بحث أصلي

وليد محمد كامل زاهد و عبدالله محمد الرحيلي

إعادة استعمال مياه الصرف الصحي بالمملكة العربية السعودية: نظم المعالجة ونشاطات ومقاييس إعادة الاستعمال

المستخلص: يهدف هذا البحث إلى التعريف بأهم مجالات وفوائد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي وأهم عناصر مقاييس إعادة الاستعمال واعتبارات تحديد هذه المقاييس، مع تقييم إعادة الاستعمال في المملكة من حيث أساليب المعالجة المتبعة والكميات التي يعاد استعمالها، وكذلك استعراض المقاييس الواردة في زنظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامهاس الذي تم اعتماده مؤخراً، وتقييم المعايير القياسية لجودة المياه المعالجة طبقا لما ورد في اللوائح التنفيذية المبدئية الواردة في مسودة النظام ومقارنتها ببعض التوصيات والمقاييس العالمية.

تتمثل مجالات إعادة استعمال مياه الصرف الصحي في المملكة بشكل رئيسي في أغراض الري الزراعي والمسطحات الخضراء، وتشكل المياه المعاد استعمالها نسبة 23% من المياه المعالجة أو ما يعادل 7% من الكمية الكلية التي تنتج من المدن. ولذلك فهناك ضرورة إلى تطوير وتوسيع مرافق الصرف الصحي لزيادة الاستفادة من مياه الصرف المعالجة للأغراض المختلفة التي أشار إليها زنظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استعمالهاس، وحدد نوعية المعالجة المطلوبة لبعضها. ويتضح من تقييم الوضع الحالي لمحطات المعالجة أن هناك تنوع واختلاف في أساليب المعالجة المتبعة. كما تعاني بعض محطات المعالجة القائمة من مشاكل تشغيلية مما انعكس سلباً على أداء المحطات وجودة المياه المعالجة بشكل لا يتوافق مع معايير الجودة المبدئية المقترحة من وزارة الزراعة والمياه والتي توازي المقاييس الأمريكية في صرامتها.

يتبين مما سبق أن هناك حاجة لوضع استراتيجية واضحة تحدد أهداف معالجة مياه الصرف الصحي تكون مرتبطة بمجالات إعادة الاستعمال الممكنة بالمملكة يُحدد بناءً عليها اختيار النظم الملائمة للمعالجة. كما أن هناك ضرورة في أن تتولى جهة معينة تتوفر لديها الخبرات والإمكانيات مسئولية تطبيق الاستراتيجية، وكذلك مراقبة محطات المعالجة ومشاريع إعادة الاستعمال وأدائها، وتقدم الإرشادات إلى مصالح المياه والصرف الصحي فيما يتعلق باختيار نظم المعالجة المناسبة وتصميم وتشغيل وصيانة المحطات بما يتوافق مع المقاييس والأنظمة المعنية بالتخلص من المياه المعالجة وإعادة استعمالها.

Reuse of Municipal Wastewater in Saudi Arabia: Treatment Systems, Reuse Activities and Criteria.

Waleed M. K. Zahid and Abdullah M. Al-Rehali
Civil Engineering Department, College of Engineering
King Saud University, P.O. Box 800, Riyadh 11421,
Saudi Arabia

Abstract: This paper introduces major use applications of reclaimed municipal wastewater and their benefits, important elements of water reclamation and reuse criteria, and key factors in the establishment of these criteria. The paper also evaluates reuse practices in Saudi Arabia with emphasis on treatment systems, quantities of reclaimed water, and criteria established in the new governmental code Reclaimed Wastewater and Reuse . Comparisons with some international criteria and standards are also presented.

The principal reuse application in the Kingdom has been for landscape and agricultural irrigation. Reclaimed water amounts to about 23% of the treated wastewater, which constitutes only 7% of the total amount of wastewater generated from cities. There is an obvious need to develop and expand wastewater infrastructures in the Kingdom in order to increase utilization of reclaimed water for different possible use applications. Evaluation of current practices in the Kingdom reveals that different plants adopt different treatment systems, and some of them suffer several operational problems.

The need for a strategy delineating the objectives of wastewater treatment in view of potential reuses for the Kingdom, appears obvious. There is also a necessity for establishing an agency equipped with adequate expertise and resources to implement the strategy, monitor and advise treatment plants and reuse projects.

وليد محمد كامل زاهد و عبدالله محمد الرحيلي
قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة الملك سعود
ص. ب: 800 **الرياض** 11421 ، المملكة العربية السعودية
فاكس: 4674254 – **تلكس**: 401019

مقدمـــة

شهدت المملكة العربية السعودية خلال العقدين الماضيين زيادة كبيرة في الطلب على المياه للأغراض الزراعية والحضرية والصناعية كنتيجة حتمية للحركة التنموية والنمو السكاني السريع والتحسن في مستوى المعيشة والتوسع في الإنتاج الزراعي مع التوجه نحو التطوير الصناعي (وزارة التخطيط، 1995). وأدى ذلك إلى التأثير المباشر في الميزان المائي للمملكة، مما استدعى النظر بجدية إلى الترشيد في استهلاك المياه والاستفادة من مصادر المياه غير التقليدية. وقد أشارت الخطط الخمسية التنموية للمملكة إلى ذلك، وأوضحت ضرورة اتخاذ إجراءات فاعلة للحد من الاستهلاك الزائد للمياه في القطاع الزراعي ووضع التشريعات الملائمة للمحافظة على المياه مع التركيز على نشاطات الترشيد والتوسع في الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة (وزارة التخطيط، 1995).

وتعمل الكثير من الدول جادة في سبيل إعادة استعمال مياه الصرف الصحي كأحد المصادر المهمة للمياه، وهناك الكثير من التطبيقات والعديد من التشريعات والمقاييس لإعادة استعمال مياه الصرف الصحي. كما أن هذا الموضوع بدأ يأخذ حيزاً من تفكير المتخصصين والمسئولين عن مصادر المياه في المملكة في ظل وجود بعض التطبيقات المحدودة جداً. و عند النظر إلى مياه الصرف الصحي المعالجة كمصدر مائي بديل ومتجدد يمكن الاستفادة منه، فإن أهداف المعالجة ووسائلها وأساليب التحكم في جودة المياه المنتجة ومقاييس إعادة الاستعمال تتفاوت وتتناسب مع طبيعة الاستعمال المنشود لهذه المياه. لذلك فانه من الضروري الوقوف على تفاصيل الموضوع ودراسة واقع وأهداف معالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استعمالها في المملكة.

تهدف هذه الورقة إلى التعريف بأهم مجالات وفوائد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي وأهم عناصر مقاييس إعادة استعمال مياه الصرف الصحي والاعتبارات المرتبطة بتحديد هذه المقاييس، مع تقييم إعادة الاستعمال في المملكة، من حيث أساليب المعالجة المتبعة وكميات المياه المعالجة والكميات التي يعاد استعمالها. كما تعرض الورقة المقاييس الواردة في نظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامهاس والذي تم اعتماده مؤخراً، وتقيم المعايير القياسية لجودة المياه المعالجة طبقا لما ورد في اللوائح التنفيذية المبدئية الواردة في مسودة النظام وتقارنها ببعض التوصيات والمقاييس العالمية.

مياه الصرف الصحي:

يمكن تعريف مياه الصرف الصحي بأنها مياه عادمة ناتجة من استخدام الإنسان للماء في الأنشطة الحياتية الاعتيادية، و هي تمثل عادة ما بين 70٪ إلى 90٪ من كمية مياه الشرب التي تُضخ في شبكات المياه العامة (Henry, 1996). تحتوي مياه الصرف الصحي على مواد عضوية وغير عضوية وعناصر حيوية أُضيفت إلى الماء أثناء استعماله مما يجعل هذه المياه غير صالحة للاستعمال المباشر دون معالجة. لذلك فان مياه الصرف الصحي يتم جمعها عن طريق شبكات عامة ومن ثم معالجتها في محطات مخصصة لذلك. وتهدف معالجة مياه الصرف الصحي بمعناها التقليدي إلى إزالة المواد العضوية والقضاء على الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض للحصول على مياه يمكن أن تصرف في البيئة المحيطة دون الإضرار بصحة الإنسان وموارد رزقه وممتلكاته.

مجالات وفوائد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي:

من الممكن إعادة استعمال مياه الصرف الصحي أو أي مياه عادمة لأي غرض من الأغراض على شرط معالجة المياه بدرجة توافق متطلبات الاستعمال من ناحية الجودة. وبالتالي فان طبيعة إعادة الاستعمال هي التي تحدد نوعية وطبيعة عمليات المعالجة اللازمة وما يرتبط بذلك من مقاييس أساليب للتحكم في جودة المياه المنتجة وطريقة استعمالها.

جدول (١): أهم مجالات إعادة استعمال مياه الصرف الصحي

أولاً:أغراض زراعية
- ري المحاصيل الغذائية
- ري المحاصيل غير الغذائية
- ري المراعي
- ري المشاتل التجارية

ثانياً:أغراض صناعية
- التبريد
- تغذية غلايات المياة
- العمليات الصناعية

ثالثاً:أغراض حضرية
- ري الأحزمة الخضراء وبعض الملاعب
- ري الحدائق والمتنزهات العامة
- تغذية السيفونات
- إطفاء الحرائق
- بعض أغراض البناء
- مياة النوافير والبحيرات الجمالية

رابعاً:أغراض ترويحية
- تغذية بحيرات وبرك السباحة العامة
- تغذية المسطحات المائية لأغراض الصيد والنزهة بالقوارب
- صناعة الجليد للتزلج

خامساً:أغراض بيئية
- زيادة التدفق في مجاري المياة الطبيعية كالأدوية والجداول
- عمل بحيرات اصطناعية

سادساً:تنمية الثروة الحيوانية
- تربية الأحياء المائية
- سقيا المواشي والدواجن

سابعاً:تغذية مكامنالمياة الجوفية
- الحد من إنخفاض منسوب المياة الجوفية
- رفع منسوب المياة الجوفية
- الحد من تحرك المياه المالحة نحو المكامن في المنطقة الساحلية

يوضح "جدول ١" مجالات إعادة استعمال مياه الصرف الصحي المطبقة في كثير من الدول الصناعية مع بعض الأمثلة لكل مجال. وبالرغم من أن استعمال المياه المعالجة في الري يعد من أكثر الاستعمالات شيوعا في كثير من أرجاء العالم إلا أن هناك تزايد ملحوظ في استغلال هذه المياه في المجالات الأخرى. كما أن طبيعة

إعادة الاستعمال تختلف من مكان إلى آخر حسب الظروف المناخية والاقتصادية. ففي المناطق الجافة في الولايات المتحدة الأمريكية، كما هو الحال في ولايتي كاليفورنيا وأريزونا، يعاد استعمال مياه الصرف الصحي بشحنها في خزانات المياه الجوفية لتعويض الكميات المسحوبة من هذه المكامن، وفي حالات أخرى للحد من تحرك المياه المالحة نحو مكامن المياه الجوفية كما هو الحال في الولايات الساحلية، هذا علاوة على استعمال المياه المعالجة في أغراض الري المختلفة (Hermanowics and Asano, 1999) . أما في اليابان فان معظم المياه المعالجة تستعمل في أغراض صناعية وبيئية وحضرية (Asano et al., 1996).

و تكمن أهم مزايا وفوائد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي في أنها تعمل على:

- خفض الطلب على موارد المياه العذبة وتوفير المياه الصالحة للشرب لاستخداماتها الحقيقية، وذلك من خلال استعمال المياه المعالجة في بعض المجالات أو الأغراض بدلا من المياه العذبة إذا كانت جودة المياه المعالجة تسمح بذلك.
- حماية مصادر المياه الصالحة للشرب وغيرها من الموارد البيئية من التلوث حيث أن إعادة الاستعمال تحد من تصريف المياه إلى المسطحات المائية والبيئة المحيطة.
- تحسين خصائص التربة وخصوبتها، في حالة استعمالها لأغراض الري، نظراً لما تحويه هذه المياه من عناصر ومواد غذائية ضرورية لنمو النبات مثل النتروجين والفوسفور بالإضافة إلى المواد العضوية.
- تقليل الضغط على الموارد المائية الجوفية ومن ثم مقاومة تدهور خصائصها.

عناصر مقاييس إعادة الاستعمال واعتبارات تحديدها:

تتضمن مقاييس إعادة الاستعمال عناصر عدة من أهمها: معايير جودة المياه المعالجة وحدودها المسموح بها، عمليات المعالجة اللازمة، متطلبات تشغيل ومراقبة وحدات المعالجة والاحتياطات المرتبطة بضمان أدائها بشكل جيد، وضوابط إعادة الاستعمال. وحسب نوعية الاستعمال المنشود، هناك اعتبارات هامة يجب دراستها عند تحديد مقاييس إعادة استعمال مياه الصرف الصحي تشمل.

1. حماية الصحة العامة: من أهم المشكلات المرتبطة بإعادة استعمال مياه الصرف الصحي المخاطر الصحية المحتملة من تعرض العامة والعاملين في هذا المجال ، بشكل مباشر أو غير مباشر ، إلى الملوثات الكيميائية والكائنات الدقيقة الممرضة من بكتيريا وفيروسات وأوليات وديدان. ويتعرض الإنسان لهذه الملوثات عند ملامسة المياه التي تحوي هذه الملوثات أو استنشاق رذاذها أو عند استهلاك مياه أو نبات أو غذاء ملوث بها. لذلك فان مياه الصرف الصحي المعالجة يجب أن تكون آمنة للاستعمال المنشود. و يمكن تحقيق ذلك عن طريق تقليل محتوى المياه من الكائنات الدقيقة الممرضة والمواد الكيميائية و/أو الحد من التعرض للمياه المعالجة.
2. متطلبات إعادة الاستعمال: تعتمد إمكانية إعادة استعمال مياه الصرف الصحي في أي مجال من مجالات إعادة الاستعمال على جودة المياه من الناحية الطبيعية والكيميائية والميكروبيولوجية، حيث أن كل مجال يتطلب جودة معينة. فري المسطحات الخضراء في المناطق الحضرية والاستعمال في السيفونات تتطلب مياه مشابهة للمياه الصالحة للشرب من ناحية اللون والرائحة وأن تكون المياه خالية من الميكروبات لتجنب المخاطر الصحية في حالة ملامسة المياه. كما أن إعادة استعمال مياه الصرف في البرك والبحيرات الترفيهية يجب أن لا يؤدي إلى زيادة كبيرة في نمو الطحالب. أما بعض التطبيقات الصناعية فتتطلب مياه بخصائص كيميائية وطبيعية معينة لا ترتبط بالاعتبارات الصحية. وتتأثر جودة المياه المعالجة بنوعية المياه العادمة التي تدخل شبكة الصرف الصحي، و عمليات المعالجة التي تمر بها مياه الصرف وكفاءة تشغيل وصيانة عمليات المعالجة، وتصميم نظام توزيع المياه المعالجة وتشغيله. فتصريف المخلفات السائلة الصناعية بدون معالجة في شبكات الصرف الصحي يضيف العديد من المواد الكيميائية التي تؤثر سلباً على أداء محطات المعالجة وعلى جودة المياه الناتجة. وبالرغم من أهمية التشغيل والصيانة في تعزيز قدرة عمليات المعالجة إلا أنها عادة ما تهمل. أما بالنسبة إلى توزيع المياه وما يتصل بهما من شبكات وخزانات فتكمن أهميتها في ضمان وصول المياه المعالجة إلى المستهلك دون تغير في خصائصها ودون حدوث تعديات، فمياه الخزانات المكشوفة قد تتدهور جودتها نتيجة لنمو الكائنات الدقيقة والطحالب أو تلوثها بالجسيمات العالقة في الهواء.
3. التأثيرات البيئية: من الضروري أن لا يؤثر استعمال المياه المعالجة سلبا على الحياة الفطرية النباتية والحيوانية ومصادر المياه في المنطقة التي تستعمل فيها المياه المعالجة أو في المناطق المجاورة لمنطقة إعادة الاستعمال.
4. تقبل العامة والمستخدم: اقتناع العامة والمستخدم بسلامة المياه وصلاحيتها للاستعمال يتطلب من الجهات المعنية مراقبة وتنظيم إعادة الاستعمال والعمل على ذلك من خلال فرض معايير جودة وتشغيل متحفظة.
5. اعتبارات اقتصادية وفنية: موائمة المقاييس للقدرات الفنية والاقتصادية المحلية يعد من أهم العوامل التي تشجع منتجي ومستخدمي المياه المعالجة على الالتزام بالمقاييس وتساعد على التوسع في مشاريع إعادة الاستعمال وضمان استمرارها ونجاحها.

إعادة الاستعمال في المملكة العربية السعودية:

قُدر متوسط كمية مياه الصرف الصحي المعالجة في المملكة عام 1415هـ بحوالي 1,44 مليون م3/يوم (Al-Rehaili, 1997) أو ما يمثل حوالي 30% من مياه الصرف الصحي الكلية وحوالي 42% من كمية مياه الشرب الموزعة بواسطة شبكات المياه العامة والمقدرة بحوالي 3,4 مليون م3/يوم. أما ما أعيد استعماله في نفس العام فيقدر بحوالي 335800 م3/يوم (وزارة الشئون البلدية و القروية، 1995) وهو ما يمثل 23% من المياه المعالجة و 7% من مياه الصرف الصحي الكلية. وحسب خطة التنمية السادسة فان مياه الصرف الصحي المعالجة ساهمت في توفير 0.8% فقط من احتياجات قطاعات التنمية المختلفة للمياه في عام 1415هـ، بينما ساهمت المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة والمياه المحلاة في توفير 13,8% و 81,5% و 3,8% من الاستهلاك الكلي على الترتيب (وزارة التخطيط، 1995). ويتوقع أن تصل كمية مياه الصرف الصحي الناتجة في عام 1445هـ إلى حوالي 5 بلايين م3 (حوالي 14 مليون

م3/يوم) (الطرباق والضويلع، 1417 هـ). و حيث أن القطاع الزراعي يستهلك حوالي 90% من كمية المياه المستهلكة الكلية (وزارة التخطيط، 1995) فسيكون لمياه الصرف المعالجة دور بارز ومهم في تغطية جزء من احتياجات القطاع الزراعي.

يبين جدول-2 ، محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المملكة التي يُعاد استعمال مياهها أو جزء منها وطبيعة إعادة الاستعمال بالإضافة إلى عمليات المعالجة المستخدمة. يتبين من الجدول أن المدن الداخلية تستعمل بعض المياه المعالجة في ري المسطحات الخضراء والري الزراعي وبعض الأغراض الصناعية وتتخلص من المياه الفائضة في الأودية. أما المدن الساحلية فتستعمل جزء من المياه المعالجة في أغراض الري وتتخلص من الفائض في البحر الأحمر أو الخليج العربي. وبالنسبة إلى المياه التي لا يتم معالجتها في محطات (حوالي 70% من مياه الصرف الصحي الناتجة من المدن) فتتسرب إلى باطن الأرض عن طريق البيارات أو تصرف إلى البحر أو تتبخر.

ويعد مشروع وزارة الزراعة و المياه لإعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة بمدينة الرياض من أكبر مشاريع إعادة الاستعمال للأغراض الزراعية بالمملكة بطاقة تصميميه تبلغ 220,000 م3/يوم. ويتم حاليا استغلال ما بين 150,000 إلى 185,000 م3/يوم من ناتج محطة الحائر الثلاثية بضخها في شبكة يبلغ طولها 324 كلم إلى المناطق الزراعية بديراب وعرقة والدرعية والعمارية والحائر والوصيل والجبيلة والعيينة لري حوالي 90 كلم2 من الأراضي الزراعية، كما تستعمل مصفاة الرياض كمية تصل إلى حوالي 14,000 م3/يوم من ناتج محطة الحائر لأغراض التبريد بعد معالجتها بواسطة عمليات متقدمة في المصفاة (زاهد و آخرون، 1418 هـ). وتمثل هذه الكميات حوالي 38% من كمية مياه الصرف المعالجة بالمدينة وحوالي 14% من متوسط استهلاك مياه الشرب بمدينة الرياض يومياً (زاهد و آخرون، 1418 هـ).

نظم معالجة مياه الصرف الصحي في المملكة:

بالإطلاع على نظم معالجة مياه الصرف الصحي في المحطات التي يعاد استعمال جزء من ناتجها النهائي (جدول (2)) نجد انه يتم استخدام أنواع مختلفة من أساليب المعالجة الثانوية والمتقدمة بعد المعالجة الأولية التقليدية. تشمل أساليب المعالجة المستخدمة: عمليات بسيطة التشغيل ومنخفضة التكاليف كأحواض التثبيت المهواه طبيعياً أو ميكانيكياً، وعمليات أعلى كفاءة وتكلفة كالمرشحات الحيوية والحمأة المُنشطة، وعمليات معالجة متقدمة ومكلفة ومعقدة التشغيل أحياناً مثل عمليات إزالة النتروجين والترسيب بمساعدة مواد كيميائية والترشيح الكربوني والرملي.

إن هذا التنوع والاختلاف في أساليب المعالجة يدل على عدم وجود استراتيجية واضحة تتعلق بأهداف معالجة مياه الصرف الصحي ومرتبطة ببيئة المملكة والتوجه نحو الاستفادة من المياه المعالجة. هذا وقد أشارت بعض الدراسات المتخصصة (Al-Rehaili, 1997; and Abu-Ruziaza et al., 1995) إلى وجود العديد من الملاحظات وإلى القصور في نواحي عديدة بشكل متفاوت بين المحطات والممارسات من منطقة إلى أخرى. ففي محطات المعالجة الثانوية بمكة المكرمة ، يتم صرف بعض المياه المعالجة في الوادي ويعاد استعمال جزء منها في الري بدون إضافة كلور لتطهير المياه من الجراثيم الممرضة علاوة على المشاكل التشغيلية التي تعاني منها هذه المحطات.

كما أن معظم محطات أحواض التثبيت المهواه طبيعياً لا تعمل بشكل جيد نتيجة لتجاوزها الطاقة التصميمية ووجود بعض المشاكل المتعلقة بالتشغيل والصيانة (Al-Rehaili, 1997). والجدير بالذكر أن أحواض التثبيت تعد من أساليب المعالجة الحيوية الفاعلة في إزالة الكائنات الدقيقة الممرضة علاوة على سهولة تشغيلها وانخفاض تكاليفها ولكنها تحتاج إلى صيانة ومتابعة مستمرة وتتطلب مساحات كبيرة حيث أن مدة حجز المياه في الأحواض تتراوح ما بين أسبوعين إلى عدة أشهر حسب الأحمال العضوية ومعدلات تدفق مياه الصرف ونوعية الأحواض (Hammer, 1986). وبالتالي فهي مناسبة للمناطق الريفية والمدن الصغيرة حين تتوفر المساحات الأرضية الكبيرة.

مقاييس إعادة استعمال مياه الصرف الصحي بالمملكة:

طبقا لما ورد في نظام زمياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامها الصادر في عام 1421هـ (مجلس الشورى، 1421 هـ)، فان مقاييس إعادة الاستعمال تتضمن مجالات الري والأنشطة الترفيهية والأغراض الصناعية والتبريد وتغذية المياه الجوفية. و قد أشار النظام إلى أن إصدار اللوائح التنفيذية المتضمنة المعايير القياسية للمياه المعالجة للمجالات المذكورة سيتم لاحقاً من قبل الجهات

المعنية (وزارة الزراعة و المياه ووزارة الشئون البلدية والقروية)، علما بان المسودة السادسة للنظام الصادرة من وزارة الزراعة والمياه في عام 1407هـ (وزارة الزراعة والمياه بالمملكة العربية السعودية، 1407 هـ) قد أوردت المعايير القياسية للمياه. وفيما يلي توضيح لمجالات إعادة الاستعمال ومقاييسها حسب ما ورد في النظام:

مجالات الري: تضمنت مجالات الري نوعان من الري: الري المقيد والري غير المقيد. يتطلب الري المقيد معالجة مياه الصرف الصحي معالجة ثانوية (حيوية) مع التطهير ويشمل ري جميع أنواع المحاصيل باستثناء الخضراوات والنباتات التي تلامس ثمرتها المياه المعالجة سواء كانت تؤكل طازجة أو مطبوخة، وكذلك ري الأحزمة الخضراء في الطرق والشوارع الرئيسة والأشجار الواقعة خارج نطاق البلديات. أما الري غير المقيد فيستلزم معالجة ثلاثية تتضمن المعالجة الحيوية المنتهية بالترشيح والتطهير وأي عمليات أخرى، ويمكن استعمال المياه الناتجة عنها في ري جميع أنواع المحاصيل بدون استثناء. ويوضح جدول (3) المعايير القياسية للمياه المعالجة معالجة ثانوية ومعالجة ثلاثية والتي يمكن استعمالها في أغراض الري المقيد وغير المقيد على الترتيب وذلك حسب ما ورد في المسودة السادسة للنظام. كما أشارت المسودة السادسة إلى عدد من التدابير والإجراءات الوقائية اللازم إتباعها في مناطق وأعمال الري لحماية البيئة المحيطة والصحة العامة بالإضافة إلى التكرار الزمني لقياس معايير جودة المياه. ولكن المسودة لم تورد أي حيثيات فيما يتعلق بالحدود القصوى المسموح بها للملوثات في المياه المعالجة.

مجالات الأنشطة الترفيهية وتربية الأسماك: يتطلب النظام أن تكون نوعية المياه المراد استعمالها في هذه المجالات مطابقة للمعايير النوعية المحددة للمعالجة الثلاثية. كما يجب إجراء معالجة إضافية لإزالة النتروجين والفوسفور للحد من نمو الطحالب لتأمين بيئة مائية صالحة وملائمة لحياة الأسماك.

المجالات الصناعية: أشار النظام إلى إمكانية استعمال المياه المعالجة

جدول (2) : محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي يعاد استعمال جزء من ناتجها النهائي
(Al-Rehaili, 1997. Abu-Ruziaza et al., 1995 مصلحة المياه و الصرف الصحي بمنطقة مكة المكرمة، 1421 هـ).

اسم المحطة	المدينة	متوسط التدفق (م3/يوم)	عمليات المعالجة	أساليب التخلص النهائي/إعادة الاستعمال
المحطة القديمة	مكة	65,000	مرشحات حيوية (حصى)	وادي / ري مسطحات خضراء
المحطة الجديدة	مكة	50,000	حمأة منشطة + إزالة النتروجين	وادي / ري مسطحات خضراء
الحاير الجنوبية (القديمة)	الرياض	200,000	مرشحات حيوية (بلاستيك) + أحواض تثبيت مهواة + مرشحات رملية + تطهير	وادي / ري زراعي – مصفاة الرياض
الحاير الشمالية (الجديدة)	الرياض	200,000	حمأة منشطة + إزالة النتروجين + مرشحات رملية + تطهير	وادي / ري زراعي – مصفاة الرياض
محطة مصفاة الرياض	الرياض	10,000	ناتج محطة الحاير + ترسيب + ترشيح + تناضح عكسي + تبادل أيوني	تبريد – تغذية الغلايات – مياة تعويضية لوحدات إزالة الأملاح
المحطة الجديدة	المدينة	100,000	حمأة منشطة + تطهير	وادي / ري زراعي ومسطحات خضراء
محطة الطائف	الطائف	50,000	حمأة منشطة + إزالة النتروجين + ترسيب + مرشحات رملية+ ترشيح بالكربون المنشط + تطهير	ري زراعي ومسطحات خضراء
محطة الدوبة	خميس مشيط	10,000	قنوات أكسدة + تطهير	وادي / ري زراعي ومسطحات خضراء
محطة C	جـــدة	63,000	محطة مسبقة الصنع تعمل بنظام التثبيت بالتلامس + تطهير	ري مسطحات خضراء – أحواض رملية
محطة A	جـــدة	55,000	محطة مسبقة الصنع تعمل بنظام التثبيت بالتلامس + تطهير	البحر الأحمر / ري مسطحات خضراء
محطة بني مالك	جـــدة	6,500	محطة مسبقة الصنع تعمل بنظام التثبيت بالتلامس + تطهير	ري مسطحات خضراء في الغالب
الجامعـــة	جـــدة	7,000	محطة مسبقة الصنع تعمل بنظام التثبيت بالتلامس + تطهير	البحر الأحمر / ري مسطحات خضراء
الخمرة القديمة	جـــدة	20,000	مرشحات حيوية + أوزنة + ترسيب + مرشحات رملية + تناضح عكسي (لا يعمل) + تطهير	البحر الأحمر / ري مسطحات خضراء
الخمرة الجديدة	جـــدة	32,000	حمأة منشطة (تهوية مطولة)	البحر الأحمر / ري مسطحات خضراء
محطة الدمـــام	الدمـــام	140,000	قنوات أكسدة + تطهير	الخليج العربي / ري مسطحات خضراء
محطة القطيف	القطيف	35,000	قنوات أكسدة + تطهير	الخليج العربي / ري مسطحات خضراء

في الصناعة وفقا للمعايير القياسية الموضحة في اللوائح التنفيذية للنظام دون الإشارة إلى نوعية المعالجة المطلوبة (ثانوية أو ثلاثية).

تغذية المياه الجوفية: تتطلب تغذية المياه الجوفية بواسطة الحقن المباشر للمياه المعالجة إلى باطن الأرض الحصول على تصريح من وزارة الزراعة والمياه وبعد التأكد من مطابقة المياه للمعايير الفنية المعروفة علمياً. أما بالنسبة إلى تصريف المياه المعالجة في الأراضي الفضاء أو مجاري الوديان والمجاري الطبيعية فيتطلب الأمر الحصول على تصريح من الوزارة مبني على جودة المياه المعالجة والتكوينات الجيولوجية لهذه الأماكن.

تشمل المعايير القياسية للمياه المعالجة (جدول-3) معايير عدة مثل بكتريا الكوليفورم البرازية والديدان الخيطية المعوية و طلب الأكسجين الحيوكيميائي و المواد الصلبة العالقة و العكارة و الكلور المتبقي و الرقم الهيدروجيني بالإضافة إلى عدد من العناصر الكيميائية و المعادن الثقيلة. ويلاحظ أن الحدود القصوى المسموح بها لغالبية المعادن الثقيلة المذكورة في المقاييس السعودية مطابق لتوصيات منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) (Food and Agriculture Organization, 1991) ، بينما نجد أن تركيز النترات (10 ملجرام/لتر كنتروجين) والزئبق (0.001 ملجرام/لتر) والسيانيد (0.05 ملجرام/لتر) مطابق لمواصفات مياه الشرب الصادرة عن الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس (الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس، 1993)

وبمقارنة قيم معايير جودة المياه للري غير المقيد بتلك للري المقيد نجد أنها متشابهة ما عدا لثلاثة معايير وهي: طلب الأكسجين الحيوكيميائي والمواد العالقة وبكتريا الكوليفورم البرازية. فالمتوسط الشهري المسموح به لتركيز كل من طلب الأكسجين الحيوكيميائي والمواد العالقة يجب أن لا يتجاوز 10 ملجرام/لتر للري غير المقيد ولا يتجاوز 25 ملجرام/لتر للري المقيد. وبالنسبة لبكتريا الكوليفورم البرازية، فيجب أن لا يزيد المتوسط الأسبوعي لعدد المستعمرات لكل 100 ملل عن 2.2 للري غير المقيد ولا يزيد عن 200 للري المقيد.

والجدير بالذكر أنه لا توجد دراسات مستفيضة عن تأثيرات مشاريع إعادة استعمال مياه الصرف المعالجة في المملكة على الصحة وخصائص التربة ومصادر المياه الجوفية. مثل هذه الدراسات ستسهم في وضع مقاييس تعكس الظروف والاحتياجات المحلية وتساعد على التخطيط المستقبلي السليم لمثل هذه المشاريع.

مقارنة المعايير القياسية السعودية لجودة المياه المعالجة للاستعمال في الري بالمقاييس والتوصيات العالمية و انعكاساتها على الممارسة في المملكة:

بمقارنة أهم معايير جودة المياه المعالجة لاستعمالها في أغراض الري الصادرة من بعض الدول و المنظمات كما هو موضح في جدول (4) ، يتضح أن جميع المقاييس أوردت بكتريا الكوليفورم (البرازية أو الكلية) كمعيار للدلالة على جودة المياه من الناحية الميكروبيولوجية، و انفردت المقاييس السعودية و توصيات منظمة الصحة العالمية (World Health Organization, 1989) بإضافة الديدان المعوية كمعيار آخر. وباستثناء قيم منظمة الصحة العالمية، تراوحت قيم بكتريا الكوليفورم من الصفر تقريباً إلى 2.2 مستعمرة/100 ملل للري غير المقيد ومن 23 إلى 200 مستعمرة لكل 100 ملل للري المقيد. وتعد قيم منظمة الصحة العالمية الأقل صرامة حيث تراوحت قيم بكتريا الكوليفورم من 200 إلى 1000 مستعمرة لكل 100 ملل.

كما يلاحظ أيضاً أن طلب الأكسجين الحيوكيميائي و المواد الصلبة العالقة لم ترد إلا في مقاييس وزارة الزراعة والمياه السعودية وولاية فلوريدا (Crook and Surampalli, 1996) و إرشادات وكالة حماية البيئة الأمريكية (US. EPA, 1992) ، وتراوحت قيمها من 5 إلى 30 ملجرام/لتر. ونجد معيار العكارة مستعمل في بعض المقاييس بجانب معيار المواد العالقة. وبالنسبة إلى الكلور المتبقي بعد التطهير فقد ذكر في جميع المقاييس ما عدا توصيات منظمة الصحة العالمية حيث أن المنظمة تقترح استعمال أحواض التثبيت لإزالة الكائنات الدقيقة بدون إضافة مواد كيميائية مطهرة. وتراوحت قيم الكلور المتبقي في هذه المقاييس من (0.5 إلى 5 ملجرام/لتر). وبشكل عام، فان المقاييس السعودية لأغراض الري تشابه المقاييس الأمريكية وإرشادات وكالة حماية البيئة الأمريكية في صرامتها ولكن المقاييس الأمريكية تتضمن تفاصيل أكثر فيما يتعلق بالاحتياطات والتدابير الوقائية اللازم اعتبارها في مناطق وأعمال الري بالإضافة إلى متطلبات تشغيل ومراقبة والتحكم في عمليات المعالجة.

ويجب الإشارة هنا إلى أن فرض قيود شديدة على نوعية المياه المعاد استعمالها لأي غرض يستدعي أن تكون المصادر المنتجة لهذه المياه، غالباً محطات معالجة الصرف الصحي، قادرة على أن تفي بهذه المتطلبات. والواضح من واقع محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالمملكة أن الكثير منها لا يفي بهذه المتطلبات نتيجة لأسباب عديدة تتعلق بضعف أداء هذه المحطات إما لعدم وجود الإمكانات البشرية المناسبة أو لضعف المراقبة والإهمال في متابعة الجهات المسئولة عن التشغيل أو لزيادة العبء على المحطات عن حدود التصميم أو لطبيعة عمليات المعالجة المستخدمة أو لظروف أخرى عديدة (Al-Rehaili, 1997). وقد أدى ذلك في بعض المواقع إلى استعمال مياه صرف معالجة لأغراض لا تتناسب مع جودتها. ويستدعي هذا الأمر المراجعة الدقيقة لواقع أنظمة ومحطات المعالجة القائمة ووضع نظام فاعل لتحسين ومراقبة أداء المحطات القائمة ووضع استراتيجية واضحة من قبل جهاز متخصص لتحديد خيارات المعالجة وإعادة الاستعمال في ضوء الاحتياجات الفعلية للمملكة يتم بناءً عليه بيان وتحديد طبيعة وأهداف محطات المعالجة المستقبلية وأساليب مراقبة أدائها.

كما يجب أن تكون النظرة إلى مياه الصرف الصحي المعالجة على أنها رافد مهم من روافد المياه للمملكة وعنصر أساسي في موازنة الطلب على المياه والترشيد في استهلاكها. كل ذلك يتطلب الإسراع في استكمال البنية الأساسية لمرافق الصرف الصحي بأسلوب علمي مدروس مبني على المتابعة والمراقبة لإيقاف الهدر المستمر لهذه المياه وعدم الاستفادة من غالبيتها حيث أن ما يتم معالجته حالياً يصل إلى حوالي 30٪ فقط من مياه الصرف الصحي الناتجة من المدن، ويعاد استعمال 23٪ من هذه المياه المعالجة أو 7٪ فقط من مياه الصرف الناتجة عن المدن.

وحيث أن بعض الاستعمالات الصناعية للمياه المعالجة لا تتطلب جودة عالية للمياه المستعملة فانه يمكن توجيه مياه الصرف الصحي المعالجة بالمملكة والتي لا تناسب الاستعمال الزراعي المقيد إلى بعض الاستخدامات الصناعية. وربما يمكن اعتبار هذا الاقتراح كحل مرحلي خصوصاً بالنسبة لبعض المحطات القائمة والتي ضعف أدائها نتيجة لزيادة العبء عليها أو التي لا يمكن تحسين أدائها.

جدول (3): المعايير القياسية لجودة مياه الصرف الصحي المعالجة لاستعمالها في الري في المملكة (وزارة الزراعة والمياه بالمملكة العربية السعودية، 1407 هـ).

المعيـــــار	الحد الأقصى المسموح به (ملجرام/لتر باستثناء ما ذكر)	
	الري غير المقيـد	الري المقيـد
طلب الأكسجين الحيوي (BOD)	(المتوسط الشهري) 10 (المتوسط الأسبوعي) 15	(المتوسط الشهري) 25 (المتوسط الأسبوعي) 30
المواد الصلبة العالقة (SS)	(المتوسط الشهري) 10 (المتوسط الشهري) 15	(المتوسط الشهري) 25 (المتوسط الشهري) 30
العكارة (وحدة عكارة نفلومترية ، NTU)	5	5
بكتريا الكوليفورم البرازية (العدد الأكثر احتمالاً في 100 ملل)	(المتوسط الأسبوعي) 2.2 (في أي عينة) 23	(المتوسط الأسبوعي) 200 (المتوسط الشهري) 100
الديدان الخيطية المعوية (بيضة حية/لتر)	1	1
الرقم الهيدروجيني	8.4 - 6	8.4 - 6
الكلور الحر المتبقي	لا يقل عن 0.5	لا يقل عن 0.5
فلورايـــــد	0.5	0.5
نحـــــاس	10	10
حـــــديد	2	2
منجنيـــــز	0.4	0.4
ألومنيـــــوم	5	5
رصـــــاص	0.1	0.1
زنـــــــك	4	4
زرنـــــيخ	0.1	0.1
بيريليـــوم	0.1	0.1
كادميـــــوم	0.01	0.01
كـــــروم	0.1	0.1
كـــــوبلت	0.05	0.05
ســـــيانيد	0.05	0.05
زئبـــــق	0.001	0.001
نيـــــكل	0.02	0.02
ســـيلينيوم	0.02	0.02
موليبدينوم	0.01	0.01
فنـــاديوم	0.1	0.1
فينـــول	0.002	0.002

جدول (4) : مقارنة قيم أهم معايير جودة مياه الصرف الصحي المعالجة للاستعمال في أغراض الري في بعض الدول.

المعايير	الدولة أو الولاية					
	منظمة الصحة العالمية+	المملكة العربية السعودية (وزارة الزراعة والمياه)++	وكالة حماية البيئة الأمريكية+++	اليابان* (وزارة الإنشاء)	ولاية كاليفورنيا*	ولاية فلوريدا*
بكتيريا الكوليفورم البرازية (مستعمرة/100ملل)	1000 - 2000	200 - 2.2	200 - *	*	23 - 2.2	200 - *
الديدان المعوية (بيضة حية/لتر)	1	1	----	----	----	----
طلب الأكسجين الحيوكيميائي (ملجرام/لتر)	----	25 - 10	30 - 10	----	----	20
المواد الصلبة العالقة (ملجرام/لتر)	----	26 - 10	30	----	----	20 - 5
العكارة (وحدة عكارة نفلومترية)	----	5	2	----	2	----
الكلور المتبقي (ملجرام/لتر)	----	0.5 ≤	1≤	0.4 ≤	5 ≤	1≤

* أقل من حدود الكشف

+WHO, 1989 ++وزارة الزراعة والمياه 1407 هـ +++USA, EPA, 1992

Crook and Surampalli, 1996-- Asano *et al.* 1996

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن تلخيص أهم نتائج هذه الورقة والتوصيات المرتبطة بها في الآتي:

* تتمثل مجالات إعادة استعمال مياه الصرف الصحي بالمملكة بشكل رئيس في الري الزراعي وري المسطحات الخضراء. وتشكل كمية مياه الصرف الصحي المجمعة والمعالجة حوالي 30% من كمية مياه الصرف الصحي الكلية التي تنتجها المدن، بينما يعاد استعمال 23% من المياه المعالجة أو ما يعادل 7% من كمية مياه الصرف الكلية. وهذا يوضح ضرورة استكمال البنية الأساسية لمرافق الصرف الصحي من شبكات ومحطات معالجة لزيادة الاستفادة من المياه المعالجة.
* وجود تنوع وتباين في تقنيات المعالجة المستخدمة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي يعاد استعمال جزء من ناتجها النهائي مما يدل على عدم وجود إرشادات ومعايير واضحة لاختيار أساليب معالجة مناسبة للظروف والإمكانات المحلية وبما يتفق مع الغرض من المعالجة والتوجه نحو الاستفادة من المياه المعالجة على ضوء الاحتياجات الفعلية للمملكة.
* تعاني بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي القائمة من مشاكل تشغيلية انعكست على كفاءة الأداء وجودة المياه المعالجة وذلك بسبب عدم وجود إمكانات بشرية مناسبة أو لضعف المراقبة والإهمال في متابعة الجهات المسئولة عن التشغيل أو لزيادة العبء على المحطات عن حدود التصميم أو لطبيعة عمليات المعالجة المستخدمة مما أدى في بعض الحالات إلى استعمال المياه المعالجة لأغراض لا تتناسب مع جودتها وإلى عدم الثقة في هذه المياه للاستعمال في الأغراض المختلفة. ويستدعي هذا ضرورة مراجعة الوضع القائم في المحطات لتحسين الأداء والاستفادة من المياه المعالجة بطريقة بيئية سليمة.
* تضمن زنظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامهاس معظم مجالات إعادة الاستعمال بما في ذلك أغراض الري، والأنشطة الترفيهية وتربية الأسماك، والأغراض الصناعية، وتغذية المياه الجوفية، وحدد نوعية المعالجة المطلوبة لبعض هذه المجالات.
* تعد المعايير القياسية لجودة المياه المعالجة ثانوياً وثلاثياً الواردة في اللوائح التنفيذية لمسودة النظام في مستوى صرامة معايير بعض الولايات الأمريكية وإرشادات وكالة حماية البيئة الأمريكية.
* هناك حاجة ماسة إلى وضع استراتيجية واضحة تُحدد أهداف معالجة مياه الصرف الصحي تكون مرتبطة بمجالات إعادة استعمال المياه المعالجة يُحدد بناءً عليها اختيار الأنظمة المناسبة للمعالجة بحيث لا يترك اختيار أنظمة المعالجة بناءً على تفضيل الاستشاري المصمم فقط والذي يعكس في الغالب خبرات الدول الصناعية. فطبيعة مياه الصرف وأهداف المعالجة وتشريعات ومقاييس إعادة الاستعمال في هذه الدول قد تختلف عن واقع الظروف المحلية في المملكة.
* هناك ضرورة في أن تتولى جهة معينة تتوفر لديها الخبرات والإمكانيات مسئولية مراقبة ومتابعة محطات المعالجة ومشاريع إعادة الاستعمال وأدائها، وتقدم الإرشادات إلى مصالح المياه والصرف الصحي فيما يتعلق باختيار أنظمة المعالجة وتصميم وتشغيل وصيانة محطات المعالجة بما يتوافق مع المقاييس والأنظمة المعنية بالتخلص من المياه المعالجة وإعادة استعمالها.

المراجع باللغة العربية:

زاهد، وليد محمد، الشايع، إبراهيم عبد الرحمن، والذكير، عدنان صالح (1418 هـ). واقع الموارد المائية بمدينة الرياض، مؤتمر التنمية وتأثيرها في البيئة، 20–22 جماد الأول 1418هـ، الرياض، المملكة العربية السعودية.

الطرباق، عبد العزيز سليمان والضويلع، خالد حمد (1417 هـ). دور مياه الصرف المعالجة في حل مشكلة نقص المياه في المملكة، سجل بحوث ندوة تقنيات معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها، قسم الهندسة المدنية، جامعة الملك سعود، الرياض ، المملكة العربية السعودية: 14–33.

مجلس الشورى بالمملكة العربية السعودية (1421 هـ). نظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامها، الرياض.

مصلحة المياه والصرف الصحي بمنطقة مكة المكرمة (1421هـ). معلومات من المصلحة عن محطات معالجة الصرف الصحي بمنطقة مكة المكرمة، مكة المكرمة.

الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس (1993). المواصفة القياسية السعودية رقم 701/1993: مياه الشرب غير المعبأة، الرياض، المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط، المملكة العربية السعودية (1995). خطة التنمية السادسة 1995–2000, الرياض.

وزارة الزراعة والمياه، المملكة العربية السعودية – إدارة تنمية موارد المياه (1407 هـ). المسودة السادسة: نظام مياه الصرف الصحي المنقاة وإعادة استعمالها، الرياض.

وزارة الشئون البلدية والقروية، المملكة العربية السعودية (1995). سجل معلومات عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالمملكة، الرياض.

المراجع باللغة الانجليزية:

References:

Al-Rehaili, A. M. (1997) Municipal Wastewater Treatment and Reuse in Saudi Arabia, The Arabian Journal for Science and Engineering, **22:** (1): 143-152.

Abu-Ruziaza, O. S., Hammer, M. J., Farook, S., and Al-Rehaili, A. M. (1995) Technical and Economical Evaluation of the Wastewater Treatment Plants for Improved Performance in Saudi Arabia, Final Report, Project No. AR-11-079. Funded by King Abdulaziz City for Science and Technology.

Asano, T., Maeda, M., and Takaki, M. (1996) Wastewater Reclamation and Reuse in Japan: Overview and Implementation Examples, Wat. Sci. Tech, **34:** (11): 219-226.

Crook, J. and Surampalli, R. Y. (1996) Water Reclamation and Reuse Criteria in the US, Wat. Sci. Tech., **33:** (10/11): 451-462.

Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nation (1991) Wastewater Use and Human Health, Technical Bulletin Series: Land & Water No. 1, FAO Regional Office for the Near East, Cairo, 7 p.

Hammer, M. J. (1986) Water and Wastewater Technology, Second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 423 p.

Henry, J. G. (1996) Water Pollution, In: Henry, J.G. and Heinke, G. W. (eds.). Environmental Science and Engineering, Second edition, Prentice-Hall, Inc., NJ, 421-491 pp.

Hermanowicz, S. W. and Asano, T. (1999) The Metabolism of Cities ñ revisited: A Case for Water Recycling and Reuse, Wat. Sci. Tech., **40:** (4/5): 29-36.

United States Environmental Protection Agency (US. EPA) (1992) Guidelines for Water Reuse, EPA/625/R-92/004, US. EPA, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio, 133-138 pp.

World Health Organization (WHO) (1989) Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, WHO Technical Report Series 778, WHO, Geneva, Switzerland, 74 p.

(Received 03/12/2000, in revised form 08/01/2001)