كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : كيمياء بيئية

المحاضرة : **السابعة/نظري/** د.رهام معلا

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

جامعة طرطوس

كلية العلوم

قسم الكيمياء

الكيمياء البيئية

القسم النظري

المحاضرة السابعة

مدرس المقرر

د. رهام معلا

العام الدراسي

٢٠٢٥-٢٠٢٦

الفصل الحادي عشر

معالجة المياه العادمة

The Treatment of Wastewater

١١-١: مقدمة: *Introduction*

تعرف المياه العادمة بأنها المياه الناتجة من الاستخدمات المختلفة، وتتميز بلونها الرمادي الغامق، والرائحة القذرة، وبحمولتها من المواد الصلبة المذابة، والعالقة، وتوجد ثلاثة أنواع رئيسة من المياه العادمة؛ وهي المنزلية، والصناعية، والبلدية والزراعية.

- مياه العادمة المنزلية: تنتج من الاستخدامات المنزلية المختلفة، والمنشآت العامة، والتجارية، وتتضمن النفايات السائلة الناتجة من المطابخ، والحمامات، والغسيل، وكذلك النفايات التي تطرح بشكل عرضي، أو مقصود في المجاري العامة.

- المياه العادمة الصناعية: تعرف بأنها المياه الناتجة من العمليات الصناعية، المختلفة وتحتوي هذه المياه حسب المصدر على أنواع كثيرة مختلفة من الملوثات بما فيها من مواد كيميائية ضارة، ولايسمح لها أن تطرح مع المياه العادمة المنزلية.

- المياه العادمة البلدية: تتألف من مزيج من النوعين السابقين، وكذلك يمكن أن تحتوي على المياه الناتجة من تصريف مياه الأمطار، ونواتج عمليات البناء، وماتحمله العواصف في مناطق النشاط العمراني.

يشكل الماء 99% من المياه العادمة، إضافة إلى تراكيز صغيرة نسبياً من المواد العضوية المذابة، والعالقة، وكذلك من المواد غير العضوية.

تحتوي المواد العضوية على الكاربوهيدرات، والدسم، والصابون، والمنظفات، والبروتينات، والمواد الناتجة من تفككها، وكذلك على مواد كيميائية عضوية طبيعية، أو مصنعة ناتجة من العمليات الصناعية.

تحتوي المواد غير العضوية على المعادن الثقيلة، والنتروجين، والفوسفور، والكبريت، والكلور، ومكونات سامة أخرى.

يكون توزيع المواد العضوية والمواد غير العضوية في المياه العادمة الناجمة من الاستخدامات المنزلية متساوياً، وتكون نسبة المواد المذابة فيها أكبر من نسبة المواد العالقة، حيث تشكل نسبة المواد غير العضوية 85-90%، والمواد العضوية المذابة 55-60%.

توجد الغازات عموماً مذابة في المياه العادمة،مثل: الهيدروجين، وغاز الكبريت، وغاز الميثان، والأمونيا، والأكسجين، وغاز ثنائي أوكسيد الكربون، والنتروجين.

تحتوي المياه العادمة المنزلية على أنواع مختلفة من الأحياء الدقيقة، وبكميات هائلة مثل الفيروسات، والجراثيم، والفطريات، ووحيدات الخلية، والديدان، وغيرها.

يبين الجدول (١١-١) الخصائص الأساسية العادمة المنزلية في بلدان مثل سورية ولبنان.

جدول (١١-١): الخصائص الأساسية لمياه الصرف الصحي:

المواد	التركيز ملغ/ل	المواد	التركيز ملغ/ل
المواد المذابة TDS	250-1200	الكبريتات (SO_4^{2-})	50-150
المواد العالقة	200-1000	الكلور	30-120
النتروجين N	30-180	BOD_5	200-800
الفوسفور P	5-30	COD	400-1500
القلوية ($CaCO_3$)	100-900	TOC	100-200

يجب لحظ القيم النموذجية المعطاة في الجدول (١١-١) والتي تتغير تبعاً لـ: الكثافة السكانية، وكمية المياه المستهلكة من قبل الشخص الواحد يطرحها كل شخص إلى المجرور، ودرجة التطور الصناعي، ونوع المنشآت الصناعية وأحجامها، ودرجة إعادة استخدام المياه العادمة، ونوعية المعالجة الإبتدائية للمياه العادمة الصناعية قبل طرحها إلى شبكة الصرف الصحي.

تعتمد خصائص المياه العادمة على المناخ، والتغير الموسمي واليومي وكثافة ارتياد المنشآت السياحية والترفيهية.

في السابق كانت كل المخلفات السائلة تطرح في المجاري المائية الطبيعية (المياه السطحية) حيث تخضع لعملية التمديد بسرعة، وكانت الأحياء الدقيقة الموجودة طبيعياً في المياه العذبة تقوم بتفكيك المواد العضوية (تنقية ذاتية).

ضاعفت الكثافة السكانية، والتنوع الكبير للمواد الصناعية الحديثة، التي وجدت طريقها إلى المسطحات المائية من حدة المشكلة بحيث أصبحت المياه السطحية غير قادرة على هضم الملوثات؛ وبالتالي عدم قدرتها على القيام بعملية التنقية الذاتية.

يؤدي طرح المياه العادمة حالياً في المجاري المائية إلى انتشار كبير للتلوث البيئي على نحو بات يهدد المناظر الطبيعية، والحياة النباتية، والحيوانية، والصحة العامة.

دفعت المشكلة حكومات الدول إلى السعي لإقامة محطات معالجة للمياه العادمة قبل طرحها في المجاري المائية، بحيث تمر عملية المعالجة في أربعة مراحل هي: المرحلة الابتدائية (الأولية)، والثانوية (البيولوجية)، والثالثية (كيميائية)، و(تعقيم). تعد المياه المعالجة، ونواتج عملية المعالجة؛ من الحمأة والمواد الصلبة المترسبة مورداً ذا قيمة محتملة إذا تم استخدامها بطريقة آمنة مناسبة. تقود عملية المعالجة بمراحلها الأربعة إلى الحصول على مياه يمكن اعادة استخدامها.

تدخل المياه العادمة محطة المعالجة بوساطة شبكة الصرف الصحي. وتتألف الشبكة النموذجية من أنابيب كتيمة ممددة تحت الأرض يتم وصل جميع خطوط الصرف بها بوساطة مصائد لها بشكل حرف U، أو S، أو أي مصائد أخرى ذات قطر محدد بحيث يقيد حجم المخلفات التي يمكن طرحها، ونوعها.

تعاني كل من سورية ولبنان من نقص في القوانين والإجراءات الناظمة لصرف المياه الملوثة، ومايزال هناك شبكات مجارٍ على هيئة بشكل أقنية مكشوفة، كما أن ماتحمله وكذلك فإن مياه الأمطار والعواصف تطرح في شبكة الصرف الصحي طرحاً مشتركاً.

تسمح شبكة الأقنية المكشوفة بصرف نفايات صلبة إليها، لذا يجب على المهندسين البيئيين الحاليين والمستقبلين العمل على تصميم شبكات مستقلة تسمح بفصل مياه الصرف الصحي عن مياه الأمطار، وكذلك يجب أن تكون لدى محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المستقبل المنظور القدرة على توفير معالجة كتل الحجارة والحطام الواردة إليها إضافة إلى كمية محددة من مياه الصرف المطرية.

يؤدي صرف المياه الناتجة من العواصف المطرية القصيرة المدى التي تضرب المنطقة تكراراً وماتحمله من ملوثات إلى الشبكة المشتركة (صرف صحي + أمطار)

إلى إرباك في عمل محطة المعالجة كونها غير قادرة على تحمل عبء الملوثات التي تصل إليها، بينما يعد مقبولاً السماح بصرف جزء من مياه الأمطار إلى الشبكة، في حين من غير المنطقي وغير العملي وغير المبرر اقتصادياً أن تصمم محطة المعالجة بحيث تكون قادرة على معالجة التدفق الأعظمي لأكبر عاصفة مطرية.

تتطلب المعالجة الثانوية والثالثية تكاليف باهظة من أجل معالجة تدفقات كبيرة من مياه الأمطار، فإذا كانت استطاعة محطة المعالجة كبيرة أكبر من المطلوب، تصبح معالجة المياه العادمة بيولوجياً أكثر صعوبة وأقل مردوداً.

يجب أن تعطي الأولوية حالياً في حال القيام بتنفيذ شبكات جديدة، أو إعادة تأهيل الشبكات القديمة، لفصل شبكة تصريف مياه الأمطار عن شبكة الصرف الصحي، كما أنه ينبغي التخطيط لإقامة محطات معالجة جيدة فإنه من الضروري أن توجد في المنطقة التي تخدمها من قبل المحطة شبكتا صرف منفصلتان (مياه أمطار/صرف صحي)، فإن هذه المنطقة لن تخدم قبل فصل الشبكتين.

١١-٣: المعالجة الابتدائية للمياه العادمة:

Primary Treatment of Waste Water:

يتجلى الهدف الرئيس من المعالجة الابتدائية للمياه العادمة في إزالة المواد العالقة كبيرة الحجم، فعندما تدخل المياه العادمة إلى محطة المعالجة تمر من خلال مناخل عبارة عن قضبان معدنية بفتحات ذات أبعاد نظامية موحدة تستطيع حجز الأجسام الكبيرة، وأغصان الأشجار، والأقمشة، والمواد البلاستيكية التي يمكن أن تعوق عمليات المعالجة اللاحقة، أو تخربها.

تستعمل المناخل عندما تكون أبعاد الأجسام أكبر من ١٥ مم في حين تكون المصافي أكثر فعالية عندما تكون الجزيئات بأبعاد أقل من ١٥ سم.

يكون من الضروري بحسب ماسبق تجهيز المحطة بالنوعين؛ ذلك أن المياه العادمة الواردة تمر أولاً على مناخل القضبان المعدنية ثم عبر المصافي، وحتى يكون عملها فعالاً يجب المحافظة على نظافتهما. يتم عادةً تنظيف المناخل باليد، إلا أنه في حالة المحطات الكبيرة يتم التنظيف ميكانيكياً، أما المصافي فيتم تنظيفها بوساطة تيار مائي مستمر. ويتم التخلص من المواد التي تم حجزها في هذه المرحلة بحسب الشروط المحلية لكل بلدية، وغالباً مايتم التخلص منها في مقلب نفايات متفق عليه مسبقاً.

يتم بعد التخلص من الأجسام الكبيرة، دخول المياه العادمة إلى أحواض الترسيب الأولية حيث يتم التخلص من الرمال، والأجسام الناعمة الطافية. تترسب في قاع الحوض إضافة إلى الرمال، والأحجار الصغيرة، وبقايا الأطعمة مثل الخضار، والفواكه، وأجزاء العظام، وقشور البيض، والحبوب، وغيرها.

تشمل الأجسام الطافية الزيوت، والشحوم، والتي تشكل زبداً على السطح، ويتم قشطها ميكانيكياً، أو يدوياً. تعد عملية إزالة الرمال مهمة خصوصاً لمحطات المعالجة التي تعالج مياه عادمة (أمطار+صرف صحي) حيث تصل إلى المحطة كميات من الرمال، والأحجار، وقطع من طبقات رصف الطرقات مع مياه العواصف المطرية.

١١-٣: أحواض الترسيب الابتدائية:

Basins of Primary Preciptation:

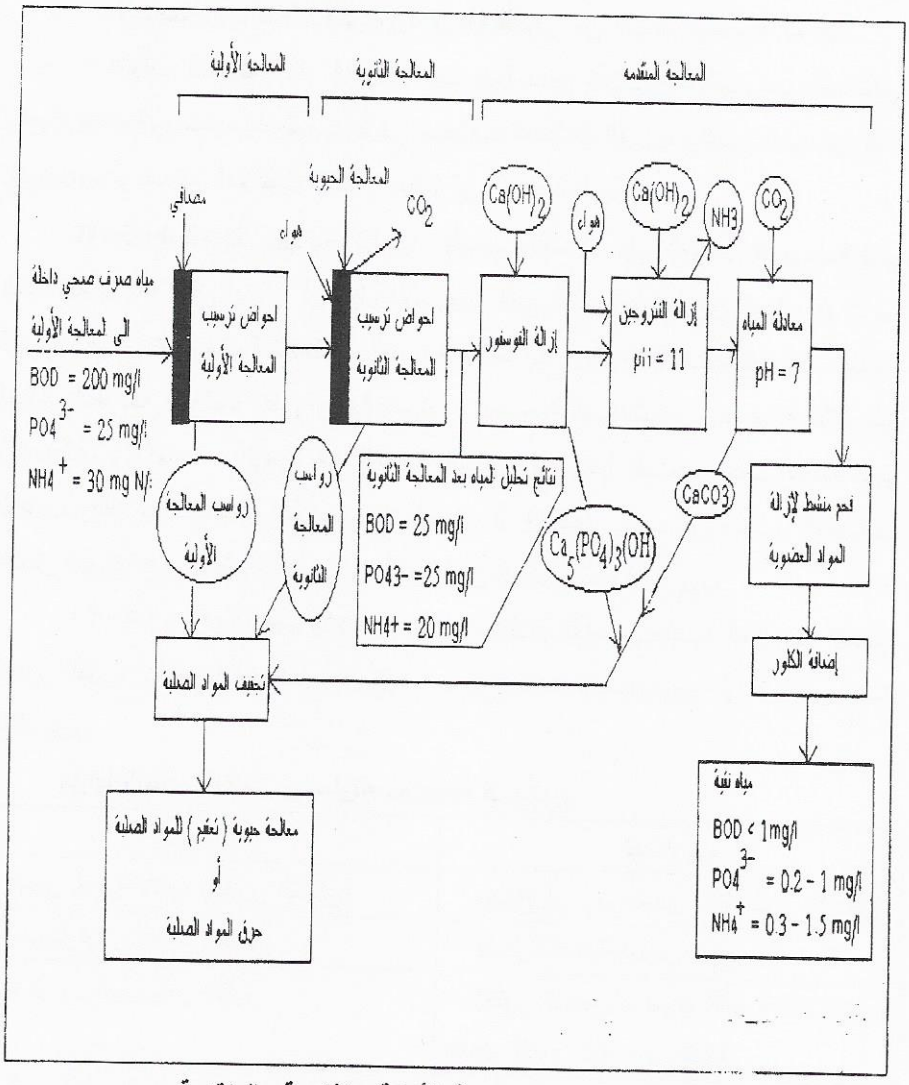
ينحصر الهدف الرئيس من أحواض الترسيب الابتدائية إزالة ماتبقى من جزيئات عالقة، وهذا مايتم تحقيقه بعملية الترسيب، ولأن لكون الجزيئات العالقة صغيرة سوف تترسب ببطء، وتحتاج إلى وقت أكبر من الوقت المطلوب لإزالة الرمال، والجزيئات الأخشن. يمكن توفير الوقت المطلوب للترسيب عن طريق تخفيض نسبة التدفق إلى حوض الترسيب، وهذا مايسهل تحقيقه باستعمال أحواض كبيرة.

كذلك يتم خلال المرحلة الأولية للمعالجة كشط الشحوم، والمواد الأخرى الطافية على سطح المياه العادمة قبل مرورها في مراحل المعالجة اللاحقة حيث تعالج مع الحمأة، وأخيراً يتم التخلص منها. يوضح الشكل (١١-١) عمليات المعالجة النموذجية للمرحلة الابتدائية (الأولية).

١١-٤: المعالجة الحيوية لمياه الصرف الصحي (المعالجة الثانوية):

Biotreatment of Waste Water:

تكون المياه الخام في هذه المرحلة خالية من البقايا الخشنة، ومعظم الأجسام العالقة. لذا يمكن البدء في عملية إزالة الملوثات العضوية، وتخفيض العوامل الممرضة، تحقق هذه العملية من خلال المعالجة البيولوجية حيث تتاح الشروط المثالية لنمو الكائنات الحية الدقيقة التي تعمل على تحليل المواد العضوية يمكن من أجل المجتمعات البشرية التي تكون مياهها العادمة مكونة بشكل رئيس من مياه الصرف المنزلية، استخدام إحدى الطرائق الآتية: أحواض الأكسدة (التثبيت)، وأنظمة المدن العالقة، والأنظمة ذات الطبقة الرقيقة الثابتة.



الشكل (١١-١): المعالجة الأولية والثانوية والمتقدمة

١١-٥: مرحلة المعالجة الثالثية: *Tertiary Treatment*

ينبغي لتحسين نوعية المياه الناتجة من المعالجة الثانوية ضرورة إجراء المعالجة وفقاً لمرحلة ثالثة وفق إحدى الطرائق الآتية:

- الترشيح عبر مرشح رملي سريع: لإزالة المواد العالقة والعكارة.
- النترجة، أو إزالة النتروجين: تتم إزالة النتروجين إما بتحويل الأمونيا إلى نترات (النترجة)، وإما تخفيض النترات والنتريت إلى غاز النتروجين.

- الامتصاص بوساطة الكربون: لإزالة ماتبقى من المواد العضوية المذابة.

- التعقيم: تخفيض عدد العوامل الممرضة منعاً لانتشار الأمراض المتعلقة بالمياه العادمة. يستخدم التعقيم عادةً في محطات المعالجة للقرى، والمدن الصغيرة؛ إذ يكون مصدر معظم المخلفات السائلة عائداً إلى المياه العادمة.

١١-٥-١: التعقيم: يعد العملية الأساسية للقضاء على العوامل الممرضة في المياه المعالجة، والتي يمكن أن تنقل الأمراض التي تنتشر عن طريق المياه، ولكن من الضروري أن تتم معالجة المخلفات بطريقة ملائمة حتى يكون التعقيم فعالاً. يعتمد اختيار الطريقة الملائمة على نوعية المياه، والسمية المحتملة، وسهولة التشغيل والصيانة، والأنظمة، والإجراءات المتبعة للتخلص من بقايا المواد المستخدمة في التعقيم، وذلك بحسب خيارات إعادة الاستخدام، أو التخلص النهائي منها. الطريقة الأكثر شيوعاً هي التعقيم بالكلور، والأشعة فوق البنفسجية، والأوزون.

١١-٥-١-١: التعقيم بالكلور: يمكن استخدام الكلور بحالته الغازية كغاز الكلور النقي، أو كمركبات الكلور؛ مثل: هيبوكلوريت الصوديوم، أو هيبوكلوريت الكالسيوم.

مزايا التعقيم بالكلور ومساوئه موضحة كمايأتي:

المزايا	المساوىء
- توفير حماية لاحقة (الكلور المتبقي)	- يحتاج إلى زمن تماس لايقل عن ٣٠ دقيقة
- سهولة قياس الكلور المتبقي	- العكارة العالية تخفض الفاعلية
- توفر ورخص سعر الكلور	- الكلور المتبقي، والمواد الثانوية الناتجة من تفاعل الكلور تطرح في البيئة
- الحاجة إلى كمية صغيرة من الطاقة	- الكلور الحر سام لعناصر الحياة المائية، ونواتج تفاعله مع المركبات العضوية قد تشكل مواد سرطانية
- صلاحيتة للاستخدام مع حالات مختلفة من المشكلات؛ جراثيم، حديد، منغنيز، وغاز كبريت الهيدروجين	- تزداد السمية مع انخفاض الـ pH للمياه، وارتفاع درجة الحرارة
- يمكن أن يستخدم لتعقيم كميات كبيرة من المياه	- مخاطر صحية على الأفراد الذي يتعاملون مع الكلور؛ تعرض الجلد، والعين، وجهاز

– يمكن أن يستخدم بأشكال مختلفة لتناسب نوعيات مختلفة من المياه المعالجة	التنفس، والأغشية المخاطية للخطر، ويمكن أن يؤدي إلى الموت
– يمكن بسهولة التحكم بإجراءات التشغيل؛ كزمن التماس، والجرعة	– يخفض الكلور السائل حرارة الجسم ويؤدي إلى تجمد الجلد إذا ماتم التعرض له.

١١-٥-١-٢: التعقيم بوساطة الأشعة فوق البنفسجية:

تستخدم طريقة التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية *(UV)* (الطاقة الكهرومغناطيسية) الناتجة من مصباح قوس كهربائية زئبقي، لقتل الأحياء الدقيقة الموجودة في المياه.

تتضمن المسائل الحرجة التي يجب التركيز عليها في هذه العملية نوعية المياه، وشدة الأشعة فوق البنفسجية، وزمن التعرض لها، وتوافقية الأجهزة، فكلما كانت العكارة، ومحتوى الماء من المواد العالقة أكبر، كان امتصاص الأشعة أقل. يتراوح طول موجة *UV* المثالي ٢٥٠-٢٧٠ نانومتراً، كما أنه من الضرورة صيانة المصباح صيادنة جيدة ودورية. يجب المحافظة على جريان منتظم، وخلط مركزي كافٍ في منطقة التعرض للأشعة فوق البنفسجية حتى يتم ضمان التعرض الأعظمي للأشعة.

مزايا هذه الطريقة ومساوئها:

المزايا	المساوىء
فعالة للقضاء على أغلب الفيروسات، والجراثيم، والكيسات	تحتاج إلى طاقة بشكل كبير وكلفة صيانة عالية
التجهيزات المستخدمة صغيرة وسهلة الاستخدام	يجب أن تكون المياه ذات عكارة قليلة ومحتوى قليل من المواد العالقة
تحتاج إلى زمن اتصال قليل	
لاتنتج أية مواد متبقية	

١١-٥-١-٣: التعقيم بالأوزون:

يعد الأوزون مؤكسداً قوياً جداً. كونه غيرمستقر، ويتفكك بسرعة، يتم توليده في المواقع بوساطة تمرير تيار ذي كمون عالٍ يتراوح بين (٦-٢٠) كيلوفولت وذلك بين إلكترودين ضمن غاز يحوي الأكسجين.

تعتمد فاعلية الأوزون على حساسية الأحياء الدقيقة، وزمن التماس (يكون عادةً ١٠-٢٠ دقيقة)، وتركيز الأوزون. تعد فعالية التعقيم بالأوزون أكبر بكثير من تلك التي

تتم بوساطة الكلور، أو الأشعة فوق البنفسجية، إلا أن تكاليفه المرتفعة يجعل استعماله محصوراً في الحالات التي تكون فيها الخيارات الأخرى غير فعالة.

مزايا التعقيم بوساطة الأوزون ومساوئها:

المزايا	المساوىء
- فعال في القضاء على الجراثيم، والفيروسات	- كلفة التوفير، والاستثمار يمكن أن تكون عالية
- يحتاج إلى زمن تماس قليل ١٠-٢٠ دقيقة	- يجب أن تكون المعدات مقاومة للتآكل
- يتيح تحكماً جيداً بالرائحة	- يسبب الحساسية، وفي بعض الحالات يمكن أن يكون ساماً.

١١-٦:الخصائص الطبيعية والكيميائية والبيولوجية للمياه العادمة:
Chemical, Physical and Bilogical Properties of Waste Water:

١١-٦-١: مقدمة: *Introduction*

الغرض الرئيس من عملية المعالجة الحصول على مياه بمعايير تجعل المخاطر التي تتعرض لها الصحة العامة، والبيئة، في المستوى المناسب والمقبول. لذلك فإن أنسب طرائق معالجة المياه العادمة هي تلك التي توفر وتضمن مياهاً بالنوعية الكيماوية والميكروبيولوجية المطلوبة لاستعمالات معينة، بتكلفة منخفضة، وبأقل قدر ممكن متطلبات التشغيل والصيانة، بصرف النظر عن نوع وحدات معالجة المياه العادمة، التي تؤدي إلى تقليل المواد الصلبة العضوية العالقة، وتزيل المحتويات الكيماوية التي قد تكون لها تأثيرات سمية في المحاصيل، وكذلك المكونات البيولوجية (أي الكائنات الممرضة) التي تعد أهم مصادر القلق على الصحة العامة.

تعد المياه العادمة المعالجة فريدة في تركيبها، لذلك يجب لدى استخدامها في أغراض الري مراعاة مكوناتها الفيزيائية، والكيماوية، والبيولوجية، ويتضمن هذا الفصل عرضاً موجزاً للمشكلات المرتبطة بذلك، مع التركيز على الحلول المناسبة لهذه المشكلات، وبعض مناهج الإدارة المتكاملة وطرائقها للتخفيف من حدة هذه المشكلات أو التغلب عليها.

١١-٦-٢: الخصائص الطبيعية: *Normal Properties*

أ- العكارة: تنتج عن وجود الغرويات العالقة في المياه العادمة، وهي تصلح مؤشراً أولياً للمواد الصلبة غير الذائبة في حالة التركيزات المنخفضة منها.

ب- اللون:

لايعطي لون المياه العادمة دلالة مباشرة عند استخدامها في الري، لكنه يعطى دلالة أولية على مدى التحلل، ونسبة الطحالب الخضراء التي تسبب بعض المشكلات في بعض نظم الري.

ج- الرائحة:

تصبح الرائحة ذات أهمية واضحة، ويجب مراعاتها عندما تحيط كتلة سكنية بالمنطقة الزراعية التي يتم ريها بالمياه العادمة، عموماً، ترتبط الرائحة بشكل أو بآخر بنوع المعالجة أو طريقتها. توجد طرائق معالجة؛ مثل: برك الأكسدة غير الهوائية لها أثر بالغ في إحداث الرائحة الكريهة، وهناك طرائق أخرى أقل تأثيراً؛ مثل: طريقة التهوية، أو البرك المهواة.

د- درجة الحرارة:

تؤثر في معظم متغيرات المياه العادمة، فهي تؤثر في معدل النمو الحيوي، ومعدلات التخلص من المسببات المرضية، وفي معدلات ترسيب المواد الصلبة في المياه العادمة.

١١-٦-٣: الخصائص الكيميائية: *Chemical Properties*

أ- المواد الصلبة:

تؤدي المواد الصلبة وظيفة رئيسية عند استخدام المياه العادمة في الزراعة؛ لذا تعد مؤشرات المواد الصلبة الذائبة، وغير الذائبة القابلة للترسيب، مؤشرات أساسية عند تصميم نظم المعالجة، وتنفيذها، كما أن أنواع الأيونات، وتراكيز الأملاح في المياه تؤثر إلى حد بعيد في نوعية المياه، وتؤدي وظيفة رئيسية في اختيار نظم المعالجة المناسبة للري.

ب- الأكسجين المستهلك حيوياً وكيماوياً *(BOD/COD)*:

يعدان من أهم مؤشرات تركيز المواد العضوية في المياه العادمة؛ إذ يعبران عن كميات الأكسجين اللازمة لأكسدة جميع المواد الذائبة سواء بطريقة حيوية، أم بطريقة كيماوية؛ ولذلك فإن هذه المؤشرات تعكس مستوى تركيز المواد الذائبة العضوية، وغير العضوية في المياه العادمة، وتستخدم تلك المؤشرات في الحكم على مدى تلوث المياه العادمة، وعلى كفاءة عمليات المعالجة، وجودة المخرجات؛ كما هو موضح في الجداول في بعض الولايات في الولايات المتحدة الأمريكية.

ج- الملوحة ونوعية الأملاح المختلفة:

تعتمد قيمة المياه بالضرورة وكما هو معروف على نوعية الأملاح الذائبة فيها، ودرجات تركيزها المختلفة، فالأملاح المذابة في المياه تؤثر في الأراضي المروية بها؛ وذلم نتيجة المتغيرات التي تحدثها التراكيز المرتفعة للأملاح المذابة في الضغط الأسموزي مما يقلل من قدرة جذور النباتات على امتصاص المياه من النطاق الرطب في التربة، كما أن هناك بعض الأملاح الذائبة (الكلوريدات) ذات الأثر السام في النبات. وتجدر الإشارة إلى أن البورون عند تراكيز شديدة الانخفاض يضر بشدة في العديد من المحاصيل المختلفة، ولايتوقف تأثير الأملاح المذابة في النباتات، فقط بل يمتد تأثيرها بدرجات مختلفة إلى التربة، وغالباً ماتأتي بنتائج غير مرغوب فيها؛ كما هو موضح في الجدول (١١-٣).

د- نزر العناصر: *Trace Elemnets*

تعرف بأنها مجموعة من العناصر المعدنية التي توجد في التربة المروية بالمياه العادمة المعالجة، وتكون تراكيزها قليلة، لذا تعرف بنزر العناصر؛ كون تراكيزها لاتجاوز مليغرامات عدة/لتر. تعرف هذه العناصر في مجال تغذية النبات، وخصوبة التربة بأنها من العناصر الثانوية *(Minor Elements)*، أو العناصر الغذائية الدقيقة *(Micronutrients)*، وهذا يشير إلى درجة تركيزها، وليس إلى أهميتها، وذلك على غرار الوظيفة التي تقوم بها الفيتامينات في جسم الإنسان، فمثلاً يعد وجود بضعة أجزاء في المليون من الحديد في التربة يعد من الأمور الأساسية لسلامة نمو النبات،

ولاتتضمن التحاليل الروتينية للتربة ولمياه الري عموماً تقديراً لهذه العناصر الغذائية الدقيقة مالم يكن هناك مايشير إلى نقص *(Deficiency)* في أحد هذه العناصر.

جدول(١١-٢):معايير الحدود المسموح بها لاستخدام المياه في الزراعة *Utah, USA*:

المعايير	لاتوجد مشكلات	بداية المخاطر	مخاطر شديدة
- الأملاح الكلية الذائبة ملليجرام/لتر	*480 >*	*480*	*1920 <*
- الأملاح الكلية الذائبة بعد الترسيب ملليجرام/لتر	*128>*	*1190 ≤*	*320<*
- الصوديوم المدمص *SAR*		*320>*	
- الأس الهيدروجيني *pH*	*6>*	*9-6*	*9<*
- سمية بعض العناصر:			
- البورون ملليجرام/لتر	*0,5>*	*2,0-0,5*	*10-2*
-الصوديوم (ري سطحي) ملليجرام/لتر	*3>*	*9-3*	*9<*
- الصوديوم (رش) ملليجرام/لتر	*69>*	*69<*	
- الكلوريد (ري سطحي) ملليجرام/لتر	*142>*	*355-142*	*355<*
- الكلوريد (رش) ملليجرام/لتر	*106>*	*106<*	
- تأثير بعض العناصر:			
-النتروجين ملليجرام/لتر	*5>*	*30-5*	*30<*
- البيكربونات ملليجرام/لتر	*90>*	*250-90*	*250<*

بنبغي عند تحديد العناصرفي المياه العادمة ضرورة الالتزام بالحدود القصوى، كما هو موضح في الجدول رقم (١١-٢)، وخصوصاً إذا كانت المصانع تطرح مخلفاتها في المجاري العامة، وعلى الرغم من أن بعض هذه المعادن تعد ضرورية لتغذية النبات، فإن وجودها بتراكيز عالية في مياه الري يمكن أن تكون له تأثيرات سمية *(Toxic)* ضارة بالنباتات.

تجدر الإشارة أن جميع المعادن المشار إليها في الجدول (١١-٣) ليست جميعها في الواقع ضرورية لنمو النبات. يذكر على سبيل المثال بعض المعادن الضرورية لتغذية النبات؛ مثل: الحديد *(Fe)*، والمنغنيز *(Mn)*، والزنك *(Zn)*، والنحاس *(Cu)*، والبورون *(B)*، والموليبديوم *(Mo)*.

يستنتج من ذلك أن وجود هذه العناصر في مياه الري، أو المياه العادمة المعالجة، بتراكيز معينة، يعد مفيداً، وله قيمة.

تنحصر أكبر المخاطر الصحية المرتبطة بهذه العناصر، التي تسمى أيضاً بالمعادن الثقيلة (التي تتجاوز كثافتها ٤ جم/سم^{٣})، هي المخاطر المرتبطة بتلوث المحاصيل، وأخطر هذه العناصر الكالدميوم *(Cd)*، الزئبق *(Hg)*.

يساعد انخفاض دليل حموضة التربة (إلى أقل من ٦ *pH*) على ظهور مثل هذه التأثيرات، ولحسن الحظ لايعد ذلك شائعاً في معظم أنواع التربة بإقليم الشرق الأوسط الذي تنتشر فيه أنواع التربة القلوية (رقم الحموضة أعلى من *pH= 7*).

يعد توافر معظم هذه المعادن الثقيلة على هيئة أوكسيدات، أو هيدروكسيدات، في المياه العادمة المعالجة مفيداً، حيث يتم ترسيبها في أثناء عمليات المعالجة، وبذلك تصبح جزءاً من المواد الصلبة، أو الحمأة *(Sludge)* الناتجة من عملية المعالجة، مما يقتضي ضرورة تقنين معدلات إضافة الحمأة إلى التربة الزراعية بطريقة مأمونة، ومناسبة لتلافي مخاطر التلوث بالمعادن الثقيلة نتيجة لإضافة الحمأة إلى التربة، وتراكمها لسنوات طويلة، لذا وضعت كثير من الدول بعض الخطوط التوجيهية، وطبقت معايير للأمان فيما يتعلق بإعادة استخدام المياه العادمة المعالجة، بما يتناسب مع نوع التربة والمحاصيل، ونظم الري، والظروف المناخية، وغيرها، ومن الواضح أنه من المطلوب إجراء المزيد من البحوث في هذا المجال لوضع خطوط توجيهية تنظم الاستخدام الآمن للمياه العادمة المعالجة ونواتجها.

جدول(١١-٣):الحدود القصوى المسموح بها من نزر العناصر في مياه الري *FAO 2000*:

العنصر	الحدود المسموح بها (ملجم/لتر)	
	استعمال طويل الأجل (١)	استعمال قصير الأجل (٢)
الألمنيوم *(Al)*	*5,0*	*20,0*
الزرنيخ *(As)*	*0,10*	*2,00*
البورون *(B)*	*0,75*	*2,00*
الكادميوم *(Cd)*	*0,01*	*0,05*
الكروم *(Cr)*	*0,10*	*1,00*
الكوبالت *(Co)*	*0,05*	*5,00*
البيريليوم *(Be)*	*0,10*	٠,٥
النحاس *(Cu)*	*0,20*	*5,00*
الفلور *(F)*	*1,00*	*15,00*
الحديد *(Fe)*	*5,00*	*20,00*
الرصاص *(Pb)*	*0,05*	*10,00*
الليثيوم *(Li)*	*2,5*	*2,50*
المنغنيز *(Mn)*	*0,20*	*10,00*
مولبيديوم *(Mo)*	*0,01*	*0,05*
النيكل *(Ni)*	*0,20*	*2,00*
السيلينيوم *(Se)*	*0,02*	*0,02*
الفاناديوم *(V)*	*0,10*	*1,00*
الزنك *(Zn)*	*2,00*	*10,00*

(١): يمكن استعمال المياه في جميع أنواع الأراضي.

(٢): يمكن استعمال المياه لمدة لاتزيد على ٢٠ سنة، وفي الأراضي الرملية المتعادلة.

هـ: المواد الكيميائية الأخرى:

تحتوي مياه الصرف الصحي المعالجة أيضاً إضافة إلى نزر العناصر الثقيلة المشار إليها، على مجموعة من المواد الكيميائية (العضوية، وغير العضوية)، والتي تعود في مصدرها إلى طرح المخلفات الصناعية في شبكة المجاري العامة. نذكر من الكيماويات العضوية؛ التي توجد في المياه العادمة الفينولات، والهيدروكربونات، والمبيدات الحشرية، ومبيدات الأعشاب. يسبب وجود معظم هذه المواد العضوية الإصابة بالسرطان، وهذا يجعلها من أهم المخاطر الصحية، لذلك لقيت اهتماماً كبيراً من جانب منظمة الصحة العالمية *(WHO)*، ومن المرجح أن المخاطر الصحية المرتبطة بهذه المركبات تنشأ من سوء استخدامها في المناطق المروية أكثر مما تنشأ من استخدام المياه العادمة المعالجة التي تحتوي على نسب من هذه المركبات.

تعد النترات NO_3^- من ناحية أخرى، من أهم المركبات غير العضوية التي تضر بالبيئة، إضافة إلى المعادن الثقيلة المشار إليها، وعلى الرغم من أن جميع التقارير والوثائق تؤكد وجود النترات في المياه العادمة المعالجة، فإن تركيزها أعلى بكل تأكيد في المياه العادمة الزراعية من مثيلاتها في أنواع المياه العادمة الأخرى نظراً لتسرب الكميات الزائدة من الأسمدة النتروجينية التي تضاف إلى التربة إلى مياه الصرف، وقد استرعى تلوث موارد المياه الجوفية بالنترات اهتماماً واسعاً في جميع أنحاء العالم، وخاصةً من جانب الباحثين والمعنيين بشؤون البيئة. نذكر من الأمثلة التي تؤكد خطورة هذه المشكلة أن الإجراءات التي اعتمدتها الولايات المتحدة الأمريكية للتحكم في نسب تركيز النتروجين والفوسفور بمنطقة البحيرات الكبرى، على مدى عشر سنوات فقط، تجاوزت قيمتها مليارات عدة من الدولارات.

و- العناصر المغذية للنبات في المياه العادمة المعالجة:

يمكن أن تشكل قدرة المياه العادمة المعالجة على تزويد التربة بما تحتوي عليه من عناصر غذائية أحد العوامل الإيجابية في نمو المحصول، دون اغفال مايمكن أن تمثله أيضاً من مصدر تلوث للبيئة، وهذا يعتمد أساساً على الأساليب التي يطبقها المزارعون. يعد وجود العناصر الغذائية من الخصائص التي تنفرد بها المياه العادمة المعالجة، وهو ما يحرص عليه المزارعون بدرجة كبيرة، ولهذا السبب وضعت مدونة سلوكية للتسميد الجيد، والغرض منها هو توضيح الأبعاد الجديدة لاستعمال المياه العادمة المعالجة في الري بطريقة رشيدة، مريحة، مأمونة من الناحية البيئية.

و-١: قيمة العناصر الغذائية التي تحتوي عليها المياه العادمة المعالجة:

تحتوي المواد العالقة والغروية والمذابة في المياه العادمة المعالجة على عناصر غذائية كبرى *(macronutrients)*، وعناصر غذائية صغرى *(micronutrients)*، لها دور أساسي في تغذية المحاصيل، ومع ذلك، قد يتجاوز ماتحتوي عليه من العناصر الغذائية احتياجات المحصول، الأمر الذي يمثل خطراً محتملاً بتلوث المياه الجوفية، كذلك قد تؤدي هذه العناصر الغذائية الزائدة عن حاجة النبات إلى مشكلات تتصل بزيادة نمو المجموع الخضري للنبات، وتأخير النضج، أو عدم انتظامه، أو الإضرار بجودة المحاصيل؛ لذلك يجب تحديد تراكيز العناصر الغذائية الموجودة في المياه العادمة المعالجة، ومراعاتها في البرنامج العام للتسميد، وهنا يتطلب ضرورة إجراء تحليل للمياه العادمة المعالجة مرة واحدة على الأقل قبل بداية موسم الزراعة.

توجد في المياه العادمة المعالجة عناصر غذائية عدة لها أهميتها في زراعة المحاصيل والحدائق؛ منها النتروجين، والفوسفور، وأحياناً البوتاسيوم، والزنك والبورون، والكبريت. علاوةً على ذلك، فإن المواد العضوية الموجودة في المياه العادمة المعالجة لها تأثير طويل الأجل في خصوبة التربة، ويمكن أن تسهم في تثبيت بنية التربة.