

تقييم أداء برك الأكسدة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري

عبد الحميد سالم صقران¹

الخلاصة

يُناقش البحث نتائج تحليل المخلفات السائلة المُستخدمة للري والمُتدفقة من محطات الصرف الصحي في محطة الشعب بمحافظة عدن وصنعاء والحوطة بالجمهورية اليمنية والمعالجة بنظام البرك المؤكسدة. ركّز الباحث على تقييم أداء محطة الحوطة بمُحافظة لحج لمعالجة المياه العادمة. اشتمل برنامج التقييم على تحليل المياه العادمة والمياه الخارجة Effluent المستخدمة للري ومُقارنة النتائج بالمُواصفات القياسية المحلية والدولية. النتائج التي تم الحصول عليها أوضحت المُستويات الآتية على التوالي من المحطات الثلاث: أن معدل امتزاز الصوديوم كان 8.2، 4.76 و 8.75، التوصيل الكهربائي 2.8، 1.52 و 2.88 ds/m، ومستوى الكلوريد كان 12.04، 6.6، 26.7 مليمكاف/ل، متطلب الأوكسجين الحيوي (BOD) كان 15.17 و 189 و 98 جزء في المليون ومتطلب الأوكسجين الكيميائي (COD) كان 174.3 و 513 و 265.8 جزء في المليون. تركيز المواد الصلبة العالقة (TSS) كان 40، 27.2 و 104.6 جزء في المليون. أما تركيز العناصر الثقيلة كالرصاص، الكاديوم، النيكل، النحاس والحديد فكان 0.01، 0.04، 0.04 و 1.73 جزء في المليون على التوالي في محطة الشعب محافظة عدن. وفي محطة الحوطة كان تركيز هذه العناصر 0.01، 0.05، 0.06 و 3.25 جزء في المليون على التوالي. وأوضح التحليل البكتريولوجي أن أعداد بكتيريا القولون البرازية المتبقية في المياه الخارجة من محطة الحوطة ما زال عالياً (5.3×10⁶ خلية/100 مل)

الكلمات المفتاحية: تقييم أداء برك الأكسدة، إعادة استخدام مياه الصرف الصحي، الري.

المقدمة

إن القيمة الاقتصادية والبيئية لإعادة استعمال المياه العادمة تكمن في المحافظة على الموارد المائية المتاحة وإعادة دورة الأغذية في الطبيعة ومنع تلوث النظم البيئية والحاجة الملحة للتوسع في الإنتاج النباتي والحيواني. كما أن إعادة استعمال المياه العادمة المعالجة سيجلب منافع بيئية مفيدة تتمثل في زراعة الأشجار حول محيط المدن السياحية والصناعية لتثبيت الرمال ومنع التصحر وكبح العواصف الرملية وإنتاج المحاصيل الصناعية والخشبية والعلفية والحفاظ على التنوع الحيوي. وقد ذكر (Feachem, 1981) أن العمليات الملائمة لمعالجة المياه العادمة بطريقة البرك المفتوحة يجب أن تدمج معها عملية تطهير للمياه الخارجة Final effluent. ويشير (Mara & Cairncross, 1987) أنه يمكن إزالة بيض الديدان (Helminthes) بتصميم مجموعة ثلاثية من برك الأكسدة لحجز المياه العادمة فيها لمدة يوم في البرك اللاهوائية وتليها خمسة أيام في البرك الهوائية الاختيارية Facultative Ponds وخمسة أيام أخرى في أحواض الإنضاج أو الصقل Maturation. وذكر أيضاً أن إضافة بركة أو أكثر من برك الصقل يمكن أن يكون ضرورياً لتخفيض الكثافة العددية لبكتيريا القولون البرازية إلى أقل من 1000 خلية/100 مل. ولتحجيم المساحة المطلوبة من الأراضي المُسطحة لإنشاء أحواض الأكسدة هناك عدة خيارات فزيادة عمق البرك يعد أحد الأمثلة كما أن إجراء عملية تهوية للبرك الهوائية الاختيارية تعتبر من البدائل الممكنة أيضاً. لقد ذكر (Oragui, 1987) أنه عند تقييم برك الأكسدة بعمق يتراوح من 2-3 متر فإن درجات التخلص من البكتيريا والفيروسات كانت متماثلة مع تلك البرك ذات العمق العادي من 1-1.5 متر.

1 جامعة عدن، كُلية الزراعة، ص. ب. 10044 محافظة لحج، الحوطة، اليمن، تليفاكس: 967-2-502155.

الجدير بالذكر أنه قد شاع حالياً استخدام محطات المعالجة المغلقة المدمجة Closed Compact Plants والتي تتميز بعزل مكوناتها عن البيئة المحيطة أثناء فترة المعالجة بالإضافة إلى أن أسفلها يهين حيزاً مناسباً لتخزين الحمأة Sludge لمدة لا تقل عن 45 يوماً وبذلك يمكن استخدامها كسماد عضوي تحت إشراف مكاتب حماية البيئة بالمحافظات (المنهراوي وحافظ، 1995).

وفي السنوات الأخيرة ازداد الاهتمام للاستفادة من استعمال المياه العادمة في ري المحاصيل في المناطق الجافة وشبه الجافة نتيجة شح مصادر المياه العذبة والحاجة لزيادة إنتاج الغذاء محلياً (صقران، 2002).

لا تجرى عمليات المعالجة لإزالة التلوث الميكروبي والكيميائي بالمياه العادمة المراد إعادة استعمالها لأغراض الري فحسب بل لخفض التلوث العضوي أيضاً، وإذا استعملت مياه عادمة معالجة جزئياً فقد يؤدي ذلك إلى زيادة المخاطر الحقيقية على الصحة العامة والبيئة وقد يساعد على ذلك إتباع طرق الري بالغمر أو الرش وقد تضعف لمدة طويلة إنتاجية التربة نتيجة للتلوث أي تتسبب فيما يعرف بالـ Sewage Sickness (علي وساسي، 1988 وصقران، 1998 وصقران ومسعد، 1999).

يعود خطأ النقل المباشر لتكنولوجيا وحدات المعالجة المستخدمة في الدول الأجنبية إلى الدول العربية إلى اعتمادها على تخفيض التلوث العضوي وليس الجرثومي الموجود في مياه المجاري، كما توصل إلى إيجاد علاقة ترابط (Correlation) مُنحنيات بين انتشار أمراض الكوليرا والتيفويد واستخدام مياه المجاري الملوثة في ري المحاصيل. وقد ذكر (عبد المجيد وآخرون، 1998) أن استخدام مياه المجاري لري التربة الزراعية قد أدى إلى تلوثها ببكتيريا القولون ومن ثم احتمال تواجد الأحياء الممرضة الأخرى فيها.

لذا فإن اختيار نظم المعالجة الملائمة لمتطلبات البيئة المحلية والمنخفضة التكلفة تعد بديلاً ضرورياً للحصول على المنفعة من

البوتاسيوم (APHA, 1992). ولتقدير أيونات الصوديوم والبوتاسيوم تم استخدام جهاز Flame photometer موديل Digital jensons مزود بمرشحات الصوديوم والبوتاسيوم والليثيوم والكالسيوم (APHA, 1992). ولتقدير محتوى الكالسيوم والمغنسيوم تم استخدام المعايرة الحجمية بتكوين المعقدات لتحديد تراكيز أيونات الكالسيوم والمغنسيوم وذلك باستخدام محلول النشادر المنظم pH=10 وكاشف الإيروكروم والميروكسيد الأول عند pH~10 والثاني عند pH~10 (APHA, 1992). ولتقدير تركيز أيون الكلوريد أُضيفت نترات الفضة العيارية إلى محاليل العينات المحتوية على كاشف الكرومات (APHA, 1992). وتم تقدير تركيز البيكربونات بطريقة المعايرة غير المباشرة بإضافة كمية فائضة من محلول هيدروكسيد الصوديوم العياري لتحويل البيكربونات إلى كربونات ومن ثم ترسيبها على شكل كربونات الباريوم وذلك بإضافة كمية فائضة من كلوريد الباريوم ومعايرة الفائض من هيدروكسيد الصوديوم بواسطة حمض الهيدروكلوريك العياري بوجود دليل الفينولفثالين. وقدرت القاعدية الكلية Total alkalinity بمعايرة عينة الماء بحمض الهيدروكلوريك N 0.02 بوجود دليل الميثيل البرتقالي (Vogel, 1988). وتم حساب القلوية ككربونات الصوديوم المتبقية -Residual Sodium Carbo-

nate (RSC) كما في المعادلة الآتية :

$$RSC = (Ca^{++} + Mg^{++}) - (CO_3 + HCO_3)$$
 وتم تقدير نسبة امتزاز الصوديوم كما في المعادلة الآتية :
 (Westcot & Ayers, 1985)

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

وتم تقدير تركيز الفلزات الثقيلة (الكاديوم والرصاص والنيكل والنحاس والحديد) حسب طرق (Abdullah & Royal, 1974 و APHA, 1992) وذلك باستخدام جهاز الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrophotometer. AAS-perkin, model SP9 PYE UNICAM, UV/Vis Spectrophotometer Model PU 8800 . وتم تقدير الكثافة العددية لبكتيريا القولون والطحالب في المياه العادمة طبقاً لطرق التحليل القياسي للمياه (APHA, 1992). وتم استخدام بيئة مرق اللاكتوز (APHA, 1992) وبيئة بريستول Bristol (شحاتة وآخرون، 1962) على التوالي، وتم حساب النتائج كمتوسط لتحليل ثلاث عينات من المياه (الراوي ومُحمَّد، 1980).

النتائج والمناقشة

تشير النتائج الواردة في الجدول (1) أن قيمة التوصيل الكهربائي في المياه المتدفقة من محطات الشعب وصنعاء والحوطة كانت 2.8، 1.5 و 2.99 ديسيمنز/م على التوالي

هذا المصدر المائي الإضافي غير التقليدي لري المحاصيل الزراعية بطريقة منتظمة ومحكمة وفقاً للتشريعات المائية الصادرة عن سلطة حماية البيئة. حيث إن وجود الملوثات العضوية وغير العضوية والهيدروبيولوجية والميكروبية في الفيض المائي النهائي Final effluent المستعمل للري يشكل أحد الهموم والمبرر الرئيسي لإجراء هذه الدراسة التقويمية الأولية هو دراسة المؤشرات الرئيسية لصفات المياه العادمة المتدفقة من ثلاث محطات لمعالجة المياه العادمة في اليمن.

مواد وطرق العمل

- محطة الشعب بمحافظة عدن لمعالجة المياه العادمة: تستلم هذه المحطة أكثر من 15000 م³/يوم من المياه العادمة وبعد معالجتها في برك التثبيت والأكسدة تستخدم لري محاصيل الأعلاف وأشجار الحزام الأخضر حول المدينة (سندي، 1995).
- محطة صنعاء لمعالجة المياه العادمة: تقدر كمية المياه العادمة المعالجة ابتدائياً Primary treated بأكثر من 14000 م³/يوم تستخدم مباشرة في ري الأشجار ومحاصيل الأعلاف والحبوب (المساوي، 1999).
- محطة الحوطة بمحافظة لحج لمعالجة المياه العادمة: تستلم هذه المحطة أكثر من 11350 م³/يوم من المياه العادمة وتضخ المياه من البركة الثانية لري محاصيل الأعلاف والقطن والحبوب وغيرها (صقران ومُحمَّد، 2001).

وقد أُجريت التحاليل الفيزيوكيميائية والفحوصات الميكروبيولوجية للمياه العادمة لمحطة الحوطة وفقاً للطرق القياسية (APHA, 1992). وتم تقدير متطلب الأوكسجين الحيوي BOD5 بأخذ عيّنتين من المياه حيث يُقاس لأحدها مباشرة درجة تركيز الأوكسجين المذاب أما العينة الثانية فيُقاس لها تركيز الأوكسجين المذاب بعد خمسة أيام. ويشكل الفرق بين تركيز الأوكسجين في العينة الأولى والعينة الثانية كمية الأوكسجين المُستهلك حيوياً (APHA, 1992). وتم تقدير متطلب الأوكسجين الكيميائي COD بأكسدة المواد العضوية وغير العضوية بواسطة ديكرومات البوتاسيوم (K₂CrO₇) ومن حساب كمية ديكرومات البوتاسيوم المُستهلكة، تحسب كمية الأوكسجين في عملية تحلل المواد العضوية (APHA, 1992). وتم تقدير النيتروجين النشادري والفسفور بالطريقة اللونية والمواد العالقة الكلية TSS بطريقة الترشيح والتجفيف على 105 °C، والمواد العضوية بحساب الكمية المستهلكة من برمنجنات البوتاسيوم وحساب كمية الأوكسجين المُتصاعدة في أكسدة المواد العضوية (APHA, 1992). وقياس تركيز أيون الهيدروجين pH تم باستخدام جهاز pH-meter موديل 113 Jencons مزود بالكترود زجاجي مزدوج سبق معايرته بمحاليل ذات قوة حامضية pH=4 و pH=7. ولتعيين التوصيل الكهربائي استعمل جهاز Conductivity meter موديل 4010 Jencons مزود بخلية توصيل سبق معايرتها بمحلول عياري من كلوريد

جدول 1. خواص مياه الصرف الصحي المتدفقة من محطات عدن وصنعاء والحوطة بالمقارنة مع المواصفات المحلية والدولية لتقييم مدى صلاحيتها للري

المؤشرات	الوحدة	محطة الشعب محافظة عدن (1)	محطة صنعاء (2)	محطة الحوطة (3)	المواصفات القياسية اليمنية (4)	WHO (5)
التوصيل الكهربائي E.C	dS/m	2.8	1.5	2.9	3-0.7	-
نسبة امتزاز الصوديوم SAR	-	8	4.8	8.75	20-0	-
pH	-	8.7	8.2	8.4	8.4-6.5	9-6
الكلورايد	meq/l	12.04	6.6	26.7	>10 ري سطحي >3 ري بالتنقيط	-
الكربونات	meq/l	-	1.44	1.8	-	-
البيكربونات	meq/l	-	10.39	10.16	8.5-1.5	-
المواد الصلبة العالقة	ppm	40	27.2	104.6	-	>15
المادة العضوية	%	-	0.24	0.68	-	-
الكالسيوم	meq/l	3.86	2.98	3.25	-	-
المغنيسيوم	meq/l	5.82	2.42	2.77	--	>12.5
الصوديوم	meq/l	18.25	7.83	14.43	سطحي >9 SAR امتزاز بالتنقيط SAR>3 الصوديوم	>3
بكتيريا الضؤلون البرازية	cells/100 ml	⁵ 10x3	-	⁶ 10x5.3	1000 خلية/100 مل لري الحدائق 200 خلية/100 مل لري المحاصيل	2.2 خلية/100 مل
الطحالب	cells/ml	-	-	³ 10x65-25	-	-
بكتيريا السالونديلا	cells/100ml	⁴ 10x5	-	-	-	-

1- سندي (1995) 2- المساوي (1999) 3- صقران ومحمد (2001) 4- مجلس حماية البيئة، WHO (1979) 5- (1993)

وتعتبر هذه التركيزات عالية نسبياً وخاصة في محطتي الشعب والحوطة ولكنها لم تتجاوز الحدود المسموح بها حسب المواصفات القياسية اليمنية (مجلس حماية البيئة، 1993) وهي من 0.7 الى 3 ديسيسيمنز/م. كما إن تركيز الصوديوم كان 18.25، 7.82، و14.43 مليمكافئ/ل على التوالي في المحطات الثلاث وهو بذلك تجاوز الحد المسموح به في المواصفات الدولية (WHO, 1979). إن التركيز العالي نسبياً للصوديوم أو التركيز المنخفض نسبياً للكالسيوم في التربة أو الماء يقلل من معدل سرعة رش مياه الري داخل التربة للمدى الذي يجعل من غير الممكن تسرب الماء الكافي لري النبات بين الريات مما يؤثر سلباً على الإنتاج (المساوي، 1999).

تشير نتائج تحليل نسبة امتزاز الصوديوم والتوصيل الكهربائي في المحطات الثلاث جدول (1) أنه يتوقع مع مرور الزمن تدهور فذاذية التربة مما يؤثر سلباً في درجة رش المياه داخل التربة (المساوي، 1999).

كما أن تركيز الكلوريد في المحطات الثلاث على التوالي 12.04 و6.6 و26.7 مليمكافئ/ل وبذلك يفوق الحد المسموح به في مياه الري حسب المواصفات اليمنية (>3 مليمكافئ/ل) (جدول 1).

والمعروف أن تراكم الأملاح الذائبة في التربة يؤدي إلى تدهور وتملح الأراضي الزراعية، كما تتأثر صفات نمو وانتاجية المحاصيل الزراعية المختلفة بالملوحة بدرجات متفاوتة، وقد حدث انخفاضاً في محاصيل الحبوب بمقدار (0.7-1.0) طن/هكتار عند ارتفاع مستوى الملوحة وحدة واحدة (الزيدي، 1994).

تشير النتائج في الجدول (1) أن تركيز الكربونات والبيكربونات أعلى من تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم في المياه المتدفقة من محطتي صنعاء والحوطة وبذلك يمكن أن تتحد الكربونات الذائبة مع الصوديوم مما قد يؤدي إلى ارتفاع تفاعل التربة (Soil pH) وظهور خواص التربة القلوية.

وقد تم حساب القلوية ككربونات صوديوم متبقية Residual Sodium Carbonate (RSC) حيث كانت 6.43 و11.95 مليمكافئ/ل في محطتي صنعاء والحوطة للمعالجة على التوالي (جدول 2)، وهذا ناتج عن تركيز القلوية في المياه العادمة الخام. لذا يجب تضاوي استخدام هذه المياه لري التربة القلوية، ويمكن استخدامها في التربة التي لا تحتوي على تركيزات مرتفعة من الكربونات والبيكربونات أو بالتخلص من هذه الأملاح عند معالجة المياه باستخدام كيميائيات تساعد على ترسيبها (المساوي، 1999).

وتشير النتائج في الجدول (1) أن كمية المواد الصلبة العالقة كانت 40 و27.2 و104.6 مليمكافئ/ل في المحطات الثلاث على التوالي. وفي محطة الحوطة تراوحت أعداد الطحالب بين 25×10^3 إلى 65×10^3 خلية/مل.

تجدر الإشارة أن استخدام المياه العادمة المعالجة المُنحتوية على مواد عالقة تزيد عن 50 مليمكافئ/ل قد يؤدي إلى حدوث انسداد في الأنابيب المستخدمة في الري (Abdel Gawad & Khalifa, 1990).

الجدير بالذكر أن عملية الأكسدة الهوائية في برك المعالجة المفتوحة تؤدي إلى تكاثر الطحالب بدرجة كبيرة وعند استخدام الفيض المائي للري تتسبب هذه الطحالب في سد مسامات التربة وتمنع صرف التربة بحيث أنها تصبح بيئة ملائمة لتكاثر الميكروبات والحشرات وانبعاث الروائح الكريهة وبالتالي تهئ الظروف لانتقال الأمراض إلى العناصر المكونة للبيئة (صقران ومحمد، 2001).

تشير النتائج في الجدول (1) أن التلوث البكتيري المتبقي في الفيض النهائي المستخدم للري ما زال عالياً حيث كانت الكثافة العددية لبكتيريا القولون البرازية 3×10^5 خلية/100 مل و 5.3×10^6 خلية/100 مل في محطتي الشعب والحوطة على التوالي.

جدول 2. مقارنة الفيض المائي المُتدفّق من محطات الصرف الصحيّ في الشعب مُحافضة عدن وصنعاء والحوطة بالمُقارنة مع محطات أبوظبي والطائف ودلهي وريجا لتقييم مدى صلاحيتها للري

WHO (9)	المواصفات القياسية اليمنية (8)	ريجا (الكويت) (7)	دلهي	الطائف (5)	أبوظبي (4)	محطة الحوطة (3)	محطة صنعاء (2)	محطة الشعب (1)	الوحدة	المؤشرات
9-6	8.4-6.5	-	7.4	-	7.5	8.4	8.2	8.7	-	pH
-	3-0.7	-	-	0.108	3.300	2.88	1.520	2.8	dS/m	التوصيل الكهربائي E.C
-	سطحي >9 SAR امتزاز بالنتقيط >3 SAR الصوديوم	-	-	160 ppm	260 ppm	11.95	6.43	-	meq/L	القلوية المُتبقية R.S.C
15>	-	5	223	9.2	135	98	189	15.7	ppm	مُتطلب الأوكسجين الحيوي B.O.D5
100>	-	80	-	19	320	265.8	513	174.3	ppm	مُتطلب الأوكسجين الكيميائي C.O.D
15>	-	2	470	1	30.1	104.6	27.2	40	ppm	المواد الصلبة العالقة
-	>10 مملكاغ/ل >3 ري بالنتقيط	-	-	-	910	934.5	230.8	421.7	ppm	الكولورايد
-	-	-	15	-	20	28.3	50	25.2	ppm	البوتاسيوم
50>	30-5	12	28.5	0.8	30	12.4	29	41	ppm	النيتروجين
30>	-	15	13.7	-	10	7.2	2.23	7.6	ppm	الفسفور

1- سندي (1995) 2- المساوي (1999) 3- صقران ومُحمّد (2001) 4 و 5 و 7- Banks (1991) 8- مجلس حماية البيئة (1993) 9- WHO (1979).

النهائي لمحطات الشعب وصنعاء والحوطة. أما تراكيز الكاديوم والنحاس في الفيض النهائي لمحطة الحوطة كانت أعلى من الحد المسموح به في المواصفات القياسية اليمنية والدولية (WHO, 1979) ومجلس حماية البيئة، (1993) وقد يعود سبب ذلك إلى المُبيدات المُستخدمة في رش هذه البرك لمكافحة حشرة بعوض الملاريا. وكذلك تركيز عنصر النحاس في فيض محطة صنعاء كان فوق الحد المسموح به في المواصفات القياسية اليمنية لكنه لم يتجاوز الحد المسموح به في المواصفات الدولية. ذكر المساوي (1999) أنه لمعالجة هذه المياه يمكن إضافة كمية قليلة من كبريتات البوتاسيوم التي ستعمل بدورها على تكوين مركبات نحاسية غير ذائبة في الماء وبذلك سيتم ترسيبه. ووجد (Cowan & Johnson, 1984) أن التراكيز المنخفضة جداً من الفلزات الثقيلة لم يكن لها تأثير ضار Adverse impact على المعالجة البيولوجية Biological treatment في محطات التنقية.

كما ناقش Epstein and Chaney (1978) تأثير مستوى الفلزات الثقيلة المسموح به في المياه المُستخدمة للري على النبات والتربة. وبالرغم من أن المُستويات المُخفضة من بعض العناصر Elements نافعة للنباتات إلا أن المستويات المرتفعة منها يُمكن أن تصبح سامة Toxic ومميته Lethal للنباتات (Camp & Mckee, 1980). إن تناول المحاصيل المحتوية على الملوثات Pollutants بصورة مُستمرة ربما يؤدي إلى تراكم العناصر الكيميائية السامة داخل خلايا جسم الإنسان والحيوان مما قد ينتج عنه ظهور أعراض مرضية أو التسمم بهذه العناصر الكيميائية (Mara & Cairncross, 1987) وصقران، (2002). وذكر (Abdel Gawad & Khalifa, 1990) أن المحاصيل الزراعية المروية بالمياه المعالجة تختلف في امتصاصها للفلزات الثقيلة كالكاديوم والرصاص والنيكل والنحاس من محصول إلى آخر وقد تتراكم في الأجزاء والأنسجة النباتية بمستويات مُختلفة.

ويشير Mara & Cairncross, 1987 أن إضافة بركة أو أكثر من برك الصقل يمكن أن يكون ضرورياً لتخفيض الكثافة العددية لبكتيريا القولون البرازية إلى أقل من 1000 خلية/100 مل.

تشير النتائج في الجدول (2) إلى انخفاض مستوى مُتطلب الأوكسجين الحيوي BOD₅ ومُتطلب الأوكسجين الكيميائي COD في محطة الشعب بالمُقارنة مع محطتي صنعاء والحوطة وقد يعزى ذلك إلى نظام المعالجة الثانوية المعمول به في محطة الشعب، ويبدو أن الهدم الحيوي Biodegradation لم يكن له تأثير كافٍ للتخلص من المواد العضوية العالقة والذائبة في المياه. ويشير (Fikri, 1992) أن نسبة الإزالة للمكونات العضوية في المياه المتمثلة في BOD₅ وCOD كانت 78% وقد يعزى ذلك إلى الطريقة التقنية المعمول بها adopted لمعالجة المياه العادمة، كما أن الحمل العضوي الذي يرد إلى محطات المعالجة قد يكون عالياً. تشير النتائج في جدول (2) إلى ارتفاع تركيز النتروجين والفسفور في محطة الشعب بالمُقارنة مع محطتي صنعاء والحوطة، ويشير (Wanielista & Eckenfelder, 1978) أن معالجة المياه العادمة بنظام برك الأكسدة المفتوحة تؤدي إلى إزالة الفوسفات بنسبة لا تتجاوز 20% وقد يعزى ذلك إلى عملية النترة Nitrification في هذه البرك.

يعمل الفوسفور كمصدر غذائي للطحالب وعند تواجده مع النيتروجين والبوتاسيوم والمغنسيوم ولو بتركيزات قليلة (0.3 جزء في المليون) يؤدي إلى حدوث عملية الإثراء الغذائي -Eu trophication وزيادة الكتلة الحية من طحالب ونباتات مائية والتي عند موتها تتسرب وتبدأ بالتحلل مستهلكة الأوكسجين الذائب في الماء وانقلاب عملية التحلل الهوائية إلى عملية تحلل لا هوائية. وإزالة الفوسفور من المياه تستخدم طريقة الترسيب بواسطة هيدروكسيد الكالسيوم وكبريتات الألمونيوم (Wanielista & Eckenfelder, 1978).

تشير النتائج الواردة في الجدول (3) أن مستويات معادن الرصاص والنيكل والحديد كانت منخفضة في الفيض المائي

جدول 3. تراكيز الفلزات الثقيلة في مياه الصرف الصحي المُتَدَقِّقة من محطات الشعب وصنعاء والحوطة بالمقارنة مع المواصفات القياسية

المؤشرات	محطة الشعب (1)	محطة صنعاء (2)	محطة الحوطة (3)	المقاييس المسموح بها (ملجرام/ل)		ملاحظات (4)
				WHO (5)	اليمنية (4)	
الكادميوم Cd	0.01	-	0.05	0.01	>0.03	سام للبقوليات، ضار للإنسان، ضغط الدم، نقص الهيموجلوبين، آكراض الكبد والكلى.
الرصاص Pb	0.24	-	0.1	5	>0.05	يُمكن أن يمنع نمو الخلية النباتية عندما يكون بتراكيز عالية، أمراض الكبد، فقر الدم، التخلُّ العقلي.
النيكل Ni	0.04	-	0.06	0.2	>0.5	سام للعديد من النباتات بتراكيز 0.1-0.01 ملجرام/ل.
النحاس Cu	0.04	0.3	0.55	0.2	>0.3	سام للعديد من النباتات بتراكيز 0.1-0.01 ملجرام/ل اختلال عمل الكبد والكلى وتُهيج الجهاز العصبي والمعدى وتلف الشعر.
الحديد Fe	1.73	0.5	3.25	5	>5	غير سام في التربة السامية، يُمكن أن يساهم في حموضة التربة بفقد حيوية الفسفور والموليبيدوم.

1- سنيدي (1995) 2- المساوي (1999) 3- صقران ومُحمَّد (2001) 4- مجلس حماية البيئة، (1993) 5- WHO (1979).

يتضح من النتائج أن المحطات الثلاث لمعالجة المياه العادمة تعاني من بعض المشاكل الخاصة بالتخلص من الحمل العضوي الذي يفوق سعتها التصميمية، لذلك لا يمكن إعادة استخدام الفيض المائي للري من غير ضوابط لأن خواصه لا تتفق مع معايير الجودة المسموح بها والخاصة بإعادة استعمال المياه المعالجة لري المحاصيل (WHO, 1979) ومجلس حماية البيئة، (1993) لذلك نوصي بالآتي :

- وضع استراتيجية لإدارة المياه العادمة المعالجة والحماة.
- التوجيه التقني في إدارة استخدام المياه العادمة المعالجة والحماة.
- وضع معايير خاصة بتلوث الأراضي الزراعية.
- اتخاذ الإجراءات الفاعلة لتنفيذ التقييم البيئي وذلك لتحديد وتقييم التأثيرات المتوقعة على نوعية البيئة وصحة البيئة نتيجة إنشاء محطات معالجة المياه العادمة.
- مراقبة المصانع والمعامل بدقة وأن لا يسمح لها بالتخلص من المياه العادمة في شبكة الصرف الصحي قبل أن تقوم بمعالجة المخلفات السائلة الصناعية حسب المواصفات المعتمدة وذلك للمحافظة على الصحة والسلامة العامة بالإضافة إلى تضادي الحمل العضوي وغير العضوي على المحطات المعالجة.

- إجراء دراسة لإنشاء برك أكسدة إضافية كمشروع مقترح لتطوير أداء هذه المحطات لرفع كفاءتها في التنقية لإزالة الملوثات من المياه العادمة بغرض إنتاج مياه صالحة لري المحاصيل وفي نفس الوقت الحفاظ على البيئة والحد من تلوثها وحمايتها من مشاكل ومخاطر التلوث.

المراجع

- الراوي، خاشع ومُحمَّد، عبد العزيز 1980. تصميم وتحليل التجارب الزراعية. جامعة الموصل، مؤسَّسة دار الكتب للطباعة، العراق، ص 480.
- الزيدي، أحمد حيدر 1994. استصلاح الأراضي الملحية في الوطن العربي. مجلة الزراعة والتنمية في الوطن العربي، المُنظمة العربية للتنمية الزراعية، الخرطوم، السودان، 13 (1)، ص 41.
- الساوي، علي مُحمَّد عبد الرحمن 1999. إعادة استخدام المياه العادمة في البيئة اليمنية والأثر المُتبادل. مجلة العلوم والتكنولوجيا، صنعاء، 4 (2)، ص 8.
- المنهراوي، سمير وحافظ، عزة 1995. دليل الدراسة البيئية. الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر، ص 186.
- سنيدي، مُحمَّد علي 1995. معالجة مياه المجاري في عدن واستخدامها للزراعة. مجلة المهندس الزراعي العربي سوريا، 22، ص 20.
- شحاتة، أحمد وصبري، أحمد وأبو الذهب، مصطفى كمال والراكشي، سعد الدين 1962. الأساسيات العملية في علوم الأحياء الدقيقة، دار المعارف، القاهرة، مصر، ص 310.
- صقران، عبد الحميد سالم 1998. الأثر البيئي لاعادة استعمال المياه العادمة. وقائع ندوة اليوم العالمي للمياه، 1998/3/21م، جامعة عدن، اليمن، ص 11.
- صقران، عبد الحميد سالم 2002. واقع الموارد المائية وإمكانية استعمال المياه العادمة المعالجة للري الزراعي في اليمن. المجلة اليمنية للبحوث الزراعية، كلية الزراعة، جامعة عدن، (15)، ص 91.
- صقران، عبد الحميد سالم ومُحمَّد، هناء عبدالله 2001. دراسة على محطة معالجة مياه مجاري مدينة الحوطة. مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية والتطبيقية، 5 (1)، ص 55.
- صقران، عبد الحميد سالم ومسعد، نادية أحمد 1999. تلوث أوراق نباتات الذرة والبراجراس ببكتيريا الكوليفورم. مجلة أبحاث البيئة والتنمية المستدامة، اتحاد مجالس البحث العلمي العربية، بغداد، العراق، 2 (2)، ص 66.
- عادل، عوض رفيقي 1989. علوم البيئة. دار طلاس للنشر، سوريا، ص 456.
- عبد المجيد، معد وكريم، باسم ويكر، ماهر محمد 1998. دراسة التلوث الميكروبيولوجي للتربة عند إضافة مياه مجاري مدينة صنعاء (الروضة) باعتماد دليل التلوث ببكتيريا الكوليفورم. المجلة اليمنية للبحوث الزراعية، كلية الزراعة، جامعة عدن، 11، ص 65.
- علي، زايد وساسي، ليلى 1988. تلوث أوراق نباتات السلط

- ate technology for water supply & sanitation, Vol. 3, No. 51, 282, The World Bank.
- Fekri, H. G. 1992. Performance assessment of three wastewater treatment plants producing effluents for irrigation. First middle east conference on water supply and sanitation, Egypt, p. 248.
- Mara, D. D. and Caircross, S. 1987. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. WHO, Geneva.
- Oragui, J. I. 1987. The Removal of excreted bacteria and viruses in deep waste stabilization ponds in North-east Brazil. Water Science and Technology, 19 (12), 569.
- Vogel, R. 1988. Text Book for Quantitative Analysis. 13th ed, 850.
- Wanielista, M. P. and Eckenfelder, W. W. 1978. Advance in water and water treatment. Ann Arbor Sciences, p. 66.
- Westcot, D. W. and Ayers R. S. 1985. Irrigation Water Quality Criteria. Lewis Publishers, Inc., p. 1.
- World Health Organization (WHO) 1979. Effluent standards for reuse and discharge of wastewater. Scientific group report, No. 639, Geneva.

- بيكتيريا القولون. وقائع المؤتمر الهندسي الزراعي، ليبيا، جامعة الفاتح، طرابلس، ص 640.
- مجلس حماية البيئة 1993. المواصفة القياسية اليمنية للمياه العادمة. صنعاء، ص 1.
- Abdel Gawad, G. M. and Kalifa, M. M. 1990. Heavy metals concentration in soils irrigated with sewage treated water for nineteen years. Int. Conf. on the Environment, Libya, p. 30.
- Abdullah, M. and Royal, L. G. 1974. A study of dissolved and particulate trace elements in the Bristol Channel. J. Mar. Biol. Assoc., UK., 54, 581.
- American Public Health Association (APHA) 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed, New York, USA.
- Banks, P. A. 1991. Wastewater reuse case studies in the middle east. J. Water Sci. Tech., 23, 2141.
- Camp, Dresser and McKee, Inc. 1980. Guidelines for Water Reuse. N. T. I. S. Reports, No. PB81-105 017, Springfield, Virginia, USA.
- Epstein, E. and Chaney, R. L. 1978. Land disposal of toxic substances and water related problems. Journal of water pollution control federation, (August), p. 2037.
- Feachem, R. P. 1981. Health aspects of excreta and sewage management. A state of the art review, Appropri-

Appraisal of the Performance of Oxidation Pond Systems for Treated Sewage Water Reuse in Irrigation

Abdel Hamid S. Saqran ¹

Summary

This work discusses the results of analysing wastewater, used for irrigation, flowing from three treatment plants utilizing oxidation pond system. The work focused on the performance of Al-Hawtah plant in treating wastewater. The assessment program consists of waste water analysis and the final effluent used for irrigation in order to determine the efficiency of the various steps of treatment and to compare the results with the local and international standards.

The results obtained showed that the average of sodium absorption ratio, electrical conductivity and chloride concentration were (8.2, 4.76 and 8.75), (2.8, 1.52 and 2.88 ds/m) and (12.05, 6.6 and 26.7 mg/L) in the final effluent of AL-Shab (Aden), Sana a and Al-Hawtah treatment plants, respectively. The level of the biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and total suspend solids (mg/L) were (15.7, 189 and 98), (174.3, 513 and 265.8) and (40, 27, 2 and 104.6 mg/L) in the three plants, respectively.

Concentration of the various heavy metals such as lead, cadmium, nickel, copper and iron were (0.24, 0.01, 0.04, 0.04, 1.73) and (0.1, 0.05, 0.06, 0.55, 3.25) in AL-Shab (Aden) and Al-Hawta plants, respectively.

The residual count of *faecal coliform* bacteria in the final effluent was (5.3×10^6 cells/100 ml) indicating the inefficiency of the current treatment.

¹ University of Aden, Faculty of Agriculture, P. O. Box 10044 Lahej Gov., Yemen, Telfax: +967-2-502155.