خيارات تكنولوجية
لمشروعات معالجة مياه الصرف *

ترجمة: أميمة عبد العزيز**

يقتضى اختيار الاسلوب المناسب لمعالجة الصرف الصحى فى مدينة ما التدقيق فى النواحى الفنية والاقتصادية والمالية وزخذها جيدا فى الاعتبار. ان تفرد كل حالة يجعل من الصعب تحديد اسلوب عام لاختيار النوع المناسب من مصانع معالجة مياه الصرف.

عشر خطوات لاختيار أنسب نظام للمعالجة

وفى معظم الحالات فإن عملية التخطيط لمعالجة مياه الصرف تستلزم اجراء عشر خطوات رئيسية:

١- تحديد كمية مياه الصرف.

٢- تحديد محتويات هذه المياه.

٣- تحديد مقاييس لصرف أو إعادة استخدام مياه الصرف.

٤- وضع اهداف وإجراءات بديلة لمعالجة المياه قبل الصرف أو اعادة الاستخدام.

٥- تحديد كمية ونوع الرواسب لكل عملية.

٦- تحديد معايير صرف أو إعادة استخدام الرواسب.

٧- تحديد اجراءات بديلة لمعالجة وإعادة استخدام الرواسب.

---

* هذه ترجمة للفصل الثالث من كتاب: Emanuel Idelovitch & Klas Ringskog: "Wastewater Treatment in Latin America; Old and New Options" The World Bank. Washington, D.C. 1997.

** أميمة عبد العزيز: وكيل أول وزارة التعاون الدولى سابقا.

٨- معرفة مواقع بديلة للمعالجة والصرف أو اعادة استخدام المياه والرواسب.

٩- تحديد الحاجة لدراسات إرشادية وبرامج صناعية لما قبل المعالجة.

١٠- تقييم الجدوى الفنية والاقتصادية لكل بديل واختيار أكثر الخطط المناسبة.

ويتم الإعداد لبعض هذه الخطوات مباشرة مثل تحديد كمية ومحتويات مياه الصرف. أما الخطوات الأخرى فمتداخلة وتتطلب خبرات معينة مثل تحديد المعايير المناسبة واختبار التكنولوجيات البديلة لمعالجة مياه الصرف والرواسب التى تنتج اثناء معالجة السائل . وينبغى تقييم الأساليب التقليدية إلى جانب الاساليب الحديثة ، والاستثناء يكون حيث توجد ندرة فى الاراضى وارتفاع فى أسعارها مما يمكن معه استبعاد الت:نولوجيات كثيفة الأرض / كثيفة رأس المال من البداية.

الخطوة الأولى: تحديد كمية مياه الصرف.

إن تحديد كمية مياه الصرف المزمع معالجتها مسألة جوهرية لتقدير حجم الاستثمارات المطلوبة. ولهذا السبب فإن تقدير كمية مياه الصرف ينبغى أن يبنى على قياسات ميدانية كافية مع ربطها بوضوح ببرنامج الاستثمارات فى المدينة بهدف التوسع فى نظم إمدادات المياه والصرف الصحى .

ومن الضرورى التعرف مبكرا على مدى صحة بيانات إنتاج المياه واستخداماتها وما إذا كانت هذه الكميات ستكون مناسبة فى السنوات المقبلة. وحيثما يكون نموذج استهلاك المياه به اسراف فمن الضرورى السيطرة على الطلب حتى ينخفض نصيب الفرد من الاستهلاك للمستويات المقبولة ومن ثم يتحدد مقدار الاستثمارات المطلوبة لمعالجة مياه الصرف طبقاً للنتائج المتوقعة من جهود تخفيض الفاقد. وهناك متغيران أساسيان للسيطرة على الطلب . الأول هو مدى استخدام قياس الاستهلاك. فقد ظهر من التجربة ان الاستهلاك يبلغ ٤٠٪ أقل بالعداد عنه بدون العداد.

وبالمثل فإن تعريفة المياه لها تأثير على كمية مياه الصرف المولدة. ان مايسمى مرونة السعر للطلب تقيس نسبة التغير فى مستوى استهلاك المياه مقسوما على نسبة التغير فى التعريفة. وتتغير قيمتها مع نوع الاستهلاك إلى جانب عوامل أخرى. وقدرت عدة دراسات قيمة مرونات السعر، (انظر على سبيل المثال Cestti, Yepes, & Dianderas 1996). وتبين أن مرونة السعر على المدى البعيد للطلب الداخلى كانت فى حدود (-٠,٤). مما يوضح أن مضاعفة الأسعار الحقيقية للتعريفة يمكن ان تخفض استهلاك الفرد بمقدار ٤٠٪ . أما المرونات المصاحبة للفئات المختلفة من المستهلكين التجاريين والصناعيين فهى ذات مغزى أوضح بقيم تتراوح بين -٠,٦ إلى -١,٢ . وهذه القيم ذات

أهمية كبيرة لذا ينبغى أخذها فى الاعتبار عند وضع التقديرات الخاصة بكميات مياه الصرف.

وينبغى ألا ننسى التأثير المقابل للدخل المرتفع على استهلاك المياه. إن مرونة الدخل المناظر لاستهلاك المياه تقيس نسبة التغير فى استهلاك الفرد مقسوما على نسبة التغير فى دخل الفرد. وقد قدرت قيمته بنحو + ٠,٣ موضحاً أن المستهلكين سرعان مايقومون بتركيب مثبتات استهلاك مياه وأجهزة كلما ارتفع دخلهم.

ولايعتبر مستوى التعريفة المحدد الوحيد لحجم مياه الصرف المولدة، لأن هيكل التعريفة كذلك له تأثير. ويعتمد التأثير البيئى للمخلفات الصناعية على نوعيتها، ووجود مواد سامة، ومكان الصرف، إلى جانب كميتها. لذلك فإن غرامات التلوث غالبا ماتفرض ثنائية حيث تختلف الغرامة النهائية طبقا لكمية التلوث وحجم مياه الصرف. وهذا يعطى للشركات الملوثة حافزا لتقليل كل من أحجام المواد الملوثة وكذلك أحجام مياه الصرف. وفى ثلاث صناعات فى ساو باولو بالبرازيل، كانت نتيجة فرض غرامات الصرف خفض استهلاك مياه الصناعة لنحو ٤٠-٦٠٪ خلال سنتين. وأخيرا ينبغى أن يرتبط تحديد كميات مياه الصرف بالتغطية المستقبلية لنظام تجميع مياه الصرف.

الخطوة الثانية: تحديد مكونات مياه الصرف.

تشمل مياه الصرف المياه التى تنشأ من الاستخدامات المنزلية أو التجارية أو الصناعية إلى جانب الملوثات التى تنشأ أثناء هذا الاستخدام. وربما تشمل مياه الصرف أيضا مياه أمطار كما تشمل مياها جوفية تخللت أنابيب الصرف. وتتكون مياه الصرف المنزلية من ٩٩,٩٪ مياه إلى جانب ٠,١٪ مواد صلبة . وهى توازى ألف ملليجرم لكل لتر أو أجزاء من المليون والتى تناسب تماما حجم البلاعات المتوسطة. أما المواد الصلبة فى مياه الصرف فتنقسم إلى مواد صلبة مترسبة ممكن تصفيتها، وجزئيات كبيرة يمكن إزالتها سريعا بالجاذبية، والمواد الصلبة المعلقة والتى يمكن أيضا إزالتها بالجاذبية ولكنها تحتاج لفترة ترسيب أطول، والجسيمات الغروية والتى يمكن إزالتها من مياه الصرف بواسطة مواد تجلط كيماوية أو بالانحلال البيولوجى أو مذيبات المواد الصلبة. ويعتبر تركيز المواد الصلبة المعلقة مؤشراً عاماً يستخدم للإشارة إلى النوعية العامة لمياه الصرف ومستوى المعالجة المطلوب.

وتعتبر معظم الشوائب فى الصرف ذات طبيعة عضوية. وهى تتضمن المجموعات العضوية الرئيسية (البروتين - المواد الكربوهابدراتية والدهون والزيوت)، وبعض المواد الهامة بيئيا مثل

المنظمات والمبيدات وحامض الكربوليك (الفينون) والكثير من الكيماويات الصناعية. وعلى عكس الاعتقاد السائد فإن الكيماويات الصناعية لاتنتج فقط من الصناعات ولكن أيضا من المنازل التى تستخدم اكثر فأكثر منتجات تنظيف تحتوى عليها.

وبسبب كبر عدد وتنوع المواد العضوية فى مياه الصرف فإنه من الصعب تعريفها وقياسها. ويمكن فقط تحديد تركيز بعض المركبات العضوية وهذا يتطلب تكنيكا متقدما جدا ومرتفع التكلفة, مثل قياس أبعاد الكتلة بتصوير المجال الضوئى أو تصوير الكثافة اللونية للغاز أو السائل وتقنيات أخرى متقدمة، وبالتالى ولأسباب عملية تستخدم مؤشرات بديلة لتقييم تركيز المواد العضوية فى مياه الصرف. وأكثر هذه المؤشرات شيوعا هو مقدار الحاجة للاوكسيجين الكيماوى الحيوى والاوكسيجين الكيماوى . وتحتوى مياه الصرف أيضا على مواد غير عضوية إلى جانب مجموعة متنوعة من الكائنات الدقيقة بما فى ذلك البكتريا والديدان المعدية والفيروسات وبعضها يسبب أمراضا للانسان.

وتحتوى دائما مياه الصرف المحلية الآتية من المدن المتوسطة والكبيرة على كمية معينة من المخلفات الصناعية التى يجب معرفتها جيدا وتمييزها. واذا استلزم الأمر ينبغى فرض المعالجة الصناعية أولا حتى نضمن أن المصنع سيعمل بصورة سليمة وآمنة.

الخطوة الثالثة: تحديد مستويات لصرف أو إعادة استخدام المياه.

تستهدف معالجة مياه الصرف الصحى فى المقام الأول توفير مياه تتوافق مع مستويات أو سياسات الصرف فى المجارى المائية مثل الأنهار والبحيرات والمحيطات. وحينما يتقرر اعادة استخدام المياه فإن نوعيتها ينبغى أن تتفق مع المستويات المقررة لأغراض معينة (الرى - الصناعة- المنتزهات- أو استعواض المياه الجوفية).

لهذا يعتمد الهدف الرئيسى لمعالجة مياه الصرف إلى درجة كبيرة على الجهة المتجهة لها المياه والنوعية المطلوبة لهذه الجهة . ولتحقيق الأهداف العامة المتعلقة بكل من الاهتمامات الجمالية والصحية ينبغى التخلص من المواد العائمة والمواد الصلبة المعلقة والمواد المتآكلة عضويا والكائنات الحية الناقلة للأمراض.

وثمة هدف أكثر حداثة وهو إزالة المواد الغذائية (النيتروجين والفوسفور) حينما يتم تصريف

المياه فى البحيرات أو الخزانات حيث يمنع هذا أو يحد من نمو النباتات المائية وانتشار الطحالب والتى تعمل على تدهور نوعية المياه التى ستستخدم. وهناك هدف آخر وهو إزالة المركبات السامه مثل بعض المعادن الثقيلة والمواد العضوية ذات المناعة والتى ينبغى أن تعامل بوسائل حديثة خاصة اذا كانت المياه سيعاد استخدامها.

كما توجد معايير جودة توضع عادة لتصريف مياه الصرف الصناعية داخل أنظمة الصرف المحلية حتى نضمن أن المعادن الثقيلة أو ملوثات مياه الصرف الأخرى التى تنتج عن النشاط الصناعى لاتصل إلى المستويات التى تضر بالأنابيب وتمنع عمليات المعالجة البيولوجية، وتبقى فى المياه فى تركيزات مرتفعة عن المسموح بها أو تتراكم فى الرواسب وتحد أو حتى تمنع تصريفها أو إعادة استخدامها، ولاشك أن إنشاء مستويات للصرف الصناعى هام جدا حتى نطور البرامج الصناعية قبل المعالجة ونتحكم فى بعض الصرف الصناعى الذى ربما يشكل خطرا بالنسبة لتشغيل مصانع معالجة الصرف الصحى.

ان معظم المؤشرات العامة المستخدمة فى مراقبة الالتزام بمقاييس صرف المياه هى مقدار الاوكسيجين الكيميائى الحيوى والمواد الصلبة المعلقة والاكسيجين المذاب. وكما سبق القول ان مقدار الاوكسيجين الكيميائى الحيوى يعتبر مؤشراً بديلاً يعكس محتوى المادة العضوية المنحله ومستوى المعالجة التى تمت. وتقيس المواد الصلبة المعلقة تركيز المواد الدقيقة فى مياه الصرف ومعظمها ذات طبيعة عضوية. ومستويات الاوكسيجين المذاب هامة خاصة فيما يتعلق بمجارى المياه التى تستخدم فى الصيد لأن المستويات الدنيا مطلوبة للنشاط الطبيعى للأسماك.

ويعتبر تبنى مقاييس للمياه مناسبة لكل حالة شيئاً هاماً عند معالجة مياه الصرف فى الدول النامية. لقد تبنت بعض الدول مقاييس غير رسمية على الإطلاق بينما تبنت دول أخرى مقاييس غير واقعية تطبق فى الدول الصناعية. إن إشكالية وضع مقاييس رشيدة للمياه تظهر بوضوح من خلال مستوى الاوكسيجين المذاب والذى سيحدد فى النهاية المستوى المقبول لمقدار الاوكسيجين الكيميائى الحيوى المطلوب فى المياه.

أولاً: المستوى الأدنى للأوكسيجين المذاب المطلوب ليس ثابتا: إنه يتغير بين ٢-٥ ملليجرام لكل لتر ويعتمد ذلك على أصناف السمك الموجود.

ثانياً: كما يعتمد على درجة الحرارة لأن الأسماك تحتاج لاوكسيجين أكثر فى درجات الحرارة المرتفعة حينما يكون الاوكسيجين أقل ذوبانا فى المياه .

ثالثاً: تكون التركيزات المنخفضة للمعادن الثقيلة سامه للأسماك عند المستويات المنخضة من الاوكسيجين المذاب عند مستويات التشبع. إن القدرة الذاتية للأنهار على التنقية وتخفيف مياه الصرف بواسطة تدفق المياه الطبيعية فى النهر ينبغى أخذها كذلك فى الاعتبار عند وضع مقاييس للصرف. ويصبح تدفق النهر ثابتا حينما يكون النهر منظما بخزان عند أعلى النهر، ولكن فى معظم الأحيان هناك فرق جوهرى بين تدفقات المياه فى ظل الطقس الجاف والطقس الرطب.

الخطوة الرابعة: وضع أهداف واجراءات بديلة لمعالجة المياه قبل الصرف أو إعادة الاستخدام.

يمكن تحديد مراحل المعالجة البديلة بمعرفة نوعية مياه الصرف المتدفقة والنوعية المطلوبة لهذه المياه. وتتضمن النوعيات المتعددة لأساليب المعالجة كلا من الإجراءات التقليدية القديمة التى مازالت مستخدمة إلى جانب إجراءات جديدة ومبتكرة.

ومن المؤكد أن معالجة مياه الصرف مطلوبة بصفة عامة لتجنب أو على الأقل تقليل المخاطر التى تنجم عن صرف مياه الصرف غير المعالجة فى البحر أو البر. وتشمل هذه المخاطر تشوهات جمالية تسببها المواد الصلبة الضخمة والطافية والغازات ذات الروائح الكريهة والتى تتولد نتيجة تفكك المواد العضوية والميكروبات الناقلة للأمراض والتى تمثل مخاطر صحية عامة، كما تشمل نمو نباتات مائية عند مصب المياه المحمله بفضلات غذائية كذلك مركبات سامه للبشر والحيوان أو المحاصيل وتخلق ظروفا سيئة مثل نقص الاوكسيجين.

ومن الأهمية بمكان معالجة مياه الصرف التى يتم التخلص منها فى مجارى مائية تستخدم لمياه الشرب فى داخل المياه التى تستخدم للشرب فى موقع تحت التيار بالنسبة لموقع صرف المياه. ولاتستطيع التكنولوجيا التقليدية لمعالجة مياه الشرب إزالة كل الملوثات العضوية المتبقية فى المياه بعد المعالجة التقليدية لمياه الصرف، وبعد التنقية الذاتية، وبعد مراحل التخفيف بالمياه الطبيعية. وبعض هذه الملوثات ربما يكون له آثار عكسية قصيرة أو طويلة الأجل على صحة الانسان.

وبنفس الأهمية تكون معالجة مياه الصرف الموجهة لرى المحاصيل مثل الخضروات والفواكه والتى يستهلكها الانسان دون طهى. وحتى لو كانت مياه الأنهار أو المحيطات تستخدم فقط فى

الأغراض الترفيهية فإنه ينبغى توفير معالجة كافية لمياه الصرف. والإجراء العام بتصريف مياه الصرف فى البحار أو المحيطات يمكن أن يؤثر سلبا ليس فقط عند استخدام الشواطىء للأغراض الترفيهية ولكن عند صيد الأسماك والتى تستخدم كمصدر بروتينى للانسان والحيوان.

وربما تتطلب حالة مياه الصرف الصناعى أو مياه الصرف المحلى والمشبعة بنسبة مرتفعة جداً من النفايات الصناعية، تحليلا خاصا وتبنى اجراءات معالجة معينة للتخلص من بعض الملوثات. ومع ذلك كانت أساليب المعالجة وكذلك الأهداف فى معظم الأحيان هى نفسها فى كل مكان ولم تتغير إلا قليلا خلال السنوات القليلة الماضية.

الخطوة الخامسة: تحديد كمية ونوعية الرواسب فى كل مرحلة.

ان الرواسب الطينية وهى المنتج النوعى لمعظم عمليات معالجة مياه الصرف ينبغى أن تتحدد نوعيا وكميا فى كل مرحلة من المعالجة. وهناك علاقة قوية بين معالجة السائل ومعالجة الرواسب. ان أفضل مصنع لمعالجة مياه الصرف يشمل كليهما، مما يعنى تقليل كمية الرواسب الناتجة وتقديم كتلة من الرواسب من أفضل نوعية ممكنة بمعنى التركيز (أدنى تركيز للمواد العضوية والناقلة للأمراض) وبمعنى الجفاف (الحد الأقصى من المحتويات الصلبة) كلما أمكن ذلك.

الخطوة السادسة: تحديد معايير لتصريف أو إعادة استخدام الرواسب.

ثمة اهتمام متزايد بأن المعايير الموضوعة لصرف الرواسب بصورة آمنة تعتبر فى نفس أهمية معايير معالجة مياه الصرف. ووضع معايير للرواسب هو تطوير جديد حتى فى الدول الصناعية مثل الولايات المتحدة الأمريكية - وهو نتيجة للحظر الأخير على دفن الرواسب فى المحيط ونتيجة لتزايد الوعى بأن حماية البيئة يمكن تحقيقها فقط من خلال فرض قيود على صرف كل من مياه الصرف والرواسب.

الخطوة السابعة: تحديد إجراءات بديلة لمعالجة وإعادة استخدام الرواسب.

يمكن تحديد اجراءات معالجة بديلة بناء على نوعية وكمية الرواسب الناتجة من المصنع ونوعية كتلة الرواسب التى ستظهر بعد المعالجة. ان كتلة من الرواسب (الرواسب شبه الصلبة) هى ناتج مصنع معالجة الرواسب لأن التجفيف(استخراج المياه من الرواسب) موجود بالطبع فى أى خطة للمعالجة- وبدون التجفيف يصبح نقل الرواسب لمكان الصرف النهائى أو موقع إعادة الاستخدام غير اقتصادى عادة.

الخطوة الثامنة: تحديد أماكن بديلة لمواقع معالجة أو صرف أو إعادة استخدام الرواسب والمياه.

بعد تحديد وجهة محددة لتدفق المياه والرواسب المعالجة (صرف أو إعادة استخدام) والخطوات البديلة التى يجب أخذها فى الاعتبار، ينبغى اختيار مواقع خاصة من أجل اقامة مصانع معالجة المياه ,والرواسب إلى جانب تحديد أماكن الصرف النهائى أو إعادة استخدام كل منهما.

الخطوة التاسعة: تحديد الحاجة إلى دراسات رائدة وبرامج لما قبل المعالجة الصناعية.

لذلك فمن الضرورى تحديد ما إذا كان من المهم القيام بدراسات ميدانية أو معملية لبعض الخطوات التى تتقرر. وتعتبر تلك الدراسات مطلوبة عادة لتقييم العمليات والأجهزة الجديدة والتى مازالت الخبرة فيها نادرة ولكنها واعدة بالنسبة لظروف المشروع إلى جانب تأكيد أو تحديد أداء عملية معينة فى ظل الظروف السائدة فى مناطق المشروع (على سبيل المثال درجة الحرارة).

وفى المدن الكبيرة حيث تساهم الصناعات بكمية كبيرة من مياه الصرف يعتبر فرض برامج ماقبل المعالجة الصناعية شيئاً جوهرياً لنجاح تشغيل أى مصنع للمعالجة. وأهمية مثل هذه البرامج ليست فى حاجة إلى مزيد من التأكيد عليها فى مدن تضم برامج ضخمة لمعالجة مياه الصرف.

وتعتبر العوامل الأساسية لنجاح برنامج ماقبل المعالجة الصناعية كالتالى:

١- نظام للمعلومات ولبيان كمية وخصائص مياه الصرف.

٢- نظام رخصة للصرف الصناعى يضع حدوداً للصرف فى البلاعات والمتطلبات الضرورية لخطة الاستجابة لذلك.

٣- متطلبات إعطاء التقارير الذاتية والتى تتضمن استخدام معامل موثقة.

٤- نظام للتفتيش والمراقبة من قبل السلطات المسئولة عن مياه الصرف.

٥- الجزاءات والغرامات فى حالة عدم الالتزام بالقواعد.

٦- تعريفات لاستخدام أجهزة الصرف مبنية على كل من الكمية المنصرفة ونقل المواد العضوية.

٧- المشاركة الصناعية، على سبيل المثال، من خلال مجلس مشترك لقياس جودة المياه فى كل مراحل البرنامج، بما فى ذلك التصميم، ووضع المعايير والتنفيذ.

٨- بعض أنواع المساعدات المالية والفنية للصناعات خاصة المشروعات المتوسطة والصغيرة.

٩- برنامج تطوير تدريبى ومؤسسى لمساعدة السلطات المسئولة عن مياه الصرف لتهيئة امكانياتها

تجاه هذا المجال الجديد من المسئولية.

١٠- التنسيق الوثيق والواضح مع المنظم البيئى المسئول عن تأمين عدم صرف النفايات الصناعية فى البالوعات إلى جانب التأكد من التصريف السليم للمياه والمواد الصلبة.

الخطوة العاشرة: تقييم جدوى كل بديل واختيار أكثر الخطط جاذبية.

ينبغى أن تخضع البدائل التى تعتبر مناسبة للمشروع لتحليل كامل للجدوى الفنية والاقتصادية. ثم يتم اختيار الخطة الأكثر جاذبية بناء على التصميمات الأولية وتقديرات التكلفة. ويلزم الأخذ فى الاعتبار القيمة الحالية لكل من تكاليف الاستثمار الرأسمالية والتكاليف السنوية الجارية. كما ينبغى مراعاة عوامل هامة أخرى مثل التأثير البيئى للنبات وإشكالية التشغيل وملائمتها للتجهيزات الموجودة.

أساليب معالجة مياه الصرف

بطريقة مبسطة ينبغى اعتبار معالجة مياه الصرف مثل صندوقين يجب تحديد محتويات كل منهما (شكل ١): معالجة المياه أو السائل ومعالجة المنتج الفرعى له وهو المواد الصلبة. وعادة ماتنقسم أساليب معالجة مياه الصرف لفئات أربع طبقا للنظام الذى تتم وتستخدم به ودرجة المعالجة أولية أو ماقبل المعالجة، ثم المعالجة الأولى ثم الثانية وأخيراً الثالثة أو المعالجة المتقدمة.

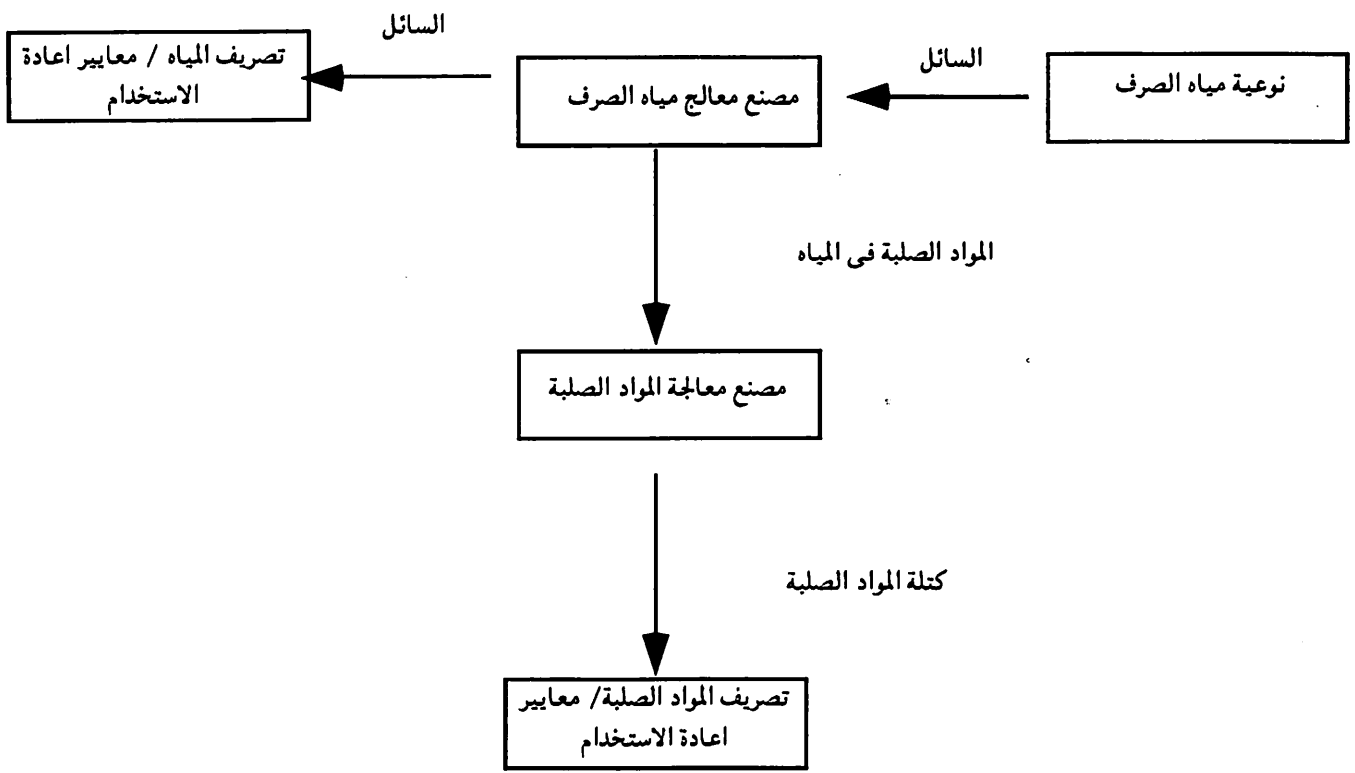
وفى حالة الأساليب التقليدية يكون هذا التقسيم واضحا وكافيا، لأن كل مرحلة من المعالجة تشير إلى عملية أو عمليات تكنولوجية محددة تماماً. فمرحلة ماقبل المعالجة تشير الى العمليات التى يتم فيها التخلص من الأشياء الضخمة وتتضمن عادة - على الأقل - حواجز من الشبكات وغرف لعزل الرمال. وتشمل المرحلة الأولى من المعالجة غالبا خزانات ترسيب حيث تترسب الجزئيات نتيجة لعامل الجاذبية. وتشير المرحلة الثانية من المعالجة لأساليب بيولوجية مثل المواد الصلبة النشطة أو المرشحات التساقطية.

أما المرحلة الثالثة والأخيرة فتشير عموما للأساليب الكيماوية التى تزيل المواد الغذائية أو المركبات السامة أو تقوم بتحسين نوعية السائل الناتج من المرحلة الثانية باكمله.

هذه المصطلحات ربما تصبح مضللة حينما تستخدم عمليات معالجة غير تقليدية. وتتضمن التعديلات الحديثة للأسلوب الأكثر شيوعاً فى المعالجة فى المرحلة الثانية - وهى مرحلة المواد الصلبة

شكل رقم (١)

معالجة مياه الصرف والرواسب الطينية



النشطة- تتضمن إمكانية ازالة النتروجين والفوسفور بواسطة عمليات بيولوجية، بينما الترسيب الكيميائى يمكن استخدامه ليس فقط كمعالجة ثالثة ولكن لتعزيز المعالجة الأولى كذلك أو يستخدم فى نفس الوقت مع المعالجة البيولوجية. فى تلك الحالات ينبغى أن تعكس المصطلحات طبيعة العملية وليس تسلسلها، ولهذا السبب فإنه من الأفضل تصنيف أساليب المعالجة كالتالى: عمليات فيزيائية أو بيولوجية أو كيميائية . أما العمليات الفيزيائية فتشمل الغربلة والخلط والترسيب والترشيح - وتتضمن العمليات البيولوجية كل الإجراءات الخاصة بتنشيط الاوكسيجين وتفريغه بينما تتم المعالجة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. وتغطى العمليات الكيميائية التلبد والتكثيف والتطهير. وسنستعرض فيما بعد بعض عمليات مياه الصرف المبتكرة والتى تطورت أخيراً وكذلك بعض العمليات الطبيعية التقليدية التى تم تكييفها حتى تتواءم مع الاستخدام الحديث.

الترسيب الاولى بمساعدة مواد كيميائية

إن المعالجة الكيميائية لمياه الصرف ليست فكرة جديدة لقد عرف هذا الاسلوب قبل أساليب المعالجة البيولوجية ولكنه فقد شعبيته مع تطور أساليب المعالجة البيولوجية مثل المصافى التى تقطر منها المياه والمواد الصلبة النشطة. وعندما أصبح من الضرورى إزالة الفوسفور فى كثير من مصانع المعالجة استعادت المرحلة الثالثة، وهى الكيميائية، جزءا من شعبيتها السابقة (بعد مرحلة المعالجة البيولوجية). وبعد نجاح عملية الترسيب الكيميائى فى إزالة الفوسفور ادخلت ايضا عمليات الترسيب الأولية الكيميائية - إما لإزالة الفوسفور أو لمجرد المساعدة فى إزالة المواد الصلبة المعلقة وتلبية الحاجة من الاوكسيجين الكيميائى الحيوى- (انظر جدول ١) وقد نفذ كثير من المصانع الأوروبية والامريكية أخيرا عملية الترسيب الأولى بالمساعدة الكيميائية.

جدول رقم (١)
كفاءات الازالة فى عملية الترسيب التقليدية وعملية المعالجة الكيميائية المبدئية

المعلمات	عملية الترسيب التقليدية	عملية الترسيب المعالجة كيميائيا بصفة مبدئية
المواد الصلبة المعلقة	٦٠-٥٠	٩٠-٨٠
الطلب من الاوكسيجين البيوكيميائى	٤٠-٣٠	٨٠-٥٠
الفوسفور	٢٠-١٠	٩٠-٧٠

وقد تم اجراء بحوث هامة فى العقود الأخيرة من هذا القرن لتطوير أساليب بيولوجية لازالة النتيروجين، حينما اتضح أن ازالة النتيروحين بالوسائل الكيميائية مثل فصل الامونيا بعد المعالجة بالأحماض وتغيير الأيون، أو عملية التطهير بالكلور، تعتبر عمليات مكلفة. وكانت هذه الأساليب ناجحة وأدت إلى سلسلة من التعديلات على العملية التقليدية ألنشطة بالمواد الصلبة والتى تشمل إما تحويلها الى نثيرات وازالة مركبات النشادر أو باستخدام هذه العملية مع العملية الأخرى وهى اعادتها لمركبات النشادر.

ومع أن المواد الصلبة النشطة التقليدية تزيل فقط المواد التى تحتاج للاوكسيجين المكربن (مواد عضوية) ودمج التحويل إلى نترات فى العملية (إما فى نفس الحوض أو فى حوض منفصل) فيمكن التخلص من المواد التى لاتحتاج لاوكسيجين الكربون مثل الامونيا والنتروجين العضوى. ويتم إزالة نسبة ضئيلة من الأمونيا بينما تتحول الامونيا المتبقية فى مركب النتروجين المؤكسد. وتصبح كمية الطاقة المستهلكة وحجم البرميل المطلوب أعلى فى عملية المواد الصلبة النشطة التى تتحول إلى نترات اكثر منها فى العمليات التقليدية. وعملية التحويل إلى نترات ثم إعادتها لمركبات النشادر هى الأكثر تطوراً وتتضمن ليس فقط اكسدة الامونيا وتحويلها لنترات ولكنها تشمل كذلك التحويل البيولوجى للنترات إلى غاز النتروجين الذى يتسرب فى الجو.

ازالة النتروجين والفوسفور الموحد معا بواسطة الأساليب البيولوجية

ربما تعتبر عملية الإزالة المتزامنة للنتروجين والفوسفور هى أكثر التعديلات أهمية لعملية المواد الصلبة النشطة. وهذا التعديل قامت به بنجاح عدة مصانع حيث تم التخلص من الفوسفور بواسطة البكتريا حيث يجرى التحويل البيولوجى للنترات إلى مركبات النشادر. وحيث تزال المواد العضوية الغنية بالكربون. وثمة عدة عمليات تالية لهذا الأسلوب وبدائل كثيرة، وإحداها استخدمت فى مصنع المعالجة وإعادة استخدام مياه الصرف فى تل أبيب. وتظهر نتائج هذه العمليات المعدلة بمقارنتها بنتائج العمليات التقليدية فى جدول (٢).

العمليات الطبيعية لمعالجة مياه الصرف

تعتبر معظم عمليات معالجة مياه الصرف - فى واقع الأمر - تطورات طبيعية أدخلها الانسان على عمليات المعالجة. ومن بين الأمثلة الشائعة فى هذا الصدد ترسيب الجسيمات المعلقة بفعل

جدول رقم (٢)

نوعيات السائل الناتج من العمليات التقليدية والعمليات المعدله النشطة بالمواد الصلبة

(التركيز فى المليجرام للتر الواحد)

المعلمات	العمليات التقليدية	عملية ازالة المواد الغذائية المعالجة بيولوجيا
المواد الصلبة المعلقة	٣٠-٢٠	١٥-١٠
الطلب من الاوكسيجين البيوكيميائى	٢٥-٢٠	١٥-١٠
الطلب من الاوكسيجين الكيميائى	١٢٠-٨٠	٦٠-٤٠
اجمالى النيتروجين	٥٠-٣٠	١٠-٣
الفوسفور	٢٠-١٠	٥-١

الجاذبية والتآكل الحيوى للمواد العضوية بفعل الكائنات الدقيقة.

ويحدث ترسيب للجزيئات بالجاذبية فى جميع مؤسسات معالجة مياه الصرف تقريبا. وفى غرف الكشط يتم - إزالة الرمال والطمى والجسيمات العضوية التى تترسب مثل الرمال. وفى أحواض الترسيب الأولى يكون الترسيب نتيجة الجاذبية بمساعدة التلبد اللاهوائى الطبيعى هو الآلية الرئيسية التى تزيل المواد الدقيقة. وفى أحواض الترسيب الثانية يتم فصل وترسيب الكتل المتلبدة العضوية والتى تكونت فى خزان التهوية. وفى عمليات الاندفاع الكيميائية يتم إزالة الكتلة المتلبدة الكيميائية التى تكونت أثناء التجلط والتلبد. وفى كل هذه الأجهزة وكذلك فى مكثفات المواد الصلبة يتم تركيز المواد الجامدة وفصل المياه منها. وتهدف كل عمليات الترسيب إلى استخراج مياه نقية فى نفس الوقت ومواد صلبة مركزة. وقد انبثقت غرف كشط الرمال والترسيب الأولى والترسيب المبدئى المعالج كيميائيا من العمليات الطبيعية لتلبد الجسيمات الدقيقة ومن الرواسب الناتجة عن الجاذبية أو الثقل النوعى.

وفى كل أساليب المعالجة البيولوجية فإن الكائنات الدقيقة الهوائية أو اللاهوائية تقوم بعملية انحلال للمواد العضوية الموجودة فى مياه الصرف والرواسب الطينية وقد تطورت عملية الرواسب النشطة بناء على ملاحظات التنقية الذاتية فى الأنهار حيث يحدث الانحلال البكتيرى الهوائى

باستخدام مصادر طبيعية من الاوكسيجين. وقد تم تطوير امتصاص الرواسب اللاهوائية بناء على ملاحظات النشاط البكتيرى اللاهوائى فى ترسيبات النهر وقد نشأت الفلاتر المنسكبة من صرف مياه المجارى فى البر والتى كانت شائعة فى نهاية القرن الماضى. أما عملية التطهير فقد أدخلت بعد ملاحظة التآكل الطبيعى للكائنات التى تنشر الأمراض.

ولكن إلى جانب عمليات معالجة مياه الصرف الحديثة والمتطورة الى حد كبير والتى قام بها الانسان فى العقود الأخيرة، مازالت بعض أنظمة المعالجة الطبيعية القديمة تستخدم بنجاح وينبغى أخذها فى الاعتبار كبدائل. ومع ذلك فإن معظم هذه النظم الطبيعية تتطلب مساحات واسعة من الأراضى مما قد يجعل إمكانية تطبيقها فقط على المدن الصغيرة والمتوسطة.

وإلى جانب امتصاص التربة والتى تعتبر العملية الطبيعية المستخدمة فى أنظمة الصرف على الطبيعة (البالوعات وخزانات المواد الملوثة) ثمة ثلاث مجموعات رئيسية من أنظمة معالجة مياه الصرف الطبيعية، برك الترسيخ، أنظمة المعالجة الأرضية وأنظمة المعالجة المائية. ان برك الترسيخ أو الأكسدة تستخدم بتوسع فى امريكا اللاتينية وفى اماكن اخرى. وبسبب تعدد مجموعات البرك المستخدمة يصبح التصنيف صعبا. ومن حيث المبدأ يمكن أن تكون البرك الطبيعية (التى لايتخللها الهواء) إما هوائية أو لا هوائية أو تعيش بالنظامين. أما البرك التى يتخللها الهواء - وهى برك هوائية طورها الانسان - فهى تقلل من مساحة الأراضى المطلوبة عن طريق إضافة تهوية صناعية.

وتتميز البرك عن عمليات المعالجة الأخرى بقدرتها على إزالة الجراثيم دون الحاجة لعملية التطهير بالكلور إذا كان وقت احتجاز المياه فى البرك كافيا. وتشمل المزايا الأخرى الاستثمارات القليلة التى تحتاجها وكذلك تكاليف التشغيل المحدودة مع سهولة التشغيل والصيانة. أما المشكلة الرئيسية فهى الأراضى المتسعة التى تحتاجها والتى تجعلها أقل مناسبة للمدن الكبيرة عن المدن الصغيرة والمتوسطة. ومن بين المشاكل الرئيسية التى تواجه بعض مدن دول امريكا اللاتينية الاختيار بين مصنع لمعالجة مياه الصرف التقليدية من نوع الرواسب النشطة والبحيرات الضحلة، والتى تعتبر تكاليف بنائها زهيدة ولكنها تحتاج لمساحات أراضى واسعة قد تكون غير متوفرة أو تكون مرتفعة التكلفة. وهناك نظام جديد نسبيا من البرك ذات الترسيخ الطبيعى يستخدم بكثرة فى اسرائيل وفى أسبانيا وكاليفورينا وسانتياجو وشيلى، وهو نظام المعالجة باسلوب الخزان العميق والتى تشمل بركا عميقة للترسيخ (٨-١٢ مترا فى العمق) وتستخدم للتخزين الموسمى وكذلك لتنقية المياه.

وتنقسم اساليب معالجة الأراضى عادة إلى ثلاث فئات . الأساليب ذات المعدل البطىء وهى تتعلق بالمياه المستخدمة فى رى المحاصيل أو الخضر وأساليب المعالجة سريعة التنقية أو معالجة مياه التربة الصخرية والتى تنطبق على المياه الجوفية المحملة بمياه الصرف عبر أحواض منتشرة، ثم أخيراً المياه التى تسير فوق الأراضى وتقوم بنشر مياه الصرف على الأراضى المنحدرة المغطاه بالخضروات ثم جمعها فى قاع المنحدر كمياه الأمطار السطحية.

وتشمل الأنظمة المائية عادة بركا مياهها محملة بأعشاب ضارة لديها القدرة على امتصاص المواد الغذائية والمعادن الثقيلة وملوثات صرف أخرى والأراضى الرطبة بطبيعتها أو بصنع الانسان.

معالجة الرواسب الطينية

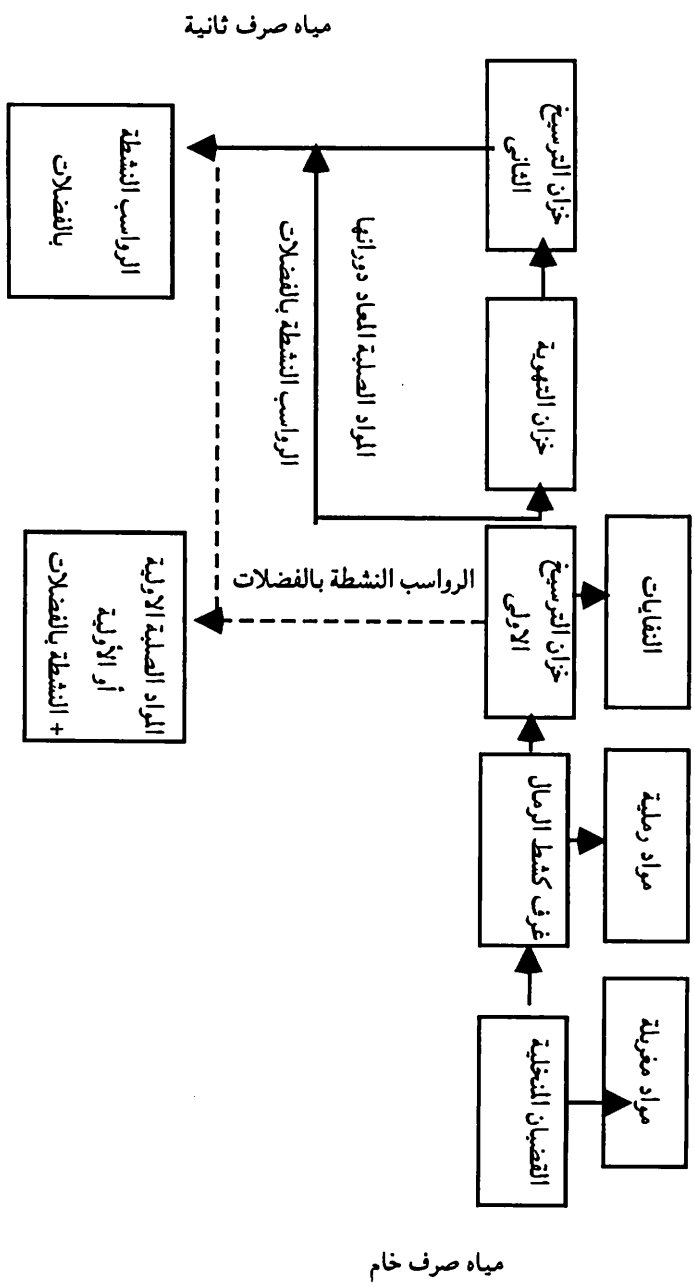
من أكثر الأشياء التى لايلتفت إليها عند معالجة مياه الصرف هى معالجة وصرف الناتج الفرعى الرئيسى وهو الرواسب الطينية. هذه الرواسب التى تشكل نسبة ١٪ من مياه الصرف تمثل ٥٠٪ من تكلفة المعالجة و ٩٠٪ من المشاكل اليومية التى يواجهها القائمون على تشغيل المصانع. وفى الواقع لاتعتبر أى معالجة لمياه الصرف كاملة بدون معالجة كافية وصرف بيئى آمن لمختلف أنواع الرواسب الطينية الناتجة.

وتولد المعالجة المبدئية مجرد كمية ضئيلة من المخلفات والتى تتضمن ما تم غربلته بواسطة القضبان المنخلية وبقايا الرواسب الرملية التى ازيلت من غرف كشط الرمال. وتولد المعالجة المبدئية كميات كبيرة من الرواسب الطينية الأولية والتى تم إزالتها على فترات دورية من قاع أحواض الترسيب إلى جانب كميات ضئيلة من الزيوت والشحوم والصمغ والنفايات التى تم استخلاصها من أعلى أحواض الترسيب الأولى. وتولد المعالجة البيولوجية بواسطة عملية الرواسب الطينية النشطة كميات كبيرة من الرواسب الطينية البيولوجية والتى ينبغى التخلص منها أثناء العملية بصفة مستمرة.

ويلزم التفرقة بين الرواسب الطينية الرئيسية التى تنتج بكميات كبيرة والمخلفات البسيطة التى تنتج بكميات صغيرة نسبيا (شكل ٢) وغالبا ما يتم صرف المخلفات البسيطة فى الأرض المجاورة للمصنع أو يتم نقلها إلى موقع تصريف النفايات التابع للبلدية.

إن الرواسب الطينية المبدئية والنشطة بالنفايات وفيرة لأنها تحتوى بصفة خاصة على كميات

شكل (٢)
المواد الصلبة والمخلفات الصغيرة فى المعالجة التقليدية



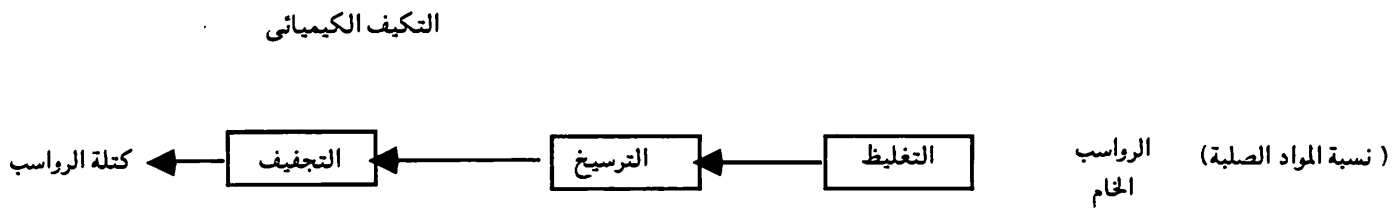
كبيرة من المياه بالإضافة للمواد الصلبة التى ازيلت أثناء عملية المعالجة. وتبلغ نسبة التركيز الفعلى للمواد الصلبة فى الرواسب الطينية المبدئية بين ٤-٨٪ . وحينما تعود الرواسب الطينية النشطة بالنفايات لمدخل المصنع وتستقر مع الرواسب الطينية المبدئية فى خزانات الترسيب الأولى، فإن تركيز المواد الصلبة فى الرواسب الطينية المشتركة يكون أقل (٣-٦٪) أما تركيز المواد الصلبة فى الرواسب الطينية النشطة بالنفايات فهو أقل انخفاضا اذ تبلغ نسبته بين ٠,٥٪-١,٥٪ وحينما يستبعد الترسيب الأولى من عملية الرواسب الطينية النشطة (كما فى أنظمة الهوائيات الممتدة) فإن تركيز الرواسب الطينية النشطة للنفايات يكون أعلى قليلا بين ٠,٨٪-٢٪ - وتوضح هذه الأرقام لماذا يكون الهدف الرئيسى لمعالجة الرواسب الطينية هو تركيزها أى خفض المكون المائى وكميته. وتشمل كل مصانع المعالجة تقريبا أجهزة تغليظ وتجفيف للمياه لتحقيق هذا الهدف. ولاشك أن مضاعفة تركيز المواد الصلبة المترسبة من ١ إلى ٢٪ مثلا أو من ٣-٦٪ سينخفض مقدار الرواسب إلى النصف.

وإلى جانب تغليظ وتجفيف المياه، تشمل عملية معالجة الرواسب الطينية كذلك الترسيخ والذى يحطم المواد العضوية الطائرة حتى يخفض إلى الحد الأدنى تصاعد الروائح الكريهة ويقلل من عدد الجراثيم. وعادة ماتتم عملية الترسيخ بالوسائل البيولوجية (استيعاب لاهوائى أو اكسدة هوائية) أو بالاساليب الكيميائية مثل ترسيخ الكالسيوم. كما تخفض عملية الترسيخ كذلك حجم الرواسب الطينية لأن بعض المواد الصلبة العضوية يتم تكسيرها أثناء العملية.

وبينما يسبق التغليظ الترسيخ، فعادة مايتبع تجفيف المياه الترسيخ (شكل ٣) وعادة مايتم التغليظ عن طريق الجاذبية أو تعويم هواء مذاب. ويعتبر التغليظ مناسبا للرواسب الطينية الأولى بينما تعويم الهواء المذاب ربما يكون كفئا للرواسب الطينية النشطة بالنفايات والتى تكون أقل تركيزاً وتتكون من جزيئات أدق من السهل تعويمها اكثر من ترسيبها بواسطة الجاذبية. وعلى سبيل المثال يمكن أن يزيد تغليظ الرواسب الطينية المنشطة بالنفايات تركيز المواد الصلبة من ٠,٥-١,٥٪ إلى ٢-٣٪.

ويمكن أن تتم عملية التجفيف بالأساليب الطبيعية أو الميكانيكية. وتشمل الاساليب الطبيعية تجفيف الرواسب الطينية فى قاع الأنهار والبحيرات الضحلة. ومن بين أنواع الأجهزة الميكانيكية الشائعة المستخدمة فى التجفيف الفلاتر المجوفة وفلاتر الضغط وفلاتر الكبس ذات السيور وأجهزة

شكل رقم (٣)
خطة معالجة الرواسب الطينية



نوع الرواسب				
الاولى	٤-٨	٦-١٠	٨-١٢	١٨-٤٠
النشطة بالفضلات	٥ -١٠٥	٢-٣	٤-٥	١٥-٢٠
المجمعة	٣-٦	٤-٧	٥-١٠	١٥-٣٠

الفصل. وينبغى أن يساعد التجفيف الميكانيكى التكييف الكيميائى للرواسب الطينية قبل التجفيف. أما الكيماويات المستخدمة لتحسين التجفيف فتتضمن أملاح الحديد مثل كلورايد الحديد، والكالسيوم. وقد يرفع تجفيف الرواسب الطينية من خلال التكييف الكيميائى تركيز المواد الصلبة إلى ٣٥-٤٠٪.

أما تسخين الرواسب الطينية والذى يعتبر عملية ترسيخ وعملية تكييف بديلة تسبق التجفيف فنادرا مايستخدم لأن تكلفته غالبا ماتكون مرتفعة جدا.

إعادة استخدام مياه الصرف

فى المناطق التى تكون فيها المياه الطبيعية نادرة فإن مياه صرف البلديات تعتبر مصدراً غير تقليدى من المياه يمكن استخدامه إما محليا أو لأغراض معينة أو كجزء مكمل لنظام الامداد بالمياه الاقليمى. وحتى فى المناطق التى تكون فيها المياه من المصادر الطبيعية غزيرة، فإن اعادة استخدام مياه الصرف يمكن أن تصبح الوسيلة الأكثر كفاءة للصرف من وجهة النظر البيئية.

وحينما يعاد استخدام المياه، فإن بيعها يمكن أن يعوض التكلفة المرتفعة نسبيا لمعالجة مياه الصرف. ومع ذلك فإن المشاكل الادارية والقانونية ربما تعرقل بيع المياه للمستهلكين. وتحدث التفرقة عادة بين إعادة الاستخدام الطارىء والذى يتم حينما تصرف مياه الصرف فى الأنهار والبحيرات التى يسحب منها للرى أو لمياه الشرب وبين إعادة الاستخدام المخطط والمتعمد. وهناك اختلاف آخر أكثر أهمية بين اعادة الاستخدام المباشر وغير المباشر. ففى اعادة الاستخدام المباشر أو مايطلق عليه أيضا من أنبوب لانبوب، فإن المياه الخارجة من مصنع معالجة مياه الصرف تستخدم مباشرة للرى أو أى سبب آخر . أما فى اعادة الاستخدام غير المباشر فإن المياه تفرغ أولا فى مجرى للمياه الطبيعية (نهر، بحيرة، خزان جوفى) ثم يعاد استخدامها بعد أن تمر من خلال تنقية ذاتية أو تجفيف للمحلول بالمياه الطبيعية.

وتعتبر إعادة استخدام المياه لرى المحاصيل الزراعية والمراعى أو النباتات الطبيعية من أكثر الأشياء جاذبية وشيوعا. وأهم الأسباب كالتالى:

- حيثما تحتاج المحاصيل للرى تتجه المياه إلى الندرة، والمياه المعالجة يمكن أن تكون بديلا للمياه العذبة.

- يحتاج الرى لكميات ضخمة من المياه والتى تستخدم مرة واحدة فقط مما يمثل نسبة ضخمة من احتياجات المياه الكلية فى الأماكن الجافة.

- تستفيد الزراعة من كل من المياه والمواد العضوية بالاضافة إلى المواد الغذائية فى مياه الصرف.

- إن نوعية المياه التى يحتاجها الرى تعتبر مرنة نسبيا حيث تعتمد على المحاصيل التى تروى، وظروف التربة وأساليب الرى وتقنيات الحصاد.

وينبغى التمييز بين صنفين من الرى بالمياه المعالجة: الرى المقيد وغير المقيد. ويقصد بالرى المقيد استخدام مياه من نوعية منخفضة فى أماكن محدودة ولمحاصيل معينة فقط. وتفرض القيود على نوعية التربة التى يمكن ريها مثل قرب المنطقة المروية من خزان المياه النقية، إسلوب الرى وتكنيك حصاد المحصول، ومعدل استخدام السماد. اما الرى غير المقيد فيعنى استخدام مياه من نوعية عالية، بدلا من مياه عذبه ورى أى محصول على أى نوع من التربة أى بدون أية قيود.

والرى المقيد بسيط وتكلفته منخفضة ولكنه يمكن تطبيقه بصفة عامة على كميات ضئيلة فقط من مياه الصرف والتى يمكن استخدامها فى مواقع معينة، حيث تكون المناطق والمحاصيل محددة جيداً وغير قابلة للتغيير. والقيود التى تفرض على المحصول ينبغى أن تنفذ وتراقب - ويجب أن يتم تدريب المزارعين والعمال الزراعيين على كيفية التعامل مع المياه منخفضة النوعية حتى تقلل بقدر المستطاع من المخاطر الصحية. والقليل من المزارعين لديهم الاستعداد لقبول مياه ذات نوعية منخفضة فى مقابل قدر متساوى من المياه العذبة. ومع ذلك فبالنسبة للرى غير المقيد لايشكل ملامسة المياه ولاحتى الشرب منها عرضا أى مخاطر صحية، والمياه مرتفعة النوعية ينبغى أن تكون مقبولة لدى المزارعين.

إن الرى بمياه الصرف الصحى آمن ويمارس فى الكثير من بلدان العالم، سواء نامية أو متقدمة. ولكن فى نفس الوقت فان الممارسات الخطرة للرى المباشر وغير المباشر باستخدام مياه صرف غير معالجة أيضا منتشرة فى كثير من مدن المنطقة مثل ليماو مكسيكوسيتى وسنتياجو.

ومن الممكن كذلك اعادة استخدام هذه المياه للاحتياجات الصناعية الثانوية مثل تبريد المياه والمياه الترفيهية فى استخدامها فى حمامات السباحة والاستخدامات المحلية غير مياه الشرب مثل

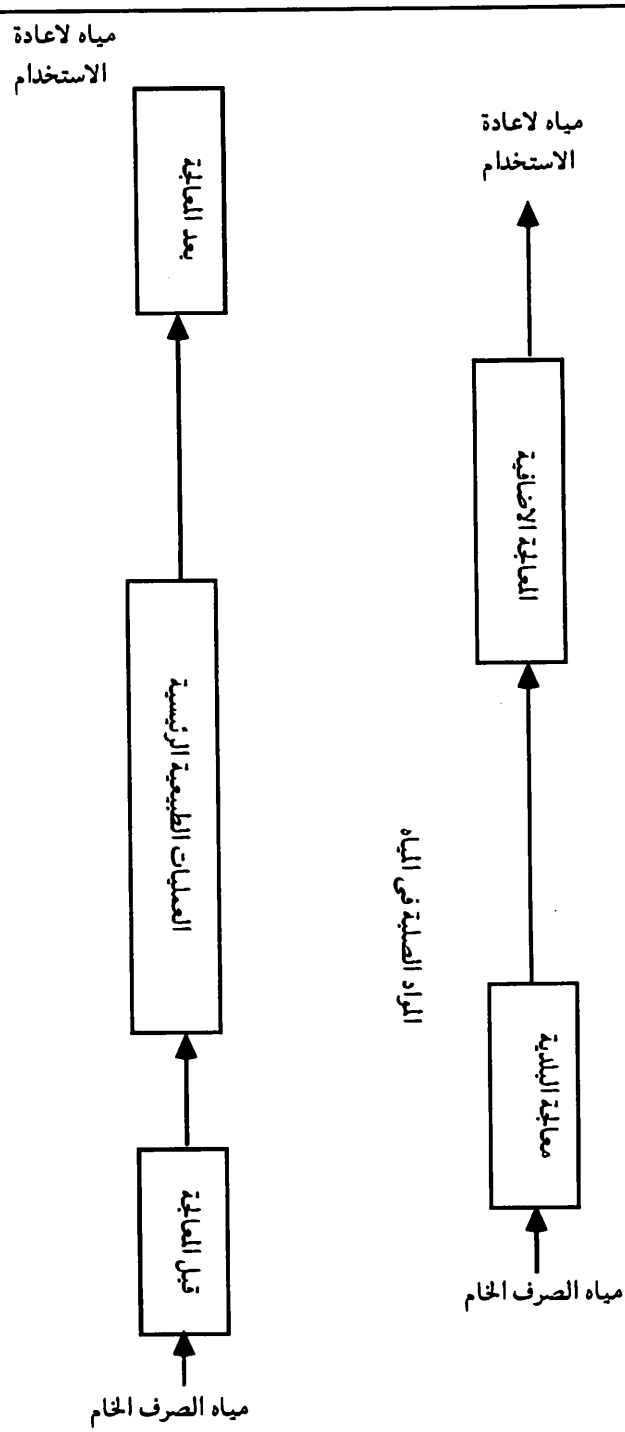
البساتين ورى ملاعب الجولف واستخدامات المياه المنزلية للمراحيض. وتشمل استخدامات المياه غير العذبة والتى ادخلت أحيراً فى بعض مناطق معينة فى جنوب كاليفورينا، انشاء شبكة للامداد بالمياه والتى قد تكون اقتصادية للمناطق الحضرية الجديدة التى تقل فيها المياه.

وتعتبر إعادة استخدام مياه الصرف للشرب ذات جدوى كذلك حيث يمكن لمجموعة من عمليات المعالجة المتقدمة أن تسفر عن انتاج نوعية مياه شرب من المياه المعاد استخدامها. ومع ذلك فمثل إعادة الاستخدام هذا يعتبر ذا جدوى اقتصادية فقط فى حالات الندرة الشديدة فى المياه أو فى حالات الطوارىء. علاوة على ذلك، لاتستطيع أساليب التحاليل المتاحة لاكتشاف وقياس المركبات العضوية فى المياه تحديد ما إذا كان الكربون العضوى المتبقى فى المنتج النهائى يمثل خطورة فى المدى الطويل على صحة الانسان.

معالجة مياه الصرف من أجل إعادة استخدامها

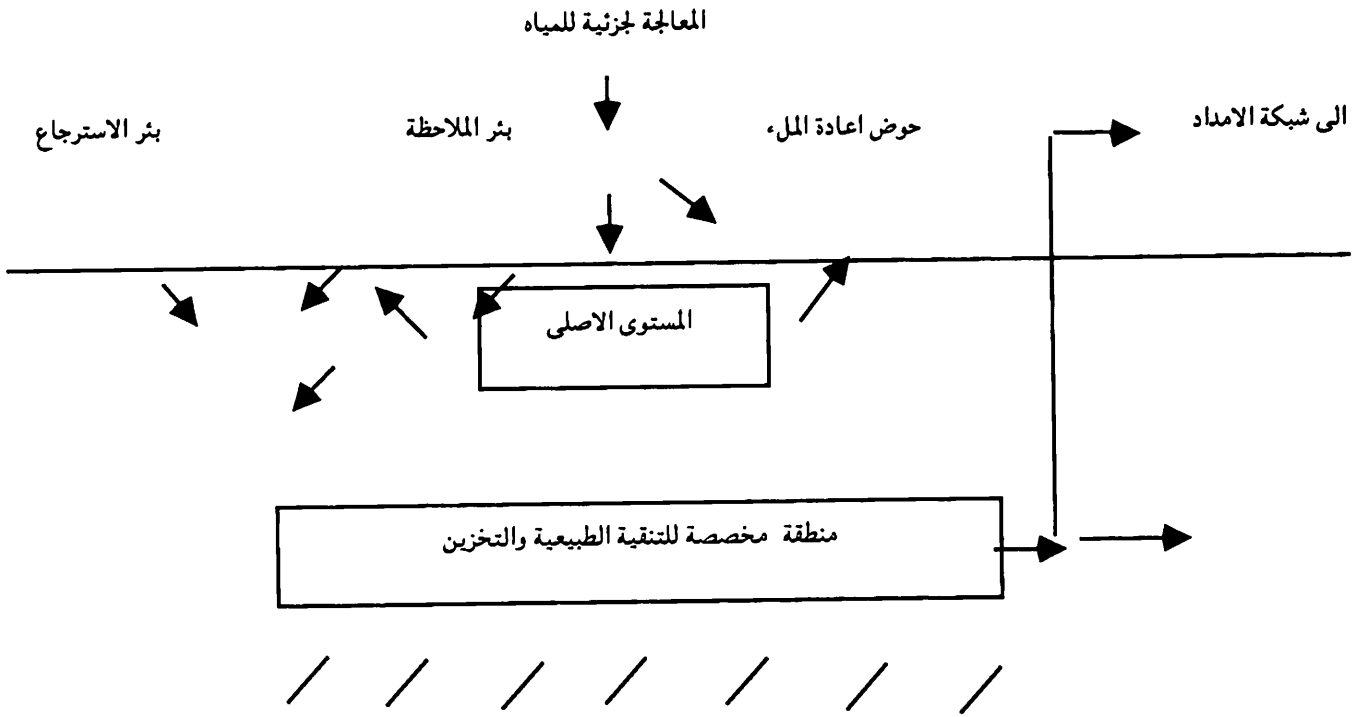
لم يتم اكتشاف إلا القليل من الأساليب المعروفة لتحقيق أهداف إعادة استخدام المياه. واكثر الاساليب شيوعا والتى تجمع بين العمليات الطبيعية واليدوية تم تطويرها طبقا لمتطلبات الحد من التلوث فى الأنهار والبحيرات. ويمكن التعامل مع معالجة مياه الصرف لاعادة الاستخدام من خلال اسلوبين (شكل ٤). حينما تكون المعالجة التقليدية لمياه الصرف موجودة بالفعل، يمكن إضافة عمليات معالجة ثلاثية للوصول إلى نوعية أفضل من المياه. وتتضمن العمليات المستخدمة فى هذه الحالات الاندفاع الكيميائى بالشبه والبوليمر إلى جانب الرمال أو التنقية المزدوجة والتنقية المباشرة فى حالة المياه ذات الكثافة المنخفضة والمعالجة بالكالسيوم والمعالجة بالمياه الجوفية.

وإذا ما تم الأخذ فى الاعتبار اعادة استخدام المياه قبل معالجة أى مياه صرف، يمكن وضع خطط معينة لتحقيق الغرض المحدد الذى توجه من أجله المياه. وفى معظم الحالات، يعتبر هذا الاتجاه الأكثر كفاءة واقتصاديا. ويمكن تبنى اكثر عمليات المعالجة ملائمة لاعادة الاستخدام، بما فى ذلك المعالجة الطبيعية، كعملية جذرية يسبقها الحد الأدنى من عمليات قبل المعالجة وتتلوها عمليات بعد المعالجة طبقا للاحتياجات واعادة الاستخدام النهائى للمياه. وقد طور ونفذ اسلوبان لمثل أنظمة المعالجة هذه فى اسرائيل وتم الاشارة لهما فى شكل (٥) وشكل (٦).

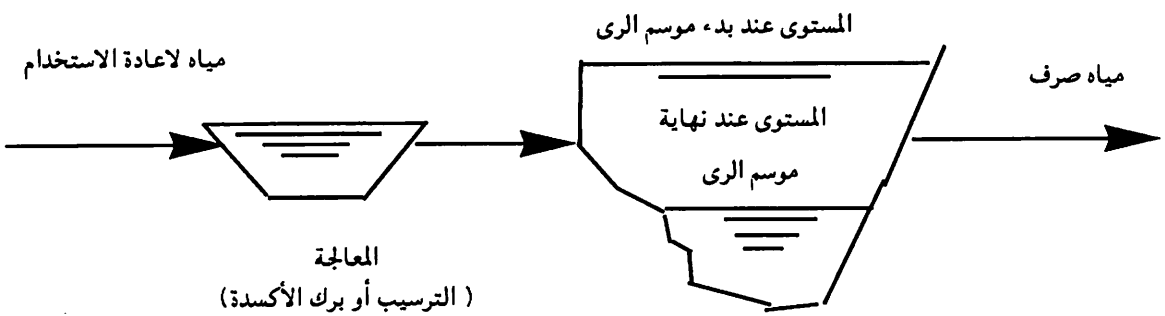


شكل رقم (٤)
معالجة مياه الصرف لاعادة استخدامها

شكل رقم (٥)
خطة معالجة المياه الجوفية



شكل رقم (٦)
خطة خزان المعالجة المعمق



المعالجة بصخور التربة المائية

هذا الاسلوب هو نظام خاص يشمل إعادة الملء بالمياه الجوفية من خلال نشر احواض من المياه المعالجة جزئيا والتى تجرى رأسيا خلال المنطقة غير المشبعة حتى تصل للصخور المائية فى التربة ثم تتدفق متسارعة فى تلك الصخور وداخل حلقة من الآبار المستردة التى تحيط بأحواض اعادة الملء والمصممه لضخ المياه النقية ذات النوعية المرتفعة من الصخور المائية. وكما يعبر اسمها يحدث تأثير التنقية بواسطة خليط من عمليات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية تحدث فى التربة والصخور المائية. وفى بداية العملية تقوم الآبار بضخ المياه الجوفية الصافية الموجودة فى الصخور المائية. وفيما بعد تقوم بضخ خليط من المياه الجوفية الصافية وكميات متزايدة من مياه الصرف المعاد ملؤها. وفى مرحلة الثبات تتولى الآبار ضخ كميات كبيرة من مياه الصرف التى اعيد ملؤها من الحوض الداخلى حيث يكون منحدر التدفق للمياه الجوفية أعلى، ومجرد كميات ضئيلة من المياه الجوفية الصافية الآتية من الحوض الخارجى.

واذا كانت آبار الاسترداد متسعة بما يكفى فإن أجهزة اعادة الملء والاسترداد يمكن تشغيلها حتى تنحصر المياه المعاد استردادها داخل أحواض المياه الجوفية والتى تقع بين منطقة اعادة الملء وآبار الاسترداد. هذه المنطقة الجوفية تخصص لمعالجة وتخزين المياه وتمثل مجرد نسبة ضئيلة من الصخور المائية الاقليمية. اما حوض المياه الجوفية المتبقى فلا يتأثر ويظل يستخدم للمياه النقية. والمياه المستخلصة والتى يمكن اكتشافها ومراقبتها من خلال آبار الرصد تعتبر من نوعية جيدة جداً ومناسبة لاستخدامات متعددة بما فى ذلك الرى غير المقيد. ولاشك أن الشرب العرضى من المياه المستخلصة لن ينطوى على أية مخاطر صحية بسبب نوعيتها الميكروبيولوجية العالية.

ولكى تتحقق قدرة تنقية وترشيح مثلى ينبغى أن تعمل أحواض اعادة الملء بصورة متقطعة أى أن تتبادل فترات الإفاضة مع فترات جفاف كافية. ان الفيض المستمر للأحواض سيعمل بسرعة على خفض معدلات التسريب ويحتاج للمزيد والمزيد من الأراضى. كما أنه سيتسبب فى حدوث ظروف لاهوائية تحدث فى الخزان الجوفى، والتى ستؤثر سلبا على قدرة هذا الاسلوب على التنقية. هذا النظام ظل يعمل بنجاح منذ ١٩٧٧ فى تل ابيب فى المشروع الكبير لإعادة استخدام المياه(delovitch 1984) وهو نظام مناسب فى المناطق التى تكون فيها ظروف التربة والمياه الجوفية مناسبة لإعادة الملء وحيث تكون مساحات كافية من الأراضى متاحة لأحواض إعادة الملء.

والكثير من سمات نظام معالجة الصخور المائية بالتربة شائعة ومعروفة عن النظم الأخرى، وعادة مايشار اليها على انها الأسرع فى التسريب. وأكثر هذه النظم شيوعا وتشابها تم تجربتها ونفذت فى أريزونا، حيث توجد احواض اعادة ملء المياه فى صفين متوازيين على طول ضفة النهر وتم حفر آبار الاسترجاع فى قاع النهر. وفى نظم أخرى حيث تكون المياه الجوفية ضحلة يتم تجميع المياه بواسطة مصارف سفلى - وفى المانيا وهولندا تستخدم الكثير من المدن مياه أنهار ملوثة بعد ترشيحها عند منحدر النهر وهو مفهوم شبيه بمعالجة الصخور المائية بالتربة. وعادة ماتجرى معالجة متقدمة للمياه للحصول على مياه شرب وذلك بعد ترشيحها عند المنحدر.

المعالجة من خلال الخزان العميق

من أهم مكونات أى خطة رى تعمل بمياه الصرف المعالجة هو الخزان الموسمى والذى تكون الحاجة إليه من أجل عمل توازن الإنتاج الفعلى المستديم للمياه مع التقلبات فى الطلب على مياه الرى والتى تعتمد على المناخ الى جانب نماذج المحاصيل - لقد بنيت الخزانات العميقة فى الاصل فى اسرائيل لتخزين المياه المستخدمة لإعادة استخدامها لرى القطن أثناء أشهر الذروة الثلاثة من موسم الصيف. واكتشف بعد ذلك ان نوعية المياه المستعملة بعد عدة أشهر من التخزين تعتبر أفضل كثيراً من نوعية المياه الداخلة للخزان، خاصة فيما يتعلق بالمحتويات العضوية وعدد الجراثيم المسببة للأمراض.

ومنذ ذلك الحين، تم تطوير معالجة الخزان العميق كخطة جديدة وطبقت بنجاح فى المشروعات الصغيرة والمتوسطة التى تروى بمياه مستخدمة. ويكون الخزان عادة ممتلئا فى بداية موسم الرى وخاليا فى نهايته. ويتراوح عمق الخزان بين ٨-١٢ مترا - ومعظم الأوقات يكون الخزان عبارة عن طبقات متراصة حيث يمثل معظم حجمه كفاعل لاهوائى اما الطبقة العليا فقط من الخزان فتكون منطقة هوائية وتستخرج منها المياه النهائية. ويكون الخزان مختلطا بصورة كلية فقط أثناء فصل الشتاء أو الفصول الانتقالية.

وينبغى تحديد المعالجة المبدئية المطلوبة لمياه الصرف قبل تخزينها فى الخزان وكذلك الثقل العضوى على الخزان وذلك بصورة دقيقة حتى نتفادى خلق ظروف لاهوائية على حجم الخزان كله, الأمر الذى سيؤدى إلى خروج مياه منخفضة النوعية وبروائح كريهه وقد تنتشر إلى مسافات بعيدة عن المصنع.

اعادة استخدام الرواسب الطينية

كانت معالجة وتصريف الرواسب الطينية دائما أكثر المظاهر المهملة عند معالجة مياه الصرف - وحتى وقت قريب كانت المدن التى تقع بالقرب من المحيط فى الدول المتقدمة والنامية على السواء، تصرف الرواسب الطينية فى البحر بمصبات بحرية كافية بشكل أو بآخر. وفى المدن الداخلية فى الدول النامية عادة ماتصرف الرواسب الطينية فى البحيرات الضحلة أو المستنقعات. وتتم معالجة محدودة لهذه الرواسب قبل الصرف، تتضمن غالبا التكثيف بواسطة الجاذبية وتجفيف المياه الطبيعية فقط فى الأماكن الجافة (حيث تكون ظروف الطقس مناسبة أكثر).

ومع ذلك، وتماما مثل مياه الصرف السائلة، من الممكن معالجة وإعادة استخدام الرواسب الطينية لأغراض متعددة، دون مخاطر صحية على الانسان أو البيئة. وعملية الهضم اللاهوائى للرواسب، وهى اسلوب شائع لترسيخ الرواسب، يمكن أن تولد غاز الميثان الذى يستخدم لانتاج الحرارة أو القوة المحركة. وعملية الهضم اللاهوائى هذه مناسبة خاصة فى الأجواء الحارة وللرواسب الأولية ولكن يمكن استخدامها كذلك للرواسب الأولية والنشطة بالمخلفات.

واستخدام الرواسب فى الزراعة أو الغابات وهو يماثل استخدام مياه الصرف للرى، يعتبر بديلا ذا جدوى لعمليات الصرف وينبغى أخذه فى الاعتبار. وبسبب محتوياته العالية من المواد العضوية والغذائية، تعتبر الرواسب الطينية بصفة خاصة مناسبة لرى الأراضى الضعيفة مثل الأراضى ذات الملوحة أو القلوية العالية وحينما تستخدم الرواسب الطينية فى الزراعة يركز الاهتمام على الجراثيم والمعادن الثقيلة. ولتقليل خطر التلوث بالميكروبات بالنسبة للانتاج الزراعى، ينبغى إزالة التلوث الموجود بالرواسب. وفى هذا الصدد يجب اتباع عدة ارشادات لسلامة المياه. ان مراقبة تصريف المخلفات الصناعية هام للغاية من أجل خفض مستوى المعادن الثقيلة والمواد السامة الأخرى والتى ربما تفسد استخدام الرواسب فى الأراضى.

ويتطلب الاستخدام الواسع للرواسب فى الأراضى انشاء معايير أو اتباع ارشادات واضحة وهو ماتفتقده معظم الدول. وحتى فى الولايات المتحدة حيث تستخدم الرواسب فى الأراضى بصورة كبيرة، لم تتقرر معايير لذلك إلا منذ وقت قريب. ويتميز استخدام الرواسب فى زراعة الغابات بانه لايشكل مخاطر صحية لأن الناتج لايدخل فى سلسلة الطعام الذى يأكله الإنسان. ويمكن استخدام

الرواسب فى الأراضى الزراعية بطريقتين إما بشكل سائل (دون الحاجة للتجفيف من المياه) أو ككتلة بعد تجفيفه. وفى كلتا الحالتين يتطلب الأمر معدات مناسبة لنشر الرواسب ودمجها فى التربة أو أسفل التربة.

ويعتبر خليط الرواسب مادة جاذبة كذلك لإعادة استخدام الرواسب الطينية. إن الرواسب المجففة توضع فى اكوام معا مع كتلة من المواد مثل رقائق الخشب والقش أو المزيج من أوراق الشجر بعد إعادة خلطه عدة مرات ثم يمرر عليه الهواء ويخزن لعدة أسابيع. وخلال الخلط تتحول المواد العضوية الموجودة فى الرواسب إلى منتجات نهائية ثابتة. وفى هذه الاثناء أيضا ترتفع درجة حرارة الرواسب الى نحو ٥٠-٦٠ درجة مئوية مما يخفض نسبة المحتويات المسببة للأمراض - ومع أن العملية هوائية فى الأساس فإن المناطق اللاهوائية داخل كومة الرواسب ربما تسبب روائح كريهة، وهو المشكلة البيئية الرئيسية لعملية الخلط. ولتقليل مستوى المناطق اللاهوائية وخطر انتشار الروائح الكريه فى بعض أنظمة الخلط، يتم تحريك كومة الرواسب بصفة دورية ومزجها لتحسين التهوية. وتعرف هذه النظم بأنها خلط الأوراق الجافة وخلط الاكوام الراكدة.

ويصبح المنتج النهائى هو المادة شبه العضوية من التربة والتى يمكن استخدامها لتحسين أو تسميد التربة. ويمكن اجراء عملية الخلط إما بالرواسب غير المرسخة أو التى ترسخت بالفعل. إن عملية الخلط المشتركة من رواسب مياه الصرف والنفايات المحلية، هى اجراء شائع كذلك . والتأثير الرئيسى لاستخدام الرواسب فى الأراضى هو زيادة إنتاج المحاصيل فى الزراعة وزراعة الأشجار فى الغابات.