخلص من غالبيتها عبر حجزها ضمن مادة الفلتر عبر عمليات ترسيب و الفلترة و الامتصاص أو عبر افتراسها من قبل كائنات متنوعة أو بالموت الطبيعي، و تتراوح نسبة إزالتها بين ٩٠-٩٩.٩ %.



إن فاعلية الإزالة ضمن هذه الأحواض تعتمد بشكل أساسي على **معدل التحميل السطحي الهيدروليكي** و على **نوع مادة وسط الفلترة**. و كلما زادت درجة حرارة موقع المحطة كلما زادت فاعلية إزالة المواد العضوية عبر التحلل البيولوجي.

الآليتان الرئيسيتان في أغلب أنظمة المعالجة بالنباتات هما:

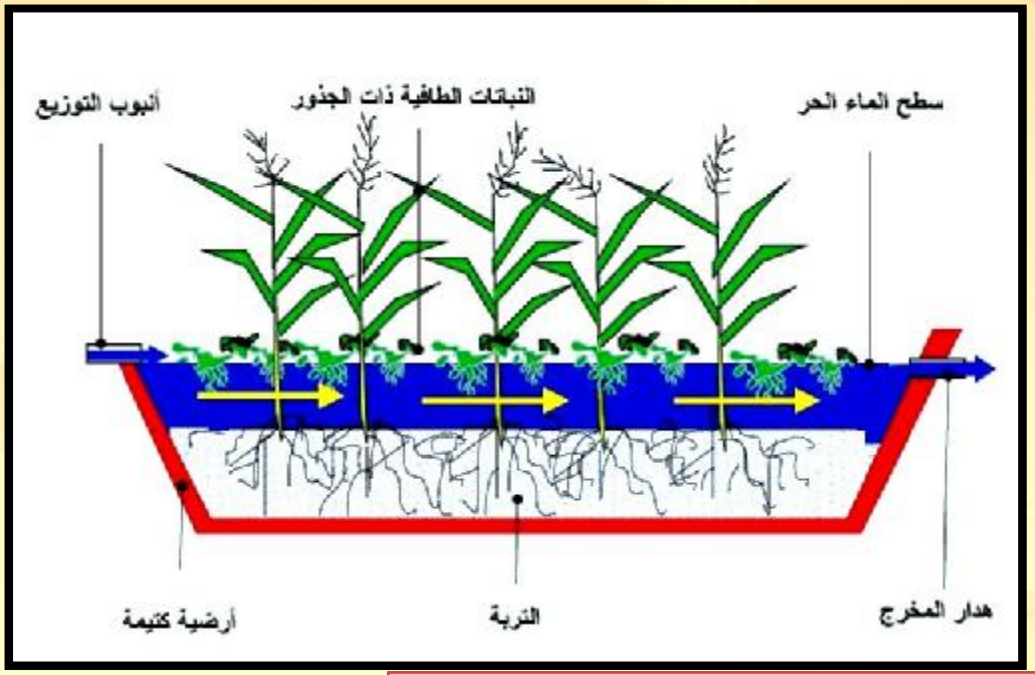
- عمليات **فصل المواد الصلبة من السوائل** (Liquid/Solid Separations): مثل الترسيب بالثقالة و الفلترة و الامتصاص و الادمصاص و التبادل الشاردي و التعرية و الترشيح.
- عمليات **تحول الملوثات و المكونات** ضمن مياه المجاري (Constituents Transformations): التفاعلات الكيميائية و تفاعلات الأكسدة و الإرجاع و تفاعلات الحموض و الأسس و عمليات التخثير و الترسيب بالإضافة إلى مختلف التفاعلات البيوكيميائية (هوائية – أنوكسية – لاهوائية).

خامسا": أحواض النباتات ذات الجريان السطحي الحر:Free Water Surface (FWS)

إن أحواض المعالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي أو ما يعرف بالجريان الحر للماء قريبة جدا" من أحواض المعالجة الطبيعية (المستنقعات). إن هذا النوع من الأحواض يستعمل **كمرحلة معالجة ثالثية (Polishing)**، فهي مناسبة جدا" لإزالة العوامل الممرضة بسبب تعرض المياه لأشعة الشمس كما أن المغذيات المتبقية في المياه الداخلة إليها تزال ضمنها إلى حد تمنع معه إمكانية حصول ظاهرة النمو الطحلبي في مياه الأنهار أو البحيرات المستقبلة للمياه المعالجة. لذلك فأحواض ذات الجريان الحر السطحي تستخدم **كمرحلة أخيرة من مراحل المعالجة**.

-المواصفات:

* **عمق المياه : ٠.٠٥ – ٠.٨ متر**
* **تصمم عادة للتدفقات بين ٤ الى ٧٥٠٠٠ م٣/يوم**
* **زمن المكث (٥ أيام) لأجل إزالة BOD5**
* **زمن المكث (١٠ أيام) لأجل إزالة النتروجين**



شكل يبين محطة معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر (FWS)

أحواض المعالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر في هونغ كونغ

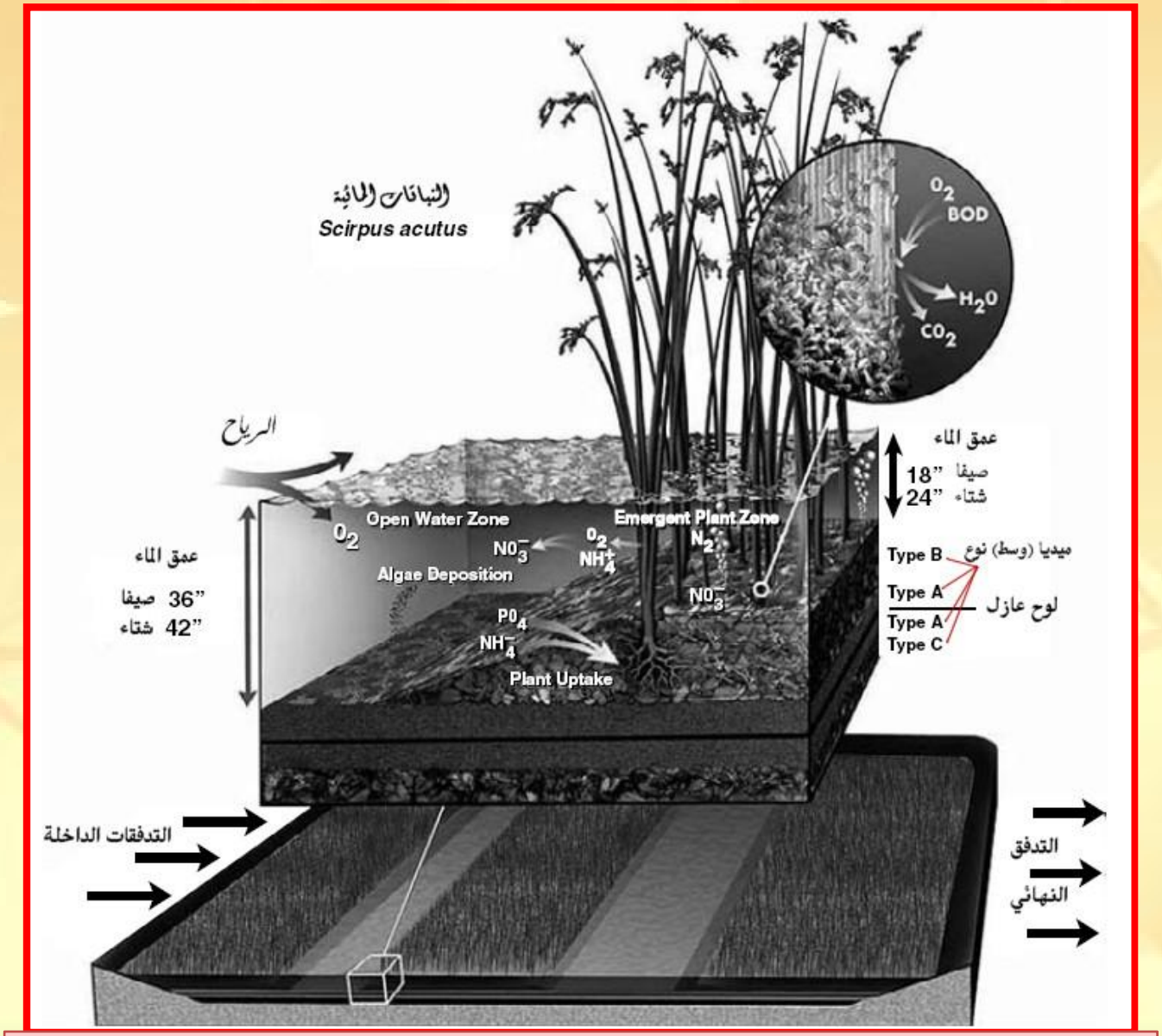
• قيمة الأكسجين المنحل المنتقل من الجو إلى الماء : 0.5 -0.9 $g/m^2/d$

• النباتات المغمورة و العوالق النباتية تزود الوسط المائي بالأكسجين المنحل عبر التركيب الضوئي **2.5غرام أكسجين مقابل كل 1غرام كربون مثبت ككتلة خلوية**.

• جذور النباتات (كالقصب) التي تكون ضمن التربة تنقل الأكسجين من الجو لتحرره عبر جذورها في المنطقة المحيطة بالجذور: 0 - 3 g O_2/m^2

* كمية النتروجين التي تستهلكها النباتات: 0.5-3.3 gr $N/m^2/year$

•كمية الفوسفور المستهلك من قبل نباتات (Emergent Plants) بحدود: 1.8–18 g $P/m^2/year$



شكل يبين محطة معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر (FWS)

تصميم حوض المعالجة بالنباتات ذي الجريان السطحي الحر (FWS):

يتم حساب أبعاد محطة المعالجة للنباتات (حوض النباتات) ذات الجريان السطحي الحر و زمن المكث على أساس علاقة الجريان الدفقي من العلاقة :

$$T = \frac{L * W * d * n}{Q}$$

$$A = \frac{Q * \left[\ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right) \right]}{K_t * d * n}$$

حيث أن:

A : المساحة السطحية لحوض النباتات (m^2)
Q : التدفق اليومي الوسطي (m^3/d)
d : العمق الوسطي للماء (m)
n : المسامية (حيز الماء) و تؤخذ ٠.٧٥ بالنسبة لأحواض الجريان السطحي الحر.
C_i: BOD_5 الداخل لحوض النباتات (mg/l)
C_e: BOD_5 الخارج من حوض النباتات (mg/l)
K_t: ثابت درجة الحرارة (d^{-1}) و تتراوح قيمه بين ١.٠٢ الى ١.٠٦
t : زمن المكوث (d)
L : طول حوض النباتات (m)
W : عرض حوض النباتات (m)

Parameter	FWS Wetland	SSF
Porosity (n) (% as a decimal)	0.70–0.90	—
Depth (y) (m)	0.3–0.6	—

BOD_5 Removal:

K_{20} (d^{-1}) = 0.678
θ = 1.06
Background concentration (mg/L) = 6

TSS Removal:

$$C_e/C_0 = [0.1139 + 0.00213(HLR)] \quad (6.24)$$

where HLR = hydraulic loading rate (mm/d × 0.1), and TSS removal is not dependent on temperature.
Background concentration (mg/L) = 6

Ammonia Removal:

At 0°C, K_T (d^{-1}) = 0.
At 1°C+, K_{20} = 0.2187.
θ = 1.048.
K_{NH} is a rate constant at 20°C for FWS wetlands (d^{-1}).
Background concentration (mg/L) = 0.2

Note: It is prudent to assume that all TKN (from municipal wastewater) entering the wetland can appear as ammonia, so assume C_0 for ammonia is equal to influent TKN.

Nitrate Removal:

At 0°C, K_T (d^{-1}) = 0.
At 1°C+, K_{20} = 1.000.
θ = 1.15.
Background concentration (mg/L) = 0.2.

Background Concentration:
The background concentration is given for each of the parameters listed above. These values represent an external boundary condition on the design models in this set. None of the models should ever be solved for a concentration less than these background levels.

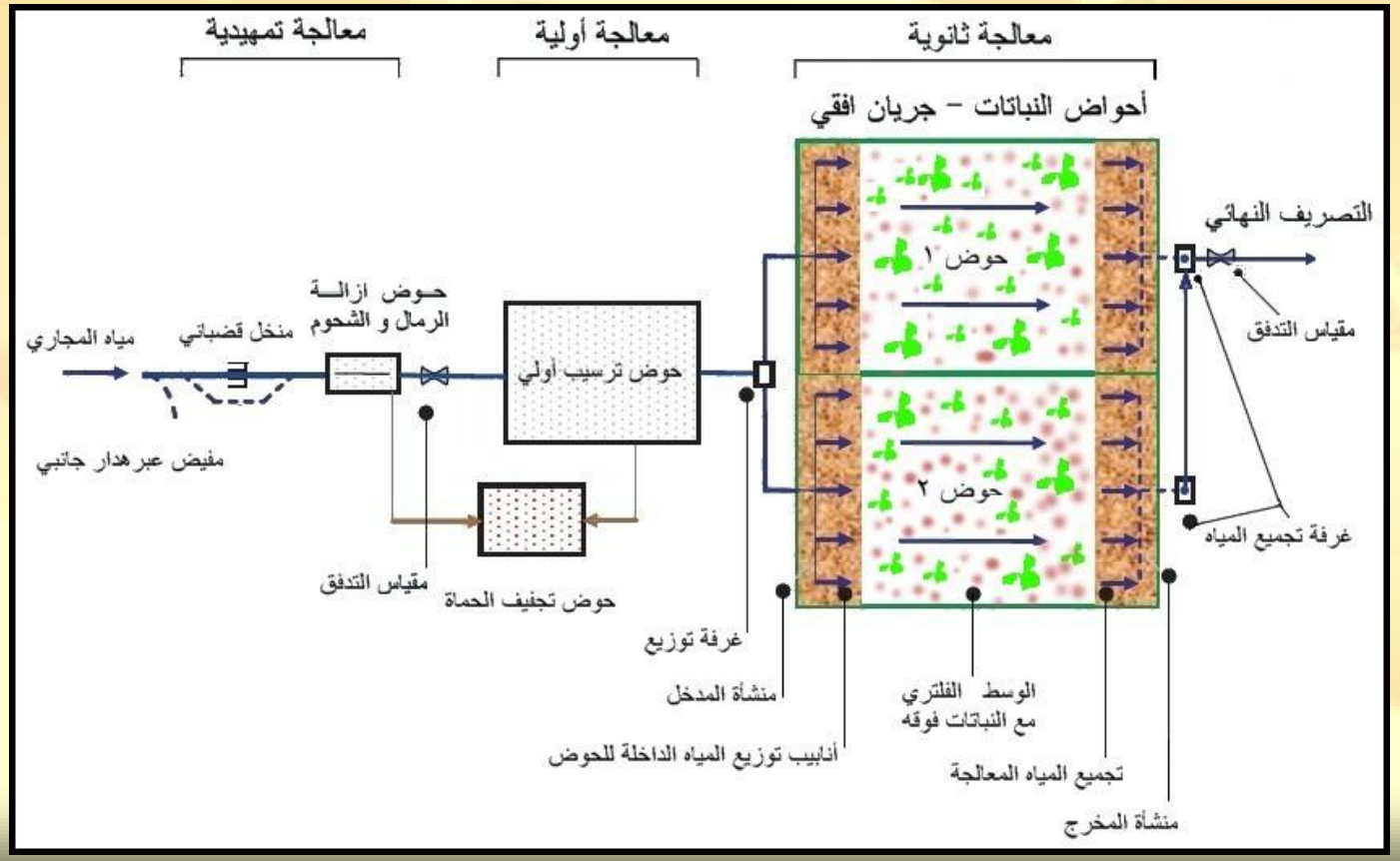
و على العموم فالجدول التالي يبين المؤشرات التصميمية الخاصة بهذه الأحواض للحصول على قيم BOD_5و SS أقل من ٢٠ ملغ/ل و نتروجين كلي أقل من ١٠ ملغ/ل و فوسفور كلي أقل من ٥ ملغ/ل .

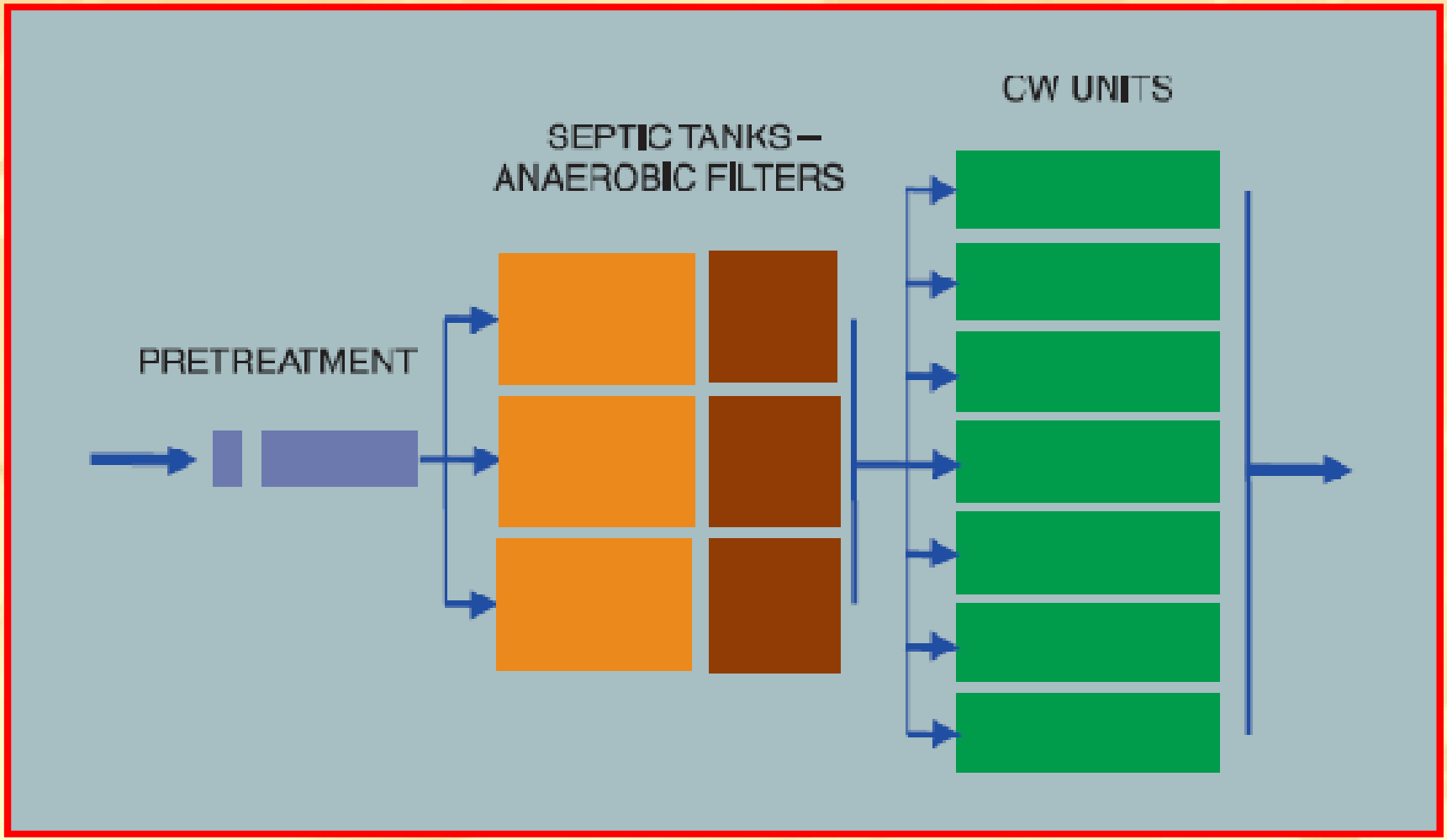
المؤشر	الواحدة	القيمة
زمن المكث لإزالة BOD_5	يوم	٢-٥
زمن المكث لإزالة النتروجين	يوم	٧-١٤
معدل التحميل العضوي	كغ BOD_5 /الهيكتار باليوم	أقل من ١١٠
عمق المياه	متر	حتى ٠.٥ متر
الفاصل الزمني بين فترتي حصاد	سنة	٣-٥
التناسب البعدي	نسبة الطول الى العرض	١ - ٢ حتى ٤ - ١
المساحة المطلوبة	م٢/م٣/يوم	٥-١٠
معدل التحميل الهيدروليكي	سم/يوم	٢.٥-١٢.٥

سادسا": أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الأفقي:
Subsurface Horizontal Flow Wetlands - HF

تتكون هذه الأحواض عادة من:

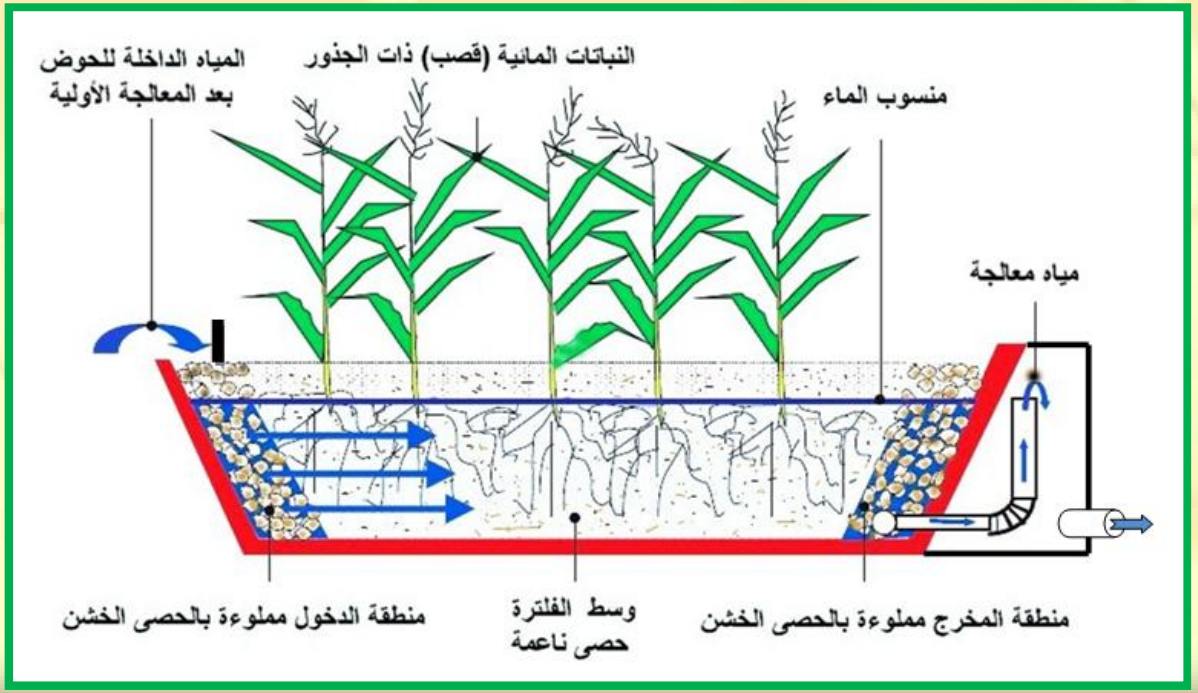
- حوض كتيم، مادة الوسط (Media) للفلتر (كالحصى)، النباتات المائية، المدخل و المخرج




CW UNITS
SEPTIC TANKS –
ANAEROBIC FILTERS
PRETREATMENT

هذا النوع من أحواض المعالجة بالنباتات يحوي وسط (ميديا) من الرمل الخشن أو الحصى (و هو الشائع) و تنمو على سطح الوسط نباتات مائية مثل القصب . ان أنظمة الجريان الأفقي (أحواض القصب) هي الأكثر ملائمة لمعالجة مياه المجاري الناتجة عن المعالجة الأولية (حوض تحليل ، حوض أمهوف .....) لأنه لا يوجد تداخل بين الماء و الهواء المحيط و هذه الحقيقة تعني أن هذه الأحواض آمنة بيئيا من وجهة نظر الحفاظ على الصحة العامة . فالمياه يجب أن تبقى دائما أخفض من سطح الوسط الحصوي أو الرملي . و لذلك فان هذه الأنظمة مناسبة جدا للمعالجة بالمكان .

أول استخدام لهذه التكنولوجيا ظهر في ألمانيا في عام ١٩٦٠ بينما اعتمدت هذه الأحواض لمعالجة الأماكن و القرى المنعزلة منذ سنة ١٩٨٠تقريبا".



هذا النوع من الأنظمة ذات الجريان الأفقي فعالة بشكل خاص في:

- إزالة المواد الصلبة المعلقة (SS)
- إزالة المواد العضوية (BOD_5)
- إزالة العوامل الممرضة
- إزالة النترجة (anoxic)، بينما عملية النترجة تكون محدودة جدا .

آليات الإزالة الرئيسية للملوثات ضمن أحواض النباتات ذات الجريان الأفقي تحت السطحي و معدل الإزالة الممكنة

المكونات	آلية الإزالة الرئيسية	فاعلية الإزالة
المواد العضوية	التحلل البيولوجي	٨٠-٩٠ %
المواد الصلبة المعلقة	الترسيب الفيزيائي، الفلترة الفيزيائية و التحلل البيولوجي	٨٠-٩٠ %
النتروجين	النترجة و ازالة النترجة البيولوجية	٢٠-٤٠ %
الفوسفور	عمليات الامتصاص الفيزئائية و الكيميائية ضمن وسط الفلتر	٢٠ %
العوامل الممرضة	الافتراس البيولوجي و الموت الطبيعي و عمليات الترسيب و الفلترة الفيزيائية	✓ T. coliforms : 90-99.9 % ✓ Helminth eggs: up to 99.9 %

- تكون هذه الأحواض قليلة العمق و مملوءة بالأوساط الحصوية أو بالرمال الخشنة. يجب أن تختار أحجام الوسط الحصوي أو الرملي بعناية من أجل ضمان الحصول على هيدروليكية مناسبة و لذلك ضمن الشائع استخدام الحصى الخشن و الناعم أو الرمل الخشن مما يعطي مساحات واسعة تنمو عليها الطبقة البيولوجية المؤكسدة للملوثات (Biofilm).

- يجب أن تكون أرضية الحوض كتيمة لذلك فهي تفرش عادة بألواح من البولي ايتيلين عالي الكثافة الكتيم للماء أو بألواح من (PVC) .

- يتم الجريان الأفقي للمياه بحيث تكون أرضية الحوض مائلة بحدود ١ % تقريبا يتم تأمين الميلان عبر وضع طبقة من الرمل أسفل الأغطية العازلة لإعطاء الميل المناسب للأرضية .

- يتم الجريان أسفل سطح الوسط الحصوي أو الرملي مما يمنع انتشار الروائح و يمنع انتشار الحشرات .

إن المعايير التي تحكم تصميم حوض المعالجة بالنباتات تتلخص بالحمل الهيدروليكي السطحي و بمعدل حمولات المواد العضوية و المواد الصلبة المعلقة بالإضافة إلى نوع مادة الفلتر المستخدمة و التي ستحدد السعة الهيدروليكية للحوض.

Typical Media Characteristics for Subsurface Flow Wetlands

Media Type	Effective Size (D_{10}) (mm)	Porosity (n) (%)	Hydraulic Conductivity (k_s) (ft/d)
Coarse sand	2	28–32	328–3280
Gravelly sand	8	30–35	1640–16,400
Fine gravel	16	35–38	3280–32,800
Medium gravel	32	36–40	32,800–164,000
Coarse rock	128	38–45	164,000–820,000

Note: ft/d × 0.305 = m/d.

تصميم محطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الأفقي :

*** يتم أخذ المعالجة الأولية بعين الاعتبار من حيث تخفيض حمولات التلوث (BOD5 بحدود ٣٠ % و SS بحدود ٥٥%)**

*** من الناحية الهيدروليكية و حسب قانون دارسي نجد :**

$$v = Q/Wy$$

then

$$v = k_s s$$

$$Q = k_s A_c s$$

where

- v = Darcy's velocity, the apparent flow velocity through the entire cross-sectional area of the bed (ft/d; m/d).
- k_s = Hydraulic conductivity of a unit area of the wetland perpendicular to the flow direction ($ft^3/ft^2 \cdot d$; $m^3/m^2 \cdot d$).
- s = Hydraulic gradient, or slope, of the water surface in the flow system (ft/ft; m/m).
- Q = Average flow through the wetland (ft^3/d; m^3/d) = $[Q_{in} + Q_{out}]/2$.
- W = Width of the SSF wetland cell (ft; m).
- y = Average depth of water in the wetland (ft; m).
- A_c = Total cross-sectional area perpendicular to the flow (ft^2; m^2).

$$W = (1/y)[(Q_A)(A_s)/(m)(k_s)]^{0.5}$$

where

W = Width of the SSF wetland cell (ft; m).

y = Average depth of water in the wetland (ft; m).

Q_A = Average flow through the wetland (ft^3/d; m^3/d).

A_s = Design surface area of the wetland (ft^2; m^2).

m = Portion of available hydraulic gradient used to provide the necessary head, as a decimal. typically ranges from 5 to 20% of the head available

k_s = Hydraulic conductivity of the media used ($ft^3/ft^2/d$; $m^3/m^2/d$).

* من ناحية إزالة المواد العضوية (BOD5) نجد :

$$A_s = Q(\ln C_0 - \ln C_e)/K_T(y)(n)$$

where

A_s = Wetland surface area (ac; m^2).
Q = Average design flow (ac-ft/d; m^3/d).
C_0 = Influent BOD concentration (mg/L).
C_e = Effluent BOD concentration (mg/L).
K_T = Rate constant = 1.1 d^{-1} at 20°C.
y = Design depth (ft; m).
n = Porosity of media

The temperature of the wastewater will affect the rate constant according to Equation 7.14:

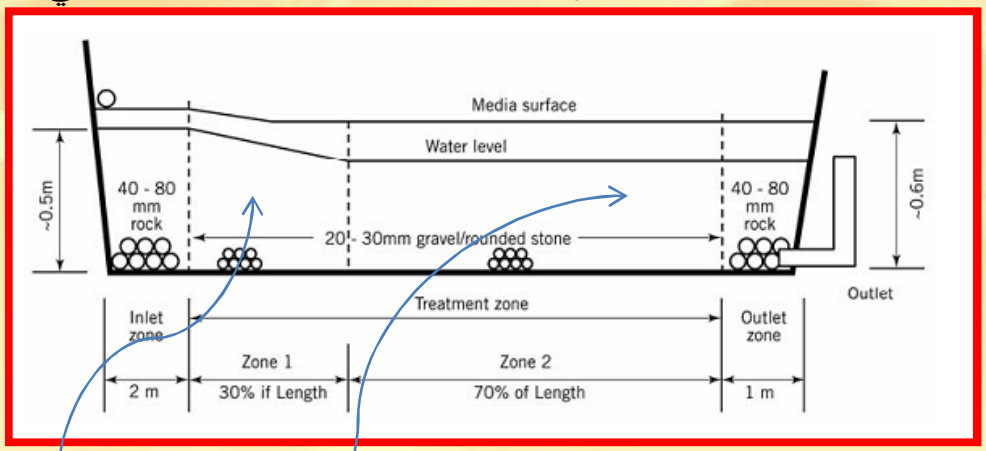
$$K_T = K_{20}(1.06)^{(T-20)}$$

where

K_T = Rate constant at temperature T.
K_{20} = 1.1 d^{-1}.
T = Wastewater temperature (°C).

* طريقة أخرى لتصميم حوض بجريان أفقي تبعا" لإزالة BOD_5 و TSS :

تقوم هذه الطريقة على اعتبار أول ٣٠ % من طول الحوض كمرحلة معالجة أولية و الطول الباقي كمرحلة معالجة ثانوية. .



أ – تحديد المساحة السطحية :

$$A_S = \frac{Q * C_0}{ALR}$$

$A_{S\,i}$

A_{Sf}

حيث :

Q: التدفق m^3/day

C_0 :تركيز BOD_5 الداخل mg/l

ALR: معدل التحميل (من أجل إزالة BOD_5 يؤخذ $6\ gr/m^2$ و من أجل TSS يؤخذ $20gr/m^2$).

A_S : المساحة المطلوبة m2

نحسب المساحة اللازمة لإزالة المواد العضوية و المساحة اللازمة لإزالة المواد الصلبة المعلقة و نختار الأكبر و بالتالي تكون هي المساحة الدنيا المطلوبة.

ب - تحديد العرض W:

اختيار العرض المناسب للحوض مهم جداً من أجل المحافظة على منسوب المياه ضمن الحوض أخفض من السطح و باستخدام علاقة دارسي نجد:

$$Q = (Ki)*(W)*(D_{W0})*\left(\frac{dhi}{Li}\right)$$

حيث:

L_i: طول مرحلة المعالجة الاولية m و يساوي: $Li = \frac{A_{Si}}{W}$ بالتعويض بالمعادلة السابقة مع التعديل نجد:

$$W^2 = \frac{(Q)*(A_{Si})}{(Ki)*(dh_i)*(D_{W0})}$$

dhi : الضياعات الكلية المسموحة ضمن مرحلة المعالجة الأولى و تفرض 0.06m

D_{W0}: عمق المياه التصميمي عند المدخل m.

K_i: معامل الناقلية الهيدروليكية m/d و يتبع ميديا الحوض (يؤخذ من الجدول)

قيمة العرض الناتجة هي القيمة الدنيا المقبولة و منها نحسب **طول الحوض الكلي** و عادة ما يكون العرض أكبر من الطول

اعتبارات أساسية:

- إن مستوى الماء ضمن هذه الحوض يحافظ عليه دائما" ليكون اخفض من سطح الحوض (مادة الفلتـــر) ببضـــعة سنتميترات و ذلك عبر ضبط منسوب فوهة أنبوب المخرج (الجزء الشاقولي من انبوب المخـــرج) بحيـــث تكـــون أخفض من السطح الوسط الحصوي ببضعة سنتمرات (حوالي ١٠-٢٠ سم).

- يتم استخدام الرمل الخشن او الحصى بأنواعه كمادة للفلتر ضمن الحوض. ان اختيار نوع و حجم مكونات الفلتر يعتمد على الناقلية الهيدروليكية المختارة و على مسامية الوسط و العوامل الفيزيائية المرافقة لمرور مياه المجـــاري المعالجة أوليا" عبر الحوض. إن اختيار مادة الفلتر يعتبرا" أمرا" بالغ الأهمية لنجاح عمل حوض المعالجة بالنباتات.

- لقد أظهرت بعض التجارب الدولية ان الانسداد بمادة الفلتر يحصل بالقسم الأول للحوض بعـــد منطقـــة التوزيـــع مباشرة و ان الفترة التقريبية **لبداية ظهور الانسدادات تحتاج الى عامين** حيث تبدأ المياه بالجريـــان علـــى ســـطح الحوض و لذلك ينصح باستبدال منطقة الانسداد أو اخذ ذلك بعين الاعتبار أثناء التصميم بحيث يتم اختيـــار ارتفـــاع قليل للمياه ضمن الحوض و بجعل امتداد منطقة الدخول الحاوية على الحجارة أو الحصى الكبيرة حتى أربعة امتار بحيث تتم إطالة المدة المتوقعة لظهور الانسدادات. و

- كلما كانت المعالجة الأولية فعالة كلما كانت فترة ظهور الانسدادات ضمن الحوض طويلة الأمد.

- إن وجود **منشآت المدخل و المخرج** في هذه الأحواض يكون ضروريا لتوزيع و تجميع المياه. إن دخـــول المياه الى الاحواض يتم عبر أقنية أو عبر انابيب ذات موزعات متوضعة على عرض المدخل. و يجـــب أن تتضمن منشآت المدخل و المخرج وجود كميات من الحجارة و الحصويات الكبيرة.

- يتم اعادة تجميع المياه في منشآة المخرج حيث يتواجد انبوب تصرف في نهاية الحوض. الانبوب الخـــارج من الحوض تكون نهايته شاقولية كما يظهر من بالشكل و بحيث يكون ارتفاعه أخفض من سطح مـــادة فلتـــر الحوض بمقدار معين لضمان بقاء المياه اخفض من سطح الحوض.

-المساحة المطلوبة: في المناطق الاستوائية و شبه الحارة تكون المساحة المطلوبة بمقدار **١.٥ متر مربع للشخص**. و هذا ليس معيارا" فبأخذ العوامل التي تتحكم بالمساحة المذكورة سابقا" يمكن ان تصل المساحة الى **٣-٥ متر مربع للشخص**. كما أن مساحة اضافية تلزم لساحات تجفيف الحمأة و لبقية منشآت المحطة و ملحقاتها.

- عادة ما تنفذ منشأة المدخل و وحدات المعالجة الأولية من البيتون المسلح، بينما يتم استخدام الغضار المرصوص لجعل أرضية الحوض كتيمة و بحال تعذر ذلك يتم اللجوء إلى **ألواح البولي ايتيلين عالي الكثافة مع الجيوتكستايل**.

•الكلفة:

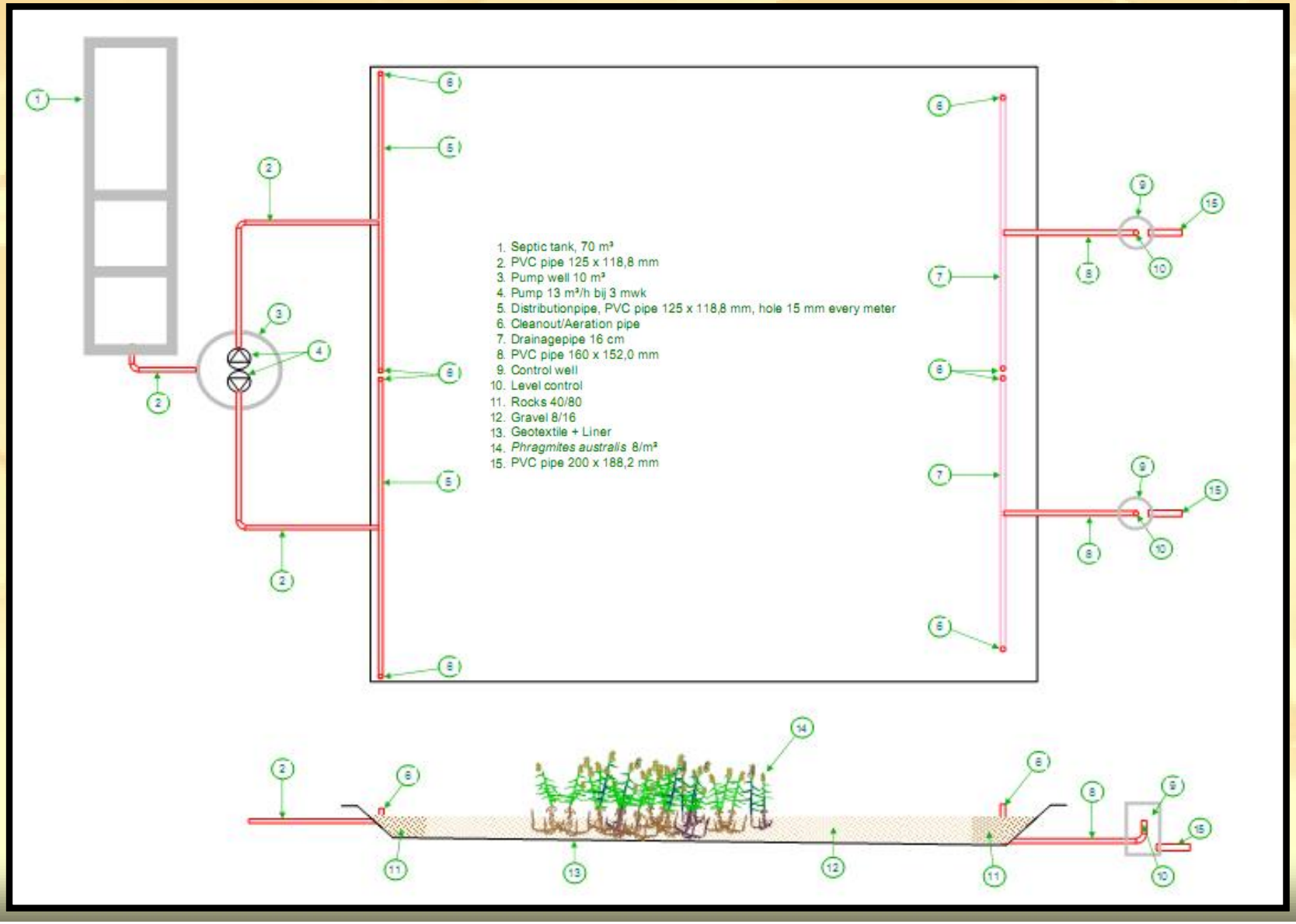
تقدر **كلفة رأس المال** (Capital Cost) لمحطة معالجة بالنباتات ذات الأحواض ذات الجريان الأفقي تخـــدم ***ألـــف نسمة*** بحدود ٤٠ – ١٠٠ ***دولار أمريكي للشخص الواحد*** بما في ذلك تكاليف المعالجة التمهيدية و الأوليـــة و ذلـــك حسب آخر الدراسات (٢٠٠٨) في دول أمريكا اللاتينية و ذلك تبعا" لتكاليف المواد و الأرض اللازمة و وسط الفلتر، ...الخ. كما تبلغ **كلفة التشغيل و الصيانة** خمسة دولارات أمريكية للشخص الواحد بالسنة بالنسبة لتجمع مـــن ألـــف نسمة و دولاران أمريكيان بالنسبة لتجمع من ثلاثة آلاف نسمة.

Table 3.3 **SSHF Constructed Wetlands for Domestic and Municipal Wastewater Treatment in Central America**

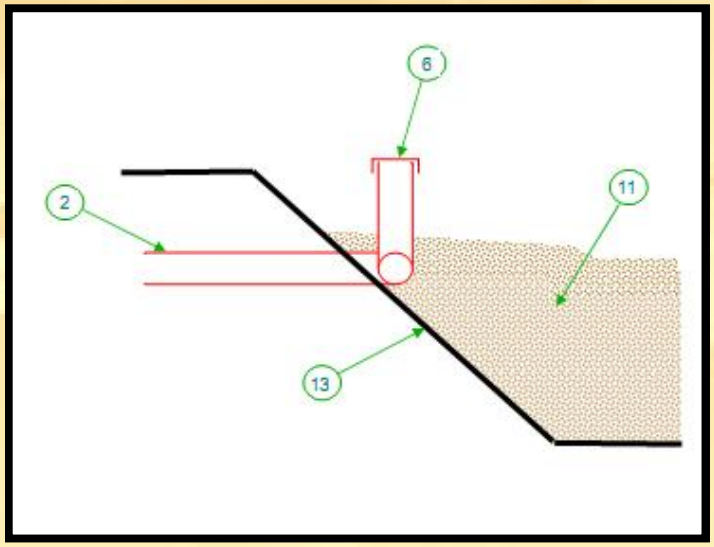
Treatment plant	Location	Start-up date	Design flow (m^3/day)	Design capacity (persons)	Specific surface area (m^2/person)	Investment costs (US$)	Unit costs (US$/person)	Management
Family house	Managua (N)	2000	1	6	2.0	1,650	275	Owner
Hospital, Masachapa	S. Rafael del Sur (N)	2001	7.2	72	1.8	7,400	103	Hospital staff
Salinas Grandes	León (N)	2002	30 (grey water)	300	1.1	24,400	81	Community
Los Sabogales	Masaya (N)	2006	160	846	1.1	50,000	59	NGO
Pilot plant	Masaya (N)	1996	100	1,000	1.3	42,000	42	Operator: university
San José Las Flores	Chalatenango (ES)	2000	180	1,365	1.5	68,500	50	Community
Masatepe	Masaya (N)	2002	220	2,200	1.2	126,000	57	Utility
La Providencia	León (N)	2000	418	2,780	1.2	116,000	42	Municipality
Teupasenti	Danlí (H)	2001	365	2,800	1.5	92,000	33	Community
Chichigalpa	Chinandega (N)	2005	910	8,750	1.3	400,000	46	Utility

Source of data: Proyecto Astec (2005).
Note: N = Nicaragua; ES = El Salvador; H = Honduras.

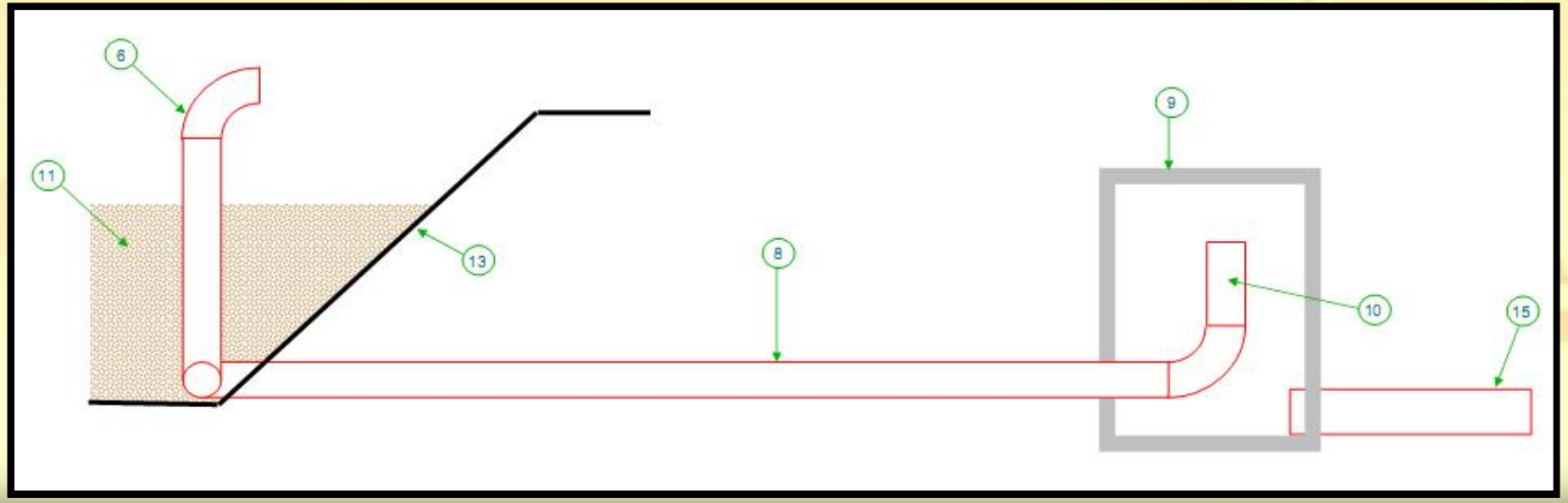
مساقط و تفاصيل محطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الأفقي

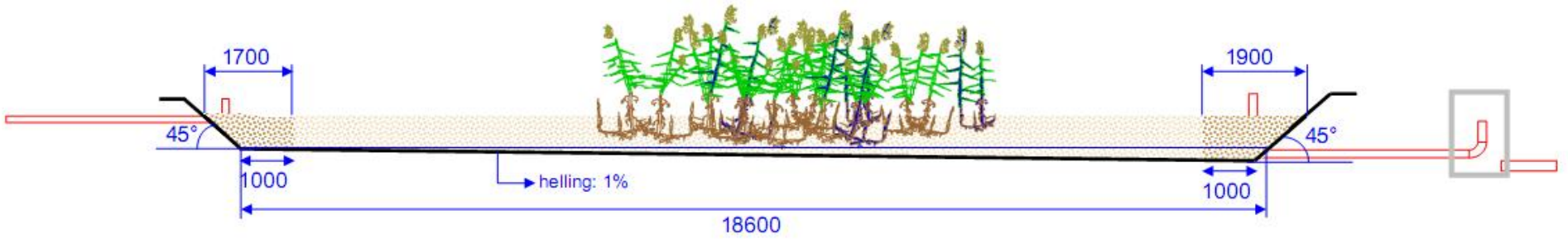


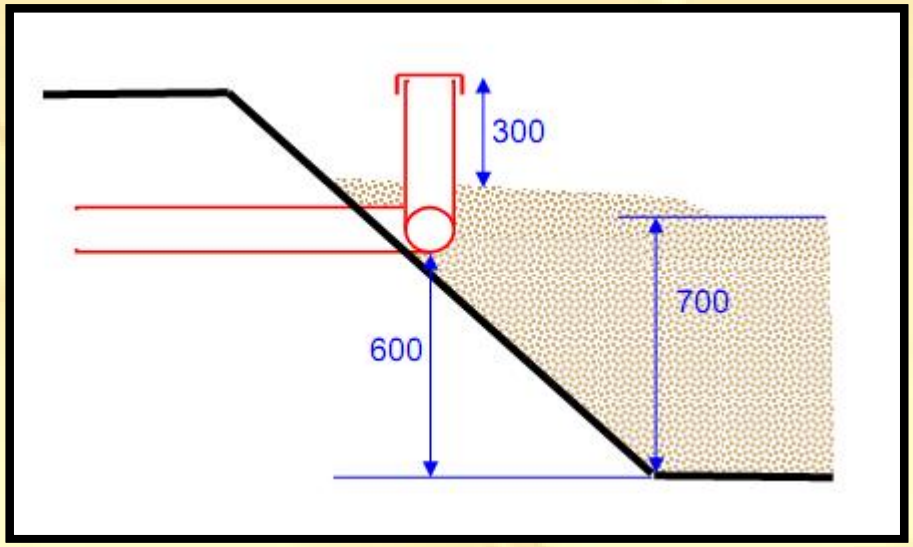
مساقط و تفاصيل محطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الأفقي

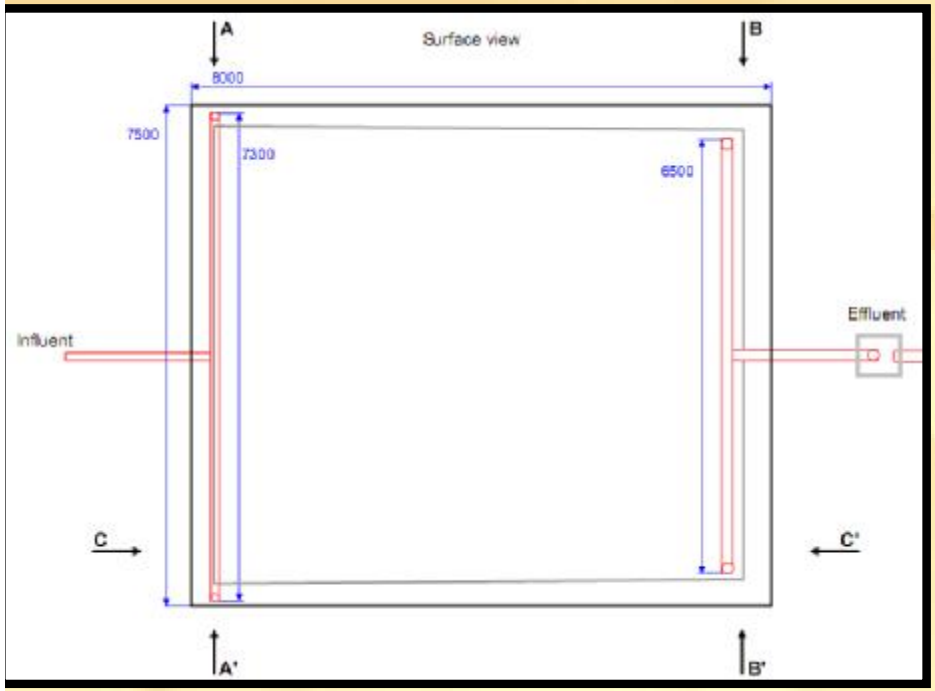


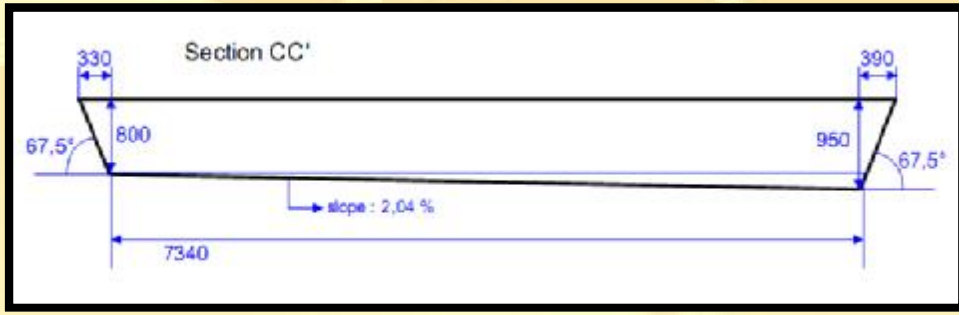
1. Septic tank, 70 m³
2. PVC pipe 125 x 118,8 mm
3. Pump well 10 m³
4. Pump 13 m³/h bij 3 mwk
5. Distributionpipe, PVC pipe 125 x 118,8 mm, hole 15 mm every meter
6. Cleanout/Aeration pipe
7. Drainagepipe 16 cm
8. PVC pipe 160 x 152,0 mm
9. Control well
10. Level control
11. Rocks 40/80
12. Gravel 8/16
13. Geotextile + Liner
14. *Phragmites australis* 8/m²
15. PVC pipe 200 x 188,2 mm

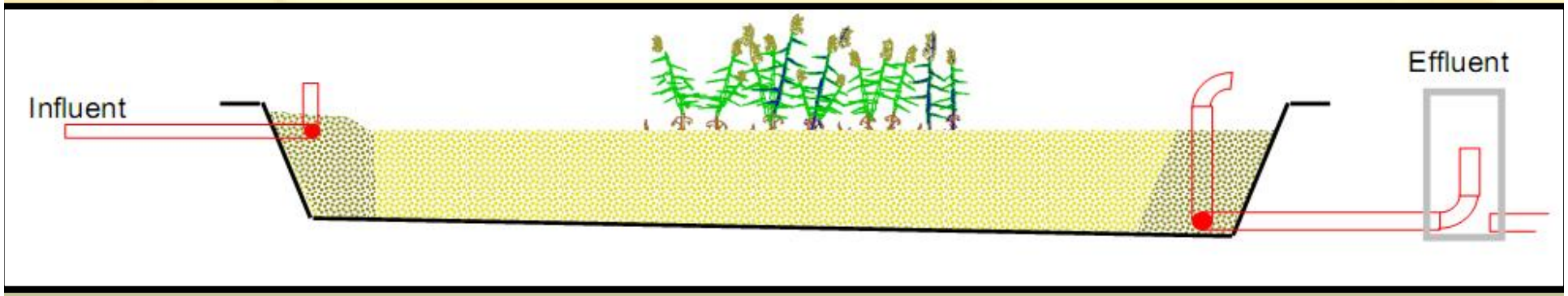


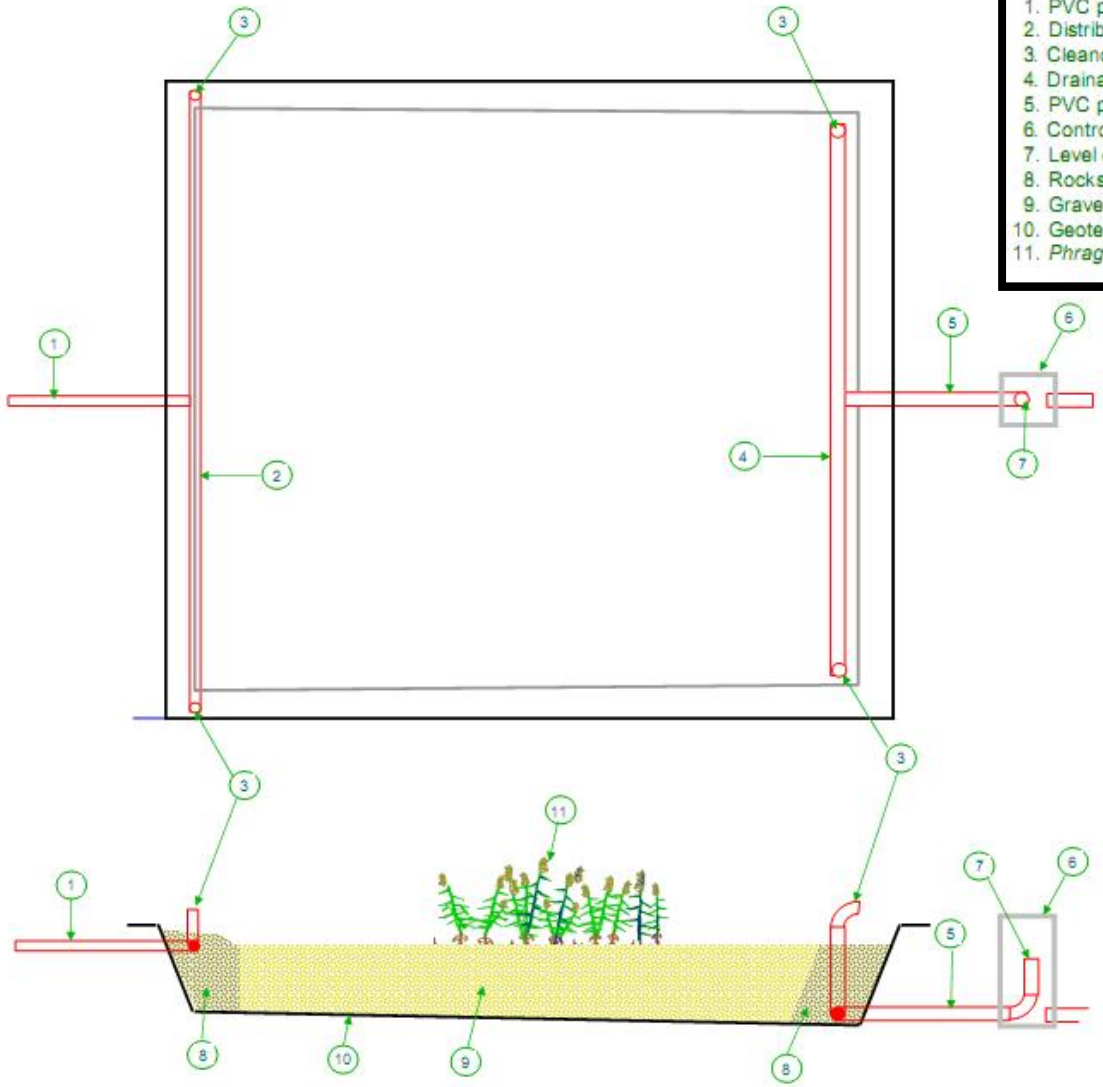

1700
1900
45°
45°
1000
helling: 1%
1000
18600


300
700
600

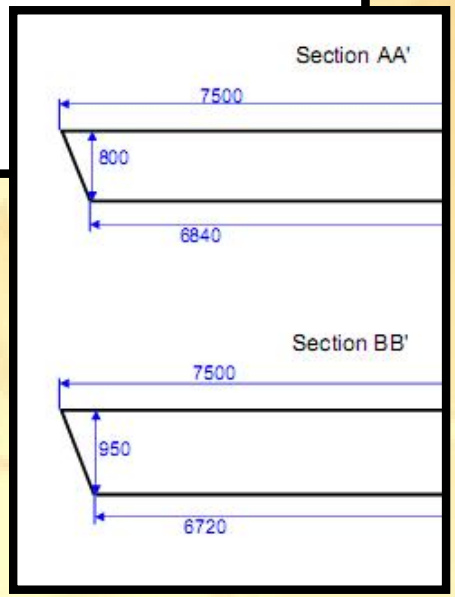

A
Surface view
B
8000
7500
7300
6500
Effluent
Influent
C
C'
A'
B'

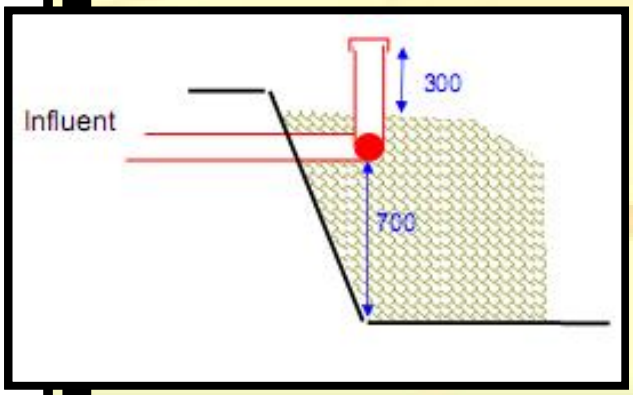

Section CC'
330
390
67,5°
800
950
67,5°
slope : 2,04 %
7340


Influent
Effluent



1. PVC pipe 125 x 118,8 mm
2. Distributionpipe, PVC pipe 125 x 118,8 mm, hole 15 mm every meter
3. Cleanout / Aeration pipe
4. Drainagepipe 16 cm
5. PVC pipe 160 x 152,0 mm
6. Control well
7. Level control
8. Rocks 40/80
9. Gravel 8/16
10. Geotextile + Liner
11. *Phragmites australis* 8/m²





1. PVC pipe 125 x 118,8 mm

18 11 2008

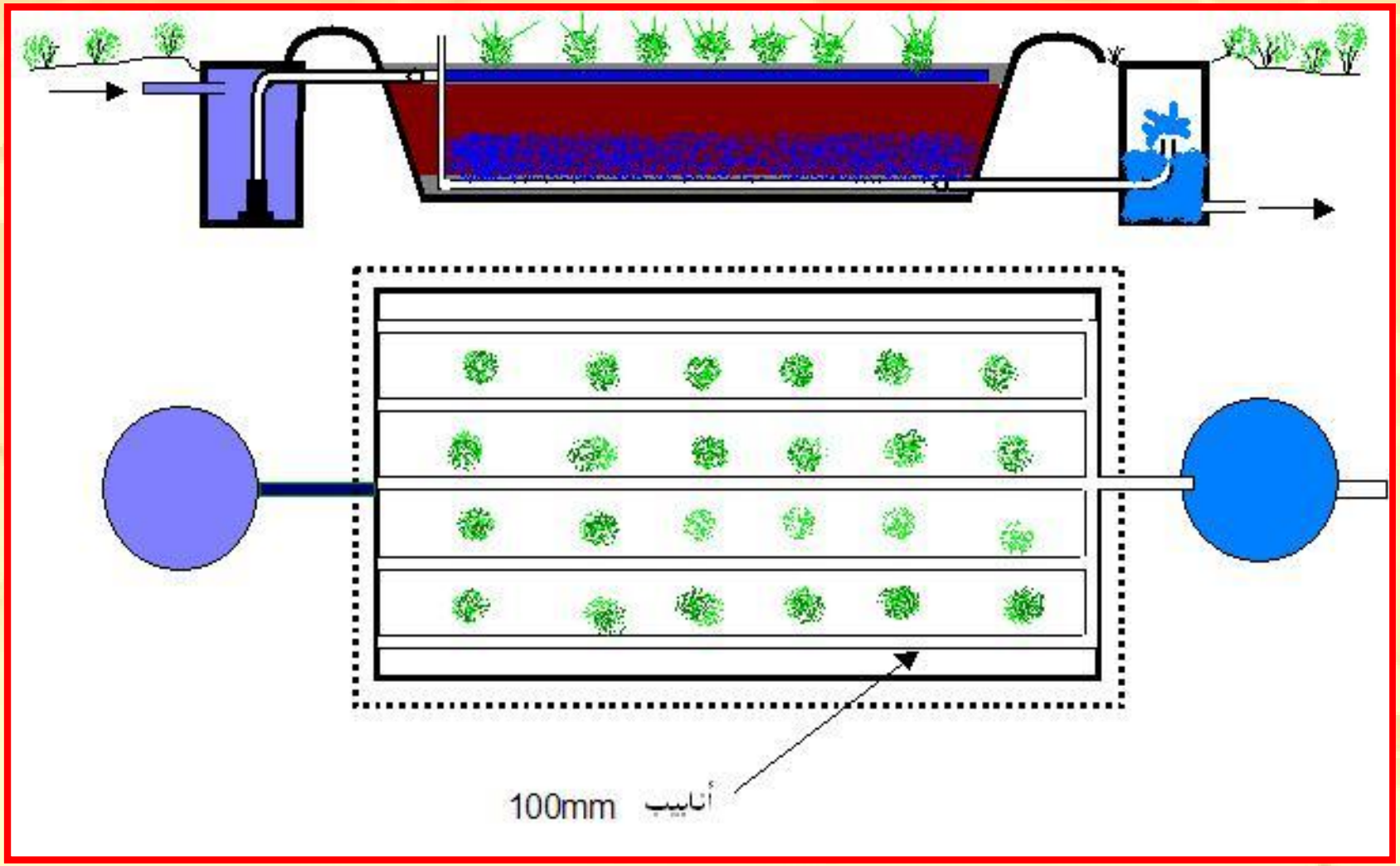
سابعا": أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي
Subsurface Vertical Flow Wetlands - VF

لقد جاءت هذه الأحواض **كبديل متطور عن الأحواض ذات الجريان تحت السطحي الأفقي** و خاصة بعد تشدد المعايير الأوربية في القيمة المسموح بصرفها مع المياه المعالجة من **نتروجين الأمونيا** (NH4). إن هذه الأحواض تتميز **بإتمامها لعملية النترجة ضمنها عبر التشغيل المتقطع** و عبر ارتفاع الأحواض المنخفض. كما أن هذه **الأحواض تستخدم بمرحلة منفصلة لتجفيف و تثبيت الحمأة الأولية** الناتجة عن مرحلة المعالجة الأولية لمياه المجاري.

إن أحواض القصب ذات الجريان الشاقولي تصمم بحيث تمر المياه (المعالجة بشكل أولي) المراد معالجتها عبر الضخ من أعلى السطح بواسطة شبكة أنابيب مثقبة إلى أسفل الحوض عبر الوسط الحصوي أو الرملي أو الوسط الخليط . يتم جمع المياه المعالجة عبر شبكة أنابيب سفلية للتصريف أو عبر طرق أخرى . و تتم **تغذية الحوض بشكل متقطع** بحيث أن الفرغات بين الوسط الرملي أو الحصوي في فترة الراحة تعود و تمتلئ بالهواء و لذلك فان الأكسجين اللازم لعملية النترجة يكون متوفرا أو تحصل عملية النترجة بشكل كامل ضمن هذه الأحواض.

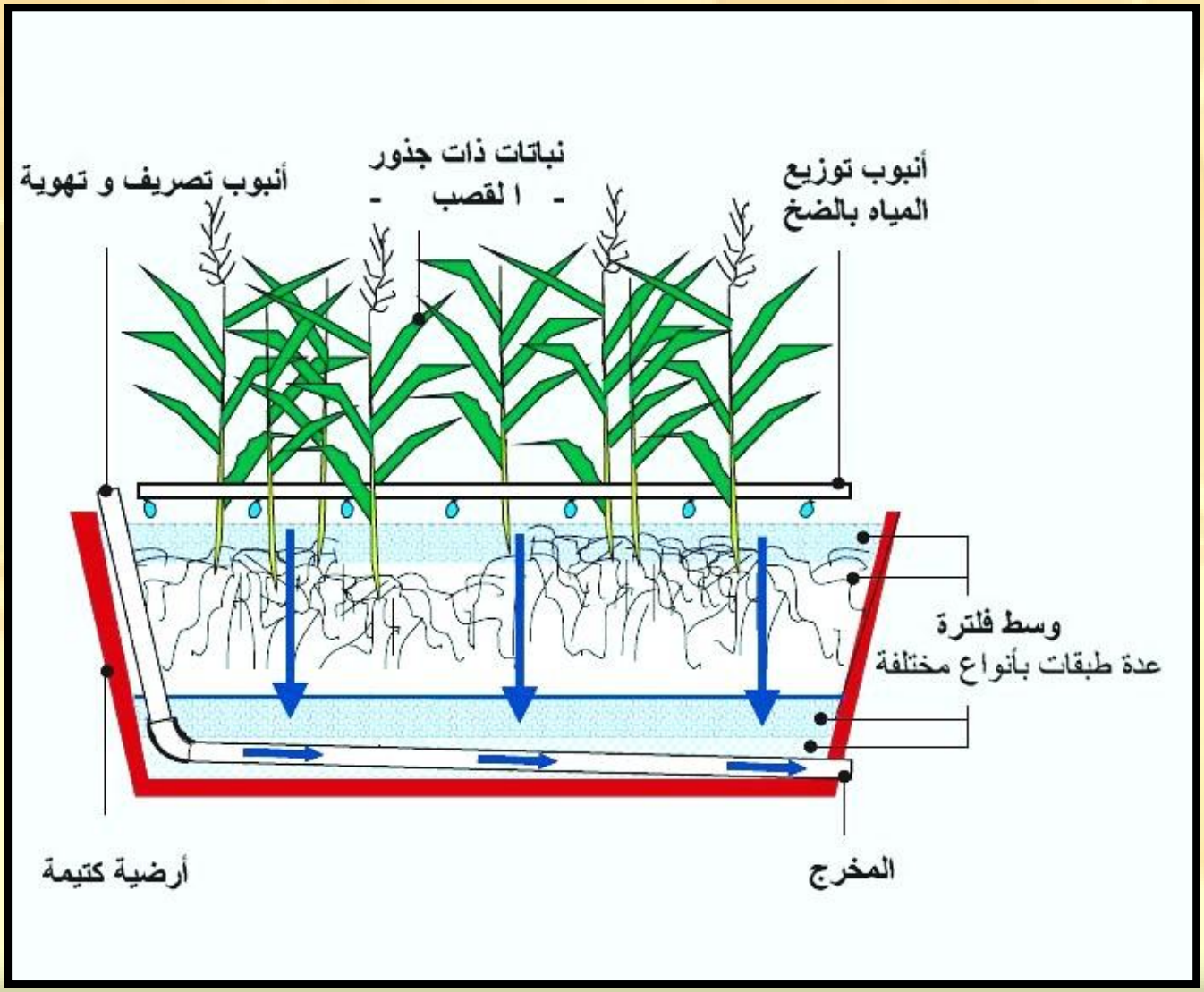
ان جزءا بسيطا من النترات يتم تحويله إلى غاز النتروجين ضمن الظروف الأنوكسية (anoxic) النادرة . و إذا كان المطلوب إزالة النترجة فان هذا يمكن تأمينه عبر تدوير المياه الخارجة من هذا الحوض (جزئيا) و إرجاعها إلى حوض التحليل .

مساقط توضيحية لمحطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي



مساقط توضيحية لمحطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي

مساقط توضيحية لمحطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي

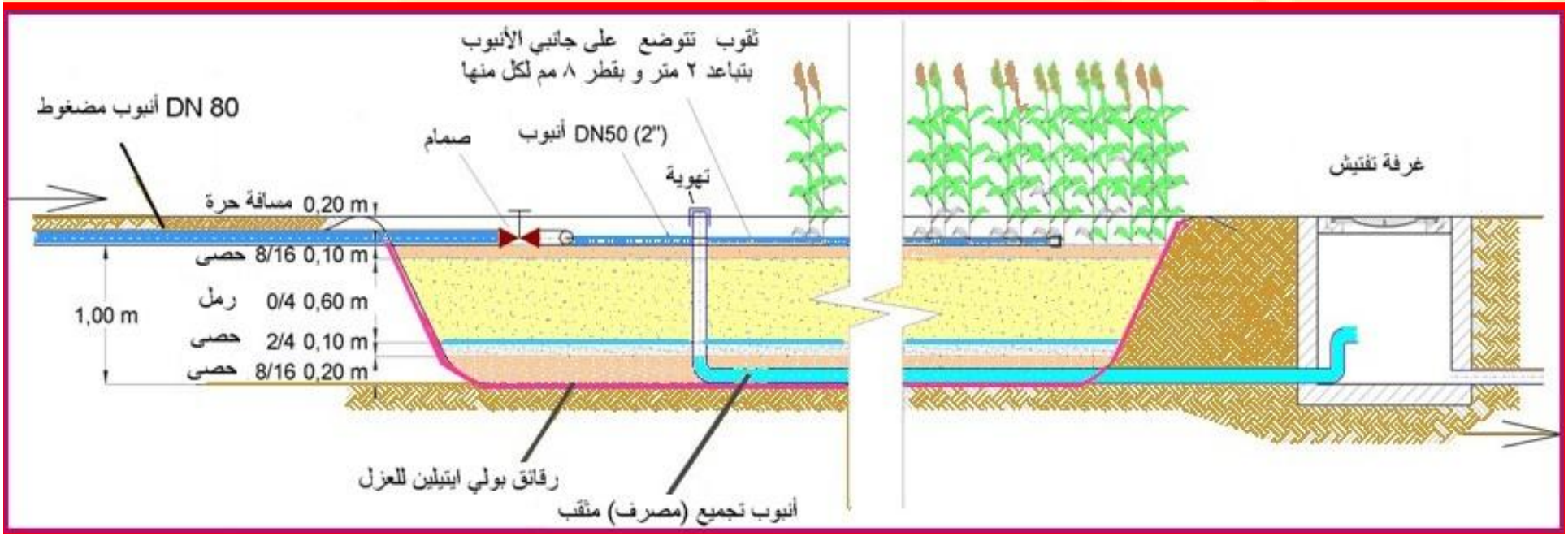


مقطع تفصيلي لمحطة معالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي

يجب أن تكون أرضية الحوض كتيمة ضد الترسبات و ذلك عبر فرش الأرضية برقائق من البولي الايتيلين عالي الكثافة (HDPE) أو عبر استخدام رقائق PVC أو حتى الغضار الكتيم . و يمكن الحفاظ على منسوب المياه بحيث يبلغ ارتفاعه من ٥-١٠ سم اعتبارا من أرضية الحوض و هذا يعني أن الحوض سيكون بمعظمه خاليا من المياه بعد فترة الترجيع .

يجب أن تكون **سماكة الرمل على الأقل بين ٣٠-٦٠ سم** و تعلوها طبقة حصى كما أن شبكة تجميع لمياه المعالجة تكون محاطة بالحصى لمنع انسدادها بالرمل . **إن تهوية الطبقة السفلية يحسن أداء المعالجة و لذلك يتم وصل أنابيب الدريناج الأفقية بأنابيب قصيرة شاقولية مفتوحة على الهواء الخارجي .**

إن العمق الوسطي للأحواض ذات الجريان الشاقولي يتراوح بين ٠.٩-١ متر .



* تصميم أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي : VF

يتم حساب مساحة أحواض المعالجة بالنباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي من العلاقة التالية :

$$A_S = \frac{Q[\ln(Co/Ce)]}{k_t.d.n}$$

Q: التدفق m3/day

حيث :

A_S : مساحة الحوض (متر مربع)

C_O: BOD_S الداخل للحوض mg/l

C_e : BOD_S الخارج من الحوض mg/l

K_t : ثابت درجة الحرارة (١/ يوم) و يحسب من العلاقة

$$k_t = K_{20}.q^{(T-20)}$$

D : عمق الماء ضمن الحوض (متر)

N : معامل المسامية و يؤخذ من الجدول حسب نوع الوسط الحصوي أو الرملي

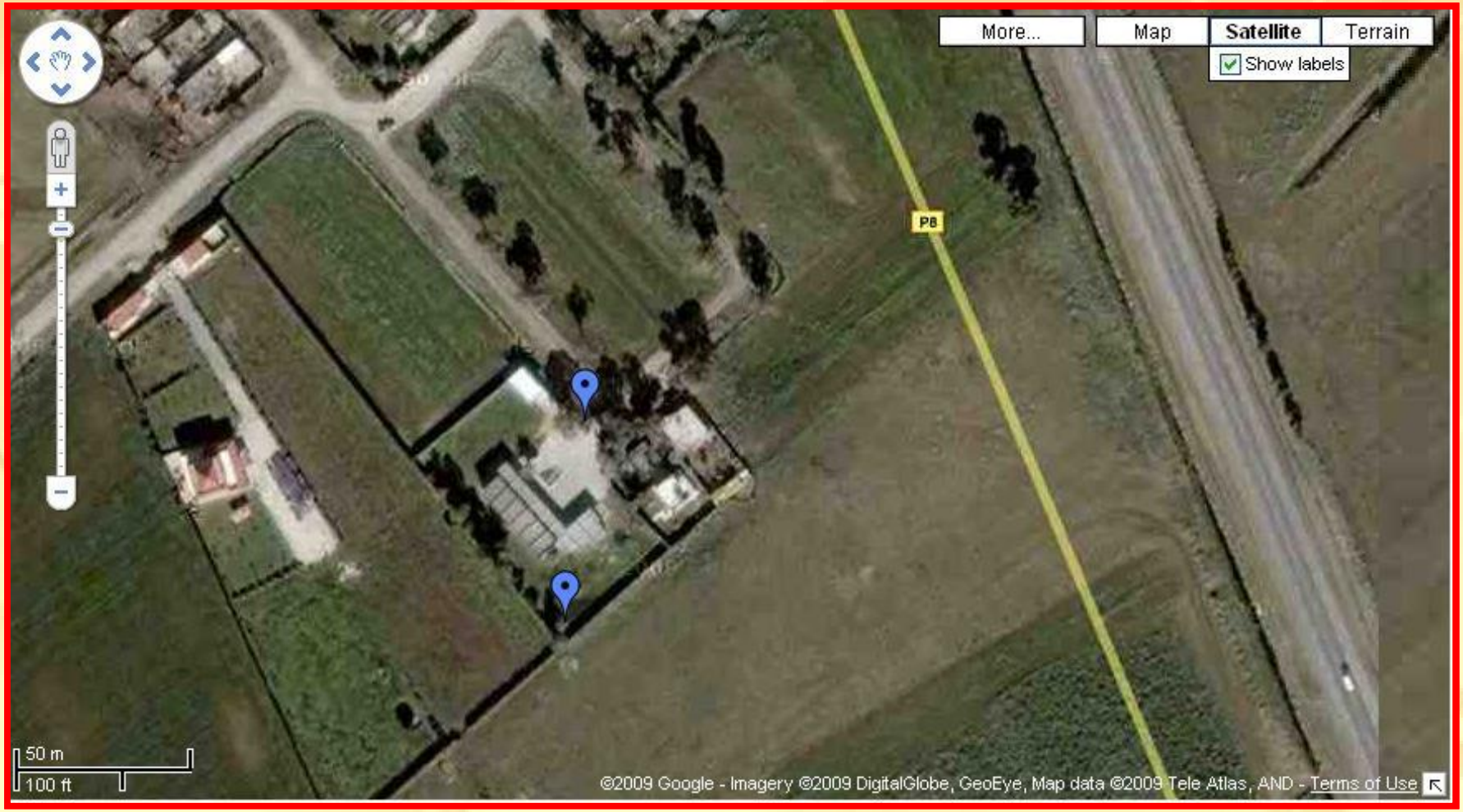
T : درجة حرارة الموقع (درجة مئوية)

بالنسبة الى حساب المعامل K_t فان k_{20} يؤخذ ١.١٠٤ و المعامل q يؤخذ ١.٠٦ بحيث تصبح المعامل $[k_t = 1.104.1.06^{(T-20)}]$

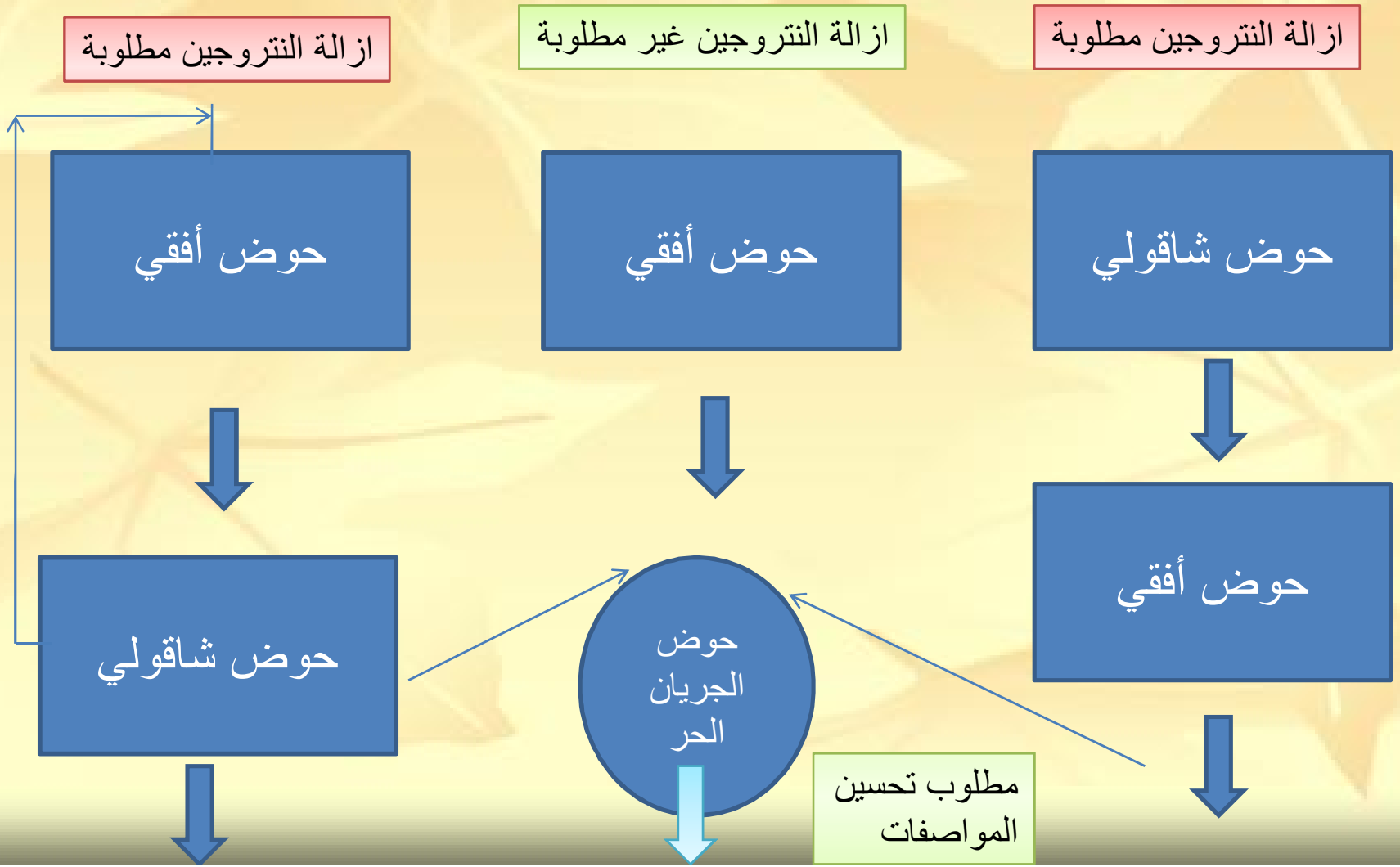
جدول اختيار قيمة معامل المسامية (n) حسب الوسط المستخدم بالحوض

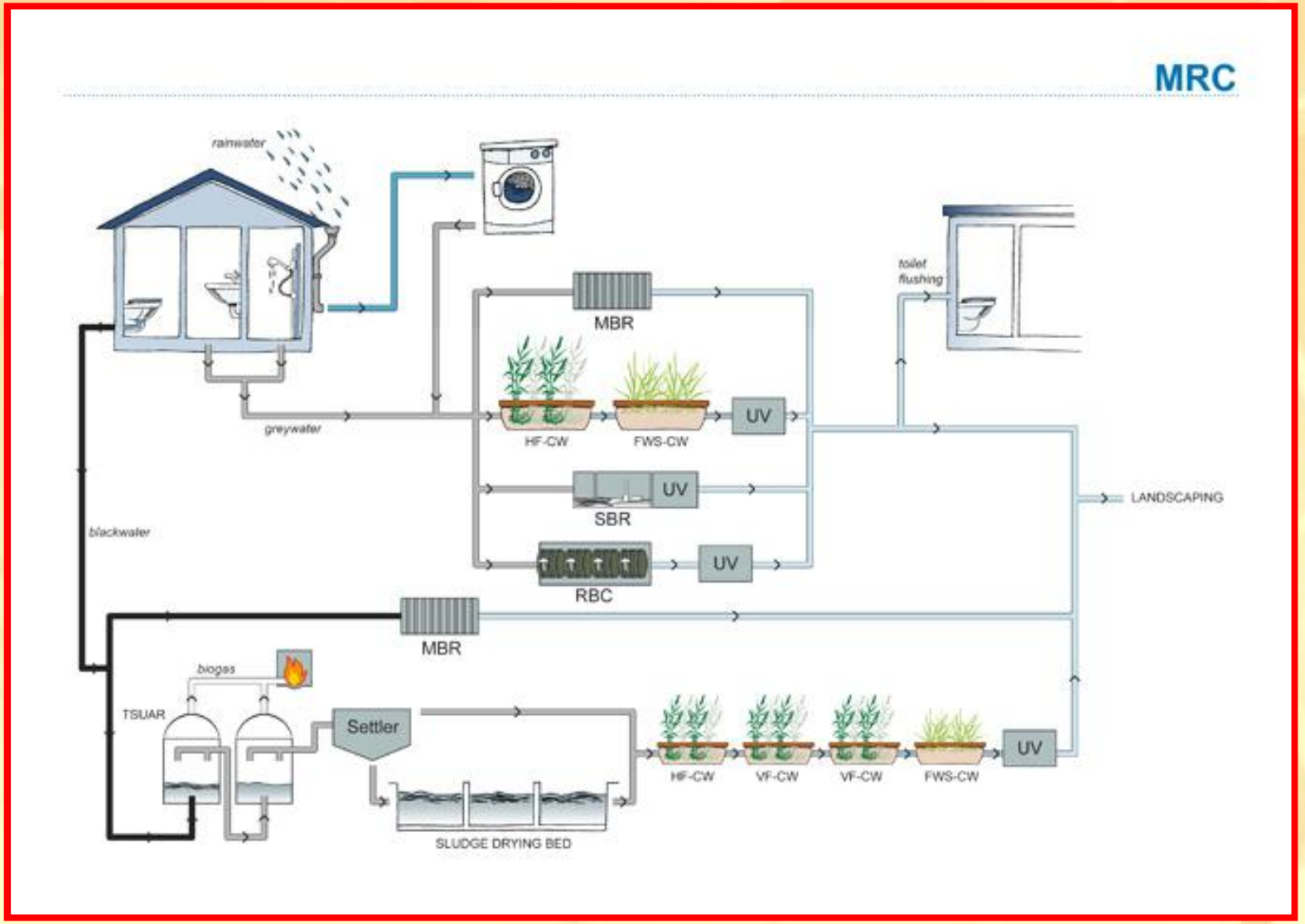
نوع الوسط	البعد الفعال D_{10}mm	N % المسامية	K_s الناقلية الهيدروليكية م^3/م^2/يوم
رمل خشن	٢	٣٢	١٠٠٠
رمل حبيبي على شكل حصويات صغيرة	٨	٣٨	٥٠٠٠
حصى ناعم	١٦	٣٨	٧٥٠٠
حصى متوسط	٣٢	٤٠	١٠٠٠٠
حصى خشن	١٢٨	٤٥	١٠٠٠٠٠

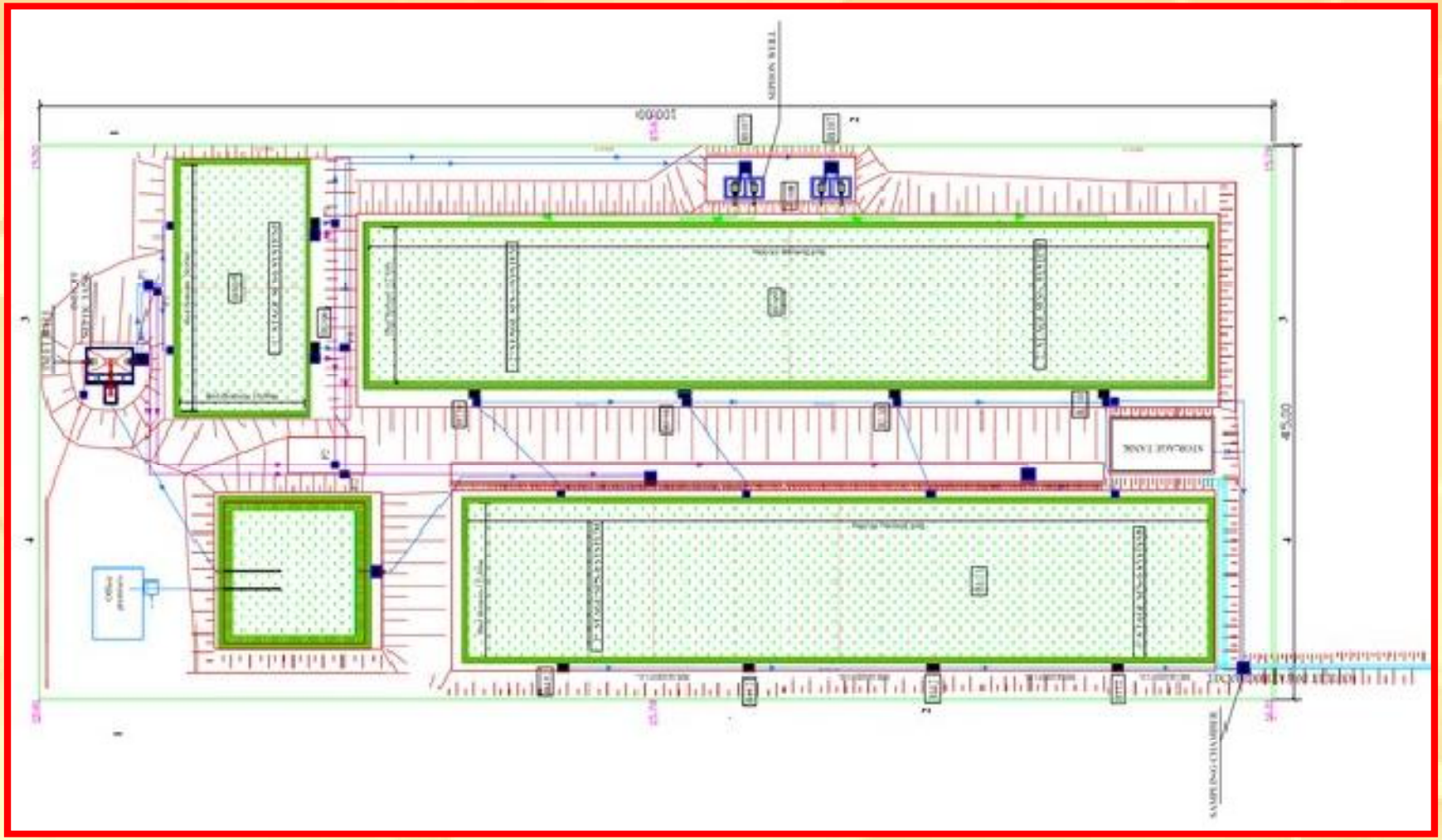
19 11 2008


More...
Map
Satellite
Terrain
Show labels
P8
50 m
100 ft
©2009 Google - Imagery ©2009 DigitalGlobe, GeoEye, Map data ©2009 Tele Atlas, AND - Terms of Use

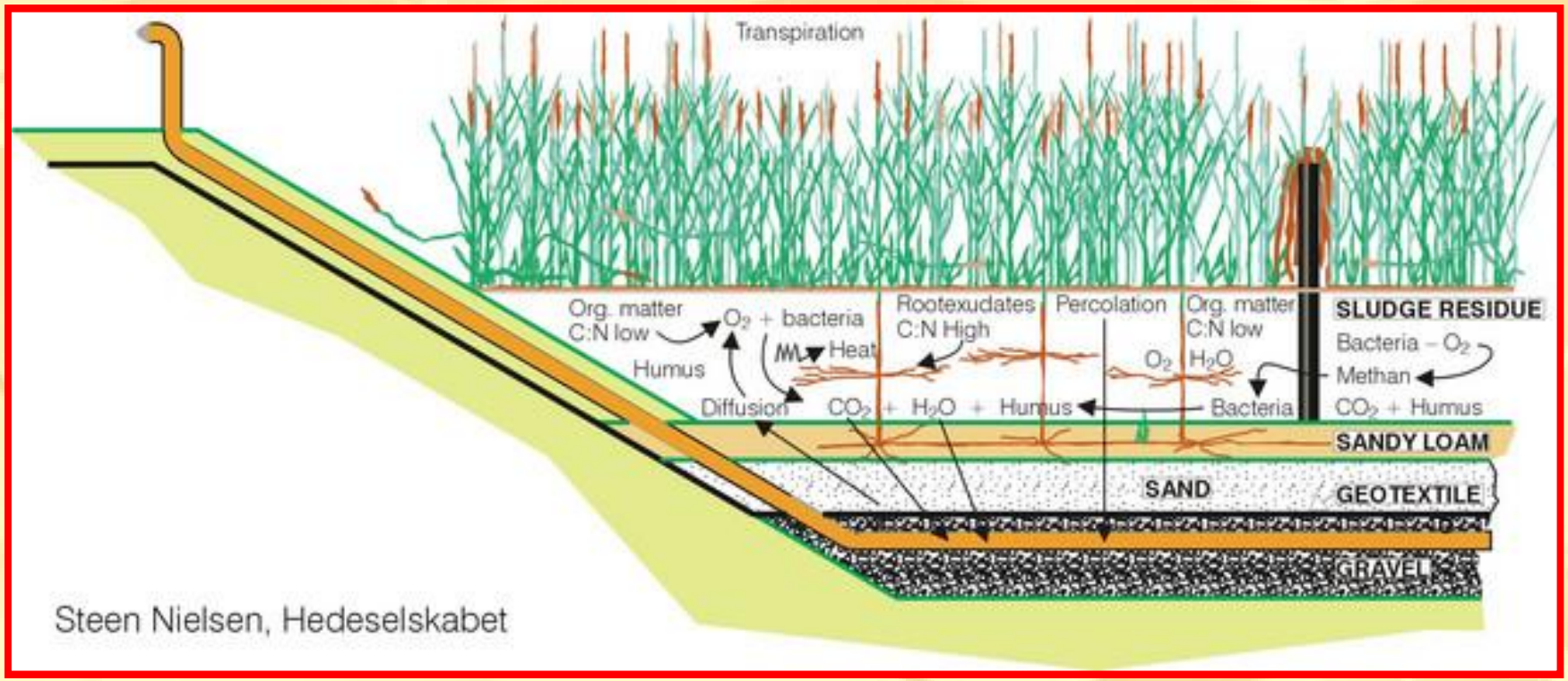
ثامنا: أنظمة النباتات المختلطة




MRC
rainwater
greywater
blackwater
MBR
HF-CW
FWS-CW
UV
SBR
RBC
toilet flushing
LANDSCAPING
MBR
biogas
TSUAR
Settler
SLUDGE DRYING BED
HF-CW
VF-CW
VF-CW
FWS-CW
UV



حوض تجفيف الحمأة



شكرا لإصغائكم

و آخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين