مجلة الزراعة العراقية (البحثية) مجلد21 عدد2 ص87-96 كانون أول/2016

# تقويم المؤشرات النوعية للمياه الخارجة من محطة معالجة الصرف الصحي لمدينة صنعاء لأغراض الري الزراعي

سعاد حميد علي الخياط أحمد علي عبدالله الطوقي

جمال علي قاسم سيف المنصوري

## الملخص

بهدف الوقوف عند حالة الأثر البيئي جراء استخدام مياه الصرف الصحي لمدينة صنعاء في الري، من خلال فحص عينات مختلفة من مياه الصرف الصحي المعالجة في محطة صنعاء، وكذلك من تلك المتدفقة في مجرى التصريف الخارج من المحطة، وذلك عن طريق قياس العديد من المؤشرات الدلالية (البيولوجية والكيميائية) ثم تقويم صلاحية تلك النوعية من المياه العادمة للاستخدام الزراعي طبقاً للمعايير المحددة في المواصفات القياسية (المحلية و الدولية).بينت النتائج أن مياه مجرى قناة التصريف لا تصلح للاستخدام الزراعي، وقد تجاوزت المعايير(ذات العلاقة بالتلوث البيئي والصحة العامة) المحددة للري فيما يخص الأوكسجين الحيوي والكيميائي المستهلك (**BOD,COD** ) و بيوض الديدان(**Inestinel Nematodes** ) والقولونيات البرازية (**Faecal Coliforms**) وعنصر النتروجين المعدني ($NH_4$+$NO_3$)، علاوة على المؤشر **Adj-SAR**.إن صلاحية مياه الصرف الصحي المعالجة (في محطة صنعاء) للري الزراعي (قبل اختلاطها بمياه مجرى التصريف) يمكن أن يكون صحيحاً تحت الظروف المقيّدة (فيما يخص الدلائل الجرثومية)، اذ بلغ متوسط القيم المقدرة (في مياه الصرف الصحي المعالجة) للقولونيات البرازية ( ***E.coli***) **5600** لكل **100** مل، مع خلوها من بيوض الديدان المعوية المدورة، اما بقية المؤشرات (الكيميائية و البيولوجية المقاسة) فهي دون الحدود العليا الموصى بها للاستخدام الزراعي.

## المقدمة

منذ أن صارت تنقية المياه العادمة ممكنة عملياً أصبحت مياه الصرف الصحي المعالجة تمثل مصدراً مهماً من مصادر المياه في كثير من دول العالم و بخاصة في البلاد العربية –كاليمن– نظراً لشحة مصادر المياه وتردى نوعيتها، و أصبحت المياه من محددات تحقيق الاكتفاء الذاتي من المحاصيل الزراعية اللازمة (**2**).كما أن المخلفات الصلبة لمحطات المعالجة أصبحت ذات اهمية في تسميد الترب الفقيرة بالعناصر الغذائية التي توجد في مساحات شاسعة من الوطن العربي. وتعاني اليمن من محدودية المصادر المائية و شحتها، لاسيما مع ارتفاع عدد السكان فإن الفجوة بين الموارد المائية المتجددة والمواد المستخدمة تزداد اتساعاً في ضل ارتفاع حجم الطلب على المياه للاستعمالات المختلفة سواء اكانت زراعية ام صناعية أم منزلية كما اشار الجنيد (**1**)، اذ بلغ العجز في الموازنة المائية عام **2005** تقريباً **243**مليون متر مكعب. لقد ازداد الإدراك لدى سلطات صحة البيئة –عالمياً– بضرورة تجنب التلوث بمياه المجاري البلدية (مخلفات الصرف الصحي) بل والاستفادة منها، لذلك فالتخطيط الجيد لإعادة استخدام هذه المياه في الزراعة،ليس فقط لحماية السكان من التلوث،وإنما مصدراً يحتوي على مواد غذائية مهمة للنبات مثل النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والحديد والنحاس، وغيرها من العناصر الضرورية اللازمة لنمو النبات.

كلية الزراعة، جامعة صنعاء، اليمن.

تاريخ تسلم البحث: نيسان/2016

تاريخ قبول البحث:ت1 /2016

وكبلدان عديدة (في المناطق الجافة وشبه الجافة) بدأت الجهات المعنية في اليمن باتباع سياسة وطنية لاستغلال مياه مجاري الصرف الصحي بعد معاملتها ، اذ اتفقت مع دراسة سنيدي(8)،وحتماً فإن إغفال فرض الضوابط والقيود على أساليب التخلص من هذه المياه العادمة ومراقبة ذلك بعناية، سيؤدي الى زيادة التلوث البيئي وتدهور نوعية المياه الجوفية والسطحية بفعل تسرب مثل هذه المخلفات بما تحتويه من ملوثات جرثومية ومواد كيميائية و عناصر سامة تؤثر في الصحة العامة للمجتمع. تكتسب عملية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة أهمية متزايدة نتيجة الزيادة المطردة في كميات مياه الصرف الصحي المنزلية في المدن، و في مدينة صنعاء – عاصمة الجمهورية اليمنية – يعمل نظام شبكة الصرف الصحي بتجميع جزء كبير من مجموع مياه الصرف الصحي للمدينة و نقلها الى أحواض محطة المعالجة الواقعة في مديرية بني الحارث شمال العاصمة، اذ يتم تصريفها بعد معالجتها جزئياً، في وادي بني حُوات، وهناك يتم استخدام تلك المياه في الري من قبل المزارعين القاطنين في القرى الواقعة على ضفتي الوادي. من جانب أخر، تعاني تلك المنطقة من المشاكل الناتجة عن تصريف واستخدام مياه الصرف الصحي في ري بعض المحاصيل سواءً التي يأكلها الإنسان (مثل القمح والذرة والطماطم والبصل) أو التي تقدم كأعلاف للماشية (كالبرسيم و الشعير، وغيرها)، وفي الغالب فإن معظم المشاكل الصحية والبيئية (مثل الامراض الجلدية و المعوية، و تقزم النبات و فساد الثمار، وثلوث مصادر المياه و تدهور التربة) ترتبط مباشرة بكمية ونوعية مياه الصرف الصحي المتدفقة الى تلك المنطقة،(11). تشير المعلومات الخاصة بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي بأمانة العاصمة – صنعاء، بأنه تم إنشاء المحطة بواسطة الشركة الاستشارية الانجليزية (هوارد همفري) لتخدم تقريباً 1.5 مليون نسمه و بطاقة قصوى 50 ألف متر مكعب/يوم، وتم تصميم المحطة التي بدأ تشغيلها في منتصف عام 2000 م لتمتلك خصائص محددة فيما يخص المياه الخام الداخلة (BOD 500 mg/l وTSS 750 mg/l و$NH_4$ 100 mg/l) و المياه المعالجة الخارجة (BOD 30 mg/l و TSS 30 mg/l) و لتعمل بأسلوب معالجة محدد طبقاً لأسلوب التهوية الممتدة. من جانب أخر فإن وجود تدني ملحوظ في القدرة الاستيعابية لهذه المحطة وتفاقم المشاكل الفنية والادارية يجعل المعالجة قاصرة او معدومة في حالات كثيرة، وإن تصريف مثل هذه النوعية من مياه الصرف الصحي المعالجة جزئياً أو غير المعالجة مع الاستعمال غير المحدد من قبل المزارعين و غياب الرقابة، يجعل من ذلك خطراً يهدد البيئة المحيطة والصحة العامة.

لقد ارتبطت مشكلة التلوث في منطقة بني الحارث بعملية تصريف مياه الصرف الصحي للعاصمة صنعاء إلى تلك المنطقة منذ مدة زمنية طويلة، تم على إثرها إنشاء محطة المعالجة كحل للمشكلة، إلا أن كفاءة المحطة المتواضعة و طاقتها الاستيعابية المحدودة قد قلل من فعاليتها، لأن عدد أحواض المعالجة الموجودة لا تستوعب كمية المياه العادمة الداخلة اليها رغم أن الكمية الواصلة إلى المحطة من الأحياء المرتبطة بشبكة الصرف الصحي العمومية لم تمثل سوى 35% من مياه الصرف الصحي المقدرة لمدينة صنعاء، اذ بقيت نسبة مرتفعة من مساكن العاصمة تعتمد على الحفر الامتصاصية (7) تمثل المياه العادمة للمدن احدى المصادر الثانوية للري إذ يستفاد منها بعد معالجتها في ري بعض المحاصيل الزراعية و الأحزمة الخضراء أو لتثبيت الكثبان الرملية في العديد من الدول، و تعود ممارسة استخدام مياه الصرف الصحي في ري المزروعات إلى أكثر من ألفين سنة مضت، فقد استخدمها سكان اليونان القدامى على نحو فعال ومنتج، كما أن العديد من المدن العربية مثل (دمشق وفاس ومراكش وغيرها) كان لها نظام صرف صحي قائم منذ فجر الحضارة الإسلامية، اذ كانت تستغل تلك المياه في ري البساتين والأشجار بشكل مباشر ودون معالجة (6)، كذلك فإن الفلاح اليمني كما في صنعاء القديمة قد اعتاد على استخدام المياه الناتجة من المنازل والمساجد في ري الحدائق والبساتين بعد فصل المخلفات الصلبة عن مياه الغسيل والوضوء، وغالباً تتم زراعة الخضراوات التي تؤكل طازجة في تلك البساتين دون اتخاذ اي إجراءات وقائية مما يسبب انتشار الطفيليات والأمراض بين المنتجين

والمستهلكين، ومع تطور المدينة وبروز الصناعات الحديثة وما تنتجه من مخلفات ضارة فإن ذلك قد أثر في النمط التقليدي لاستخدام مثل هذه المياه في الري وظهرت مشكلات حقيقة جراء ذلك، وربما أصبح الحال أقرب إلى الكارثة البيئية في مديرية بني الحارث بصنعاء، الأمر الذي دفع لجنة المياه والبيئة في مجلس النواب اليمني (9) إلى عد تلك المنطقة منكوبة بالتلوث البيئي الناجم عن التصريف غير الأمن لمياه الصرف الصحي. ويهدف البحث إلى تقويم نوعية مياه الصرف الصحي المستخدمة للري الزراعي سواءً تلك المعالجة في المحطة أم المياه المصرّفة إلى مجرى القناة التي تمر عبر الوادي الممتد لمسافة 5كم تقريباً في منطقة بني الحارث، التي تضخ إليها المياه الخام للصرف الصحي الزائدة عن طاقة المحطة مع تلك التي تعالج في المحطة الوحيدة القريبة من مطار صنعاء الدولي.

## المواد وطرائق البحث

أخذت ثلاث عينات من مياه الصرف الصحي المعالجة من مواقع مختلفة للمياه الخارجة من المحطة العينة الاولى من المصب(مخرج الماء بعد المعالجة الذي يصب في البحيرة) العينة الثانية من البحيرة والعينة الثالثة من المفيض (المياه الخارجة من البحيرة إلى مجرى القناة)، بالإضافة إلى ثلاث عينات من مجرى القناة من أماكن مختلفة على امتداد المجرى (البداية، المنتصف، النهاية) وبمكررين، ثم تقدير بعض المؤشرات الدلالية لتقييم الجودة طبقاً لما هو موصى به من قبل منظمة الصحة العالمية و منظمة الأغذية و الزراعة الدولية والمواصفات القياسية اليمنية لمياه الري، وقد تم إجراء القياسات التالية:

**1–** رقم الحموضة (**pH**) والايصالية الكهربائية(**EC**) باستخدام **pH-meter** وجهاز **EC-meter**على التوالي.

**2–** الأيونات الذائبة **Ca**، **Mg** و$CO_3$، $HCO_3$ و**Cl** قدرت بطرق المعايرة، أما **K**، **Na** فقد قيسا بجهاز امتصاص الطيف.

**3–** نسبة امتزاز الصوديوم (بالمليمكافئ/لتر) حسبت من العلاقة: $SAR=Na/[(Ca+mg)/2]^{1/2}$ كما حُسبت نسبة امتزاز الصوديوم المحور من العلاقة:$Adj- SAR= SAR[1+(8.4- pH_c)]$، اذ $pH_c$ تمثل قيمة الاس الهيدروجيني النظرية لمياه الري التي تعبر عن مدى قابلية المياه على اذابة الكلس او ترسيبه في التربة وتحسب من العلاقة :$pH_c=(pk_2-pk_c)+p(Ca+Mg)+p(Alk)$ واستخراج القيم المقابلة من الجدول الخاص بذلك.

**4–** النتروجين على هيئة نترات ($NO_3$-N) و النتروجين على هيئة امونيوم ($NH_4$-N) بطريقة التقطير باستخدام جهاز ميكروكلدال (**10**).

**5–** الفوسفور (**P**) والبورون (**B**) بالطرق اللونية باستخدام جهاز الطيف اللوني(**10**).

**6–** العناصر الصغرى (**Fe**، **Mn**، **Zn**، **Cu**) بواسطة جهاز الامتصاص الطيف الذري.

**7–** الأوكسجين الحيوي المستهلك (**BOD**)،و الأوكسجين الكيميائي المستهلك (**COD**) قدرا بالطرق المتبعة في مؤسسة المياه و الصرف الصحي.

**8–** عصيات بكتريا القولون البرازية (**Faecal Coliforms**) المعروفة باالاشريكية القولونية ( ***E.coli***) و الديدان المعوية المدورة (**Intestinal Nematodes**) بما فيها كيسيات الاوليات الطفيلية (**Parasite Cysts** )فحصا بالطرق المتبعة في مختبر الصحة المركزي

## النتائج و المناقشة

أظهرت النتائج في جدول(**1**)أن رقم الحموضة (**pH**) للعينات المدروسة تميل جميعاً الى القاعدية (**7.0**~**8.5**>) وهي بذلك لم تخرج عن إطار القيم الاعتيادية لـ**pH** مياه الري الموصى بها عالمياً و محلياً (المحددة ب**6.5 –8.4**).

وبلغ معدل الملوحة (EC) في مختلف العينات المدروسة التي يتراوح متوسطها بين **1.853** مليسيمنز/سم في مياه الصرف الصحي المعالجة و**2.323** مليسيمنز/سم في مياه مجاري قناة التصريف ،ولقد حذر**Ayers nd westcot** (**FAO**) (**12**) من ظهور مشكلة عند تراوح الملوحة ما بين **0.7~3.0 mS/cm** ،ويتوقف ذلك على نوع المحصول المزروع ومدى تراكم الملوحة في التربة وبحسب مختبر الملوحة الأمريكي **USDA** (**14**) فإن مياه مجرى قناة التصريف و مياه الصرف الصحي المعالجة تقعان ضمن الصنف $C_4S_1$ و $C_3S_1$ (على التوالي)عند الأخذ بالاعتبار المؤشرين الأساسين في تقويم نوعية مياه الري وهما التركيز الكلي للأملاح معبراً عنها بالتوصيل الكهربائي ($EC_w$) الذي يؤثر في قدرة النبات على امتصاص الماء، وخطورة الصوديوم معبراً عنها بنسبة امتزاز الصوديوم (**SAR**) الذي يؤثر في المحاصيل الحساسة بسبب السمية النوعية للأيون.

**جدول 1**:قيم الدلائل الكيميائية والبيولوجية المقاسة في عينات مياه الصرف الصحي المدروسة

| الصفة المقاسة | | | مياه مجرى قناة التصريف | | | | مياه الصرف الصحي المعالجة | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المؤشر | الرمز | الوحدة | البداية | المنتصف | النهاية | المتوسط | المصب | البحيرة | المفيض | المتوسط |
| رقم الحموضة | pH | - | 7.97 | 7.91 | 7.86 | 7.913 | 8.30 | 7.30 | 8.15 | 7.917 |
| درجة الملوحة | EC | mS/cm | 1.88 | 2.48 | 2.61 | 2.323 | 1.80 | 1.93 | 1.83 | 1.853 |
| نسبة امتزاز الصوديوم | SAR | - | 4.67 | 5.41 | 4.37 | 4.818 | 6.06 | 4.60 | 5.24 | 5.302 |
| نسبة امتزاز الصوديوم المحور | Adj-SAR | - | 11.67 | 13.54 | 12.68 | 12.627 | 13.94 | 11.96 | 12.59 | 12.830 |
| الأوكسجين الكيميائي المستهلك | COD | mg/l | 1460 | 1178 | 1933 | 1523.8 | 284 | 210 | 231 | 241.8 |
| الأوكسجين الحيوي المستهلك | BOD | mg/l | 249 | 276 | 836 | 653.5 | 105 | 81 | 143 | 109.7 |
| الديدان المدورة المعوية | I.N | Eggs /100 ml | >10 | >10 | >10 | >10 | Nil | Nil | Nil | Nil |
| عصيات القولون البرازية | FC | MPN/100ml | >24000 | >24000 | >24000 | >24000 | 6100 | 5500 | 5200 | 5600 |

**المواصفات القياسية لمياه الري في الجمهورية اليمنية (2001م)**

| ت | العيار | الرمز | الوحدة | الوحدة |
|---|---|---|---|---|
| 1 | الملوحة ( تؤثر في قابلية المحصو للمياه)<br>الناقلة الكهربية<br>المواد الذائبة الكلية | ECw<br><br>TDs | ملموز/سم<br>ملغ/لتر | 4-7.<br>3000-450 |
| 2 | الترشسح(تؤثر في درجة ارتشاح المياه داخل التربة) وتقدر بنسبة):-<br>امتصاص الصويوم<br>الناقلية الكهربية | <br><br>Adj-SAR | نسبة<br><br>مليموز | 9-6<br><br>اصغر من 0.5 |
| 3 | سمية الايونات ( تؤثر في المحاصيل الحساسة)<br>الصوديوم<br>الري السطحي<br>الري بالتنقيط<br>الكلوريد<br>الري السطحي<br>الري بالتنقيط<br>البورون | <br>Na<br><br><br>Cl<br><br><br>B | <br>Adj-SAR<br>ملي مكافي/ لتر<br><br>ملي مكافي/ لتر<br>ملي مكافي/ لتر<br><br>ملغ/لتر | <br>9-3<br>اصغر من 3<br><br>10-4<br>اصغر من 3<br><br>2-0.7 |
| 4 | التأثيرات المتنوعة ( توثر في المحاصيل الحساسة)<br>النتروجين<br>البيكربونات<br>الري بالتنقيط من اعلى<br>الاس الهدروجين | N<br><br>HCO3<br><br>PH | ملغ/لتر<br><br>ملي مكافي/اتر<br><br>------- | 30-5<br><br>8.5-1.5<br><br>8.4-6.5 |

**عليه فإن خطورة الصوديوم في العينات المدروسة جميعها (اذ تزيد قيم SAR لها عن 6) والملوحة (0.75 مليموز/سم) تعد واطئة(حسب تقسيم معمل الملوحة الامريكي)، و لا يوجد تأثير مباشر لأيون الصوديوم في الخواص الطبيعية للتربة أوفي بعض النباتات الحساسة كأشجار الزينة (حسب تقسيم معمل الملوحة الامريكي). فيما قد تختلف النظرة الى خطورة هذا المعيار عند التعامل مع نسبة امتزاز الصوديوم المعدلة التي تصنف خطورة الصودية بالحادة عند القيم الأعلى من 9 لد Adj-SAR (كما في المواصفات اليمنية لمياه الري) والتي تقع العينات المدروسة كافة في مداها مما يعني ان وجود ايون الصوديوم قد يمثل خطرا على كل من التربة والنبات . إن اعتماد أيّ من معايير الصودية (العادي أو المحور أو غيره) في الظروف اليمنية ربما يحتاج الى دراسات ميدانية متخصصة لتحديد المناسب عملياً للحالة البيئية.كما بينت النتائج جدول(1) بأن قيم الأكسجين الكيميائي و الحيوي المستهلك (BOD,COD) لمياه الصرف الصحي المعالجة في محطة صنعاء تطابق المواصفات المحلية لمياه الصرف الصحي المستخدمة في الري (وذلك على عكس مياه الصرف الصحي للقناة التي تعد غير صالحة للري. و فيما يخص الجانب الجرثومي فقد توافقت الدلائل (لأعداد بيوض الديدان المعوية وعصيات بكتريا القولون البرازية) مع سابقتيها (مؤشري الاكسجين المستهلك) فيما يخص صلاحية عينات المياه المدروسة للري الزراعي، مع امكان استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في حالة الري المقيد مثل ري المحاصيل الحقلية التي تؤكل ثمارها غير الملامسة للأرض بعد الطهي و أسلوب ري سطحي مناسب. أما تلك المختلطة بمياه الصرف الصحي الخام في مجرى القناة فلابد من الحذر عند استخدامها. نظراً للتحذير المشدد الصادر بشأنها (WHO, 1989 وFAO, 1992 ) ، اذ تزيد اعداد العصيات القولونية (FC) عن 10000 / لتر و بيوض الديدان المدورة المعوية (I.N) 1في اللتر الواحد.**

**جدول2: تركيزالأيونات الذائبة ($SO_4$ ,Cl ,$HCO_3$ ,$CO_3$ و K ,Na,Mg ,Ca) في المياه المدروسة.**

| الصفة المقاسة | | | مياه مجرى قناة التصريف | | | | مياه الصرف الصحي المعالجة | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المؤشر | الرمز | الوحدة | البداية | المنتصف | النهاية | المتوسط | المصب | البحيرة | المفيض | المتوسط |
| الكالسيوم | $Ca^{++}$ | me/l | 4.86 | 6.61 | 10.82 | 7.430 | 3.90 | 4.80 | 4.36 | 4.353 |
| المغنيسيوم | $Mg^{++}$ | me/l | 3.39 | 4.41 | 3.34 | 3.713 | 2.10 | 3.20 | 2.68 | 2.660 |
| الصوديوم | $Na^{+}$ | me/l | 9.48 | 12.71 | 11.63 | 11.273 | 10.50 | 9.20 | 9.84 | 9.847 |
| البوتاسيوم | $K^{+}$ | me/l | 1.26 | 0.86 | 0.55 | 0.890 | 0.70 | 2.80 | 0.73 | 1.410 |
| الكربونات | $CO_3^{--}$ | me/l | 0.46 | 0.71 | 0.33 | 0.500 | 0.80 | 0.00 | 0.93 | 0.577 |
| البيكربونات | $HCO_3^{-}$ | me/l | 6.25 | 4.78 | 10.25 | 7.093 | 5.00 | 10.00 | 5.35 | 6.783 |
| الكلوريد | $Cl^{-}$ | me/l | 6.83 | 10.57 | 12.41 | 9.937 | 8.10 | 7.10 | 7.59 | 7.597 |
| الكبريتات | $SO_4^{--}$ | me/l | 5.80 | 7.92 | 3.10 | 5.607 | 3.20 | 2.90 | 4.06 | 3.887 |

**التراكيز العظمى لبعض العناصر في المياه العادمة المعالجة والمستخدمة لاغراض الري**

| ت | العنصر | الرمز | الوحدة | التركيز الاعظم المسموح به |
|---|---|---|---|---|
| 1 | الاوكسجين الممتص حيوياً | BOD | ملغم/لتر | 150 |
| 2 | الاوكسجين الممتص كيميائياً | COD | ملغم/لتر | 500 |
| 3 | الزيوت والشحوم | $O_2$ | ملغم/لتر | 8 |
| 4 | الاوكسجين المذاب | | ملغم/لتر | |
| 5 | الصوديوم | Na | ملغم/لتر | 200 |
| 6 | الفسفور ( على شكل فوسفات ) | Po4 | ملغم/لتر | 30 |
| 7 | الالمنيوم | Al | ملغم/لتر | 5 |
| 8 | الزرنيخ | As | ملغم/لتر | 0.1 |
| 9 | البريليوم | Be | ملغم/لتر | 0.1 |
| 10 | الكادميوم | Cd | ملغم/لتر | 0.01 |
| 11 | الكوبلت | Co | ملغم/لتر | 0.05 |
| 12 | الكروم | Cr | ملغم/لتر | 0.1 |
| 13 | النحاس | Cu | ملغم/لتر | 0.2 |
| 14 | الفلورايد | F | ملغم/لتر | 1 |
| 15 | الحديد | Fe | ملغم/لتر | 5 |
| 16 | الليثيوم | Li | ملغم/لتر | 5 |
| 17 | المنغنيز | Mn | ملغم/لتر | 0.2 |
| 18 | الموليبدنيوم | Mo | ملغم/لتر | 0.01 |
| 19 | النيكل | Ni | ملغم/لتر | 0.5 |
| 20 | الرصاص | Pb | ملغم/لتر | 5 |
| 21 | السلينوم | Se | ملغم/لتر | 0.02 |
| 22 | القصدير | Sn | ملغم/لتر | |
| 23 | التيتانيوم | Ti | ملغم/لتر | |
| 24 | التنجستين | W | ملغم/لتر | |
| 25 | الفاناديوم | V | ملغم/لتر | 0.1 |
| 26 | الزنك | Zn | ملغم/لتر | 2 |
| 27 | الزئبق | Hg | ملغم/لتر | 0.005 |
| 28 | السيانيد | Cn | ملغم/لتر | 0.1 |

يوضح جدول( 2 )تركيز الكاتيونات و الانيونات الذائبة في عينات مياه الصرف الصحي المشمولة بالبحث، و بناءً على ما ذكره الزبيدى (6) و بحسب Zacharina (16) فإنه نظرياً – وبأسلوب أولى– يمكن تصور أن اضافة أيونات الأملاح الذائبة في مياه الري الى نظام التربة ستترسب بحسب درجة الذوبانية بنسب مختلفة، تبعاً للأنواع الملحية المحتملة، و هناك افتراضات عديدة لطرق ربط الايونات المختلفة مع بعضها (السائدة في مياه الري و المياه الجوفية و التربة الملحية)، المهم أن تتوافق التوقعات النظرية مع الواقع الفعلي، وربما هناك اسلوب مختلف يمثل كل حالة بذاتها تبعاً للعوامل الخاصة المتنوعة (بحسب الحالة البيئية السائدة في المنطقة).إن حالة عدم تساوي مجاميع الأيونات المكافئة (الكاتيونات الموجبة مع الانيونات السالبة) في مياه الصرف الصحي المدروسة تعكس تساؤلات عديدة مثل أن تكون هناك صور اخرى للتوازن الملحي (في المياه غير النقية أو التي تحتوي على مواد عضوية ذائبة) أو ربما دخول بعض الأيونات (مثل $NO_3^-$ ، $NH_4^+$ و $PO_4^{---}$، $BO_3^{---}$ )أو غير ذلك مثل تداخل الجانب العضوي أو الحيوي في هذه الحالات (تبعاً للحرارة و الـ pH) كأن يكون هناك أيونات عضوية ذائبة نتيجة تفاعلات كيموحيوية معينة ربما تسود في بعض هذه الحالات ذات الخصوصية. وبنظرة عامة فقد أظهرت التحاليل تفوق متوسط محتوى مياه مجرى القناة في تركيز الكالسيوم، المغنيسيوم، الصوديوم و البيكربونات، الكلورايد، الكبريتات مقارنة بالمياه المعالجة التي احتوت على تراكيز اعلى فيما يخص البوتاسيوم و الكربونات فقط. من جانب أخر فقد تقاربت العينات المختلفة – المدروسة – أحياناً و اختلفت أحياناً أخرى في محتواها من العناصر المعدنية الذائبة تبعاً للتوزع المكاني و الزماني بما يعكس الظروف و العوامل المتغيرة المؤثرة في كل حالة.

جدول 3: كمية العناصر المعدنية (Cu, Zn, Mn, Fe, B, P, N) المقاسة في العينات المدروسة

| الصفة المقاسة | | | مياه مجرى قناة التصريف | | | | مياه الصرف الصحي المعالجة | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المؤشر | الرمز | الوحدة | البداية | المنتصف | النهاية | المتوسط | المصب | البحيرة | المفيض | المتوسط |
| الأمونيوم | $NH_4$-N | mg/l | 112.35 | 141.05 | 161.40 | 138.267 | 36.20 | 68.00 | 62.10 | 55.433 |
| النترات | $NO_3$-N | mg/l | 25.68 | 35.65 | 23.75 | 28.360 | 37.30 | 26.54 | 21.51 | 28.450 |
| الفوسفات | P | mg/l | 15.24 | 14.70 | 21.51 | 17.15 | 12.00 | 11.34 | 11.66 | 11.667 |
| البورات | B | mg/l | 1.31 | 1.28 | 1.35 | 1.313 | 1.29 | 1.26 | 1.30 | 1.283 |
| الحديد | Fe | mg/l | 0.23 | 0.29 | 0.28 | 0.267 | 0.20 | 0.16 | 0.19 | 0.183 |
| المنجنيز | Mn | mg/l | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.073 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.037 |
| الزنك | Zn | mg/l | 0.18 | 0.15 | 0.19 | 0.173 | 0.00 | 0.44 | 0.21 | 0.217 |
| النحاس | Cu | mg/l | 0.37 | 0.51 | 0.39 | 0.423 | 0.18 | 0.32 | 0.25 | 0.250 |

**ألدلائل المايكروبايلوجية للمياه العادمة المعالجة لغرض استخدامها في الزراعة**

| الجرثوم | الوحدة | الحدود المسموحة | الملاحظات |
|---|---|---|---|
| الديدان المدورة العموية **Intestinal enematodes** | بيضة | **0-1** لكل لتر | في كل انواع المحاصيل الزراعية وفي حالة ري الملاعب والحدائق العامة التي قد يلامسها الجمهور بشكل مباشر |
| العصويات القولونية **Faecal coliforms** | قولونوية /مل | **200** | في حالة ري الملاعب والحدائق العامة التي قد يلامسها الجمهور بشكل مباشر |
| العصويات القولونية **Faecal coliforms** | قولونوية /مل | **1000** | في حالة ري المحاصيل التي تؤكل بدون طهي وفي حالة الري الملاعب والحدائق العامة |

تجاوزت تراكيز النحاس (**Cu**) المقدرة في عينات مياه مجرى قناة التصريف جدول( **3**) الحد الأقصى المسموح به في مياه الري بمقدار اكثر من الضعف في المتوسط وفي عينات مياه الصرف الصحي المعالجة زاد تركيزه قليلا عن القيمة **0.2** ملغ/لتر المحددة .ويعد النحاس سام لعدد من النباتات على مستوى **0.1 – 1**ملغ /لتر في محلول التغذية (**FAO,1985**).اما بقية العناصر النزرة المقدرة في عينات مياه الصرف الصحي المدروسة و طبقاً للمواصفات المحلية والدولية المعتمدة لصلاحية مياه الري فهي إما في الحدود الآمنة التي تقل كثيراً عن القيم المسموح بها بخصوص كل من الحديد، و المنجنيز، الزنك (المحددة بـ **5**، **0.2**، **2** ملغ/لتر –على التوالي) أو دون الحد الحرج – الأقصى– فيما يخص البورون المحددة دولياً(**FAO** ) (**12**) بـ **0.7 – 3** و محلياً بـ **0.7 – 2** ملغ/لتر .إن تطبيق الحد المسموح به للري فيما يخص الفوسفات – فوسفور ( الذي يتطلب ضرب القيم المقاسة في معامل التحويل **3.06**) فإن قيم الفوسفور المعبر عنها بصورة أيون الفوسفات ($PO_4^{---}$) ستكون قد تجاوزت القيم الموصى بها المحددة بـ **30** ملغ/لتر (كما جاء في المواصفات اليمنية للري).اما صور النتروجين المعدنية (النترات $NO_3^-$+ الأمونيوم $NH_4^+$) المقدرة على صورة **N** في العينات المدروسة فإن تجاوز مجموع الصورتين (المعمول به) الحد المعين في المواصفات اليمنية(**30** ملغN/لتر) في مياه الري خاصة التي يكون مصدرها مياه الصرف الصحي المستعملة (وإن كانت تعد من الأسمدة النتروجينية المفيدة للنباتات) إلا أن الحذر من زيادتها يمنع حدوث تلوث للمياه الجوفية بسبب تسرب النترات ( الناتجة من أكسدة الامونيا بعملية النترجة) اذ يعد وجودها بصورة مؤثره في مياه الشرب خطراً على الصحة، كما يمثل تراكمها في النباتات وانتقالها الى الانسان من مصادر الغذاء– أيضاً – اتجاها آخر للخطر، لأنها تصنف ضمن المسببات التي ربما يؤدي انتقالها الى البشر الى حدوث تأثير سمي أو سرطانات أو موت و تشوهات الأجنة جركس (**5**) أنه ومن خلال هذا البحث (و بمقارنة المتوسطات) يتبين اختلاف مواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة (في محطة صنعاء) عن مياه الصرف الصحي المصرّفة (في مجرى القناه)، اذ كانت القيم المقاسة لمعظم المؤشرات المدروسة في مياه المجرى هي الاعلى وبمقدار واضح مقارنة بالمياه المعالجة المتمثلة في بيوض الديدان المعوية وبكتريا القولون البرازية وكذلك الصفات التالية ( **EC, COD, BOD, Ca, Mg, Na, $HCO_3$,Cl, $SO_4$,$NH_4$, $PO_4$, B, Fe, Mn, Cu** )كما لوحظ تقارب القيم المقدرة في المعاملتين (نوعيتي مياه الصرف الصحي المدروستين) في صفتي **$NO_3$-N**،**Adj-SAR** و الـ **pH**. و انخفاض قيم كل من **SAR**، **K**، **$CO_3$**، **Zn** في مياه مجرى القناة (مقارنة بتلك المقاسة في المياه المعالجة بالمحطة). يتبين بان معالجة مياه الصرف الصحي في محطة صنعاء لا تتم بشكل مثالي بحيث لم تحقق نوعية المياه الخارجة المعالجة الشروط الضرورية كافة خاصة المتعلقة منها بالصحة فضلاً عن أن اختلاط المياه المعالجة بغير المعالجة عند التخلص منهما معاً في مجرى واحد يجعل العملية عديمة الفائدة ولا تحقق الغاية البيئية من تشغيلها.

# المصادر


1- الجنيد، عز الدين (2001). ورقة عمل قطرية في تنمية الموارد المائية غير التقليدية والأثار المترتبة عليها في الجمهورية اليمنية، الندوة القومية حول التقانات البديلة لتنمية الموارد المائية من المصادر غير التقليدية و الأثار المترتبة عليها المنعقدة في القاهرة. المنظمة العربية للتنمية الزراعية، الخرطوم.

2- الجيلاني، عبد الجواد(1992). استعمال المياه المعالجة و مخلفاتها الصلبة في الزراعة العربية، مجلة الزراعة و المياه بالمناطق الجافة في الوطن العربي (13: 34- 57) المركز العربي لدراسات المناطق الجافة و الأراضي القاحلة (اكساد)، سوريا.

3- الزبيدي، أحمد حيدر (1989). ملوحة التربة – الأسس النظرية و التطبيقية، جامعة بغداد، العراق.

4- المواصفات اليمنية (2001) المواصفة القياسية اليمنية رقم 150- مياه الري- الهيئة العامة للمواصفات و المقاييس وضبط الجودة، الجمهورية اليمنية.

5- جركس، أمل (2000). استخدامات مياه الصرف الصحي في الري- المجلة العربية لإدارة مياه الري (3: 51–57). المنظمة العربية للتنمية الزراعية. الخرطوم.

6- حيدر، عبد الرحمن عبد الله (2005). تقييم الأثر البيئي لاستخدام مياه الصرف الصحي في ري المحاصيل الزراعية في كل من إب و ذمار و صنعاء، دراسة ميدانية مقدمة الى الوحدة الرئيسية لمراقبة الفقر بوزارة التخطيط و التعاون الدولي اليمنية.

7- سفلو، محمد ياسر (2000). دراسة الأثار الاقتصادية و الصحية و البيئية و الاجتماعية لمشروع تغذية التجمعات السكانية بمياه الشرب و الصرف الصحي- رداع. اطروحة ماجستير في المياه و البيئة- كلية الهندسة- جامعة صنعاء- اليمن.

8- سنيدي، محمد علي (1995) معالجة مياه المجاري في عدن و استخدامها للزراعة، مجلة المهندس العربي (39:20–27)، الامانة العامة لاتحاد المهندسين الزراعيين العرب، دمشق، سوريا.

9- مجلس النواب (2004). تقرير لجنة المياه و البيئة بشأن التلوث البيئي بمياه الصرف الصحي في مديريتي ارحب و بني الحارث- صنعاء. تقرير ميداني مقدم الى رئيس و أعضاء مجلس النواب اليمني.

10- يوسف، احمد فوزي (1999) أجهزة وطرق تحليل التربة والمياه ،جامعة الملك سعود،الرياض،المملكة العربية السعودية

11- **Bin-Ali, Gaber F.A. (1997). Assessment of Quantity and Quality of Sana'a wastewater for Agricultural Reuse. Master Thesis in Water and Environment. Faculty of Engineering, Sana'a University, Yemen.**

12- **FAO (1985). Water quality for agriculture. Paper 29 - Irrigation and Drainage - Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.**

13- **FAO (1992). Wastewater treatment and use in agriculture, paper 47, FAO, Rome.**

14- **USDA (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Handbook No 60. United States Salinity Laboratory.**

15- **WHO (1989). Health Guidelines for the use of wastewater in Agriculture and Aquaculture, Technical Report Series 778, World Health Organization, Geneva.**

16- **Zacharina, G.V. (1963). Problem concerning the classification of natural water and Solution according their composition, SOV. Soil 4: 351-362.**

Iraqi J. Agric. Res. Vol.21 No.2 pp.87-96 Dec. /2016

# EVALUATE THE QUALITY INDUCES OF TREATED WASTE WATER-SANA'A PLANT FOR IRRIGATION

**S.H.A. Al-Khiat A.A.A. Al-Tawqi G.A.Q.S Al-Mansori**

## ABSTRACT

**The objective of the study is to assess the environmental impact of using pre-treated wastewater and treated wastewater coming out of Sana'a waste water treatment plant for irrigation purposes. The analysis of pre-treated wastewater samples and samples flow out of the plant was done by measuring several biological and chemical indicators, and then evaluate the quality of this water for agricultural uses based on international criteria and standards.**

**The pre-treated wastewater was not applicable for agricultural uses as its chemical/biological quality exceeds the international standards (BOD, COD, Faecal Coliforms, Parasite eggs, Nitrogen) which are more related to the environmental contamination and health in addition to Adj-SAR.**

**The validity of the treated wastewater in sanaa station for agricultural irrigation can be restricted becomes of the high number of *E.coli* 5600 MPN /100ml although they were free of intestinal eggs and the rest of the chemical and biological in indicators wear be low recommended limit for agriculture use.**

**College of Agri., Sna'a Univ., Sna'a, AL-Yamn**