

دار الكتب www.dar-alkotob.com

استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة معايير ومحاذير

دكتور

السيد أحمد الخطيب

Ph. D. University of W. Virginia (USA)

أستاذ علوم الأراضي والمياه - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

والحائز على

جائزة الدولة التشجيعية في العلوم الزراعية عام ١٩٩٣

ونوط الامتياز من الطبقة الأولى

دار الكتب www.dar-alkotob.com

دار الكتب www.dar-alkotob.com

بسم الله الرحمن الرحيم

"أولم ير الذين كفروا أن السموات
والأرض كانتا رتقا ففتقناهما وجعلنا من
الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون"

سبح الله العظيم

الأنبياء (٣٠)

دار الكتب www.dar-alkotob.com

مقدمة

نظراً لثبات حصه مياه مصر من جميع الموارد المائية ومع الزيادة المطردة في تعداد السكان في مصر فإن الحاجة الآن أصبحت ملحة إلى تيسير موارد مائية جديدة وتعظيم الاستفادة من الموارد المائية المتاحة لسد الاحتياجات الغذائية للسكان. وتعتبر مياه الصرف الصحي المعالجة أحد الموارد المائية الهامة التي يجب العناية بها وإستخدامها خاصة أن العديد من دول العالم قد سبقونا في هذا المضمار. من أجل ذلك أيها القارئ الكريم فلقد قام الكاتب بإعداد هذا الكتاب بهدف الاسترشاد به في كيفية إستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري الزراعي مع توضيح المخاطر الصحية والبيئية المصاحبة لإستخدام مياه الصرف الصحي غير المعالجة وتأثير ذلك على الإنتاج المحصولي كما يهدف هذا الكتاب أيضاً إلى تشجيع تجميع ومعالجة وإستخدام مياه الصرف الصحي بطريقة آمنة بحيث يمكن الإستفادة من جميع مصادر المياه المتاحة.

ويشتمل الكتاب على سبعة فصول يتناول الفصل الأول منها الدورة الهيدرولوجية للتعرف على دورة المياه الهائلة التي يتم تدويرها سنوياً وذلك للحفاظ على جميع صور المياه على الأرض. أما الفصل الثاني فيتناول المياه الطبيعية وأقسام الشوائب بها مع ذكر خواص وصفات بعض أنواع المياه بينما يتعرض الفصل الثالث إلى فيزياء وكيمياء الماء مع توضيح خواص الماء من ناحية الثبات الكيميائي والتحليل الأيوني ودرجة الحموضة والإتزان والتضاغط وخواص الإذابة. وفي الفصل الرابع يتم التعرض إلى معايير إستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة شاملة العوامل الصحية والعناصر الصغرى والمعادن الثقيلة والأملاح. أما الفصل الخامس فيشتمل على عمليات معالجة مياه الصرف الصحي بأنواعها ونظم المعالجة البيولوجية الطبيعية وأيضاً طرق المعالجة المتقدمة.

وفي الفصل السادس تم شرح كيفية إستخدام مياه الصرف الصحي في الري مع بيان كميات المياه الواجب إستخدامها وتوقيت وطرق الري والغسيل مع شرح واف لإستراتيجية إدارة مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة. هذا وقد أفردنا فصلاً كاملاً وهو الفصل السابع لتناول إستخدام الحمأة في الزراعة وتأثير ذلك على التربة والمحصول مع بيان المخاطر الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والري. كما يحتوى هذا الكتاب في نهاية كل فصل على سلسلة من المراجع التي قد يحتاجها القارئ المتخصص للإستزادة والإستفاضة من بعض المعلومات الخاصة بكل فصل.

وتأتى أهمية هذا الكتاب في كونه يملأ فراغاً كبيراً في المكتبات العربية ويلبي حاجة القائمين بأعمال التخطيط الزراعي والباحثين والطلاب والمشتغلين بكافة مجالات الزراعة على أمتداد وطننا العربي الكبير.

أسأل الله أن يتحقق المهدف المنشود من تأليف هذا الكتاب وأن يجد منه القراء على أختلاف إهتماماتهم العون والفائدة.

والله ولي التوفيق ...

أ.د / السيد أحمد الخطيب

الإسكندرية

المحتويات

الموضوع	الصفحة
❖ الفصل الأول: الدورة الهيدرولوجية	١٥
< الغلاف المائي	١٦
< الدورة الهيدرولوجية	١٧
▪ المطول	١٩
▪ الري	٢١
▪ إستخدام الأراضي	٢٢
▪ العوامل البيئية	٢٢
< الماء والكائنات الحية	٢٣
▪ انتقال الماء خلال أجسام الكائنات الحية	٢٤
▪ الإتزان المائي الفسيولوجي	٢٥
▪ الماء موطن لبعض الكائنات الحية	٢٥
< الإستهلاك المائي (الحاضر والمستقبل)	٢٦
❖ الفصل الثاني: المياه الطبيعية	٢٩
< مستويات الشوائب	٢٩
< أقسام الشوائب	٣٠
< خواص بعض أنواع المياه	٣٠
▪ مياه الآبار العميقة	٣٣
▪ Moorland water	٣٤
▪ المياه السطحية	٣٥
▪ مياه الجريان السطحي الناتجة عن الزراعة	٣٦

الموضوع	الصفحة
■ مياه الصرف الصحي	٣٧
■ مياه الصرف الصناعي	٣٧
■ مياه المناطق الجافة	٣٧
■ المياه في المناطق الإستوائية	٣٩
■ المياه المالحة	٤٠
➤ عمليات المعالجة	٤١
❖ الفصل الثالث: فيزياء وكيمياء الماء	٤٥
➤ المادة	٤٥
■ الذرات والجزيئات	٤٥
■ الوزن الذري والجزيئي	٤٨
■ النظائر المشعة	٤٩
■ المول	٥٠
■ جزيئات الهيدروجين والأكسجين	٥٠
➤ جزي الماء	٥١
➤ خواص الماء	٥٣
■ الثبات الكيميائي للماء	٥٣
■ التحلل الأيون للماء	٥٣
■ درجة الحموضة	٥٤
■ إتران الأطوار	٥٥
■ خواص الإذابة	٥٧
■ الغرويات	٥٨
➤ الروابط المتكافئة والإلكترونيات	٥٨
■ الأحماض القوية	٥٩

الموضوع	الصفحة
■ الأحماض الضعيفة	٦٠
■ القواعد الضعيفة	٦١
■ الأحماض عديدة القاعدية	٦٢
■ المحاليل المنظمة	٦٢
■ درجة حموضة محاليل الأملاح	٦٣
■ الأملاح ضعيفة الذوبان	٦٤
■ القواعد القوية	٦٥
❖ الفصل الرابع: معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة	٦٩
< مقدمة	٦٩
< الفوائد الاقتصادية من استخدام مياه الصرف الصحي في الري الزراعي	٧٠
< مصادر مياه الصرف وعمليات المعالجة والإستخدام	٧١
■ مصادر مياه الصرف	٧١
■ مكونات مياه الصرف الخام	٧٣
< المعايير الهامة عند استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة	٧٦
■ عوامل صحية	٧٦
■ العوامل الميكروبيولوجية الهامة من ناحية صحة الإنسان	٧٩
■ العناصر الصغرى والمعادن الثقيلة	٨٢
■ درجة الحموضة	٨٢
< المعايير المحددة لصلاحية مياه الصرف الصحي من الناحية الزراعية	٨٣
■ التركيز الكلي للأملاح	٨٣
■ نسبة الصوديوم المدمص	٨٣
■ الأيونات السامة	٨٣
■ المعايير الزراعية الهامة	٨٥

الصفحة	الموضوع
٨٩	❖ الفصل الخامس: معالجة مياه الصرف الصحي
٩٠	➤ عمليات معالجة مياه الصرف الصحي
٩٠	▪ المعالجة التمهيدية
٩١	▪ المعالجة الأولية
٩٣	▪ المعالجة الثانوية
٩٧	- الحماة النشطة
١٠٠	- المرشحات البيولوجية
١٠١	- الغشاء البيولوجي الدوار
١٠٢	➤ نظم المعالجة البيولوجية الطبيعية
١٠٣	▪ بحيرات الأكسدة
١٠٦	▪ استخدام التربة كوسط لمعالجة مياه الصرف الصحي
١١١	- خواص التربة الواجب فحصها عند إضافة مياه الصرف الصحي
١١٤	- معدل التسرب والنفاذية وحركة الماء في القطاع الأرضي
١١٨	- السعة التبادلية الكاتيونية
١٢٠	- ميكانيكيات المعالجة وقدرة التربة على إستيعاب الملوثات
١٢٢	- ميكانيكيات فيزيائية
١٢٥	- أدمصاص وترسيب الملوثات
١٢٩	- ترسيب
١٣١	▪ المعالجة النباتية
١٣٢	- نظام النباتات المائية الطافية
١٣٤	- نظام النباتات المغمورة
١٣٥	- تقنية الغشاء المغذي
١٣٧	➤ طرق المعالجة المتقدمة
١٣٧	▪ الإستخلاص الهوائي

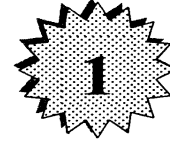
الموضوع	الصفحة
■ الإدمصاص بالكربون	١٣٨
■ الأكسدة الكيميائية	١٣٩
■ التناضح العكسي	١٤٠
■ التحلل الكهربائي	١٤٠
◀ التطهير	١٤٢
■ التطهير بالكلوره	١٤٢
■ التطهير بالأوزون	١٤٣
■ استخدام الأشعة فوق البنفسجية	١٤٣
❖ الفصل السادس: إدارة استخدام مياه الصرف في الري	١٤٧
◀ الشروط الواجب توافرها لإستخدام مياه الصرف الصحي في الري	١٤٧
■ كمية المياه الواجب إستخدامها	١٤٨
■ توقيت الري	١٤٨
■ طرق الري	١٥٠
◀ استراتيجية إدارة مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة	١٥٢
■ اختيار المحصول	١٥٣
- التغلب على مشاكل الملوحة	١٥٣
- التغلب على مشكلة السمية	١٥٧
- منع المشكلات الصحية	١٦١
■ اختيار طريقة الري	١٦٢
◀ الإدارة الحقلية عند إستخدام مياه الصرف الصحي في الري	١٦٦
■ إدارة المياه	١٦٦
■ الغسيل	١٦٧
■ الصرف	١٦٩

الموضوع	الصفحة
▪ وقت الري	١٧٠
▪ خلط مياه الصرف مع مصادر مائية أخرى	١٧١
▪ إدارة التربة وتطور الأراضي	١٧١
▪ تسوية التربة	١٧٢
▪ الحرث العميق	١٧٢
▪ إدارة المحصول	١٧٣
▪ طريقة وضع البذور	١٧٣
❖ الفصل السابع: إستخدام الحمأة في الزراعة	١٧٧
< خواص الحمأة	١٧٧
< معالجة الحمأة	١٧٨
< إضافة الحمأة	١٧٩
< تأثير إضافة الحمأة على التربة والمحصول	١٨٩
< المخاطر الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والرى	١٩١
< المراجع	٢٠١

الفصل الأول

الدورة الهيدرولوجية

- ❖ الغلاف المائي
- ❖ الدورة الهيدرولوجية
- ❖ الماء والكائنات الحية
- ❖ الاستهلاك المائي (الحاضر والمستقبل)



الدورة الهيدروولوجية

الحقيقة المعروفة أن تواجد الماء سبق تواجد الحياة على كوكب الأرض وأن جميع العمليات الكيميائية المتعلقة بتطور صور الحياة والمحافظة عليها يشارك فيها الماء بصورة أساسية ولذلك فيعتبر الماء أساس الحياة حيث يعمل الماء على نقل المغذيات والعناصر الضرورية للحياة إلى الكائن الحي.

ولأن الماء يعتبر أهم المصادر الطبيعية على الإطلاق فالكثير من الجهد يبذل الآن للحفاظ عليه وإدارته وذلك للدور الهام الذي يلعبه الماء في الحفاظ على الحياة نتيجة للخواص الفيزيائية الفريدة التي يمتلكها. وللدلالة على انفراد الماء بخواص فيزيائية غير عادية ضرورية للعمليات الكيموحيوية في الكائنات الحية هو أن محاولة إذلال الماء الثقيل D_2O المشابه للماء في تركيبه الكيميائي والفيزيائي مع اختلاف بسيط ناتج عن وزن ذرة هيدروجين إضافية أدى إلى نتيجة عكسية وهي تسمم الكائنات الحية ونتيجة الصلة الوثيقة بين الماء والحياة فإن الحاجة ملحة إلى مصادر مستمرة للماء الصالح للاستهلاك الآدمي.

ولما كان الماء مذيب قوى للغاية فإن إزالة المواد الذائبة فيه تصبح عملية صعبة خاصة أن بعض الصناعات مثل الصناعات الدوائية تتطلب استخدام مياه ذات درجة نقاء عالية وتمثل إزالة المواد العضوية وغير العضوية الموجودة في الماء بتركيزات

منخفضة مشكلة معقدة.

وللدلالة على قدرة عمل الماء كمذيب فإنه من الضروري دراسة العناصر الموجودة في ماء البحر وهي تشمل الكلور (19000 جزء في المليون) والصوديوم (10500 جزء في المليون) والزنك والفضة والذهب واليتموت بمستويات صغيرة تصل إلى (0.001 جزء في المليون) كما يوجد في مياه البحار بعض العناصر بمستوى أقل من ذلك مثل الكروم والزركون والبلاتين.

أ. الغلاف المائي Hydro sphere

إن نشأة المياه في الغلاف الجوي وتكثفه على سطح الكرة الأرضية مازال غير واضحاً فمن المؤكد أن كميات المياه الموجودة الآن في الكرة الأرضية لا يمكن أن تكون منشأها كلية الغلاف الجوي. والحقيقة أن هناك بعض الشواهد الدالة على حدوث تفاعل بين الغلاف المائي والغلاف الجوي في عصور ما قبل التاريخ حيث يعتبر نحر الصخور والترسيبات لبعض أنواع الرسوبيات دلاله على ذلك.

ومن المحتمل ظهور الأكسجين في الغلاف الجوي أولاً كنتيجة لتحلل بخار الماء عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية كما أن كميات صغيرة من ثاني أكسيد الكربون قد تنشأ من تحلل المعادن بواسطة حمض الكربونيك والتي بدورها تتحول إلى أكسجين عن طريق التمثيل الضوئي بواسطة النبات. وتدل الحسابات على أن إنتاج الأكسجين بواسطة النبات يصل إلى 10^{11} طن وحوالي 99% من هذه الكمية يتم استهلاكها بواسطة الحيوانات في عملية الأكسدة الحيوية للغذاء. ومن المعروف أن الشخص البالغ يحتاج 500 l من الأكسجين في اليوم.

ومن الجدير بالذكر أن الأكسجين الناتج في الغلاف الجوي يتم استهلاكه (90% تستخدم في تحلل المعادن) ويتبقى فقط حوالي 0.00044% في الغلاف الجوي أى أن حوالي 5×10^7 kg من الأكسجين يبقى في الهواء الجوي فإذا افترضنا أن أبسط مظاهر الحياة تحتاج إلى مياه لتطورها فإننا نستنتج أن الماء قد تواجد على الأرض

وحولها منذ نشأتها.

المحيطات: مخازن الماء والطاقة

تعتبر المحيطات أحد المخازن الهامة للماء والتي لها بالتالي الأثر الكبير على الظروف المناخية وبالتالي على هطول الأمطار. ونتيجة للحرارة النوعية العالية وغير العادية للماء فإن المحيطات تعتبر من أهم مخازن الطاقة فالتيارات الدافئة تفقد حرارتها وتنقلها إلى كل ما يحيطها وبالتالي تضمن ثبات المناخ إلى حد ما. وعلى سبيل المثال فإن الحرارة المفقودة من مياه الخليج إلى شمال غرب أوروبا تصل إلى 4×10^{15} kJ/h وهو ما يعادل الحرارة الناجمة من حرق 40 مليون طن فحم.

أيضا تعتبر المحيطات غنية بالمعادن كما أنها تمثل مكان لحياة الأسماك البحرية والتي تمثل مصدراً هاماً لغذاء الإنسان.

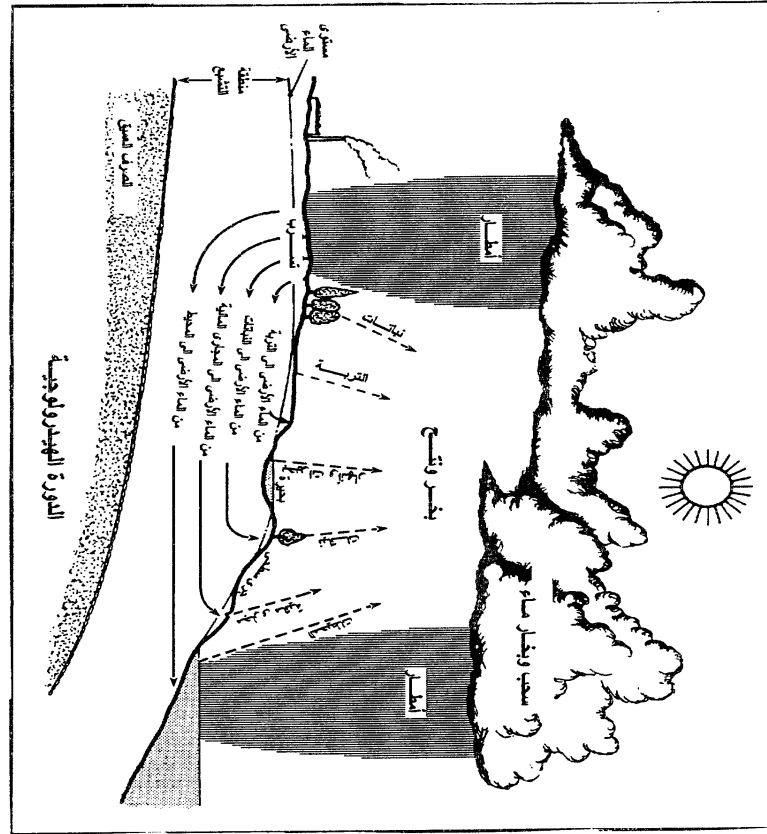
ب. الدورة الهيدرولوجية

يطلق على دورة المياه نتيجة البخر من الغلاف المائي إلى الغلاف الجوى وما يبعه من ترسيب إلى الغلاف المائي باسم الدورة الهيدرولوجية (شكل 1-1).

محتوى الماء الكلى للغلاف المائي يصل إلى 6×10^8 ha m⁻ ولما كانت كمية الأمطار الكلية تصل إلى 225×10^8 ha m⁺ فهذا يعنى أن الماء في الغلاف الجوى يتم تدويره حوالى 37 مره كل عام . ويعادل مستوى الأمطار عمق 0.5 متر ماء يغطى سطح الكرة الأرضية.

(ha-m⁺) هو عبارة عن حجم الماء الذى سوف يغطى مساحة ١ هكتار إلى عمق ١ متر (ha m = 10000 m³).

وعلى الرغم من أن الدورة الهيدرولوجية هى عملية متصلة فإن وصف هذه الدورة عادة يبدأ من المحيطات التى تغطى حوالى 71% من سطح الكرة الأرضية. فنتيجة لدرجة حرارة الشمس يحدث بخار للماء من المحيطات وغالبا ما يكون بخار الماء غير



شكل رقم 1-1 . الدورة الهيدرولوجية.

ممرئى ولكن تحت ظروف فوق التشبع يحدث تكون للسحب وتحت تأثير تغيرات خاصة في درجة الحرارة والضغط يحدث تكثف للرطوبة وتعود إلى الكرة الأرضية على شكل أمطار وبرد وثلوج.

١. الهطول Precipitation

التعبير عن متوسط سقوط الأمطار بما يعادل 0.5m مثلاً هو تعبير غير دقيق لأن سقوط الأمطار على سطح الكرة الأرضية يكون غير متجانس وغير منتظم في الزمان والمكان فمعظم الأمطار الساقطة تعود مباشرة إلى المحيطات والباقي يسقط على الأراضي من الهواء الساخن الرطب نتيجة لأحد العمليات الثلاثة التالية.

(i) Cyclonic

الكتلة الهوائية الساخنة - وهي تكون إما ثابتة أو متحركة حركة أفقية - المضادة لكتلة الهواء البارد.

(ii) Convective

كتلة الهواء - التي تتلقى حرارة وبخار ماء على سطح الأرض - التي تبرد وذلك عند ارتفاعها رأسياً.

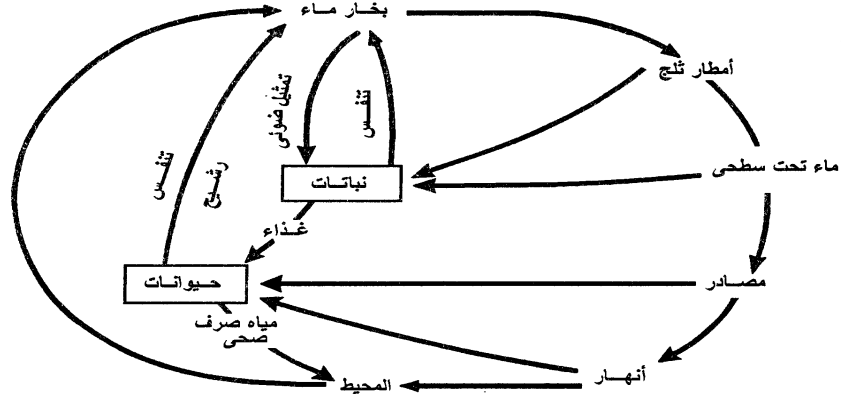
(iii) In mountain regions

كتلة الهواء الساخن المتحركة تجبر على الارتفاع وفقد حرارة عندما تصطدم بالجبال.

تسقط الأمطار بطريقة غير منتظمة تبعاً للمواقع الجغرافية حيث تستقبل المناطق الساحلية قدراً أكبر من الأمطار. وحوالي 70% من متوسط الأمطار الكلية يحدث لها بخار والباقي يظهر كماء على السطح أو تحت سطح الأرض وبخار الماء يكون إما مباشرة من المسطحات المائية أو من خلال النبات عن طريق النتح من الأوراق والسيقان ويمثل البخار من خلال الغطاء النباتي نسبة كبيرة جداً من البخار الكلي.

ويطلق على 30% من الماء الذي لا يعود ثانية إلى الغلاف الجوي باسم ما:

الجريان السطحي water runoff ويمثل مصادر الماء المتاحة لكل منطقة (والواقع أن المصادر الكلية للماء العذب التي تشترك في الدورة الهيدرولوجية لا تزيد عن 0.003% بينما الباقي يتركز في الغطاء الجليدي) ويتجمع ماء الجريان السطحي في المجارى المائية وإن كان الجزء الأكبر منه يخترق سطح التربة ويتجمع فوق الطبقات غير المنفذة في التربة. فقوى الجاذبية تدفع بالماء إلى أسفل من خلال مسام التربة وبمرور الزمن قد يظهر الماء على السطح على شكل عيون springs أو يذهب أسفل مستوى سطح البحر ثمانية إلى المحيطات. فجزء كبير من المياه الجوفية تصل إلى المجارى السطحية وتمدها بالمياه خلال فترات الجفاف. أيضا المجارى المائية والأنهار تتدفق مياهها إلى المحيطات حيث نجد المحيطات تستقبل حوالى 90% من مياه الجريان السطحي.



شكل رقم 1-2.

٢. الماء الجوفي Ground water

يلقى الماء الجوفي اهتماما متزايدا لأنه مصدر من المصادر الهامة للماء في الوقت الحاضر. ومن العجيب معرفة أن المياه السطحية في المجارى المائية والبحيرات تمثل أقل

من 3% من الماء العذب المتاح ولكن نتيجة المشاريع المائية الضخمة فأنا نميل إلى التفكير في المياه السطحية بأنها أهم مصادر المياه المتاحة. والواقع أن المياه الجوفية تمثل مصدراً هاماً للمياه لا يمكن إغفاله. فالمياه الجوفية تمثل حوالى 33-40% من مياه الجريان السطحي الكلية. وقد تكون أكبر من ذلك بكثير في بعض المناطق علماً بأن جزء من المياه الجوفية قد لا يكون متاحاً نتيجة لاعتبارات اقتصادية ولذلك فيجب الإشارة إلى أن خمس ولايات في الولايات المتحدة الأمريكية (أركنساس، أريزونا، ميسيسيبي، نيوميكسيكو، جنوب داكوتا) تعتمد على المياه الجوفية لتلبية نصف احتياجاتها المائية في حين أن كاليفورنيا وتكساس تأخذ حوالى 25% من احتياجاتها المائية من المياه الجوفية. أيضاً بعض المناطق مثل مقاطعة أونتاريو بكندا على الرغم من توفر المياه السطحية بها (بحيرات-أنهار) تحصل على احتياجاتها من المياه للشرب والصناعة من المياه الجوفية وذلك لاعتبارات اقتصادية.

٣. الري Irrigation

يعتبر الماء الجوفى حيوى وهام في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث يعتمد عدد كبير من سكان هذه المناطق على الزراعة في معيشتهم. فعلى سبيل المثال في منطقة مثل الهند أكثر من 90% من الماء الكلى المستهلك يتم استخدامه في ري الحاصلات الزراعية وذلك لمحدودية سقوط الأمطار. فالزراعات الكثيفة الناجحة في هذه المناطق لا يمكن أن تتم بدون استخدام الري.

وفي الثلاثين سنة الأخيرة تم مضاعفة المساحة المروية حيث يساهم الماء الجوفى بحوالى 40% من الماء المستخدم في الري . ويوضح الجدول رقم (1-1) مصادر المياه الجوفية في الهند فنجد أن مصادر الماء السطحي المتاح تقدر بحوالى 64 million ha m.

جدول 1-1. مصادر المياه الجوفية في الهند (123000 ha m)

حاليا	الموجودة حاليا	المتوقعة مستقبليا
الأمطار	49	49
التسرب من القنوات ونظم الري	10	24
تسرب من الأنهار	3	8
المجموع	62	81

وبينما تعتبر الأمطار هي المصدر الرئيسى للمياه الجوفية فإن تسرب الماء وتخزينها تحت سطح التربة يتوقف أساسا على التراكيب الجيولوجية للمناطق التى يتجمع فيها المياه الجوفية.

٤ . استخدام الأراضي

كمية ونوعية المياه الجوفية يرتبط ارتباطا وثيقا بالكيفية التى تستخدم فيها الأراضي فمن الوسائل التى تحافظ على نوعية وكمية المياه الجوفية هو خفض جريان الماء والتعرية فمثلا وجد فى الولايات المتحدة أن زراعة الأراضي بالحشائش ورعى الحيوانات فيها خفضت الجريان المائى والترسيب بحوالى 95% بينما تحويل الغطاء النباتى من شجيرات إلى حشائش أدى إلى خفض التعرية بمقدار 14 ضعف دون أن يؤثر ذلك على كمية المياه المستهلكة.

٥ . دراسة العوامل البيئية

العلاقة الوثيقة بين علوم المناخ والجيولوجيا والزراعة يتم الآن دراستها باستخدام النماذج الرياضية وللأسف فإن فهمنا لنظام الأرض-المناخ-المحصول مازال ضعيفا. فعلى سبيل المثال فإنه معلوم لدينا أن نمو النبات يعتمد اعتمادا كبيرا على الإشعاع الشمسى فى حين أن العلاقة بين العوامل البيئية والتنفس ونمو الأوراق وتوزيع المادة الجافة غير معروف تماما.

ويوجد الآن كثير من النماذج الرياضية تم تطويرها باستخدام عوامل المناخ كمدخلات فيها والحقيقة أن هذه النماذج غير دقيقة وما هى إلا عبارة عن وصف لكمية المحصول كداله للمناخ فمثلا فى المناطق الاستوائية فإن الماء لا يكون عامل محدد للنمو لتوافر الأمطار ولكن تحت الظروف الجافة فإن عدم سقوط الأمطار يمكن أن يؤدى إلى عدم نمو المحصول ولكننا لا نستطيع القول أن المحصول هو داله للهطول المستمر للأمطار.

ج. الماء والكائنات الحية (الدورات المائية البيولوجية)

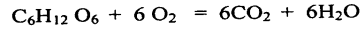
The biological water cycles

الدور الفريد للماء الذى يلعبه فى النمو والمحافظة على الحياة معروف تماماً. فمن خلال الدورة الهيدرولوجية يمكننا التعرف على دورة المياه الهائلة التى يتم تدويرها سنوياً بواسطة التمثيل الضوئى والنتج فى النبات. والآن سوف نفحص الميزان المائى Water balance فى الإنسان البالغ والذى يصل إلى 2.5 kg كما هو موضح فى جدول (2-1).

جدول 2-1. الميزان المائى اليومى للإنسان البالغ مقدراً بالكيلو جرام

المتحصل عليه		الفاقد	
شرب	1.3	عرق	0.4
غذاء	0.9	بخر	0.5
أكسدة الغذاء	0.3	إخراج	1.6
	2.5		2.5

فنجند أن 2.5kg تمثل حوالى 4% من الوزن الكلى للإنسان على المستوى الجزيئى فإن الماء المخلق نتيجة احتراق الغذاء (الكربوهيدرات) له دلالة هامة حيث يمكن تمثيل العمليات الكيميائية عن طريق أكسدة كاملة للحلوكوز لينتج ثانى أكسيد الكربون والماء. أى أن كل جزىء جرام (180g) من الجلوكوز.



ماء ثانى أكسيد الكربون أكسجين جلوكوز

يتأكسد وينتج 6 جزىء جرام (108g) ماء. ويوضح الجدول السابق تكون 300g ماء يومياً (حوالى 17 جزىء جرام) ولذلك فلكى تصف المعادلة الاحتراق اليومى للكربوهيدرات يجب ضرب طرفى المعادلة $\times 3$ وتخليق 300g من الماء بواسطة الميكانيكية السابق ذكرها يكون مصحوباً بانطلاق طاقة قدرها 7600 kJ فإذا فرض أن هذه الطاقة سوف تنطلق إلى جسم الإنسان فى صورة حرارة فإنها كفيلة برفع

درجة حرارة الجسم 26°C .

والمعادلة السابق ذكرها توضح فقط المواد الداخلة في التفاعل والناجمة منه والحقيقة أنه تم التعرف على ١٤ مرحلة تمر خلالها أكسدة الجلوكوز وكل مرحلة يتم التحكم فيها بواسطة إنزيمات خاصة ويلعب الماء دوراً هاماً في كل مرحلة. معدل التفاعلات التي تتحكم في العمليات الفسيولوجية والحيوية تتوقف بدرجة كبيرة على الخواص الفيزيائية للماء عند درجة حرارة الجسم. ولذلك فإن أى تغيير في هذه الخواص مثل إحلال الماء الثقيل محل الماء العادى يمكن أن يسبب في ازدياد التفاعلات الكيميائية مما يؤثر بطريقة سلبية على حيوية الكائن الحى.

١. إنتقال الماء خلال أجسام الكائنات الحية

معرفة كميات المياه الداخلة في التفاعلات الحيوية يمكن أن بمدنا بمعلومات عن معدل انتقال الماء خلال أجسام الكائنات الحية. وبالعودة إلى المعادلة التي تمثل أكسدة الغذاء نجد أن 300g من الماء المنتج يحتاج إلى 185 l من الأكسجين وهى تعادل الكمية التي تستخلصها الرئة من الهواء بكفاءة تعادل 14% (الاحتياجات اليومية الكلية للجسم من الأكسجين تقارب 500L). ولما كان الهواء يحتوى على 21% أكسجين فإن الرئة تستهلك 6300L من الهواء يومياً لكي تستخلص احتياجات الإنسان الضرورية من الأكسجين الذى لا يلبث أن يذهب إلى خلايا الأنسجة من خلال سريان الدم. ونتيجة للذائبيه الضعيفة جداً للأكسجين في الماء فإن الأكسجين يتم انتقاله بواسطة البروتين الناقل (الهيموجلوبين) الذى يقوم أيضاً بإزالة ثانى أكسيد الكربون. كما أن ضغط الدم في الأورطى يكون عالى بدرجة تسمح بنظام تنقية كفو (Ultrafiltration) وأيضاً يعمل على انتقال الماء والأيونات ذات الوزن الجزيئى الصغير خلال أغشية الخلايا. والحقيقة أن ضغط الدم ينخفض في الأوعية الدموية ويصبح الضغط الأسموزى للبلازما أعلى من ضغط الدم مما يؤدي إلى مرور السوائل في الأنسجة و بالتالى يتم إمداد الخلايا بالمركبات التي في حاجة إليها. ولإمداد الخلايا

بالأكسجين الكافي لاحتياجها الضرورية لحرق الجلوكوز يجب على القلب أن يضخ 7000L دم حول الأوعية الدموية.

٢. الإيزان المائي الفسيولوجي Physiological Water Balance

بعض أعضاء جسم الإنسان لها المقدرة على الحفاظ على نوعية المياه واتزانها الفسيولوجي. فالكليتين تنتج 180L من البول المخفف الذي يتم تركيزه إلى 1.5L وإخراجه من الجسم.

محتوى الجسم من الماء والذي يبلغ (40L) والذي يمثل 60% من وزن جسم الإنسان البالغ لا يكون موزعا بالجسم بطريقة متساوية فبعض أعضاء الجسم مثل المخ والعضلات تحتوي على كمية أكبر من الماء بالمقارنة بالأعضاء الأخرى للجسم.

وحوالي ثلثي ماء الجسم يكون موجودا داخل الخلايا بينما الثلث الآخر يتواجد خارج الخلايا وتشارك في الدورات المختلفة في الجسم انتقال الماء من وإلى خلايا الجسم يتم التحكم فيها أساسا بميكانيكيات أسموزية. والمعلومات الهامة التي يجب معرفتها هي الحد الأدنى من الماء الذي تحتاجه الخلايا لاستمرار الحياة حيث أن هذه المعلومات تكون ضرورية تحت ظروف الجفاف والبرد الشديدين. ومن المدهش أن نعلم أن جزء من مياه الخلايا تقاوم التجمد حتى تحت درجات حرارة أقل من الصفر.

٣. الماء كموطن لبعض الكائنات الحية Water As Habitat

النباتات والحيوانات التي تعيش في الماء لا تعاني من مشاكل نقاء الماء. بالإضافة إلى أن الحرارة النوعية للماء تضمن مناخ ثابت لمعيشة الكائنات الحية في الأنهار والبحيرات والمحيطات. فالكائنات الحية التي تعيش في المحيطات تكون في حالة عدم اتزان أسموزي وبالتالي فإن مصادر الطاقة الحيوية يجب توجيهها للحفاظ على سوائل الجسم تحت أي ضغط أسموزي. فمعظم الأسماك العظمية لها المقدرة على شرب ماء البحر وإخراج الملح الزائد. وفي نفس الوقت فإنها تعمل على إخراج البول فقط عندما يكون الاتزان الأسموزي في الجسم موجود وبالتالي تتخلص من الأملاح في الوقت

المناسب.

بعض النباتات لها المقدرة على تحمل التركيزات العالية من الأملاح والعلاقة بين نمو النبات وامتصاص الأيونات وتجميعها وأهمية هذه العمليات في تحمل النباتات للملوحة مازالت غير مفهومه تماماً ويجب دراسة هذه العوامل تفصيلاً مستقبلاً.

د. الاستهلاك المائي (الحاضر والمستقبل)

قليل الكثير عن الاحتياجات المائية والاستهلاك المائي على المستوى القومى والعالى وذلك باستخدام المتوسطات الاستهلاكية العالمية والمحلية والتي لا تعطى صورة واضحة تماماً.

فمن الملاحظ أن استهلاك الفرد للماء في أوروبا (1900) قدر بحوالى 230l/day وهذا الاستهلاك لم يتغير منذ الإمبراطورية الرومانية القديمة أما في سنة 2000 فالوضع تغير تماماً نتيجة ازدياد السكان والتقدم الصناعى الهائل. حيث يزيد الاستهلاك المائي في البلاد الصناعية المتقدمة بمقدار 2-3% سنوياً نتيجة التقدم الصناعى في هذه الدول. مما يبنى بعدم كفاية الموارد المائية الطبيعية في المستقبل وفي الوقت نفسه يمكن اعتبار أن الموارد المائية الطبيعية غير محدودة للأسباب التالية:

- ١- كميات المياه المستهلكة Consumptive يطلق عليها هذا الاسم وذلك لعدم توفر الوسائل القادرة على تنقية وإعادة استخدام هذه المياه.
- ٢- السبخ-نتح يعتبر هو المسئول الرئيسى عن جزء كبير من المياه المستهلكة ولذلك فلن السيطرة على النباتات المحبة للمياه والنامية على ضفاف الأنهار أدى بالفعل إلى خفض كميات المياه المفقودة. ويمكن عمل الكثير في هذا المضمار مثل التحكم في السبخ-نتح عن طريق استخدام المحاصيل المقاومة للجفاف.
- ٣- تحسين وسائل الري. يمكن أن يخفض من كميات المياه المفقودة.
- ٤- تحويل مياه البحر إلى مياه عذبة هي عملية مكلفة حالياً ولكن بتقدم التكنولوجيا يمكن التغلب على ذلك مستقبلاً.

الفصل الثاني

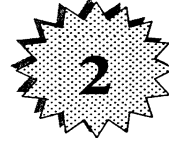
المياه الطبيعية

❖ مستويات الشوائب وأقسامها

❖ خواص بعض أنواع المياه الطبيعية

- مياه الآبار
- المياه السطحية
- مياه الصرف الصحي
- مياه المناطق الجافة
- مياه الصرف الصناعي
- المياه في المناطق الاستوائية
- المياه المالحة

❖ عمليات المعالجة



المياه الطبيعية Natural Waters

أوضحنا في الفصل السابق أن الماء هو مادة غير عادية تمتلك كثير من الصفات التي تجعلها مختلفة تماماً عن المركبات الكيميائية. فعندما يتم معالجة الماء أو تنقيته فالحقيقة أننا نهتم بإزالة الشوائب من الماء وليس تنقية الماء ذاته. فخواص الماء تعتبر أساسية لعمليات المعالجة ونحن نهتم فقط بطبيعة الشوائب والملوثات الموجودة في الماء.

مستويات الشوائب Impurity levels

تشمل الشوائب الموجودة في الماء العديد من المواد والتي تتواجد بعد إزالة المواد غير الذائبة بتركيزات منخفضة جداً لدرجة أن هذه التركيزات يمكن إهمالها عند إنتاج الكيماويات. بمعنى آخر أن الماء الطبيعي قبل معالجته يعتبر ذو درجة نقاء أعلى من المواد الكيميائية النقية التي يتم إنتاجها ماعدا في حالة واحدة فقط وهي مياه البحر التي تحتوى على شوائب بتركيزات عالية. ويمكن توضيح ذلك بمثال: تركيز الأملاح الكلية الذائبة في الماء الخام نادراً ما يزيد عن 500 جزء في المليون والذي يمثل 0.05%. ومقارنة هذه الدرجة من التلوث مع أى مادة كيميائية خام نقية مثل الحجر الجيري الذي يحتوى على 4% شوائب أو الكيماويات فائقة النقاء والتي تستخدم في الأبحاث والكيمياء التحليلية مثل كلوريد الصوديوم الذي يحتوى على 0.07% شوائب أو هيدروكسيد الصوديوم الذي يحتوى على 1% شوائب يتضح مدى صوب القول

السابق.

أقسام الشوائب في المياه الطبيعية

يوضح الجدول (2-1) أقسام الشوائب التي تتواجد في مصادر المياه الطبيعية المختلفة والواقع أن وجود مواد وشوائب مختلفة في المياه الطبيعية بتركيزات منخفضة قد يؤدي إلى مشاكل صحية. والحقيقة أن الجدول (2.1) لا يوضح الشوائب كلها بالتفصيل وإنما يوضح مجموعات الشوائب التي يمكن إزالتها عن طريق عملية معالجة واحدة أو مجموعة من العمليات المتتابعة. والجدول رقم (2.2) يوضح مكونات المياه العذبة وغير العذبة brackish وذلك في ترتيب متزايد ويوضح العمود الأخير في قسم المياه الصالحة للشرب الحد الأقصى الذي يمكن استخدامه لتكون المياه صالحة للشرب وذلك بالنسبة لخاصية واحدة فقط فإذا كان الماء له خاصيتين تصل محتواها إلى الحد الأقصى يصبح الماء غير صالح للشرب.

وعند التعامل مع مشكلة خاصة بالمياه يمكن اتباع ما يلي:

١. إبحث عن القسم الذي يقع تحته الملوث المعين.

٢. تأكد من T.D.S. للمياه الخام.

٣. تحديد درجة النقاوة المرغوبة.

وباستخدام هذه الخطوات يمكن تحديد عمليات المعالجة المرغوبة. ونادرا ما يتم استخدام عملية معالجة واحدة فأغلب مشاريع معالجة المياه تتكون من مجموعة من العمليات المتتابعة والتي في مجموعها تمثل نظام التنقية للماء.

خواص بعض أنواع المياه:

يوضح الجدول رقم (2-1) أقسام الشوائب المعلقة والذائبة في المياه الطبيعية ومعرفة أنواع الشوائب يمكننا من النظر إلى النمط الذي يمكن أن تتواجد عليه الملوثات في أنواع مختلفة من الماء وبالتالي تستطيع تقرير العمليات الممكن استخدامها

٣١ المياه الطبيعية

لتنقية هذه المياه جدول (2-3).

الملوثات في أنواع مختلفة من الماء وبالتالي تستطيع تقرير العمليات الممكن استخدامها لتنقية هذه المياه جدول (2 - 3).

جدول 2-2 . تركيز الشوائب الموجودة في المياه الطبيعية.

تكون المياه صالحة للشرب عندما يصل تركيز خاصية واحدة فقط إلى مستوى العمود الأخير في قسم المياه الصالحة للشرب أما إذا كان الماء يحتوي على مثل هذا التركيز (العمود الأخير) لخاصيتين أو أكثر فيصبح الماء غير صالح للشرب (العمود الأخير يمثل أقصى تركيز يمكن تحمله ليكون الماء صالح للشرب وذلك لخاصية واحدة فقط).

Conductivity	(a)	220	300	400	540	740	1000	1360	1840	2500	3400	4600
TDS	(b)	110	150	200	270	370	500	680	920	1250	1700	2300
pH	(c)	7.5	7.6	7.8	8.0	8.2	8.5	8.8	9.1	9.5	10.0	10.8
Total suspended solids	(d)	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	7.0	6.7	6.4	6.0	5.6	5.0
FILTRAC-index	(e)	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2.5	5	10	25
Turbidity	(f)	3	4	5	7	11	15	40	80	120	200	500
Organics	(g)	0.04	0.06	0.1	0.15	0.4	1.0	2.7	7.5	20	55	150
PAH	(h)	0.3	0.6	1	1.7	3.0	5	9	14	25	36	56
Mineral oils	(i)	0.003	0.006	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.14	0.25	0.36	0.56
Index = CaCO ₃	(j)	0.4	1	2	4	10	20	40	100	200	400	1000
SiO ₂	(k)	0.0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0
Fe	(l)	3	5	7	10	15	20	27	37	50	70	100
Mn	(m)	12	20	36	56	100	180	280	500	850	1400	2400
Ca	(n)	2.4	4	7	12	20	36	56	100	170	300	500
Mg	(o)	0.4	0.64	1	1.6	2.5	4	6.4	10	16	25	40
Ca + Mg	(p)	0.3	0.5	0.8	1.2	1.9	3	5	8	12	19	30
Na + K	(q)	0.4	0.64	1	1.6	2.5	4	6.4	10	16	25	40
HCO ₃	(r)	0.03	0.06	0.12	0.3	0.6	1.2	3	6	12	30	60
Cl	(s)	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20
SO ₄	(t)	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50
NO ₃	(u)	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50
Cl + SO ₄ + NO ₃	(v)	0.04	0.06	0.1	0.16	0.25	0.4	0.64	1	1.6	2.5	4.0
	(w)	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50
Al	(x)	3.6	5.6	10	18	28	50	90	140	250	430	750
Ag	(y)	3.6	5.6	10	18	28	50	90	140	250	430	750
As	(z)	0.4	1	2	4	10	20	40	100	200	400	1000
Ba	(aa)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000
Cd	(ab)	0.2	0.36	0.56	1	1.8	2.8	5	9	14	25	43
CN	(ac)	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	200
Cr	(ad)	0.7	1.2	2	3.6	5.6	10	18	28	50	85	140
Cu	(ae)	2.5	5	10	25	50	100	250	500	1000	2000	5000
Hg	(af)	0.07	0.12	0.2	0.36	0.56	1	1.8	2.8	5	8.5	14
Ni	(ag)	0.7	1.2	2	3.6	5.6	10	18	28	50	85	140
Pb	(ah)	4	10	20	40	100	200	400	1000	2000	4000	10 000
Se	(ai)	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	200	500
Sb	(aj)	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50
Zn	(ak)	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	1000	2000

Descending order of potable water quality

Non-potable water

a = $\mu S/cm$
b = ppm = mg/l
c = pH = $-\log(H^+)$
d = FILTRAC-index = organic fouling index
e = FTU = formazin turbidity units
f = mg KMnO₄/l
g = ppb = $\mu g/m^3$
h = ml/m^3 = meq/l
Index = CaCO₃ = saturation index
PAH = polynuclear aromatic hydrocarbons

NOTE use of commas instead of decimal points in this Table, which is reproduced by courtesy of Christ AG.

جدول 3-2. طرق معالجة الماء

أقسام الشوائب	عمليات المعالجة الشائعة
١. مواد ذائبة : Inorganic salts أملاح غير عضوية	- أكسدة / ترشيح للمنتجيز والحديد — كربونات كالسيوم - عمليات ترسيب للعناصر الثقيلة . - الكلورة لإزالة السيائيد . - التبادل الأيوني — الأمموزيه العكسية — التحلل الكهربائي — التقطير . - الأكسدة NH_4 إلى NO_3 وعمليات عكس الترتنه NO_3 إلى N_2 وذلك عن طريق العمليات البيولوجيه . - تجميع يليه ترسيب — ترشيح — طفو — ترشيح دقيق — استخدام الكربون النشط — معاملة بيولوجيه — إزالة كيميائيه مثل المعامله بالأوزون والكلوره واستخدام برمجات البوتاسيوم والتبادل الأيوني .
٢. مواد عضويه ذائبه	
ب. مواد عالقه:	
١. غرويات عضويه وغير عضويه	- عمليات تجميع - معامله بيولوجيه لخفضه BOD - الترشيح الدقيق - ترسيب / نخل - ترسيب / نخل - ترشيح - معامله بيولوجيه لخفضه BOD
٢. معلفات غير عضويه	
٣. معلفات عضويه	
ج. مواد حيه: Living organisms	
١. كائنات حيه دقيقه microorganisms	- معامله بيولوجيه - ترشيح دقيق - تعقيم بواسطه الأوزون والكلوره - تعقيم بواسطه الحراره - استخدام الأشعه فوق البنفسجيه - نخل / ترشيح - معالجه حراريه أو إزالة الغازات ميكانيكيا - إزالة الكلور بواسطه الكربون النشط - التبادل الأيوني - إزالة الاكسجين بواسطه الكبريتيت أو الهيدرازين
٢. كائنات حيه كبيره	
٣. غازات	

مياه الآبار العميقة Deep well water

وهذه المياه عادة ما تتواجد نتيجة مرور الماء خلال الطبقات العميقة من الأرضى وتشمل المياه التى تظهر من springs بعد تحللها هذه الطبقات والتحليل التالى يمثل الصفات الكيميائية والطبيعية لهذه المياه.

تحليل المياه:

المصدر	: ماء بئر
اللون	: شفاف
المواد العالقة	: منخفض جداً
التوصيل الكهربائى	: 570 uS/cm
pH	: 7.3 – 7.9
المواد الصلبة الكلية TDS	: 410 ppm
الكاتيونات	
كالمسيوم	250 ppm Ca CO ₃
مغنسيوم	75 ppm Ca CO ₃
صوديوم	25 ppm Ca CO ₃
أنيونات	
بيكربونات	250 ppm Ca CO ₃
كلوريد	40 ppm Ca CO ₃
كبريتات	50 ppm Ca CO ₃
نترات	10 ppm Ca CO ₃
سليكا	10 ppm Ca CO ₃
مادة عضوية	: منخفضة جداً

هذه المياه قد تحتوى على حديد أو منجنيز ذائب والذى تكون رواسب بنية اللون عند تعرضها للهجو. الكائنات الحية فى هذه المياه عادة ما تكون منخفضة جداً ويمكن لهذا المياه أن تحتوى على كميات عالية من CO₂ ينتج عنها انخفاض فى درجة pH الماء. خلال عملية انتقال المياه خلال الطبقات يفقد الماء محتواه من المادة العضوية ولذلك يحتوى هذا الماء على مستويات منخفضة من البكتريا والمواد العضوية

الأخرى. ولذلك فهذا المياه يمكن استخدامها في الشرب على عكس مياه الآبار الضحلة التي تحتوى على كميات كبيرة من البكتريا والتي كانت سببا في الماضى في الإصابة بالكوليرا.

من الناحية الأخرى فإن مرور هذه المياه خلال الطبقات المعدنية في التربة يؤدي إلى غسيل بعض الأملاح خاصة في وجود مستويات عالية من CO_2 ولذلك نجد أن الأملاح الكلية الذائبة في هذه المياه تكون عالية وغالبا ما تكون غنية في بيكربونات الكالسيوم. أيضا هذه المياه تكون من نوع العسر المؤقت ولذلك فهي تميل إلى تكوين ترسيبات scale داخل الأنابيب ولا تؤدي إلى تأكلها كما أنها تسبب مشاكل كبيرة في الغلايات.

عند أخذ هذه المياه من عمق كبير نجد أنها تحتوى على مستوى قليل من الأكسجين وبيكربونات حديد أو منجنيز ذائب. وعندما تتعرض هذه المياه إلى الهواء الجوى يتأكسد البيكربونات إلى أملاح المنجنيز والحديد غير الذائبة وفي هذه الحالة فإن الماء يكون خالى من أملاح الحديد والمنجنيز لترسيبها في البئر.

ماء Moorland water

في الأماكن التي تتواجد فيها الأراضي كطبقة رقيقة فوق صخور غير منفذة يحتمل تواجد نوع من المياه له صفات خاصة. ومثال ذلك الماء الموجود في المناطق الثلجية في سكاندينافيا وسكوتلاند وكندا.

تحليل الماء

Moorland water :	المصدر
: مائل إلى الاصفرار	اللون
: مختلفة	المواد العالقة
150 uS/cm :	التوصيل الكهربائي
6.5 – 7.2 :	PH
105 ppm :	TDS

الكاتيونات	
كالمسيوم	30 ppm Ca CO ₃
مغنسيوم	15 ppm Ca CO ₃
صوديوم	35 ppm Ca CO ₃
أنيونات	
بيكربونات	30 ppm Ca CO ₃
كلوريد	30 ppm Ca CO ₃
كبريتات	15 ppm Ca CO ₃
نترات	5 ppm Ca CO ₃
سليكا	6 ppm Ca CO ₃
مادة عضوية	10 – 20 ppm KMnO ₄

عندما تؤخذ هذه المياه من البحيرات فأما تحتوى على مستوى منخفض من المسود العالقة أما عند أخذها من الجارى المائية فإنها تحتوى على مستويات مختلفة من المواد العالقة والغروية والمواد العضوية الذائبة.

ولأن هذا النوع من المياه يجرى فوق صخور غير منفذة فإن محتواها من الأملاح الكلزية الذائبة يكون منخفض العسر. وأملاح البيكربونات في هذه المياه تكون قليلة. وبالسالى فإن هذا الماء يمكن أن يودى إلى تآكل المعادن ولذلك فإن استخدام أنابيب الرصاص أو الصلب في نقل هذه المياه يمكن أن يودى إلى تلوث هذه المياه بالرصاص.

مرور المياه على المادة العضوية في الأراضى يودى إلى ارتفاع محتواها من المادة العضوية وتشمل العديد من المركبات العضوية التى تقع في المدى الغروى. محتوى هذه المياه من البكتريا يعتبر آمن ولذلك يمكن استخدامها في الشرب بدون ماملة.

المياه السطحية Surface Water

هذه المياه تشمل المياه التى مصدرها الأنهار والبحيرات والقنوات وغالبا ما تتلوث بمواد طبيعية وصناعية.

وتحليل هذه المياه كما يلى:

المصدر : ماء نهر

الليسون	: عكس
المواد العالقة	: 10-30 ppm
التوصيل الكهربائي	: 915 uS/cm
pH	: 7 - 8
TDS	: 640 ppm
الكاتيونات	
كالسيوم	: 200 ppm Ca CO ₃
مغنسيوم	: 75 ppm Ca CO ₃
صوديوم	: 200 ppm Ca CO ₃
أنيونات	
بيكربونات	: 125 ppm Ca CO ₃
كلوريد	: 125 ppm Ca CO ₃
كبريتات	: 175 ppm Ca CO ₃
نترات	: 50 ppm Ca CO ₃
سليكا	: 10 ppm Ca CO ₃
مادة عضوية	: مختلفة وتشمل المنظفات

وهذه المياه تحمل كل أنواع الشوائب شاملة المنظفات والفسفات والزيوت والعناصر الثقيلة ومياه الصرف الصحي المعالجة جزئياً. وهذه المياه تكون ملوثة بالبكتيريا كما أن محتواها من الأمونيا والفينول والنترات يكون عالياً.

مياه الجريان السطحي الناتجة عن الزراعة Agriculture runoff

مياه الجريان الناتجة من الري الزراعي تعمل على زيادة محتوى المياه من النترات والفسفات خاصة في المناطق الزراعية الكثيفة التي تتم فيها استخدام الأسمدة بصورة مكثفة. أيضاً جريان الماء على الأراضي الزراعية بعد سقوط الأمطار الكثيفة يؤدي إلى رفع محتوى المياه من النترات إلى مستوى أعلى من المستوى الصالح للشرب. وعادة ما يصاحب النترات والفسفات في المياه الكالسيوم والكبريتات وهذه الأيونات لا تمثل أي خطر. أيضاً عسر الماء والأملاح الكلية الذائبة تزيد بدرجة كبيرة مما يؤثر بدرجة كبيرة على استخدامها في الصناعة.

المياه الجارية غالبا ما تستقبل مخلفات عضوية تسبب تلوثها مثل مخلفات الإنسان ومخلفات الصناعات الغذائية مما يرفع قيمة BOD. أما في الأماكن الحضرية المكتظة بالسكان فإن المياه تستقبل العديد من الملوثات الكيميائية والمنظفات.

مياه الصرف الصحي:

الملوثات الناتجة من مياه الصرف الصحي يكون من الصعب إزالتها بعمليات

التجمع Coagulation. كما أن محتوى هذه المياه من المنظفات يمكن أن يمثل مشكلة عند معالجة المياه بالتبادل الأيوني. لأن المنظفات تؤثر بدرجة كبيرة على الراتنجات الأيونية.

هذه المياه يجب تعقيمها قبل عملية الكلورة اللازمة لتصبح المياه صالحة للشرب أيضا مياه الصرف الصحي تحتوي على أملاح كلية ذائبة أعلى من المياه الأصلية المستخدمة بمقدار 50 ppm.

كما أن محتواها من الفوسفات والنيتروجين يكون عالي ومن المعروف أن عنصري النيتروجين والفوسفات تساعدان على النمو الزائد للأعشاب والطحالب في الماء.

مياه الصرف الصناعي:

مياه الصرف الصناعي تحتوي على العديد من الملوثات وهي غالبا ما تكن شبيهة بالملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي وعموما فإن مياه الصرف الصناعي تضاف إلى مياه الصرف الصحي قبل المعالجة.

مياه المناطق الجافة Water from Arid Zones

المياه الموجودة في المناطق الجافة غالبا ما تكون ذات محتوى عالي من المواد غير العضوية ومحتوى منخفض من المواد العضوية كما يوضح التحليل الآتي:-

المصدر : مياه من منطقة جافة

الليسون	: قد تكون عكره في مواسم معينة
المواد العالقة	: الرمل والطين
التوصيل الكهربائي	: 1000-7000 uS/cm
pH	: 7.5 – 8.5
الأملاح الكلية الذائبة	: 700-5000 ppm
الكاتيونات	
كالسيوم	250-1500 ppm Ca CO ₃
مغنسيوم	150-500 ppm Ca CO ₃
صوديوم	150-2000 ppm Ca CO ₃
الأنيونات	
بيكربونات	أقل من 25% من الأيونات الكلية
كلوريد	قد تصل إلى 2000 ppm CaCO ₃ حينما يوجد تداخل مع ماء البحر
كبريتات	قد تصل إلى 1500 ppm as Ca CO ₃ في شكل جبس
نترات	منخفضة
السليكا	10-20 as ppm Ca CO ₃
مادة عضوية	لا تمثل مشكلة لوجودها بكميات ضئيلة

مياه الآبار العميقة قد تحتوى على H₂S ذائب. ويلاحظ من التحليل السابق ارتفاع محتوى المياه من الأملاح الكلية الذائبة نتيجة تداخل هذه المياه مع مياه البحر Sea water intrusion فحينما يتواجد تراكم جيولوجية مسامية بالقرب من البحر فإن مياه البحر تتخلل هذه الطبقات. وتصل إلى المياه الجوفية وحينما تتسرب المياه العذبة إلى أسفل من خلال المسام أو من خلال المناطق المنخفضة تتكون طبقة من المياه العذبة أعلى طبقة المياه المالحة وعند حفر البئر فإنه يتم سحب طبقة المياه العذبة أولاً أما إذا كان السحب عالى فإن الماء المسحوب عادة ما يكون خليط من المياه العذبة والمالحة. وتداخل مياه البحر لا يحدث في المناطق القريبة من البحار فقط ولكن قد تصل إلى حوالى 30 km بعيداً عن البحر كما هو الحال في ليبيا.

أيضاً قد يكون ارتفاع الأملاح الكلية الذائبة في المياه راجع إلى غسيل المياه لمعادن الطبقات التي يمر خلالها وفي هذه الحالة فإن محتوى المياه من الكالسيوم يكون

على فإيران يوجد بها مناطق غنية بالجليس والماء المار بهذه المناطق يحتوى على كبريتات كالسيوم بكميات تصل إلى 2000ppm. مياه الآبار العميقة غالبا ما تحتوى على مستويات منخفضة من الأكسجين مما يساعد على وجود أيونات الحديد والمنجنيز الذائبة كما تحتوى هذه المياه في بعض الأحوال على H_2S ذائب كما هو الحال في المملكة العربية السعودية.

المياه في المناطق الأستوائية

وهى المياه التى تتواجد في المناطق التى تتساقط فيها كميات من الأمطار على مدار العام كما في مناطق غرب أفريقيا وهذه المياه تتميز بانخفاض محتواها من الأملاح الكلية الذائبة وذلك للغسيل المستمر للطبقات السطحية التى يتلامس معها الماء. عامة فإن مياه الآبار في هذه المناطق لا يتأثر كثيرا بسقوط الأمطار لعدم تزايد اختراق المياه للطبقات نتيجة سقوط الأمطار ولذلك فإن التركيب الكيميائى لهذه المياه يشابه إلى حد كبير مياه المناطق المعتدلة.

والمشكلة الرئيسية في معاملة المياه السطحية في المناطق الأستوائية هو إزالة المواد العضوية وغير العضوية المعلقة وذلك نتيجة للغطاء النباتى الكثيف من جهة وتزايد الحبيبات الفردية نتيجة الأمطار من جهة أخرى. في بعض المناطق وخاصة في أفريقيا فإن الزراعة الكثيفة لمقابلة الاحتياجات الغذائية للأعداد المتزايدة من السكان أدت إلى تدهور التربة. ومثال ذلك نهر شمال أفريقيا الذى يعتبر مصدراً لمياه الشرب ولقد وجد أن مياه هذا النهر تحتوى على مواد صلبة معلقة تصل إلى 10.000ppm في موسم المطر والمسيه السطحية في هذه المناطق تعتبر غير آمنة بكتريولوجيا وقد تحتوى على الطفيليات الممرضة مثل البلهارسيا. أيضا المياه السطحية في هذه المناطق تشجع على نمو الطحالب فيها نتيجة المستويات العالية من الفوسفور والنيتروجين وأشعة الشمس وهذا بدوره يسبب مشاكل كبيرة لتنقية هذه المياه.

الخلاصة

يتضح مما سبق أن الخواص العامة المشتركة للمياه السابق ذكرها هو الاختلاف الكبير فيما بينها خاصة من ناحية المواد العالقة والعكارة والأملاح الذائبة وتأثر ذلك بمواسم الأمطار. أيضا المياه السطحية في هذه المناطق عرضة للتلوث البكتيري والكائنات الحية الدقيقة.

المياه المالحة Brackish water

النمو المتزايد للسكان أدى إلى زيادة الاحتياج للمياه لدرجة يصعب على مصادر المياه العذبة الوفاء بهذه الاحتياجات. استيراد المياه من خلال النقل خلال الأنابيب تعتبر غير عمليه لأسباب اقتصادية وسياسية ولذلك فوجود مياه مالحة يمكن استخدامها تعتبر أحد البدائل الممكنة فولاية فلوريدا (Cape Coral) تعطينا مثلا لذلك حيث يوضح التحليل التالى إحتواء المياه الملحية فيها على 5000ppm أملاح كلية ذائبة علما بأن المياه المستخدمة في التحليل هى مياه ناتجة عن تداخل مياه البحر مع المياه العذبة.

تحليل 2.5

المصدر	: مياه ملحية من كاب كورال بولاية فلوريدا — أمريكا
اللون	: 5 APHA units
المواد العالقة	: لا يوجد
التوصيل الكهربائى	: 2250 uS/cm
pH	: 7 – 45
TDS	: 1500 ppm
الكاتيونات	
كالسيوم	60
مغنسيوم	73
صوديوم	257
سترونيم	9.7
بوتاسيوم	15.4

٤١ المياه الطبيعية

0.002	منجنيز
0.06	حديد
	الأيونات
502	كلوريد
162	كبريتات
2.05	فلوريد
24.5	السليكا

Sea water مياه البحر

والتحليل التالى يوضح التركيب الكيميائى لمياه بحر الكارىي

تحليل 2.6.

المصدر	: البحر الكارىي
التوصيل الكهربائى	: 51000 uS/cm
pH	: 7.9
TDS	: 36200

الكاتيونات

350	الكالسيوم
1330	المغنسيوم
10300	الصوديوم
350	البوتاسيوم
-	حديد

الأيونات

170	بيكروونات
20510	كلوريد
2850	كبريتات
20	السليكا

مواد عضوية $O_2/l < 0.1$ (تم أنطلاقها نتيجة المعاملة بـ بـرمونات بوتاسيوم فى وسط قلوى)

عمليات المعالجة Process selection

سوف نلقى الضوء على بعض عمليات معالجة الماء مرتبه حسب الأفضلية

وتشمل:

أ. الترشيح Filtration

وتتم هذه العملية لإزالة الشوائب غير الذائبة وبوجه عامه فإن ترشيح كثير من مصادر المياه العذبة تعتبر وسيلة لإنتاج مياه صالحة للشرب.

ب. التقطير Distillation

وهى وسيلة شائعة للتنقية وتستخدم حالياً لتحلية المياه المالحة ومياه البحر التى تحتوى على أكثر من 5000ppm أملاح كلية ذائبة وخاصة فى المناطق التى تمتلك موارد طاقة رخيصة. أيضا تستخدم تقنية التقطير لإنتاج مياه نقية لصناعة الدواء حيث أن المياه الناتجة من التقطير تكون خالية من المواد العضوية وذات محتوى منخفض من الأملاح الكلية الذائبة.

التبادل الأيوني Ion Exchange

وهذه العملية تعتبر نموذجية عندما يكون محتوى المياه من الأملاح الكلية الذائبة لا يزيد عن 700 ppm. وفى هذه العملية يتم إزالة الأملاح وكذلك الملوثات العضوية اذا ما تم استخدام الراتنج الصحيح فى هذه العملية. وهذه العملية قادرة الآن على إنتاج مياه نقية تماما.

التحلل الكهربائي Electrodialysis

وهذه التقنية تستخدم فى معالجة المياه المالحة التى تحتوى على 2000 ppm أملاح كلية ذائبة وذلك لإنتاج مياه تحتوى على 500ppm أملاح ذائبة.

الأسموزية العكسية Reverse Osmosis

وتعتبر هذه التقنية مفضلة لمعالجة المياه التى تحتوى على أكثر من 700ppm أملاح كلية ذائبة ويشمل ذلك مياه البحار والمياه المالحة. وتستخدم هذه التقنية بكفاءة فى صناعة الدواء وإنتاج مياه الحقن حيث أن الناتج النهائى يحتوى على 5-10% من الأملاح الكلية الذائبة الأصلية مع إزالة المواد العضوية تماما.

الفصل الثالث

فيزياء وكيمياء الماء

❖ الذرات والجزيئات

❖ جزيء الماء

❖ خواص الماء

❖ الروابط المتكافئة والإلكترونيات



فيزياء وكيمياء الماء

Water Physics and Chemistry

المادة:

المادة هي العالم المحيط بنا (الأرض الصلبة والغلاف السائل والغلاف الجوى الغازى). ويمكن اعتبار المادة مكونة من ثلاثة أنواع من الجسيمات الأساسية هي البروتون والنيوترون والإلكترون. يوضح جدول (1-3) كتل الجسيمات الأساسية ويلاحظ تساوى كتلة كلا من النيوترون والبروتون تقريبا بينما كتلة الإلكترون أخف بمقدار 1840 مرة.

جدول 1-3. صفات البروتون والنيوترون والإلكترون

الحبيبة	الرمز	الشحنة	الكتلة
بروتون	p	e^+	$1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg}$
نيوترون	n	o	$1.6748 \times 10^{-27} \text{ kg}$
الإلكترون	e^-	e^-	$9.1091 \times 10^{-31} \text{ kg}$

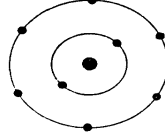
الذرات والجزيئات

تتكون الذرة من نواة متماسكة ذات شحنة موجبة محاطة بشحنة من الإلكترونات ويتراوح نصف قطر النواة من حوالى $1 \times 10^{-15} \text{ m}$ للهيدروجين إلى حوالى $7 \times 10^{-15} \text{ m}$ لأثقل الذرات وينظر إلى الذرة على أنها ذات مركز عظيم الكتلة ضئيل

الحجم ويحمل شحنة.

يعتبر الجزيء هو أصغر الحبيبات التي تملك جميع خواص المادة النقية (كتلة جزيء الماء 2.99×10^{-23}) ويتكون الجزيء عادة من عدد من الذرات وإن كان جزيئات بعض الغازات مثل الأرجون يحتوى على ذرة واحدة. وتتم الروابط الكيميائية في الجزيئات من خلال الإلكترونات الخارجية التي يتم إعادة توزيعها بين الذرات عند إقتراب الذرات من بعضها وقت حدوث التفاعلات الكيميائية مكونه الرابطة الكيميائية.

السنظرية القديمة للذرات والإلكترونات ينظر إلى الإلكترونات على أنها حبيبات ذات شحنات سالبة تدور في مدارات حول النويات ذات الشحنة الموجبة. وتمثل نواة الذرة أغلب كتلة الذرة وأن كان حجمها صغيراً جداً بينما تحتل الإلكترونات معظم حجم الذرة. عدد الإلكترونات (العدد الذرى Z) في الذرة هو الذى يحدد الطبيعة الكيميائية للذرة. وتعتبر ذرة الهيدروجين أصغر الذرات على الإطلاق وتحتوى على إلكترون واحد بينما تحتوى ذرة الأكسجين على ثمانية إلكترونات (شكل 3-1). كتلة أى إلكترون يمثل $1/1840$ من كتلة نواة ذرة الهيدروجين بينما شحنة الإلكترون تساوى 1.6×10^{-19} . وتتكون نواة ذرة الهيدروجين من بروتون واحد موجب ذو كتلة تعادل الوحدة. الذرات الأكبر تملك نواة تحتوى على نيوترونات وبيروتونات (كتلة النيوترون تماثل كتلة البروتون) ولكنه لا يحتوى على شحن. في الذرات المتعادلة كهربائياً فإن عدد البروتونات يعادل عدد الإلكترونات ليصبح عدد البروتونات مساوياً للفرق بين الوزن الذرى وعدد البروتونات (العدد الذرى Z).



شكل 3-1. ذرة الأكسجين في النظرية الذرية القديمة (نواة الذرة تحتوي على 8 بروتونات و 8 نيوترونات بينما يوجد 2 إلكترون في المدار الخارجى الأول ، 2 إلكترون في المدار الخارجى الثانى).

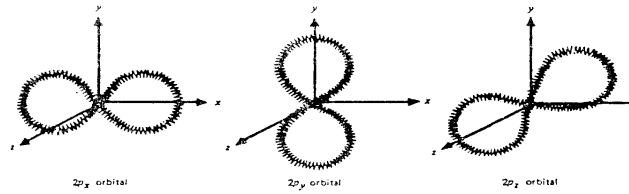
النظرية الذرية الحديثة تماثل النظرية القديمة ولكنها تعتبر وجود الإلكترونات على شكل سحب clouds سالبة الشحنة بدلا من اعتبارها جسيمات ذات شحنة تدور في مسارات ثابتة. ويتوقف توزيع الإلكترونات في السحابة الإلكترونية على وظيفة المدار ومنطقة الفراغ خارج النواة والتي تتمركز فيها السحابة الإلكترونية والتي عادة ما يشار إليها بالمدار الإلكتروني (شكل 3.2). وكل مدار من هذه المدارات يحتوى على إلكترونين يدوران عكس بعضهما مما يعطى كل مدار نظام ترتيبى وشكلى ثابت. الإلكترون الوحيد في المدار تبعاً لذلك يصبح أقل ثباتاً وبذلك يكون أكثر قدرة على الدخول في التفاعلات الكيميائية للحصول على إلكترون آخر ليكون شكل مدارى ثابت.



شكل 3-2. مدارات ذرة البورون (5 بروتونات، 6 نيوترونات في النواة، 2 إلكترون في المدار 1s، 2 إلكترون في المدار 2s ، إلكترون في المدار 2p)

تترتب الإلكترونات في أغلفة حول النويات وتكون الإلكترونات الخارجية هي فقط النشطة كيميائياً. تعتمد نظرية المدارات الإلكترونية على أعداد كمية رئيسية 1,2,3, التي تصف متوسط مستوى الطاقة للإلكترون بينما تصف الأعداد الكمية الثانوية s,p,d,f شكل المدارات الإلكترونية فنجد أن مدارات s تأخذ شكل غلاف كروي يتماثل حول النواة بينما تكون مدارات p على شكل جرس ينقسم إلى ٣ ثلاث مكونات موزعة على طول أحد المحاور المارة بالنواة. فإذا كان أعلى احتمال لإيجاد الكترون على طول محور x فيشار إلى المدار بالرمز P_x وإذا كان على طول محور Y فإنه P_y وإذا كان على طول محور Z فإنه P_z ويمثل شكل 3-3 هذه المدارات الثلاث.

ويوجد خمسة احتمالات لمدارات d وسبعة احتمالات لمدارات f وهذه المدارات لها توزيع فراغى فريد لا يتسع المقام لذكره.



شكل 3-3. مدارات 2p

الوزن الذرى والوزن الجزئى

الكتلة المطلقة للذرات والجزيئات هي كمية صغيرة جداً لذلك فإنه من المناسب استخدام أوزان نسبية للذرات بمعنى أخذ ذرة مثل الهيدروجين كأساس للمقارنة

ويعطى وزن ذرى 1 حيث أن وزن ذرة الهيدروجين هو أصغر وزن ذرى على الإطلاق بينما أعلى وزن ذرى يكون لذرة اليورانيوم ويكافئ 238 ويكون للعناصر وزن ذرى بينما المركبات يكون لها وزن جزيئى والوزن الجزيئى للمركبات هو عبارة عن مجموع الأوزان الذرية للعناصر المكونة منها.

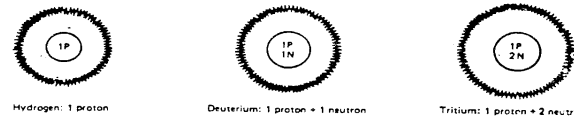
حاليا نؤخذ وزن ذرة الكربون كأساس ومرجع للمقارنة $^{12}\text{C}=12$ ونتيجة لذلك فإن الأوزان الذرية للهيدروجين والأكسجين تصبح 15.999,1.008 على التوالى. وعلى هذا الأساس يكون الوزن الجزيئى للماء هو 18.015.

النظائر المشعة Isotopes

يطلق لفظ النظائر على أى ذرتين تختلفان فقط فى عدد النيوترونات الموجودة فى السنواة وتمتلكان نفس العدد الذرى والخواص الكيميائية وبالتالي فهما يختلفان فقط فى العدد الذرى. ويتم التمييز بين النظائر بكتابة الوزن الذرى الرئيسى أعلى الرمز الكيميائى فمثلا الهيدروجين له ثلاث نظائر ذات عدد ذرى 1 والنظير ^1H هو هيدروجين عادى تحتوى السنواة فيه على بروتون واحد، ^2H هو الديوتيريوم deuterium ذو نواة تحتوى على بروتون واحد ونيوترون واحد، تريتيوم ^3H Tritium الذى تحتوى نواته على بروتون واحد وإثنين نيوترون وهذا الترتيب يجعل النواة غير ثابتة وبالتالي يكون التريتيوم نشط إشعاعيا ويطلق أشعة بيتا وفترة نصف العمر له هى 12.3 سنة.

ملحوظة

أكسيد Deuterium ($^2\text{H}_2\text{O}$) المناظر للماء هو عبارة عن سائل ذو كثافة تساوى 1.103 مرة قدر وزن الماء عند درجة حرارة 20°C (شكل 3.4). أيضا الأكسجين له ثلاث نظائر هى ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O وتواجدهم النسبى طبيعيا يكون 99.67, 0.04, 0.2% على الترتيب وبالتالي احتمال تواجد نظائر للماء هو أمر محتمل.



شكل 3-4. نظائر الهيدروجين وتحتوي جميعا على إلكترون واحد في المدار S.

المول Mole

يعرف المول بأنه الوزن الجزيئي النسبي مقدرا بالجرامات . ويحتوي المول الواحد على عدد (ذرات) جزيئات يساوى عدد أفوجادروا 6.022×10^{23} وعلى ذلك فإن واحد مول من الذرات يساوى الوزن الذرى بالجرام وأن واحد مول من الجزيئات يساوى الوزن الجزيئي بالجرام فعلى سبيل المثال.

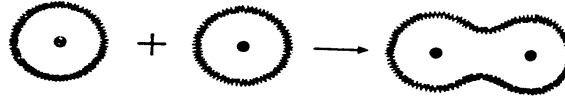
١ مول من ذرات الهيدروجين H كتلته 1.00797g وتشمل عدد من ذرات الهيدروجين يساوى 6.022×10^{23} ذرة، ١ مول من جزيئات الهيدروجين H_2 كتلته 2.01594 وتشمل عددا من جزيئات الهيدروجين يساوى 6.0235×10^{23} جزيء.

وعند معالجة الماء فإنه لمن المفيد التعبير عن تركيز الشوائب الكيميائية المعروفة بالمول/لتر وواحد مول من الماء يساوى 18.015g .

جزيئات الهيدروجين والأكسجين

تمتلك ذرة الهيدروجين في الحالة غير النشطة ground state إلكترون واحد في المدار 1s. ولذلك فإن هذا الإلكترون تكون له قدرة عالية للتفاعل مع ذرة هيدروجين أخرى ليعطى جزيء الهيدروجين H_2 . وفي هذا الجزيء ينطبق المدارات الذرية البسيطة في كل ذرة مكونة مدار جزيئي يحتوى على إلكترونين شكل

(3-5) وهذا النوع من الارتباط الذى يشترك فيه كلا من الذرتين بالكترون يسمى الرابطة التساهمية.



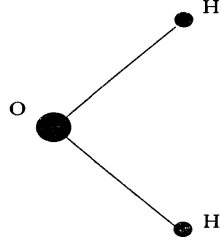
شكل 3-5. تفاعل ذرتى هيدروجين لتعطى مدار جزئى يحتوى على زوج من الإلكترونات.

أما الأكسجين فى الحالة غير النشطة ground state فهو يحتوى على ثمانية الكترون موزعة كالتالى: ٢ فى 1s، اثنين فى 2s، اثنين فى 2p بينما الاثنين الباقين يتوزعان على مدارى 2p. وعند اتحاد ذرتى أكسجين مع بعضهما يتكون جزئ الأكسجين ثنائى الذرة O₂ الذى يحتوى على زوجين من الإلكترونات فى المدار الجزيئى.

وجود الكترونات منفردة فى مدارى sp يجعل ذرة الأكسجين نشطة كيميائيا ويعطيها صفة البارامغناطيسية (تواجد أقطاب مغناطيسية دائمة).

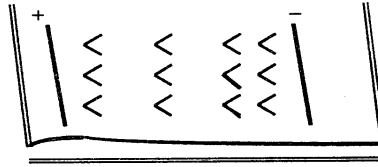
جزئى الماء

تفاعل ذرة الأكسجين مع ذرتى هيدروجين مكونا الماء وينتج من هذا التفاعل انطلاق طاقة ناتجة عن إعادة توزيع الإلكترونات حيث يتم اخذ الإلكترونات الذرية فى ذرة الأكسجين لتكون أزواج إلكترونية فى المدار الجزيئى. والزوايا بين مدارى الارتباط فى الماء تساوى 104.5° وهى أكبر قليلا من الزاوية بين مدارى 2p والى تساوى 40° شكل (6 - 3).



شكل 3-6. شكل جزئ الماء - نواة الأكسجين تحمل شحنة سالبة ونواة الهيدروجين تحمل شحنة موجبة وارتباط الهيدروجين بالأكسجين في جزئ الماء يتم على طريقة الروابط التعاونية. ونظراً لكبر حجم نواة ذرة الأكسجين بالنسبة إلى نواة ذرة الهيدروجين فإنها تجذب أكثر من نصف الإلكترونات في الرابطة التعاونية وبالتالي تحمل شحنة سالبة ويصبح ذرتي الهيدروجين محمّلتين بشحنة موجبة ونتيجة لذلك فإن جزئ الماء يحمل شحنتين ويطلق عليه جزئ ثنائي القطبية dipole وهذه الصفة يرجع إليها الكثير من خواص الماء.

وعند وضع الماء بين قطبين ذو شحنتين سالبة وموجبة فإن جزيئات الماء تترتب بحيث تخفض الجهد بين القطبين (شكل 3-7) وهذه الخاصية هي السبب في إرتفاع ثابت ثنائي الكهربية للماء والذي يصل إلى 80 عند درجة حرارة 20° وبالتالي يكون الترتيب جيد للغاية للمواد المتأينة حيث يعمل الماء نتيجة لقطبيته إلى مصاحبة الماء في الصورة السائلة.



شكل 3-7. ترتيب جزيئات الماء بين القطبين ذي الشحنة

خواص الماء

١- الثبات الكيميائي للماء

عند تكون الماء من عناصره (الأكسجين والهيدروجين) تنطلق طاقة تقدر بحوالى 286 kJ/mol. والتفاعل المباشر يعتبر ذو طبيعة انفجارية explosive ولكن يمكن إجراؤه عند درجات حرارة عادية تحت ظروف خاصة في خلية الوقود وهذه الخلية تكون من الكترودات وعوامل مساعدة وغشاء تبادل أيوني مرتبة بدرجة تسمح باتحاد غازى الهيدروجين والأكسجين منتجا طاقة كهربائية. وأقصى فولت ينتج من هذه الخلية هو 1.23 V عند 20° وهو ما يعادل طاقة كهربائية قدرها 237 kJ/mol.

انطلاق طاقه كهربائية كبيرة عند تكون الماء يعنى ثبات الماء كيميائيا عند درجات الحرارة العادية. أما عند درجات الحرارة العالية فيتحلل الماء وتكون درجة التحلل عند 2000 °C هى حوالى 0.008.

يمكن للماء أن ينحل بواسطة الفلزات القلوية والليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم منتجا غاز الهيدروجين وهيدروكسيد الفلز. كما يمكن للماء أن يتفاعل مع الفلزات القلوية الأرضية الكالسيوم والسترنشيوم والباريوم وكذلك الحديد وفي هذه التفاعلات يتفاعل الماء كمادة مؤكسدة.

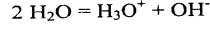
وعند درجات الحرارة العادية يكون التوصيل الكهربائي للماء ضعيفا مما يدل على وجود تأين ضعيف جداً للماء.



٢- التحلل الأيوني للماء Ionic dissociation of water

يستحلل الماء إلى أيوناته (الهيدروكسيل والهيدروجين) عند درجة حرارة 25°C بمقدار ضئيل جداً يقدر بحوالى واحد جزئ من الأيونات لكل 555 مليون جزئ ماء وتكون الأيونات المنحلة مصاحبة بقوة لجزيئات الماء فأيون الهيدروجين H^+ لا يتواجد

بمفردة في الماء مطلقا ولذلك فهو عادة ما يكتب كأيون الهيدرونيوم H_3O^+ :



قسمة التوصيل الكهربائي للماء عند درجة 25° هي 0.056 uS/cm وهو ما يعادل تركيز 10^{-7} mol/l من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيل.

وبتطبيق قانون فعل الكتلة على تحلل الماء فإن الناتج الأيوني يصبح:

$$K_w = [H_3O^+] [OH^-]$$

حيث:

[] التركيز مقدرا بالمول / لتر يكون ثابت عند درجة حرارة معينة. وقيمة K_w هي $10^{-14} (\text{mol/l})^2$ عند درجة حرارة 25°C.

٣- درجة الحموضة pH

يمكن التعبير عن التركيز الضعيف لتركيز الأيونات باستخدام اللوغاريتم السالب فعل سبيل المثال يمكن التعبير عن K_w باستخدام اللوغاريتم السالب فيصبح

$$pK_w = -\log K_w \quad \text{عند درجة حرارة } 25^\circ\text{C}$$

$$pK_w = -\log (10^{-14}) = -(-14) = 14$$

فكلما صغرت قيمة K_w تزيد قيمة pK_w ويستخدم اللوغاريتم السالب عادة للتعبير عن تركيز أيون الهيدرونيوم في الماء والمحاليل المائية.

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

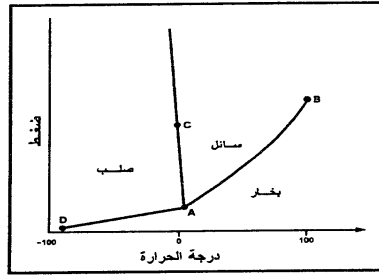
والتعريف الدقيق للـ pH هو عبارة عن اللوغاريتم السالب للنشاط الديناميكي الحراري لأيونات الهيدرونيوم. وهنا يعتبر النشاط مساويا للتركيز الجزئي في المحاليل المخففة. وعند درجة حرارة 25°C فإن تركيز أيونات الهيدرونيوم في الماء النقي تكون 10^{-7} mol/l ولذلك فإن

$$pH = -\log (10^{-7}) = 7$$

ودرجة الـ pH هذه تمثل درجة التعادل بين الحمض والقلوى وإضافة حمض إلى الماء يزيد من تركيز أيونات الهيدرونيوم فيقل الـ pH ولما كان الناتج الأيون K_w ثابت فمن البديهي أن يقل تركيز أيونات الهيدروكسيل تبعاً لذلك والعكس صحيح تماماً عند إضافة قلوى إلى الماء.

٤- إتزان الأطوار phase equilibria

درجات الحرارة التي يحدث عندها غليان الماء أو تجمده ثابتة ولا تتغير تحت الضغط الجوي وهي 0°C ، 100°C وللماء نقطة ثلاثية triple Point أى درجة حرارة يتواجد عندها الصور الثلاثة للماء وهي الثلج والسائل والبخار والغاز في حالة إتزان وهذه الدرجة هي 0.0098°C عند ضغط 0.011 kN/m^2 (شكل 3-8). فوق هذا الضغط يكون التوازن أيضاً ممكناً فقط بين الثلج والسائل أما بين السائل والغاز أما أقل من الضغط السابق ذكره فيحدث إتزان فقط بين الثلج والسائل ويتسخن الثلج تحت هذه الظروف فإنه يتسامى مباشرة إلى بخار وهذا التأثير هو الذى يستخدم في عمل التجفيف بالتبريد Freeze drying.



شكل 3-8. إتزان أطوار الماء . A تمثل النقطة الثلاثية، AB نقطة الغليان (إتزان السائل والغاز)، AC نقطة الانصهار (إتزان الصلب والسائل) AD التسامى (إتزان الصلب والغاز).

عندما يتجمد الماء السائل يحدث زيادة في الحجم ولذلك نجد أن كثافة الماء عند درجة صفر مئوية تكون 0.999g/cm^3 بينما كثافة الثلج 0.917g/cm^3 .

وتقدر حرارة الانصهار للثلج 335J/g عند صفر درجة مئوية بينما حرارة التسخين للماء تقدر بـ 2255J/g عند درجة 100°C وارتفاع درجة حرارة التبخير تعكس مدى قوة ترابط جزيئات الماء في الحالة السائلة.

٥- التضاغط Compressibility

يعرف تضاغط السائل B بأنه التغير النسبي في الحجم ΔV مقسوماً على التغير في الضغط ΔP .

$$B = \frac{-\Delta V}{V \Delta P}$$

وحدات B هي $\text{cm}^2/2/\text{N}$ أو Bar^{-1} .

قام Bridgeman بتجارب على تضاغط الماء وذلك بأن وضع الماء في أسطوانة مصنوعة من سبيكة الصلب والكروم فاناديوم بداخلها مكبس وقام بقياس التغير في الحجم بازدياد الضغط واستعمل ضغط حتى 95000 ضغط جوي ووجد أن تضاغط الماء هو داله للحرارة والضغط (جدول 2-3).

جدول 2-3 تضاغط الماء والخاليل المائية

المحلول	التركيز %	درجة الحرارة $^\circ\text{C}$	الضغط جو	$B, 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$
الماء	—	0°C	500	4.56
	—	20°C	~	4.18
	—	4°C	~	4.09
	—	20°C	1000	3.91
	—	20°C	2000	3.47
سكر	—	20°C	5000	2.18
	0	12.4	1-140	4.59
	10	~	~	4.4
	20	~	~	3.91
	1.3	10	15	4.47
كلوريد صوديوم	13.5	10	15	3.34

تابع جدول 2-3

2.78	15	10	22.2
3.92	2-20	20	5.8
3.66	~	~	9.9
3.09	~	~	17.8

كلوريد كالسيوم

ويوضح الجدول تأثير الأملاح والمواد الذائبة في الماء على تضغط الماء فنجد أن المواد الذائبة أدت إلى خفض تضغط الماء.

٦- خواص الإذابة

قطبية جزيئات الماء تعنى مقدرة جزيئات الماء للترتيب حول الأيون ذو الشحنة الكهربائية وذلك اخفض الحقل الكهربائي للأيون. ولذلك فإن الماء يعتبر مذيب جيد للمواد المتأينه فعلى سبيل المثال فإن بلورة كلوريد الصوديوم تتركب من أيونات الصوديوم والكلور ممسوكة ببعضها داخل البلورة وبوضع بلورة كلوريد الصوديوم في الماء فإن جزيئات الماء تحيط بالأيونات وتحطم البلورة وتذيب الملح. والماء له المقدرة على إذابة كل الأملاح والأحماض والقواعد بدرجات مختلفة. أيضاً جميع الغازات لها درجات ذائبية معينة في الماء تتناسب مع الضغط الجزئي للغاز وتقل الذائبية بزيادة درجة الحرارة وعندما يكون للغاز مقدرة على إنتاج أيونات في الماء مثل ثاني أكسيد الكربون، الأمونيا تكون ذائبية الغاز مرتفعة ويوضح الجدول رقم 3-3 ذائبية بعض الغازات.

جدول 3-3. ذائبية الغازات مقدرة بالسهم المكعب من الغاز ذائب في لتر من الماء عند ضغط غاز 100 kN/m^2 عند درجة حرارة 20°C .

31	الأكسجين
15	نيتروجين
15	هيدروجين
878	ثاني أكسيد الكربون
2300	كلور
654	أمونيا

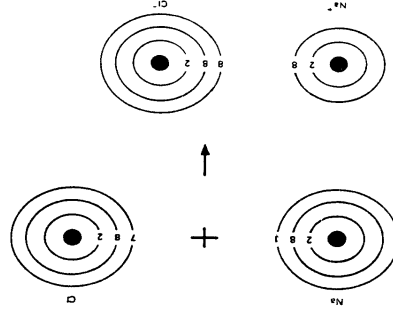
وذائبية السوائل في الماء تعتمد بدرجة كبيرة على القطبية فالسوائل التي تتأين في الماء مثل حمض الكبريتيك تتفاعل في الماء منتجة حرارة. أما السوائل التي تحتوى على مجاميع قطبية مثل الكحولات والأمينات تكون شديدة الذوبان في الماء بينما السوائل الغير قطبية مثل الهيدروكربونات تكون شحيحة الذوبان في الماء ونفس المنطق ينطبق على ذائبية المواد الصلبة في الماء.

٧- الغرويات Colloids

الركبات غير الذائبة في الماء قد تكون معلقة غروية ثابتة في الماء وتكون فيها الجسيمات المعلقة صغيرة جداً لدرجة أن الحركة العشوائية للجزيئات الماء تمنعها من الترسيب. وتتراوح حجم الجسيمات الغروية بين $(10^{-9}\text{m}-10^{-6}\text{m})$ ويعتبر إزالة الغرويات من المشكلات الرئيسية في تنقية مياه الصرف الصحي. وتعتبر معادلة الشحنات على الجسيمات الغروية المعلقة بواسطة إضافة كاتيونات عديدة التكافؤ مثل أملاح الحديد والأمونيوم وسيلة فعالة في تجميع الغرويات غير المرغوب فيها.

الروابط المتكافئة والإلكتروليات

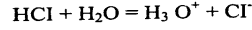
الإلكتروليات هي مواد تنتج أيونات ذات شحنات كهربائية قادرة على توصيل الكهرباء فعندما يتكون كلوريد الصوديوم من عناصره يحدث انتقال كامل للإلكترون من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلوريد وهذا يجعل كلا من الذرتين ذات تركيب الكتروني ثابت وفي نفس الوقت تحمل كلا من الذرتين شحنة فتصبح ذرة الصوديوم ذات شحنة موجبة (كاتيون) وذرة الكلوريد ذات شحن سالبة (أنيون) وكلا من الأيونين يتحدان ببعضهما عن طريق التجاذب الإلكترونياتيكى ويطلق على الرابطة الموجودة بينهم بالرابطة المتكافئة كهربائياً Electrovalent bond.



شكل 3-9. تكوين الرابطة المكافئة الكهربائية في كلوريد الصوديوم (تمثل الأرقام عدد الإلكترونات في المدارات)

(١) الأحماض القوية

الحمض هو مادة تنتج أيونات الهيدروجين في الماء وبالتالي تقلل من تركيز أيون الهيدروكسيل. والحمض القوي هو الحمض الذي يتأين تماماً في الماء مثل حمض الهيدروكلوريك:



وكلوريد الهيدروجين هو عبارة عن غاز يوجد به رابطة تعاونية قطبية بين ذرات الهيدروجين والكلوريد. وبذوبانه في الماء يحدث انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين إلى الكلورين وتكون أيونات الهيدرونيوم وأيونات الكلوريد ويمكن بسهولة حساب درجة حموضة pH لمحلول حمض الهيدروكلوريك حيث أن كل مول من الحمض يعطى واحد مول من أيونات الهيدروجين فإذا كان تركيز الحمض

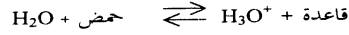
$$\text{pH} = -\log c \quad \text{cmol/l}$$

فإذا كان التركيز 0.01/mol/l فإن

$$\text{pH} = -\log (0.01) = -(-2) = 2$$

(٢) الأحماض الضعيفة

يوجد إتران بين غالبية الأحماض والماء ويتكون أيون الهيدرونيوم كما يلي:



وتسبب للنظرية العامة للأحماض والقواعد فإن القاعدة تتكون دائماً عندما ينتج الحمض أيونات الهيدرونيوم. ويعرف الحمض بأنه مادة قادرة على تكوين أيونات الهيدروجين مع المذيب بينما القاعدة تعرف بأنها المادة التي تزيل أيونات الهيدروجين من المذيب. في الماء نجد أن إزالة أيونات الهيدروجين تعني زيادة في تركيز أيونات الهيدروكسيل وذلك للحفاظ على حاصل الإذابة الأيون K_w ثابتاً.

وبتطبيق قانون فعل الكتلة على إتران القواعد والأحماض في الماء يصبح ثابت الإتران K_a كما يلي:

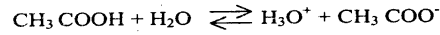
$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{base}]}{[\text{acid}]}$$

وتمثل [] التركيز الجزئي أو بتعبير أدق النشاط الديناميكي الحراري ويمكن التعبير عن K_a لوغاريماً كالآتي:

$$\text{p}K_a = -\log (K_a)$$

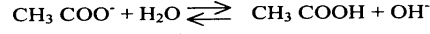
ويقاس $\text{p}K_a$ قوة الحمض فالحمض الضعيف جداً تكون قيمته K_a منخفضة أى $\text{p}K_a$ عالية والعكس صحيح بالنسبة للحمض القوي.

ومثال ذلك الفينول وهو حمض ضعيف جداً تكون $\text{p}K_a$ له = 10.0 بينما $\text{p}K_a$ لحمض الخليك الأقوى هو 4.76 والتفاعل التالي بين حمض الخليك والماء يعتبر مثالا للتوازن العام بين القواعد والأحماض.



ويعتبر أيون الخلات CH_3COO^- هو القاعدة في هذا الإتران ويطلق على هذا الأيون أسم قاعدة base واعتباره محلول خلات الصوديوم في الماء وتحلل الملح تماماً

فإن أيون الخلات يتفاعل مع الماء وينتج أيون الهيدروكسيل.



ولما كان الناتج $[\text{OH}^-] [\text{H}_3\text{O}^+] = K_w$ دائماً ثابت فإن زيادة $[\text{OH}^-]$ يعنى نقص $[\text{H}_3\text{O}^+]$ وزيادة درجة الحموضة pH ويصبح المحلول قلويًا.

ودرجة الحموضة pH لمحلول تركيزه cmol/l (حمض ضعيف في الماء) يمكن حسابه من نظرية الاتزان الكيميائي.

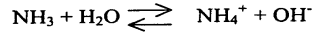
$$\text{pH} = \frac{\text{pKa} - \log c}{2}$$

و pH حمض الخليك ذو تركيز 0.01 mol/l يصبح:

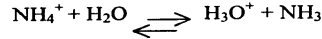
$$\text{pH} = \frac{4.76 - \log 0.01}{2} = \frac{6.76}{2} = 3.38$$

(٣) القواعد الضعيفة

تتفاعل القاعدة مع الماء وتعطى أيونات الهيدروكسيل وبالتالي ينخفض أيونات الهيدرونيوم ويزداد الـ pH وتعتبر خلات الصوديوم مثال للقاعدة وكذلك الأمونيا وعند إذابة غاز الأمونيا في الماء يتفاعل وينتج أيونات الأمونيوم والهيدروكسيل.



ويعتبر أيون الأمونيوم (NH_4^+) هو الحمض المصاحب للقاعدة (الأمونيا NH_3) وبإذابة ملح مثل كلوريد الأمونيوم في الماء نجد أن أيون الأمونيوم يتفاعل مع الماء وينطلق أيون الهيدرونيوم وتعطى التفاعل الحمضى التالي:



وثوابت التحلل للقواعد (K_a^-) تكون:

$$K_a^- = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{base}]}{[\text{acid}]}$$

pK_a^- للقواعد الضعيفة تكون منخفضة والعكس صحيح فالأنيلين يعتبر قاعدة ضعيفة جداً ذات $pK_a^- = 4.6$ عند درجة $25^\circ C$ بينما الأمونيا تعتبر قاعدة قوية ذات $pK_a = 9.2$ ودرجة pH المحلول للقاعدة الضعيفة عند تركيز 1 cmol/l :

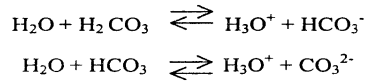
$$pH = \frac{pK_w + pK_a^- + \log c}{2}$$

وبالتالى درجة pH محلول الأمونيا عند تركيز 0.01 mol/l تكون:

$$pH = \frac{14 + 9.2 + \log 0.01}{2} = \frac{21.2}{2} = 10.6$$

(٤) الأحماض عديدة القاعدية

بعض الأحماض الهامة تكون عديدة القاعدية. بمعنى أنها تأين على أكثر من مرحلة معطية سلسلة من الاتزان فمثلاً اتزان حمض الكربونيك.



ويستكون حمض الكربونيك بذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء وأول مرحلة للتأين تعطى أيونات البيكربونات ذات $pK_a = 6.4$ عند $25^\circ C$. والمرحلة الثانية تعطى أيونات الكربونات (حمض ضعيف جداً $pK_a = 10.3$) ويتكون أيونات الكربونات فقط في المحاليل القلوية ويعتبر الاتزان بين أيونات الكربونات والبيكربونات ذات أهمية خاصة من ناحية ترسب كربونات الكالسيوم والمغنسيوم في المياه الطبيعية.

أيضاً حمض الفوسفوريك H_3PO_4 تتأين على ثلاث مراحل إلى $H_2PO_4^-$ ، HPO_4^{2-} ، PO_4^{3-} ، وقيم pK_a لهم بالترتيب 2.1، 7.2، 12.7.

(٥) المحاليل المنظمة Buffer Solutions

تكون درجة الحموضة pH في المحاليل المنظمة ثابتة عند إضافة كميات صغيرة

من القاعدة أو الحمض. وتركيب المحاليل المنظمة من إضافة حمض إلى القاعدة المصاحبة Conjugate أو القاعدة إلى الحمض المصاحب وخلطهم في محلول. ويمكن الحصول على أقصى قوة تنظيمية للمحلول وذلك بإضافة كميات متكافئة من الحمض والقاعدة وبالتالي يصبح pH المحلول مساوي قيمة pKa للحمض أو pKa⁻ للقاعدة ومثال ذلك مخلوط حمض الخليك وخلات الصوديوم.

$$pH = pKa + \log [base] / [acid]$$

ولما كان تركيز الخلات مساوي لتركيز حمض الخليك فإن:

$$pH = pKa + \log [sodium acetate] / [acetic acid]$$

$$pH = pKa = 4.76$$

والسبوع الثاني من المحاليل المنظمة تتكون من قاعدة ضعيفة والحمض المصاحب مثال ذلك الأمونيا وكلوريد الأمونيوم.

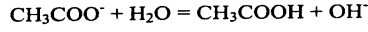
$$pH = pKa^- + \log \left[\frac{[ammonia]}{[ammonium\ chloride]} \right]$$

عند تساوي التركيز

$$pH = pKa^- = 9.2$$

(٦) درجة حموضة محاليل الأملاح

تتفاعل أملاح الأحماض القوية مع القواعد القوية وتأمين تماماً وتذوب في الماء لتعطى محاليل طبيعية. فأملاح القواعد القوية مع الحمض الضعيف مثل خلات الصوديوم تعطى محاليل ذات تفاعل قلوي فأيونات الخلات تتفاعل مع الماء لتعطى أيونات الهيدروكسيل:



من الاتزان الخاص فإن درجة حموضة محلول ذو تركيز 1/1 cmol/l للملح ...

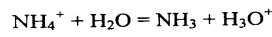
يقدر كما يلي:

$$pH = \frac{pK_w + pKa + \log c}{2}$$

وعند تركيز خللات صوديوم 0.01 mol/l فإن:

$$\text{pH} = \frac{14 + 4.76 + \log 0.01}{2} = \frac{16.76}{2} = 8.38$$

أما في حالة الملح الناتج من قاعدة ضعيفة مع حمض قوى مثل كلوريد الأمونيوم فإنه يعطى محلول حمضى وتتفاعل أيونات الأمونيوم مع الماء لتعطى أيونات الهيدرونيوم:



ويكون pH المحلول الملح بتركيز 0.01 mol/l:

$$\text{pH} = \frac{\text{pKa} - \log c}{2}$$

وإذا كان تركيز كلوريد الأمونيوم في الماء 0.01 mol/l فإن:

$$\text{pH} = \frac{9.2 - \log 0.01}{2} = \frac{11.2}{2} = 5.6$$

(٧) الأملاح ضعيفة الذوبان

تتوقف ذائبية الأملاح شحيحة الذوبان في الماء على حاصل الإذابة Ks. ويعرف حاصل الإذابة بأنه ناتج التركيز الجزيئي للأيونات من الملح والذي يظل ثابتاً في المحاليل التي في حالة توازن مع المواد الصلبة غير الذائبة. حاصل إذابة كربونات الكالسيوم في الماء:

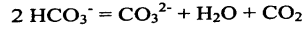
$$K_a = [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}]$$

جميع المياه الطبيعية تحتوى على تركيزات متفاوتة من بيكربونات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. فإذا كان تفاعل الماء حمضى أو قلووى ضعيف يكون تركيز أيونات الكربونات (CO_3^{2-}) التي في حالة توازن مع البيكربونات منخفضة جداً (pKa for)

$(\text{CO}_3^{2-}=10.3)$ ومع ذلك فعند إضافة القلوى فإن الاتزان يتغير لصالح الكربونات وعندما يكون:

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = K_s$$

فإن كربونات الكالسيوم تبدأ في الترسيب. وعموماً فإن البيكربونات تعتبر غير ثابتة تحت ظروف الحرارة وتتحلل مع انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون.



ونتيجة حاصل الإذابة (K_s) لكربونات الكالسيوم عند 25°C هو $8 \times 10^{-9} (\text{cmol/l})^2$.

(أ) القواعد القوية

تسأين القواعد القوية مثل هيدروكسيدات الصوديوم والبوتاسيوم تماماً في الماء وتقدر درجة حموضة (pH) المحلول الذي تركيزه cmol/l في الماء نتيجة للتأين التام كما يلي:

$$\begin{aligned} [\text{OH}^-] &= c \\ [\text{OH}^-] [\text{H}_3\text{O}^+] &= K_w \\ [\text{H}_3\text{O}^+] &= K_w / c, \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \end{aligned}$$

لذلك فإن:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log K_w + \log c \\ &= \text{p}K_w + \log c \end{aligned}$$

وبالتالي يصبح درجة pH محلول هيدروكسيد الصوديوم ذو تركيز 0.01mol/l

كما يلي:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 + \log 0.01 \\ &= 12 \end{aligned}$$

الفصل الرابع

معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

- ❖ فوائد استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة
- ❖ مصادر مياه الصرف وعمليات المعالجة والإستخدام
- ❖ المعايير الهامة عند إستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة
 - عوامل صحية
 - العناصر الصغرى والمعادن الثقيلة
 - درجة الحموضة
- ❖ المعايير المحددة لصلاحية مياه الصرف الصحي من الناحية الزراعية
 - التركيز الكلى للأملاح
 - نسبة الصوديوم المدمص
 - الأيونات السامة



معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

مقدمه

نظرا لمحدودية مصادر المياه الصالحة للاستخدام الزراعى وتزايد الطلب على المياه لمواجهة الزيادة السكانية المطردة فإن استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة يعتبر أحد الوسائل الهامة لمعالجة هذه المشكلة.

فاستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة يمكننا من إمداد المحاصيل بالمياه والمغذيات وفي نفس الوقت فإنه يعتبر وسيلة للتخلص من مياه الصرف الصحي بطريقة آمنة تمنع المشاكل الصحية والمخاطر البيئية التي يمكن أن تنجم عن التخلص العشوائي من مياه الصرف.

في الظروف البيئية الجافة وشبه الجافة والتي فيها يتحتم استخدام تقنيات الري الحديثة لمواكبة التطور الزراعى فإن أهمية استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة تعتبر كبيرة نتيجة لندرة الأمطار في المناطق الجافة مثل (مصر ودول الخليج العربى والمكسيك وغرب وجنوب الولايات المتحدة واستراليا). واستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة هو أسلوب قديم يمارس منذ زمن طويل ومثال ذلك مزرعة werribee القرية من مليون- استراليا والتي تعمل تحت هذا النظام منذ عام 1897.

يختلف استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمصدر للرى الزراعى عن

مصادر الري العادية فيما يلي:

١. ارتفاع الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD و COD) في هذه المياه كما أنها تحتوى على مواد عضوية سامه بتركيزات منخفضة مثل المبيدات والتي قد تسبب مشكلات صحية عديدة.
 ٢. ارتفاع تركيز المواد الذائبة غير العضوية في هذه المياه بالمقارنة بالمياه الطبيعية مثال ذلك الصوديوم، الكلوريد والبيكربونات (التي تؤدي إلى ملوحة وصودية هذه المياه) ومستويات مختلفة من العناصر الكبرى وخاصة النيتروجين والفوسفور ويجب أخذ ذلك في الاعتبار لما تمثله من مصدر هام للعناصر الغذائية وأيضاً كمصدر محتمل لتلوث المياه الجوفية. في عمليات المعالجة عادة لا يتم التخلص من هذه الأملاح فيما عدا البيكربونات التي ترسب.
 ٣. ارتفاع تركيز بعض العناصر الصغرى التي يحتاجها النبات (Zn, Mo, Mn, Cu, B) وتواجد العناصر الصغرى الأخرى مثل Hg, Pb, Cd بتركيزات عالية والتي تؤدي إلى سمية النبات.
 ٤. تواجد الأحياء الدقيقة الممرضة (البكتريا وفيروسات) في هذه المياه على الرغم من أن عمليات المعالجة تعمل على خفض تركيزاتها بصورة كبيرة أيضاً تتواجد الطفيليات Parasites (البروتوزوا) في مياه الصرف الصحي.
- ويجب التنويه أنه عند استخدام مياه الصرف الصحي في الري الزراعى يجب أن نضع في الاعتبار صفات المياه المستخدمة والبخر والتتح وطريقة الري والتسميد والصرف وعمليات أخرى.

الفوائد الاقتصادية من استخدام مياه الصرف الصحي في الري الزراعى

مثال

مدينة ذات تعداد سكان 500.000 نسمة وفيها يقدر استهلاك الفرد من الماء

٧١ معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

200 l/d تستج حوالى (30Mm³/year) 85.000 m³/d من مياه الصرف الصحي بافتراض أن حوالى أن حوالى 85% من الاستهلاك يذهب إلى نظام الصرف الصحي. فإذا افترضنا أن مياه الصرف الصحي المعالجة يمكن استخدامها في الري الزراعى بمعدل 5000 m³/ha.year فإنه يمكن تبعاً لذلك رى مساحة مقدارها 6000 هكتار سنوياً. بالإضافة إلى الأهمية الاقتصادية الواضحة لاستخدام مياه الصرف الصحي في الري فإن محتوى هذه المياه من العناصر الغذائية يعتبر هام أيضاً. فتركيز المغذيات في مياه الصرف الصحي المعالجة تكون كالتالى:

Nitrogen (N)	: 50 mg/ l
Phosphorus (P)	: 10 mg/ l
Potassium (K)	: 30 mg/ l

وبافتراض أن الكمية المستخدمة من مياه الصرف الصحي تقدر 5000 m³/ha.year فإن تركيز المغذيات في هذه المياه تعادل:

N -	250 kg/ha.year
P -	50 kg/ha.year
K -	150 kg/ha.year

ولذلك فإن احتياجات المحصول من الأسمدة الفوسفورية والنيتروجينية والبوتاسية يمكن الحصول عليها من مياه الصرف الصحي بالإضافة إلى تركيزات أخرى من العناصر الغذائية الصغرى والمواد العضوية.

مصادر ومكونات مياه الصرف الصحي

أ. مصادر مياه الصرف

يقسم مياه الصرف تبعاً لمصدر المياه إلى:

١. مياه صرف صحي
٢. مياه صرف صناعى

٣. مياه صرف زراعي

فمياه الصرف الصحي تنشأ أساساً نتيجة الاستهلاك الآدمي وتحتوي على كميات متفاوتة من مياه الصرف الصناعي والأمطار. وتقدر كميات مياه الصرف الناتجة بحوالى 80% من الاستهلاك الآدمي الكلى وتتراوح بين 100-300 L $\text{capita}^{-1} \text{day}^{-1}$ تبعاً لمستوى المعيشة والمناخ وفصول السنة. وتقدر مياه الصرف الصناعي المستخدم في الدول الصناعية بحوالى 6-10% من الاستهلاك الكلى ومن المتوقع أن تزيد الكمية المستخدمة إلى 20-25% بنهاية هذا القرن.

ينصح بعمل نظام صرف منفصل خاص بمياه الصرف الصناعي وذلك في المناطق الصناعية وذلك لاحتوائها على مواد مقاومة للتحلل ويتطلب معاملة كيميائية كما أن مياه الصرف الصناعي تحتوي على ملوثات سامة تتطلب تكلفة عالية لإزالتها. يفضل معاملة مياه الصرف الصناعي قبل ذهابها إلى النظام الرئيسي للصرف الصحي إعادة استخدام المياه تعتبر وسيلة فعالة في بعض الصناعات ومع ذلك فتدوير هذه المياه وإعادة استخدامها في الصناعة يعتبر وسيلة غير عملية وذلك لما تتطلبه من كميات كبيرة من الماء ووسيلة للتخلص منها ولذلك فإن استخدام هذه المياه في الري يعتبر من أفضل الحلول العملية لإعادة استخدام كميات كبيرة من مياه الصرف الصناعي المعالجة.

على الرغم من أن الزراعة تستهلك حوالى 70-80% من الاحتياجات المائية السنوية في العديد من البلدان فإنها لا تعتبر المصدر الرئيسي لمياه الصرف فأكثر من 95% من المياه المستخدمة في الزراعة تكون للري وأغلب مياه الري تتبخر إلى الجو. وعلى الرغم من ذلك فإن المياه الجارية المستخدمة في الزراعة تحتوي على مبيدات وأسمدة وتعتبر المصدر الرئيسي للـ eutrophication للبحيرات وتلوث المياه السطحية والمياه الجوفية.

الكمية اليومية من المياه الناتجة من مزارع الحيوانات والدواجن تقدر 11 لكل

٧٣ معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

دجاجة، 1 25-30 لرأس الغنم، 1 100-150 للبقر الخلوب. ومعظم المياه الناتجة من الحيوانات يمكن جمعها ومعالمتها في المزرعة وإعادة استخدامها.

٦ - مكونات مياه الصرف الخام Composition of raw sewage

تتكون مياه الصرف الصحي أساساً من المياه (99.9%) التي تحتوي على تركيزات منخفضة من المواد الصلبة العضوية وغير عضوية في صورة ذائبة أو معلقة. وتشمل المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الكربوهيدرات واللحنيين والدهون والصابون والمنظفات الصناعية والبروتين ونواتج تحللهم كما تحتوي أيضا على العديد من الكيماويات العضوية المخلقة والطبيعية الناتجة من العمليات الصناعية.

يوضح الجدول رقم (1-4) المستويات الممكنة تواجدها في مياه الصرف في دول المناطق الجافة وشبه الجافة والتي يكون استعمال واستهلاك الماء فيها منخفض ولذلك نجد أن مستوى المكونات في مياه الصرف يكون عالي ومثال ذلك عمان (الأردن) التي فيها معدل استهلاك الماء حوالي 90 L/d لكل شخص.

جدول رقم 1-4. مكونات مياه الصرف الصحي.

المكون	التركيز (mg/l)		
	ضعيف	متوسط	قوى
المواد الصلبة الكلية	350	700	1200
المواد الصلبة الذائبة (TDS)	250	500	850
المواد المعلقة	100	200	350
النيتروجين (كلّي)	20	40	85
نترات أمونيوم	10	25	50
نترات	0	0.2	1.5
الفوسفور (P)	6	10	20
الكلوريد	30	50	100
القلوية $CaCO_3$	50	100	200
دهون	50	100	150
BOD ₅	90	200	300

المكون	التركيز (mg/l)	
	متوسط	ضعيف
الصوديوم	25	5
كالسيوم + مغنسيوم	150	25

BOD₅ هي مقياس المواد العضوية المتحللة في مياه الصرف

UN Dept. of Technical Cooperation for Development (1985)

جدول 2-4. متوسط تركيب مياه الصرف الصحي في عمان - الأردن

المكون	التركيز (mg/l)
المواد الصلبة الذائبة	1170
المواد المعلقة	900
النيتروجين (N)	150
الفوسفور (P)	25
القلوية (CaCO ₃)	850
الكبريتات (SO ₄)	90
BOD ₅	770
الكربون العضوي الكلي	220

Source: Al - Salem (1987)

كما يحتوى مياه الصرف الصحي أيضاً على العديد من المواد غير العضوية الناجمة عن الاستخدامات البشرية والصناعية بما في ذلك العديد من العناصر السامة مثل الزرنيخ والكاديوم والكروم والنحاس والرصاص والزنك. (جدول رقم 3-4) وحتى إذا لم تكن تركيزات هذه العناصر سامة للإنسان فإنها بالقطع تحد من استخدام هذه المياه في الزراعة. أيضاً ومراعاة لصحة الإنسان فإن استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة يجب أن يعالج بحذر لما تحتويه هذه المياه من كائنات دقيقة وطفيليات ممرضة.

جدول 3-4. التركيب الكيميائي لمياه الصرف الصحي في الإسكندرية والجيزة بجمهورية مصر العربية

المكون	الإسكندرية		الجيزة	
	الوحدة	التركيز	الوحدة	التركيز
EC	dS/m	3.10	dS/m	1.7
pH		7.80		7.1
SAR		9.30		2.8

تابع جدول 3-4.

205	mg/l	24.60	me/l	Na
128	mg/l	1.50	me/l	Ca
96	mg/l	3.20	me/l	Mg
35	mg/l	1.80	me/l	K
320	mg/l	62.00	me/l	Cl
138	mg/l	35.00	me/l	SO ₄
		1.10	me/l	CO ₃
		6.60	me/l	HCO ₃
		2.50	mg/l	NH ₄
		10.10	mg/l	NO ₃
		8.50	mg/l	P
0.7	mg/l	0.20	mg/l	Mn
0.4	mg/l	1.10	mg/l	Cu
1.4	mg/l	0.80	mg/l	Zn

Source : Abdel-Ghaffar et al. (1988).

جدول 4-4. التركيزات المتوقعة للكائنات الممرضة Pathogenes في مياه الصرف
نوع التركيز المتوقع في كل لتر من مياه الصرف

5000	Enteroviruses	الفيروسات:
?	E- Coli	البكتريا:
7000	Salmonella spp.	
7000	Shigerlla spp.	
1000	Vibrio cholerae	
4500	Entamoeba histolitica	البروتوزوا:
600	Ascaris	Helminths:
32	Hookworms	
1	Schistosoma mansoni	
10	Taenia Saginata	
120	Trichuris trichiura	

Source : Feachem et al (1983)

ويوضح جدول رقم (4-4) تواجد الفيروسات والبكتريا والبروتوزوا في مياه الصرف الصحي بمستويات متفاوتة كما أن أغلب هذه الطفيليات الممرضة قد تعيش لفترات طويلة جدول (4 - 5).

جدول 5-4. فترة بقاء الطفيليات حية

نوع	في البراز والمواد الصلبة	زمن بقاء الطفيليات حية		
		في الماء العذب وماء الصرف	في التربة	على المحصول
الفروسات				
Enteroviruses	< 20	<50	<20	<15
البكتيريا				
Fecal coliforms	<50	<30	<20	<15
Salmonella spp.	<30	<30	<20	<15
Shigella spp.	<10	<10		<5
Vibrio cholerae	<5	<10	<10	<2
البروتوزوا				
Entamoeba histolytica cysts	<15	<15	<10	<2
Helminths	عديدة	عديدة	عديدة	>30
Ascaris eggs.	شهور	شهور	شهور	

Source : Feachem et al. (1983).

المعايير الهامة عند استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

Quality parameters of importance in agricultural use of wastewater

١- عوامل صحية

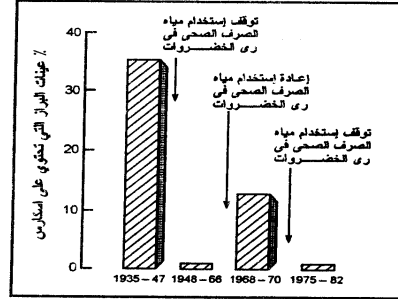
تتواجد الكيماويات العضوية في مياه الصرف الصحي بتركيزات منخفضة جداً لذلك فإن استخدام مياه الصرف الصحي على المدى الطويل يؤدي بالضرورة إلى تأثير ضار على صحة الإنسان. وخطورة وجود الكيماويات العضوية في مياه الصرف على صحة الإنسان تنشأ أساساً من تلوث المحاصيل والمياه الجوفية بهذه المواد خاصة العناصر الثقيلة والكيماويات العضوية المسببة للسرطان (جدول رقم 4 - 6).

وقد حددت منظمة الصحة العالمية (1984) القيم المسموح بها من المواد الكيماوية العضوية والسامة (جدول رقم 4-6) في مياه الشرب وهذه القيم يمكن الاسترشاد بها لتقييم وحماية المياه الجوفية ولكن الخطورة تكمن في تجميع بعض

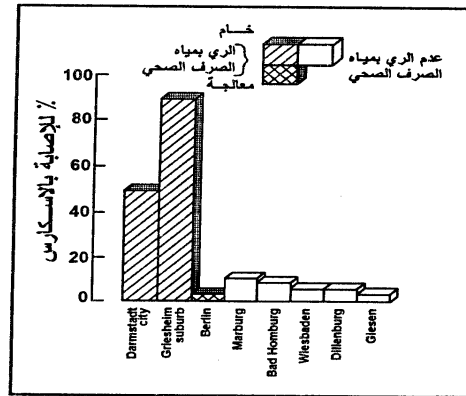
العناصر السامة في النبات مثل الكاديوم والسليوم ولذلك فإن تناول النباتات المروية بواسطة مياه الصرف الصحي بواسطة الإنسان يجب تقييمها بعناية شديدة.

وتعتبر الأحياء الدقيقة **المرضة** ذات خطورة شديدة على صحة الإنسان عند استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة ولذلك فقد قامت بعض الدراسات بتقييمها وأثبتت أن المناطق التي تنتشر فيها أمراض الإسكارس *Trichuris SPP* تستخدم مياه الصرف الصحي غير المعالجة في ري الخضروات الطازجة التي تؤكل بدون طهي وأن انتقال هذه الأمراض يتم من خلال استهلاك هذه المحاصيل. وفي دراسة في غرب ألمانيا تم إثبات ما سبق ذكره وأكثر من ذلك فإن مرض الكوليرا يمكن نقله إلى الإنسان من خلال الخضروات المروية بمياه الصرف الصحي (Shuval et al. 1986) (شكل رقم 4 - 1).

توجد دلائل قوية على إصابة الحيوانات بمرض *Cyticerosis* نتيجة الرعي في مراعى مروية بمياه صرف صحي غير معالجة أو شرب هذه المياه. كما أظهرت الدراسات في الهند إصابة العمال الزراعيين بأمراض الإسكارس، *Ancylostoma* (hook worm) في المناطق التي تستخدم فيها مياه الصرف الصحي غير المعالجة. وتتوقف درجة الإصابة على مدة تعرض هؤلاء العمال لهذه المياه كما أن العمال الزراعيين في هذه المناطق كانوا أكثر عرضه للإصابة بمرض الكوليرا.



شكل رقم 1-4. نسبة الإسكارس في براز الانسان نتيجة رى الحظرووات بمياه صرف صحي غير معالجة في مدينة القدس



شكل رقم 2-4. نسبة الإصابة بالإسكارس في بعض مدن المانيا نتيجة الرى بمياه صرف صحي غير معالجة.

ونتيجة لما سبق فإن الإصابة بالأمراض الطفيلية عند استخدام مياه الصرف الصحي غير المعالجة تعتبر أهم المخاطر التي يجب التنبيه لها ومراعاتها.

تأثير استخدام مياه الصرف الصحي على المعالجة على صحة الإنسان يقسم كما يلي:

- تأثير على الخطورة: الحتمية الإصابة بأمراض الاسكارس والانكلستوما والتينيا.
- تأثير متوسط الخطورة: احتمال الإصابة بأمراض الكوليرا والسالمونيلا وشيغلا.
- تأثير منخفض الخطورة: احتمال ضعيف للإصابة بالفيروسات.

العوامل الميكروبيولوجية الهامة من ناحية صحة الإنسان

Indicator organisms (i)

Coliforms and Faecal Coliforms (a)

وهذه المجموعة من البكتيريا تشمل الأنواع *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* والعديد من هذه البكتيريا تكون قادرة على النمو خارج الأمعاء خاصة في المناطق الحارة، ولذلك فإن تقديرها يعتبر غير مناسب عند ملاحظة وتقييم مياه الصرف الصحي المستخدم ولذلك ينصح بعمل اختبار *Fecal coliform* شاملاً عد *E.Coli* والذي يعتبر من أهم الدلائل التي يجب تقييمها عند استخدام هذه المياه في الزراعة.

Faecal streptococci (b)

وهذه المجموعة من الكائنات تتضمن أنواع مصاحبة أساساً للحيوانات *S. faecium*, *S. faecalis* (streptococcus bovis and *S. equinus*) وأنواع أخرى مثل *S. faecium*, *S. faecalis* التي تتواجد في كل من الإنسان والحيوان بالإضافة إلى نوعين آخرين هما *S. faecalis* var *liquefaciens*, *S. faecalis* وتواجد في البيئة الملوثة وغير الملوثة. وتقدير هذه الأنواع في مياه الصرف تعتبر تحليل روتيني يتم عمله ولكن له المخاطر التالية: هو أن النتائج المتحصل عليها تشمل *non faecal streptococci* كجزء من

الفلورا الطبيعية الموجودة في النبات وبالتالي لا يتم تقييم نوعية البكتريا في المحاصيل المروية بمياه الصرف. علما بأن *S. Faecal streptococci* لا تعيش طويلا في درجات الحرارة العالية.

Clostridium perfringens (c)

وهذه البكتريا هي عبارة عن جراثيم faecal متحوصله لاهوائية عادة ما تستخدم للتعرف على التلوث السابق حدوثه للماء وذلك نظرا للفترة الطويلة التي تعيشها هذه الجراثيم.

Pathogens (ii)

الأنواع التالية من pathogens يمكن تقديرها والتعرف عليها إذا ما توافرت

الأجهزة اللازمة والأفراد المدربين وتشمل:

Salmonella Spp. (a)

العديد من أنواع السالمونيلا تتواجد في مياه الصرف الصحي غير المعالج والناجمة من المجتمعات المدنية في البلاد الاستوائية وتشمل *Salmonella typhi* (التي تسبب مرض التيفويد). ولقد قدر عدد هذا النوع في مياه الصرف الصحي في هذه المناطق بحوالي 1 7000/ بالإضافة إلى حوالي 7000/ *shigellae*، حوالي 1000 vibrio *cholera/litre* ولحسن الحظ فإن *V. cholera*, *Shigellae Spp* لا تعيشان طويلا فإذا تمكنا من القضاء على السالمونيلا فهذا يعني أن الأنواع الأخرى سوف يتم القضاء عليها أيضاً.

جدول 4-6. العناصر غير العضوية والمركبات العضوية ذات الخطورة على صحة الانسان

عضوية	غير عضوية
Aldrin and dieldrin	زرنيخ
بنزين	كادميوم
Benzo- a -pyreno	كروميوم
رابع كلوريد الكربون	سيانيد
Chlordane	فلوريد
كلوروفورم	رصاص

٨١ معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

عضوية	غير عضوية
2,4D	زئبق
DDT	نترات
1,2 Dichloroethane	سيلينيوم
1,2 Dichloroethylene	
Hexachloro benzene	
Lindane	
Methoxychlor	
Pentachlorophenol	
Tetra chloroethylene	
2, 4, 6 Trichloroethytene	
Trichlorophenol	

Enteroviruses (b)

وهذه الأنواع تسبب أمراض خطيرة مثل Poliomyelitis and Meningitis أو أمراض بسيطة مثل التهاب الشعب. وعلى الرغم من عدم وجود أدلة قوية على انتشار هذه الأمراض بواسطة نظم الري لمياه الصرف الصحي إلا أنه من المستحسن عدم المخاطرة وتقييم مدى فعالية عمليات المعالجة المستخدمة في مياه الصرف الصحي لإزالة هذه الفيروسات وبالأخص تحت الظروف الأستوائية علما بأن تقدير الفيروسات يتطلب معامل على درجة عالية من الدقة.

Rotaviruses (c)

وهذه الفيروسات تسبب مشاكل في الأمعاء على الرغم من تواجدها بأعداد قليلة في مياه الصرف الصحي ولكن القضاء عليها أكثر صعوبة من Enteroviruses. ويدعى بعض الباحث أن هذه الفيروسات يتم إزالتها من مياه الصرف الصحي وذلك عند التخلص من المعلقات الصلبة حيث أن معظم الفيروسات تكون مصاحبة للمواد الصلبة. ولذلك فإن تقدير المواد الصلبة المعلقة في مياه الصرف الصحي المعالجة يجب إجراؤه كروتين.

Intestinal Nematodes المعويه (d)

من المعروف أن الإصابة بالنيماطودا المعويه وخاصة الإسكارس ينتشر مع

استخدام مياه الصرف الصحي. ويعتبر بيض الاسكارس كبير نوعاً (45-70um×35-50um) ولقد تم تطوير العديد من الطرق للتعرف على النيما تودا وتقديرها.

العناصر الصغرى والمعادن الثقيلة

مياه الري العادية تحتوى على عدد من العناصر بتركيزات منخفضة وهذه العناصر يطلق عليها بالعناصر الصغرى. وهذه العناصر لا يتم عادة تقديرها في التحليل الروتيني للمياه ولكن عند استخدام مياه الصرف الصحي في الري وخاصة اذا ما كانت هذه المياه مخلوطة بمياه الصرف الصناعي فإن هذه العناصر يجب تقديرها. وهذه العناصر تشمل الالومنيوم (Al) والبريلوم (Be) والكوبالت (Co) والفلوريد (F) الحديد (Fe) والليثيوم (Li) والمنجنيز (Mn) المولبدتوم (Mo) والسيلينيوم (Se) والقصدير (Sn) والتيتانيوم (Ti) والفاناديوم (V).

أما العناصر الثقيلة فهي عبارة عن مجموعة من العناصر التي تسبب مشاكل صحية عند تناولها من خلال النباتات وهذه العناصر تشمل الزرنيخ (As) والكاديوم (Cd) والكروم (Cr) والنحاس (Ca) والرصاص (Pb) والزنك (Zn). وهذه العناصر يطلق عليها بالمعادن الثقيلة لأن الصوره المعدنيه لها تكون كثافتها أكبر من 49/cc .

درجة الحموضة

هى دليل حموضة أو قلوية مياه الري وهى غالبا لا تمثل أى مشكلة ودرجة الحموضة الطبيعية لمياه الري تتراوح بين 6.5-8.4 ويعتبر درجة الحموضة خارج هذا المدى بمثابة تحذير أن هذه المياه ذات نوعية غير عادية ودرجة الحموضة يتم تقديرها عادة في التحليل الروتيني عند تقييم مياه الري.

المعايير المحددة لصلاحية مياه الصرف الصحي من الناحية الزراعية

١- التركيز الكلي للأملاح (TDS)

يعتبر التركيز الكلي للأملاح من أهم المعايير اللازمة لتقييم نوعية مياه الري وذلك للصلة الوثيقة بين ملوحة مياه الري وملوحة التربة وبالتالي فإن نمو النبات وكمية المحصول وجودته تتأثر بشدة بالتركيز الكلي للأملاح في مياه الري. أيضاً ملوحة ماء الري تؤدي حتماً وبالضرورة إلى ملوحة التربة.

٢- نسبة الصوديوم المدمص (SAR)

يؤثر كاتيون الصوديوم تأثيراً كبيراً في الخواص الكيميائية والفيزيائية للتربة فهو يعمل على تفريق حبيبات التربة عند تواجده بتركيزات عالية بالنسبة لكاتيون الكالسيوم والمغنسيوم. وتفرق حبيبات التربة يؤدي إلى خفض معدلات نفاذية الماء والهواء خلال التربة.

وأيضاً عند جفاف التربة تتكون قشرة صلبة على سطح التربة مما يجعل عملية حرث التربة أمراً صعباً وبالتالي يؤثر على إنبات البذور ومياه الري يمكن أن تكون مصدراً هاماً لزيادة الصوديوم في التربة وبالتالي يجب تقدير الصوديوم في مياه الري. ومقياس خطورة الصوديوم في مياه الري يتم تقييمه عن طريق نسبة الصوديوم المدمص SAR

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

حيث يتم التعبير عن التركيز بالمليمكافىء /لتر

٣- الأيونات السامة Toxic ions

ماء الري الذي يحتوى على أيونات معينة بتركيزات أعلى من الحد المخرج يمكن

أن يسبب مشاكل سمية للنبات. وينتج عن سمية النبات نمو ضعيف ونقص في المحصول وتغيرات في الشكل الخارجى للنبات وأيضاً موت النبات. وتتوقف مدى سمية النبات على المحصول ومرحلة النمو وتركيز الأيون السام والمناخ وظروف التربة.

والأيونات السامة شائعة الوجود في مياه الصرف الصحي المعالجة وغير المعالجة والموجودة بتركيزات تسبب سمية للنبات هي: البورون، الكلوريد، الصوديوم ولذلك فهذه الأيونات يجب تقديرها عند تقييم صلاحية مياه الصرف الصحي للاستخدام في الزراعة.

نوعية مياه الري تؤثر تأثيراً كبيراً على المحصول وجودته كما تؤثر أيضاً على خصوبة وإنتاجية التربة وحماية البيئة.

وتشمل نوعية مياه الري على العديد من الخواص الكيميائية والفيزياء للماء ويوضح الجدول رقم (4-7) الخواص الكيميائية والفيزيائية الهامة التي يجب استخدامها لتقييم نوعية مياه الري للاستخدام الزراعي.

جدول 4-7. المقاييس المستخدمة لتقييم نوعية المياه للاستخدام الزراعي

المقياس	الرمز	الوحدة
الأملاح الكلية الذائبة	TDS	mg/l
التوصيل الكهربائي	EC	dS/m
درجة الحرارة	T	°C
اللون/العكارة		N Tu/JTU
عسر الماء		Mg equiv-(CaCO ₃ /l)
المواد الراسبة		g/l
درجة الحموضة	pH	
نوع وتركيز الأيونات والكاتيونات التالية:		
كالسيوم	Ca ⁺⁺	me/l
ماغنسيوم	Mg ⁺⁺	me/l
صوديوم	Na ⁺	me/l
كربونات	CO ₃ ⁻	me/l
بيكربونات	HCO ₃ ⁻	me/l
كلوريد	Cl ⁻	me/l

٨٥ معايير استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة

الوحدة	الرمز	المقياس
me/l	SO ₄ ²⁻	كبريتات
	SAR	نسبة الصوديوم المدمص
mg/l	B	البورون
mg/l		العناصر الصغرى
mg/l		العناصر الثقيلة
mg/l	N-NO ₃	النترات
mg/l	PO ₄	الفوسفات
mg/l	K ⁺	البوتاسيوم

1- mg/l = 640 × EC

2- Ntu/Jtu. Nephelometric Turbidity Units/Jackson Turbidity Units

Source: Kandiah (1990 a).

المعايير الزراعية الهامة Parameters of Agricultural Significance

نوعية مياه الري تعتبر من العوامل الهامة وخاصة في المناطق الجافة لارتفاع معدلات البخر. فيها نتيجة ارتفاع درجة الحرارة فيها وقلة الرطوبة النسبية وهذا بالتالي يؤدي إلى ترسيب الأملاح التي تتجمع في القطاع الأرضي وتعتبر الخواص والفيزيائية للتربة مثل تفرق الحبيبات وثبات الحبيبات المركبة وبناء التربة والنفاذية حساسة لنوع الكاتيونات المتبادلة الموجود في مياه الري ولذلك فعند التخطيط لاستخدام مياه الصرف الصحي فإن العديد من العوامل المتعلقة بخواص التربة يجب أخذها في الاعتبار.

يعتبر تأثير الأملاح الكلية الذائبة في مياه الري على نمو النبات يعد من المعايير الزراعية الهامة. فالأملاح الذائبة ترفع الجهد الأسموزي لماء التربة وأى زيادة في الضغط الأسموزي للمحلول الأرضي يؤدي إلى رفع كمية الطاقة التي يستهلكها النبات للحصول على احتياجاته المائية من التربة ونتيجة لذلك يزيد التنفس ويقل تبعا لذلك نمو النبات والمحصول.

أيضا كثير من الأيونات غير الضارة وأيضا المفيدة للنبات عند تواجدها في مياه الري بتركيزات منخفضة تصبح سامة للنبات عندما يزيد تركيزها في المحلول الأرضي

وذلك نتيجة لتداخل هذه الأيونات مع العمليات الحيوية أو من خلال تأثيرها على المغذيات الأخرى. ومثال ذلك رى المحصول الأرز بمياه غنية بالنيتروجين يمكن أن يؤدي إلى إمداد النبات بأكثر من احتياجاته من النيتروجين والنتيجة نقص محصول الأرز نتيجة السرقاد lodging وعدم نضجه وقلة مقاومته للأمراض كتأثير حتمي للزيادة الكبيرة في النمو الخضري. كما أن محصول الأرز النامي في تربة غير ملوثة تحتوى على 0.4-0.5 ppm كاديوم ينتج عنه أرز يحتوى على 0.08 ppm بينما زيادة الكاديوم في التربة إلى 201 ppm Cd و 1.25 و 0.82 يمكن أن يؤدي إلى أرز ملوث بالكاديوم يحتوى على 1.00 ppm Cd.

الفصل الخامس

معالجة مياه الصرف الصحي

❖ عمليات معالجة مياه الصرف الصحي

- المعالجة التمهيدية - المعالجة الأولية - المعالجة الثانوية
- عمليات المعالجة البيولوجية
- الحماة المنشطة - المرشحات البيولوجية - الغشاء البيولوجي
- - بحيرات الأكسدة
- نظم المعالجة البيولوجية الطبيعية
- بحيرات الأكسدة - استخدام التربة كوسط للمعالجة - المعالجة النباتية
- طرق المعالجة المتقدمة



معالجة مياه الصرف الصحي Waste Water Treatment

المهدف الأساسي من معالجة الصرف الصحي هو التخلص من هذه المياه دون أن يشكل ذلك خطراً على صحة الإنسان والبيئة. ولذلك فإن استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة يعتبر وسيلة فعالة للتخلص من هذه المياه مع ضرورة معالجة هذه المياه قبل استخدامها في ري المحاصيل، أو الحدائق والمزارع المائية ونوعية المياه المعالجة المستخدم في الأغراض الزراعية تلعب دوراً كبيراً في نظام التربة-ماء الصرف الصحي المعالج-النبات وكذلك في نظام المزارع المائية. نوعية المياه المطلوبة سوف تتوقف على نوع المحصول المروي والتربة ونظام الري. فاختيار المحصول تحت هذا النظام واختيار نظام الري سوف يقلل بالقطع من المخاطر الصحية للإنسان.

وتعتبر الطريقة المناسبة التي يجب اتباعها لمعالجة مياه الري هي تلك الطريقة التي تضمن نوعية مناسبة لاستخدام الزراعة بتكلفة بسيطة مع العلم أن استخدام مستوى معالجة منخفضة يعتبر هو الأفضل بالنسبة للدول النامية ليس من ناحية التكاليف فحسب ولكن أيضاً من ناحية تشغيل نظام المعالجة بكفاءة.

وتصميم مشروع معالجة مياه الصرف عادة ما يعتمد على خفض محتوى هذه المياه من الملوثات العضوية والمواد الصلبة المعلقة. وذلك لخفض تلوث البيئة وإزالة البكتيريا الممرضة والفيروسات pathogen لم تكن أحد أهداف عمليات المعالجة ولكن

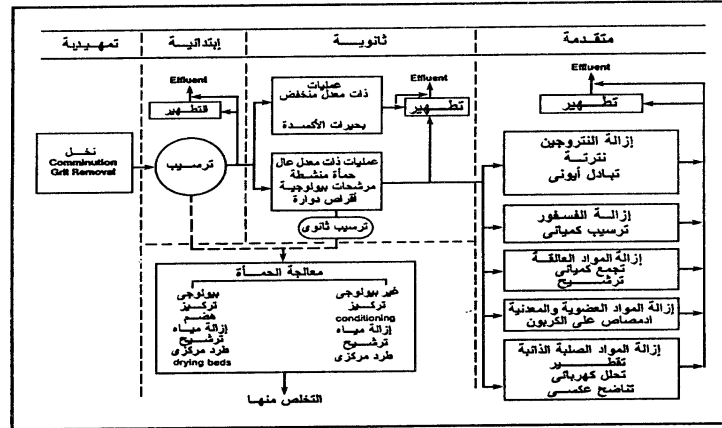
عند استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة فإن إزالة pathogens يجب أن تأخذ الأولوية ومراعاة ذلك تماماً. كما أن إزالة المواد والعناصر السامة للنبات والأسمك والنباتات المائية تعتبر ممكنة تكنولوجيا ولكنها بالقطع عملية غير اقتصادية.

عمليات معالجة مياه الصرف الصحي

معالجة مياه الصرف الصحي هي عبارة عن مزيج من العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تهدف إلى إزالة المواد الصلبة والمواد العضوية وأحياناً المغذيات من مياه الصرف الصحي. والمصطلحات المستخدمة لوصف درجات المعالجة المختلفة من المستوى المنخفض إلى الأعلى هي بالترتيب: المعالجة التمهيديّة Preliminary، المعالجة الابتدائية، المعالجة الثانوية Secondary المعالجة الثلاثية Tertiary أو المتقدمة Advanced وفي بعض الدول فإن عملية التطهير disinfection لإزالة pathogens تتبع الخطوة الأخيرة للمعالجة. والشكل رقم (1-5) يوضح رسم تخطيطي لعمليات المعالجة.

١- المعالجة التمهيديّة Preliminary Treatment

تهدف المعالجة التمهيديّة إلى إزالة المواد الصلبة الكبيرة التي عادة ما تتواجد في مياه الصرف الصحي وتشمل هذه العملية استخدام المصافي screening لحجز المواد الصلبة الكبيرة ثم إزالتها grit removal وفي غرف الإزالة يتم إمرار الماء أو الهواء في هذه الغرفة بسرعة عالية وتثبت هذه السرعة وذلك لمنع ترسيب الرواسب العضوية. وفي مشاريع المعالجة للمجتمعات الصغيرة فإن إزالة المواد الصلبة لا يتم في هذه المرحلة وإنما تقتصر المرحلة الابتدائية على خفض الأحجام الكبيرة من الحمأة التي سوف يتم إزالتها في مراحل لاحقة.



شكل 5-1. رسم تخطيطي يوضح عمليات معالجة مياه الصرف الصحي

٢- المعالجة الأولية Primary Treatment

وتهدف هذه المرحلة إلى إزالة المواد الصلبة العضوية وغير العضوية عن طريق الترسيب وأيضاً إزالة المواد الطافية بالقشط. وفي هذه المرحلة يتم إزالة حوالي 25-50% من الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD_5) و 50-70% من المواد الصلبة العالقة (SS)، 65% من الزيوت والدهون وأيضاً بعض النيتروجين العضوي والفوسفور العضوي والعناصر الثقيلة المصاحبة للمواد الصلبة في حين أن المكونات الفردية والذائبة لا تتأثر والمخلفات السائلة الناتجة من المعالجة الأولية غالباً ما يطلق عليها المخلفات السائلة الأولية Primary effluent. ويوضح الجدول رقم (5-1) نوعية وصفات المخلفات السائلة الأولية الناتجة من بعض مشاريع معالجة مياه الصرف

الصحي في كاليفورنيا وكذا نوعية مياه الصرف الصحي غير المعالجة.

جدول 1-5. نوعية وصفات مياه الصرف الصحي غير المعالجة والمخلفات السائلة الناتجة من المعالجة الأولية في بعض مشاريع المعالجة في كاليفورنيا

مدينة Los Angles		مدينة Davis		مقياس النوعية
المخلفات السائلة الأولية	مياه صرف غير معالجة	المخلفات السائلة الأولية	مياه صرف غير معالجة	
204	-	73	112	الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD ₅)
-	-	40	63	الكربون الكلي العضوي
219	-	72	185	المواد الصلبة المعلقة
-	-	34	43	النيتروجين الكلي
39.5	-	35	26	NH ₃ -N
-	-	0	0	NO ₃ -N
4.2	-	7.5	-	الفوسفور الكلي
-	78.8	-	-	Ca
-	25.6	-	-	Mg
-	357	-	-	Ka
19	19	-	-	K
-	270	-	-	SO ₄ -
-	397	-	-	Cl
-	2-19	2.43	2.52	EC ds/m
1406	1404	-	-	المواد الصلبة الذائبة
6.8	8.85	-	-	نسبة الصوديوم المذموم (SAR)
1-5	1.68	-	-	البورون
332	322	-	-	القلوبه
-	265	-	-	عسر الماء

وفي كثير من الدول الصناعية فإن المعالجة الأولية تعتبر أقل مستوى يمكن تطبيقه لمعالجة مياه الصرف الصحي التي تستخدم في الزراعة وهذه المرحلة من المعالجة قد تكون كافية إذا ما تم استخدام المياه الناتجة من المعالجة الأولية في ري محاصيل لا

يستهلكها الإنسان. ولمنع تلوث البيئة من غرف التخزين فإن كثير من هذه الدول تقوم بعمل بعض أنواع من المعالجة الثانوية حتى لو كانت المياه تستخدم في ري محاصيل لا تستهلك بواسطة الإنسان.

وخزانات الترسيب الأولية عادة ما تكون على شكل دائري أو مستطيل ذات عمق 3.5 cm زمن إدمصاص هيدروليكي 2-3 ساعة. ويتم إزالة المواد الصلبة الراسبة (الحمأة الأولية) من قاع الأحواض بوسائل ميكانيكية ونقلها إلى بئر مركزي ومنه يتم ضخها إلى وحدات معالجة الحمأة.

وفي المشاريع الكبرى للصرف الصحي ($77600 \text{ m}^3/\text{d}$) فإن الحمأة الأولية يتم معالجتها بيولوجيا بواسطة الأكسدة اللاهوائية (anaerobic digestion). وفي هذه العملية تقسم البكتريا اللاهوائية بتحليل المواد العضوية في الحمأة وبالتالي تقلل من حجم الحمأة المراد التخلص منها. وعملية الأكسدة يتم إجراؤها في أحواض مغطاه ذات عمق يتراوح من 7-14m. والغاز الناتج من عملية الهضم يحتوي على 60-65% ميثان ويمكن استخدامه كمصدر من مصادر الطاقة أما في مشاريع الصرف الصغيرة فإن الحمأة يتم معالجتها بعدة طرق منها الأكسدة الهوائية، التخزين في بحيرات Lagoon الأكسدة أو إضافتها مباشرة إلى التربة.

٣- المعالجة الثانوية

تهدف المعالجة الثانوية إلى معالجة الناتج السائل الابتدائي لإزالة البقايا العضوية والمواد المعلقة. وفي أغلب الحالات فإن المعالجة الثانوية تتبع المعالجة الابتدائية وتشمل إزالة المواد الذائبة القابلة للتحلل والمواد الغروية العضوية باستخدام عمليات المعالجة البيولوجية الهوائية. وتتم المعالجة البيولوجية الهوائية في وجود الأكسجين وذلك باستخدام البكتريا الهوائية التي تقوم بتحليل المواد العضوية في مياه الصرف.

جدول 5-2. خواص النواتج السائلة من المعاملة الابتدائية (المدى والمتوسط)

المكون	المدى	التركيز	المتوسط
النواتج الصلبة			
الكلية الذائبة	200-1500		500
الكلية المعلقة	50-150		100
BOD	65-200		135
COD	150-750		335
النيتروجين			
الكلية	10-60		40
الأمونيا	7-40		30
النترات	-		<0.1
الفوسفور الكلية	5-17		8

وينتج عن ذلك زيادة في أعداد البكتيريا ونواتج غير عضوية خاصة ثاني أكسيد الكربون، أمونيا وماء. ويوجد العديد من الطرق البيولوجية الهوائية التي تستخدم في عملية المعالجة الثانوية وهذه الطرق تختلف فيما بينها أساسا في كيفية إمداد البكتيريا بالأكسجين ومعدل تحلل المواد العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

وفي العمليات البيولوجية ذات المعدل العالي يتم استخدام تركيزات عالية من البكتيريا وذلك بالمقارنة بالعمليات البيولوجية منخفضة المعدل. وبالتالي فإن معدل تكون البكتيريا في العمليات البيولوجية عالية المعدل يكون أعلى كما أن البكتيريا يجب فصلها عن مياه الصرف المعالجة بالترسيب وذلك للحصول على ناتج ثانوي رائق ويطلق على خزانات الترويق Secondary Clarifiers ويطلق على المخلفات الصلبة التي يتم إزالتها خلال المعالجة الثانوية اسم الحمأة الثانوية أو البيولوجية وهذه عادة ما تخلط مع الحمأة الأولية.

وتشمل عمليات المعالجة البيولوجية عالية المعدل الآتي:

أ. الحمأة المنشطة Activated sludge

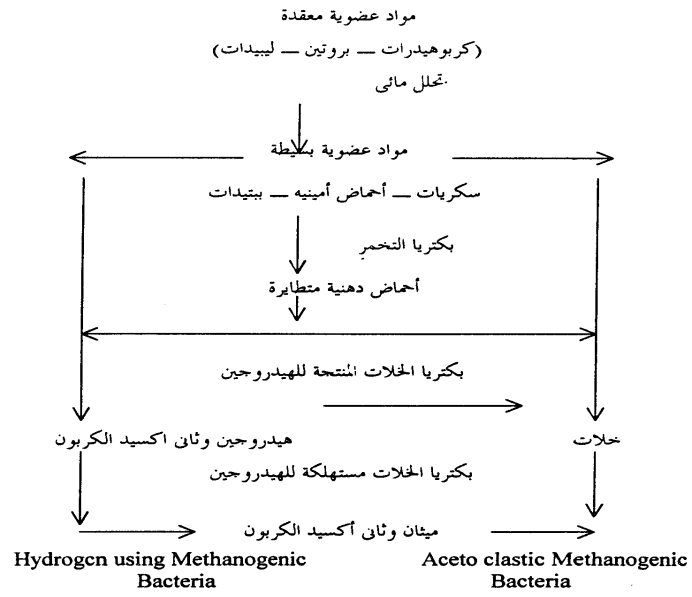
ب. المرشحات البيولوجية Tricking filters

ج. الغشاء البيولوجي الدوار rotating biological contractors

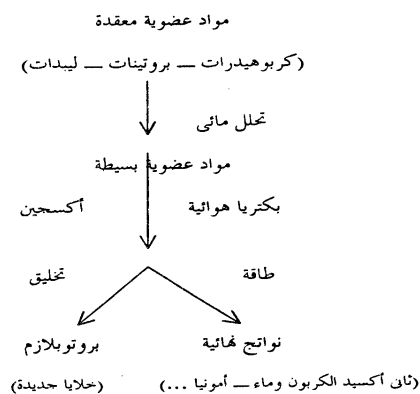
د. بحيرات الأكسدة Oxidation ditches

في بعض الحالات قد يستخدم عمليتين من العمليات السابقة على التوالي ومثال ذلك المرشحات البيولوجية التي تتبع استخدام الحمأة النشطة وذلك لمعالجة مياه الصرف ذات المحتوى العالي من المواد العضوية التي يكون مصدرها الصرف الصناعي.

التحولات البيوكيميائية في طرق المعالجة غير الهوائية



التحولات البيوكيميائية في المعالجة الهوائية



جدول 3-5. خواص النواتج السائلة الثانوية في بعض مشاريع معالجة مياه الصرف الصحي بكاليفورنيا

موقع المشروع		القياس (mg/l)
الحمامة النشطة	المرشحات البيولوجية	
Santa Rosa	Chino Basin	
-	21	الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD ₅)
27	-	الأكسجين الكيميائي المستهلك
-	18	المواد الصلبة المعلقة
-	-	النيتروجين الكلي
-	-	NH ₃ -N
10	25	NO ₃ -N
1.7	-	نيتروجين عضوي
12.5	-	الفوسفور الكلي
41	43	Ca

تابع جدول 3-5.

18	12	Mg
94	83	Na
11	17	K
165	293	HCO ₃
66	85	SO ₄
121	81	Cl
484	476	المواد الصلبة الذاتية
3.9	2.9	SAR
0.6	0.7	البورون
175	156	عسر الماء الكلي

١ - الحمأة المنشطة Activated sludge

في طريقة الحمأة المنشطة تتم معالجة المخلفات السائلة بعد خلطها بنسبة معينة من الحمأة المنشطة في وحدات المعالجة وهي عبارة عن أحواض تهوية تحتوي على معلق من مياه الصرف الصحي والبكتريا الهوائية ويتم خلطهم بواسطة تيار من الهواء الذي يعتبر أيضاً مصدراً للأوكسجين وتتم عملية التهوية عن طريق:

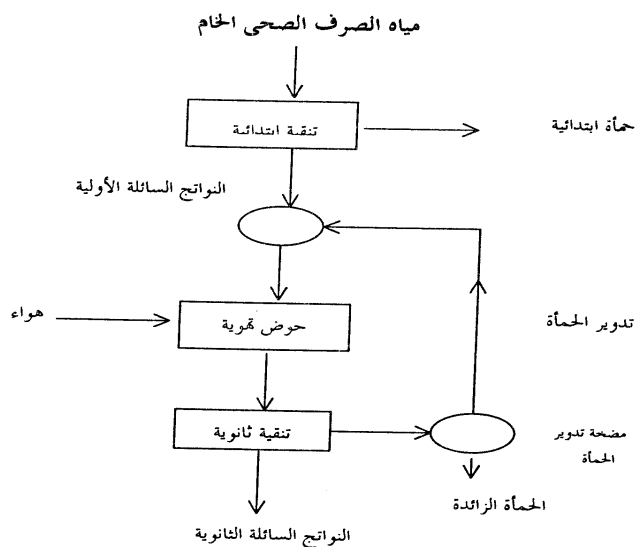
١. استعمال هواء مضغوط يخرج على شكل فقاعات من فتحات في شبكة مواسير في قاع الخوض.

٢. استعمال قلابات ميكانيكية تحدث اهتزازات في سطح الماء مما يمكن الهواء من أن يتخلل المخلفات السائلة.

ولنجاح المعالجة بهذه الطريقة لابد من إضافة الحمأة المنشطة السابق ترسيبها في أحواض الترسيب النهائية نظراً لما تحتويه هذه الحمأة من الملايين من البكتريا والكائنات الدقيقة الأخرى التي هي العامل الرئيسي لنجاح عملية التنقية. ويستمر نشاط البكتريا وأكسدها للمواد العضوية طالما يوجد في وحدات المعالجة أكسجين ذائب ومواد عضوية تكفي لنشاط ونمو الكائنات الحية الدقيقة.

وبعد انتهاء فترة التهوية يتم فصل الكائنات الحية الدقيقة والمواد العالقة غير

القابلة للتحلل عن طريق الترسيب حيث يمر الخليط بأحواض الترسيب النهائي فتترسب الحمأة ليعود بعض منها إلى حوض التهوية بينما يوجه الباقي لأحواض معالجة الحمأة ثم التخلص منها وتتميز طريقة الحمأة المنشطة بأن قدرتها على التنقية عالية ولكنها تحتاج إلى كفاءة تشغيل عالية والمساحة



شكل 2-5. رسم تخطيطي يوضح خطوات عملية الحمأة المنشطة

المطلوبة لهذه الطريقة صغيرة حوالى $10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ و 50 m^2 ويوضح الشكل رقم (2-5) خطوات عملية الحمأة المنشطة.

طرق التهوية في عملية الحمأة النشطة

كما سبق ذكره تجرى عملية التهوية في أحواض خاصة يلتقي في مدخلها السوائل الخارجة من حوض الترسيب الابتدائي مع الحمأة المعادة من حوض الترسيب النهائي وتستغرق عملية التهوية فترة تتراوح بين 4-8 ساعات تنشط فيها البكتريا الهوائية وتعمل على تحلل المواد العضوية.

وتتم عملية التهوية والتقليب في أحواض التهوية بطريقة الهواء المضغوط compressed air أو بطريقة التهوية الميكانيكية mechanical aeration ويمكن تحديد المهام التي يؤديها حوض التهوية إلى ثلاث مراحل:

١. التدوير Clarification

وتتميز بالتجاذب السريع من حبيبات المواد العضوية وتستغرق فترة تتراوح بين 15 - 45 دقيقة.

٢. التنشيط Activation

وفيها يتم تنشيط البكتريا نتيجة حصولها على كميات كافية من الأكسجين وفي هذه المرحلة تحدث عملية أكسدة المواد العضوية بسرعة عالية في البداية ثم تبطأ قليلاً لفترة تتراوح من 2 - 5 ساعات ثم تقل عملية الأكسدة بعد ذلك.

٣. النترته Nitrification

وتسبداً هذه المرحلة بعد انتهاء عملية الترويق وبعد بداية عملية الأكسدة بفترة قصيرة وتتم هذه المرحلة في غضون ثمان ساعات.

وفي طريقة الحمأة النشطة كما سبق ذكره يجب أن تكون كفاءة التشغيل عالية ومن أهم العوامل التي يجب الاهتمام بها عند التشغيل ما يلي:

١. التغير في معدل تصرفات مياه المجارى التي تدخل محطة المعالجة.
٢. التغير في تركيز المواد العضوية.

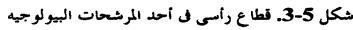
٣. تركيز المواد العالقة بأحواض التهوية.

٤. تركيز الأكسجين الذائب في أحواض التهوية.

٥. كفاءة التقلب في أحواض التهوية.

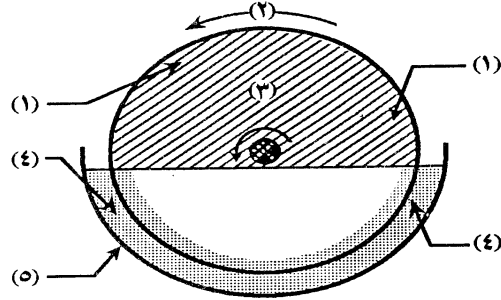
ب- المرشحات البيولوجية **Trickling filter**

تتكون المرشحات البيولوجية من أحواض مستطيلة أو دائرية مملأ بالزلط أو بأشكال بلاستيكية ويضاف مياه الصرف الصحي إلى هذه الأحواض بصورة متقطعة ويتم ذلك بواسطة رشاشات مثبتة على سطح المرشح وعند سقوط المياه على سطح المرشح تتخلل فجوات الزلط أو الحجاره أو الأشكال البلاستيكية وتلتصق الكائنات الحية الدقيقة بأسطحها وتكون طبقة حيوية أو غشاء حيوي. ويتركز النشاط الحيوي على هذه الطبقة وباستمرار مرور مياه المجارى على أسطح الزلط يزداد سمك الطبقة البيولوجية ويكون الجزء الداخلى منها بعيدا عن نشاط البكتريا اللاهوائية وما ينتج عنه من غازات مثل ثاني أكسيد الكربون الذى يساعد مع المياه المتساقطة على غسيل الطبقات البيولوجية من على أسطح الزلط. وبذلك تفرج الطبقات البيولوجية إلى أحواض الترسيب الثانوية وتكتسب مياه المجارى الأكسجين أثناء رشها على سطح المرشح بالإضافة إلى أن نشاط الكائنات الحية داخل المرشح يرفع درجة الحرارة بداخله فتتخف كثافة الهواء يأخذ مسارا من أسفل إلى أعلى ويحل محله هواء جديد ويطلق على السائل الناتج من عملية التنقية الثانوية اسم السائل الثانوى وعادة ما يتم إعادة تدوير جزء منه إلى المرشح البيولوجى لتحسين التوزيع الهيدروليكي لمياه الصرف فوق المرشح شكل (5-3).



- ### ج- الأقراص البيولوجية الدوارة Rotating Biological Contractors

وهي عبارة عن أقراص دائرية خفيفة الوزن تتدور ببطء وتكون مغمورة جزئياً في مياه البحار المتدفقة إلى الحوض. وعمل هذه الأقراص يشابه عمل المرشحات البيولوجية من حيث التصاق الكائنات الحية الدقيقة على أسطح هذه الأقراص مكونه طبقة بيولوجية تقوم بعملية المعالجة مع غمر الأقراص في البحار. وسلك الطبقة البيولوجية تتراوح بين 4-1سم وعندما تريد سلك الطبقة البيولوجية إلى حد معين تسقط وتفصل من سطح الأقراص مع دوران الأقراص. وتستمر الأقراص الدوارة حاجتها من الأكسجين عند دورانها فتأخذ الأكسجين من الهواء عندما تكون خارج المياه ومن السائل عندما تكون مغمورة في الماء. حيث أن الأكسجين ينتقل إلى مياه البحار نتيجة التيارات الهوائية التي تحدثها دوران الأقراص شكل (4-5).



شكل 5-4. يوضح الأفراص البيولوجية وقطاع توضيحي فيها
 ١- سطح الأفراص تغطي بالكائنات الحية الدقيقة. ٢- اتجاه الدوران.
 ٣- المساحة المعرضة للتهوية. ٤- المخلفات السائلة.
 ٥ - حوض نصف أسطوانى للمخلفات السائلة.

د- نظم المعالجة البيولوجية الطبيعية

تعتبر نظم المعالجة البيولوجية الطبيعية من الطرق منخفضة التكاليف التي تتطلب مستوى تشغيل عاوى وهى غالبا ما تكون فعالة فى إزالة البكتريا والفيروسات المرضية إذا ما تم تنفيذها وتصميمها جيدا. وتشمل نظم المعالجة البيولوجية الطبيعية:

- (i) بحيرات الأكسدة Stabilization ponds
- (ii) معالجة الأراضي
- (iii) المعالجة بواسطة النباتات
- (iv) الغشاء المغذى

ولقد تم استخدام بحيرات الأكسدة ومعالجة الأراضي بنجاح فى أماكن كثيرة من العالم أما تقنية الغشاء المغذى فتعتبر تقنية جديدة لتنمية النبات فى المحلول المغذى

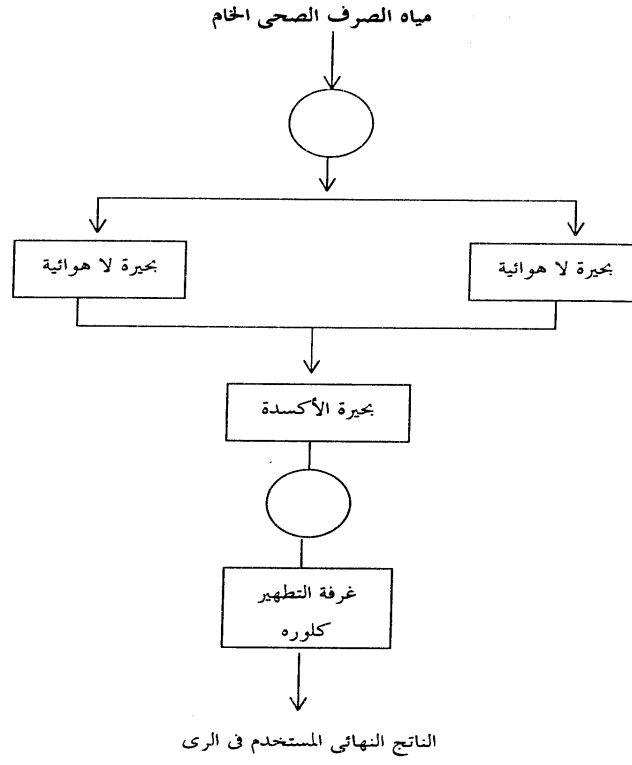
مع إمكانية تطبيقها في معالجة واستخدام مياه الصرف الصحي.

(i) بحيرات الأكسدة Oxidation ponds

وتعتبر من أبسط عمليات المعالجة الثانوية البيولوجية حيث يتم الإمداد بالأكسجين بواسطة التهوية السطحية الطبيعية وأيضا بواسطة الطحالب خلال عملية التمثيل الضوئي. وفي هذه المعالجة يتم استهلاك العناصر الغذائية الموجودة بمياه الصرف الصحي. فالأكسجين الذي تستهلكه البكتيريا في تحليل المواد العضوية والعناصر الغذائية المنطلقة يتم استهلاكها بواسطة الطحالب مكونة بذلك دوره تكافليه. وهذا النوع من المعالجة يناسب المجتمعات الريفية والمدن الصغيرة (حوالي 40.000 نسمة) في المناطق الحارة والمعتدلة شكل (5-5).

ويوضح الشكل (5-5) خطوات المعالجة باستخدام بحيرات الأكسدة حيث يتم ضخ مياه الصرف الصحي الخام إلى بحيرات صغيرة لاهوائية وذلك لترسيب الحمأة في القاع. وعادة ما يتم تصميم هذه البحيرات في أزواج متوازية حتى يمكن إزالة الحمأة من إحداها بينما تعمل الأخرى وسعة البحيرة تتراوح بين $500 - 2500 \text{ kg BOD}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ويتراوح عمق البحيرة بين 1.5-4.0 متر ومعدل التحلل البيولوجي اللاهوائي يزيد عادة بزيادة درجة الحرارة من $14-40^\circ\text{C}$ أما عند درجة حرارة 12°C فإن معدل التحلل يتوقف تماما.

ويتم ضخ الناتج السائل الابتدائي من البحيرات اللاهوائية (نخفض محتوى BOD_5 بحوالي 50-60%) إلى سلسلة من البحيرات الهوائية التي تكون فيها الطبقة العليا هوائية والسفلى لاهوائية.



شكل 5-5. رسم تخطيطي يوضح عملية المعالجة في بحيرات الأكسدة

ويستوقف سمك الطبقة الهوائية في بحيرات الأكسدة على درجة الإمداد بالأكسجين وعادة ما تكون البحيرة الأخيرة في السلسلة هوائية تماماً.

في بعض المجتمعات الصغيرة تكون عملية المعالجة ناجحة تماماً باستخدام بحيرة لا هوائية يتبعها بحيرة أكسدة واحدة ذات عمق ضحل (1.2-1.5m) يضمن الظروف الهوائية. وسعة بحيرة الأكسدة من المواد العضوية يكون حوالى $150 \text{ kg BOD}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ مع فترة بقاء تتراوح بين 7-10 أيام ويتم في كثير من الحالات ضخ السائل الناتج من بحيرة الأكسدة إلى خزان لمدة 2-4 أيام لتحسين نوعية السائل الناتج. وإذا ما تم تزويد مخارج البحيرة بمرشح بيولوجي ثم تطهير المياه بالكلور بعد ذلك فإن المياه الناتجة تصبح صالحة تماماً لدى المحاصيل الزراعية.

أما بالنسبة للمجتمعات ذات الكثافة السكانية العالية (100.000 نسمة) فإن استخدام البحيرات المهواة Aerated lagoons تكون أفضل وفي هذه الطريقة يتم تزويد البحيرات بالأكسجين بواسطة وحدات تهوية.

عمليات المعالجة البيولوجية بالإضافة إلى المعالجة الابتدائية يمكنها إزالة حوالى 85% من الأكسجين الحيوى وأيضاً بعض العناصر الثقيلة. علماً بأن المياه الناتجة من استخدام طريقة الحمأة المنشطة تكون ذات نوعية أعلى من الطرق البيولوجية الأخرى. وعند تطهير النواتج السائلة باستخدام الكلور يمكن التخلص من حوالى 99% من البكتريا والفيروسات الممرضة وعلى الرغم من ذلك فإن الأعداد المتبقية تكون عالية جداً وقد تصل إلى $10^5/100\text{ml}$. وأيضاً يجدر الإشارة إلى أن عمليات المعالجة البيولوجية يمكنها فقط إزالة جزء صغير جداً من الفوسفور والنيتروجين والمعادن الذائبة العضوية غير المتحللة. ويوضح الجدول رقم (4-5) نوعية المياه الناتجة من بعض هذه الطرق.

وقد أوصى تقرير البنك الدولى (Shuval et al., 1986) استخدام بحيرات الأكسدة كأفضل نظام لمعالجة مياه الصرف الصحي التي تستخدم في الزراعة في الدول

النامسية حيث تكون الأراضي متوفرة بسعر معقول ولأنها لا تتطلب مهارة عالية في التشغيل ويوضح الجدول رقم (5-5) مقارنة بين مميزات وعيوب الطرق البيولوجية المختلفة المستخدمة في معالجة مياه الصرف الصحي.

جدول رقم 5-5. تقييم طرق المعالجة البيولوجية

الخاصية	الحماة النشطة	الترشيح البيولوجي	بمخبرات الأكسدة
كفاءة المعالجة	إزالة BOD	متوسطة	جيدة
	إزالة كوليفورم	ضعيفة	جيدة
	إزالة المواد الصلبة	جيدة	متوسطة
	إزالة Helminth	متوسطة	جيدة
	إزالة الفيروسات	متوسطة	جيدة
عوامل اقتصادية	تكلفة إنشاء بسيطة	ضعيفة	جيدة
	سهولة تشغيل	ضعيفة	جيدة
	الإحتياجات من الأراضي	جيدة	ضعيفة
	تكلفة الصيانة	ضعيفة	جيدة
	الطاقة المطلوبة	ضعيفة	جيدة
	إزالة الحمأة	متوسطة	جيدة

(ii) استخدام التربة كوسط لمعالجة مياه الصرف الصحي

Land Treatment

يتم إضافة المخلفات العضوية ومياه الصرف إلى الأراضي منذ زمن بعيد كوسيلة للتخلص من المخلفات. وتعتبر إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي آمنة وفعالة إذا ماتم إضافتها بالطرق العلمية الصحيحة المصممة خصيصاً لذلك.

ويعتبر استخدام مياه الصرف الصحي في رى الأراضي الزراعية جزء من نظم إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي.

وتعمل كلا من التربة والنباتات كمرشح حيوى living filter بمتنص ويحتجز الملوثات والكائنات الحية الممرضة الموجودة في مخلفات ومياه الصرف الصحي.

١٠٧ معالجة مياه الصرف الصحي

فإضافة مياه الصرف الصحي المعالجة جزئياً إلى التربة ينتج عنها معالجة لهذه المياه حيث يتم خفض تركيزات المركبات العضوية وغير العضوية وكذلك مستويات الكائنات الحية الدقيقة الضارة بها إلى مستويات مقبولة مما يتيح فرصة إعادة استخدامها بطريقة آمنة وفعالة.

والانتقادات الرئيسية التي توجه إلى نظم إضافة المخلفات إلى التربة تركز على العوامل التالية:

١. الخطورة على الصحة العامة مثل انتقال البكتيريا والفيروسات الممرضة إلى الإنسان والحيوان.
 ٢. تأثير إضافة المخلفات في المدى الطويل على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة.
 ٣. عدم قبول المستهلك للمحاصيل المنتجة باستخدام مياه الصرف الصحي في الري.
- الترربة باعتبارها نظام ديناميكي حتى تتميز بإمتلاكها سطح نشط جداً وتجري فيها عمليات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية متكاملة تتفاعل بقوة مع مكونات مياه الصرف الصحي ويمكن للتربة أن تحد بفعالية من البكتيريا والبروتوزوا التي تصل إليها عند إضافة مياه الصرف الصحي خاصة تلك الناتجة من المعاملة الثانوية. وتتراوح فترة بقاء الكائنات الحية الممرضة في التربة من أيام إلى شهور وهذا يتوقف على نوع الكائنات الحية وظروف التربة ويجب أن يؤخذ ذلك في الاعتبار عند تصميم نظام إضافة مياه الصرف الصحي إلى التربة.

والمركبات العضوية التي تضاف مع مياه الصرف الصحي إلى التربة تتحلل إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ومركبات غير عضوية. والمركبات غير العضوية في مياه الصرف الصحي يمكن أن تتبادل أو تدمص أو ترسب أو تدخل في تفاعلات كيميائية تحولها إلى مركبات قليلة الذوبان أو تمتص بواسطة النبات وبالتالي فهي تزال جزئياً من المحلول.

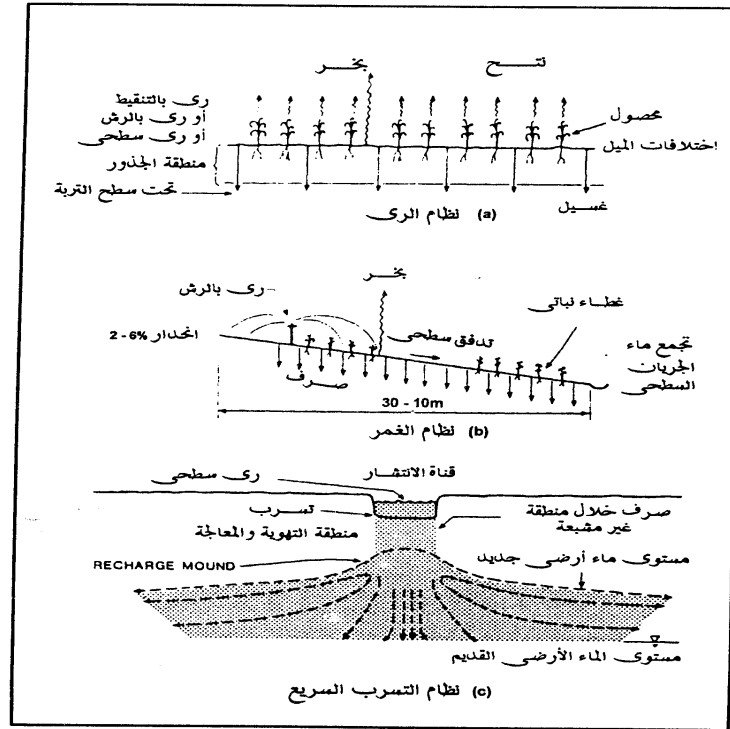
يوجد ثلاث أنواع من نظم إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي هي:

١. نظام الري (معدل منخفض)
٢. نظام الغمر overland flow
٣. نظام الرش السريع Rapid infiltration

ويعتبر إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي تحت نظام الري بمعدل منخفض ($<7.5 \text{ cm/week}$) إقتصادياً في المحاصيل الزراعية خاصة عندما يكون سعر الماء عالى. أما نظام الري بمعدل عالى ($7.5-10 \text{ cm/week}$) فيستخدم في زراعة الحشائش المتحملة لقلة الأكسجين ويكون الغرض الأساسى من إضافة مياه الصرف الصحي هو معالجة هذه المياه.

أما في نظام الرش السريع فتستخدم معدلات إضافة للمياه أعلى بكثير من المعدلات المستخدمة في النظم الأخرى ويتم ذلك عن طريق إستخدام رشاشات في الأراضي سريعة النفاذيه ويمكن تحت هذا النظام إعادة إستخدام المياه الراشحه (مياه الصرف).

ويعتمد نظام الغمر على إضافة مياه الصرف الصحي للأراضي بطيئة النفاذية أو الأراضي ذات الانحدار العالى والتي بها غطاء نباتى. حيث يتم تدفق مياه الصرف الصحي على طول $30-100\text{m}$ أرض بانحدار $2-3\%$ خلال الحشائش وتعتبر هذه الطريقة ذات كفاءة عالية في خفض الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) والمواد الصلبة العالقة والنيتروجين.



شكل 5-6 نظم إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي

كما يوضح جدول (5-6) الخصائص الرئيسية لكل نظام من نظم إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي.

جدول 5-6. مقارنة بين خصائص نظم إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي*

العامل	الرى	الغمر	الرشح السريع
معدل إستيعاب السائل	12.5-100 mm/week	50-140 mm/week	100-3000 mm/week
الإضافة السنوية	600-2400mm/yr	2400-7200 mm/yr	5,500-15,000mm/yr
مساحة الأراضي المطلوبة لكل 1000m ³ /d	15 - 60 /ha	5 - 15 ha	0.2 - 7
التربة	• متوسطة النفاذية	• بطيئة النفاذية	• سريعة النفاذية
	• Loamy sands to clay loams	• Silt loam to clay	• Sandy loam to sand
الانحدار	• محاصيل حقلية 0-6% • حشائش وغابات 0-15%	• 2 - 6%	• < 2%
إزالة المواد الصلبة العالقة	90 - 99%	90 - 99%	90 - 99%
إزالة النيتروجين	80 - 100%	70 - 90%	0 - 80%
إزالة الفوسفور	95 - 100%	50 - 60%	70 - 95%
مصدر مياه الصرف الصحي	• صرف عمق	• صرف عميق محدود	• صرف عميق كبير
	• جريان سطحي	• جريان سطحي وإعادة إستخدام	• ينهب إلى المياه الجوفية
	• إعادة إستخدام		• لا يوجد جريان سطحي
	• ينجر نتج	• ينجر نتج محدود	• ينجر نتج ضعيف جداً

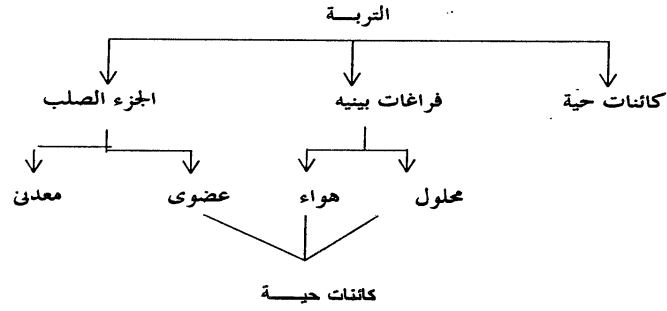
* الرى بمعدل 100mm/week يكون موسمي أما إضافة 2400mm/yr يكون في المتوسط 60mm/week لمدة 40 أسبوع.

وبوجه عام فإن هذه الطريقة تكون أكثر كفاءة تحت ظروف درجة الحرارة العالية. ونظام الغمر كطريقة من طرق المعالجة تعتبر أقل كفاءة من نظام الرى بمعدل

منخفض.

خواص التربة الواجب فحصها عند إضافة مياه الصرف الصحي

تتكون التربة من الطور الصلب الذى يتخلله الفراغات البينية ويتكون الجزء الصلب فى التربة أساسا من الحبيبات المعدنية الناتجة من الصخور ومن المادة العضوية الناتجة من تحلل بقايا النباتات والحيوانات وتمتلئ الفراغات البينية فى التربة بالهواء أو المحلول المائى المذاب فيه أملاح والتربة بشقيها الصلب والسائل تعتبر بيئة مناسبة لنمو الكائنات الحية الدقيقة.

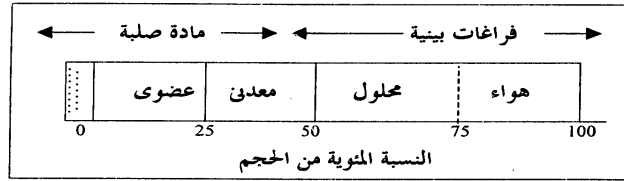


ويرتبط سلوك كلا من الماء ومكونات المخلفات فى التربة إرتباط وثيقا بحجم وترتيب الحبيبات المعدنية وايضا كمية المادة العضوية وذلك لأن طبيعة وكمية الفراغات البينية تتوقف على هذين العاملين ويوضح الشكل رقم (3-8) النسب التقريبية لمكونات التربة السطحية فى الأراضى الزراعية. ويلاحظ أن الطور الصلب والفراغات البينية تحتلان نسب متساوية فى التربة.

كما أن المادة العضوية تمثل حوالى 10% من الجزء الصلب والباقى يعتبر

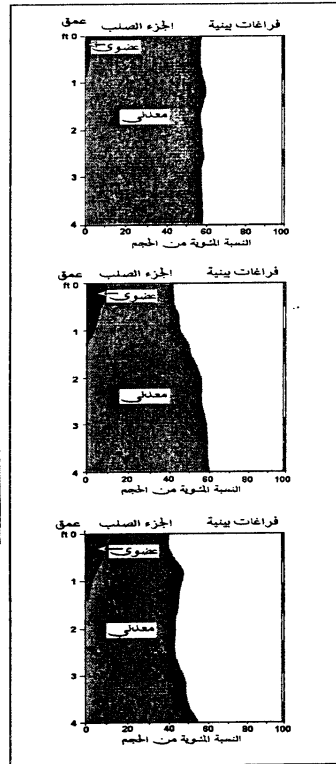
حبيبات معدنية. وتمتلىء نصف الفراغات البينية بالماء بينما النصف الآخر يمتلىء بالهواء وذلك في الأحوال الطبيعية التي لا تكون فيها التربة جافة جداً أو رطبة جداً.

"سلوك مياه الصرف الصحي في التربة يتأثر بطبيعة الفراغات البينية التي تتحدد تبعاً لخواص الحبيبات المعدنية والمادة العضوية".



شكل 5-7. التركيب الحجمي لتربة زراعية سطحية تحت ظروف ملائمة لنمو النبات.

ويجب أن نضع في الاعتبار الاختلافات الشديدة في خواص التربة مع العمق فنجد مثلاً أن كمية المادة العضوية وحجم وترتيب الحبيبات تتغير تغيراً ملحوظاً مع العمق. وهذا بالتالي ينعكس على حجم الفراغات البينية مما يؤثر على نسب الماء والمحللول تبعاً لظروف المناخ واستخدامات التربة ولكي نقيم التربة كوسط لاستقبال مخلفات الصرف يجب وبالضرورة تحديد الاختلافات في خواص الأتربة المختلفة. ويوضح الشكل (5-8) ثلاث قطاعات لأتربة مختلفة لعمق ١,٢٠ متر تقريباً وتمثل هذه القطاعات من أعلى إلى أسفل خواص الأتربة الصالحة لنظم الرش السريع (rapid infiltration، الري irrigation، الغمر بالترتيب).



شكل 5-8. رسم تخطيطي يوضح قطاع ثلاثة أراضي ذات صفات مختلفة وهذه الأراضي من أعلى إلى أسفل تمثل صفات التربة الملائمة لطريقة إضافة ماء الصرف الصحي للتربة وهي بالترتيب: نظم الرش السريع rapid infiltration، الري irrigation، الغمر overland flow.

معدل التسرب والنفاذية وحركة الماء في القطاع الأرضي:

يوجد علاقة وثيقة بين النفاذية ومعدل تسرب الماء الذي سبق تعريفه بأنه المعدل الذي يخترق به الماء سطح التربة معبرا عنه بالسـم/ساعة. ويتأثر معدل التسرب بالنفاذية والمحتوى الرطوبي في التربة. فعندما تكون التربة جافة فإن المسام تكون مملوءة بهواء فعند إضافة الماء إلى التربة يحل محل الهواء تدريجيا ويملا الفراغات البينية. ويتناقص معدل تسرب الماء كلما زاد إضافة الماء حتى يصل إلى معدل ثابت. وعندما تصل التربة إلى مرحلة التشبع يصبح معدل التسرب الثابت مساويا لنفاذية الأفق الذي له أقل نفاذية بالنسبة للأفاق الأخرى في القطاع الأرضي واستمرار إضافة الماء بمعدل يزيد عن معدل التسرب سوف يؤدي بعد ذلك إلى الجريان السطحي للماء. وفي حالة وجود ميل في السطح فإن الماء المضاف يتحرك أفقيا عندما يصل إلى الطبقة ذات النفاذية الأقل ولذلك يمكن القول أن معدل التسرب يعتمد اعتمادا وثيقا على نفاذية الطبقات (الأفاق) في القطاع الأرضي وكذلك على الطبوغرافيا.

يتوقف معدل التسرب على النفاذية، المحتوى الرطوبي للتربة والطبوغرافيا.

الماء المتاح (الميسر) Available water

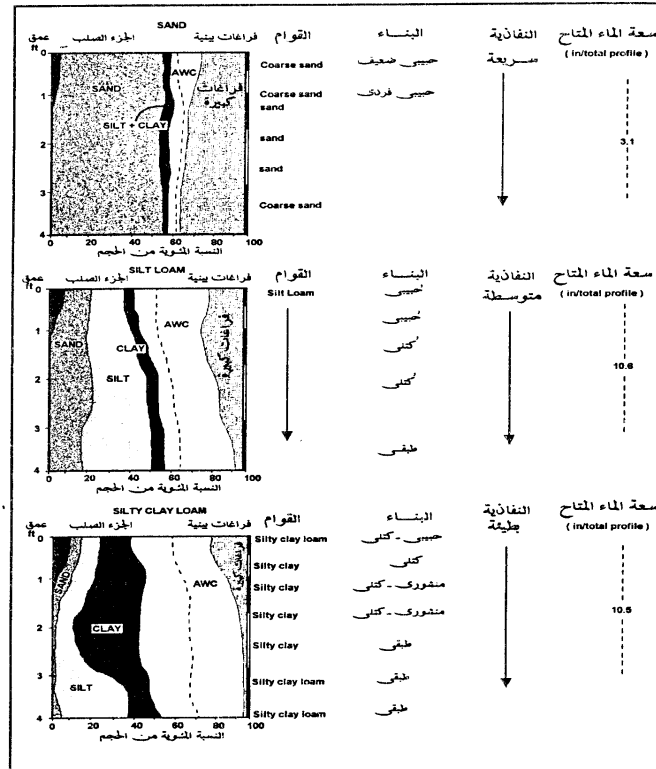
لتوضيح معنى الماء الميسر (المتاح) نفترض أن التربة تم تشبعها بالماء نتيجة الري بمياه الصرف الصحي فعندما يتوقف إضافة الماء إلى التربة يحدث صرف للماء الموجود في المسام الكبيرة إلى أسفل بواسطة الجاذبية الأرضية في خلال يومين (٤٨ ساعة) ويطلق على الرطوبة الأرضية في هذه الحالة اسم السعة الحقلية field capacity عند السعة الحقلية يكون الماء الموجود في المسام الكبيرة macro pores قد تم التخلص منه وحل محله الهواء أما المسام الصغيرة micro pores تكون مملوءة بالماء اللازم لمد النبات بإحتياجاته المائية يمتص النبات إحتياجاته المائية من الأرض عند السعة الحقلية ويفقد جزء كبير من هذا الماء الممتص عن طريق النتح transpiration كما يفقد جزء كبير من ماء الأرض عن طريق البخر evaporation. وعند جفاف الأرض يبدأ النبات في

الذبول صباحاً للاحتفاظ بالرطوبة ويستعيد حيويته مساءً وتدرجياً يحدث ذبول للنبات صباحاً ومساءً أى يصبح في حالة ذبول دائم ويطلق على المحتوى الرطوبي للترربة عندما يكون النبات في حالة ذبول دائم بإسم معامل الذبول أو نقطة الذبول المستدم permanent wilting point.

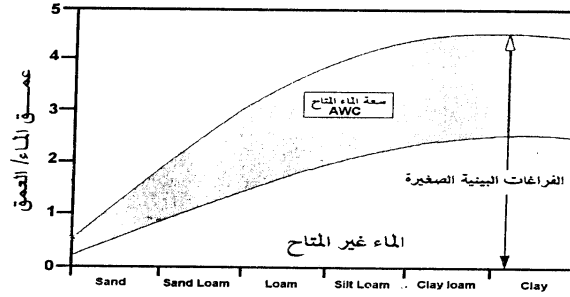
ويطلق على الماء الممسوك في التربة بين السعة الحقلية ونقطة الذبول المستدم إسم الماء المتاح (الميسر) وهو الماء الذى يمكن استخدامه بواسطة النبات.

وتختلف سعة الماء الحر في الأترربة باختلاف نسبة المسام الصغيرة في التربة التي تعتمد بدورها على القوام والبناء ونسبة المادة العضوية في التربة (شكل رقم 5-9). فمن الشكل نجد أن الرمل الخشن coarse sand له أقل سعة ماء متاح وذلك لأن نسبة المسام الصغرى فيه صغيرة في حين أن التربة silty clay loam تكون لها أكبر سعة ماء متاح وذلك لكبر نسبة المسام الصغرى فيها ويوضح الشكل رقم (5-10) العلاقة بين الماء المتاح ونسبة المسام الصغرى في التربة.

سعة التربة من الماء المتاح (الميسر) يتوقف على نسبة الفراغات الصغرى في التربة والتي منها يستخلص النبات احتياجاته المائية .



شكل 5-9. يوضح الاختلافات في سعة الماء المتاح بين عدة قطاعات تربيه



شكل 5-10. يوضح العلاقة بين الفراغات الصغرى والماء المتاح وقوام التربة

وكما أن الماء المتاح هاماً بالنسبة لنمو النبات فإن الماء المتاح يعتبر أيضاً هاماً بالنسبة لكفاءة نظم إضافات مياه الصرف الصحي. فتفاعل وبالتالي معالجة المخلفات الموجودة في مياه الصرف الصحي مع التربة يتوقف على فترة بقاء الماء في التربة. وتعتبر سعة التربة من الماء المتاح بالضرورة مقياساً لمقدرة التربة على تخزين الماء التي بدورها تعكس كمية مياه الصرف الصحي التي يجب إضافتها للأرض الجافة بدون أن تفقد مباشرة إلى الماء الجوف. وامتصاص النبات للماء يؤدي إلى استمرار تناقص الماء المتاح خلال فترة النمو وبالتالي يسمح بإضافة كميات متزايدة من مياه الصرف الصحي ويتوقف تناقص الماء الحر خلال فترة نمو النبات على المناخ ونوع النباتات النامية.

سعة التربة من الماء المتاح (الميسر) تعبر بالضرورة عن السعة التخزينية للتربة من الماء. وكلما كانت التربة ذات سعة تخزينية عالية كلما زادت فترة بقاء مكونات مياه الصرف الصحي في التربة مما يضمن معالجتها.

السعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity

غسرويات التربة هسلى التى تحدد الخواص الكيمائية للتربة، ويعرف الغروى Colloid بأنه أى مادة صلبة ذات حجم صغير جداً ولذلك فإن خواص السطوح بها تكون أكثر أهمية من وزنها وأغلب الغرويات لا تتعدى أقطارها بضعة ميكرومترات. ونظراً لكبر مساحة سطح الغروى نجد أن العديد من التفاعلات الكيمائية تحدث على سطوحها وهذه التفاعلات هى التى تحدد الخواص الكيمائية للتربة وغرويات التربة السائده تنحصر فى معادن الطين والديبال. ويتميز كلا من الطين والديبال بنشاط ديناميكي كبير نظراً لصغر أحجامها ($<0.002\text{mm}$) وبالتالي كبر السطح النوعى وايضا لامتلاك الطين والديبال شحنات سطحية قادرة على جذب الأيونات الموجبة والسالبة الشحنة وكذلك الماء. ولذلك فإن الطين والديبال يؤثران على الخواص الكيمائية للتربة بدرجة أكبر من الرمل والسلت فبالنسبة للرمل الخشن يتراوح السطح النوعى له بين $10-50\text{cm}^2/\text{g}$ بينما السطح النوعى للطين قد يزيد عن $10.000\text{ cm}^2/\text{g}$ ونتيجة لوجود الشحنات على سطوح الغرويات نجد أنها لها المقدرة على جذب الأيونات والمركبات الذائبة فى مياه الصرف الصحي.

والتبادل الذى يحدث بين كاتيون فى المحلول وكاتيون آخر موجود على سطح غسرويات التربة يعرف باسم التبادل الكاتيونى Cation exchange. وتعرف السعة التبادلية الكاتيونية للتربة بأنها كمية الكاتيونات المتبادلة على وحدة وزن من التربة معبرا عنها بالسنتيمول (+) Centimole لكل كيلو جرام تربة ويستخدم Centimoles لأن عدد مواقع الشحنة السالبة على غسرويات التربة لا يتغير بينما وزن العناصر التى تدمص على هذه المواقع تتغير.

وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية من تربة إلى أخرى وذلك يتوقف على كمية ونوع الطين والديبال الموجودة فى هذه الأتربة والسعة التبادلية الكاتيونية للتربة هى خاصية هامة جداً لأنها تدل على مقدرة التربة على إمتصاص الملوثات الموجودة فى

مياه الصرف الصحي المضافه إلى التربه. فهذه المياه تحتوى على أيونات ومركبات ذائبه وامتنصاص وانتقال هذه المكونات خلال التربه يتوقف على السعة التبادليه الكاتيونيّه.

إدمصاص وانتقال الأيونات والمركبات الذائبه في مياه الصرف الصحي خلال التربه يتوقف على السعة التبادليه الكاتيونيّه.

ولما كانت الشحنة السائدة على غرويات التربه هي شحنة سالبه فإن أغلب الأيونات التي تنجذب إلى هذه الشحنة تكون أيونات موجبه مثل الأمونيوم والكالسيوم والمغنسيوم والصدوديوم والزنك والنحاس وغيرها. لذلك فإن السعة التبادليه الكاتيونيّه (CEC) تعتبر مقياس لمقدرة التربه على الاحتفاظ بالكاتيونات وبطريقة غير مباشرة فإن السعة التبادليه الكاتيونيّه تعتبر دليل تقريبي على التفاعلات التي تحدث بين الملوثات ذات الشحنة وسطوح الغرويات وبوجه عام كلما زادت السعة التبادليه الكاتيونيّه للتربه كلما زادت مقدرة هذه التربه على معالجة الملوثات.

السعة التبادليه الكاتيونيّه هو مقياس تقريبي للتفاعلات التي تحدث بين الملوثات ذات الشحنة وغرويات التربه (الطين والدبال).

ولأن السعة التبادليه الكاتيونيّه للتربه تتوقف على كمية ونوع معادن الطين وكمية الدبال فيها فإنه من المتوقع أن تختلف السعة التبادليه الكاتيونيّه في القطاع الأرضي تبعاً للاختلافات بين الآفاق. ويوضح الشكل رقم (5-11) الاختلافات في السعة التبادليه الكاتيونيّه في قطاعات ثلاث أراضى مختلفة.

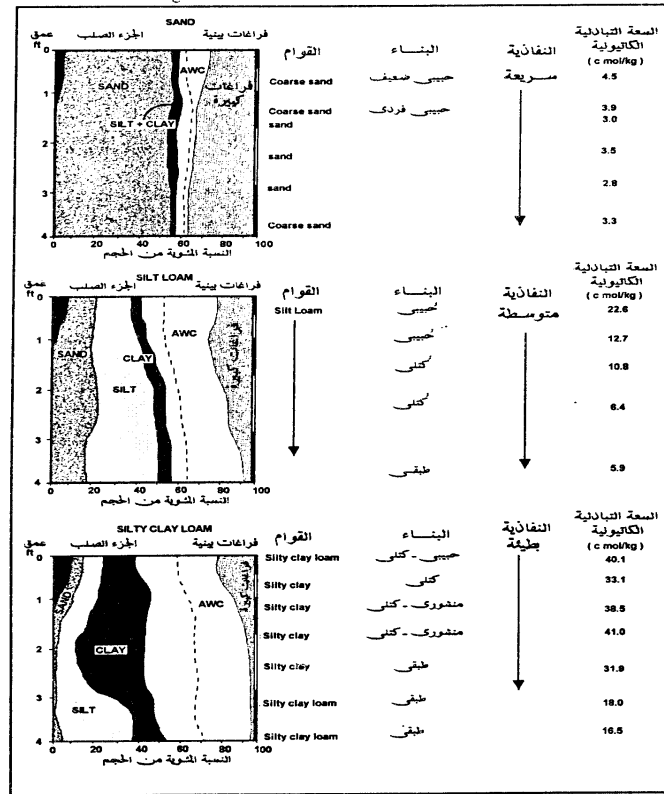
مما سبق مناقشته يتضح أن الأتربه التي لها معدل تسرب ماء عالى تكون أقل قدره على معالجة الملوثات المضافه إلى التربه لأن السعة التبادليه الكاتيونيّه لهذه الأتربه تكون منخفضة وعلى النقيض من ذلك فإن الأتربه ذات القدرة العاليه على مسك الملوثات يكون معدل تسرب الماء فيها محددًا.

لذلك فإن نظم التسرب السريع rapid infiltration لا تكون ذات كفاءة عالية من ناحية معالجة الملوثات في حين أن نظم الغمر على الرغم من أنها تعمل على أراضي ذات سعة تبادل كاتيونية عالية فإن مقدرتها أيضا محدودة نتيجة لضعف معدل التسرب بها مما يقلل من التلامس بين الملوثات وغرويات التربة تحت السطحية أما نظام الري Irrigation فيعتبر وسط بين النظامين السابقين وربما يكون أفضل أنظمة إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأراضي.

الأراضي ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية تكون ذات مقدرة كبيرة على معالجة الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي نتيجة للتفاعلات التي تحدث بين الملوثات وغرويات التربة.

ميكانيكيات المعالجة ومقدرة التربة على استيعاب الملوثات

استخدام التربة كوسيلة لمعالجة المخلفات يعتبر مفهوم حديث حيث جرت العادة منذ القدم على استخدام التربة للتخلص من المخلفات وليس معالجتها. والواقع أن المخلفات لا يتم التخلص منها بإلقائها في التربة لأن جزء من هذه الملوثات يمر خلال التربة إلى الماء الجوفي وجزء آخر يمتص بواسطة النباتات النامية فيها وجزء ثالث يتم إحتجازه في التربة. ولذلك فإن التصميم الصحيح لنظم معالجة المخلفات باستخدام التربة يجب أن يضع في الاعتبار مقدرة التربة على استيعاب هذه الملوثات بحيث يقلل أن لم يكن يمنع مرور الملوثات خلال قطاع التربة إلى الماء الجوفي.



شكل رقم 5-11. رسم تخطيطي يوضح الاختلافات في السعة التبادلية الكاتيونية في ثلاث قطاعات تربة مختلفة.

لا يتم التخلص من الملوثات وذلك بإلقائها في التربة والحقيقة أن جزء من هذه الملوثات يمتص بواسطة النباتات وجزء يمسك بواسطة غرويات التربة وجزء ثالث يمر خلال قطاع التربة إلى الماء الجوف.

وتقسم ميكانيكيات معالجة الملوثات باستخدام التربة إلى ميكانيكيات فيزيائية وبيولوجية وكيميائية وتحت كل من هذه الميكانيكيات تعمل عدة عمليات تؤدي في النهاية إلى التخلص من أو تحويل الملوثات.



الميكانيكيات الفيزيائية

١. الترشيح Filtration

عند مرور ماء الصرف الصحي خلال التربة فإن المواد الصلبة المعلقة في الماء يتم حجزها في السرب عن طريق الترشيح الميكانيكي ويتوقف العمق الذي يحدث عنده حجز لهذه المعلقات على حجم المواد العالقة وقوام التربة ومعدل إضافة مياه الصرف الصحي. فكلما زاد معدل الاستيعاب الهيدروليكي وزادت خشونة التربة كلما زادت المسافة التي يحدث عندها حجز لهذه المعلقات الصلبة ومع ذلك فعند تساوى معدل الاستيعاب الهيدروليكي مع معدل الإضافة يحدث إزالته أكبر للمعلقات نتيجة التصاق المعلقات الصلبة على سطوح حبيبات التربة.

زيادة معدل الاستيعاب الهيدروليكي **hydraulic loading rate** وزيادة خشونة التربة تؤدي إلى زيادة المسافة والعمق التي يتم عندها حجز المعلقات الصلبة من مياه الصرف الصحي.

الحبيبات العضوية الكبيرة والكائنات الحية ذات الحجم الكبير مثل البروتوزوا والديدان يمكن حجزها في التربة بينما تستطيع البكتريا والفيروسات ذات الأحجام الصغيرة أن تمر خلال مسام التربة ولقد أوضحت الدراسات أن الطفيليات الموجودة في مياه الصرف الصحي يتم حجزها في التربة حيث أن التربة تعمل كمرشح فتحجز البكتريا فيها بينما تدمص الفيروسات على سطوح حبيبات التربة.

تعمل التربة كمرشح فيتم حجز البكتريا فيها ومنعها من الوصول إلى الماء الجوفي بينما تدمص الفيروسات على سطوح حبيبات التربة.

٢. التخفيف Dilution

في المناطق الرطبة يحدث تخفيف لتركيز الملوثات في مياه الصرف الصحي نتيجة إختلاطه بالمياه الجوفية أو نتيجة سقوط الأمطار أو ذوبان الثلوج بينما في المناطق الجافة يحدث تركيز لهذه الملوثات نتيجة لشدة البخر في هذه المناطق.

محدودية الميكانيكية الفيزيائية في إزالة الملوثات

يمكن للمواد الصلبة العالقة في الماء أن تسد مسام التربة وبالتالي تقلل من معدل التسرب الأمر الذي يؤدي إلى حتمية إزالة المواد الصلبة العالقة (SS) من الماء قبل إضافتها للتربة.

ولقد أوضحت الدراسات التي أجريت على استخدام الرمل كمرشح في نظم معالجة مياه الصرف الصحي أن مرشحات الرمل لها القدرة على احتجاز المعلقات الصلبة الصغيرة في مياه الصرف الصحي عند مسافة لا تتجاوز بضعة سنتيمترات. وقد

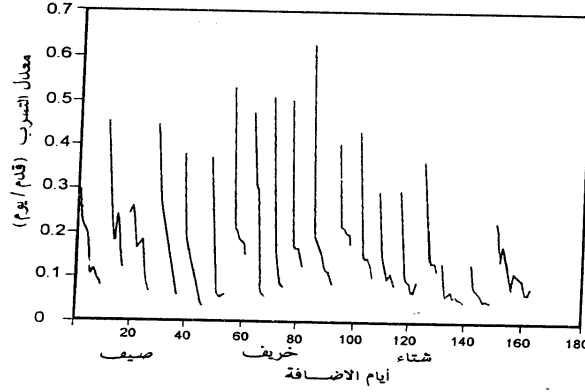
تصل مقدرة الرمل على استيعاب المعلقات إلى قيم تعادل $26,000 \text{ kg SS/acre-day}$ (في حالة إضافة ماء صرف صحي يحتوي على 20 mg/l SS). ونتيجة لـ كبر حجم ووزن المواد العالقة المحتجزه فإنه من المتوقع أن يحدث تناقص سريع في التوصيل الهيدروليكي خلال فترة لا تتعدى 24 ساعة أو أقل.

ولذلك فإنه ينصح في نظم إضافة مياه الصرف الصحي إلى التربة أن يعقب إضافة المياه فترات راحة rest periods يتم بها التخلص من المواد العالقة التي تسد المسام عن طريق التحلل الطبيعي لهذه المعلقات في فترات الراحة.

يتم التخلص من انسداد المسام بواسطة المواد العالقة عن طريق إعطاء فترات راحة تلي إضافة مياه الصرف الصحي حتى يحدث تحلل لهذه المعلقات.

ولقد أوضحت الدراسات (شكل رقم 5-12) أن إضافة مياه الصرف الصحي بمعدل يعادل $100 \text{ kg SS/acre-day}$ لا يسبب أى انسداد للمسام في أغلب الأراضي فإذا تم استعمال فترات راحة من 2-3 أيام بين الإضافات فإن معدل الإضافة الذي لا يسمح بحدوث غلق للمسام يمكن أن يرتفع إلى $300 \text{ kg SS/acre-day}$ وبما سبق يتضح أن جدولة إضافة مياه الصرف الصحي للأراضي وعمل معالجة ابتدائية لمياه الصرف الصحي مثل النخل Screening أو الترسيب الابتدائي ربما يكون كافياً لتفادي انسداد مسام التربة.

يمكن تفادي غلق مسام التربة بواسطة المعلقات الصلبة عن طريق إجراء معاملة ابتدائية لمياه الصرف الصحي مع إعطاء فترات راحة بين الإضافات.



شكل رقم 5-12. تأثير فترات الراحة بين أوقات إضافات مياه الصرف الصحي على معدل الترسب في ترابه لوميه.

إدمصاص وترسيب الملوثات

تقسم التفاعلات الكيميائية بين الأيونات الذائبة والمركبات وبين الجزء الصلب من التربة على تغيير حركة مكونات الملوثات فبعض المكونات الذائبة يتم إحتجازها على سطح حبيبات التربة بصفة دائمة بينما البعض الآخر تتأثر حركته لصفة مؤقتة. والعمليتين الكيميائيتين المسئولتين عن مسك الملوثات الذائبة هما الإدمصاص والترسيب. فالإدمصاص ينتج من تفاعل المواد الذائبة من الملوثات مع سطوح معادن الطين والديال بينما الترسيب هو تكوين ناتج غير ذائب من المكونات الذائبة الموجوده في المحلول.

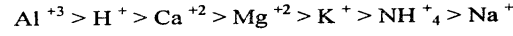
يتم مسك والحد من حركة مكونات الملوثات الذائبة أساسا من خلال عمليتي الإدمصاص والترسيب.

ويعتبر التبادل الأيوني نوع من أنواع الإدمصاص ويوجد ما يسمى بالتبادل الأنسيوني بين الأنيونات سالبة الشحنة والتبادل الكاتيوني بين الكاتيونات موجبة الشحنة. ففى الظروف الحمضية (درجة الحموضة pH- أقل من 5) بعض الأتربة يكون لها القدرة على مسك كميات صغيرة من الأنيونات مثل النترات والكبريتات والفوسفات فى صورة متبادله وتكون الأكاسيد المتأدته للحديد والألومنيوم هى المسؤولة أساسا عن عملية التبادل الأيوني. وعلى الرغم من ذلك فإن عملية التبادل الأنسيوني تكون ذات أهمية ضعيفة فى نظام إضافة الملوثات إلى التربة حيث نجد أن الأنيون الوحيد الذى يتم مسكه فى التربة هو الفوسفور ويتم بميكانيكية مختلفة عن التبادل الأيوني.

وتفاعلات التبادل الأيوني السائدة فى معظم الأتربة هى عبارة عن تفاعلات تبادل كاتيوني وهذه يتم التعبير عنها بالسعة التبادلية الكاتيونية. فالتبادل الكاتيوني هو داله لشدة التجاذب النسي من الأيونات والجزء الغروى من التربة وبين التركيب النسي للكاتيونات المتبادله الموجوده فى المحلول الأرضى.

أغلب تفاعلات التبادل الأيوني فى معظم الأراضي هى تفاعلات كاتيونية.

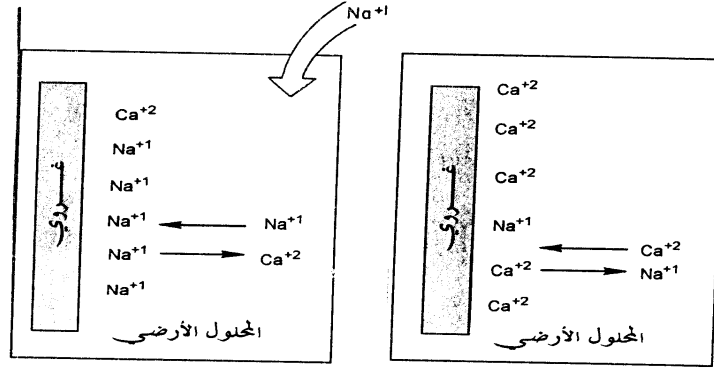
والسلسله التاليه توضح شدة التجاذب بين الأيونات المختلفه والجزء الغروى من التربة فى ترتيب متناقص.



ولتوضيح ذلك نفترض وجود نظام مغلق يتكون من طور غروى صلب وطور سائل (شكل 5-13) ونفترض فى هذا النظام وجود كميات متكافئه من الكالسيوم والصوديوم موزعه بين هذين الطورين. فى أى وقت يحدث أن بعض الكاتيونات تتحرر من الطور الصلب وتذهب إلى الطور السائل والبعض الآخر يحل محلهم من الطور السائل على الطور الصلب وفى هذه الحاله يقال أن النظام فى حالة توازن

ديناميكي عندما يحدث تبادل عشوائي بين الطورين بدون أن يحدث أى تغيير فى نسب الكاتيونات الموجوده فى كلا من الطورين. ونتيجة لقوة الجذب بين الكالسيوم والسطح الغروى فإن الكالسيوم سوف يسود على مواقع التبادل عند الإتزان.

سوف نفترض أن المزيد من أيونات الصوديوم قد دخلت النظام ونتيجة لزيادة تركيز الصوديوم عن الكالسيوم فى النظام يحدث توزيع عشوائي للكاتيونات بين النظامين ويسود الصوديوم على مواقع التبادل فى الجزء الصلب ويحل محل الكالسيوم على الرغم من أنجذاب الكالسيوم إلى مواقع الشحنات فى الجزء الصلب. وعلى ذلك فعند الأتزان فإن الصوديوم سوف يسود على مواقع التبادل فى الجزء الصلب. ولذلك ففى نظم معالجة مياه الصرف الصحي نجد أن إدمصاص ومسل الكاتيونات الذائبة على التربة يتوقف أساسا على تركيز الكاتيونات فى المحلول الذى يدخل التربة.



شكل 13-5a. شدة التجاذب بين غرويات التربة وكاتيونات ما يؤثر على عملية التبادل الكاتيوني فالكالسيوم يسحب بشدة إلى سطوح الغرويات ولذلك نلاحظ سيادته على مواقع التبادل. شكل 13-5b. زيادة التركيز يمكن أن يغير من تأثير قوة التجاذب بين الكاتيونات والسطح الغروى فنجد أن زيادة تركيز الصوديوم أدى إلى سيادة هذا الأيون على مواقع التبادل فى الجزء الغروى.

والستفاعل الذى تم فيه إحلال الصوديوم محل الكاتيونات الأخرى يعتبر تفاعلا هاما للغاية حيث نجد أن سيادة أيون الصوديوم على مواقع التبادل سوف يؤثر سلبا على بناء وتجبب التربة مسببا تفرق حبيبات التربة وهذا بالتالى سوف يقلل من الفراغات الكبيرة وبالتالى يقلل من نفاذية التربة.

وتفاعلات التبادل الخاصة بأيون الأمونيوم (NH_4^+) تعتبر ايضا هامة حيث أن هذا الستفاعل يودى إلى إدمصاص هذا الكاتيون على سطوح غرويات التربة مؤقتا وبذلك يتوافر الوقت للعمليات البيولوجية التى تعمل على تحويل الأمونيوم إلى نترات (NO_3^-) والذى يعتبر أيون متحرك.

في نظم معالجة مياه الصرف الصحي فإن إدمصاص الكاتيونات الذائبة على غرويات التربة يتوقف أساسا على تركيز هذه الكاتيونات في المحلول المضاف إلى التربة حيث أن زيادة التركيز تعمل سيادة الكاتيون ذو التركيز العالى على مواقع التبادل بغض النظر عن شدة التجذاب هذا الكاتيون.

وعند هذه المرحلة يجب التنويه والتركيز على أن الكاتيونات المتبادله هي كاتيونات محل محلها كاتيونات أخرى بمعنى أنه عند إزالة أيون ما مثل الصوديوم أو الأمونيوم أو أى كاتيون آخر من ماء الصرف الصحي بفعل التبادل الكاتيون فإنه وبالضرورة سوف محل محل الأيونات المزاله أيونات أخرى موجوده على سطوح غرويات التربة أى أن الكاتيونات الموجوده على معقد التبادل سوف تذهب إلى المحلول وبكميات متكافئه أى أن تركيز الأملاح الكلية الذائبة في المحلول لن يتغير معنويا.

تختلف الأراضي في مقدارها على مسك الكاتيونات والأيونات وتثبيتها وهو ما يعرف بالإدمصاص النوعى specific adoptions فالإدمصاص النوعى يحدث بين الأيونات الموجوده في المحلول، الأيونات الموجوده على سطوح الغرويات. فمثلا

أيونات الأورثو فوسفات ($H_2 PO_4^-$, $H PO_4^{2-}$) تتفاعل مع الحديد والألومنيوم الموجود على سطوح معادن الطين ويصبح مع الوقت مثبتاً أى ممسوكاً على هذه السطوح بقوة كبيرة.

الإدمصاص النوعي يحدث في الأراضي عندما يتم مسك الأيونات على سطوح غرويات الطين بقوة كبيرة تمنع تبادلها مع الأيونات الموجودة في المحلول. فالعناصر الثقيلة مثل الزنك والنحاس والنيكل والكاديوم والرصاص يتم مسكهم على غرويات التربة في صورة غير متبادلة.

العديد من كاتيونات العناصر الثقيلة مثل الزنك والنحاس والكاديوم والنيكل والزرنيق والرصاص والكروم توجد في ماء الصرف الصحي بتركيزات منخفضة جداً ومع ذلك فهذه الكاتيونات تتفاعل مع المكونات الغروية للترهوتصبح في صورته غير متبادله. وبالمقارنة مع مياه الحمأة نجد أن تركيزات العناصر الثقيلة في الحمأة تكون عاليه جداً ولذلك فإذالة هذه العناصر من الحمأة تتوقف بدرجة كبيرة على درجة تجانس ابتلال التربة.

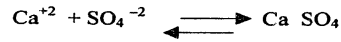
فمبدئياً تكون السطوح الخارجية للحبيبات هي التي في حالة تلامس مع ماء الصرف الصحي وبمرور الوقت يحدث اتزان بين السطح الداخلى والمكونات الموجودة على السطح الخارجى.

الترسيب

كثير من الأيونات تتفاعل خلال الطور السائل نفسه وينتج عن ذلك تكوين راسب غير ذائب والنقطة التي يحدث عندها ترسيب كيميائى يتوقف على تركيز الأيونات الداخلة في التفاعل وثابت حاصل الإذابة K_{sp} . ويتم حساب حاصل الإذابة وذلك بضرب تركيزات المواد المتفاعله (moles/l) في المحلول المشبع ببعضها. فمثلاً قيمة K_{sp} لكبريتات الكالسيوم ($Ca SO_4$) $= 2.4 \times 10^{-5}$ وهذا يعنى أنه عندما يكون حاصل ضرب تركيزات أيون الكالسيوم $\times$ تركيز أيونات الكبريتات يزيد عن

2.4×10^{-5} فإن كبريتات الكالسيوم سوف تترسب.

تركيز الكبريتات في ماء الصرف الصحي = 125 mg/l ($1.3 \times 10^{-3} \text{ moles/l}$)
وتبعاً لحاصل الإذابة فإن تركيز الكالسيوم في المحلول لا يمكن أن يزيد عن 750 mg/l ($1.85 \times 10^{-2} \text{ moles/l}$). فإذا فرض أن البخر أدى إلى تركيز المكونات في ماء الصرف الصحي فإن ناتج ضرب $\text{SO}_4^{-2}, \text{Ca}^{+2}$ سوف يزيد عن قيمة K_{sp} وبالتالي سوف يتجه التفاعل التالي إلى جهة اليمين مكوناً كبريتات كالسيوم غير ذائبة.



أما تخفيف التركيزات في مياه الصرف الصحي نتيجة سقوط الأمطار أو التفاعل مع غرويات التربة (تعادل أيون أو ادمصاص نوعي) فهذا سوف يؤدي إلى تخفيف التركيزات دافعاً التفاعل إلى الاتجاه ناحية اليسار ومؤدياً إلى ذوبان كبريتات الكالسيوم الصلبة.

كثير من الأيونات تتفاعل من خلال المحلول مكونه رواسب غير ذائبة.

محدودية التفاعلات الكيميائية في إزالة مكونات المخلفات

تحتوي المخلفات على عناصر سامه وعناصر كبرى مثل النيتروجين والفوسفور وهذه العناصر يتم التحكم فيها جزئياً بواسطة الميكانيكيات الكيميائية في التربة. وسوف نستعرض هنا شرح مختصر لقدرة التربة على معالجة الملوثات المحتمل تواجدها في المخلفات وذلك لتقدير مدى إستيعاب التربة لهذه الملوثات.

كثير من العناصر الصغرى السامه مثل الزنك والنيكل تكون على صورة كاتيونات ومسكها في التربة يتوقف على السعه التبادليه الكاتيونيّه. ولقد أجريت كثير من البحوث في الآونه الأخيرة بغرض عمل جداول استرشاديه للحدود القصوى التي يمكن إضافتها للتربة من العناصر الثقيلة والسامه. وركزت البحوث على عناصر

١٣١ معالجة مياه الصرف الصحي

الزنك والسنحاس والنيكل التي يمكن أن تكون سامه للنبات وكذلك على عنصر الكادميوم لمقدرته التجميعيه في النبات إلى تركيزات عاليه يمكن أن تكون سامه للحيوانات التي تتغذى على النباتات.

والجدول الاسترشادي المقترح تم عمله طبقا للسميه النسبيه للعنصر، قوام التربه، محتوى التربه من ماده العضويه، السعه التبادليه الكاتيونييه للتربه.

وقد تم نشر هذه الجداول الأسترشاديه (جدول رقم 5-7) بواسطة هيئة حماية البيئه (EPA) Environmental Protection Agency سنة 1977 لتحديد القدره الأستيعابيه للأراضى الزراعيه.

ولقد تم وضع هذا الجدول الاسترشادي بإفتراض أن الأراضى التي ستستقبل هذه الاضافات لن يتأثر إنتاجها من ناحية الكم أو الخواص التسويقيه.

جدول 5-7. الحدود القصوى المسموح إضافتها من العناصر الصغرى للأراضى الزراعيه

السعه التبادليه الكاتيونييه		c mole/kg		العنصر	
< 5	5 - 15	> 15			
500	1,000	2,000	Pb	أقصى كميّه يمكن إضافتها	
250	500	1,000	Zn	kg/ha	
125	250	500	Cu		
50	100	200	Ni		
5	10	20	Cd		

Dowdy et al., 1976. Sewage sludge and effluent use in Agriculture, pp. 138 – 153.
In Land application of waste materials. Soil Cons. Soc. Am. Iowa P. 313.

(iii) المعالجة النباتية Macrophyte Treatment

عادة ما يحتوى السائل الثانوى الناتج من بحيرات الأكسدة على BOD₅ 50mg/l فإذا كان المطلوب تركيز أقل من BOD في السائل الثانوى فيتم استخدام ما يسمى ببحيرات النضج maturation pond ولقد وجد أنه للحصول على

مياه تحسوى على BOD_5 أقل من 25 mg/l فإنه يستلزم عدد ٢ بحيرة تنضج على التوالى لمدة أسبوع اذا كانت المياه الداخلة للبحيرة من بحيرات الأكسدة تحسوى على BOD_5 أقل من 75 mg/l.

ولتحسين نوعية المياه الخارجة من بحيرات النضج فلقد تم استخدام بعض أنواع النباتات وتنميتها في هذه البحيرات والنباتات المستخدمة هي عبارة عن نباتات مائية فوق سطح الماء أو تحت سطح الماء ويطلق عليها *Macrophytes*. هذه النباتات قادرة على امتصاص كميات كبيرة من العناصر الغذائية وخاصة النيتروجين والفوسفور والعناصر الثقيلة مثل الكاديوم والنحاس والزنك كنتيجة طبيعية لنمو هذه النباتات وأيضا لتأثير نمو هذه النباتات يعمل على منع الضوء عن الطحالب الموجودة ولقد أوضحت التجربة في فلوريدا باستخدام النباتات المائية الطافية لمعالجة مياه الصرف الصحي الخام أنه يمكن الحصول على مياه ذات نوعية تعادل المياه الناتجة من المعاملة الثانوية وذلك في مدة ستة أيام (عمق الماء في البحيرة 60 cm والسعة الهيدروليكية $1860 m^3/had$).

٩ - نظام النباتات المائية الطافية Floating Aquatic Macrophyte

النباتات المائية الطافية وما تمتلكه من مجموع جذرى كبير تكون ذات كفاءة كبيرة في استخلاص العناصر الغذائية. وتم اختبار العديد من النباتات الطافية مثل *Salvinia*, *Spirodella*, *Lemna*, *Eichornia* و *Eichornia crassipes* ولكن *Water hyacinth* تم دراستها بصورة مكثفة ووجد أن هذه النباتات تضاعف من كتلتها في غضون 6 أيام كما أن النباتات النامية في البحيرة لها القدرة على إنتاج حوالى 250kg/ha d مادة جافة وتخفيض تركيز النيتروجين والفوسفور في مياه الصرف الصحي بنسبة 80% و 50% على التوالى. كذلك النباتات المائية تعمل كمادة حية للنشاط الميكروبي وبذلك يمكن التخلص من BOD خلال عملية التحلل وامتصاص قدر كبير من الفوسفور والمواد العضوية والمعادن الثقيلة.

١٣٣ معالجة مياه الصرف الصحي

ولذا يمكن القول أن ميكانيكية عمل هذه النباتات هي امتصاص وتركيز وتخزين الملوثات في مدى زمني قصير وحصاد هذه النباتات ينتج عنه إزالة دائمة للملوثات من البحيرة. ويوضح الجدول رقم (9-5) معدل نمو النباتات المائية النامية في محلول مغذى.

جدول رقم 9-5. نمو وتركيز الفوسفور والنيتروجين لبعض النباتات المائية

نوع النبات	الكتلة		التركيز	
	الحصول	معدل النمو	N	P
	t ha ⁻¹ (dw)	t ha ⁻¹ yr ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
نباتات طافية				
Eichornia crassipes (water hyacinth)	20-24	60-110	10-40	1.4-12
Pista stratiotes (حس الماء)	6-10.5	50-80	12-40	1.5-11.5
Hydrocotyle spp. (penny wort)	7-11	30-60	15-45	2-12.5
Alternanthera spp. (عشب التمساح)	18	78	15-35	2-9
Lemna spp. (عشب البط)	1.3	6-26	25	4-15
Salvinia spp.	2.4-3.2	9-45	-	1.8-9
نباتات مغمورة				
Typha (cattail)	4.3-22.5	8-61	5-24	0.5-4
Juncus (rush)	22	53	15	2
Scripus (bulrush)			8-27	1-3
Phragmites (reed)	6-35	10-60	18-21	2-3
(spikerush) Eleochar	8.8	26	9-18	1-3
Saururus cernuus (hizards tail)	4.5-22.5	-	15-25	1-5

المصدر: Reedy and De Busk (1987)

وقدرة النباتات المائية على امتصاص العناصر الغذائية تتوقف مباشرة على معدل النمو والحصول وتركيز العناصر في الأنسجة أى أن معدل تخزين الملوثات في النباتات المائية تتوقف على معدل النمو والحصول. فعلى سبيل المثال فإن water hyacinth يمكنها النمو لتعطي محصول يصل إلى 30 ton /ha وزن جاف وهذا يؤدي إلى تخزين

حوالي 180kg P/ha, 900 kg N/ha وغيوب بحيرات النباتات توجز فيما يلي:

١. كثرة توالد الذباب والبعوض فيها وهذا يمكن التغلب عليه بتربية بعض أنواع الأسماك التي تتغذى على يرقات الذباب والبعوض في البحيرة مثل *Gambusia* و *Peocelia*.
٢. القضاء على البكتريا والكائنات الحية الأخرى الممرضة يكون ضعيفا نتيجة لحجب ضوء الشمس عن البحيرة بواسطة النباتات وأيضا لقلة الأكسجين الذائب. وتتميز النباتات المائية الطافية بسهولة حصادها واستخدامها في تغذية الحيوانات أو استخدامها كسماد أخضر في الزراعة أو عملها سماد صناعي منها أو تحويلها إلى بيوغاز تحت ظروف لاهوائية وبالتالي استخدام المخلفات الناتجة منها كسماد ومحسنات تربه.

٢- نظام النباتات المغمورة Emergent Macrophyte Treatment

في السنوات الحديثة تم استخدام بعض الأراضي الغدقة wetlands لمعالجة مياه الصرف الصحي الخام أو المعالجة جزئيا باستخدام النباتات المغمورة وتعتمد هذه المعالجة على ما يلي:

١. قدرة ريزومات هذه النباتات على النمو رأسيا وأفقيا في التربة وبالتالي تعمل على تحسين التوصيل الهيدروليكي فيها وتزيد المسامية.
٢. يمكن إزالة BOD والنيتروجين بواسطة النشاط البكتيري فتتم المعالجة الهوائية في منطقة الجذور بينما المعالجة اللاهوائية فتتم في التربة المحيطة بالجذور.
٣. يمر الأكسجين من الجو إلى منطقة الجذور عن طريق الأوراق والسيقان الخاصة بالنباتات (reeds) خلال الريزومات ويخرج الأكسجين من خلال الجذور.
٤. المواد الصلبة المعلقة في مياه الصرف تتجمع في الطبقة السطحية المكونة من سيقان أوراق النبات الميتة وتكون معرضة للهواء.

٥. العناصر الغذائية الصغرى والعناصر الثقيلة يتم إزالتها عن طريق الامتصاص بواسطة النباتات.

ويستوقف معدل نمو النبات وقدرته الامتصاصية على إزالة الملوثات على تركيز الملوثات في الماء وكثافة النباتات والمناخ ويوضح الجدول رقم (5-9) معدل النمو لبعض النباتات المستخدمة في هذا النظام ومحتواها من العناصر الغذائية ولقد وجد أن أقصى تجمع للعناصر الغذائية بواسطة هذه النباتات تتراوح بين 1560-200 kg N/ha، 375-40 kg P/ha. كما أن حوالي 50% من العناصر تم تخزينها في أجزاء النباتات الموجودة تحت التربة. ويجدر بنا الإشارة هنا إلى صعوبة حصاد هذا الجزء الموجود تحت سطح التربة لضمان إزالة هذه الملوثات ومع ذلك فإن هذه النباتات لها المقدرة على تخزين العناصر في أنسجتها على المدى الطويل وذلك بالمقارنة بالنباتات المائية الطافية وبالتالي فإن الحصاد الدورى للجزء الموجود تحت سطح التربة لا يكون ضروريا وإنما يمكن حصاد الجزء الموجود فوق سطح التربة مرة واحدة سنويا.

٣- تقنية الغشاء المغذى Nutrient Film Technique

تقنية الغشاء المغذى هي عبارة عن تحويل لنظام نمو النبات في المحاليل المغذية حيث تنمو النباتات مباشرة على سطح غير منفذ يتم إعدادة بغشاء مستمر من مياه الصرف الصحي شكل رقم (5-14). في هذا النظام يؤدي نمو النبات إلى امتصاص العناصر ويقوم المجموع الخضري بحجب الضوء عن السطح فيمنع نمو الطحالب كما يتم إزالة الماء عن طريق النتج ويعمل المجموع الجذرى والمواد المتجمعة حوله كمرشح حيوى ولقد أقرح Jewell et al., (1983) ميكانيكية عمل هذه التقنية كما يلي:

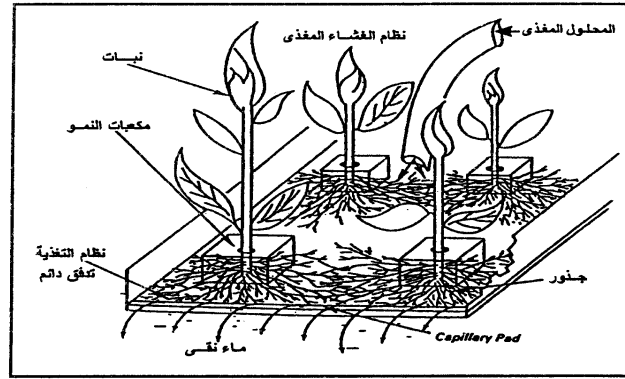
١. المعالجة الأولية بواسطة النباتات ذات المجموع الجذرى الكبير والقادرة على النمو في ظروف تلوث كبيرة.

٢. تجمع كبير للحمأة ووجود ظروف لا هوائية وترسيب للعناصر الصغرى تعتبر من أهم سمات هذه الميكانيكية وبالتالي فإن جزء كبير من BOD مياه الصرف والمواد

الصلبة المعلقة يتم إزالتها.

٣. استخلاص العناصر الغذائية وتحولها نتيجة للنمو الغزير لهذه النباتات.

ولقد أوضح (Jewell 1983) في دراسة استغرقت ثلاثة سنوات أن تقنيات الغشاء المغذى أدت إلى نتيجة أفضل من المعالجة الثانوية عندما كان معدل إضافة مياه الصرف 10cm/d وهذا المعدل يعادل معالجة مياه الصرف الناتجة من 10.000 نسمة على مساحة ٢ هكتار والنبات المستخدم هو reed canary grass ومع ذلك فإن النباتات الممكن استخدامها في هذه التقنية تشمل Cattails, Bulrush, Strawflowers, Japanese millet roses, Napier grass, Wheat, Marigolds.



شكل 5 - 14. تقنية الغشاء المغذي

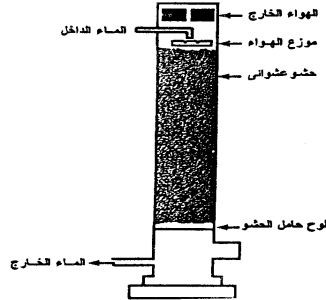
طرق المعالجة المتقدمة (Advanced (Tertiary) Treatments

تستخدم طرق المعالجة المتقدمة عند الرغبة في إزالة بعض الملوثات التي لم تتمكن من إزالتها بالمعالجة الثانوية. ولذلك يصبح من الضروري استخدام طرق معالجة متقدمة للتخلص من النيتروجين والفوسفور وبعض المعلقات الصلبة والمواد العضوية والعناصر الثقيلة. وتشمل عمليات المعالجة المتقدمة ما يلي:

- أ- الاستخلاص الهوائي
- ب- الادمصاص بالكربون
- ج- الأكسدة الكيميائية
- د- التناضح العكسي
- هـ- التحليل الكهربائي

أ- الإستخلاص الهوائي Air stripping

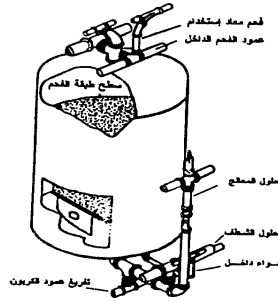
وهذه الطريقة هي إحدى الطرق الشائعة لمعالجة المياه الجوفية الملوثة بمركبات متطايرة مثل المذيبات. وفي هذه الطريقة تستخدم أبراج محشوة بمواد خاصة وأشكال من البلاستيك ويتم دفع تيار معاكس من الهواء خلال المادة الحاشية من أسفل العمود أما تيار الماء الملوث فيتم دفعه من أعلى فتعمل مادة الحشو (ذات مساحة سطح كبيرة) على تحول المركبات المتطايرة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وتخرج مع الهواء من أعلى العمود أما الماء فيخرج من أسفل العمود بعد أن يتم معالجته شكل (5-15).



شكل 5-15. شكل عمود الاستخلاص الهوائي

ب- الادمصاص بالكربون Carbon adsorption

وفي هذه الطريقة يتم استخدام الكربون النشط الذي له قدرة كبيرة على إزالة وادمصاص المركبات العضوية السامة من المخلفات السائلة وتتم هذه العملية باستخدام جهاز التلامس Contractor وهو عبارة عن عمود خارجي به الواح من planum يوجد فيها حبيبات الكربون النشط ويتم تغذية العمود بالماء الملوث من أعلى بينما يخرج الماء المعالج من أسفل والعمود عادة ما يجهز بنظام لغسيل الكربون بعد الاستخدام لتنشيطه أو لإضافة كربون جديد ويتأثر ادمصاص الملوثات على سطح الكربون النشط بالعديد من العوامل فنجد على سبيل المثال أن المواد قليلة الذوبان تدمص بدرجة أكبر من المواد عالية الذوبان كما أن الجزيئات الكبيرة تدمص بدرجة أكبر من الجزيئات الصغيرة كما أن المركبات ضعيفة التأين تدمص بدرجة أعلى أما المركبات العضوية غير المشبعة فتدمص بدرجة أكبر من المركبات العضوية المشبعة ويوضح شكل رقم (5 - 16) رسم توضيحي لوجود المعالجة بالادمصاص.



شكل 5-16. رسم توضيحي لوحدة المعالجة بالادمصاص

ج- الأكسدة الكيميائية Chemical oxidation

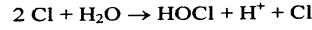
وتهدف هذه العملية إلى أكسدة المواد السامة باستخدام مواد مؤكسدة وتحولها إلى مركبات أقل سمية وتتم عملية الأكسدة في أحواض ويتم تغذية الماء الملوث من أحد جانبي الحوض ويخرج الماء المعالج من الجانب الآخر أما المادة المؤكسدة فيتم إضافتها بعد دخول الماء مباشرة إلى الحوض وتخلط مع الماء بواسطة خلاطات ميكانيكية ويجب أن تتم عملية الخلط بكفاءة تامة وسرعة كبيرة ومن المواد المؤكسدة التي تستخدم في هذه العملية:

(i) الأوزون

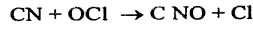
ويستخدم منذ زمن طويل كمادة مطهره وهو مادة مؤكسدة قوية يتم إنتاجها من الأكسجين الجوي باستخدام الطاقة الكهربائية فينشطر جزئ الأكسجين إلى ذرتين نشطتين ($O^{\cdot}$) وتتفاعل ذرة الأكسجين النشط مع جزئ الأكسجين لتكوين الأوزون (O_3). وفي هذه العملية يتم إضافة الأوزون على هيئة غاز إلى المياه الملوثة حيث يتفاعل الأوزون مع المركبات العضوية السامة وتحولها إلى مركبات غير سامه فعلى سبيل المثال يتفاعل الأوزون مع الفينول مكونا حمض الأكساليك كما يتم أكسدة الكحولات بواسطة الأوزون لتكوين أحماض أمينية.

(ii) الكلور

وهو غاز كثيف يستخدم في تطهير الماء لقتل الجراثيم وعند خلط غاز الكلور مع الماء ينتج حمض الهيبوكلورويس Hypochlorous acid.

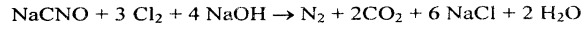
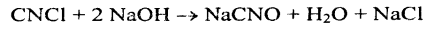


ويستخدم الكلور في تدمير ذرة السيتايد حيث يتحول تحت الظروف القاعدية إلى مواد غير سامة.



وفي الوسط القلوي يتحول كلوريد السيانوجين إلى سيانيدصوديوم ثم إلى غاز

النيتروجين وثاني أكسيد الكربون.



د- التناضح العكسي Reverse osmosis

يعتبر الأسموزية العكسية هي المعالجة المفضلة للماء الخام الذي يحتوي على أملاح ذائبة كلية أكثر من 700 ppm مثل مياه البحر وأيضاً قد تكون مفيدة عندما يكون تلوث المياه بالمواد العضوية. كبيراً وتحتوي المياه على كميات قليلة من الأملاح الكلية الذائبة. وتستخدم الأسموزية العكسية في الأغراض الصيدلانية عند إنتاج مياه الحقن وعموماً يكون الناتج محتوي على حوالي 5-10% من الأملاح الكلية الذائبة الابتدائية ويتم إزالة الملوثات العضوية تماماً.

والفكرة الأساسية للأسموزية العكسية تكون كالتالي:

عند وضع غشاء شبه منفذ بين ماء بحر وآخر عذب تحت نفس الضغط فإن الماء العذب ينتقل إلى ماء البحر عبر الغشاء شبه المنفذ وهو عكس الأسموزية حيث يتم فيها انتقال الماء المالح إلى العذب عبر الأغشية شبه المنفذة أي من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ولذلك فقدت التنا العكسي يلزمه ضغط على الماء المالح ويتوقف الضغط اللازم للتشغيل على نوع الغشاء المستعمل وعلى درجة تركيز الأملاح في الماء.

هـ- التحلل الكهربائي Electrodialysis

يتم استخدام التحلل الكهربائي لتحلية المياه التي تحتوي على أملاح كلية ذائبة حوالي 2000 ppm بحيث يصل تركيز الأملاح الكلية في هذه المياه إلى حوالي 500 ppm.

وفي هذه الطريقة تتعرض المياه لمجال كهربائي وذلك بوضع قطبين كهربائيين

١٤١ معالجة مياه الصرف الصحي

أحدهما موجب والأخر سالب في الأحواض التي تمر بها المياه فتتحلل الأملاح الموجودة في المياه إلى أيونات موجبة تتحرك ناحية القطب السالب وأيونات سالبة تتحرك ناحية القطب الموجب ويوضع في مسار الأيونات المتحركة عدد من الأغشية التي تحمل شحنات كيميائية بعضها موجب والأخرى سالبة (بحيث لا يتجاوز غشائين بنفس الشحنة). عند مرور المياه في الغرف المتكونة من هذه الأغشية تتنافر الأيونات الموجبة مع الغشاء ذو الشحنة الموجبة بينما تنجذب إليه الأيونات السالبة وتمر خلاله وكذلك يتنافر الغشاء ذو الشحنة السالبة مع الأيونات السالبة وتمر خلاله الأيونات الموجبة وبذلك يقل تركيز الأملاح في غرفة بين غشائين متجاورين ويزيد في غرفة أخرى وتخرج المياه التي قل فيها التركيز للإستعمال. وفي كثير من الأحوال عندما يكون احتمال تعرض العامة للماء المعالج كثيراً فإن الهدف من المعالجة هو خفض تعرض العامة للفيروسات والبكتيريا الممرضة الأخرى.

ويعتقد أن تطهير المياه من الفيروسات يتأثر سلباً بوجود الغرويات المعلقة والصلبة في الماء لذلك فهذه المواد الصلبة يجب إزالتها بواسطة المعالجة المتقدمة قبل تطهير المياه وترتيب المعالجات كما هو متبع في الولايات المتحدة الأمريكية يكون كالتالي: المعالجة الثانوية يتبعها تجمع كيماوى ثم ترسيب و ترشيح وبعد ذلك التطهير.

ويفترض أن عملية التطهير ضرورية لإنتاج مياه خالية من الفيروسات ويوضح الجدول رقم (5-10) نوعية الماء الناتجة من بعض المعالجات المتقدمة.

جدول 5-10. نوعية المياه الناتجة من المعالجة المتقدمة في بعض بلدان ولاية كاليفورنيا

المقاييس mg/l	Long Beach	Los Coyotes	Romona
BOD ₅	5	9	4
المواد العالقة	-	5	-
النيتروجين الكلى	-	-	-
NH ₃ -N	3.3	13.6	4.4
NO ₃ -N	15.4	1.1	3

تابع جدول 10-5.

1.3	2.5	2.2	Org-N
21.7	33.9	30.8	Ortho P
2	-	-	بكتريا القولون (MPN/100 ml)
58	65	54	Ca+
14	18	17	Mg
109	177	186	Na
12	18	16	K
123	181	212	SO ₄
104	184	155	Cl
1.02	1.44	1.35	EC, ds/m
570	827	867	المواد الذائبة الكلية
51.7	59.2	63.2	الصدوديوم الذائب (%)
3.37	4.94	5.53	نسبة الصدوديوم المتبادل
0.66	0.95	0.95	البورون
197	526	-	القلوية CaCO ₃
206	242	212	العسر الكلي CaCO ₃

المصدر: Asano and Tchobanoglous (1987).

المعالجة المتقدمة في مشاريع الصرف الصحي في هذه المدن تتبع المعالجة الثانوية وتشمل إضافة مواد كيميائية مجمعه (بوليمر + Alum) وتتبع ذلك الترشيح خلال الرمل أو استخدام مرشحات الكربون النشط.

التطهير Disinfection

تطهير المياه هو إبادة البكتريا المسببة للأمراض وكذلك بكتريا القولون coliform وعملية التطهير لا تغني عما يسبقها من عمليات الترسيب والترشيح ولكنها مكمله لما يسبقها من عمليات وتتم عملية التطهير بإحدى الطرق الآتية:

١. التطهير بالكلوره Chlorination

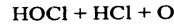
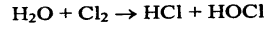
وتتم عن طريق إضافة الكلوره إلى الماء بإحدى الطرق الآتية:

أ- المسحوق الأبيض

وهو عبارة عن كلوريد جيد وهو مسحوق أبيض مائل للاصفرار له رائحة قوية نفّاذة يحتوى على 32% من وزنه كلور فعال وترتيبه الكيميائي Ca(OH)_2 -OCI

ب- هيدكلوريد الكالسيوم

وترتيبه الكيميائي $\text{Ca (OCI)}_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$ وتتراوح كمية الكلور الفعال فيه من 60-70% من وزنه ولا تتأثر بالتخزين وجرعة الكلور التي يتم إضافتها إلى مياه الصرف الصحي تتوقف على مدى تلوث هذه المياه وعموما فهي تتراوح بين 5-15 mg/l وغالبا ما تتطلب المعالجة المتقدمة خيرة إضافية 120 دقيقة ويقضى الكلور على البكتريا عن طريق انتاج أكسجين أحادة الذرة قادر على القضاء على البكتريا.



وهناك بعض النظريات تقول أن الكلور يعمل على حرق خلايا البكتريا وخاصة وقد يحولها إلى مواد قابلة للذوبان وبالتالي يقضى عليها.

٢- التطهير بالأوزون Ozone

وهو مؤكسد قوى وفعال في عملية التطهير واستخدامه غير مصحوب بطعم أو رائحة ويختفى بعد فترة قصيرة من استخدامه بعكس الكلور.

٣- استخدام الأشعة فوق البنفسجية Ultra-violet Rays

وهذه ذات تأثير فعال في عملية التطهير ولكنها مكلفة ولا تسبب أى طعم أو رائحة للماء.

الفصل السادس

إستخدام مياه الصرف الصحي في الري

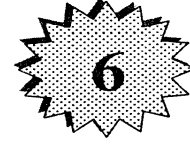
❖ شروط إستخدام مياه الصرف الصحي في الري

- كمية المياه الواجب إستخدامها
- توقيت الري
- طرق الري
- الغسيل
- الصرف

❖ استراتيجية إدارة مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة

- اختيار محصول (مشكلات الملوحة والسمية - مشكلات صحية)
- اختيار طريقة الري

❖ الإدارة الحقلية عند إستخدام مياه الصرف الصحي في الري



إدارة استخدام مياه الصرف الصحي في الري

الشروط الواجب توافرها لاستخدام مياه الصرف الصحي في الري:

يعرف الري بأنه إضافة المياه إلى التربة بغرض إمداد النبات بالماء اللازم لنموه. ويعتبر الري ضرورة حتمية في المناطق الجافة وشبه الجافة للحصول على محصول إقتصادي. والشروط الواجب توافرها لنجاح عملية الري بوجه عام تتلخص فيما يلي:

١. إضافة كمية المياه اللازمة لنمو النبات.
٢. يجب أن تكون نوعية المياه مقبولة.
٣. إضافة المياه في مواعيد مناسبة.
٤. استخدام طريقة الري المناسبة.
٥. منع تركم الأملاح في منطقة الجذور وذلك عن طريق الغسيل.
٦. التحكم في ارتفاع مستوى الماء الأرضي عن طريق الصرف.
٧. إمداد النبات باحتياجاته المثلّي من العناصر الغذائية.

وعند استخدام مياه الصرف الصحي في الري يجب تطبيق الشروط السابق ذكرها. ويعتبر احتواء مياه الصرف الصحي على العناصر الغذائية ميزه يجب

استخدامها وهذه الميزة لا تتوفر في مياه الري التقليدية ويمكن في هذه الحالة عدم استخدام الأسمدة.

ومع ذلك فيجب الأخذ في الاعتبار المتطلبات الصحية والبيئية عند استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري.

١. كمية المياه الواجب استخدامها

من المعروف أن النبات يفقد أكثر من 99% من الماء الممتص عن طريق البخر-النتح. ولذلك فإنه عمليا يكون احتياجات المحصول المائية مساوية احتياجات البخر-النتح. ويوجد الآن برنامج كمبيوتر يدعى CROPWAT متاح في منظمة الأغذية والزراعة يمكن بواسطته حساب الاحتياجات المائية للمحاصيل عن طريق البيانات المناخية. ويوضح الجدول رقم (6-1) الاحتياجات المائية لبعض المحاصيل مع الأخذ في الاعتبار أن الكمية الفعلية لمياه الري يجب تعديلها تبعا للاحتياجات الغسيلية وكفاءة طريقة الري وغيرها.

٢. توقيت الري Scheduling of irrigation

للحصول على المحصول الأعظم يجب إضافة الماء إلى المحاصيل قبل أن يصل الجهد الرطوبي في التربة إلى مستوى يصبح فيه معدل البخر-نتح أقل من الجهد الرطوبي. والعلاقة بين المحصول الأعظم والحقيقي وبين البخر-نتح يمكن توضيحه في العلاقة التالية:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

١٤٩ إدارة استخدام مياه الصرف الصحي في الري

جدول 1-6. الاحتياجات المائية والحساسية للإمداد المائي وكفاءة استخدام المياه.

الحصول	الاحتياجات المائية مم (موسم النمو)	الحساسية للإمداد المائي (ky)	كفاءة استخدام المياه بالنسبة للمحصول (% kg/m ³ moisture)
البرسيم الحجازي	800-1600	منخفض إلى متوسط (0.7-1.1)	1.5-2.0 hay (10-15%)
الموز	1200-2200	عالي (1.2-1.35)	المحصول : 2.4-4 النمار (70%)
الفول	300-500	متوسط — عالي (1-15)	Lush 1.5-2.0 حاف 0.3-0.6
الكرب	380-500	منخفض — متوسط (0.95)	12-20 رؤوس (90-95%)
مواخ	900-1200	منخفض — متوسط (0.8-1.1)	2-5 نمار 85% ليمون 70%
القطن	700-1300	متوسط — منخفض (0.85)	0.4-0.6 بنور (10%)
الفول السوداني	500-700	منخفض 0.85	0.6-0.8
الذرة	500-800	عالي 1.25	0.8-1.6 حبوب (10-13%)
البطاطس	500-700	متوسط — عالي 1.1	4-7 70-75%
الأرز	350-700	عالي	0.7-1.1
الذرة الرفيعة	450-650	متوسط — منخفض 0.9	0.6-1.0 حبوب (12-15%)
القمح	450-650	متوسط — عالي الربيع 1-15 الشتاء 1-0	0.8-1.0 حبوب (12-15%)

المصدر: FAO (1979)

حيث:

$$\begin{aligned}
 Y_a &= \text{المحصول الفعلي} \\
 Y_m &= \text{المحصول الأعظم} \\
 K_y &= \text{معامل استجابة المحصول}
 \end{aligned}$$

$$ET_a = \text{البخر نتح الفعلى}$$

$$ET_m = \text{اقصى بخر نتح}$$

ويوجد العديد من الطرق لتقدير أوقات الري المثلى. والعوامل التي تحدد أوقات الري هى: سعة مسك الماء المتاح فى التربة وعمق منطقة الجذور وطريقة الري وظروف الصرف.

٣- طرق الري

يوجد العديد من طرق الري وهى:

١. الري بالغمر: وهو إضافة الماء إلى الحقل ليغمره بأكمله.
٢. الري بالخطوط: وهو إضافة الماء بين الخطوط فيصل الماء إلى الخطوط حيث تتركز جذور النباتات بواسطة الفعل الشعري.
٣. الري بالرش: وهو إضافة الماء رشا ويصل إلى التربة بشكل يشبه المطر ومعدل إضافة الماء يتم التحكم فيه بحيث لا يتجمع فوق سطح التربة.
٤. الري تحت السطحي: وهو إضافة الماء أسفل منطقة الجذور بحيث يعمل على تشبع منطقة الجذور بواسطة الخاصية الشعرية ويتم ذلك باستخدام أنابيب تحت سطح التربة.
٥. الري الموضعي: وفيه يضاف الماء حول كل نبات أو مجموعة من النباتات وبالتالي تنشبع منطقة الجذور فقط بالماء (الري بالتنقيط) ويتم التحكم في معدل الإضافة لتتفى احتياجات النبات من البخر-نتح وبالتالي يكون الفاقد من الماء قليل. يوضح الجدول رقم (2-6) بعض الخصائص الأساسية لنظم الري.

٤. الغسيل Leaching

تحت ظروف الري يجب إضافة زيادة من مياه الري لكي تتحلل منطقة الجذور

١٥١ إدارة استخدام مياه الصرف الصحي في الري

وذلك لإزالة الأملاح المتجمعة نتيجة البخر الناجم من مياه الري. وعملية إزاحة الأملاح من منطقة الجذور يطلق عليها عملية الغسيل ويطلق على جزء مياه الري الذي يحرك الأملاح الزائدة بالاحتياجات الغسيلية Leaching fraction.

عمق الماء المغسول أسفل منطقة الجذور
Leaching fraction (Lf) : عمق الماء المضاف إلى السطح

والتحكم في ملوحة التربة عن طريق غسيل منطقة الجذور يصبح هاما جداً كلما زادت ملوحة مياه الري.

٥. الصرف

يعرف الصرف بأنه التخلص من الماء الزائد عن حاجة التربة الزراعية من على سطح التربة أو أسفلها للسماح بنمو مثالي للنبات. ويطلق على هذه العملية الصرف السطحي بينما يطلق على إزالة الماء الزائد تحت سطح التربة بالصرف تحت السطحي. ويعتبر الصرف غاية في الأهمية لكي ينمو المحصول بصورة مثالية وتزداد هذه الأهمية على درجة الخصوص في المناطق الجافة وشبه الجافة لمنع التملح الثانوي للتربة.

جدول 2-6 الخصائص الأساسية لبعض طرق الري

طريقة الري	الطوبوغرافيا	الخصائص	ملاحظات
Spaced borders	الانحدار متدرج ويكون أقل من 1% ويفضل 0.2%	الترسيم الحجازي والمحاصيل الكثيفة ذات الجذور العميقة	- أفضل طرق الري السطحي بالنسبة للمحاصيل الكثيفة والمتجاورة
			- يشترط وجود انحدار وقل بسيط في طوبوغرافيا المنطقة
			- كفاءة الري 45-60%
الري بالخطوط	ميل يتراوح بين 2-25% ويفضل أقل من ذلك	السق تزرع على خطوط مثل البطاطس ومحاصيل الخضار وأشجار الفاكهة	- تستخدم في ري المحاصيل الأراضي المنحدرة وذلك لتقليل التعرية عند سقوط الأمطار الغزيرة
			- كفاءة الري 50-65%

تابع جدول 2-6.

الري بالرش	الميل 1-35%	جميع المحاصيل	- ارتفاع تكلفة التشغيل والصيانة
			- طريقة جيدة في الأراضي الرملية عالية الإنتاج
			- تعتمد الطريقة الوحيدة العملية في الأراضي ذات الانحدار الكبير
			- كفاءة الري 60-70%
الري تحت السطحي	مستوية	محاصيل غير عميقة الجذور	- تتطلب تسوية
		مثل البطاطس	- أراضي ذات نفاذية جيدة
			- كفاءة الري 50-70%
الري بالتنقيط	جميع الظروف المناسبة	المحاصيل المزروعة على حطوط وأشجار الفاكهة	- طريقة ناجحة في الري بماء ملحي
		حطوط	- كفاءة الري 75-85%

المصدر: (FAO 1988).

نتيجة ارتفاع مستوى الماء الأرضي مع الري في حالة عدم وجود الصرف فإن الخاصية الشعرية سوف تنقل الأملاح إلى سطح التربة فإذا لم تتحكم في هذه العملية فإن تجمع الأملاح سوف يستمر وينتهي إلى تملح التربة. وفي مثل هذه الحالات فإن الصرف تحت السطحي يمكنه التحكم في ارتفاع مستوى الماء الأرضي ومنع تملح التربة.

استراتيجية إدارة مياه الصرف الصحي المعالجة في المزرعة

إن نجاح استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في إنتاج المحاصيل سوف تعتمد بدرجة كبيرة على اتباع استراتيجية تهدف إلى تعظيم المحصول ونوعيته والحفاظ على إنتاجية التربة وحماية البيئة. ويوجد العديد من الاختيارات المتاحة واستخدام ومزج هذه الاختيارات سوف يقدم بالضرورة حلول مثالية للظروف التي تتعامل معها. فالمستخدم لمياه الصرف المعالجة يجب أن تتوفر لديه المعلومات عن كمية المياه المتاحة

ونوعيتها وذلك من أجل وضع خطة مناسبة لإتباعها في المزرعة (جدول رقم 6-3).

وبصفة أساسية فإن استراتيجية استخدام مياه الصرف المعالجة في الزراعة تشمل:

- اختيار المحصول
- اختيار طريقة الري
- اختيار طرق الممارسة الزراعية

وعندما تتوفر للمزارع مصدر مائي إضافي من مياه الري العادية تصبح عنده الحرية في استخدام كل المصدرين بطريقتين:

١. خلط مياه الري العادية مع مياه الصرف المعالجة.
٢. استخدام كلا المصدرين بالتناوب.

وسوف تتم مناقشة هذه النقاط على حده.

١. اختيار المحصول Crop selection

أ. التغلب على مشاكل الملوحة

تختلف النباتات في مدى قدرتها على تحمل الملوحة فبعض النباتات تستطيع التأقلم اسموزيا واستخلاص المياه من الأتربة الملحية والبعض الآخر لا يستطيع. ففي المناطق التي يتعذر السيطرة فيها على تجمع الأملاح عند مستوى مقبول فيمكن اختيار المحصول الذي يمكنه تحمل درجة الملوحة الموجودة في أتربة هذه المناطق وفي نفس الوقت يعطي محصول اقتصادي.

جدول 6-3. المعلومات المطلوبة عن الإحتياجات من مياه الصرف الصحي المعالجة ونوعيتها

المعلومات	إتخاذ القرار
١. إمداد المياه	
أ - الكمية الكلية للمياه ومدى توفرها خلال	- المساحة الكلية التي يتم ربيها
موسم النمو	
ب - توفر الماء خلال العام	- أماكن تخزين للمياه إما بالمزرعة أو بالقرب من مكان معالجة المياه واحتمال استخدام المزارع المائية

تابع جدول 3-6.

ج - معدل تدفق المياه m^3/day	- المساحة الممكن زراعتها وأوقات الري وعمل تصميم لنظام الري
د - طريقة توصيل المياه هل مستمرة أم متقطعة -	تصميم نظام الري - وأوقات الري
هـ - طريقة الإمداد إلى المرعة - أحواض تخزين - إنشاء مضخة وأنابيب لنقل المياه إلى نظام الري لضخها بواسطة المزارع	
٢. نوعية المياه	
- التوصيل الكهربائي أو الأملاح الكلية الذائبة	- اختيار المحصول - طريقة الري والغسيل الممارسات الزراعية
- تركيز الكاتيونات مثل Na, Mg, Ca^+	- معرفة خطورة الصوديوم واتخاذ خطوات لتلافيه
- تركيز العناصر السامة مثل العناصر الثقيلة واليورون والكلور	- تقسيم السمية المحتملة واتخاذ خطوات لتلافيها
- تركيز العناصر الصغرى	- لمعرفة السمية المحتملة للمحصول وتلافيها
- تركيز العناصر الغذائية الكبرى وخاصة النيتروجين	- تحديد كمية الأسمدة لتفادي التسميد الزائد واختيار المحصول
- مستوى المواد المعلقة	- اختيار نظام الري المناسب لتفادي مشاكل انسداد المواسير
- مستوى النيماتودا وبكتريا القولون	- اختيار المحصول المناسب وطريقة الري

ويوضح الجدول رقم (4-6) قائمة بالمحاصيل مقسمة تبعاً لدرجة تحملها أو حساسيتها للملوحة.

جدول 6-4. درجات تحمل المحاصيل المختلفة للملوحة

نوع المحصول	متحملة	متوسط التحمل	متوسط الحساسية	حساسية
محاصيل الألياف والحبوب والسكر	الشعير القطن بنجر السكر	لوبيا العلف الشوفان الراي الذرة الرفيعة فول الصويا القمح	الفول الذرة الفول السوداني الأرز قصب السكر عباد الشمس	الفاصوليا السمسم
محاصيل العلف والخشائش	- حشيشة برمودا - حشيشة الملح - الصجراوية - حشيشة القمح - الراي البري - الراي الروسي	- حشيشة الراي الإيطالية	البرسيم الحجازي لوبيا العلف ذرة (علف) البرسيم البلدي	
محاصيل الخضار	أسبرجس	خرشوف بنجر أحمر كوسا	بروكلي - خيار كرنب - قرنبيط ذرة سكرية باذنجان خس - فلفل بطاطس - لفت بطاطا - طماطم بطيخ	فول جزر بامية بصل
محاصيل الفاكهة	نخيل الملح	تين زيتون بابايا أناناس	عنب	لوز - تفاح خوخ أتوكادرا توت أسود كرز جريب فروت ليمون - حلو ليمون - مانجو برتقال - كمثرى فراولة - مشمش برقوق

يوضح الشكل (1-6) العلاقة بين المحصول النسبي وملوحة التربة مع اعتبار أن تحمل المحاصيل للأملاح مقسم إلى أربع درجات (متحملة للأملاح-متوسطة التحمل-متوسطة الحساسية-حساسة) ومن الشكل يمكن استنتاج النتائج التالية:

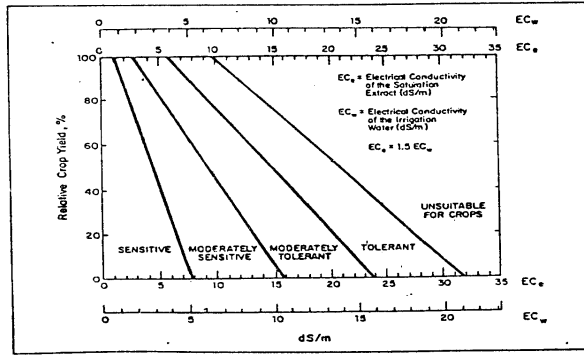
١. يمكن الحصول على المحصول الأعظم لكل المحاصيل عند الري بمياه ذات ملوحة تقل عن 0.7 ds/m .

٢. عند استخدام مياه رى ضعيفة إلى متوسطة الملوحة ($0.7-3.0 \text{ ds/m}$) فإن الحصول على المحصول الأعظم مازال ممكناً ولكن يجب مراعاة استخدام الاحتياجات الغسيلية من أجل الحفاظ على ملوحة التربة في مدى تحمل المحاصيل المزروعة.

٣. عند استخدام مياه ذات ملوحة أعلى ($>3.0 \text{ ds/m}$) لزراعة محاصيل حساسة للملوحة فإن الاحتياجات الغسيلية سوف تكون كبيرة ($2.5-30$) وغير عملية وذلك نتيجة استخدام كميات كبيرة من المياه وفي هذه الحالة يجب عدم زراعة المحاصيل الحساسة واختيار محاصيل أكثر تحملاً للملوحة تحتاج إلى احتياجات غسيلية أقل.

٤. استخدام مياه ذات ملوحة تزيد عن 3 ds/m في الري يكون قاصراً على الأراضي عالية النفاذية مثل الأراضي الرملية وزراعة المحاصيل المحتملة للملوحة.

وبوجه عام فعندما يتعذر التحكم في ملوحة التربة في الحدود المقبولة للمحصول المزرع فيجب استبدال المحصول بأخر أكثر مقاومة للملوحة وهذا سوف يؤدي بالضرورة إلى إمكانية زيادة المساحة المزرعة وبالتالي الإنتاج. وفي جميع الأحوال يجب عمل دراسة استطلاعية للتعرف على إمكانية الري والمحصول المزرع والحدوى الاقتصادية.



شكل رقم 1-6. أقسام تحمل المحاصيل الزراعية للملوحة

ب- التغلب على مشكله السمية

تختلف مشكلة السمية عن مشكلة الملوحة من ناحية انها تحدث في النبات نفسه وليس بسبب نقص المياه. فالسمية تنتج عند امتصاص النبات لأيونات معينة من مياه السربة وتجمع هذه الأيونات في الأوراق خلال عملية التنح لدرجة تؤدي إلى الأضرار بالنبات.

ودرجة الضرر تعتمد على تركيز الأيونات السامة وحساسية المحصول فإذا كان الضرر شديداً فإن ذلك يؤدي إلى خفض المحصول.

والأيونات السامة الشائعة في الماء هي الكلوريد والصوديوم والبورون وهذه الأيونات جميعها توجد في مياه الصرف الصحي المعالج. وبعض المحاصيل تكون

حساسية لهذه الأيونات السامة ويوضح الجدول رقم (6-6 و 6-6 و 5-6) حساسية المحاصيل لأيونات الصوديوم والكلوريد والبيرون وبوجه عام فإن أعراض السمية يمكن أن تظهر على أى محصول اذا كان تركيز الأيونات السامة عالياً.

جدول 5-6. تحمل بعض المحاصيل النسبي للصوديوم المتبادل

محاصيل متحملة	محاصيل متوسطة التحمل	محاصيل حساسة
البرسيم المحاذي	الجزر — البرسيم	أفوكادو — فواكه متساقطة الأوراق
الشعير	الحس — قصب السكر	الفاصوليا — القطن
البنجر	الثوفان — البصل	الذرة — البسلة
بنجر السكر	الفجل — الأرز	حرب فروت — برتقال
حشيشة برمودة	الرأى — حشيشة الرأى	الخوخ — مانجارين (بوسفي)
القطن	الذرة الرفيعة	العدس — الفول السوداني
حشيشة رودس	السيانخ — الطماطم	لوبيا العلف
حشيشة القمح	القمح — الحردل	Mash (<i>Phaseolus mungo</i>)
(<i>Agropyron cristatum</i>)	Clover, Ladino	Mung (<i>Phaseolus aurus</i>)
حشيشة كارنال	(<i>Trifolium repens</i>)	
(<i>Diplachna fusca</i>)	(<i>Festuca arundiancea</i>)	Gram (<i>Cicer arietinum</i>)

المصدر: Abrol (1982)

والقيم بالجدول (6-6) توضح أقصى قيم يمكن للمحصول تحملها بدون نقص في المحصول أو النمو الخضري:

١. الأرقام المعطاه تمثل أقصى تركيز مسموح به في مياه الري وهذه القيم تم استنتاجها من قيم عجيبة التربة المشبعة (ECe) بافتراض أن الاحتياجات الفسيولوجية هي 15-20% وأن $Ecd = 1.5 Ecw$.

٢. أقصى قيم مسموح بها في مياه الري عندما يكون الري سطحيًا وليس رشا على الأوراق لأن الرش قد يسبب احتراق الأوراق عند تركيزات أقل بكثير من القيم المذكورة.

يمكن أيضاً لأيونات الصوديوم والكلوريد أن تمتص مباشرة إلى داخل النبات عندما تتساقط المياه على الأوراق خلال عملية الري بالرش وهو ما يحدث غالباً خلال فترات الحرارة العالية والرطوبة المنخفضة وامتصاص الأيونات عن طريق الأوراق يسرع من معدل تراكم الأيون السام وقد يكون مصدراً أساسياً للسمية.

بالإضافة إلى الأيونات الثلاثة السابقة فيوجد العديد من العناصر الصغرى التي تكون سامة للنبات ولكن لحسن الحظ فإن أغلب المياه وكذلك مياه الري الصرف الصحي المعالجة تحتوى على هذه العناصر بتركيزات منخفضة لا تشكل مصادر للسمية بالنسبة للنبات. وعلى الرغم من ذلك فإن مياه الصرف الصحي الخاصة بالمدن قد تحتوى على عناصر ثقيلة بتركيزات تؤدي إلى رفع تركيز هذه العناصر في التربة وبالتالي تتجمع داخل النبات وتسبب انخفاض المحصول.

جدول رقم 6-6 . تحمل شتلات وأصول بعض محاصيل الفاكهة للكلوريد

المحصول	الأصول أو الشتلات	منطقة الجدور Cle (me/l)	مياه الري Clw (me/l)
الأصول	غرب الهند	7.5	5.0
أفوكادو (Persea americana)	West India		
	جواتيمالا	6.0	4.0
	Guatemalan		
	مكسيك	5.0	3.3
الموالج (Citrus spp.)	Sunki Maxndarins		
	جريب فروت	25.0	16.6
	Cleopatra		
	mandarin		
	ليمون		
	برتقال حادق	15.0	10.0
	اندارين ponkan		
	برتقال سكرى	10.0	6.7
	Savage citrange		

تابع جدول رقم 6-6 .

		Cuban shaddock	
		برتقال Trifoliate	
27.0	40.0	Salt creek	عنب Grape
20.0	30.0	Dog Ridge	(Vitis spp.)
17.0	25.0	Marianna	فواكه ذات نواه
6.7	10.0	Lovell, shalil	حجرية
5.0	7.5	Yunnan	Stone fruits
			(Prunus spp.)
			شتلات
6.7	10.0	Boysenberry	Berries
6.7	10.0	Idian summer	(Rubus spp.)
3.3	5.0	Raspberry	
13.3	20.0	طومسون بدون بذر	عنب
6.7	10.0	كاردينال	(Vitis spp.)
6.7	10.0	الورد الأسود	
5.0	7.5	Lassen	فراولة Strawberry
3.3	5.0	Shasta	(Fragaria spp.)

المصدر: Mass (1984).

جدول 6-7. التحمل النسبي لتركيز البورون في محلول التربة في بعض المحاصيل

محاصيل شديدة الحساسية ($< 0.5 \text{ mg/l}$)	الليمون التوت الأسود
محاصيل حساسة ($0.5-0.75 \text{ mg/l}$)	أفوكادوا — حريب فروت — برتقال — مشمش — خوخ — كراز — تين — برقوق — عنب — لوز — بيكان — لوبيا العلف — بصل
محاصيل حساسة ($0.75-1.0 \text{ mg/l}$)	ثوم — بطاطا — قمح — شعير — عباد الشمس — فول مسمم — ترمس — فراولة — خرشوف — فاصوليا فاصوليا الليما — فول سوداق
محاصيل متوسطة الحساسية ($1.0-2.0 \text{ mg/l}$)	فلفل أحمر — بسلة — جزر — فجل — بطاطس — خيار

تابع جدول رقم 6-7.

محاصيل متوسطة التحمل	حس — كرنب — كرفس — لفت — شوفان — ذرة — دخان —
(2.0–4.0 mg/l)	خردل — برسيم — كوسة — شمام — خرشوف — حشيشة كنتاكي
محاصيل متحملة	ذرة رفيعة — طماطم — برسيم حجازي — بقادونس
(4.0–6.0 mg/l)	Vetch, purple بنجر مائدة — بنجر سكر — القطن — اسبرجس
محاصيل شديدة التحمل	
(6.0–15.0 mg/l)	

ولقد أظهر حصر استخدام مياه الصرف الصحي أن أكثر من 85% من العناصر الثقيلة المضافة عن طريق الري قد تتجمع في الطبقة السطحية من التربة وبالتالي يمكن أن يكون لها تأثير سيئ على النبات والمحصول. ولذلك فعند استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري يجب مراقبة تركيز العناصر الثقيلة في التربة والنبات.

ج- منع المشاكل الصحية

من وجهة نظر الاستهلاك الآدمي للمحاصيل والخطورة الصحية المتوقعة فإن المحاصيل المزروعة يمكن تقسيمها إلى المجموعات التالية:

محاصيل غذائية	+ توكل طازجة
	- توكل مطبوخة
محاصيل علف	- يأكلها الحيوان مباشرة من الحقل
	- يأكلها الحيوان بعد حصادها
نباتات الحدائق	- في مناطق يرتادها العامة
	- مناطق لا يرتادها العامة
غابات وحدائق	- تجارية (فواكه — أخشاب — وقود وفحم
	- حماية البيئة

ومن الناحية الصحية فإن مياه الصرف المعالجة يجب أن تكون ذات نوعية عالية من ناحية انخفاض البكتريا والفيروسات فيها عند استخدامها لري محاصيل معينة خاصة تلك التي توكل طازجة أما المحاصيل التي لا يتعرض لها الإنسان فيمكن زراعتها

مياه ذات نوعية ميكروبيولوجية أقل. ولقد وضعت منظمة الصحة العالمية تقسيما للمحاصيل تبعاً لتعرض الإنسان لها وخطوات حماية الصحة الواجب اتباعها كما يلي:

القسم الأول (A): - الحماية مطلوبة للمستهلك والعمال الزراعيين والعامة.

- وتشمل المحاصيل الطازجة-الفواكه المنتجة تحت نظام الري بالرش وكذلك الحشائش (الملاعب الرياضية-الحدائق العامة).

القسم الثاني (B): - الحماية مطلوبة للعمال الزراعيين فقط وتشمل: محاصيل الحبوب- المحاصيل الصناعية (القطن) المحاصيل التي تغلب-محاصيل الأعلاف والأشجار.

- في بعض الحالات بعض محاصيل الخضار قد تندرج تحت القسم (B) إذا كانت هذه المحاصيل لا تؤكل طازجة مثل البطاطس.

٢. اختيار طريقة الري

ذكرنا سابقاً طرق الري المختلفة وبوجه عام فإنه تحت الظروف العادية فإن طريقة الري المختارة سوف تعتمد على ظروف إمداد المياه والمناخ، التربة والمحصول السامى وتكلفة طريقة الري ومقدرة المزارع لإدارة النظام. أما عند استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمصدر لمياه الري فإن بعض العوامل الأخرى مثل تلوث النبات والمحصول والعمال الزراعيين والبيئة وملوحة التربة وخطر السمية يجب أن تؤخذ في الاعتبار. حيث أن طريقة الري المختارة يتوقف عليها خفض التأثيرات غير المرغوبة لمياه الصرف الصحي. ويتوقف اختيار طريقة الري عند استخدام مياه الصرف الصحي على العوامل التالية:

- المحصول الذي تم اختياره.
- ابتلال المجموع الخضري والثمار بمياه الري.
- توزيع الأملاح والأيونات السامة في التربة.
- سهولة الحفاظ على الجهد الرطوبي للتربة.

ويوضح الجدول رقم (6-8) تحليل هذه العوامل بالنسبة لطرق الري الشائعة فنجد أن:

I. نظام الري السطحي بالغمر يؤدي إلى تغطية كاملة لسطح التربة بمياه الصرف الصحي وعادة ما يكون نظام عدم الكفاءة . هذا النظام يمكن أن يؤدي إلى تلوث محاصيل الخضار النامية قرب الأرض وأيضا المحاصيل الجذرية كما أنه يؤدي إلى تعرض عمال المزرعة لمياه الصرف بدرجة أكبر من طرق الري الأخرى ولذلك فمن وجهة النظر الصحية وأيضا لتوفير المياه فإن طريقة الري بالغمر هي طريقة غير مرغوب استخدامها.

II. طريقة الري بالخطوط لا تؤدي إلى ابتلال سطح التربة بأكمله كما أن هذه الطريقة يمكن أن تخفف تلوث المحصول لأن النباتات تنمو أعلى الخط بعيدا عن مياه الري ولكن الحماية الكاملة للمحصول من التلوث غير مضمونة تماما. أيضا احتمال تعرض العمال الزراعيين للتلوث يتراوح بين عالي إلى متوسط ويتوقف ذلك على ميكنة النظام. فإذا كان انتقال مياه الري يتم خلال أنابيب تصب في الخطوط عن طريق بوابات فإن ذلك يخفف من احتمالات تلوث العمال الزراعيين . وبوجه عام فإن كفاءة طرق الري السطحية سواء بالغمر أو في خطوط لا تتأثر بنوعية المياه ولكن مخاطر التلوث باستخدام هذه الطرق كبيرة.

III. طرق الري بالرش عموما أكثر كفاءة من طرق الري بالسطحي من ناحية استخدام المياه حيث تضمن توزيعا أكثر تجانسا ولكن هذه الطرق يمكن أن تؤدي إلى تلوث المحاصيل الحقلية ومحاصيل الخضار والفاكهة والعمال الزراعيين بالإضافة إلى أن البكتيريا الممرضة التي تحتويها مياه الصرف الصحي قد تنتقل بواسطة الرشاشات إلى المناطق السكنية القريبة وتسبب مشاكل صحية. وبوجه عام فإن النظم الآلية تكون عالية التكاليف الإنشائية بينما تكون تكلفة العمالة قليلة بالمقارنة لنظم الرش التي تحرك بواسطة العمال. وفي نظم الري بالرش فإن

التسوية للتربة ضرورية وذلك لضمان تجانس توزيع المياه على سطح التربة . وتشتأثر نظم الري بالرش بدرجة أكبر من طرق الري بالغمر بنوعية مياه الري المستخدمة حيث أن المياه ذات النوعية الرديئة والملحية يمكن أن تؤدي إلى انسداد الرشاشات و احتراق الأوراق وسمية النباتات وأيضاً ترسب الأملاح في الأنابيب والصمامات ونظام التوزيع. ولذلك وجد أن المياه المعالجة ثانوياً تنتج مياه مناسبة للتوزيع خلال الرشاشات بافتراض أن هذه المياه غير مالحة. بالإضافة إلى أنه يمكن اتخاذ بعض الاحتياطات المناسبة للتغلب على ذلك مثل استخدام مرشحات أو استخدام رشاشات ذات فتحات كبيرة (أكبر من 5mm).

IV. طرق الري الموضعية خاصة عندما تكون سطح التربة مغطى بأغطية بلاستيكية (mulch) تكون أكثر كفاءة ويمكن أن تؤدي إلى إنتاج محصول أعلى كما أنها توفر حماية للعمال الزراعيين من أخطار التلوث المحتملة. فنظم الري بالتنقيط على الرغم من أنها مكلفة فإنها تتطلب مياه ذات نوعية عالية لمنع انسداد المنقطات. ويوضح الجدول رقم (6-9) نوعية مياه الري المطلوبة لمنع انسداد نظم الري الموضعية فالمواد الصلبة والنمو البيولوجي يمكن أن يتسبب في انسداد المنقطات ولكن ترشيح السائل الناتج من المعاملة الثانوية وغسيل الأنابيب تمنعان حدوث هذه المشكلة. نظام الري بالفقاعات المستخدم في الولايات المتحدة لدى الأشجار يجنبنا الحاجة إلى استخدام نقاط ذات فتحات صغيرة ولكن تشغيل هذا النظام يحتاج إلى عناية خاصة لكي يعمل بنجاح.

ويتميز نظام الري بالتنقيط عن أنظمة الري الأخرى بمايلي:

١. زيادة نمو النباتات وارتفاع المحصول نتيجة الإمداد المثالي للماء والمغذيات والهواء في منطقة الجذور.
٢. ارتفاع كفاءة الري فلا تؤثر الرياح أو المجموع الخضري على عملية الري وقلة

المفقود من المياه عن طريق الصرف.

٣. تعرض العمال الزراعيين لمياه الصرف تكون أقل ما يمكن.

٤. إحتياجات طاقة قليلة فالري بالتنقيط يتطلب ضغط ماء يتراوح بين 100-300 k Pa (1-3 bar).

٥. عماله قليلة حيث يمكن تشغيله آليا لإضافة المياه والأسمدة معا أما عيوبه فتتخلص في ارتفاع التكاليف الإنشائية بالإضافة إلى صلاحيته في المحاصيل التي تزرع فقط على خطوط.

جدول رقم 6-8. تقييم طرق الري الشائعة وأفضليتها للاستخدام مع مياه الصرف الصحي المعالجة

مقياس الأفضلية	ري بالخطوط Furrow Irrigation	ري Border Irrigation	ري بالرش Sprinkler Irrigation	ري بالتنقيط Drip Irrigation
١. ابتلال المجموع الخضري وإحتراق الأوراق مما يؤدي إلى انخفاض المحصول	لا يوجد	قد تتأثر بعض الأوراق السفلية ولكنه لا تؤثر على المحصول	إتسلاف كبير للأوراق يؤدي إلى انخفاض كبير للمحصول	لا يوجد
٢. تجمع الأملاح في منطقة الجذور عند تكرار ridge مما يمكن أن يؤثر على المحصول	الأملاح تتجمع في ridge	تتحرك الأملاح إلى أسفل ويستبعد تجمعها في منطقة الجذور	تتحرك الأملاح إلى أسفل ويستبعد تجمعها في منطقة الجذور	حركة الأملاح تكون في اتجاه استخدام
٣. القدرة على الحفاظ على جهد ماء أرضي عالي	قد تتعرض النباتات لفترات جفاف بين الريات	قد تتعرض النباتات لفترات جفاف بين الريات	غير ممكن الحفاظ على جهد ماء أرضي عالي حول موسم النمو	يمكن الحفاظ على جهد ماء أرضي عالي خلال موسم النمو وخفض تأثير الملوحة

تابع جدول رقم 8-6.

الملائمة	متوسط ولكن مع	متوسط وفي وجود	ضعيف-أقل من	ممتاز ويمكن نمو
لاستخدام مياه	الإدارة الجيدة	الري الجيد	المتوسط وأغلب	جميع المحاصيل
صرف ملحية دون	والصرف يمكن	والصرف يمكن	المحاصيل تعان من	دون أن يتأثر
تأثر المحصول بدرجة	الحصول على	الحصول على	تلف الأوراق	المحصول الناتج
كبيرة	محصول جيد	محصول جيد	وبالتالي المحصول	ضعيف

المصدر: (Kandiah 1990).

جدول 9-6. العلاقة بين نوعية المياه وانسداد نظم الري بالتنقيط

المشكلة المحتملة	الوحدة	معايير الاستخدام	لا يوجد	قليلة إلى متوسطة	شديدة
طبيعية					
المواد الصلبة المعلقة	mg/l	< 50	50-100	> 100	
كيميائية					
pH		< 7.0	7.0 - 8.0	> 8.0	
مواد صلبة ذائبة	mg/l	< 500	500-2000	> 2000	
منجنيز	mg/l	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5	
حديد	mg/l	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5	
كبريتيد الهيدروجين	mg/l	< 0.5	0.5-2.0	> 2.0	
جوية					
العد البكتيري	أقصى عدد /مل	< 10.000	10.000- 50000	> 50,000	

المصدر: (Nakayama 1982).

الإدارة الحقلية عند استخدام مياه الصرف الصحي في الري

تلعب إدارة المياه والتربة والمحصول وطرق التشغيل شاملة المخاطر الواجب إنتاجها لحماية العمال الزراعيين صحياً دوراً في الاستخدام الناجح لمياه الصرف الصحي في الري.

إدارة المياه Water Management

تتراوح ملوحة مياه الصرف المعالجة بين 200-500 ($E_{cw} = 0.7$ to 3.0 dS/m)

mg/l ومع ذلك فيوجد بعض الحالات التي تصل فيها الملوحة في مياه الصرف الصحي المعالجة إلى مستوى 2000 mg/l. وفي جميع الأحوال فإن الإدارة الصحيحة للمياه يجب أن تتبع لمنع تملح التربة بغض النظر عن تركيز الأملاح في مياه الصرف الصحي.

حيث من الملاحظ أن استخدام مياه صرف صحي غير ملحية تحتوي على 200-500 mg/l في الري بمعدل 20.000 m³/ha يؤدي إلى إضافة 2.3 من أملاح سنويا إلى التربة ولذلك فعدم استخدام الاحتياجات الغسيلية لمنطقة الجذور لإزالتها مع نظام صرف جيد سوف يؤدي إلى زيادة ملوحة التربة بسرعة ولهذا فإن الاحتياجات الغسيلية والصرف يعتبر أهم عاملين في إدارة المياه لمنع تملح التربة.

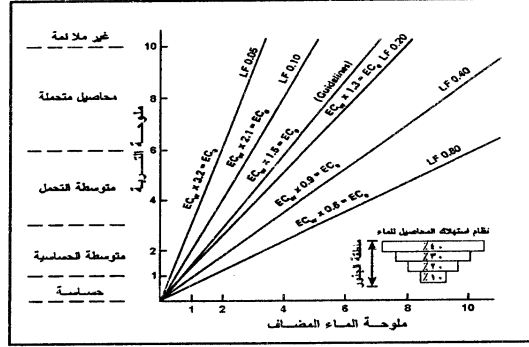
الغسيل

السؤال المطروح الآن هو ماهي الاحتياجات الغسيلية ؟ لتقدير الاحتياجات الغسيلية فإن كلا من ملوحة مياه الري (EC_w) ودرجة تحمل المحصول للملوحة التربة (EC_e) يجب أن تكون معلومتين ويمكن تقدير الاحتياجات الغسيلية الضرورية. كما يمكن تقديرها بدقة لمحصول معين باستخدام المعادلة التالية:

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w}$$

حيث:

LR = الحد الأدنى من الاحتياجات الغسيلية المطلوبة للحد من الأملاح في مدى تحمل المحصول للملوحة وذلك عند استخدام طرق الري السطحية.
 EC_w = ملوحة ماء الري بالـ dS/m
 EC_e = متوسط ملوحة التربة في عجينه التربة المشبعة. وتعتبر قيم EC_e المتوقعة والمستخدمه بالحسابات هي تلك القيم التي تعطى 90% أو أكثر من المحصول الأعظم.



شكل رقم 2-6. العلاقة بين ملوحة ماء الري وملوحة التربة عند احتياجات مائية مختلفة

والشكل رقم (2-6) تم عمله باستخدام قيم EC_e التي تعطي 90% من المحصول. وبالنسبة للمياه في مدى الملوحة المتوسط إلى العالية ($>5\text{dS/m}$) فإن من الأفضل استخدام قيم EC_e التي تعطي المحصول الأعظم (100%) لأن عملية التحكم في الملوحة هي عملية حرجية وضرورية للحصول على محصول عالي.

في الأماكن التي تعاني من ندرة المياه وارتفاع سعرها فإن الاحتياجات الغسيلية يجب أن تستخدم بحيث نحصل على أعلى إنتاجية بالنسبة لوحدة المياه المستخدمة للوفاء بحاجة النبات الاستهلاكية وكذلك الاحتياجات الغسيلية.

وتنفيذ الاحتياجات الغسيلية بوجه عام يتوقف على درجة ملوحة التربة فيمكن تنفيذها عند كل ريه أو كل ريتين أو أقل أو كل موسم حسب الحاجة وذلك للحفاظ على ملوحة التربة أقل من الحد الحرج الذي عنده يتأثر المحصول. ويجب بوجه عام أخذ الأمطار في الاعتبار عند تقدير الاحتياجات الغسيلية.

ويقترح الممارسات التالية لزيادة كفاءة الغسيل وخفض كميات المياه المستخدمة:

١. يفضل إجراء عملية الغسيل في المواسم الباردة بدلا من المواسم الحارة وذلك لأن احتياجات المحصول المائية تكون أقل.
٢. يفضل استخدام المحاصيل المتحملة للأملاح والتي تتطلب أقل قدر من الاحتياجات الغسيلية.
٣. يفضل استخدام الحرث لخفض الجريان السطحي للماء وخفض عدد الشقوق في التربة التي يمر الماء خلالها وتؤدي إلى خفض كفاءة عملية الغسيل.
٤. يفضل عند الري بالرش استخدام معدل أقل من معدل التسرب في التربة لأن هذا يؤدي إلى ظروف تربة غير مشبعة التي تعتبر أكثر كفاءة لعملية الغسيل من الظروف المشبعة.
٥. يفضل استخدام دورات غمر وتخفيف بالتناوب بدلا من استخدام الغمر بصورة مستمرة لأن ذلك يزيد من كفاءة عملية الغسيل ويخفض كميات المياه المستخدمة.
٦. يفضل إجراء عملية الغسيل في الوقت الذي تكون فيه احتياجات المحصول المائية أقل ما يمكن أو تأجيلها إلى ما بعد الحصاد ما أمكن.
٧. تجنب ترك الأتربة بدون زراعة خاصة في المواسم الصيفية الحارة وذلك لتجنب التملح الثانوي للتربة خاصة إذا كان مستوى الماء الأرضي مرتفع.
٨. إضافة ريه واحدة قبل موسم المطر خاصة إذا كانت كمية الأمطار المتوقعة غير كافية للاحتياجات الغسيلية علما بأن الأمطار هي أكثر طرق الغسيل كفاءة وذلك لجودة نوعية مياه الأمطار وسقوطها بمعدلات منخفضة نسبيا.

الصرف Drainage

تصاحب مشاكل الملوحة في المناطق الجافة وشبه الجافة دائما وجود مستوى ماء

أرضى مرتفع ودور الصرف في هذه الحالات هو خفض مستوى الماء الأرضى إلى المستوى المطلوب لمنع انتقال الأملاح إلى سطح التربة عن طريق الخاصية الشعرية والمحافظة على حركة الماء إلى أسفل.

والعامل الآخر الهام في عملية الصرف هي القدرة على نقل كميات المرغوبة من مياه الصرف خارج منطقة الري والتخلص منها بأمان. وعملية التخلص من مياه الصرف تعتبر عملية هامة جداً ويمكن أن تسبب مشكلة كبرى خاصة إذا كان مصدر مياه الري هو ماء صرف صحي معالج.

وقت الري Timing of Irrigation

للفناء بالاحتياجات المائية للمحصول فإن زيادة عدد مرات الري تكون أمراً مرغوباً فيه لأن ذلك يحد من درجة معاناة النبات من الجفاف وعلى الرغم من أن ذلك صحيحاً من وجهة نظر إدارة المياه إلى أن هذا قد يؤدي إلى نتائج غير مرغوب فيها. فمثلاً في طرق الري السطحية مثل الغمر فإن زيادة عدد مرات الري يؤدي إلى زيادة كمية الماء الكلية المستخدمة وبالتالي تقل كفاءة الري وتزيد كمية المياه المفقودة عن طريق الصرف.

إلا أن الأمر يختلف في طرق الري بالرش أو التنقيط حيث أن زيادة عدد مرات الري واستخدام كميات قليلة من المياه في كل مرة يمكن أن يؤدي إلى التغلب على مشكلة الملوحة المصاحبة دائماً لمياه الري الملحية. ويفضل ري التربة قبل الزراعة لسببين:

١. غسيل الأملاح التي تكون قد تجمعت في موسم النمو السابق بالإضافة إلى أن الري يوفر للبذرة مهذا صالحاً للنبات لا يحتوي على أملاح لأن مرحلة الإنبات هي أكثر مراحل نمو النباتات حساسية للأملاح.
٢. توفير الرطوبة الملائمة في التربة والضرورية لإنبات البذور والشتلات. ورية ما

قبل الزراعة هو أمر شائع استخدامه لزراعي الحنّس والطمّاطم ومحاصيل الخضر. وتعتبر مياه الصرف الصحي المعالجة مصدر جيد لريّة ما قبل الزراعة لأنّها عادة تكون غير ملحية كما أنّ الخطورة الصحية تقرّيباً منعدمة.

خلط مياه الصرف الصحي مع مصادر مائية أخرى

يعتبر خلط مياه الصرف الصحي مع مياه الريّ العادية (قنوات-ماء جوفي) أحد الخيارات المطروحة أمام المزارعين إذا ما توفرت هذه المصادر. ومن المحتمل أن يكون لسدى المزارع ماء جوفي مالّح وماء صرف صحيّ معالج ففى هذه الحالة يمكنه مزج مصدرى الماء للحصول على مياه ذات مستوى ملوحة مقبول. بالإضافة إلى أن الخلط يؤدى إلى زيادة نوعية المياه البكتيرية.

استخدام مياه الصرف الصحي بالتناوب مع مصادر مائية أخرى

يمكن أيضاً استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في حالة توافر مصادر أخرى بالتناوب مع مياه ريّ أخرى متوفرة (مياه قناة-ماء جوفي) بدلا من خلط المياه. ومن المعروف من ناحية التحكم في الملوحة فإن تناوب استخدام المياه المالحة مع مياه الصرف الصحي المعالجة يعتبر أفضل من خلط المياه. ومع ذلك فاستخدام التناوب يتطلب نظام ريّ خاص مزدوج قد يكون مكلفا.

إدارة التربة

يمكن استخدام ممارسات إدارة التربة للتغلب على مشاكل الملوحة والصدودية والسمية والأخطار الصحية التي تصاحب استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الريّ.

تطور الأراضي

بعض ممارسات إدارة التربة يمكن التخطيط لاستخدامها وتنفيذها للتغلب على المشاكل المصاحبة لاستخدام مياه الصرف الصحي في الريّ وهذه الممارسات غالبا ما

تجرى مرة واحدة لارتفاع تكلفتها . هذه الممارسات يكون الهدف منها تحسين ظروف التربة لتسهيل استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة. وهذه الممارسات تشمل تسوية التربة إلى المستوى المرغوب فيه وإنشاء شبكة للمزرعة (نظام مفتوح وتحت سطحي)، الحرث العميق والغسيل لخفض ملوحة التربة.

تسوية التربة

وهذه الممارسة غاية في الأهمية لضمان التوزيع المتساوي لمياه الري في الحقل بأكمله وخاصة إذا كانت مياه الصرف المستخدمة ملحية وذلك لمنع تراكم الأملاح في المناطق العالية لعدم حصولها على ماء الري والغسيل وأيضا لمنع تراكم المياه في المناطق المنخفضة.

ويوجد العديد من الطرق لتسوية التربة للميل المطلوب. ويختلف الميل باختلاف نظام الري ومسافة جريان الماء ونوع التربة وشكل الحقل. وحديثا فإن تقنية — تسوية التربة بأشعة Lazer أصبحت متاحة وهي تقنية يمكنها تسوية التربة بالدقة المطلوبة بغرض رفع كفاءة الري ومنع تملح التربة.

الحرث العميق

في بعض المناطق تكون التربة مكونة من طبقات Stratified وهذه التربة يكون من الصعب ريهها لأن طبقات الطين والطبقات غير المنفذة الصلبة في هذه الأراضي تمنع حركة المياه خلال التربة وخلف منطقة الجذور وهذا بالتالي سوف يؤدي إلى تشبع منطقة الجذور وتجمع الأملاح فيها. ولذلك فإن استخدام الحرث العميق (تحت التربة) سوف يؤدي إلى تحسين كفاءة الري وأيضا حركة المياه في التربة. وتأثير عملية الحرث العميق قد يستمر لمدة خمس سنوات. والحرث العميق هو عملية مكلفة وعادة ما تتطلب زراعة محاصيل مستديمة بعد الحرث مباشرة ثم يتم تسويتها بعد ذلك للميل المرغوب فيه.

إدارة المحصول

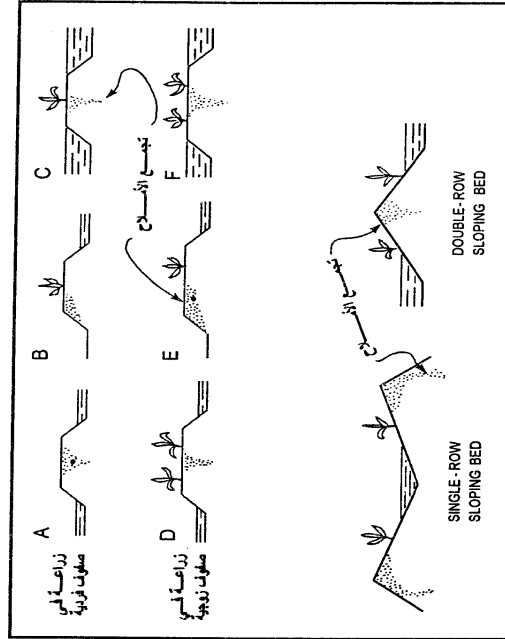
إن الممارسات المستخدمة حالياً لإدارة المحصول تحت الظروف الملحية تعتبر جيدة ويجب استخدامها عند الري بمياه الصرف الصحي. وتهدف هذه الممارسات إلى منع تدهور المحصول نتيجة تجمع الأملاح في منطقة الجذور وأيضاً يجب إضافة الأسمدة والمبيدات الزراعية بطريقة تناسب نوعية مياه الصرف والمحصول.

طريقة وضع البذور Placement of Seed

من المعروف أن مرحلة إنبات البذور هي أكثر مراحل نمو النبات تأثراً بالملوحة ويظهر هذا التأثير بوضوح في المحاصيل المترعة على خطوط والمروية بمياه مالحة.

وذلك لأن حركة الماء تكون لأعلى حاملة الأملاح إلى السطح وترسيها. وغالباً ما يتواجد أكبر تركيز للأملاح في منتصف الخط بينما يكون أقل تركيز للأملاح على جانبي الخط (شكل رقم) لذلك فإن الوسيلة الواجب اتباعها لضمان إنبات البذور هي وضعها في الأماكن الأقل ملوحة. ولذلك فإن طريقة الزراعة وشكل الخط وإدارة الري يمكن أن تؤدي إلى خفض الضرر بالبذور. ولذلك فإنه ينصح باتباع الممارسات التالية:

١. الزراعة على كف الخط في حالة استخدام ريشة واحدة أو على كف الخط في حالة الزراعة على ريشتين.
٢. استخدام الخطوط المائلة مع زراعة البذرة على الجانب المائل (المنحدر) ولكن أعلى من خط جريان الماء.
٣. ري الخطوط بالتناوب حتى تتحرك الأملاح خلف الريشة المترعة به والبذرة وذلك في حالة الزراعة على ريشة واحدة.

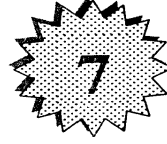


شكل رقم 3-6. رسم تخطيطي يوضح تجمع الأملاح وطرق وضع البذور في الري السطحي (مخطوط)

الفصل السابع

إستخدام الحمأة في الزراعة

- ❖ خواص الحمأة
- ❖ معالجة الحمأة
- ❖ إضافة الحمأة
- ❖ تأثير الحمأة على التربة والمحصول
- ❖ المخاطر الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والرى



استخدام الحمأة في الزراعة

خواص الحمأة

ينتج من معالجة مياه الصرف الصحي كمية كبيرة من الحمأة التي يجب التخلص منها. فالمعالجة الثانوية للحمأة ينتج منها حمأة ابتدائية في مرحلة الترسيب الابتدائي وحمأة ثانوية في مرحلة الترسيب النهائية بعد انتهاء العمليات البيولوجية. وتختلف خواص الحمأة الثانوية باختلاف طريقة المعالجة البيولوجية وغالباً ما يتم خلطها مع الحمأة الابتدائية قبل معالجتها والتخلص منها. ويجدر الذكر أن نصف تكاليف معالجة مياه الصرف الصحي الثانوية تنفق على معالجة الحمأة والتخلص منها. ولذلك فإن استخدام الحمأة الخام أو المعالجة في الزراعة يمكن أن يخفف كثيراً من تكاليف معالجة مياه الصرف الصحي ويمد العديد من المحاصيل بجزء كبير من احتياجاتها من العناصر الغذائية خاصة الفوسفور والنيتروجين.

نظام الصرف الصحي لا يقتصر فقط على مخلفات صرف المنازل وإنما يشمل مياه الصرف الصناعي ومياه الأمطار المتساقطة على الطرق ولذلك فإن الحمأة تحتوى بالإضافة إلى المخلفات العضوية العديد من الملوثات المستخدمة في المجتمع المتحضر والتي قد تكون بعضها ساماً للنبات والحيوان والإنسان ولذلك فإنه من الضروري

التحكم في تركيز هذه المواد في التربة وأيضا في معدل إضافة هذه المواد إلى التربة.

تحتوي الحمأة أيضا على العديد من أنواع البكتيريا الممرضة والفيروسات والبروتوزوا التي تمثل خطراً حقيقياً على صحة الإنسان والحيوان والنبات. تقرير هيئة الصحة العالمية (WHO 1981) عن مخاطر الميكروبات الموجودة في الحمأة المضافة إلى التربة على صحة الإنسان أعطى أهمية كبيرة لخطورة كل من السالمونيلا، *Salmonellae*، والتينيا *Taenia*. ولكن إذا ما تم معالجة الحمأة بالطريقة الصحيحة قبل إضافتها إلى التربة فإن ذلك يمكن أن يخفض أعداد الميكروبات بدرجة كبيرة وبالتالي تخفض من المخاطر الصحية.

تحتوي الحمأة على تركيزات عالية من النيتروجين والفوسفور والمواد العضوية المقيدة علماً بأن حوالي 50% من الفوسفور الموجود في الحمأة يصبح صالحاً في خلال سنة الإضافة أما نسبة النيتروجين فتتوقف على طريقة معالجة الحمأة. أما المادة العضوية فهي تعمل على تحسين خواص التربة من ناحية السعة الامصاصية للماء وبناء التربة.

وبوجه عام فإن الحمأة قبل إضافتها يجب أن تخضع لقيود ورقابة مشددة من ناحية الدولة لمنع استخدام الحمأة في الزراعة إلا بعد استيفاء المواصفات المطلوبة من ناحية:

- % المادة العضوية
- % المادة الجافة
- pH
- % النيتروجين الكلي والأمونيا
- % الفوسفور الكلي
- تركيزات Mo, Cr, Hg, pb, Cd, Zn, Fe, Se, As مادة جافة (mg/kg)

معالجة الحمأة

لإستخدام الحمأة في الزراعة يجب معالجتها بيولوجيا أو كيميائيا أو حراريا

١٧٩ استخدام الحمأة في الزراعة

وذلك لخفض المخاطر الصحية التي قد تنجم عن استخدامها. ويوضح الجدول رقم (1-7) طرق معالجة الحمأة قبل استخدامها في الزراعة.

جدول رقم 1-7. عمليات معالجة الحمأة

الوصف	العملية
تعرضها لدرجة حرارة 70°C لمدة لا تقل عن نصف ساعة أو لدرجة 55°C لمدة لا تقل عن ٤ ساعات يعقبها هضم لا هوائي مبستر ومنبلي mesophilic anaerobic digestion .	بسترة الحمأة Sludge pasteurization
هضم ابتدائي لمدة 12 يوما في درجة حرارة تتراوح بين 35°C +/- 3°C أو لمدة 20 يوما في درجة حرارة تتراوح بين 25°C +/- 3°C ثم تتبع ذلك مرحلة ثانوية لمدة 14 يوما.	هضم لا هوائي Mesophilic anaerobic digestion
تعرض الحمأة لدرجة حرارة 55°C على الأقل لمدة ٤ ساعات ومدة الهضم لا تقل عن 7 أيام .	هضم هوائي حراري Thermophilic aerobic digestion
إضافة الجير لدفع pH الحمأة أعلى من 12 لفترة لا تقل عن ساعتين ثم يمكن استخدام الحمأة مباشرة بعد ذلك .	إضافة الجير إلى الحمأة السائلة
تخزين الحمأة السائلة غير المعالجة لفترة لا تقل عن ثلاثة شهور.	تخزين الحمأة سائلة Liquid storage
إضافة الجير أو مادة مجمعه إلى الحمأة غير المعالجة ثم تتبع ذلك إزالة الماء والتخزين لمدة لا تقل عن ثلاثة شهور أما إذا سبق تعرض الحمأة لعملية هضم لا هوائي فإن فترة التخزين تكون 14 يوما.	التخلص من الماء والتخزين Dewatering & storage
وضع الحمأة في أكوام والمحافظة على درجة الحرارة داخلها 40°C لمدة 5 أيام وأيضا المحافظة على درجة الحرارة عند 55°C لمدة 4 ساعات ويعقب ذلك فترة للتأكد من اكتمال التفاعلات داخل الكوم.	أكوام مهوأة Composting (Aerated piles)

Source: Dept of Environment

إضافة الحمأة Sludge Application

ويمكن تلخيص الأسباب التي تحد من استخدام الحمأة في الزراعة فيما يلي:

١. الحمأة تعتبر أسمدة مختلفة التركيب تحتوي على نسب قليلة من العناصر الصالحة للأمتصاص بواسطة النبات ولذلك يجب استخدامها بمعدلات عالية جدا بالمقارنة بالأسمدة الكيميائية وهذا بالضرورة يستلزم نفقات نقل باهظة خاصة إلى الأراضي

القريبة من المدن الكبرى.

٢. تركيز العناصر الغذائية في الحمأة تختلف حسب مصدرها وبالتالي فإن معدلات الإضافة المثلى لكل سماد من الصعب التنبؤ به.

٣. تحتوي الحمأة على أملاح ذائبة يمكن أن تسبب مشاكل عند استخدامها كأسمدة خاصة في الأراضي التي يستخدم فيها الري في المناطق الجافة. وفي العديد من الأراضي فإن الغسيل وما يتبعه من تلوث المياه الجوفية بالعناصر الكبرى وخاصة النترات يعتبر عاملاً محدداً لاستخدام هذه المخلفات.

٤. تحتوي الحمأة على عناصر ثقيلة تدمص على سطح حبيبات التربة وتتجمع إلى مستويات قد تكون سامة للنبات وبالتالي تضع قيود على نوع المحصول الممكن زراعته نتيجة الخوف من تجمع هذه العناصر في النبات إلى درجة تصبح معها هذه النباتات سامة للحيوانات والإنسان وبالتالي تقلل من قيمة المحصول الناتج.

٥. تحتوي الحمأة على بكتيريا وفيروسات وطفيليات ممرضة تمثل خطراً صحياً على عمال المزرعة والمستهلكين لانتقالها خلال السلسلة الغذائية وتتوقف درجة الخطورة على طريقة معالجة الحمأة.

٦. طرق إضافة الحمأة غالباً ذات كفاءة منخفضة ومضيعة للوقت. فعند إضافة الحمأة السائلة إلى سطح التربة لابد وأن تترك فترة زمنية معينة وهذا الوقت المفقود قد ينتج عنه تأخير أعداد التربة للزراعة. أيضاً إنتاج الحمأة والمخلفات العضوية هي عملية مستمرة لا تتوقف في حين أن الاحتياج للأسمدة هو إحتياج موسمي.

٧. الروائح الكريهة المصاحبة الحمأة يجعل من الصعب على المستهلك أن يقنع بأن إضافة هذه المخلفات لا تمثل أضراراً صحية عليه إذا ما تم إضافتها بالطريقة والمعدلات الصحيحة.

٨. والعقبة التي تقف أمام استخدام الحمأة في الإنتاج الزراعي هي أن هيئات حماية البيئة في كثير من دول العالم تشترط مراقبة وفحص خواص صفات المحصول الناتج وكثير من المزارعين لا يرغبون في دفع تكاليف المراقبة والفحص.

إقتراحات بشأن تشجيع استخدام الحمأة في الزراعة:

١. تحسين خواص وصفات المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة لتنافس خواص وصفات المنتجات الزراعية الناتجة تحت نظام الأسمدة الكيميائية وهذا يستلزم نظام مراقبة جيد للأغذية الزراعية.

١. خفض تركيز العناصر الصغرى والأملاح في المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة ومياه الصرف الصحي ويمكن أن يتم ذلك عن طريق تحسين نظم جمع ومعاملة مياه الصرف الصحي ومراقبة محتواها من العناصر الصغرى خاصة عند المنبع وقبل أن تصل مياه الصرف الصناعي إلى نظام الصرف الصحي.

٢. تطوير نظم إدارة جديدة تؤدي إلى عدم تأخير تجهيز الأرض في المزارع التي تستخدم مياه الصرف الصحي والحمأة من شأنه أن يعمل على اقبال المزارعين على استخدامه.

٣. وضع معدلات إضافة آمنة لاستخدام مياه الصرف الصحي والحمأة والمخلفات العضوية سوف يشجع على استخدامها. ويجب أن تكون معدلات الإضافة المقترحة مبنية على حقائق وتؤكد الاستخدام الآمن للحمأة بدلا من أن تكون مبنية فقط على القلق والخوف من تأثير استخدام المخلفات الضار على البيئة. فحاليا توجد العديد من الأسئلة التي تتعلق بإضافة مخلفات الحيوانات بمعدلات عالية مثل تأثيرها على صفات وكميات المحصول وتلوث المياه السطحية والجوفية ولا يوجد لها إجابة شافية ومؤكد حتى الآن.

ومخاطر إضافة الحمأة إلى التربة نوردتها فيما يلى:

(أ) تلوث انجارى المائيه والبحيرات بالمواد العضويه

المشكلة البيئيه بالنسبة للحمأة عند وصولها للمجارى المائيه سواء بطريق مباشر أو غير مباشر بواسطه الجريان السطحي والغسيل هى تغير صفات وخواص المياه شاملة زيادة تركيز العناصر الغذائيه بها والروائح الكريهه وتلوثها بالطفيليات. ويستمر تقويم المخلفات العضويه من ناحية مقدرتها على التلوث عن طريق تقدير الأكسجين الحيوى المستهلك BOD، الأكسجين الكيميائى المستهلك COD.

الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) Biological Oxygen Demand

وهو كمية الأكسجين المستهلكة بواسطه الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية أكسدة المادة العضويه فى فترة خمسة أيام ويعتبر مقياس للمواد القابلة للأكسدة. أما الأكسجين الكيميائى المستهلك (COD) Chemical Oxygen Demand فهو عبارة عن قياس المواد العضويه الكلية المؤكسدة ويقدر عن طريق أكسدة المواد العضويه باستخدام حمض الكبريتيك ودائى كرومات البوتاسيوم وهذا المقياس يستخدم بصورة أقل من BOD.

ينتج عن أكسدة المادة العضويه انخفاض الأكسجين الذائب فى الماء بزيادة تحلل المادة العضويه فإذا كانت المخلفات العضويه التى يتم التخلص منها فى الماء لها قيمة BOD عالية فسوف ينتج عن ذلك انخفاض محتوى الماء من الأكسجين لدرجة لا تكفى احتياجات الأسماك والكائنات الحية الأخرى وبالتالي يودى ذلك إلى موتها (يحتاج السمك إلى حوالى 5 جزء فى المليون من الأكسجين فى الماء لكى يعيش).

إذا كانت قيمة BOD للماء تساوى 1 جزء فى المليون (1 جزء فى المليون يستهلك خلال فترة خمسة أيام) فإن الماء يعتبر ذات صفات جيدة أما اذا كانت قيمة BOD للماء 5 جزء فى المليون أو أكثر فهذا يعنى أنه ماء غير نقى (ملوث).

وتعتبر المخلفات الحيوانية ذات قيمة BOD عالية نسبياً بينما الحمأة المعاملة لها قيمة BOD منخفضة نسبياً فقد تصل قيمة BOD لمخلفات الحيوانات في ماء الجريان السطحي إلى 10,000 وهذا يتوقف بالطبع على مدى التخفيف وتحلل المواد العضوية في الماء. أيضاً مخلفات الصناعات الغذائية لها قيمة BOD عالية ويرجع انخفاض قيمة BOD للحمأة المعالجة إلى حدوث أكسدة للمواد العضوية خلال فترة المعالجة.

(ب) زيادة تركيز العناصر الثقيلة السامة في التربة

يمكن أن تؤدي الإضافات المتتالية من الحمأة إلى التربة ولفترة طويلة إلى تجمع العناصر الثقيلة في التربة وزيادة تركيزها إلى مستويات قد تكون سامة للنبات وبالتالي للحيوان والإنسان. والعناصر الثقيلة السامة تشمل النحاس والكاديوم والنيكل والزنك ويعتبر الكاديوم على وجه الخصوص سام للإنسان والحيوان ولذلك يجب الحرص على تجنب دخوله إلى السلسلة الغذائية إلا في الحدود الآمنة. وكثير من العناصر في الحمأة تكون مرتبطة بالمادة العضوية ويحدث لها تحرر عند تحللها وتصبح صالحة للأمتصاص بواسطة النبات.

وتختلف محتويات الحمأة من العناصر الثقيلة تبعاً لمصدرها فهي تختلف في المدن عنها في القرى كما أنها تختلف من مدينة لأخرى وهذا يتوقف على الصناعات الموجودة في المدينة والتي تصب مياهها مع مياه الصرف الصحي ويوضح الجدول رقم (2-7) مدى متوسط تركيز بعض العناصر في الحمأة من مواقع عدة.

جدول 2-7. مدى متوسط تركيز العناصر الثقيلة في الحمأة

العنصر	عدد المواقع	المدى	المتوسط
		ug/g	
الزرنيخ As	10	6 – 230	43
باريوم Ba	60	21 – 8,980	576
كاديوم Cd	115	4 – 846	101
كروم Cr	119	17 – 99,000	3,280

تابع جدول 2-7.

1,077	1 – 10,600	53	Hg	زئبق
~440	10 – 3,515	109	Ni	نيكل
1,656	13 – 19,730	116	Pb	رصاص

ويوضح الجدول (3-7) مدى تركيز أربع عناصر في الحمأة الناتجة من المدن الصناعية والمدن غير الصناعية.

جدول 3-7. تأثير مصدر الحمأة على مدى تركيز بعض العناصر الصغرى بها

العنصر	حمأة المدن الصناعية وغير الصناعية	حمأة المدن غير الصناعية
	ug/g	
الكاديوم (Cd)	5 – 2,000	5 – 10
نحاس (Cu)	250 – 17,000	250 – 1,000
نيكل (Ni)	25 – 8,000	25 – 200
زنك (Zn)	500 – 50,000	500 – 2,000

إضافة الحمأة المعالجة ثانوياً (Digested) إلى التربة بمعدل 20 طن للهكتار لمدة 20 عاماً يمكن أن يؤدي إلى رفع تركيز العناصر الصغرى بها تقريباً إلى الآتى (عمق الحرث):

CO	18 ug/g
Cu	180 ug/g
Cr	540 ug/g
Mn	90 ug/g
Pb	270 ug/g
Zn	890 ug/g

وتعتبر محاصيل الخضر أقل المحاصيل مقاومة لزيادة تركيز العناصر الثقيلة في التربة بينما تكون محاصيل الأعلاف أكثرها مقاومة وتعتبر المحاصيل الحقلية مقاومة نسبياً وإن كانت درجة المقاومة تختلف من محصول لآخر ولذلك فإن استخدام الحمأة في الزراعة لدى طويل سوف يضع قيود على نوع المحصول الواجب زراعته.

يوجد احتمال قوى أن تؤثر مكونات الحمأة العضوية الذائبة في الماء أو التي تكونت خلال تحللها على حركة العناصر الثقيلة خلال التربة وتؤدي إلى وصولها إلى المياه الجوفية على صورة معقدات مغلبيه.

(ج) الملوثات الحيوية Biological Pollutant

تعتبر الطفيليات من الملوثات الحيوية التي تصيب الإنسان والحيوان والحقيقة أن الطفيليات تموت عندما يتم أكسدة الحمأة بيولوجيا (المعاملة الثانوية) أو عندما تخزن في أحواض Lagoon ولذلك فالحمأة المعالجة والمخزنة لا تمثل أخطارا صحية من ناحية الطفيليات عند إضافتها للتربة . وتعتبر البكتريا مثل Echerichia Coli من الملوثات الحيوية وأن كانت تتواجد طبيعيا في أمعاء الفقاريات ولذلك فالتنوعين Streptococci, Escherichia تستخدمان للدلالة على حدوث التلوث وللتعرف على أى كائنات حية دقيقة ممرضة يحتمل تواجدها.

ولقد تم التعرف على أكثر من 70 نوع من الفيروسات في الحمأة غير المعالجة والتي غالبا ما توجد في براز الإنسان وكان من المعتقد قديما أن أعداد الفيروس الذي يسببه يمكن نقل المرض لابد أن يكون حوالى المليون ولكن ثبت حاليا أن فيروس واحد كافى لنقل المرض.

ايضا يوجد في الحمأة غير المعالجة العديد من أنواع البكتريا الممرضة ولكن بتركيزات منخفضة ولذلك فيستخدم البكتريا من نوع Coli للتعرف على مدى تلوث الوسط بالبكتريا الممرضة ويوضح الجدول التالى أعداد البكتريا Coli والفيروسات المحتمل تواجدهم في الحمأة غير المعالجة.

المدى	
$1 \times 10^6 - 100 \times 10^6$	a. Coliform الكلي (CMPN/100ml)
200 - 7000	b. فيروس (PFU/l)

مقياس تركيز الفيروس

- a. MPN = Most Probable Number
b. PEU = Plaque – forming unit

كما يوجد في الحمأة غير المعالجة البروتوزوا والديدان الممرضة ويعتبر البيض الخاص بهما مشكله لصعوبة التخلص منهم.

(د) زيادة تركيز العناصر الغذائية في المياه السطحية والجوفية
إضافة معدلات عالية من الحمأة إلى التربة يمكن أن يؤدي إلى زيادة تركيز العناصر الغذائية في المياه السطحية والجوفية.

ويوضح الجدول (4-7) محتوى الحمأة المعالجة ثانويا من العناصر الغذائية.

جدول 4-7. محتوى الحمأة المعالجة ثانويا (لا هوائية)

العنصر	مدى التركيز		متوسط التركيز	
	%		كجم/طن	
N عضوى	2 - 5	3	27	
NH ₄ – N	1 - 3	2	18	
N الكلى	1 - 6	5	45	
فوسفور (P)	6 - 8	3	27	
بوتاسيوم (K)	0.1 - 0.7	0.4	4	
كالسيوم (Ca)	1 - 8	3	27	
مغنسيوم (Mg)	2 - 5	1	9	
كبريت (S)	0.3 - 1.5	0.9	8	
حديد (Fe)	0.1 - 0.5	4	36	
			ug/g	Ug/g
صوديوم (Na)	800 - 4,000	2,000	2	

تابع جدول 4-7.

زنك (Zn)	50 – 50,000	5,000	5
نحاس (Cu)	200 – 17,000	1,000	1
منجنيز (Mn)	100 – 800	500	0.5
بورون (B)	15 – 1,000	100	0.1

ويتضح من الجدول (4-7) إن إضافة 5cm من الحمأة المعالجة لا هوائيا (10% مادة صلبة) إلى الهكتار سوف يضيف الكميات التالية من العناصر الغذائية:

NH ₄ – N	252 – 280 kg/ha	وهذه الكمية يحدث لها نترته سريعة
N عضوى	336 kg /ha	
فوسفور	200 – 336 kg/ha	
بوتاسيوم	45 – 90 kg /ha	

والنترات الزائدة في التربة بعد موسم النمو يحدث لها غسيل وتتحرك إلى المياه السطحية والجوفية والجدير بالذكر أن زيادة تركيز NO₃ في المياه ينتج من عدة مصادر شاملة إضافة الحمأة أو المخلفات الحيوانية ومخلفات الصناعات الغذائية، Landfills والمخلفات الصناعية وغيرها. وكل من المصادر السابقة تتسبب في تلوث المياه بنسب مختلفة تبعاً لظروف كل موقع. علماً بأن تلوث المجارى المائية بالنيتروجين يحدث بدرجة كبيرة عند إلقاء المخلفات العضوية والحمأة في المجارى المائية ويزداد التلوث بشدة بزيادة المعدلات التي يتم التخلص منها.

(هـ) الأملاح الذائبة Soluble Salts

تحتوى الحمأة على أملاح غير عضوية مثل البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم ولذلك فإضافة معدلات عالية من الحمأة إلى التربة يؤدي إلى زيادة نسبة الأملاح بها إلى درجة يمكن أن تؤثر على المحصول. واحتمالات ارتفاع نسبة الأملاح في التربة نتيجة إضافة الحمأة تزيد في أراضي المناطق الجافة عنها في أراضي المناطق

الرطوبة لأن كمية الأملاح المضافة إلى التربة تزيد عن كمية الأملاح المغسولة من التربة بواسطة الأمطار والنتيجة هو تراكم الأملاح بهذه الأراضي.

يمكن إضافة الحمأة المعالجة إلى الأتربة بحيث لا يزيد تركيز العناصر السامة في التربة عن حد معين في طبقة الاستزراع. ويوضح الجدول رقم (5-7) أقصى حدود مسموح بها من تركيزات العناصر السامة نتيجة إضافة الحمأة المعالجة إلى التربة. وبالنسبة لعناصر الزنك والنحاس والنيكل تختلف التركيزات المسموح بها في الأتربة باختلاف درجة حموضة التربة لأنه من المعروف أن هذه العناصر تسبب سمية للنبات في الأتربة الحمضية. ويوضح الجدول أيضا معدلات إضافة العناصر السامة إلى التربة كنتيجة لإضافة الحمأة في فترة عشر سنوات.

جدول رقم 5-7. أقصى تركيز مسموح به من العناصر السامة في التربة بعد إضافة الحمأة وأقصى معدل إضافة سنوي

العناصر السامة	أقصى تركيز مسموح به للعناصر السامة في التربة (mg/kg dry solids)				أقصى معدل إضافة سنوي مسموح به لفترة عشر سنوات (kg/ha) ²
	pH >7.0	pH 6<7.0	pH 5.5<6	pH 5<5.5	
زنك	450	30	250	200	15
نحاس	200	135	100	80	7.5
نيكل	110	75	60	50	3
كاديوم				3	0.15
رصاص				300	15
زئبق				1	0.1
كروم				400	15
مولبدنوم				4	0.2
سيلينيوم				3	0.15
ذرنخ				50	0.7
فلوريد				500	20

١. الزيادة المسموح بها لتركيزات العناصر في التربة التي يزيد درجة الحموضة فيها عن 7 تكون فقط للأتربة التي تحتوي على 5% كربونات كالسيوم.

٢. معدل الإضافة السنوى يقدر عن طريق متوسط الإضافة خلال عشر سنوات.

عند إضافة الحمأة إلى سطح التربة المترعة بالحشائش لرعى الحيوانات يجب تقدير العناصر المسببة للسمية في عينات التربة المأخوذة على عمق 7.5 cm مع مراعاة أن لا يزيد تركيز هذه العناصر عن الحدود المذكورة في جدول رقم (5-7) ولخفض تركيزات عناصر الرصاص والكاديوم والفلوريد المحتمل تناولها بواسطة حيوانات الرعى فإين إضافة هذه العناصر عن طريق الحمأة إلى سطح التربة يجب أن لا يزيد معدل إضافة الحمأة السنوى عن ثلاث أضعاف متوسط الإضافة السنوى المسموح به في جدول (3-7). وبوجه عام فإن الحمأة المضافة إلى أتربة المراعى يجب أن لا يزيد محتواها عن 1200 mg/kg من الرصاص، 100 mg/kg فلوريد على أساس الوزن الجاف.

تأثير إضافة الحمأة على التربة والمحصول

إن العناصر المسببة للسمية الموجودة طبيعيا في التربة عادة ما تكون أقل صلاحية من تلك العناصر التى تدخل إلى التربة عن طريق إضافة الحمأة . ولقد أظهرت الأبحاث أن تركيزات من عناصر الكاديوم والنيكل والنحاس والرصاص الناتجة عن إضافة الحمأة السائلة في ثلاث مواقع مختلفة ظلت موجودة في التربة بعد خمس سنوات من الإضافة ماعدا النحاس والزنك في الأراضى الجيرية. أيضا هذه الأبحاث قدرت مدى انتقال هذه العناصر من الحمأة إلى الأوراق والجزء الذى يؤكل في النبات وتأثير الإضافة على المحصول.

جدول رقم 6-7. أقصى حدود تركيز العناصر المسببة للسمية المسموح بها في 7.5cm من

التربة المترعة حشائش بعد إضافة الحمأة إليها

العناصر المسببة للسمية	أقصى تركيز مسموح به في التربة (mg/kg dry solids)			
	pH >7.0	pH 6.0 < 7.0	pH 5.0 < 6.0	pH 5.0 < 5.5
زنك	750	500	420	330
نحاس	330	225	170	130

تابع جدول رقم 6-7.

نيكل	80	100	125	180
كادميوم	0.6			
رصاص	300			
زئبق	1.5			
مولينديوم	4			
سيليونيوم	5			
زرنك	50			
فلوريد	500			
كروم	600			

Source: Dept. of Environment (1989)

ولقد أظهرت الأبحاث أن 60% من الحالات المدروسة لم يكن للحمأة أى تأثير معنوى على كمية المحصول ولكن في 26% من الحالات أدى إضافة الحمأة السائلة إلى زيادة معنوية في المحصول وقد عزيت هذه الزيادة إلى تأثير الحمأة على تحسين بناء التربة. أيضا لوحظ انخفاض محصول حبوب القمح بحوالى 10% - 6 في الأراضي الطينية والجيرية المضافة إليها الحمأة ولقد عزى سبب ذلك إلى رقاد النباتات الناجم عن زيادة المجموع الخضري نتيجة تركيز النيتروجين الزائد في التربة.

وزيادة تركيز العناصر في التربة نتيجة إضافة الحمأة أدى إلى زيادة معنوية في تركيز كل من الكاديوم والزنك والنحاس في الجزء المأكول من النباتات المزرعة. أما تركيز عنصر الرصاص في أنسجة النباتات فلم يتغير نتيجة إضافة الحمأة ولذلك فيعتقد أن الرصاص يكون في صورة غير صالحة للامتصاص من التربة أيضا أظهرت الأبحاث أن صلاحية العناصر للنبات في التربة المعالجة بالحمأة الجافة تكون أقل منها في حالة إضافة الحمأة على صورة سائلة. وبالرغم من ذلك فإن تركيزات النيكل والنحاس والزنك في الأتربة المعالجة بمعدلات عالية من الحمأة السائلة أو الجافة كانت قريبة من حدود التركيزات القصوى المسموح بتواجدها في التربة بينما زاد تركيز الزنك عن الحد المسموح به.

المخاطر الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والرعى

حرصا على صحة الإنسان والحيوان والنبات ولتفادى أى مخاطر صحية محتملة فإنه من الضرورى مراعاة وقت إضافة الحمأة المعالجة إلى التربة بالنسبة لمواعيد الزراعة والحصاد ورعى الحيوانات كما يلى:

١. يجب عدم إضافة الحمأة إلى محاصيل الحضر والفاكهة النامية فى الحقل أو النامية فى بيوت بلاستيكية وزجاجية.
٢. بالنسبة للدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضي المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.
٣. ويمكن إضافة الحمأة مباشرة بدون شروط إلى محاصيل الحبوب النامية.
٤. إضافة الحمأة إلى محاصيل الفاكهة قبل عشرة شهور من الحصاد.
٥. بالنسبة للدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضي المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.
٦. يجب عدم إضافة الحمأة إلى محاصيل الحضر والفاكهة النامية فى الحقل أو النامية فى بيوت بلاستيكية وزجاجية.
٧. بالنسبة للدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضي المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.
٨. ويمكن إضافة الحمأة مباشرة بدون شروط إلى محاصيل الحبوب النامية.
٩. إضافة الحمأة إلى محاصيل الفاكهة قبل عشرة شهور من الحصاد.
١٠. بالنسبة للدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضي المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.
١١. ويمكن إضافة الحمأة مباشرة بدون شروط إلى محاصيل الحبوب النامية.

١٢. إضافة الحمأة إلى محاصيل الفاكهة قبل عشرة شهور من الحصاد.
١٣. يمكن إضافة الحمأة بدون قيود إلى التربة قبل الزراعة وذلك لمحاصيل الحبوب والحشائش وبنجر السكر والفواكه غير الطرية.
١٤. إضافة الحمأة المعالجة إلى التربة قبل الزراعة إلى التربة المخطط زراعتها خضروات بشرط أن تكون الفترة بين الإضافة إلى زمن الحصاد لا يقل عن عشرة شهور.
١٥. الحمأة المعالجة لا يمكن إضافتها إلى التربة قبل الزراعة فقط.

حماية البيئة

عند إضافة الحمأة إلى الأراضي يجب منع أى تأثيرات سلبية على البيئة باتباع التالى:

١. يجب ألا تحتوى الحمأة على مواد غير قابلة للتحلل مثل البلاستيك.
٢. عربات نقل الحمأة من مشروع معالجة الحمأة إلى الأراضي لابد من اختيارها بدقة حتى لا تساقط الحمأة فى الطرق المرصوفة كما أن هذه العربات يجب أن تكون مغلقة حتى لا يتطاير بعضها فى الهواء وتساقطها مما يمكن أن يودى إلى تلوث مجارى المياه وأيضاً لمنع انتشار الروائح.
٣. أن تلوث البيئة قد ينشأ من تسرب الحمأة السائلة إلى قنوات الصرف ولذلك يجب مراعاة ذلك عند تقدير معدل إضافة الحمأة إلى التربة.

حساب معدل إضافة الحمأة للأراضي الزراعية

Calculating Application Rates of Sewage Sludge on Cropland

سوف نعطى هنا مثال لتوضيح كيفية حساب معدل إضافة الحمأة للأراضي الزراعية تبعا للنقواعد التي تم شرحها سابقا وفي هذا المثال يتم الحساب على خمس خطوات هي:

١. مكونات الحمأة ومعلومات عن التربة.
٢. إحتياجات المحصول من العناصر الغذائية.
٣. تقدير معدل الإضافة السنوى للحمأة.
٤. تقدير معدل إضافات السماد الفوسفورى والنيتروجينى.
٥. تقدير الكمية الكلية المسموح بإضافتها من الحمأة وعدد السنوات.

وقبل أن نبدأ فى شرح الطريقة لابد من توافر المعلومات التالية:

١. بيانات عن مكونات الحمأة (Sewage sludge)

أ. النيتروجين الكلى (N)	ب. الأمونيوم ($\text{NH}_4 - \text{N}$)
ج. النترات ($\text{NO}_3 - \text{N}$)	د. الفوسفور (P)
هـ. البوتاسيوم (K)	و. الرصاص (Pb)
ث. الزنك (Zn)	ح. النحاس (Cu)
ت. النيكل (Ni)	ك. الكاديوم (Cd)

٢. بيانات عن التربة والمحصول

- أ. الفوسفور الميسر والبوتاسيوم الميسر.
- ب. توصيات الأسمدة بالنسبة للنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.
- ج. درجة حموضة التربة (pH).
- د. السعة التبادلية الكاتيونية للتربة.

القسم الأول : مكونات الحمأة ومعلومات عن التربة

مكونات الحمأة

5 %	النيتروجين الكلى
2 %	الأمونيوم
0 %	النترات
2 %	الفوسفور
0.1 %	البوتاسيوم
3000 ppm	Zn
500 ppm	Pb
1000 ppm	Cu
50 ppm	Ni
20 ppm	Cd

بيانات التربة

Loam	القوام
6.5	درجة الحموضة (pH)
28 kg/ha	الفوسفور الميسر
190 kg/ha	البوتاسيوم المتبادل
12 cmol/kg	CEC

القسم الثاني : احتياجات المحصول من المغذيات

نوع النبات والمحصول لكل هكتار

10,000 kg/ha	ذره
العناصر الكبرى التى يحتاجها النبات لكل هكتار	
190.4 kg/ha	= N
67.2 kg/ha	= P ₂ O ₅
78.4 kg/ha	= K ₂ O

القسم الثالث : تقدير معدل الإضافة السنوى من الحمأة

١. حساب كميات صور النيتروجين المختلفة

أ. النسبة المئوية للنيتروجين العضوى

$$\% \text{ النيتروجين العضوى} = \% \text{ N الكلى} - \% \text{ الأمونيوم} - \% \text{ النترات}$$

$$\% \text{ N العضوى} = 5 - 2 - 0 = 3 \%$$

ب. النيتروجين العضوى بالكجم/طن

$$\% \text{ النيتروجين العضوى} = \% \text{ النيتروجين العضوى} \times 1.82$$

$$= 3 \times 1.82 = 5.46 \text{ kg N/Ton}$$

ج. الأمونيوم بالكجم/طن

$$\% \text{ الأمونيوم بالكجم/طن} = \% \text{ أمونيوم} \times 9$$

$$= 2 \times 9 = 18 \text{ كجم/طن}$$

د. النترات بالكجم/طن

$$\% \text{ النترات بالكجم/طن} = \% \text{ للنترات} \times 9$$

$$= 0 \times 0 = 0 \text{ كجم/طن}$$

٢. حساب النيتروجين الصالح (الميسر) للنبات فى الحمأة

أ. فى حالة خلط الحمأة مع التربة

$$\text{النيتروجين الصالح بالكجم/طن} = \text{النيتروجين العضوى} + \text{الأمونيوم} + \text{النترات}$$

$$= 5.46 + 18 + 0 = 23.5 \text{ كجم/طن}$$

ب. الإضافة السطحية للحمأة (يفترض أن نصف الأمونيوم تفقد بالتطاير)

$$\text{النيتروجين الصالح بالكجم/طن} = 5.46 + \frac{18}{2} + 0 = 14.45 \text{ كجم/طن}$$

٣. تعديل توصيات الأسمدة النتروجينية بالأخذ في الاعتبار النتروجين المتبقى

Residual N الناتج من الإضافة السابقة للحمأة لمدة ٣ سنوات.

$$\begin{aligned} 0.46 \times \% \text{ organic N} \times \text{tons sludge/acre} &= \text{lbs residual N/acre} \\ 0.46 \times \% \text{ organic N} \times \text{tons sludge/acre} &= \text{lbs residual N/acre} \times 1.12 \\ &= \text{kg residual N/ha} \end{aligned}$$

أ. الحمأة المضافة سابقاً لمدة 1 عام

$$0.46 \times 0 \times 0 \times 1.12 = 0 \text{ kg residual N/ha}$$

ب. الحمأة المضافة سابقاً لمدة 2 عام

$$0.46 \times 0 \times 0 \times 1.12 = 0 \text{ kg residual N/ha}$$

ج. الحمأة المضافة سابقاً لمدة 3 سنوات

$$0.46 \times 0 \times 0 \times 1.12 = 0 \text{ kg residual N/ha}$$

د. النتروجين المتبقى الكلي Total residual N

الخطوة أ + الخطوة ب + الخطوة جـ

$$0 = 0 + 0 + 0 \text{ كجم نتروجين هكتار}$$

هـ. تعديل الاحتياجات النتروجينية

إحتياجات النبات كجم N/هكتار = إحتياجات النبات N/هكتار - النتروجين المتبقى

$$\text{كجم N/هكتار} = 190.4 - 0 = 190.4$$

٤. حساب معدل إضافة الحمأة السنوي تبعاً لإحتياجات المحصول من النتروجين

توصيات السماد المعدلة نتيجة إضافة الحمأة سابقاً

النتروجين الميسر للنبات في الحمأة

أ. في حالة الإضافة بالخلط Incorporation

$$\begin{aligned} \frac{190.4}{23.5} &= 8.1 \text{ Ton sludge/ha} \end{aligned}$$

ب . في حالة الإضافة على السطح

$$\frac{190.4}{14.45} = 13.2 \text{ Ton sludge/ha}$$

٥. حساب معدل الإضافة السنوى للحمأة تبعاً لحدود الكاديوم

أ. حساب محتوى الحمأة من الكاديوم لكل طن

$$\text{ppm Cd} \times 0.001 = \text{kg Cd/ ton of sludge}$$

$$20 \times 0.001 = 0.020 \text{ kg Cd/ton of sludge}$$

ب. حساب كمية الحمأة الواجب إضافتها لتعطي 2 kg Cd/ha

$$2 \text{ kg Cd/ha} \div \text{kg Cd/ton} = \text{ton sludge/ha}$$

$$2 \text{ kg Cd/ha} \div 0.02 \text{ kg Cd/ton} = 100 \text{ ton sludge/ha}$$

٦. اختيار معدل الإضافة السنوى المثالى لكل هكتار

بصفة عامة يتم اختيار معدل الإضافة الأقل المحسوب من الخطوتين 4 , 5 .

أ. في حالة خلط الحمأة بالتربة

$$8.1 \text{ ton sludge/ha}$$

ب. في حالة الإضافة السطحية

$$13.2 \text{ ton sludge/ha}$$

القسم الرابع : حساب كميات الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية الواجب إضافتها

٩. الفوسفور

أ. P_2O_5 الموجود في الحمأة المضافة

$$\text{Tons sludge/ha} \times \% P \times 45.8 \times 1.12 = \text{kg } P_2O_5/\text{ha}$$

$$8.1 \times 2 \times 45.8 \times 1.12 = 831 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$$

ب. كمية السماد الفوسفاتى الواجب إضافتها

$$= \text{kg } P_2O_5/\text{ha}$$

إحتياجات المحصول من الفوسفور — كمية الفوسفور الموجود في الحمأة المضافة

$$= 67.2 - 831 - 764 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$$

عندما تكون الإجابة بالسالب فهذا يعنى عدم إضافة سماد

٢. البوتاسيوم

أ. K_2O الموجود في الحمأة المضافة

$$\text{Tons sludge/ha} \times \% K \times 24 \times 1.12 = \text{kg } K_2O/\text{ha}$$

$$8.1 \times 0.1 \times 24 \times 1.12 = 21.7$$

ب. كمية السماد البوتاسي الواجب إضافته

السماد البوتاسي الواجب إضافته =

احتياجات المحصول من البوتاسيوم - كمية البوتاسيوم الموجودة في الحمأة المضافة

$$78.4 - 21.7 = 56.7 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$$

القسم الخامس : حساب الكمية الكلية المسموح إضافتها من الحمأة وعدد سنوات الإضافة

١. يتم حساب كميات الحمأة الواجب إضافتها للوصول إلى الحدود القصوى

المسموح إضافتها من العناصر الصغرى (جدول 4-8) .

لكمية القصوى المسموح إضافتها (لكل هكتار) -

[الكمية القصوى المسموح إضافتها من العنصر ÷ (تركيز العنصر في الحمأة × 0.001)]

$$\text{Pb} = [1000 \div (500 \times 0.001)] = 2000 \text{ ton sludge/ha}$$

$$\text{Zn} = [500 \div (3000 \times 0.001)] = 166 \text{ ton sludge/ha}$$

$$\text{Cu} = [250 \div (1000 \times 0.001)] = 250 \text{ ton sludge/ha}$$

$$\text{Ni} = [100 \div (50 \times 0.001)] = 2000 \text{ ton sludge/ha}$$

$$\text{Cd} = [10 \div (20 \times 0.001)] = 500 \text{ ton sludge/ha}$$

هنا أقصى كمية مسموح إضافتها هي 166 ton sludge/ha

٢. حساب أقصى عدد سنوات الإضافة

أقصى كمية حمأة مسموح إضافتها للهكتار

عدد السنوات =

كمية الحمأة المضافة سنوياً

أ. في حالة الإضافة بالخلط incorporation

$$\text{عدد السنوات} = \frac{166}{8.1} = 20 \text{ سنة}$$

ب. في حالة الإضافة السطحية

$$\text{عدد السنوات} = \frac{166}{13.2} = 12 \text{ سنة}$$



المراجع

- Abrol I.P. (1982). Technology of chemical, physical and biological amelioration of deteriorated soils. Panel of Deteriorated Soils in Egypt, 2-6 May 1982, Cairo.
- Asano T. and Tchobanoglous G. (1987). Municipal waste water treatment and effluent utilization for irrigation. Paper prepared for the Land Water Development Division, FAO, Rome.
- Asano T., Smith R.G. and Tchobanoglous G. (1985). Municipal Waste Water : Treatment and Reclaimed Water Characteristics. Irrigation with reclaimed municipal waste water- A. Guidance Manual, G.S. Pettygrove and T. Asano (eds). Lewis publishers Inc. chelsea, Mississippi.
- Chaney R.L., (1989). Toxic element accumulation in soils and crops : protecting soil fertility and agriculture food chains. In : Bar-Yosef, Barrow, Goldshmid (eds). Inorganic Contamination of the Vadose Zone Springer Ecol Stud 74: 140-158.
- Cosgrove, W. J. and R.F. Rijsberman. 2000. World water vision. World Water Council, Earthscan publication, Ltd., UK.
- Degremont, 1980. Water treatment handbook. Wiley, New York.
- EAO. (1979). Yield response to water. J. Doorenbos and A.H. Kassam. Irrigation and Drainage paper 33. FAO, Rome.
- Elliott, L.F., Stevenson, F.F (1977). Soils for management of organic wastes and waste waters. Soil Sci. Soc. Am, Madison, Wis.
- FAO. (1988). Irrigation practice and water management. L.D. Doneen and D.W. Westcot. Irrigation and Drainage Paper 1, Rev. 1. FAO, Rome.
- Franks, F. 1975. Water, A Comprehensive Treatise, Vol. 1, The Physics and Chemistry of Water. Plenum. Press, London.
- Franks, F. 1979. Water, A. Comprehensive Treatise, vols. 1-6, Plenum Press, New York.
- Fuller, W.H., and A.W. Warrick (1985). Soils in waste treatment and

- utilization. Vol 1&2. CRC, Boca Raton.
- Gross, J. M. and B. Weissell 1977. Principles of Physical Chemistry, Macdonald and Evans, Plymouth.
- Hollick M. 1982. Water harvesting in the aridlands. Scientific Reviews on Arid Zone Research 1: 173-247. Scientific Publisher, Jodhpur, India.
- Jain, J.K. 1977. Resource development in semi-arid lands, Phil. Trans. Roy. SOC., B 278, 437-617.
- Jewell W.J., Madras J.J., Clarkson W.W., Delancy-pompe H. and Kabrick R.M. (1983). Waste Water treatment with plants in nutrient films. Report PB 83-247-494, US. Environmental protection Agency, Ada, Oklahoma.
- Locher, R.C., (1977). Land as a waste management alternative. Science Publisher, Ann Arbor, London.
- Logan T.J. and R.L. Chaney.(1983). Metals. In Utilization of Municipal Waste Water and Sludge on Land, Page, A.L. (Ed.) Univ. of California, Riverside.
- Marra D.D. and Cairncross S. (1989). Guidelines for the Safe Use of Waste Water and excreta in agriculture and aquaculture-measures for public health protection. World health organization, Geneva.
- Mass E.V. (1984). Salt Tolerance of plants. The Hand book of Plant Science in Agriculture. B. R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Nakayama F.S. (1982). Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. Proc. Irrigation Association Conference, 21-24 Feb. 1982. Portland, Oregon.
- National Academy of Science (1972). Water quality criteria. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC Report No. EPA- R 373-033.
- National Water Commission (1973). Water policies for the future (5248)- U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. 20402 USA.
- Page A.L., T.J. Logan and J.A. Rayan (eds) : (1987). Land application of Sludge, Food chain implications Lewis, Chelsea, pp 67-99.
- Reddy K.R. and De Busk W.F. (1987). Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. Aquatic Plants for Water treatment and Resource Recovery. K.R. Reddy and W.H. Smith (eds). Magnolia Publishers, Orlando, Florida.
- Saqqar M.M. and Pescod M.B. (1990). Microbiological performance of multi-stage stabilization ponds for effluent use in agriculture Wat. Sci. Tech. 23 : 1517-1524.
- Seckler, D., R. Barker, and U. Amarasinghe , 1999. Water Scarcity in the Twenty-first Century. Water Resources Development 15: 29-42.
- Shuval H.I., Adin A., Fattal B., Rawitz E. and Yekeutieli P. (1986). Waste

- water irrigation in developing Countries : health effects and technical Solutions. Technical Paper No. 51. World Bank, Washington DC.
- Strauss M. (1985). Pathogen survival, Part II. Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture, IRCWD Report No. 04/85. International Reference Centre for Waste disposal, Dubendorf, Switzerland.
- Strauss M. and Blumenthal U.J. (1989). Human Waste Use in Agriculture and Aquaculture : utilization practices and health perspectives- IRCWD Report No. 08/89. International Reference Centre for Waste disposal, Dubendorf, Switzerland.
- U.N. Department of Technical Cooperation for Development. (1985). The use of non conventional water resources in developing countries. Natural water Resources No. 14 UN DTCD, New York.
- WHO (1989). Health guidelines for the use of waste water in agriculture and aquaculture. Technical Report No. 778. WHO, Geneva.
- WRI, World Resources Institute-1994. A guide to the global environment. New York, Oxford: Oxford University Press.
- * السيد أحمد الخطيب . ٢٠٠٠. تلوث الأراضي. منشأة المعارف. الإسكندرية. جمهورية مصر العربية.
- * أحمد النجعاوى . ٢٠٠٠. تكنولوجيا معالجة الماء والصرف الصناعي. منشأة المعارف. الإسكندرية. جمهورية مصر العربية .

