



المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم



الاستخدام الآمن للمياه الصادمة في الزراعة : أمثلة من الممارسات الجيدة

2018

أصدرته إدارة العلوم والبحث العلمي
تمت الترجمة في المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف



المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم

الاستخدام الآمن للمياه
العادمة في الزراعة :
أمثلة من الممارسات الجيدة
**SAFE USE OF WASTEWATER
IN AGRICULTURE :
GOOD PRACTICE EXAMPLES**

2018

أصدرته إدارة العلوم والبحث العلمي
تمت الترجمة في المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف

ترجمة
د. رائد جعفر

تدقيق علمي
د. عادل عوض

مراجعة لغوية
أ. خيرية السلامي

الفهرس

تصدير

تقديم

تمهيد

القسم الأول التقنيات التكنولوجية المتقدمة

- الحالة 1: نظم إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة لاستصلاح المياه العادمة الطبيعية المستدامة وتكنولوجيا إعادة استخدامها: المخاوف الصحية المرتبطة بالفيروسات البشرية (الولايات المتحدة الأمريكية)
- الحالة 2: التصميم الحضري الحساس للمياه في متروبوليتان ليما، بيرو Metropolitan Lima, Peru - "حديقة معالجة المياه العادمة: حديقة الأطفال" - تطبيق التدفق الرأسي للأراضي الرطبة في الأماكن العامة المفتوحة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة (بيرو)
- الحالة 3: تحديات المياه العادمة والنجاح في تنفيذ الأراضي الرطبة في مصر (مصر)
- الحالة 4: استخدام الخزانات لتحسين نوعية مياه الري في ليما Lima، بيرو (Peru)
- الحالة 5: إعادة استخدام المياه لري المناطق الطبيعية الخضراء وتنظيف المرحاض (دورات المياه) في برازيل، البرازيل

القسم الثاني الجوانب الصحية والبيئية

- الحالة 6: ممارسات الري الجيدة في مياه الصرف الصحي المروية في الوردانين، تونس (تونس)، Ouardanine Tunisia (Tunisia)
- الحالة 7: آثار أكثر من 100 سنة من الري بمياه الصرف الصحي في مدينة مكسيكو Mexico في وادي مزيكيتال Mezquital Valley (المكسيك) (Mexico)
- الحالة 8: معالجة مياه الصرف الصحي الصديقة للبيئة لإعادة الاستخدام في الزراعة (الهند)
- الحالة 9: إنتاجية قصب السكر المروية بالنفايات السائلة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في anaveralejo في كالي، كولومبيا (كولومبيا) Cali, Colombia (Colombia)
- الحالة 10: تراكم المعادن الثقيلة في محاصيل الحبوب والبقول من خلال الري بمياه الصرف الصحي والأسمدة الفوسفاتية (باكستان)

القسم الثالث قضايا السياسات والتنفيذ

- الحالة 11: المزارعون المدعومون من الحكومة والمستخدمون لمياه الصرف الصحي في الري: حالة حكومة جنوب أفريقيا في Lebowakgomo في مقاطعة Limpopo دعم المزارعين لإنتاج الخضروات (جنوب أفريقيا) (South Africa).
- الحالة 12: التحديات في تطبيق معايير إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة في الري: حالة بوليفيا (بوليفيا) Bolivia (Bolivia).
- الحالة 13: نظام إدارة مياه الصرف الصحي المجتمعية في المناطق شبه الحضرية في وادي Kathmandu، نيبال (نيبال) Nepal (Nepal)
- الحالة 14: إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في مقاطعة Mendoza، الأرجنتين (الأرجنتين) - Argentina ...

- الحالة 15: مشروع فارامين Varamin: قصة نجاح إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في إيران (إيران) Iran
- الحالة 16: مجلس التصديق على الري بالمياه المعالجة في المكسيك (المكسيك) (Mexico)
- الحالة 17: إعادة استخدام المياه المعالجة للري الزراعي في بوليفيا (بوليفيا) (Bolivia)

نظرا إلى الأهمية الكبرى التي يحظى بها الماء في حياتنا كونه متطلبا أساسيا، وعمادا للحضارات وسرا لوجودها واستمراريتها وعاملا لازدهارها، قامت المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) - منذ نشأتها - بتنفيذ عدد من الأنشطة ذات العلاقة بالمحافظة على الموارد المائية وحسن إدارتها، تراوحت بين إصدار استراتيجيات وكتب وأدلة ودراسات ومجلات، وتنفيذ ندوات علمية ودورات تدريبية ومحاضرات، نذكر من بينها على سبيل المثال لا الحصر: كتاب «حماية المياه الجوفية في البلدان الجافة وشبه الجافة»، وكتاب «أسس تصميم مياه الفضلات»، ودليل إرشادي حول «إعداد خرائط قابلية المياه الجوفية للتلوث»، وتخصيص عدد من أعداد «المجلة العربية العلمية للفتيان» (26) للموارد المائية، و«استخدامات الحاسوب في تطبيقات هيدرولوجيا المياه الجوفية»، و«النمذجة الرقمية لانسياب المياه الجوفية»، ومحاضرة حول «الاستغلال المزدوج للمياه المعالجة والمياه الجوفية وتأثيراتها البيئية والصحية في بعض البلدان العربية (الأردن - تونس وسلطنة عُمان) نموذجاً» بمناسبة الاحتفال السنوي باليوم العربي للمياه، وبناء قواعد معلومات. كما تُساهم المنظمة في رعاية واحتضان عدد من الشبكات العربية والدولية المعنية بالمياه، منها: شبكات المياه الجوفية وهيدرولوجيا الوديان والبرنامج الهيدرولوجي الدولي، والشبكة العربية لإدارة الموارد المائية في المناطق الجافة وشبه الجافة (G-Wadi)، والشبكة العربية لأخلاقيات البيئة التي تهتم اهتماما مباشرا بالموارد المائية والحرص على خلوها من التلوث؛

ومساهمة من الألكسو في التعريف بأهمية المياه، وتوعية المجتمعات العربية بضرورة المحافظة عليها وترشيد سلوكها الاستهلاكي لهذا المورد الحيوي الهام؛ ومواصلة لمساعدتها لإثراء المكتبات العربية بكتب قيّمة ذات مواصفات علمية عالية للاسترشاد بها والاستفادة منها في حل المشكلات ذات العلاقة بالمجالات الحيوية، قامت الألكسو بترجمة الكتاب الصادر عن جامعة الأمم المتحدة بألمانيا، للمؤلفين الدكتور Hiroshan Hettiarachchi والدكتورة Reza Ardakanians، من معهد الإدارة المتكاملة لتدفقات المواد والموارد (UNU - FLORES)، تحت عنوان: «Safe use of Waste Water in Agriculture Good Practice Example»، «الاستخدام الآمن للمياه العادمة في الزراعة: أمثلة عن الممارسات الجيدة».

وإذ تُصدر المنظمة هذا الكتاب، تتوجّه بالشكر الجزيل والامتنان لجامعة الأمم المتحدة بألمانيا والمؤلفين لإتاحتهم هذه الفرصة ومنح المنظمة الحق في ترجمة الكتاب دون مقابل، وذلك حرصا من المنظمة على نشر وتوطين الممارسات العملية والعلمية الكفيلة باستغلال كل قطرة من المياه الثمينة في وطننا العربي، وإعادة استغلالها لمرات ومرات بصورة آمنة، ولا تسبّب أية مخاطر صحيّة على الإنسان والحيوان.

ويُسعد المنظمة أن تضع بين أيدي قرائها النسخة العربية من هذا الكتاب، وإتاحته للباحثين والمهتمين في نسختين ورقية وإلكترونية، للاطلاع عليه والاستفادة منه في وضع خطط واستراتيجيات متعلقة بإدارة المياه في المشاريع التنموية، والمساهمة بدور بارز في تحقيق أهداف التنمية المستدامة في بلداننا العربية.

والله ولي التوفيق

المدير العام

الدكتور سعود هلال الحربي

7

في حين أنَّ المعلومات الواردة في هذا الكتاب يُعتقد عموماً أنها صحيحة ودقيقة حين تاريخ النشر لا يتحمل للمحررون والناشر أية مسؤولية قانونية عن أية أخطاء أو سهو . لا يقدم الناشر أي ضمان، صريح أو ضمني، فيما يتعلق بالمادة الواردة في هذه الوثيقة.

الآراء الواردة في هذا الكتاب تعكس آراء مؤلفي الحالات الدراسية وإدراجهم في هذا الكتاب لا يعني ضمناً إقرار جامعة الأمم المتحدة أو موافقتها.

معهد الأمم المتحدة للإدارة المتكاملة لتدفقات المواد والموارد (UNU-FLORES).

Ammonstrasse 74, 01067 Dresden, Germany

Tel.: + 49-351 8921 9370

Fax: + 49-351 8921 9389

E-mail: flores@unu.edu

C 2016 UNU-FLORES

Design and Layout: diamonds network GbR

Editing: Serena Caucci, Arjun Avasthy, Rachel Shindelar, Atiqah Fairuz Salleh,

Prime Productions

Translation: Prime Productions, Serena Caucci

Printer: Reprogress GmbH

Photo credits: UNU-FLORES unless otherwise specified

ISBN 978-3-944863-30-6 (Web)

ISBN 978-3-944863-31-3 (Print)

إنَّ النموَّ السكاني والتحضر السريع و أنماط الاستهلاك المكثف للمياه وتغير المناخ، تزيد كلها من الضغط على موارد المياه العذبة. كما تدفع ندرة المياه، إلى جانب عوامل أخرى ذات علاقة بالطاقة و استعمال والأسمدة، إلى دفع ملايين المزارعين وغيرهم من أصحاب المشاريع إلى الاستفادة من مياه الصرف الصحي. إن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي مثال ممتاز يشرح صفة بديهية أهمية الإدارة المتكاملة للمياه والتربة والنفايات، والتي نعرفها تحت مبدأ Nexus. تبدأ العملية بقطاع النفايات، لكن اختيار نموذج الإدارة الصحيح يمكن أن يجعلها ذات شأن ومهمة للمياه والتربة. ويعرف حالياً أن أكثر من 20 مليون هكتار من الأراضي مروية بمياه الصرف الصحي، و هذا أمر مثير للاهتمام، لكن الحقيقة المروعة هي أن هناك نسبة كبيرة من هذه الممارسات لا تستند إلى أي معيار علمي يضمن "الاستخدام الآمن" لمياه الصرف الصحي. ومن أجل التصدي للتحديات التقنية والمؤسسية والسياسية المتعلقة بإعادة استخدام المياه الآمن ، تحتاج البلدان النامية والبلدان التي تمر بمرحلة

انتقالية إلى ترتيبات مؤسسية واضحة وموارد بشرية ذات مهارة، الى جانب فهم سليم وعميق للفرص والمخاطر المحتملة لاستخدام مياه الصرف الصحي.

في عام 2011، انضم سبعة من أعضاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية وشركائها وبرامجها بقيادة "برنامج عشرية الأمم المتحدة للمياه بشأن تنمية القدرات" (UNWDPC)، لدعم الجهود الرامية إلى تلبية احتياجات البلدان من القدرات فيما يتعلق باستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في الزراعة (SUWA). و تمثل منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (FAO)، ومنظمة الصحة العالمية (WHO)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، ومعهد الأمم المتحدة للمياه والبيئة والصحة (UNU-INWEH)، والمعهد الدولي لإدارة المياه (IWMI)، واللجنة الدولية للري والصرف (ICID) الشركاء الستة الآخرين. خلال سنتي 2011 و2013، جمعت أنشطة تنمية القدرات 160 ممثلاً عن 73 دول أعضاء في الأمم المتحدة من آسيا وإفريقيا وأمريكا اللاتينية. وقد طلب المشاركون بإلحاح خلال هذه الأنشطة مزيداً من الدعم في هذه الميادين ومواصلة مبادرة SUWA. ومع التوقف الرسمي لـ UNW-DPC في عام 2015 تمّ نقل تنسيق مبادرة SUWA إلى جامعة الأمم المتحدة. ويتولى حالياً معهد الأمم المتحدة للإدارة المتكاملة لتدفقات المواد والموارد (UNU-FLORES)، ومعهد الأمم المتحدة للبيئة والصحة في الأمم المتحدة UNU-INWEH المسؤولية تنسيق أنشطة مبادرة SUWA مع سائر الشركاء.

تهدف المرحلة الحالية من هذه الاتفاقية SUWA إلى دعم الدول الأعضاء في الأمم المتحدة UN لتطوير قدراتها الوطنية في مجالات التركيز التي تمّ تحديدها وتحديد أولوياتها خلال الفترة 2011 - 2015، وتشجيع استخدام مياه الصرف الصحي على نحو أكثر أماناً وإنتاجية. ولا تزال البلدان النامية والبلدان التي تمرّ بمرحلة انتقالية هي محور التركيز. ويشكّل تبادل المعلومات بين البلدان/المناطق بشأن «أمثلة من الممارسات الجيدة لإعادة استخدام المياه الآمنة في الزراعة» أحد الأهداف المهمة التي تمّ تحديدها خلال المرحلة المبكرة من مبادرة SUWA. ودعماً لإنجاز هذا الهدف، حدد معهد UNU-FLORES عدة حالات دراسة مثيرة للاهتمام من جميع أنحاء العالم في عام 2015. وقدّم العديد منها أيضاً شفوياً ونُوقشت في حلقة العمل التي نظمتها جامعة الأمم المتحدة - UNU-FLORES في Lima، بالبيرو Peru، في شباط 2016. يتضمن هذا الكتاب 17 حالة دراسة مختارة من أمريكا اللاتينية وآسيا وإفريقيا. لتسهيل التنقل من خلال المحتوى، تمّ عرض المواد في ثلاثة أقسام. القسم الأول (I): التقنيات المتقدمة؛ القسم الثاني (II): الجوانب الصحية والبيئية؛ والقسم الثالث (III): قضايا السياسات والتنفيذ. ونأمل مخلصين أن يساهم محتوى هذا الكتاب في تعزيز تبادل المعرفة بين المناطق ويساعدنا أيضاً على التعلم من بعضها بعضاً.

نودّ أن نشكر واضعي حالات الدراسة على عملهم الشاقّ في تقاسم معارفهم وكذلك للأدوار التي قاموا بها كمراجعين علميين ومدققين. ونتوجه بشكر خاص أيضاً إلى زملائنا في جامعة الأمم المتحدة، بما في ذلك السيد Arjun Avasthy والسيدة Serena Caucci على إسهامهم الدؤوب. وأخيراً وليس آخراً، نودّ أن نعرب عن خالص امتناننا للوزارة الاتحادية الألمانية للتعاون الاقتصادي والتنمية (BMZ) على الدعم المالي السخي الذي تلقيناه لجعل هذا المشروع حقيقة واقعة.

Hiroshan Hettiarachchi

Reza Ardakanian

القسم الأول : التقنيات المتقدمة

الحالة 1: نظم إدارة تغذية المياه الجوفية لاستصلاح الطبيعي والمستدام للمياه العادمة وتكنولوجيا إعادة استخدامها: المخاوف الصحية المرتبطة بالفيروسات البشرية (الولايات المتحدة الأمريكية)

Walter Q. Betancourt, Ian L. Pepper, and Charles P. Gerba¹

الملخص :

تشمل أنظمة إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR) ترشيح ضفاف النهر ومعالجة طبقات تربة المياه الجوفية. تستخدم جميعها النظم تحت السطحية الطبيعية لتحسين نوعية المياه المعاد شحنها (أي المياه السطحية ومياه العواصف والمياه المستصلحة) قبل إعادة الاستخدام (على سبيل المثال، إعادة الاستخدام المصمم لأغراض الشرب).

خلال عملية إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR)، يتم رشح المياه إما عبر الأحواض، حقن تحت سطح الأرض أو مستخرجة من الآبار المتاخمة للأنهار. تمثل نظم (MAR) خياراً جذاباً لزيادة نوعية المياه الجوفية وتحسينها وكذلك لأغراض الإدارة البيئية. ومع ذلك، ينبغي أن تشمل أنظمة إعادة الاستخدام المصممة للتطبيقات التي تنطوي على اتصال بشري حواجز زائدة عن مسببات الأمراض التي تسبب الأمراض المنقولة عن طريق المياه. وتغطي هذه الحالة الجوانب الرئيسة لحالة دراسة حول إزالة الفيروس في ثلاثة أنظمة (MAR) واسعة النطاق تقع في مناطق مختلفة من الولايات المتحدة (أريزونا وكولورادو وكاليفورنيا). قد تكون مشروعات (MAR) قابلة للتطبيق اقتصادياً للبلدان النامية؛ ومع ذلك، فإن الإدارة المستدامة ذات صلة بالنجاح في الحفاظ على الصفات اللازمة لإعادة استخدام المياه الصالحة للشرب وغير الصالحة للشرب.

الكلمات المفتاحية: الإدارة، طبقة المياه الجوفية، التغذية، إزالة، الفيروسات.

¹ Walter Q. Betancourt • Ian L. Pepper • Charles P. Gerba. Water & Energy Sustainable Technology (WEST) Center, The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. e-mail: wbetancourt@email.arizona.edu, walter.betancourt@fulbrightmail.org
In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1 . مقدمة :

أدت زيادة الطلب على المياه وإمداداتها في العالم، إلى جانب تلوث المياه السطحية والجوفية والتوزيع غير المتكافئ والضغط على الموارد المائية المحدودة المتاحة بالإضافة إلى حالات الجفاف المتكررة الناجمة عن أنماط الطقس العالمية المتطرفة، إلى زيادة الطلب على الترويج لمصادر مبتكرة لإمدادات المياه والحفظ المحلي. وفي هذا السياق، يجري حالياً استخدام النفايات السائلة عالية الجودة المستمدة من تكنولوجيات معالجة المياه المستعملة واستصلاحها (على سبيل المثال الولايات المتحدة وأستراليا وألمانيا والمملكة العربية السعودية وهولندا) للحصول على مياه الشرب غير المباشرة (أي تجديد موارد المياه الجوفية)، وأغراض إعادة الاستخدام غير الصالحة للشرب (أي الزراعة والمناطق الطبيعية الخضراء) (Clinton 2007; Dillon et al. 2009; Alidina et al. 2015).

إنّ الاستخدام غير المباشر للشرب هو عملية دقيقة ومتعمدة لزيادة موارد المياه مع الحفاظ على الضمانات الصحية والبيئية. ويرتبط معظم إعادة الاستخدام غير المباشر للشرب بإعادة تغذية المياه الجوفية. ومع ذلك، فإنّ معظم إعادة الاستخدام غير الصالح للشرب عملياً، سواء كان مخططاً أو غير مخطط له، يحدث من خلال مزج مع المياه السطحية (Asano 2007).

إنّ إعادة تغذية المياه الجوفية بالمياه المستصلحة هي طريقة لإعادة استخدام المياه، ممّا يؤدي إلى زيادة المياه الجوفية لاستخدامات مفيدة مختلفة، بما في ذلك إمدادات المياه البلدية والزراعي وإمدادات المياه الصناعية. وقد استُخدمت تغذية المياه الجوفية من أجل: (1) تقليل أو وقف أو حتى عكس انخفاض مستويات المياه الجوفية، (2) حماية المياه العذبة الجوفية في طبقات المياه الجوفية الساحلية ضد تسرب المياه المالحة والمياه قليلة الملوحة والكريهة؛ (3) تخزين المياه السطحية، بما في ذلك مياه الأمطار أو غيرها من المياه الفائضة والمياه المستصلحة لاستخدامها في المستقبل؛ (4) إلغاء المشاكل المحتملة لانخفاض الأراضي (Asano 2007). في الولايات المتحدة، تمّت إعادة تغذية المياه الجوفية بالمياه المستصلحة لكلّ من تطبيقات إعادة الاستخدام للمياه غير الصالحة للشرب والصالحة للشرب غير المباشرة منذ الستينيات 1960s. الميزة الرئيسة للتخزين تحت السطح هي التحسين المحتمل في نوعية المياه التي تحدث في أثناء عملية إعادة تغذية المياه الجوفية. وخلافاً للتخزين تحت السطح، يمكن أن يؤدي التخزين السطحي مع المياه المستصلحة إلى تدهور كبير في نوعية المياه من التلوث الثانوي ومن النمو الزائد للطحالب (Asano 2007).

تُوفّر إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة بما في ذلك الترشيح في ضفاف الأنهار (RBF)، ومعالجة المياه الجوفية للتربة (SAT)، وإعادة تغذية المياه الجوفية واسترجاعها (ARR)، استصلاحاً طبيعياً ومستداماً للمياه المستعملة وإعادة استخدام التكنولوجيا التي يمكن أن تجدد النفايات السائلة الناتجة عن مياه الصرف الصحي إلى مستويات مياه الشرب، وتمثل مكوّنًا مهمًا لإمدادات إعادة استخدام المياه غير المباشرة (Asano and Cotruvo 2004; Dillon et al. 2009; Missimer et al. 2011; Bekele et al. 2011). المدارة (MAR)، يتمّ رشح وتسرب المياه إما عبر الأحواض، حقن تحت سطح الأرض أو مستخرجة من الآبار المتاخمة للأنهار.

ويمكن تحسين نوعية المياه المصدر (مثل مياه العواصف أو المياه السطحية المتضررة أو المجاري الطبيعية أو مياه الصرف الصحي البلدية أو الصناعية المعالجة بشكل صحيح) في أثناء الارتشاح والمرور تحت سطح الأرض (Sharma and Amy 2011). أما العوامل الممرضة الميكروبية والمغذيات وكثير من الملوثات الكيميائية فتتم إزالتها أو تحويلها بيولوجياً (Weiss et al. 2005; Pang, 2009; Hoppe-Jones et al. 2010). وفي المناطق التي تكون فيها موارد المياه العذبة التقليدية غير كافية لتلبية الطلب المتزايد على المياه، تمثل المياه المستصلحة إمدادات مياه بديلة (Alidina et al. 2015). وتمثل نظم إعادة تغذية المياه الجوفية المدارة (MAR) خياراً جذاباً لزيادة نوعية المياه الجوفية وتحسينها وكذلك لأغراض الإدارة البيئية. وتتطلب هذه النظم الحد الأدنى من الطاقة والمدخلات الكيميائية لتوهين (تخفيف) أو إزالة المركبات الميكروبية والكيميائية ولا تخلق دقفاً للنفايات، على النقيض من عمليات أخرى مثل المعالجة باستخدام الأغشية (Dillon 2005; Sudhakaran et al. 2013). وقد تم الاعتراف سابقاً أنه مع مشاريع التدريب والعرض لإعادة تغذية المياه الجوفية المدارة MAR لديه القدرة على أن يكون مساهماً رئيساً في هدف الألفية للأمم المتحدة (UN) لإمدادات المياه وخاصة بالنسبة لإمدادات الريف في المناطق شبه القاحلة والجافة (Dillon 2005).

ومن المؤكد أن الأمور الصحية غير المحسوبة المرتبطة بمياه الشرب المستمدة من مصادر المياه الملوثة موجودة بالفعل لإعادة استخدام المياه العادمة لأغراض الشرب؛ ومع ذلك، فإن مشروع إعادة استخدام المياه المخططة والمدارة بشكل صحيح يمكن أن ينتج مياه ذات جودة أعلى من إعادة الاستخدام غير المخططة كما هو الحال في الممارسة الشائعة (Asano and Cotruvo 2004). وقد وفرت مشاريع إعادة استخدام المياه المدارة تاريخياً حواجز معالجة متعددة لإزالة مسببات الأمراض الميكروبية والمواد العضوية لحماية الصحة العامة (Anders et al. 2014; Weiss et al. 2005; Hoppe-Jones et al. 2010; al. 2004). إن جمع البيانات عن تراكيز الفيروسات الممرضة البشرية وإزالتها في محطات معالجة مياه الصرف الصحي ضروري لدعم تحديد أكثر دقة لمتطلبات الإزالة اللوغارتمية لمشاريع إعادة استخدام المياه الصالحة للشرب. ومما له نفس القدر من الأهمية لتقييم النقل النسبي للفيروسات والحد منها خلال طبقات المياه الجوفية المدارة وإعادة التغذية.

قامت لجنة المجلس الوطني للبحوث المعنية بتقييم إعادة استخدام المياه نهجاً لتلبية احتياجات إمدادات المياه في المستقبل، التي عقدها مجلس علوم وتكنولوجيا المياه، بإجراء دراسة شاملة عن إمكانات استصلاح المياه وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي البلدية لتوسيع نطاقها، وتعزيز بدائل إمدادات المياه المتاحة في البلاد (NRC 2012). وكلفت اللجنة بمعالجة القضايا التقنية والاقتصادية والمؤسسية والاجتماعية المرتبطة بزيادة اعتماد إعادة استخدام المياه وتوفير منظور مستكمل ومحدث لمجموعة واسعة من تطبيقات إعادة الاستخدام، بما في ذلك مياه الشرب، والاستخدامات الحضرية غير الصالحة للشرب، والرّي، والعمليات الصناعية والمياه، وإعادة تغذية المياه الجوفية، وتعزيز البيئة وتقويتها. وأجرت اللجنة تقييماً نقدياً لإعادة استخدام المياه نهجاً لتلبية الاحتياجات المستقبلية من إمدادات المياه، وأظهرت أنه على الرغم من أن إعادة الاستخدام ليست حلاً سحرياً، فإن كمية المياه العادمة التي تصرف إلى البيئة هي من هذه الكمية التي يمكن أن تؤدي دوراً مهماً في صورة الموارد المائية الشاملة وتكمل استراتيجيات أخرى، مثل الحفاظ على المياه. واعترفت اللجنة بأن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي بحكم الأمر الواقع كإمداد للمياه أمر شائع في العديد من شبكات المياه في البلاد، حيث تستخدم بعض محطات معالجة مياه الشرب المياه التي ينبعث منها جزء كبير من مياه الصرف الصحي من

المجتمعات المنبعية، خاصة في ظل ظروف التدفق المنخفض. كما أقرت اللجنة بأن النظم الطبيعية تستخدم في معظم أنظمة إعادة استخدام المياه الصالحة للشرب لتوفير توازن بيئي. غير أنه لا يمكن إثبات أن هذه الخزانات «الطبيعية» توفر أي حماية للصحة العامة والتي لا تتوافر أيضاً من خلال عمليات هندسية أخرى (مثل عمليات المعالجة المتقدمة والتخزين في خزانات) (NRC 2012).

ويعرف المخزن البيئي الموازن (environmental buffer) بأنه جسم مائي أو طبقة مياه جوفية توفر فصلاً "طبيعياً" بين الزمان والمكان بين معالجة مياه الصرف الصحي وإمدادات المياه. تعمل المخازن البيئية مثل أنظمة المعالجة الطبيعية التي قد تقلل من تركيز الملوثات من خلال عمليات توهين مختلفة، وتوفر فرصة لمزج أو تخفيف المياه المستصلحة، وزيادة مقدار الوقت بين وقت إنتاج المياه المستصلحة وعند إدخالها إلى إمدادات المياه. قد يكون للمخازن البيئية المتوازنة خصائص مختلفة تؤثر على إزالة الملوثات، ومقدار التخفيف، أو زمن المكث. إزالة الفيروسات في أنظمة الترشيح في ضفة النهر هي تابع إلى مسافة الانتقال والزمن. تقر لجنة (NRC) بأنه بدون بيانات جيدة عن الخصائص الخاصة بالموقع، سيكون هناك قدر كبير من عدم اليقين بشأن قدرة المخازن البيئية على إزالة الملوثات. إن الأراضي الرطبة التي يتم بناؤها ومعالجة طبقات المياه الجوفية وترشيح ضفاف الأنهار كلها عمليات معالجة طبيعية عندما تقترن بعمليات المعالجة التقليدية وغيرها من عمليات المعالجة المتقدمة قد تخدم التصور العام (قبول المجتمع لمشاريع إعادة استخدام مياه الشرب) وأهداف المعالجة (AWWA/WEF 2008; NRC 2012).

تغطي هذه الحالة الجوانب الرئيسية لحالة الدراسة التي قيمت إزالة الفيروسات المعوية البشرية الممرضة المختارة في ثلاثة أنظمة (MAR) كاملة النطاق تقع في مناطق مختلفة من الولايات المتحدة (أريزونا وكولورادو وكاليفورنيا). هذه النظم (MAR) تختلف في تقنيات المعالجة واستخدامات التطبيق بعد إعادة التغذية. وتناقش أيضاً جدوى مشاريع (MAR) في سياق الدول النامية.

2 . حالة دراسة: إزالة الفيروس عن طريق (MAR) في ثلاث عمليات كاملة النطاق

2. 1. وصف مواقع (MAR) إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة

تمثل مواقع إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR) الثلاثة الكاملة التي تمّت دراستها في مواقع مختلفة غرب الولايات المتحدة، وعمليات مختلفة لمعالجة المياه العادمة قبل إعادة شحنها، وعمليات إعادة شحن مختلفة واستخدامات للتطبيق بعد إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR) (الجدول 1).

يقع جزء مرفق الحرم الجامعي الشمالي من مشروع مياه المريج Prairie في برايتون، كولورادو على طول جنوب نهر بلات Platte (الشكل 1).

يتم استخراج المياه عن طريق حقل بئر الترشيح على ضفة النهر الذي يقع بالقرب من النهر. يقع الموقع على بعد 18 ميلاً من نقطة التصريف لأكبر منشأة لمعالجة مياه الصرف الصحي في المنطقة. من نقطة التصريف، تستغرق مياه الصرف الصحي نحو 18-20 ساعة للوصول إلى حقل البئر (خلال ظروف التدفق المنخفض في النهر). وتقع الآبار على مسافة 100 إلى 300 قدم (31 إلى 92 متراً) من ضفة النهر، وتتم تصفيتها على أعماق تتراوح من 30 إلى

50 قدما (9 - 15 مترا) تحت سطح الأرض. خلال فترة أخذ العينات، هيمنت مياه النهر على مياه الصرف الصحي (أكبر من 85%) استنادا إلى بيانات التدفق. تم أخذ عينات من آبار مجردة من منشأة الحرم الجامعي الشمالي على طول النهر، بعضها في عدة مناسبات.

الجدول 1: نظم إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR)
وتكنولوجيات المعالجة قبل إعادة الشحن (التغذية).

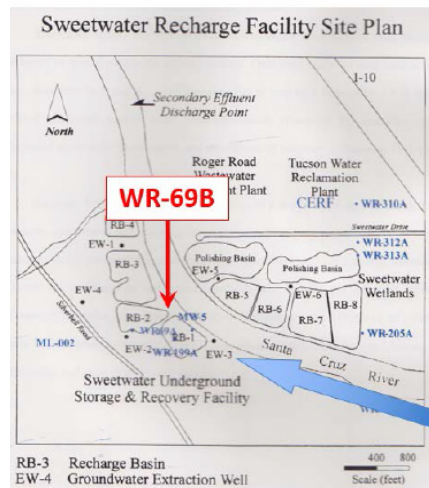
موقع نظام إعادة تغذية المياه الجوفية المُدارة	عملية معالجة المياه العادمة قبل إعادة شحنها (ضخها)	عملية إعادة الشحن (الضخ)	استخدامات التطبيق بعد إعادة الشحن (الضخ)
جزء مرفق الحرم الجامعي الشمالي من مشروع مياه المرحج Prairie في برايتون Brighton، كولورادو (CO) على طول جنوب نهر بلات Platte.	معالجة الحمأة المنشطة (النتيجة / إزالة النتروجين) الكلورة / إزالة الكلور	ترشيح ضفة النهر يليه التسرب عبر أحواض انتشار سطحية (معالجة طبقة المياه الجوفية)	إعادة تغذية المياه الجوفية واستردادها (إعادة الاستخدام للمياه الصالحة للشرب غير المباشر)
مرفق Sweetwater للتغذية والشحن في توكسون Tucson (AZ) المتاخمة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي طريق روجر Roger Road.	الأبراج البيولوجية (مرشحات متقلبة) الكلورة / إزالة الكلور	مياه الصرف الصحي المتدفقة على الأحواض المنتشرة	إعادة تغذية المياه الجوفية (في فصل الشتاء) ري الحدائق (الصيف)
مرفق اختبار إعادة شحن الحوض الواقع في الطرف الشمالي من نهر سان غابرييل San Gabriel حوض ساحلي الأراضي المنتشرة في مونتبيلو Montebello فورباي Forebay (كاليفورنيا) (CA).	معالجة الحمأة المنشطة (النتيجة / إزالة النتروجين) ترسيب ثانوي ترشيح ثنائي الوسائط الثالثي (أنثراسايت والرمل) الكلورة / إزالة الكلور	الرشح عبر انتشار السطح	إعادة تغذية المياه الجوفية واستردادها (إعادة الاستخدام للمياه الصالحة للشرب غير المباشر)

تمّ الجمع بين المياه من جميع آبار الترشيح في ضفاف الأنهار التشغيلية قبل أن يتمّ ضخها إلى محطة تغذية مجاورة للمياه الجوفية وموقع الاستعادة حيث تمّ تسربها لاحقاً عبر أحواض انتشار سطحية لمعالجة إضافية للمياه الجوفية. واستنادا إلى اختبارات التتبع (أي الناقلية ودرجة الحرارة)، قُدّر أن الوقت للوصول من النهر إلى الآبار يتراوح بين 5 أيام وأكثر من 15 يوما اعتمادا على موقع البئر. تتميز تركيبة التربة في الموقع بالرمال الغريني الطمي مع بعض الحصى والسيلت.



الشكل (1) : خريطة جوية لحقل آبار الترشيح في ضفاف النهر على طول نهر بلات الجنوبي في برايتون Brighton بولاية كولورادو Colorado التي تبين مواقع الآبار التي تم أخذ عينات منها (PW: بئر الإنتاج) (Drewes et al. 2015).

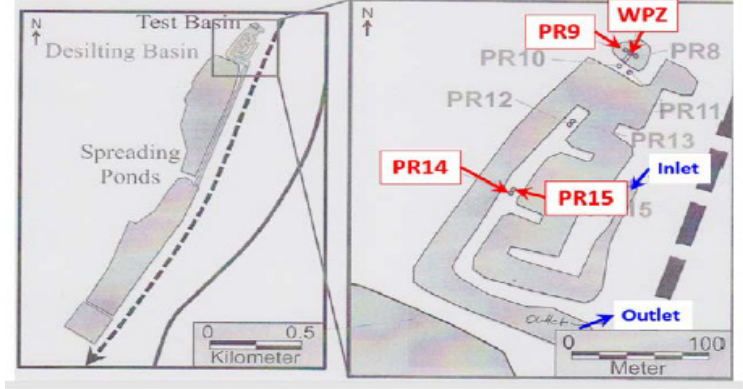
يقع مرفق إعادة شحن وتغذية المياه العذبة في توكسون Tucson، أريزونا Arizona المتاخمة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي طريق روجر Roger Road (الشكل 2). يتم ضخ مياه الصرف الصحي الخارجة من محطة المعالجة إلى الأحواض المنتشرة لتغذية المياه الجوفية، إلى حد كبير خلال أشهر الشتاء. خلال أشهر الصيف، يتم استخراج المياه في وقت لاحق لاستخدامها في ري المساحات الطبيعية. وتم أخذ عينات من بئرين للرصد في أثناء حدث عملية الرش. وتتميز الأحواض برمال خشنة وحصى رملية. يتم رشح الأحواض على دورات جافة رطبة تتراوح من 2 إلى 7 أيام اعتماداً على الموسم. وتتراوح معدلات الرش نحو متر واحد في اليوم.



الشكل 2: مرفق إعادة شحن المياه العذبة Sweetwater في توكسون Tucson (AZ) بجوار محطة طريق روجر Roger Road لمعالجة مياه الصرف الصحي (Drewes et al. 2015).

لقد شُيّدت الأراضي المنتشرة للحوض الساحلي لنهر سان غابرييل San Gabriel في مونتبييلو فورباي Montebello Forebay، كاليفورنيا، California، لغرض دراسة مصير الملوثات خلال تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR) (الشكل 3). ويتلقى الموقع مخلفات مياه الصرف الصحي من مرافق استصلاح المياه في خوسيه كريك San Jose Creek ومحطة ويتير ناروز Whittier Narrows لاستصلاح المياه. تمّ تحديد معدل الرشح في حوض الاختبار خلال هذه الدراسة في حدود 0.6 إلى 0.9 متر يومياً.

الشكل 3: إعادة تغذية
مرفق اختبار حوض
يقع في الطرف الشمالي
من نهر سان غابرييل
للأحواض San Gabriel
الساحلية المنتشرة في
مونتبييلو فورباي،
كاليفورنيا Montebello
Forebay, CA
(Drewes et al. 2015).



2. 2. تحليل الفيروسات: جمع عينات المياه وطرائق الكشف عن الفيروسات.

كانت الفيروسات المعوية المختارة للدراسة (أي شي فيروس وفيروس اتش دي) (Aichi virus and adenovirus) تلك التي وجدت في أكبر تركيز على مدار السنة في النفايات المعالجة (بعد الحمأة المنشطة ومعالجة فلتر الترشيح المتقلب) في اثنتين من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في توكسون Tucson، أريزونا Arizona. وأظهرت هذه الفيروسات تغيراً موسمياً طفيفاً في مياه الفضلات السائلة. كما تمّ جمع البيانات عن حدوث فيروس الفلفل الخفيف (PMMoV)، وهو فيروس نباتي تمّ اقتراحه مؤشراً على تلوث المياه المستعملة. وقد أدرجت الفيروسات المعوية القابلة للزراعة في التحليل لأنها قد درست سابقاً أكثر في عمليات تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR) ويمكن بسهولة أن تنمو وتنضج في زراعة الخلايا. لم يكن فيروس ريوفيروس Reovirus جزءاً من خطة الاختبار الأصلية. ومع ذلك، سمحت زراعة الخلية والأساليب الجزيئية للكشف عن هذا الفيروس في عينة واحدة من موقع التغذية في ولاية كولورادو Colorado. ونتيجة لذلك، أُجريت اختبارات جزيئية لتحديد فيروس ريوفيروس Reovirus في جميع العينات. تعطى بعض التفاصيل التقنية المتعلقة بجمع العينات، معالجتها وتحليلها نظراً لأن نوعية البيانات ذات صلة بتقييم مسببات الأمراض في نظم تغذية المياه الجوفية المُدارة (MAR).

تراوحت قياسات حجم العينة لتحليل العوامل الممرضة من 2 لتر من مياه الصرف الصحي ومياه الأنهار و5 إلى 400 لتر للمياه الجوفية.

تمّت معالجة عينات حجم أكبر في الموقع عن طريق توصيل صنبور أو مأخذ في رأس البئر إلى غطاء مرشح ومقياس تدفق على التسلسل.

تصل عيّنات مياه الصرف الصحي ومياه النهر والمياه الجوفية إلى 10 لتر، الترشيح بالأغشية ومرشحات الأغشية مع استرات (ملح عضوي) والسليولوز المختلطة (HAWP، شركة إي إم دي ميليبور، بيليرিকা، ماساتشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية) (HAWP, EMD Millipore Corporation, Billerica, MA, USA)، كما كان يستخدم سابقاً في العديد من الدراسات للكشف عن الفيروسات بواسطة qPCR في مختلف مصفوفات المياه والصرف الصحي.

أما بالنسبة لأحجام أكبر من المياه الجوفية فقد استخدمت طريقة تركيز الفيروس باستخدام فلتر نانوسيرام NanoCeram (شركة أرغونيد، سانفورد، فلوريدا، الولايات المتحدة الأمريكية) (Argonide Corporation, Sanford, FL, USA) مع محلول تذييل غير بروتيني (1.0% محلول بولي فوسفات الصوديوم مع 0.05 M غليسين) في تركيز عدد أقل من المواد التي تتداخل مع الكشف عن الفيروس عن طريق PCR.

تم إجراء استخراج الحمض النووي الفيروسي للكشف عن الفيروس الغدي بالإضافة إلى استخراج الحمض النووي الريبي الفيروسي والنسخ العكسي للكشف عن الفيروس المعوي، وفيروس أيتشي Aichi و PMMoV وفقاً للإجراءات القياسية في المختبر.

تم تطبيق التضخيم في الوقت الحقيقي Real-time amplification للكشف عن الجينومات الفيروسية التي أجريت عن طريق LightCycler 480 Real-Time PCR Instrument II (Roche Applied Science, Indianapolis, IN, USA) باستخدام فحوصات تمهيدية يتم وصفها بالتفصيل في أماكن أخرى (Betancourt et al. 2014). تم التعبير الكمي المطلق للفيروسات المدروسة كأرقام نسخ فيروسية أو نسخ جينية مستمدة من منحنيات قياسية.

تم اختبار جميع عينات المياه الجوفية التي كانت إيجابية إما للفيروسات المعوية أو PMMoV في زراعة الخلايا لوجود فيروسات معدية. تم فحص نواتج الترشيح على ما يُسمى (BGM) buffalo green monkey وفق مسار الخلية.

تم الحفاظ على الاهتمام الشديد لتجنب التلوث المختبري في الإجراءات التابعة لضمان الجودة كافة ومراقبة الجودة والمبادئ التوجيهية المطبقة في مختبر البيولوجيا الجزيئية زراعة الخلايا من قسم التربة والمياه والعلوم البيئية في جامعة أريزونا University of Arizona.

2. 3. الفيروسات الجينومية وإزالتها بواسطة نظم تغذية المياه الجوفية المدارة (MAR)

تم أخذ عينات من موقع كولورادو مار (MAR) عدة مرات خلال هذه الدراسة بسبب العدد الكبير من الآبار، التشغيل المستمر وسهولة الوصول. ويهيمن على النهر تصريف مياه الصرف الصحي في المراحل الأولى (أكثر من 85%) في أثناء جمع العينات.

الجدول 2: الفيروسات في نظام إعادة تغذية المياه الجوفية المدارة في برايتون،
ولاية كولورادو Brighton, Colorado.

موقع العينة	تجميع المعطيات	الفيروسات الغذائية (نسخ / L)	الفيروسات المعوية (نسخ / L)	فيروسات آيشي Aichi (نسخ / L)	فيروسات PMMoV (نسخ / L)	زمن الانتقال (أيام)
التفريغ في محطة مترو METRO	10/09/12	3.22×10^5	5.42×10^3	1.23×10^4	8.99×10^6	-
(النفائات السائلة)	10/17/12	1.83×10^5	3.19×10^3	1.05×10^4	5.84×10^5	-
	10/30/12	1.07×10^5	5.27×10^4	4.73×10^4	3.41×10^6	-
نهر باليت Pallet	10/09/12	1.82×10^3	6.89×10^2	1.23×10^4	8.99×10^6	-
الجنوبي	10/17/12	9.56×10^4	3.35×10^1	1.05×10^4	5.84×10^5	-
المتاخم	10/30/12	2.73×10^1	7.20×10^2	4.73×10^4	3.41×10^6	-
لحقل الآبار	05/29/13	8.59×10^2	2.52×10^2			
البئر PW10	10/09/12	$<4.29^* \times 10^0$	5.00×10^1	$<8.57 \times 10^0$	4.25×10^1	~5
	10/17/12	$<4.29 \times 10^0$	$<8.57 \times 10^0$	$<8.57 \times 10^0$	3.91×10^2	~5
	10/30/12	$<4.29 \times 10^0$	$<8.57 \times 10^0$	$<8.57 \times 10^0$	5.90×10^2	~5
	05/29/13	$<6.00 \times 10^0$	$<1.20 \times 10^1$	$<1.20 \times 10^1$	3.56×10^1	~5
البئر PW11	10/30/12	$<5.25 \times 10^0$	$<1.05 \times 10^1$	$<1.05 \times 10^1$	8.55×10^2	~5
البئر PW18	05/29/13	1.20×10^0	4.00×10^{-1}	4.00×10^{-1}	1.35×10^1	>10
البئر PW20	1/10/13	$<1.50 \times 10^1$	$<3.00 \times 10^1$	$<3.00 \times 10^1$	1.8×10^2	>10
البئر PW26	10/30/12	$<4.20 \times 10^0$	$<8.40 \times 10^0$	$<8.40 \times 10^0$	4.04×10^3	>15
	01/10/13	$<9.00 \times 10^0$	$<1.80 \times 10^1$	$<1.80 \times 10^1$	$<1.80 \times 10^1$	>15
مشارك 500	01/10/13	$<1.20 \times 10^1$	$<2.40 \times 10^1$	$<2.40 \times 10^1$	$<2.40 \times 10^1$	5 to >15
مشارك 1000	01/10/13	$<6.00 \times 10^0$	$<1.20 \times 10^1$	$<1.20 \times 10^1$	$<1.20 \times 10^1$	5 to >15
مشارك 400	05/29/13	$<9.00 \times 10^{-1}$	$<1.80 \times 10^0$	$<1.80 \times 10^0$	1.02×10^2	5 to >15

PW - آبار الإنتاج، يقع PW10 على بعد 100 قدم من ضفة النهر. كانت جميع الآبار التي أخذت منها عينات أخرى بشكل وسطي 300 قدم من ضفة النهر. الجمع بين 400 و 500 و 1000 - يشير إلى حجم المياه التي تم أخذ عينات منها بالتر من جامع مشترك. ND - لم يتم. PMMv . - فيروس (Pepper mild mottle).

وقد لوحظت الفيروسات Adenoviruses and PMMoV في أعلى تركيز في مياه الصرف الصحي السائلة التي تم أخذ عينات منها في محطة المعالجة قبل تصريفها في نهر بلات الجنوبي South Platte River (الجدول 2). في أثناء الانتقال أسفل النهر انخفض تركيز الفيروسات في المياه العادمة بنسبة 90 إلى 99 % (1 إلى 2 (log10)) في المتوسط كما تم الكشف عنها بواسطة qPCR.

تمّ الكشف عن فيروس PMMoV في كافة آبار الإزالة المعتمدة المتاخمة للنهر وفي المياه المصفاة في ضفاف النهر مجتمعة (المياه من الآبار المنتجة هي مختلطة)، والتي يتمّ نقلها لاحقاً إلى الأحواض المنتشرة السطحية للرشح في مرفق استعادة تغذية طبقة المياه الجوفية في الحرم الجامعي الشمالي.

تمّ الكشف عن الفيروسات المعوية في واحدة من الآبار (PW-10) في مناسبة واحدة بواسطة qPCR. وكانت هذه العينة أيضاً إيجابية للفيروسات المعدية باستخدام زراعة الخلية، فيروس reovirus تمّ التعرف عليه بواسطة PCR.

لم يلاحظ أي تضخيم في الفيروسات الغدية، والفيروسات المعوية وفيروسات أيشي Aichi، ممّا يؤكد أن هذه الفيروسات المسببة للأمراض لم تكن موجودة في العينة.

في موقع كاليفورنيا، تمّ الكشف عن الفيروسات الغدية فقط بواسطة qPCR في عدد قليل من النفايات السائلة المعالجة (الجدول 3). تتلقى مياه الصرف الصحي في هذا الموقع أكبر قدر من المعالجة قبل إعادة التغذية بالمقارنة مع المواقع في ولاية كولورادو وأريزونا Colorado and Arizona وهذا قد يفسّر انخفاض أعداد الفيروسات في العينات التي تمّ جمعها. ومع ذلك، فإنّه يمكن أيضاً أن تكون مرتبطة بعوامل أخرى مثل حدوث العدوى في المجتمع والاختلافات الموسمية. لم يتمّ الكشف عن فيروس PMMoV إلا في عينات من المياه الجوفية الضحلة في الموقع. ولم يتمّ الكشف عنها إلا في المياه الجوفية للآبار مع ثلاثة أيام أو أقلّ من زمن الانتقال في سطح الأرض.

وفي موقع المياه العذبة Seewater لإعادة الشحن والتغذية، تمّ الكشف عن جميع الفيروسات المدروسة في مياه الصرف الصحي بتركيز كبيرة. تمّ الكشف عن كل من الفيروسات أيشي Aichi و PMMoV في بئر واحد مع 5 أيام من زمن الانتقال.

لم يتمّ الكشف عن أي من الفيروسات في بئر مع زمن الانتقال لمدة 14 يوماً. وخلافاً للمواقع الأخرى، بُذلت محاولات لعينة نفس النفايات السائلة التي انتقلت من الأحواض إلى بئر المراقبة.

تمّ توقيت أخذ العينات (أخذ العينات الشاملة) بحيث تمّ أخذ عينات من نفس الجسم من المياه في أثناء انتقاله عبر السطح. وتمّت معاينة العينات التي تظهر وجود أي فيروس في زراعة الخلايا ولم يتمّ الكشف عن أي فيروس معدٍ في أي من عينات من ولاية كاليفورنيا أو ولاية أريزونا California or Arizona.

تمّ حساب الكمية النسبية لإزالة الفيروسات المختلفة لمواقع مختلفة عندما تمّ الكشف عن الفيروسات في مياه الصرف الصحي التي تتمّ إعادة شحنها. ويلخص الجدول 4 درجة الإزالة المقدرة للفيروسات المختلفة في مواقع الدراسة في الآبار ذات أزمّة الانتقال المختلفة.

الجدول 3: الفيروسات في نظم إعادة تدوير المياه الجوفية المدارة
في كاليفورنيا وأريزونا California and Arizona.

موقع العينة	الفيروسات الغدية (نسخ L/)	الفيروسات المعوية (نسخ L/)	فيروسات أيشي Aichi (نسخ L/)	فيروسات الفلفل المنقط المعتدل (نسخ L/)	زمن الانتقال (أيام)
حوض الاختبار، مونتيبيلو، فوريباي، كاليفورنيا					
تصريف الخارج	8.07×10^1	$<6.60 \times 10^1$	$<6.60 \times 10^1$	$<6.60 \times 10^1$	-
البئر WP-Z	$<6.50 \times 10^0$	$<1.30 \times 10^1$	$<1.30 \times 10^1$	7.59×10^2	0.45
البئر PR-9	$<6.90 \times 10^0$	$<1.38 \times 10^1$	$<1.38 \times 10^1$	2.10×10^1	3.5
البئر PR-15	$<6.30 \times 10^0$	$<1.26 \times 10^1$	$<1.26 \times 10^1$	$<1.26 \times 10^1$	44.5
البئر PR-14	$<7.20 \times 10^0$	$<1.44 \times 10^1$	$<1.44 \times 10^1$	$<1.44 \times 10^1$	128.5
موقع إعادة تغذية Seewater اريزونا Arizona					
تصريف الخارج	9.37×10^3	3.46×10^4	4.76×10^4	5.15×10^6	-
البئر MW5	$<8.40 \times 10^1$	$<1.68 \times 10^2$	1.52×10^4	1.44×10^6	5
البئر WR-69B	$<3.56 \times 10^0$	$<7.11 \times 10^0$	$<7.11 \times 10^0$	$<7.11 \times 10^0$	~14

كان تحديد درجة الإزالة محدوداً بسبب تركيز الفيروسات في المياه العادمة المعالجة التي يتم تطبيقها على المواقع وحجم نواتج المرشح المُختبر بشكل أكيد. كان من السهل إعادة تحديد إزالة PMMoV لأنه كان موجوداً في أكبر عدد من النفايات السائلة الناتجة عن مياه الصرف الصحي.

تمّت إزالة فيروس أيشي Aichi و PMMoV إلى درجة مماثلة بعد وقت انتقال 5 أيام في موقع التغذية العذبة Sweetwater لإعادة التغذية. ومع ذلك، تجاوزت إزالة فيروسات أيشي Aichi 2.8 لوغاريتم بعد 14 يوماً من وقت الانتقال وتمّت إزالة PMMoV ما يقارب عن 5 لوغاريتم.

فقط يمكن تحديد إزالة الفيروسات الغدية في موقع حوض الاختبار في ولاية كاليفورنيا، حيث أنّها الوحيدة التي تمّ اكتشافها في مياه الصرف الصحي المستعملة. تمّ تخفيضها من قبل لوغاريتم واحد على الأقلّ في أقلّ من يوم من وقت الانتقال. وكان من المثير للاهتمام أن إزالة PMMoV في موقع كولورادو كانت متطابقة تقريباً للآبار الثلاثة المختبرة، ممّا يشير إلى كفاءة إزالة في نطاق 3 إلى 4 لوغاريتم.

في جميع المواقع، يبدو أن إزالة PMMoV أقلّ وينبغي اعتبار التتبع المحافظ للفيروسات المعوية مدروساً.

كان الفيروس المعدي الوحيد الذي تمّ اكتشافه في هذه الدراسة هو فيروس ريوفيروس reovirus، وهو فيروس

double-stranded (ds) RNA مزدوج ومضمن داخل عائلة ريوفيريدياي Reoviridae. لأنه كان من الصعب ربط فيروسات reovirus مع أمراض محددة في البشر حيث إنها لم تتلقَ كثيراً من الدراسة مثل الفيروسات المعوية الأخرى.

لقد وجد العديد من الدراسات التي تستخدم عدوى زراعة الخلية التي تحدث في تراكيز أكبر من الفيروسات المعوية في المياه العادمة غير المعالجة وبعد التطهير عن طريق الكلورة. هم أكثر مقاومة للتطهير بضوء الأشعة فوق البنفسجية من إنتروفيروسييس enteroviruses. كما يبدو أنهم يبقون على قيد الحياة لفترات طويلة من الزمن في الماء. في دراسة عن آبار مياه الشرب، كان الفيروس الأكثر شيوعاً والمكتشف بواسطة PCR.

وهكذا، يبدو أن فيروسات reoviruses قد تستدعي إجراء دراسات إضافية لتقييم إزالتها بواسطة نظم إعادة تغذية المياه الجوفية المدارة (MAR).

أظهرت نتائج الدراسة أن زمن المكث يؤدي دوراً مهماً في كفاءة إزالة مسببات الأمراض (أي التوهين الفيروسي) من قبل أنظمة المعالجة الطبيعية الثلاثة.

تمت إزالة جميع الفيروسات تحت حدود الكشف عن الطريقة في أثناء ترشيح ضفة النهر ومعالجة تربة المياه الجوفية. كانت القدرة على قياس كمية الفيروسات المعوية البشرية محدودة بسبب تراكيز الفيروس الخاص في المياه العادمة المتسربة، ولكن يبدو أنه يمكن توقع إزالة على الأقل 2 ~ لوغاريتم أو أكثر مع مرور وقت 15 يوماً. وكشفت الدراسة أيضاً أن PMMoV يمكن أن يخدم بمثابة التتبع المحافظ لإزالة الفيروس في عمليات إدارة المياه الجوفية وتغذيتها.

يستدعي مصادفة فيروس reoviruses في بئر الترشيح في ضفة النهر مزيداً من الدراسة. وتوجد فيروسات Reoviruses في كل مكان من توزيعها الجغرافي، ولذلك فقد تم الإبلاغ والإعلان عن ظهورها في المياه الجوفية من مناطق جغرافية مختلفة. هذه الفيروسات هي أيضاً مستقرة جداً في البيئة. ومن شأن تطبيق التكنولوجيات المتعاقبة الجيل التالي (مثل الميتاجينومييات metagenomics) من أجل التمثيل الكامل للفيروسات الموجودة في المياه البيئية أن يوسع معرفتنا بتنوع الفيروس ومصيره وتوزيعه في النظم التي تتم إعادة شحنها من المياه الجوفية.

الجدول 4 : إزالة لوجاريتم الفيروسات عن طريق إعادة شحنها
في أنظمة إعادة تغذية المياه الجوفية الثلاثة المدارة

موقع / البئر	عمق البئر (قدم)	زمن المكث والإقامة (أيام)	الفيروسات الغدية Adenovirus	الفيروسات المعوية Enterovirus	فيروس اشبي Aichi virus	فيروس PMMoV
Arizona						
MW5	30	5	>2.05	>2.31	0.50	0.55
WR-69-B	152.2	~14	>3.42	>3.69	>3.83	>5.86
California						
WP-2	21.2	0.45	>1.09	ND	ND	ND
PR-9	35	3	>1.07	ND	ND	ND
PR- 15	40.5	49.5	>1.05	ND	ND	ND
PR-14	70.5	128.5	>1.11	ND	ND	ND
Colorado						
PW10*						
#1 (10/09/12)	30	~5	>2.63	1.15	>2.61	3.76
#2 (10/17/12)			>4.35	ND	>3.07	2.72
#3 (10/30/12)			>0.80	>2.70	>3.35	2.76
#4 (05/29/13)			>2.16	ND	>3.31	3.69
PW11	29	~5	>0.72	>1.84	>2.49	2.60
PW26	24	>15	>0.81	>1.93	>2.58	1.92

PW10 تمّ أخذ عينات من البئر PW10 أربع مرات مختلفة.
ND = لم يتمّ الكشف عنها في مياه الصرف الصحي المعالجة.
NT = مياه الصرف الصحي المعالجة لم يتمّ اختبارها بعد.

3 . مشاريع إعادة تغذية المياه الجوفية المدارة (MAR) في سياق البلدان النامية

لقد تمّ الاعتراف بأنظمة (MAR) كنظم معالجة بسيطة وذات تقنية منخفضة وفعالة من حيث التكلفة يمكن أن تكون مجدية اقتصادياً للبلدان النامية (ماليفا 2014). بيد أن هناك العديد من الشؤون المقلقة البيئية والمتعلقة بالصحة العامة فيما يتعلق بتلويث مياه المجاري في هذه البلدان، مثل عدم جمع المياه العادمة ومعالجتها و / أو عدم كفاية معالجة مياه الصرف الصحي.

وعلاوةً على ذلك، فإن المياه جيدة النوعية التي يرتفع عليها الطلب في المناطق الحضرية والمناطق المكتظة بالسكان في البلدان النامية تمارس ضغوطاً كبيرةً على الموارد المائية الشحيحة والمتأثرة بشدة. وفي هذا السياق،

فإن إعادة استخدام المياه تجعل كثيراً من المعنى لهذه المناطق وتصبح منطقية للغاية، إلا أن أي مشروع لإعادة استخدام المياه قد لا يكون ممكناً حتى يتم جمع المياه العادمة ومعالجتها بشكل كافٍ. وتقتضي نظم (MAR) أيضاً إدارة مستدامة للنجاح في الحفاظ على الصفات الضرورية لإعادة استخدام المياه الصالحة وغير الصالحة للشرب.

4. شكر

يشكر المؤلفون مؤسسة WateReuse Research Foundation (WRRF) على مساعدتها المالية والتقنية والإدارية في تمويل وإدارة المشروع الذي استمدت من خلاله هذه المعلومات. كما يشكر المؤلفون دائرة تجديد المياه Water Replenishment District في جنوب كاليفورنيا Southern California، ودائرة الصرف الصحي County Sanitation Districts في مقاطعة لوس أنجلوس Los Angeles County، مياه أورورا وتوكسون Aurora & Tucson Water لدعمها المالي والتقني.

المراجع

References

- Alidina, Mazahirali, Dong Li, Mohamed Ouf, and Jorg E. Drewes. 2014. "Role of primary substrate composition and concentration on attenuation of trace organic chemicals in managed aquifer recharge systems." *Journal of Environmental Management* 144:58–66. doi:10.1016/j.jenvman.2014.04.032.
- Anders, Robert, William A. Yanko, Roy A. Schroeder, and James L. Jackson. 2004. *Virus fate and transport during recharge using recycled water at a research field site in the Montebello Forebay, Los Angeles County, California, 1997–2000; Scientific Investigations Report 2004-5161*. U.S. Geological Survey: Reston, Virginia.
- Asano, Takashi, Franklin Burton, Harold L. Leverenz, Ryujiro Tsuchihashi, and George Tchobanoglous. 2007. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- Asano, Takashi, and Joseph A Cotruvo. 2004. "Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: Health and regulatory considerations." *Water Research* 38:1941– 1951.
- AWWA/WEF (American Water Works Association and Water Federation). 2008. *Using reclaimed Water to Augment Potable Water resources*. 2nd Ed. Denver, CO: American Water Works Association.
- Bekele, Elise, Simon Toze, Bradley Patterson, and Simon Higginson. 2011. "Managed aquifer recharge of treated wastewater: Water quality changes resulting from infiltration through the vadose zone." *Water Research* 45:5764–5772. doi:10.1016/j.watres.2011.08.058.
- Betancourt, Walter Q, Masaaki Kitajima, Alexandre D. Wing, Julia Regnery, Jorg E. Drewes, Ian L. Pepper, and Charles P. Gerba. 2014. "Assessment of virus removal by managed aquifer recharge at three full-scale operations." *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 49:1685–1692. doi: 10.1080/10934529.2014.951233.
- Clinton, Tracy. 2007. *Reclaimed Water Aquifer Storage and Recovery: Potential Changes in Water*

Quality. WaterReuse Foundation Report. Alexandria, VA, USA: WaterReuse Foundation.

Dillon, Peter, Paul Pavelic, Declan Page, Helen Beringen, and John Ward. 2009. Managed aquifer recharge: An Introduction. Waterlines Report Series No. 13, February 2009.

Canberra: Commonwealth of Australia.

http://www.nwc.gov.au/data/assets/pdf_file/0011/10442/Waterlines_MAR_completeREPLACE.pdf.

Dillon, Peter. 2005. "Future management of aquifer recharge". *Hydrogeology Journal* 13:313–316.

Drewes J., Regnery J., Dickenson E., Gerba C.P., Snyder S.A., Missimer T. 2015. Role of Retention Time in the Environmental Buffer of Indirect Potable Reuse Projects: An Investigation of Managed Aquifer. WaterReuse Foundation Report. Alexandria, VA, USA: WaterReuse Foundation.

Hoppe-Jones, Christiane, Gretchen Oldham, and Jorg E. Drewes. 2010. "Attenuation of total organic carbon and unregulated trace organic chemicals in U.S. riverbank filtration systems." *Water Research* 44:4643– 4659. doi:10.1016/j.watres.2010.06.022.

Maliva, Robert G. 2014. "Economics of managed aquifer and recharge." *Water* 6:1257–1279.

Missimer Thomas M., Jorg E. Drewes, Robert G. Maliva, and Gary Amy. 2011. "Aquifer Recharge and Recovery: Groundwater Recharge Systems for Treatment, Storage, and Water Reclamation." *Ground Water* 49:771.

National Research Council. 2012. *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply through Reuse of Municipal Wastewater*. Washington, D.C.

Pang, Liping. 2009. "Microbial removal rates in subsurface media estimated from published studies of field experiments and large soil cores." *Journal of Environmental Quality* 38:1531–1559. doi:10.2134/jeq2008.0379.

Sharma Saroj K., and Gary Amy. 2011. "Natural Treatment Systems." In *Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water*, edited by James K. Edzwald, 1–33. Denver, Colorado: American Water Works Association.

Sudhakaran, Sairam, Sabine Lattemann, and Gary L. Amy. 2013. "Appropriate drinking water treatment processes for organic micropollutants removal based on experimental and model studies – A multi-criteria analysis study." *Science of The Total Environment* 442:478–488. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.09.076.

Weiss W. Joshua, Edward J. Bouwer, Ramon Aboytes, Mark W. LeChevallier, Charles R. O'Melia, Binh T. Le, and Kellogg J. Schwab. 2005. "Riverbank filtration for control of microorganisms: results from field monitoring." *Water Research* 39:1990–2001. doi:10.1016/j.watres.2005.03.018.

الحالة 2 : التصميم الحضري الحساس للمياه في متروبوليتان ليما، بيرو Metropolitan Lima, Peru - "حديقة معالجة المياه العادمة : حديقة الأطفال" - تطبيق التدفق الرأسي للأراضي الرطبة في الأماكن العامة المفتوحة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة (بيرو)

Rosa Miglio, Alexandra Garcia, Eva Nemcova, and Rossana Poblet¹

الملخص:

تتميز العاصمة البيروية، متروبوليتان ليما، التي يزيد عدد سكانها عن 9 ملايين نسمة في صحراء ساحل المحيط الهادئ، بعدم المساواة في الحصول على الخدمات الأساسية مثل مياه الشرب ومعالجة مياه الصرف الصحي، فضلاً عن إمكانية الوصول إلى مناطق خضراء صحية.

ليما هي واحدة من مدن أمريكا اللاتينية مع أقل كمية من المناطق الخضراء لكل ساكن (وحدة الخبراء الاقتصاديين (2010) (Economist Intelligence Unit 2010). يُروى العديد من المناطق الخضراء العامة والخاصة في ليما إما بمياه شحيحة صالحة للشرب أو بمياه سطحية ملوثة، في حين بقيت إعادة استخدام المياه العادمة منخفضة بنسبة 10 % في عام 2011) (Kosow et al. 2013).

ضمن مشروع البحث LiWa (Lima Water) (مياه ليما) تم تطوير استراتيجية البنية التحتية البيئية ليما (LEIS). والهدف من ذلك هو دمج المناطق الطبيعية الخضراء والتخطيط الحضري والتصميم مع إدارة المياه من أجل دعم دورة المياه الحضرية - بما في ذلك إعادة استخدام المياه المستعملة - وزيادة الوصول إلى الأماكن العامة الخضراء التي تؤدي خدمات النظم الأيكولوجية لصالح المجتمعات المحلية. على المستوى التقني، يبدو أن استخدام الأراضي الرطبة المبنية هو إحدى الاستراتيجيات الممكنة لتصميم المناطق الحضرية الحساسة للمياه في منطقة جافة مثل ليما.

أحدثوا مناطق خضراء بأنفسهم، وأصبح لديها إمكانات عالية لدمجها في تصميم المكان المفتوح. في عام 2013 تم بناء «حديقة معالجة مياه الصرف الصحي - حديقة الأطفال»، الواقعة في منطقة سان مارتين في مقاطعة بوريس Porres district، كم منطقة ترفيهية مع الأراضي الرطبة التي تم بناؤها بتدفق عمودي لمعالجة المياه الملوثة القادمة من قناة الري.

تم تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي من قبل Akut Peru، وشملت المعالجة المسبقة مع الحواجز القضبان والمربسب، ونظام تدفق عمودي للأراضي الرطبة؛ تعالج المحطة 5.57 متر مكعب باليوم في مساحة 50 متراً مربعاً مما يؤدي إلى تحميل هيدروليكي نحو 0.11 متر مكعب في المتر المربع باليوم. المياه الملوثة لديها BOD₅ متغير وعكارة مع ذروة تصل إلى 15.4 ملغم/لتر و1000 وحدة عكارة NTU على التوالي. العصيات

البرازية تختلف على نطاق واسع من $10^2 * 3$ إلى 10^4 عصية في 100 مل (CFU/100 ml). والطفيليات (توكسوكارا الإسكارس) (*Ascaris toxocara*) كانت موجودة.

أجرت الجامعة الوطنية الزراعية لامولينا (UNALM)-Lima La Molina رصد نوعية المياه والقبول الاجتماعي؛ يظهر رصد نوعية المياه أن نوعية المياه بعد عملية المعالجة تحسّنت بشكل ملحوظ، والحدّ من المخاطر الصحية لمستخدمي الحديقة والحدّ من الجوانب البيئية السلبية مثل رائحة وجود ناقلات الأمراض المنقولة عن طريق المياه. تصف هذه الحالة المشروع، وتقدم نتائج الرصد، وتناقش القيود والتحديات لمثل هذا المفهوم، وتقاسم النهج التشاركي الذي اتخذ لتصميم مشترك لمشروع تصميم المناطق الحضرية الحساسة للمياه التي يمكن أن تخلق الوعي الاجتماعي والبيئي للتغلب على الظروف السلبية المتنازع عليها والمناطق المحيطة بالمناطق الحضرية.

الكلمات الرئيسية: ليما، المناطق القاحلة، الأراضي الرطبة المبنية، البنية التحتية الأيكولوجية، المساحة الخضراء المفتوحة، إعادة استخدام المياه العادمة، دورة المياه الحضرية، معالجة المياه المستعملة، التصميم الحضري الحساس للمياه.

¹ Rosa Miglio  • Alexandra Garcia • Eva Nemcova • Rossana Poblet.
Agriculture Engineer, National Agrarian University (UNALM), Lima, Peru.
e-mail: rmiglio@lamolina.edu.pe

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). *Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016*

1 . مقدمة

تعاين منطقة العاصمة ليما Lima من نقص في المياه لأسباب مختلفة: انخفاض الأمطار السنوية (أقل من 15 مم)، الأنهار الموسمية التي تعاني من الإجهاد المائي (10-0 متر مكعب في الثانية من شهر أيار إلى كانون الأول)، المياه الملوثة (Fernandez-Maldonado 2008)، وعدم كفاءة إدارة المياه. وقد أدى النمو السكاني السريع في العقود السابقة، وعدم تنفيذ وتحديث أدوات التخطيط الحضري والإقليمي، والأزمة الاقتصادية، وعوامل أخرى إلى توسع كبير في التجمعات السكانية العشوائية غير الرسمية، وخاصة في المناطق شبه الحضرية. كثير من هذه التجمعات السكانية وما يقرب من مليون شخص لا يحصلون على خدمات المياه العامة أو خدمات الصرف الصحي. وهم يشغلون أراضي مثل ممرات النهر أو الوديان الزراعية حيث يتعرضون لظروف معيشية محفوفة بالمخاطر، ويعاني فقدان هذه المناطق فقدان المناطق التي توفر خدمات النظام الأيكولوجي الأساسية للمدينة.

في العديد من المناطق شبه الحضرية يوجد أقل من 2 متر مربع من المساحات الخضراء لكل شخص في حين أن المناطق الغنية الأخرى تضم أكثر من 20 متراً مربعاً من المناطق الخضراء لكل شخص. Eisenberg et al. (2014, 26)، مما يدل على عدم المساواة الكبير في التوزيع في جميع أنحاء المدينة. كما يمكن للمناطق الأكثر ثراءً أن تستخدم المياه الصالحة للشرب لري المناطق الخضراء، بينما في المناطق الأكثر فقراً ومعظم المناطق شبه الحضرية تستخدم مياه الصرف الصحي الخام أو بيئة المعالجة للري مما يشكل مخاطر صحية للسكان. لم يتم استخدام الموارد المائية المتاحة بكفاءة، حيث بلغت مستويات إعادة استخدام مياه الصرف الصحي 10 % فقط في عام 2011 . من شأن تأثيرات تغير المناخ على جبال Andean التي يتوقع أن تؤدي إلى انخفاض إمدادات المياه (Kosow et al. 2013) أن تزيد من التحديات التي تواجهها ليما Lima ومن بين العوائق الرئيسية التي تعترض التخطيط المتكامل عدم وجود رؤية موحدة للمدينة يتقاسمها المصممون ومخططو المناطق الحضرية والمفتوحة والمهندسون العاملون في مجال المياه. لذلك، من أجل الحد من الممارسات غير المستدامة وعمليات التنمية الحضرية، هناك حاجة إلى تحول نموذجي للمياه في المناطق الحضرية نحو ممارسات أكثر استدامة تأخذ في الاعتبار دورة المياه الحضرية (Eisenberg et al. 2014).

بما أن خلفية ليما Lima تتطلب حلولاً عاجلة، فإن معهد تخطيط المناطق الطبيعية الخضراء Landscape والبيئة (ILPOE) في جامعة شتوتغارت (ألمانيا) Stuttgart (Germany)، كجزء من مشروع بحثي بعنوان «الإدارة المستدامة للمياه والصرف الصحي في مراكز النمو الحضري لمواجهة تغير المناخ - المفاهيم لميتروبوليتان ليما، بيرو Metropolitan Lima, Peru، مياه ليما Water Lima»، طوّرت «ليما استراتيجية البنية التحتية البيئية» (LEIS). وتتألف الاستراتيجية من (1) مبادئ LEIS لدعم التخطيط الحضري الاستراتيجي ووضع السياسات مما يؤدي إلى تنمية حضرية حساسة للمياه، (2) أداة LEIS لدعم التخطيط الحضري للنظر والأخذ بعين الاعتبار العلاقة بين المياه والمساحات الخضراء المفتوحة، و(3) دليل LEIS مع المبادئ والدلائل التوجيهية لتصميم المناطق الحضرية الحساسة للمياه من أجل تطوير المشاريع.

بناءً على طلب الدعم الفني الذي تقدّمته به بلدية سان مارتن في بوريس San Martin de Porres، تم اختيار مشروع LiWa مستجمعات المياه في نهر تشيلون الأدنى Lower Chillon River لعرض وإثبات تطبيق LEIS

على نطاقات مختلفة. تركّز هذه الحالة على تنفيذ المشروع التجريبي «حديقة معالجة مياه الصرف الصحي - حديقة الأطفال» Wastewater Treatment Park - Children's Park التي تعمل كمثال على التصميم الحضري للمياه (WSUD).

سيتمّ وصف ومناقشة عملية تنفيذ المشروع التجريبي، ومعايير تصميمه، ونتائج رصد نوعية المياه، والقبول الاجتماعي والدروس المستفادة. ويهدف المشروع التجريبي إلى توفير المعرفة لتطبيق مستقبل تكنولوجيا الأراضي الرطبة المشيّد في الأماكن العامة المفتوحة في العاصمة ليما Metropolitan Lima. في نطاق أوسع يهدف إلى التفكير في إمكانات LEIS و WSUD كخطط متكاملة للتخطيط والتصميم التي تدعم المدن في الظروف المناخية الجافة وتأثيرات تغير المناخ، لإعداد ندرة المياه ومعالجتها.

2 . أهداف المشروع

كان الهدف الرئيس من المشروع التجريبي هو تنفيذ مثال على حديقة WSUD التي تعالج المياه الملوثة لإعادة استخدامها في ري المناطق الخضراء، واستخدام كميات من المياه أقلّ من الحديقة التقليدية في ليما Lima، وفي الوقت نفسه هو مساحة عامة جذابة للمجتمع. ومن الأهداف الأخرى ما يلي:

- تشجيع استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لإعادة استخدامها في المناطق الخضراء.
- إنشاء مناطق خضراء صحية جديدة للحدّ من التصحر والغبار في المنطقة، وكذلك الاستفادة من المجتمع المحلي.
- إتاحة الفرص لتحسين نوعية مياه الصرف الصحي من خلال التكنولوجيات الأيكولوجية مثل الأراضي الرطبة المشيّد وإدماج هذه المكونات في الأماكن العامة.
- رفع مستوى الوعي وإبراز أهمية قنوات الري مصدراً دائماً للمياه لدعم أنشطة توليد المناطق الخضراء والأنشطة الزراعية.
- خلق الوعي بالبيئة الصحراوية ومواردها المائية المحدودة فيما يتعلق بالطلب على المياه في المناطق الخضراء باستخدام أنواع النباتات المحلية فقط ذات الاستهلاك المنخفض للمياه في تصميم الحديقة.
- خلق أوجه تآزر وتعاون بين الجهات الفاعلة الرئيسية، وخاصة سكان المناطق الريفية والحضرين الجدد، الذين يستخدمون المياه التي تنقلها قنوات الري ويستفيدون منها.
- العمل كمشروع دليلي لإعادة استخدام المياه العادمة.

3 . سياق الحالة المدروسة

تقع منطقة الدراسة فوق الأراضي الزراعية المذكورة سابقاً التي تُدعى تشوكويتانتا Chuquitanta، في مستجمعات مياه نهر تشيلون Chillon River السفلى في ليما الشمالية Lima North، في منطقة سان مارتين دي بوريس San Martin de Porres (الشكل 1). تشوكويتانتا Chuquitanta هي متقاطعة عبر شبكة من القنوات (تسمى «أسيكوياس» «acequias» وهي أيضاً جزء من نظام الري القديم. وقد تغير استخدام الأراضي هنا في العقود الأخيرة بسبب النمو الحضري السريع والمضاربة الحضرية. وتحولت المنطقة بسرعة من قبل المطورين من القطاع الخاص الذين ينفذون برامج الإسكان غير الرسمية. ونظراً لعدم وجود اعتراف بالبلديات، تفتقر المساكن الجديدة

إلى الخدمات الأساسية والبنية التحتية، وبالتالي تصريف مياه الصرف الصحي والنفايات الصلبة في قنوات الري التي لا تروي الأراضي الزراعية فحسب، بل أيضا المناطق الترفيهية الخضراء. ويشكل سوء نوعية المياه تهديداً صحياً للمستهلكين من المحاصيل المحلية وكذلك مستخدمي المناطق الخضراء.

من ناحية أخرى، وبسبب عمليات تنظيم المناطق الحضرية، يتم تحويل شبكة القنوات «acequias» إلى قنوات ريّ ملموسة تمنع المياه من رشحها إلى التربة وتجديد المياه الجوفية. وقد أغلقت عدة قنوات تماماً ممّا أدّى إلى تصحّر الحدائق الخضراء مرة واحدة وأدى إلى نشوء صراعات اجتماعية. وفي هذا السياق، هناك حاجة إلى نهج جديد للمياه وتصميم المساحة المفتوحة لإعادة قنوات الري المحلية باعتبارها مصادر مُستدامة للمياه.



الشكل 1: الحوض الساكب (مستجمع أمطار) نهر تشيلون السفلي Chillon River، متروبوليتان ليما Metropolitan Lima (الصورة: إيفلين ميرينو رينا Evelyn Merino Reyna).

4. وصف المشروع

1.4. الموقع

يقع المشروع في لا فلوريدا الثانية La Florida II، واحدة من برامج الإسكان غير الرسمية الجديدة التي وُضعت أو طُوّرت على الأراضي الزراعية السابقة، وهي مملوكة من قبل شركة العقارات السكنية Residential SAC. على هامش فلوريدا 2، داخل حدودها الإدارية، ويمر قناة الري سان خوسيه في طريقها إلى الأراضي الزراعية. إن التجمّع السكاني في طريق إجراءات الحصول على الحقوق القانونية في المناطق الحضرية التي سيتمّ استلامها بمجرد إكمال الشركة العقارية جميع البنية التحتية الأساسية. وفي الوقت الحالي، يجب توفير المياه من 2 إلى 4 مرات في الأسبوع بوساطة شاحنات المياه التي تباع نحو 200 لتر (سعة أسطوانة المياه) لكلّ 2 PEN (0.5 دولار لكل أسطوانة) بسعر أعلى بنحو 10 أضعاف من المناطق الرسمية المتصلة بالشبكة العامة. إن جودة هذه المياه الموزعة ليست جيدة، ويشتري كثير من السكان المياه المعبأة للاستهلاك البشري.



الشكل 2 : التجمع السكاني لا فلوريدا 2 La Florida II: قناة سان خوسيه San Jose للري ومنطقة المشروع على يسار القناة قبل البناء (الصورة: إيفا نيمكوف (Eva Nemcova).

لا فلوريدا الثانية La Florida II تضم نحو 600 نسمة وتغطي تقريباً 31.740 متراً مربعاً. وتشمل 8 كتل أكثر من 141 قطعة أرض، ومنطقة واحدة مخصصة للتعليم واثنين من المتنزهات: متنزه (1) مساحته (1992.2 m^2) ومتنزه (2) مساحته (598.16 m^2) الحديقة الكبيرة (بارك 1) تستخدم أساساً من قبل الذكور البالغين لممارسات كرة القدم ويتم ريها بالمياه الملوثة القادمة من قناة بوساطة الأنابيب. ويقع المشروع التجريبي في الحديقة الصغيرة (بارك 2) الواقعة مباشرة بجوار قناة الري (انظر الشكل 2). في عام 2012 تم تحويل هذه القناة الطبيعية إلى قناة بيتونية صلبة للامتثال لمتطلبات الحصول على إضفاء الطابع الرسمي على ولاية فلوريدا الثانية. أدى البناء إلى إزالة الأشجار والعشب الذي كان يحافظ الجيران عليه سابقاً. وأدى تدمير النباتات إلى نشوب نزاعات طائفية محلية كما أدى إلى نشوب نزاعات اجتماعية وقانونية أخرى. كما نشأت نزاعات بين جمعية المجتمع ولجنة الري في تشوكويتانتا Chuquitanta لتعديل مسار أسيكيا acequia ورسم حدودها، فضلاً عن سلطات البلدية، لطلب هذا العمل كجزء من عملية تنظيم المناطق الحضرية التي تعمل «ضد البيئة».

2.4. الجهات الفاعلة الرئيسية

الجهات الفاعلة الرئيسية المشاركة في المشروع هي المجتمع من لا فلوريدا الثانية Florida II وممثلو المجتمع، لجنة الري تشوكويتانتا Chuquitanta، وإدارة المرافق العامة والبيئة في بلدية سان مارتن دي بوريس San Martin de Porres، وفريق التنفيذ ILPOE's.

في أثناء تطوير المشروع أدت أسباب مختلفة إلى مشاركة الأطراف الفاعلة الرئيسية والتزامها، بما في ذلك النزاعات طويلة الأجل والنزاعات الاجتماعية والبيئية والسياسية والإدارية. يقع موقع الحديقة في منطقة كانت سابقاً «حديقة بيئية» والتي تم تدميرها لتحقيق الاعتراف البلدي بمنطقة حضرية أو ما يُسمى *habilitacion urbana*.

في ظل هذه الظروف طلب المجتمع الدعم الفني لبناء حديقة جديدة. ولذلك، استعملت تنمية المتنزهات، بناء على نهج تشاركي، لإعادة إقامة الحوار بين الجيران ولجنة تشوكيتانتا Chuquitanta للري والسلطات المحلية. وخلال هذه العملية، كان يُنظر إلى أن تنمية المتنزهات ساعدت على تحسين العلاقات بين مختلف الجهات الفاعلة. لكن نشأت التوترات حول مسألة الحفاظ على الحديقة. ومع ذلك، فمن المهم أن نذكر أن الشراكة بين أصحاب المصلحة هذه أمر بالغ الأهمية للاستدامة الحالية والمستقبلية للحديقة ونظام المعالجة.

3.4. منهجية المشروع

لقد طُورت هذه العملية للنظر في المراحل التالية:

- شمل التقييم الأولي دراسة الظروف الاجتماعية والاقتصادية والبيئية، وتحديد الجهات الفاعلة الرئيسية، ومسح الأراضي، واختبار نوعية المياه.
- شمل التدريب المجتمعي وورش العمل التشاركية تصميم ورش عمل مع المجتمع المحلي لتحديد المفهوم والوظائف والبرامج. وعملت على رفع الوعي البيئي بشكل عام.
- شمل تشييد الأراضي الرطبة، والتصميم المتكامل، تصميم وثائق البناء لنظام المعالجة، ومكونات الحديقة ووضعتها وإعدادها.
- تنفيذ الحديقة. تم الحصول على كهرباء عامة لدعم أداء الأراضي الرطبة المبنية والإنارة العامة داخل الحديقة، بالإضافة إلى إذن من لجنة الري تشوكيتانتا Chuquitanta لاستخدام المياه من قناة سان خوسيه San Jose.
- اشتمل الاختبار والتدريب على اختبار نظام المعالجة وتدريب موظفي البلديات على تشغيل وصيانة الأراضي الرطبة المبنية والمتنزه بشكل عام.
- رصد الحديقة الأولي وأداؤها: بدأ رصد المياه بعد تدشين الحديقة وقام به طالب من UNALM كمشروع تخرج نهائي. بالإضافة إلى ذلك، تم القيام بزيارات منتظمة بقيادة مدير ILPOE المشروع السابق Rossana Poblet للتحدث مع الجهات الفاعلة الرئيسية ومتابعة أداء الحديقة وصيانتها من قبل السلطات البلدية والجيران المنفذين.

4.4. خصائص المشروع الرئيسية

تتكون الحديقة من ثلاثة أجزاء رئيسية (1) نظام الأراضي الرطبة المبنية مع خزان مياه الصرف المعالجة (2) منطقة ترفيهية خضراء مع أشجار الفاكهة للترفيه، و(3) منطقة لعب ذات أسطح جافة وأشجار لتوفير الظل. يبين الشكل (3) المقترح والحديقة عند افتتاحها في آب 2014.



الشكل 3: محطة معالجة مياه الصرف الصحي للحديقة - حديقة الأطفال في يوم الافتتاح في آب أغسطس 2014، والتي تتكون من: (1) نظام معالجة مع الأراضي الرطبة والخزان، (2) منطقة ترفيهية خضراء مع أشجار الفاكهة، (3) منطقة لعب ذات أسطح جافة (الصورة: إيفلين ميرينو رينا Evelyn Merino Reyna)

1.4.4. الطلب على المياه للحديقة

فقط 40% من إجمالي مساحة الحديقة مزروعة بالأشجار المثمرة والعشب. وتتكون المساحة المتبقية من الأسطح الجافة مع الأشجار الانفرادية من الأنواع المحلية (ميموزا) (mimosa) ونباتات صحراوية xerophytes. لقد أدى الاختيار الدقيق للغطاء النباتي واستخدام نُظم الري المضغوط إلى انخفاض الطلب الكلي على المياه (تقريباً متر مكعب باليوم) ($\sim 1 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$) للمساحة الكلية. وهكذا، فإن المياه المعالجة المتبقية يمكن أن تساعد في ري الحديقة الثانية ذات المساحة تقريباً ($\sim 2000 \text{ m}^2$) في لا فلوريدا الثانية La Florida II.

2.4.4. وصف نظام معالجة المياه العادمة

لقد تمّ تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي من قبل Akut Peru وشمل نظام المعالجة الأولية مع حواجز قضبانية (20 مم كمسافة) ومرسب، نموذج تدفق عمودي للأراضي الرطبة التي شيدت من نموذج WTL-Rotaria، وخزان. وتبلغ مساحة الأراضي الرطبة 50 متراً مربعاً (5 أمتار $\times$ 10 أمتار) والعمق الكلي 0.90 م. تمّ تصميمه كحقل نباتي مرتفع للاستفادة من الميل في الحديقة ذات الرمز k، مع 0.40 متر تحت الأرض و0.5 متر فوق سطح الأرض.

تمّ إملء الأراضي الرطبة المبنية بالرمال الخشنة والحصى، وفقاً للتفاصيل المبينة في الجدول 1، من أسفل إلى أعلى الأراضي الرطبة المبنية.

الجدول 1: توزيع مواد تعبئة الأراضي الرطبة

حصى لتغطية أنابيب الصرف	0.15
رمال خشنة دون غبار	0.50
حماية سطح الحمى	0.10
الارتفاع بين خط المياه والسطح	0.15
الارتفاع الكلي	0.90

المصدر: Akut Peru

في البداية تمّ زرع نوعين مختلفين من النباتات، *Vetiver Chrysopogon zizanioides*، و *Paraguitas*، *Cyperus alternifolius*، ولكن معظم النباتات *Paraguitas* لم تنمّ جيداً وتمّ استبدالها بعد ثلاثة أشهر من أول زراعة بـ *Vetiver*. بقي عدد قليل من النباتات *Paraguitas* في الحقل ولا تزال موجودة في الأراضي الرطبة.

نظام المعالجة هو نظام آلي يعتمد على الضخ، الذي يغذي محطة المعالجة في دورات من 48 ساعة، ممّا يجعل ما مجموعه 3 دورات في الأسبوع. يتمّ برمجة تغذية الأراضي الرطبة العمودية وفقاً لدقات معينة، ممّا يضمن أكسجة النظام.

تعالج المحطة 5.57 متر مكعب في اليوم موزعة في مساحة 50 م² ممّا تؤدي (منتجة) إلى تحميل هيدروليكي نحو 0.11 متر مكعب للمتر المربع في اليوم. المياه الملوثة لديها BOD₅ متغير وعكارة تصل إلى ذروة مقدارها 15.4 ملغم / لتر و 1000 وحدة عكارة NTU على التوالي. عصيات الكوليفورم البرازية تختلف على نطاق واسع من 10³ إلى 10⁴ عضية في 100 مل (CFU/100 ml)؛ مع وجود الطفيليات (توكسوكارا الإسكارس) (*Ascaris toxocara*). ومع ذلك، تمّ إجراء تحليل واحد فقط للعصيات البرازية، ويقدم هنا نتيجة أولية.

3.4.4. تصميم المساحات المفتوحة والتكامل مع تكنولوجيا المعالجة

تقع الأراضي الرطبة المبنية عند أعلى نقطة في الحديقة من أجل الحدّ من الحاجة إلى الضخ. تمّ تصميم الحافة المرتفعة للأراضي الرطبة المبنية كمقعد جلوس منبسط مع سطح خشبي ولوحات تعليمية تطلع المجتمع على مصدر المياه ونوعيتها وعملية المعالجة وإعادة استخدامها. تساهم الأنواع النباتية للأراضي الرطبة المبنية بشكل كبير في الجانب الجمالي لنظام المعالجة وهي سمات رئيسة للحديقة. يبيّن الشكلان 4 و 5 بعض الصور الخاصة بمتنزه معالجة المياه العادمة -حديقة الأطفال بعد عام من تشييده.



الشكل 4 : الأراضي الرطبة المبنية مع مقعد جلوس منبسط، سطح خشبي ولوحة تعليمية حول مصدر المياه
 سان خوسيه San Jose، «قطرة سان بيبيتو» San Pepito droplet
 (الصورة: الكسندرا غارسيا Alexandra Garcia)



الشكل 5 : المنطقة الترفيهية المنتجة الخضراء ومنطقة اللعب الجاف في المقدمة
 (الصورة: الكسندرا غارسيا Alexandra Garcia)

5. مراقبة جودة المياه والنتائج

تم تحليل البارامترات الفيزيائية والميكروبيولوجية أسبوعياً لمدة شهرين، تم اختبار سبع عينات باستخدام الطرائق القياسية APHA-AWWA-WEF.

تم قياس درجة الحرارة ودرجة الحموضة في الحقل. تم قياس البارامترات الأخرى بما في ذلك البارامترات الميكروبيولوجية في مختبر الصرف الصحي والبيئة التابع لـ UNALM. أظهرت نتائج التحليل الفيزيوكيميائي والميكروبيولوجي التي تم الحصول عليها حتى الآن في الجدول 2. ترد النتائج الأولية للطفيليات في الجدول 3.

1.5. كفاءة الإزالة

تظهر تحاليل نوعية مياه الرصد النتائج الآتية:

- كان الرقم الهيدروجيني للمياه العادمة قليلاً قليلاً. ودخلت في نظام المعالجة بمتوسط قيمته 7.66، وفي مخرج المحطة تم تسجيل انخفاض طفيف بمتوسط قيمته 7.39. ويمكن ربط ذلك بالنشاط الميكروبي الذي يحمض البيئة (حمض الكربونيك)، ولكن هذه القيمة لا تؤثر على استخدام المياه المعالجة لري المناطق الخضراء.
- فيما يتعلق بالناقلية الكهربائية، بلغ متوسط قيمتها في مدخل نظام المعالجة $584 \mu\text{S}/\text{cm}$ ميكرو سيمنس بالسم، وفي كل عينة زادت قيمتها إلى $922 \mu\text{S}/\text{cm}$ بشكل وسطي. ومع ذلك، فإن هذه الزيادة لا تؤثر على استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في ري المناطق الخضراء وفقاً للمبادئ التوجيهية لمنظمة الأغذية والزراعة.
- انخفض معدل العكارة بشكل كبير في المرسب ومخرج الأراضي الرطبة 96%، وبلغ متوسط القيمة في مخرج الأراضي الرطبة 1.66 NTU وحدة عكارة.
- بلغ معدل تخفيض BOD_5 في النظام 77 % في المتوسط، أما بالنسبة للعينتين الأخيرتين (سنة واحدة و4 أشهر بعد بدء تشغيل محطة المعالجة) فقد زادت الكفاءة إلى 93% في المتوسط
- بلغ معدل عصيات الكوليفورم البرازية في النظام 80 %، على الرغم من أنه في معظم الحالات في مخرج النظام لم تصل قيمة القولون البرازي إلى 1000 عضية في الـ 100 مل.
- فيما يتعلق بالطفيليات، كان من الممكن إجراء اختبار واحد فقط. في هذه العينة من مياه الصرف الصحي الخام تم العثور على 15 بيضة / لتر وتمت الإزالة 100 % في مخرج الأراضي الرطبة. الأنواع التي تم تحديدها هي أسكارييس تاكسوكارا *Ascaris taxocara*، التي ترتبط بالتلوث الناجم عن إفرازات الحيوانات الأليفة مثل الكلاب والقطط.
- يبين الشكل 6 عينات عكارة المياه من ثلاث نقاط لأخذ العينات: مدخل النظام (EI)، والمخرج إلى المرسب (ES) ومخرج الأراضي الرطبة الرأسية (EH)، على التوالي.



الشكل 6 : العكارة الملحوظة في أخذ عينات المياه من مدخل النظام (EI)، والمخرج إلى المرسب (ES) ومخرج الأراضي الرطبة الرأسية (EH) (المصدر: الكسندرا غارسيا Alexandra Garcia)

الجدول 2 : نتائج اختبار المياه الأولية بما في ذلك التحليل الفيزيائي والكيميائي الميكروبيولوجي

No.	نقاط الاعتيان	التقارير الأولية						
		درجة الحرارة (C°)	pH درجة الحموضة القياسية	الناقلية الكهربائية (CE) (µS/cm)	العكارة (NTU)	المواد الصلبة المعلقة (mg/l)	الطلب البيولوجي للأوكسجين BOD ₅ (mg/l)	العصيات الكوليفورم البرازية (CFU/100 ml)
1	EI	N	7.35	1044	23	2000	15.37	N
	ES	N	7.14	1184	19.4	1800	13.96	-
	EH	N	7.15	1271	1.1	200	3.9	N
2	EI	27.2	7.73	1044	162	600	14.2	300
	ES	27.5	7.67	1184	140	200	9.2	-
	EH	28.6	7.58	1271	1.84	<100	4.67	< 20
3	EI	30.0	7.93	544	212	2000	9.53	4540
	ES	29.6	7.53	516	44.2	200	2.94	-
	EH	29.9	7.54	625	1.98	<100	1.35	680
4	EI	26.9	7.71	346	94	1000	2.68	420
	ES	27.2	7.50	477	47.5	200	1.27	-
	EH	27.6	7.55	592	0.75	<100	0.56	240
5	EI	23.8	7.58	502	83.1	500	6.17	980
	ES	23.6	7.71	501	73.1	100	3.17	-
	EH	23.3	7.64	612	4.07	<100	2.87	110
6	EI	N	7.71	368	>1000	15600	7.75	>10000
	ES	N	7.55	510	953	3000	3.22	...
	EH	N	7.20	1395	1.25	<100	0.45	1520
7	EI	N	7.63	599	102	5200	9.06	7740
	ES	N	7.46	506	30.4	600	2.94	...
	EH	N	7.10	1282	0.64	<100	0.71	1080

الجدول 3 : النتائج الأولية، محطة معالجة مياه الصرف الصحي - حديقة الأطفال - الطفيليات

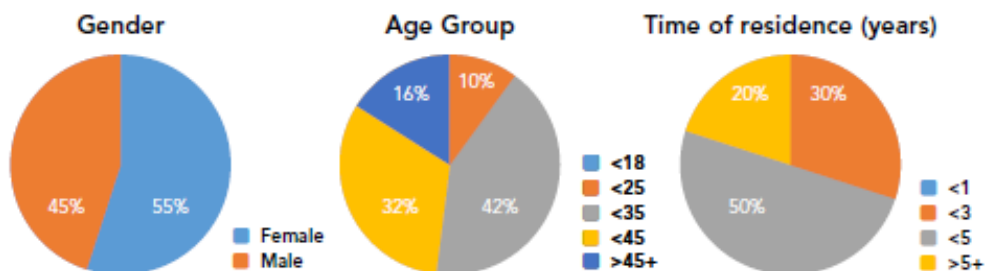
No.	نقاط الاعتيان	التقارير الأولية	
		عدد البيوض في اللتر Eggs number/L	الأنواع التي تم العثور عليها SPECIES FOUND
1	EI	15	Ascaris Toxocara
	EH	0	Ascaris

EI: نقطة المدخل إلى نظام معالجة مياه الصرف الصحي، ES: المخرج إلى المرسب،
EH: مخرج من الأراضي الرطبة، N: غير محدد

6 . الإدراك الاجتماعي - مستوى القبول

أجري مسح من أجل تقييم استدامة نظام المعالجة وقبوله من جانب السكان المحليين. وشمل المسح جزءاً من مجموع السكان المحليين 20 ساكناً، وكان معظمهم من النساء دون سن 35 عاماً وكانوا يعيشون مدة تقل عن 5 سنوات في المنطقة (الشكل 7).

الجنس	الفئة العمرية	زمن الإقامة (سنوات)
-------	---------------	---------------------

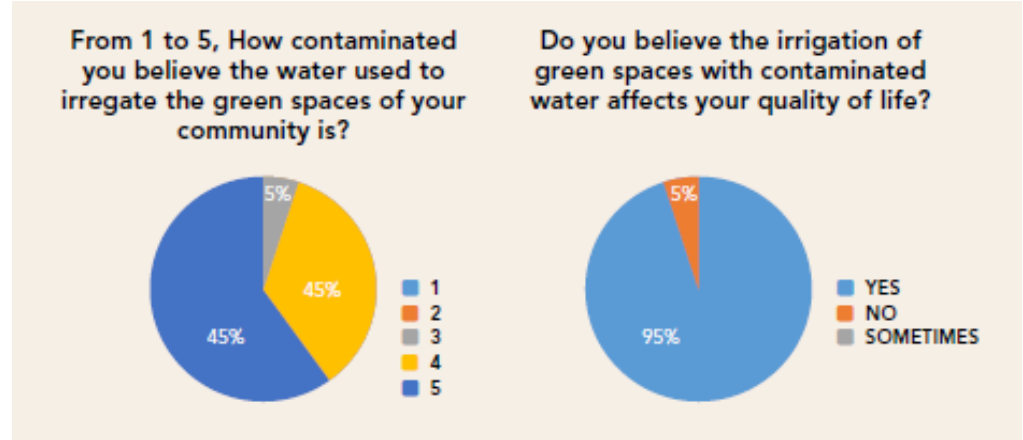


الشكل 7. لمحة عن المشاركين في المسح لتقييم نظام المعالجة

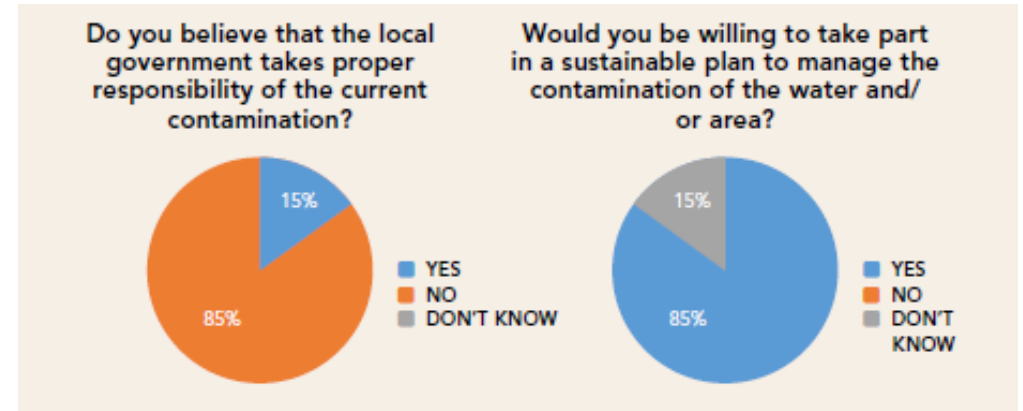
(المصدر: غارسيا روسبيجليوسي 2015 Garcia Rospigliosi)

وكانت أسئلة الدراسة الاستقصائية تتعلق بكيفية معرفة السكان بالمخاطر الصحية المرتبطة باستخدام المياه الملوثة من القناة لري المناطق الخضراء، وكيف تؤثر على حياتهم، وإلى أي مدى سيكونون على استعداد للمشاركة في مكافحة التلوث. تم استخدام مقياس متدرج من 1 إلى 5 لتحديد درجة التلوث: 1 = «إنه غير ملوث» حتى 5 = «إنه ملوث للغاية». وتظهر النتائج في الشكل 8.

هل تعتقد أن ري المساحات الخضراء مع المياه الملوثة يؤثر على نوعية الحياة الخاصة بك؟	من 1 إلى 5، كيف تعتقد أن تلوث المياه المستخدمة لري المساحات الخضراء في مجتمعك هو؟
--	---



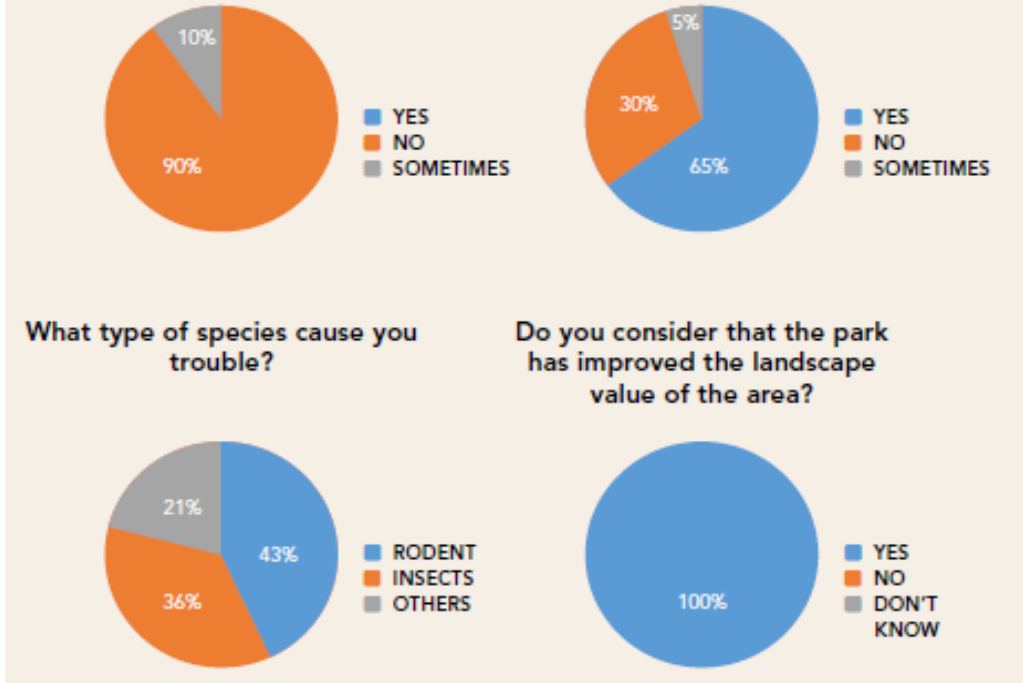
هل ستكون على استعداد للمشاركة في خطة مستدامة لإدارة تلوث المياه؟	هل تعتقد أن الحكومة المحلية تتحمل المسؤولية الملائمة عن التلوث الحالي؟
--	--



الشكل 8 : ملاحظة (إدراك) مستوى تلوث المياه في قناة الري واستعدادها للمشاركة في خطة مستدامة لإدارتها (المصدر: غارسيا روسبيغليوسي Garcia Rospigliosi, 2015)

السكان حيث سُئلوا كيف ينظرون إلى الحديقة، شكاوهم بشأن الحديقة، وكيف ينظرون إلى إدارة الحديقة، وإذا كانوا على استعداد للانخراط في الإدارة. تظهر النتائج في الشكل 9.

هل لاحظت وجود أي حيوان أو نوع غير مرغوب فيه في الحديقة؟	هل يسبب بناء الحديقة أي مشكلة بالنسبة لك؟
هل تعتبر أن الحديقة قد حسّنت قيمة المناطق الطبيعية الخضراء للمنطقة؟	أي نوع من الأنواع يسبب لك المتاعب؟



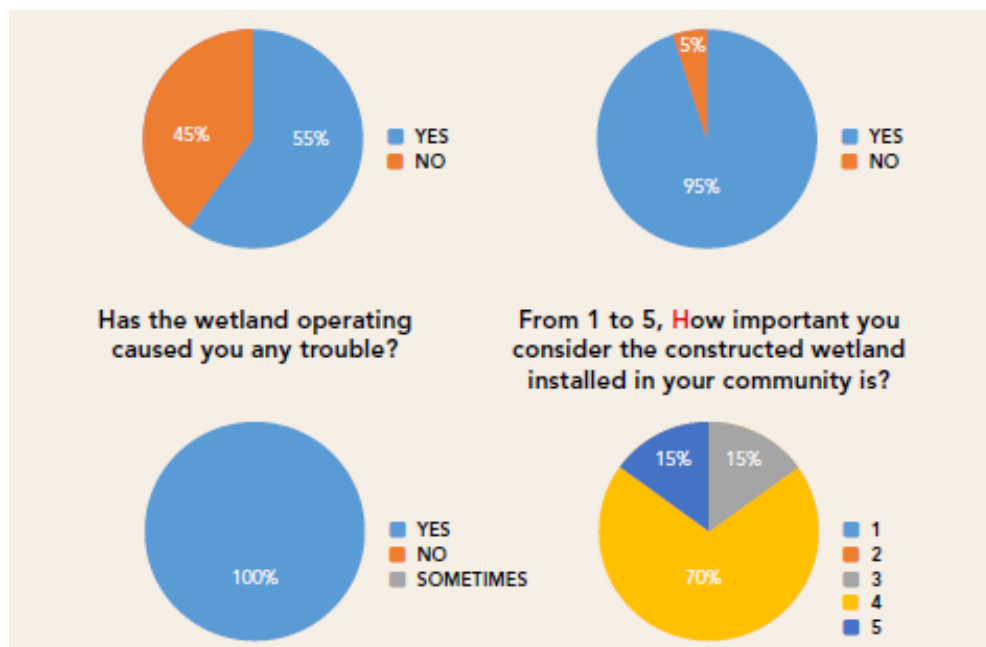
هل ستكون على استعداد للمشاركة في إدارة الحديقة والرعاية؟	هل تعتبر أن إدارة جيدة من الحديقة يتم القيام بها؟
--	---



الشكل 9: التصور بشأن بناء المتنزهات، والشكاوى المقدمة، الإدارة والاستعداد للمشاركة في برنامج الإدارة (المصدر: غارسيا روسبيغليوسي Garcia Rospigliosi, 2015).

وأخيراً، ركّز المسح على تحديد مقدار المعرفة التي اكتسبها السكان حول نظام المعالجة المعتمد والمثبت في الحديقة. تظهر النتائج في الشكل 10 .

هل تعلم أن هناك أرضاً مبنية في الحديقة؟	هل تعرف ما هي الأراضي الرطبة التي شيدت وكيف تعمل؟
من 1 إلى 5، ما مدى أهمية اعتبار الأراضي الرطبة المنشأة في مجتمعك؟	هل تسبب تشغيل الأراضي الرطبة في حدوث أي مشكلة؟



الشكل 10: معرفة السكان حول نظام المعالجة وأهميته
(المصدر: غارسيا روسبيغليوسي Garcia Rospigliosi، 2015)

7. الأداء الحالي للمنتزه

بعد افتتاح المشروع في آب 2014، سلم فريق LiWa المشروع إلى الجيران والبلدية المحلية. بعد الانتخابات البلدية في عام 2014 تولت إدارة جديدة للمنطقة في كانون الثاني 2015، بعد أربعة أشهر فقط من افتتاح المشروع، وهو وضع جديد كان تهديداً لتشغيل الحديقة وصيانتها.

في عام 2015 تمّ استبدال جميع الموظفين الفنيين بما في ذلك مستوى الإدارة العليا فضلاً عن العديد من عمال الصيانة والبستنة. وطالب مجتمع فلوريدا المنظم جيداً La Florida II بتشغيل وصيانة الحديقة الجديدة من قبل البلدية وعرض المشروع على إدارة المقاطعة الجديدة. وفي الوقت نفسه، وُقِر مشروع «LiWa» وسيلة

لتوظيف أحد الجيران للتغلب على الفترة الانتقالية بين الإدارات القديمة والجديدة، والوقت مع عدم وجود صيانة من جانب البلدية. وفي وقت لاحق، خصصت البلدية الجديدة عاملاً واحداً للتشغيل والصيانة، ولكن مع عدم كفاية الوقت حيث كان الشخص مسؤولاً عن صيانة عدة مناطق خضراء بلدية في نفس الوقت. كما كان هناك تدريب محدود حول التشغيل والصيانة. ويتولى حالياً أحد العاملين في البلديات مسؤولية تشغيل نظام الضخ والري، وهو يوجد بصورة منتظمة تقريباً ثلاث مرات في الأسبوع.

8 . الدروس المستفادة والاستنتاجات

ينشأ العديد من الأسئلة والقيود بعد تنفيذ هذا المشروع. تصف النقاط الآتية بعض التأملات والدروس الرئيسية المستفادة في أثناء العملية وبعدها:

- يقع المشروع في منطقة ديناميكية شبه حضرية تتميز بصراعات اجتماعية وبيئية مختلفة، وتغيّر الظروف وعدم اليقين. وكانت هذه العوامل تشكل تحدياً في أثناء عملية التصميم والتنفيذ.
- كان التدفق غير المنتظم للمياه، الذي يتميز بفائض تدفق المياه خلال موسم الأمطار والندرة وقيود استخدام المياه خلال موسم الجفاف، تحدياً أمام تصميم الأراضي الرطبة، اختبارها وأتمتة تشغيلها. لذلك لا يمكن أن تكتمل العملية الآلية لنظام المعالجة بنجاح، والري يحتاج إلى أن يُدار يدوياً من قبل شخص.
- لا يستخدم تصميم نظام الري الفعال إلا جزئياً بسبب نقص المعرفة. لذلك تستمر ممارسة التعامل مع الفيضانات في المناطق الخضراء المروية.
- تبقى السلامة قضية مهمة جداً يجب مراعاتها عند اتخاذ قرار بشأن التكنولوجيا. تتميز المناطق المحيطة بالجريمة، وتعاطي الكحول والمخدرات. هذه الجوانب يجب أن تؤدي دوراً مهماً عند اختيار تكنولوجيا المعالجة والأنواع النباتية. ارتفاع الخطط عند نضوجها بالكامل لأبد من النظر فيها. ويمكن أن يتغير التصور الإيجابي للأراضي الرطبة التي شيدت بوصفها نظاماً للمعالجة الإيكولوجية بطريقة سلبية إذا أصبح الغطاء النباتي الكثيف فضاءً يختبئ فيه المجرمون.

حدثت حادثة لمحاولة هجوم، ولذلك قرر المجتمع المحلي قَصّ وخفض الغطاء النباتي إلى ارتفاع متوسط. يتميز المشروع بالجوانب الإيجابية والابتكار:

- تنفيذ محطة معالجة مياه الصرف الصحي في المساحات العامة هو حالة مبتكرة وفريدة من نوعها. واستناداً إلى الاستبيانات، يمكن افتراض أن دمج نظام المعالجة مع الاستخدام الترفيهي كان ناجحاً.
- يظهر رصد نوعية المياه أن جودة المياه بعد عملية المعالجة تحسّنت بشكل ملحوظ، مما يقلل من المخاطر الصحية لمستخدمي الحديقة والحدّ من الجوانب البيئية السلبية مثل رائحة وجود الحشرات وحاملات الأمراض المنقولة عن طريق المياه. ولا يزال هناك شواغل وقلق بشأن وجود الحشرات التي ينبغي مواصلة التحقيق فيها.
- ذكر السكان الذين يعيشون بالقرب من المتنزه أنهم موجودون على بينة من المخاطر الصحية المحتملة المرتبطة باستخدام المياه الملوثة للري، ونتيجة لذلك فإنهم يدركون فوائد المعالجة في الحديقة. كما اعترف السكان بأن جودة المناطق الطبيعية الخضراء قد تحسّنت كثيراً.

- أفاد معظم المشاركين في الاستبيان بأن المشكلة الرئيسية هي عدم وجود تشغيل وإدارة جيدة في الحديقة. يدفع السكان الضرائب إلى البلدية، والتي تشمل أيضاً صيانة المساحات الخضراء والأماكن العامة. لذلك يمكن أن تنشأ الصراعات في المستقبل إذا لم تتخذ السلطات المحلية إجراءات لإيجاد حلول مشتركة لصيانة المنطقة الخضراء. ولذلك يلزم تحسين التنسيق فيما بين الجيران والسلطات البلدية.
- منذ انتهاء المشروع مع افتتاح الحديقة، يُطلب المزيد من التحقيق العلمي والاجتماعي لتقييم كامل أداء الحديقة، والقبول الاجتماعي، والقيود والتحديات والفوائد. تشكل المشاركة القوية لمختلف الجهات الفاعلة، بما في ذلك الأوساط الأكاديمية المحلية، عنصراً أساسياً في إنشاء المعارف وتبادلها وتوفير الرصد الشامل.
- على الرغم من هذه الظروف، فإن «معالجة مياه الصرف الصحي - حديقة الأطفال»، هي مكان حيوي للأطفال والنساء والرجال الذين يعيشون في لا فلوريدا الثانية La Florida II والمناطق المحيطة بها. وسيكون من الضروري التحقيق في كيفية زيادة معالجة المياه الملوثة لري المزيد من المناطق الخضراء.
- يمثل المشروع نهاية أربع سنوات من البحث وعملية التخطيط والتصميم التشاركي مع الحلول والمقترحات من أجل الاستخدام الأكثر استدامة للموارد المائية في ليما Lima وتحديداً في حوض ومستجمعات مياه نهر تشيلون السفلي Lower Chillon River، التي تشمل المجتمعات والسلطات الحضرية والمحلية، والأوساط الأكاديمية البيروية والألمانية، والباحثين.

ونتيجة لهذه التجربة، تمّ نشر كتاب LEIS Book كدليل لتطبيق WSUD على مختلف المستويات والمقاييس، وتمّ بناء المشروع التجريبي كمحفز لإظهار إمكانيات تنفيذ WSUD في ظروف حضرية مختلفة، وإعادة استخدام موارد مائية محلية مختلفة، مثل المياه العادمة المعالجة بشكل غير كافٍ، والمياه السوداء، والمياه الرمادية، أو المياه السطحية الملوثة.

لقد كان المشروع ممكناً بفضل مجتمع لا فلوريدا الثانية La Florida II الذي أظهر القدرة على المشاركة في قيادة العملية ودعم تصميم الحديقة والبناء والصيانة والتشغيل. وبالإضافة إلى ذلك، اشترك وزارة التعليم والبحث الألمانية (BMBF)، وبلدية سان مارتين دي بوريس San Martin de Porres Municipality، والمجتمع المحلي في فلوريدا الثانية La Florida II في تمويل المشروع بهدف إفادة المجتمع المحلي من خلال اكتساب مساحة خضراء جديدة، يمكن أن تدعم وتحدّ من الصراعات الاجتماعية والبيئية في المنطقة.

المراجع :

References

- Akut Peru. 2014. *Manual del tratamiento de aguas de canal en humedal artificial WTLROTARIA para el uso en riego del parque en La Florida – Chuquitanta* (in Spanish).
- Economist Intelligence Unit. 2010. *Latin American Green City Index 2010: Assessing the environmental performance of Latin America's major cities*. Munich, Germany: Siemens AG.
- Accessed February 2, 2016. https://www.siemens.com/entry/cc/features/greencityindex_

international/all/en/pdf/report_latam_en.pdf.

Eisenberg, Bernd, Eva Nemcova, Rossana Poblet, and Antje Stokman. 2014. *Lima Ecological Infrastructure Strategy: Integrated urban planning strategies and design tools for water-scarce cities* (in Spanish). Stuttgart, Germany: Institute of Landscape Planning and Ecology. http://issuu.com/ilpe/docs/leis_-_esp_20141117_copy.

Fernandez-Maldonado, Ana Maria. 2008. "Expanding networks for the urban poor: Water and telecommunications services in Lima, Peru." *Geoforum* 39(6):1884–1896.

Garcia Rospigliosi A. 2015. *Sostenibilidad de un humedal artificial de flujo vertical, para el tratamiento de aguas contaminadas con fines de reuso. Avances del trabajo de tesis para titulo de Ingeniero Agricola* (in Spanish).

Kosow, H., C. Leon, and M. Schütze. 2013. *Escenarios para el futuro – Lima y Callao 2040. Escenarios CIB, storylines & simulacion LiWatoool* (in Spanish). Accessed September 30, 2013. <http://www.lima-water.de/documents/scenariobrochure.pdf>.

LiWa Project. <http://www.lima-water.de/>.

Zapater-Pereyra, M., Eva Nemcova, and Rossana Poblet. 2014. "Ecological Infrastructure: Coupling wastewater treatment and open space design – Lima, Peru." In *IWA Specialist Group on Wetland Systems for Water Pollution Control Newsletter No. 45*, 30.

Note: The description of the project is based on the publication Lima Ecological Infrastructure Strategy (Eisenberg et al. 2014).

ملاحظة : يستند وصف المشروع إلى استراتيجية ليما Lima للبنية التحتية البيئية (إيسنبرغ وآخرون 2014)
(Eisenberg et al. 2014).

الحالة 3 : تحديات المياه العادمة والنجاح في تنفيذ الأراضي الرطبة في مصر (مصر)

T. T. El-Gamal and M. H. Housian¹

الملخص :

مع الزيادة التدريجية في الطلب على المياه والحد من إمدادات المياه، فإنّ الحلّ العملي لتلبية الاحتياجات المائية في مصر هو إعادة استخدام النفايات الزراعية والبلدية والصناعية المختلفة. ويعتبر نظام الري المصري نظاماً مغلقاً، حيث يعود مختلف خسائر المياه إلى نظام الصرف الدريناج، فضلاً عن كونه نظاماً مختلطاً. أدى ذلك إلى زيادة التلوث في مياه الصرف الصحي، مما يجعل إعادة استخدامها مشكلة جديّة وخطيرة. كان تقديم خدمات الصرف الصحي ومعالجة المياه من بين الأولويات الرئيسة للحكومة في العقود الأخيرة. ومع ذلك، ونظراً للتحديات الاقتصادية، فإن الخدمة لم تلحق النمو السكاني السريع. لذلك، من المهم إيجاد حلول بديلة للتخفيف من مشكلة التلوث الممكنة اقتصادياً وتقنياً. تشكل الأراضي الرطبة المبنية تقنية واحدة لمواجهة المشكلة. وقد طبقت هذه التقنية في مصر على نطاق واسع في البحيرات الشمالية، وعلى نطاق صغير في بعض المصارف الثانوية (داخل الأراضي الرطبة). أظهرت المشاريع التجريبية كفاءة إزالة واحدة جداً للعناصر المختلفة للتلوث. ولا تتطلب الأراضي الرطبة داخل جداول الأنهار مساحات إضافية، وباعتبارها تقنية بسيطة ورخيصة، يمكن تطبيقها على نحو متوازٍ في مواقع مختلفة، عن طريق إدماج المنظمات غير الحكومية، مع برنامج مناسب للانتشار والكفاءة والقدرة، يمكن أن يسفر عن تقدم كبير في تحسين نوعية المياه، والمساعدة في إنقاذ استخدام المياه العادمة.

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة، إعادة الاستخدام، التلوث، التحديات الاقتصادية، الأراضي الرطبة المبنية.

¹ El-Gamal, T. T (1) • Housian, M. H (2)

(1) Associate Professor, Water Management Research Institute, National Water Research Center, Egypt; e-mail: elgamalt@yahoo.com, elgamalt@gmail.com

(2) Researcher, Water Management Research Institute, National Water Research Center, Egypt; e-mail: elhousian_helmy@hotmail.com

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). *Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016*

1. المقدمة

تعاني مصر، بوصفها منطقة شبه جافة، من نقص المياه، وتزداد الفجوة بين إمدادات المياه والطلب على المياه تدريجياً مع الزيادة السريعة للسكان. أصبحت القدرة على زيادة الموارد المائية الفعلية من نهر النيل محدودة جداً، وبالتالي فإن الحل العملي لسد هذه الفجوة هو الاعتماد على إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والمياه العادمة البلدية. تعتمد غالبية المساحة المزروعة على الري بالإسالة، الذي يرتبط عادةً بكفاءة استخدام المياه المنخفضة. وتعود جميع الفواقد من المياه الزراعية إلى النظام وهي مختلطة مع مياه الصرف الصحي والنفايات الصناعية، التي تعود إلى النظام أيضاً. ومع الزيادة في النفايات البلدية والصناعية والحاجة إلى إعادة استخدام هذه الفواقد، أصبح تلوث المياه مشكلة خطيرة.

يعود مفهوم إعادة استخدام المياه العادمة في مصر إلى الثلاثينيات 1930s. ومع ذلك، بدأ الاعتماد المكثف في السبعينيات 1970s. ومنذ ذلك الوقت، كانت هناك زيادة تدريجية في الاعتماد على مياه الصرف بسبب ارتفاع الطلب على المياه. وفي الوقت نفسه، حدثت زيادة في تلوث مياه الصرف الصحي وخزانات المياه الجوفية الضحلة مع الزيادة السريعة في عدد السكان والتغير السريع في مستويات المعيشة.

يؤثر تقييد الموارد الاقتصادية على قدرة البلد في جمع جميع النفايات البلدية ومعالجتها. أكثر من 88% من المناطق الريفية لا تملك خدمات الصرف الصحي حتى الآن. وهم يجمعون مياه المجاري في آبار الصرف الصحي تحت المنازل التي تتسرب إلى خزان المياه الجوفية الضحل. وعندما تكون هذه الخزانات ممتلئة، يقوم المزارعون بتفريغ النفايات في شبكة الصرف أو الري من خلال الصهاريج النقالة. في العديد من محطات المعالجة في المدن، تجاوزت مياه الصرف الصحي قدرات هذه المحطات، ويمر جزء من هذه النفايات السائلة مباشرة إلى مجاري مائية مختلفة. كذلك يتم التخلص من النفايات الصناعية بمعالجة أولية في العديد من المواقع، كما أن القدرة على تحسين جميع هذه النفايات صعبة اقتصادياً.

من الضروري التحقيق في بدائل مختلفة من أجل التوصل إلى حل ممكن تقنياً واقتصادياً ويمكن تطبيقه في وقت قصير يتناسب مع الزيادة السريعة في عدد السكان والتغير السريع في مستويات المعيشة.

تم التحقيق والتدقيق في العديد من البدائل للمساعدة في مواجهة مشكلة نوعية المياه الحالية في مصر. تقنية الأراضي الرطبة تقنية واحدة في هذا الصدد. إنَّ التكلفة المنخفضة التي تنخفض إلى نحو عشر محطات المعالجة العادية والنتائج الجيدة التي ظهرت في بعض التجارب تجعل من هذه التقنية إحدى الحلول الممكنة لمشكلة نوعية المياه. وقد تمَّ التحقيق في هذه التقنية بالفعل في مواقع صغيرة، والتحدي الحالي الآن هو التحقيق والبحث في القدرة على نشر المفهوم وإدماج المنظمات غير الحكومية في بناء هذه المواقع وصيانتها.

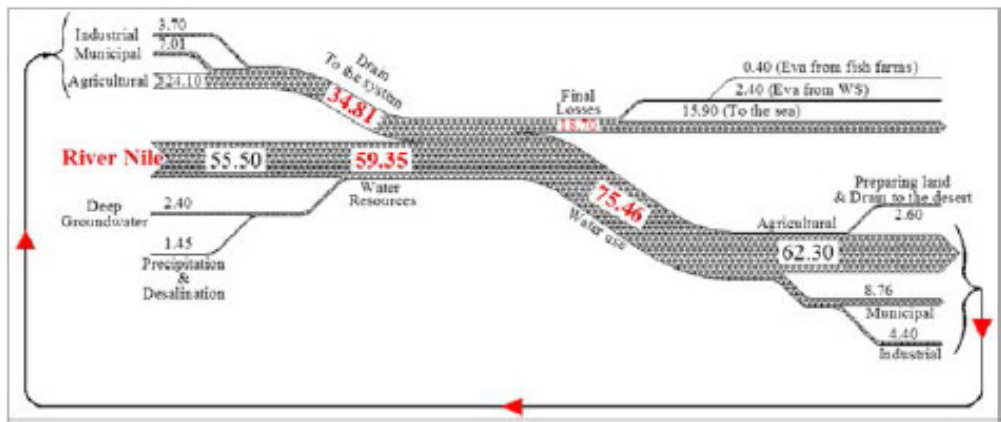
2. إعادة استخدام المياه العادمة في مصر

1.2. الموازنة المائية الحالية في مصر وأهمية إعادة الاستخدام

يبيّن الشكل (1) الموازنة المائية في مصر في عام 2010 استناداً إلى استراتيجية المياه المصرية لعام 2017 (آب 2013). ويبلغ مجموع الموارد المائية نحو 59.35 مليار متر مكعب، التي تشمل بشكل رئيس حصة نهر النيل، وكذلك المساهمات الصغيرة من المياه الجوفية العميقة، وهطول الأمطار، وتحلية المياه.

كانت حصة مصر من نهر النيل ثابتة منذ معاهدة 1959، في حين أن عدد السكان قد زاد نحو ثلاث مرات خلال نفس الفترة. وانخفض نصيب الفرد من الموارد المائية بشكل كبير من فائض مياه يبلغ 2526 م³ / فرد / سنة في عام 1947 إلى مستوى كافٍ يبلغ 1972 م³ / فرد / سنة في عام 1970، ثم ندرة وفقر المياه بـ 663 م³ / فرد / سنة في عام 2013.

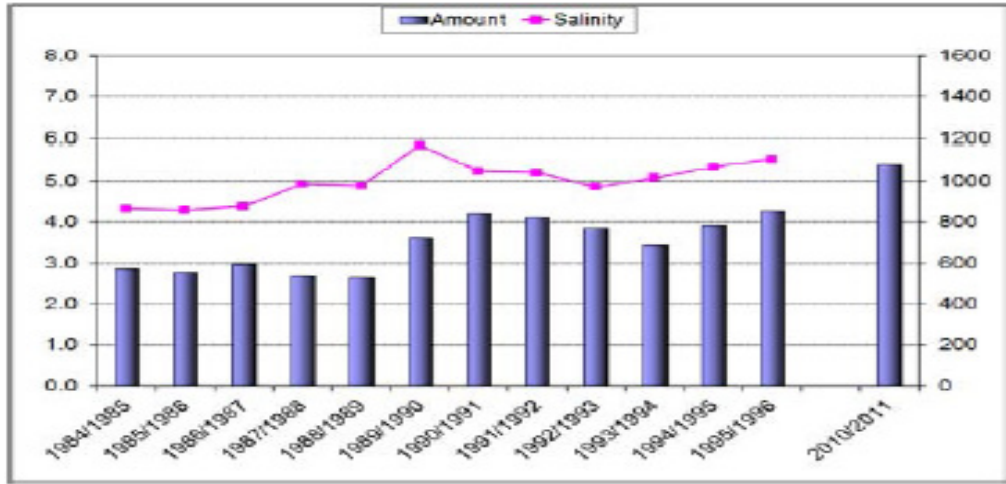
من الشكل (1)، في عام 2010 كان استخدام المياه 75.46 مليار متر مكعب (127% من الموارد المائية) مع تأثير إعادة استخدام فواقد المياه. ويتم توزيع استخدام المياه بين فئات الاستهلاك الثلاث (الزراعة والبلدية والصناعة)، و34.8 مليار متر مكعب تعود إلى النظام. الفواقد النهائية هي 8.7 مليار متر مكعب، بما في ذلك 2.8 مليار متر مكعب التي تبخرت و15.9 مليار متر مكعب من مياه الصرف التي يتم التخلص منها في البحر، والبقية يُعاد استخدامها.



الشكل 1 : الموازنة المائية في مصر في عام 2010 استناداً إلى استراتيجية المياه المصرية لعام 2017.

إن لإعادة الاستخدام تأثيراً إيجابياً على كفاءة الري العامة. استناداً إلى الشكل السابق، وبالنظر إلى أن إجمالي استهلاك المياه الزراعية هو 35.6 مليار متر مكعب، فإن إعادة الاستخدام زادت الكفاءة الكلية من 57 % إلى 74 %. وقدّرت مراجع أخرى أن كفاءة الري الكلية زادت من أقل من 50 % إلى 82 % مع تأثير إعادة استخدام (R. J. Oosterbaan 1999).

لقد زاد الاعتماد على فقدان المياه تدريجياً خلال العقود الأخيرة كما ذكر من قبل. يعرض الشكل (2) الزيادة التدريجية في الاعتماد على إعادة استخدام الصرف في العقود الأخيرة (Alam 2001). وقد ذكر Alam (2001) أن الاستخدام غير الرسمي لمياه الصرف من قبل المزارعين يبلغ نحو 3.0 مليار متر مكعب في السنة، ويتزايد بسرعة مع ازدياد أزمات المياه.



الشكل 2: الاعتماد على إعادة استخدام مياه الصرف في مصر خلال العقود الأخيرة.

2.2. الآثار الجانبية لإعادة الاستخدام

على الرغم من أن إعادة الاستخدام لها تأثير إيجابي على زيادة كفاءة الري، فإنه يتعين معالجة العديد من الآثار الجانبية. يعتبر تراكم الملح إحدى المشاكل، وتوازن الملح هو موضوع حاسم للدراسة في مصر. تزداد ملوحة مياه الصرف كما يتضح من الشكل (2)، ولكن القيم لم تكن حاسمة بعد. المسألة المهمة هي زيادة التلوث البيولوجي في المجاري المائية المختلفة. ومع التغير السريع في مستويات المعيشة، ازدادت مياه الصرف الصحي تدريجياً، إما من محطات المعالجة، حيث تجاوز التدفق قدرة هذه المحطات، أو في المناطق الريفية حيث يتم تصريف مياه المجاري مباشرة في المجاري المائية.

1.2.2. مصادر التلوث (مصادر التلوث النقطية مقابل اللانقطية)

عادةً، مياه الصرف الصحي لديها مختلف النفايات الزراعية والبلدية والصناعية. ومع عدم معالجة جزء كبير من النفايات البلدية والصناعية، يزداد التلوث تدريجياً في مياه الصرف هذه.



الشكل 3 : إغراق المياه العادمة في المجاري المائية في المناطق الريفية المصرية.

يحدث تلوث المياه العذبة عندما يتم خلط مياه الصرف مع المياه العذبة في القنوات، وفي حالات قليلة يتم إلقاء مياه المجاري مباشرة في المياه العذبة على الرغم من أن هذا محظور.

2.2.2. تلوث المياه العذبة عن طريق الخلط مع مياه الصرف الصحي

تختلط مياه الصرف مع المياه العذبة في مصر بطريقتين. تقوم بعض المصارف بتفريغ مياهها إلى نهر النيل وفروعه. وبالإضافة إلى ذلك، يتم تصريف مياه الصرف إلى القنوات الرئيسية أو الثانوية من خلال نقاط تصريف مختلفة.

يتلقى مسار النيل نحو 78 مصرفاً زراعياً رئيساً يقوم بتصريف مياه الصرف الصحي البلدية والزراعية والصناعية (الشربيني 1998) (El-Sherbini 1998). عادةً، هذه المصارف لديها مياه صرف زراعية.

خلال العقود الأخيرة، تم إنشاء العديد من محطات المعالجة، وهي تقوم بإلقاء النفايات السائلة في هذه المصارف. كانت المعالجة أولية ومع زيادة التفريغ خارج قدرات هذه المحطات، فإن بعض المجاري تمر دون معالجة. أدى ذلك إلى تدهور خطير في نوعية المياه في هذه المصارف. تشكل الحالة في فرع Rosetta مثلاً جيداً على مخاطر التلوث.

يتلقى الفرع نحو 3.0 مليار متر مكعب يومياً من مياه الصرف الصحي المملئة بالنفايات البلدية والصناعية المعالجة أو غير المعالجة في خمسة مصارف رئيسة (مصارف: الرحاوي، صabal، التحرير، زاوية البحر، وتالا) (El-Rahawy, Sabal, El-Tahreer, Zaweit El-Bahr and Tala drains) وبعض المصانع التي تفرغ نفاياتها في الفرع (عزت وآخرون 2012) (Ezzat et al. 2012). تتلقى هذه المصارف المياه المحلية من خمس وخمسين بلدة وقرية موزعة على طول الفرع.

عرض عزت وآخرون (2012) تأثير مياه الصرف الصحي هذه على نوعية المياه في الفرع. على سبيل المثال، تم تقييم تأثير مصارف الرحاوي El-Rahawy من خلال قياس نوعية المياه في Rosetta قبل التقاطع وبعده مع المصرف. فقد بلغت الأمونيا (NH_3) في مخرج مصرف الرحاوي El-Rahawy 22.3 ملغم/لتر. في فرع Rosetta، كان التركيز 3.6 ملغم/لتر قبل التقاطع مع المصارف وازداد إلى 8.35 ملغم/لتر بعد التقاطع. وبالنسبة إلى الطلب البيولوجي للأوكسجين، كان التركيز عند مخرج أحد هذه المصارف 120.0 ملغم / لتر، وأدى إلى زيادة قيم الطلب على الأوكسجين البيولوجي في الفرع من 5.0 ملغم/لتر قبل المصرف إلى 52.5 ملغم/لتر بعد المصرف. مشاكل جودة المياه في فرع Rosetta لها العديد من الآثار الخطيرة، وخاصة خلال فصل الشتاء مع انخفاض في المياه العذبة في الفرع، واحدة من هذه الآثار هي موت الأسماك في الفرع. حدث ذلك عدة مرات وكان آخرها في كانون الثاني 2016. في 21 كانون الثاني 2016، ذكر المتحدث الرسمي لوزارة الصحة والسكان أن موت الأسماك يرجع إلى زيادة الأمونيا في الماء، الذي أدى إلى نقص الأوكسجين المنحل، وبالتالي إلى اختناق الأسماك. وقال إن هذا يرجع إلى المياه غير المعالجة في مصرف الرحاوي El-Rahawy، وهي مليئة بالملوثات الكيميائية والبيولوجية (صحيفة يوم 7، 21 كانون الثاني 2016).

يعرض الشكل (4) فرع Rosetta عند نقطة مصرف صabal Sabal، وهي مليئة بمياه الصرف الصحي، وتُغرق مياهها في الفرع. وتعرض صورتان على اليمين الأسماك النافقة في نهاية الفرع في كانون الثاني 2016 .



الشكل 4 : فرع Rosetta عند نقطة التقاطع مع مصرف صabal Sabal وأسمك نافقة في نهاية الفرع.

3.2.2. الاعتماد المباشر على مياه الصرف الصحي

كان لتعليق بعض محطات الرفع التي ترفع مياه الصرف إلى القنوات الرئيسة تأثير إيجابي على نوعية هذه القنوات. مع ذلك، وبما أن إعادة الاستخدام هي جزء من ميزانية المياه في مصر كما هو موضح سابقاً، أدى هذا التعليق، مع زيادة الطلب، إلى الاعتماد المباشر على مياه الصرف الصحي في نهاية ذيل شبكة الري (المناطق الشمالية). وفي العديد من المواقع، إن تلوث مياه الصرف عالٍ بشدة. على سبيل المثال، هناك اعتماد كبير على المصرف الرئيس Gharibya بغض النظر عن نوعيته السيئة.

استناداً إلى دراسة أجراها باحثون مصريون ويابانيون (Satoh et al. 2016)، كانت الأمونيا في الصرف 29.4 ملغم/ لتر، أي نحو 59 ضعف القيمة المسموح بها. وكانت قيمة الـ BOD الطلب البيولوجي للأوكسجين 31.0 ملغم/ لتر، أو 3.1 أضعاف القيمة المسموح بها. كان مجموع الكوليفورم 1.632.000 عضية/100 مل، وهو 326 أضعاف القيمة المسموح بها.

مع ذلك، هناك اعتماد كبير على هذا الصرف، إما عن طريق رفع المياه إلى بعض القنوات أو من تغذية بعض القنوات، أو مباشرة من قبل المزارعين.

ويمكن أن تؤدي الزيادة المستمرة في الطلب مع الانخفاض المتوقع في إمدادات المياه إلى مشكلة خطيرة في هذه المناطق.



الشكل 5: المياه في نهاية القناتين الفرعيتين اللتين تتلقيان التغذية من مصارف Nashart و El-Gharibya الرئيسة.

3. التحديات والحلول

1.3. خصائص شبكات الري والصرف الصحي

يعيش معظم سكان مصر في وادي ودلتا النيل، التي تشكل نحو 3.5% من مصر (نحو 35000 كم²). وينتشر في هذه المنطقة أكثر من 4600 قرية وآلاف من التجمعات الصغيرة (تسمى «عزبه» ezba). وتوجد معظم المدن المصرية في هذه المنطقة أيضاً. وتشبه المنطقة مساحة واحدة من الأراضي المزروعة التي تخدمها آلاف قنوات الري المتداخلة من مختلف المستويات. تغطي أكثر من 50.000 كم من قنوات الري والصرف الصحي هذه المنطقة في نظام كثيف جداً. ولم يتم تزويد معظم المناطق الريفية بخدمات الصرف الصحي، بالتالي يتم جمع مياه الصرف الصحي في هذه المنطقة الريفية وإغراقها في شبكات الصرف والري. ويبدو أن المزارعين ليس لديهم أي حلول ممكنة أخرى ما لم يتم تطوير تدخلات أخرى ونشرها فيما بينهم.

2.3. التحدي الاقتصادي

لقد كان التصدي للتلوث من بين الأهداف الرئيسة للحكومة المصرية خلال العقود الأخيرة. واستناداً إلى مذكرة المعلومات، مشروع محطة معالجة مياه الصرف الصحي في 6 تشرين الأول (2009)، ارتفع الاستثمار في معالجة مياه المجاري في مصر من 0.8 مليار جنيه عام 1982 إلى 40.0 مليار جنيه عام 2007. وخلال نفس الفترة، ارتفع إجمالي المياه المعالجة من 1.1 مليون متر مكعب / يوم إلى 11.0 مليون متر مكعب / يوم، أو من 25 لتر / فرد / يوم إلى 150 لتر / فرد / يوم.

ومع ذلك، واستناداً إلى نفس المرجع، كان مستوى تغطية خدمات الصرف الصحي في عام (2007) 60 في المئة من المدن و4 في المئة من المناطق الريفية. وتجدر الإشارة إلى أن خدمات الصرف الصحي وصلت إلى نحو 10 سنوات بعد تزويد المناطق الريفية بمياه الشرب. ويرتبط توفير المياه الصالحة للشرب في المناطق الريفية بتغير كبير في استخدام المياه البلدية وفي مياه الصرف الصحي.

زادت المتطلبات البلدية نحو ثلاث مرات، من 3.1 مليار متر مكعب في عام 1990 إلى 6.57 مليار متر مكعب في

عام 2005 وإلى 8.76 مليار متر مكعب في عام 2010، ويقدر أنها تصل إلى 11.4 مليار متر مكعب في عام 2017. في عام 2010، ومن مقدار 8.76 مليار متر مكعب، 7.0 مليار متر مكعب تعود إلى النظام، و 3.6 مليار متر مكعب منها غير معالجة. وبصرف النظر عن الجهود الكبيرة المبذولة لتوفير الخدمات الصحية في المناطق، فإنَّ التقدم أبطأ من الزيادة في عدد السكان. أعلن عبد الوهاب وعمر (2013) Abdel Wahaab and Omar (2013): «على الرغم من الجهود الحكومية المستمرة لتوسيع نطاق خدمات المياه لجميع سكان الحضر والريف، فإن الخدمة لا تلحق بالنمو السكاني السريع، وبالتالي فإن تغطية الخدمات تزداد سوءاً.

وفيما يتعلق بالتكلفة المطلوبة، ذكر المسؤولون أن تكلفة توفير خدمات الصرف الصحي لجميع القرى تبلغ تقريباً 100 مليار جنيه مصري. قال عبد الوهاب وعمر (2013) إن متوسط تكلفة معالجة المتر المكعب من الصرف الصحي في مصر يبلغ نحو 5000 جنيه. تكاليف التشغيل والصيانة هي 15% من تكلفة الاستثمار. وذكر رياض Riad (2004) أن المعالجة الجزئية لمياه المجاري تكلف الحكومة نحو 600 مليون جنيه مصري. وقد لا تكون هذه الاستثمارات الكبيرة مجدية بالنظر إلى الوضع الاقتصادي الحالي في مصر. ولذلك، ينبغي التحقيق في تقنيات رخيصة وبسيطة.

3.3. حلول لمعالجة مشاكل جودة المياه في مصر

الطريقة المباشرة التي تعتمد على جمع مياه الصرف الصحي وإنشاء محطات معالجة جديدة هي الطريقة الرسمية الحالية لمواجهة مشكلة التلوث في مصر. وتمَّ اختبار تقنيات أخرى باعتبارها أنشطة بحثية أو مشاريع رائدة على نطاق صغير. ترد بعض هذه الأفكار هنا.

كان أحد هذه البدائل هو استخدام المياه الملوثة في بناء الغابات الاصطناعية. تمَّ تنفيذ مشروع تجريبي لزراعة 13 منطقة (2700 هكتار) في مختلف المحافظات المصرية (رياض 2004).

هناك مشكلتان ترتبطان بهذا النهج. التحدي الأول هو خصائص شبكات الري والصرف الصحي في مصر كما عُرضت من قبل. إن الشبكات الكثيفة والمتداخلة المحاطة بالمناطق المزروعة تجعل هذه التقنية مناسبة لمصارف محددة على حدود دلتا النيل. والتحدي الثاني هو خطر التغير في تغذية المحاصيل. ويمكن أن تؤدي مستويات زراعية منخفضة مع اختلاف كبير في العائد من زراعة محاصيل مختلفة إلى مثل هذا التغير. تمَّ العثور على مثال واضح على استخدام المياه الملوثة في زراعة المحاصيل الطبيعية في قناة El-Saf.

تتلقى القناة مياه الصرف المعالجة الشنائية من بعض محطات المعالجة بالإضافة إلى مياه الصرف الصناعي. وكان من المخطط استخدام القناة لزراعة أشجار الغابات أو بعض المحاصيل المناسبة لنوعية المياه في القناة. وفي الوقت الراهن، بدلاً من زراعة أشجار الغابات، تمَّت زراعة أكثر من عشرين ألف فدان بالمحاصيل والخضروات التقليدية وتستخدم طريقة الري السطحي. ومن المحتمل أن يؤدي ذلك إلى مشاكل صحية رهيبة.

أما البديل الثاني فهو إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي من مجامع ومصارف المزارع قبل مزجها بالماء الملوث في المصارف الرئيسية. وقد ناقشت وزارة الموارد المائية والري هذه الفكرة، ولكن التنفيذ الفعلي لم يتمَّ بعد.

استخدام نسبة مياه الصرف الزراعي قبل الإغراق في المصارف الرئيسية يعني أن التلوث في الصرف الرئيس سوف يزيد واستخدامه سوف يصبح ضاراً. وكانت التقنية الثالثة هي الأراضي الرطبة التي طبقت بنجاح في العديد من المناطق في مصر. هذه التقنية واعدة جداً وستتم مناقشتها بمزيد من التفصيل.

4.3. استخدام الأراضي الرطبة المبنية كحل

استناداً إلى التوركمانى El-Torkemany (2009)، يعود تاريخ استخدام الأراضي الرطبة الاصطناعية/الهندسية (أحواض المعالجة بالنباتات) إلى عام 1905 في أستراليا، وكان محدوداً حتى عام 1950، عندما بدأ الأوروبيون استخدامه في ألمانيا. بدأ الأمريكيون استخدامه في عام 1970. الآن هناك الآلاف من الأراضي الرطبة المنتشرة في جميع أنحاء العالم. في هذه الأراضي الرطبة، النباتات، من خلال جذورها وسوقها وأوراقها، التي تعد المكان المثالي لنمو الكائنات الدقيقة تقوم بهضم المواد العضوية الموجودة ضمن مياه المجاري. هذه التقنية مناسبة للقرى الصغيرة والمتوسطة.

عرف التوركمانى El-Torkemany مزايا هذه التقنية بانخفاض تكاليف البناء والتشغيل مع نسب إزالة فعالة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام النباتات المستخدمة في الأراضي الرطبة بعد الحصاد لتغذية الماشية والدواجن. العيب الرئيس هو الكمية الكبيرة من المساحة المطلوبة لهذه التقنية مقارنة مع محطات المعالجة التقليدية. في مصر، تم استخدام التقنية بطريقتين: النوع الأول تم تطبيقه في أبعد نهاية شبكة الصرف. وقد شيدت الأراضي الرطبة في بحيرة المنزلة Lake El-Manzala على الشاطئ الشمالي لمصر، والتي تستقبل مياهاً شديدة التلوث من بعض المصارف الرئيسية. أما النوع الآخر (الأراضي الرطبة داخل الأنهار) فقد تم تطبيقه في بداية شبكة الصرف واستخدم في مصارف صغيرة. في كلا النوعين كانت النتائج واعدة جداً.

أما بالنسبة للأراضي الرطبة في البحيرات الشمالية، فقد تم تنفيذ المشروع من قبل وزارة الشؤون البيئية في مصر بمساهمة من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP، وتم تسليمه كمرفق تشغيل كامل لوزارة الموارد المائية والري. وقد استخدمت المياه المعالجة في الري والزراعة، وتم تحويل جزء منها إلى أحواض مصممة للمزارع السمكية. وبلغ إجمالي التدفق إلى الأراضي الرطبة 25000 م³ / يوم. ولا يكلف النظام سوى 10 في المئة من نظم معالجة المياه العادمة التقليدية والكيميائية المكثفة، وكان مستوى المعالجة مرتفعاً إلى حد كبير. وقد تجاوزت كفاءة الإزالة 60 % من الطلب على الأكسجين البيولوجي (BOD)، و80 % من إجمالي المواد الصلبة المعلقة (TSS)، و50 % من إجمالي النيتروجين (TN)، و99 % من العصيات البرازية والكوليفورم الكلي (Higgins et al 2001) Faecal Coliform and Total Coliform.

5.3. الأراضي الرطبة في الأنهار (الجدول النهرية الصغيرة)

يناقش النوع الثاني (الأراضي الرطبة في الأنهار) بمزيد من التفصيل. يتم تطبيق هذه التقنية عادة في المصارف الصغيرة في بداية شبكة الصرف الصحي. وبالإضافة إلى الفوائد العامة للأراضي الرطبة، تتمتع الأراضي الرطبة في الأنهار باثنتين من المزايا الرئيسة :

- لا تتطلب التقنية مناطق إضافية. وهذا عيب عام للأراضي الرطبة، خاصة في مصر حيث أن جميع الأراضي المحيطة بشبكة الصرف هي أراض ذات قيمة عالية.
- العمل مع أحجام صغيرة يعطي فرصة لإشراك المنظمات غير الحكومية في عمليات التشغيل والصيانة، وفي بناء هذه الأراضي الرطبة. ومع نشر وتعميم جيد لوجود برامج بناء قدرات، يمكن للقرى المعزولة، من خلال أي منظمة غير حكومية في هذه القرى، أن تتولى زمام المبادرة وأن تعمل بالتوازي في مواقع مختلفة، مما يمكن أن يحرز تقدماً كبيراً في تحسين نوعية المياه.

أُجريت العديد من تجارب الأراضي الرطبة في جداول الأنهار الصغيرة، يتمّ عرض بعضها هنا:

قام عبد الباري وآخرون (2003) Abbel Bary et al. باختبار تأثير نظام المعالجة المائية الطبيعية (زهرة ياقوتة الماء) في تحسين مياه الصرف الزراعي. وقد قاموا بالتحقيق في هذه التقنية في مصرف صابال Sabal، التي تعدّ واحدة من مصادر التلوث الرئيسة في فرع Rosetta. زهرة ياقوتة المياه الطبيعية يمكن أن تقلل من طلب الأوكسجين البيولوجي BOD بنسبة 37 %، ومجموع المواد الصلبة المعلقة TSS بنسبة 80 %. وكانت نسب كفاءة المعالجة بالنسبة للأمونيا (NH₃) 14% والنترات (NO₃) 2 %.

تحقق أبو-إلياً وآخرون (2014) Abou-Elela et al. من تأثير الأراضي الرطبة المزروعة وغير المزروعة في إزالة الملوثات المختلفة. ووفقاً للمؤلفين، أثبتت الأراضي الرطبة المزروعة أنها تكنولوجيا فعالة لإزالة كل من الملوثات الفيزيوكيميائية والبيولوجية. وبلغت معدلات التخلص من الطلب على الأوكسجين الكيميائي COD، والطلب البيولوجي للأوكسجين BOD، ومجموع المواد الصلبة المعلقة TSS 88 % و 91% و 92 % على التوالي. وقد تحققت نسبة عالية من إزالة البارامترات الميكروبيولوجية في الوحدة المزروعة مقارنة مع غير المزروعة، مما يدل على الدور الإيجابي للنباتات في إزالة البكتيريا من مياه الصرف الصحي. أثبتت الوحدة غير المزروعة أنها فعالة في إزالة الطلب على الأوكسجين الكيميائي COD، والطلب البيولوجي للأوكسجين BOD، ومجموع المواد الصلبة المعلقة TSS، لكنها تفتقر إلى الكفاءة في إزالة مسببات الأمراض والمواد المغذية.

قام رشيد وعبد الرشيد Rashed and Adbel Rasheed (2008) بالتحقيق في الأراضي الرطبة ضمن مجريين (مصرفين) صغيرين هما: مصرف فراح الباهو Faraa Al-Bahow في شرق الدلتا، ومصرف إدفينا Edfina في غرب الدلتا. يتمّ عرض التجربة الأولى بالتفصيل كمثال على تحقيق كفاءة المعالجة العالية باستخدام الأراضي الرطبة في جدول النهر.

استناداً إلى رشيد وعبد الرشيد Rashed and Adbel Rasheed (2008)، فإن مصرف فراح الباهو Faraa Al-Bahow هو مصرف صغير يبلغ طوله 1710 م ومساحة خدمية تبلغ 533 هكتاراً. يوجد داخل المنطقة التي يخدمها مجتمع ريفي صغير يبلغ 3000 شخص يزود بمياه صالحة للشرب، مع شبكة أنابيب صغيرة تجمع مياه الصرف الصحي الخام وتطرحها في مدخل مصرف فراح الباهو Faraa Al-Bahow دون معالجة. يفرغ مصرف فراح الباهو Faraa Al-Bahow مياهه إلى مصرف أعلى (الباهو) (Al-Bahow) الذي يخدم 2100 هكتار. تعاني المنطقة من نقص المياه خلال فصل الصيف، مما يجبر المزارعين على الاعتماد على مياه الصرف. ولذلك، فإن

- انخفاض جودة مياه الصرف الصحي في الباهو Al-Bahow له تأثير خطير على المزارعين. الأراضي الرطبة في جدول النهر في مصب فراح الباهو Faraa Al-Bahow هي:
- بركة الترسيب (100*2*1 م).
 - سياج خشبي مسور وحواجز قضبانة فولاذية تسيطر على مجموعة من المواد العائمة (150*3*0.5 م)؛
 - النباتات المائية النامية (150*3*0.5 م) الممتدة.
 - قضبان تحكم في مخرج الصرف؛ وتتمثل وظيفتها في التحكم في عمق مياه الصرف الصحي ومعالجة وقت الاحتجاز وفقاً لحمولات الملوثات.

يتكون النظام كما قدمه المؤلف من خمسة عناصر، هي الترسيب، الترشيح، التحلل البيولوجي، امتصاص النباتات للمغذيات، استئصال وإبادة المُمْرِضات. اختراق ضوء الشمس يعزز محتوى الأوكسجين وتطهير المياه. ويتكون نظام الغطاء النباتي من نباتات القصب الشائعة (*Phragmites Australis*) وزهرة ياقوتة المياه العائمة.

أظهرت النتائج التي قدمها رشيد وعبد الرشيد (2008) تأثير أجزاء مختلفة من الأراضي الرطبة في جدول النهر في إزالة عناصر التلوث المختلفة. تمّت إزالة المواد الصلبة المعلقة TSS بشكل رئيس داخل بركة الترسيب حيث انخفضت من 915 إلى 114 ملغم / لتر. وصلت TSS إلى 20 ملغ / لتر في مخرج الصرف. وقد انخفض الطلب على الأوكسجين البيولوجي من 550 إلى 32 ملغم / لتر قبل خلايا الأراضي الرطبة، ووصل إلى 7 ملغم / لتر في مخرج الصرف. تمّ علاج مسببات الأمراض العصيات البرازية والكوليفورم الكلي (TC and FC) تماماً على طول مسار المصرف. تمّ تخفيض الكوليفورم الكلي من 4E+07 TCU/100 ml في المدخل إلى 2E+06 TCU/100 ml بعد 800 م، وبعد ذلك 7E+04 TCU/100 ml من خلال الخلايا في جدول النهر وصلت أخيراً إلى 5E+03 عند مخرج التصريف. العصيات البرازية القولونية لها نتائج مماثلة للمجموع الكلي لعصيات الكوليفورم. وكانت كفاءة المعالجة لمجموع المواد الصلبة المعلقة TSS، الطلب البيولوجي للأوكسجين، الكوليفورم الكلي والعصيات البرازية 97.8 %، 98.7 %، 99.9 %، و99.9 % على الترتيب، وهي نتائج واعدة جداً.

4. الاستنتاجات والدراسات المستقبلية

التلوث مشكلة خطيرة في مصر. ومع محدودية الموارد المائية، أصبحت إعادة استخدام الفواقد من المياه الحلّ الممكن لتلبية الطلب على المياه. وتحتوي هذه الفواقد على نفايات زراعية وبلدية وصناعية مختلفة. مستوى المعالجة منخفض نسبياً، وبالتالي فإن هذه الفواقد شديدة التلوث. ويتمثل الشاغل والاهتمام الرئيس في توفير في استخدام هذه الفواقد المتاحة. يتطلب جمع جميع النفايات البلدية والصناعية ومعالجتها مستويات عالية من الاستثمار، وهي غير متوفرة بالنظر إلى الوضع الاقتصادي الحالي في مصر.

من المهم إيجاد حلّ ممكن تقنياً واقتصادياً. تعدّ الأراضي الرطبة طريقة جيدة لمواجهة هذه المشكلة. تمّ تطبيق هذه التقنية على مقياسين مختلفين في مصر. لقد تمّ تطبيق المقياس الأكبر في البحيرات الشمالية، وتمّ تطبيق المقياس الأصغر في بعض المصارف الثانوية (الأراضي الرطبة داخل الجداول النهرية). تعتبر الأراضي الرطبة ضمن الأنهار طريقة واعدة لمواجهة مشاكل نوعية المياه في مصر. أفضت المشاريع التجريبية التي أُجريت على كفاءة

إزالة جيدة للعناصر المختلفة للتلوث. وبالإضافة إلى ذلك، في الأراضي الرطبة في جداول الأنهار لديها بعض الخصائص التي تجعلها أكثر ملاءمة لمصر. هذه التقنية لا تتطلب مساحات سطحية إضافية وتوظف تقنية بسيطة. ويمكن للقرى المعزولة، بمساعدة أي منظمات غير حكومية في هذه القرى، أن تتولى زمام المبادرة وأن تعمل بالتوازي في مواقع مختلفة، مع برنامج مناسب للنشر والقدرات. قد يؤدي ذلك إلى إحراز تقدم كبير في تحسين نوعية المياه.

ومن ثم فإن المسألة الرئيسية هي التحقيق في القدرة على إدماج المنظمات غير الحكومية في إنشاء هذه المواقع وتشغيلها. وينبغي أن يبنى ذلك على فهم عميق لحالاتهم وكيفية بناء قدراتهم. ينبغي أن تكون جمعيات مستخدمي المياه في طليعة هذه المنظمات وأن يكون تشغيل هذه المواقع من بين أدوارها في الحفاظ على مختلف خصائص الري والصرف. وينبغي للدراسات أيضاً أن تحقق في كيفية تعزيز قدرات هذه المنظمات على تحقيق نظام فعال ومُستدام.

المراجع:

References

- Abdel Bary, M. Rafeek, Abdelkawi Khalifa, M. Nour Eldin, Ashraf M. Refaat, Maha M. Ali, and Zeinab M. El-barbary. 2003. "Wetland as Pollution Control Treatment System for Agricultural Drains." Paper presented at the seventh International Water Technology Conference, Egypt, April 1–3.
- Abdel Wahaab, Rifaat and Mohy El-Din Omar. 2013. *Wastewater Reuse in Egypt: Opportunities and Challenges*.
- Abou-Elela, Sohair. I., G. Golinelli, Abdou Saad El-Tabl, and Mohammed S. Hellal. 2014. "Treatment of municipal wastewater using horizontal flow constructed wetlands in Egypt." *Water Science & Technology* 69(1):38–47.
- Alam, M. N. 2001. *Water and agricultural lands in Egypt*. Cairo, Egypt.
- El-Sherbini, A. M. 1998. "Quality of agricultural wastewater disposed into Rosetta Branch." Proceeding of Arab Water 98, Cairo International Conference Center, Cairo, Egypt, April 26–28.
- El-Torkemany, A. M. 2009. Constructed Wetlands: Plan, Design and Construction Guide. <http://www.4enveng.com/userfiles/file/CWs%20Plants%20Guid.pdf>.
- Ezzat, Safaa M., Hesham M. Mahdy, H. M., Mervat A. Abo-State, Essam H. Abdel Shakour, and Mostafa A. El-Bahnasawy. 2012. "Water Quality Assessment of River Nile at Rosetta Branch: Impact of Drains Discharge." *Middle East Journal of Scientific Research* 12(4):413–423.
- Higgins, John. M., D. El-Qousey, A. G. Abul-Azm, and M. Abdelghaffar. 2001. "Lake Manzala

Engineered Wetland, Egypt.” Wetlands Engineering & River Restoration Conference, August 27–31, Reno NV. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/40581\(2001\)49](http://dx.doi.org/10.1061/40581(2001)49).

Ministry of Housing, Utilities and Urban Development/PPP Central Unit. 2009. 6th of October Wastewater Treatment Plant Project, Information Memorandum. <http://www.pppcentralunit.mof.gov.eg/SiteCollectionDocuments/PPPCUSite/Info%20memo.pdf>.

Ministry of Water Resources and Irrigation. 2013. Redeveloping the National Plan of Water Resources – Water Strategy until 2017 (in Arabic), August. Cairo, Egypt: Ministry of Water Resources and Irrigation.

Oosterbaan, R. J. 1999. “Impacts of the Irrigation Improvement Project on Drainage Requirements and Water Savings.” Report to the Egyptian-Dutch Advisory Panel on Land Drainage and Drainage Related Water Management of a short-term consultancy mission.

Rashed, Ahmed and Adel Abdel Rasheed. 2008. “Polluted Drainage Water Natural On-Stream Remediation.” Paper presented at the 26th Annual Water Treatment Technologies Conference, Alexandria, Egypt. Volume: 26.

Riad, Mamdouh. 2004. Innovative Approach to Municipal Wastewater Management: The Egyptian Experience. Egypt: Ministry of State for Environmental Affairs. <http://www.unep.org/GC/GCSS-VIII/Egypt-sanitation.pdf>.

Satoh, M., El-Gamal, T., Taniguchi, T., and Xin, Y. 2016. “Water Management in Nile Delta.” In *Irrigated Agricultural in Egypt, Past, Present and Future*, edited by M. Satoh and S Aboulroos.. Springer (forthcoming).

Youm7. 2016. <http://www.youm7.com/story/2016/1/21/2549336/>.

الحالة 4 : استخدام الخزانات لتحسين نوعية مياه الري في ليما Lima، بيرو (Peru)

Julio Moscoso Cavallini¹

الملخص:

بسبب تصريف المياه العادمة المنزلية غير المعالجة في الأنهار والندرة المتزايدة للمياه، فإن استخدام المياه الملوثة أمر واقع ينبغي للمزارعين الحضريين وشبه الحضريين في المناطق القريبة من المدن الكبرى أن يأخذوه في الاعتبار. وتغلق هذه الحلقة المفرغة عن طريق تزويد هذه المدن بأغذية ملوثة تتسبب في مشاكل صحية خطيرة لأشد السكان فقراً، وبالتالي الأكثر عرضة وضعفاً. ومن شأن الجهود الرامية إلى تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية المتمثلة في تخفيض عدد الأشخاص الذين لا تتوفر لهم إمدادات المياه الآمنة والمرافق الصحية الملائمة بنسبة 50 في المئة بحلول عام 2015 أن تزيد المشكلة الموصوفة أعلاه إذا لم تترافق معالجة المياه العادمة مع هذه الجهود كلها. وفي الوقت نفسه، هناك حاجة إلى البحث عن بدائل فورية تقلل من تلوث المياه المستخدمة لري المنتجات الزراعية مثل الخضراوات.

وفي ظل هذه الخلفية، قام برنامج الحصاد الحضري التابع لمركز Potato الدولي International Potato Centre (CIP) بتقييم نوعية المياه في حوض نهر ريماك Rimac لتحديد التأثيرات على مياه الري والتربة والخضار وتقييم نظام معالجة قائم على الخزانات لتحسين نوعية المياه والخضروات المنتجة في المنطقة. وأكدت الدراسات التي أجريت بين عامي 2005 و2007 أن مياه الري في هذه المنطقة الزراعية المهمة ملوثة بشدة بالطفيليات والكوليفورم البرازية. تركيز الكوليفورم البرازي هو أكثر من 5000 مرة أعلى من الحدود المسموح بها للمياه المستخدمة لري الخضروات. ونتيجة لذلك، فإن أكثر من 30 في المئة من هذه الخضروات غير صالحة للاستهلاك.



الشكل 1: الخزان الأول الذي بني في شرق ليما Lima.

إن تنفيذ نظم معالجة المياه القائمة على استخدام الخزانات جعل من الممكن النهوض بالزراعة المروية بمياه ذات نوعية جيدة، واستدامة إنتاج الخضراوات الصحية التي لا تضر بصحة المستهلكين. وقد مكّن تخزين مياه النهر لأكثر من 10 أيام من الإزالة الكاملة للطفيليات البشرية وتخفيض الكوليفورم البرازي وصولاً إلى المستويات التي حددها القانون المتعلق بري الخضراوات. كما تمكّن الخزانات من زيادة الإنتاجية والربحية لزراعة الخضراوات، وتعويض استخدام الأراضي والاستثمار الذي تمّ القيام به لتركيبها وإنشائها. حققت الأرباح الإضافية من إنتاج الأسماك أرباحاً أفضل وبررت على نحو أفضل الجهود الاستثمارية التي يبذلها المزارعون لبناء خزانات جديدة.

وقد أكد تقييم أُجري في عام 2013 من قبل منظمة الصحة الأمريكية Pan American Health Organization (PAHO) والمديرية العامة لصحة البيئة General Directorate of Environmental Health (DIGESA) أنه بعد ست سنوات، لا تزال نوعية المياه في الخزانات جيدة لزراعة الخضراوات، وأن المزارعين يواصلون إنتاج الأسماك لإطعام أسرهم. وعلاوةً على ذلك، هذه المنتجات الزراعية تباع بأفضل الأسعار.

الكلمات المفتاحية: التلوث، مياه الري، الخضار، تحسين الجودة، الخزانات.

¹ Julio Moscoso Cavallini  ; National Agrarian University-La Molina (UNALM), Lima, Peru; e-mail: jmoscosoc@yahoo.es

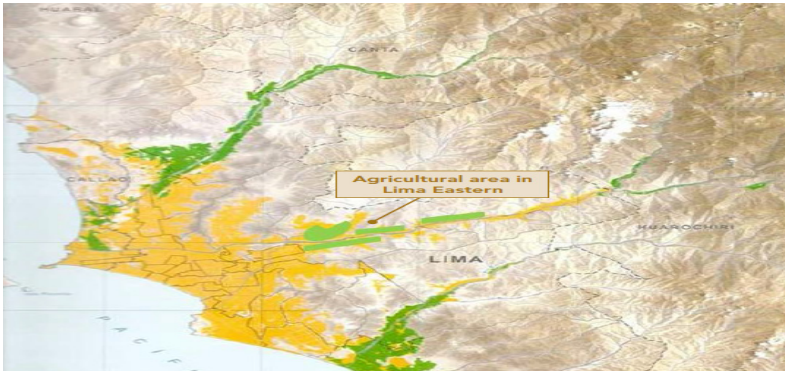
In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). *Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016*
Translated from Spanish to English

1. الخلفية العلمية

تؤدي الزيادة السريعة في عدد السكان في ليما Lima، التي يبلغ عدد سكانها حالياً 9.8 مليون نسمة، (المعهد الوطني للإحصاء وتكنولوجيا المعلومات، INEI، 2015) إلى النمو غير المخطط له في التجمعات السكانية غير الرسمية التي لا تملك خدمات حضرية مثل إدارة النفايات، مياه الشرب، وشبكات الصرف الصحي. تولد هذه الحالة تصريف كميات كبيرة من النفايات السائلة التي لها تأثير سلبي على المسطحات المائية المستخدمة في الزراعة وغيرها من الأغراض وتؤثر على صحة سكان الحضر. يتعرض المنتجون الزراعيون والمستهلكون للأغذية المنتجة محلياً بشكل مؤكد لخطر الإصابة بأمراض معينة تنقلها المياه. إن ندرة المياه وانعدام المعالجة الكافية للمياه العادمة المنزلية تعني أن استخدام المياه الملوثة هو ممارسة شائعة في المناطق الحضرية وشبه الحضرية. مثل ليما، فإن مدن أخرى في العالم تقع بجوار الأنهار لها نفس المشاكل البيئية المتمثلة في الحمولات المفرطة من المغذيات والتلوث بوساطة مسببات الأمراض والمواد الكيميائية السامة التي تؤثر على النظام الأيكولوجي والصحة العامة.

تنتج الزراعة في الجزء الشرقي من ليما Lima أكثر من 15 في المئة من الخضروات التي تستهلكها المدينة. وتستخدم المياه من نهر ريماك Rimac لري هذه المحاصيل، ولكنها ملوثة بمياه الصرف المنزلي غير المعالجة من التجمعات السكانية، وتصريفها في الجزء السفلي من الحوض قبل استخدامها للري. وتقع التجمعات السكانية العشوائية من هذا النوع أيضاً حول المنطقة الزراعية، مما يؤدي إلى تفاقم تلوث هذه المياه.

في عام 2004، وفي ظل هذه الخلفية، شكل برنامج الحصاد الحضري الذي أجراه مركز Potato الدولي International Potato Centre (CIP) تحالفاً مع منظمة الصحة الأمريكية Pan American Health Organization (PAHO)، ومجلس مستخدمي نهر ريماك River Rimac Users' Council، وبلدية لوريغانشو-تشوسيك Lurigancho-Chosica، والمزارعين من المنطقة. كان لهذا التحالف الدعم المالي من جمعية مدريد - سيسال Community of Madrid-CESAL من أجل: (أ) تقييم نوعية المياه في حوض ريماك Rimac النهري وتحديد الآثار على مياه الري والتربة والخضروات المنتجة في المخروط الشرقي لـ ليما East Cone of Lima، و (ب) تقييم نظام معالجة مبتكر يستند إلى خزانات بسيطة لتحسين نوعية المياه المستخدمة في إنتاج الخضروات، باستخدام هذه البيانات لتربية الأسماك كخيار اقتصادي للمزارعين (موسكوسو وآخرون، 2008) (Moscoso et al. 2008).



الشكل 2: موقع المنطقة الزراعية في شرق ليما Lima.

بعد الانتهاء من المشروع في عام 2007 لم يكن هناك رصد آخر للأعوام الستة المقبلة. في عام 2013 فقط تم إجراء تقييم جديد للمياه، التربة، الخضراوات والأسماك في هذه المنطقة الزراعية، مستفيداً من إجراء اختبار لدليل تخطيط سلامة الصرف الصحي (Sanitation Safety Planning Manual (SSP) الذي أجرته منظمة الصحة العالمية (WHO) في عدة بلدان من العالم، والتي شملت واحدة من دراسات الحالة الزراعية هذه المنطقة الزراعية في شرق ليما Lima. تدعم هذه البرامج SSPs تحديد نقاط التركيز الموصى بها في عملية تدريجية (خطوة - خطوة) لتسهيل تنفيذ المبادئ والدلائل التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية وتطبيقها WHO Guidelines 2006. وقد أُجريت دراسة مكثفة لهذه الحالة من قبل منظمة الصحة العامة الأمريكية (PAHO) والمديرية العامة للصحة البيئية (General Directorate of Environmental Health (DIGESA التابعة لوزارة الصحة في البيرو Ministry of Health of Peru (PAHO 2014).

2. المنهجية

أُجريت الدراسة على ثلاث مراحل. كانت المرحلة الأولى والثانية في عام 2007 وشملت الأنشطة الآتية:

- تقييم نوعية المياه في حوض نهر ريماك Rimac وتأثيراتها على مياه الري والتربة والخضراوات.
- بعد إنشاء الخزان الأول، تم إجراء تقييم للمياه والخضراوات المروية بقناة الري ومياه الخزان والأسماك التي تم تربيتها في الخزان. أما المرحلة الثالثة فقد تم تنفيذها بعد ست سنوات في عام 2013، وكانت تتألف من تقييم لنوعية المياه وبعض الخضار والأسماك المستزرعة في خزانات المنطقة الزراعية.

1.1. تقييم البيانات التاريخية حول نوعية مياه نهر ريماك Rimac

كعمل أولي، أُجري تقييم باستخدام البيانات التاريخية المتعلقة بمياه نهر ريماك Rimac، وهي معلومات تستند أساساً إلى برنامج الرصد الذي أجرته على مدى عدة سنوات متتالية دائرة المياه والصرف الصحي في ليما (General Lima Potable Water and Sewerage Service (SEDAPAL) والمديرية العامة لصحة البيئة، (DIGESA) Directorate of Environmental Health التابعة لوزارة الصحة. وكانت البارامترات المختارة هي الزرنيخ (As) والكاديوم (Cd) والكروم (Cr) والرصاص (Pb) حيث تعدّ العناصر السامة التي لها الأثر الأكبر على الصحة العامة بسبب التراكم الحيوي. استخدمت الكوليفورم البرازية مؤشراً على التلوث البرازي، وتمت تغطيتها في المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية (World Health Organization Guidelines لاستخدام المياه المستعملة في الزراعة وتربية الأحياء المائية (WHO 1989).

2.2. التقييم الأول لجودة المياه والتربة والمنتجات الزراعية

أُجريت دراسة تفصيلية عن نوعية المياه، التربة، والمنتجات الزراعية في المناطق الزراعية في كارابونجو وهواتشيبا ونييفريا Carapongo, Huachipa and Nieveria. وقد اختيرت هذه المواقع بسبب تخصيص 50 و33 و28 في المئة من المناطق المشغولة لزراعة الخضراوات. بين عامي 2004 و 2005، تم أخذ 45 عينة مياه من قنوات الري في المناطق الزراعية في كارابونجو، هواتشيبا و نييفريا Carapongo, Huachipa and Nieveria. وشملت نقاط أخذ العينات مأخذ وقنوات رئيسة وقنوات فرعية وقنوات جانبية ونقاط تلوث محتملة في نظام الري.

كانت البارامترات المختارة لتقييم نوعية الخضروات الزنيخ (As)، الكاديوم (Cd)، الكروم (Cr)، الرصاص (Pb)، الكوليفورم البرازي faecal coliforms، والطفيليات البشرية human parasites. بين عامي 2004 و2006 تم أخذ 32 عينة من المحاصيل النباتية الرئيسة: هواكاتاي نبات عشبي زهري مع نكهة عطرية قوية huacatay (Tagetes minuta L.)، الخس (Lactuca sativa L.)، الفجل (Raphanus sativus L.)، اللفت (Brassica rapa L. var. rapa)، الشمندر (Beta vulgaris L. var. Crassa)، والكرفس (Apium graveolens L.). كما تم أخذ عينات من الحشائش والأعشاب المعمرة (perennial ryegrass) (Lolium perenne L.) بما أنها نمّت على نطاق واسع جداً في هذه المجالات في السنوات الأخيرة. في وقت الحصاد، تم أخذ خمس أو ست عينات فرعية لتشكيل عينة مركبة. تم تصنيف الخضروات وفقاً لموقع الجزء الصالح للأكل، أي: الجذور (اللفت، الفجل والشمندر) أو أوراق الشجر (الخس وهواكاتاي). تم جمع العينات قبل الغسيل وبعده من الشمندر، هواكاتاي والفجل قبل أن يتم طرح هذه المنتجات للبيع. تم الحصول على عينات التربة من سطح 20 سم في المكان نفسه، حيث تم أخذ عينات الخضروات. وأُخذت خمس أو ست عينات فرعية أيضاً لتشكيل عينة مركبة.

3.2. معايير تصميم الخزانات

لقد تم بناء الخزان التجريبي في كارابونجو Carapongo للتأكد من أن تخزين مياه النهر لأكثر من 10 أيام مكن من الإزالة الكاملة للطفيليات البشرية وخفض الكوليفورم البرازي وصولاً إلى المستويات التي حددتها المعايير الخاصة بري الخضار. ومن الناحية العملية، تم اقتراح استخدام 50 في المئة من الكمية المخزونة، ممّا يؤدي إلى وقت بقاء وحجز نظري متوقع مدة أسبوعين تقريباً. وبعد الاتفاق مع المزارع على قطعة أرض بمساحة 2000 متر مربع، تم حساب الاحتياجات من المياه لمثل هذه الأرض، مع الأخذ في الاعتبار أن تردد الري watering frequency (WF) هو كل أربعة أيام في الصيف وكل سبعة أيام في فصل الشتاء.

4.2. تقييم التحسن في نوعية المياه والمحاصيل من خلال استخدام الخزانات

خلال الأشهر الأربعة الأولى من تشغيل خزان كارابونجو Carapongo (من نيسان إلى تموز 2005) أُجريت التجارب الأولى على محاصيل الفجل والخس في قطعتين متشابهتين كلّ منها 500 متر مربع، واحدة منها كانت تُروى بالماء مباشرة من قناة الري، والأخرى كانت المياه مأخوذة من الخزان. أُجريت تجربة لاحقة على محصول مشترك من الشمندر والفجل بين آب وتشيرين الثاني 2005. تم تحليل سلامة وأمن المياه من القناة ومن الخزانات المستخدمة للري شهرياً، وذلك باستخدام بارامترات الطفيليات البشرية والكوليفورم البرازية. وحددت التحليلات التي أُجريت على المنتجات المحصودة تراكيز الكوليفورم البرازي والطفيليات البشرية المكتشفة عليها.

تم تقييم التحسن في الإنتاجية الزراعية بمقارنة دخل قطع الأراضي المروية وتكاليفها بمياه القناة وتلك المروية بمياه الخزان. وقد عُزيت الفروقات في الدخل إلى فائدة الخزان، وتم تحديد القدرة على دفع الدين المتكبد من خلال بناء الخزان الذي يعبر عنه بعدد مواسم الزراعة المطلوبة لدفع ثمن الاستثمار.

5.2. تقييم الإنتاج السمكي الإضافي

تم اقتراح زراعة السمك في الخزانات للتعويض عن فقدان الأراضي الزراعية لبناء الخزان وتزويد الأسر بمصدر

إضافي من التغذية للاستهلاك أو البيع. وفي نيسان 2005، وُضع تجمع يبلغ 3000 يرقة من أسماك المياه العذبة الرمادي والأحمر في الخزان الأول بكثافة 20 يرقة / متر مربع. وفي أواخر تشرين الثاني 2005، وضع 1450 من هذه الأسماك اليافعة في الخزان الثاني. وفي كانون الثاني 2007، تمّ وضع 5000 منها في الخزان الثالث. وفي الحالتين الأخيرتين وضعت الأسماك بمقدار 3 سمكة / متر مربع.



الشكل 3: الرصد الشهري لوزن السمك

تمّت تغذية الأسماك (البطي) على شكل مرّكز. وسجلت درجة حرارة الماء يومياً وتمّ رصد وزن الأسماك كل شهر لمعرفة مقدار نموها اعتماداً على درجة الحرارة.

6.2. التقييم الثاني لجودة المياه والتربة والمنتجات الزراعية

أتاح الدعم الذي قدمته منظمة الصحة العالمية لوضع خطة السلامة الصحية وتطويرها للمناطق الزراعية في ليمّا الشرقية Lima East جعل ذلك ممكناً، بعد ست سنوات، لإجراء رصد مكثف للتحقق من نوعية المياه والتربة والعشب والخضراوات المروية بالماء من النهر ومن الخزانات، فضلاً عن تربية الأسماك فيها. وشملت خطة أخذ العينات لهذه البنود البارامترات التالية:

- البارامترات الكيميائية في الماء: المواد الصلبة المعلقة (SS)، الطلب على الأوكسجين البيوكيميائي (BOD_5)، النتروجين الكلي TN، الفوسفات P، الملوحة والمعادن الثقيلة (الزنيخ As، الكاديوم Cd، الكروم Cr، الرصاص Pb، والزئبق Hg).
- البارامترات الصحية في الماء: الكوليفورم (البرازي)، الديدان الخيطية الطفيلية البشرية والبروتوزونات protozoa.
- البارامترات الفيزيائية والكيميائية في التربة: درجة الحموضة، المواد العضوية، النيتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، الملوحة، والمعادن الثقيلة (الزنيخ As، الكاديوم Cd، الكروم Cr، الرصاص Pb، والزئبق Hg).

- البارامترات الصحية في التربة: الكوليفورم (البرازي)، والديدان الخيطية الطفيلية البشرية والبروتوزونات protozoa.
- البارامترات الكيميائية في التربة: المعادن الثقيلة (الزئبق As، الكاديوم Cd، الكروم Cr، الرصاص Pb، والزئبق Hg).
- البارامترات الصحية في الحشائش والخضراوات: الكوليفورم (البرازي)، والديدان الخيطية الطفيلية البشرية والبروتوزونات protozoa.
- البارامترات الصحية للأسمك: مستويات جودة هوائية Aerobic mesophiles، إشريشيا القولونية Escherichia coli، السالمونيلا Salmonella spp، المكورات العنقودية والطفيليات البشرية. في الفترة ما بين تشرين الأول وكانون الأول 2013، أُخذت 230 عينة من المياه والتربة والعشب في ثلاثة مجالات للتقييم في ثلاثة تواريخ أخذ العينات: 21 تشرين الأول و 11 تشرين الثاني و 9 كانون الأول 2013. وبالإضافة إلى ذلك، أُجريت عمليتان لأخذ العينات في كانون الثاني 2014 من أجل تقييم خمسة أنواع من الخضروات والأسمك من خزائن.

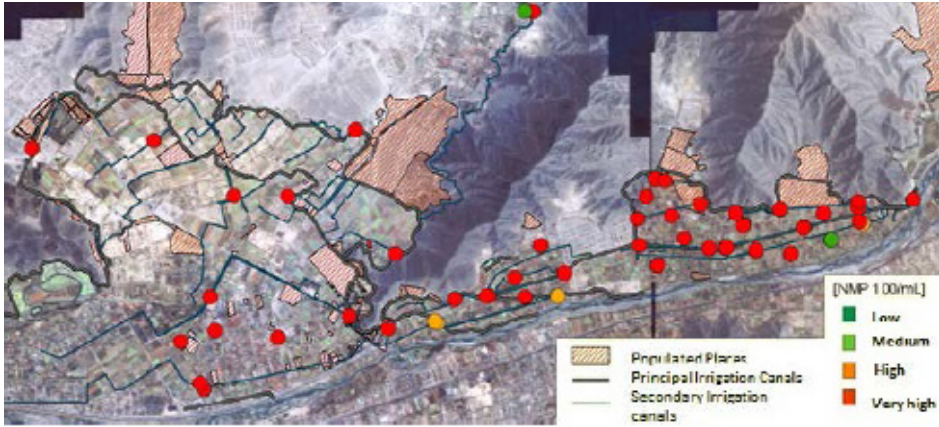
3. النتائج والمناقشة

1.3. جودة المياه من قنوات الري

لم تتجاوز أي عينة مياه الحد الأقصى المسموح به للزئبق As، الكاديوم Cd، الكروم Cr، أو الرصاص Pb المنصوص عليها في القوانين والمعايير لزراعة الخضراوات. وهذا يدل على أن المياه المستخدمة حالياً لسقي الخضار لا تمثل خطر التلوث من هذه المعادن. ومع ذلك، فإن تلوث مياه النهر بمسببات الأمراض هو أخطر مشكلة لإنتاج الخضار. وكما هو مبين في الشكل (4)، فإن أكثر من 97 في المئة من عينات المياه المأخوذة من قنوات الري كانت أعلى بكثير من الحد الأقصى المسموح به للكوليفورم البرازية، وتحتوي بعض العينات على أكثر من 5 ملايين في 100 مل لتر 5 million MPN/100 ml. نهر ريماك Rimac هو واحد من المصادر الرئيسة للتلوث البرازي، ولكن هناك أيضاً مساهمة من التجمعات السكانية الواقعة حول مناطق زراعة الخضروات، التي تقود مياه صرف المجاري والصرف الصحي مباشرة في قنوات الري.

الشكل (4) يبين أيضاً مستويات التلوث بديدان النيما تودا Nematoda الخيطية والطفيلية البشرية والبروتوزونات protozoa في قنوات الري.

يتلقى كارابونغو Carapongo المياه مع أكثر من 25 طفيلية للتر الواحد، وهو تركيز مماثل في معظم نقاط أخذ العينات التي تمّ تقييمها في نظام الري هذا. ومن ناحية أخرى، فإن مأخذ نيفريا Nieveria يتلقى مياهاً خالية من الطفيليات، وهو وضع يتدهور عندما يتلقى مياه الصرف من كارابونغو Carapongo وبصفة عامة، تصل مستويات التلوث إلى 25 طفيلياً لكل لتر في نيفريا وهواتشيبا Nieveria and Huachipa.

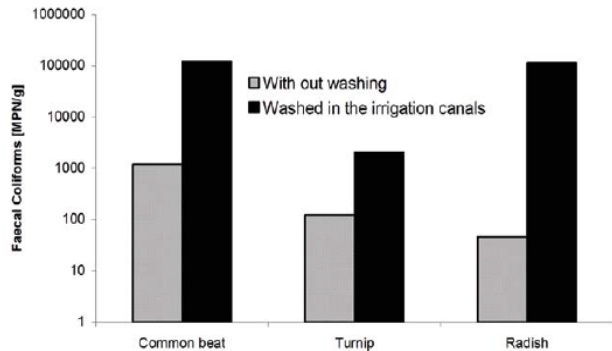


الشكل 4: مستوى الكوليفورم البرازي والطفيليات في مياه قنوات الري في ليما الشرقية Lima East (المصدر: موسكوسو وآخرون 2007) (Source: Moscoso et al. 2007).

2.3. جودة الخضروات المروية من مياه النهر

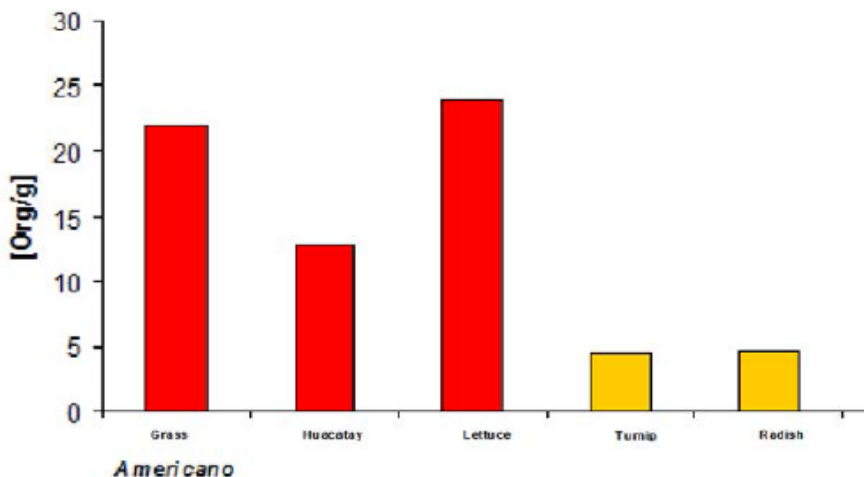
تشير التحاليل الكيميائية إلى أن الخضروات تزرع في المناطق المتأثرة والمتضررة من الزنبيخ والرصاص؛ على الرغم من ارتفاع مستويات الرصاص في حوض النهر، إلا أن المستويات الموجودة في التربة والمحاصيل ليست عالية بما فيه الكفاية لفرض خطر على الصحة. وأظهر تحليل بعض الخضروات أن هناك امتصاصاً أكبر بكثير للكاديوم والرصاص في المحاصيل الورقية (الخضرة) مما كان عليه في الخضروات الجذرية، ولكن فقط هواكاتاي huacatay كان فوق المستويات القصوى المسموح بها. وتستخدم هذه العشبة بكميات صغيرة لموسم مختلف الأطباق البيروية المحلية ولهذا السبب فإنه لن يشكل خطراً جسيماً على الصحة.

أظهر تحليل الخس والفجل، وكلاهما يُؤكل نيئاً، أن ما بين 17 و31 في المئة من العينات كانت أعلى من الحدود المسموح بها للكوليفورم البرازية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن ممارسة غسل المنتجات في قنوات الري يزيد التلوث. وقد تمّ تلويث 57 في المئة من الخضروات ذات الجودة الجيدة في أثناء الغسيل (الشكل 5). ويمكن أن تؤدي إجراءات مثل غسل الخضروات بمياه جارية نظيفة إلى الحدّ بشكل كبير من تلوث هذه الأطعمة بمسببات الأمراض.



الشكل 5 :
تأثير غسل الخضروات في قنوات الري
(المصدر: موسكوسو وآخرون 2007)

وجد أيضاً أن محاصيل الأوراق مثل الخس وهو اكاتاي huacatay، حتى أعشاب الراي المعمرة، تقدم مستويات من الطفيليات أعلى من المحاصيل الجذرية مثل اللفت والفجل والشمندر، كما هو مبين في الشكل (6). ويمكن أن يكون هذا الوجود الأكبر للطفيليات في نباتات أوراق الشجر ويرجع ذلك إلى الاتصال المباشر مع المياه الملوثة، في حين بالنسبة للمحاصيل الجذرية، تمر المياه من خلال التربة التي، إلى حد ما، تعمل بمثابة مرشح. تراكيز فوق 24 طفيلية / غرام (الديدان الخيطية protozoa) وجدت في الخس تستحق اهتماماً خاصاً، ولا سيما أن الخس يُؤكل نيئاً.



الشكل 6 : تركيز الطفيليات حسب نوع المحاصيل
(المصدر: موسكوسو وآخرون 2007) (Source: Moscoso et al. 2007).

3.3. خزانات منخفضة التكلفة للحد من تلوث الخضروات

بالنظر إلى أن المعادن الثقيلة لم تكن مشكلة في هذه المنطقة الزراعية، ركزت الدراسة على الحاجة إلى معالجة المستويات العالية من البكتيريا البرازية والطفيليات، وذلك بشكل أساسي من مياه الصرف الصحي غير المعالجة التي يتم تصريفها في النهر. الطريقة المثلى لتحسين نوعية المياه لأغراض الري والغسيل هي استبعاد والحد من تصريف مياه الصرف المنزلي غير المعالجة. غير أنه لا توجد خطط على المدى القصير لتنفيذ خدمات الصرف الصحي في هذا المجال.

تمّ تحديد بناء خزانات معالجة صغيرة خياراً قابلاً للتطبيق للحدّ من الملوثات في مياه الري. إن معالجة المياه في هذه الخزانات بسيطة إلى حدّ ما، بالاعتماد على الوقت اللازم للعملية الفيزيائية للعمل على مسببات الأمراض وتلبية احتياجات المزارعين من الري وغيره من الممارسات الأخرى. تصل المياه إلى الخزان عبر القنوات وتبقى هناك مدة تتراوح من 10 إلى 14 يوماً تقريباً. الاحتفاظ بالماء لأكثر من 10 أيام يقلّل من تركيز وبقاء البكتيريا

المسببة للأمراض، وهي العملية التي تتأثر بشدة بالإشعاع الشمسي والتغيرات في درجات الحرارة. وعلاوةً على ذلك، تستقر الديدان الخيطية الطفيلية في القاع حيث تموت تدريجياً، ممّا يجعل المياه نظيفة لري الخضار. وقد صُمّمت هذه الخزانات أيضاً للزراعة السمكية. تشير التقديرات إلى أن 50 في المئة من الحجم سيستخدم في الأسبوع، ممّا يسمح بفترة حبز واحتفاظ مدتها 14 يوماً يمكن تحقيقها بأقصى حجم، وتكون كافية للحدّ من الملوثات في مياه الري.

تمّت مقارنة عينات المياه المعالجة في الخزانات والمياه النهرية الملوثة عند استخدامها لري الفجل والخس. وأظهرت النتائج أن تخزينه في الخزانات أزال 98 في المئة من الكوليفورم البرازي وأزال تقريباً جميع النيماطودات nematodes الطفيلية البشرية والبروتوزونات protozoa من مياه الري. تغيرت نوعية المياه من كونها أعلى بكثير من الحدّ الأقصى المسموح به وهو 1000 كوليفورم برازي لكل 100 مل للخضار (المياه التي يتمّ أخذها مباشرة من النهر) إلى أن تكون أقلّ من هذه الحدود القصوى عندما يتمّ تخزين المياه في خزان (الشكل 7).

كما تمّ تقييم الفجل والخس المزروع بمصادر المياه معاً، حيث تبين أن المحاصيل المروية بمياه الخزان كانت تصل إلى 97 في المئة من تخفيض الكوليفورم (ما بين 10 و100 من الكوليفورم البرازية لكل غرام)، ممّا يضعها تحت الحدود المسموح بها، كما كان الحال بالنسبة للديدان النيماطودات الطفيلية nematodes والبروتوزونات protozoa، والتي كانت غائبة تقريباً من كلّ من الفجل والخس.

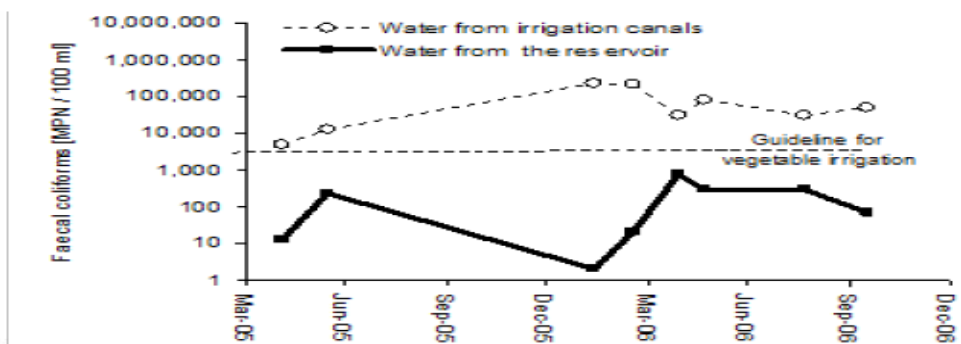


Figure 7: Concentration of faecal coliforms in irrigation channel and reservoir water (Source: Moscoso et al. 2007)

الشكل 7: تركيز القولون البرازي في قناة الري ومياه الخزان
(المصدر: موسكوسو وآخرون 2007) (Source: Moscoso et al. 2007).

ما هو أكثر من ذلك، الري بمياه الخزان يبدو أنه كان له تأثير مفيد على معدل النمو وبالتالي على الحصاد، حيث تحققت نسبة أكبر من المنتجات القابلة للتسويق مقارنة مع تلك المروية بمياه الأنهار. هذه التكنولوجيا منخفضة التكلفة، بسيطة تلتقط المغذيات في مياه الري في الكتلة الحيوية من الطحالب الدقيقة التي يمكن بعد ذلك إعادة استخدامها لتحقيق أعلى إنتاج للخضار. وخلص التقييم إلى أنه من أجل الحصول على مياه ذات نوعية كافية لري

هكتار محصول واحد، فإن هناك حاجة إلى خزان 700 متر مكعب بتكلفة قدرها 1360 دولاراً أمريكياً إذا ما تمّ عزله بمزيج من الإسمنت والتربة. تتمّ مقارنة الطلاء البديل في الجدول (1). إذا كان الخزان متصلاً بنظام الري متعدد البوابات، يمكن تخفيض متطلبات المياه بنسبة 50 في المئة.

الجدول 1: خيارات لخزانات المياه المعزولة.

US \$/m ² دولار أمريكي (دولار/م ²)	Area (m ²) المساحة (م ²)	
7.97	232	Simple concrete, f'c=140 kg/cm ² الخرسانة البسيطة f'c=140 kg/cm ²
5.82	232	Geo membrane HPDE Thickness 1 mm غشاء أرضي من البولي إيثيلين عالي الكثافة ذي ثخانة 1 ملم
5.82	714	Geo membrane HPDE Thickness 1 mm غشاء أرضي من البولي إيثيلين عالي الكثافة ذي ثخانة 1 ملم
3.76	1350	Geo membrane HPDE Thickness 1 mm غشاء أرضي من البولي إيثيلين عالي الكثافة ذي ثخانة 1 ملم
0.49	1350	Soil - Cement (2.4 kg / m ²) ⁽²⁾ / م ² / كغ 2.4 - الإسمنت التربة
0.12	1350	Soil - Cement (2.4 kg / m ²) ⁽²⁾ / م ² / كغ 2.4 - الإسمنت التربة

(المصدر: موسكوسو وآخرون 2007)

4.3. إنتاج الأسماك

من عيوب استخدام الخزانات أنها تشغل أرضاً منتجة محتملة في هذه المناطق شبه الحضرية، حيث تكون قيمة الأراضي مرتفعة جداً. ولهذا السبب، اقترح استخدام هذه الخزانات الصغيرة كنظم للاستزراع المائي للتعويض عن فقدان الأراضي الزراعية وتزويد الأسرة بالأسماك مصدراً غذائياً إضافياً للأكل أو للبيع.



الشكل 8 : سمك البلطي Tilapia الذي يتم في الخزانات

كانت النتائج الأولية مرضية تماماً لزراعة سمك البلطي النيل *Nile Tilapia* (Oreochromis niloticus). سمك البلطي *Tilapia* هو صنف خشن متين يقبله السكان المحليون بشكل جيد جداً. وفي مناخ شبه إستوائي مثل مناخ ليما Lima، فإن معدل نمو سمك البلطي النيل خلال الأشهر الأكثر دفئاً، مشجعٌ ومماثلٌ للنمو الذي تحقق في المناخات الإستوائية. يمكن تربية العديد من سمك البلطي مع وزن بدائي أقل من 2 غرام على مدار السنة بكثافات من ثلاثة أسماك في المتر المربع، ليصل إلى حجم مقبول تجارياً إلى 250 غراماً بحلول نهاية الصيف. ومع إنتاج 450 كيلوغراماً من الأغذية السمكية، تم إنتاج 400 كيلوغرام من سمك البلطي *Tilapia* في خزان مساحته 500 متر مربع، مع إنتاجية تزيد عن 0.73 كغ / م². وبلغت التكلفة التقديرية لبويضات السمك (التي فقست حديثاً) والمواد الغذائية 470 دولاراً أمريكياً، ممّا مكّن من تحقيق دخل بيع قدره 880 دولاراً أمريكياً.

5.3. التقييم الثاني لجودة المياه والتربة والمنتجات الزراعية

تظهر نتائج تحليلات سلامة المياه في الجدول (2)، مع إضافة معايير الجودة البيئية للمياه الطبيعية (ECAs) الصادرة عن وزارة البيئة (المرسوم الحكومي 002-2008-MINAM). (Supreme Decree 002-2008-MINAM). تنص معايير جودة المياه في البيرو (ECAs) على أن المياه الطبيعية المستخدمة لري الخضروات يجب ألا تحتوي على أكثر من 15 ملغ BOD₅ في اللتر الواحد (وزارة البيئة 2008)، وهي قيمة أقل من تلك الموجودة في مياه خزانات كارابونغو Carapongo ونيفريا Nieveria المستخدمة للري الزراعي. ومن المفهوم أن هذه المياه لديها مستويات أعلى إلى حد ما من الطلب على الأوكسجين الحيوي من خلال الإثراء الغذائي (eutrophication) بالمياه خلال الفترة التي يتم فيها الاحتفاظ بالمياه، معززة ببقايا الطعام والبراز من الأسماك المستزرعة. ومن ثم، فإن هذه القيمة لن تشكل خطراً فنياً على الصحة والبيئة، حيث أن المادة العضوية الحالية تستخدم مصدراً من المواد المغذية للمحاصيل المروية.

من ناحية أخرى، فإن جميع القيم المحددة للكروم، الكادميوم، الرصاص، الزرنيخ، والزنك هي أقل من تلك التي تحددها المعايير المعتمدة ECAs، باستثناء الرصاص في عشرين من عينات المياه المأخوذة في قناتي الري نانا وكارابونغو Nana and Carapongo، والقيم الموضعية (المشار إليها) التي يبدو أنها تحدث بصورة مؤقتة والتي قد تشير في جميع الأحوال إلى عمليات التعدين أو التصريف الصناعي في بعض الأحيان. ونرى أن هذه المستويات لا تشكل في الوقت الحاضر أي خطر على الصحة أو البيئة.

ولا تزال تراكيز الكوليفورم البرازية في مياه قنوات الري مرتفعة، كما تبين منذ عام 2006، وهي قيم وصلت في هذا التقييم في عام 2013 إلى (800000 عصية / 100 مل) في حين أن المعايير القياسية ECAs تضع حدوداً قدرها (1000 عصية / 100 مل) لسقي المحاصيل قصيرة الساق مثل الخضروات. ولحسن الحظ، أكدت النتائج أيضاً أن المياه من الخزانات التي بنيت قبل ست سنوات تظهر قيماً مقبولة، بين (7 و 17000 عصية معوية / 100 مل)، باستثناء حالة واحدة من 33000 عصية في خزان نيفريا Nieveria التي يمكن أن تكون ذات صلة بالصرف الصحي من قبل سكان التجمعات السكانية المجاورة أو فترات الاحتفاظ أقصر من تلك الموصى بها.

الجدول 2: نتائج تحليل الجودة الصحية والبيئية للمياه في المناطق الزراعية الشرقية في ليما East Lima.

Code	Parameter	Sampling Point	Sample	Metals					Thermotolerant Coliforms	Protozoa				Helminths						
	BOD			Cadmium	Chromium	Lead	Arsenic	Mercury		Blasto-cystis Humines	Induli-max Nana	Enta-moeba Coli	Giardia lamblia	Lodamoeba buitschlii	Ascaris lumbricoides	Hymen-olepis Nana	Strongi-loides sp.	Unci-narias		
	Unit			Mg/L	Mg/L	Mg/L	Mg/L	µg/L	µg/L	NMP/100 ml	Org/L	Org/L	Org/L	Org/L	Org/L	Org/L	Org/L			
	Place/ item																			
NA	Union of a a Peruvian University:																			
NA-A1	Irrigation Chanel Water	Gatehouse 1-main gate	M1	99	7.4	0.002	0.003	0.05	43.4	0.2	4.90E+05	5	8	20	15	0	3	0	1	0
			M2	15	5.1	<0.001	<0.002	0.01	17.3	0.1	3.30E+02	3	11	24	9	0	2	0	1	1
			M3	13	8.7	<0.001	<0.002	0.01	31.1	<0.1	1.30E+05	2	3	13	7	0	0	0	1	1
NA-A2	Reservoir water	Backpack irrigation, Mamani family	M1	21	5.9	<0.001	<0.002	0.01	32	0.1	1.70E+03	0	0	4	0	0	0	0	0	0
			M2	18	6.2	<0.001	<0.002	0.01	21.6	0.1	1.30E+01	0	1	2	0	0	0	0	0	0
			M3	19	3.9	<0.001	<0.002	0.01	20.9	<0.1	1.30E+03	0	1	2	1	0	0	0	0	0
CA	Agricultural plots in Carapongo:																			
CA-A1	Irrigation Chanel Water	Raymundo Yaulis plot	M1	32	2	0.001	<0.002	0.02	32.5	<0.1	3.30E+04	5	8	9	2	0	0	0	1	
			M2	51	7.5	<0.001	<0.002	0.09	25.7	<0.1	7.00E+05	3	6	11	3	0	0	0	0	1
			M3	36	3	0.002	<0.002	0.09	37.4	0.2	7.00E+04	2	3	6	5	0	0	0	0	1
CA-A2	Reservoir water	Raymundo Yaulis reservoir	M1	48	15	<0.001	<0.002	0.01	22.3	<0.1	2.20E+02	0	3	0	0	0	0	0	1	0
			M2	150	21	<0.001	<0.002	0.03	48	<0.1	6.80E+00	5	5	10	0	0	0	0	0	0
			M3	25	16	<0.001	<0.002	0.01	26.2	<0.1	4.60E+01	3	0	9	0	0	0	0	0	0
NI	Agricultural plots in Nieveria:																			
NI-A1	Irrigation Chanel Water	Mr Serna's plot	M1	18	12	<0.001	<0.002	0.01	24.9	<0.1	3.30E+05	9	15	30	11	0	1	1	2	1
			M2	33	14	<0.001	<0.002	0.01	25.5	<0.1	8.00E+05	2	8	20	7	0	1	0	0	2
			M1	66	23	<0.001	<0.002	<0.009	30.2	<0.1	1.30E+03	3	0	9	0	0	0	0	0	0
NI-A2	Reservoir water	Mr Serna's reservoir	M2	49	20	<0.001	<0.002	0.01	26.6	<0.1	7.90E+01	1	0	3	0	0	0	0	0	0
			M3	56	17	<0.001	<0.002	0.01	22.1	<0.1	3.30E+04	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Environmental Water Quality Standards (Supreme Decree 002-2008-Ministry of Environment):																				
Category 3-irrigation of vegetables				15		0.005	0.1	0.05	50	1		0						<1		

تحتفظ المياه في قنوات الري بمستويات تصل إلى 65 بروتوزوناً و5 بيضات طفيليات بشرية لكل لتر من الماء. ولكن في مياه الخزانات، لم يتم العثور على الديدان الطفيلية، وانخفضت نسبة البروتوزونات إلى 20 في اللتر. من المرجح أن إدارة الخزان تسهل السماح لمغادرة المياه بالفيضان، وفي هذه الحالة ستعادر البروتوزونات الخزان قبل موتها. لهذا السبب من المهم الإصرار على توصية بعدم أخذ المياه من الخزان عن طريق الفائض، حيث تطفو هذه الطفيليات في المياه.

تظهر الخضراوات التي تم تقييمها مستويات عالية من القولون البرازي، عندما تروى بمياه الخزان، كما هو مبين في الجدول (2)، ذات جودة أعلى، مما يدل على وجود مصادر أخرى للتلوث مثل مياه المجاري من التجمعات السكانية المجاورة، والتي يوجد منها الآن أكثر مما كانت عليه في عام 2006. وبالمثل، تظهر جميع عينات الخضروات وجود بروتوزونات ولكن ليس من الديدان الطفيلية، مما يشير إلى أن أكبر خطر على الصحة يرتبط حالياً بهذه الكائنات الحية.

وعلى الرغم من أن نباتات الخس المروية بمياه الخزان تظهر وجود أقل من طفيليات البروتوزونات من تلك المروية بالمياه المأخوذة من القنوات مباشرة، إلا أن هذه المحاصيل لا تحقق الحد الأدنى من المتطلبات الميكروبيولوجية للاستهلاك البشري. وأخيراً، لا يتجاوز أي من عينات الأسماك من أي خزان الحد المتوسط من (500000 عصية/غرام) من الكائنات الحية المجهرية الهوائية، بالإضافة إلى أي مستويات المكورات العنقودية (staphylococcus aureus) هي أقل من (100 عصية/غرام) وليس هناك سالمونيلا (Salmonella spp أو الطفيليات البشرية، على النحو الذي يقتضيه المعيار (SANIPES 2010).

وخلافاً للتقييم الأول، تمكن الرصد في هذه المناسبة من تحديد المخاطر الصحية في هذه المنطقة الزراعية، ومن ثم تم إعداد خطة السلامة الصحية (Sanitation Safety Plan (SSP للسيطرة على هذه المخاطر، بحيث يمكن وضع منتجات آمنة في السوق.

4. الاستنتاجات والدروس المستفادة

1.4. الاستنتاجات

أظهر أكثر من 97 في المئة من عينات المياه من قنوات الري مستويات أعلى بكثير من المستويات القصوى المسموح بها من القولون البرازي. وكان ما بين 17 و31 في المئة من عينات الخس والفجل المروي بهذه المياه أعلى من الحدود المسموح بها.

كان بناء خزانات صغيرة خياراً صالحاً للحد من الطفيليات البشرية، مثل الديدان الطفيلية والبروتوزونات protozoa and helminths، بشرط تخزين المياه من القنوات لمدة تتراوح بين 10 و14 يوماً. تمت مقارنة هذه المياه المخزنة ومياه النهر غير المعالجة كمصادر لري للخضروات، تبين أن الخزان يزيل جميع الطفيليات ذات الأصل البشري من مياه الري ويقلل من القولون البرازي إلى أقل من (1000 عصية/100 مل). عندما تم ري الفجل والخس مع مياه الخزان كان لديهم ما يصل إلى 97 في المئة أقل من الكوليفورم البرازي، وهي قيمة جيدة ضمن

الحدود المسموح بها، في حين أن الطفيليات غائبة تقريباً من كل من هذه الخضروات.

وعلاوةً على ذلك، كان للري من مياه الخزان أيضاً تأثير مفيد على معدل النمو والانتظام في الشكل والحجم في الحصاد، مع نسبة أكبر من المنتجات القابلة للتسويق ممّا كانت عليه عند استخدام مياه النهر.

وبما أن الخزانات تحتل أجزاء من الأراضي المنتجة، فقد اقترح تعويض هذه الخسارة عن طريق الاستزراع السمكي، الذي سيوفر أيضاً منتجاً بروتينياً للاستهلاك أو البيع. وبفضل 450 كيلوغراماً من الأغذية السمكية، يمكن إنتاج 400 كيلوغرام من البلطي النيلي Nile tilapia في خزان مساحته 500 متر مربع، مع إنتاجية تزيد عن 0.73 كغ/م². بلغت التكلفة التقديرية 470 دولاراً أمريكياً وبلغت إيرادات المبيعات 880 دولاراً أمريكياً.

أظهر الرصد الذي أُجري بعد ست سنوات أن استخدام الخزانات لا يزال أداة صالحة لتحسين نوعية المياه الملوثة عندما تأتي من النهر، لري النباتات. ومع ذلك، هناك قضايا ناشئة منبثقة مثل البروتوزونات والطفيلية البشرية التي يجب إزالتها، وذلك باستخدام التقنيات التي تحتاج إلى أن تُعلّم للمزارعين.

2.4. الدروس المستفادة

لقد ثبت أن الخزان وسيلة فعالة لزيادة الدخل من خلال بيع الخضراوات والأسماك جيدة الجودة التي تحسن صحة الإنسان وتحافظ على البيئة. إن هذه المزايا الاقتصادية جذابة للمزارعين الآخرين في المنطقة الذين أعربوا عن اهتمامهم ببناء خزانات على أراضيهم من أجل تقديم منتجات ذات جودة أفضل بسعر أعلى.

إن التغيرات في استخدام الأراضي التي تحدث بسرعة كبيرة في المنطقة، وخاصة تحويل الأراضي الزراعية إلى المناطق المبنية، هي العامل الرئيس الذي سيؤثر على قبول استخدام الخزانات. يقوم بعض ملاك الأراضي بالفعل بالزراعة من أجل العيش، وهم ينتظرون أسعاراً أفضل لبيع ممتلكاتهم. لتحفيز المزارعين على السعي للحصول على إنتاج الخضروات الصحية، سوف يكون من الضروري دعم تطوير المتطلبات والخوافز من خلال الأنظمة البيئية وتحسين الفرص المتاحة في السوق. والأمل معقود على مواصلة العمل مع أصحاب المصلحة المحليين وصناع القرار لرفع وعي المسؤولين عن حماية الموارد المائية وإدارتها، لإنتاج أغذية سليمة وللصحة العامة من منظور طويل الأمد لتحقيق التنمية المستدامة.

المراجع

References

INEI. 2015. "Peru: población total al 30 de junio, por grupos quinquenales de edad, según departamento, provincia y distrito" (in Spanish). Lima, Peru: Instituto Nacional de Estadística e Informática. <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>.

MINAM. 2008. "Environmental quality standards for natural water (ECAs)." Published by the Ministry of Environment through Supreme Decree 002-2008-MINAM, Lima, Peru.

Moscoso, J., H. Juarez, and T. Alfaro. 2007. “*Uso de reservorios para mejorar la calidad sanitaria del agua para el riego agrícola en el Cono Este de Lima*” (in Spanish). Lima, Peru: International Potato Centre (CIP)/CESAL, Urban Harvest Programme CESAL.

Moscoso, J., H. Juarez, and T. Alfaro. 2008. “The Use of Reservoirs to Improve the Quality of Urban Irrigation Water.” Urban Agriculture Magazine No. 20. The Netherlands: Resource Centre on Urban Agriculture and Food Security Foundation (RUAF).

WHO. 1989. “Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture.” Geneva: World Health Organization.

PAHO. 2014. “Plan de Seguridad en Saneamiento para el Estudio de Caso de la Zona agrícola del Cono Este de Lima, como parte del Proyecto Prueba del Manual de Planes de Seguridad de Saneamiento en Uso de Aguas Residuales en Lima, Peru” (in Spanish). Lima, Peru: Pan American Health Organization.

SANIPES. 2010. “Protocolo de calidad establecido en el Manual de Indicadores y criterios de Seguridad Alimentaria e Higiene para Alimentos y piensos de origen pesquero y acuicola aprobado el 2010, y que aplican para los productos hidrobiológicos crudos (frescos)” (in Spanish). Lima, Peru: National Fish Health Service (Servicio Nacional de Sanidad Pesquera, SANIPES) of the Technological Institute of Production (Instituto Tecnológico de la Producción, ITP).

الحالة 5: إعادة استخدام المياه لري المناطق الطبيعية الخضراء وتنظيف المرحاض (دورات المياه) في برازيليا، البرازيل

M. R. Felizatto, F. C. Nery, A. S. Rodrigues, and C. M. Silva¹

الملخص

تعرض حالة الدراسة مشروع إعادة استخدام المياه في برازيليا / البرازيل، وتقييم نتائجها التشغيلية والاقتصادية. وقد جرت تجربة إعادة استخدام المياه على مدى 11 عاماً (2000-2011) في محطة معالجة مياه الصرف الصحي Hospital Rehabilitation Centre على شاطئ بحيرة بارانوا Paranoa. تمكنت النتائج التي أنجزت من تراكيز المياه السائلة الخارجة من مركز (CAGIF) في تلبية المعايير الأكثر صرامة لإعادة استخدام المياه في ري المناطق الطبيعية الخضراء وغسل المراحيض وفقاً للمبادئ التوجيهية الأمريكية والبرازيلية، باستثناء متغير المواد الصلبة المعلقة TSS، مع متوسط تركيز النفايات السائلة 7 ملغ / لتر و 15 ملغ / لتر، 8 ملغ / لتر، 0.12 ملغ / لتر و 5.9 ملغ / لتر، لـ BOD₅، COD، TSS، TP و TN، على التوالي. وفيما يتعلق بالمتغيرات الميكروبيولوجية مثل الكوليفورم الكلي والكوليفورم البرازي، فإن نتائج النفايات السائلة النهائية كانت دائماً «غير قابلة للكشف». تبين النتائج الاقتصادية جدوى المشروع على مدى 20 عاماً.

الكلمات المفتاحية: إعادة استخدام المياه، نتائج تشغيل محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTP، التحليل المالي والاقتصادي لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTP، بحيرة بارانوا Paranoa، التطبيقات في البرازيل Brazil.

¹ M. R. Felizatto • F. C. Nery • A. S. Rodrigues • C. M. Silva; CAESB (Environmental Sanitation Company of Federal District) Brasilia, DF Brazil
e-mail: maurofelizatto@caesb.df.gov.br

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. المقدمة

إنّ مستشفى سارة هو المرجع البرازيلي في الصحة الفيزيائية. ويقع مقره الرئيس في وسط مدينة برازيليا، حيث لا توجد مناطق خضراء محيطة من شأنها أن تمكن من تطوير التقنيات المناسبة لعلاج الأشخاص الذين يعانون من عجز جسدي فيزيائي حادّ. وفي التسعينيات، ازداد الوضع سوءاً بسبب الزيادة الكبيرة في عدد المرضى المصابين بإصابات في النخاع الشوكي، والناجمة بشكل أساسي عن حوادث المرور.

كحلّ، تمّ تنفيذ نحو 2000 CAGIF (مركز الدعم للعجز الجسدي الكبير) CAGIF (Support Centre for the Great Physically Incapacitated) خارج المنطقة المركزية من برازيليا. موقع البناء، مع مساحة تقارب 80000 متر مربع، ويقع على شاطئ بحيرة بارانوا Paranoa، مع توفير ظروف استثنائية لتنفيذ هذا المشروع. المرافق القريبة من البحيرة، توفر الظروف للرياضات المائية وغيرها من العلاج، والأساليب التي كانت ناجحة في علاج المرضى العاجزين. ويعمل المرفق الجديد بشكل منفصل عن المقر، ولا يحتاج إلى نفس الخدمات التقنية المتخصصة للتشخيص والعلاج، مثل غرف العمليات أو الأشعة السينية أو المختبرات التي ستظل مركزية في مستشفى سارة - برازيليا، Sarah-Brasilia Hospital (ليما، 1996) (Lima, 1996).

تمّ إنشاء بحيرة بارانوا Paranoa بشكل مصطنع في عام 1959 من أجل زيادة الرطوبة في المناخ الجاف من الهضبة الوسطى البرازيلية Brazilian Central Plateau، للمساهمة في الأنشطة الترفيهية، وإنتاج الكهرباء. على مر السنين أصبح بطاقة بريدية للعاصمة الاتحادية. في الستينيات، تمّ بناء محطتين لمعالجة مياه الصرف الصحي، محطات معالجة مياه الصرف الصحي في الشمال والجنوب North and South WWTPs، معالجة تدفق المياه العادمة لسكان يبلغ عددهم 225000 نسمة، مع استخدام عملية الحمأة المنشطة التقليدية (CAS). وساهم شغل المناطق الحضرية المتسارع لمستجمعات المياه (الأحواض الساكبة) وعدم كفاية معالجة مياه الصرف الصحي في تطوير عملية إثراء المغذيات في بحيرة بارانوا (فيليزاتو وآخرون، 2000) (Paranoa (Felizatto et al. 2000). وفي الثمانينيات، أظهرت نسبة كبيرة من الطحالب أن البحيرة خارجة عن السيطرة، وكانت الحالة الغذائية trophic للبحيرة تعتبر خصبة eutrophic (CEPIS 1990). وقد تمّ استثمار ثلاثمائة مليون دولار لاستعادة نوعية المياه، مع إنشاء محطتين جديدتين متطورتين لمعالجة مياه الصرف الصحي لإزالة المغذيات البيولوجية (راندال وآخرون 1992؛ فان هاندل وماريس 1999؛ WRC 1984) (Randall et al. 1992; van Haandel and Marais 1999). ويجري تشغيل محطة مياه الصرف الصحي جنوب برازيليا الجديدة South Brasilia WWTP منذ عام 1993 ومحطة مياه الصرف الصحي شمال برازيليا الجديدة North Brasilia WWTP منذ عام 1994، مع قدرة معالجة مياه الصرف الصحي تساوي 1000000 نسمة.

في الوقت الحالي، تعالج محطتا معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs 90% من مياه الصرف الصحي في حوض مستجمعات المياه. وكان الانخفاض في حمولة الفوسفور إلى البحيرة، أو بالأحرى إزالته، وهو عامل مقيد في الإثراء بالمغذيات في البحيرات، ناجحاً منذ بدء تشغيل المحطتين الجديدتين لمعالجة مياه الصرف الصحي. إن نجاح برنامج تنظيف البارانوا Paranoa في التسعينيات هو تأكيد للتقدير الاجتماعي والثقافي لمختلف الاحتمالات الترفيهية في البحيرة، وهي في مستوى جودة خصب (eutrophic) وتتنجّه الآن إلى حالة مستوى الجودة الـ mesotrophic.

(Felizatto et al. 2000). تمّ بناء محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP في مكان لا توجد فيه أنابيب صرف صحي، وذلك بناء على اقتراح من شركة الصرف الصحي البيئية في برازيليا (CAESB). وكانت الفكرة هي تنفيذ صفر نفايات سائلة، والتي من شأنها أن تعالج جميع مياه الصرف الصحي. وسيتمّ استخدام المياه المستردة لري المناطق الطبيعية الخضراء وتنظيف المراحيض بمياه الغسيل الدافئة. تقدم هذه الحالة تصميماً متكاملًا لإدارة مياه الصرف الصحي ومعالجتها وإعادة استخدام المياه العادمة في CAGIF، التي تقع في برازيليا، العاصمة الاتحادية، البرازيل. ومن أجل القيام بذلك، تقدم وصفاً تفصيلياً للأداء التشغيلي لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي ونوعية النفايات السائلة المنتجة، ومقارنة هذه النتائج مع المعايير البرازيلية والأمريكية لإعادة استخدام المياه.

وتحلل حالة الدراسة أيضاً المشروع من وجهة نظر اقتصادية ومالية، وتقدر التكاليف الموحدة لـ: التشييد والتشغيل والصيانة (دولار أمريكي / متر مكعب) ($US\$/m^3$) والمعادلة الاقتصادية من خلال الأدوات التالية: نسبة تكلفة-فائدة (B/C)، العائد المالي (فترة الاسترداد)، صافي القيمة الحالية (NPW)، ومعدل العائد الداخلي (IRR).

2. المواد والطرائق

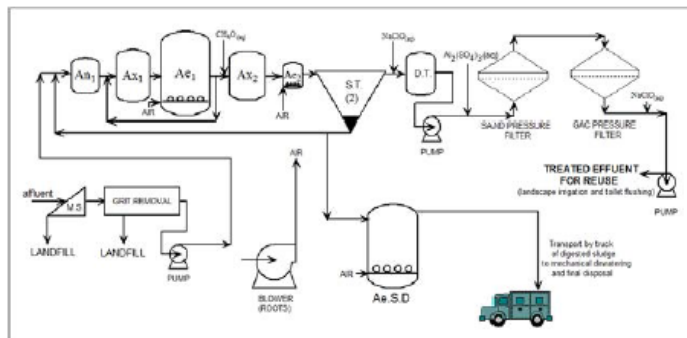
1.2. محطة معالجة مياه الصرف الصحي لـ CAGIF

إن العملية التي تمّ تبنيها من قبل محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP هي المعالجة المتقدمة للمياه العادمة (WPCF 1989؛ أسانو وآخرون 2007) (WPCF 1989؛ أسانو وآخرون 2007) التي تجمع بين عملية بيولوجية ووحدة عمليات لإنتاج مياه معالجة مفيدة لري (المناطق الخضراء) ومياه تنظيف وغسل المراحيض.

وقد تمّ تصميم محطة المعالجة وبنائها لتخدم عدداً من السكان يبلغ 1250 نسمة، أي بمعدل تدفق يومي 250 متر مكعب في اليوم. الوحدة هي من النوع المدمجة، بنيت تحت الأرض بالخرسانة المسلحة. يبيّن الشكل (1) مخطط تدفق محطات معالجة المياه العادمة.

وقد تمّ تكوين محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF's WWTP مع الوحدات الآتية: (1) المعالجة البيولوجية الثلاثية - أي اختلاف في CAS مع عملية المفاعل البيولوجي لإزالة النتروجين والفوسفور الذي تمّ تكوينه كعملية PHOREDOX أو BARDENPHOR المعدل (WRC 1984؛ راندال وآخرون 1992) Modified BARDENPHOR (WRC 1984؛ Randall et al. 1992)؛ (2) خزّان ترسيب مع إعادة الحمأة (من الأعلى إلى الأسفل) للخزان اللاهوائي؛ (3) خزان التطهير والتعقيم - محلول هيبوكلوريت الصوديوم؛ (4) التخثير بمحلول كبريتات الألومنيوم؛ (5) الترشيح - مرشح رملي يعمل بالضغط - عملية تدفق (من الأسفل إلى الأعلى) والغسيل العكسي عن طريق ضغط المياه (fluidisation)؛ (6) الامتزاز - الكربون المنشط الحبيبي (GAC)، فلتر الضغط - التشغيل في التدفق (من الأعلى إلى الأسفل) والغسيل العكسي عن طريق ضغط المياه،

و (7) التعقيم الثاني (في الأنابيب). تمّ تحديد عمر الحمأة عن طريق إزالة الحمأة المكثفة من المرسبات الثانوية (من الأعلى إلى الأسفل) إلى هاضم الحمأة الهوائية (Ae.SD) على فترات منتظمة، وبعد 15 يوماً من الهضم يتمّ نقل الحمأة إلى محطة مياه برازيليا الشمالية Brasilia North WWTP، حيث يتمّ نرح المياه ويتمّ التخلص من المواد الصلبة الحيوية المنتجة في النهاية.



الشكل 1 مخطط التدفق في محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في كاجيف CAGIF (Felizatto 2001).

المصطلحات:

- An1...Anaerobic Tank 1 : الخزان 1 اللاهوائي
- Ax1...Anoxic Tank 1 : الخزان 1 ذاتي الأوكسجين
- Ax2...Anoxic Tank 2 : الخزان 2 ذاتي الأوكسجين
- Ae1...Aerobic Tank : الخزان Ae1 الهوائي
- Ae2...Aerobic Tank : الخزان Ae2 الهوائي
- S.T...Sedimentation Tank : خزان الترسيب
- D.T...Disinfection Tank : خزان التعقيم
- M.S...Manual Screen : مصفاة يدوية
- Ae.S.D...Aerobic Sludge Digester : هاضم الحمأة الهوائية

إذا تمّ تصريف المياه العادمة في بحيرة Paranoa فإن تراكيز النفايات السائلة المعالجة يجب ألا يتجاوز القيم الآتية: (i) TSS المواد الصلبة المعقولة = 10.0 ملغ / لتر، (ii) BOD₅ الطلب البيولوجي للأوكسجين = 10.0 ملغ / لتر، (iii) TKN النتروجين الكلي = 4.0 ملغ / لتر، (iv) TP الفوسفور الكلي = 0.3 ملغ / لتر. (iv) مجموع القولونيات البرازية مع إزالة من 99 إلى 100%، بناءً على توصية CAESB. نوعية مياه الصرف النهائية كانت دائماً مبنية على أساس القيم المرجعية التي أوصت بها CAESB، من دون تفريغ مياه الصرف في بحيرة Paranoa (صفر نفايات سائلة).

كانت العينات التي تمّ جمعها وافرة، النفايات السائلة البيولوجية (الفائض من خزانات الترسيب) والنفايات السائلة النهائية، وتمّ جمعها على النحو الآتي: مرة واحدة في الأسبوع، أخذ عينات كل ساعتين خلال 24 ساعة.

وكانت المتغيرات الكيميائية والميكروبيولوجية التي تمّت مراقبتها هي: (i) إجمالي القلوية؛ (ii) المادة الفعّالة على السطوح وغير قابلة للتشرد (Anionic surfactant)؛ (iii) المواد العضوية: الطلب على الأكسجين الحيوي (BOD₅)، الطلب على الأكسجين الكيميائي (COD) والمواد الصلبة المعلقة الكلية (TSS)؛ (iv) الميكروبيولوجيا: الكوليفورم الكلي و الكوليفورم البرازي (TC) و (v) المغذيات: أمونيا النيتروجين (NH⁴⁺) ، إجمالي النيتروجين كيدها (TKN)، النترا (NO_x)، الفوسفور الكلي (TP) و الفوسفات (PO₄²⁻). لم يتمّ رصد الطفيليات (بيوض الديدان الطفيلية) في عمليات تشغيل محطة معالجة المياه العادمة. تمّ إجراء جميع التحاليل من قبل مختبر استأجره مركز CAGIF.

كما أفاد ليبيانو وآخرون (2007) Libanio et al. (2007). أنّ ال PRODES هو برنامج نُفّذ من قبل ANA في عام 2001 يطبق عملية الاعتمادية (الشهادات) القائمة على الأداء من أجل محاكاة بناء محطات معالجة مياه الصرف وتشغيلها بشكل ملائم. تشمل البيانات التي يطالب بها برنامج PRODES بصفة دورية معدلات تدفق مياه الصرف الصحي المعالجة، الأحمال العضوية للمياه الداخلة، وكفاءة إزالة البارامترات الرئيسة (الطلب على الأوكسجين البيولوجي BOD، المواد الصلبة المعلقة TSS، النيتروجين الكلي TN أو الفوسفور الكلي TP، والكوليفورم البرازية FC). في البرازيل، يعرف هذا البرنامج أيضاً باسم «برنامج شراء مياه الصرف المعالجة» وهو يصنف محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs في تسع فئات (A) إلى (I) و «A» هي أقلّ تعقيداً، والمدرّجة في الترتيب الأبجدي وفقاً لزيادة محطات المعالجة في التعقيد وقدرتها على إزالة المواد العضوية والمواد المغذية والكوليفورم (FC). حالياً في البرازيل من الشائع جداً استخدام برنامج PRODES/ANA مرجعاً لأداء محطات معالجة المياه العادمة ويصنفها في مقياس من «A» إلى «I»، تكون الدرجة «I» أعلى أداء. هدفت هذه الدراسة إلى تصنيف محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP CAGIF بواسطة PRODES/ANA من خلال إزالة القيم التي تحققها محطة المعالجة.

2.2. معايير إعادة استخدام المياه

حسب وكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA 2004)، يتضمن إعادة استخدام المياه للأنواع الرئيسة الآتية: (i) في المناطق الحضرية، (ii) الصناعية، (iii) الزراعية، (iv) البيئية والترفيهية، (v) تغذية المياه الجوفية و (vi) تزايد الإمدادات بالمياه الصالحة للشرب.

توفر أنظمة إعادة الاستخدام الحضرية المياه المعالجة للأغراض غير الصالحة للشرب المختلفة بما في ذلك: (i) الري في الحدائق العامة ومراكز الترفيه والاستجمام، ملاعب رياضية، ساحات المدارس والملاعب، منصفات الطريق السريع والجوانب، والمناطق الخضراء المحيطة بالمباني والمرافق العامة؛ (ii) ري المناطق ذات المناطق الطبيعية الخضراء المحيطة بمساكن عائلية فردية ومتعددة العائلات، غسيل عام، وأنشطة صيانة أخرى؛ (iii) ري المناطق ذات المناطق الطبيعية الخضراء المحيطة بالمناطق النامية التجارية والصناعية والمكاتب؛ (iv) ري ملاعب الغولف؛ (v) الاستخدامات التجارية مثل مرافق غسيل المركبات، ومرافق مصابغ وغسيل الألبسة، غسيل النوافذ، مياه الخلط لمبيدات الآفات الحشرية ومبيدات الأعشاب والأسمدة الكيميائية السائلة؛ (vi) استخدامات المناطق الطبيعية الخضراء للزينة وخصائص مياه الديكور والزينة، مثل النوافير والأحواض المائية والشلالات؛ (vii) التحكم بالغبار وإنتاج الخرسانة البيتونية لمشاريع التشييد والبناء؛ (viii) الحماية من الحريق من خلال صنابير

وهيدروفونات مكافحة الحرائق بالمياه المطلوبة، و (ix) المراحيض وتنظيف المبال في المباني التجارية والصناعية (USEPA 2004).

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لأنظمة إعادة الاستخدام أن تزود الصناعات الرئيسة أو المجمعات الصناعية التي تستخدم المياه، بالإضافة إلى مجموعة من العقارات السكنية والصناعية والتجارية من خلال «أنظمة التوزيع المزدوجة».

يتم في «أنظمة التوزيع المزدوج»، تسليم المياه المستصلحة إلى الزبائن من خلال شبكة موازية من أنابيب التوزيع منفصلة عن نظام توزيع المياه الصالحة للشرب في المجتمع. ويصبح نظام توزيع المياه المستصلحة ثالث مرفق للمياه، بالإضافة إلى مياه الصرف الصحي ومياه الشرب. ويجري تشغيل نظم المياه المستصلحة وصيانتها وإدارتها بطريقة مماثلة لنظام المياه الصالحة للشرب (وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA 2004). لدى CAGIF «نظام توزيع مزدوج»، وخاصة لاستخدام المياه من أجل غسل المراحيض، مضيفاً آلية فصل للشبكتين من خلال جهاز «اتصال متقاطع».

بدأ تطوير مشاريع إعادة استخدام المياه المخطط لها في الولايات المتحدة في أوائل القرن العشرين. وكانت ولاية كاليفورنيا California رائدة في تنظيم استرداد استخدام المياه وإعادتها. كان أول تشريع لها في عام 1918. لقد طورت ووضعت أول أنظمة إعادة استخدام لتوفير المياه للري في ولايات أريزونا Arizona و كاليفورنيا California في أواخر العشرينيات 1920s. في عام 1940 بدأت إعادة استخدام المياه، فضلاً عن استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بالكلور في مصانع الصلب والفولاذ. ومنذ عام 1960 فصاعداً، تم تطوير نظم إعادة الاستخدام العامة الحضرية في كولورادو Colorado وفلوريدا Florida (أسانو و ليفين 1996) (Asano and Levine 1996).

وفي عام 1965، أصدرت وزارة الصحة البرازيلية لوائح تسمح بإعادة استخدام النفايات الثانوية السائلة لري محاصيل الخضار، باستثناء الخضراوات التي تؤكل نيئة.

في عام 1968، أجريت بحوث واسعة النطاق لإعادة الاستخدام المباشر للشرب، مما أدى إلى تنفيذ أول محطة وحيدة لاستصلاح المياه تقع في ويندهوك، ناميبيا Windhoek, Namibia : محطة غوريانجاب Goreangab لاستصلاح المياه. وهذه هي الحالة الأولى لإعادة استخدام المياه الصالحة للشرب حيث يتم استخدام المياه المستردة بنجاح في إمدادات مياه الشرب في هذه البلدية (لاهنستينر وليمبرت 2007) (Lahnsteiner and Lempert 2007).

كانت هناك فترة خلال هذه التجربة حيث كان ما يصل إلى ثلث إمدادات المدينة من المياه المستصلحة. وهي تعمل حالياً بنسبة 26 %، ويمكن أن تصل إلى 35 % كحد أقصى (لاهنستينر و ليمبرت 2007؛ دو بيسانى 2005) (Lahnsteiner and Lempert 2007; du Pisani 2005).

كاليفورنيا لديها تاريخ طويل في إعادة استخدام المياه العادمة واستردادها. وتنظم أول لوائحها ومراسيمها منذ عام 1918. وخلال كل هذه السنوات، حدثت تغيرات، كما أن الدليل التوجيهي الحالي يرد في الجدول (1) (وكالة حماية البيئة الأمريكية 2004؛ وكالة حماية البيئة الأمريكية 2012) (USEPA 2004; USEPA 2012).

الجدول 1: معايير معالجة وكفاءة كاليفورنيا لإعادة استخدام المياه

المعالجة المطلوبة	حدود الكوليفورم الكلية (MPN/100 ml)	نوع الاستخدام
أولية	-	العلف، الألياف، والبذور المحاصيل سطحية الري من البساتين والكروم
الأكسدة والتعقيم	23	المراعي لري المناطق الطبيعية الخضراء المحميات الحيوانات للحليب المناطق الطبيعية الخضراء (ملاعب الغولف والمقابر، وما إلى ذلك)
الأكسدة والتعقيم	2.2	الري السطحي للمحاصيل الغذائية تقييدات ترفيهية محدودة
الأكسدة، التخثر، الترسيب، الفلترة (a)، والتعقيم	2.2	الري بالرش للمحاصيل الغذائية ري المناطق الطبيعية الخضراء (الحدائق، ملاعب، الخ) المرحاض وتنظيف المبال

المصطلحات: (a) عكارة النفايات السائلة التي تمت تصفيتها لا يمكن أن تتجاوز بشكل وسطي 2 وحدة عكارة خلال أي فترة 24 ساعة.

في فلوريدا، تم اعتماد «إعادة استخدام المياه المستصلحة وتطبيقات الأراضي» في عام 1989 ونقحت في عام 1990 من قبل قسم فلوريدا للتنظيم البيئي Florida Department of Environmental Regulation. يعرض الجدول (2) معايير الجودة والمعالجة، بما في ذلك التنقيحات المقترحة للاستخدام غير القابل للشرب للمياه المستصلحة، في الجدول (2) (وكالة حماية البيئة الأمريكية 2004؛ ووكالة حماية البيئة الأمريكية 2012) (USEPA 2004; USEPA 2012).

الجدول 2: معايير جودة ومعالجة فلوريدا لإعادة استخدام المياه.

نوع الاستعمال	متطلبات جودة المياه	المعالجة المطلوبة
مناطق مداخل عامة مقيدة (a)	200 Faecal Coli MPN/100 mL 20 mg/L TSS 20 mg/L BOD5	ثانوية وتعقيم
مناطق مداخل عامة (b) ري المحاصيل الغذائية (c) تنظيف مرحاض (d) الحماية من الحرائق الأغراض الجمالية السيطرة على الغبار	No detectable Faecal Coli MPN/100 mL لا يوجد عصيات برازية قولونية قابلة للكشف 5 mg/L TSS 20 mg/L BOD5	ثانوية وتعقيم وترشيع
تطبيق معدل الأراضي السريع	200 faecal coli MPN/100 mL 20 mg/L TSS 20 mg/L BOD5 12 mg/L Total N	ثانوية وتعقيم

المصطلحات:

- (a) مزارع الأحراج، الغابات، محاصيل العلف، أراضي المراعي، أو مناطق مماثلة.
 (b) المروج الخضراء السكنية، ملاعب الغولف، المقابر، والحدائق والمتنزهات، والمناطق ذات المناطق الطبيعية الخضراء، أو منصفات الطرق السريعة، أو المناطق المماثلة.
 (c) مسموح به فقط إذا كانت المحاصيل مقشرة، مقشورة أو مسلوخة، مطبوخة، أو معالجتها حرارياً قبل الاستهلاك.
 (d) يسمح سمح للمقيمين بالوصول إلى نظام أنابيب المياه.

نشرت وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA، بالاشتراك مع الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية USAID، دلائل ومبادئ توجيهية لإعادة استخدام المياه في عام 1992، لتكون بمثابة دليل لمختلف مكاتبها الإقليمية في بعض المدن الأمريكية وفي الولايات التي لا توجد فيها لوائح وقوانين حتى الآن. وتغطي مجموعة التعليمات التي وضعتها وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA لاسترداد المياه وإعادة استخدامها أنواعاً مختلفة من الاستخدامات الحضرية غير الصالحة للشرب: إعادة الاستخدام الصناعي والزراعي وغير المباشر للشرب من أجل إعادة تغذية المياه الجوفية. كما ترفع عدد مصادر إمدادات المياه السطحية.

وترد معايير وكالة حماية البيئة الأمريكية بشكل ملخص في الجدول (3) (وكالة حماية البيئة الأمريكية 2004؛ وكالة حماية البيئة الأمريكية 2012). من المهم الإشارة إلى أن المؤشر الميكروبيولوجي يشير إلى القولون الغائطي (البرازي) وليس إلى المجموع. وعلاوة على ذلك، لا توجد أسئلة بشأن مراقبة الفيروسات ومكافحتها، تماماً مثل ولاية كاليفورنيا California.

ولم تنفذ حتى الآن أي لوائح وقوانين في البرازيل. غير أن الجدول (4) يعرض قيم الدلائل والمبادئ التوجيهية البرازيلية فيما يتعلق بإعادة الاستخدام غير المقيد في المناطق الحضرية غير الصالحة للشرب، التي تشمل

الاستخدامات التي يحتمل أن تكون محفوفة بالمخاطر بالنسبة للسكان، وتتطلب مستوى عالياً من المعالجة. هذه القيم المرجعية هي من الوكالة الوطنية للمياه (ANA 2005) (National Water Agency (ANA 2005) والجمعية البرازيلية للمعايير التقنية (ABNT 1997) (Brazilian Association of Technical Standards (ABNT 1997)).

الجدول 3: معايير جودة ومعالجة وفق وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA لإعادة استخدام المياه.

المعالجة المطلوبة	متطلبات جودة المياه	نوع الاستعمال
ثانوية وترشيح وتعقيم	pH = 6 - 9 ≤ 10 mg/L BOD ₅ ≤ 2 NTU No detectable Faecal Coli MPN/100 mL 1 mg/L Cl ₂ residual (minimum)	إعادة استخدام المناطق الحضرية جميع أنواع الري المناطق الطبيعية الخضراء، (على سبيل المثال، ملاعب الغولف، الحدائق، المقابر) غسيل السيارات تنظيف المرحاض استخدام في أنظمة الحماية من الحرائق ومكيفات الهواء التجارية استخدامات أخرى مع منافذ ماثلة أو التعرض للمياه

الجدول 4: معايير الجودة البرازيلية لإعادة استخدام المياه غير الصالحة للشرب في المناطق الحضرية غير المقيدة

Variable المتغير	ANA (2005) National Water Agency الوكالة الوطنية للمياه	ABNT(1997) Brazilian Association of Technical Standards الجمعية البرازيلية للمعايير التقنية
BOD ₅ (mg/ℓ)	≤ 10,0	-
TSS (mg/ℓ)	≤ 5,0	-
Turbidity (NTU)	≤ 2,0	< 5,0
Faecal Coliforms (MPN/100mℓ)	No detectable	< 200
Cl ₂ residual (mg/ℓ)	-	0,5 - 1,5

3.2. التحليل الاقتصادي والمالي

تساعد «طريقة تكافؤ رأس المال» في اتخاذ القرارات حيث توجد بدائل متعددة تتطلب قياساً مشتركاً للأداء. وتحدث التكاليف والفوائد في نقاط مختلفة من الزمن، ولها قيم مختلفة. طرائق التحليل المالي هي الأدوات التي يمكننا من تقييم مجموع هذه التكاليف والمنافع باستخدام مقياس مشترك مثل: صافي القيمة الحالية (NPW)، صافي القيمة المستقبلية (NFW)، نسبة الفائدة إلى التكلفة (B/C)، والقيمة السنوية الموحدة المكافئة (EUAW)، ومعدل العائد الداخلي (IRR) (Ardalan 2000).

صافي القيمة الحالية (NPW) هو صافي الفرق في التكاليف والفوائد الحالية. وهناك طريقة أخرى لتقييم جدوى نظام ما أو مقارنة عدة نظم هي حساب القيمة الحالية الصافية للتكاليف والمنافع والحصول على نسبة المنافع والتكاليف (B/C). إذا كانت هذه النسبة أكبر من واحد، فإن المشروع مربح (Ardalan 2000).

هناك طريقة بسيطة للحصول على تقييم سريع للبدائل هي حساب المدة التي يستغرقها استرداد الاستثمار الأولي. يسمّى الوقت في أي وحدة تستغرقه لاسترداد الاستثمار الأولي فترة الاسترداد. في هذه الطريقة، تمّ تصميم الرسم البياني لصافي التدفق النقدي، ومن خلال الحساب البسيط، تضاف الفوائد والتكلفة عاماً بعد عام حتى يساوي المجموع الاستثمار الأولي. ومن الواضح أن فترة الاسترداد تهمل قيمة الوقت من المال. وعلاوة على ذلك، فإنه يكون دقيقاً فقط عندما يكون معدل الفائدة صفر. ومع هذا القصور، يعتبر العديد من المحللين أن هذه الطريقة وسيلة مفيدة وسهلة وسريعة للمقارنة (Ardalan 2000).

معدل العائد الداخلي هو طريقة مفيدة لمقارنة المزايا المالية للنظم البديلة، باستخدام مخطط التدفق النقدي. نحسب أن معدل الفائدة المحدد للنظام الذي يجعل صافي القيمة الحالية يساوي الصفر. ويطلق على هذا المعدل معدل العائد الداخلي (IRR) ويشار إليه بـ i^* . إذا كان هذا المعدل أعلى من الحد الأدنى الذي يرضي المستثمر أو مدير المشروع، فإن المشروع مقبول. ويسمّى هذا الحد الأدنى لمعدل الحد الأدنى المقبول للعائد (MARR). لا توجد صيغ رياضية لحساب الـ MARR. وهذا يجب أن يتم عن طريق التجربة والخطأ. لحسن الحظ، هناك البرامج الحاسوبية التي تقوم بسهولة بهذا الحساب. معظم جداول البيانات في السوق، مثل Quattro Pro، Excel، وما إلى ذلك، لديها أحكام وقواعد لحساب IRR (Ardalan 2000).

3. النتائج والمناقشة

1.3. نتائج أداء التشغيل

كانت البيانات التي تمّ تحليلها هي العامين الأخيرين من التشغيل في محطة معالجة مياه الصرف الصحي (CAGIF)، 2010 - 2011، التي تبين مستويات إزالة نحو 95 % للمغذيات التي تمثل المواد العضوية (الطلب على الأوكسجين الحيوي BOD_5 ، الطلب الأوكسجين الكيميائي COD والمواد الصلبة المعلقة TSS)، وعن العناصر المغذية النيتروجين والفوسفور، 83 % و 93 % على التوالي. كما هو مبين في الجدول (5)، فإنه يلاحظ أيضاً قدرة إزالة 6.86 و 7.80 وحدات لوجارتمية لعصيات القولون الغائطي والكوليفورم الكلي، على التوالي.

الجدول 5: الأداء حسب إجمالي عمليات الإزالة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي

(2010 - 2011) CAGIF WWTP

Variable المتغير	Value (min.) القيمة الصغرى	Value (max.) القيمة العظمى	Mean Value القيمة الوسطية
BOD_5	88.51	98.13	95.71
COD	87.64	97.76	95.21
TSS	90.00	98.64	95.52
TP	80.00	98.77	92.61
TN	28.36	94.59	83.19
TC	6.52	8.45	7.80
FC	6.32	7.52	6.86

المصطلحات:

جميع عمليات الإزالة التي تمّ التعبير عنها في نسبة مئوية %، باستثناء «الوحدات اللوغارتمية» لـ TC و FC. بعد تفسير البيانات المبينة في الجدول (5)، يمكن تصنيف محطة معالجة مياه الصرف الصحي لـ CAGIF WWTP بعد ذلك على أنها من رتبة « I »، المستوى الأقصى لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي البرازيلية Brazilian WWTP التي تمّ تكوينها كعملية معالجة ثانوية متقدمة تليها إزالة المغذيات (الفوسفور أو النيتروجين) ومع التعقيم عند أدنى حدّ من 5 وحدات لوغارتمية (5 log units) لإزالة الكوليفورم البرازي، مع معدلات الإزالة الإجمالية: BOD و TSS: 90 %، TP: 85 % أو TKN: 80 %. عندما يتمّ تصنيف المحطة بدرجة «I» يجب أن يؤخذ واحد فقط من المغذيات: إجمالي الفوسفور (TP) أو إجمالي كيد هال النيتروجين (TKN). وتسمّى هذه الفئة عادة محطة إزالة المغذيات البيولوجية (BNRP). شملت هذه الدراسة أيضاً هدف إزالة مجموع الطلب الكيميائي للأوكسجين COD بنسبة 90%، وهي نفس القيمة المستخدمة لتقييم BOD₅.

من خلال تحليل القيم القياسية لتراكيز النفايات السائلة الخارجة والمدرجة في الجداول 2، 3، 4، و5، من الواضح أن المعايير البرازيلية للوكالة الوطنية للمياه (ANA) هي الأكثر تقييداً للمتغيرات التي تمّت مراقبتها: BOD₅، TSS و الكوليفورم البرازي. والقيم المعيارية المقترحة من قبل (ANA) (2005) هي جزء من معايير ولاية فلوريدا المتوافقة مع وكالة حماية البيئة الأمريكية، ودائماً باستخدام القيم الأكثر تقييداً.

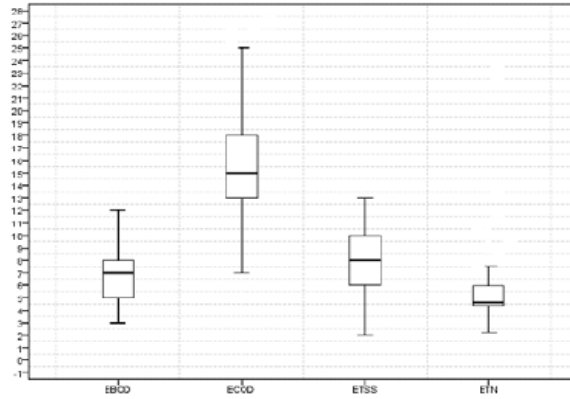
تظهر نتائج تراكيز المتغيرات التي تمّت مراقبتها في الجدول (6) بالنسبة للنفايات السائلة النهائية الخارجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP. ويبين الجدول (6) أن قيم الطلب على الأوكسجين البيولوجي أقلّ دائماً تقريباً مما توصي به ANA (2005): 10 ملغ / لتر. في حين أن متغير المواد الصلبة المعلقة TSS لا يفي القيمة الموصى بها (≥ 5 ملغ / لتر). ويبين الشكل (2) بيانات تراكيز كلٍّ من BOD₅، COD، TSS و TN للنفايات السائلة النهائية الخارجة من خلال مربع ومخطط Whisker، المعروف أيضاً باسم مخطط صندوق Box plot.

الجدول 6: تركيز النفايات السائلة النهائية الخارجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP (2010 - 2011).

Variable المتغير	Value (min.) القيمة الصغرى	Value (max.) القيمة العظمى	Mean Value القيمة الوسطية
BOD ₅	3	12	7
COD	7	26	15
TSS	4	12	8
TP	0.05	0.32	0.12
TN	2.2	21.8	5.9
TKN	1.40	21.60	5.22
TC	-	-	غير موجود
FC	-	-	غير موجود

المصطلحات

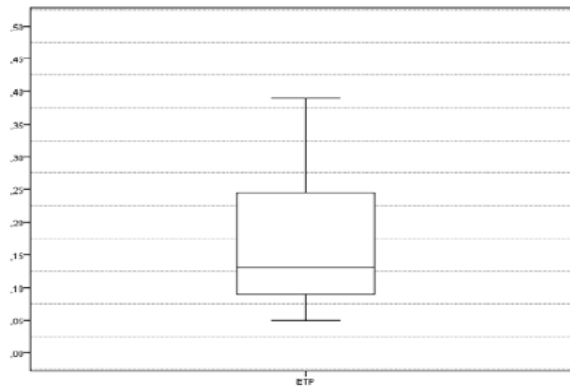
جميع التراكيز مقاسة بوحدة ملغ / لتر باستثناء الكوليفورم الغائطي الكلي TC ومجموع العصيات القولونية TC مقاسة بوحدة (MPN/100mL).



الشكل 2: مخطط وصندوق Whisker لمتغيرات النفايات السائلة النهائية الخارجة من المحطة بعد المعالجة: BOD₅, COD, TSS, TN.

المصطلحات: يشير الحرف «E» قبل الاختصارات للمتغيرات إلى أن البيانات تتعلق بالنفايات السائلة النهائية الخارجة من محطة المعالجة.

مخطط وصندوق Whisker الموجود في الشكل (3) يوضح بيانات تركيز الفوسفور الكلي (TP) الذي يُعبر عنه بـ ملغ / لتر) في النفايات السائلة النهائية الخارجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP CAGIF. ويلاحظ في الشكل (3) أن جميع القيم تقريباً أقل من 0.3 ملغ / لتر، وهي القيمة المرجعية الموصى بها من قبل CAESB إذا تمّ تصريف النفايات السائلة مباشرة إلى بحيرة Paranoa. في 11 عاماً من التشغيل المستمر لم يتمّ تصريف النفايات النهائية في بحيرة Paranoa؛ وقد تمّ دائماً إعادة استخدام جميع المياه المستصلحة في CAGIF لري المناطق الطبيعية الخضراء و / أو تنظيف المراحيض.



الشكل (3) مخطط وصندوق Whisker لمتغير النفايات السائلة النهائية الخارجة TP.

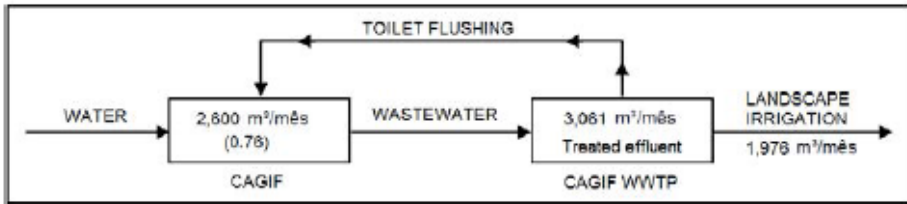
المصطلحات: يشير الحرف «E» قبل الاختصارات للمتغيرات إلى أن البيانات تتعلق بالنفائات السائلة النهائية الخارجة من محطة المعالجة.

2.3. نتائج التحليل الاقتصادي والمالي

فرناندس وآخرون (2006) Fernandes et al. (2006) أفاد أن تكاليف التنفيذ وتكاليف التشغيل والصيانة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP، والتي تبين أيضاً الجدوى الاقتصادية والمالية من خلال الأدوات التالية: نسبة كلفة-فائدة (B/C)، فترة الاسترداد (Payback)، صافي القيمة الحالية (NPW) ومعدل العائد الداخلي (IRR). وكانت سنة الأساس المستخدمة للحسابات عام 2004.

لقد أُجريت الدراسة بأكملها باستخدام العملة البرازيلية « الريال - R\$ ». وفي هذا العمل، تمّ تحويل القيم بالعملة البرازيلية إلى دولارات أمريكية، باستخدام معامل التحويل الذي كان وسطياً لعام 2004، أي من 1.00 دولار أمريكي إلى 2.65 ريال برازيلي.

يوضح الشكل (4) الموازنة المائية لعام 2004، حيث لوحظ أنه عندما تتم إعادة استخدام المياه العادمة لري المناطق الطبيعية الخضراء وتنظيف المراحيض، فإن إعادة التدوير تبلغ نحو 42 %، وهو ما يقابل إعادة الاستخدام في تنظيف المراحيض (فرناندس وآخرون، 2006) (Fernandes et al. 2006). عندما لا يتم إعادة استخدام المياه المستصلحة في تنظيف المراحيض فإن كمية جديدة من المياه يتم توفيرها كمياه الشرب من CAESB، وفي هذه الحالة نتيجة الفاتورة هي تكلفة استهلاك مياه الشرب تضاف إلى تكلفة مياه الصرف الصحي من 100 %، وهذا يعني أن حساب الانفاق مع الماء هو دائماً ضعف قيمة استهلاك المياه الصالحة للشرب. بلغ متوسط التدفق المعالج في الفترة المحسوبة 102 م³ / يوم الذي يقابل 41 % من تدفق التصميم (250 م³ / يوم).



الشكل 4: الرسم التخطيطي لموازنة المياه لـ كاجيف CAGIF مع إعادة استخدام المياه في ري المناطق الخضراء وغسيل المراحيض - سنة الأساس

2004 (فرناندس وآخرون 2006) (Fernandes et al. 2006).

يبين الجدول (7) القيم التقديرية لبناء محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP، تفضي إلى تكلفة موحدة تبلغ 157 دولاراً أمريكياً لكل نسمة. أو 785 دولاراً أمريكياً / (متر مكعب / اليوم). وتبلغ التكلفة الفردية للفرد الواحد 91 دولاراً أمريكياً / للشخص، وهي أعلى قيمة لكل وحدة تكلفة للفرد من 189 محطة معالجة مياه برازيلية تمّ بناؤها على مدى السنوات 2000 - 2001 (نونيس وآخرون 2005) (Nunes et al. 2005).

الجدول 7: تكلفة إنشاء محطة معالجة مياه الصرف الصحي
CAGIF WWTP^(a) (سنة الأساس 2004 - 1.00 دولار = 2.65 ريال برازيلي).

مرحلة البناء	الكلفة (دولار أمريكي)
البناء المدني (الأرض المنزلفة، أعمال البناء، والنوافذ الإطار الحديد والأشكال وتسرب المياه)	113,585.00
معدات (مراوح، مضخات الطرد المركزي، مضخات القياس، مضخات غاطسة، فلتر ضغط الرمال والكربون المنشط - GAC - فلتر الضغط)	68,679.00
شبكة هيدروليكية (أنابيب، وعدادات / صمامات، وصلات، وما إلى ذلك)	7,924.00
التصميم المعماري والهندسي، الإشراف والمسؤولية التقنية	6,038.00
الإجمالي	196,226.00

المصدر : (Fernandes et al. (2006)

يصف الجدول (8) مكونات تكاليف تشغيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF لعام 2004، ممّا أسفر عن قيم تبلغ 73.4 في المئة و 26.6 في المئة، كتكاليف ثابتة ومتغيرة على التوالي. تبلغ التكلفة الحجمية الناتجة عن التشغيل والصيانة 2.00 دولار أمريكي / متر مكعب، أي ما يتراوح بين أربعة وستة أضعاف من القيم المصرّح عنها لمحطات معالجة مياه الصرف الكبيرة في CAESB (2016) - 0.30 دولار أمريكي إلى 0.50 / متر مكعب. وترجع التكلفة الحجمية العالية إلى عامل المقياس، وعادة ما تميل محطات معالجة مياه الصرف الصغيرة إلى العمل بتكاليف أعلى من الوحدات الأكبر منها. بالإضافة إلى ذلك، تتأثر تكلفة الوحدة أيضاً بالاستخدام المنخفض للطاقة (41%) من محطة المعالجة وأيضاً بسبب ارتفاع التكلفة الثابتة (73.4%).

وقد تمّ حساب الجدوى الاقتصادية للمشروع بنسبة 10 % ومدة 20 سنة، النتائج مبينة في الجدول (6). ويمكن اعتبار مشروع إعادة استخدام المياه CAGIF قابلاً للتطبيق وفقاً للأساليب المستخدمة والقيم المبينة في الجدول (9).

الجدول 8: تكاليف التشغيل والصيانة (O&M) لمحطة CAGIF WWTP^(a)
(سنة الأساس 2004 - 1.00 دولار أمريكي = 2.65 ريال برازيلي).

الوصف	الكلفة (دولار أمريكي) (US\$)		
	سنوياً	شهرياً	نسبة مئوية %
1. العمل	31,000.00	2,583.33	59.7
1.1. المشغل	13,735.00	1,144.58	(41.4)
2.1. مهندس مشرف			(18.3)
2. سلع (الكهرباء)	5,790.00	482.50	7.7
3. المواد			4.9
3.1. كبريتات الألومنيوم	168.00	14.00	(0.2)
3.2. هيبوكلوريت الصوديوم	1,860.00	155.00	(2.5)
3.3. وسائل التصفية والفلتره	1,620.00	135.00	(2.5)

4. الخدمات			20.0
4.1. التحليل المختبري	10,236.00	853.00	13.7)
4.2. نقل الحمأة	3,168.00	264.00	(4.2)
4.3. التجفيف ونزع المياه	1,584.00	132.00	(2.1)
5. الصيانة			7.7
5.1. الخدمة المدنية	3,204.00	267.00	(4.3)
5.2. المعدات	2,532.00	211.00	(3.4)
الإجمالي	74,897.00	6,241.42	100

(a) المصدر : (Fernandes et al. (2006)

الجدول 9: نتائج التحليل الاقتصادي والمالي لإعادة استخدام المياه في برازيليا (البرازيل)،
CAGIF Brasilia (Brazil). الفترة التي تم تحليلها : 20 عاماً

الطرق	القيمة
B/C نسبة تكلفة-فائدة	3.27
Payback العائد المالي	ثلاث سنوات وأربعة أشهر
NPW صافي القيمة الحالية	US\$ 445,483.00 (دولار أمريكي)
IRR معدل العائد الداخلي	30%

4. الاستنتاجات

وفقاً لتحليل بيانات أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي CAGIF WWTP، يمكن استنتاج ما يأتي:

- تعتبر محطة المعالجة العملية الأكثر تقدماً وفقاً للمرجع البرازيلي (PRODES/ANA). إزالة المواد العضوية أكثر من 90 % (COD, BOD₅ TSS)، مجموع الفوسفور تصل إلى 85 %، TKN أعلى من 80 %، و 5 وحدات لوجارتمية لإزالة الكوليفورم البرازي.
- لم تستوف جودة النفايات السائلة النهائية المعالجة متطلبات المواد الصلبة المعلقة TSS، بالمقارنة مع الدلائل والمبادئ التوجيهية الصارمة لإعادة استخدام المياه لأغراض الري في المناطق الطبيعية ومياه المراحيض. البيانات التي تم تحليلها من قبل الدراسة تبين أن الإزالة البيولوجية للمواد المغذية، إلى جانب التخثر والترشيح والتطهير لمعالجة المياه المستعملة، لا يمكن أن تنتج النفايات السائلة مع TSS أقل من 5 ملغ / لتر.
- في الوقت الحاضر من الشائع استخدام عمليات فصل الغشاء (MSP) في محطات استصلاح المياه لتحسين الأداء وإنتاج المياه المستردة مع انخفاض قيم تراكيز TSS والعكارة. الترشيح الفائق (ultra filtration) هو الأكثر شيوعاً في عملية فصل الغشاء حالياً.
- أظهرت النتائج الاقتصادية أن محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTP باهظة الثمن في البناء والتشغيل والصيانة بسبب انخفاض التدفق التصميمي والاستخدام المنخفض لطاقتها الاستيعابية. ومع ذلك، أظهر مشروع إعادة استخدام المياه CAGIF الجدوى الاقتصادية والمالية من خلال الطرائق المستخدمة في هذه الدراسة.

إلى CAESB، للتشجيع الدائم لفنييه لإجراء الدراسات المتقدمة في معالجة مياه الصرف الصحي، وإلى CAGIF/ Sarah Hospital / مستشفى سارة، لتوفير الفرصة والمشاركة مباشرة في مشروع إعادة استخدام المياه لمدة 11 سنة متتالية. شكر خاص لمدة 11 عاماً من التوافق المتناغم والودّ لمشغلي محطة معالجة مياه الصرف الصحي كاجيف: جيلبرتو أوليفيرا سوزا Wagner's WWTP: Gilberto Oliveira Souza، واغز باولو دي ليمّا Paulo de Lima، ويلسون خورخي جونيور وويلسون بيريرا Wilson Jorge Junior and Wilson Pereira.

References

- Associacao Brasileira De Normas Tecnicas (ABNT). 1997. "NBR 13969: Projeto, Construção e Operação de Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes de Tanques Sépticos: procedimentos" (in Portuguese).
- Agencia Nacional De Aguas (ANA). 2005. "Conservação e Reuso da Água em Edificações" (in Portuguese). Brazil: Prol Editora Grafica.
- Ardalan, A. 2000. "Economic & Financial Analysis for Engineering & Project Management." Technomic Publication.
- Asano, Takashi and Audrey D. Levine. 1996. "Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future." *Water Science & Technology* 33:10–11. doi:10.1016/0273-1223(96)00401-5.
- Asano, Takashi, Franklin Burton, Harold L. Leverenz, Ryujiro Tsuchihashi, and George Tchobanoglous. 2007. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- CAESB. "Intranet CAESB - Custos Operacionais da ETEs da POE" (in Portuguese), Accessed January 27, 2016. <http://www.caesb.gov.br>.
- CEPIS. 1990. "Metodologías Simplificadas para la evaluación de Eutroficación en Lagos Calidos Tropicales" (in Spanish). Regional Programme CEPIS/HPE/OPS.
- Felizatto, M.R., Itonaga, L.C.H., Gobatto Cavalcanti, C. and Teixeira Pinto, M.A. 2000. "Statistical tendency analysis of Lake Paranoá limnological data (1992-1999) and its trophic state classification based on CEPIS methodology." Proceedings of SIDISA 2000: International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering, Trento, Italy.
- Felizatto, M.R. 2001. "ETE CAGIF: Projeto Integrado de Tratamento Avançado e Reuso Direto de Águas Residuárias" (in Portuguese). 21o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Anais, Joao Pessoa, Brazil.

- Fernandes, G. T., Felizatto, M. R., and Souza, M. A. A. 2006. “*Análise Econômica de Projeto Integrado de Tratamento e Reuso de Água – O caso da ETE CINR (Brasília-DF)*” (in Portuguese). VIII Simposio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Anais.
- Lahnsteiner, J. and Lempert, G. 2007. “Water management in Windhoek, Namibia.” *Water Science & Technology* 55:1–2.
- Libanio, P.A.C., Nunes, C.M., de Oliveira, E.F.C.C., Soares, S.R.A., Brito, M.C.S.O.M. 2007. “*Implantacao e Operacao de Estacoes de Tratamento de Esgotos; Experiencias no Ambito do Programa Despoluicao de Bacias Hidrograficas (PRODES)*” (in Portuguese). 24o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Anais, Belo Horizonte, Brazil.
- Lima, J.F. 1996. “*Centro de Apoio ao Grande Incapacitado Fisico – Ante Projeto*” (in Portuguese). Associacao das Pioneiras Sociais (APS).
- Nunes, C. M., Libanio, P. A. C., Ayrimoraes, S. R. 2005. “*Custos Unitarios de Implantacao de Estacoes de Tratamento de Esgotos a partir da base de dados do Programa de Despoluicao de Bacias Hidrograficas – PRODES*” (in Portuguese). 23o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Anais, Campo Grande, Brazil.
- du Pisani, P.L. 2005. “Direct Reclamation of Potable Water at Windhoek’s Goreangab Reclamation Plant.” In *Integrated Concepts in Water Recycling*, edited by S.J. Khan, A.I. Schafer, M.H. Muston.
- Randall, Clifford W., James L. Barnard, and H. David Stensel. 1992. “Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal.” In *Water Quality Management Library Volume 5*. Technomic Publication.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2004. “Guidelines for Water Reuse.” Washington D.C.: Municipal Support Division Office of Wastewater Management Office of Water.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2012. “Guidelines for Water Reuse.” Washington D.C.: Municipal Support Division Office of Wastewater Management Office of Water.
- van Haandel, and A. e Marais, G. 1999. “*O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado - Teoria e Aplicacoes para Projetos e Operacao*” (in Portuguese). Campina Grande, Brazil: Publisher of the Federal University of Paraiba.
- WPCF. 1989. “Water Reuse – Manual of Practice” (Second Edition). Alexandria, VA: Water Pollution Control Federation.
- WRC. 1984. “Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes.” Pretoria, South Africa: Water Research Commission.

القسم الثاني :

الجوانب الصحية والبيئية

الحالة 6 : ممارسات الري الجيدة في مياه الصرف الصحي المروية في الوردانين، (Ouardanine, Tunisia تونس)

Olfa Mahjoub ¹, Mohamed Mekada ², and Najet Gharbi ³

الملخص

تعود إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة (TWW) للري في منطقة الوردانين إلى التسعينيات من القرن العشرين. في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، طالب المزارعون بتركيب جهاز ترشيح في منفذ محطة المعالجة لإزالة المواد الصلبة المعلقة. وفي وقت لاحق، قامت الحكومة ببناء حوض للتخزين وتركيب مجموعة من المرشحات ذات الجريانات من الأسفل إلى الأعلى للمنطقة المروية. في الحقول المفتوحة، تم استبدال الري السطحي لأشجار الفاكهة بالري بالتنقيط لتقليل استهلاك المياه من جهة، وتقليل الاتصال بين الممارسين والتربة والفواكه مع مياه الصرف المعالجة TWW من جهة أخرى. ويحظى الري المقيد بالاحترام الكامل من خلال زراعة المحاصيل التي تسمح بها اللوائح والقوانين، مثل الأعلاف وأشجار الفاكهة. ومن أجل الاستفادة من المغذيات المتوفرة في مياه الصرف المعالجة، تم إنشاء مشتل لإنتاج أنواع مختلفة من النباتات التي تمثل فائدة اقتصادية قيمة. وعلى الرغم من التقدم الكبير، فإن المزارعين غير قادرين على تقدير العبء المغذي الذي جلبته مياه الصرف المعالجة حتى الآن. وفيما يتعلق بالجوانب الصحية، فإن التطعيم (التلقيح) لا تضمنه بانتظام خدمات الصحة العامة ولا من جانب المزارعين أنفسهم؛ وهذا الأخير يشير إلى أنهم قد أتقنوا الوضع مع عدم وجود تلوث عرضي. من الصعب احترام وقف الري قبل الحصاد، حيث إن ثمار الدراق تطالب بشدة بالمياه في موسم النمو المتأخر. ونتيجة لذلك، يتم ضمان التعامل المناسب بعد الحصاد من الفواكه لحماية المستهلكين. كما تسعى دور خدمات الإرشاد إلى أن يكون أكثر كفاءة.

الكلمات المفتاحية: ممارسات الري الجيدة، المواد الصلبة الحيوية، الترشيح، المحاصيل المقيدة.

¹ Olfa Mahjoub ; National Research Institute for Rural Engineering, Water, and Forestry (INRGREF), Tunisia; e-mail: olfama@gmail.com

² Mohamed Mekada; Agricultural Development Group (GDA) Ouardanine, Tunisia

³ Najet Gharbi; Department of Rural Engineering and Water Use; Ministry of Agriculture, Water Resources, and Fishery (DG/GREE), Tunisia

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. المقدمة

تزداد ندرة الموارد المائية التقليدية. وقد أدى تغير المناخ والتلوث الناجم عن الأنشطة البشرية إلى خفض كبير في كمية المياه المتاحة. وفي ظل هذه الظروف، يتعين على البلدان القاحلة وشبه القاحلة أن تعتمد وتعول على موارد المياه غير التقليدية مصدراً محتملاً لري المحاصيل.

تعتبر المياه المستعملة (مياه الصرف الصحي) في جميع أنحاء العالم مورداً بديلاً. ويظل التعامل مع هذا المورد دقيقاً وعرضاً للفشل. يتطلب تطبيق ممارسات محددة، خاصة عندما تكون المعالجة ضعيفة أو غير فعالة في تخفيض حمولة التلوث إلى مستوى مقبول يضمن إعادة الاستخدام الآمنة.

يمكن للتدابير القائمة على الزراعة أن تؤدي دوراً مهماً في الحد من المخاطر المتعلقة بإعادة استخدام المياه العادمة، خاصة في البلدان التي تكون فيها المعالجة غير مركزية أو ذات كفاءة منخفضة. تعتبر مشاركة الجمهور في إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة (TWW) مع المستخدمين النهائيين ممارسة جيدة لأنها قد تساعد على تقديم خدمة أفضل (كيرايوتا وآخرون 2010) (Keraiya et al. 2010). يمكن أن تكون الجوانب الأخرى أيضاً ملامح الممارسات الجيدة مثل الدور الذي تؤديه المؤسسات وتطبيق القوانين واللوائح، عندما تكون موجودة.

بدأت تونس تجربة إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW لري بساتين الحمضيات في سقرا La Soukra، في شمال شرق البلاد في أوائل الستينيات. وفي الثمانينات، أظهرت نتائج البحوث احتمال تلويث التربة والمحاصيل بعد إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW. وقد وضعت لوائح وقوانين وطنية تدعو إلى إعادة استخدام تقييدية في عام 1989 مستوحاة من الدلائل والمبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية (World Health Organization (WHO) ومنظمة الأغذية والزراعة (Food and Agriculture Organization (FAO). وقد اقتصر الملوثات الكيميائية والبيولوجية على ضمان إعادة الاستخدام الآمن (غوارديولا-كلارامونتي وآخرون 2012) (Guardiola-Claramonte et al. 2012). وتتطلب المواصفات التي حددها القانون في عام 1995 تنفيذ الممارسات والخبرات الجيدة لحماية صحة المزارعين والمزارعين في الميدان. ولم تُنشر حتى الآن أية مبادئ توجيهية رسمية بشأن الممارسات الجيدة.

في تونس، تستخدم النفايات السائلة المعالجة الخارجة لـ 26 محطة من أصل 110 محطات لمعالجة المياه المستعملة (WWTP) في ري الأراضي الزراعية.

يوجد حالياً نحو 28 مخططاً مريوياً و 17 فقط في الواقع قيد التشغيل. يبلغ متوسط معدل الزيادة والعمل نحو 46% على مدى السنوات العشر الماضية (دغري 2014) (DGGREE 2014). ومن ثم، فإن بعض المناطق المروية تحاول تلبية متطلبات إعادة الاستخدام الآمن في الزراعة. واحدة من أكثر المناطق المروية ازدهاراً تقع في منطقة الوردانين Ouardanine حيث تم تحويل المناطق الطبيعية الخضراء على مدى 18 عاماً بفضل إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة TWW. وقد تم تحديد مياه الصرف الصحي المعالجة TWW في الوردانين Ouardanine باعتبارها المورد الوحيد للمياه البديلة في المنطقة، مما يعيق السكان في التكيف مع الظروف السائدة لضمان أمنهم الغذائي. تعتبر منطقة الوردانين Ouardanine قصة نجاح من حيث إعادة استخدام المياه العادمة في تونس. ومع ذلك، فإن عدداً قليلاً جداً من المنشورات أو التي لم تقدم أي منها قد أدخلت حالة الدراسة إلى مجتمعات البحث والتطوير (R&D) الكبيرة لعرض نجاحات التحسينات وفرضها.

الهدف العام من هذه الحالة هو تسليط الضوء على الممارسات الجيدة وراء نجاح إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW في الزراعة في المناطق المروية في الوردانين Ouardanine. وسوف ينصب التركيز على

دراسة حالة مزارع، يُزرع الدراق فيها لأكثر من 15 عاماً. وسيتمّ أيضاً إبراز الدروس المستفادة والتحسينات المحتملة. وتستند هذه الحالة إلى مراجعة الأدبيات والمراجع والمقابلة مع المزارعين (رئيس مجموعة التنمية الزراعية) وأصحاب المصلحة، بالإضافة إلى الملاحظات الميدانية.

2. السياق العام والخلفية العلمية

تقع منطقة الوردانين Ouardanine على بعد 130 كم من العاصمة تونس. في محافظة المنستير Monastir، في الجزء الشرقي المركزي من تونس الشكل (1). والمنطقة ذات مناخ شبه جاف، وبالتالي فهي تعاني من عجز في المياه يقدر بـ 1000 ملم / سنة. أما الحوض المائي السهلي Sahline-Ouardadine تحت المنطقة فهو ملحي (4.3 غ / لتر) والمفرط في الاستثمار 110 % (CNEA 2008)، فهو لم يعد مستخدماً للري. إلى جانب ذلك، فإن المياه من سدّ نهبانا Nebhana المستخدمة حصراً لري الأراضي الزراعية في وسط تونس غير متوفرة لمنطقة الوردانين Ouardanine.

يستند النشاط الزراعي في المنطقة إلى الزراعة الجافة. وشملت نسبة 97 في المئة من البساتين أشجار الزيتون المروية باستخدام نظام المسكات meskat، وهو نظام حصاد مياه الأمطار التقليدي. وتعتبر إعادة استخدام المياه العادمة هي المورد المائي البديل الوحيد لدعم الزراعة المروية المكثفة (فالي بودو 2003) (Vally Puddu 2003)، خاصة في منطقة الوردانين Ouardanine.



الشكل 1: موقع تونس Tunisia، محافظة المنستير Monastir، ومنطقة الوردانين Ouardanine.

من وجهة نظر بيئية، شهدت الوردانين Ouardanine من خلال خبرتها الطويلة آثار تصريف مياه المجاري غير المعالجة في مجرى وادي غيلتا Oued Guelta، ممّا أدى إلى تدهور المنطقة الريفية (هيدرو-بلانت، 2002) (Hydro-plante, 2002) وفي إطار الطلب الملّح من المزارعين، بدأت المؤسسة الوطنية للصرف الصحي (ONAS) National Sanitation Utility، بوصفها منتجاً للمياه العادمة المعالجة في تونس، باستصلاح النفايات السائلة الخارجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي (WWTP) في الوردانين Ouardanine. وبناءً على طلب المزارعين، تعاقدت وزارة الزراعة والموارد المائية على دراسة لتخطيط ري 50 هكتاراً من الأراضي الزراعية لمجموعة من 40 مزارعاً (CRDA 2015).

وقد تمّ إنشاء المنطقة المروية في الوردانين Ouardanine في عام 1994 وبدأ الري في عام 1997. وتمتدّ المساحة المروية حالياً على نحو 75 هكتاراً. وتتألف المحاصيل المروية بالنفايات السائلة الثانوية (المعالجة بيولوجياً) أساساً من أشجار مثمرة تتكون من نحو 34 هكتاراً من الدراق والمان والتين والتفاح وأشجار الفواكه ذات الثمار الصغيرة (الزعرور وغيرها...). كما تزرع محاصيل العلف مثل البرسيم والشعير (CRDA 2015). في وقت التركيب، كانت منطقة الوردانين Ouardanine تستهلك 40 % من مياه الصرف المعالجة TWW المنتجة (نحو 4000 م³). الآن تستهلك حوالي 140.000 م³ من المياه / السنة (2014 - 2015). وتنسب إدارة المياه إلى جمعية التنمية الزراعية (DGGREE 2015) (Agricultural Development Association (GDA)).

3. محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الوردانين Ouardanine

لقد تمّ بناء محطة WWTP Ouardanine الوردانين في عام 1993، حيث جمعت النفايات السائلة من 17000 مواطن، ولديها قدرة معالجة 1000 م³ / يوم (الأشكال 2 و 3) وهي تعمل مع نظام معالجة من نوع برك الأكسدة. تعالج محطة معالجة مياه الصرف الصحي 882 م³ / يوم في الصيف بسعة قصوى تبلغ 1010 م³ / يوم (DGGREE 2015). ويبلغ عدد سكان الوردانين Ouardanine حالياً 21814 نسمة أي ما يعادل نحو 6312 أسرة (المعهد الوطني للإحصاء 2015)، وهو ما يفسر إعادة تأهيله المقبل في عام 2016.



الشكل 2 : محطة معالجة مياه الصرف الصحي الوردانين
(غوغل إيرث 2015) (WWTP Ouardanine (Google Earth 2015))



الشكل 3 : المرسب الثانوي في محطة الوردانين لمعالجة مياه الصرف الصحي WWTP Ouardanine
(بتصريح من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

تقع محطة معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة وادي الجلطة Oued El Guelta، بالقرب من المنطقة المروية، وهي ميزة في حد ذاتها. والواقع أن إحدى العوائق التي تمّ تحديدها أمام تطوير إعادة الاستخدام في تونس هي بعد الأراضي الزراعية من محطات معالجة المياه العادمة WWTPs (DGGREE 2014). المياه العادمة هي أساساً من أصل محلي مع عدد قليل من الصناعات (مسالخ وصناعة العطور معاصر الزيتون ومحطات غسيل السيارات وغيرها) التي تسببت في حالات الفشل في محطة المعالجة، يليه انخفاض في نوعية مياه الصرف المعالجة TWW وجودتها التي تمّ تسليمها للري (DGGREE 2015).

تنتج محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في الوردانين Ouardanine نحو 350 م³ / يوم من الحمأة الرطبة، التي عادةً ما تنشر على حقول التجفيف الشكل (4). لا يسمح باستخدام المواد الصلبة الحيوية في الزراعة رسمياً رغم أن المعايير الوطنية كانت مقررّة ومعتترف بها رسمياً في عام 2002 ((NT 106.20 (2002)). ويجري نشر المواد الصلبة الحيوية على التربة الزراعية على نطاق تجريبي.



الشكل 4 : حمأة المجاري في حقول التجفيف في محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في الوردانين Ouardanine
(بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

تعتبر إدارة المواد الصلبة الحيوية قضية مهمة للبيئة حيث إن استخدامها كسماد للأراضي الزراعية غير مسموح به على نطاق واسع حتى الآن. وبدلاً من ذلك، تصرف الكميات المنتجة من المواد الصلبة البيولوجية في مجرى وادي الجلطة Oued El Guelta الشكل (5) والمنطقة المحيطة بمرفق محطة معالجة مياه الصرف WWTP، ممّا يسبب مشاكل في التصريف (drainage). وقد أدت الزيادة في مستوى المسطحات المائية ومنسوبها في السنوات 2002-2004 (Vally Puddu 2003) إلى الإهمال الكامل وموت لأشجار الفاكهة. ومن المقرر تجريف الوحول والطيني والرواسب للمجرى خلال السنوات القادمة.



الشكل 5 : تصريف مياه الصرف الصحي الخام والمعالجة وحمأة الصرف الصحي في مجرى وادي الجلطة
Oued El Guelta
(بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

4. الممارسات الجيدة لإعادة الاستخدام في الزراعة

لقد وُضعت المبادئ والدلائل التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO المنشورة في عام 2006 لأغراض الحماية الصحية من خلال تقديم عدة تدابير ومفاهيم (منظمة الصحة العالمية WHO 2006). في تونس، لم يترجم مديرو المياه والخدمات الإرشادية هذه المبادئ التوجيهية إلى إجراءات بسيطة وعملية لتنفيذها في الميدان وعلى أرض الواقع. وترى منظمة الصحة العالمية المبادئ التوجيهية المتعلقة بإعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في الزراعة أن ممارسات الري الجيدة تعتمد على كمية المياه، ونوعية المياه، وخصائص التربة، واختيار المحاصيل، وتقنيات الري، والتزجيج، والممارسات الإدارية (منظمة الصحة العالمية WHO 2006). وسينظر في هذه الجوانب أدناه لوصف الممارسات الجيدة المطبقة في منطقة Ouardanine المروية.

1.4. جودة المياه العادمة المعالجة

تحدد نوعية الموارد المائية الاستخدامات اللاحقة والمخاطر المتأصلة والكامنة. وبالنظر إلى أنواع إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW المطبقة في البلدان النامية، يوصى بتحليل الكمية والنوعية من التطبيقات المحتملة لإعادة الاستخدام ومتطلبات الجودة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2005) (UNEP 2005) من أجل ضمان قبول المستخدمين النهائيين من ناحية، وتخفيف المخاطر على الممارسين والبيئة، من ناحية أخرى. في تونس، كانت محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs موجودة قبل إنشاء المناطق المروية. ونتيجة لذلك، فإن نوعية مياه الصرف المعالجة TWW التي توفر لري المحاصيل قد تفي أو لا تفي بمتطلبات الجودة لإعادة الاستخدام في اتجاه المصب، مما ينطوي على مخاطر مختلفة على المستخدمين النهائيين والمستهلكين، إذا

لم تتم إدارتها بشكل جيد. ويمكن تحسين جودة مياه الصرف المعالجة TWW بعد المعالجة الثانوية التقليدية من خلال عدة خيارات تعرف باسم «عدم-المعالجة» «non-treatment»، تطبق عادة في البلدان التي لا تتوفر فيها المعالجة (منظمة الصحة العالمية WHO 2006).

تنتج محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في الوردانين Ouardanine مياه الصرف المعالجة البيولوجية الثانوية التي يسمح باستخدامها حصراً للري المقيد استناداً إلى (كود) قانون المياه والمراسيم ذات الصلة والمعايير الوطنية. وأظهرت مراقبة جودة مياه الصرف المعالجة TWW في الوردانين Ouardanine في أثناء برنامج البحوث والسلطات الإقليمية أن الملوحة متوسطة (1.7-1.9 غ / لتر)، مما يعني تقييداً طفيفاً إلى معتدل للري (Ayers and Westcot 1985). أما البارامترات الكيميائية والبيولوجية فكلها تقريباً ضمن المعايير التونسية لإعادة الاستخدام باستثناء الزيادة في إجمالي المواد الصلبة المعلقة (41.7 ملغ / لتر مقابل 30 ملغ / لتر) وطلب الأكسجين الكيميائي (92 ملغ O_2 / لتر مقابل 90 ملغ / لتر) (البحري، محجوب، 2007؛ CRDA 2015) (Bahri and Mahjoub, 2007; CRDA 2015).

ومع ذلك، فقد تمّ قياس قيمة الـ COD التي تجاوزت العتبة بشكل كبير في عام 2014 (DGGREE 2014). إلى جانب ذلك، أبلغت CRDA عن قيم عالية من المواد الصلبة العالقة (CRDA 2015). كما أن معاصر الزيتون والمسالخ التي تصرف النفايات السائلة في شبكة الصرف الصحي قد تتسبب أيضاً في تحزّي الخلل في عملية المعالجة وتقليل جودة مياه الصرف الصحي المعالجة TWW (وجود الريش والمواد الزيتية وغيرها). إن تراكيز المعادن الثقيلة في مياه الصرف المعالجة TWW أقل من قيم العتبة التي حددها المعايير الوطنية لإعادة الاستخدام (البحري ومحجوب، 2007؛ دغري 2015) (Bahri and Mahjoub, 2007; DGGREE 2015). وقد تُسجل بعض العناصر في بعض الأحيان تراكيز عالية، مثل الكروم (Cr) الذي تمّ اكتشافه في حدود 7.3 ملغ / لتر في عام 2003، وربما يكون ذلك نتيجة لتصريف صناعات النسيج. تمّ العثور على تراكيز عالية من الكروم (Cr)، تصل إلى 76 ملغ / كغ من المادة الجافة، في التربة المخصصة مع المواد الصلبة الحيوية، بالمقارنة مع القيم التي أوصت بها المفوضية الأوروبية EU (60 ملغ / كغ المادة الجافة) (Berglund and Claesson 2010). ومن الواضح أن محطات معالجة المياه العادمة WWTP لا تبدو فعالة بقدر ما يعتقد في توفير نوعية مياه الصرف المعالجة TWW التي تفي بالمعايير وتطلعات المزارعين. تحتاج مياه الصرف المعالجة إلى مزيد من التحسينات لتكون مناسبة للري. ولتحقيق ذلك، تمّ تركيب محطة ترشيح وحوض تخزين ويرد وصفهما في الأسفل.

2.4. حوض التخزين

يتيح تركيب خزان مياه ذي جريان باتجاه الأسفل من محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP لجمع النفايات السائلة الخارجة والمعالجة إمكانية تخزين المياه لفترات السنة التي لا تتوفر فيها مياه الصرف السائلة من أجل تلبية احتياجات المحاصيل من المياه. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يتميز بكونه علاجاً إضافياً يحتمل أن يحسن نوعية مياه الصرف المعالجة TWW عن طريق تقليص الحمولة الممرضة والحد منها (Jimenez et al. 2010).

وفي الوردانين Ouardanine، تمّ إنشاء حوض للتخزين بسعة 500 متر مكعب في اتجاه المنبع، يبلغ ارتفاعه نحو 5 أمتار، لضمان التوزيع بالإسالة لمياه الصرف المعالجة TWW في المناطق المروية. وقد أدى انخفاض نوعية مياه الصرف المعالجة TWW المنقولة إلى الحوض إلى ترسيب الحمأة وتكوّنها وانسداد شبكات الري. وقد شكّل

حوض تجريف الوحول والرواسب المستخدمة إشكالية أدت إلى إزعاج بيئي. في عام 2007، تم إنشاء حوض للتخزين يبلغ 1000 متر مكعب من قبل CRDA بهدف تنظيم كمية مياه الصرف المعالجة TWW الموزعة على المنطقة المروية وتكييفها مع متطلبات المحاصيل (الشكل 6). وكان الهدف من هذا الحوض أيضاً تحسين نوعية مياه الصرف المعالجة TWW عن طريق السماح بترسيب المواد الصلبة العالقة وتكدسها وتوقف حياة الكائنات الدقيقة. يتم ضمان صيانة الحوض وتنظيفه ومحطة الضخ من قبل CRDA مرة واحدة في السنة (2015 CRDA).



الشكل 6: حوض تخزين 1000 م³ وصيانة محطة الضخ في الوردانين Ouardanine (بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

3.4. الترشيح

من المسلم به أن ترشيح النفايات السائلة البيولوجية الثانوية يسمح بإزالة الجسيمات المتبقية ومسببات الأمراض مثل بيض الديدان الطفيلية والكيسات البروتوزونية protozoan cysts (Jimenez 2007). ويمكن اعتماد أنواع مختلفة من الترشيح لإزالة نحو 1 وحدة لوغاريتمية من البكتيريا الممرضة والفيروسات.

في الوردانين Ouardanine، كانت النفايات السائلة في مخرج محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP تظهر دائماً المواد الصلبة العالقة العائمة التي تنفذ من خزان الترسيب. وقد عانى المزارعون من وجود هذه المواد التي تسببت في انسداد فتحات الري بالتنقيط. ونتيجة لذلك، تخلى بعضهم عن الري بالتنقيط أو أزالوا الفوهات. ونتيجة لذلك أيضاً، لم يتحقق الهدف الأولي للحد من العوامل الممرضة وتعطل توفير المياه بسبب كمية أكبر من المياه التي يتم إصالتها إلى النباتات.

ولتقليل حمولة الجسيمات العالقة، تم وضع شبكة في المخرج لإنجاز الترشيح الإجمالي (الشكل 7). يتم تحميل عمال محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTP عبء استبدال هذا الجهاز وصيانته. وقد تم تثبيت هذا النظام منذ عام 2003. حالياً، يتم استبدال الشبكة من قبل منحل قابل للإزالة مضاعف مع شبكة معدنية مثبتة في عام 2004 (الشكل 7).

ولتحسين نوعية مياه الصرف المعالجة TWW من ناحية أخرى، تم تركيب مجموعة من المرشحات التي تشتمل على فلتر حبيبي، ومرشح رملي، ومرشح غربال منخلي مركب من قبل CRDA عند مخرج حوض التخزين (الشكل 8). من

أجل تجنب فشل نظام الترشيح، والمواد المستخدمة للترشيح (الرمل) يجب أن تتغير بانتظام، كلّ ثلاث سنوات. لقد حدث تلوث ببيض الديدان الطفيلية خلال موسم النمو في عام 2015 وأدى إلى توقف إمدادات مياه الري لمدة 25 يوماً، ممّا أثر بشكل كبير على جدول برنامج الري. وهذا يدلّ على أن الترشيح لا ينبغي أن يعتبر عملية معالجة في حدّ ذاته، وينبغي أن يرافقه عملية معالجة فعالة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTP التي تليها. وفي حالة وقوع حادث مماثل، سيطلب المزارعون حلولاً بديلةً لتخزين أحجام أكبر حيث لا تتأثر إنتاجية المحاصيل ونوعيتها. اقترح المزارعون تركيب مرشح أقلّ مسامية، على الرغم من تسليم 50% من التدفق الأولي، للحدّ من خطر مرور المُمْرِضات. وكان رئيس GDA على استعداد لتعديل جدول الري الخاص به إلى نظام الترشيح الجديد من خلال تحديد الأولويات على أساس نوع المحاصيل والنباتات المروية: الرمان والشتلات البذرية والخراس اليابعة في المشاتل.



الشكل 7: شبكة مركبة في مخرج محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في الوردانين Ouardanine في عام 2003 (يسار) والمنخل الجديد، والشبكة التي تم تركيبها في عام 2004 (يمين) (بإذن من محجوب، 2003، 2015) (with permission of O. Mahjoub, 2003, 2015).



الشكل 8: مجموعة المرشحات في مخرج حوض التخزين (بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

4.4. تقييد المحاصيل في إعادة الاستخدام

يعتبر تقييد المحاصيل أحد تدابير الحماية الصحية الواجب تطبيقها على المزارع للحد من مخاطر التلوث بالنسبة للمستهلكين المكشوفين والمعرضين للخطر، خاصة بالنسبة للمحاصيل التي تؤكل نيئة (منظمة الصحة العالمية 2006) (WHO 2006). وفي تونس، يشير قرار وزير الزراعة في عام 1994 بوضوح إلى المحاصيل المسموح بها للري بالمياه المعالجة TWW. وهي أساساً أشجار الفاكهة والحبوب والأعلاف والمحاصيل الصناعية. كانت المحاصيل المزروعة في الوردانين Ouardanine هي أشجار الزيتون حصراً. وأدى إدخال مياه الصرف المعالجة TWW في المنطقة إلى تعديل كبير في نمط الزراعة والحالة الاجتماعية والاقتصادية. أما المحاصيل المزروعة حالياً فهي الحبوب (الشعير: 2 هكتار)، المحاصيل العلفية (البرسيم: 1 هكتار)، أشجار الزيتون (الزيتون: 6 هكتار من زيتون المائدة و 15 هكتاراً من زيت الزيتون)، وأشجار الفاكهة (34 هكتاراً) (CRDA 2015). هذه الأخيرة هي في معظمها الدراق وغيرها من الفواكه مثل الرمان والتين والتفاح. المزارع الذي قابلناه هو رئيس GDA. ولديه مساحة مزروعة من 6 هكتارات تتكون من: 1 هكتار من الشعير و 1 هكتار من البرسيم المروي من خلال الري المحسن، 2 هكتار من الرمان و 2 هكتار من الخوخ والدراق (الشكل 9). وفي فترة الشتاء، يُروى العلف فقط، بينما يبدو في الصيف أن كمية مياه الصرف المعالجة TWW الناتجة كافية لري المنطقة بأكملها، بشرط عدم حدوث انقطاع.



الشكل 9: أشجار الدراق المروية في منطقة الوردانين Ouardanine في الشتاء (يسار) والصيف (يمين)
(بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

في تونس، تسمح القوانين بـري المحاصيل الصناعية من مياه الصرف المعالجة TWW. إنَّ Pelargonium هي شجيرات زهرية حمراء وردية وبيضاء ذات زيوت عطرية، تسمى أكثر شيوعاً نبات إبرة الراعي (Geranium)، وهي شجيرة تزرع كمحصول بين الصفوف بين أشجار الرمان (الشكل 10). وتُزرع Pelargonium في المنطقة المروية من مياه الصرف الصحي من الوردانين Ouardanine. يُزرع هذا النبات من أجل أوراقه الشجرية وزهوره، التي تستخدم للتقطير وإنتاج العطور. يتم إنتاج المقطر والزيوت الأساسية أيضاً لأغراض العلاج والطهي. للامتثال لقواعد إعادة استخدام مياه الصرف الصحي TWW الآمنة، يستخدم المزارع الري بالتنقيط لتجنب

تلوث أوراق الشجر. حيث من المعلن أنه يبيعه في باقات في السوق المحلية ويشيد بالقيمة الاقتصادية العالية. ومع ذلك، ينبغي إجراء بعض التحاليل الميكروبيولوجية لضمان حتمية عدم تلوث أوراق الشجر جرثومياً.



الشكل 10: نباتات *Pelargonium graveolens* تمت كمحاصيل بين الصفوف مع الرمان (بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

إلى جانب النباتات *Pelargonium*، تزرع الورود المقطوفة في البيوت المحمية المروية باستخدام الري بالتنقيط. كما تنشأ الورود وأشجار الزيتون والنباتات الأخرى في المشاتل (الأشكال 11 و 12).



الشكل 11: الورود المقطوفة المزروعة في البيوت المحمية والمروية بمياه الصرف المعالجة TWW باستخدام الري بالتنقيط (بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).



الشكل 12: النباتات في المشاتل المروية بمياه الصرف المعالجة TWW (هما في ذلك الزيتون والتفاح والورود وغيرها) (بإذن من محجوب 2015) (with permission of O. Mahjoub 2015).

5.4. طرائق الري والجدولة

تعتبر طرائق الري وسيلة فعالة لمنع التلوث الكيميائي والبيولوجي للتربة والمحاصيل والمستخدمين النهائيين وتدابير الحماية الصحية. قامت منظمة الصحة العالمية WHO بتصنيف أساليب الري كخيارات «عدم المعاملة» (منظمة الصحة العالمية 2006) (WHO 2006).

في الوردانين Ouardanine، يبلغ طول شبكة الري التي تم تركيبها في المنطقة 2.3 كم. وقد تم تجهيز المنطقة بصمامات الري ومعداتها. وتروى محاصيل الحبوب والأعلاف باستخدام طريقة سطحية محسنة. وخلال أكثر من 15 عاماً، اعتمد المزارعون الذين أجريت معهم المقابلات نظم الري المختلفة، بما في ذلك في الآونة الأخيرة الري بنظام التنقيط المتكامل إصال 4 لتر / ساعة. ويعتقد المزارع أنه من المهم جداً إعطاء كمية مناسبة من المياه للأشجار لضمان نوعية وإنتاجية جيدة من الدراق. تشجع الحكومة المزارعين الذين يحرصون على تبني تقنيات توفير المياه من خلال الحوافز والمكافآت. ويمكن دعم ما يصل إلى 60% من التكلفة الاستثمارية لنظام الري من خلال التحول من تقنيات الري التقليدية مثل الري بالمياه ضمن أخاديد إلى طرائق أكثر توفير المياه مثل الري بالرش أو الري بالتنقيط.

6.4. تخصيص المياه

تتولى GDA منطقة Ouardanine مسؤولية إدارة مياه الري في المناطق المروية. كما أنها تتبع المياه وتحافظ على البنية التحتية لـ 36 مزارعاً. يتم توزيع كمية المياه الموزعة حسب حجم الأرض وعدد الأشجار وعمرها. وفي حالة نقص المياه، تزود المزارع والمشاتل الصغيرة وفق الأولوية. ومع ذلك، قد يتم تجاوز احتياجات المياه، وخاصة قبل فترة الحصاد، لأن المزارعين يعتقدون أن ثماراً تطلب المزيد من المياه (CRDA 2015).

5. استخدام المواد الصلبة الحيوية في الزراعة

لقد تم تقييم فرص استخدام المواد الصلبة الحيوية في الزراعة في تونس في أواخر الثمانينيات، وكان استخدامها

سماداً في الزراعة في التسعينيات (Bahri and Houmane, 1987; Bahri, 1995). وبسبب القلق والمخاوف الصحية، توقفت وزارة الصحة العامة في عام 1998 عن استخدام المواد الصلبة الحيوية في الزراعة إلى حين وضع المعايير الوطنية في عام 2002. ومنذ ذلك الحين أصبح تصريف المواد الصلبة الحيوية قضية بيئية صعبة. وقد أدى عدم المتابعة و / أو التنفيذ للاستخدام إلى تراكم الحمأة في المناطق المحيطة بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs. في الوقت الراهن، يقتصر تطبيق المواد الصلبة الحيوية على الأراضي الزراعية على قطع تجريبية تجري كمشاريع تجريبية نموذجية.

إن منطقة الوردانين Ouardanine تحتوي على الطين الرملي والطيني، أو التربة الرملية الطينية. ويخمن المزارع أن التربة رديئة تتطلب تعديلاً عضوياً لتحسين خصوبتها. إن ارتفاع أسعار السماد العضوي يجعل من المواد الصلبة الحيوية بديلاً جيداً للأسمدة العضوية. وفي الوردانين Ouardanine، استخدمت المواد الصلبة الحيوية كأسمدة منذ عام 2009 لإعادة تأهيل التربة تحت سطح الأرض. ويجري حالياً تعديل مساحة قدرها هكتار واحد في إطار الرصد المنتظم لوزارة الزراعة باعتباره أحد المشاريع التوضيحية. يتم استخدام المواد الصلبة الحيوية وفقاً للمعايير الوطنية. ومن المتوقع أن تمتد الكمية التقديرية البالغة 6 أطنان للهكتار على مدى 5 سنوات. ويظل المزارعون مهتمين بالتأثير المشترك لتطبيق مياه الصرف المعالجة TWW والمواد الصلبة الحيوية من حيث كمية الأسمدة والتأثيرات على التربة والمحصول وجودة الثمار.

6. المجالات المحتملة للتحسين

1.6. إعادة تدوير المغذيات واستردادها

أصبحت الأسمدة باهظة الثمن، مما أدى إلى ارتفاع تكاليف الإنتاج. وتتميز إعادة استخدام مياه الصرف الصحي بتوفير قدر كبير من المغذيات التي استخدمت لفترة طويلة في البلدان النامية في جميع أنحاء العالم. وفي الوردانين Ouardanine، يقوم المزارعون بالري باستخدام مياه الصرف المعالجة TWW، وتقديم جرعات المياه التي تعتمد فقط على احتياجات المحاصيل من المياه، مع تجاهل حمولة التسميد. وعند القيام بذلك، فإنهم لا يستفيدون من المغذيات التي جلبتها مياه الصرف المعالجة TWW. وعادة ما يكون الفوسفور موجوداً بتركيز منخفض، مما يتطلب تسميداً معدنياً إضافياً. في حين أن النيتروجين موجود في مثل هذه التراكيز العالية، قد تكون المياه الجوفية ملوثة إذا لم يتم معالجة مياه الصرف المعالجة بشكل جيد TWW. وحتى الآن، لا يملك المزارعون في الوردانين Ouardanine أدلة أو أدوات لتقييم كمية الأسمدة الموجودة في مياه الصرف المعالجة TWW. ولذلك، هناك حاجة إلى مزيد من الدلائل التوجيهية في هذا الصدد.

2.6. مراقبة جودة مياه الصرف المعالجة TWW

استناداً إلى اللوائح الوطنية، ينبغي إجراء رصد منتظم لنوعية مياه الصرف الصحي المعالجة TWW المستخدمة في الري والتربة على نحو أكثر تكراراً لضمان إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW على نحو أكثر أماناً.

3.6. جدولة الري

لا يزال المزارع يبالغ في تقدير احتياجات المياه من المحاصيل من أجل ضمان نوعية وإنتاجية جيدة. ويتعين إجراء المزيد من البحوث لتحسين استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW من حيث المياه والأسمدة وتراكم الملح.

4.6. حماية الصحة والرقابة الطبية

التطعيم (التلقيح) هو إجراء وقائي يخفف من خطر التلوث مع مسببات الأمراض. وفي الوردانين Ouardanine، كشفت تعليقات المزارعين وسجلاتهم لموسم النمو في عام 2014/2015 (DGGREE 2015) أنه لا توجد مراقبة صحية ولا تطعيم لموظفي الإدارة الإقليمية للتنمية الزراعية (CRDA Ouardanine) أو للمزارعين في جمعية المزارعين.

وأعلن المزارعون أنه لم تحدث في الماضي أية حوادث كبيرة بسبب التلوث الميكروبيولوجي. وتقع مسؤولية مراقبة صحة المزارعين على عاتق قسم الصحة والنظافة وحماية البيئة (DHMP) التابعة لوزارة الصحة العامة المسؤولة عن مراقبة الجودة الميكروبيولوجية للنفايات السائلة، بما في ذلك المحاصيل. لقد تبين أن التطعيم لا يُنفذ بانتظام في المنطقة لمنع الأمراض ذات الصلة بالمرض الميكروبيولوجي. وأكد المزارعون أنه لم تحدث أية مشاكل صحية في المنطقة بفضل جميع التدابير الوقائية الأخرى.

5.6. إيقاف الري قبل الحصاد

يمكن لوقف الري أن يقلل من حمولة مسببات الأمراض التي يحتمل أن تُنقل إلى التربة وإلى المنتجات المروية من خلال المساهمة في القضاء على البكتيريا والفيروسات. وفقاً للمعايير التونسية لإعادة الاستخدام والمواصفات ذات الصلة، يجب على المزارعين التوقف عن الري قبل أسبوعين من حصاد الفواكه أو المحاصيل. واستناداً إلى تعليقات المزارعين، فإن التأخير بين الري والحصاد لا يمكن احترامه من أجل العلف ولا من أجل الدراق. أما بالنسبة للأعلاف التي يتم حصادها للري، فقد تبين أن 99% من الفيروسات يمكن القضاء عليها بعد يومين من التعرض لأشعة الشمس (Feigin et al. 1991). والتي يمكن أن تمنع تلوث الحيوانات. وفي الوقت نفسه، من المهم للمزارع أن يروي بشكل مكثف خلال الفترة المتأخرة من موسم النمو من أجل تحسين نوعية الفاكهة والإنتاجية؛ ولا يبدو أن يكون الري متوقفاً. قد ينطوي ذلك على ارتفاع استهلاك المياه والمخاطر الصحية. وينبغي توفير دليل توجيهي أفضل للمزارعين بشأن هذا الجانب.

6.6. دور دائرة الإرشاد

لا يبدو أن خدمة الإرشاد توفر وصولاً كافياً للمزارعين في المنطقة. ويقال إن التحسينات التي لوحظت في المنطقة هي نتائج مبادرات المزارعين الخاصة. وينبغي تعزيز دور خدمات الإرشاد من أجل الري الأكثر أماناً. كما ينبغي إقامة المزيد من الثقة في العلاقة بين المزارعين وأصحاب المصلحة المحليين.

7.6. تسويق الفاكهة

يتم بيع الفواكه المنتجة في الوردانين Ouardanine في الأسواق المحلية والإقليمية دون تمييز من الفواكه المروية بالمياه التقليدية. ومع ذلك، يبدو أن المستهلكين المحليين يدركون الدراق المروي مع مياه الصرف المعالجة TWW من الوردانين Ouardanine. وينبغي أن يحجم عزوف بعض المستهلكين عن الفواكه المروية بمياه الصرف المعالجة TWW، المعبر عنها على أنها «عامل يوك» «yuck factor» عن طريق زيادة الوعي وإجراء الممارسات والتطبيقات الجيدة في الميدان عند الحصاد والتعبئة وما إلى ذلك. ويتحدث أصحاب المصلحة عن إنشاء نظام تتبع للمنتجات وضمان سلامتها، من ناحية، وحماية صحة العملاء، من ناحية أخرى.

7. الاستنتاجات والتوصيات

تعتبر منطقة الوردانين Ouardanine المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة TWW حالة دراسة ناجحة في تونس. إن تطبيق الممارسات الجيدة لإعادة الاستخدام الآمن في الزراعة هو وراء هذا الإنجاز. وقد أعادت إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW في هذا المجال عدداً من الفوائد لسكان الريف وللمنطقة على مستويات مختلفة (بيئية واقتصادية وصحية، وما إلى ذلك). وقد حدّد ذلك من تصريف مياه الصرف الصحي الخام في المسطحات المائية والموارد الطبيعية المحمية. كما أنه مفيد لتنمية النشاط الاقتصادي الذي يحسّن نوعية حياة السكان ويسهم في ازدهار المنطقة.

وكان تطبيق الممارسات والدلائل الجيدة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة TWW في منطقة الوردانين Ouardanine عملاً ثميناً وأصيلاً. ومع ذلك، يلتمس عدد من التحسينات لتطوير النشاط الزراعي مع مراعاة الآثار المختلفة للمشروع.

ويبحث رئيس GDA، كممثل لمجتمع المزارعين في المنطقة، عن المزيد من التوعية، ويوصي باتخاذ إجراءات عديدة تشمل على سبيل المثال لا الحصر ما يأتي:

- إدخال نظام الري تحت سطح الأرض (تحت سطحي) للري غير المقيد ليتطور نحو لوائح وقوانين أكثر تساهلاً ويشمل مجموعة أكبر من المحاصيل.

- إبرام اتفاق بين جميع أصحاب المصلحة على المستوى المحلي (منتج مياه الصرف الصحي المعالجة TWW، المدير، والمستخدم النهائي) لضمان استمرار إمدادات مياه الصرف المعالجة TWW خلال فترة الري ومنع أي تغير قد يؤثر على الإنتاج.

- أمثلة الري وتسميد المحاصيل، وتطوير مؤشرات كفاءة المياه، والمغذيات، واستهلاك المياه فيما يتعلق بنوعية المياه العادمة المعالجة TWW والمواد الصلبة الحيوية والتربة.

8. شكر وتقدير

يوذ المؤلفون أن يشكروا السادة: محمود شرف الدين، مفيد زرقا، ونيل مجدوب من CRDA Monastir على إغناء المناقشات، والدعم في إنجاز هذا العمل.

المراجع

References

- Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1985. "Water Quality for Agriculture." *FAO Irrigation and Drainage Paper* 29:174 Rev. 1, Rome.
- Bahri, A. and B. Houmane. 1987. "Effet de l'Épandage des Eaux Usées Traitées et des Boues Résiduelles sur les Caractéristiques d'un Sol Sableux de Tunisie" (in French). *Science du Sol* 25(4):267-78.
- Bahri, A. 1995. "Environmental impacts of marginal waters and sewage sludge use in Tunisia." Paper presented at Pan-African Workshop on *African Women in Science and Engineering - A vision for the 21st Century*, Lund University, Sweden.
- Bahri, A. and O. Mahjoub. 2007. "Projet PISEAU I. Action de recherche: Utilisation agricole

des boues residuaires. Elaboration des norms” (in French). Final Report. Institution de la Recherche et des Etudes Superieures Agricoles, Institut National de Recherche en Genie Rural, Eaux et Forets, Tunisie.

Berglund, K. and H. Claesson. 2010. “A Risk Assessment of Reusing Wastewater on Agricultural Soils - A Case Study on Heavy Metal Contamination of Peach Trees in Ouardanine, Tunisia.” MSc dissertation, Report No TVVR - 10/5004 . ISSN: 1101-9824. Lund University, Sweden.

CNEA. 2008. “*Etude sur l’Etat de la Desertification pour une Gestion Durable des Ressources Naturelles en Tunisie*” (in French). Report on the third phase. Last Accessed: February 2008, http://www.chm-biodiv.nat.tn/sites/default/files/rapport_desertif.pdf.

CRDA. 2015. “Experience of the GDA of Ouardanine 2 in the Reuse of treated Wastewater” (in Arabic).

DGGREE. 2014. “*Evaluation de la Situation de la Reutilisation des Eaux Usees en Agriculture*” (in Arabic). Unpublished report.

DGGREE. 2015. “*Rapport sur la Situation des Perimetres Irrigues par les Eaux Usees Traitees*” (in French). Campagne 2014/2015.

Guardiola-Claramonte M., T. Sato, R. Choukr-Allah and M. Qadir. 2012. “Wastewater production, treatment and reuse around the Mediterranean Region: Current status and main drivers.” In *Integrated Water Resources Management in the Mediterranean Region: Dialogue Towards New Strategy*, edited by Redouane Choukr-Allah, Ragab Ragab, and Rafael Rodriguez-Clemente, 139–174.

Hydro-plante. 2002. “*Etude d’Assainissement et de Recalibrage de l’Oued El Guelta*” (in French). Dossier d’execution, Tunisia.

Jimenez, B. 2007. “Helminth ova control in sludge: A review.” *Water Science & Technology* 56(9): 147–55.

Jimenez, B., D. Mara, R. Carr and F. Brissaud. 2010. “Wastewater Treatment for Pathogen Removal and Nutrient Conservation: Suitable Systems for Use in Developing Countries.” In *Wastewater Irrigation and Health. Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*, edited by P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood and A. Bahri, 149–170. Ottawa, Canada: IWMI and IDCR.

Keraita, B., F. Konradsen, and P. Drechsel. 2010. “Farm-Based Measures for Reducing Microbiological Health Risks for Consumers from Informal Wastewater-Irrigated Agriculture.” In *Wastewater Irrigation and Health. Assessing and Mitigating Risk in Low- Income Countries*, edited by P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood and A. Bahri, 189–208. Ottawa, Canada: IWMI and IDCR.

National Institute of Statistics. 2015. “Census of population and housing in 2014, Tunisia.

<http://www.ins.nat.tn/indexen.php> (accessed January 15, 2016).

United Nations Environment Programme (UNEP). 2005. *Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management*. Osaka, Japan: UNEP and Global Environment Centre Foundation.

Vally Puddu, M. 2003. “*Diagnostic Technico-economique de la Reutilisation des Eaux usees Traitees dans le Perimetre de Ouardanine (Monastir-Tunisia)*” (in French). Tunisia: INRGRE.

World Health Organization (WHO). 2006. *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume II: Wastewater in Agriculture*. Geneva, Switzerland: WHOUNEP- FAO.

الحالة 7: آثار أكثر من 100 سنة من الري بمياه الصرف الصحي في مدينة مكسيكو Mexico في وادي مزكيتال Mezquital Valley (المكسيك) (Mexico)

Christina Siebe, Maria Chapela-Lara, Mario Cayetano-Salazar,
Blanca Prado ¹, and Jan Siemens ²

ملخص

يعدّ وادي مزكيتال Mezquital مثلاً فريداً على إعادة استخدام المياه العادمة نظراً لحجمها (90000 هكتار) والمدة الزمنية (أكثر من 100 سنة). في هذه المنطقة تمّ جمع العديد من البيانات من قبل العديد من المجموعات البحثية. الهدف من هذه الحالة هو تلخيص الدروس الرئيسة المستفادة. لقد تمّ تطوير نظام معالجة التربة والمياه الجوفية هذا نتيجة لتصريف الحوض المغلق للمكسيك Mexico لتجنب الفيضانات في مكسيكو سيتي Mexico City. وقد تمّت استجابةً لارتفاع عدد سكان المدينة وحجم تصريف مياه الصرف الصحي. وتعتبر المياه العادمة مصدراً قيماً في المنطقة شبه القاحلة شمال مكسيكو سيتي Mexico City، ويمكن إعادة استخدامها من أجل إنتاج المحاصيل العلفية والذرة بشكل أساسي، ممّا يحقّق إنتاجية أعلى من المتوسط. وقد قمنا بالتحقيق في آثار الري بالمياه العادمة بواسطة أخذ العينات من الحقول المروية لفترات مختلفة من الزمن، ومن خلال مراقبة متكررة لأحداث الري الواحدة. تؤكّد النتائج أن الري بالمياه العادمة يؤدي إلى إعادة تغذية المياه الجوفية بمقدار 25 متراً مكعباً في الثانية (2.16 مليون م³ في اليوم). وعلى الرغم من زيادة متوسط إنتاجية الذرة من 2 طن في الهكتار في إطار الزراعة البعلية إلى 10 طن في الهكتار، فإن النيتروجين الزائد يطبق على الحقول ويترشح ككثرات (تصل إلى 108 كيلوغرام في الهكتار الواحد تحت الذرة) أو ينبعث كأكسيد النيتروجين (تصل حتى 0.34 mg N m⁻² hour⁻¹ في حقول الذرة). وتتراكم المعادن الثقيلة في أول 20 سم من التربة؛ ومع ذلك فإن توافرها للنباتات صغير نظراً لقلوية قيم الرقم الهيدروجيني pH ومحتويات المواد العضوية المتوسطة والكبيرة للتربة. كما تراكمت المركبات الصيدلانية في التربة العلوية، كما لوحظ وجود زيادة في وجود جينات مقاومة للمضادات الحيوية. وعلاوة على ذلك، أجريت دراسة وبائية في هذا المجال في التسعينيات، ممّا يشير إلى انتشار أكبر للعدوى بالديدان الطفيلية بين الأطفال في المناطق المروية مقارنة بمنطقة مجاورة تحت الزراعة البعلية. حتى عام 2015، تمّ تطبيق المياه العادمة غير المعالجة فقط على الحقول، ولكن في عام 2016 ستبدأ محطة كبيرة لمعالجة مياه الصرف الصحي في العمل.

الكلمات المفتاحية: الري، الصرف الصحي غير المعالج، التلوث البيئي، الإنتاجية، صحة الإنسان.

¹ Christina Siebe ✉ • Maria Chapela-Lara • Mario Cayetano-Salazar • Blanca Prado
Institute of Geology, National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico
e-mail : siebe@unam.mx

² Jan Siemens; Institute of Soil Science and Soil Conservation, Justus Liebig University
Giessen, Giessen, Germany

In : Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). *Safe Use of Wastewater in Agriculture : Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016*

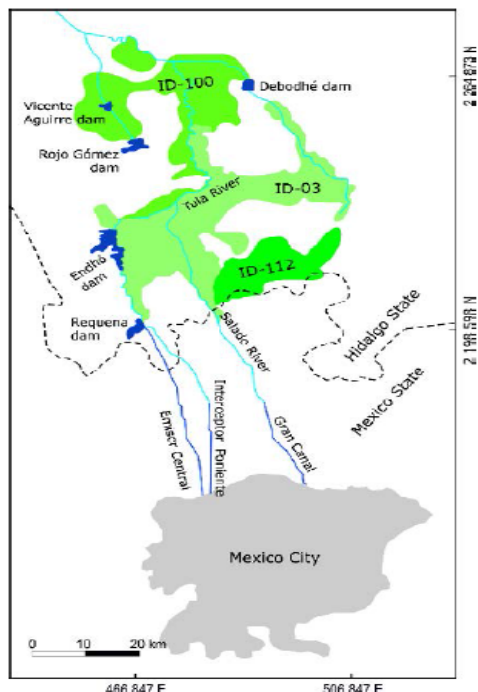
ولذلك سنكون قادرين على رصد التغيرات في مياه الصرف الصحي، التربة وجودة المحاصيل وتقييم أداء المعالجة وآثاره على الصحة العامة والعمليات البيئية. إن إعدادنا التجريبي وأرشفة العينات يجعل من الممكن التحقيق في الآثار طويلة الأجل للري بمياه الصرف الصحي، ويؤدي إلى معلومات قوية لاستخلاص مبادئ ودلائل توجيهية للاستخدام الآمن للمياه المستعملة في الزراعة.

1. المقدمة

وادي مزكيتال Mezquital Valley، يقع على بعد 80 كم شمال منطقة العاصمة مكسيكو سيتي Mexico City، هو مثال على نظام منخفض التكلفة لمعالجة التربة والمياه الجوفية، حيث يستقبل 52 متراً مكعباً في الثانية (4.49 مليون متر مكعب في اليوم) من مياه المجاري غير المعالجة والجريان السطحي يتم جمعها داخل الحوض المغلق للمكسيك من أجل استخدامها لري الأراضي الزراعية (الشكل 1). في بداية القرن العشرين تم استخدام المياه المصرفة أولاً لتوليد الطاقة الكهربائية في مرفقين داخل الوادي. وقد سمح استخدامها للري رسمياً بمصب هذه المرافق في عام 1912. ومع زيادة التفريغ زاد سطح الأراضي المروية ليصل إلى ما يقرب من 90000 هكتار يستفيد منه أكثر من 46000 شخص في ثلاث مناطق ري ذات اسم ورقم تعريفي (ID)، وهي ID-100، ID-003 Tula، و ID-112 Ajacuba و Alfajayucan (Conagua 2010) (الشكل 1).

المحاصيل الرئيسية هي البرسيم والذرة، ولكن أيضاً تُنتج الشوفان والعلف واللفت، عشب الراي ryegrass (وهو عشب يزرع على نطاق واسع كأعلاف) وبعض الخضروات مثل الكوسا والقرنبيط والفلفل الحار. ويتجاوز متوسط محصول الذرة الذي تم تحقيقه من 10 طن في الهكتار المتوسطات الوطنية التي تم الحصول عليها في إطار الزراعة البعلية (2 طن في الهكتار) والزراعة المروية في المياه الجوفية (8.6 طن في الهكتار) (Conagua 2010).

الشكل 1: موقع وادي مزكيتال Mezquital Valley، شمال مكسيكو سيتي Mexico City، ومناطق الري الثلاث: ID-100 Alfajayucan، ID-003 Tula، و ID-112 Ajacuba حيث تستخدم مياه الصرف الصحي غير المعالجة من مكسيكو سيتي لمتوسط التراكيز والانحرافات المعيارية للمعادن الثقيلة والمعدنية المتميزة (N = 9) (after Guedron et al., 2014) ومدى تركيز المركبات الصيدلانية (N = 12) (after Siemens et al., 2008) تم قياسها في مياه الصرف الصحي التي يتم تصريفها في وادي مزكيتال Mezquital Valley التي تقع في المنطقة UTM 14Q وفق نظام مركاتور العالمي.



مياه الصرف الصحي هي في الغالب من أصل محلي منزلي، تملك محتوىً متوسطاً من المواد الصلبة العالقة من 295 ملغ في اللتر و 264 ملغ في اللتر، والطلب على الأكسجين الكيميائي من 527 و 475 ملغ في اللتر، والطلب على الأكسجين البيوكيميائي من 240 و 180 ملغ في اللتر، على التوالي، في المواسم الجافة والماطرة (Jimenez and Landa 1998; Jimenez and Chavez 1997).

لها تراكيز كبيرة من مجموع المواد العضوية (TOC: 35-188 ملغ في اللتر)، والنيتروجين الكلي (38-37 ملغ في اللتر)، والفوسفور (2.7 - 3 ملغ في اللتر)، ولكن تحتوي أيضاً على أملاح قابلة للذوبان (بشكل أساسي NaCl و NaHCO_3) ولديها الناقلية الكهربائية ($1.4 - 1.7 \text{ mS cm}^{-1}$) (ميكروسيمنس في السنتيمتر). ومما يبعث على القلق الشديد تراكيز كبيرة من القولون البرازي (بين 10^5 إلى 10^8 وحدات تشكيل مستعمرة، 100/CFU مل)، العقدية البرازية (10^2 إلى 10^6 100/CFU مل)، كلوستريديوم المبطية *Clostridium perfringens* (10^3 إلى 10^6 100/CFU مل)، البكتيريا السوماتيك somatic bacteriophages (10^2 إلى 10^6 صفيحة تشكيل وحدات، PFU / مل)، جيارديا (طفيلي) *Giardia spp.* (450 إلى 10000 cysts كيسة في اللتر)، وبويض الديدان الطفيلية (1.8 إلى 23 بيضة في اللتر) (Navarro et al., 2015). ويضيف كل حدث ري أيضاً المعادن الثقيلة والمركبات الصيدلانية في تراكيز ضئيلة للتربة (Guedron et al. 2014; Gibson et al. 2007; Siemens et al. 2008) (الجدول 1).

وقد أُجريت عدة تحقيقات في هذه المنطقة لتحليل آثار الري بالمياه العادمة. وتهدف هذه الحالة إلى وصف النظام الحالي لمعالجة التربة والمياه الجوفية، واستعراض النتائج الرئيسة لمختلف المجموعات البحثية فيما يتعلق بالتربة والمحاصيل وجودة المياه الجوفية والصحة العامة في المنطقة.

يتمّ التركيز بشكل خاص على النتائج التي تمّ الحصول عليها من خلال حقول العينات المروية لفترات مختلفة من الزمن على مدى القرن الماضي، ممّا يجعل من الممكن ليس فقط فهم الآثار على المدى الطويل من هذه الممارسة والخبرة، ولكن أيضاً المساعدة في التنبؤ بسلوك التربة وخصائصها والمحاصيل المختلفة في المستقبل. بالإضافة إلى ذلك، يتمّ الإبلاغ والإعلان عن نتائج الرصد لأحداث الري المنفردة، ممّا يساعد على فهم عمل نظام معالجة التربة والمياه الجوفية الحالي واستخلاص التوصيات لتحسين ممارسات الإدارة الحالية والتخفيف من الأضرار البيئية. وفي نهاية الحالة يناقش التأثير المحتمل لمحطة جديدة لمعالجة المياه العادمة.

2. وصف النظام الحالي لمعالجة طبقات المياه الجوفية

يتميز وادي مزكيتال Mezquital Valley بمناخ معتدل شبه جاف، حيث يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي 700 ملم في الجنوب وأقلّ من 400 ملم في الشمال. تحدث معظم الأمطار بين شهري حزيران وأيلول. متوسط التبخر السنوي هو 1800 ملم. قبل نظام الري الحالي بالمياه العادمة كانت تنتج الذرة تحت خطر كبير من الجفاف خلال موسم الأمطار ومع عوائد سنوية متوسطة تقلّ عن 2 طن في الهكتار. كما تمّ زراعة القمح والشعير والفول، ولكن معظم الأراضي كانت تستخدم أراضي عشبية واسعة لتغذية الأغنام (Melville 1990).

الجدول 1: متوسط التراكيز والانحرافات المعيارية للمعادن الثقيلة وأشباه المعادن (N = 9) (after Siemens et al. 2008) ومجال تركيز المركبات الصيدلانية (N = 12) (after Siemens et al. 2008) المقاسة في مياه الصرف الصحي التي يتم تصريفها في وادي مزيكيتال Mezquital Valley.

العنصر / المادة	العلاج التشريحي التصنيف الكيميائي مجموعة (ATC2) في منظمة الصحة العالمية WHO	التركيز في مياه الصرف الصحي
Al (mg L ⁻¹)	-	0.82 +- 0.03
As (mg L ⁻¹)	-	0.013 +- 0.007
Cd (mg L ⁻¹)	-	0.001 +- 0.001
Cr (mg L ⁻¹)	-	0.015 +- 0.001
Cu (mg L ⁻¹)	-	0.038 +- 0.002
Mn (mg L ⁻¹)	-	0.37 +- 0.01
Ni (mg L ⁻¹)	-	0.019 +- 0.003
Pb (mg L ⁻¹)	-	0.14 +- 0.01
Se (mg L ⁻¹)	-	0.005 +- 0.006
Zn (mg L ⁻¹)	-	0.80 +- 0.01
THg* (ng L ⁻¹)	-	363.4 +- 18.1
Trimetoprim (μg L ⁻¹)	مضاد للجراثيم للاستخدام المنهجي	0.11 – 0.32
Clarithromycin (μg L ⁻¹)		0.07 – 0.12
Erythromycin (μg L ⁻¹)		<0.01 – 0.08
Metoprolol (μg L ⁻¹)	عوامل خطر بيتا	0.21 – 3.10
Ibuprofen (μg L ⁻¹)	M1 المضادة للالتهابات ومنتجات مضادة للروماتيزم.	0.22 – 0.54
Naproxen (μg L ⁻¹)		2.84 – 6.74
Diclofenac (μg L ⁻¹)		0.25 – 0.55
Sulfasalazine (μg L ⁻¹)		0.29 – 0.44
Bezafibrate (μg L ⁻¹)	C10 عوامل مصل الحد من الدهون	0.03 – 0.10
Gemfibrozil (μg L ⁻¹)		<0.01 – 0.22

THg* : مجموع جزيئات الزئبق.

يتم ري محاصيل العلف عن طريق التدفق الفائض، وينجز ري الذرة ضمن أخطاد. حيث يجعل من الممكن ضمان الإنتاجية خلال موسم الأمطار، وزراعة المحاصيل في موسم الجفاف. نظام استخدام الأراضي هو تناوب البرسيم - الذرة، حيث يزرع البرسيم لمدة 3 إلى 5 سنوات ثم تليه سنتان بالتناوب بين الذرة في دورة الربيع والصيف ومحصول ثانٍ (مثل شوفان العلف والشعير أو عشب الراي ryegrass للعلف) في دورة الخريف والشتاء. في نهاية المطاف يتم استبدال الذرة باللفت أو الخضار والكوسا والقرنبيط أو الفلفل الحار. وبما أن متوسط درجة الحرارة الشهرية لا يتذبذب أكثر من 2 درجة مئوية على مدار السنة (16 - 18 درجة مئوية)، يمكن قطع البرسيم كل 45 يوماً أي 10 مرات في السنة تسفر عن متوسط 100 طن في الهكتار من الكتلة الحيوية الطرية سنوياً (25 طناً في الهكتار كتلة جافة؛ Siebe 1998, Conagua 2010).

لقد تشكلت التربة في قاع السفوح piedmonts الموسعة وقاع الوادي على الرواسب الغرينية والطينية والغروية في العصر الرباعي، التي تغطي الرواسب والأحجار المسامية البركانية من أواخر المرحلة الثالثة. ويمكن العثور على ثلاثة أنواع رئيسية من التربة: Leptosols، Phaeozems و Vertisols (Siebe 1994a). إن التربة من النوع Leptosols لديها طمي الطين ومركب وحلي طيني، وتقتصر في العمق إلى أقل من 25 سم من الطين البركاني، وفي نهاية المطاف من قبل طبقة الكربونات المخصب الكالسيوم (caliche). أما النوع Phaeozems فهي التربة الطينية الصلصالية الرغوية من العمق المتوسط (25 إلى 70 سم) في حين أن النوع Vertisols عموماً تكون التربة أعمق من (100-120 سم) ولها أكثر من نسيج غني الطين (الجدول 2). كل أنواع التربة هذه لديها pH محايدة إلى درجة pH قلوية قليلاً، والقدرات المتوسطة والكبيرة لتبادل الكاتيون ومحتويات المواد العضوية المتوسطة (الجدول 2). وعلى وجه الخصوص فإن Phaeozems و Vertisols، اللتين تغطيان أكثر من 65% من الوادي، لهما قدرة كبيرة على التصفية والعزل (Siebe 1994a).

توجد في وادي مزكيتال Mezquital Valley طبقة مياه جوفية من ثلاثة مستويات، بينما يتم إعادة شحن المياه الأقرب إلى السطح وتغذيتها إلى أكثر من 90 في المئة من المياه العادمة المتسربة والنافذة إليها وفقاً لدراسات النظائر (Payne, 1975). قدرت كمية المياه الجوفية الاصطناعية بـ 25 م³ في الثانية (2.16 مليون م³ في اليوم) (المسح الجيولوجي البريطاني 1998) (British Geological Survey 1998).

قام Jimenez و Chavez (2004) بتحليل كفاءة إزالة الملوثات من مياه الري عن طريق تسلسلها عبر التربة في ثلاثة آبار مختلفة. إن معالجة طبقة المياه الجوفية للتربة فعالة بشكل خاص في إزالة مسببات الأمراض (أكثر من 99 % إزالة) مثل Salmonella spp.، E. hystolytica cysts، Shigella spp.، وبويضات الديدان الطفيلية والكوليفورم البرازي. كما إنه يزيل 100 % من الايكسيلين، إيثيل بنزين، رباعي كلورو الإيثيلين، والكلوروفورم.

الجدول 2: خصائص الوسطية للتربة في وادي مزكيتال Mezquital Valley.

نوع التربة	العمق (سم)	الطين (%)	pH	المواد العضوية (%)	CEC (cmolckg ⁻¹)
Leptosol	23	23	7.5	3.8	20 – 32
Phaeozem	65	32	7.3	3.6	16 – 30
Vertisol	100	44	7.1	4.4	25 – 45

Source: Siebe 1994a

تتم إزالة مجموع الجسيمات العالقة وخفض الطلب على الأكسجين البيوكيميائي بأكثر من 97 %. تتم إزالة المعادن الثقيلة مثل الحديد، المنغنيز والكروم بنسبة 88 %، في حين تتم إزالة النحاس، الرصاص، الزرنيخ و الزئبق بنسبة 52 إلى 80 %. ومع ذلك، تم العثور على أملاح قابلة للذوبان، وخاصة النترات، ترشح من التربة وتصل إلى المياه الجوفية (1.5 إلى 77 ملغ في اللتر من النترات؛ Jimenez and Chavez, 2004). وفي الآونة الأخيرة تم قياس العديد من الملوثات الناشئة في المياه العادمة (الجدول 1)، وخاصة المركبات الحمضية مثل نابروكسين naproxen، ايبوبروفين ibuprofen، ديكلوفيناك diclofenac وسولفاسالازين sulfasalazine، وجدت أيضاً في المياه الجوفية الضحلة بتركيز تتراوح بين 0.21 - 2.0، 0.51 - 0.6، 0.13 - 0.04، و 0.31 - 0.78 ميكروغرام في اللتر على التوالي (سيمنس وآخرون 2008) (Siemens et al. 2008).

تفي المياه الجوفية المُعاد شحنها بالمتوسط على المستوى الإقليمي لمعايير نوعية المياه المكسيكية، وتستخدم بعد المعالجة بالكلور لتوفير المياه لأكثر من 700000 نسمة في المنطقة. ومع ذلك، فإن التراكيز الكلية والبرازية القولونية، الصوديوم، النترات، الزئبق والرصاص تتجاوز الحدود القصوى المسموح بها في بعض الآبار وفي فترات أخذ العينات محددة على نحو ما أفاد به العديد من المؤلفين، حيث ينبغي النظر في الترشيح الغشائي من أجل توطئتها واعتمادها (Jimenez and Chavez 2004).

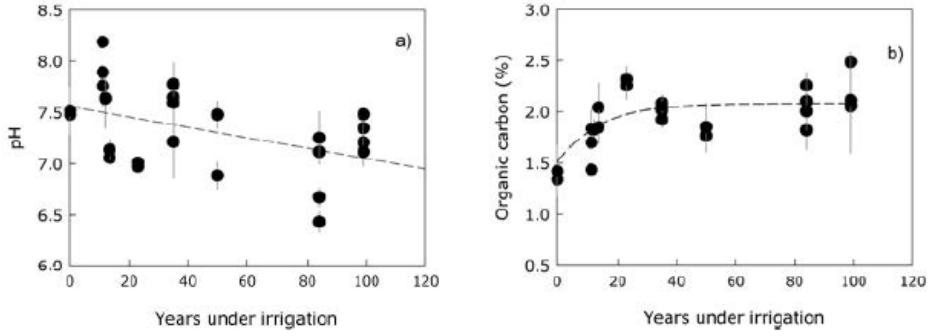
1.2. الآثار على الصحة العامة

في التسعينيات، أجرى المعهد المكسيكي للصحة العامة (INSP) بالتعاون مع مدرسة الطب الاستوائي المداري في لندن دراسة وبائية في المنطقة لتحقيق في انتشار العدوى المعوية بين أُسر عمال المزارع (Blumenthal 1998; Cifuentes 2001; Blumenthal et al. 2000; et al. 1991-92). واعتبرت الدراسة أُسر عمال المزارع في المجتمعات المحلية داخل وادي مزكيتال Mezquital Valley التي تستخدم مياه الصرف الصحي للري وأُسر عمال المزارع في المناطق الزراعية البعلية للمقارنة. من بين الآثار على صحة الإنسان، تمثل العدوى بالديدان المعوية أعلى خطر من التعرض لمياه الصرف الصحي الخام. ويرتبط الري بالمياه العادمة أيضاً بارتفاع خطر الإصابة بالعدوى الهستوليتيكية *Entamoeba histolytica* لدى الأطفال، في حين أن انتشار عدوى الجهاز الهضمي الأخرى، مثل تلك التي تنتجها الغارديا لامبليا *Gardia lamblia*، حيث كانت مرتبطة جزئياً فقط بالتعرض لمياه الصرف الصحي غير المعالجة، مع سوء النظافة والصحة المتعلقة بظروف الفقر في المناطق غير المروية في المنطقة أيضاً لتحديد انتشار العدوى المعوية (Cifuentes et al. 1991, Cifuentes et al. 2000, Siebe and Cifuentes 1995).

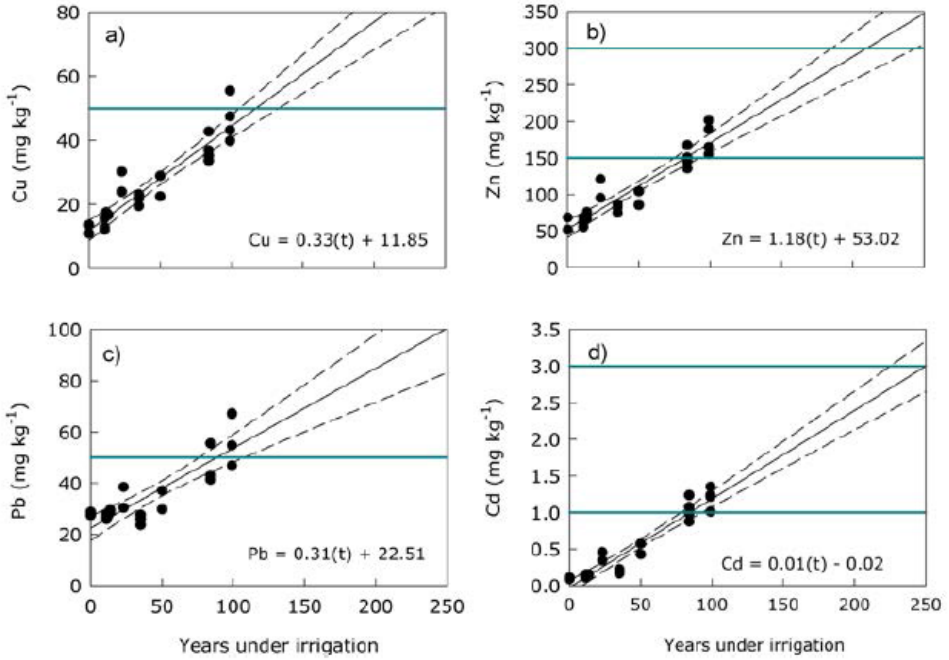
2.2. الآثار على التربة وجودة المحاصيل

كما ذكر من قبل، فإن التربة في المنطقة لديها قدرة امتزاز جيدة جداً، نظراً لوضعها الصلصالي إلى نسيجها الطيني، ومحتواها من المواد العضوية المتوسطة والكبيرة ومحايدتها لقيم درجة pH القلوية قليلاً. وأظهرت عينات من الحقول التي تم ريها على مدى فترات مختلفة من الزمن، وهي 0 و 12 و 23 و 35 و 50 و 84 و 99 سنة، أن الري بالمياه المستعملة يزيد من محتويات المادة العضوية من التربة بأكثر من 60 في المئة خلال الثلاثين إلى الأربعين عاماً، حتى يتم التوصل إلى توازن جديد بين زيادة إنتاج الكتلة الحيوية وتحللها (الشكل 2a). وتؤدي زيادة المادة العضوية إلى زيادة قدرة الامتصاص لهذه التربة إلى أبعد من ذلك، حيث إن المادة العضوية للتربة الدبالية لديها القدرة على امتصاص ليس فقط العناصر الغذائية فحسب، ولكن أيضاً الملوثات.

تميل قيم الرقم الهيدروجيني pH إلى الانخفاض قليلاً مع مرور الوقت بنحو وحدة واحدة من الرقم الهيدروجيني، على الرغم من أن ميل نموذج الانحدار المعدل ليس كبيراً، مما يدل على قدرة توازن لهذه التربة ومع ذلك، فإن الانخفاض في الرقم الهيدروجيني pH يمكن أن يُعزى إلى البروتونات التي تنتجها النترجة من نيتروجين الأمونيا الداخل إلى التربة مع مياه الصرف الصحي، كما أظهر رصد العديد من حالات الري (Hernandez et al. 2016). كشفت دراسة الحقول المروية لفترات زمنية مختلفة أيضاً أن المعادن الثقيلة تتراكم في التربة العليا حيث ترتبط بشكل أساسي بالمواد العضوية للتربة (Chapela-Lara 2011; Siebe and Cifuentes 1995; Siebe 1994b; Guedron et al. 2014). تزيد محتويات المعادن في التربة خطياً مع مرور الزمن (الشكل 3).



الشكل 2 : سلوك أ (قيم الرقم الهيدروجيني pH و ب) محتويات الكربون العضوي للتربة في الطبقة 30 سم العليا من التربة مع طول مروي بشكل سطحي (Chapela-Lara 2011).
الانحرافات المعيارية لأعمدة الخطأ هي 2.

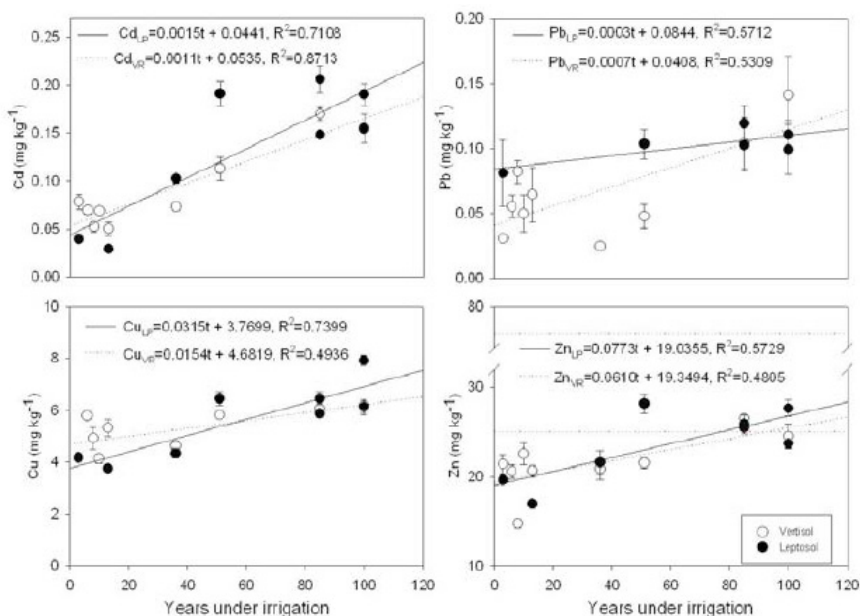


الشكل 3 : سلوك مجموع محتويات أ (النحاس، ب) (الزنك، ج) (الرصاص و د) الكاديوم في التربة مع طول مروي (Chapela-Lara 2011).

تشير الخطوط الأفقية الخضراء إلى تراكيز مرجعية للمعادن الثقيلة أو فترات إصدارها من قبل الاتحاد الأوروبي للتربة الزراعية؛ ويتطلب تجاوز هذه الفترات إجراء المزيد من الدراسات لتقييم مدى توافر الملوثات وتنقلها (McGrath et al., 1994). كما يظهر التخطيط زيادة خطية في الوقت (الخط الأسود، مع خطوط منقطة تمثل الثقة بدرجة 95 %).

لقد تمّ التحقيق في قدرة امتزاز التربة في التجارب الدفقية (batch experiments) في المختبر الذي أفضى إلى كونها كبيرة جداً (Siebe and Fischer 1996) وتزداد مع الري، وهو ما يُعزى إلى زيادة محتوى المادة العضوية في التربة.

في التربة المروية لمدة 100 سنة، وصل إجمالي محتويات النحاس والزنك والرصاص والكاديوم إلى قيم العتبة الدنيا التي حددتها تشريعات الاتحاد الأوروبي للتربة الزراعية (الشكل 3). وقد أكد تحليل حبوب البرسيم والذرة أن هذه المعادن تتعامل وتؤخذ من قبل المحاصيل بكميات صغيرة، وأن التراكيز تزداد مع طول وقت الري، ومع ذلك، فإن الحدود القصوى المسموح بها للبرسيم لم يتم الوصول إليها، أي 0.5 و 10 و 20 و 50 ملغ في الكيلوغرام من الوزن الجاف (DW) للكاديوم، الرصاص، النحاس والزنك على التوالي (منظمة الصحة العالمية 1996) (WHO 1996) (الشكل 4).



الشكل 4: تراكيز المعادن الثقيلة في البرسيم في الحقول المروية بمياه الصرف الصحي لفترات مختلفة من الزمن (Cayetano-Salazar 2012). VR: Leptosol. LP: Vertisol. البيانات من حقول منطقة Leptosol.

تعطي نماذج الانحدار المعدلة مؤشراً على أنه من المتوقع تجاوز هذه الحدود القصوى المسموح بها، أي في الفترة من 304 إلى 406 سنة بالنسبة إلى الكاديوم، و 515 إلى 995 سنة للنحاس، و 400 إلى 500 سنة للزنك، وأكثر من 14200 سنة للرصاص. من ناحية أخرى، يمكن أيضاً استخدام النماذج المعدلة لاستخلاص التراكيز التي لا ينبغي أن تتجاوز هذه العناصر في المياه العادمة، حيث تكون مدخلاتها متوازنة مع زيادة المحصول، وعدم تراكمها في التربة على مر الزمن. كما يمكن ملاحظته في الجدول 3، فإن هذه التراكيز تكون بمقدار واحد إلى اثنين في القدرة أصغر من تلك الموضوعة في الدلائل والمبادئ التوجيهية المكسيكية لنوعية مياه الري (Diario Oficial de la Federacion 1997).

الجدول 3: التراكيز التقديرية للمعادن الثقيلة في المياه العادمة غير المتراكمة في التربة مع مرور الوقت والمقارنة مع التراكيز القصوى المسموح بها وفقاً للقوانين التشريعية المكسيكية.

المعدن (الفلز)	التراكيز في مياه الري حسب نوع التربة: Vertisol (mg L ⁻¹)	Leptosol (mg L ⁻¹)	الحد الأقصى المسموح به في مياه الري (ملغ في اللتر) (mg L ⁻¹)
النحاس (Cu)	0.03	0.021	0.5
الزنك (Zn)	0.075	0.053	20.0
الرصاص (Pb)	0.015	0.011	0.6

المصدر: Diario Oficial de la Federacion 1997.

كما تمّ تحليل عينات من الحقول المروية لأطوال مختلفة من الزمن لتراكيزها من عدة مركبات صيدلانية، من بينها المضادات الحيوية، وكذلك للجينات المقاومة لهذه المضادات الحيوية (Dalkmann et al. 2012). زادت تراكيز سيبروفلوكساسين ciprofloxacin، سلفاميثوكسازول sulfamethoxazole، وكاربامازيبين carbamazepine خلال 20-30 في السنوات الأولى. ثم ظلت التراكيز ثابتة إلى حدّ ما عند 1.4 ميكروغرام / كغ (سيبروفلوكساسين)، و 4.3 ميكروغرام / كغ (سلفاميثوكسازول)، و 5.4 ميكروغرام / كغ (كاربامازيبين)، على التوالي. بينما ديكلوفيناك Diclofenac، نابروكسين naproxen، وبيزافيرات bezafibrate لم تتراكم في التربة. هذه هي المركبات الحمضية التي لها شحنة سالبة في درجة pH القلوية للتربة ولا يتمّ الاحتفاظ بها من قبل التربة.

وجد أن جينات المقاومة لجينات الفلوروكوينولونات qnrS و qnrB موجودة فقط في اثنين من الترب المروية، في حين أن التراكيز النسبية للجينات المقاومة للسلفاديازين sulphadiazines، مثل الجينات sul 1 و sul 2 كانت أكبر في التربة المروية مقارنة بالتربة غير المروية. استمرت الأعداد المطلقة من الجينات بالزيادة من خلال إطالة مدة الري جنباً إلى جنب مع المعوية. 23S rDNA Enterococcus spp. ومجموع محتويات 16S rDNA. لا تترافق الزيادة في التراكيز الكلية للمضادات الحيوية في التربة بالزيادة في الوفرة النسبية لجينات المقاومة التي تمّ التحقيق فيها. ومع ذلك، فإن الري بالمياه العادمة يوسع التركيز المطلق لجينات المقاومة في التربة بسبب الزيادة الطويلة الأجل في الكتلة الحيوية الميكروبية.

3.2. آثار مدخلات النيتروجين الكبيرة على النظام

توفر مياه الصرف الصحي نتروجيناً زائداً للمحاصيل. ويبلغ متوسط المدخلات السنوية من النيتروجين (N) لنبات البرسيم 527 كيلوغراماً نتروجين N في الهكتار، بينما تبلغ قيمة المدخلات منه إلى الذرة 326 كيلوغراماً نتروجين N في الهكتار (Siebe 1998). والبرسيم هو محصول لا يعتمد على مصادر N في التربة، لأنه ينمو في تكافل مع البكتيريا التي هي قادرة على تثبيت نتروجين N الغلاف الجوي. الذرة غالباً ما تسمّد باليوريا أو كبريتات الأمونيوم التي يتمّ توفير 120 - 180 كغ في الهكتار إضافة إلى المحصول. لقد قمنا بالتحقيق في مصير كميات كبيرة من النتروجين N التي تدخل هذا النظام البيئي الزراعي من خلال رصد أحداث الري الواحد (Hernandez et al. 2015, Gonzalez-Mendez et al. 2016) وحساب توازنات المياه والنتروجين N. لقد وجدنا أن كلّ ري يضيف ما يصل إلى 3.5 مسام من المياه إلى التربة، أي مثال 2.5 مرة مياه أكثر من التربة يمكن الاحتفاظ بها. وتصل مصارف المياه الفائضة بعد وقت قصير من الري إلى التربة التحتية و 5 % من الري تصل إلى طبقة المياه الجوفية. داخل التربة هناك مسارات تفضيلية لتدفق المياه، التي تنقل المواد المذابة بسرعة إلى طبقات أعمق.

يدخل النيتروجين الحقول على شكل إما الأمونيوم (56%) أو النيتروجين العضوي N (44%); جزء من الأمونيوم يتم امتصاصه مؤقتاً إلى المواد الطينية، ولكن جزء آخر يتحول بسهولة إلى نترات، وترشح في طبقات أعمق من التربة وفي المنطقة غير المشبعة وراء الجذور. يزال بعض النيتروجين وينبعث على شكل إما N_2O أو ربما حتى N_2 في الغلاف الجوي. أفاد جونزاليز وزملاؤه Gonzalez-Mendez et al. (2015) في تقريرهم بأن متوسط انبعاثات N_2O البالغة 0.06 و 0.34 ملغ نيتروجين N م⁻² في الساعة من مياه الصرف والري لحقول نبات البرسيم والذرة المروية على التوالي. كما تزداد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO_2 في التربة المروية بالمياه العادمة بالمقارنة مع التربة البعلية (77.5 مقابل 16.6 ملغ م⁻² في الساعة) نتيجة للنشاط الميكروبي المعزز في التربة المروية (Gonzalez-Mendez et al. 2015).

3. التحديات المستقبلية

تتعلق المشكلة الأكثر حدةً وخطورةً فيما يرتبط بنظام SAT الحالي في وادي مزيكيتال Mezquital Valley بزيادة خطر الإصابة بالعدوى المعدية المعوية. وقد تمّ تنفيذ إدارة المخاطر حتى الآن بشكل رئيس من خلال تقييد المحاصيل، أي مثال فقط محاصيل العلف والحبوب الجذعية الكبيرة أو الخضراوات المسموح بها، ويحظر على جميع الخضروات التي تكون على اتصال مباشر مع المياه العادمة والتربة، خاصة تلك التي تستهلك بشكل خام ونيئة. ويعوق خطر تدهور التربة من خلال تراكم الأملاح القابلة للذوبان، الري الفائض الذي يرشح الأملاح من منطقة الجذر ويوفر تغذية المياه الجوفية المذكورة أعلاه.

من أجل معالجة القيود الصحية الناجمة عن الري بالمياه العادمة غير المعالجة، ولتلبية المتطلبات التي وضعت بالفعل منذ التسعينيات من القرن العشرين في اللوائح والتشريعات المكسيكية، يجري حالياً إنشاء محطة كبيرة لمعالجة المياه العادمة، والتي من المفترض أن تبدأ عملها في عام 2016 (Conagua 2011). وسوف تعالج 23 م³ في الثانية (1.99 مليون م³ باليوم) من مياه الصرف الصحي الحضري من MAMC بواسطة نظام الحمأة المنشطة البيولوجية الهوائية؛ خلال موسم الأمطار سيكون لديها بالإضافة إلى ذلك القدرة على معالجة 12 م³ في الثانية (1.04 مليون م³ باليوم) من الجريان السطحي من قبل المعالجة الفيزيائية والكيميائية المتقدمة. تبلغ تكاليف الاستثمار 751.1 مليون دولار أمريكي، 49 % منها تقدمها الحكومة الاتحادية و 51% للمستثمرين من القطاع الخاص، وتكاليف التشغيل المقدرة 85.3 مليون دولار سنوياً (أي ما يعادل 0.12 دولار أمريكي / متر مكعب من مياه الصرف المعالجة بيولوجياً و 0.07 دولار أمريكي / متر مكعب من مياه الصرف الصحي المعالجة فيزيائياً). وستحمل هذه التكاليف على المستهلكين في MAMC من خلال فواتير المياه الصالحة للشرب.

من بين الفوائد المتوقعة تقليل المخاطر الصحية، خاصة الإصابات بالديدان الطفيلية، وتخفيض المهّم في المواد العضوية ومحتويات الجسيمات العالقة، ومن المتوقع الحفاظ على معظم النيتروجين N القابل للذوبان والفوسفور P القابل للذوبان في النفايات السائلة المعالجة الخارجة حيث يمكن إعادة تدويرها عن طريق الري. ومن المفترض أن تقلل الكلورة من النفايات السائلة إلى الحد الأدنى من المخاطر الصحية. وهذا يفترض أيضاً السماح بزراعة الخضروات التي تُستهلك بشكل خام. وبما أن هذا الأخير يحقق أسعاراً أعلى بكثير في السوق، فمن المتوقع أيضاً أن يرتفع دخل المزارعين. كما أن تخفيض الجسيمات العالقة في المياه المستعملة سيسمح باستخدام الري بالتنقيط، مما يحسن بشكل كبير من كفاءة استخدام المياه. وينبغي أن تتوافق مدخلات النيتروجين مع احتياجات المحاصيل في نظام استخدام الأراضي هذا. ومن ثم، ينبغي أن تؤدي أمثلة استخدام المياه وكفاءتها إلى أقصى حدٍّ وأحمال النيتروجين N الصغيرة إلى تجنب ترشيح النترات وانبعاثات أكسيد النيتروجين N_2O .

ومع ذلك، من المهم أن نلاحظ وندون أن هذا النظام لن يسهم على المدى المتوسط في إعادة تغذية المياه الجوفية الاصطناعية. في المستقبل، يجب استكشاف مصادر المياه الأخرى لمياه الشرب لسكان الوادي. كما ينبغي أيضاً اتخاذ تدابير مهمة لمنع تلوث التربة وتغلُّحها، لأن معالجة المياه ستزيد على الأرجح من تراكيز الأملاح القابلة للذوبان. وينبغي إيلاء عناية خاصة للمحافظة على محتويات المادة العضوية في التربة لمنع حركة الملوثات التي تحتفظ بها حالياً. وهناك تحدٍّ آخر هو إدارة الحمأة المنتجة في أثناء معالجة المياه.

وتتمثل الخطة الحالية في الحد من الحمأة المجففة، ولكن أيضاً تطبيقه مع مراعاة تعديل التربة، إذا كانت الحمأة تفي بتراكيز عتبة ثابتة للملوثات غير العضوية والعضوية في التشريع المكسيكي (Diario Oficial de la Federacion 2003). ولا ينطوي هذا السيناريو على أي تغيير على المخاطر البيئية الفعلية الناجمة عن الإثراء بالماء والتلوث المشار إليه من قبل؛ فإنه من الأرجح أن تزيد هذه المخاطر، حيث إنَّ حمولات المغذيات والملوثات ستكون أكبر بكثير وتحدث في فترات زمنية أقصر، مما يؤدي إلى اختلال أكبر. وثمة شاغل آخر هو تكوين ثلاثي الهالوميثان trihalomethanes، الذي سيتشكل نتيجة الكلورة للمركبات العضوية المتبقية، التي لن يتم القضاء عليها في نهاية المطاف تماماً بمعالجة المياه المستعملة.

4. الدروس المستفادة والاحتياجات البحثية المستقبلية

لقد أدى النظام الزراعي الحالي إلى تحسين إنتاجية المحاصيل بشكل واضح في هذه المنطقة شبه الجافة. كما إنَّ المياه العادمة المرشحة قد أعادت شحن وإغناء طبقة المياه الجوفية، التي تعدّ اليوم مصدراً مائياً قيماً للسكان. تزيل معالجة طبقة المياه الجوفية-التربة العوامل الممرضة والمواد الصلبة العالقة والمواد العضوية ومعظم الملوثات بكفاءة عالية، ولكن ليس الأملاح القابلة للذوبان ولا أنواع معدنية أخرى قابلة للذوبان مثل مجموعات الرصاص العضوي المعدني أو المركبات العضوية القابلة للذوبان أو المشحونة سلباً ومستقبلاتها. يتم تطبيق النيتروجين الزائد على الحقول عن طريق الري الفائض، وعلى الرغم من أن النظام الحالي يستخدم النيتروجين بكفاءة عالية، فإن المياه الجوفية المُعاد شحنها ملوثة بالنترات.

وتتراكم عدة ملوثات، من بينها معادن ثقيلة خاصة، ولكن أيضاً بعض المستحضرات الصيدلانية، في التربة العليا على المدى المتوسط، وتتناولها المحاصيل بكميات صغيرة. وتشير دراسة التربة المروية لفترات مختلفة من الزمن إلى أن نظام SAT الحالي غير مُستدام على المدى الطويل. وقد أظهرت التحقيقات الوبائية أيضاً أن المزارعين وأسرهم الذين يعيشون في مناطق الري بالمياه العادمة معرضون بدرجة أكبر لخطر الإصابة بالعدوى المعدية المعوية، وخاصةً من قبل تلك الأمراض التي تعيش في البيئة على شكل كيسات.

كلّ هذه النتائج تعطي مؤشراً واضحاً على الحاجة إلى تحسين نظام الإدارة الحالية. وينبغي إيلاء عناية خاصة في المقام الأول لتدابير النظافة التي ينبغي للمزارعين الاضطلاع والشروع بها. كما يجب تحسين وأمثلة كمية المياه والمغذيات المقدمة إلى الحقول. ولهذا، فإنَّ التجارب الميدانية التي يتم فيها اختبار ممارسات إدارية مختلفة ورصد توازن الماء والمغذيات يمكن أن توفر المعلومات المطلوبة. إن دراسة الحقول المروية لفترات مختلفة من الزمن تعطي معلومات مفيدة تجعل من الممكن وضع مبادئ توجيهية للاستخدام الآمن للمياه العادمة في هذه المنطقة ولمواقع أخرى ذات تربة مماثلة.

تتيح عمليات بدء تشغيل محطة معالجة المياه العادمة الجديدة فرصة فريدة لاختبار ما إذا كانت تكاليف الاستثمار والتشغيل الكبيرة للمعالجة البيولوجية مسوَّغة بحدوث انخفاض في حالات الإصابة بالعدوى المعوية

المعدية. تقوم مجموعة عملنا حالياً بإجراء دراسة وبائية تهدف إلى مقارنة حالات الإسهال لدى الأطفال الذين تقل أعمارهم عن 5 سنوات في المجتمعات التي تتعرض حالياً للمياه العادمة غير المعالجة، وسوف تتحول قريباً إلى الري بالمياه العادمة المعالجة. كما سنواصل رصد الحقول لقياس أثر تغيرات نوعية المياه على المادة العضوية للتربة وتوازن النيتروجين في النظام. وسنولي اهتمام خاص أيضاً لسلوك المعادن الثقيلة والملوثات العضوية كمستحضرات صيدلانية في المحصول المروي بالمياه الجوفية. وهنا أيضاً جدوى وعلاقة زيادة وجود جينات المقاومة للعلاج بالمضادات الحيوية يستحق التحقيق.

المراجع

References

- Blumenthal, UJ, B. Abisudjak, E. Cifuentes, S. Bennett, G. Ruiz-Palacios. 1991–1992. “Recent epidemiological studies to test microbiological quality guidelines for wastewater use in agriculture and aquaculture.” *Public Health Reviews* 19(1–4):237–242.
- Blumenthal, UJ, DD Mara, A. Peasey, G. Ruiz-Palacios, and R. Stott. 2000. “Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for revising WHO guidelines.” *Bulletin of the World Health Organization* 78(9):1104–16.
- Blumenthal, UJ, E. Cifuentes, S. Bennett, M. Quigley, and G. Ruiz-Palacios. 2001. “The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: The effect of season and degree of storage of wastewater.” *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 95(2):131–37.
- British Geological Survey (BGS) and Comision Nacional del Agua (can). 1998. “Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico.” Final Report. Keyworth, Nottinghamshire: NERC.
- Cayetano-Salazar, M. 2012. “*Transferencia suelo-planta de metales pesados en parcelas regadas con agua residual en el Valle del Mezquital*” (in Spanish). Master Thesis. UNAM.
- Chapela-Lara, M. 2011. “*Variacion temporal en el contenido de metales pesados regados con aguas residuales*” (in Spanish). Master Thesis. UNAM.
- Cifuentes, E. 1998. “The epidemiology of enteric infections in agricultural communities exposed to wastewater irrigation: Perspectives for risk control.” *International Journal of Environmental Health Research* 8(3):203–13.
- Cifuentes, E, U. Blumenthal, G. Ruiz-Palacois, and S. Bennett. 1991–1992. “Health impact evaluation of wastewater use in Mexico.” *Public Health Reviews* 19:243–250.
- Cifuentes, E, M. Gomez, U. Blumenthal, MM. Tellez-Rojos, I. Romieu, G. Ruiz-Palacios, and S. Ruiz-Velazco. 2000. “Risk factors for *Giardia intestinalis* infection in agricultural villages practicing wastewater irrigation in Mexico.” *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 62(3):388–92.

Conagua (Comision Nacional del Agua). 2010. “*Estadisticas agricolas de los distritos de riego. Ano 2007–2008*” (in Spanish). Secretariat of Environment and Natural Resources, Mexico.

Conagua, 2011. “*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco. Folleto emitido por la Comision Nacional del Agua*” (in Spanish). Secretariat of Environment and Natural Resources, Mexico.

Dalkmann, P. M. Broszat, C. Siebe, E. Willashek, T. Sakinic, J. Huebener, W. Amelung, E. Grohmann, and J. Siemens. 2012. “Accumulation of Pharmaceuticals, Enterococcus, and Resistance Genes in Soils Irrigated with Wastewater for Zero to 100 Years in Central Mexico.” *PLoS ONE* 7(9): e45397.doi:10.1371/journal.pone.0045397.

Norma Oficial Mexicana. 1997. “*Establece los limites maximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*” (Maximum allowable limits of pollutants of wastewater discharges in national goods water bodies and soil). Diario Oficial de la Federacion, Mexico: NOM 001-ECOL-1996

Norma Oficial Mexicana. 2003. “*Proteccion ambiental.-Lodos y biosolidos.- Especificaciones y limites maximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposicion final.*” (Sludges and biosolids – characteristics and maximum permissible limits of pollutants for their user and final disposal.) *Diario Oficial de la Federacion*, Mexico: NOM-004-SEMARNAT-2002.

Gibson, R, E. Becerril-Bravo, V. Silva-Castro, B. Jimenez. 2007. “Determination of acidic pharmaceuticals and potential endocrine, disrupting compounds in wastewaters and springwaters by selective elution and analysis by gas chromatography-mass spectrometry.” *Journal of Chromatography A*, 1169:31–39.

Gonzalez-Mendez, B, R. Webster, S. Fiedler, E. Loza-Reyes, JM. Hernandez, LG. Ruiz- Suarez, and C. Siebe. 2015. “Emissions of greenhouse gases from cropland irrigated with waste water: a case study in the Mezquital Valley of Mexico.” *Atmospheric Environment* 101:116–24.

Guedron, S., C. Duwig, BL. Prado, D. Point, M. G. Flores and C. Siebe. 2014. “(Methyl) mercury, arsenic and lead contamination of the world’s largest wastewater irrigation system: irrigation district of Mezquital valley (Hidalgo state – Mexico).” *Soil Water Air Pollution*, 225(8):2045–64.

Hernandez, J L, B. Prado, M. Cayetano-Salazar, W. A. Bischoff, and C. Siebe C. 2016. “Ammonium-nitrate dynamics in the critical zone during single waste water irrigation events.” *Journal of Soils and Sediments* (forthcoming).

Jimenez, B and A. Chavez. 1997. “Treatment of Mexico City Wastewater for Irrigation Purposes.” *Environmental Technology* 18:721–30.

- Jimenez, B and A Chavez. 2004. "Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: 'El Mezquital Valley' case." *Water Science and Technology* 50:269–76.
- Jimenez, B. and Landa, LH. 1998. "Physical-chemical and bacteriological characterization of wastewater from Mexico City." *Water Science and Technology* 37:1–8.
- McGrath, SP, AC. Chang, AL. Page, and E. Witter. 1994. "Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States." *Environmental Reviews* 2:108–18.
- Melville, E G K. 1994. *A Plague of Sheep: Environmental Consequences of the Conquest of Mexico*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Navarro, I, A. Chavez, JA. Barrios, C. Maya, E. Becerril, S. Lucario and B. Jimenez. 2015. "Wastewater reuse for irrigation. Practices, Safe Reuse and Perspectives. Case 2." In *Irrigation and Drainage. Sustainable Strategies and Systems*, edited by Muhammad Salik Javaid. InTech.
- Payne, B. 1975. "La interaccion del agua de riego con el agua subterranea y el rio Tula en el Valle del Mezquital. Informe final" (in Spanish). IAEA Isotope Hydrology section.
- Siebe, C. 1994a. "Akkumulation, Mobilitat und Verfu'gbarkeit von Schwermetallen in langjahrig mit stadtischen Abwassern bewässerten Boden in Zentralmexiko" (in German). *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 17. Hohenheim: Hohenheim Verlag.
- Siebe, C. 1994b. "Acumulacion y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, Mexico" (in Spanish). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 10:15–21.
- Siebe, C. 1998. "Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long-term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico." *Soil Use and Management* 13:1– 5.
- Siebe, C and E. Cifuentes. 1995. "Environmental Impact of Wastewater Irrigation in Central Mexico- An overview." *International Journal of Environmental Health Research* 5 (2):161–73.
- Siebe, C and WR. Fischer. 1996. "Adsorption of Pb, Cd, Cu and Zn by two soils of volcanic origin under long term irrigation with untreated sewage effluent in Central Mexico." *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 159:357–64.
- Siemens, J, G. Husc hek, C. Siebe, and M. Kaupenjohann. "Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico- City-Mezquital Valley." *Water Research* 42 2008:2124–34.
- World Health Organization (WHO). 1996. *Trace elements in human nutrition and health*. Geneva: WHO.

الحالة 8 : معالجة مياه الصرف الصحي الصديقة للبيئة لإعادة الاستخدام في الزراعة (الهند)

Ravinder Kaur¹

الملخص

تعتبر برك الأكسدة أو عمليات الحمأة المنشطة هما أكثر تكنولوجيا معالجة المياه المستعملة انتشاراً في الهند. ومع ذلك، فإن هذه العمليات باهظة التكاليف وتتطلب عمليات وصيانة معقدة. وفي ضوء هذه القيود، حظيت تكنولوجيا الأراضي الرطبة التي تمّ بناؤها باهتمام أكبر في السنوات الأخيرة. ومع ذلك، فإن معدل اعتماد تكنولوجيا الأراضي الرطبة لمعالجة المياه المستعملة في البلدان النامية كان منخفضاً بسبب الاعتقاد العام بأن هذه التكنولوجيا لها متطلبات كبيرة من مساحة الأرض. وقد تبينَ عموماً أن نظم الأراضي الرطبة التي تغذيها دفعات ذات أوقات الاحتفاظ (حجز) الهيدروليكي الأقصر (HRTs) تترجم إلى متطلبات أصغر للأرض، وتبدو أكثر قبولا في البلدان النامية.

ومع وضع ذلك في الاعتبار، تمّ تطوير محطة معالجة مياه الصرف الصحي التي تُغذى على دفعات بزمان حجز هيدروليكي (>1 يوم)، مع تكنولوجيا عمودية لتدفق تحت سطحي، وقدرة 1500 لتر باليوم في موقع المجاري لمزرعة البحوث الزراعية الهندية. يجري تشغيل المحطة التجريبية منذ تشرين الثاني 2009 ويجري رصدها باستمرار لتقدير الكفاءة في خفض المغذيات / المعادن الثقيلة (كتل الملوثات). وقد أظهرت متوسط كفاءة خفض كتلة الملوثات على المدى الطويل في النظام التجريبي قدرتها على الحدّ من تراكيز العكارة والنترات والفوسفات والبوليتاسيوم في المياه العادمة بنسبة 81 % و 68 % و 48 % و 47 % على التوالي.

يبدو أن نُظُم الأراضي الرطبة المزروعة، بشكل عام، لها ميزة على تلك غير المزروعة. وأنّ كفاءات إزالة المغذيات كانت أعلى بالنسبة لأنظمة الأراضي الرطبة التي تعتمد على نبات مداري (كاركا) *Phragmites karka*. ومن ناحية أخرى، لوحظ أنّ الأنظمة القائمة على نبتة تيفا *Typha latifolia* مرتبطة بزيادة قدرة الأكسدة وزيادة كفاءة خفض الكبريتات (50.51 %). ويبدو أن هذه الأنظمة مرتبطة أيضاً بدرجة أعلى بكفاءة إزالة النيكل (62 %)، الحديد (45 %)، الرصاص (58 %)، الكوبالت (62 %)، والكاديوم (50 %).

أظهرت المقارنة بين الأثر البيئي واستدامة نُظُم الأراضي الرطبة التجريبية مقارنةً مع محطة افتراضية لمعالجة مياه الصرف الصحي (STP) إنّ أنظمة الأراضي الرطبة التجريبية كانت أكثر استدامة 1500 مرة. واستناداً إلى هذه التجارب، تمّ مؤخراً توسيع نطاق التكنولوجيا إلى نظام تدفق أفقي تحت سطحي يبلغ 2.2 مليون لتر باليوم لمعالجة مياه المجاري في التجمع السكاني (Krishi Kunj) المجاور لحرم معهد بحوث البحوث الزراعية الهندي (IARI). ويتيح النظام الموسع إمكانية ري 132 هكتاراً من الأراضي في مزرعة البحوث الزراعية الهندية.

الكلمات المفتاحية: الأراضي الرطبة الهندسية، الطاقة، الميزانية الاقتصادية، الاستدامة، المعالجة بالنباتات.

¹ Ravinder Kaur 

Project Director, Water Technology Centre & Director (Acting) Indian Agricultural Research Institute (IARI), New Delhi, India

e-mail: rk132.iari@gmail.com; pd_wtc@iari.res.in

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. الخلفية العلمية

إن ندرة المياه العذبة، وتوليد كميات متزايدة من مياه الصرف الصحي، وتدهور موارد المياه العذبة، وانعدام الأمن الغذائي المترابط، بسبب التوسع السريع الحضري / التصنيع، تدفع العديد من البلدان إلى استخدام المياه ذات نوعية هامة في الزراعة. وتزداد سرعة إعادة استخدام المياه العادمة الزراعية في جميع أنحاء العالم لأنها تغلق الحلقة بين الطلب على المياه والتخلص من المياه العادمة وتعزز أمن الأسمدة كمورد للمزارعين الفقراء. ومع ذلك، ونظراً لعدم وجود مرافق المعالجة المناسبة والوعي في البلدان النامية، فإن التطبيق غير المخطط له لمياه الصرف الصحي / الصرف الصحي الخام يزيد من خطر الاستدامة الزراعية والصحة الاستهلاكية / البيئية. فإن التخلص الزراعي الآمن (مع العائد الأمثل)، والمعالجة الآمنة والاقتصادية والفعالة لمياه الصرف الصحي هي واحدة من أكثر المشاكل الصعبة التي تواجه في جميع أنحاء العالم.

تعتبر برك الأكسدة أو عمليات الحمأة المنشطة اثنتين من أكثر الطرائق شيوعاً لمعالجة مياه الفضلات البلدية في الهند. وهذه العمليات باهظة التكاليف وتتطلب عمليات وصيانة معقدة. وعلاوةً على ذلك، وبسبب التصميم غير الملائم، وسوء الصيانة، وانقطاعات الكهرباء المتكررة و/أو نقص القوى العاملة التقنية، لا تعمل هذه المرافق التقليدية لمعالجة مياه الصرف الصحي بشكل صحيح، وتظل مغلقة في معظم الأوقات. وفي ضوء هذه القيود، حظيت تكنولوجيا الأراضي الرطبة (Mitsch and Gosselink 2007) في السنوات الأخيرة باهتمام أكبر. غير أن معدل اعتمادها في البلدان النامية كان منخفضاً جداً (Denny 1997)، ويرجع ذلك أساساً إلى الاعتقاد العام بأن لهذه التكنولوجيا احتياجات كبيرة من مساحة الأرض. وقد تبينَ عموماً أن نُظُم الأراضي الرطبة ذات فترات الاحتفاظ الهيدروليكي الأقصر (HRTs) تترجم إلى متطلبات مساحة أرض أصغر.

وعلاوةً على ذلك، أفادت التقارير بأن هذه الأنظمة التي تغذى على دفعات (مع زيادة أوقات الاحتجاز) ترتبط ليس فقط بمناطق المعالجة الأقل مساحةً (Mehrdadi et al. 2009) ولكن أيضاً بكفاءة أعلى لإزالة الملوثات. وقد لوحظ أن ذلك كان له أثر على مقبوليتها الأكبر في البلدان النامية مثل الهند. ومع ذلك، لم يتم اختبار مثل هذه النظم الرطبة التي تغذى على دفعات، مع مدة بقاء هيدروليكية HRT > من يوم واحد، على نطاق واسع في البلدان النامية الاستوائية حتى الآن.

وبغية الحفاظ على الحقائق المذكورة آنفاً، تم تطوير محطة تجريبية مبنية على تكنولوجيا الأراضي الرطبة في موقع الأراضي المروية في المياه العادمة التابع لمزرعة معهد البحوث الزراعية الهندية (IARI)، بهدف أساسي هو تقييم ما يأتي: (أ) كفاءة إزالة الملوثات وإمكاناتها العالية المحتملة لزيادة إمدادات مياه الري في مزرعة IARI، و (ب) الآثار البيئية والاستدامة مقارنة مع محطة معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية.

2. المبادرة الرائدة

نظراً للقيود سالفة الذكر، تم تصور تكنولوجيا متكاملة لمعالجة المياه المستعملة وتطويرها ذات طابع نموذج متكامل تجاري مبتكر لا مركزي وكفاءة في استخدام الطاقة وصديقة للبيئة في الفترة بين عامي 2009 و2011، ثم تم توسيع نطاقها بين عامي 2011 و2013 لإدارة المناطق الحضرية وتصريف مياه الصرف الصحي من تجمع سكاني (Krishi Kunj/Loha Mandi) وإعادة استخدامها لأغراض الري / الاستزراع المائي (تربية الأحياء المائية) في حرم المعهد الهندي للبحوث الزراعية (IARI).

1.2. الحالة قبل المبادرة

يقع الحرم الجامعي IARI في قلب إقليم العاصمة الوطنية (NCT)، دلهي (الهند) Delhi (India)، ويعبرها بشبكة من المصارف (دريناج) الصرف الصحي التي يبلغ مجموع تصريفها نحو 700 هكتار م / سنة (أو 7 مليون متر مكعب بالسنة) (أو نحو 20 مليون لتر باليوم). وتتلقى مصارف الصرف الصحي هذه النفايات السائلة المنزلية والصناعية التي تنتجها المناطق السكنية المجاورة / داخل حرم معهد البحوث الزراعية الهندية IARI، ومجمع معقد من الوحدات الصناعية والتجارية حول مستجمعات المياه الصغيرة في IARI. قبل المبادرة، عُبِرت مياه الصرف الصحي الحضرية (غير المعالجة)، التي تتدفق من التجمعات السكانية Krishi Loha Mandi, Kunj، ومزرعة معهد البحوث الزراعية الهندية IARI لتندمج في نهاية المطاف مع مصرف مجاري تجمّع Loha Mandi المجاور لـ (تدفق جانبي لمصرف Najafgarh) ونهر Yamuna. وتبين أن تيار المياه العادمة يرتبط بمستويات تعكر بين المواسم تتراوح بين 200 و 1000 NTU وحدة عكارة؛ مستويات الـ BOD من 230 إلى 730 جزءاً في المليون؛ 3 إلى 28 جزءاً في المليون من الفوسفات و 0.1 إلى 12 جزءاً في المليون من النترات و 11 إلى 99 جزءاً في المليون من الكبريتات و 0.1 إلى 1.3 جزء في المليون من النيكل و 1.5 إلى 2.3 جزء في المليون من الكروم و 0.05 إلى 0.28 جزء في المليون من الرصاص و 0.31 إلى 4.65 جزء في المليون من الزنك و 0.41 إلى 23.60 جزء في المليون من الحديد. وإلى جانب التسبب في تكاثر البعوض على نطاق واسع في منطقة المزرعة وفي الحي الحضري، أفادت التقارير أيضاً عن استمرار بقايا هذه المياه العادمة وبركها يسبب تدهور التربة / المياه الجوفية على نطاق واسع في مزارع IARI.

كشف تحليل مفصل لمجموع تلوث المعادن الثقيلة في منطقة المزرعة المحلية (التي تتدفق من خلالها هذه المياه غير المعالجة في المناطق الحضرية) بمقدار 1.53 مرة عن المستوى المسموح به من مجموع الكروم (253.27 ملغ / كغ)، أي بزيادة قدرها 0.97 مرة عن المستوى المسموح به للزنك (393.63 ملغ / كغ)، و 3.09 مرات أكثر من المستوى المسموح به من النحاس (122.65 ملغ / كغ)، و 1.30 مرة أكثر من المستوى المسموح به من الرصاص (80.44 ملغ / كغ) في التربة المزروعة و 11.5 مرة أكثر من المستوى المسموح به من الكروم (1.25 جزء في المليون) في المياه الجوفية المحلية.

وعلى الرغم من ذلك، كان هناك تيار ضخم للمياه العادمة (تصريف يومي قدره 2.2 مليون لتر) يتدفق عبر منطقة المزرعة، وهو ما يمكن بسهولة سد الفجوة بين الطلب الكلي على مياه الري الزراعي (1.800 مليون لتر سنوياً) وإمدادات المياه الجوفية المتاحة (1.280 مليون لتر في السنة)، فإنه كان قليل الاستخدام بسبب تلوثه بالعديد من الملوثات العضوية / غير العضوية والمعادن الثقيلة.

2.2. الأهداف المحددة للمبادرة

على خلفية النقص الحاد في المياه، من ناحية، وتوافر كمية كبيرة من تيار مياه الصرف الصحي غير المعالجة في المناطق الزراعية، من ناحية أخرى، التي يمكن إعادة تدويرها وإعادة استخدامها للري الزراعي الآمن (بعد المعالجة المناسبة)، بدأت دراسة لأجل:

- استنباط تكنولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي الحضرية اللامركزية المبتكرة والمنخفضة التكلفة والموفرة للطاقة.

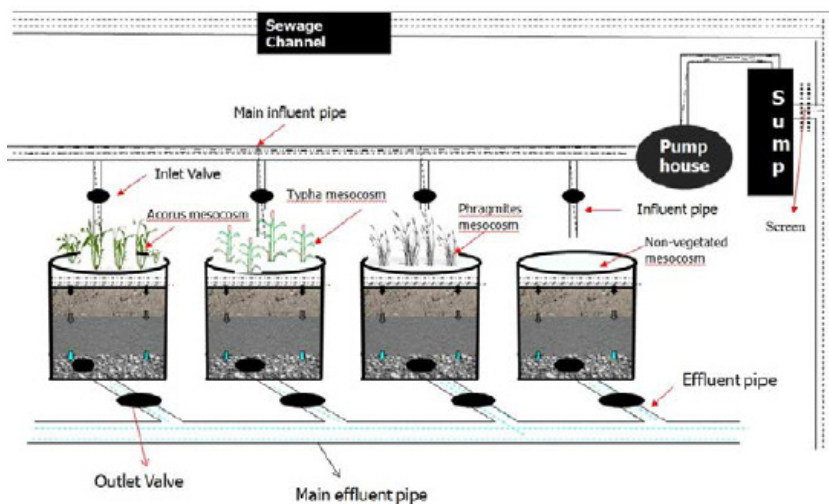
- مقارنة آثارها البيئية مع محطة معالجة مياه الصرف التقليدية (المفترضة).
- تقييم أثر مياه الصرف الصحي المعالجة بهذه الطريقة على صحة التربة والمنتجات الزراعية.
- دمج التكنولوجيا اللامركزية لمعالجة المياه المستعملة مع نموذج أعمال مناسب للاستدامة الذاتية على المدى الطويل واعتماد واسع النطاق في المناطق شبه الحضرية / الحضرية.

3.2. عملية التنفيذ

تم تنفيذ هذه التقنية عبر المراحل التالية:

المرحلة الأولى (التجريب)

تنطلق المبادرة المقترحة من مشروع تجريبي يتألف من 16 خلية تجريبية صغيرة لمعالجة المياه العادمة تُدار بالمياه السطحية (تغذية، كل منها بسعة 500 لتر)، والتي تم تطويرها في عام 2009. وقد زرعت هذه النباتات بـ 4 تكرارات من 3 نباتات نامية (مثل *Phragmites karka* و *Acorous calamus* و *Typha latifolia*) على حقول ومساحات طبقية متنوعة أو تركها كمراقبة غير مزروعة بالنبات لتقييم كميتها النسبية وكفاءة خفض المعادن وفحص النباتات المناسبة ودمج الوسائط مع كفاءة واحدة للحد من الملوثات. وقد تم ربط المساحات التجريبية الصغيرة بأنابيب مفردة متفرعة من خط التفريغ الداخل الرئيس (مياه الصرف الصحي)، من خلال صمامات خاصة للحفاظ الهيدروليكي على مستوى المياه الأقصى 15.24 سم (أو 6 إنش)، في كل حدث للفيضانات. يظهر الشكل التخطيطي نموذج التدفق ومساره في الشكل (1). تم أخذ عينات دورية من المياه المتدفقة والنفايات السائلة الداخلة والخارجة وتحليلها في ثلاث نسخ، وفقاً لإجراءات التقدير القياسية، مع ضمان مراقبة الجودة المستحقة من خلال توحيد قياسي دقيق، مع القياسات الإجرائية الفارغة والعينات المضاعفة.



الشكل 1: تخطيط نظام تجريبي رائد لمعالجة المياه العادمة الحضرية

أظهر الرصد طويل الأمد (من 2009 إلى 2011) كفاءة خفض الملوثات في هذه الأنظمة المستندة إلى *Typha latifolia* التي لها ميزة على الأنظمة الأخرى، خاصة من حيث كفاءة إزالة النترات (90.74 %) والفوسفات (77.65 %) والبوتاسيوم (78.57 %). وتتعلق النظم القائمة على *Typha latifolia*، المرتبطة بأعلى قدرة أكسدة، مع

أعلى كفاءة خفض الكبريتات (65.41 %) وبصفة عامة، يبدو أن الأنظمة القائمة على وسائط الحصى المزروعة بـ *Typha latifolia* ترتبط بارتفاع نسبة النيكل (70 - 74 %) والرقاص (53 - 63 %) وكفاءة إزالة المعادن النزرة الأخرى. كما لوحظ أن هذه هي أفضل عوامل احتجاز الكروم وترتبط بارتفاع كبير في خفض معدلات الطلب الأوكسجيني البيولوجي BOD وORP، وبالتالي فإنها تعد أكثر أنظمة معالجة المياه العادمة واعدة. كما تم تقييم الآثار البيئية طويلة الأجل لري مياه المجاري المعالجة وغير المعالجة على صحة التربة، والإنتاجية المحصولية، نشاط البذور وحيويتها، وتلوث الحبوب الغذائية (خلال كل من فصلي الربيع والخريف).

المرحلة الثانية (التقييس - p) (p -scaling)

في وقت لاحق، تم توسيع نطاق التكنولوجيا المصادق عليها في آذار 2011 لمعالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية من مستعمرات Krishi Kunj/Loha Mandi. وفي الوقت نفسه، خلال الفترة 2010 - 2011، قُدِّم تقرير زمني مفصل لكمية المياه العادمة ونوعيتها (أي حمل الملوثات الكلية / الموسمية) التي تتدفق من مستعمرات Krishi Kunj/Loha Mandi، إلى جانب مساحة الأرض المتاحة والمتغيرة مكانياً (الشبكية) ونوعية التربة في موقع المشروع (كما هو مفصل في قسم «الحالة قبل المبادرة»).

واستخدمت بعد ذلك معلومات نوعية الأراضي والمياه المذكورة آنفاً لوضع تصميم مفصل لمرفق معالجة المياه العادمة وتطويره (خلال شباط - آذار 2011)، ووضع تصميم أوقات الاحتفاظ ومدة البقاء الهيدروليكي (HRTs) لمعالجة 2.2 مليون لتر يومياً من جريانات مياه الصرف الصحي الواردة إلى مستويات الملوثات المستهدفة المسموح بها لتطبيق الأراضي الآمنة. تم تحسين وأمثلة (HRTs) المذكور أعلاه لمعدلات تحميل الملوثات المختلفة التي لوحظت في موقع المشروع. بدأ بناء التصميم الأمثل في أيلول 2011 (بعد عقد عمل تم طرحه في آذار 2011) وانتهى في نيسان 2013.



الشكل 2: منظر بانورامي لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي البلدية الصديقة للبيئة المقترحة (التي تم توسيع نطاقها) ومكوناتها.

تتكون محطة معالجة المياه العادمة من 3 خلايا معالجة (كل منها 80 م x 40 م)، حيث يتم إجراء تخفيضات مبتكرة في المواد العضوية والمغذيات والمعادن (أي المعالجات الثانوية والثالثية)، فضلاً عن بترين للصرف الصحي وحوض رملي واحد، إذ يتم إجراء المعالجة الأولية / الابتدائية (الشكل 2). يتم جمع المياه المعالجة في ثلاثة أحواض فردية، وتقع على جانب مخرج (مصرف) لكل خلية معالجة. وهذه مترابطة مع بعضها بعضاً للسماح بتدفق بالإسالة لتيار الماء المعالج بالكامل إلى مستنقع جامع مشترك يقع بالقرب من خزان تجميع المياه المعالجة (80 م x 40 م x 2 م). ينتشر المرفق على مساحة 1.42 هكتار من الأراضي. وقد تم تشغيل آبار الصرف الصحي، وغرفة الحصى، وخليّة معالجة مياه الصرف الصحي المستعملة الأولى، وخزان تجميع المياه المعالجة في أيلول 2012، في حين تم تشغيل خليتي المعالجة الآخرين وجزء من شبكة الري IARI في أيار 2013 .

لجعل النظام بأكمله طاقة مكثفة، تم ضمان تدفق مياه الصرف الصحي بالجاذبية، من غرفة الرمال إلى حوض جامع للمياه المعالجة. تكون كل طبقة معالجة متراصة مع حقل تصميمي من الحصى ذات الأحجام / الدرجات المختلفة، والتي تتم زراعتها بـ *Typha latifolia* الواعدة والمختبرة تجريبياً والغطاء النباتي المتراكم النامي بشكل مفرط حيث تزرع بكثافة وأعماق ومسافات تصميمية. فالغطاء النباتي المزروع لديه القدرة على نقل الأكسجين من أوراقه، من خلال جذوعه، وجذوره، والخروج من خلال نظامه الجذري، إلى الجذوع الجذرية (نظام الجذور)، ولا يتطلب تشغيل 24 x 7 للمهويات (طاقة واسعة النطاق) مثل تلك المستخدمة عموماً في محطات معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية.

ونتيجةً لهذا الإدخال الطبيعي للأكسجين المحيط في خلايا المعالجة، فإن نسبة عالية جداً من الكائنات الحية الدقيقة المحلية (الموجودة عموماً في مياه الصرف الصحي) تميل إلى أن تكون طبيعية بيولوجياً تضاف وتزداد في منطقة الجذر للغطاء النباتي، حيث تحدث معظم التحولات العضوية وغير عضوية (أي المغذيات والمعادن)، مما يستبعد الحاجة إلى إدراج أي مواد مناسبة للتلقيح أو محرضات بيولوجية خارجية أو أي مواد مستهلكة كيميائية، مما يجعل عملية معالجة المياه العادمة كاملة تماماً بشكل صديق للبيئة، مكثفة وغير مرتبطة مع أي توليد للحمأة.

يتم تنظيم تدفق المياه العادمة في كل خلية معالجة حيث يكون هناك تدفق كامل تحت السطح، مما يؤدي إلى عدم وجود برك أو رائحة كريهة أو تكاثر البعوض أو أي اتصال مباشر مع مياه الصرف الصحي. وهكذا، ومع انتقال المياه العادمة إلى العمق التصميمي ومعدل التدفق من خلال الكتلة الجذرية لهذا الغطاء النباتي النامي وتفاعله مع الكائنات الحية الدقيقة ووسائط الزراعة، يتم تحويل الملوثات العضوية / غير العضوية المختلفة والمعادن الثقيلة في المياه العادمة وتحويلها وإزالتها من منطقة المعالجة - ومعالجة المياه العادمة.

المياه المعالجة التي يتم جمعها أخيراً في حوض تجميع أبعاده (2*40*80) متر وهو خزان تجميع المياه المعالجة، حيث يتم ضخها أخيراً من خلال مضخة رفع المياه riser ومجموعة من صنادير المياه، في شبكة الري الخاصة بمزرعة المعهد الهندي للبحوث الزراعية.

المرحلة الثالثة (التقييم التقني والاقتصادي والتشغيل)

لقد تم رصد المحطة اللامركزية المتقدمة لمعالجة مياه الصرف الصحي الحضرية، وهي الأولى من نوعها في البلاد (وأكبرها) (انظر صورة خرائط جوجل)، بشكل مستمر لكفاءة خفض المغذيات والحد من المعادن منذ أيلول

2012 وُقِّتحت للعوام بعد مدة طويلة من المراقبة والتحقيق، وبدأت بالعمل رسمياً من قبل الاتحاد ووزراء الدولة للزراعة في 2 تموز 2014 .

ولإدماج نموذج عمل جيد مع التكنولوجيا اللامركزية المقترحة لمعالجة مياه الصرف الصحي وجعل النظام مستمراً ومُستداماً ذاتياً تماماً، تمّ حصاد التراكمات النباتية الطرفية الناشئة المزروعة في خلايا المعالجة للمرفق المقترح وتقييمها تقنياً واقتصادياً من أجل أن تتحول قدرتها الكامنة إلى ألواح جزيئية -بديلاً جيداً للخشب (الشكل 3)، بالتعاون مع شريك خاص.



الشكل 3 : التحول من الكتلة الحيوية المحصودة إلى ألواح الجسيمات الخشبية -نموذج الأعمال النقدية من القمامة المتكاملة مع مبادرة معالجة مياه الصرف الصحي الحضرية المقترحة.

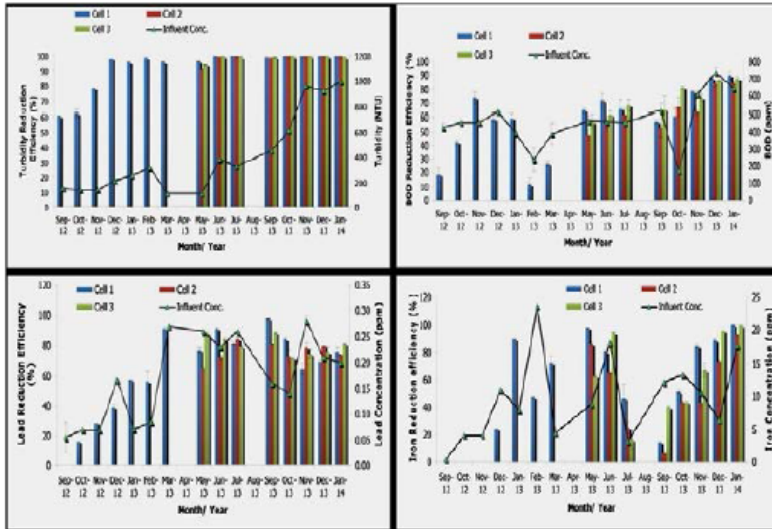
وأخيراً، تمّ تقييم المنافع الاقتصادية والنفقات الاستثمارية CAPEX والنفقات التشغيلية OPEX للمبادرة المقترحة بالإضافة إلى محطة معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية (المفترضة) المماثلة (STP).

وعلاوةً على ذلك، استخدم تحليل قائم على الطاقة - وهو أسلوب محاسبي بيئي شامل (Odum 1996) - لتقييم الكفاءة الإيكولوجية ومقارنتها واستدامة المبادرات التقليدية والمقترحة من حيث عدد من مؤشرات الطاقة مثل نسبة التحميل البيئي (ELR) ومؤشر استدامة الطاقة (ESI) ومؤشرات النسبة المئوية المتجددة (PR).

3. النواتج الهامة للمبادرة

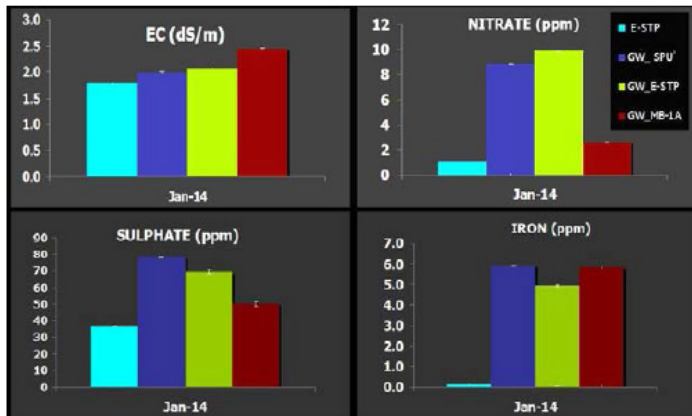
1.3. كفاءة المعالجة

يمكن أن يكشف الرصد طويل الأمد لقدرة المعالجة لمحطة معالجة المياه العادمة المتقدمة عن أداؤها الاستثنائي (الشكل 4)، خاصة فيما يتعلق بالعكارة (99 ٪)، BOD (87 ٪)، نترات (95 ٪)، فوسفات (90 ٪)، الرصاص (81 ٪)، والحديد (99 ٪)، وكذلك من حيث عدد الملوثات الأخرى مثل النيكل (59 ٪)، الزنك (58 ٪)، والكبريتات (48 ٪)، التي كانت موجودة عادة في تراكيز معتدلة في أنظمة الصرف الصحي الحضرية المقترحة.



الشكل 4: كفاءة خفض الملوثات في المبادرة المقترحة لمعالجة المياه العادمة الحضرية.

أظهرت مقارنة المياه العادمة المعالجة مع عينات المياه الجوفية المحلية من مزرعة IARI الموضحة في (الشكل 5) أن المياه العادمة المعالجة (المرمزة: E-STP) ارتبطت إما أفضل أو بشكل متطابق مع تراكيز كل من الناقلية الكهربائية EC، ودرجة الحموضة pH، العكارة، النترات، الكبريتات، الفوسفات وتراكيز المعادن من تلك المتعلقة بالمياه الجوفية للمناطق الزراعية المحيطة بها (viz. SPU, MB1A and STP).

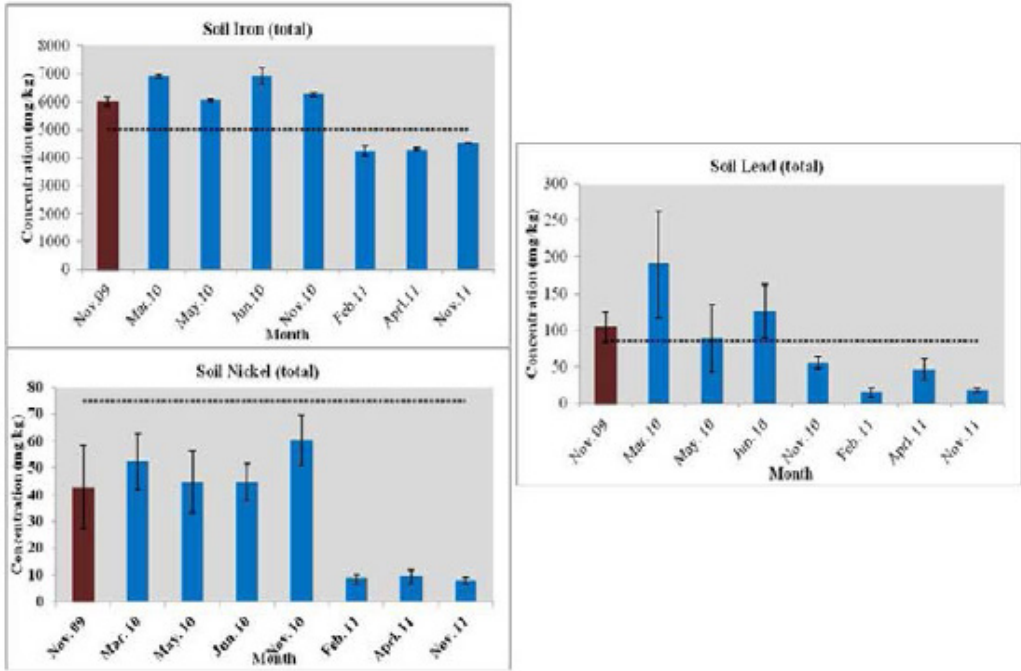


الشكل 5: جودة مياه الصرف المعالجة (e-STP) مقابل المياه الجوفية المحلية في مزرعة معهد البحوث الزراعية الهندية.

2.3. تقييم الأثر

1.2.3. صحة التربة

لقد أدى التطبيق المستمر لمياه المجاري المعالجة عوضاً عن استخدام مياه الصرف الصحي غير المعالجة في موقع المشروع إلى انخفاض كبير في إجمالي التربة وتراكيز كل من النيكل الحيوي المتاح والرصاص والحديد (الشكل 6). كما انخفض الكروم الحيوي المتاح للتربة من مستوى أولي قدره 5.71 ± 0.88 ملغ / كغ إلى 1.57 ± 0.07 ملغ / كغ خلال عامين. وهكذا أدى الري المستمر بمياه المجاري المعالجة إلى تخفيضات كبيرة في حمل ملوثات التربة. ومع ذلك، كانت هذه مرتبطة مع عدم وجود استنزاف المغذيات الدقيقة ونضوبها في التربة وليس له آثار ضارة بسبب الناقلية الكهربائية في التربة ونسبة الصوديوم القابلة للاستبدال، التي ظلت ضمن حدود آمنة.



الشكل 6: الأثر البيئي طويل الأجل لري مياه المجاري المعالجة على صحة التربة.

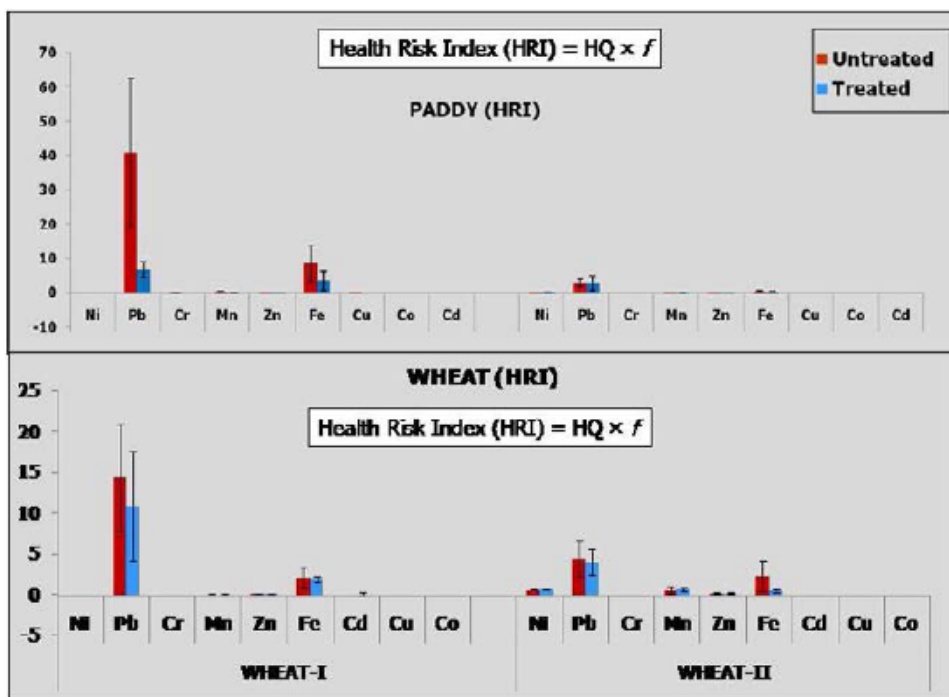
2.2.3. صحة المحاصيل وجودتها

كما تمّ تقدير تأثير مياه المجاري غير المعالجة والمعالجة على صحة محاصيل القمح والأرز ونوعيتها من حيث بارامترات النبات / البذور، وأنماط الفرز المعدني ككل على حدة، وخطر امتصاص معدن الحبوب الغذائية. ويمكن التعبير عن التأثير الإيجابي لمعالجة المياه على أفضل وجه من حيث وزن الاختبار أو 100 وزن بذور محصول الأرز، حيث تبين أنه أقل بكثير بالنسبة للمحصول المروى بمياه الصرف الصحي. وعلاوةً على ذلك، على الرغم من أن العدد الكلي لسوق السنابل وطولها لا يختلف اختلافاً كبيراً عن مياه الصرف الصحي المعالجة وغير المعالجة، فإن العدد الإجمالي للسوق غير المنتجة أو المثمرة والبذور الفارغة لكل سنبلة كان أعلى بكثير في محصول الأرز

المُروى بمياه المجاري. ولم تكن هذه الاختلافات واضحة جداً في محصول منخفض نسبياً من حيث الطلب على المياه مثل القمح. ومع ذلك، لوحظ أن عدداً من السوق المصابة بالنمل الأبيض والفطريات في كلٍّ من محاصيل القمح والأرز أعلى في قطع الأراضي الصغيرة المروية بمياه المجاري.

3.2.3. نقل المعادن وتلوث الحبوب الغذائية

كشفت أمطاف فردية من نقل العناصر المعدنية في محاصيل القمح ومزارع الأرز عن ارتفاع خطر عزل المعادن الغذائية في القمح. وأظهر التحليل أن الخطر العام على الصحة المعدنية (كما هو واضح من مؤشر الخطر، الشكل 7) بسبب استهلاك حبوب القمح المنتجة من خلال استخدام المياه العادمة غير المعالجة على التربة الملوثة بالفلزات تاريخياً يزيد بنحو 1.6 مرة عن ذلك بسبب استهلاك حبوب الأرز. وقد ساهم التلوث بالرصاص بنحو 45 إلى 60 في المئة من هذه المخاطر الصحية. وبصفة عامة، لوحظ أن الحبوب الغذائية المنتجة من خلال (عزل الرصاص) قد تم ربطها بالمياه العادمة المعالجة بنبات مداري كاركا (*Phragmites karka*) مع 44 إلى 58 % أقل من المخاطر الصحية. ومن الناحية الصحية، فإنّ المنتجات الزراعية من مواقع الصرف الصحي وأراضيه لا تزال غير مناسبة للاستهلاك البشري؛ خصوصاً بسبب المعادن الكبيرة في الحبوب الغذائية، مثل تلوث الرصاص، الحديد، النيكل والمنغنيز. غير أن هذه المخاطر كانت أقل بكثير من تلك التي لوحظت في السنوات السابقة، ويرجع ذلك أساساً إلى الاستخدام المستمر لمياه المجاري المعالجة.



الشكل 7: أثر مياه الصرف الصحي المعالجة وغير المعالجة على مخاطر صحة المستهلك على أساس الحبوب الغذائية.

4.2.3. الفوائد

أظهر تحليل الطاقة للمبادرة المقترحة (الجدول 1) أن مصادر الطاقة المتجددة تشكل 54.24 في المئة من إجمالي استخدام الطاقة، بينما أسهم النصف الآخر (أي 45.76 في المئة) في شراء موارد غير متجددة مثل البناء والكهرباء والصيانة. وفي فئة الموارد المتجددة (أي المحلية + المشتراة)، ساهمت الموارد المحلية (أي المجانية) المتجددة بأكبر قدر من الطاقة (77.69 في المئة). وشكلت الموارد المتجددة المشتراة مثل الوسائط والغطاء النباتي، التي تتطلب خدمة الوصول إليها، 12 في المئة فقط من إجمالي استخدام الطاقة، فهي مصدر ثانوي لاستخدام الطاقة الكلية للنظام. وفي فئة الموارد غير المتجددة المشتراة، ساهمت الخدمات المأجورة كثيفة العمالة مثل البناء (63.26 في المئة)، التي يبلغ عمرها الافتراضي 20 سنة) والصيانة السنوية (36.47 في المئة)، بينما ساهمت الكهرباء بنسبة أقل (0.27 في المئة).

الجدول 1: ميزانية الطاقة للمبادرة المقترحة مقابل محطة معالجة الصرف الصحي التقليدية STP.

المدخلات	طاقة شمسية بالجول solar eMergy Joules (sej/yr)	
	المبادرة المقترحة	محطة معالجة تقليدية STP
الموارد المتجددة المحلية	1.14×10^{16}	1.82×10^{16}
الموارد المتجددة التي تمّ شراؤها	3.27×10^{15}	0.00
الموارد غير المتجددة التي تمّ شراؤها	3.97×10^{16}	7.68×10^{17}
الموارد التي تمّ شراؤها	4.30×10^{16}	7.68×10^{17}
استخدام الموارد الكلي	5.44×10^{16}	7.87×10^{17}

وعلى النقيض من المبادرة المقترحة، لُوحظ أن محطة معالجة مياه الصرف الصحي المماثلة (الافتراضية) ترتبط بزيادة استخدام الطاقة في الموارد غير المتجددة أعلى بكثير من (98.26%). وكانت مساهمة استخدام الطاقة من جانب الموارد غير المتجددة في محطة معالجة تقليدية STP أعلى بنحو 83 ضعفاً من المساهمة في المبادرة المقترحة (قابلة للمقارنة). ومن بين الموارد غير المتجددة المشتراة، ساهمت التكاليف التشغيلية مثل الصيانة (48.10%) والكهرباء (28.31%) ساهمت بالمجمل (76.41%)، فيما ساهمت النسبة (23.59%) المتبقية في البناء مع عمر افتراضي هو 20 سنة.

ومن ثم، فإن مقارنة المبادرة المقترحة مع محطة معالجة تقليدية قابلة للمقارنة، كشفت عن مزايا استخدام كهربائية واضحة، حيث لُوحظ أن استهلاك الطاقة الكهربائية أقل من 1 في المئة من محطة معالجة مياه المجاري التقليدية. وعلاوةً على ذلك، أشار التحليل إلى أن المبادرة المقترحة تتطلب صيانة أبسط لأن النظام ليس لديه أي طلب على أي مواد استهلاكية ويعتمد إلى حدٍ كبير على الإجراءات الإيكولوجية للميكروبات والنباتات (الأصلية) من أجل فعاليتها.

وهكذا، من حيث المحاسبة القياسية للتكاليف، تبين أن المبادرة المقترحة ترتبط بالروبية (0.545 Crore (Rs) per MLD) (كروور لكل مليون لتر باليوم) من تكلفة رأس المال (CAPEX) ونحو روبية المساوية: Rs. 0.607 per kilolitre (KL) من إجمالي تكاليف التشغيل والصيانة. وبالمقارنة مع محطة معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية المماثلة (الجدول 2)، لُوحظ أن المبادرة المقترحة ترتبط بتكاليف معالجة أقل بنسبة 50-65%.

الجدول 2: استدامة المبادرة المقترحة مقابل محطة معالجة الصرف الصحي التقليدية STP.

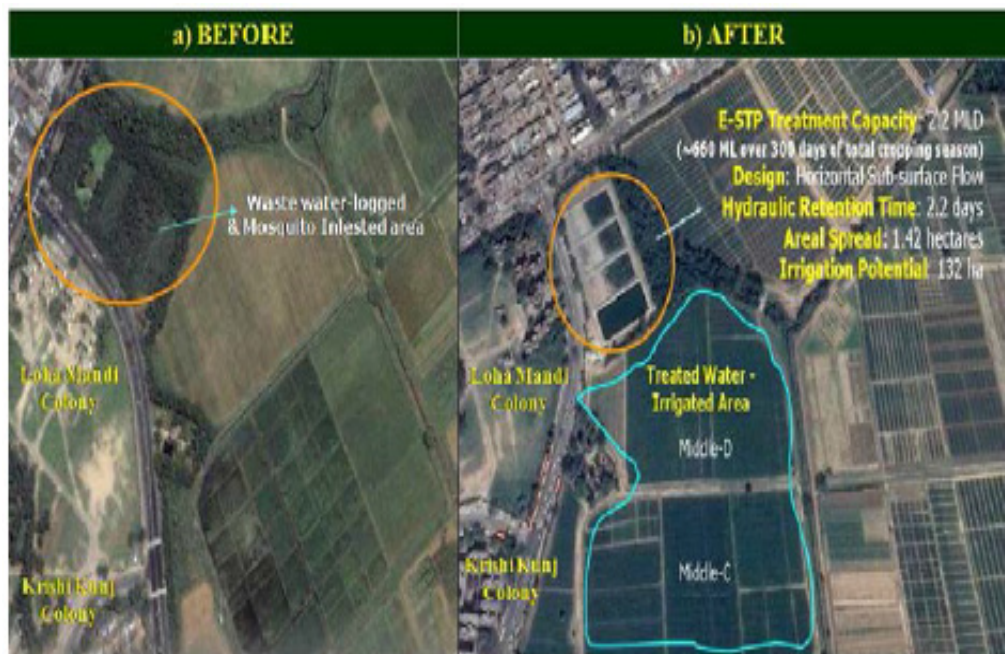
مؤشرات الطاقة	المبادرة المقترحة	محطة معالجة تقليدية STP
نسبة العائد على الطاقة	0.70	0.01
نسبة التحميل البيئية	1.37	42.19
نسبة مؤوية متجددة	0.54	0.02
مؤشر استدامة الطاقة	0.51	0.00034

وأظهرت المقارنة بين نظام معالجة المياه المستعملة الصديقة للبيئة المقترح والمحطة التقليدية لمعالجة المياه العادمة أن التكنولوجيا المقترحة ترتبط بمتطلبات طاقة تقل عن 1 % وتطبيق الصفر الكيميائي وتوليد الحمأة الصفرية وخفض تكاليف المعالجة بنسبة 50 - 65 % ، ولا تتطلب القوى العاملة الماهرة.

3.3. استدامة مبادرة المشروع

أظهرت الكفاءة الإيكولوجية واستدامة تحليل المبادرة المقترحة، من حيث عدد من مؤشرات الطاقة (الجدول 2) إنها تستخدم موارد متجددة أكثر بـ 27 مرة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية، فهي أكثر استدامة بمقدار 1500 مرة من محطة المعالجة التقليدية STP. وعلاوة على ذلك، تبين أن المبادرة المقترحة تسبب ضغوطاً بيئية أقل بمقدار 33 مرة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي التقليدية المماثلة.

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن حصاد الغطاء النباتي المزروع في كل خلية معالجة من نظام معالجة المياه العادمة المقترح والتشغيل الكامل (مرة كل شهرين) ليصل إلى 36 طناً من الكتلة الحيوية الجافة سنوياً (الشكل 3). ويمكن تحويل ذلك بنجاح إلى ألواح من الجسيمات (الحبيبية والمضادة للماء) (9000 متر مربع في السنة؛ سعر السوق 200 - 250 روبية للمتر المربع) أو تباع إلى مصنعي ألواح الجسيمات المحلية (بسعر 2000 روبية للطن) كمادة جافة -وتحقيق دخل سنوي أقصى يبلغ نحو 18 lakh روبية في السنة ودمج نموذج مثالي للنقد من القمامة مع المبادرة المقترحة.



الشكل 8: معاينة عبر القمر الصناعي لموقع المشروع (أ) قبل و (ب) بعد المبادرة المقترحة.

4. الاستنتاجات

وهكذا يمكن أن تخلق المبادرة المقترحة مصدراً سنوياً محلياً جيداً من المياه السطحية يصل إلى نحو 660 مليون لتر، ومن ثم يمكن أن توقف ممارسة شراء المياه السطحية الملوثة (بمعدل 18.5×100.000 روبية في السنة) من مصرف Bhuli-Bhatiyaari، لتلبية الطلب على مياه الري للأراضي الزراعية IARI. وهكذا يمكن أن تؤدي هذه المبادرة، بالإضافة إلى توفير سنوي يبلغ نحو 1.850.000 روبية، وسدّ فجوة سنوية (520 مليون لتر) بين الطلب على مياه الري والإمداد على الأراضي الزراعية في IARI، مؤدياً إلى إدارة مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية والصرف الصحي بشكل فعال، مع عدم وجود رائحة كريهة أو انتشار للبعوض في المنطقة. والواقع أن موقع المشروع، الذي كان لا يمكن تصديقه تماماً (الشكل 8)، يبدو الآن كأنه متنزّه بيئي يستخدمه السكان في كثير من الأحيان مكاناً مفضلاً لرياضة الصباح المشي / الركض. وقد أسفر هذا المرفق بالفعل عن وفورات ملموسة نتيجة لوقف شراء المياه السطحية الملوثة لري الأراضي الزراعية في IARI. ومن منظور غير ملموس، من المتوقع أن يؤدي الاستخدام المشترك المستمر لمصدر المياه المعالجة، جنباً إلى جنب مع مصدر المياه الجوفية الموجود، إلى تجديد المياه الجوفية المتدهورة سابقاً ليس فقط في معهد IARI ولكن أيضاً في المناطق الحضرية المجاورة. وعلى المدى الطويل، من المتوقع ألا يقتصر ذلك على الحد من الاستخدام الكلي للطاقة فيما يتعلق باستخراج المياه الجوفية فحسب، بل سيؤدي أيضاً إلى تحسين نوعية التربة / المياه الجوفية وإنتاجيتها على الأراضي الزراعية في IARI.

المراجع

References

- Denny, P. 1997. "Implementation of constructed wetlands in developing countries." *Water Science Technology* 35:27–34.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2007. *Wetlands*. 4th edition. New York: John Wiley.
- Mehrdadi, N., A. Rahmani, A.A. Azimi, and A. Torabian. 2009. "Study of operation subsurface flow wetland in batch flow system for municipal wastewater treatment." *Asian Journal of Chemistry* 21(7):5245–50.
- Odum, H.T. 1996. *Environmental Accounting: ENERGY and Decision Making*. New York: John Wiley.

الحالة 9: إنتاجية قصب السكر المروية بالنفايات السائلة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في anaveralejo في كالي، كولومبيا (كولومبيا) Cali, Colombia (Colombia)

C. A. Madera-Parra, A. Echeverri, and N. Urrutia¹

الملخص

تستخدم في Valle del Cauca، جنوب غرب كولومبيا Colombia، المياه السطحية والجوفية لري قصب السكر بمعدل 100 م³ / طن من السكر المنتج. وقد أُجريت تجارب أولية لتحديد التأثير على محصول قصب السكر (variety CC-8592) المروي بالنفايات السائلة من محطة Canaveralero لمعالجة المياه العادمة الأولية (PTAR-C) في Cali. تم تطبيق الري مدة سنة واحدة على قطعة أرض مساحتها 0.36 هكتار. واستخدم مصدران للمياه هما: النفايات السائلة من PTAR-C والمياه الجوفية (GW). تم إجراء مجموعة تجارب عشوائية لاختبار تأثير نوعية مياه الري على النمو والإنتاجية وإنتاج محصول السكر.

وأظهرت النتائج أن النفايات السائلة تفي بمعايير جودة المياه للاستخدام الزراعي (Ayers & Westcot 1985). بالإضافة إلى ذلك، وفقاً لوزارة الزراعة الأمريكية (USDA) (1954) تم تصنيف النوعين كليهما من مياه الري على أنها C2S1. وكان نمو المحاصيل يتصرف على غرار ما هو متوقع بالنسبة للمنطقة ومجموعة متنوعة مدروسة. وكانت المتغيرات الإنتاجية أعلى قليلاً من القيم المتوقعة (145 طناً / هكتار قصب السكر sugar cane، 16.9 % سكر القصب saccharose، 17.6 % درجات بريكس Brix grades). لم نجد اختلافات بين قطع الأراضي المروية بمصدري المياه كليهما. ولذلك، يمكن الاستنتاج بأن إعادة استخدام النفايات السائلة للري قابلة للاستمرار في إنتاجية المحاصيل، ولكن يجب إجراء مزيد من الدراسة على جوانب أخرى مثل مؤشرات تلوث التربة بالصوديوم.

الكلمات المفتاحية: إنتاجية المحاصيل، الري، إعادة الاستخدام، قصب السكر، الإنتاجية، مياه الصرف الصحي.

¹ C. A. Madera-Parra • A. Echeverri • N. Urrutia;

EIDENAR School, Faculty of Engineering, University of Valle, Cali, Colombia.

e-mail: carlos.a.madera@correounivalle.edu.co

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. المقدمة

فقط 0.003 % من إجمالي المياه في الكرة الأرضية تعتبر مفيدة للأنشطة البشرية. ومن هذه الكمية، تستخدم البلدان المتقدمة نحو 35 في المئة في الزراعة، في حين تستخدم البلدان النامية أكثر من 70 في المئة (منظمة الأغذية والزراعة FAO 2007) لأنها توفر معظم الأغذية في العالم. وتشير منظمة الأغذية والزراعة FAO (2008) إلى ضرورة اتخاذ تدابير الحفظ في الاستخدام الزراعي للمياه نظراً للزيادة المتوقعة في الإنتاج الزراعي في السنوات الخمسين المقبلة. ومن بين البدائل التي قدمتها منظمة الأغذية والزراعة FAO (2008)، تمّ ذكر تجميع وحصاد مياه الأمطار، الزراعة البعلية، زيادة إنتاجية المياه، وإعادة استخدام المياه المستعملة.

وعلى مدى العقود الأخيرة، أُعطيت الأهمية للإدارة الشاملة للمياه، ممّا أتاح إمكانية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري في أمريكا اللاتينية (على سبيل المثال في الأرجنتين، شيلي، بيرو، المكسيك) وأوروبا (ألمانيا) وأفريقيا (جنوب أفريقيا، تونس، السودان)، آسيا (الكويت، المملكة العربية السعودية، الهند، الصين)، وأمريكا الشمالية (باريراس Parreiras 2005). في كولومبيا، لا يعدّ استخدام المياه العادمة المعالجة أمراً شائعاً، نظراً لمستويات المعالجة المنخفضة والوعي الجزئي للآثار المحتملة على البيئة. ووفقاً لـ Madera (2005) في كولومبيا، فإن 8% فقط من المياه العادمة المنزلية تتمّ معالجتها قبل تصريفها في المسطحات المائية الطبيعية، ممّا أدى إلى إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة. إن كالي Cali، المدينة الثالثة الأكثر اكتظاظاً بالسكان في كولومبيا لديها محطة Canaveralero لمعالجة مياه الصرف الصحي (PTAR-C)، التي يمكن أن تعمل تحت نمطين اثنين: المعالجة الأولية التقليدية (CPT) والمعالجة الأولية المعززة كيميائياً (CEPT).

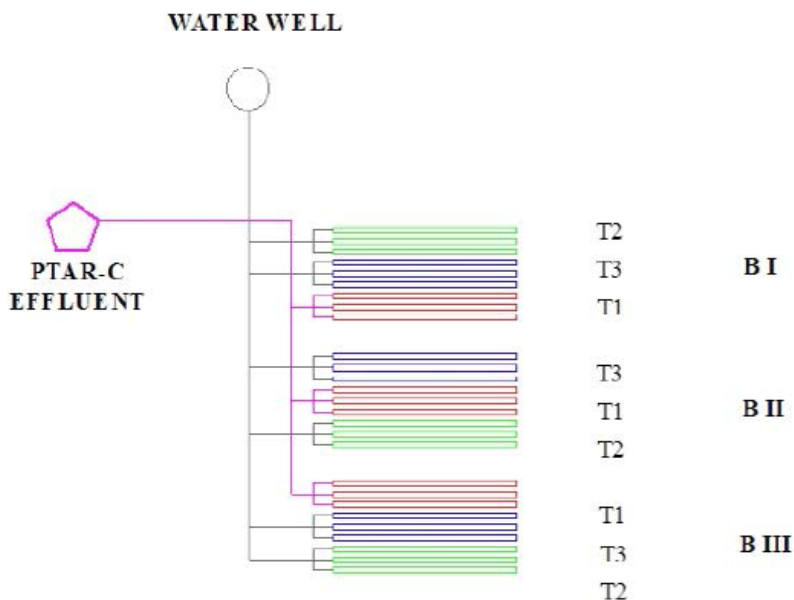
زراعة قصب السكر هي النشاط الزراعي الرئيس في وادي نهر كاوكا Cauca River. ويوجد بها 208.254 هكتار مزروعة بهذا المحصول، وهو ما يمثل 5% من المساحة الكلية المزروعة في كولومبيا (CENICANA 2010). الطلب على مياه الري هو 300 - 400 ملم / سنة (Torres et al. 2004)، ممّا يمثل ضغطاً كبيراً على مصادر المياه السطحية والجوفية للمنطقة. وكان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم التأثير على إنتاج قصب السكر (variety CC-8592) الذي يُروى بمياه النفايات السائلة الخارجة من محطة الصرف الصحي PTAR-C في ظل الظروف المناخية لمنطقة Valle del Cauca في جنوب غرب كولومبيا Colombia.

2. المواد والطرائق

أُجريت الدراسة داخل محطة Canaveralero لمعالجة المياه العادمة الواقعة في المنطقة الشمالية الشرقية من مدينة كالي Cali على الضفة اليسرى لنهر كاوكا Cauca River (3° 28' 7" N, 76° 28' 40" W)

1.2. التصميم التجريبي

كان التصميم التجريبي المستخدم في البحث من كتل كاملة عشوائية. تمّ إنشاء ثلاث كتل مع تسعة أخاديد من قصب السكر لكل منها. كان طول الأخاديد 100 متر وعرضها 1.5 متر، وكانت هناك منطقة فصل 18 متراً بين الكتل هذه (الشكلان 1 و 2).



T1, T2, T3 with 3 furrows to 1.5 m/block

الشكل 1: التخطيط العام للإعداد التجريبي (بدون مقياس)، (B: كتلة أو بلوك المعالجة: T 1, 2, 3).



الشكل 2: نظرة عامة من الإعداد التجريبي.

كان عامل البحث هو نوعية مياه الري. وكانت مصادر المياه هي: المياه الجوفية والنفائات السائلة من محطة PTAR-C العاملة تحت CEPT. وكانت المعالجات التجريبية: T1: الري بالمياه السائلة المعالجة الخارجة من

محطة PTAR-C، T2: الري بالمياه الجوفية، و T3: الري بالمياه الجوفية وتطبيق الأسمدة الكيماوية (اليوريا والسوبر فوسفات الثلاثي وكلوريد البوتاسيوم)، تظهر الجرعات المطبقة في الجدول (1). ويبين الجدول (2) حالة التغذية الأولية للتربة لكل كتلة. كانت بارامترات البحث: إنتاج قصب السكر (طن/ هكتار)، سكر القصب saccharose (%)، خفض السكريات (%)، ودرجات بركس Brix grades (Br°). يعرض الجدول (3) المتغيرات، وتواتر أخذ العينات، وأساليب وتقنيات القياس.

2.2. إعداد التربة وجدولة الري

كانت التربة من نوع انسبتيسول inceptisol ذات خصائص متميزة، مثل الملمس الطيني السيلتي والبنية الهيكلية في كتل زاوية وفقاً لوصف الحقل ودراسة التربة المحلية (IGAC, 1980). وقد تعرضت قطع الأراضي للزراعة، والحراثة، والتجريف، والتسوية. كانت طريقة الري هي الري بالتنقيط باستخدام أنابيب مغلقة في نظام النقل مع بوابات في نظام التوزيع على المستوى الميداني. واستندت جدولة الري إلى التوازن اليومي للمياه. تم تطبيق خمس سقايات (ري) (324 ملم في المجموع) خلال فترة التطور الفيزيولوجية والوظائفية للمحصول (آب 2009 - آب 2010).

الجدول 1: جرعات التسميد المطبقة على المعالجة T3 (0.045 هكتار في البلوك)

المتطلبات الغذائية (كغ)				السماذ (كغ)		
الكتلة	النتروجين N	خامس أوكسيد الفوسفور P_2O_5	أوكسيد البوتاسيوم K_2O	يوريا 46% أزوت N	ثلاثي الفوسفات 46% خامس أوكسيد الفوسفور	كلوريد البوتاسيوم 60% أوكسيد البوتاسيوم
I	4.5	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0
II	4.5	2.0	3.4	9.8	4.4	5.7
III	4.5	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0
الاجمالي	13.5	2.0	3.4	29.5	4.4	5.7

الجدول 2: الخصائص الكيميائية والماكرو تغذوية للتربة ونسبها الكاتيونية الموجبة.

الكتلة	pH	Ca	K	Mg	Na	CEC ₇	Ca/Mg	Mg/K	Ca ⁺ Mg/K	EC	ESP	OM	PBrayII	NNH ₄	NNO ₃
		cmol kg ⁻¹								μmho cm ⁻¹	%	gr kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		
I	7.41	23.52	0.33	9.5	0.25	29.55	2.5	29	100	274	0.74	35.93	29.46	14.96	13.19
II	7.42	21.21	0.26	8.93	0.25	26.6	2.4	34	116	215	0.82	25.09	6.62	11.21	9.02
II	7.41	23.88	0.31	8.93	0.26	30.2	2.7	29	106	222	0.78	33.74	18.74	8.52	16.17
المتوسط	7.41	22.87	0.30	9.12	0.25	28.78	2.5	31	107	237	0.78	31.59	18.27	11.56	12.79

الجدول 3: متغيرات التحكم والاستجابة

	التقنية	أخذ العينات	الوحدة	البازاميت
المحصول	وزن في الحقل مع مقياس Fairbanks سعة 500 كغ (الدقة: 0.25 كغ)	وزنها في مجال الإنتاج كله	طن / هكتار	إنتاج
	كروماتوجرافيا سائلة	طحن 10	%	سكر القصب
	كروماتوجرافيا سائلة	سوق نبات لكل معالجة	%	تخفيض السكر
	قياس الانكسار	واستخراج 100 مل لتحليلها في المختبر	%	Brixgrades درجات بريكس
	مقياس الجهد	التر عينة	-	pH الأس الهيدروجيني
المياه	مقياس الجهد	من كل نوعية المياه في كل ري، التي أخذت في مخرج من الأنابيب.	dSm ⁻¹	CEW الناقلية الكهربائية
	سبيكتروفوتوميتر (القياس الطيفي)		mEq L ⁻¹	كالسيوم
	سبيكتروفوتوميتر (القياس الطيفي)		mEq L ⁻¹	مغنيزيوم
	سبيكتروفوتوميتر (القياس الطيفي)		mEq L ⁻¹	صوديوم
	المعايرة بالتحليل الكيماوي- على المقاييس		mEq L ⁻¹	بيكربونات
	المعايرة بالتحليل الكيماوي- على المقاييس		mEq L ⁻¹	الكلوريدات
	المعايرة بالتحليل الكيماوي- على المقاييس		mEq L ⁻¹	الكبريتات
	المعايرة الهضم		mg L ⁻¹	النترت
	المعايرة الهضم		mg L ⁻¹	النترات
	المعايرة بالتحليل الكيماوي		mg L ⁻¹	N- NH3
	المعايرة الهضم		mg L ⁻¹	الفوسفات (PO4)

3.2. تقنيات تحليل البيانات

تم تحليل النتائج وفقاً للتصميم التجريبي (كتل كاملة عشوائية). تم استخدام اختبار أندرسون دارلينغ Anderson-Darling للتحقق من طبيعية البيانات (التوزيع الطبيعي للبيانات). تم تطبيق طريقة أنوفا One way ANOVA لتحديد ما إذا كان هناك اختلافات بين المعالجات (باستخدام البرنامج الإحصائي MINITAB نسخة رقم 15). كان النموذج الرياضي المفترض:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + E_{ij}$$

حيث Y_{ij} : هو متغير الاستجابة، μ : متوسط السكان؛ A_i : تأثير المعالجة i th، B_j : تأثير الكتلة j th، و E_{ij} : الخطأ التجريبي المرتبط بالمعالجة i th في الكتلة j th.

3. النتائج والمناقشة

1.3. جودة مياه الري

يعرض الجدول (4) خصائص اثنين من مصادر مياه الري (المياه الجوفية والنفائات السائلة المعالجة الخارجة من محطة المعالجة PTAR-C). وتتوافق القيم مع متوسط التحليلات التي أُجريت على حالات الري الخمس المطبقة خلال البحث. كان هناك اختلافات في تراكيز النيتروجين الأموني، والنيتروجين الكلي، والفوسفات، والفوسفور الكلي فيما يتعلق بالمخلفات السائلة للمحطة PTAR-C، التي قدمت أعلى القيم، فوق القيم المرجعية لمنظمة الأغذية والزراعة FAO للري التي قدمها Ayers & Westcot (1985). وبالنسبة للنترات، فإنَّ كلاً من النفائات السائلة والمياه الجوفية أعلى من القيم المرجعية لمنظمة الأغذية والزراعة FAO. إن قيم المغذيات العالية هي سمة مياه الصرف الصحي المعالجة، وهذا هو أحد الفوائد المحتملة لإعادة استخدام هذه المياه في الري. ومع ذلك، فإنها تمثل أيضاً خطراً محتملاً على تلويث المياه الجوفية، خاصة في التربة الخفيفة النسيج والبنية وفي المناطق التي تكون فيها طرائق الري غير فعالة (على سبيل المثال، الري بالفيضان).

الجدول 4: جودة مياه الري (المتوسط)

المجال *	الانحراف المعياري S.D.	النفائات السائلة الخارجة	الانحراف المعياري S.D.	المياه الجوفية	الواحدة	البارامتر
6.0 – 8.5	0.27	6.7	0.36	6.98	–	الرقم الهيدروجيني pH
0 – 3	0.05	0.6	0.11	0.45	dSm^{-1}	الناقلية الكهربائية
0 – 20	0.19	1.6	0.23	1.88	$mEq L^{-1}$	الكالسيوم
<5	0.11	0.8	0.12	0.91	$mEq L^{-1}$	المغنيزيوم
<3	0.16	1.7	0.11	2.35	$mEq L^{-1}$	الصوديوم
<10	0.77	3.1	0.91	3.57	$mEq L^{-1}$	البيركورات
0 – 30	0.81	1.0	0.71	1.21	$mEq L^{-1}$	الكلوريد
0 – 20	0.95	1.0	0.96	0.79	$mEq L^{-1}$	الكبريتات
0 – 15	0.13	1.5	0.04	1.99	–	نسبة امتزاز الصوديوم
<5	2.20	1.7	2.68	1.95	$mg L^{-1}$	النترات
<5	54.2	53.7	14.62	14.34	$mg L^{-1}$	النترات
0 – 5	10.3	15.8	1.92	2.67	$mg L^{-1}$	N- NH ₃
<30	53.7	75.2	14.2	20.94	$mg L^{-1}$	النيتروجين الكلي
<2	1.1	5.0	1.19	1.22	$mg L^{-1}$	الفوسفور الكلي
0 – 2	1.43	2.1	0.95	0.53	$mg L^{-1}$	الفوسفات (PO ₄)

*مجموعة من القيم العادية الطبيعية وفقاً Ayers & Westcot (1985).

إنَّ قيمة الرقم الهيدروجيني pH لمياه الري تقع ضمن النطاق المرجعي لنوعية المياه للري. الناقلية الكهربائية EC، في كلتا الحالتين، هي أقلّ من قيمة الحد ($> 0.7 \text{ dSm}^{-1}$)، ممّا يدلّ على انخفاض خطر الملوحة. وتشير قيم نسبة امتزاز الصوديوم (SAR) المتعلقة بقيمة EC_w إلى وجود خطر طفيف من الصوديوم (sodicity) في كلتا الحالتين (Ayers & Westcot 1985)، ممّا يعني أضراراً محتملة في بنية التربة، وذلك بسبب تشتت مجاميع التربة بواسطة أيونات الصوديوم. لهذا السبب، فإنّ خطر الصوديوم موجود على الرغم من أن محتوى الصوديوم Na في مياه الري لم يصل إلى مستويات تعتبر سامة (3 meq L^{-1}). بالإضافة إلى ذلك، ووفقاً لوزارة الزراعة الأمريكية USDA (1954) يتمّ تصنيف كلّ من مياه الري على أنها - C2S1 أي أنها ذات ملوحة متوسطة ومناسبة لري المحاصيل الحساسة إلى حدّ ما للأملاح، وانخفاض محتوى الصوديوم مع مخاطر معينة من تراكم المحاصيل الحساسة مثل بعض الفواكه والأفوكادو.

من الناحية الزراعية، لوحظ أنّ المياه العادمة المعالجة لم تختلف عن المياه الجوفية نظراً إلى أنّ كلا النوعين من المياه له نفس الخصائص، كما هي الحال بالنسبة لوزارة الزراعة الأمريكية USDA (1954) وAyers & Westcot (1985)، ولا يمكن أن ترتبط مع أي خطر لتملّح التربة. خطورة الصوديوم متوسطة ويمكن أن تمثل مشاكل في التربة مع محتويات عالية من الصوديوم Na أو المغنيزيوم Mg لأنه من شأنه أن يعزز تأثير تشتت هذه الأيونات (Garcia et al. 2002).

التربة في منطقة قصب السكر في كولومبيا هي عموماً ذات خصوبة جيدة، ولكن بعض المناطق تمثل محتويات عالية من المغنيزيوم Mg والصوديوم Na. التأثير المشترك للحالة الطبيعية لهذه التربة وخطر الصوديوم المتوسطة للنفايات السائلة يمكن أن يزيد من الضرر على بنية التربة بسبب تشتت تأثير الصوديوم Na والمغنيزيوم Mg.

2.3. العائد من قصب السكر، والسكريات، ودرجات بريكس Degrees Brix

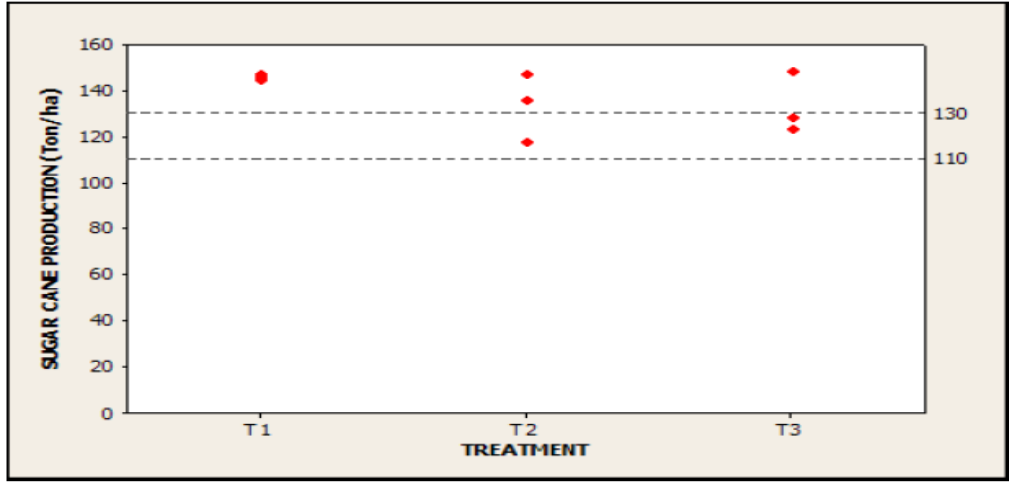
يعرض الجدول (5) النتائج التي تمّ الحصول عليها من الإنتاج (P)، سكر القصب saccharose (S)، والحد من السكريات (AR)، ودرجات بركس (Bx°) للمعالجات التجريبية. وأظهر اختبار أندرسون-دارلينغ Anderson-Darling أن بيانات جميع المتغيرات اتبعت التوزيع الطبيعي ($p > 0.05$). ويمكن ملاحظة أن متوسط إنتاج قصب السكر المقاس بالأطنان من قصب السكر في الهكتار الواحد (TCH) كان أعلى من القيم المتوقعة في المنطقة - أي أن مستويات الإنتاج فوق نطاق 110-130 طن في الهكتار (TCH) تمّ الحصول عليها على النحو الذي أعلن عنه في تقريره Cenicana (2010).

الجدول 5: متوسط استجابة الإنتاج

درجات بركس Bx° (%)	خفض السكر AR (%)	سكر القصب S (%)	الإنتاج (t/ha)	المعالجة T	الكتلة (البوك)
17.3	2.2	15.3	146.1	T1	B1
17.4	1.6	18.6	135.7	T2	
15.7	1.8	18.6	128.8	T3	
17.8	0.4	17.5	144.7	T1	B2
16.8	0.7	15.4	117.7	T2	
19.1	0.4	18.4	123.3	T3	
17.8	0.97	18.1	147.2	T1	B3
17.4	0.92	17.1	147.2	T2	
17.1	0.92	15.4	148.5	T3	
17.6	1.2	17	146	متوسط T1	
17.2	1.1	17	133.5	متوسط T2	
17.3	1	17.5	133.6	متوسط T3	

B: الكتلة (البوك)؛ T: المعالجة؛ P: إنتاج قصب السكر؛ S: سكر القصب saccharose؛ AR: تخفيض سكر القصب؛ Bx°: درجة بريكس Brix grade.

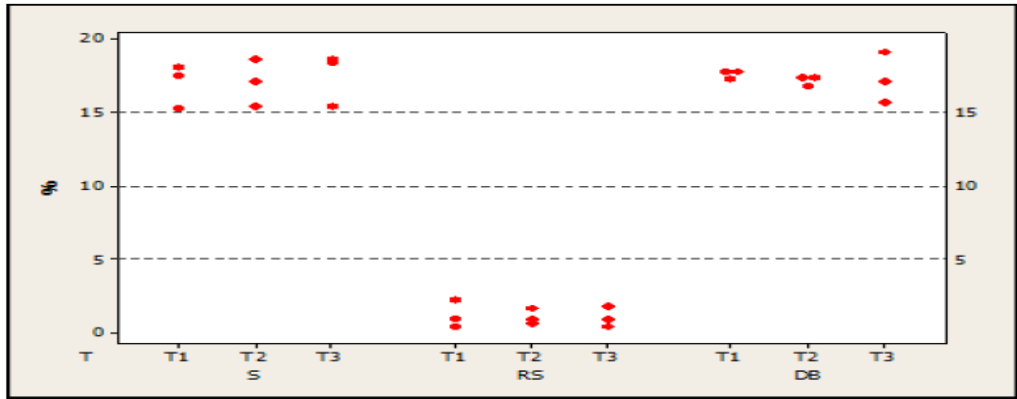
إذا تم أخذ TCH 120 كمتوسط على المستوى الإقليمي، زادت المعالجة T1 من إنتاج قصب السكر بنسبة 21.6%. إذا تم أخذ الحد الأعلى من نطاق الإنتاج كمرجع، كانت الزيادة في الإنتاج 12.3% (الشكل 3). وأظهر تحليل التباين أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية بسبب المعالجة ($p = 0.197$) أو بين الكتل ($p = 0.097$). وفقاً لهذه النتائج، أدى استخدام النفايات السائلة إلى زيادة إنتاج قصب السكر فوق القيمة التي تم الحصول عليها من أجل المعالجة T3 (أي استخدام المياه الجوفية بالإضافة إلى الأسمدة الكيماوية، وهذه الحالة هي الحالة الشائعة في المنطقة)، ومع ذلك، لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية (p -value: 1.97) بين المعالجات وبين الكتل (p -value: 0.97). وأدى تطبيق النفايات السائلة إلى إنتاج مماثل لتلك التي أُبلغ عنها من خلال قطاع قصب السكر التي لها أيضاً ميزة إضافية تتمثل في الوفورات المحتملة للأسمدة الكيماوية التي توفر المغذيات الكبيرة (N, P, K).



الشكل 3 : إنتاج قصب السكر لكل معالجة

أيضاً كان محتوى سكر القصب الوسطي saccharose (%) في جميع المعالجات فوق القيم النموذجية لوادي نهر كوكا Cauca River والتي ذُكرت في تقرير Larrahondo (1995)، هذه القيم هي 11.5-13.5%. إنَّ القيم المتوسطة لكل معالجة متشابهة مع بعضها بعضاً، ولكن تجدر الإشارة إلى أن المعالجة T1 (تطبيق المياه العادمة) أبلغ عن أدنى محتوى لسكر القصب saccharose (3%) على الرغم من أنه يحتوي على أعلى إنتاج قصب السكر. ومع ذلك، أظهر تحليل التباين عدم وجود فروق معنوية بين المعالجات ($p = 0.945$) أو بين الكتل ($p = 0.924$) الشكل (4). من هذا التحليل، يمكن القول إن تطبيق مياه الصرف الصحي لم يؤثر سلباً على إنتاج سكر القصب saccharose.

ويمكن تفسير القيم التجريبية فوق النطاق الإقليمي عن طريق إجراء التجربة على التربة التي لا تُزرع عادة والتي أظهرت خصوبة جيدة في بداية الدراسة. بالنسبة للسكريات المختزلة (RS)، فإن القيمة المتوسطة في جميع المعالجات تقع ضمن النطاق المُبلَّغ عنه كالمعتاد للمنطقة، والذي يتراوح بين 1 و 5% وفقاً لـ Larrahondo (1995). متوسط القيم التي تمَّ الحصول عليها هي متماثلة بين المعالجات (الشكل 4). وأظهر تحليل التباين عدم وجود فروق بين المعالجات ($p = 0.612$)، إلا أنه وُجد فروقاً معنوية ذات أهمية بين الكتل ($p = 0.003$).



الشكل 4: سكر القصب saccharose (S)، الحد من السكريات (RS)، ودرجات بركس (BG) Brix grades (%).

أما بالنسبة لإنتاج قصب السكر sugarcane وسكر القصب saccharose، فإن القيم المتوسطة لدرجات بركس هي أعلى، في جميع المعالجات، من مجالات القيم المعروفة لوادي نهر كاوكا Cauca River وهي تتراوح وفقاً ل Larrahondo (1995) بين 10 و 16 %. القيم التي تم الحصول عليها لهذا المتغير هي متشابهة، ولكن أعطت تقارير المعالجة T1 قيمة أعلى قليلاً من المعالجتين الأخرين (الشكل 4). وأظهر التحليل الإحصائي المطبق أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين المعالجات ($p = 0.874$) أو بين الكتل ($p = 0.500$). ويؤكد هذا التحليل مرة أخرى أن إعادة استخدام النفايات السائلة لمحطة المعالجة PTAR-C من أجل ري قصب السكر (CC-8597) لم تؤثر سلباً على درجة بركس Brix grade.

وبالنظر إلى أن الحالة التغذوية للتربة كانت متجانسة في بداية هذا البحث الجدول (2)، فإن النتائج التي تم الحصول عليها في متغيرات الاستجابة الأربعة المدروسة تبين أن إنتاجية قصب السكر قد تأثرت بشكل إيجابي وكانت القيم أعلى من تلك التي تم الإبلاغ عنها على أنها مرغوبة من قصب السكر في قطاع إنتاج قصب السكر في المنطقة. ومع ذلك، قد يرتبط ذلك مع حقيقة أن هذه هي دورة الإنتاج الأولى في التربة التي يتوقع ارتفاع مؤشرات الإنتاج والإنتاجية والخصوبة.

كانت قيم الإنتاجية التي تم العثور عليها مماثلة لتلك التي أعلنت عنها Silva (2008)، التي استخدمت نفس المياه والتربة ونفس مجموعة تشكيلة قصب السكر، ولكن في أوعية صغيرة (أصيص). وحصلت هذه الباحثة على عائد قدره 133 طناً في الهكتار من قصب السكر. وفيما يتعلق بسكر القصب saccharose، فإن نتائج هذا البحث الحالي أعلى من تلك التي وجدتتها سيلفا Silva (2008)، التي حصلت على 4.1% سكر القصب saccharose. وبالمثل، لم توجد فروق ذات دلالة إحصائية في إنتاج قصب السكر (TCH) أو في سكر القصب saccharose (%) بين المعالجات المدروسة. ولم تتأثر إنتاجية صنف قصب السكر، مما يدل على أنه من الممكن استخدام المياه السائلة لمحطة معالجة PTAR-C في ري قصب السكر بسبب التركيز العالي لمغذيات النبات والتربة.

4. الاستنتاجات

لم يتأثر إنتاج قصب السكر (TCH) باستخدام المياه السائلة لمحطة المعالجة PTAR-C كمياه ري. على العكس من ذلك، تمّ الحصول على قيم أعلى قليلاً (133 - 145 طن / هكتار) من المجال الشائع في المنطقة (110 - 130 طناً / هكتار).

لم تؤثر إعادة استخدام النفايات السائلة من محطة المعالجة PTAR-C على إنتاج السكر: بقيت قيم سكر القصب saccharose، ودرجات بركس Brix grade، والسكريات المخفضة (RS) ضمن المجالات المتوقعة لوائي نهر كاوكا Cauca River، وهي 11.5 - 13.5 % لسكر القصب saccharose، 10 - 16 % لدرجات بركس Brix grade، و 1 - 5 % لخفض السكريات.

وبالنظر إلى نتائج الإنتاجية التي تمّ الحصول عليها، يستنتج أن النفايات السائلة من محطة المعالجة PTAR-C توفر الاحتياجات الغذائية للمحصول (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) في دورة الزراعة الأولى. ويمثل التدفق السطحي للمحطة PTAR-C بديلاً محتملاً لري قصب السكر في ظل ظروف خصوبة التربة الجيدة وانخفاض مستويات الصوديوم Na والمنغنيز Mg لتجنب آثار التثنت المحتملة لمجمعات التربة. وينبغي إجراء دراسات إضافية لتقييم خطر تلوث التربة بالصوديوم sodicity وتلوث المياه الجوفية.

وأخيراً، كتوصية أو درس مستفاد من هذا البحث، من الضروري معالجة المشاريع البحثية بفترة أطول لجمع البيانات من أجل تحديد الأضرار المحتملة للخصائص المادية الفيزيائية و/أو الكيميائية للتربة المروية بالمخلفات السائلة لمحطة المعالجة PTAR-C.

شكر وتقدير

لقد تمّ دعم هذا البحث مالياً من خلال EMCALI EICE ESP (شركة المياه في كالي Cali). ويود المؤلفون أن يعربوا عن امتنانهم وشكرهم للمهندس Jose A. Ceron، والسيد Juan F. Moreno من شركة المياه EMCALI لدعمهم خلال الأنشطة البحثية.

المراجع

References

- Ayers, R. S. and D.B. Westcot. 1985. "Water Quality for Agriculture." *Irrigation and Drainage Paper* No. 29, Rev. 1. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO).
- CENICANA (2010). "Informe Anual 2009" (in Spanish). CENICANA
- FAO. 2007. *Water at a Glance – The Relationship between Water, Agriculture, Food Security and Poverty*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO. 2008. *Agua para la Alimentacion, Agua para la vida: Una Evaluacion Exhaustiva de la Gestion del Agua en la Agricultura* (in Spanish). Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- Garcia, A., A. Gonzalez, and A. Torrente. 2002. "Propiedades quimicas y fisicas de los suelos magnesicos del Valle del Cauca (Colombia)" (in Spanish). *Suelos Ecuatoriales* 30(2):74–141.

- Instituto Geografico Agustin Geografico (IGAC). 1980. *Estudio Semi-detallado de Suelos del Valle Geografico del Rio Cauca* (in Spanish). Bogota: IGAC.
- Larrahondo, J. E. 1995. “*Calidad de la cana de azucar*” (in Spanish). In *El Cultivo de la Cana en la Zona Azucarera de Colombia*, 337–354. Cali: Centro de Investigacion de la Cana de Azucar de Colombia.
- Madera, C. 2005. “*Reuso de Agua Residual: Aspectos sobre la Calidad Necesitan Mayor Atencion*” (in Spanish). Accessed May 2014. http://pacificosur.rirh.net/legal_vista.php?id=5.
- Parreiras, S. 2005. “*Tratamento de esgoto por disposicao no solo*” (in Portuguese). Paper presented at “*O Curso sobre Tratamento de Esgoto por Disposicao no Solo*”, Belo Horizonte, May 30, 2005.
- Silva, J. 2008. “*Reuso del Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Canaverelejo PTAR-C en el Riego de Cana de Azucar*” (in Spanish). MSc thesis. Universidad del Valle. Cali.
- Torres, A. J. S., V. R. Cruz, and T. F. Villegas. 2004. “*Avances Tecnicos para la Programacion y el Manejo del Riego en Cana de Azucar*” (in Spanish), 2nd ed. Technical Series No. 33. Cali: Centro de Investigacion de la Cana de Azucar de Colombia.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1954. “*Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*.” Regional Salinity Laboratory, Washington, D.C.

الحالة 10: تراكم المعادن الثقيلة في محاصيل الحبوب والبقول من خلال الري بمياه الصرف الصحي والأسمدة الفوسفاتية (باكستان)

G. Murtaza, M. Bilal Shakoor, and Nabeel Khan Niazi¹

الملخص

إنَّ ريَّ المحاصيل الغذائية بمياه الصرف الصحي غير المعالجة هو ممارسة شائعة بشكل متزايد في جميع أنحاء العالم وكذلك في الباكستان Pakistan، التي تتطلب استراتيجيات إدارة لإنتاج محصول آمن على تربة ملوثة. وفي الباكستان، انخفضت المياه المتوفرة والمتاحة من 1299 متراً مكعباً للفرد الواحد في عام 1996 - 1997 إلى 1100 متر مكعب للفرد الواحد في عام 2006، ومن المتوقع أن تنخفض إلى أقل من 700 متر مكعب للفرد الواحد بحلول عام 2025. ولذلك، فإن ري المحاصيل الغذائية بمياه الصرف الصحي أصبح ممارسة مهمة. وقد أجريت دراسة ميدانية لدراسة توافر النباتات وفحصها لثلاثة معادن ثقيلة (الكاديوم (Cd) والنحاس (Cu) والزنك (Zn)) في اثنين من الحبوب (القمح والذرة) والخضروات (الحمص، فول أو بازلاء مونج) في استجابة لتطبيق مياه الصرف الصحي أو الأسمدة الفوسفاتية خلال عامين متتاليين. خمس معالجات للأسمدة، أي المراقبة، النيتروجين (N) الموصى به يُطبق بمفرده، وبالاشتراك مع ثلاثة مستويات من الفوسفور: (P) نصف، كامل، و1.5 أضعاف الموصى بها من الفوسفور P مثل N0P0، N1P0، N1P0.5، N1P1.0، و N1P1.5 على الترتيب. تراكيز الأنسجة من الكاديوم، النحاس، الزنك، والفوسفور كانوا محددين في مختلف أنحاء النبات (الجزر والساق والحبوب).

في حين تمَّ الحصول على أقصى قدر من إنتاج الكتلة الحيوية مع تطبيق P في نصف الجرعة الموصى بها، انخفضت تراكيز المعادن الثقيلة في المحاصيل عموماً مع زيادة مستويات P. وزادت تراكيز الأنسجة المعدنية مع تطبيق الأزوت N وحده. وكان نقل الزنك والنحاس وتراكمهما أعلى باستمرار من الكاديوم. وقد اختلف نمط تراكم الكاديوم بين الأنواع النباتية - حيث تراكمت كمية الكاديوم من ثنائية الفلقة dicots أكثر من أحاديات الفلقة monocots، خاصة في حبوبها. وكان ترتيب تراكم الكاديوم في الحبوب: الذرة، الحمص، بازلاء أو فول مونج، القمح. كما كان لبازلاء مونج وسوق الحمص تركيز أعلى من أنسجة الكاديوم من الحدود المسموح بها.

وقد تباين نوعاً البقوليات بشكل مماثل، في حين اختلفت أنواع الحبوب عن بعضها بعضاً في تراكم الكاديوم. وكانت تراكيز أيون المعادن أعلى بشكل ملحوظ في الجذور تليها السوق والحبوب. كما أدت زيادة التربة المطبق عليها الفوسفور P إلى زيادة تراكيز المعادن والفوسفور P القابلة للاستخلاص في التربة بعد الحصاد. وعلى الرغم من إضافة المعادن إلى حدٍ كبير بوساطة الأسمدة P، فإن جميع مستويات P المطبقة خُفّضت بشكل فعال توافر المعادن في التربة المروية بمياه الصرف الصحي، إن تطبيق نصف الجرعة الموصى بها من الأسمدة P كان الحل الأكثر جدوى لتخفيض النباتات من امتصاص المعادن من التربة. ويمكن أن تكون لهذه النتائج تطبيقات واسعة لإنتاج المحاصيل الآمنة لأنواع أحادية الفلقة عند ري المحاصيل بمياه الصرف الصحي التي تحتوي على معادن ثقيلة.

الكلمات المفتاحية: مجاري المدينة، الحبوب، البقول، امتصاص المعادن، الأسمدة الفوسفاتية.

1 G. Murtaza • M. Bilal Shakoor • Nabeel Khan Niazi

Institute of Soil and Environmental Sciences, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan; e-mail: gmurtazauaf@gmail.com

1. المقدمة

على مدى العقود القليلة الماضية، شهدت مجتمعات كثيرة نمواً اقتصادياً متزايداً مُقارداً بالتحضر والتصنيع على نطاق واسع، الأمر الذي أدى دون شك إلى زيادة الطلب على المعادن، مما أدى إلى انبعاثات بيئية بشرية وصناعية مكثفة. وعلى وجه الخصوص، أصبح تلوث التربة بالمعادن السامة مسألة ذات أهمية زراعية وبيئية عالمية تؤثر على صحة المحاصيل والثروة الحيوانية والبشر (Huang et al. 2012).

وقد أدى كل من التلوث الطبيعي (التعرية من المواد الأصل، البركانية) والصنعي من مصادر بشرية إلى الانتشار على نطاق واسع للمعادن الثقيلة في التربة وبيئات المياه (Purushotham et al. 2013). يمثل الاستخدام الزراعي لمبيدات الآفات الحشرية، مبيدات الأعشاب، الأسمدة والنفايات الصلبة البلدية، حمأة المجاري، الري بمياه الصرف الصحي المستعملة، حرق الوقود الأحفوري، أنشطة الصهر والتعدين، السيارات، ترميد النفايات، والتخلص من النفايات أهم الأسباب من صنع الإنسان لتلوث التربة بالمعادن الثقيلة (Murtaza et al. 2011).

ويعتبر الكاديوم عنصراً غير أساسي، وهو أمر يثير قلقاً خاصاً باعتباره ملوثاً لسلسلة الأغذية بسبب قدرته على الذوبان والتوافر البيولوجي، فضلاً عن سميته العالية الكامنة المتأصلة، عند تراكيز منخفضة، لكل من النباتات والبشر (Sarwar et al. 2010). في المقابل، بينما في تراكيز منخفضة من الزنك Zn والنحاس Cu كلاهما على حد سواء تعد من المغذيات الضرورية الأساسية والهامة للنباتات، عندما تكون موجودة في تراكيز أعلى، فإنها تصبح أيضاً من الملوثات السامة المهمة. وبسبب تشابهاتها الكيميائية، يتفاعل الكاديوم Cd والنحاس Cu والزنك Zn في أنظمة التربة والنباتات ويمكن أن تؤثر على التوافر البيولوجي لبعضها بعضاً (Kim et al. 2010).

في النباتات، تؤدي المعادن الموجودة في المستويات السامة إلى اضطراب العديد من العمليات الفيزيولوجية والكيميائية الحيوية والأيضية والتمثيل الغذائي، بما في ذلك التمثيل الضوئي والتنفس (Ekmekci et al. 2008)، وامتصاص العناصر الغذائية المعدنية، ونقلها واستقلابها (Sarwar et al. 2010)، تمدد واستطالة الخلايا ونشاط عدة أنزيمات (Gopal and Rizvi 2008). ونتيجة لذلك، طورت النباتات عدة استراتيجيات لتقسيم وترجمة المعادن إلى أجزاء نباتية مختلفة (أي الجذر، الغصن والبرعم، والحبوب) في نسب مختلفة. وبما أن محاصيل الحبوب والبقول تختلف في مورفولوجيا الجذور، كثافة الجذور، التركيب الجيني، الاتجاه والنزعة نحو امتصاص المعادن، ونقلها وتراكمها (Nuruzzaman et al. 2006)، فإن دراسة الاستجابات المختلفة للسمية المعدنية لهاتين الفئتين المحصوليتين الواسعتين هي ذات أهمية عظيمة.

كما أن الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية، إضافة إلى توفير المغذيات النباتية وزيادة إنتاج الغذاء، تؤثر أيضاً على درجة الحموضة للتربة pH، القوة الأيونية، شحنة السطح، البنية المعقدة، تركيب منطقة التربة المجاورة لجذور النباتات التي تتأثر فيها الكيمياء والميكروبيولوجيا بنموها وتنفسها وتبادلها، والنشاط الميكروبي للتربة (Zhang et al. 2010). يمكن للتغيرات في إدارة التربة والمحاصيل لكل من الحبوب والبقوليات من أجل الحصول على عوائد عالية أن تؤثر أيضاً عن غير قصد على توافر النباتية لكل من الكاديوم والنحاس والزنك ومن الممكن الدخول في السلسلة الغذائية (Grant 2011).

يعتبر في باكستان، ثنائي فوسفات الأمونيوم (DAP) واليوريا المدخلين الكيميائيين الرئيسيين اللذين يستخدمان عادة لتكملة الطلب على P و N في المحاصيل. ومن ثم فإن تأثيرهما على السلوك المعدني والتوافر البيولوجي

والتراكم في أنواع المحاصيل المزروعة في التربة الملوثة لهما أهمية خاصة بالنسبة لإنتاج المحاصيل الآمنة (McGowen et al. 2001). وتعدّ محاصيل البقوليات والحبوب مصدراً مهماً ومتواضعاً للأغذية بالنسبة لقوت الإنسان والعلف للحيوانات. غير أن زيادة استخدام مياه المجاري في الري أدى إلى تلوث المعادن في العديد من أنواع التربة الزراعية، الأمر الذي يثير قلقاً شديداً لزراعة المحاصيل الحقلية. ومن ثم تمّ إجراء هذه الدراسة الميدانية على وجه التحديد لتقييم مدى توافر وتراكم الكاديوم Ca والنحاس Cu والزنك Zn في محاصيل الحبوب والبقوليات المتأثرة بتطبيق الأسمدة الفوسفورية P والري بمياه الصرف الصحي للمدينة.

2. المواد والطرائق

1.2. الموقع التجريبي

تقع حالة الدراسة في منطقة الضواحي في فيصل آباد Faisalabad، باكستان Pakistan، حيث تمّ استخدام مياه الصرف الصحي في المدينة غير المعالجة لري الحبوب والذرة البيضاء والأعلاف والخضراوات لأكثر من 30 عاماً.

2.2. زراعة المحاصيل

أُجريت تجربة ميدانية مدتها سنتان خلال الفترة 2006-2008 للتحقيق في امتصاص الفلزات في مختلف أنواع أحادي الفلقة monocot (القمح والذرة) وثنائي الفلقة dicot (الحمص وفاصولياء أو بازلاء مونج) المروية بمياه الصرف الصحي أو المكملّة بالأسمدة الفوسفاتية. تمّ تقسيم منطقة البحث إلى أربع قطع (13.6×18.2 م²) حيث القمح (Triticum aestivum L. cvs. Bhakkar-2002 and AS-2002)، الحمص (Cicer arietinum) (Zea mays L. cvs. Sahiwal-2002 and Monsanto 6525)، الذرة (L. cvs. Bittal-98 and Punjab-2000) وفاصوليا مونج (Vigna radiata L. cvs. NIAB-92 and NIAB-2006) في قطع منفصلة وفقاً لمواسم النمو الخاصة بها خلال 2006 - 07 و 2007 - 08.

واستخدمت التجربة تصميم قطعة أرض مقسمة مع ثلاثة تكرارات على مساحة من الأراضي التي كانت تُروى منذ فترة طويلة بمياه مجاري المدينة في مزرعة استخدام الأراضي، أوشكيرا Uchkera، جامعة الزراعة، فيصل آباد، باكستان. وزرعت البذور بمعدلات تتراوح بين 125، 60، 40 و25 كغ في الهكتار للقمح والحمص والذرة وفاصولياء أو بازلاء مونج، على التوالي. تمّ تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (الجدول 1) باستخدام الطرائق القياسية.

الجدول 1: الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المستخدمة في هذه الدراسة.

القيمة	بارامترات التربة
65	الرمل (%) Sand
25	السيلت طمي (%) Silt
10	الطمي وحل (%) Clay
رملي طيني Sandy loam	الطبقة النسيجية Textural class
7.65	الأس الهيدروجيني pHs
1.9	الناقلية الكهربائية (dS m ⁻¹) ECe
1.2	كتلة المادة الحيوية (%) OM
0.9	كربونات الكالسيوم (%) CaCO ₃
1.3	HCO ₃ ⁻ (mmolc L ⁻¹)
5.0	شوارد الكلور (mmolc L ⁻¹) Cl ⁻
2.1	شوارد الكالسيوم والمغنيسيوم Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (mmolc L ⁻¹)
16.0	شوارد الصوديوم (mmolc L ⁻¹) Na ⁺
0.38	شوارد البوتاسيوم (mmolc L ⁻¹) K ⁺
15.70	نسبة امتزاز الصوديوم SAR (mmol L ⁻¹) ^{1/2}
	القابل للاستخراج AB-DTPA extractable
0.42	الكاديوم (mg kg ⁻¹) Cd
6.66	الزنك (mg kg ⁻¹) Zn
1.57	النحاس (mg kg ⁻¹) Cu
18	الفوسفور (mg kg ⁻¹) P
	إجمالي المعادن Total metals (HNO₃ and HClO₄; 1:4)
5.8	الكاديوم (mg kg ⁻¹) Cd
8.64	الزنك (mg kg ⁻¹) Zn
69.6	النحاس (mg kg ⁻¹) Cu

ECe: الناقلية الكهربائية للتربة المشبعة المستخرجة على شكل عجيني ؛ OM: المادة العضوية؛ SAR: نسبة امتزاز الصوديوم.

3.2. المعالجة بالأسمدة

لم تعتمد معدلات الأسمدة على قيم اختبار فوسفور التربة P، ولكن بدلاً من ذلك تم اتباع توصيات عامة لسماذ الأزوت والفوسفور NP للتربة العادية. وقد تم استخدام اليوريا (46 % أزوت) وثنائي فوسفات الأمونيوم (DAP) (46 % خامس أكسيد الفوسفور P2O5 و 18 % أزوت N) كمصدر للأزوت N والفوسفور P (الجدول (2)، وإدخال المعادن من خلال ثنائي فوسفات الأمونيوم (DAP) في الجدول (3).

4.2. مياه الصرف الصحي

ترد في الجدول (4) الخصائص الكيميائية لمجري الصرف الصحي المستخدمة في الري. أما في الجدول رقم (5) فقد تمّ حساب إجمالي المعادن المضافة إلى التربة من خلال مياه المجاري للمحاصيل. وقد تمّ حساب إجمالي حجم مياه الصرف الصحي التي تمّ تسليمها لكل وحدة تجريبية في القناة المفتوحة باستخدام معادلة مانينغ (Akgray 2005):

$$Q = A/n \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

حيث Q : تدفق التصريف (متر مكعب في الثانية)؛ A : مساحة المقطع العرضي (م²)؛
n : معامل خشونة مانينغ (0.08)؛ R: نصف القطر الهيدروليكي (m)
S : ميل القناة (m/m).

الجدول 2: معالجات الأسمدة المطبقة على كل محصول.

N AND P2O5 (kg ha ⁻¹)				
المعالجة F Treatment (F)	القمح Wheat	الحمص Chickpea	الذرة Maize	بازيلاء مونج Mung bean
المراقبة Control	N0P0 0-0	0-0	0-0	0-0
Recommended N+0.0 P	N1P0 113 - 0	23-0	120-0	23-0
Recommended N+0.5 P	N1P0.5 113- 57	23-28	120-57	23-28
Recommended N+1.0 P	N1P1.0 113- 113	23-58	120-113	23-58
Recommended N+1.5 P	N1P1.5 113- 170	23-85	120-170	23-85

الجدول 3: إجمالي المدخلات المعدنية (ملغ في الهكتار)
من خلال تعديل ثنائي فوسفات الأمونيوم (DAP) للأسمدة.

المدخلات المعدنية (ملغ / هكتار) METAL INPUTS (mg ha ⁻¹)				
المحاصيل Crops	المعالجات Treatments	الكاديوم Cd (16 mg kg ⁻¹ DAP)	الزنك Zn (313 mg kg ⁻¹ DAP)	النحاس Cu (42.6 mg kg ⁻¹ DAP)
القمح والذرة Wheat and Maize	N1P0.5	1993	38671	5182
	N1P1.0	3986	77343	10365
	N1P1.5	5980	115616	15548
الحمص وبازيلاء مونج Chickpea And Mung bean	N1P0.5	956	19136	2392
	N1P1.0	2033	38272	5182
	N1P1.5	2974	57409	7853

يرتبط التلوث مع مسببات الأمراض (البكتيريا والفيروسات) في الغالب بمياه المجاري المنزلية المحلية. وقد ثبت أن البكتيريا القولونية وبيض الديدان الطفيلية يجب أن تكونا $10 \geq$ و $0.01 \geq$ في الملييلتر على التوالي. ووفقاً لـ Ensink et al. (2004)، بالنسبة لمجاري الصرف الصحي في مدينة فيصل آباد، كان الكوليفورم البرازي 6.3×10^7 وأكبر $< 1 \times 10^8$ ، وبيض الديدان الطفيلية 100 و763، ومياه الصرف الصحي هي خليط من التصريف المنزلي والصناعي، التي لم تتصف بتلوثها البيولوجي.

5.2. حصاد النباتات وتحليلها

تمّ حصاد المحاصيل النباتية في مرحلة النضج الإنجابي. تمّ تحديد تراكيز كل من الكاديوم Cd و النحاس Cu و الزنك Zn عن طريق جهاز طيف الامتصاص الذري (السيكتروفوتومتر) من نوع (Thermo Electron AA, Solar-Series, Waltham, USA) يتبعه حامض $\text{di-acid (HNO}_3 + \text{HClO}_4; 3:1)$ ومن ثم هضم العينات في ثلاث نسخ (AOAC 1920)، وتمّ تحديد تراكيز الفوسفور باستخدام مقياس الطيف المرئي للأشعة فوق البنفسجية من نوع (Thermo Electron, Waltham, USA)، وتمّ معايرتها بسلسلة من الحلول القياسية التي توفرها الشركة المصنعة.

الجدول 4: الخصائص الكيميائية المختارة لمياه المجاري

غير المعالجة المستخدمة لري المحاصيل خلال هذه الدراسة.

الانحراف المعياري SD**	المتوسط Mean*	المجال (النطاق) Range	البارامتر Parameter
0.17	7.47	7.3 – 7.9	pHs الأس الهيدروجيني
0.18	2.95	2.64 – 3.13	EC (dS m ⁻¹) الناقلية الكهربائية
0.03	29.50	26.4 – 31.2	TSS (mmolc L ⁻¹) مجموع المواد الصلبة المعلقة
–	–	4.0 – 988	الطلب على الأوكسجين الحيوي BOD (mg L ⁻¹)
–	–	42 – 2676	الطلب على الأوكسجين الكيميائي COD (mg L ⁻¹)
3.45	21.75	16.5 – 27	Na ⁺ (mmolc L ⁻¹) شوارد الصوديوم
0.15	0.56	0.3 – 0.8	K ⁺ (mmolc L ⁻¹) شوارد البوتاسيوم
1.26	6.15	3.2 – 7.4	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (mmolc L ⁻¹) شوارد الكالسيوم والمغنيسيوم
0.99	8.17	7.0 – 10.0	HCO ³⁻ (mmolc L ⁻¹)
2.39	11.0	5.7 – 13.0	Cl ⁻ (mmolc L ⁻¹) شوارد الكلور
3.98	11.16	7.4 – 19	أكسيد الكبريت SO ₄ ²⁻ (mmolc L ⁻¹)
3.80	12.78	8.82 – 21.30	SAR (mmol L ⁻¹) ^{1/2} نسبة امتزاز الصوديوم
1.90	2.05	0.6 – 6.80	RSC (mmolc L ⁻¹) كربونات الصوديوم المتبقية
0.01	0.001	Traces – 0.002	Cd (mg kg ⁻¹) الكاديوم
0.55	0.715	0.05 – 1.62	Cr (mg kg ⁻¹) الكروم
0.01	0.01	0.001 – 0.026	Cu (mg kg ⁻¹) النحاس
0.38	0.471	0.03 – 1.25	Ni (mg kg ⁻¹) النيكل
0.06	0.313	0.04 – 0.70	Pb (mg kg ⁻¹) الرصاص
0.02	0.033	0.01 – 0.072	Zn (mg kg ⁻¹) الزنك

Mean* (متوسط ستة قياسات، N = 6)، S.D. **: الانحراف المعياري، EC: الناقلية الكهربائية، TSS: مجموع

المواد الصلبة المعلقة، SAR: نسبة امتزاز الصوديوم، RSC: كربونات الصوديوم المتبقية، BOD: الطلب البيولوجي

للأوكسجين، COD: الطلب الكيميائي للأوكسجين.

الجدول 5: إجمالي المدخلات المعدنية من خلال الري بالمياه العادمة.

زيادة المعادن من خلال مياه الصرف الصحي (ملغ في الهكتار بالموسم)			
النحاس Cu (0.01 mg L ⁻¹)	الزنك Zn (0.033 mg L ⁻¹)	الكاديوم Cd (0.002 mg L ⁻¹)	المحاصيل Crops
4571	21031	914	القمح والذرة Wheat and Maize
3047	14020	609	بازيلاء مونج والحمص Chickpea And Mung bean

6.2. التحليل الإحصائي

تم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام الحزمة الإحصائية "Statistica 8.1" واستخدام اختبار أقل فرق معنوي (LSD) لمقارنة الانحرافات.

3. النتائج

1.3. إنتاج الكتلة الحيوية النباتية

كان لكل من أنواع المحاصيل ومعالجات الأسمدة تأثير إيجابي كبير ($P < 0.05$) على محصول الحبوب والقش أو سوق القمح الجدول (6). أما بالنسبة إلى المراقبة (N0P0)، فقد زادت جميع مستويات P من محصول القمح، في حين أن تطبيق N وحده خفض من محصول الحبوب (4.937 كغ في الهكتار). وسجلت أعلى الحبوب (5.661 كغ في الهكتار) والقش أو السوق (7.801 كغ في الهكتار) للمحاصيل من الأنواع BKR-02.

أما بالنسبة للذرة، فقد كان للمعالجة تأثير معنوي ($p < 0.05$) على كل من محصول الحبوب والقش. تم الحصول على أعلى حبات (3.031 كغ في الهكتار) والقش (8.370 كغ في الهكتار) مع المعالجة N1P1.5 وتم الحصول على أقل عائد في المراقبة (N0P0).

أما بالنسبة لبازيلاء مونج، فقد أدت كل من المعالجة بالأسمدة وأنواع المحاصيل بشكل إيجابي ($P < 0.05$) إلى زيادة محصول الحبوب (الجدول 6) مع إنتاج النوع NIAB-06 بنسبة الحبوب أعلى (5.2%) (2.048 كغ في الهكتار) من النوع NIAB-92 (1.948 كغ في الهكتار). جميع معالجات P أدت لزيادة محصول الحبوب. أما بالنسبة للحمص، الأسمدة، وأنواع المحاصيل وتفاعلاتها فقد كان لها تأثير إيجابي ($P < 0.05$) على محصول الحبوب والقش (الجدول 6). وأنتج محصول Bital-98 حبوب أعلى (2.243 كيلوغرام في الهكتار) وقش (4.037 كيلوغرام في الهكتار) من النوع P-2000.

2.3. تراكيز المعادن النباتية

إن زيادة معدلات P جنباً إلى جنب مع الجرعة N الموصى بها (113 كغ في الهكتار) أدى لانخفاض تراكيز الأنسجة المعدنية. وقد تراكمت أدنى المعادن في صنف القمح AS-02، في حين راكمت الذرة الهجين M-6525 أكثر كاديوم Ca وأقل النحاس Cu في جميع أجزاء النبات من الصنف S-02.

وانخفضت التراكيز المعدنية في أنسجة البقول معنوياً ($P < 0.05$) مع زيادة مستويات P. وهكذا سجلت أعلى

تراكيز الزنك Zn في الأنسجة النباتية في المراقبة و N1P0 للحمص وبازيلاء مونج، على التوالي. NIAB-92 (فول أو بازيلاء مونج) راكمت كميات أعلى من المعدن مقارنة مع NIAB-06 الجداول (7، 8، 9) تراكم 2.6، 11.3 و 21.0 % زنك Zn أكثر في الحبوب والقش والجذور، على التوالي من NIAB-06.

3.3. تراكيز الفوسفور P في النبات

تفاوتت الاختلافات في محتويات الفوسفور P في القمح والذرة معنوياً ($p < 0.05$) مع أنواع المحاصيل ومعالجات الأسمدة وتفاعلاتها (الجدول 10). بالنسبة إلى المراقبة، وإضافة الأذوت N وحده، لقد زاد تطبيق الأسمدة الفوسفورية P بشكل ملحوظ معنوياً في محتويات النبات من الفوسفور P. باستثناء الفوسفور في القش، لقد اختلفت الأنواع المحصولية عموماً بشكل ملحوظ في محتوياتها من الفوسفور. بالنسبة إلى المراقبة (N0P0)، فإن تطبيق N وحده (N1P0) عزز المحتوى النسيجي الفوسفوري P في نباتات الذرة لكنه خفّض من المحتوى النسيجي الفوسفوري P في نباتات القمح.

كان تأثير معالجات الأسمدة وأنواع المحاصيل وتفاعلها معنوياً ($P < 0.05$) على محتويات الأنسجة من الفوسفور P في كل من أنواع البقوليات (الجدول 10). بالنسبة إلى المراقبة، وبتطبيق N وحده (N1P0) أيضاً تحسنت بشكل ملحوظ المحتوى النسيجي الفوسفوري P في كل من محاصيل البقوليات.

4.3. انتقال المعادن

كانت معاملات الانتقال (TF) translocation factors لجميع المعادن المقاسة (الكاديوم Cd، النحاس Cu، والزنك Zn) أعلى في المعالجة N1P0 وانخفضت مع زيادة مستويات الفوسفور P (الجدول 11) لجميع أنواع النباتات. لقد انخفض متوسط معاملات الانتقال TF وفق الترتيب التالي: في حبوب بازيلاء مونج (1.77) < الحمص (1.2) < القمح (1.14) < الذرة (1.03).

5.3. تحليل التربة بعد الحصاد

بعد حصاد جميع المحاصيل، كشف تحليل التربة أن تطبيق P قد أدى إلى زيادات في المحتوى المعدني القابل للاستخلاص AB-DTPA (الكاديوم Cd، النحاس Cu، والزنك Zn) والفوسفور P في التربة المقابل لمستوى الفوسفور P المطبق (الشكل 1). في حين أن AB-DTPA النحاس والزنك القابل للإزالة ازداد زيادة طفيفة مع P، كانت الزيادات ليست بالكبيرة أو المؤثرة ($P > 0.05$). في المقابل، فإن توافر كل من الكاديوم Cd و P ارتفع بشكل كبير مع زيادة مستويات P في التربة. كما هي الحال مع النحاس والزنك، في حين زادت درجة الحموضة pH قليلاً مع P المضافة، كانت الاختلافات ليست كبيرة وعند مقارنتها مع معالجة المراقبة، انخفضت مع تطبيق N وحده (N1P0).

الجدول 6: تأثير معالجات الأسمدة وأنواع المحاصيل على إنتاج الكتلة الحيوية
(كغ في الهكتار) من محاصيل الحبوب والبقول.

MUNG BEAN بازلاء مونج		CHICKPEA حمص		MAIZE ذرة		WHEAT قمح		Treatment معالجة
NIAB-06	NIAB-92	P-2000	Bital-98	M-6520	S-02	AS-02	BKR-02	
1924±43 ^{def}	1863±29 ^{efg}	1607±35 ^f	2073±23 ^c	2936±25 ^{cd}	2358±34 ^g	5010±146 ^{de}	5575±121 ^{bc}	Grains بذور (حبوب)
1773±21 ^{fg}	1757±28 ^g	1541±48 ^f	1926±35 ^d	3016±13 ^c	2491±57 ^f	4784±23 ^e	5090±58 ^{de}	N ₀ P ₀
218±57 ^{ab}	2046±39 ^{bcd}	1754±23 ^e	2445±13 ^a	3162±37 ^b	2631±40 ^e	5236±105 ^{cd}	6007±182 ^a	N ₁ P ₀
2211±40 ^a	2071±31 ^{abc}	2192±40 ^b	2365±35 ^a	3221±62 ^{ab}	2678±52 ^{de}	5150±218 ^{cde}	5914±133 ^{ab}	N ₁ P _{1.0}
2149±101 ^{ab}	2004±49 ^{cde}	2073±46 ^c	2405±35 ^a	3299±15 ^a	2764±15 ^{cd}	5209±37 ^{cd}	5721±53 ^{ab}	N ₁ P _{1.5}
2144±25 ^a	1985±185 ^a	3960±27 ^c	4385±115 ^b	8067±21 ^d	8176±23 ^{cd}	5887±82 ^c	7382±207 ^b	Straw قش الساق
2213±170 ^a	2360±163 ^a	4119±66 ^{bc}	4837±53 ^a	8209±80 ^{bcd}	8202±46 ^{bcd}	6113±185 ^c	7203±188 ^b	N ₀ P ₀
2313±59 ^a	2272±183 ^a	3455±56 ^d	3973±242 ^c	8304±14 ^{abc}	8288±43 ^{abc}	7057±120 ^b	8479±67 ^a	N ₁ P _{0.5}
2249±71 ^a	2140±109 ^a	3255±47 ^c	3907±144 ^c	8370±50 ^a	8332±30 ^{abc}	6146±202 ^c	8372±150 ^a	N ₁ P _{1.0}
2296±102 ^a	2168±55 ^a	3123±76 ^d	3083±157 ^d	8352±70 ^{ab}	8388±67 ^a	5954±185 ^c	7568±92 ^b	N ₁ P _{1.5}

القيم هي المتوسطات + - خطأ قياسي (n = 3): قيم LSD للحبوب والقش من القمح؛ 145، 201، الذرة؛ 62، 53، الحمص؛ 82.7، 135 وبازلاء مونج؛ 104، 245، على التوالي.

الجدول 10: تأثير معالجات الأسمدة وأنواع المحاصيل على تراكيز P (ملغ في الكغ) في الجذور والقش والحبوب لمحاصيل الحبوب والبقوليات.

Treatment Grains	WHEAT قمح		MAIZE ذرة		CHICKPEA حمص		MUNG BEAN فاصولياء أو بازلاء مونغ	
	BKR-02	AS-02	S-02	M-6520	Bital-98	P-2000	NIAB-92	NIAB-06
حبوب								
N0P0	3554±17b	3484±17b	3794±31e	4091±83c	3890±17d	4343±06f	4691±13e	4588±14f
N1P0	3548±36b	3438±34b	3785±23e	4074±21bc	4064±24c	4566±33e	4858±26d	4662±23e
N1P0.5	3904±40a	3954±55a	3853±47de	4224±42ab	4351±39b	4869±22d	5019±17a	4878±12cd
N1P1.0	3881±36a	3821±43a	3959±55cd	4319±50a	4525±20a	5053±22c	5031±16a	4917±13bc
N1P1.5	3826±27a	3825±87a	3961±26cd	4330±23a	4568±16a	5135±39c	5045±08a	4949±23b
Straw								
N0P0	803±9e	784±13 ^e	1198±25de	1368±36e	2975±18c	3163±16b	3580±21def	3390±19f
N1P0	774±15e	917±15d	1518±41cd	1485±111cd	2915±12c	3136±84b	3508±42ef	3460±32f
N1P0.5	1409±18a	1043±17c	1627±38c	1585±25c	3336±9a	3352±10a	3819±28b-e	3669±16c-e
N1P1.0	1380±16a	986±29cd	1955±36b	1927±45b	3423±12a	3408±30a	4031±25b	3883±18bcd
N1P1.5	1310±60b	998±27c	1939±9a	2149±33b	3427±19a	3431±26a	4095±13a	3905±24bc
Root								
N0P0	1296±13d	1141±11f	1253±46d	1337±35bcd	1695±08g	1737±43fg	1745±25f	1646±23h
N1P0	1009±17g	993±14g	1303±10cd	1467±37bc	1844±27ef	1889±32de	1781±51e	1680±38g
N1P0.5	1642±16a	1355±13c	1363±137bcd	1537±29b	1970±09d	2141±34c	1900±33c	1781±19e
N1P1.0	1531±24b	1268±24de	1483±99bc	1825±53a	2143±71bc	2248±19ab	2005±31b	1885±21d
N1P1.5	1351±14c	1228±18e	1781±70a	1935±71a	2258±30a	2199±27abc	2037±15a	1896±14c

القيم هي المتوسطات + - خطأ قياسي (n = 3) من LSD القيم (n = 3) من الحبوب والقش وجذور القمح؛ 35.3، 44.3، 23.7، الذرة؛ 8.5، 92، 175، الحمص؛ 57، 62.2، 92.5

وبازلاء مونغ؛ 42، 58، 315، على التوالي.

الجدول 11: عوامل انتقال الفلزات المعدنية (TF) لأربعة أصناف من المحاصيل ونوعين لكل صنف.

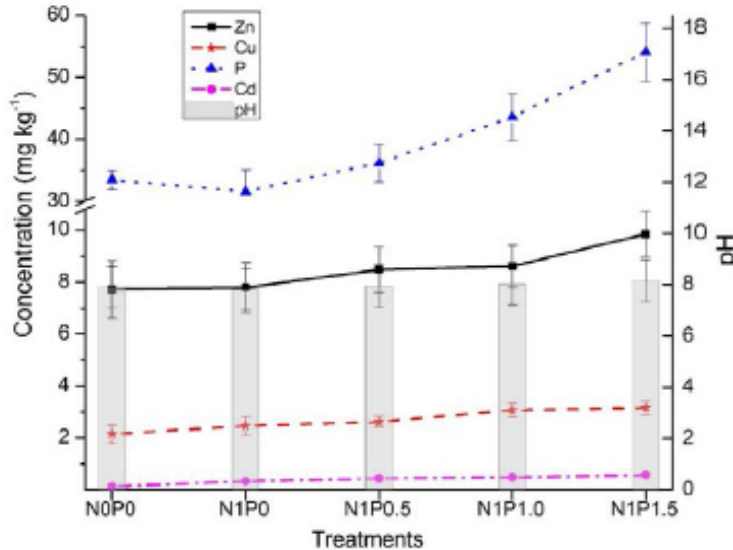
فلز معدني Metal	معالجة Treatment	WHEAT قمح		MAIZE ذرة		CHICKPEA حمص		MUNG BEAN فاصولياء أولياء صوخ	
		BKR-02	AS-02	S-02	M-6520	Bital-98	P-2000	NIAB-92	NIAB-06
Cd	N0P0	0.98	1.01	0.51	0.57	0.59	0.91	0.91	1.16
	N1P0	1.46	1.33	0.70	0.84	0.80	1.26	1.52	1.41
	N1P0.5	1.21	1.59	0.74	0.76	0.69	0.83	1.61	1.31
	N1P1.0	0.74	1.12	0.80	0.71	0.69	0.62	0.53	0.74
	N1P1.5	0.52	1.06	0.61	0.58	0.53	0.70	0.40	0.85
Zn الزنك	N0P0	1.42	1.76	2.15	2.04	1.76	2.47	2.88	3.01
	N1P0	1.53	1.68	2.24	2.12	1.79	2.69	3.04	3.26
	N1P0.5	1.36	1.51	1.78	1.89	1.95	2.57	2.71	3.14
	N1P1.0	1.22	1.15	1.75	1.80	1.83	2.22	2.69	2.73
	N1P1.5	1.09	1.07	1.55	1.60	1.75	2.02	2.50	2.52
Cu النحاس	N0P0	0.71	0.98	0.50	0.45	0.82	0.65	1.47	1.30
	N1P0	1.08	1.17	0.58	0.63	0.90	0.82	1.68	1.38
	N1P0.5	0.95	1.05	0.54	0.59	0.83	0.69	1.63	1.36
	N1P1.0	0.94	0.99	0.52	0.55	0.79	0.64	1.51	1.25
	N1P1.5	0.75	0.87	0.43	0.42	0.71	0.61	1.37	1.11

4. المناقشة

زادت إنتاجية الحبوب لجميع المحاصيل مع زيادة تطبيق الأسمدة DAP جنباً إلى جنب مع الجرعات الموصى بها من النيتروجين (الجدول 7). ومع ذلك، فقد تم تخفيض الكتلة الحيوية بإضافة مزيج من P و N، والتي يمكن أن تكون ناجمة عن إضافة المعادن بواسطة الأسمدة P وبعض السمية النباتية الناتجة بشكل منطقي. في حين يتوقع حدوث زيادة في إنتاجية المحاصيل بعد تطبيق الأسمدة، نظراً للآثار المفيدة للمغذيات التطبيقية على نمو النبات والتمثيل الغذائي، فإن مدى أي زيادة يعتمد على الأنواع النباتية و/أو الصنف المحدد للمحصول (Nuruzzaman et al. 2006).

تطبيق P يعزز التنمية الجذرية، والتمثيل الضوئي، ونضج المحاصيل، ويحث على مقاومة الأمراض النباتية، ويعزز كفاءة استخدام المياه، تثبيت N، نقل السكر، وبالتالي إنتاجية المحاصيل الزراعية (Guan et al. 2013). ويبدو أن تطبيق نصف الجرعة الموصى بها من P، كما يمارسها المزارعون، يمثل خياراً اقتصادياً لإنتاج محاصيل الحبوب والبقوليات في التربة المروية بمياه مجاري الصرف الصحي.

ويمكن أن يعزى الانخفاض الملحوظ في إنتاج الكتلة الحيوية نتيجة لتطبيق N وحده (N1P0) إلى مزيج من امتصاص المعادن المرتفعة، وما يترتب على ذلك من سمية نباتية لهذه المعادن، فضلاً عن النقص الطبيعي والأساسي للفوسفور P في هذه التربة الجيرية الكلسية (Siebers et al. 2014). وسجلت أعلى مستويات للكاديوم Cd في حبوب القمح والحمص مع N1P1.0، ومع N1P0.5 للذرة وبازيلاء مونج في حين سجلت أدنى المستويات مع N1P1.5 (الجدول 7). في أعلى معدل تطبيق P تم انخفاض إنتاج الكتلة الحيوية أيضاً، مما أدى بلا شك إلى انخفاض امتصاص المعادن وتراكم الأنسجة إلى حد ما. مع مستويات أعلى من P، يمكن أن تصبح العمليات المختلفة أكثر هيمنة لتحويل المعادن المتاحة بسهولة إلى أنواع أقل إتاحة. مع مستويات منخفضة من المعادن، يبدو أن العمليات النباتية تسيطر على امتصاص المعادن في حين كانت على مستوى عالٍ ردود فعل التربة المسؤولة أساساً عن امتصاص المعادن.



الشكل 1: تأثير معالجات الأسمدة على ما بعد الحصاد AB-DTPA القابل لاستخلاص الكاديوم Cd، الزنك Zn، النحاس Cu، ودرجة الحموضة في التربة.

إن زيادة تراكم الأنسجة من الكاديوم Cd في مستويات منخفضة قد يكون عائداً إلى تفاعلات التبادل الأيوني مع الكاديوم Cd والأيونات المنافسة من الأسمدة في مواقع الامتصاص في التربة أو عن طريق تحمض التربة (Grant 2011). ومن المعروف والموثق جيداً أن الفوسفات يقلل من حل الكاديوم في التربة وحركته من خلال تشكيل رواسب المعادن مع منتجات ذوبان منخفضة مثل Cd_2PO_3 , $Cd_3(PO_4)_2$, $Cd(OH)_2$ أو $CdCO_3$ ، والتي تميل إلى أن تكون غير متكررة وغير متوفرة عموماً للنباتات (Huang et al. 2012). ويمكن أيضاً أن يُعزى انخفاض أنسجة الكاديوم Cd إلى امتصاص الفوسفور P الناتج في التربة (Siebers et al. 2014)، وزيادة شحنة السطح، أو الامتزاز المشترك لـ P و Cd كزوج أيون (Grant 2011). ويمكن أن يُعزى تجميد حركة المعدن وشلها بمعدلات عالية جداً من P، عادة فوق تلك المستخدمة في إنتاج المحاصيل، إلى الامتزازات المعدنية الناتجة التي يسببها P و/أو هطول الأمطار/الأمطار المشتركة (Grant 2011). كما أفادت عدة مجموعات بحثية أخرى (Huang et al. 2012) مؤخراً عن انخفاض في تراكيز الكاديوم Cd في النباتات التي تتبع مواقع الامتصاص في استخدام التربة للأسمدة الفوسفورية P. في معظم هذه الدراسات، يمكن أن يكون الانخفاض في التوافر النباتي للكاديوم Cd مرتبطاً بتوافر P العالي، مما يقلل من امتصاص الكاديوم عن طريق التدخل إما في نقل الكاديوم من الجذور إلى ساق النبات أو تعزيز قدرة التربة أو مكوناتها على امتزاز أو ترسيب الكاديوم (Mar et al. 2012).

و غالباً ما تكون التفاعلات المضادة بين P و Zn كبيرة في نظم التربة والنبات، خاصة عندما يتم تطبيق واحد فقط منها (إما P أو Zn) من خلال تعديل الأسمدة وتحسينها (Lambert et al. 2007). التفاعلات بين العنصرين معقدة لأن P يتداخل ويتعارض مع امتصاص الزنك. أيضاً يزيد P من محصول النبات، وتسبب مواقع الامتصاص في تخفيف التربة من تراكيز أنسجة الزنك. وقد تؤدي الزيادات التي يسببها P في انتاجية المحاصيل أيضاً إلى تحسين قدرة المحصول على إزالة الزنك من التربة، من خلال زيادة نمو الجذور أو تعزيز التدفق الشامل والنتح (Lambert et al. 2007). زيادة امتزاز الكاديوم من التربة يمكن أن يزيد من توافر النباتية للكاديوم Cd، مما يؤدي إلى زيادة المنافسة بين الزنك والكاديوم لامتصاصها ونقلها من قبل النباتات (Grant et al. 1998). إن التفاعلات بين P و Cd، Zn قد يكون لها تأثير كبير على تراكيمهم العام في الأنسجة النباتية (Imtiaz et al. 2006). وبالمثل، مواقع الامتصاص في تطبيق التربة كلاً من P والزنك Zn قد تتفاعل أيضاً للحد من محتوى الأنسجة من النحاس، التي يعتقد أنها تحدث في موقع امتصاص ربما مع ترسيب النحاس على سطح الجذر (Fageria et al. 2001).

وقد أدت المعالجة بالنيتروجين وحده إلى زيادة تركيز الأنسجة لجميع المعادن التي تم اختبارها (Cd، Cu و Zn) لأن هذه المعالجة أدت إلى انخفاض كبير في درجة الحموضة للتربة pH (الشكل 1)، ومن المعروف أيضاً أنه يؤثر على تكوين منطقة التربة في جوار جذور النباتات والنشاط الميكروبي ونمو الجذر (Wangstrand et al. 2007). أما الأسمدة التي تعتمد على الأمونيوم (اليوريا؛ NH_4-N) فقد زادت من توافر المعادن النباتية أكثر من أسمدة النترات بسبب انخفاض في درجة الحموضة للتربة pH، ربما بسبب النترجة، وامتصاص النبات لـ (NH_4^+) وإطلاق (H^+) من خلال الجذور، مما يؤدي إلى زيادة في مستويات أيونات الهيدروجين (H^+) في التربة (Avci and Deveci 2013). ازدادت تراكيز متوسط الكاديوم وفق الترتيب: الذرة < الحمص < حبوب بازيلاء مونج < القمح بينما كانت أمطار تراكم النحاس وفق الترتيب في حبوب بازيلاء مونج < القمح < الحمص < الذرة، وتلك من الزنك كانت القمح < الحمص < حبوب بازيلاء مونج < الذرة. منذ زراعة بازيلاء مونج والذرة في الصيف، فإن

تراكيز عالية من Cd قد ترجع في جزء منه إلى ارتفاع التبخر (Prasad 2004). ويمكن أن تكون هذه الاختلافات في تراكم المعادن بسبب الاختلافات المورفولوجية والوراثية بين الأنواع والأصناف (Nuruzzaman et al. 2006). العديد من أنواع النباتات تزيد من تكوين الجذور ونضج عدد من الانقسامات، مثل ملح أو حامض الستريك والملات malate، كآلية لزيادة توافر P (Jones and Oburger 2011).

أما القمح والحمص وبازيلاء مونج وحبوب الذرة فقد راكمت على التوالي 4.8، 3.3، 7.7 و 3.76 مرة أقل لعنصر الكاديوم Cd من الجذور و 1.3 و 7.0 و 1.5 مرة أقل من السوق والقش. وكانت أعلى تراكيز المعادن موجودة دائماً في جذور النباتات بغض النظر عن الأنواع. وهناك عدد من العوامل بما في ذلك التشريحية والبيوكيميائية والفيزيولوجية يمكن أن تسهم في تراكم المعادن والتوزيع في الأجزاء النباتية العليا. وبما أن المعادن هنا تقتصر أساساً على الجذور، هذا يقترح إلى أن الالتزام عن طريق الشحنة السلبية من الأنسجة والمواقع البكتيرية ومجموعات الهستيديل hystidyl من جدران الخلايا (Hall 2002) قد تكون مهمة وأن الحركة التصاعدية قد تكون ذات صلة لحركية التشبع. كما اعتبر بعض البروتين المرتبط بالمعدن في الجذور مسؤولاً عن تقييدها وحصرها (Lux et al. 2011).

يبدو أنه لا توجد سياسة وطنية سارية المفعول بشأن الاستخدام المستدام لمياه الصرف الصحي في الباكستان Pakistan. وقد وضعت قوانين ولوائح بشأن معالجة المياه العادمة والتخلص منها في البلد، ولكن تنفيذها بسبب نقص الموارد والقوى العاملة الماهرة هي القضية الحقيقية. والنتيجة هي أنه في حين توجد قدرة وطاقات إدارية مناسبة وضرورية على الورق، فإن فعاليته تقلص بشكل خطير في الممارسة بسبب أوجه القصور والعيوب هذه. إن نظام تقييم الأثر البيئي (EIA) إلزامي ولكنه نادراً ما يتبع في القطاع العام، وقد أنشئت مختبرات بيئية في جميع المحافظات ولكنها تعمل مع هيكلية موظفين وميزانيات غير كافية لمعادنها الروتينية والاحتياجات الكيميائية. وبالمثل، أنشئت محاكم بيئية غير أن قدرتها على التعامل مع الحالات المبلغ عنها مقيدة للغاية، حيث لم يعين أو ينتدب الحد الأدنى من الموظفين إلا في مقاطعتين للإشراف الجماعي الشامل على البلد بأكمله.

5. الاستنتاجات

في حين أن أسمدة ثنائي فوسفات الأمونيوم DAP هي مصدر كبير للمعادن المضافة للتربة الزراعية، فإن تطبيق P على جميع المستويات كان فعالاً في خفض توافر ثلاثة معادن (Cd، Cu و Zn) في التربة الجيرية الكلسية المروية مع نفايات المدينة. وكان الخيار الأكثر قابلية للاستمرار اقتصادياً للحد من سمية المعادن في المحاصيل ينطوي على استخدام نصف الجرعة الموصى بها من الأسمدة P فقط. وفي حين أن هذه الدراسة اقتصر على أربعة أنواع نباتية، فإن هذه النتائج الأولية قد تكون لها تطبيقات واسعة لإنتاج المحاصيل الآمنة للنوع الأحادي التي تزرع في التربة غير المعالجة المروية بالمجاري في المدينة.

6. التوصيات المستقبلية

يتعين توضيح المعرفة الأساسية بالعوامل المؤثرة على التنقل، وتوافر الأغذية، والتراكم الأحيائي، وآليات امتصاص المعادن الثقيلة من الحبوب والبقوليات بسبب الاختلاف في الفيزيولوجيا (علم وظائف الأعضاء) ومورفولوجيا الجذور. وقد أظهرت الدراسات السابقة أيضاً أن المعادن الثقيلة يمكن أن تنتقل إلى الحبوب/البذور عبر أنسجة مختلفة (Murtaza et al. 2015; Murtaza et al. 2016). غير أن المعلومات المتعلقة بديناميكياتها لا تزال

تتطلب مزيداً من البحوث، خاصة في محاصيل البقوليات والحبوب الهامة.

1- يمكن أن تخفف الكمية العالية من المعادن المفيدة (الكوبالت Co، النحاس Cu، الحديد Fe، المنغنيز Mn، الموليبدنوم Mo، النيكل Ni، الزنك Zn) في الكتلة الحيوية المحصودة (الحبوب والبقوليات) إلى مستويات مقبولة من خلال الجمع بين الكتلة الحيوية الملوثة والمواد النظيفة (خالية من المعادن) في تركيبات الأسمدة والعلف.

2- إنَّ التجمد (عدم الحركة) الكيميائي في الموقع للمعادن الثقيلة ليس فقط استراتيجية معالجة فعالة من حيث التكلفة، التي تستقر وتثبت المعادن الثقيلة في التربة الملوثة، ولكن يمكن أيضاً تحسين خصوبة التربة، وزيادة نمو النبات. تحتوي التعديلات والتحسينات العضوية (السماذ العضوي) على نسبة عالية من المواد العضوية الرطبة ويمكن أن تقلل التوافر البيولوجي للمعادن الثقيلة في التربة بسبب وجود مساحة كبيرة وتوفر مواقع امتصاص قوية، ولو كان ذلك مؤقتاً، مما يسمح بإعادة الغطاء النباتي.

3- لقد تبين أن دور الأسمدة NPK والتعديلات العضوية مثل روث المزرعة أو الإضافات غير العضوية مثل الجير والجبس والزيوليت وأكاسيد الحديد فعالة في خفض نقل المعادن في داخل المحاصيل. معظم هذه المواد متاحة بسهولة بكميات كبيرة، ودمجها في التربة سهل إذا كان التلوث يقتصر على التربة السطحية. غير أن التطبيق المتكرر قد يكون ضرورياً وتعتمد الفعالية إلى حد كبير على ظروف التربة ويجب اختبارها دورياً.

4- تشمل الأساليب الفعالة الأخرى للحد من نقل المعادن إلى السلسلة الغذائية دوران المحاصيل وزراعة المحاصيل الصناعية أو محاصيل الطاقة الحيوية. ويحتاج اختيار المحاصيل في إطار نظام الزراعة المروية بالمياه العادمة إلى مزيد من التحقيقات للتوصيات النهائية التي ينبغي تقديمها للمزارعين.

5- إن معالجة المياه الصناعية / المدنية من خلال اقتران العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي، جنباً إلى جنب مع التشريعات الصارمة والوعي على المستوى الوطني، هو شرط مطلوب اليوم. وعلاوة على ذلك، هناك حاجة أيضاً إلى بناء القدرات والكفاءات في مجال البحوث المتعلقة بمعالجة المياه المستعملة وإدارتها واستخدامها الآمن. ويمكن تحقيق ذلك من خلال ترتيب اجتماعات لمجموعات المزارعين، بما في ذلك وسائل الإعلام المطبوعة والإلكترونية.

7. شكر وتقدير

يودُّ المؤلفون أن يشكروا لجنة التعليم العالي (HEC) (الباكستان) Pakistan على دعمهم المالي. كما نشكر الدكتور منصور قادير Manzoor Qadir من جامعة الأمم المتحدة -معهد المياه والبيئة والصحة (UNU-INWEH)، أونتاريو Ontario، كندا Canada، على تعاونهم الممتاز خلال الدراسة والاستعراض النقدي لهذا المقال.

المراجع

References

Akgiray O. 2005. "Explicit solutions of the Manning equation for partially filled circular

pipes.” *Canadian Journal of Civil Engineering* 32:490–499.

Avci H, Deveci T. 2013. “Assessment of trace element concentrations in soil and plants from cropland irrigated with wastewater.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 98:283–291.

Ekmekci Y, Tanyolac D and Ayhana B. 2008. “Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars.” *Journal of Plant Physiology* 165:600–611.

Ensink JHJ, Simmons RW and van der Hoek W. 2004. “Wastewater use in Pakistan: The cases of Haroonabad and Faisalabad.” In *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*, edited by Scott, C. A., Faruqui, N. I. and Raschid, L., 91–99. Wallingford: CAB International.

NK, Baligar VC, Jones CA. 2001. “Growth and mineral nutrition of field crops.” *CRC Press*.

Gopal R, Rizvi AH. 2008. “Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish.” *Chemosphere* 70:1539–1544.

Grant CA. 2011. “Influence of phosphate fertiliser on cadmium in agricultural soils and crops.” *Agriculture and Agri-Food Canada* 54:143–155.

Grant C, Buckley W, Bailey L, Selles F. 1998. “Cadmium accumulation in crops.” *Canadian Journal on Plant Science* 78:1–17.

Guan G, Tu S, Li H, Yang J, Zhang J, Wen S, Yang L. 2013. “Phosphorus fertilization modes affect crop yield, nutrient uptake, and soil biological properties in the rice-wheat cropping system.” *Soil Science Society of America Journal* 77:166–172.

Hall J. 2002. “Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance.” *Journal of Experimental Botany* 53:1–11.

Huang H, Li T, Gupta D, He Z, Yang X-e, Ni B, Li M. 2012. “Heavy metal phytoextraction by *Sedum alfredii* is affected by continual clipping and phosphorus fertilization amendment.” *Journal of Environmental Sciences* 24:376–386.

Imtiaz M, Alloway BJ, Memon MY, Khan P, Siddiqui SH, Aslam M, Shah SKH. 2006. “Zinc tolerance in wheat cultivars as affected by varying levels of phosphorus.” *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37:1689–1702.

Jones DL, Oburger E. 2011. “Solubilization of phosphorus by soil microorganisms.” In *Phosphorus in Action*, 169–198. Springer.

- Kim KR, Owens G, Naidu R, Kwon SI. 2010. "Influence of plant roots on rhizosphere soil solution composition of long-term contaminated soils." *Geoderma* 155:86–92.
- Lambert RL, Grant C, Sauva SB. 2007. "Cadmium and zinc in soil solution extracts following the application of phosphate fertilisers." *Science of The Total Environment* 378:293–305.
- Lux A, Martinka M, Vaculik M, White PJ. 2011. "Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review." *Journal of Experimental Botany* 62:21–37.
- Mar SS, Okazaki M, Motobayashi T. 2012. "The influence of phosphate fertilizer application levels and cultivars on cadmium uptake by Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *perviridis*)." *Soil Science and Plant Nutrition* 58:492–502.
- McGowen S, Basta N, Brown G. 2001. "Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal solubility and transport in smelter-contaminated soil." *Journal of Environmental Quality* 30:493–500.
- Murtaza G, Javed W, Hussain A, Wahid A, Murtaza B and Owens G. 2015. "Metal uptake via phosphate fertiliser and city sewage in cereal and legume crops in Pakistan." *Environmental Science and Pollution Research International* 22:9136–9147.
- Murtaza G, Javed W, Hussain A, Qadir M and Aslam M. 2016. "Soil applied zinc and copper suppress cadmium uptake and improve the performance of cereals and legumes." *International Journal of Phytoremediation* (Accepted).
- Murtaza G, Haynes RJ, Naidu R, Belyaeva ON, Kim KR, Lamb DT and Bolan NS. 2011. "Natural attenuation of Zn, Cu, Pb and Cd in three biosolids-amended soils of contrasting pH measured using rhizon pore water samplers." *Water Air Soil Pollution* 221:351–363.
- Nuruzzaman M, Lambers H, Bolland MD and Veneklaas EJ. 2006. "Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes." *Plant Soil* 281:109–120.
- Prasad R. 2004. "OFDM for wireless communications systems." In *Artech House universal personal communications series*.
- Purushotham D, Rashid M, Lone MA, Rao AN, Ahmed S, Nagaiah E, Dar FA. 2013. "Environmental impact assessment of air and heavy metal concentration in groundwater of maheshwaram watershed, Ranga Reddy district, Andhra Pradesh." *Geological Society of India* 81:385 3–96.

Sarwar N, Malhi SS, Zia MH, Naeem A, Bibi S and Farid G. 2010. "Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:925–937.

Siebers N, Godlinski F, Leinweber P. 2014. "Bone char as phosphorus fertiliser involved in cadmium immobilization in lettuce, wheat, and potato cropping." *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 77:75–83

Wangstrand H, Eriksson J, A-born I. 2007. "Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization." *European Journal of Agronomy* 26:209–214.

Zhang F, Shen J, Zhang J, Zuo Y, Li L, Chen X. 2010. "Chapter one – rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China." *Advances in Agronomy* 107:1–32.

القسم الثالث :

قضايا السياسات والتنفيذ

الحالة 11: المزارعون المدعومون من الحكومة والمستخدمون لمياه الصرف الصحي في الري: حالة حكومة جنوب أفريقيا في Lebowakgomo في مقاطعة Limpopo دعم المزارعين لإنتاج الخضروات (جنوب أفريقيا) (South Africa).

T. Gomo 1

الملخص

استُخدمت مياه الصرف الصحي في مواجهة تناقص موارد المياه العذبة، لتعزيز إنتاج الأغذية من خلال الري. وقد طورت الحكومات في جميع أنحاء العالم ونفذت سياسات تعزز إعادة استخدام المياه العادمة بصورة آمنة، ولكن نقص الموارد في البلدان النامية أعاق تنفيذ هذه السياسات. وفي جنوب أفريقيا، وفرت الحكومة التصريف الآمن للمياه العادمة في مصادر المياه (قانون المياه الوطني رقم 36 لعام 1998) ونشرت أيضاً دلائل ومبادئ توجيهية وسياسات تدعم إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الري (الجريدة الحكومية 36820، الإصدار 665، 6 أيلول، 2013) وتقوم هذه الدراسة، التي لا تزال جارية، بتقييم الجهود التي تبذلها الحكومة من خلال إداراتها المختلفة في تعزيز إعادة استخدام المياه العادمة بصورة آمنة على طول نهر Chuenes. تصرف محطة معالجة النفايات لبلدة Lebowakgomo مياه الصرف الصحي الخارجة منها في نهر Chuenes. وقد تمّ حتى الآن إدراج ثلاثة مزارعين على طول نهر Chuenes الذين تلقوا مساعدة من الإدارات الحكومية في هذه الدراسة. تبين النتائج الأولية أن محطة معالجة الصرف الصحي تعمل بنسبة 200% من طاقتها ولا تختبر نوعية المياه التي يتمّ تصريفها في النهر. لم يتمّ تسجيل المزارعين لاستخدام مياه الصرف الصحي كما هو مطلوب من قبل قانون ومجتمع لا يدعم المزارعين الذين يرغبون في استخدام مياه الصرف الصحي. وهناك تشريع يحكم إعادة استخدام المياه العادمة ولكن لا يجري تنفيذه.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي في الري، الدعم الحكومي، التعليم المجتمعي.

¹ T. Gomo 

Department of Agriculture & Rural Development, Engineering Services P. Bag X028
Chuenespoort, 0745, South Africa; e-mail: gomotaziva@gmail.com

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. المقدمة

ازدادت ندرة المياه لإنتاج الأغذية بسبب زيادة الطلب من الاستعمالات الأخرى مثل المستخدمين المحليين والصناعيين والبيئيين (Perry 2005, Gomo et al 2014)، التي تعطي عائداً اقتصادياً واجتماعياً أعلى. وقد أجبر ذلك المزارعين في معظم الحالات، ولا سيما في المناطق شبه الحضرية، على استخدام مياه الصرف الصحي من المدن والبلدات الكبيرة في جميع أنحاء العالم لأغراض الري. ومع ذلك، ففي البلدان النامية التي لا تتوافر فيها الموارد اللازمة لمعالجة المياه المستعملة معالجة كافية، هناك مخاطر صحية أكبر في استخدام المياه المستعملة. وقد وضعت بعض الحكومات في البلدان النامية سياسات وبدأت في تنفيذ دلائل ومبادئ توجيهية تشجع الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي لأغراض الري. بيد أن المشكلة تتمثل في تنفيذ هذه السياسات واللوائح أساساً بسبب الافتقار إلى الموارد.

وقد كانت هذه هي الحال في جنوب أفريقيا حيث تصرف المياه العادمة مرة أخرى في الأنهار والجداول، ثم يستخرجها مختلف المزارعين في أسفل النهر لإنتاج الغذاء. ومن الأمثلة على ذلك نهر Chuenespoort في Lebowakgomo مقاطعة Limpopo.

وتوثق هذه الحالة الجهود التي بذلتها حكومة جنوب أفريقيا لدعم المزارعين في استخدام مياه الصرف الصحي للري، وتركز على بلدة Lebowakgomo والمزارعين المحيطين بها. ولا تزال الدراسة جارية، وعلى هذا النحو لا تقدم سوى نتائج أولية.

2. الدعم الحكومي في إعادة استخدام المياه العادمة في الزراعة

لقد اتخذت حكومة جنوب أفريقيا خطوات مختلفة لدعم المزارعين الذين يستخدمون مياه الصرف الصحي للري. وقد تناول القانون الوطني للمياه رقم 36 لعام 1998 عدداً من المناطق الرمادية التي كانت قائمة قبل الاستقلال بشأن حقوق المزارعين في استخدام المياه. وشمل ذلك المزارعين أصحاب الأملاك الصغيرة في المدن الصغيرة. ويسعى القانون أيضاً إلى تنظيم تصريف المياه المستعملة في موارد المياه النظيفة واستخدام المياه المستعملة في إنتاج الأغذية في المادة 37 (1) a.

ونتيجة لهذا القسم من القانون، تمكنت الحكومة من إصدار لوائح وقوانين في الجريدة المتعلقة باستخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري، وكان آخرها التبليغ الحكومي رقم 665 في الجريدة الرسمية 36820 بتاريخ 6 أيلول 2013. ومن خلال هذه القوانين والأنظمة والسياسات، ساعدت الحكومة في ضمان التحكم في نوعية المياه المعالجة المصروفة في الموارد المائية وإعادة استخدام المياه المستعملة في الري. ويبيّن الجدول (1) أدناه نوعية مياه الصرف الصحي المسموح باستخدامها في الري يومياً.

كما طلبت حكومة جنوب أفريقيا تسجيل أي مزارع يستخدم المياه العادمة والاحتفاظ بالسجلات على الكمية المقاسة أسبوعياً، والجودة على أساس شهري. وينبغي تسجيل كل مستخدم للمياه العادمة لدى سلطة تنظيمية في المنطقة التي ينوي فيها الري، كما ينبغي أن يحصل على شهادة. وينبغي أن يكون الري بالمياه العادمة فوق طبقات المياه الجوفية الرئيسية المحددة، ويجب أن يكون على الأقل شاملاً القيود التالية (إشعار الحكومة RSA 665 في الجريدة الرسمية 36820، 6 أيلول 2013):

- على الأقل 50 متراً فوق خط الفيضان الذي يبلغ مرة واحدة في كل 100 سنة أو الموائل النهرية أيهما أكبر، أو بدلاً من ذلك 100 متر على الأقل من مسار المياه أيهما أكبر، أو على الأقل أكثر من 500 متر من بئر يستخدم لمياه الشرب أو مخزون المياه؛

- على الأرض التي لا تكون أو لا تتداخل مع طبقة مياه جوفية رئيسية.
 - خارج دائرة نصف قطرها 500 متر على الأقل من حدود الأراضي الرطبة. كما وضعت الحكومة تشريعات تضمن تسجيل جميع محطات معالجة المياه العادمة ويتم رصد نوعية المياه التي يتم تصريفها في موارد المياه على أساس أسبوعي. كما يتم تحديد مكان ومواقع أي محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي من خلال التشريعات. عندما يتم تصريف المياه العادمة للمعالجة إلى مورد مائي، يتم تحديد الحدود العامة والخاصة على النحو المبين في الجدول (2) أدناه.

مع هذه السياسات واللوائح، وغيرها من السياسات التي لم يتم وصفها هنا، تمكنت حكومة جنوب أفريقيا من مساعدة المزارعين الذين يستخدمون مياه الصرف الصحي للري إلى حد ما. ومع ذلك، وعلى الرغم من كل هذه السياسات الجيدة والدعم المالي الذي وفرته الحكومة لهؤلاء المزارعين، فإن التنفيذ كان بعيد المنال أساساً بسبب نقص الموارد والمهارات. ومن الأمثلة على ذلك المزارعون على طول نهر Chuenes في Lebowakgomo.

الجدول 1: جودة مياه الصرف الصحي المستخدمة في الري في جنوب أفريقيا

المتغيرات	الحدود في اليوم		
	2.000 m3	500 m3	50 m3
pH/الأس الهيدروجيني	لا يقل عن 5.5 أو أكثر من 9 وحدات درجة الحموضة	لا يقل عن 6 أو أكثر من 9 وحدات درجة الحموضة	لا يقل عن 6 أو أكثر من 9 وحدات درجة الحموضة
الناقلية الكهربائية	لا يتجاوز 70 ميلي سيمنس أعلى الاستيعاب إلى حد أقصى قدره 150 ميلي سيمنس لكل متر (mS/m)	لا تتجاوز 200 ملي سيمنس لكل متر (mS/m)	لا تتجاوز 200 ميلي سيمنس لكل متر (mS/m)
المواد الصلبة المعلقة	ليتر/ لا تتجاوز 25 ملغ	-	-
الكلوريد مثل الكلور الحر	ليتر/ لا تتجاوز 0.25 ملغ	-	-
الفلوريد	ليتر/ لا تتجاوز 1 ملغ	-	-
الصابون، الزيت والشحوم	ليتر/ لا تتجاوز 2.5 ملغ	-	-
الطلب الكيميائي على الأوكسجين	ليتر/ لا تتجاوز 75 ملغ	ليتر بعد/ لا تتجاوز 400 ملغ إزالة الطحالب	/ لا تتجاوز 5000 ملغ ليتر بعد إزالة الطحالب
القولونيات البرازية	لا تتجاوز 1.000 في 100 ميلي ليتر	لا تتجاوز 100.000 في 100 ميلي ليتر	لا تتجاوز 100.000 في 100 ميلي ليتر
غاز الأمونيا (الأيونية وغير المتأينة) مثل النيتروجين	ليتر/ لا تتجاوز 3 ملغ	-	-
النترات / النترت مثل النيتروجين	ليتر/ لا تتجاوز 15 ملغ	-	-
أورثو فوسفات مثل الفوسفور	ليتر/ لا تتجاوز 10 ملغ	-	-
معدل امتصاص الصوديوم (SAR)	-	لا تتجاوز 5 لمياه الصرف الصناعي القابلة للتحلل	لا تتجاوز 5 لمياه الصرف الصناعي القابلة للتحلل

المصدر: الجريدة الحكومية 36820، أيلول 2006.

3. موقع الدراسة

إن Lebowakgomo هي بلدة صغيرة تقع ± 50 كم إلى الجنوب الشرقي من Polokwane، عاصمة مقاطعة Limpopo في جنوب أفريقيا South Africa. وتقع البلدة في بلدية Lepelle-Nkumpi المحلية ويبلغ عدد سكانها نحو 35000 نسمة (إحصاءات السكان SA، 2012). الموقع الجغرافي للبلدة هو $30.76^{\circ}\text{S}, 29^{\circ}38'59.7''\text{E}$.



الشكل 1: موقع Lebowakgomo في جنوب أفريقيا South Africa.

إنّ نهر Chuenes هو نهر صغير قديم دائم يمتدّ من الجبال حول سدّ Chuenespoort، يمر عبر بلدة Lebowakgomo ويغذي في نهر Oliphants. وعندما يمر النهر عبر بلدة Lebowakgomo، تصرف فيه بعض مياه الصرف المعالجة من محطة معالجة البلدة الصغيرة. ويستخرج المزارعون المياه على طول الطريق على جزء من النهر قبل تصريف مياه الصرف الصحي في النهر وبعده. إنّ مياه الصرف الصحي المعالجة في المحطة هي أساساً من الاستخدامات المحلية المنزلية، وربما تكون عاملاً في الحفاظ على وضعها الدائم.

1.3. محطة معالجة النفايات Lebowakgomo

تقع المحطة على مشارف بلدة Lebowakgomo. وتبلغ الطاقة التصميمية للمحطة 90 مليون لتر (ML) في الشهر ولكنها تعمل حالياً بمعدل 180-270 مليون لتر (ML) شهرياً. وتخدم هذه المحطة الأقسام A، P، Q، و S من المناطق السكنية. أما الأقسام الأخرى F و B فتتمّ معالجتها بواسطة بحيرات الأكسدة والأراضي الرطبة في محطة معالجة أخرى يجري تصريفها في الأراضي الرطبة الاصطناعية.

تتلقى محطة معالجة النفايات السائلة من خلال نظام أنابيب تحت الأرض، وعند الوصول يتمّ فرز النفايات لإزالة المواد الصلبة. يتمّ إزالة المواد الصلبة يدوياً ودفنها داخل مباني المحطة. ثم يتمّ قياس حجم المياه العادمة

من خلال هدار (فائض على شكل حرف V) V-notch weir، كما هو مبين في الشكل (2)، حيث إنها تنتقل إلى حوض الحمأة المنشطة.



a) Wastewater is received here and physical debris is manually removed



b) The V-notch used to measure the received waste-water

الشكل 2: الفرز بالغرلة الفيزيائية (حواجز قضبان) للنفايات الصلبة وفائض V-notch weir في محطة معالجة مياه الصرف الصحي Lebowakgomo.

الجدول 2: القيم بشكل عام وحدود تصريف المياه العادمة المعالجة في مصدر للموارد المائية في جنوب أفريقيا.

الحد الخاص	الحد العام	المادة / البارامتر
0	1,000	القولون البراز (لكل 100 مل)
(i) 30	75 (i)	طلب الأكسجين الكيميائي (ملغ / لتر)
5.5-7.5	5.5-9.5	الرقم الهيدروجيني pH
2	6	الأمونيا (الأيونية و غير المؤينة) مثل النيتروجين (ملغ / لتر)
1.5	15	النترات / النتريت مثل النتروجين (ملغ / لتر)
0	0.25	الكلوريد مثل الكلور الحر (ملغ / لتر)
10	25	المواد الصلبة المعلقة (ملغ / لتر)
50 ميلي سيمنس فوق خلفية تلقي المياه إلى حد أقصى قدره 100 ميلي سيمنس لكل متر (mS/m)	70 ميلي سيمنس أعلى الاستيعاب إلى حد أقصى قدره 150 ميلي سيمنس لكل متر (mS/m)	النقلية الكهربائية لملي سيمنس لكل متر (mS/m)
1 وسطي و 2.5 كحد أقصى	10	أورتو فوسفات مثل الفوسفور (ملغ / لتر)
1	1	الفلوريد (ملغ / لتر)
0	2.5	الصابون، الزيت والشحوم (ملغ / لتر)
0.01	0.02	الزرنيخ المنحل (ملغ / لتر)
0.001	0.005	الكاديوم المنحل (ملغ / لتر)
0.02	0.05	الكروم المنحل (VI) (ملغ / لتر)
0.002	0.01	النحاس المنحل (ملغ / لتر)
0.01	0.02	السيانيد المنحل (ملغ / لتر)
0.3	0.3	الحديد المنحل (ملغ / لتر)
0.006	0.01	الرصاص المنحل (ملغ / لتر)
0.1	0.1	المنغنيز المنحل (ملغ / لتر)
0.001	0.005	الزئبق ومركباته (ملغ / لتر)
0.02	0.02	السيالينيوم المنحل (ملغ / لتر)
0.04	0.1	الزنك المنحل (ملغ / لتر)
0.5	1	البورون (ملغ / لتر)

المصدر: الجريدة الحكومية 36820، أيلول 2006.

بعد عملية الحمأة المنشطة، تتدفق المياه العادمة إلى حوض الترسيب النهائي حيث يسمح للمواد الصلبة بالاستقرار وتدفق السائل إلى حوض الكلورة. ويضاف الكلور إلى الماء قبل إطلاقه في نهر Chuenes. لم يتم فحص نوعية المياه حالياً بعد المعالجة.

وبعد تصريف المياه في النهر، يستخدم العديد من المزارعين المياه لري الأراضي أسفل المصب. وقد تم اختيار ثلاثة مزارعين حصلوا على دعم من الحكومة لهذه الدراسة، وتمت مقابلتهم. يقوم هؤلاء المزارعون أساساً بإنتاج الخضروات للمجتمعات المحلية وبلدة Lebowa kgomo بهدف الإنتاج لمدينة Polokwane الأكبر على بعد 50 كم.

2.3. دعم المزارعين

المزارعون الثلاثة الذين تمّ اختيارهم هم ضمن قطع أراضي نهر Chuene، أراضي مشروع Sekonya للبحوث الزراعية، Mohla الزراعية التعاونية التي تملك الخضار وتنتجها على 2 و 4 و 3 هكتارات، على التوالي. ويشمل الدعم الذي تقدمه الحكومة لهؤلاء المزارعين توفير البنية التحتية للري مثل السياج، الخزانات، الأنابيب وخدمات الإرشاد الزراعي. ولا يزال يتعين التحقق من مدى الدعم الآخر في هذه الدراسة الجارية.

1.2.3. أرض تشوين Chuene

أرض Chuene هي رقعة أرض 2 هكتار على طول نهر Chuenes تنتج الخضار مثل الطماطم والبصل والسبانخ. وتباع هذه المنتجات في السوق المحلية في بلدة Lebowakgomo على بعد نحو 8 كم ومجتمع Mamaolo المحيطة بها.

لقد تلقى المزارع دعماً من الحكومة لتسييج أراضيه والحصول على البذور وتلقي خدمات الإرشاد من الحكومة من خلال وزارة الزراعة. يدرك المزارع أن مياه النهر هي مياه الصرف الصحي ولكن لا يزال يختار استخدامها بسبب سهولة توافر تلك المياه. المزارع ليس على استعداد للتسجيل كمستخدم للمياه لتجنب دفع ثمن تلك المياه، ومع ذلك فهو يدرك أنه يحتاج إلى تسجيل ولكن ليس متأكداً من المكاتب التي يذهب إليها.

لقد واجه المزارع تحديات مع مجتمع مامولو Mamaolo وهو غير مستعد لشراء منتجاته حيث إنه لدى المزارعين تصورات حول الإنتاج. يدرك بعضهم أن المياه مأخوذة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في حين أن بعضهم الآخر يتجنب الخضار لأن بعض الناس قد انتحروا على طول هذا النهر. وقد اقترب بعض القرويين من المزارع لتحذيره من تلك المياه.

نتيجة لذلك، خفّض المزارع من الإنتاج بسبب خوفه من المجتمع، وفي بعض الحالات تمّ تخريب معداته. كما قام المزارع بحفر بئر للتزويد بالمياه خلال الحالات التي لا يستخدم فيها المياه من النهر بسبب قضايا المجتمع. يبيّن الشكل (3) أدناه أرض تشوين Chuene مع متجر خضار صغير في الموقع وجزء من نهر تشوين Chuene حيث يستخرج المزارع المياه باستخدام نظام محمول وضع على الأرض.



الشكل 3 أرض Chuene

2.2.3. أرض Sekonya مشروع البحوث الزراعية

مشروع Sekonya للبحوث الزراعية هو قطعة أرض 3 هكتار التي تنتج الخضار بطريقة الري بالتنقيط. ويستخدم المزارع المياه من نهر Chuenes ويضخه إلى خزان تخزين فولاذي سعة 60000 لتر توفره الحكومة عن طريق إدارة التنمية الريفية.

ثم يروي المزارع باستخدام نظام الري بالتنقيط لإنتاج المحاصيل بما في ذلك الطماطم والسبانخ والملفوف المعدة لسوق Lebowakgomo.

يدرك المزارع أن المياه التي يستخدمها هي مياه الصرف الصحي وهي متاحة بسهولة ورخيصة، لذلك فإنه يستخدمها للإنتاج. وهو ليس مستخدماً مسجلاً للمياه رغم وجود تشريع يقضي بتسجيله. يبين الشكل (4) أدناه جزءاً من المزرعة والبنية التحتية التي وفرتها الحكومة.



الشكل 4: مشروع Sekonya للبحوث الزراعية

كما واجه المزارع مشاكل مع المجتمع المحلي الذي لا يدعم مشروعه بسبب استخدام مياه الصرف الصحي. وقد أدى ذلك إلى انخفاض الإنتاج في المزرعة.

3.2.3. قطعة أرض Mohla التعاونية الرئيسة الزراعية

تقع قطعة أرض Mohla على بعد نحو 12 كم من بلدة Lebowakgomo على طول نهر Chuenes. ويدير التعاونية ثلاثة أعضاء من مجتمع Malemang. وقد تلقت الجمعية التعاونية دعماً من الحكومة على شكل معدات الري والتدريب وخدمات الإرشاد الزراعي فضلاً عن مدخلات الإنتاج. الخضراوات الرئيسة التي تنتجها هي السبانخ، الجوز والكستناء، الفلفل الأخضر والجزر، لسوق Lebowakgomo.

ويستخدم المزارعون طرائق الري بالرش والري بالمياه من نهر Chuenes. ويدرك المزارعون أنها مياه الصرف الصحي لكنهم غير مسجلين كمستخدمين للمياه. كما تسبب مجتمع Malemang في مشاكل تتعلق باستخدام مياه الصرف الصحي، وفي بعض الحالات اختار شراء الخضراوات من محلات السوبر ماركت الكبيرة في بلدة Lebowakgomo. وقد شهدت آثار أعمال المجتمع انخفاضاً في الإنتاج في المزرعة. يبين الشكل (5) أدناه بعض الخضراوات في مزرعة Mohla.



الشكل 5: مزرعة Mohla التعاونية الرئيسة الزراعية.

4. الاستنتاجات

تجدر الإشارة إلى أن هذه الدراسة مستمرة والاستنتاجات أولية فقط. وسيتضمن تقرير الدراسة الكاملة استنتاجات راسخة. وخلص في هذه الدراسة إلى أن حكومة جنوب أفريقيا تعترف بأهمية مياه الصرف الصحي وقد وضعت موضع التنفيذ سياسات لدعم الاستخدام الآمن للمياه المستعملة في إنتاج الأغذية. وتساعد الحكومة أيضاً المزارعين الذين يرغبون في استخدام مياه الصرف الصحي لإنتاج الأغذية، ولكن بسبب نقص الموارد لم يتم تنفيذ هذه السياسات.

يستخدم المزارعون مياه الصرف الصحي لأنها متاحة ورخيصة، ولكنهم غير مسجلين حسب طلب القانون ربما لأنهم لا يريدون دفع ثمن المياه. ويدرك المزارعون أنه ينبغي عليهم التسجيل كمستخدمين للمياه. ولا تملك محطة معالجة المياه العادمة القدرة على اختبار نوعية المياه التي تصب في نهر Chuenes. يواجه جميع المزارعين على طول نهر Chuenes مشاكل مماثلة مع المجتمعات المحلية التي لا تدعم استخدام المياه العادمة في إنتاج الأغذية. وقد يلزم القيام بالمزيد من أجل تثقيف المجتمع المحلي بشأن استخدام مياه الصرف الصحي في إنتاج الأغذية.

المراجع

References

- Gomo T., Senzanje A., Mudhara M. and Dhavu K. 2014. "Assessing the performance of smallholder irrigation and deriving best management practices in South Africa." *Irrigation and Drainage Systems* 63:419–429.
- Perry C. 2005. "Irrigation reliability and the productivity of water: A proposed methodology using evapotranspiration mapping." *Irrigation and Drainage Systems* 19:211–221.
- South African Government. 1998. "The National Water Act 36 of 1998."
- South African Government. 2013. "Government Notice 665 in Government Gazette 36820, 6 September 2013."
- South Africa Statistics. 2012. "Population of South Africa."

الحالة 12: التحديات في تطبيق معايير إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة في الري: حالة بوليفيا (بوليفيا)
Bolivia (Bolivia)

Juan Carlos Rocha Cuadros ¹

الملخص

تستند هذه الدراسة إلى العمل الذي ترعاه PROAGUAS – COTRIMEX لوضع دلائل ولوائح توجيهية لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، وينظر في مراحل دراسة القوانين والأنظمة المعمول بها، ويقترح بaramترات المراقبة، والعلاقة مع المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية (WHO)، واستدامة تطبيق اللوائح من خلال تنفيذ الإعانات والدعم الحكومي لنظام الري ككل. يُشار إلى الصعوبات التي تمت مواجهتها في جميع المراحل المذكورة والمقترحات التي قدمت للتغلب عليها والوصول إلى مرحلة صياغة الأنظمة.

الكلمات المفتاحية: إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، بوليفيا Bolivia، تنفيذ المعايير، الري، الاستدامة.

¹ Juan Carlos Rocha Cuadros 

University of San Simon, Cochabamba, Bolivia; e-mail: jcr4@entelnet.bo

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

Translated from Spanish to English

1. المقدمة

منذ سنوات عديدة، بُذلت جهود في بوليفيا Bolivia لإنشاء منطقة زراعية مروية يمكن أن تكون كافية بطريقة ما لتوفير الغذاء لسكان البلد. وفي هذا السياق، استثمرت وكالات وشركات تعاون تجارية مختلفة الموارد اللازمة لإنشاء أساس مهني لإدارة الجانب التقني للري، وخاصة مشاريع الري متوسطة الحجم والكبيرة، وفي الوقت نفسه إنشاء مكاتب لدعم تنفيذ مشاريع الري من وجهة نظر مؤسسية.

وكجزء من هذه المهمة، تمّ تنفيذ أعمال البناء على البنية التحتية للري في بوليفيا وإعطاء صورة كاملة عن حالة الري، هناك العديد من المنشورات بما في ذلك «منهجية المعالجة وإعادة استخدام المياه العادمة». وفي أثناء أعمال التشييد، لوحظ أن هناك نوعاً آخر من الري يجري استخدامه، وهو ما لم يكن له أعمال مصنعة خصيصاً لهذا الغرض، ولا سيما في منطقة Andean في بوليفيا Bolivia، حيث إن المياه مورد نادر طبيعياً. ويضيف ذلك مهمة تحديد السكان الذين كانوا يستخدمون مياه المجاري، سواء المعالجة أو غير المعالجة للري، بعد أن توصلوا إلى استنتاج مفاده أن غالبية السكان الذين يعانون من ندرة المياه يستخدمون مياه الصرف الصحي غير المعالجة في البلديات التي لديها محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي (WWTP) التي لا تعمل بشكل صحيح وذلك بسبب نقص الصيانة، وبالتالي فإن الوضع مماثل لتلك التي يستخدمها أولئك الذين يستخدمون مياه المجاري غير المعالجة للري.

وقد دفعت هذه الصورة العامة السلطات المسؤولة عن الري في بوليفيا Bolivia إلى محاولة وضع لوائح وقوانين تراعي ليس فقط الخيارات التقنية لمعالجة المياه ولكن أيضاً استدامة التدابير التي يتعين اتخاذها نظراً لعدم وجود التشغيل والصيانة في مختلف البلديات.

2. الري بمياه الصرف الصحي المعالجة أو غير المعالجة في بوليفيا

لقد شجع التعاون الثلاثي بين المكسيك وألمانيا وبوليفيا (COTRIMEX) على التحقيق والبحث وتقديم مقترحات بشأن استخدام المياه المعالجة في الري. خلال الفترة من 2012 إلى 2014، تمّ بناء 111 نظام ري باستخدام مياه المجاري المعالجة أو غير المعالجة في منطقة Andean ويمكن تلخيص أهمّ النتائج على النحو الآتي:

- تمّ بناء 84 محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي WWTPs في البلديات.
- واحد وثلاثون محطة من أصل 84 محطة معالجة مياه الصرف الصحي لا تعمل بسبب مشاكل التشغيل والصيانة.
- من بين 53 محطة متبقية لمعالجة مياه الصرف، كانت كفاءة المعالجة أقلّ من 50 في المئة، ممّا يعني أنها غير مناسبة للري.
- يتمّ استخدام جميع النفايات السائلة لري الخضراوات.

وأدى استخدام مياه المجاري المعالجة أو غير المعالجة للري إلى تشكيل لجنة مشتركة تتألف من وزارات وإدارات الدولة المعنية بالمسألة، فضلاً عن التعاون الدولي. وقد تمّكنوا معاً من وضع خطة تتضمن أربعة خطوط عمل استراتيجية:

- استراتيجيات التدريب
- استراتيجيات الإطار التنظيمي
- استراتيجيات التمويل
- استراتيجيات الاتصالات

3. استراتيجيات الإطار التنظيمي

لقد أثبتت خطوات بالفعل لوضع اللوائح والقوانين المتعلقة بذلك وتطويرها مثل مرحلة الاقتراح، التي تحدد الحاجة إلى وضع لوائح محددة؛ سيكون مستشاراً مسؤولاً عن مرحلة الإعداد، وستكون مرحلة المناقشة من مسؤولية لجنة تشمل نواب الوزارات المعنية في التعامل مع إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة، ومختلف إدارات الدولة التي تعتمد على نواب الوزارات، والتعاون الدولي في شكل تقديم الدعم وتبادل الخبرات. وتتبع المراحل المذكورة أعلاه الدراسات الاستقصائية، ثم الموافقة على الاقتراح ونشره. ولم تُنفذ هذه الإجراءات بعد. وقد أُخذ الإجراء المعتمد لتطوير المقترح في الاعتبار النقاط المحددة الآتية:

- دراسة اللوائح والقوانين الحالية المرتبطة بها.
- اقتراح لاختيار البارامترات.
- الروابط مع إرشادات منظمة الصحة العالمية WHO.
- استدامة / توليد الحوافز والمكافآت.

1.3. دراسة اللوائح الحالية

أحد أكبر الصعوبات في وضع لوائح جديدة هو مواءمة اللوائح الحالية مع الهدف العام. بوليفيا Bolivia لديها القانون 1333 (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)، وقانون البيئة، التي بسبب طبيعتها القانونية، تأتي فوق أي لوائح مخطط لها.

وفي كثير من الأحيان، فإن مواءمة القوانين مع اللوائح يعني إيجاد تنازلات لا تتعارض مع ما ينص عليه القانون، بل تستجيب للتفسيرات بطريقة تتيح التوصل إلى اتفاق بين الأطراف. وعلى وجه الخصوص، يتضمن قانون البيئة لوائح تلوث المياه.

وتنظم هذه اللوائح تصريف مياه الصرف الصحي في مسطحات المياه وتصنف مسطحات المياه إلى أربع فئات، كل منها يحتوي على 80 بارامتراً فيزيائية كيميائية وبكتيولوجية، منها 25 مادة ملزمة. ومنذ سن القانون 1333، لم يُجرَ سوى القليل جداً لتصنيف مسطحات المياه، والبارامترات صارمة جداً فيما يتعلق بالجودة، إلى درجة أن تطبيقها يكاد يكون مستحيلًا.

في الواقع، إذا كنت تأخذ بعين الاعتبار التكنولوجيا ونوعية المياه المعالجة في محطات المعالجة في المدن الكبرى، لا يمكن الامتثال التام للأنظمة المعمول بها. ومع ذلك، هناك أيضاً مجموعة من البارامترات المؤقتة (التي تشمل تصنيف الأنهار) ليست صارمة والتي تستخدم من قبل مشغلي محطات المعالجة أو المصممين من أجل الامتثال والاستجابة للقانون 1333.

يمكننا أن نرى بعد ذلك أن هناك في قانون البيئة وسيلة لتفسير الامتثال لها من خلال المادة المؤقتة، ولا سيما عندما يكون في قانون الري كله هو ذكر فقط في تصنيف مسطحات المياه، ويندرج تحت الفئة A، وهذا يسمح بالقول بأنه الأكثر صرامة: في هذه الفئة يجب أن يكون BOD_5 أقل من 2 ملغ / لتر، القولونية البرازية بين 5 و 50 (NMP/100 ml) لـ 80 في المئة من العينات، ويجب أن تكون المواد الصلبة العالقة أقل من 10 ملغ / لتر، بين غيرها من المعالم.

ومع تطور قانون البيئة بهذه الطريقة، وضعت بعض القطاعات مثل التعدين والصناعة والهيدروكربونات لوائح (RASIM, 2002) قابلة للتطبيق على هذه القطاعات على وجه الخصوص، للسماح بالامتثال الحقيقي الذي يمكن رصده من خلال الآليات المقترحة في هذه اللوائح. ومعنى ما، أثبتت مختلف القطاعات أن تطبيق قانون

البيئة يجب أن يكون ملائماً لهذه القطاعات المحددة وأظهر طريقاً يمكن أن تتخذه أيضاً قطاعات أخرى. في سياق إضفاء الطابع المؤسسي الحالي، جرت مناقشات بشأن من هو المسؤول عن ذلك. ويتعرض موظفو الخدمة المدنية الذين يعملون في وزارة البيئة إلى الحماس في التقيد شبه الصارم بالقانون وعدم الاستعداد أو التردد في إدخال تغييرات على البارامترات في توحيدها. وقد قدموا طلبات واضحة للدراسات التي تدعم أي تغييرات مقترحة. وغني عن القول إنه لم تكن هناك دراسات صارمة للبارامترات الحالية أو أي شيء آخر، وهذا يعني أن غالبية مسطحات المياه ليست مصنفة حتى الآن. وقد اقترح أن ينظر إلى محطات المعالجة على أنها أعمال رئيسة لأنظمة الري التي تستخدم هذه المياه. ويمكن أن يحدد ذلك من هو المسؤول عن الرصد البيئي لهذا النوع من المياه (Salazar, 2010). في هذه الحالة سيكون قطاع الري هو الرئيس المفوض، بالنظر إلى أن القانون يضع المسؤولية عن جميع المسائل البيئية مع نائب وزارة البيئة والمياه.

ويعني الاقتراح أنه يجب أن يتخذ قطاع الري قراراً سياسياً إذا أراد أن يرى تغييراً في الوضع فيما يتعلق بالري باستخدام مياه الصرف الصحي المنزلية، نظراً لأن القطاعات الصناعية والهيدروكربونية والتعدين لديها لوائح خاصة بها. ومن الممكن أيضاً، حسب نوعية المياه الواردة ونوع المعالجة، أن تكون مياه الصرف الصحي القادمة من آخر قطاعين من هذه القطاعات غير مناسبة للري؛ وعلى النقيض من ذلك فإن لدى الأسر المعيشية المنزلية تركيبة فيزيائية كيميائية وبكتيولوجية مماثلة، ويمكن أن تحكمها لوائح المياه العادمة المعالجة المدنية.

2.3. اقتراح لاختيار البارامترات

لقد أخذت في الاعتبار تجارب البلدان المختلفة التي لديها أنظمة للري. ومع ذلك، لم تطبق البارامترات بشكل متسق. وبدلاً من ذلك، هناك مجموعة من البارامترات المناسبة للحالة في كل بلد ولكن مع التركيز بشكل خاص على تطبيق اللوائح التي وضعتها وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة United States Environmental Protection Agency (EPA).

ومن حيث المبدأ، بُذلت جهود لاختيار بعض البارامترات التي تكون أقرب ما يمكن إلى القيم التمثيلية لنوعية المياه الموجودة. وبهذه الطريقة يمكن تحليل البارامترات المحددة باستخدام المعدات المحمولة الموجودة ويمكن إتاحة البيانات.

يمكن الآن القيام ببعض المهام باستخدام معدات محمولة كاستجابة لحقيقة أن العديد من المجتمعات المحلية لديها محطات معالجة ولكن ليس لديها مختبر لقياس كفاءة المعالجة من أجل التمكن من تحسين العملية في أي حالة معينة. ولكن من الممكن أيضاً أن تكون للمدن المتوسطة الحجم مختبرات يمكن أن تخدم وتكون بمثابة نقطة مرجعية للتحليلات التي تجرى في المدن الصغيرة. لقد استغرقت المناقشة الأولية حول عدد البارامترات التي ينبغي أخذها في الاعتبار وقتاً طويلاً بسبب الرغبة في الاحتفاظ بالبارامترات التي لا يمكن حذفها وفقاً لبعض المشاركين لأنها مدرجة في قانون البيئة. وأراد المشاركون الآخرون إجراء مزيد من التحليل، على سبيل المثال، للمؤشرات الحيوية، وأراد آخرون تحقيق نتائج مفصلة استناداً إلى دراسة علمية، مع إعطاء قيمة حد أقصى مناسب لكل بارامتر.

وقد جاء ذلك لتشكيل أساس دراسة البارامترات في بعض الأنظمة المعمول بها بالفعل والتي تستخدم كمبدأ ودليل توجيهي (Cisneros, 2013) والتي لا تولد أي نقاش يتجاوز نطاق تكيفها مع الوضع الوطني. وهكذا، تقرر وضع القواعد والأسس المتعلقة بتجربة وكالة حماية البيئة EPA والأنظمة المعمول بها في المكسيك Mexico.

3.3. العلاقة مع منظمة الصحة للبلدان الأمريكية / منظمة الصحة العالمية

واحد من بين الأهداف التي حاولت إدراجها في اللائحة المقترحة، المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO (منظمة الصحة العالمية، 2006) بشأن استخدام المياه المعالجة في الري. غير أنه لُوحظ على أية حال لا يمكن سوى للمدن الكبيرة والمتوسطة الحجم الحصول على البيانات الصحية التي تسمح بالتنفيذ الكامل للمبادئ التوجيهية المقترحة.

وهذه صعوبة لا يمكن التغلب عليها حتى الآن. ومع ذلك، فمن الممكن أن العديد من المجتمعات المحلية والبلدات الصغيرة غير قادرة على بناء محطات معالجة كبيرة، وهنا يمكن للمبادئ التوجيهية متعددة القيود التي اقترحتها منظمة الصحة العالمية WHO أن تساعد. ويشمل ذلك تدريب الأشخاص الذين يديرون محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs وأولئك الذين يستخدمون المياه المعالجة. في ضوء ذلك، تم اقتراح مجموعة من الحوافز لضمان استدامة استخدام المياه المعالجة للري.

4. الاستدامة وتوليد الحوافز

كان أحد متطلبات السلطات التي تم التشديد عليها يتعلق باستدامة التدابير الواردة في اللوائح، حيث من الواضح أن المزارعين يرون المياه حقاً مكتسباً، وتستند لوائح توزيع مياه الري إلى ذلك. وكقاعدة عامة، لا يتم دفع مياه الري، حيث إن الاستثمار في الأعمال الرئيسية، مثل السدود، يتجاوز بكثير قدرة المزارعين على الدفع والسداد. بل هو ممارسة شائعة لأعمال رئيسة مهمة لتكون غير قابلة للسداد، ومنظمة الري لتكون مسؤولة عن جدولة وتنظيم الري وكذلك التزويد أو أساليب العمل لتنفيذ صيانة القنوات. ما يحدث مع مياه الصرف الصحي هو أسوأ. تستخدم «النفائات» للري ككل، سواء كان ذلك بالإضافة إلى المياه الصافية أو كمصدر مياه وحيد للري، وأنظمة الري تعمل من مخرج محطات المعالجة. ونتيجة لذلك، بالنسبة للمناطق التي تحاول استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بشكل كافٍ للري، هناك تحدٍ من حيث الاستدامة المالية والاتصالات.

كانت أحد الأفكار التي تم الترويج لها من الجانب التقني الذي يعالج الري في بوليفيا Bolivia هو البحث عن آليات لتغطية الجوانب المالية لاستخدام المياه المعالجة لأغراض الري. وتم إنشاء مشروع فرعي للتحقق من الأماكن المروية بالمياه المعالجة والحالة العامة، بما في ذلك تشغيل المحطات، والتكاليف المتكبدة واستخدام الري فيها.

تم اختيار أنظمة الري التالية للدراسة: Cochabamba, Punata؛ Patacamaya and El Alto (La Paz)؛ Tarija, Uriondo and San Lorenzo؛ Sucre and Yotala (Chuquisaca)؛ and Cliza (Cochabamba)؛ Caracollo and Eucaliptus؛ و Comarapa (Santa Cruz)؛ Betanzos and Puna (Potosi)؛ (Tarija)؛ (Oruro).

بالنسبة لجميع محطات المعالجة، تم تطوير منهجية تتضمن أولاً، موقع محطة معالجة مياه الصرف WWTP ومنطقة تأثيرها. وقد تم تقييم طريقة المعالجة وفعاليتها، وجرى تحديد تكاليف تشغيل المحطات وصيانتها وكيفية تحقيقها. ويبين الجدول التالي ملخصاً للنتائج.

اسم محطة معالجة مياه الصرف الصحي	موقع التأثير ومساحته	منهجية المعالجة وكفاءتها	تكاليف المعالجة	استدامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي
Patacamaya	لديها اثنا عشر محطات معالجة تقع بلدية Patacamaya على بعد 101 كم من مدينة La Paz. وتستخدم النفايات السائلة من محطات المعالجة التي يتم تصريفها في النهر في الزراعة، ولا سيما في مصانع العلف.	تستخدم محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs طرائق المعالجة المتماثلة: المعالجة الأولية (الحواجز القضبانية وغرف الحصى ومصائد الرمال)، المعالجة الأولية (خزانات إمهوف)، المعالجة الثانوية (المرشحات البيولوجية)، المعالجة الثلاثية (أحواض النضج). لتدفقات مائلة من نحو 1.0 لتر / ثانية تناول وامتصاص BOD_5 1000 ملغ / لتر واستيعاب القولونات البرازية من 3E7 NMP/100 ml وكفاءة ما يقرب من 82% و 98% للبارامترين.	لا توجد بيانات تتعلق بتكاليف تشغيل المحطات وصيانتها معالجة المياه العادمة. ونحن نعلم فقط أنه يتم دفع استهلاك الكهرباء.	البلدية هي المسؤولة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs ولها أربعة أشخاص يعملون على هذا. كما أنها تدفع للكهرباء. تقوم شركة EMAPA، وهي الشركة التي تقدم الخدمة، بتحويل كل مستخدم 4 Bs للتعامل مع مياه الصرف الصحي ولكن على الرغم من أنه يجب استخدام جزء من التعريفة لتشغيل محطات معالجة المياه العادمة وإدارتها، فإن ذلك لا يحدث عملياً.
El Alto - Puchukhollo	محطة معالجة مياه الصرف الصحي التي بنيت في عام 1998 تخدم مدينة El Alto في مقاطعة موريللو في مقاطعة La Paz. ويجري حالياً توسيع المحطة، ويشمل ذلك بصفة أساسية إضافة وحدات مرشحات تصفية، تطهير وتعقيم.	يجري حالياً توسيع المحطة، وتضم حالياً مجموعتين من الأحواض، كل منها مع ستة أحواض وثلاث مرشحات. يتم تصريف المياه المعالجة في نهر Seco. وتستخدم جميع المياه في الري؛ ما هو أكثر من ذلك، لقد حفر المزارعون منفذ تيار واستخدموا هذه المياه للري. إن كمية BOD_5 هي 456 ملغ / لتر، كفاءة 76.75% عند مخرج المحطة. إن الكوليفورم هو 7.3E7 عند التناول، كفاءة 99.8%. وبالنظر إلى أن El Alto هي مدينة صناعية، هناك ملوثات أخرى تؤخذ بعين الاعتبار.	لا توجد مدفوعات منفصلة لتشغيل وصيانة محطة Puchukhollo WWTP لمعالجة مياه الصرف الصحي: يتم الدفع لخدمة مياه الشرب ونسبة مئوية من هذا المبلغ تتجه نحو خدمة الصرف الصحي. وتحدد دراسة (2) أن المدفوعات تتم بمعدل م ³ من المياه المستهلكة شهرياً. متوسط المبلغ المدفوع هو 0.10 دولار أمريكي / متر مكعب.	EPSAS لديها خطة النفقات السنوية. ويشمل ذلك الطاقة، ومراجعة الموظفين، والصيانة، والنفايات، والإدارة. الأخذ بعين الاعتبار وبالنظر إلى إنتاج محطة معالجة مياه الصرف الصحي، الذي يبلغ نحو 430 لتر/ ثانية، فإن التكلفة المعنية هي 0.22 Bs / م ³ (0.0315 دولار أمريكي / م ³).

2 دراسة Identification Study 'Mejoramiento del Abastecimiento de Agua Potable Ciudad El Alto'، (تحسين إمدادات مياه الشرب في مدينة El Alto، Consultora RIMAC, 2013)

اسم محطة معالجة مياه الصرف الصحي	موقع التأثير ومساحته	منهجية المعالجة وكفاءتها	تكاليف المعالجة	استدامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي
Alba Rancho – Cochabamba	يتم تصريف مياه الصرف الصحي من مدينة Cochabamba إلى محطة المعالجة الواقعة في منطقة Alba Rancho، إلى الجنوب من المدينة. بدأت محطة معالجة الصرف الصحي Alba Rancho WWTP في عام 1986.	تضم محطة المعالجة أربعة أحواض رئيسة على مساحة 13.7 هكتاراً، وثمانية أحواض ثانوية على مساحة 21.9 هكتار. كما أن لديها شبكة من قنوات التوزيع وقنوات جمع، وأنظمة قياس تدفقهم. كفاءة إزالة BOD_5 هي 68% لتركيز المدخول من 275 ملغ / لتر وبالنسبة القولونيات البرازية هو 96.33% للحصول على كمية من E75.8 NMP/100 ml	لا توجد مدفوعات منفصلة لتشغيل وصيانة محطة Alba Rancho WWTP لمعالجة مياه الصرف الصحي، وهي جزء من المبلغ المدفوع لتغطية مياه المجاري هذه المنطقة، وقد أبلغت شركة SEMAPA، وهي المشغل، عن الربع الثاني من الإدارة متوسط تكلفة خدمات الصرف الصحي Bs 4.92 للمتر المكعب (0.7 دولار أمريكي/م ³).	لدى SEMAPA خطة نفقات سنوية تشمل الطاقة ومراجعة التوظيف والصيانة والإدارة. ومع أخذ إنتاج محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في الاعتبار، والذي يبلغ نحو 463 لتر / ثانية، فإن التكلفة المعنية هي 0.18 Bs/م ³ (0.026 دولار أمريكي/م ³).
Punata Colque Rancho	محطة معالجة مياه الصرف الصحي التي أنجزت في عام 2000 مع نظام من أحواض التنشيط. وفي وقت لاحق في عام 2007 قامت الجامعة بتنشيط الأراضي الرطبة. وقام المزارعون بتنظيم نظام ري مع بناء القنوات. إنهم يستخدمون هذه المياه لإراحة للأرض.	في الأصل، كانت محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP هذه تحتوي على حوضين غير هوائيين يعملان بشكل متواز، كل منهما يتبعه حوض اختياري وأخيراً ثلاثة أحواض نضوج تعمل بالتوازي. في نهاية عملية المعالجة هذه هناك أراض رطبة لأغراض البحث العلمي. وأظهر التقييم الذي أجرته شركة UMSS في عام 2012 كفاءة نحو 83 في المئة بالنسبة إلى الطلب الأوكسجيني البيولوجي (تركيز مبدئي قدره 432 ملغ / لتر) ونحو 90 في المئة من الكوليفورم البرازية (1.4 E6 UFC/100ml تركيز المدخل).	لا توجد بيانات تتعلق بتكاليف تشغيل محطات معالجة مياه الصرف وصيانتها.	تخصص البلدية 45000 Bs للمجاري، بما في ذلك ثلاث محطات معالجة، واحدة منها Colque Rancho. وفي هذا المجال، تشارك الري في صيانة محطات معالجة المياه العادمة WWTP، وتنظيف محطات معالجة المياه العادمة WWTP مرة واحدة في السنة. وتستخدم ستة مجتمعات محلية هذه المياه، مما يجعل 300 شخص يستخدمون المياه لمدة ساعتين.

اسم محطة معالجة مياه الصرف الصحي	موقع ومساحة التأثير	منهجية وكفاءة المعالجة	تكاليف المعالجة	استدامة محطات معالجة مياه الصرف الصحي
El Campanario – Sucre	تقع محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP في Campanario، التي تنتمي إلى المقاطعة الثانية لبلدية Yotala في الجزء الشمالي الشرقي من مقاطعة Chuquisaca، على بعد 11 كم من مدينة Sucre.	تحتوي هذه المحطة على مرافق للمعالجة المسبقة، تتكون من حواجز قضبان، غرف مصائد رمال وحصى ومقاييس تدفق. المعالجة الأولية مع خزانات إمهوف؛ ومعالجة ثانوية مع مرشحات تصفية وأحواض ترسب ثانوية وبرك نضوج، فضلاً عن مرافق لمعالجة الحمأة. كفاءة إزالة BOD_5 هي 76% لتركيز تتناول 340 ملغ / لتر.	لا توجد مدفوعات منفصلة لتشغيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي في El Campanario WWTP وصيانتها؛ جزء من الدفع لتغطية مياه الصرف الصحي هذا. ويبلغ متوسط التعريفة لمياه الشرب وخدمات الصرف الصحي نحو 4 Bs/م ³ .	ELAPAS لديها خطة النفقات السنوية. ويشمل ذلك الطاقة، ومراجعة الموظفين، والصيانة والإدارة. ومع الأخذ في الاعتبار إنتاج محطة معالجة مياه الصرف الصحي، الذي يبلغ 132 لتر/ثانية، فإن التكلفة المتضمنة هي 0.62 Bs / م ³ (0.089 دولار أمريكي / متر مكعب).

المصدر: COTRIMEX : «دراسة التعريفات والإعانات المالية الحكومية لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs في بوليفيا Bolivia (Estudio de Tarifas y Subsidios para las PTAR en Bolivia)» الوثيقة والملف قيد المراجعة، 2015.

يبيّن الملخص الوارد في الجدول السابق عدم إيلاء أهمية تذكر لمعالجة مياه الصرف الصحي. والواقع أنه في العواصم فقط وهي الجهة المسؤولة التي تقدم خدمات المياه والصرف الصحي (EPSA) تحتفظ بحسابات ما تنفقه على محطات معالجة مياه الصرف الصحي. ولذلك فإن الاستدامة في المدن المتوسطة والصغيرة مرتبطة بما ترغب البلدية في استثماره ولكن فقط كجزء من الصيانة الكلية لنظم الصرف الصحي. وفي الواقع، في معظم الحالات، لا تخصص أية موارد مالية أو بشرية حصراً لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP. وقد طُرحت أفكار بشأن كيفية تنظيم المنح والهبات والمساعدات في مراحل تصميم وبناء وتشغيل نظم الري باستخدام المياه المعالجة.

بالنسبة لمرحلة التصميم، ينبغي أن تكون الهبة 100 في المئة وأن يشمل الجانب التقني بعداً اجتماعياً قوياً لتحقيق أهداف المعالجة، واستخدام القيود المتعددة لرصد المخاطر من سلسلة الإنتاج إلى استهلاك المنتجات التي كانت مروية بمياه الصرف الصحي المعالجة.

في مرحلة البناء، تم توصية تقديم منحة تصل إلى 80%. أما بالنسبة لبقية التمويل، فإن 15% تأتي من البلدية، و 5% تأتي من القائمين على الري لتمكين نظام الري الكامل من تجهيزه، أي محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP وقنوات توزيع مياه الري. وبطبيعة الحال، يجب ضمان الاستدامة التقنية، أي أنه ينبغي أن يكون واضحاً كيف ستجري مراقبة كفاءة محطات معالجة مياه الصرف WWTP وكيفية تنظيم تشغيلها وصيانتها. وينبغي أيضاً تدريب جمعيات الري على إدارة المياه المعالجة.

تم اقتراح أن توجه الحوافز والمكافآت إلى البلديات أو الكيانات التي تدير محطات المعالجة WWTPs لتغطية

تكاليف تشغيلها وصيانتها، شريطة تحقيق الأهداف المتعلقة بجودة محطات معالجة مياه الصرف وتشغيلها وصيانتها. كما تمّ اقتراح حوافز للري في تسويق منتجاتها (المنتجات الخضراء)، شريطة أن تمتثل للمبادئ التوجيهية متعددة القيود لإدارة استخدام مياه المجاري المعالجة للري الزراعي.

إن العقبة في هذه الحالة هي توافر التمويل للمنح والمساعدات المقترحة. ويتطلب هذا الاقتراح أيضاً اتخاذ قرارات سياسية من السلطات لاستخدام الموارد التي تُعاد إلى الخزنة الوطنية كلّ عام بسبب إخفاق البلديات في تغطية التكاليف الإجمالية المدرجة في الميزانية. وستتمّ إعادة الاستثمار في مخططات الري بالمياه المعالجة في نفس البلدية مع الاستفادة من تحسين الظروف الصحية والبيئية من خلال الحوافز وليس من خلال الضرائب التنظيمية مثل تلك التي أجراها مكتب المراقب المالي والتي تطلب من البلديات أن تدفع ضريبة عند إنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs في بعض العواصم.

5. الاستنتاجات

- كانت اللجنة المشتركة، التي تتألف من نواب وزارات الصرف الصحي والبيئة والري الثلاث، فضلاً عن التعاون الدولي، مفيدة جداً لمناقشة الجوانب التقنية للتدابير المقترحة في اللوائح التوجيهية بحيث يمكن اتخاذ القرارات بسرعة أكبر.
- يتعيّن على السلطات الوسيطة أن تتخذ موقفاً استباقياً تجاه التغيير، حيث إن هذه السلطات هي التي تقدم تقاريرها إلى صانعي القرار.
- من الضروري أن يقوم الطرف المعني، في هذه الحالة هو قطاع الري، ليس فقط بتعزيزه، بل هو أيضاً القوة الدافعة وراء جميع المبادرات والاجتماعات والقرارات، ويضمن تحقيق كل ذلك. يتطلب ذلك أن تتماشى أنشطته مع إطار المشروع الذي يمكن أن يشمل التعاون الدولي كما هو الحال في بوليفيا Bolivia التي لديها COTRIMEX حيث تبيّن الأهداف أن السلطات نفسها تتعهد بالاجتماع بطريقة أو بأخرى.
- وأخيراً، يجب أن يكون هناك التزام سياسي، سواء لدمج لوائح جديدة في القانون القائم الحالي أو لضمان توفير التمويل للمنح والمساعدات المقترحة.

المراجع

References

- Cisneros M.C., 2013. "Guia de referencia para el reuso de las aguas residuales en riego agricola (Reference guide for reuse of wastewater in agricultural irrigation)."
- Consultora RIMAC, 2013. "Identification Study 'Mejoramiento del Abastecimiento de Agua Potable Ciudad El Alto' (Improving Supply of Drinking Water in El Alto City)."
- COTRIMEX, 2015. "Estudio de Tarifas y Subsidios para las PTAR en Bolivia (Study of Tariffs and Subsidies for WWTPs in Bolivia)." Document under review. Ley de Medio Ambiente (Environment Act) Law No. 1333. April 1992.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Ministry of Environment and Water). 2013.

“*Sistematización Sobre Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales* (Systematization of Treatment and Reuse of Wastewater)”, Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Ministry of Environment and Water).

RASIM, 2002. “*Reglamento Ambiental del Sector Industrial y Manufacturero* (Environmental Regulations for the Industrial and Manufacturing Sectors).” Supreme Decree 26736, July 2002.

Salazar L. et al. 2010. “*Sustentabilidad y Autogestión de Sistemas de Riego* (Sustainability and Self-Management of Irrigation Systems).”

Supreme Decree 24176. 1995. “*Reglamento Ambiental para Actividades Mineras* (Environmental Regulations for Mining Activities).” December 1995.

Supreme Decree 26171. 2001. “*Reglamento Ambiental del sector Hidrocarburos* (Environmental Regulations for the Hydrocarbons sector).” May 2001.

WHO. 2006. “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater”, Vol 2.

الحالة 13: نظام إدارة مياه الصرف الصحي المجتمعية في المناطق شبه الحضرية في وادي Kathmandu، نيبال
(نيبال) Nepal (Nepal)

Uttam Raj Timilsina¹

الملخص

تحاول هذه الحالة عرض توجه إنتاج مياه الصرف الصحي وإدارتها واستخدامها على مستوى المجتمع المحلي في وادي Kathmandu (Kathmandu Lalitpur and Bhaktapur)، نيبال Nepal. كما يعرض الوضع الحالي للسياسات والتكنولوجيا والممارسات الإدارية والترتيبات المؤسسية في معالجة وتطوير البنية التحتية وإدارتها والخدمات المتعلقة بإدارة مياه الصرف الصحي والنتائج البيئية والصحية وسبل العيش الناجمة عن إنتاج مياه الصرف الصحي واستخدامها في المناطق شبه الحضرية من وادي Kathmandu. وقد أُولى اهتمام خاص للاستعمال الزراعي لمياه الصرف الصحي والآثار على بيئة الإنتاج الزراعي والأشخاص الذين يستخدمون المياه المستعملة في إنتاج الخضراوات الموسمية والمحاصيل. في عرض استخدام المياه العادمة في الزراعة، تمّ إيلاء الاهتمام للممارسات القائمة لاستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة من قبل سكان مجتمع Khokana كدراسة حالة ناجحة. وتنتهي الحالة بتحليل عن حالة الفجوة المعرفية في البلد فيما يتعلق بالاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي وتقييم احتياجات بناء القدرات لدى المؤسسات المعنية بإدارة مياه الصرف الصحي واستخدامها.

تبين التحاليل في هذه الحالة أن إدارة المياه العادمة في البلد المُقادة بمفهوم المياه العادمة باعتبارها «إزعاجاً بيئياً» بدلاً من «مصدر» مع إمكانية التطبيق الآمن في الزراعة والاستخدامات غير الزراعية. ويظهر أن هذه الفكرة مدفوعة بانتشار النهج أو المقاربة القطاعية والانضباطية في تنمية قطاع المياه. ووجد أن بيئة سياسة قطاع المياه في البلد والتشريعات والأحكام التنظيمية، بوجه عام، تحبذ تعزيز الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في حين يتم تحديد الثغرات في الترتيبات المؤسسية وعلى مستوى التنفيذ. ويُلاحظ وجود فجوة في مستوى التنفيذ من حيث الفصل في استخدام المياه العادمة من تصميم وتطوير وإدارة نظام الصرف الصحي وخدماته. ومع ذلك، فإن الفرصة تكمن في اعتبار مياه الصرف الصحي مصدراً وتعزيز الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي وسيلة لضمان الأمن المائي الزراعي وإضافته على المستوى المحلي. وقد وجد أن نظام المعرفة في البلد والبحث والتطوير في نظام مياه الصرف الصحي والممارسات والاستخدام الآمن غير كافٍ إلى حد كبير.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، نوعية المياه، شبه الحضرية، تنفيذ السياسات، المجتمعية.

¹ Uttam Raj Timilsina 

Senior Water Management Engineer, Community Managed Irrigated Agriculture Sector
Project (CMIASP-AF)/Adjunct Professor of Agricultural Engineering, AFU, Nepal
e-mail: uttamrajtimilsina@gmail.com

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in
Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. السياق المحلي

إن نيبال Nepal هي بلد جبلي غير ساحلي (محاط باليابسة، ليس له مخرج على البحر) في جنوب آسيا South Asia تقع بين خطي العرض $26^{\circ}22'N$ و $30^{\circ}27'N$ وخطي الطول $80^{\circ}4'E$ و $88^{\circ}12'E$ ، وتحدها الصين من الشمال والهند من الجنوب، والشرق والغرب.

تبلغ مساحة الأرض الإجمالية 14.718 مليون هكتار، وتتميز البلاد بطوبوغرافية ومناخ وجيولوجيا متنوعة، مما يخلق فرصاً وقيوداً أمام استخدامات الأراضي المختلفة وأماط سبل العيش. نيبال Nepal هي في الغالب جبلية مع 77% من مساحة الأرض من التلال والجبال و 23% فقط من المنطقة، تُدعى Terai، سهلية منبسطة، وتقع على طول الحدود الجنوبية. يتراوح الارتفاع من 64 متراً فوق مستوى سطح البحر إلى 8848 متراً في قمة جبل ايفرست Mount Everest، ضمن حدود وامتداد 200 كم.

يبلغ مجموع سكان البلد وفقاً لتعداد السكان لعام 2011، 26.62 مليون نسمة. ويعتمد اقتصاد نيبال Nepal إلى حد كبير على الزراعة، التي تسهم في نحو 40% من الناتج المحلي الإجمالي (Gross Domestic Product) وتوفر العمالة لثلثي السكان. تبلغ المساحة المزروعة في البلاد 3 ملايين هكتار، منها 1.766 مليون هكتار يمكن ريها. ويوجد في الوقت الحاضر ما يقرب من 1.33 مليون هكتار أو 44 في المئة من المساحة المزروعة لديها مرفق ري من نوع ما، ولكن 17 في المئة فقط من المساحة المزروعة لديها إمكانية الوصول إلى الري على مدار السنة. ينقسم البلد إدارياً إلى خمس مناطق إقليمية و 75 مقاطعة. وتعتبر المقاطعات الوحدات الرئيسية للتخطيط الإنمائي وتقديم الخدمات الإدارية وخدمات الدعم. الفقر سائد ومنتشر على نطاق واسع في البلد حيث يبلغ 25.4 في المئة من السكان تحت خط الفقر البالغ 1 دولار للفرد في اليوم (المجلس الوطني الشعبي، 2010) NPC، (2010).

2. الدولة ومصادر إنتاج المياه العادمة

يتم إنتاج المياه العادمة في وادي Kathmandu من خلال الطرق المحلية والتجارية والصناعية. إن نُظُم الصرف الصحي في وادي Kathmandu أساساً هي نظم مشتركة يتم الجمع بين الصرف الصحي ومصارف مياه العواصف المطرية، وكذلك الاتصال القانوني أو غير القانوني للصرف الصحي لاقتحام مصارف المياه المطرية هو شائع في أجزاء كثيرة من وادي Kathmandu. كما إن التخلص المباشر من النفايات الصلبة والسائلة على طول مجرى النهر وجريان مياه الأمطار الناجم عن المناطق الحضرية والأراضي الزراعية كان مسؤولاً أيضاً عن التدهور الكبير في نوعية المياه في الأنهار والمستطحات المائية السطحية الأخرى. وتشمل مياه الصرف الصحي الناتجة عن الطرق المحلية المنزلية المياه الرمادية والمياه السوداء المنتجة من الغسيل والتنظيف والاستحمام والاستخدامات الصحية. هناك عدد قليل فقط من المنازل المتصلة بأنظمة الصرف الصحي، وبالتالي فإن معظم المنازل تتخلص من مياه الصرف الصحي وتصرفها مباشرة في الأنهار والمستطحات المائية الأخرى. ومع وجود نظام للصرف الصحي يبلغ طوله 232 كم تم تطويره في وادي Kathmandu، لا يحصل سوى 40 في المئة من السكان على مرافق الصرف الصحي (ICIMOD et al. 2007).

كانت مياه الصرف الناتجة عن الصناعات مصدراً آخر للمياه المستعملة. ويقدر أن ما مجموعه 4500 وحدة صناعية من مختلف الأحجام تعمل في أجزاء مختلفة من البلد. وتركيز الصناعات كبير في وادي Kathmandu.

يقدر أنّ ما يقرب من 40% من الصناعات في البلد تنتج كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي. ويقدر مجموع إنتاج المياه المستعملة المركبة في المناطق الصناعية الثلاث في وادي Kathmandu valley Balaju و Patan و Bhaktapur بـ 800 متر مكعب في اليوم. حيث يتمّ خلط المياه العادمة الناتجة عن معظم الصناعات مع نظام الصرف الصحي في البلدة، في حين يتمّ جمع النفايات الصناعية الصلبة وإلقاؤها في حفر أو مساحات مفتوحة.

لا تتوافر بيانات موثوقة عن الحجم الإجمالي لإنتاج المياه المستعملة من مصادر مختلفة وفي المناطق الحضرية والريفية من البلد. وفي حالة عدم توفر المعلومات اللازمة، يقدر الحجم اليومي لإنتاج المياه العادمة استناداً إلى متوسط الاستهلاك اليومي للفرد من المياه، الذي يعتبر 75 لتراً للفرد في اليوم في المناطق الحضرية و 40 لتراً للفرد في اليوم في المناطق الريفية، مع 85% من هذا ينتهي بمياه الصرف المنزلي (UNEP 2001). يرد في الجدول (1) حجم المياه العادمة المتولدة والمجمعة في نظام إدارة مياه الصرف الصحي في البلديات الخمس في وادي Kathmandu، وهي المناطق الأكثر تحضراً في البلد.

الجدول 1: إنتاج مياه الصرف الصحي في المناطق البلدية في وادي Kathmandu.

البلديات					الوصف
Madhyapur-Thimi	Kirtipur	Bhaktapur	Patan	Kathmandu	
3,069	3,920	5,971	15,647	64,497	حجم المياه العادمة المنزلية المولدة (MLD)
215	274	418	1,095	4,515	حجم المياه العادمة الصناعية المولدة (MLD)
3,284	4,195	6,389	16,742	69,012	إجمالي المياه العادمة الناتجة (MLD)
1,642	2,097	3,195	8,371	34,506	مياه الصرف الصحي التي يتمّ جمعها (MLD)

المصدر: ICIMOD, MOEST/GON and UNEP 2007

3. حالة المعالجة والخدمات الإدارية لمياه الصرف الصحي

ترد في الجدول (2) الحالة الراهنة لبعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي تعمل في وادي Kathmandu وفي مناطق حضرية أخرى من البلد. في عام 1999، قامت لجنة التنمية المتكاملة لحضارة Bagmati (BCIDC)، التي كانت تعرف سابقاً باسم اللجنة العليا المعنية بالتنفيذ ورصد مشروع بناء / إعادة تأهيل المجاري في منطقة Bagmati، بهدف استعادة الظروف البيئية في نهر Bagmati، وتشديد محطة معالجة مياه الصرف الصحي في Guheshwori بطاقة تصميمية تبلغ 17.3 MLD مليون لتر باليوم من مياه الصرف الصحي. كانت المحطة التي شيدت بهدف تحسين بيئة نهر Bagmati في معبد Pashupatinath تعمل بشكل متقطع فقط بسبب ارتفاع تكاليف التشغيل ومشكلة الرغوة في خزان التهوية.

يبين الجدول (2) بوضوح أن جميع محطات معالجة المياه العادمة الكبيرة والمركزة التي تمّ تطويرها في Kathmandu تقريباً إما لا تعمل أو تعمل أقل بكثير من قدرتها التصميمية. ويرجع ذلك إلى ارتفاع تكاليف تشغيل النظام وإدامته وصيانته. وكبديل لمعالجة المياه العادمة المركزية، يتمّ تعزيز خيارات إضفاء اللامركزية على إدارة المياه العادمة من قبل المنظمات التنموية المعنية بقضايا الصحة العامة والصحة البيئية، مثل منظمة

الأمم المتحدة للتجمعات البشرية UNHabitat، ومنظمة البيئة والصحة العامة (ENPHO)، والبلديات، والمجتمعات المحلية.

على الرغم من الجهود المبذولة على مدى العقود الثلاثة الماضية، فشلت الوكالات المعنية بإدارة الصحة العامة والبيئة، بما في ذلك الهيئات البلدية في وادي Kathmandu، في إدارة الحجم المتزايد للمياه العادمة. وتتفاقم المشاكل كل عام في المناطق الحضرية بسبب تزايد حجم توليد المياه العادمة نتيجة للنمو المتسارع في سكان الحضر ونقص إمدادات مياه الشرب وعدم قدرة الحكومة والبلديات على تحسين البنية التحتية والخدمات الحضرية، ولا سيما التوسع في نظام الصرف الصحي والصرف وتصريف مياه الأمطار على جوانب الطريق في المناطق الحضرية. في نهاية المطاف، يتم إلقاء مياه المجاري في الأنهار دون أي نوع من المعالجة.

الجدول 2: محطات معالجة المياه العادمة الموجودة في وادي Kathmandu والمناطق الحضرية الأخرى في نيبال.

الموقع	المرحلة / النوع	MLD (القدرة) (السعة)	الحالة الحالية	تفاصيل الخدمة
Dhobighat, Patan (Kathmandu Valley)	1- بركة - الهوائية 2- بركة - اللاهوائية 3- بركة - اختياري 4- بركة - الهوائية	15.4	لا تعمل	HH روابط - 53.900 خطوط الصرف الصحي - 61.650 قناة مشتركة - 44 كم
Kodku, (Kathmandu Valley)	1- بركة - الهوائية 2- بركة - اللاهوائية 3- بركة - اختياري 4- بركة - الهوائية	1.1	تعمل جزئياً	HH روابط - 15.500 خطوط الصرف الصحي - 20.443 قناة مشتركة - 11 كم
Sallaghari, Bhaktapur (Kathmandu Valley)	بحيرة مهواة	2.4	لا تعمل	التفاصيل غير متوفرة
Hanumanghat, Bhaktapur, (Kathmandu Valley)	خندق الأكسدة	0.4	لا تعمل	-
Guheswori, Kathmandu (Kathmandu Valley)	خندق الأكسدة	16.4	لا تعمل	مجري - 6 كم السكان المخدمون - 53.000 منطقة حضرية - 21 هكتار
Hetauda Industrial Estate, Hetauda	بركة الأكسدة	1.1	تعمل	محطة معالجة المياه العادمة الصناعية.
Dhulikhel Hospital	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	< 0.10	تعمل	بدون المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 261 متر مربع السكان المخدمون - 330
Kathmandu Municipality	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	< 0.40	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 362 متر مربع السكان المخدمون - 330

الموقع	المرحلة / النوع	MLD/القدرة (السعة)	الحالة الحالية	تفاصيل الخدمة
Mulpi International School	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.25 <	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 376 متراً مربعاً السكان المخدمون - 850
SKM Hospital	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.15	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 141 متراً مربعاً السكان المخدمون - 500
Kathmandu University	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.035 <	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 587 متراً مربعاً السكان المخدمون - 1300
Middle Marshyangdi Hydropower Project	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.026 <	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 298 متراً مربعاً السكان المخدمون - 870
Pokhara Municipality	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.115 <	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 3.308 متر مربع السكان المخدمون - 3830
Kapan Monastery (Kathmandu Valley)	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.015 <	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 150 متراً مربعاً السكان المخدمون - 300
Tansen Municipality	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	0.030 <	تعمل	لا توجد المعالجة الأولية. مساحة الحقل - 583 متراً مربعاً السكان المخدمون - 1000
Sunga Community Wastewater Treatment Plant (Kathmandu Valley)	حقل القصب (الأراضي الرطبة المشيدة)	50 m3/day	تعمل	محطة معالجة المياه العادمة المجتمعية. مساحة الحقل - 150 متراً مربعاً السكان المخدمون - 1200

4. التخلص من المياه العادمة واستخدامها

في نيبال، إن ممارسات استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة وفي أماكن أخرى والعواقب البيئية والصحية الناجمة ليست موثقة جيداً في حقيقة أن ممارسة الري بالمياه العادمة تقليد قديم العهد يرتبط ارتباطاً وثيقاً بنظام الثقافة وسبل عيش الناس في وادي Kathmandu. في الوادي، في الأراضي الزراعية التي تقع في مراكز المدن وفي الأطراف الحضرية، من المعروف أن المزارعين يمارسون الري بمياه الصرف الصحي في المناطق الكبيرة

(Rutkowski 2004). وممارسة استعمال مياه الصرف الصحي في وادي Kathmandu غير رسمية إلى حد كبير، ولا يوجد أي تنظيم مؤسسي لاستخدام مياه الصرف الصحي، على الأقل حتى الآن.

يستخدم المزارعون الممارسون للري بمياه النفايات العادمة ومياه الصرف من مصادر مختلفة تشمل مياه الصرف الصحي البلدية، الأنهار الحاملة لمياه الصرف الصحي، والمياه المخزنة في البرك والأحواض الموجودة في المناطق الحضرية وشبه الحضرية والريفية في وادي Kathmandu.

1.4. حالة دراسة في Khokana: نظام إدارة مياه الصرف الصحي المجتمعية

تقدم حالة الدراسة هذه قصة نجاح نظام إدارة مياه الصرف الصحي القائمة على المجتمع المحلي الذي تم تطويره في Khokana، وهي تجمع سكني اسمه Newar كثيف قديم يعود إلى القرون الوسطى يقع في بلدية Karyabinayak في منطقة Lalitpur. يغطي التجمع السكني لـ Khokana التقليدية، التي تضم سكان، قرية Khokana الرئيسية، و Khokan الصغيرة (Sano Khokana) نحو 0.20 كيلومتر مربع فقط. ويقع نظام معالجة المياه العادمة القائم على المجتمع المحلي، الموصوف في حالة الدراسة هذه، في (Sano Khokana)، وهي تجمع سكني صغير يخدم 229 شخصاً في 39 أسرة. تعتبر الزراعة المصدر الرئيس لسبل العيش بالنسبة لمعظم الأسر في القرية. يعيش الناس في المدينة في مساكن متجمعة تقليدية مع ساحة مركزية ومنازل تقع حول الساحة، وهو نموذجي لتجمعات Newar التقليدية في وادي Kathmandu. استعادت العائلات بشكل تقليدي في Sano Khokana النفايات الصلبة ومياه الصرف الصحي من خلال نظام واحد لإعادة تدوير مياه الصرف الصحي وتحويلها إلى سماد. وفي الأسر التقليدية في تجمع Newar، استخدمت Saaga و Nauga قبل تطوير خطوط الصرف الصحي الحديثة واستخدام مياه دافئة لتنظيف المراحيض. Saaga، هي حفرة ذات أبعاد (3x3x2) قدم، صنعت عن طريق حفر الأرض في زاوية واحدة من المنزل ويتم إلقاء جميع النفايات القابلة للتحلل ومياه الصرف الصحي المنتجة في المنزل.

وعند ملئها، سيتم تغطيتها بوساطة القش المجفف ومخلفات المزارع ومن ثم يتم الحصول على سماد في غضون 3-4 أشهر لاستخدامها في الحقول الزراعية. وقد استخدمت المياه الزائدة من Saaga إما لري قطع صغيرة من الخضراوات داخل المنازل أو توجيهها إلى مصارف المياه المستعملة التي يمكن إعادة تدويرها للري. Nauga، حفرة أخرى مصنوعة في الطابق الأرضي من المنزل كانت تستخدم مكاناً للتبول، عن طريق حفر الأرض ووضع طبقة من الرماد عليها. يتبول الناس على الرماد، والتي سوف تحصل بذلك عملية تحويله إلى الأسمدة المفيدة لاستخدامها في المزارع. وكانت هذه الممارسات التقليدية لإدارة النفايات الصلبة ومياه الصرف الصحي غير صحية، لا يمكن السيطرة عليها، لأن الروائح، وتربية الماشية أسباب لتكاثر ذباب المنزل والحشرات الأخرى.

في عام 1981، دعمت وزارة التنمية المحلية MLD، بالتعاون مع اليونيسيف UNICEF، بناء حفرة فنية للمراحيض في 31 أسرة معيشية في Sano Khokana، لكن عدداً قليلاً فقط من الأسر استخدمتها بالفعل، واستمرت بدلاً من ذلك بالممارسة التقليدية المتمثلة في التغوط المفتوح في العراء وإدارة النفايات في Saaga و Nauga في المنزل. وبما أن ممارسة الإدارة التقليدية للنفايات غير صحية، فإن الناس معرضون لأمراض من مختلف الأنواع. وفشلت مبادرة بناء مراحيض الحفر بسبب ارتفاع منسوب المياه الجوفية في المنطقة.

خشى الناس من أن المراحيض سوف يتم ملؤها بسرعة وتتطلب إزالة متكررة للحماة. ولذلك، فقد ربطوا

المراحض مباشرة بالمصارف السطحية التي لم تكن مغطاة بالكامل وكانت سيئة الصيانة، وأدت هذه الحالة إلى تفاقم مشكلة إدارة النفايات في القرية.

في عام 2007، انضمت منظمة Lumanti، وهي منظمة غير حكومية NGO محلية تعمل لصالح التجمعات السكانية غير الرسمية، ومنظمة الأمم المتحدة للتجمعات البشرية UN-Habitat، تعمل في مجال تزويد المياه والمرافق الصحية في المدن الآسيوية من أجل العيش الصحي، لمساعدة المجتمع المحلي على تحسين إدارة النفايات الصلبة والسائلة في القرية. ويتمثل التحدي في وضع نظام لإدارة النفايات الصلبة والسائلة يمكن إدماجه ويستند إلى الممارسات التقليدية التي يتبعها الناس، ومن ثم فهي مقبولة لهم، وتقدم حلاً فعالاً من حيث التكلفة ومُستداماً للمشكلة. وبما أن ما يقرب من 80 في المئة من الأسر لديها مراحيض في المنازل، شُيِّدت بدعم من وزارة التنمية المحلية MLD واليونيسيف UNICEF، وكان التخلص من المياه السوداء الناجمة عن المراحيض مشكلة في غياب خزانات الصرف الصحي المناسبة و / أو وصلات شبكات الصرف الصحي المناسبة، تقرر إنشاء نظام للصرف الصحي يربط المراحيض لكل أسرة مع هاضم مركزي للغاز الحيوي. وكان يعتقد أن تطوير هضم الغاز الحيوي هو مناسب لأنه لا يوفر فقط بديلاً للمعالجة الصحية للفضلات البشرية والمياه الرمادية الصادرة عن الأسر ولكن أيضاً هو فرصة لتوليد الغاز الحيوي لاستخدامه من قبل الأسر إلى جانب استعادة السماد، الذي يعد مناسباً لسهولة الاستخدام في أراضي المحاصيل.

تم دمج نظام المعالجة بالنباتات المائية مثل حقول القصب (RBTS) في النظام حيث يمكن معالجة النفايات السائلة الناتجة عن هضم الغاز الحيوي والمياه العادمة الناتجة عن الأسر واستردادها لاستخدامها في المزارع لأغراض الري. وكان الحفاظ على محتوى المياه المناسب في النفايات، التي تغذي هاضم الغاز الحيوي، شرطاً أساسياً مسبقاً لسير عمل هاضم الغاز الحيوي بشكل سليم، ولذلك اقترح نظام لتحويل المياه العادمة الزائدة من خط الصرف الصحي إلى RBTS. وهكذا، تم تطوير نظام متكامل مع محطة الغاز الحيوي و RBTS في القرية، التي تضمنت ثلاثة عناصر أساسية أصبحت قواعد لنجاح النظام:

- 1 - نظام صحي بيئي لمعالجة النفايات الصلبة والسائلة التي تستند إلى التكنولوجيا المثبتة،
- 2 - إدراج جميع الأسر في القرية في النظام، وتقديم حل مُستدام لإدارة النفايات الصلبة والسائلة،
- 3 - استعادة الموارد التي استندت إلى الممارسة التقليدية المتمثلة في استعادة النفايات الصلبة ومياه الصرف الصحي وهي تشكل قيمة مضافة من الفائدة.

محطة الغاز الحيوي التي تم تطويرها في Sano Khokana هي عملية هضم لاهوائي على شكل قبة، ذات طاقة استيعابية 20 متراً مكعباً ومصممة لفترة بقاء هيدروليكي 45 يوماً.

لقد بدأ العمل بهذا النظام في آب 2007، في حين بدأ العمل بنظام RBTS بعد عام، بدءاً من أيلول 2008. كان النظام يعمل بكامل طاقته ويستفيد منه 37 أسرة في القرية. يتم توجيه المزيج الطيني (الرواسب والحماة) الخاضع للهضم اللاهوائي من محطة الغاز الحيوي إلى حقل تجفيف المزيج الطيني. يتم توجيه المياه من حقل التجفيف الطيني والمياه العادمة الزائدة من خط الصرف الصحي إلى نظام RBTS للمعالجة. وال RBTS المطور في Khokana هو نظام تدفق أفقي مع القدرة على معالجة 18.5 متراً مكعباً من مياه الصرف الصحي يومياً. يبلغ

طول حقل القصب 25 متراً، وعرضه 9 أمتار، ويُملأ بطبقة رملية وحصى بسماكة 70 سم. يتم تمرير المياه العادمة المحولة من خط الصرف الصحي ومياه الصرف الصحي القادمة من حقل تجفيف الطين عبر مفاعل من ثلاث غرف لا هوائية قبل الدخول إلى حقل القصب Reed Bed، مما يساعد على تحسين الكفاءة في تشغيل النظام. وإلى جانب المياه السوداء التي تغذي هضم الغاز الحيوي، تقوم الأسر أيضاً بتغذية الأحمال اليومية من النفايات الصلبة القابلة للتحلل المتولدة في المنزل إلى هضم الغاز الحيوي. يتم جمع المياه العادمة المعالجة في بركة صغيرة يتم توجيهها للري في الأراضي الزراعية.

بلغت التكلفة الإجمالية لتطوير النظام 1.300.000 روبية هندية NRs (ما يعادل 16.502 دولاراً أمريكياً US\$)، مولتها منظمة الأمم المتحدة للتجمعات البشرية UN-Habitat في إطار برنامج المياه من أجل المدن الآسيوية. والمستفيدون المباشرين من محطة الغاز الحيوي و RBTS هم 229 شخصاً في Sano Khokana. يتم جمع صندوق التشغيل والصيانة منهم. وتنفذ عملية تشغيل النظام وإدارته مجموعة من المستخدمين. ساهم المجتمع المحلي بمساحة أرض قدرها 3500 قدم مربع (325.16 متراً مربعاً) لتطوير البنية التحتية، وتبلغ قيمتها السوقية حالياً 3.000.000 روبية هندية NRs (83.086 دولاراً أمريكياً US\$). في الوقت الراهن، تدفع كل أسرة متصلة بنظام المراحيض رسوماً شهرية قدرها 30 روبية هندية NRs (0.38 دولاراً أمريكياً US\$) للتخلص من المياه العادمة والصرف الصحي. تدفع الأسر الخمس التي تستفيد من وحدة الغاز الحيوي 200 روبية هندية NRs (2.54 دولاراً أمريكياً US\$) شهرياً. وتودع المبالغ المالية التي يتم جمعها في حساب مجموعة المستخدمين ويستعمل لدفع أجور راتب القائم بأعمال محطة الغاز الحيوي و RBTS، وأيضاً لإصلاح النظام وصيانته. وتتولى أعمال هذا النظام سيدة من القرية يُدفع لها 1.500 روبية هندية (19.04 دولاراً) شهرياً. وهي مسؤولة عن التشغيل والصيانة اليومية لمحطة الغاز الحيوي وجمع الأحمال اليومية من النفايات الصلبة من الأسر لتغذية الهاضم الحيوي.

لقد أدى تطوير النظام المتكامل لإدارة المياه المستعملة إلى تحسين كبير في البيئة والمرافق الصحية في Sano Khokana. وقد أضاف ذلك إلى كرامة الشعب ووقاره حيث أصبحت القرية الآن قرية خالية من التلوث المفتوح في العراء. كما أزال النظام عبئاً ناجماً عن تفريغ خزانات الصرف الصحي المليئة، مرة واحدة على الأقل في السنة، مما أدى ليس إلى وفورات في التكاليف لإفراغ خزان الصرف الصحي فحسب، ولكنه أدى أيضاً إلى تقليل العمل الشاق المعني والمرتبط بهذه العملية.

تمّ تصميم هذا النظام أيضاً للتعامل مع النفايات المنزلية والمطبخية الأخرى، وتغذية محطة الغاز الحيوي، مما أدى إلى تحسين نظافة المنطقة السكنية والمنطقة المحيطة بها. يتم توزيع الغاز المتولد عن هضم الغاز الحيوي على خمس أسر تلبي احتياجاتها من الطهي بشكل كامل تقريباً مع إمدادات الغاز على مدار العام. السماد ذات نوعية جيدة، مع ارتفاع قيمة الأسمدة، المتولدة عن محطة الغاز الحيوي هو فائدة إضافية للشعب. يتم تخزين المياه المعالجة الناتجة من الـ RBTS، وهي مليئة بالمغذيات، في بركة ثم يُعاد تدويرها للري. لقد كان لهذا العنصر من عناصر استعادة الموارد المضمنة في النظام منفعة إضافية للشعب. ويجري الآن استرداد مياه الصرف الصحي التي كان من المفترض أن يتم تصريفها عشوائياً قبل تطوير النظام للاستعمالات الإنتاجية. ووفقاً للتقييم الصحي للقرية الذي قام به Lumanti في عام 2009، تبين أن حدوث الأمراض الناجمة عن سوء المرافق الصحية قد انخفض بنسبة 90 في المئة تقريباً.

هناك سبع شبكات ري مجتمعية لمياه الصرف الصحي في منطقة صغيرة واحدة من منطقة Khokana مع حجم المساحة المروية التابعة لكل نظام صغير الحجم من 0.26 إلى 7.76 هكتار (الجدول 3). والملاحظة الأكثر وضوحاً هي الاعتماد الكلي تقريباً على مياه الصرف الصحي للري خلال موسم الجفاف عندما تكون مصادر المياه الأخرى غير متاحة للري. وقد وجد أن مياه الصرف الصحي في موسم الجفاف في منطقة الدراسة تستخدم لإنتاج الخضراوات، وهو مصدر هام للدخل النقدي للناس في المنطقة.

كما أخذ المزارعون بعين الاعتبار المحتوى المغذي المرتفع للمياه العادمة من أجل المساهمة بشكل إيجابي في إنتاج المحاصيل. وفي محاولة لتحليل المحتوى المغذي للمياه العادمة، بلغ متوسط محتوى النترات في المياه العادمة 6.95 ملغ / لتر، و 4.9 ملغ / لتر، و 3.5 ملغ / لتر على التوالي في Saaga، في قناة النقل والتفريغ، وفي أحواض تخزين مياه الصرف الصحي. وبالمثل، كانت تراكيز الفوسفور والبوتاسيوم على المراحل الثلاث 3 ملغ / لتر و 10.7 ملغ / لتر و 4.35 ملغ / لتر و 42.9 ملغ / لتر و 149 ملغ / لتر و 27.7 ملغ / لتر على التوالي. وهذه المواد المغذية الموجودة في المياه المستعملة تحتاجها المحاصيل من أجل نموها وتطورها وإنتاجها.

2.4. استخدام مياه الصرف الصحي من نهر Hanumante في منطقة Bhaktapur

هناك دراسة لممارسة استخدام مياه الصرف الصحي من نهر Hanumante في منطقة Bhaktapur، وهو رافد لنهر Bagmati. شملت الدراسة توثيق ممارسات استخدام مياه الصرف الصحي في 55 أسرة زراعية في المنطقة التي هي في الأساس صغار المزارعين الذين يبلغ متوسط حجم حيازاتهم للأراضي 0.23 هكتار. نهر Hanumante هو المجرى الرئيس في المناطق التي تمرّ عبر مركز المدينة Bhaktapur. ويحمل النهر مياه صرف منزلية وصناعية تنتج في المناطق الحضرية من Bhaktapur و Madhyapur-Thimi، كما يستخدم النهر في إلقاء النفايات الصلبة. ويرد في الجدول (4) تحليل نوعية المياه في النهر في سبعة مواقع من المنبع إلى المصب، وهو ما يبيّن بوضوح أن النفايات العضوية في النهر تساهم بشكل رئيس في تدهور نوعية المياه. كما أن التراكيز الكبيرة من القولون البرازي في مياه النهر تدلّ على أن أي استخدام مباشر للمياه النهرية، بما في ذلك الري، سيكون خطراً على صحة الإنسان.

الجدول 3: تغطية الري من المياه العادمة في أنظمة مختارة لإدارة مياه الصرف الصحي في منطقة Khokana.

مصدر الري التكميلي	تغطية الري			الموقع			اسم النظام	مسلسل
	التغطية في الموسم الجاف	التغطية في الموسم الرطب	المساحة الكلية (ropani)	عدد مراكز الصحة والخدمات الإنسانية	اسم النظام	رقم الجناح		
لا يوجد	60%	الجميع	25	30	Nhaya Bhu	1	Nhaya Bhu Tacha Dha	1
لا يوجد	75%	الجميع	50	40	Dhune Chey, Nhaya Bhu	1	Dune Chey Chuke Dha	2
Gaa Phuku	80%	الجميع	80	60	Taa Jhaya	2	Lee Dha	3
				35	Kalnani, Gaa Bhu	3		
Kutu Phuku	75%	الجميع	150	55	Thala Chey	4	Ghashi Dha	4
				50	Kway Lacchi, Kutu Phuku	5		
لا يوجد	75%	الجميع	70	65	Nyah La, Nanicha	6	Gha Dha	5
لا يوجد	75%	الجميع	5	6	Nanicha	6	Nani Chukye Dha	6
Fanga Phuku	50%	الجميع	20	40	Kway lachhi	7	Dhokashi Dha	7
				20	Dhokashi	8		
			445	401			الإجمالي	

يلاحظ أن ما يصل إلى 64% من الأسر الزراعية تستخدم مياه الصرف الصحي من نهر Hanumante للري على مدار العام، في حين أن 34% منها تستخدم المياه للري فقط خلال فترة الرياح الموسمية. وكان ما يصل إلى 62% من المزارعين يمتلكون مضخة لرفع المياه من النهر لأجل الري. وتبين أن مياه الصرف الصحي في المنطقة تستخدم في ري الخضراوات، وهي وسيلة مهمة للدخل النقدي للمزارعين في المنطقة. يبيع المزارعون منتجاتهم في الأسواق المجاورة Thimi، و Bhaktapur وفي Kathmandu. أشار المزارعون إلى تزايد المشاكل في بيع الخضراوات التي يتم إنتاجها باستخدام مياه الصرف الصحي. وأشار 67% من المزارعين إلى أن المشتريين يحجمون عن شراء

الخضار المنتجة في المنطقة المحيطة بنهر Hanumante بسبب الممارسة السائدة لاستخدام مياه الصرف الصحي في إنتاج الخضراوات. من ناحية أخرى، أشار 33% من المزارعين إلى أنهم لا يواجهون أي صعوبة في بيع المنتجات للمستهلكين على الرغم من أن المستهلكين يعرفون أن الخضراوات تنتج باستخدام مياه الصرف الصحي.

كما تمّت دراسة تصور وإدراك المزارعين الذين يمارسون الري بالمياه العادمة من حيث تأثيرات استخدام المياه المستعملة في إنتاج المحاصيل.

في حين أن 20% فقط من المزارعين أبلغوا عن زيادة في إنتاجية المحاصيل باستخدام مياه الصرف الصحي، حيث لاحظ تقريباً 80% من المزارعين انخفاضاً في إنتاجية المحاصيل مع تطبيق مياه الصرف الصحي. ويعزى هؤلاء المزارعون الذين شهدوا انخفاضاً في إنتاجية المحاصيل بسبب استخدام المياه العادمة إلى المحتوى المغذي العالي في مياه الصرف الصحي. وقد لاحظ المزارعون في المنطقة تجفف المحاصيل وذبولها مع الاستخدام المتكرر للمياه العادمة.

ما فتئت الممارسة التقليدية لإدارة المياه العادمة في وادي Kathmandu وفي أجزاء أخرى من البلد آخذة في الانخفاض بسرعة بسبب تغير الأحوال الاجتماعية والاقتصادية للشعب وزيادة وعي السكان ووعيهم بالصحة والنظافة العامة.

وقد تمّ القضاء تقريباً على ممارسة تطوير Saaga في الفناء الخلفي من المنزل في التجمّع السكني لـ Newar إلا في بعض الأسر التقليدية في المناطق الريفية لتجمّع Newar. لدى الناس أفضلية متزايدة لربط المراحيض ونظام الصرف الصحي مع خطوط الصرف الصحي. وقد أدى هذا التغيير في الممارسة إلى التخلص المباشر من المياه الرمادية والسوداء في الأنهار والمجاري المائية المفتوحة، التي كانت مسؤولة عن زيادة الأحمال الملوثة في النهر والمسطحات المائية الأخرى. ولُوحظ أن ممارسة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة تقتصر حالياً على الأجيال الأكبر سناً، في حين أن الفتيان والفتيات الصغار يحجمون عن التعامل مع مياه الصرف الصحي. ومع ذلك، يشعر المزارعون الذين يمارسون الري بالمياه العادمة أنه مع التغير في ممارسة مياه الصرف الصحي لأغراض الري، فقدوا المواد الغذائية القيمة التي يجري استعادتها واستخدامها في أراضي المحاصيل.

الجدول 4: التغير في نوعية المياه في مياه نهر Hanumante التي يستخدمها المزارعون في الري.

لدى NWQS	أفق العينة							الوحدة	الملاحظ	مستل
	7	6	5	4	3	2	1			
6.5-8.5	7.19	7.06	7.03	6.99	6.97	7.36	7.68	-	pH الأرض الهيدروجيني	1
< 40ms/m	392	423	434	454	423	148	126	ميكروسيمنس / سم	E.C. الناقلية الكهربائية	2
	0.7	1.5	0.8	0	0	5.3	7	ملغ / لتر	أوكسجين المنحل DO	3
	42.4	40	46.4	44.8	39.2	15.2	9.6	ملغ / لتر	الكالسيوم	4
	5.34	2.43	7.29	0.97	13.1	4.86	2.91	ملغ / لتر	المغنيزيوم	5
< 100	23	26	28	29	29	7	7	ملغ / لتر	الكلوريد	6
	36	31	98	56	65	75	5	ملغ / لتر	المواد الصلبة المعلقة الكلية	7
	20	27	33	47	50	18	11	ملغ / لتر	المواد الصلبة المعلقة المتطايرة	8
	254	720	318	318	234	206	169	ملغ / لتر	المواد الصلبة الكلية	9
	18.9	25.9	28.9	67.4	79.9	4.7	3.5	ملغ / لتر	BOD	10
	41.5	61.4	73.7	123	128	17.9	18.9	ملغ / لتر	COD	11
	11.5	15	17.8	25.1	21.6	2.6	0.4	ملغ / لتر	الأمونيا	12
	<0.2	0.41	0.91	0.81	0.81	2.02	3.39	ملغ / لتر	النترات	13
	0.82	1.16	1.71	1.58	1.3	0.17	0.09	ملغ / لتر	الفوسفور الكلي	14
< 70 mg/l	19.1	22.0	23.8	26.5	22.9	9.23	8.07	ملغ / لتر	الصوديوم	15
	9.49	14.1	14.9	16.9	15.6	4.11	3.52	ملغ / لتر	البوتاسيوم	16
<0.1 mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	ملغ / لتر	الكروم	17
<0.2 mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	ملغ / لتر	الرصاص	18
<0.1 mg/l	0.07	0.13	0.05	0.1	0.21	0.09	0.05	ملغ / لتر	الزنك	19
<1 count /100ml	TN TC	TN TC	TN TC	TN TC	TN TC	TN TC	TN TC	عصية قولونية / في 100 مل	العصيات القولونية البرازية	20

ملاحظة: 1-7 مواقع أخذ عينات المياه من المنبع إلى المصب على مسار النهر. NWQS: معايير جودة المياه القياسية في نيبال.

(المصدر: 2010 Sada).

5. السياسات والإعدادات المؤسسية لإدارة مياه الصرف الصحي

1.5. السياسات والتشريعات

في غياب سياسة منفصلة لإدارة مياه الصرف الصحي، تعالج القضايا ذات الصلة بإدارة مياه الصرف الصحي في إطار السياسات والاستراتيجيات القطاعية المتعلقة بإمدادات المياه والمرافق الصحية. هناك وثيقتان تعكسان الالتزام الوطني بتحسين إمدادات المياه والصرف الصحي في البلد هما إستراتيجية قطاع إمدادات المياه والصرف الصحي في المناطق الريفية (2004) وسياسة إمدادات المياه والصرف الصحي في المناطق الحضرية (2009). تستند استراتيجية قطاع إمدادات المياه والصرف الصحي في المناطق الريفية (2004) إلى التزام وطني بإجمالي إمدادات المياه والمرافق الصحية في البلد على النحو المتوخى في الهدف الإنمائي للألفية. وتتصور سياسة إمدادات المياه والصرف الصحي في المناطق الحضرية (2009) تحسناً في تقديم خدمات المياه في المناطق الحضرية، بما في ذلك تحسين نظم وخدمات المياه المستعملة، وتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص في تطوير البنية التحتية والخدمات، وتنفيذ المبادئ التوجيهية الوطنية للتخلص الآمن من مياه الصرف الصحي واستخدامها. في محاولة لتحسين خدمات الإمداد بالمياه والصرف الصحي، تم إقرار المبادئ التوجيهية الوطنية للنظافة الصحية والصرف الصحي (2005)، مع التأكيد على ما يأتي:

- زيادة التنسيق فيما بين الوكالات المتصلة بإمدادات المياه والمرافق الصحية بالدور النشط للجنة الوطنية للمياه والصرف الصحي على المستوى المركزي.

- تشجيع المشاركة الفعالة للمنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص في زيادة تغطية إمدادات المياه والصرف الصحي.

- تطوير نُظُم الصرف الصحي مع محطات المعالجة بمشاركة نشطة من جماعات المستهلكين.

- حظر التخلص المباشر من مياه المجاري غير المعالجة في المسطحات المائية.

تضم التشريعات والأحكام التنظيمية التي تشمل المسائل المتعلقة بإدارة المياه المستعملة وحماية المسطحات المائية: قانون حماية البيئة (1996)، قانون الحكم الذاتي المحلي (1999)، قانون المؤسسات الصناعية (1993)، قانون السياسة الوطنية للأراضي الرطبة (2003)، قانون الصرف الصحي الوطني (1994)، قانون المبيدات (1992)، قانون إدارة النفايات الصلبة وتجديد الموارد (1988)، وقانون موارد المياه (1992).

قانون إدارة النفايات الصلبة وتجديد الموارد (1988): يركز هذا القانون على إدارة النفايات الصلبة في بلديات Lalitpur و Bhaktapur، Kathmandu. وينص القانون على أحكام تنظيمية لتنفيذ الأنشطة وتجديد الموارد اللازمة لإدارة النفايات الصلبة في المناطق المذكورة. ويحدد القانون أحكاماً لجمع النفايات الصلبة ومعالجتها والتخلص منها بطريقة لا تسبب أضراراً بيئية في المنطقة المخصصة للتخلص من النفايات الصلبة. وقد تم تحديد أدوار ومسؤوليات المواطن المتعلقة بجمع النفايات الصلبة والتخلص منها ووضعها بموجب القانون.

2.5. الترتيبات المؤسسية لإدارة مياه الصرف الصحي

تتولى وزارة إمدادات المياه والصرف الصحي (MWSS) المسؤولية العامة عن وضع السياسات وخطط التنمية وإدارة إمدادات المياه والصرف الصحي وقطاع النقل وما يتصل بذلك من تنمية البنية التحتية الأساسية المادية في البلد. أنشأت الوزارة شعبة الصرف الصحي المسؤولة عن تقديم المساعدة التقنية إلى المنظمات الثنائية والمتعددة الأطراف في صياغة ورصد وتقييم برامج الصرف الصحي، بما في ذلك مياه الأمطار في المناطق الحضرية والريفية والصرف الصحي المنزلي، باستثناء نظام صرف الطرق. وتتولى إدارة إمدادات المياه والصرف الصحي (DWSS)

التابعة لوزارة الأشغال العامة والسكان MPPW مسؤولية تخطيط شبكات الإمداد بالمياه والمرافق الصحية وتطويرها وما يتصل بذلك من تطوير البنية التحتية الأساسية في البلد. وتشمل مسؤوليات دائرة المياه والصرف الصحي DWSS في المناطق الريفية المراكز الحضرية والصغيرة في البلد. وقد أنشئت مؤسسة Nepal لإمدادات المياه (NWSC) كشركة شبه مستقلة مسؤولة عن إمدادات المياه والصرف الصحي في المراكز الحضرية الكبرى خارج وادي Kathmandu. في وادي Kathmandu، مسؤولية تطوير وإدارة البنية التحتية وتشغيلها وخدمات إمدادات المياه ونظام الصرف الصحي تقع على عاتق مؤسسة Kathmandu Upatyaka Khanepani Limited المحدودة (KUKL)، وهي مؤسسة أنشئت في إطار شراكة بين القطاعين العام والخاص. ويحدد قانون الحكم الذاتي المحلي (1999) واجبات الحكومة المحلية والبلديات ومجالس التنمية القروية VDCs فيما يتعلق بمياه الشرب والري والصرف الصحي وحفظ المياه. ومن المتوقع أن يكون الدور الرئيس للحكومات المحلية هو تطوير مرافق المياه والصرف الصحي من خلال وضع الخطط والبرامج المحلية، وكذلك توفير المواد والدعم المالي لتطوير البنية التحتية والخدمات من قبل المجتمع المحلي.

3.5. تنظيم استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة والاستخدامات الأخرى

إنّ اللوائح المتعلقة باستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة والاستخدامات الأخرى ضعيفة في غياب الأحكام التنظيمية اللازمة وغياب المؤسسات المستقلة ذات المسؤولية الذاتية عن استخدام مياه الصرف الصحي وإدارتها. لا توجد نوعية مياه سائلة محددة للتخلص من المياه العادمة في المسطحات المائية، ولكن معايير الجودة التي أبلغت عنها معظم الوكالات بشكل عام لاستخدامات المياه المختلفة مبينة في الجدول (5). في عام 2008 تمّ وضع إرشادات الجودة للاستخدام الآمن للمياه العادمة في الزراعة وتربية الأحياء المائية، إرواء الحيوانات، الترفيه والاستجمام، والبيئة، ونشرت في الجريدة الرسمية لحكومة نيبال Nepal (صدى 2011) (Sada 2011).

لا يوجد ترتيب مؤسسي لتنظيم استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة، كما لا توجد مبادئ توجيهية متاحة لضمان التعامل الآمن مع مياه الصرف الصحي والإنتاج الزراعي. وبالنظر إلى أن استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة سوف يتسارع في البلد في المستقبل، على الأقلّ في المناطق الحضرية مثل Kathmandu، فإنّ وضع دلائل ومبادئ توجيهية لري المياه العادمة سيكون خطوة أولى حاسمة لمعالجة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة.

الجدول 5: معايير جودة المياه للاستخدامات المختلفة التي أبلغت عنها وكالات المياه في نيبال Nepal.

الزراعة	الاستحمام	الحياة المائية	الشرب	الباراميتير
6.5-9	6.5-9	6.5-8.5	6.5-9.2	pH الأس الهيدروجيني
500-3000	1500	1000	1500	TDS المواد الصلبة المنحلة الكلية (ملغ/لتر)
-	50	25	-	SS (ملغ/لتر) المواد الصلبة المعلقة
3	3	6	-	O ₂ (ملغ/لتر) الأوكسجين المنحل كـ لتر
100-1000	1000	500	600	(ملغ/لتر) الكلور كـ كلور
1000	1000	500	400	So ₄ الكبريتات كـ
25	20	20	-	النترات NO ₃ -N as N (mg/l)
1.0	1.0	0.15	-	NO ₂ -N as N (mg/l)
0.2	0.2	0.02	-	NH ₃ -N as N (mg/l)
0.2	0.2	0.1	0.1	الفوسفور الكلي Total PO ₄ as PO ₄ (mg/l)
10	6	4	4	BOD as O ₂ (mg/l)
1.5	1.5	1	3	الفلور (ملغ/لتر) F as F (mg/l)
0.001	0.001	0.0001	-	الزئبق الكلي
0.01	0.005	0.005	-	الكاديوم الكلي
0.1	0.05	0.05	0.05	الرصاص الكلي
0.1	0.05	0.05	-	الكروم
0.2	0.1	0.005	0.002	الفيول
0.2	0.2	0.005	-	إجمالي السيانيد
1000	1000	-	-	الكوليفورم الكلية (MPN/100ml)

Source: Sharma et al. 2005

6. البحوث في أنظمة مياه الصرف الصحي واستخدامها

تتسم البحوث وتنمية المعارف ونشر المعرفة ذات الصلة بإدارة مياه الصرف بالانتشار والتبعثر الشديد غير المنتظم في نيبال Nepal. تقتصر الجهود البحثية على عدد قليل من المؤسسات التعليمية والبحثية والمهنيين العاملين فيها حيث إن مجالات المشاركة هي كما يأتي:

- تحليل حالة تدهور المياه في المسطحات المائية السطحية (الأنهار والبحيرات والأحواض) بما في ذلك دراسات علم البحيرات والمياه العذبة في المسطحات المائية.

- تقييم أداء التكنولوجيا والبنية التحتية المتعلقة بإدارة مياه الصرف الصحي.

- عواقب الصحة وسبل العيش وديناميكيات الأمراض الناجمة عن تدهور المياه.

- تحليل متعدد التخصصات لعمليات تدهور أنظمة المياه السطحية والجوفية ونتائجها.

- خيارات التكنولوجيا للمعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي.
- بحوث السياسات بشأن استخدام المياه السطحية والجوفية وإدارتها.
- تضم المنظمات التي تشارك أحياناً في البحوث وتطوير المعارف في نظم المياه المستعملة الجامعات ومنظمات البحث والوحدات في الوزارات والإدارات الحكومية التي تتمتع بمسؤولية مستقلة في البحث والتطوير، وعدد قليل من المنظمات الإغاثية المشاركة في التنمية والبحوث المتعلقة بالسياسة العامة. وتشمل هذه:
- الإدارة المركزية للجغرافيا، جامعة Tribhuvan.
- معهد الهندسة، جامعة Tribhuvan.
- جامعة Kathmandu.
- كلية الهندسة نيبال Nepal، جامعة Pokhara.
- المركز الدولي للتنمية المتكاملة للجبال (ICIMOD).
- منظمة البيئة والصحة العامة (ENPHO).
- معهد الانتقال الاجتماعي والبيئي - نيبال Nepal (ISET-Nepal).
- مجلس البحوث الزراعية في نيبال Nepal.
- برنامج إدارة النظام والتدريب (SMTP)، إدارة الري.
- مجلس البحوث الصحية في نيبال Nepal، وزارة الصحة.
- بعض الإنجازات الرئيسية في مجال البحوث وتطوير المعارف المتعلقة بنظم وإدارة مياه الصرف الصحي في نيبال Nepal حتى الآن هي كما يلي:
- إجراء تحليل منهجي لنوعية المياه في أنهار وادي Kathmandu الذي نفذته إدارة الهيدرولوجيا والأرصاد الجوية (DHM)، وحكومة نيبال Nepal، ومنظمة ENPHO خلال الفترة 1992-1996.
- تصنيف نُظُم الأنهار في إقليم Hindu-Kush Himalayan في جبال الهيمالايا الذي نفذته المركز الدولي للتنمية المتكاملة للجبال ICIMOD خلال الفترة 2006-2007 استناداً إلى معايير نوعية المياه التي شملت أيضاً الأنهار في وادي Kathmandu.
- التوقعات البيئية لوادي Kathmandu التي أعدتها وزارة علوم وتكنولوجيا البيئة دعماً للمركز الدولي للتنمية المتكاملة للجبال ICIMOD وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP في عام 2007.
- تصميم وتطوير نظام إدارة المياه العادمة اللامركزية في نيبال Nepal من قبل منظمة ENPHO.
- لا توجد مشاريع بحثية تركز بشكل خاص على استخدام وإدارة مياه الصرف الصحي التي تنظر في القضايا الجارية في البلد الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية والبيئية والصحية والسبل المعيشية.

7. الثغرات المعرفية والاحتياجات لاستخدام المياه العادمة الآمنة

لا يتوفر حتى الآن تحليل عن حالة المعرفة والفجوة المعرفية فيما يتعلق باستخدام المياه العادمة الآمنة في مختلف وكالات قطاع المياه وموظفيها في البلد. ويرجع هذا النقص في التركيز على تقييم الفجوة المعرفية من

حيث الاستخدام الآمن للمياه العادمة إلى التصور القائم على اعتبار مياه الصرف الصحي «إزعاجاً بيئياً» وليس «مصدراً» من قبل وكالات قطاع المياه وموظفيها. وقد كان كثير من التركيز حتى الآن على تطوير البنية التحتية والخدمات المادية في الجمع والنقل والمعالجة والتخلص الآمن من المياه العادمة في حين أن إعادة تدوير وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي لم تحظ إلا بقدر ضئيل من التركيز في تصميم برامج التنمية وتنفيذها. ومن أسباب عدم اعتبار مياه الصرف الصحي مصدراً محتملاً للاستخدام الإنتاجي في الزراعة والقطاعات الأخرى نذكر عدم وجود تنسيق مؤسسي بين وكالات قطاع المياه. وتعدّ تنمية مجال المياه في البلد قطاعياً (بشكل قطاعات) إلى حدّ كبير، حيث تسيطر السياسات القطاعية على تطوير أنظمة المياه وخدماتها في كل قطاع.

في سياق إعداد هذه الحالة، تمّ الاتصال بالوزارات والإدارات الحكومية ذات الصلة وموظفيها العاملين في مجال السياسات ومناصب اتخاذ القرار الرئيسة وآرائهم بشأن مدى ملاءمة، أهمية، حالة، ومتطلبات المعرفة بشأن إدارة مياه الصرف الصحي واستخدام المياه العادمة الآمنة يوماً بعد يوم وقد تمّ تقييم الالتزامات والتعاقدات في تقديم الخدمات. تستند المعلومات الواردة أدناه أساساً إلى هذه الدراسة الاستقصائية التي أجريت في فترة زمنية قصيرة جداً. وحدد العاملون في الوكالات الحكومية الثغرات على مستويين: (1) الفجوات في استيعاب مياه الصرف الصحي وقبولها واستخدامها الآمن كجدول أعمال مؤسسي للوكالات؛ (2) وجود ثغرات في تخطيط البرامج وتنفيذها.

تتبع الفجوات في استيعاب وقبول الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي كجدول أعمال منتظم للبرنامج أساساً من عدم وجود مبادرة من جانب وكالات قطاع المياه في النظر في إمكانية استخدام مياه الصرف الصحي جانباً من جوانب برامجها لتنمية المياه.

وتتوخّى استراتيجية الموارد المائية التي أقرتها حكومة نيبال في عام 2002 نهجاً متكاملًا لتنمية الموارد المائية، حيث تمّ تحديد إمكانية إعادة تدوير / استخدام مياه الصرف الصحي كأحد البدائل لتقريب / تعزيز أمن المياه، على الأقلّ في المناطق المعروفة لمواجهة ندرة المياه. كما كانت هناك، بوجه عام، أحكام وتشريعات تنظيمية كافية لتعزيز الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي. إن معايير جودة المياه للاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في الزراعة، تربية الأحياء المائية، إرواء الماشية، الترفيه والاستجمام، والاستخدامات البيئية، التي نشرت في الجريدة الرسمية لحكومة نيبال Nepal في عام 2008، تقوي الالتزام الوطني بتعزيز الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي. غير أن التركيز على السياسات عوضاً عن الخطط والبرامج الفعلية الحالية لاستخدام المياه العادمة الآمنة كان مفتقراً إلى حدّ كبير في معظم وكالات تنمية قطاع المياه وكذلك الجهات المعنية بالقضايا الصحية والبيئية.

ترد في الجدول (6) الفجوات التي حددتها وكالات قطاع المياه ذات الصلة في تخطيط البرامج وتنفيذها، على النحو الذي كشف عنه موظفوها الرئيسون. في حين كشف الموظفون في معظم وكالات قطاع المياه وتلك المتعلقة بالصحة والبيئة عن مستوى عالٍ من الصلة كما هو مبين من قبل موظفيها الرئيسين، في الجدول (6). وبينما كشف العاملون في معظم وكالات قطاع المياه وتلك المتعلقة بالصحة والبيئة عن مستوى عالٍ من الأهمية وأهمية معرفة الاستخدام الآمن للمياه العادمة، وحددت دائماً مستوى منخفضاً من التركيز الحالي على وضع برامج وخطط لتعزيز استخدام الآمن للمياه العادمة. وحددت جميع الوكالات أيضاً مستوى عالياً من الحاجة إلى تنمية القدرات المؤسسية من حيث تطوير الموارد البشرية والمواد والتكنولوجيا وإضافتها من أجل أدوارها المعززة في تقوية المعارف والممارسات المتعلقة باستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي وترقيتها.

الجدول 6: الثغرات في تخطيط البرامج وتنفيذها فيما يتعلق باستخدام المياه العادمة الآمنة عبر وكالات مختارة في قطاع المياه.

مستويات الثغرات	MOA&C وزارة الزراعة	MOPPW وزارة الأشغال العامة والسكان	MOH وزارة الصحة	MOE وزارة البيئة	DOI شعبة الإعلام	NARC
أهمية معرفة استخدام الآمن لمياه الصرف الصحي	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة
السياسات القطاعية التأكيد / شمولية مشكلة المياه العادمة	غير موجود	مناسبة (كافية)	مناسبة (كافية)	مناسبة (كافية)	غير موجود	غير موجود
الموارد (المواد والتكنولوجيا والموارد البشرية) لمعالجة استخدام المياه العادمة الآمنة	منخفضة	متوسطة	منخفضة	منخفضة	منخفضة	منخفضة
برامج / خطط تعزيز استخدام المياه العادمة الآمنة	منخفضة	منخفضة	منخفضة	منخفضة	منخفضة	منخفضة
الحاجة إلى بناء القدرات المؤسسية على استخدام المياه العادمة الآمنة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة

NE: غير موجود.

8. ملاحظات ختامية

لقد سعت هذه الحالة إلى عرض حالة إنتاج مياه الصرف الصحي واستخدامها في سياق وادي Kathmandu والمبادئ التوجيهية والسياسات القائمة والأطر التنظيمية المتعلقة باستخدام الآمن مياه الصرف الصحي في البلد. وتناول القسم الأخير من هذه الحالة الفجوة المعرفية والحاجة إلى بناء القدرات بين المزارعين الذين يستخدمون المياه، ووكالات قطاع المياه وموظفيها فيما يتعلق باستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في البلد. وقد حاول ذلك أيضاً الاستفادة من وجهات النظر على المستوى الدقيق، ولا سيما الممارسات التقليدية لاستخدام مياه الصرف الصحي في وادي Kathmandu، ومن ثم الحاجة إلى تعزيز المعارف والممارسات من أجل الإدارة السليمة لاستخدام مياه الصرف الصحي. وتظهر الاستنتاجات التالية استناداً إلى محتويات هذه الحالة وتحليلها:

– لُوحظ أن إدارة مياه الصرف الصحي واستخدامها في وادي Kathmandu هي ممارسة قديمة العهد ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالمعارف والحكمة التقليدية للسكان. وتعتبر المياه العادمة تقليدياً «مصدراً» من قبل الشعب، في حين أنّ جهود التنمية التي تبذلها وكالات قطاع المياه فيما يتعلق بإدارة المياه المستعملة قد استرشدت أساساً بمفهوم اعتبار مياه الصرف «إزعاجاً» ومساهماً رئيساً في التلوث البيئي. وقد وجد هذا المفهوم في المنظورات القطاعية والتأديبية في تطوير شبكات المياه، التي تسترشد أساساً بحلّ تكنولوجي لجميع مشاكل المياه.

– لُوحظ أن إنتاج المياه العادمة في وادي Kathmandu قد ازداد بشكل ملحوظ منذ عام 1970، ولا سيما في المناطق الحضرية، وذلك بسبب الزيادة السريعة في عدد السكان، والتنمية غير المخطط لها (العشوائية) وغير العشوائية للبنية التحتية والخدمات من أجل إمدادات المياه والصرف الصحي وإدارة المياه المستعملة.

كشف التحليل أيضاً بوضوح أن وتيرة تطوير البنية التحتية والخدمات لإدارة مياه الصرف الصحي كانت غير كافية إلى حد كبير وغير كاملة لتلبية الاحتياجات. كما تبين أن الحل المركزي القائم على التكنولوجيا لإدارة المياه المستعملة قد فشل في معالجة مشكلة مياه الصرف الصحي، ولا سيما في المناطق الحضرية في وادي Kathmandu.

أشار التحليل إلى التزام على مستوى السياسات في معالجة مشكلة إدارة المياه العادمة في البلاد. كما لوحظ أن التشريعات القائمة والأحكام التنظيمية كافية بوجه عام لمعالجة مشاكل إدارة المياه المستعملة. ومن ناحية أخرى، تم تحديد الثغرات على مستوى تنفيذ السياسات والتشريعات والأحكام التنظيمية المتعلقة بالاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي. ولوحظت ثغرات أيضاً على مستوى التنمية المؤسسية في استيعاب مشكلة إدارة المياه المستعملة باعتبارها مجالاً مهماً من مجالات التدخل الإنمائي من جانب وكالات قطاع المياه.

لاحظ التحليل عدم وجود تركيز على البحث والتطوير في البلد في تحسين حالة المعرفة، الممارسات والحلول لإدارة المياه العادمة. ولا يوجد سوى عدد قليل من الوكالات وموظفيها الذين لديهم مستوى محدود من المشاركة في البحث والتطوير في مجال استخدام مياه الصرف الصحي وإدارتها. ويُعزى ذلك أساساً إلى عدم وجود تركيز وطني على تعزيز استخدام مياه الصرف الصحي.

إن الاستنتاج الرئيس المنبثق عن التحليل هو الحاجة إلى النظر في استخدام مياه الصرف الصحي مجالاً هاماً لتنمية قطاع المياه في البلد. هناك ضغوط واضحة على المياه، وخاصة في المناطق الحضرية، والناجمة عن عدم اليقين في المياه في موسم الجفاف، ونضوب المياه الجوفية، والتغير المناخي. وهناك إمكانات راسخة لتعزيز استخدام مياه الصرف الصحي كوسيلة لمعالجة عدم اليقين في المياه وتقرب من الأمن المائي على المستوى المحلي. وبالنظر إلى المخاوف الناشئة بشأن عدم اليقين الناجم عن المناخ الناتج في البلد، ولا سيما المخاوف بشأن احتمال نضوب الموارد المائية بسبب تغير المناخ، هناك إمكانية واضحة للنظر في استخدام مياه الصرف الصحي الآمنة وسيلة مهمة للاستعداد والاستراتيجيات التكيفية للأمن المائي المستقبلي المحتمل.

المراجع

References

- ADB & GON. 2010. "Kathmandu Valley Water Supply and Wastewater System Improvement: Project Feasibility Study Final Report." Manila, the Philippines: Asian Development Bank (ADB).
- A.K. Shukla, U.R. Timilsina, and B.C. Jha. 2012. "Nepal Country Paper, Wastewater Production, Treatment, and Use in Nepal."
- Basnyat BB. 1999. "Fertilisers and the Environment in the Context of Nepal: How Big is the Problem?" Paper presented in the Workshop on *Present Environmental Challenges and Management of Pesticides, Chemical Fertilizers and Solid Wastes*, Kathmandu, Nepal,

October, 3-4.

CBS. 1995. "A Compendium of Environmental Statistics of Nepal." Ramshahpath, Kathmandu: Central Bureau of Statistics (CBS).

CBS. 2011. "Preliminary Results of National Population Census 2011." Ramshahpath, Kathmandu: Central Bureau of Statistics (CBS).

FAO. 2012. "Aquastat." Accessed May12. www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html.

ICIMOD, MOEST/GON and UNEP. 2007. "Kathmandu Valley Environmental Outlook." International Center for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Ministry of Environment Science and Technology of Government of Nepal (MOEST/GON) and United Nations Environmental Program (UNEP).

Mool PK, Bajracharya SR and Joshi SP. 2001. "Glacial Lakes and Glacial Lake Outburst Flood Events in the Hindu Kush-Himalayan Region." In *Global Change and Himalayan Mountains*, edited by Shrestha KL. Lalitpur, Nepal: Institute for Development and Innovation.

NPC. 2010. "Millennium Development Goal Needs Assessment for Nepal." National Planning Commission (NPC) and UNDP.

Nyachhyon BL. 2006. "Service Enhancement and Development of Sanitary Sewerage System in Urban and Semi-Urban Settings of Nepal." *Economic Policy Network*, Policy Paper No. 23. Ministry of Finance, Government of Nepal and Asian Development Bank.

Experiences." Paper presented at a workshop on *Present Environmental Challenges and Management of Pesticides, Chemical Fertilizer and Solid Waste*, October 3-4, Kathmandu, organised by Society for Environmental Journalists, Nepal.

Ruthkowski T. 2004. "Study of Wastewater Irrigation in Kathmandu Valley." *Water Nepal*, 11-2:63-71.

Sada R. 2010. "Processes and Consequences of Degradation of Hanumante River." Unpublished M.Sc. Thesis. Pokhara University, Nepal.

Sharma S, Bajracharya RM, Sitaula B K and Merz J. 2005. "Water Quality in the Central Himalaya." *Current Science*, 89-5:774-786.

Shrestha J. 2011. "Traditional Practices and Knowledge System in Integrated Wastewater

Management in Kathmandu Valley.” Unpublished M.Sc. Thesis. Pokhara University, Nepal.

UNDP. 2006. “Human Development Report- Beyond Scarcity: Power, Poverty and Global Water Crisis.”

WECS. 2003. “Water Resource Strategy Nepal.” Water and Energy Commission Secretariat (WECS), Government of Nepal.

UNEP. 2001. “Nepal: State of the Environment 2001.” Kathmandu, Nepal: United Nations Environment Program (UNEP) and International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).

WECS. 2010. “Concept Paper on Eco-Efficient Water Infrastructure Policy in Nepal.” Water and Energy Commission Secretariat, Government of Nepal.

الملخص

في مقاطعة Mendoza، الأرجنتين Argentina، تمّ إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة لأكثر من خمسة عقود. العوامل التي تدفع الطلب على هذا المورد للري في هذه المنطقة هي الأمطار المتساقطة والجفاف النموذجي في الصحراء. تقع في وسط غرب الأرجنتين، في سفوح جبال Andes، تسجل Mendoza متوسط هطول الأمطار السنوي يتراوح بين 200 ملم إلى 250 ملم اعتماداً على خط العرض. وتتركز جميع الأنشطة البشرية والإنتاجية على 3.5 في المئة فقط من مساحتها السطحية، التي تغطي 184.827 كيلومتراً مربعاً، ونحو أربع وأحات من صنع الإنسان تستغل المياه من أنهار المنطقة. وهناك ما مجموعه أكثر من 500.000 هكتار مزروعة حيث تجري الزراعة المكثفة، والمحصول الرئيس هو الكرمة لصنع النبيذ، تليها أشجار الزيتون، بذور وثمار الفاكهة، الخضروات، الحراج والأعلاف.

في هذا السياق، يشدد الطلب على الموارد المائية من المزارعين، خاصة أن مياه الصرف الصحي المعالجة تأتي مع ضمانات تتعلق بمراقبة الجودة والطريقة التي تستخدم بها، لضمان التأثيرات غير المرغوبة على التربة أو المحاصيل. وعلاوةً على ذلك، مع هذه الممارسة تتمّ معالجة المياه في محطات تنقية مياه الصرف وتتمّ إضافة المواد المغذية إلى التربة، وبذلك تتحقق ميزة اقتصادية تكتسب أهمية كبرى في المنطقة القاحلة. ومع ذلك، فإنّ ما يلزم لتحقيق وأمثلة ذلك هو الشروط والخبرات اللازمة للحفاظ على خصوبة التربة (الظروف العضوية والمعدنية والهيدروجيولوجية) والحصول على المنتجات التي تلبّي معايير الصحة والنظافة المطلوبة من قبل مقصدها وغايتها، وضمان الحفاظ على البيئة، كلها ضرورية لمياه الصرف الصحي لاستخدامها بطريقة خاضعة للرقابة والسيطرة. لتحقيق هذه الغاية، أصدرت الإدارة العامة للري في عام 2003 القرار رقم 400/03 الصادر عن المحكمة الإدارية السامية، الذي وضع لوائح إلزامية (للمناطق الزراعية المتخصصة المقيدة) ACREs.

توفر نسبة كبيرة من منشآت تنقية المياه في المقاطعة حالياً النفايات السائلة المعالجة في المنطقة ACRE. من حيث المساحة السطحية، تروي نحو 7000 هكتار من المياه العادمة في الصيف، وتتسجم مع الكثافة السكانية بشكل رئيس على الواحة الشمالية. وتتمّ تسوية 85 في المئة من مساحة السطح هذا بموجب القانون ويديرها مستعملوها، مع وجود ضوابط من الإدارة العامة للري. ما تبقى هو مهمة ذات أهمية أيضاً، تنظيم إعادة استخدام الشتاء. وفي عام 2006 ترد المبادئ التوجيهية والمتطلبات المتعلقة بذلك في القرار رقم 500/06 الصادر عن المحكمة الإدارية السامية.

الكلمات المفتاحية: إعادة استخدام الزراعي، ACRE قطعة من الأرض زراعية متخصصة مقيدة، مياه الصرف الصحي، الري.

¹ Carlos Horacio Foresi 

Water Resources Department, General Department of Irrigation, Mendoza, Argentina.

e-mail: cforesi@agua.gob.ar, carloshoracioforesi@gmail.com

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

Translated from Spanish to English

1. المقدمة

يُخصّص قسم كامل للإدارة العامة للري في القسم السادس من دستور Mendoza الذي بدأ تنفيذه (ساري المفعول) منذ عام 1916. وتتمثل مهمة هذه الهيئة في إدارة جميع موارد المياه السطحية والجوفية المتاحة في المحافظة وحمايتها، مع الأخذ في الاعتبار الاستخدامات المختلفة: الشرب، الري، الصناعة، الطاقة والترفيه. ضمن استخداماتها، لقد أصبحت إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة أكثر وضوحاً، وذلك في إطار استخداماتها منذ إنشاء إدارة إعادة استخدام المياه (Departamento Reusos Hídricos) في عام 2012، التي يتمثل الغرض الرئيس منها في التنظيم التقني والإداري للمناطق الريفية المحمية ACREs.

الإدارة العامة للري هي هيئة مستقلة تتمتع بالاستقلال لإدارة مواردها الخاصة ولا تعتمد مالياً على مخصصات الميزانية من الهيئة التشريعية السامية أو تنفيذها من قبل المكتب التنفيذي. وعلاوةً على ذلك، تتمتع الإدارة العامة للري باستقلالية إدارية وتدير المياه في مقاطعة Mendoza. وتتمثل وظيفتها الرئيسة في Mendoza في الإدارة العامة لموارد المياه العامة، وهي مسؤولة أيضاً عن معالجة جميع المسائل المتعلقة بإدارة الموارد المائية، وحماية المياه وتوزيعها وتنظيمها في المجاري المائية الطبيعية والاصطناعية. هذه المؤسسة لها جذور مختلفة في الحكومة ومنظمات المجتمع المدني وتنبع من الأزمنة الاستعمارية. وقد بدأت الإدارة العامة للري، كما نعرفها اليوم، حيز الوجود في عام 1884 بإصدار قانون المياه العام الذي ينص على أن «إدارة المياه والوفاء العام بهذا العمل سيكون تحت إشراف الإدارة العامة للمياه». وبعد عشر سنوات، في عام 1894، أعاد دستور مقاطعة Mendoza تسمية الإدارة العامة للمياه بوصفها الإدارة العامة للري، وهو الاسم الذي لا يزال سارياً حتى اليوم.

تتميز سمة إدارة مياه الصرف الصحي في Mendoza بأنها تتم بالتعاون مع منظمات المستخدمين التي تسمى «هيئة تفتيش الممرات المائية»¹ (Inspecciones de Cauces)، التي تخضع لتبعية وظيفية في الإدارة العامة للري، يحكمها قانون محدد «القانون 6405» الذي أصدرته الهيئة التشريعية في Mendoza في 18 تموز 1996. وقد قيل بالفعل إن الزراعة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، مثل مقاطعة Mendoza، تعتمد بشكل حصري تقريباً على الري.

ويمثل الطلب على المياه للري أكثر من 80 في المئة من إجمالي الحاجة إلى المياه. وبالمثل، يعني استمرار النمو السكاني أيضاً زيادة الطلب على المياه، ممّا يزيد من الضغط للتأكد من توزيع هذا المورد بشكل صحيح. وهذا يعني أنه من الأهمية بمكان استخدام هذا المورد بشكل أكثر كفاءةً، بل وأكثر من ذلك عندما ننظر إلى الانخفاض في تساقط الثلوج في السنوات الأخيرة.

من البدائل المتاحة التي يمكن أن تقلل من الضغط على موارد المياه إعادة استخدام النفايات السائلة الحضرية المعالجة في الزراعة. في حين أنّ هذه الممارسة قد تمّت في التنمية والتطوير لأكثر من 50 عاماً في مقاطعتنا، فقد تمّ تنظيمه فقط منذ عام 2003. تقدم هذه الدراسة وصفاً وتحليلاً للوضع فيما يتعلق بإعادة استخدام المياه في الزراعة في المحافظة لتكون أساساً لصنع القرارات من قبل مختلف أصحاب المصلحة المعنيين واتخاذها.

2. لمحة تاريخية موجزة

1.1.2 Campo Espejo ACRE

تمّ تركيب شبكات الصرف الصحي الأولى في عاصمة مقاطعة Mendoza في 1920s. وتمّ نقل المياه غير المعالجة

بوساطة خطوط أنابيب الجاذبية الأرضية (بالإسالة) إلى حقل غير مزروع مملوك للدولة يقع على بعد عدة كيلومترات شمال المدينة. بدأ الناس في دعوة هذا الحقل «Campo Espejo» (حقل المرآة)، وبالتأكيد بسبب تألقه الرائع، الناجم عن النفايات السائلة المُصرفة، التي يمكن أن ينظر إليها من بعيد. وبعد فترة وجيزة، أنشأ المزارعون الموجودون في المناطق المجاورة ممرات مائية غير مستقرة لتحويل هذه المياه وري المحاصيل. وقد مرت سنوات عديدة قبل أن تقوم الشركة الأولى ببناء محطة المعالجة الأولية (1976) التي توفر مياه الشرب وخدمات الصرف الصحي في ذلك الوقت، وهي شركة Obras Sanitarias de la Nacion (OSN). وقد تم إعادة تشكيل هذه المحطة لاحقاً وتوسيعها، ولكن هذا لم ينجح في عكس المخاطر الناجمة عن استخدام المياه مع هذا المستوى من المعالجة للري. وفي عام 1994، فازت شركة UTE¹¹ Union Transitoria de Empresas privadas بالعقد لبناء محطة جديدة. وسيتم تنفيذ مشروع بناء أحواض وبرك تثبيت النفايات وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية WHO للمعالجة الثانوية. تم إنشاء اثنتي عشرة مجموعة من ثلاثة أحواض، مع العقد (UTE's 20 year) لمعالجة النفايات السائلة لمدة 20 عاماً في الاعتبار. ويجري الآن إعادة النظر في الشروط لأن شروط العقد قد انتهت. وقد تم إنشاء المياه أسفل المنطقة ACRE التي تغطي اليوم مساحة قدرها 3000 هكتار.

2.2. Paramillo ACRE

في بداية الثمانينيات 1980s، تم بناء محطة كبيرة أخرى لمعالجة مياه المجاري لجمع المياه من Mendoza الكبرى. وقد سمحت مجموعة من أربعة أحواض (برك) كبيرة في موقع يقع على بعد نحو 30 كيلومتراً إلى الشرق من Campo Espejo بتنقية المياه بشكل صحيح وإنشاء منطقة جديدة ACRE في المساحة المحيطة بها. هذا المكان، حيث إن اسمه (الذي يأتي من paramo، يعني الأرض القفر الخراب) يوحى، حقاً إلى البرية القاحلة المقفرة نظراً لعدم وجود محاصيل نمت هناك بسبب عدم وجود حقوق أو أنظمة الري. اليوم، وبفضل الاستخدام المنظم لمياه المجاري المعالجة والمياه الجوفية، خضع Paramillo للتحويل. وربما كان من الممكن إعادة تسميتها، نظراً للطبيعة الرائعة الملحوظة للتحويل، بما في ذلك مزارع التكنولوجيا الفائقة المزدهرة التي توفر العمل لمئات من الناس في 3500 هكتار من الأراضي التي تشكل ACRE.

3. العوامل التي أثرت على التطوير الناجح لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي في Mendoza

1.3. الطلب

لقد سبق الإشارة إلى الظروف القاحلة للمقاطعة. ولكي تنمو أي محاصيل في Mendoza، يجب استخدام الري لتكملة نقص الأمطار. في مواجهة هذه الحالة، يكون المزارعون دائماً في حالة تأهب للمصادر التي قد تكون مفيدة لهم، سواء كانت مياه سطحية من الأنهار أو المجاري المائية، أو المياه الجوفية، أو المياه المُعاد استخدامها. وهناك قدر كبير من الاهتمام في مياه المجاري المعالجة لأنه، فضلاً عن كونها متاحة على مدار السنة في المناطق التي لا تملك حقوق الري المسجلة، فإنه تجلب معها المواد المغذية والمواد العضوية التي تقلل من تكاليف التسميد وهذا هو جداً ضروري للتربة العضوية والمعدنية مثل تلك الموجودة في Mendoza. وهذا هو بالتأكيد عامل حاسم، لكن هذا الاهتمام أيضاً يرتبط ارتباطاً وثيقاً بنوعية الموارد المائية لأن المزارعين ليسوا على استعداد لقبول أي مياه. جودة مياه الصرف الصحي المعالجة مقبولة عند المستوى الحالي من المعالجة، ولكن ليس للري غير المقيد.

2.3. إدارة إعادة استخدام المياه بواسطة مفتشي الممرات المائية

لقد ذكر بالفعل أن مفتشي الممرات المائية هي السلطات المسؤولة عن تطبيق قانون المياه لعام 1884 وهي مسؤولة عن مراقبة الممرات المائية الصغيرة.

كما أنها تشارك في الإدارة الفنية والإدارية للمناطق المروية ACREs التي تُروى بمياه الصرف الصحي؛ يضاف إلى وظائفها المحددة بعض الجوانب التي ينظمها القرار 400/03 وتتناول المسائل التشغيلية.

وقد كان لهذا النجاح ولا يزال له تأثير كبير على استدامة هذه الـ ACREs نظراً لإطار معياري قوي، من ناحية، واستمرارية أكثر من قرن من الممارسة والاضطلاع بمهامها. ولدى مفتشي المجاري المائية ثلاث دعائم أساسية تضمن استمراريتها:

- الاكتفاء الذاتي والاستقلالية الإدارية: حيث إنها تحدد وتنفذ ميزانياتها الخاصة. تجتمع جمعية مستخدمي هيئة تفتيش المجاري المائية مرتين في السنة: مرة أولى في تشرين الثاني لتحديد ميزانية تكاليف التفتيش، والمبلغ التناسبي الذي يساهم به المستخدمون في دفع أجورهم في السنة التالية؛ ومرة أخرى في أيار للموافقة على حسابات الميزانية التي وضعتها هيئة تفتيش الممرات المائية من السنة المالية السابقة. يقوم مفتش الممرات المائية بإدارة الشؤون المالية لعملية التفتيش. كل هذا يتم تحت الرقابة القانونية للإدارة العامة للري كهيئة مياه أعلى.
- الديمقراطية المباشرة والتمثيلية: يتمتع المستخدمون بسلطة وصلاحيات اختيار سلطات قنوتهم. هذا النظام هو سمة من سمات طبيعة التحالف الذي استعرضته هيئات تفتيش المجاري المائية. وبموجب هذا النظام، كل أربع سنوات ينتخب المستخدمون عن طريق التصويت السري والإلزامي أولئك الذين سوف يقومون بدور المسؤول والممثل القانوني للتحالف من خلال مفتش الممرات المائية. ولكن، على الرغم من الانتخابات الديمقراطية لهذا الممثل، يمكن لجمعية المستخدمين أيضاً التعامل مع جوانب مهمة من التفتيش.
- الرصد من قبل السلطات العليا: كما توضح النقطة السابقة، تخضع هيئة تفتيش المجاري المائية لمراقبة من قبل الإدارة العامة للري. ويقتصر هذا الرصد، في سياق العلاقة الذاتية، على مشروعية أداء التفتيش. تنص المادة 23 من القانون 6405 على تحديد واجبات الرقابة من خلال المحكمة الإدارية للشؤون الإدارية بالري: الموافقة على الأنظمة الأساسية لمنظمات التفتيش؛ أن تطلب تقديم الكتب والوثائق حسب ما تراه ضرورياً؛ التماس التقارير وترتيب التحقيقات بحكم منصبه أو بناء على طلبها؛ التحقق من استيفاء الاحتياطات الإلزامية عند تعيين السلطات؛ وتعيين الهيئات الرقابية للجمعية العامة للمستخدمين (بحكم منصبه أو بناء على طلب المستخدمين عندما تكون هناك أسباب جدية بما فيه الكفاية لتبرير ذلك) والمراقبة (رصد القيام بالمسؤوليات والواجبات والوظائف المسندة إلى هيئة التفتيش والجمعيات، مع أخذ الحرص على عدم عرقلة نظام إدارتها من قبل السلطات المشككة بشكل شرعي).

يجب على هيئة تفتيش الممرات المائية لمناطق الزراعة المقيدة المتخصصة (ACREs)، على الرغم من الصلاحيات القانونية الأخرى، أن تضمن التوزيع السليم واستخدام المياه المعادة، والتأكد من أن يتم تنفيذها ضمن محيط المنطقة ACRE. وينبغي أيضاً التحقق من مراعاة اللوائح التوجيهية فيما يتعلق بالمحاصيل المرخص لها وجميع الأنشطة المرتبطة بها. ينبغي أن تستخدم هيئة التفتيش أيضاً الإطار التنظيمي لرصد نوعية المياه الموزعة وحجمها

عند نقطة الفائض من محطة التنقية إلى منطقة ACRE قبل إعادة استخدامها. في كل عام، يجب على لجنة هيئة التفيتش المائية التي تشرف على الإدارة الفنية والإدارية لمنطقة ACRE أن تطلب من المزارعين تقديم بيان محلّف للمحاصيل التي سوف تنمو في حقولهم وتفتيشها عشوائياً للتحقق من ذلك. وعندما لا يرخص للمحاصيل، لضمان أن تتوقف عن نموها، فإنها تصدر تحذيراً لبدء إجراءات إدارية تتألف أولاً من تحذير، ثم غرامة، ممّا قد يؤدي إلى إغلاق مصدر المياه (الري أو الآبار). وعلى الرغم من أن هذا هو نظام الجزاءات المقصود، لم تكن هناك حالات تمّ تطبيقه فيها، ولكن هذا قد يكون عائداً إلى تراخٍ وعدم تصرف لجنة مفتشي الممرات المائية.

3.3. الأعمال والتنسيق

كما هو معروف مسبقاً، من أجل إعادة استخدام المياه في الزراعة لتكون مستدامة مع مرور الوقت، يجب القيام بعمل محدد فيما يتعلق بتنقية المياه، كما هي الحال في المنطقة التي يتم فيها إعادة استخدام المياه (ACRE)، التي تضمن جودة المياه، الكفاءة، ورصد استخدامها. في Mendoza، تعالج مياه الصرف الصحي شركة حكومية لامركزية، وهي شركة (AySAM SA) Agua y Saneamiento Mendoza S.A.، وتدير الري منظمة أخرى هي الإدارة العامة للري التي تدير نظام الري من خلال هيئات تفتيش الطرق المائية المقابلة. إنّ العلاقة الحاسمة بين الكيانين لم تكن دائماً منسقة بشكل صحيح، كما لم يكن هناك معيار متفق عليه بشأن تخصيص الأموال لتنفيذ الأعمال. ونتيجةً لذلك، هناك أوجه قصور في صيانة المحطات، وعلاوةً على ذلك، فإنّ خطط التوسع المستقبلي تصبح صعبة بسبب النمو السكاني المستمر.

4. إعادة استخدام مياه المجاري المعالجة في Mendoza

يبلغ الحجم الكلي للمياه المعالجة في جميع محطات التنقية في Mendoza نحو 5 م³ / ثانية في المتوسط. ويبلغ عدد سكان المقاطعة حالياً نحو 1.800.000 نسمة (وفقاً للتعداد الوطني الرسمي لعام 2010 كان عدد السكان 1.741.610 نسمة). يوجد نحو 75 في المئة من هؤلاء السكان يملكون خدمات الصرف الصحي. ويتمّ حساب تدفق المياه المتاحة للري في ACREs من خلال النظر في أنه يُستخدم في Mendoza 400 لتر من مياه الشرب يومياً، وأن 80 في المئة منه يعود إلى الصرف الصحي، مع الأخذ بعين الاعتبار التبخر في المنطقة والفعالية المحتملة للري. ويبين الجدول (1) قيم تدفق مياه المجاري المتاحة ومساحة السطح التي يمكن ريها به.

الجدول 1: المياه المتاحة من مياه المجاري المعالجة في محافظة Mendoza والمناطق السطحية الصالحة للري

البند	الكمية	الواحدة
سكان المقاطعة	1,800,000	مواطن
مُخدّم %	0.75	75%
التصريف الفائض	0.320	متر مكعب / شخص / يوم
النفايات السائلة المُعاد استخدامها	432,000	متر مكعب / يوم
معدلات التدفق	5	متر مكعب / ثانية
ACREs المساحة السطحية، في الصيف	7,142	هكتار
(ACREs X 3) المساحة السطحية، في الشتاء	21,428	هكتار

المصدر: من إعداد الباحث.

هذا الحساب النظري يتماشى مع وجود ACREs في الإقليم، كما هو مبين في الجدول (2) (المصدر: من إعداد المؤلف).

الجدول 2: المساحة السطحية للمناطق الريفية المروية بمياه المجاري في Mendoza.

السطح	قياس الـ ACRE
6.300 هكتار	ACREs كبيرة
600 هكتار	ACREs صغيرة ومتوسطة
200 هكتار	ACREs التي سيتم إنشاؤها أو إضفاء الطابع الرسمي عليها
7.100 هكتار	الإجمالي

1.4. ما هو ACREs ؟

يوافق القرار رقم 400/03 الصادر عن المحكمة الإدارية للشؤون الإدارية بالري على تنظيم مناطق الزراعة المقيّدة المتخصصة ويحدد معايير تحديد تواتر القياسات في المرفقين الأول والثاني اللذين يشكلان جزءاً لا يتجزأ من هذا القرار.

وهو يحدد أو يعرف ما هو المقصود من مصطلح ACRE. ويرد في المرفق الأول للوثيقة المذكورة أعلاه ما يلي:

«المادة 1.2. تنصّ على أن الغرض من المنطقة المشار إليها كمنطقة Area de Cultivos Restringidos Especiales (منطقة الزراعة المقيّدة المتخصصة) (ACRE) هو لتنفيذ رقابة إعادة استخدام النفايات السائلة من منشأة تنقية، والتي يمكن استخدامها في إطار التنمية المستدامة والتي يحظر تماماً أن يتمّ توجيهها خارج حدودها أو إطلاقها بأي شكل من الأشكال للاستخدام غير المقيّد. إعادة استخدام المياه العادمة من النفايات السائلة المنقّاة في المناطق المذكورة أعلاه تخضع للمبادئ العامة المتعلقة باستخدام المياه العامة مثل التكلفة، الاستخدام الفعال، التحسين التدريجي للجودة وكذلك تلك المنصوص عليها في هذه اللائحة».

وينشأ عدد من العوامل التي ينبغي أخذها في الاعتبار من تحليل هذا التعريف:

– تتمّ إعادة استخدام النفايات السائلة من محطة تنقية في منطقة محددة. وعموماً يتمّ اختيار المناطق التي ليس لديها تراخيص الري، وذلك لتمديد حدود المساحة المزروعة. وهناك الكثير من النشاط الصناعي في Mendoza، وهي نسبة عالية جداً منها صناعة الأغذية الزراعية، (مصانع النبيذ، المصانع التي تنتج الفواكه والمحاصيل النباتية المعلبة، مصانع الحلويات، إلخ).

يرتبط الحدّ الأقصى المفروض على المصانع المتعلقة بمياه الصرف الصحي الفائض أساساً بالناقلية الكهربائية، التي يجب ألا تتجاوز 3000 µS (ميكروسيمنس). ولا توجد تقريباً أي مخلفات سائلة تحتوي على معادن ثقيلة تدخل في نظام الصرف الصحي.

– ينبغي النظر في كل من حماية التربة، الممارسات الزراعية الجيدة، رصد المحاصيل المصرح بها، وربحية الإنتاج، ضمن إطار التنمية المستدامة.

– لقد تمّ رصد جودة التربة في عدة مناسبات أساساً لبعض الدراسات، ولكن لم تنفذها الإدارة العامة للري بشكل منهجي. في ACREs هناك شبكة من المقاييس البيزومترية وضعت بشكل إستراتيجي تسمح بمستوى مياه المنطقة المشبعة من المياه الجوفية كي يتم تقييمها وينبغي أن يتمّ هذا الرصد بشكل منهجي.

– يحظر استخدام المياه المعاد استخدامها خارج ACRE، ممّا يؤيد ما يعرف بـ «التصريف الفائض المعدوم»ⁱⁱⁱ (vuelco cero). ويتناول القسم التالي هذا الجانب بمزيد من التفصيل. وقد ظهرت إعادة استخدام مياه

الصرف الصحي بشكل طبيعي في Mendoza بسبب اهتمام المستخدمين باستبدال المياه الجوفية، التي هي أكثر تكلفةً، مع مياه المجاري. وعلاوةً على ذلك، ونظراً لأن هذه المناطق ACREs تقع عموماً في المناطق التي لا تتمتع بحقوق الري، فإن مياه المجاري المعالجة في بعض الحالات هي المورد الوحيد المتاح لزراعة المحاصيل. وبالتالي، فإن الدولة لا تحتاج إلى تعزيز إعادة استخدام المياه العادمة.

— تتضمن مبادئ استخدام المياه العامة: التكلفة، والاستخدام الفعال، وتحسين الجودة.

وتجدر الإشارة إلى أن الطلب في الصيف يتجاوز العرض. ولا يمكن إصدار التراخيص الجديدة إلا في فصل الشتاء، عندما يكون هناك فائض من النفايات السائلة لأن المحاصيل تحتاج إلى كميات أقل بكثير من المياه.

2.4. شتاء الـ ACREs

إنّ مناخ Mendoza هو قاري وجاف، ودرجات الحرارة السنوية تختلف اختلافاً كبيراً وهطول الأمطار منخفض. الصيف حار ورطب، وهو الموسم لمعظم هطولات الأمطار مع متوسط درجات حرارة أعلى من 25 درجة مئوية والحدّ الأقصى لدرجات الحرارة المسجلة والتي تصل إلى 37 درجة مئوية. الشتاء بارد وجاف، مع انخفاض درجات الحرارة إلى أقل من 8 درجات مئوية، ودرجات الحرارة الدنيا التي تقل عن 0 درجة مئوية، الصقيع الليلي في بعض الأحيان، مع انخفاض هطول الأمطار. الثلج والجليد نادرين، وعادة ما تحدث مرة واحدة فقط في السنة، على الرغم من أن كليهما خفيف في أعلى مناطق المدينة. يتذبذب التبخر في المحاصيل في منتصف الصيف بين 4.5 و 7 ملم / يوم، وهذا يتوقف على عوامل متعددة مثل الارتفاع وخط العرض.

في فصل الشتاء، ينخفض التبخر بشكل ملحوظ بمقدار ثلاثة أو أربعة أضعاف قيم الصيف. القرار رقم 500/06 من HTA يحدد ما يسمى «Winter ACREs» التي تميل أساساً إلى تحقيق صفر التدايعات. وتسمح هذه اللائحة بإصدار تصاريح جديدة لمياه الصرف الصحي التي ستستخدم خلال فترة ستة أشهر (من نيسان إلى تشرين الأول من كلّ عام) وتخفف النفقات أو الرسوم المفروضة على استخدامها إلى 50 في المئة من المبلغ المدفوع لسنة كاملة. وقد صدر هذا النوع من التصاريح لأكثر من 1100 هكتار في Paramillo ACRE ونحو 200 هكتار في Campo Espejo ACRE.

5. نقاط القوة والضعف الحالية

حقيقة أنّ الإدارة العامة للري قد تولت عدة سنوات المسؤولية الحصرية عن إدارة المناطق التي تتمّ فيها إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، فإنها تمثل معلماً مهماً. وفي السابق، كانت الطبيعة المتناثرة والمتداخلة للأنظمة، أو التقاعس (التي غالباً ما تُعزى إلى نقص الموارد) لدى مختلف المنظمات المعنية، قد هددت إدارتها الفعالة وتنميتها. اليوم، لا أحد ينازع أن إدارة ACREs، وقبل كل شيء اثنان كبيرة منها (Campo Espejo and Paramillo) مع العديد من المستخدمين وتغطي مساحات سطحية كبيرة هي شأن الإدارة العامة للري. ومع ذلك، فمن المقبول عموماً أنها يمكن أن تحسّن أدائها لهذه المهمة. وهناك نجاح آخر كان دون شك في الطريقة التي تدار بها ACREs من قبل هيئات تفتيش ممرات المياه. وقد جلبت هذه الميزة الاستمرارية والشفافية والمشاركة في عملية الإدارة.

ومع ذلك، يجب على إدارات التفتيش تحسين إدارتها، والامتثال التام للالتزامات المنصوص عليها في القانون 6405. في حالة مشاريع عمل صغيرة ACREs يمكن القيام بها من قبل الإدارة بتمويل من هيئة التفتيش؛ هناك احتمال

آخر يتمثل في تنفيذ مشاريع متوسطة الحجم من قبل اللجان الفرعية للمياه ثم تسديدها لاحقاً من قبل مزارعي الري. وفي حالة المشاريع الكبيرة، تقوم المقاطعة بتقديم العطاءات وتمويل الأعمال بالأموال الوطنية أو الدولية التي يسدها أيضاً المستخدمون الذين يتمتعون بفترة سماح تدوم سنوات ومواعيد نهائية أطول. وتندرج نوعية مياه الصرف الصحي التي تُنقل إلى ACREs من خلال الري عموماً ضمن المعايير المطلوبة للمعالجة الثانوية.

مع ذلك، ونظراً لعدم وجود استثمارات في بعض مرافق الشركة التي تتعامل مع مياه الشرب والصرف الصحي في Mendoza، AySAM SA، وفي المحطات التي تديرها البلديات، لا تصل مياه الصرف الصحي إلى المستوى المطلوب من الجودة (case of Algarrobal, Tupungato). وتغطي تكلفة معالجة مياه الصرف الصحي من قبل مستخدمي مياه الشرب، وبعبارة أخرى القرى والمدن. تقوم الإدارة العامة للري ببيع المياه الخام إلى AySAM (Agua y Saneamiento Mendoza) أو غيرها من مشغلي خدمات المياه والصرف الصحي. وتقوم هذه الشركات بتوصيل المياه المعالجة مجاناً إلى الإدارة العامة للري، التي تقوم بتأسيس ACREs وتكلف المستخدمين رسوم الري.

تحل الإدارة العامة للري في الواقع مشكلة للمشغلين حيث إن لديها موارد إدارية وتقنية أفضل للتعامل مع التخلص النهائي من المياه.

6. الاستنتاجات

في Mendoza، هناك عدد من الظروف التعاونية الواضحة التي تمكن المياه العادمة المعالجة من إعادة استخدامها بنجاح في الزراعة: وهي الظروف المناخية، التي سبق ذكرها تجعل المياه مصدراً نادراً يرتفع الطلب عليه من قبل المزارعين؛ وجود هيئة مثل الإدارة العامة للري بخبرة تمتد لأكثر من مئة عام في إدارة المياه (ينبغي توضيح أنه في عام 2012 صدر القرار رقم 293/12^{iv} من قبل المحكمة الإدارية السامية)؛ منظمات المستخدمين (هيئات تفتيش الممرات المائية) مع مرور الوقت، مع القدرة التقنية والعملية لإدارة مناطق إعادة الاستخدام؛ وممارسة المزارعين الذين استخدموا على مدى عقود مياه الصرف الصحي المعالجة وهم على علم بالمخاطر المرتبطة بها والرعاية التي يجب اتخاذها عند إدارتها.

كانت الخبرة المتعلقة بإدارتها نتيجة لسنوات عديدة من المزارعين يروون أراضيهم بمياه المجاري المعالجة. ويضاف إلى ذلك التوصيات الرسمية ذات الصلة الصادرة عن الإدارة العامة للري والمنظمات الأخرى المرتبطة بها. وعلى أية حال، تم إنشاء تجمعات حيث يمكن تثقيف المستخدمين بشكل كامل حول الأمراض المنقولة بالمياه والرعاية التي يجب اتخاذها لمعالجة المياه حيث يتم تحقيق نتائج مقبولة تقع ضمن القيم التي تتطلبها القواعد والأنظمة القائمة التي، على الرغم من أوجه القصور فيها، توفر إطاراً تشغيلياً إدارياً وقانونياً محدداً. في Mendoza، لا يتم تحميل المياه من حيث الحجم ولكن من حيث مساحة السطح، والمعدل الذي يتم توفيره إلى خصائص يختلف وفقاً لكمية المياه المتاحة، والتي هي أساساً تساقط الثلوج في جبال Andes كل عام. وفي جميع الحالات، سواء كان الماء نظيفاً أو معالجاً، فإن المبلغ الذي تتقاضاه إدارات التفتيش يتطابق مع الخدمة التي توفرها لضمان وصول المياه للمزارعين، وتكلفة أجور المفتشين، و tomeros (التي توزع المياه في كل قناة أو بوابة ري)، وآلات التشغيل، والحفاظ على الممرات المائية، وما إلى ذلك.

على الرغم من أنه يجب الاعتراف بأنه قد تم اتخاذ خطوات مهمة نحو التنظيم الفني والإداري للمناطق ذات

الصلة بتدوير المياه ACREs، مثل تسجيل المستخدمين، إدارة رسوم استخدام المياه، مراقبة المحاصيل المرخص لها، وتنظيم الجداول الزمنية لتناوب مياه الري، يمكننا أن نستمر في العمل نحو إكمال نظام الإنتاج الفريد الناجم عن إعادة استخدام المياه العادمة التي لها هذه القيمة اليوم، أنها تتنافس مع مصادر المياه التقليدية الأخرى.

وفي هذا السياق، يمكن لبعض الإجراءات، إذا نُفذت، أن تحسن النظم المتكاملة للمعالجة:

- التخطيط والتنسيق. اليوم، لا يوجد عملياً أي تخطيط أو تنسيق؛ في Mendoza، الشركة التي تتعامل مع مياه الشرب والصرف الصحي هي قيد التشغيل (AySAM SA). تشمل مشغلي خدمات الصرف الصحي الأخرى المجالس والتعاونيات وجمعيات الأحياء. وتدخل الهيئة التنظيمية (E.P.A.S.). وتدير الإدارة العامة للري كافة المياه.
 - إعادة تشكيل ACREs لجنة المتابعة^{vi}.
 - مراجعة اللوائح الحالية التي تحتوي على بعض التناقضات والتداخل والإغفال.
 - البحث في جودة الإنتاج والصحة، بمشاركة الجامعات المحلية.
 - تدريب المزارعين.
 - أعمال البناء في منشآت تنقية وACREs.
 - المشاركة الفعالة للمنظمات الأخرى المرتبطة بإعادة الاستخدام.
- إذا تحققت الأهداف المقترحة، فإن إعادة الاستخدام الزراعي في Mendoza ستكون ذات أهمية استراتيجية كبيرة لزيادة كفاءة الموارد المائية واستخدامها، وتخفيف آثار تغير المناخ. وستقدم أيضاً تحسينات في ضمان المياه بالنظر إلى أن مياه المجاري المعالجة يتم إنتاجها على مدار السنة وأن التدفق مستمر عملياً. بالإضافة إلى الكمية، مع ACREs التي تتم إدارتها بشكل صحيح ومراقبتها، يضمن الاستخدام الآمن من وجهة نظر صحية. وأخيراً، ستشجع دراسة الحالة في Mendoza التنمية الاجتماعية والاقتصادية بالنظر إلى أن إعادة استخدام مياه المجاري المعالجة تعزز الواحة المزروعة وتولد فرص عمل جديدة.

المراجع

References

General Department of Irrigation (*Departamento General de Irrigacion*). 2003. *Resolution No 400/03 del Honorable Tribunal Administrativo, Reglamento de Areas de Cultivos Restringidos Especiales* (in Spanish).

General Department of Irrigation (*Departamento General de Irrigacion*). 2006. *Resolution No 500/06 del Honorable Tribunal Administrativo, facultada la creacion de ACREs de Invierno* (in Spanish).

Magnani, Cesar. 1991. “*Administracion de las Aguas en la Provincia de Mendoza. Descentralizacion y participacion de los usuarios como rasgos determinantes de la gestion hidrica de regadio*” (in Spanish). Thesis, University of Mendoza.

Obras Sanitarias Mendoza S.A. 1997. “Depuracion y reuso de efluentes cloacales, Folleto de Divulgacion” (in Spanish). Mendoza.

Pinto ME, Rogero GE, and Andino MM. 2006. “Ley de Aguas de 1884” (in Spanish), commented and agreed, 1st ed. Mendoza: Irrigacion Edita.

1993. “Ley de Reordenamiento Institucional. Sector Agua Potable y Cloacas” (in Spanish). Law 6044/93.

Centro de Ingenieros de Mendoza. 2004. “Areas de Cultivos Restringidos Especiales-Ing. Leon Kotlik” (in Spanish).

2001. “Boletin Oficial de la Provincia de Mendoza” (in Spanish). November 2.

I هيئات تفتيش الطرق المائية: هي هيئات وكيانات عامة غير ربحية والتي تتمتع بالاكتمال الذاتي والقدرة الكاملة على العمل في مجالات القانون العام والخاص. يختارون مسؤوليهم وموظفيهم ويضعون ميزانياتهم الخاصة، وفقاً لأحكام المادة 187 من دستور المقاطعة. وهي منظمات كاملة العضوية أنشئت لجميع المستخدمين الذين لهم الحق في استخدام المياه العامة، التي يتم توفيرها عن طريق مجرى مائي واحد أو نظام معين من الممرات المائية. وتخضع سلطاتهم ووظائفهم للقانون 6405 والقوانين الأخرى ذات الصلة. تقع مسؤولية إدارة، استخدام، صيانة، مراقبة، صيانة وحماية القنوات، وقنوات الري الصغيرة والصرف الصحي في المقاطعة، وكذلك المياه التي تحملها، على عاتق هيئة تفتيش الممرات المائية، رهناً بأحكام القسم السادس من الحالة الفردية - الإدارة العامة للري - من دستور المقاطعة.

II UTE: UTEs هي شكل من أشكال التعاون في مجال الأعمال التجارية لتنفيذ المشاريع أو الأعمال أو الخدمات التي هي كبيرة جداً في نطاق شركة واحدة فقط.

III Zero overspill (vuelco cero): التصريف الفائض الصفري، أنشئ في اتفاق وقّع بين الإدارة العامة للري و Obras Sanitarias Mendoza S.A. في عام 2000، أطلق عليه اسم “Convenio Marco para la Implementacion de la Politica de Vuelco Cero y la Conformacion de Areas de Cultivos Restringidos Especiales (A.C.R.E.)” (الاتفاق الإطاري لتنفيذ سياسة الصفر الزائد، وتشكيل المناطق المزروعة المتخصصة المقيدة (ACRES))، بهدف إعادة تنظيم إعادة استخدام النفايات السائلة من خلال تنفيذ هذه السياسة، وتوسيع مساحة السطوح ونطاق الزراعة في المحافظة. وتنطوي سياسة الصفر الزائد على حظر النفايات السائلة أو الفائض من النفايات السائلة بعد توجيه الري خارج حدود ACRE. هذا الشرط لا ينطبق تماماً مع إنتاج النفايات السائلة المتبقية بسبب انخفاض في المياه اللازمة لزراعة المحاصيل في فصل الشتاء.

IV: يحدد القرار رقم 293/12 إدارة إعادة استخدام المياه على الرسم البياني التنظيمي، مع التركيز على وظائف محددة، بما في ذلك تحديد المساحات الممكنة والمناسبة لإعادة استخدامها، رصد البارامترات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للنفايات السائلة، رصد المحاصيل، ومشاريع العمل في المناطق الريفية ACRES، إلخ..

V: المنظمة الإقليمية للمياه والصرف الصحي (Ente Provincial del Agua y Saneamiento).

Vi: هذه اللجنة، التي تتألف من ممثلين عن المنظمات المعنية بإعادة الاستخدام، ترصد الـ ACREs وتقتراح إجراءات لتحسين الأداء؛ حتى الآن، لم يتم تنفيذه بشكل صحيح.

الملخص

لقد أصبحت الموارد المائية المحدودة، وزيادة الاحتياجات من المياه، والمنافسة على استهلاك الموارد المائية في مختلف القطاعات، تحديات رئيسة. وقد تمّ القيام بالكثير للعثور على مصادر جديدة للمياه. وأدى النمو السكاني والتضرر إلى إنتاج المزيد من المياه العادمة التي يمكن اعتبارها مصدراً جديداً للمياه. هذا المصدر من المياه مهم للإنتاج الزراعي، والذي هو أكبر قطاع يستهلك المياه. في الماضي، كانت مياه الصرف الصحي تستخدم أساساً لزيادة خصوبة الأرض. وفي الوقت الحاضر، فإن الحافز الرئيس لإعادة استخدام المياه العادمة هو نقص المياه. وتشمل إعادة استخدام المياه العادمة في الزراعة عدة اعتبارات من حيث كمية المياه العادمة ونوعيتها. ينبغي دراسة تأثير إعادة استخدام المياه العادمة على الصحة، البيئة، التربة، والمحاصيل وغيرها من موارد المياه السطحية والجوفية بعناية. ويتوجب أن تؤخذ في الاعتبار أنشطة الرصد المحددة، كما ينبغي تنفيذ معايير عالية لإعادة استخدام المياه العادمة. إن التقييمات الاقتصادية والاجتماعية والزراعية جوانب مهمة تعتبر أساسية في التحقيقات.

إن إيران بلد شحيحة بالمياه، والتوسع الحضري آخذ في الازدياد وتزايد عدد سكانه؛ لذلك، فإن البلد يعتزم زيادة استخدام المياه العادمة في الزراعة. يُعتبر مشروع الري في فارمين Varmin مثلاً ناجحاً على مثل هذه الخطة. لقد تمّ إنشاء النظام الأولي لإعادة استخدام المياه العادمة في عام 1988. ونظراً للظروف المتدهورة لنقص المياه، يجري حالياً تنفيذ خطة تطوير لزيادة قدرة إعادة استخدام مياه الصرف الصحي بالتعاون مع القطاع الخاص. يتم حالياً استخدام 120 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي في شبكة الري في فارامين Varamin، والتي ستتمّ زيادتها إلى 280 مليون متر مكعب بعد الانتهاء من خطة التنمية.

الكلمات الرئيسية: مياه الصرف الصحي، الري، المخاطر الصحية، كفاءة استخدام المياه، القطاع الخاص.

¹ Mohammad Javad Monem 

Associate Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

e-mail: monem_mj@modares.ac.ir

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. الخلفية العلمية (Background)

لقد أدى النمو السكاني، وتحسين مستويات المعيشة والرفاهية، وتغير المناخ إلى انخفاض كميات المياه لكل شخص في العالم. تقع إيران في منطقة قاحلة وتهدد أزمة نقص المياه المنطقة على نحو أكثر جدية، وقد تجاوزت حدّ الإجهاد المائي. ومن بين القطاعات الأخرى، يعتبر القطاع الزراعي أكبر مستهلك للمياه. يستخدم نحو 70 في المئة من المياه العذبة العالمية التي يمكن الوصول إليها في الأنشطة الزراعية، بينما يبلغ هذا الرقم 92 في المئة في إيران. ويمكن إعداد المزيد من المياه العذبة عن طريق تحسين كفاءة استخدام المياه، وزيادة قدرات التخزين، وتطبيق أساليب جمع المياه الحديثة وحصادها، ومعالجة المياه والصرف الصحي. على الرغم من أنّ كمية المياه والصرف الصحي المعالجة مقارنة بمجموع الاحتياجات المائية في الزراعة منخفضة، إلا أنها يمكن أن تظلّ بديلاً عن المياه عالية الجودة، وتؤدي إلى تخصيص مياه عالية الجودة لأغراض أكثر أهمية مثل مياه الشرب.

يتزايد التحضر في جميع أنحاء العالم ويجري إنتاج المزيد من مياه الصرف الصحي كلّ يوم. ونظراً لضعف الوعي بفوائد معالجة مياه الصرف الصحي، فإنّ مياه الصرف الصحي لا تعتبر مصدراً مهماً للمياه في تخطيط موارد المياه. وقد جذبت الموارد المائية المحدودة، زيادة حجم إنتاج المياه المستعملة، وتحسين الوعي العام بشأن هذه القضايا، واهتمام أصحاب المصلحة في المياه من أجل استخدام المياه العادمة بحكمة. في البلدان المتقدمة، يجري إعادة استخدام مياه المجاري وفقاً للوائح والقوانين البيئية. ويتمثل محور هذا التشريع في حماية صحة الإنسان، الحفاظ على البيئة، ومنع تلوث التربة والمياه. وفي حين تستخدم في البلدان النامية، بالإضافة إلى مياه الصرف الصحي المعالجة، مياه الصرف الصحي الخام للإنتاج الزراعي. وتفتقر البلدان النامية إلى الاستراتيجية والخطط المناسبة، فضلاً عن تعليمات محددة بشأن استخدام مياه الصرف الصحي، ممّا يزيد من المخاطر الصحية والبيئية، فضلاً عن تلوث المياه والتربة.

2. آثار استخدام مياه الصرف الصحي للري

لقد أظهرت العديد من الدراسات أن الاستخدام السليم للمياه العادمة الحضرية بالإضافة إلى توسيع الغطاء النباتي، من جهة، يمنع التلوث البيئي، ومن ناحية أخرى، يقلل من تكاليف استخدام الأسمدة بسبب ارتفاع مستويات المغذيات. ويشير الباحثون إلى أن المستويات المناسبة لإعادة استخدام المياه العادمة تحسن الحالة المادية للتربة مع توفير كمية كبيرة من الأسمدة اللازمة، ولكن كثيراً من المياه العادمة ضارة بالمحاصيل وتقلل من أداء المحاصيل وجودتها.

فلاستخدام السليم لمياه المجاري البلدية يقلل من تلوث المياه السطحية ويحافظ على موارد المياه. وتتوافر المخلفات السائلة بالقرب من المراكز الحضرية وتوفر إمكانية زيادة الإنتاج الزراعي في جميع أنحاء المدن، وهي سوق واعدة للمزارعين.

ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار بعناية آثار إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة على الصحة والتربة والمحاصيل. ويعتبر تراكم المواد السامة العالية في التربة وفي النباتات والحيوانات ودخولها إلى السلسلة الغذائية البشرية من القضايا المهمة بالنسبة لصحة الإنسان ويتعين النظر فيها. عند إعادة استخدام مياه الصرف الصحي، بالإضافة إلى المواد الكيميائية، يجب أيضاً النظر في انتقال العوامل المعدية مثل البكتيريا والطفيليات (البروتوزونات والديدان) (protozoa and worms) والفيروسات.

إنَّ تأثير مياه الصرف الصحي على نوعية التربة في المناطق القاحلة، مع ارتفاع درجة الحرارة، وانخفاض الرطوبة، والتبخّر العالي، له أهمية خاصة. الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة، مثل القدرة، المسامية، البنية، والناقلية الهيدروليكية، هي حساسة لتبادل الأيونات. من دواعي القلق والشواغل الرئيسية في استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لري المحاصيل وجود مركبات خطيرة ذات تراكيز عالية، مثل العديد من المواد النادرة والمستدامة، تكوينات عضوية ومعقدة، والملوثات الدقيقة في مياه الري.

يمكن أن تؤدي إعادة استخدام مياه الصرف إلى الآثار الإيجابية والسلبية التالية: تقليل الضغط على الموارد المائية، خفض تكلفة المياه الزراعية، تخفيض تكاليف الأسمدة، زيادة الإنتاج الزراعي، الحد من التلوث البيئي، والحصول على مصادر أرخص لمياه الشرب والصرف الصحي.

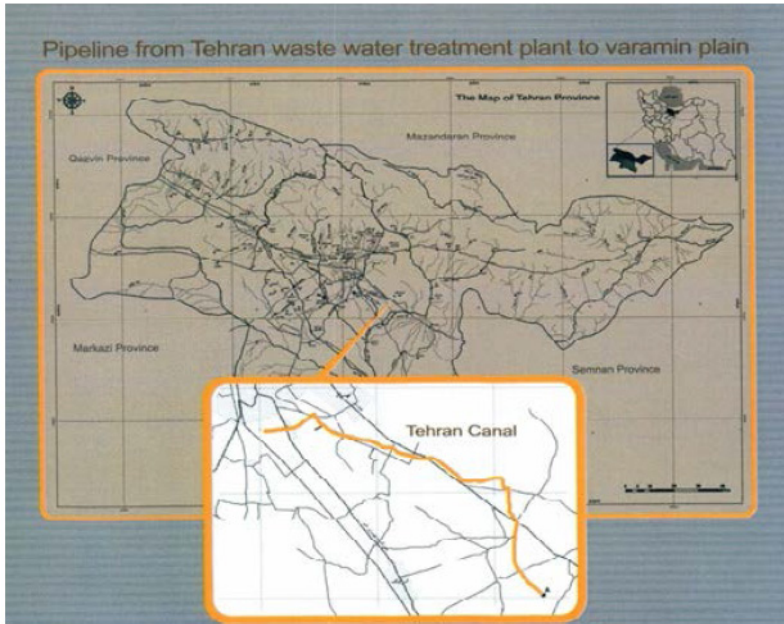
وتشمل الآثار الجانبية البيئية لإعادة استخدام المياه العادمة: عدم التوازن في إمدادات المياه العادمة والطلب الزراعي الذي سيكون ضاراً بالبيئة من خلال صرف مياه الصرف الصحي غير المعالجة في الطبيعة، وزيادة مخاطر بعض المواد الضارة والسامة، والآثار السلبية الاجتماعية والنفسية لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي للزراعة وإنتاج المحاصيل.

3. المراقبة والرصد

إنَّ رصد مجموعة واسعة من بارامترات نوعية المياه أمر ضروري للاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في الزراعة. والرصد السنوي للبارامترات الكيميائية والبيولوجية، سواء قبل الري أو بعده، أمر ضروري وأساسي. وقد ترتبط التغييرات بمصادر مياه الصرف الصحي، وعمليات المعالجة، والتغيرات السكانية، والتغيرات في القدرات الصناعية؛ وينبغي تعديل أساليب الرصد وفقاً لذلك. ينبغي أن يشمل الرصد جميع العمليات والمنشآت بما في ذلك: معالجة منشآت المحطات، نُظُم النقل، نُظُم التوزيع، المياه السطحية والجوفية، التربة، المحطات، والحالة الصحية للعمال والمزارعين والسكان وفقاً لمعايير مقبولة في مجملها.

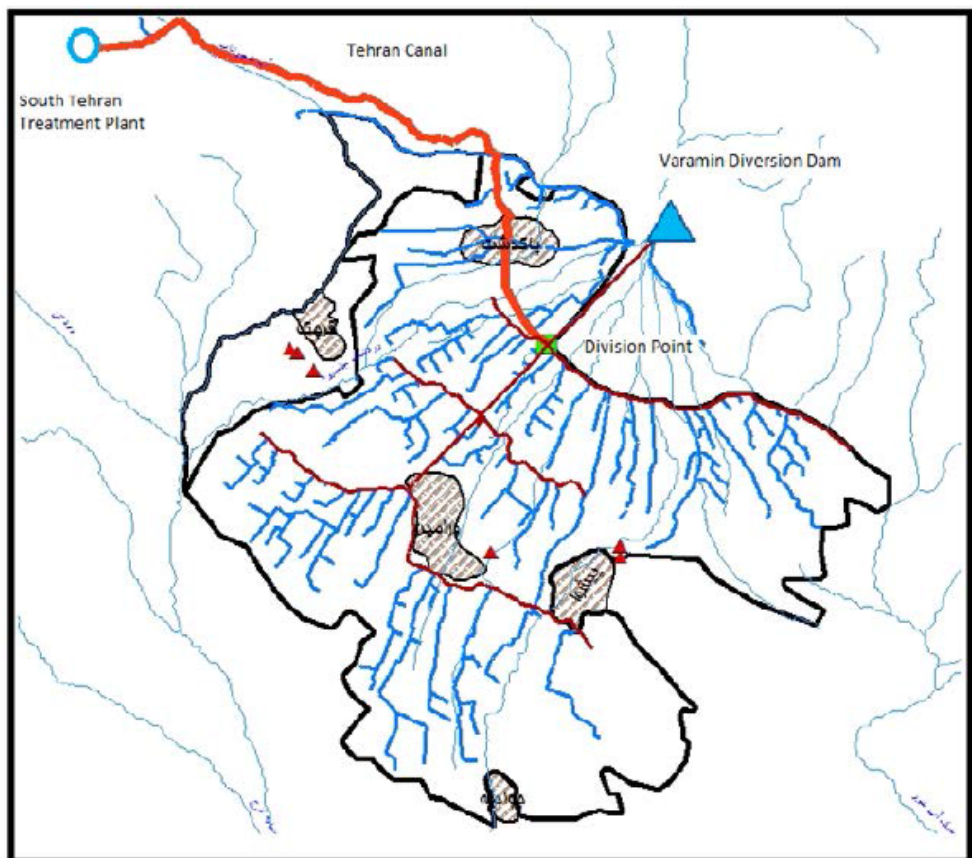
4. مقدمة لمشروع الري فارامين Varamin

أجرت منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) (FAO) دراسات جدوى لمشروع فارامين Varamin لري 50.000 هكتار من الأراضي في عام 1971. وأُجريت دراسات تكميلية من قبل Mahab Ghods شركة مهندسون استشاريون من 1971 إلى 1973. بدأ العمل التنفيذي في عام 1975 وانتهى في عام 1988 وبدأت الشبكات في العمل بعد ذلك. يبيّن الشكل (1) موقع المشروع (شركة طهران Tehran للصرف الصحي 2012).



الشكل 1: موقع سهل فارامين Varamin وقناة طهران (شركة مياه طهران الإقليمية 2012).

تتكون شبكة فارامين Varamin من 82 كم من القنوات الرئيسة والثانوية و 384 كم من قنوات التوزيع (الشكل 2). يبلغ مجموع احتياجات المياه السنوية لشبكة فارامين Varamin للري نحو 600 مليون متر مكعب، كان من المفترض أن يزودها سد Lar Dam في منتزه Jajroo والمياه الجوفية. ونظراً لتوسع العاصمة وزيادة الاحتياجات من المياه المحلية المنزلية، خصص جزء من خزان Lar إلى طهران Tehran، كان من المفترض أن تحل محله (يستعاض به) مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة جنوب طهران. وتقع المناطق الزراعية جنوب طهران بالقرب من أكبر سوق استهلاكية لإنتاج المحاصيل. وهذا يساعد المزارعين على إنتاج محاصيل أكثر ربحية (الخضراوات). إن سهل فارامين Varamin هو واحد من المراكز الرئيسة لإنتاج الخضار. ويُروى مستوى كبير من الأراضي لزراعة الخضراوات بوساطة مياه المجاري مباشرة. يتم سقي الخضروات أساساً عن طريق الفيضانات (الغمر)، حيث إن المياه على اتصال مباشر بالنباتات، وفي بعض الحالات يتم غمر النبات بأكمله.



الشكل 2: محطة معالجة جنوب طهران، قناة طهران، وشبكة فارامين Varamin للري (شركة ايكوم Yekom للاستشارات الهندسية 2007)

بسبب وجود العناصر الكيميائية ومختلف العوامل الميكروبية في مياه الصرف الصحي، إن دخول العناصر الضارة في أنسجة النباتات والميكروبات التي تنتقل عن طريق المنتج (المحصول) هو مرجح جداً. وبما أنه في كثير من الحالات يتم غسل الخضار فقط بالماء، ولا يتم تطهيرها، وتؤكل نيئة، فالمخاطر المحتملة على الصحة العامة مرتفعة. ومن أهم عناصر التصميم في شبكة فارامين للري هي قناة طهران بطول 36 كم وبقدرة تصميمية 8 متر مكعب في الثانية انظر الشكل (3) (شركة ايكوم Yekom للاستشارات الهندسية 2007). كان الهدف من هذه القناة توفير 200 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة طهران الجنوبية سنوياً، و 50 مليون متر مكعب للتغذية الصناعية للمياه الجوفية، و 150 مليون متر مكعب للاستهلاك الزراعي. ولذلك كان من المفترض توفير نحو 25 إلى 30 في المئة من الاحتياجات المائية للمشروع من خلال إعادة تدوير المياه العادمة.



الشكل 3: قناة طهران بعد محطة معالجة طهران الجنوبية (شركة إيكوم Yekom للاستشارات الهندسية 2007).

ونظراً لعدم وجود نظام لجمع مياه الصرف الصحي في طهران Tehran وتأخر في استكمال محطة معالجة الجنوب، لم يتحقق هدف التصميم. وازداد استهلاك المياه الجوفية بشكل ملحوظ، وانخفض منسوب المياه الجوفية أكثر من الحد المسموح به في سهل فارامين Varamin ووصل إلى الحد الحرج. ووفقاً لأحدث الدراسات، فإن متوسط منسوب المياه الجوفية السنوي على سهل فارامين Varamin، الذي تبلغ مساحته 1.112 هكتار، قد وصل إلى 1.47 متر، ويبلغ استنزاف المياه الجوفية السنوية 49 مليون متر مكعب. تمّ بناء قناة Afsarieh بطول 10 كم بسعة 4 متر مكعب بالثانية لنقل مياه المجاري الشرقية لطهران إلى سهل فارامين Varamin. يمرّ ما يقرب من 4 كم من قناة طهران Tehran عبر المناطق السكنية. أما بالنسبة للاعتبارات البيئية والاجتماعية والصحية والسلامة، فقد تمّ بناء هذا الجزء من القناة كصندوق خرساني. يبيّن الشكل (4) نقطة تفريع شبكة الري فارامين Varamin.



الشكل 4: نقطة تفريع شبكة فارامين Varamin (شركة طهران Tehran للصرف الصحي 2012)

بعد 25 عاماً من بناء قناة طهران، وُسّعت المنطقة الريفية حول القناة، التي فرضت العديد من القيود والتعديلات على القناة (الشكل 5). على الرغم من أن الاستطاعة الأولية لقناة طهران كانت 8 متر مكعب بالثانية، بسبب التعديلات وعدم وجود الصيانة المناسبة، والقدرة الحالية أقل بكثير من ذلك.



الشكل 5: اجتياز قناة طهران لمنطقة سكنية (شركة طهران Tehran للصرف الصحي 2012)

5. خطة التنمية

كانت القدرة العاملة لقناة طهران خلال السنوات الأخيرة 4 متر مكعب بالثانية، ونقلت نحو 120 مليون متر مكعب من النفايات السائلة من محطة المعالجة إلى سهل فارامين Varamin. ومع الانتهاء من 6 وحدات من محطة المعالجة الجنوبية منذ عام 2010، والانتهاء من 8 وحدات في المستقبل القريب، فإن النفايات السنوية من محطة المعالجة تصل إلى 280 مليون متر مكعب في الحد الأقصى من 13 متراً مكعباً بالثانية. ومن أجل زيادة القدرة على استخدام النفايات السائلة من محطة المعالجة، يجري وضع خطة إيمائية شاملة، كما أُجريت دراسات مستفيضة عن الجوانب الزراعية والاجتماعية والبيئية والتقنية والاقتصادية.

يتمثل المكون الرئيس لخطة التنمية في إنشاء خط أنابيب لنقل المياه العادمة المعالجة من محطة معالجة المياه في طهران الجنوبية إلى سهل فارامين Varamin. ويرتبط خط الأنابيب هذا، الذي يقع بجوار قناة طهران، بالنفايات السائلة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي الجنوبية في نقطة Shahre Rey، ويستمر وصولاً إلى فارامين Varamin. ويبلغ الطول الإجمالي لخط الأنبوب 36 كم.

من خلال تنفيذ هذا المشروع، سيتمّ نقل 9 متر مكعب بالثانية إضافية من مياه الصرف الصحي إلى سهول فارامين Shahre Rey و Pakdasht، Varamin. يبلغ المعدل الأقصى للنفايات السائلة في المحطة 13 متراً مكعباً بالثانية، 4 منها يجري نقلها حالياً إلى سهل فارامين Varamin بواسطة قناة طهران الحالية. هذا النظام ينقل سنوياً كمية مقدارها 280 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي من محطة المعالجة الجنوبية إلى تلك السهول التي تستخدم في الري الزراعي (230 مليون متر مكعب) وإعادة تغذية المياه الجوفية (50 مليون متر مكعب). ويشتمل النظام على مدخل عند نقطة الخروج لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي وخط أنابيب GRP زجاج من البلاستيك المقوى (يبلغ قطره 3 أمتار بطول 36 كم)، وسيتمّ وضعه بالقرب من قناة طهران الحالية. عمق الخندق سيكون بين 5 إلى 7 أمتار. وسيتمّ تنظيم تذبذبات مياه الصرف الصحي على مدار الساعة من خلال ثلاث برك مياه في نهاية الخط، بسعة إجمالية تبلغ 120 ألف متر مكعب.

6. آليات تمويل المشروع

تبلغ التكلفة التقديرية للمشروع 1600 بليون ريال إيراني. وسيجري تمويل المشروع من القطاع الخاص. كانت اتفاقية البناء-التشغيل-ونقل الملكية (BOT) وشراء مضمون للنفايات السائلة من القطاع الخاص على مدى 15 عاماً على جدول أعمال شركة مياه طهران الإقليمية. كما تمّ الإعلان عن دعوة عامة للمناقصات في الصحف، وتمّ استلام وثائق مناقصات لـ 21 شركة مؤهلة من شركات القطاع الخاص. وقد تقرر اجتذاب مبادرات القطاع الخاص من خلال توفير ملكية تصل إلى 30 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي سنوياً للمستثمر. كما اقترحت الحكومة قبل شراء النفايات السائلة فترة انتقالية مدتها سنة واحدة من المستثمر. وبالإضافة إلى ذلك، يطلب القطاع الخاص ضمانات لتسديد استثمارات المصرف المركزي الإيراني، وضمان سعر المياه.

7. الخلاصة والاستنتاجات

لقد جعلت زيادة الطلب على المياه والمنافسة العالية على استخدام المياه في مختلف القطاعات من الضروري البحث عن موارد مائية جديدة. وقد أدى النمو السكاني وزيادة التحضر إلى زيادة إنتاج مياه الصرف الصحي. وتعتبر المياه العادمة مصدراً مائياً جديداً خاصة للاستخدام الزراعي. وينبغي أن تؤخذ عدة اعتبارات مهمة فيما يتعلق بالمسائل البيئية والصحية والاجتماعية والاقتصادية في الحسبان للاستخدام الرشيد للمياه المستعملة في الزراعة. ويتوجب وضع معايير حاسمة لرصد العملية برمتها وتصميمها وتنفيذها وتشغيلها. وتعتبر خطة تطوير إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في شبكة الري في فارامين Varamin في إيران مثلاً جيداً على هذا المشروع. وكان استخدام قدرة القطاع الخاص على الاستثمار في المشروع، إلى جانب توفير الضمانات والحوافز اللازمة، نهجاً ناجحاً لشبكة الري في فارامين Varamin.

المراجع

References

- California State Water Resources Control Board, 1990, Department of Land, Air and Water Resources. 1985. *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual*. Edited by G. Stuart Pettygrove and Takashi Asano. Davis, California: Lewis Publishers, Inc.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1992. "Wastewater treatment and use in agriculture." Publication No. 24. Rome: FAO.

Planning and Guidance Control Deputy President. 2009. "Guideline for studies of plans for urban and rural treated wastewater reuse" (in Persian). Publication No. 434.

Tehran Regional Water Company. 2012. "Pipeline from Tehran wastewater treatment plant to Varamin plain." Project brochure.

Tehran Sewerage Company. 2012. "Description of Tehran metropolitan sewerage Project."

World Health Organization of the United Nations (WHO). 1989. "Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture." Report of a WHO scientific group, *Technical Report Series 77*. Geneva, Switzerland.

Yekom Consulting Engineering Company. 2007. "Development plan of saline, brackish, and unusual water use in water basins of the country" (in Persian). Report No. 6, *Appropriate policies and strategies for saline, brackish, and unusual water use*.

الملخص

لقد استغرق تطوير محطات معالجة مياه الصرف الصحي للري الزراعي في المكسيك Mexico وأمريكا اللاتينية Latin America وقتاً طويلاً بدأ في Belem بالبرازيل Brazil في عام 1999. وتنفيذ أكثر من 30 منها مشاريع رائدة في ولايات Oaxaca، Puebla، و Hidalgo، حيث لم تكن بيانات الري التوضيحية لقطع الأراضي كافية لخلق تكرارات من قبل منظمات المياه والزراعة المحلية. ولا تشمل ثقافة المياه في بلداننا أهمية معالجة مياه الصرف الصحي. بحلول عام 1950 تمّت معالجة أقلّ من 10% من مياه الصرف الصحي. وبحلول عام 2000 لم تصل هذه النسبة إلى 25 في المئة. إن مفهوم إعادة استخدام هذه المياه محدود للغاية، بما في ذلك الهندسي، والزراعي، والمدارس الاقتصادية.

في المجتمعات المحلية التي نفذت فيها المشاريع الرائدة، كان أقلّ من 1 في المئة من السكان، بمن فيهم المدرسون وموظفو الحكومة، يعرفون الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في الزراعة (SUWA). وفي الوقت نفسه، تمّ ريّ آلاف الهكتارات من المياه العادمة غير المعالجة مع مشاركة الحكومات الوطنية والمحلية نوعاً ما. إنّ الحظر (قانون بمنع ذلك) في حدّ ذاته لم يعمل أبداً في العالم. وفي السنوات الـ 15 الماضية، قبل العمال والفلاحون والشركات والنقابات العمالية والوكالات الحكومية شهادة الكفاءة في المكسيك أداة جيدة لتأهيل الأشخاص المسؤولين عن أنشطة محددة. ويهدف إنشاء مجلس التصديق على الري بالمياه المعالجة في المكسيك إلى تعزيز قبول الأهداف الخاصة «SUWA» يوماً بعد يوم ومن شخص إلى آخر.

الكلمات المفتاحية: بناء القدرات، الري الزراعي، الصحة البيئية، سلامة الأغذية.

¹ Carlos Antonio Pailles Bouchez 

Environmental Infrastructure Trust of the Valley of Hidalgo, Hidalgo, Mexico

e-mail: fiavhi@hotmail.com

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

1. المقدمة

يوجد في المكسيك أكبر مسطح زراعي يُروى بمياه الصرف الصحي غير المعالجة في العالم (90.000 هكتار في نظام ري واحد) (CONAGUA 2015).

كان بناء نفق في عام 1900 بطول 32 كم، قطره 6 أمتار، لأخذ مياه الأمطار ومياه الصرف الصحي من مكسيكو سيتي انتصاراً للهندسة المدنية في ذلك الوقت، دون أي نوع من الوقاية من الصرف الصحي / الصحة العامة / الزراعية / البيئية خلال الـ 100 سنة التالية، خاصة في حوض نهر Tula، حيث تم تسليم المياه. وأتاح جفافان متتاليان في الفترة 1976-1977 مجاًلاً لإذن مؤقت من الحكومة المكسيكية بتحديد هذه المياه إلى نظام الري في وادي Mezquital. وقد تمّ تمديد هذه الصفقة المؤقتة حتى الوقت الحاضر.

في آب 1999، قامت وكالتان تابعتان للأمم المتحدة (UN)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، واللجنة الاقتصادية لأمريكا اللاتينية (ECLA)، بمشاركة وثيقة من منظمة الصحة العالمية (WHO)، ومنظمة الأغذية والزراعة (FAO)، دعت منظمة الأغذية والزراعة والبنك الدولي ومصرف التنمية للبلدان الأمريكية (IADB) منظمات المياه في القارة إلى تقديم بدائل لمعالجة المياه القائمة على خيارات الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي في الزراعة (SUWA) في المدن الريفية خلال ورشة العمل التي عُقدت في Belem، البرازيل. وقد أقرّ الصندوق الدولي للتنمية الزراعية IADB في عام 2000 الاقتراح المكسيكي الذي قدمه أحد الصناديق الائتمانية البيئية، وأدرج في البرنامج الجديد لاستدامة نظم المياه والصرف الصحي (PROSSAPyS) في المجتمعات الريفية (CONAGUA 2001).

أظهر تنفيذ 20 مشروعاً تجريبياً في ولايتي Puebla و Oaxaca القدرات والقيود المفروضة على هذا النوع من الحلول. وهناك أمثلة حقيقية على هذه الخيارات هي ست محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي (WWTPs) في المدن الريفية في Ixtlan و Capulalpam في Sierra Norte في Oaxaca، التي كانت تعمل دون انقطاع من قبل نفس المزارعين في هذه البلدات منذ عام 2003. وأدت أعمال الشغب السياسية في الفترة 2006-2007 في Oaxaca إلى وقف هذا الاتجاه الإيجابي. وفي عام 2008، اتخذت الحكومة الاتحادية (CONAGUA) قراراً يقضي بإنشاء محطة معالجة مياه الصرف الصحي Macro WWTP في Atotonilco لمعالجة مياه الصرف الصحي القادمة من وادي المكسيك Mexico (35000 لتر في الثانية، وهي الأكبر في العالم). وفي نفس السنة وقعت CONAGUA وولاية Hidalgo اتفاقاً إطارياً مع الصندوق الائتماني للبنية التحتية البيئية لأودية ولاية Hidalgo لإنشاء عشرة أو أكثر من المشاريع التجريبية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP لأغراض SUWA، لإعداد المجتمعات المحلية لهذا الخيار الجديد للمياه المعالجة للزراعة.

وفي إطار العديد من النقاط التشغيلية التي ستطوّر وتوضّع في هذه المشاريع الرائدة، يحتاج أحد الأصول المهمة إلى اهتمام خاص: بناء القدرات وشهادات الكفاءة للإدارة السليمة والمناسبة لمياه الصرف المعالجة للري الزراعي. وقد استغرق الأمر عامين لتطوير عملية تشكيل مجلس إدارة المؤسسات الزراعية وإكمالها (Gestion de Competencias para Riegos Agrícolas Tecnificados con Aguas Residuales Tratadas) (مجلس التصديق على الري بالمياه المعالجة في المكسيك Mexico)، بما في ذلك نشره في الجريدة الرسمية Diario Oficial (de la Federacion 2015). وهذه الحالة هي محاولة لمشاركة وجهات نظرنا والخبرة التي جمعناها في أثناء إنشاء العملية.

2. الأحداث التاريخية المهمة

1800s: تزايد عدد سكان الولايات المتحدة من 5 ملايين إلى 75 مليون نسمة. التنمية الأولية: أنظمة الجمع. الغرض الأساسي: الوقاية من الأمراض. وكانت المعالجة في معظم الأحيان التخفيف في المياه المستقبلية. 1887: تم تركيب أول معالجة بيولوجية، وهي مرشح رملي متقطع، في ميدفورد Medford، ماساتشوستس Massachusetts.

1899: اللائحة الاتحادية الأولى لمخصصات مياه المجاري والأنهار والمرافئ («قانون الرفض») التي تحظر تصريف المواد الصلبة إلى المياه الملاحية دون إذن من سلاح المهندسين التابع للجيش الأمريكي US Army Corps of Engineers.

1900s (في وقت مبكر): 1 مليون شخص تخدمهم 60 محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي لإزالة المواد الصلبة المترسبة والعائمة. الاتجاه: النمو السكاني وبناء المجاري.

1900-1930s: زاد عدد السكان المخدمين بالصرف الصحي بنفس المعدل الإجمالي للسكان. الاتجاه: تطوير المعالجة الثانوية (البيولوجية).

1909: أول خزان من نوع إيمهوف Imhoff (ترسيب المواد الصلبة) (Cooper 2003).

1914: عملية الكلورة السائلة الأولى لتطهير النفايات السائلة.

1916: أول محطة معالجة بالحماة النشطة، سان ماركوس San Marcos، تكساس Texas.

1920-1940s: معالجة المياه العادمة المرتبطة بأهمية الأكسجين المذاب للحياة المائية، والخصائص الجمالية للمياه السطحية (الرائحة واللون والمواد الصلبة)، وقياس المواد العضوية في المجاري كالطلب على الأكسجين البيولوجي (BOD) وتعني زيادة معالجة المياه المستعملة زيادة بقايا المخلفات (الحماة). القضاء على المغذيات. 1960: معلم وحدث مهم. 50% من سكان الولايات المتحدة يحصلون على شكل من أشكال معالجة مياه الصرف الصحي.

1960 إلى الوقت الحاضر الاتجاه: تقدم عملية المعالجة لتحسين نوعية المياه المتلقية. إزالة المغذيات (النيتروجين والفوسفور). إعدادات وتكوينات عملية جديدة: عمليات الحماة المنشطة ذات المعدل العالي، والأكسجين عالي النقاوة، والمفاعلات الدفعية التسلسلية SBR، والمرشحات الحجرية ذوات معدلات التحميل العالية، وعمليات الحماة المنشطة بالفلتر الهجين، والمفاعلات الحيوية الغشائية.

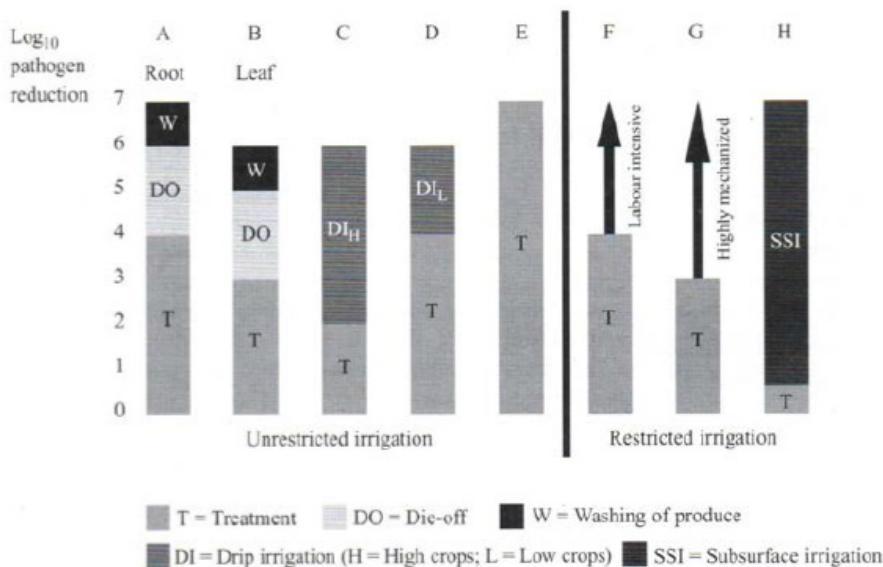
1972 حتى الآن: تعديلات قانون مكافحة تلوث المياه الاتحادية (PL 92-500)، والمعروفة باسم قانون المياه النظيفة) وما يليها. حتى عام 2002. ملخص CWA، معايير جودة المياه لتلقي المياه (المبينة على أساس الاستخدامات المحددة وما يتصل بها من معايير الصحة البشرية والحياة المائية). سياسة مكافحة التدهور مع الرصد البيئي. إذا لم يتم تحقيق معايير جودة المياه WQS: خطة (استراتيجيات وضوابط) لتحسين المياه المتدهورة باستخدام منهجية إجمالي الحد الأقصى للحمل اليومي (TMDL). السيطرة على السموم، الحماة الصناعية قبل المعالجة. يتم التخلص من المواد الصلبة الحيوية. القسم 404 (حماية الأراضي الرطبة). الصناديق الداعمة للدولة. الاتجاهات الناجمة: إعادة استخدام المياه العادمة، غير الصالحة للشرب، التوزيع المنفصل غير قابل للشرب، نظام محلي قابل للشرب. استعادة الطاقة (الوقود الحيوي، التوليد المشترك، الأسمدة)، حفظ الطاقة (التهوية، الضخ، معالجة المواد الصلبة الميكانيكية، التدفئة، المواد الكامنة المدمجة).

3. أهياط محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTP للري الزراعي وفقاً لمبادئ منظمة الصحة العالمية

WHO الخاصة بـ SUWA

في المراجع التاريخية، تمّ تحديد هيمنة محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs التي تهدف إلى إعادة المياه المعالجة إلى الأنهار والبحيرات والبحار. وتكرر نموذج الحمأة المنشطة عدة مرات، ربما في ثلثي الحالات على امتداد القرن العشرين، وأول 15 سنة من القرن الحادي والعشرين. أهمّ جزء من هذا النموذج هو القضاء على المغذيات (منطقة الصرف الصحي في مقاطعة لوس أنجلوس 2011). مع هذا القضاء، يتمّ تجاهل أهمّ قيمة من مياه الصرف الصحي. والأهمّ من ذلك، أن محاولة استخدام المياه المعالجة في الري الزراعي دون المغذيات وكثير من المواد الكيميائية، مثل الكلور، معقدة وغير مجدية وأحياناً تؤدي إلى نتائج عكسية. وتستند المبادئ التوجيهية الحالية لـ SUWA الصادرة عن منظمة الصحة العالمية (2006) إلى النقاط الست المبينة في الشكل (1):

- إقرار قيم التغذية الزراعية للعديد من مكونات مياه الصرف الصحي المنزلية.
- معرفة كاملة بكثير من ملوثات مياه الصرف الصحي والمخاطر الموجودة في استخدامها.
- معرفة كاملة بعملية الري الزراعي بدءاً من تسلسل المياه العادمة إلى عمليات الامتصاص داخل المحاصيل المختلفة مروراً بأهمّ مرشح في العالم، التربة، بما في ذلك جميع تقنيات الري.
- النظر المتزامن في المخاطر الصحية المختلفة (البشرية، النباتية، الحيوانية، البيئية، إلخ).
- الاستخدام الكافي لعملية إدارة المخاطر.
- الظروف التاريخية والجغرافية والاجتماعية لاستخدام المياه العادمة (أو الإدارة).



الشكل 1: أمثلة على الخيارات المتاحة للحدّ من مسببات الأمراض الفيروسية والبكتيرية والأوليات من خلال دمج توليفات مختلفة من تدابير الحماية الصحية التي تحقق الهدف الصحي القائم على أصغر أو يساوي 10-6 سنوات من العمر حسب الفرد في السنة.

في الفترة 1999-2000، ومع أخذ هذه الاعتبارات في الحسبان، أجرى الصندوق الائتماني للبنية التحتية البيئية استعراضاً كاملاً لمختلف البدائل لمعالجة مياه الصرف الصحي في 12 بلداً مختلفاً، مع التركيز على إعادة الاستخدام الزراعي. وقد تمّ إيلاء اهتمام خاص لتمميز المحاصيل فيما يتعلق بالري والعمليات النظامية، وذلك من خلال فحص الأوراق البحثية للمبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO SUWA. ويرد شرح موجز للمادة التشغيلية للمبادئ التوجيهية في الفقرات القليلة القادمة.

هناك ثلاثة أنواع مختلفة من المحاصيل، وفقاً لأنماط SUWA.

A - الأشجار والشجيرات الكبيرة التي تتطلب أجهزة مراقبة أساسية للاستخدام الصحيح للمياه العادمة المعالجة والإدارة الكافية.

B - المحاصيل الجذرية الكبيرة والمتوسطة والصغيرة (الذرة، الكينوا، الفاصوليا، البندورة، والبروكلي وغيرها) التي تتطلب عمليات معالجة بيولوجية محددة للمياه العادمة للوصول إلى مستوى 75-80%، (المعالجة الثانوية)، والري بالتنقيط لتجنب الاتصال البشري مع المياه المعالجة، وإدارة المحاصيل الكافية.

وهي تمثل نحو 70% من المحاصيل الصالحة للأكل في العالم، كما هو مبين في الشكلين 2 و3:



الشكل 2: محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP مع محصول الكينوا (Acoculco, Hgo.).



الشكل 3: محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP مع محصول البندورة (Tecamachalco, Pue.).
C - الخضروات الورقية والجذرية، التي تتصل المياه المعالجة بالمنتج الصالح للأكل (الخس، السبانخ، الجزر، الشمندر وما إلى ذلك)، والتي تتطلب معالجة ثانوية مؤهلة، بالإضافة إلى المعالجة الثانوية، لتصل إلى مستوى 97-99%.

وهي تمثل ما يقرب من 20% من المحاصيل الصالحة للأكل في العالم، كما هو مبين في الشكلين (4 و5):



الشكل 4: محصول السبانخ مع غطاء التربة الواقية



الشكل 5: محاصيل الخضروات الجاهزة للسوق المحلية

تمّ الحصول على أنماط تصميم محددة وبراءة اختراع لعمليات B و C، (الثانوية والثالثية) وتمّ تنفيذها في محطات معالجة مياه الصرف المختلفة WWTPs (90% من النوع B و 10% من النوع C).

4. محطات معالجة مياه الصرف الصحي لأهداف SUWA في إطار الدولة /الاتحادية/ البلدية، 2008-2013

بتوقيع اتفاق إطاري بين لجنة المياه والصرف الصحي التابعة للدولة في Hidalgo والصندوق الائتماني للبنية التحتية البيئية (FIAVHI)، مع مشاركة شهادة CONAGUA في تنفيذ 10 محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي الأولية WWTPs لإعادة الاستخدام الزراعي، تنفيذ وتقييم التأثير المحتمل لـ SUWA في أكبر مجموعة من مناطق الري غير المعالجة في العالم: وادي Mezquital.

وقد تمّ تطوير رابع هذه المحطات العشر WWTPs، سان خوسيه San Jose Acoculco، ضمن بلدية Atotonilco de Tula، بالتعاون مع منظمة المزارعين الزراعية، Ejido Progreso، بما في ذلك العمليات الثانوية والثالثية، والتي تتلقى مباشرة مياه الصرف الصحي من وادي المكسيك Mexico، على بعد 900 متر من أكبر محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي WWTP في العالم، Atotonilco de Tula، لتزويد CONAGUA، وولاية Hidalgo، والبلديات المختلفة المحيطة بالوادي، والأهم من ذلك، العدد الكبير من المستخدمين الزراعيين للمياه العادمة غير المعالجة (أكثر من 90.000)، مع الإدارة والصيانة، وعوائد الإنتاج، وضوابط الصرف الصحي، والعديد من البارامترات المختلفة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي الحقيقية بموجب المبادئ التوجيهية لـ SUWA، والتي سيتم أخذها بعين الاعتبار في محطة معالجة مياه الصرف الصحي الكبيرة Macro WWTP. تمّ الانتهاء من مشروع معالجة مياه الصرف الصحي في سان خوسيه San Jose Acoculco WWTP، وهو مشروع تجريبي،

في عام 2011 لمعالجة 500.000 لتر يومياً (5 لتر في الثانية) لري 20 هكتاراً، وقد تمّ تشغيله يومياً منذ ذلك الحين (4 سنوات)، كما هو مبين في الشكل (6) النتائج التالية:



الشكل 6: محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سان خوسيه San José Acoculco, Hgo.

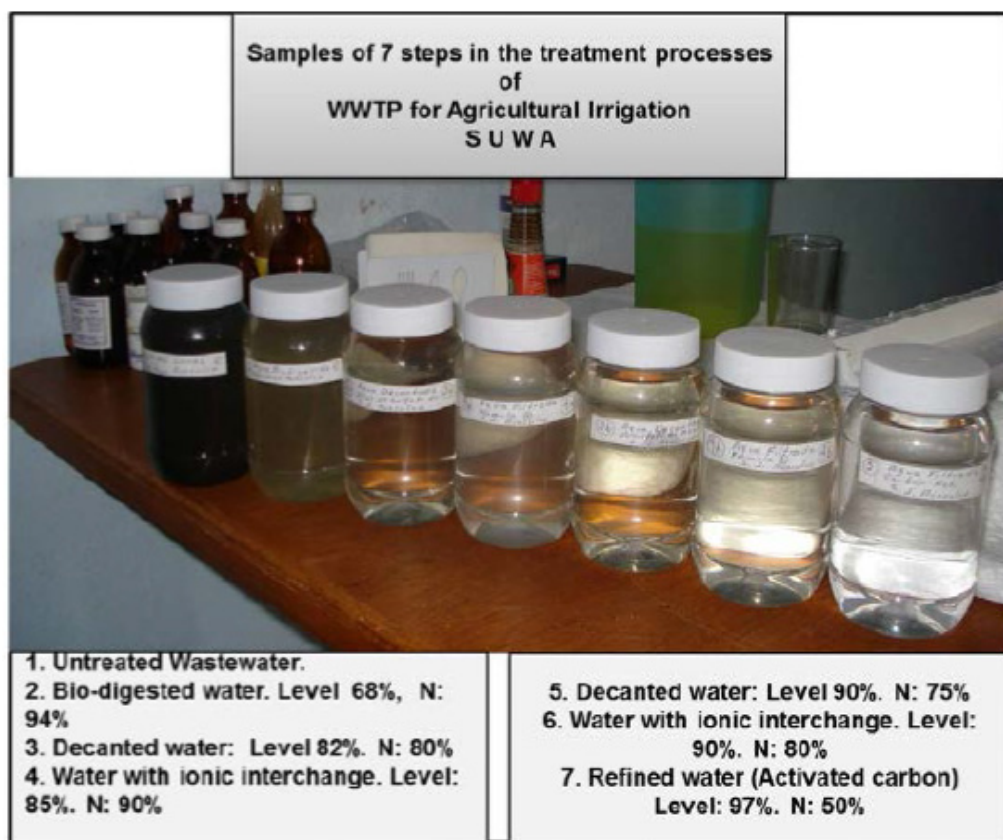
1.4. مستويات المعالجة

1.1.4. المعالجة الثانوية

خمس مفاعلات مستقلة، مصممة للحفاظ على مختلف المستعمرات البكتيرية في الحد الأقصى، وتوفير مياه الصرف الصحي المعالجة التي تلبي خفض الجراثيم الممرضة بوحدة مقدرة بـ Log_{10} والتي أوصت بها منظمة الصحة العالمية، WHO-SUWA، (أمثلة على خيارات للحد من مسببات الأمراض الفيروسية والبكتيرية والأوليات من قبل مجموعات مركبة مختلفة من تدابير الحماية الصحية التي تحقق الهدف الصحي القائم على أصغر أو يساوي 10^{-6} يومي حسب الفرد في السنة).

وتجمع الأنواع الثلاثة للخفض اللوغاريتمي في المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO بين المعالجة والري بالتنقيط بنسب مختلفة تقابل المحاصيل المنخفضة الجذعية، المتوسطة الجذعية، والمحاصيل ذات الجذعية العالية.

ويبين الشكل (7) مستويات التخفيض التي تمّ التوصل إليها في محطات معالجة مياه الصرف المختلفة في عملية قياس أجراها اختصاصيون من المركز الشرقي للبيئة والتنوع البيولوجي (BIOECO)، بموجب اتفاق مع الوكالة البيئية التابعة لوزارة العلوم والتكنولوجيا والبيئة في جمهورية كوبا Cuba.



الشكل 7: عينات من 7 خطوات في عمليات معالجة لمحطات مياه الصرف الصحي WWTPs للري الزراعي، SUWA.

حيث:

1. مياه الصرف الصحي غير المعالجة.
2. مياه الهضم الحيوي. مستوى: 68% ، 94% :N.
3. المياه المنسكبة. مستوى: 82% ، 80% :N.
4. الماء مع التبادل الأيوني. مستوى: 85% ، 90% :N.
5. المياه المنسكبة. مستوى: 90% ، 75% :N.
6. الماء مع التبادل الأيوني.
7. المياه المكررة (الكربون المنشط). مستوى: 97% ، 50% :N.

2.1.4. المعالجة الثلاثية

تولد مجموعة من عمليات التخثر والتندف نواتج وندفاً من المواد العضوية، وخاصة المواد المغذية، التي يتم إرسالها إلى 20 قناة ترقيد، كل منها مع صمام ضبط، وفقاً للضوابط التوضيحية والتشغيلية (5 إلى 100%) من القضاء عليها. وبمجرد تحديد مستوى النسبة المئوية، يدخل الماء غرفة ترسيب اصطناعية لتلقي أوكسجين إضافي قبل التدفق إلى 16 مرشحات من سيليكات الألومنيوم التي تنتج التبادل الأيوني لزيادة مستوى المعالجة بشكل كبير.

وهناك ثلاثة خيارات للوصول إلى المستوى 8 من تخفيض مسببات الأمراض اللوغاريتمية (غير مطلوب من قبل منظمة الصحة العالمية - WHO-SUWA، ولكن لضمان الوصول إلى المستوى 7): الكربون المنشط، ونظام فلترة وتعقيم بالأوزون، والألياف الزجاجية كروية بنظام صمام متعدد.

2.4. الإنتاج الزراعي

إنتاجية المحصول: تحتوي المحاصيل المروية بمياه الصرف المعالجة على ثلاثة نواتج مهمة في إطار المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO:

1.2.4. زيادة في الإنتاجية

لقد أظهر المحتوى المقاس للأسمدة الطبيعية في مياه الصرف الصحي المعالجة بشكل صحيح، جنباً إلى جنب مع الاستخدام الرشيد والإدارة لهذا النوع من المياه، زيادات في الإنتاجية على المستويات التالية:

المحاصيل	هكتار/طن المتوسط	SUWA	سنة/المحاصيل المتوسط	SUWA
الفاصولياء	2.0	3.2	1	2
البندورة	8.9	24.5	قطع 5	قطع 10
الفول	2.8	4.6	1	2
البازيلاء	1.8	3.0	1	2
الكينوا (Quinoa)	1.3	6.2	1	3

2.2.4. ارتفاع كبير في إنتاج الجودة والأسعار

كما هو مطلوب في المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO، فإن غسل المنتجات والممارسات الزراعية الجيدة المتصلة في هذا النوع من الإدارة يزيد من جودة المحاصيل وأسعارها. FIAVHI تدعى هذه العملية إضافة عملية زيرو ADD A ZERO GAME. وهذا يعني أن المزارع سيكون لديه 10 أضعاف المال الذي كان هو/هي يحصل عليها بالعادة في نهاية العام، لكنه/لكنها تحتاج إلى تنفيذ 10 أضعاف الاهتمام الذي اعتاد/اعتادت على إعطاء للمحاصيل.

3.2.4. تحقيق وفورات قيمة في كمية المياه المستخدمة

على الرغم من أن هذا المفهوم يرجع أساساً إلى نظام الري بالتنقيط، فإنه من الصحيح أن ننظر فيه ضمن «حزمة» اقتراحات SUWA.

هناك وفورات في كمية المياه من 50 إلى 80% مقارنة مع الري بالفيضانات (الغمر) التقليدية. في مشاريع FIAVHI، القاعدة الأساسية يعني الري ثلاثة أضعاف كمية السطح الذي كان يُروى بالفيضانات.

3.4. الصحة والضوابط الصحية

إنّ العمل في أكبر منطقة في العالم للري المستمر للمياه العادمة غير المعالجة، وإدخال مياه الصرف الصحي المعالجة أدخل ضوابط في المفاهيم التالية:

1.3.4. صحة الإنسان

تشمل سلامة الأغذية أنشطة لضمان أقصى قدر ممكن من السلامة في عملية إنتاج الأغذية إلى المستهلك

(«المزرعة إلى الشوكة») (المجلس الأوروبي للمعلومات الغذائية 2014). وتشمل الأمراض المنقولة بالأغذية مجموعة واسعة من الأمراض التي تمثل مشكلة صحية عامة متنامية في جميع أنحاء العالم. ويتطلب برنامج السلامة الغذائية مكونات غذائية صحية وغذائية خالية من المخاطر البيولوجية والكيميائية والفيزيائية. وينبغي أن تغطي جميع اللوائح هذه المفاهيم.

المشاكل الأكثر شيوعاً التي تنقلها الأغذية هي (منظمة الصحة العالمية WHO 2000):

- انتشار المخاطر الميكروبيولوجية (كما في ذلك البكتيريا مثل السالمونيلا أو الإشريشيا القولونية) (Salmonella or Escherichia coli). ومع ذلك، قد يحدث تسمم الطعام بسبب استهلاك الأغذية الملوثة التي تحتوي على السموم المنتجة سابقاً. ليس من الضروري تناول الكائنات الدقيقة الحية والتهامها.
- وجود تلوث كيميائي في الطعام. من المهم جداً تنفيذ اللوائح المرتبطة بهذه المسألة فيما يتعلق بالأنشطة الصناعية والزراعية.
- تقييم التكنولوجيات الغذائية الجديدة. من الضروري دعم نظم المراقبة لتغطية سلامة الأغذية على امتداد السلسلة الغذائية العامة والشاملة.

يبيّن الشكل (8) صورة مستخدم نظامي من المياه غير المعالجة في وادي Mezquital في المكسيك Mexico يستحق 10.000 كلمة. من المهم نشر ممارسات SUWA الشكل (9). وعلى الرغم من أن المياه العادمة المعالجة قد خفضت المخاطر الصحية إلى أقصى حدّ ممكن، فإن نفس المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO تنصّ وتشترط على عدم وجود اتصال على الإطلاق بين المزارعين / القائمين على الري والمياه.



الشكل 8: الري بطريقة الغمر بمياه الصرف الصحي غير المعالجة في وادي Mezquital.



الشكل 9: محصول تصدير الكوسا الصغير المزروع وفق ممارسات SUWA في Tepetitlan, Hgo.

2.3.4. صحة الحيوان

لقد أنتجت المسطحات الكبيرة المروية بمياه الصرف الصحي غير المعالجة والقنوات التي تنقل هذه المياه إلى الحقول نوعاً من الزراعة الفرعية التي تشمل الحيوانات التي تشرب المياه. يؤدي هذا الابتلاع إلى الضعف والمرض بين القطعان. لسوء الحظ، فإن معظم الحيوانات تُربى وتنمو من أجل اللحوم، حيث يتم نقل تلوثها للمستهلك البشري، مع عواقب غير صحية للغاية.

3.3.4. الصحة البيئية

ينبغي أن تكون حصة الصحة البيئية مرتفعة جداً دون وجود نظام الترشيح الاستثنائي فوق العادي في التربة. وكمثال على ذلك، فإن العديد من عائلات الديدان، التي وجدت بيوضها في مياه الصرف الصحي غير المعالجة، تجد مكاناً جيداً للعيش في التربة حيث تم إيصالها، دون التدخل في الصحة البيئية (Siebe 1998). ولكن وجود كميات هائلة من المياه العادمة غير المعالجة مدة 2-3 أسابيع في «الحقول المروية» وقنواتها تولد انتشاراً مكثفاً للملوثات (المياه، الهواء، المواد الصلبة، وما إلى ذلك)، مما يؤدي إلى بيئة منخفضة الجودة.

4.4. صيانة وإدارة محطات معالجة المياه العادمة WWTP

إن اثنين من المتطلبات الأساسية التي تم وضعها جزءاً من عملية التصميم الصحيح المناسب لمحطات معالجة المياه العادمة لإعادة الاستخدام الزراعي:

1.4.4. طريقة مبسطة وسهلة للحفاظ على محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP

يتطلب تطور معظم محطات معالجة المياه العادمة التقليدية WWTPs (الحماة المنشطة بشكل رئيس) اهتماماً

مؤهلاً كفوءاً للغاية من أجل الصيانة، ممّا يفسح المجال للانقطاع في التشغيل إذا لم يكن الفنيون المطلوبون موجودين.

يمكن الحفاظ على المعالجة الثانوية لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي FIAVHI WWTPs في 30 دقيقة يومياً من قبل شخص واحد مع أسبوعين من التدريب. وتتطلب المعالجة الثلاثية دورة تشغيل وصيانة مشتركة يقوم بها شخص واحد مع 8 أسابيع من التدريب.

2.4.4. إدارة مُستدامة لمحطات معالجة المياه العادمة WWTP

من أجل الإدارة المُستدامة لمحطة معالجة المياه العادمة باستخدام عملية ملائمة واقتصادية رشيدة، يوجد عنصران بشريان مهمان في محطة معالجة المياه العادمة للري الزراعي:

A: مستخدمو عملية الصرف الصحي.

B: مستخدمو الري الزراعي.

للجانين كليهما مصلحة خاصة في التشغيل الصحيح لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي. في المدن الصغيرة (ويستهدف البرنامج المدن التي يقلّ عدد سكانها عن 2500 نسمة)، ومعظم الشعب A هم من الناس B وجميع الناس B هم شعب A. في جميع الحالات التي تمّ تطويرها بنجاح، تتألف لجنة محطة معالجة مياه الصرف الصحي من أشخاص B. إنّ اهتمامهم بالحصول على مياه ري أفضل هو أساس الإدارة الجيدة. إنّ قيمة المياه المعالجة وفق SUWA/WHO، وتحويلها إلى منتجات زراعية، تعطي بالضرورة قيمة مضافة لتغطية النفقات التشغيلية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP. وقد أيدّ مصرف التنمية للبلدان الأمريكية، وهو أحد الجهات الراعية المالية لهذا البرنامج، بقوة هذا الخيار التشغيلي.

5.4. بناء القدرات وتوسيع الري الزراعي

لقد تطلب كلّ نشاط يقوم به الإنسان في التاريخ نقل المهارات من شخص لآخر، كيان اجتماعي إلى كيان اجتماعي، وما إلى ذلك.

ومع ذلك، فإن الجهات الفاعلة الزراعية والمجتمعات الريفية، المسؤولة عن الإنتاج الزراعي الفعلي، تتردد في التغيير. وقد كان نظام الإرشاد الزراعي من الأدوات الأكثر قيمةً في إدخال الاستخدام الصحيح للمياه العادمة المعالجة في الزراعة واستدامتها.

1.5.4. القبول من المستخدمين المحتملين

بالنظر إلى الفوائد المذكورة أعلاه، ينبغي أن يكون من السهل جداً توقع أن يقبل المستعملون المحتملون، مثال: إنّ الجهات الفاعلة الزراعية سوف تقبل خيار الري هذا.

في كلّ محطة معالجة مفردة WWTP تم تنفيذها من قبل FIAVHI، كانت هناك مجموعات صغيرة أو متوسطة الحجم مهتمة بالمزايا الموضحة وقبول القيود والواجبات المطلوبة لتحقيق النجاح الكافي لهذا النوع من الري.

2.5.4. الضوابط واللوائح المحلية

لا توجد لوائح محددة في المكسيك Mexico تتعلق باستخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة، سواء المعالجة أو غير المعالجة. وبالتعاون الوثيق مع الجامعات، أعدّ FIAVHI مقترحات أولية للوصول إلى المستوى الأول من اللوائح الاتحادية فيما يتعلق باتفاقية وقضايا SUWA. من أجل الخير أو السوء، جميع القوانين ولوائح المياه في المكسيك هي فيدرالية. وتقع على عاتق الولايات بعض المسؤوليات المستمدة من الوفود التي قدمتها الحكومة

الاتحادية. ولدى البلديات بعض القدرات القانونية التي تتناول توزيع شبكات المياه والصرف الصحي البلدية وتشغيلها.

في هذا البحث حول وسائل تحقيق القواعد والضوابط وسبلها، دعت جامعة تولا التكنولوجية Tula - Tepeji (UTTT)، وهي معتمدة للكفاءات، مع برامج مختلفة لبناء القدرات، دعتُ FIAVHI لتطوير شهادة الكفاءات في الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي المعالجة في الري. وكانت الفكرة الرئيسة لكل من UT TT و FIAVHI أن تشارك بطريقة جديدة في التعرف على قدرات المشاركين وكفاءاتهم في الري بالمياه العادمة، من المزارعين المحليين إلى موظفي الحكومة، ومروراً من خلال الفنيين، المهندسين، الباعة والمعلمين، وما إلى ذلك، لوضع قواعد محددة داخل مجال نفوذ الحكومة الاتحادية.

5. شهادة الكفاءات في الاستخدام الآمن للمياه العادمة المعالجة في الري (CMC)

ما هو (CMC)؟

مجلس إدارة الكفاءات (Competencies Management Council) هو مجموعة من الأفراد أو الشركات أو المنظمات التي تمثل قطاعات منتجة أو اجتماعية أو حكومية، ويرجع ذلك إلى عدد العمال والمشاركة في سوق العمل فضلاً عن الاعتراف على الصعيد الوطني في هذا القطاع، ويعمل بوصفه الهيئة المسؤولة عن تعزيز مفهوم إدارة الكفاءات في المنظمات التي تمثل كل قطاع.

أهداف مجلس إدارة الكفاءات CMC

- تعزيز وتطوير وتنفيذ نظام الكفاءات الوطنية في قطاعه.
 - تحديد جدول أعمال رأس المال البشري من أجل القدرة التنافسية في قطاعه.
 - تطوير معايير الكفاءة (CS) وتحديثها، وأدوات تقييم الكفاءة وآليات العواقب والنتائج التي تشجع على شهادة العمال في هذا القطاع.
 - رصد التميز في تنفيذ الحلول وتعزيزه في قطاع التقييم وإصدار الشهادات (CONOCER 2008).
- يوضح الشكل (10) أدناه النموذج التشغيلي لمجلس إدارة الكفاءات (CMC).



الشكل 10: نموذج تشغيل مجلس إدارة الكفاءات (CMC).

يمكن دمج مجالس إدارة الكفاءات بناءً على طلب الجمعيات والدوائر والكونفيدراليات للمؤسسات، الشركات، النقابات التجارية، المؤسسات الاجتماعية، والمنظمات على مختلف مستويات الحكومة المهتمة بالانضمام إلى نظام الكفاءات الوطني والتصديق على قدرات العاملين لديها، إمكانية وجود لجنة أو أكثر صالحة لكل قطاع من قطاعات النشاط الاقتصادي أو الاجتماعي أو الحكومي. ويتعين على المجالس أن تستوفي ثلاثة معايير للدمج:

– النطاق.

– التمثيل.

– الحوار رفيع المستوى.

المؤسسات المشاركة هي كما يلي:

– UT'TT (الجامعة التكنولوجية Tula Tepeji).

– FIAVHI (الصندوق الائتماني للبنية التحتية البيئية لأودية Hidalgo).

– CONAGUA (إدارة مناطق الري فرع البنية التحتية المائية - الزراعة).

– SAGARPA (مديرية تنمية القدرات والإرشاد الزراعي الريفي).

– UNAM (قسم علوم التربة، معهد الجيولوجيا).

— Progreso Atotonilco de Tula Ejido

ما تبحث عنه هذه المنظمات هو التخصص في الاستخدام الآمن لمياه الصرف المعالجة في الزراعة. حالياً سبع مؤسسات أخرى تقدم شهادة معايير الكفاءة (EC).

— تقييم وشهادة كفاءة من جامعة Chapingo المستقلة (Texcoco, ولاية المكسيك) (Texcoco, State of Mexico).

— تقييم وشهادة كفاءة من جامعة الحكم الذاتي (المستقلة) Agraria Antonio Narro (Saltillo, Coahuila).

— مركز التكنولوجيا الزراعية رقم 109 (CBTA 109 Capulalpam Mendez, Oaxaca).

— جامعة Tecamachalco التكنولوجية (Puebla).

— الجامعة التكنولوجية Francisco I. Madero (Tepatepec, Hidalgo).

— تقييم وشهادة الكفاءة من الجامعة التكنولوجية فالي del Mezquital (Ixmiquilpan, Hidalgo).

— تقييم وشهادة من الجامعة التكنولوجية في Tula-Tepeji (Tula de Allende, Hidalgo).

يقدر عدد السكان الذين يؤدون مهاماً تتعلق بالمسائل المتصلة بالأراضي الزراعية المروية بمياه الصرف المعالجة 90.000 شخص، من المرجح أن يشهدوا ما يقرب من 4.470 شخصاً للمصادقة على مدى 10 سنوات. وهناك 90.000 مستخدم مسجل للمياه في المنظمات التي لديها اتفاقيات مع حقوق استخدام المياه مع CONAGUA. معايير الكفاءة (مختصرة باسم ECO باللغة الإسبانية) قيد التطوير:

— «تنفيذ اللوائح والتحليل وتقييم عمليات المعالجة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي».

— EC0628 «تشغيل محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs للري الزراعي (تمّ تطويرها والموافقة عليها ونشرها)».

— «التحكم في أنظمة الري بمياه الصرف الصحي المعالجة».

ومع تطبيق معيار الكفاءة الأول (ECO)، بدأت عملية التصديق الشكل (11)، مع العمل في وقت واحد على اثنين آخرين، ويتوقع أن يكونا أول مرشحين لشهادتهما في النصف الثاني من عام 2016، ممّا يمثل خطوة مهمة في المكسيك Mexico من أجل تحسين الممارسات التي تتبعها إدارة SUWA.



الشكل 11: شهادة المرشحين خلال الامتحانات الميدانية في محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTP (SUWA) في Acoculco.

6. الخلاصة، الاستنتاجات، والدروس المستفادة

- أظهرت SUWA أهميتها البارزة للحالة الحالية والمستقبلية للمياه والغذاء والبيئة على الكوكب ولكل بلد.
- وجود القصور الذاتي للتغيير لجميع مقترحات SUWA. ويشكل الدعم الحكومي وإعانات المياه والزراعة عائقاً أمام تقدير قيمة المياه المعالجة.
- المشاريع التجريبية النموذجية وأنشطة بناء القدرات هي الطريق الأساسي نحو نشر ممارسات SUWA.
- إنَّ شهادة قدرات الري واختصاصاته بالمياه المعالجة هي أداة ضرورية لتحسين قبول ممارسات SUWA.
- إنَّ تطوير عمليات بناء القدرات وإصدار الشهادات المحلية والإقليمية من خلال المؤسسات السبع المرخص لها على الصعيد الوطني هي الخطوات الفورية نحو المصادقة الفنية والقانونية للأشخاص المؤهلين في ري مياه الصرف الصحي المعالجة وفقاً للمبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية WHO.
- تعدُّ جدولة ورش العمل الإقليمية حول ممارسات SUWA في الجامعات والنقابات الزراعية ومنظمات المجتمع المدني خطوة جانبية مهمة في هذه العملية.
- إعداد ورش عمل دولية حول محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs لأغراض SUWA، التي نفذت بنجاح في ولايتي Hidalgo و Oaxaca، سيتمكن من مشاركة الخبرات المهمة وتبادلها وتسجيل الملاحظات الصحيحة من قبل وكالات الأمم المتحدة UN (برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP، منظمة الأغذية والزراعة FAO، منظمة الصحة العالمية WHO، جامعة الأمم المتحدة UNU، إلخ ...)، ستوفر فرصاً للتقدم في استخدام الأمن لمياه الصرف المعالجة في الزراعة.

المراجع

- CONAGUA. 2001. "Inodoros para uso sanitario-Especificaciones y metodos de prueba" (in Spanish).
- CONAGUA. 2015. "Estadísticas del Agua en Mexico" (in Spanish).
- CONOCER. 2008. "Registro Nacional de Estandares de Competencia" (in Spanish). Mexico.
- Cooper, P.F. 2003. "Historical aspects of wastewater treatment". In *Decentralised Sanitation and Reuse*, 11–38. IWA Publishing.
- Diario Oficial de la Federacion. 2015. December 28. <http://dof.gob.mx/>.
- European Food Information Council. 2014. "Farm to Fork."
- Sanitation District of Los Angeles County. 2011. "Joint Water Pollution Control Plant."
- Siebe, C. 1998. "Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico." *Soil Use and Management* 13.
- World Health Organization (WHO). 2000. "Guidelines for the microbiological quality

of treated wastewater in agriculture: Recommendations for revising WHO Guidelines.”
Bulletin of the World Health Organization 78(9).

World Health Organization (WHO). 2006. “WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater.” Geneva: World Health Organization.

الحالة 17: إعادة استخدام المياه المعالجة للري الزراعي في بوليفيا (بوليفيا) (Bolivia)

Luis Grover Marka Saravia ¹

الملخص

لدى بوليفيا نسبة 52.7 في المئة من التغطية الصحية الأساسية، غير أنه لا توجد في العديد من المناطق محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي، ولا يعمل عدد كبير من محطات الصرف الصحي الموجودة بشكل سليم. ويؤدي ذلك إلى مصدر رئيس محتمل للتلوث. وبالإضافة إلى ذلك، لا توجد حالياً لوائح محددة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري الزراعي وإدارتها.

تعتزم حكومة بوليفيا وضع إطار تنظيمي لحل المشاكل المتصلة بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي. وحتى الآن، فإن السياسات الوحيدة الموجودة هي القانون الإطارى للأرض الأم والتنمية الشاملة من أجل العيش الكريم الذي يحدد المبادئ التوجيهية لمعالجة المياه لأغراض الاستفادة، وخطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية (PDES) التي تحدد خطط تجديد محطات معالجة مياه الصرف الصحي وترميمها وتحسينها مع التركيز على إعادة استخدام مياه الصرف الصحي.

منذ عام 2009، قامت اللجنة المشتركة بتشجيع سلسلة من الأنشطة الرامية إلى وضع برامج لبناء القدرات في بوليفيا Bolivia لتحديد استراتيجيات ومنهجيات ومقاربات مشكلة إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري. وستكون هذه الاستراتيجيات بمثابة دليل في وضع برنامج لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري في بوليفيا Bolivia في إطار الإدارة المستدامة للمياه.

الكلمات المفتاحية: إعادة الاستخدام، الزراعة، اللوائح والقوانين، الاستراتيجيات، القدرات والكفاءات.

¹ Luis Grover Marka Saravia 

Director General of Irrigation (Deputy Ministry of Water Resources and Irrigation),

Ministry of Environment and Water, Bolivia; e-mail: luismarka70@gmail.com

In: Hiroshan Hettiarachchi and Reza Ardakanian (eds). Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples cUNU-FLORES 2016

Translated from Spanish to English

1. مياه الشرب والصرف الصحي الأساسي

على الصعيد الوطني، يحصل 80.8 في المئة من السكان في المساكن الخاصة على المياه، و52.7 في المئة لديهم مرافق وخدمات صحية أساسية في المنزل.

بين تعدادي عامي 2001 و2012، زادت إمكانية الوصول إلى المياه بمقدار ثنائي نقاط مئوية (72.8 إلى 80.8)، في حين زادت التغطية الصحية الأساسية بمقدار 11 نسبة مئوية (من 41.4 إلى 52.7) (المعهد الوطني للإحصاء 2013). وفي المناطق الحضرية، يعالج 30 في المئة من مياه الصرف الصحي التي تصرف في شبكات المجاري، بينما يتم تصريف الباقي في المسطحات المستقبلية.

في بوليفيا، يوجد في 84 بلدية من أصل 98 بلدية تضم سكاناً حجريين يزيد عددهم عن 2000 نسمة تملك محطات لمعالجة المياه العادمة (WWTPs) (وزارة البيئة والمياه 2013a).

ولا تعمل إحدى وثلاثون من أصل 84 محطة معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs بشكل سليم، أما بالنسبة الـ 53 محطة المتبقية (أكثر من نصفها) فتصل إلى معدل إزالة الملوثات يقل عن 50 في المئة.

وهذا يعني أن صحة السكان معرضة للخطر بسبب:

- قدم محطات معالجة مياه الصرف WWTPs.
- عدم كفاية ميزانية الإدارة السليمة لمحطات معالجة مياه الصرف WWTPs.
- عدم وجود خبرة في التشغيل والإدارة (O&M) من قبل مشغلي المحطة.

2. الري وإعادة استخدام المياه العادمة

وفقاً للتقديرات المتوقعة في عام 2012، فإن 32.5 في المئة فقط من سكان بوليفيا Bolivia يعيشون في مناطق ريفية في حين أن نسبة الـ 67.5 في المئة المتبقية يعيش في المناطق الحضرية. ويتطلب لهؤلاء السكان كمية كبيرة من الأغذية، ومياه الشرب الآمنة، والمرافق الصحية الأساسية. وفي بوليفيا Bolivia، تعاني 40 في المئة من الأراضي الوطنية من نقص في المياه لأغراض الري (أكثر من سبعة أشهر جافة) وأثر تغير المناخ يزيد من عدم اليقين بشأن توافر المياه لري المحاصيل. في عام 2012، كانت 11 في المئة فقط (303.000 هكتار) من الأراضي المزروعة مجهزة بنظام الري، و70 في المئة من الأراضي المروية تعتمد على استخدام المياه من الأنهار (التدفقات المتقلبة). وفي بوليفيا Bolivia، يُروى نحو 7000 هكتار من المياه العادمة؛ 53 في المئة من هذه المنطقة تقع في مدينة Cochabamba (وزارة البيئة والمياه 2013b).

تستخدم مياه الصرف الصحي (المعالجة أو غير ذلك) مصدراً متجدداً للمياه من أجل الري. وكثيراً ما يكون استخدامه عشوائياً دون معرفة بالآثار الصحية المحتملة التي قد تنتجها المحاصيل المروية من المياه المستعملة على المستهلكين النهائيين.

ويقدر أن هناك ما يقرب من 13.400 مصنع في بوليفيا، 94 في المئة منها صناعات صغيرة (من 1 إلى 10 موظفين)، و80 في المئة من هذه الصناعات تقع في مدن المحاور المركزي: Santa Cruz، El Alto، La Paz و Cochabamba (Bustamante 2002).

ويواجه سكان الأحواض السفلية المنخفضة مشاكل في كمية المياه وجودتها بسبب الأنشطة البشرية التي تجري في الحوض الأعلى التي تستفيد من كميات كبيرة من المياه وعودة المياه العادمة غير المعالجة إلى النظام الإيكولوجي للمياه العذبة.

3. الإطار القانوني لإعادة استخدام المياه المعالجة

لا توجد لدى بوليفيا Bolivia لوائح محددة بشأن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة وإدارة الري الزراعي. وينص الإطار التنظيمي البيئي للقانون رقم 1333 المتعلق بتلوث المياه على أن إعادة استخدام المياه العادمة الخام أو المعالجة من قبل ثلاثة أطراف يجب أن تأذن بها الحكومات الاتحادية عندما يبيّن الطرف المعني أن المياه المعاد استخدامها تستوفي النوعية المقررة بموجب اللوائح (الدولة متعددة القوميات بوليفيا 1992) (Plurinational State of Bolivia 1992).

لسوء الحظ، إنّ قوانين تلوث المياه ولوائحها لا تقدم منهجية واضحة لتصنيف الأحواض والمستطحات المائية. يجب على كلّ حكومة اتحادية أن تقترح تصنيف المستطحات المائية وفقاً لملاءمتها للاستخدام. أدى نقص المعرفة والمرافق (التحاليل المخبرية للبارامترات الأساسية ومراقبة جودة البيانات) إلى الحدّ من هذا التصنيف حتى الآن. وفي تشرين الأول 2012، سُنَّ وشُرِعَ القانون الإطاري للأرض الأم والتنمية الشاملة من أجل العيش الكريم. يهدف هذا الإطار إلى ضمان استمرارية القدرة التجديدية لمكونات حياة أُمّنا الأرض وأنظمتها، واستعادة المعارف المحلية وتعزيزها وتعلم الأجداد الموروثة في إطار تكامل الحقوق والالتزامات والواجبات (دولة بوليفيا متعددة القوميات، 2012).

ومن بين القواعد والمبادئ التوجيهية المقررة ما يلي:

- أي نشاط صناعي أو استخراجي ينطوي على استخدام المياه يجب، حسب الاقتضاء والحاجة، أن ينفذ، من بين أمور أخرى، آليات الاستخراج والمعالجة السليمة التي تشمل محطات المعالجة و/أو العمليات التي تقلل من آثار التلوث، فضلاً عن تنظيم تصريف النفايات السامة في مصادر المياه.
- إن تنظيم وحماية وتخطيط الاستخدام السليم والرشيد والعقلاني والمستدام للموارد المائية وإمكانية الوصول إليها واستثمارها، يمارس بمشاركة المواطنين ويحدد أولويات استخدام مياه الشرب للاستهلاك البشري.
- يلاحظ تنظيم وسيطرة ومراقبة البارامترات ومستويات نوعية المياه.
- يتمّ تعزيز الاستخدام المُستدام للمياه واستغلالها لأغراض إنتاج الأغذية وفقاً للأولويات والإمكانات الإنتاجية لمختلف المناطق.
- يتمّ اعتماد الممارسات والتكنولوجيات وابتكاراتها وتطويرها من أجل الاستخدام الفعال للمياه واستيعابها وتخزينها وإعادة تدويرها ومعالجتها.
- تتألف خطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية (PDES 2016-2020)، في إطار التنمية الشاملة من أجل العيش الكريم في دولة بوليفيا متعددة القوميات، من:
- الإطار الاستراتيجي وتحديد الأولويات للأهداف والنتائج.
- الإجراءات الواجب اتخاذها في الفترة الثالثة من الحكم في ظل الثورة الديمقراطية والثقافية، التي

وضعت استناداً إلى جدول الأعمال الوطني 2025 وبرنامج الحكومة للفترة 2015- 2020 (دولة بوليفيا متعددة القوميات 2016).

وفيما يتعلق بمسألة الصرف الصحي، تنصّ الخطة PDES على أنه بحلول عام 2020، ينبغي أن تبلغ المناطق الريفية والحضرية على التوالي 60 و70 في المئة من تغطية بالخدمات الصحية والصرف الصحي، وأن يكون الحد الأدنى الذي حدده نظام خطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية PDES مستويات مقبولة من خدمات الصرف الصحي في بوليفيا Bolivia. ويجب أن تشمل الإجراءات المتخذة لتحقيق هذا الهدف، من بين أمور أخرى:

– التوسع في خدمات مياه الشرب في المناطق الحضرية والريفية من خلال مشاركة المواطنين، والتكنولوجيا المناسبة، وملاءمة المجتمع في استخدامه وصيانته.

– وضع استراتيجيات متزامنة للإدارة البيئية ومراقبة نوعية المياه للاستهلاك البشري في المناطق الحضرية والريفية، من خلال تنفيذ برنامج مراقبة نوعية المياه في شركات خدمات المياه العامة (PWSCs). -زيادة تغطية الخدمات الصحية والصرف الصحي في المناطق الحضرية مع التركيز على إعادة استخدام المياه العادمة (الزراعة المقيّدة و/أو الطاقة) والمسؤولية المشتركة للسكان في استخدام النظام وصيانته بشكل سليم. - زيادة تغطية المجاري والصرف الصحي في المناطق الريفية بمشاركة المواطنين والتكنولوجيا المناسبة، مع مراعاة ثقافة المجتمعات المحلية.

– ترميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي وتحسينها، مع التركيز على إعادة الاستخدام (الزراعة المقيّدة و/أو الطاقة).

لقد تمّ اعتماد هذا العقد من السنوات على أنه «عقد الري» (2015-2025)، ووضعت خطط لإدراج إستراتيجية إعادة استخدام المياه للري الزراعي لمعالجة مشكلة تغير المناخ، بالإضافة إلى إنشاء ما يلي:

– تعزيز عملية تنفيذ الخطة الوطنية لمستجمعات وأحواض المياه والتركيز على الإدارة المتكاملة لموارد المياه في عمليات التنسيق المشتركة بين القطاعات وبين الحكومة المركزية والولايات الإقليمية المتمتعة بالحكم الذاتي.

– تعزيز المنصات والبرامج الاستشارية الإقليمية لتنسيق شؤون الري والإدارة المتكاملة لمستجمعات وأحواض المياه، مع التركيز على التكيف مع تغير المناخ.

4. اللجنة المشتركة لإعادة استخدام المياه لأغراض الري

في بوليفيا، تشكل اللجنة المشتركة كياناً يتيح مجالاً لتبادل المعلومات والتنسيق والتشاور بين القطاعات بشأن القضايا ذات الأولوية. ويجب أن تسهم هذه القضايا في وضع السياسات التي تهدف إلى الإدارة السليمة لمحطات معالجة المياه العادمة WWTPs وإعادة الاستخدام المُستدام لمياه الصرف الصحي للأغراض الزراعية. وقد أنشئت اللجنة المشتركة في عام 2009.

ومن أعضاء هذه الهيئة نائب وزير الموارد المائية والري؛ ونائب وزير مياه الشرب والصرف الصحي الأساسية؛

مديرو دائرة الري الوطنية؛ والخدمة الوطنية لاستدامة خدمات الصرف الصحي الأساسية (SENASBA)، فضلاً عن ممثلين عن Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) وغيرها من هيئات التعاون الدولي.

قامت اللجنة المشتركة، من خلال الدعم التقني والمالي المقدم من الوكالة الألمانية للتعاون الدولي GIZ، بتشجيع «دراسة استقصائية وخصائص إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الري في بوليفيا Bolivia»، بهدف وضع إستراتيجيات ومبادئ توجيهية قطاعية.

ومنذ عام 2011، نفذت بوليفيا وألمانيا والمكسيك المشروع الثلاثي المعنّون «دعم تحسين إعادة استخدام المياه المستعملة ومعالجتها وحماية مسطحات المياه مع التركيز على التكيف مع تغير المناخ» من أجل زيادة القدرات المؤسسية والتقنية لتعزيز استخدام مياه الصرف الصحي وإعادة تدويره، ووضع تدابير للتكيف في قطاع المياه للتخفيف من آثار تغير المناخ.

في عام 2014، أدى الالتزام الجماعي للبلدان الثلاثة إلى إنشاء مشروع ثلاثي جديد بين بوليفيا وألمانيا والمكسيك بعنوان «إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة لأغراض الري الزراعي»، الذي استمر نشاطه حتى كانون الثاني 2016. ويهدف هذا المشروع إلى تحسين إدارة مياه الصرف الصحي المعالجة لري المحاصيل.

ويعرض الجدول (1) أدناه ملخصاً للنتائج المحققة (وزارة البيئة والمياه 2015) خلال هاتين المرحلتين. وبدعم من البنك الدولي، تمّ تحليل إمكانية إعادة استخدام مياه الفضلات في ري المحاصيل في بوليفيا. واستند التقييم إلى التحليل التقني والاقتصادي لحالتي دراسة في Tarija و Cochabamba. وأظهرت نتائج دراسات الحالة هذه ما يلي:

- هناك إمكانية كبيرة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي بشكل آمن حلاً لمشكلة ندرة المياه في المناطق شبه القاحلة من البلاد ومحركاً لتنمية اقتصادها.
- أثبتت خزانات الاستقرار أنها قادرة على تلبية متطلبات الجودة للسماح باستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بطريقة آمنة وغير مقيدة لري المحاصيل. وبهذه الطريقة، ستعمل إعادة استخدام المياه العادمة على تحسين استخدام المياه وأمنيتها، وزيادة مساحة الأراضي القابلة للزراعة إلى الحدّ الأعظمي، وتمكين تبسيط أعمال التشغيل والصيانة في محطات معالجة المياه العادمة WWTPs.
- من الضروري التغلب على القيود التي من شأنها أن تهدد استدامة النظام على المدى الطويل (الاستياء العام للسكان المقيمين في المناطق المجاورة لمحطات معالجة المياه العادمة في البلد).

الجدول 1: ملخص النتائج المحققة

خط العمل	النتائج المحققة
التشريعات والتنظيم	- مسودة اللوائح الفنية بشأن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للري. - دليل تقني لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة. - دليل على اختيار وتصميم مشاريع معالجة مياه الصرف الصحي.
تنمية القدرات	- تمّ تدريب الفنيين البوليفيين في المكسيك على تطبيق معرفتهم في إعادة تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs. - تلقى الفنيون البوليفيون تدريباً على رصد نوعية المياه وقياسها. - دبلوم في معايير التصميم لمخلفات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs الموجهة لإعادة الاستخدام والتي استضافها المعهد المكسيكي لتكنولوجيا المياه (IMTA) والجامعة العليا في سان أندريه (UMSA).
مشاريع تجريبية لمعالجة مياه الصرف الصحي لإعادة استخدامها	- قام المستشارون المكسيكيون بمراجعة تصميمين لمشروعين لمعالجة مياه الصرف الصحي WWTPs في مدينة Cochabamba وتقديمها.

المصدر: وزارة البيئة والمياه 2015.

وكخطوة تالية، وبدعم من برنامج البنك الدولي للمياه والصرف الصحي، أُجريت دراسة بعنوان «الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية المرتبطة بممارسات إعادة استخدام المياه العادمة لأغراض إنتاجية في الأراضي المرتفعة» لجمع معلومات عن إعادة استخدام المياه في الزراعة وتشكيل عملية صنع القرار في السياسات المناسبة. عززت الدراسة إعادة استخدام المياه العادمة في الزراعة على النحو التالي: (أ) قياس مقدار التكيف مع تغير المناخ؛ (ب) الاستخدام المُستدام للمياه؛ (ج) تنفيذ مشاريع رائدة في هذا المجال.

وأعرب المزارعون الذين شملهم الاستطلاع عن استعدادهم ورغبتهم للتعاون في إدارة معالجة المياه وشبكة توزيعها، إما بتقديم مساهمات نقدية أو بتكريس ساعات من العمل لتشغيل النظام وصيانته. ومع ذلك، لا تزال المساهمات المالية التي يقدمها المزارعون في هذه المناطق إلى منظمات الري منخفضة جداً. ولهذا السبب، وعلى الرغم من الرغبة في التعاون، سيكون من الضروري تحديد آليات بديلة و/أو تكميلية لضمان الاستقرار المالي لأي برامج ومشاريع مخططة لإعادة استخدام المياه.

ومن المؤكد لزوم الحدّ من المخاطر الصحية من خلال زيادة تغطية معالجة مياه الصرف الصحي وتحسين أداء محطات معالجة مياه الصرف الصحي القائمة WWTPs. وهذا يتطلب استثمارات كبيرة في تجديد هذه المحطات. كما إنّ إنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصحي الجديدة WWTPs إلزامي، إلا أن ذلك يتطلب

خطة تنفيذ طويلة الأجل.

ولمواجهة المخاطر الكامنة في استهلاك المنتجات الزراعية المروية بمياه الصرف الصحي، يلزم اتخاذ تدابير تكميلية قصيرة الأجل إلى متوسطة الأجل، على سبيل المثال. تدابير منظمة الصحة العالمية (WHO) (تقييد المحاصيل، الري الموضوعي، وتحسين إدارة المحاصيل وما إلى ذلك). أكدت الدراسة الحاجة إلى بذل جهود كبيرة في مجال التوعية بالمخاطر «إدارة إعادة استخدام المياه الآمنة» وتثقيف المزارعين والتجار والمستهلكين. ويبدو أن الدعم التقني للمنتجين لدعم مبادرات مثل اختبار المحاصيل المروية باستعمال المياه أو إستراتيجيات التسويق المستخدمة في المحاصيل المروية في مياه الصرف الصحي إلزامية وضرورية.

5. الدروس المستفادة والفرص المتاحة

1.5. الخطط البلدية مع التركيز على المعالجة وإعادة الاستخدام

في بوليفيا Bolivia، جاءت الحاجة إلى بناء محطات معالجة مطلباً بيئياً حول الامتثال للتوصيات البيئية التي هي جزء من القانون رقم 1333. وللأسف، حتى الآن ليس هناك فهم واضح لاستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمساهمة مهمة لري الحدائق أو المحاصيل. خلال هذه العملية، في حين أن إدارة التمويل تدعم مرحلة البناء، لا توجد متابعة لإنشاء وحدات قادرة على إدارة محطات معالجة مياه الصرف الصحي وتشغيلها. فقط بالنسبة للبلديات التي تقع فيها معالجة مياه الصرف الصحي في نطاق اختصاصها، فمن الممكن جعل المعالجة إلزامية وتخصيص الموارد لتشغيل محطات المعالجة وصيانتها. يجب مراقبة جودة المياه بعناية في التدفق والسيطرة عليها في بوليفيا Bolivia. ويتطلب ذلك فنيي مختبرات بارعين مباشرة في المحطة مما يحسن في الوقت نفسه تشغيل وصيانة O&M محطات معالجة مياه الصرف WWTPs.

2.5. توليد حوافز للاستخدام الرشيد للمياه وإعادة استخدام المياه العادمة

لتشجيع الاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي، من الضروري تغيير طريقة محطات معالجة مياه الصرف الصحي والمحاصيل المروية وإعطائها مزيداً من الأهمية. وإحدى الطرائق هي إيجاد حوافز للممارسات البيئية الجيدة. ويمكن أن تعتمد هذه الحوافز على نوع إعادة الاستخدام الذي تتعرض له المياه العادمة المنزلية. ومن المهم ألا تدرج هذه الحوافز في ميزانية البلدية العادية. ومن الضروري إنشاء صندوق منفصل للحد من العبء الاقتصادي و/أو المالي الذي قد ينجم عن تصميم وتشغيل وصيانة محطات معالجة مياه الصرف الصحي وتشبيدها. ويمكن أيضاً إتاحة هذا الصندوق للصناعات التي تظهر ممارسات بيئية جيدة حيث يمكن دعم المعدل المعمول به.

3.5. تحديد بدائل إمدادات المياه

من المشاكل التي تؤثر على جزء كبير من بوليفيا تزايد ندرة مصادر المياه المستخدمة في الشرب. فالتغير المناخي يجعل من الضروري وضع احتياطات بشأن إمدادات المياه خاصة بالنسبة للمدن الكبرى التي يتركز فيها معظم السكان.

وتنشأ مشاكل أكبر في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية حيث لا توجد في العواصم الاتحادية أحواض للمياه داخل ولاياتها القضائية.

وهذا يقيدها عن اتخاذ القرارات في مجال حفظ الموارد المائية، وأي نية للبحث عن الموارد المائية للاستهلاك

البشري يجب أن يتم الاتفاق عليها على أساس كل حالة على حدة مع أولئك الذين يعيشون في المكان الذي يجب أن يكون الماء المستخرج.

وفي هذا السياق، يمكن تغيير نموذج المنافسة على استخدام المياه بين الشرب والري في بعض الحالات من خلال جعلها مكتملة، مع استبدال مياه الصرف الصحي المعالجة بشكل مفيد بالماء المستخدم حالياً في الري.

4.5. وضع ضوابط لمراقبة جودة المياه

حتى الآن، في نطاق القانون رقم 1333 المتعلق بالبيئة، لم يكن من الممكن إنشاء أي رصد مستقر للمسطحات المائية أو التصريف. ويتعلق تنظيم وضبط تلوث المياه بموجب الملحق المرفق (A) من هذا القانون بأربع فئات من الأحواض والمسطحات المائية اعتماداً على كفاءتهم وملاءمتهم -80 بارامتراً مع أقصى القيم المسموح بها في الأحواض والمسطحات المستقبلية، و 25 بارامتراً مع الحدود المسموح بها لتصريف المياه.

مع هذا العدد الكبير من البارامترات لاختبارها، وفي غياب الموظفين المتخصصين، يصح رصد التصريف في المسطحات المائية أمراً صعباً، إن لم يكن مستحيلاً.

وكبديل لذلك، من الممكن وضع برامج في الجامعات لتدريب المدققين والتقنيين البيئيين لهذا الغرض. وبمجرد تدريبهم، سيعود الموظفون المتخصصون إلى مدنهم وبيدؤون العمل في محطات معالجة مياه الصرف الصحي بعقود مضمونة، وبناء القدرات التي يمكن تطويرها على المستوى الريفي.

وعلاوة على ذلك، وللإضطلاع بمراقبة فعالة لنوعية المياه، يتعين تخفيض عدد البارامترات اللازمة لاختبارها إلى عدد يمكن إدارته، خاصة إذا كانت المعدات واللوازم المتاحة محدودة.

إنّ استنساخ وإعادة إنتاج القياسات هو شرط أساسي آخر. وهذا من شأنه أن يسمح بتحليل ومقارنة السلاسل الزمنية والنتائج الموثوقة.

5.5. تعزيز مكثف من أجل الاستخدام السليم لفوائد إعادة استخدام مياه المجاري والصرف الصحي

إنّ وجود محطات معالجة مياه الصرف الصحي WWTPs هو أمر ملموس ومعقول فقط إذا كان هناك نظام للصرف الصحي يتم التقاط المياه العادمة ونقله إلى مكان مشترك عام.

بناء محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الريفية عادةً ما تكون تجربة سلبية نظراً لسوء إدارة النظم الصحية وعرقلة شبكة الصرف الصحي من قبل أنواع مختلفة من الكائنات تؤدي إلى أعمال الصيانة المكثفة التي لا تتوفر على الفور في الموقع.

كما إنّ اعتراضات إنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصحي قوية أيضاً من سكان المناطق القريبة من موقع محطات معالجة المياه العادمة WWTP. ويؤكد هذا بشكل خاص عندما تكون المحطة قريبة من التجمعات السكانية الحضرية ويولد الروائح الكريهة.

ومن الواضح أنه لا يمكن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي دون وجود أنظمة صرف صحي مُدارة بشكل جيد ومحطات معالجة عملية وفعالة. ومن شأن عطل أو خلل أحد الجزأين أن يؤدي إلى رداءة نوعية المياه التي لا تسمح بإعادة استخدام المياه بصورة آمنة لأغراض الري. ومن الضروري، بمجرد بناء وإنشاء شبكة الصرف

الصحي، أن تكون لدى المنازل المعيشية روابط وظيفية وعملية معها. ولتحقيق ذلك، يجب أن يتحمل التمويل العام تكاليف التوصيلات المنزلية. حتى الآن، كانت محطات معالجة مياه الصرف الصحي وتكنولوجياها من الموضوعات الصعبة التي يتعين على المجتمع تقديمها نظراً لعدم ظهور أي تجارب إيجابية منها. لذا، هناك حاجة إلى محطات تجريبية تعمل بكامل طاقتها، ولكن قبل كل شيء، يجب أن تكون هذه المحطات قادرة على الحد من الروائح التي تنتجها مياه الصرف الصحي.

وبالإضافة إلى الكفاءة التكنولوجية، من الضروري أيضاً أن يتمّ بناء محطات معالجة مياه الصرف الصحي بقيم معمارية مقبولة جمالياً للمنطقة التي سيتمّ بناء المحطة فيها. وسيساعد ذلك سكان المنطقة المحلية على قبول البنية التحتية بشكل أفضل كجزء من المشهد الحضري وشبه الحضري.

6.5. وضع الأهداف الصحية ومعالجة المياه متعددة القيود

من أجل تحقيق تحسن كبير في نوعية المياه في بوليفيا Bolivia، وبالتالي صحة مواطنيها، يجب اتخاذ خطوات متعددة. ويتعين على صانعي السياسات والمشغلين التقنيين العمل معاً من أجل:

- تحديد التكنولوجيا المناسبة ومستويات المعالجة لمياه الصرف الصحي المنزلية وتأسيسها.
- تحديد تقنيات الري.
- تحديد المحاصيل التي يجب أن يقتصر ربيها على المياه.
- وضع اختبارات للتعرض للمخاطر البشرية من خلال استهلاك المحاصيل المروية بالمياه المُعاد استخدامها.

المراجع

References

- Bustamante, Rocio. 2002. “*Legislacion del Agua en Bolivia*” (in Spanish).
- Instituto Nacional de Estadística (National Statistics Institute). 2013. Press release. www.inec.gov.bo.
- Ministry of Environment and Water. 2013a. “*Inventario Nacional de Sistemas de Riego 2012*” (in Spanish). Cochabamba: PROAGRO programme (GIZ).
- Ministry of Environment and Water. 2013b. “*Sistematizacion Sobre Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales*” (in Spanish). La Paz: PROAGRO and PERIAGUA programme (GIZ).
- Ministry of Environment and Water. 2015. “*Informe del Taller de Evaluacion de Medio Termino (Report on Mid-term Evaluation Workshop)*” (in Spanish).
- Plurinational State of Bolivia. 1992. “*Ley de Medio Ambiente (Environment Act)*” (in Spanish). Law No. 1333.
- Plurinational State of Bolivia. 2012. “*Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien (Framework Law of the Mother Earth and Comprehensive Development for*

Living Well)” (in Spanish). Law No. 300.

Plurinational State of Bolivia. 2016. “*Plan de Desarrollo Económico y Social 2016 – 2020* (*Economic and Social Development Plan 2016 - 2020*)” (in Spanish).

Hiroshan Hettiarachchi

Reza Ardakanian, Editors

SAFE USE OF WASTEWATER IN AGRICULTURE: GOOD PRACTICE EXAMPLES

United Nations University Institute for Integrated Management of Material Fluxes and Resources (UNU-FLORES) promotes the Nexus Approach in managing three key environmental resources: water, soil, and waste. Wastewater management provides one of the best natural examples to demonstrate the usefulness of the Nexus Approach in managing these three resources. This book is an attempt to share what UNU-FLORES has learned from looking at examples across the globe on this subject. Seventeen interesting case studies gathered from around the world on wastewater reuse in agriculture are presented in this book. All cases provide first-hand information as they have been authored by the experts who implemented these cases or monitored the progress of them closely for years. The material is presented in three sections to improve readability. Section I presents five cases covering Technological Advances. Section II is dedicated for Health & Environmental Aspects and presents another five unique cases. With seven cases, Section III of the book provides a useful discussion on Policy & Implementation Issues.

الاستخدام الآمن للمياه العادمة في الزراعة: أمثلة من الممارسات الجيدة

معهد الأمم المتحدة للإدارة المتكاملة لتدفقات المواد والموارد (UNU-FLORES) يعزز نهج العلاقة بين إدارة الموارد البيئية الرئيسة الثلاثة: المياه والتربة والنفايات. توفر إدارة المياه العادمة واحدة من أفضل الأمثلة الطبيعية لإظهار فائدة نهج العلاقة في إدارة هذه الموارد الثلاثة. هذا الكتاب هو محاولة لتقاسم ومشاركة ما تعلمته جامعة الأمم المتحدة (UNU-FLORES) من النظر في أمثلة في جميع أنحاء العالم حول هذا الموضوع. ويرد في هذا الكتاب سبع عشرة حالة دراسة مثيرة للاهتمام من جميع أنحاء العالم حول إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة. وتوفر جميع الحالات معلومات مباشرة (مُستقاة من المصدر الأول)، حيث إنّ الخبراء الذين قاموا بتنفيذ هذه الحالات، قد قاموا بتأليفهم أو رصدوا تقدمهم عن كثب وبعبارة لسنوات. يتمّ عرض المادة في ثلاثة أقسام لتحسين سهولة القراءة. ويقدم القسم الأول خمس حالات تغطي التقدم التكنولوجي. القسم الثاني مخصص للجوانب الصحية والبيئية ويعرض خمس حالات فريدة أخرى. مع سبع حالات في القسم الثالث من الكتاب الذي يوفر مناقشة مفيدة حول قضايا السياسات والتنفيذ.

