الفصل الرابع

ميكروبيولوجيا مياه المخلفات

- مقدمة
- ميكروبيولوجيا مياه المجارى
- التركيب الكيميائى
- الصفات الميكروبيولوجية
- التخلص من مياه المجارى غير المعالجة
- معالجة مياه المجارى
  - خطوات المعالجة
  - الحمأة النشطة
  - الصموغ الحية
  - اختبار كفاءة المعالجة
- المراجـــع

الفصل الرابع

ميكروبيولوجيا مياه المخلفات
Wastewater Microbiology

مقدمة

مياه المخلفات ، هى المياه الناتجة من استعمال مجتمع من المجتمعات ، وتشمل

١- مياه مخلفات المنازل Domestic wastewater
وتشمل مياه هذه المخلفات ، كل ما يتم صرفه عن طريق شبكات صرف المنازل ، من مطابخ ، وحمامات ، ودورات مياه ، ويطلق عليها مجتمعه مياه مخلفات المجارى Sewage water.

٢- مياه مخلفات المصانع Industrial wastewater
ويشمل ذلك مياه المخلفات ، بما فيها من احماض ، وزيوت ، ومعادن ، الناتجة من مختلف الصناعات المعدنيه والبترولية والمناجم ، ومخلفات عضوية نباتيه وحيوانية ، مثل ما ينتج من مخلفات مصانع السكر ، والورق ، والمصانع الغذائية ، والمبيدات ... الخ .

٣- مياه مخلفات المزارع والحدائق
وتحمل هذه المياه بقايا المخصبات والمبيدات ، والتى قد تصل لمواسير الصرف .

٤- المياه الجوفيه والسطحية والجوية ، التى تصل إلى مواسير صرف المدينة .

وقد سبق الكلام عن المياه الجوفيه والسطحية والجوية ، أما مياه مخلفات المصانع ، فمن الصعب الكلام عنها ، لانها تختلف بدرجة كبيرة جدا، فى الكمية والتركيب ، ليس فقط من موقع لموقع ، ومن مصنع لآخر ، بل ومن ساعة لأخرى ، والحال كذلك بالنسبة لمياه مخلفات المزارع ، ولذلك، فسنقصر حديثنا فى الصفحات التالية ، عن مياه مخلفات المنازل ، أى مياه مخلفات المجارى .

ميكروبيولوجيا مياه المجارى
Sewage Microbiology

التركيب الكيميائى

تتكون مخلفات مياه المجارى ، من حوالى ٩٩,٩٪ ماء ، وحوالى ٠,١٪ مواد صلبه معلقة ، عضوية وغير عضوية ، وقد تكون فى حالة غروية، أو ذائبة ، ورقمها الايدروجينى يتراوح ما بين ٦ الى ٨ .

وكنسبة مئوية ، فإن كمية المواد الصلبة المعلقة ، الموجودة بمياه المجارى ، تبدو بسيطه ، ولكن على مستوى مدينه كبيرة ، فإنها تشكل كمية ضخمة .

ويختلف كثيرا التركيب الكيماوى للمواد المعلقة ، كما أنه عرضه للتغير ، غير أن المواد العضوية بمخلفات المجارى ، تتكون عموما من مواد نتروجينية ، مثل اليوريا والبروتين والأمينات والأحماض الأمينية ، ومواد غير نتروجينية ، كالكربوهيدرات والدهون ، بالإضافة إلى مخلفات الصابون ، ومواد التنظيف التركيبيه الحديثة ، التى أخذت تنتشر ، وتحل محل الصابون، وهى مواد مقاومة للتحلل الميكروبيولوجى .

الصفات الميكروبيولوجية

نظرا لإختلاف تركيب مخلفات مياه المجارى ، فإن ما تحمله تلك المخلفات من أحياء دقيقة ، عرضة للتغير أيضا نوعا وعددا ، وعموما فإن المخلفات تحتـوى على بروتوزوا ، وفطريات ، وطحالب ، وبكتريا ، وفيروسات .

تصل أعداد البكتريا بمياه المجارى الخام ، إلى الملايين فى كل ملليلتر ، ومعظمها بكتريا القولون ، ويليها فى العدد الإستربتوكوكاى ، ثم العصويـات المتجرثمة اللاهـــوائية مثل Cl. perfringens ، ثم الـ Proteus، وباقى أنواع البكتريا الموجودة بالجهاز المعوى الآدمى . وبالإضافة إلى ذلك، فيوجد بمياه المجارى ميكروبات مرضية ، من بروتوزوا وبكتريا وفيروسات، مثل تلك المسببه لأمراض التيفود ، والكوليرا ، والدوسنتاريا ، وشلل الأطفال، والإلتهاب الكبدى الوبائى .

وعندما تتعرض مياه المجارى للمعالجة ، فإن أعداد وأنواع الميكروبات السائدة تتغير ، بتغير ظروف خطوات المعالجة . وتحت ظروف الهضـم اللاهـــوائى لمخلفات المجـــارى ، تسـود الأنواع الإختياريـه مثل

Alcaligenes, Enterobacter, Escherichia, Pseudomonas, ... etc.

وباستمرار الظروف اللاهوائية ، تسود البكتريا اللاهوائية ، كتلك المنتجة لغاز الميثان ، مثل

Methanobacterium, Methanococcus, Methanosarcina ...

التخلص من مياه المجارى غير المعالجة Sewage disposal

التخلص من مياه المجارى عملية ضرورية ، لتجنب خطورتها ، وما تسببه من مضايقات .

وفى المزارع والأرياف ، يتم التخلص من مخلفات المجارى دون معالجة ، بتجميعها فى خزانات كسح ، تفرغ كل مدة ، وتستعمل محتوياتها كسماد عضوى ، بعد إضافة مسحوق الجير الحى ، لقتل مابها من كائنات حية غير مرغوب فيها .

وتتخلص بعض المجتمعات الصغيرة أو المحليات ، من مخلفات مجاريها ، دون معالجة أيضا ، بطريقة التخفيف ، وذلك بإلقائها فى أحجام كبيرة من الماء ، مثل نهر أو بحر أو بحيرة ، فيحدث تخفيف لتلك المخلفات. وفى هذه الطريقة ، يجب أن تكون النسبة بين مياه المجارى الملقاة ، ومياه النهر أو البحر ، نسبة متسعة جدا ، لاتقل عن ١ : ٥٠ ، حتى يتوفر باستمرار ، كمية مناسبه من الأكسجين الذائب فى الماء ، كافية للأكسدة البيولوجية ، واستمرار الحياة المائية .

وفى طريقة التخفيف بالماء ، يجب أن تلقى مياه المخلفات ، من خلال مواسير ، تمتد إلى الداخل بعيدا عن الشاطىء ، لمسافة لاتقل عن ٥٠٠ مترا، وعلى عمق لايقل عن ٥٠ مترا ، محافظة على صحة مستعملى هذه المياه ، فى الشرب ، أو الإستحمـــام ، أو الصيد .

وعند إلقاء مياه المجارى فى النهر أو البحر ، تحدث لمياه المجارى عملية تنقية ذاتية Self-purification ، حيث يتحلل مابتلك المياه ، من مواد عضوية ، تحت ظروف هوائية ، بأكسدتها بيولوجيا بواسطة الميكروبات عضوية التغذية ، من بكتريا وفطريات وطحالب وبروتوزوا ، وبذلك تتحلل المواد العضوية ، وتتمعدن ، فلا تجد الميكروبات المرضية الموجودة بمياه المجارى ، مصدرا كافيا لها من الغذاء والطاقة ، فتموت . وتكون سرعة التحلل فى مياه المناطق الحارة ، أسرع من المناطق الباردة .

وإذا كانت عمليـــة التخفيف ، ممكنة بالنسبة للمجتمعات صغيرة العدد ، إلا انه بزيادة عدد سكان هذه المجتمعات ، وكذلك فى المدن الكبيرة، تصبح طريقة التخلص من مياه المجارى غير المعالجة بطريقة التخفيف ، غير

فعاله بل وضارة ، لزيادة كمية مياه المجارى الملقاه ، وضيق نسبة التخفيف اللازمة ، وما يترتب على ذلك من قلة نسبة الأكسجين الذائب بالماء ، اللازم للإستهلاك بواسطة الميكروبات الهوائية ، لتحليل المواد العضوية ، فتنشط وتسود الميكروبات الإختيارية واللاهوائية ، وبذلك تتحلل المواد العضوية لمخلفات المجارى تحت ظروف لاهوائية ، فتظهر روائح كريهه غير مستحبة، وتتلوث المياه ، وتموت الاسماك ، والأحياء المائية .

وكل ذلك ، يحتم ضرورة معالجة مياه المجارى ، كيماويا وبيولوجيا، قبل التخلص منها ، لما فى ذلك من مزايا عديدة . والأساس فى عملية المعالجة ، هو تحليل ما بمياه المجارى من مواد عضوية ، والقضاء على ما تحتويه من ميكروبات مرضية .

مزايا معالجة مياه المجارى قبل التخلص منها

- منع إنتشار الميكروبات المرضية

- منع تلوث المياه ، التى ستلقى بها مياه المجارى المعالجة ، حفاظا على صحة مستخدمى هذه المياه فى الشرب أو الإستحمام ، وللمحافظة أيضا على الثروة المائية ، نباتيه كانت أم حيوانية .

- التخلص من المواد العضوية ، وما ينتج عن تحللها من روائح كريهة ، أو تجمع لرواسب غير مقبوله ، وذات منظر غير مستحب .

- استعمال المخلفات كأسمدة عضوية ، أو كمصادر بديلة للطاقة .

معالجة مياه المجارى Sewage treatment

خطوات المعالجة Treatment processes

تجمع مياه المجارى فى مواسير مغلقة ، بعيدة عن مواسير مياه الشرب ، وترسل إلى خارج المدينة ، لمعالجتها .

وطرق معالجة مياه المجارى متعدده ، ومتنوعة ، ويوضح الشكل (٤-١) خطوات المعالجة الرئيسية ، التى تتبع فى مدينة كبيرة .

وتتلخص خطوات المعالجة فيما يلى

- معالجة إبتدائية

ويتم ذلك ، للتخلص من المواد الصلبة الضخمة ، والأحجار ، والأخشاب، والزجاج ، والأسلاك ... الخ ، وذلك بإمرار المياه على حواجز على شكل قضبان ، تعمل كمصفاة Screening ، لفصل تلك المواد الصلبه .

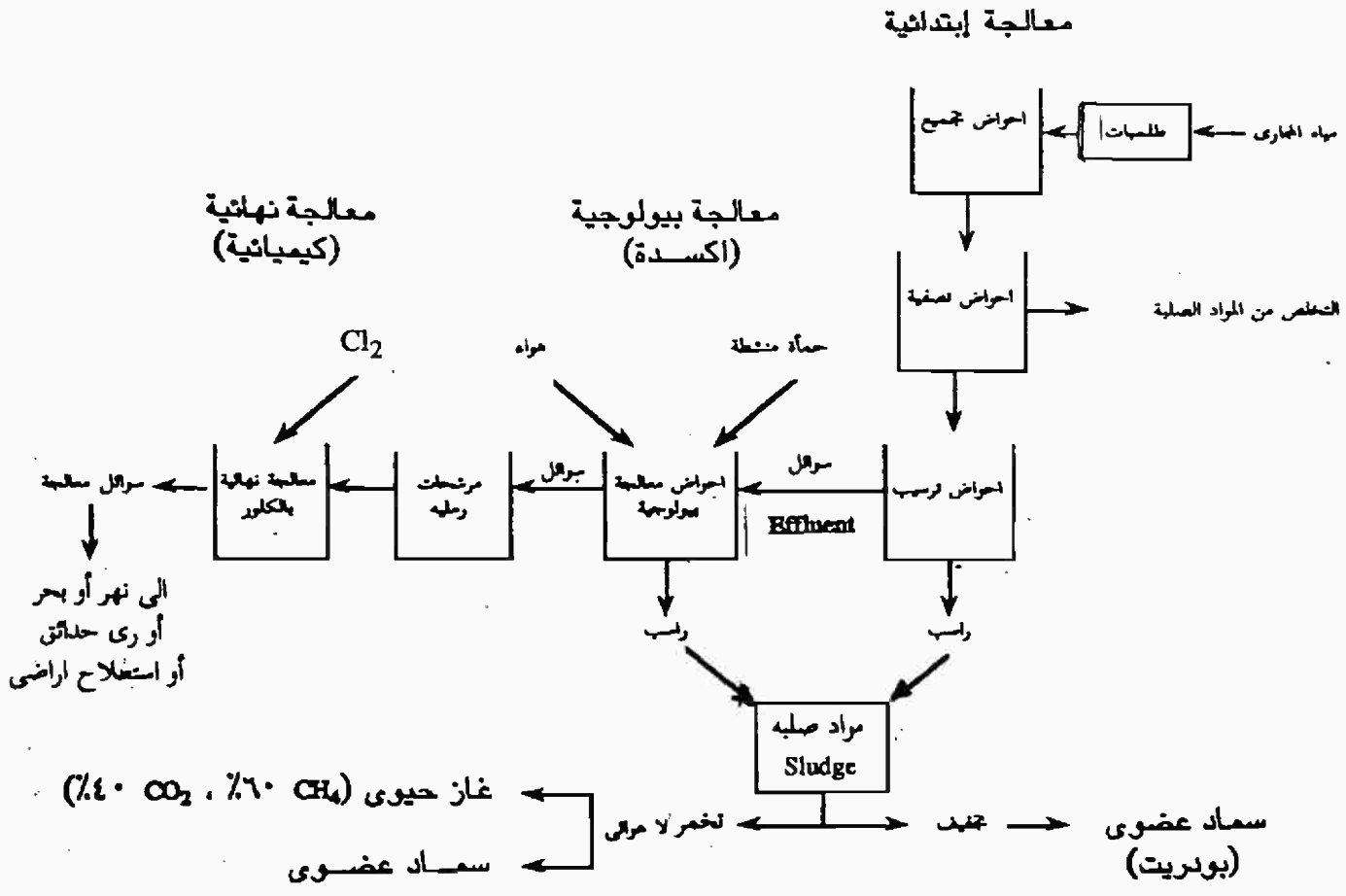
ثم تجرى عملية ترسيب لمياه المخلفات ، فى أحواض ترسيب Sedimentation tanks . وللمساعدة فى عملية الترسيب وزيادة سرعتها ، تضاف الشبه أو أملاح الحديد ، لتكوين معلق غروى ، يساعد على سرعة تجميع الحبيبات وترسيبها .

وأثناء عملية الترسيب ، يطفو الريم Scum على السطح ، والريم عبارة عن مواد دهنية ، تكشط من آن لآخر وذلك للتخلص منها .
ويرسب فى قاع الحوض الراسب ، ويسمى حمأة Sludge ، حيث تجمع وتعالج، أما السائل Effluent ، فإنه يعالج بيولوجيا ، وكيماويا ، قبل الاستعمال .

عند أضافة الشبه أو كبريتات الحديديك إلى مياه المجارى ، تتكون الإيدروكسيدات ، وحامض الكبريتيك ، حسب المعادلات

$$Al_2(SO_4)_3 + 6\,H_2O \longrightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6\,H_2O \longrightarrow 2\,Fe(OH)_3 + 3\,H_2SO_4$$



شكل ٤-١ : رسم تخطيطى مبسط يوضح الخطوات الرئيسية لمعالجة مياه المجارى فى مدينة

ولأن هذه التفاعلات عكسية ، فإنه يضاف موادا لمنع هذه التفاعلات العكسية ، مثل كربونات الكالسيوم ، أو كربونات الصوديوم ، أو ايدروكسيد الكالسيوم ، التى تتحد مع حامض الكبريتيك ، ويتكون كبريتات كالسيوم $Ca\ SO_4$ ، وبذلك تزداد كفاءة عملية ترسيب المواد العالقة بالمياه .

- معالجة بيولوجية

تعالج السوائل Effluent الناتجه من المعالجة الابتدائية ، بيولوجيا ، وذلك للتخلص مما بها من مواد عضوية ، وذلك بأكسدتها ومعدنتها ، إلى كحولات وأحماض عضوية ، وأخيرا الى ... H_2S - NH_3 , H_2O , CO_2.

ويتم ذلك فى أحواض المعالجة البيولوجية ، بإضافة ، الحمأة النشطة (عادة بنسبة ٢٠٪) ، مع توفير الظروف الهوائية .

تحت ظروف المعالجة البيولوجية الهوائية بالحمأة النشطة ، تتكون أملاح الفوسفات والنترات . ويمكن التخلص من هذه الأملاح ، بمعالجة المخلفات بيولوجيا ، تحت ظروف لاهوائية ، أى بزيادة خطوة فى المعالجة تعقب خطوة المعاملة بالحمأة النشطة .

عقب المعالجة البيولوجية ، تفصل الرواسب ، وتؤخذ السوائل وتمرر على مرشحات رملية ، حيث تتوفر الظروف الهوائية والميكروبات ، لاستكمال تحلل ما تبقى من مواد عضوية بالسوائل.

- معالجة نهائية ، كيماوية بالكلور

تعالج السوائل الناتجة من المرشحات ، بالكلور للتخلص مما بها من ميكروبات مرضية .

السوائل الناتجة بعد المعالجة ، يستفاد منها فى رى الأشجار ، أو استصلاح الأراضى ، أو يتخلص منها بإلقائها فى نهر ، أو بحر .

- معالجة المواد الصلبة Sludge

تجمع المواد الصلبة الناتجة من أحواض الترسيب ، أو من أحواض المعالجة البيولوجية ، حيث
- تجفف فى أحواض خاصة ، ثم تكشط ، وتدق ، وتنعم ، وتستعمل كسماد عضوى* .
- أو تخمر المواد الصلبة لاهوائيا ، لانتاج الغاز الحيوى (البيوجاز) ، وسماد عضوى .

الحمأة النشطة Activated sludge

الحمأة النشطة ، عبارة عن رواسب مخلفات مجارى حديثة معالجة ، غنية بالكائنات الدقيقة من بروتوزوا وفطر وخميرة وبكتريا ، وتضاف كبادىء ، فى أحواض المعالجة البيولوجية ، فتساعد ، تحت الظروف الهوائية ، على سرعة تحلل ومعدنة المواد العضوية ، الموجودة بمياه المخلفات .

الصموغ الحية Zoogloea

تتجمع الكائنات المجهرية الموجودة بالحمأة النشطة ، أو بأحواض المعالجة والمرشحات ، فى كتل أو أغشية ، مطمورة فى مواد صمغية لزجة من سكريات معقدة ، وتسمى هذه الكتل الميكروبية الصمغية Zoogloea ، وهى كلمة ذات أصل لاتينى تعنى Living glue ، أى الصموغ الحية . ومن الأحياء الدقيقة الهامة المكونة لتلك الصموغ الحية ، أنواع شبيهة بالسيدوموناس تسمى Zoogloea ramigera ، تلعب دورا نشطا فى أكسدة المواد العضوية بمخلفات المجارى ، كما يوجد أيضا فى تلك الكتل الصمغية ، ميكروبات أخرى نشطة فى تحليل المواد العضوية ، مثل

Bacillus , Alcaligenes , Escherichia , Sphaerotilus , Protozoa , e.g. Paramecium

---

* يعرف هذا السماد العضوى ، بإسم سماد المجارى ، تمييزا له عن سماد البودريت ، الناتج من مخلفات كسح المراحيض ، فى المدن أو القرى .

اختبار كفاءة معالجة مياه المجارى ، باستخدام كاشفات التلوث الحيوية .

يمكن الحكم على كفاءة عملية معالجة مياه المجارى ، بالكشف عن بكتريا الليستريا Listeria monocytogenes . فهذه البكتريا توجد بكثرة فى مياه المجارى ، مصاحبة لبكتريا القولون ، بأعداد تصل لمئات الآلاف . وهى تعيش فى مياه المجارى ، لمدة طويلة تصل لعدة أسابيع ، كما أنها تقاوم الكلور بدرجة كبيرة . لذلك ، فإن وجودها بمياه المجارى ، بجانب الإختبارات الميكروبيولوجية الأخرى ، يؤخذ كدليل على عدم كفاءة عملية المعالجة ، أى على وجود ميكروبات مرضية .

وهذه البكتريا عصوية قصيرة جدا ، مفردة أو فى سلاسل ، موجبة لصبغة جرام ، غير متجرثمة ، متحركة ، إختيارية للهواء ، وهى ممرضة للإنسان ، والحيوان ، إذ تسبب للإنسان مرضا يسمى Listerosis (إلتهاب بالمخ) ، وتسبب للحيوان الأجهاض ، وإلتهاب الضرع ، والإلتهاب السحائى.

وجدول (٤-١) يوضح أعداد بعض الميكروبات بمياه مجارى مأخوذة من منطقة القاهرة . ويلاحظ من هذا الجدول ، أن الميكروبات قلت بنسبة حوالى ٩٩٪ بعد المعالجة النهائية بالكلـور ، وأن السالمونيلا إختفت تماما بعد خطوة المعالجة البيولوجية .

جدول ٤-١ : متوسط لتركيزات بعض الميكروبات ، بعينات من مياه مجارى ، مأخوذة من مدينة القاهرة عام ١٩٩٢ .

مياه المجارى	عدد البكتريا / ١٠٠ مل					إختبار السالمونيلا
	مجموعة بكتريا الكولاى	كولاى برازية	استربتوكوكاى برازية	كولىفاج	ليستريا	
مياه خام	١١١٠ x ٢	٩١٠ x ٧	٨١٠ x ٥	٨١٠ x ٢	٥١٠ x ٨	+
بعد المعالجة البيولوجية	٤١٠ x ٥	٤١٠ x ٢	٣١٠ x ٧	٣١٠ x ١	٣١٠ x ٦	-
بعد المعالجة بالكلور	٢١٠ x ٥	٢١٠ x ٣	١١٠ x ٣	٢١٠ x ١	٢١٠ x ١	-

* Ref.: Annals Agric. Sci., Ain Shams Univ., Cairo, 38 (2), 464, 1993.

References

Finstein, M.S. (1967). Growth and flocculation in a Zoogloca culture. Ann. Rev. Microbiol., 15, 962.

Gaudy Jr, A.F. and E.T. Gaudy (1966). Microbiology of wastewater. Ann. Rev. Microbiol., 20, 319.

Metcalf and Eddy Inc. (1979). Wastewater engineering : Treatment, disposal and reuse. Mc Graw Hill, New York.