



MADFORWATER الكتيب التقني لمشروع

وساهم فيه كل من: روبرتا لامادالينا، داريو
فراسكاري، نيكولاس كالوجيراكيس، ستاتيس
كيرياجو، أحمد راشد، عاطف جواني، امور شريف،
رضوان شكر الله، سارة روبن، كاثرين جيبيير،
جوشن فروبريش، نيكولا لامادالينا، وين تاو لي،
برونو مول، كونسويلو فاريلو اورتيجا، مارين
مولدر، فيليب كورفيني، محمد الحامدي، فيتو
فيليس اوريكيو

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITY OF BOLOGNA

جامعة بولونيا

معهد البحوث المائية - المجلس الوطني للبحوث في باري 2020

تطوير وتوسيع نطاق التقنيات المعنية بمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها في الدول الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط: مشروع MADFORWATER

حقوق الطبع والنشر للمؤلفين

يتم توزيع هذا العمل بموجب ترخيص المشاع الإبداعي - 4.0 /<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

المحررون: جامعة بولونيا - بولونيا 2020 ومعهد البحوث المائية - المجلس الوطني للبحوث، باري 2020

معرف الغرض الرقمي <http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/6560>

الرقم الدولي المعياري للكتاب: 9788854970380

الإشارة إلى: ر. لامادالينا، د. فراسكاري (المحرران) - الكتيب الفني لمشروع MADFORWATER، جامعة بولونيا، بولونيا ومعهد البحوث المائية - المجلس الوطني للبحوث، باري، 2020. معرف الغرض الرقمي: [unibo/amsacta/6560/10.6092](http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/6560). الرقم الدولي المعياري للكتاب: 9788854970380.

حصل هذا المشروع على تمويل من أفق 2020، برنامج الاتحاد الأوروبي للإطار للبحث والابتكار، بموجب اتفاق المنحة رقم 688320.



المحتويات

- 3- النموذج الموحد لتحقيق الاستفادة المثلى من الري بنوعيات مختلفة من المياه.....47
- 4- المخصبات الحيوية المبتكرة من أجل زراعة مستدامة في بلدان شمال أفريقيا49
- 5- رفع كفاءة نظم الري السطحي في مصر.....51
- 8- المحطات التجريبية لمشروع MADFORWATER للمعالجة المتكاملة لمياه الصرف وإعادة استخدامها في مجال الزراعة.....52
- 1- المحطات التجريبية لمعالجة مياه الصرف البلدية وإعادة استخدامها في محطة شُطْرانة في أريانة، تونس (المحطة الأولى) وفي أغادير، المغرب (المحطة الثالثة).....53
- 2. المحطة التجريبية الثالثة لمعالجة مياه صرف المنسوجات المصنوعة بتقنية GWash وإعادة استخدامها (نابل - تونس).....58
- 3- المحطة التجريبية المتكاملة الرابعة لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي وإعادة استخدامها في منطقة المنزلة - مصر.....61

- الاختصارات.....3
- 1- المقدمة.....5
- 2- الوضع الحالي المتعلق بمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها في الري وإدارة المياه في مصر والمغرب وتونس.....8
- 3- خلفية حول مشروع MADFORWATER9
- 4- الأهداف والمفهوم10
- 5- شركاء المشروع14
- 6- تطوير تقنيات معالجة مياه الصرف في مشروع MADFORWATER15
- 1- النهج المبتكرة لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية15
- 2- النهج المبتكرة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن معاصر الزيتون.....22
- 3- المراحل المبتكرة لمعالجة مياه صرف الناتجة عن مصانع النسيج.....28
- 4- النهج المبتكر لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة تعبئة وتغليف الخضروات والفاكهة...34
- 5- النهج المستدام لمعالجة وتثمين مياه قنوات الصرف.....40
- 7- تطوير تقنيات الري في مشروع MADFORWATER43
- 1- رشاش فعال بفوهات صغيرة، وضغط منخفض، ومقاوم للانحراف، متوافق مع مياه الصرف المعالجة.....43
- 2- جهاز توزيع مياه الري مقاوم للانسداد.....45

الاختصارات

BOD = Biological Oxygen Demand
CHCW = Cascade Hybrid Constructed Wetland
COD = Chemical O demand
CW = Constructed Wetland
CWP = Crop Water Productivity
DCW = Drainage Canal Water
DM = Dry matter
DO = Dissolved oxygen
DU = Distribution Uniformity
EC = Electrical Conductivity
EU = European Union
FAO = Food and Agriculture Organization
FBCW = Floating Bed Constructed Wetland
FC = Fecal Coliforms
FDA = Fluoresceine Diacetate Hydrolysis Activity
FW = Fresh Water
FWS = Free Water Surface
GBSW = Gravel Bed Subsurface Wetland
HCW = Hybrid Constructed Wetlands
HRT = Hydraulic Retention Time
M4W = MAD4WATER

MAC = Mediterranean African Countries
MENA = Middle East and North Africa
(MPN = Most probable number (MPN
MWW = Municipal Wastewater
MWW = Municipal Wastewater
MWWTP = Municipal Wastewater Treatment Plant
NTK= Total Kjeldahl Nitrogen
PGPB = Plant growth-promoting bacteria
PP = Pilot Plant
RDCW = Raw Drainage Canal Water
Semi-TDCW = Semi-Treated Drainage Canal Water
SHCW = Sequenced Hybrid Constructed Wetland
SIM = Safe Irrigation Management
SM = Suspended Matter
SP = Sampling Point
TC = Total Coliforms
TDCWT = Reated Drainage Canal Water
TMWW = Treated Municipal Wastewater
TN = Total Nitrogen
TOC = Total Organic Carbon
TP = Total Phosphorus
TSS = Total Suspended Solids
TTWW = Treated Textile Wastewater

مقدم

هايمل بحسو هايمل اب دادم إلإ نيب 2030 ماع لول حب ئئالمال في 40
ئئالمال في 20 فائزنتسا إلى تاری دقتلاری شت. ةمادتسم ةروصب
نكسلال ثلث لیل اوح زواجتي و ملالعلال في ةيفوجلل هايملال تانازخ نم
یوتحمل اعافترا عقوقتمل نم. هايملال جارختسا في ةمادتسالال دودج
2030 ماع یتح آبیرقت ناکم لک في ةيئالمال تاحطسملل یوضعلال
تاریغلل ةجيتن هايملال ةمزأ مقافت إلى خانملل ريغت یؤی فوسو
رفاوتب ةعارزلل رثأتت. اهرفاوتو ةيئالمال دراوملل عیزوت في
70 ةبسنب رثأتست اهنأ ثيحي، ريكب لکشب اهتي عونو هايملال
ةعارزلل ضرعتتو. ملالعلال في ةبذعلل هايملال تابوحس نم ةئالمال في
2050 ماع لول حب ءاذغلل جاتنل ةفعاضمل ةجالل في لثمتي يدحتل
ةدايز تقولال سفن في بلطتي فوس یجولويبل داصتقالال أن إلإ
جئاتنلل نوكتسو. ةيئاذغلل ريغل ةيعارزلل تاجنتملل نم جاتنلإ
صاخ وحن إلى ةلص تاذ اهتدوج يدرتو هايملال ةردن إلى ةبترتمل
رطاخلل ريقرتلل آقفو. ايقيرفأ لامشو طسولأ قرشلل ميلى في
لثمت، يملالعلال يداصتقالال یدنتملل نع رداصلال 2015 ماعل ةيملالعلال
ايقيرفأ لامشو طسولأ قرشلل ةقطنم في رطخ ربكأ هايملال ةمزأ
أنرتقم ينكسلال ومنل یؤی نأ عقوقتمل نم ثيحي، ديغب دح إلى
في 47 عقاوب هايملل ةجالل في ةدايز إلى يداصتقالال ومنل اب
ايقيرفأ لامشو طسولأ قرشلل ربتعيو. 2035 ماع لول حب ةئالمال
یللمال هايملال بحس زواجتي ثيحي، ملالعلال في آفاج ميلى اقألل رثكأ
میللىل ررضتي. ةئالمال في 30 رادقمب ةدجتمل ةيئالمال دراومل
لخادتو ةيفوجلل هايملال فائزنتساو رخصتال نم ريكب وحن إلى
هايملال ةيعون روهدتو ةيفوجلل هايملال تانازخ في رجبال هايمل

كلذ في امب، عيملجل قتلعل إلى اهيلل ظافحللو اهتيامحو
دقو. ةمداقلل لایجلل نمألل ةايحلل رهوج اهرابتعاب، تاسسؤلل
آقفو، ةعارزلل عاقل في هايملال ةرادلل ثيدحلل راطلإ یلالتللب رهظ
تاطارثشال في، ةيئبلل ةياملحو ءافكللب قلعتت ةمراصر يرياعمل
في لثمتملل ديدهتال أم. ةيئطولل تاعيزشتللو یبورولأ داحتال
حضتت يتللو هايملال ةرود إلى ءن ةمجانل راثأللو، خانملل ريغت
بلطتي في، طسوتملل ضيبلأل رجبال ةقطنم في صاخ لکشب
كانه، یلالتللبو. اهتاسايسو هايملال ةرادل في لمكتم جهن عابتل
ةمكوحلل جدامن إلى ةمئاق تاسايس عضو نم دكأتلل ةرورض
في ذخلل عم، ةفلتخملل مادختسالل تاجايحتل عم ةقفاوتمل
اهرفاوتو هايملال كالهتسا تاهجوت رابتعلال
نأ داقتعال لهسلال نمو، ضرألل بكوک نم ةئالمال في 70 هايملال يطغت
محتسنو اهرشن يتل - ةبذعلل هايملال نأ إلإ. مودت فوس اهترفو
نأ ثيحي، ةيغلل ةحيحش - انعرامو انلوقح اهب یورنو اهب
لکشتي ةبذعلل ملالعلال في هايملال نم طقف ةئالمال في 3
اهمادختسالل انل حاتل ال وأ ةيديلل رهاون ةئيي في اهاثلل
رخآ ببس أل
لوصحلل مهصقني صخش رايلم 2.5 كانه لازي ال
نأ عقوقتمل نمو؛ ةيحصلل قفارمللو هايملال إلى
لولللب هايملال ةردن نم صخش رايلم 3 يناعي
عقاوب ةوجف ثودح عقوقتمل نأ امك، 2050 ماع

يوضع على وتحمّل من دحتو، عارزلا يف دمسأل
أددع نأ فسؤملا من. هايمل يف تايذغملا من
لامشو طسوأل قرشل لود من طقف أليلق
قريبك جمارب ذيفنتب تماق ايقيرفأ
فدهتو. فرصلا هاي م ادختسا دعال
ضفخ لىل دديدع قىلود قىثحب تاعورشم
ضيبأل رحبل ملىلق يف يئاملا داهجإل
MAD-فورواتر عورشم فدهي. يقيرفأل طسوتمل
قلم اكتم قعوم جم ريوط لىل FORWATER
قجالع م زيزعتل قراذل او ايجولونكتل تاودأ من
قجالع مل فرصلا هاي م ادختسا دعالو فرصلا هاي
ضعب لىل عورشم لكريو. عارزلا يف هايمل قءافكو يرلا يف
ضيبأل رحبل لىل قيقيرفأ لود ثالثل يف قئىاملا ضاوحأل
ققطنملا لودلا هذه لثمت. سنوتو برغم لوصم :طسوتمل
من ايقيرفأ قراقو طسوتمل ضيبال رحبل نيب قكرتشملا
لىلحملل جاتنلالو، (ناكسلل من قئىاملا يف 74) ناكسلل ددع ثيح
يف 88) اهجاتنل متي يتل فرصلا هاي مو (قئىاملا يف 64) لىل امجل
صئاصخلالو، (قئىاملا يف 50) فرصلا هاي م قجالع مل ددعو، (قئىاملا
دراوملا لداعت :هايمل قردنب قروكؤملا لودل زيمتت. قىجولورديلا
غلابلل جرحل دحلل من قئىاملا يف 60 قىونسلل ددجتمل قئىاملا
يئىاملا داهجإل ضرعتت يتل قطنم لمل امعلل يف /بع كم رتم 1000
نهارلا تقولل يف فرصلا هاي م من طقف قئىاملا يف 7 م ادختسا داغىو
من قعوم جم ريوطتب MADFORWATER عورشم من فدهلا قلىعتي

طسوأل قرشل لود يف ددجتمل هايمل من قىونسلل دراوملا تغلب
ماع يف (طسوتملل يف درفلل /بع كم رتم 525) ايقيرفأ لامشو
رتم 1000 ب ردقملا هايمل قردنل جرحل دحلل فصنل لواح 2010
ققلطملا هايمل قردنل جرحل دحلل من رثكأ داكلابلو، درفلل /بع كم
قئىمنتل من هايمل قردنل دحت. درفلل /بع كم رتم 500 هرادقمو
86 مدختست يتل عارزلا يف اميسال، قىعامتجالل قىداصتقالل
لامشو طسوأل قرشل ملىلق يف هايمل تابوحس من قئىاملا يف
ملىلقإل اذه يف أودحم فرصلا هاي م قجالع م قاطن لازيال. ايقيرفأ
فرصلل هاي م زيمتت، كلذل بناج لىل. (طسوتملل يف قئىاملا يف 43)
يفكي امب قئىسيئرل تاؤلوملا قلازى مدعب أديدحت قجالع مل
لواحل عوسو قئىثالثل قجالع ملل يف رامثتسالل صقن ببسب كلذو
تالهؤم فعضو رركتملل ابرهكلل عاطقنل عىباتملاو قئاىصلل
نع جتنل نأ ققوتملل من. قجالع ملل تاطح م جح صىلقتو نىللمل
ضافخنا ايقيرفأ لامشو طسوأل قرشل ملىلق يف خانملا ريغت
قئىحطسلل هايمل رخبب قدايزو قبرتلا قىوطرو راطملا لوطه
كلت ببستت نأ ققوتملل من. لىلصاحم ل قئىاملا تاجاىتالو
قىونسلا دراوملل ضفخ يف، نىناكسلل ومنلاب قنرتقم، تارىغتلا
ماع لولحب درفلل /بع كم رتم 414 لىل لصتل ددجتملل هايمل من
هايمل قمزأ قحفاكمل قلمتحم قديدع تايچىتارتسلا منضو 2025
قداعو قىچىتارتسلا قجالع ملل فرصلا هاي م ادختسا دعال لثمت
هايملابل نومأم دادمل رفوت ثيح :عساو قاطن لىل عىامتسارد تم
بحس للىقتو، لىلحملل قىداصتقالل ومنل ززعتو، زجعل تالاح انأ
كالهتسا ضفختو، راهنألل قىفوجلل هايمل تانازخ من هايمل

ةي هيجوتال طوطخال ريوطت مت امك .طسوتملا ضيبأل رحبال
لولحلل ذي فنت لجأ نم ةي داصتقال تاسايسلاو تاودأل أنشب
ةي قي رفال لودلا يف لاعف وحن ىلع هايمل ةرادل حرتقملا
عورشم ءاك رش نوكتي .طسوتملا ضيبأل رحبال ىلع ةلطملا
دحاوو ايقيرفال لامش نم مهنم ةسمخ ،أكيرش 17 نم MADFORWATER
ينيصلال نم

ىجرئ ،عورشملا أنشب تامولعمل نم ديزملا ىلع لوصحلل
انبل لاصلال وأ www.madforwater.eu :ينورتكلال عقوملا ةرايز
ىلع :dario.frascari@unibo.it

هايمل ةجلاعم زيزعت لجأ نم ةلمكتملا ةرادل ةي نقتال لولح
لاجم يف هايمل ءافكو يرلا لاجم يف اهمادختسا ةداعل ةفرصل
فيكتو عورشملا ريوطت مت .رصموم برغملاو سنوت يف ةعارزل
ةثالثل ةيسيئرل ةيئاملا ضاوحأل اب ةصاخلا تاي نقتلل آقو
يتلا طسوتملا ضيبأل رحبال ىلع ةلطملا ةي قي رفال لودلا يف
مادختسالل ىقرت ةدوج هايمل جاتنل لجأ نم رايتخال اهيل عفو
ةي عنصلال فرصلال هايملو يعارزلل فرصلال تاونق نم يرلا لاجم يف
هايمل ءافكب ةصاخلا تاي نقتالو ةي عارزلل تا عنصلال نع ةجتانلالو
اهيل ةقداصلال تمت ييتلاو ،ةعارزلل لاجم يف اهمادختسا ةداعل
يتلا تاي نقتال فييكت متو .ربتخملا ىوتسم ىلع أيئدبم
ةبي رجت ةيناديم تاطحم عبرا يف اهدامتعاو رايتخال اهيل عفو
متو .يلمكك وحت ىلع اهمادختسا ةداعل /فرصلال هايمل ةجلاعمل
ةداعل ةفرصلال هايمل ةجلاعمل ةلمكتملا تاي جيتارتسال ريوطت
طوطخل رادصل متو اهرايتخال مت ييتلا ضاوحأل اهمادختسا
ةرادل ةلمكتملا تاي جيتارتسال ريوطت ةمزالل ةي هيجوتال
ىلع ةلطملا ةي قي رفال لودلا يف ىرخأ ضاوحا يف هايمل
يف ذخال عم ،ثالثل ةفدهتسملا طسوتملا ضيبأل رحبال
ةدايزللو خانملا ريغت ب ةصاخلا تاهوي راني سلا رابتعال
ةمءالملا مبيقت متو .ي داصتقالا ومنللو ةينكسل
اهريوطت مت ييتلا تاي نقتلل ةينفلاو ةي عامتجالا
قايسلا ب قلعتي امي ةي نقتال ريغ تاودأللو
ةينعمل فارطأل عم كارتشالاب ،يلي حمل
ىلع ةلطملا ةي قي رفال لودلا نم ءاك رشلاو

2- الوضع الحالي المتعلق بمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها في الري وإدارة المياه في مصر والمغرب وتونس

فرص ال ه ايم ة بسن لداعت ، فرص ال ه ايم ة ج ل اعم ب ق ل ع ت ي ا م ي ف
ي ف ة ئ ا ل م ي ف 57 ا ه ج ا ت ن ا م ت ي ي ت ل ا فرص ال ه ايم ة ج ل اعم ل ا
ر و ط ت م ع ض و ل ا ن ا ظ ح ال ي ا م ن ي ب ، ب ر غ م ل ي ف ة ئ ا ل م ي ف 24 ر ص م
ع ض خ ي . ة ئ ا ل م ي ف 79 ة ب س ن ل ا غ ل ب ت ث ي ح س ن و ت ي ف ا ي ب س ن
ل و د ل ا ي ف (ة ئ ا ل م ي ف 90 - 75) ة ج ل اعم ل ا فرص ال ه ايم ة ن م ر ي ب ك ء ج
ر ش و م ي ف ل ث م ت م) ة ي و ض ع ل ا د ا و م ل ا ة ل ا ز ل ة ي و ن ا ث ة ج ل اعم ل ا ث ا ل ل
ي ق ب ت م ل ا ء ج ل ا ض ر ع ت ي ا م ن ي ب ، (ي و ي ح ل ا ن ي ج س ك ا ل ا ل ع ب ل ط ل ا
ة ي . ث ا ل ل ا ت ا ج ل اعم ل ا ذ ي ف ن ت م ت ي ا م ا ر د ا ن و . ط ق ف ة ي ل و ا ة ج ل اعم ل
ة ي و ن ا ث ل ا ة ج ل اعم ل ا ي ف ة م د خ ت س م ل ا ة ي س ي ر ل ا ا ي ج و ل و ن ك ت ل ا
ي ف ة ي ج و ل و ي ب ل ا ض ا و ح ا ل ا و ر ص م و س ن و ت ي ف ة ط ش ن م ل ا ا م ح ل ا ي ه
ه ايم ة ج ل اعم ب ة ط ب ت ر م ل ا ل ي غ ش ت ل ل ك ل ا ش م ه ا ن م ض ت ت و . ب ر غ م ل
ة ج ل اعم ل ا ي ف ة ي ف ا ك ل ا ر ي غ ة ي و ه ت (1) : ل و د ل ا ك ل ت ي ف فرص ال
ة : ا ط ا ل ل ا ط ه ا ب ل ا ة ف ل ك ت ل ا و ا ء ا ب ر ه ك ل ا ع ا ط ق ن ا ب ب س ب ، ة ي و ن ا ث ل
ت ا ن و ك م ل ا ء ر ش ل ا ع ف ت ر م ل ا ة ف ل ك ت ل ا و ر ي ب ك ل ا ر ي خ ا ت ل (2)
ب ب س ب ة ي و ن ا ث ل ا ة ج ل اعم ل ا ل ش ف (3) : ت ا د ع م ل ا ح ا ل ص ل ا ة م ز ا ل ل
ة ج ل اعم ل ا ر ي غ ة ي ع ا ن ص ل ا فرص ال ه ايم ا ه ل م ح ت ة م ا س ت ا ب ك ر م د و ج
ة ج ي ت ن ا ه ت ق ا ط ق و ف ل م ع ت ي ت ل ا فرص ال ه ايم ة ج ل اعم ت ا ط ح م (4)
فرص ال ه ايم ة ي ع و ن ل د ص ر ل ا ة ي ف ا ك م د ع (5) : ع ي ر س ل ا ي ن ا ك س ل ا و م ل ا

ة . ن ف و ا ة ي و ن ا ق ت ا ق و ع م ب ب س ب ة ج ل اعم ل ا
ا ي ج و ل و ن ك ت ل ا ع ا و ن ا ن ا ف ي ر ل ا ب ق ل ع ت ي ا م ي ف و
ي ف ة ي ا غ ل ل ا ع و ن ت م ا ه ر ا ش ت ن ا ي و ت س م و
ن ا ن ي ح ي ف : ة س ا ر د ل ا ل ح م ث ا ل ل ا ل و د ل ا
ي ف ة ع و ر ز م ل ا ة ح ا س م ل ا ن م ة ئ ا ل م ي ف 98
ة ب س ن ل ا ض ف خ ن ت ، ي ر ل ل ا ة ز ه ج م ر ص م
ه ة ئ ا ل م ي ف 10 و 16 ل ر ي ب ك ل ك ش ب
ل ع ل س ن و ت و ب ر غ م ل ا ن م ل ك ي ف ط ق ف
ل ث م ، ي ح ط س ل ا ي ر ل ا م ظ ن ل ث م ت . ي ل ا و ت ل
ر م غ ل ا ب ي ر ل ا و م ا ل ث ا ل ا ب ي ر ل ا و ط و ط خ ل ا ب ي ر ل ا
ط س و ت م ل د ا ع ي ث ي ح ، ا ع و ي ش ي ر ل ا ت ا ي ن ق ت ر ث ك
م ظ ن ا د خ ت س ا ل ا ز ي ا ل ، ل ب ا ق م ل ا ي ف و . ة ئ ا ل م ي ف 60 ا ه ت ا ف ك
ط ي ق ن ت ل ا ب ي ر ل ا م د خ ت س ي : ل و د ل ا ه ذ ه ي ف د و د ح م ي ع ض و م ل ا ي ر ل ا
ة ي و ر م ل ا ة ح ا س م ل ا ن م ة ئ ا ل م ي ف 20 ي ف (ة ئ ا ل م ي ف 90 ل ق ح ل ا ء ا ف ك)
ي ف 75 ء ا ف ك) ش ر ل ا ب ي ر ل ا م د خ ت س ي و ، (ث ا ل ل ا ل و د ل ا ط س و ت م)
ل ك ت م ا ق د ق و . ة ي و ر م ل ا ة ح ا س م ل ا ن م ط ق ف ة ئ ا ل م ي ف 14 ي ف (ة ئ ا ل م
و ح ن ل ع ط ي ق ن ت ل ا ب ي ر ل ا م ظ ن ب د ا د م ل ا م ع د ب س ن و ت و ب ر غ م ل ا ن م
ت ا د ع م ل ل ا ة ي س ي ر ل ا ة ي ع و ن ل ا و ة ن ا ي ص ل ا ف ع ض ب ب س ب ه ن ا ل ا . ر ي ب ك
د ا ع و ، ن ي م ا ع و ا م ا ع د ع ا ه ت ا ف ك ت م د ع ن ا و ا م ظ ن ل ا ه ذ ه ب ل غ ا ط ل ع ت
د ا ع م ل ا ة ج ل اعم ل ا فرص ال ه ايم ل د ا ع ت . ي ح ط س ل ا ي ر ل ل ا د د ج م ن و ع ر ا ز م ل
ي ف ا ه ج ا ت ن ا م ت ي ي ت ل ا فرص ال ه ايم ة ن م ة ئ ا ل م ي ف 0.3 ا ه م ا د خ ت س ا
ح و ا ر ت ت و . س ن و ت ي ف ة ئ ا ل م ي ف 24 و ر ص م ي ف ة ئ ا ل م ي ف 4 و ، ب ر غ م ل
ن م ة ئ ا ل م ي ف 2 و 1 ن ي ب ا م ة ج ل اعم ل ا فرص ال ه ايم ب ي ر ل ا ة ح ا س م

النوع	مشروع للبحث والابتكار
منسق المشروع	جامعة بولونيا Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
الشركاء المشاركون	17 شريكاً موزعون على 6 دول في الاتحاد الأوروبي، و3 دول مُختارة من إقليم البحر الأبيض المتوسط الأفريقي، وسويسرا والصين
التمويل	برنامج أفق 2020 للاتحاد الأوروبي – المياه 2015 – 5c Horizon 2020 WATER-5c-2015
المدة	1 يونيو/ حزيران 2016 – 30 نوفمبر/ تشرين الثاني 2020

والصناعية، وكذلك من قنوات الصرف الزراعي. قام مشروع MADFORWATER في نفس الوقت بتطوير تقنيات جديدة لكفاءة المياه وإعادة استخدامها في الزراعة. ساعد التعاون الوثيق مع الأطراف وأصحاب المصلحة المحليين في تصميم الحلول المقترحة على نحو ملائم للسياق المحلي. كما يهدف المشروع إلى الخروج بأثر هام وطويل الأجل في مصر والمغرب وتونس من حيث معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها، وبالتالي تعزيز الإنتاج الزراعي وخفض استغلال إحتياجات المياه العذبة والحد من تلوث المياه.

4- الأهداف والمفهوم

يهدف مشروع MADFORWATER إلى تحقيق أهداف برنامج أفق ٢٠٢٠ للاتحاد الأوروبي في دعوته إلى العمل في إطار موضوع المياه WATER-5c-٢٠١٥، وذلك من خلال الاهتمام بتطوير حلول تقنية وغير تقنية لإدارة الموارد المائية في تونس والمغرب ومصر. الشركاء في مشروع MADFORWATER يشتركون في وضع حلول وتصميمها حسب الحاجة في مجال التكنولوجيا والإدارة لمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها بكفاءة في الزراعة في شمال أفريقيا. تهدف التقنيات الجديدة التي تم تطويرها، وتكيفت مع السياق الاجتماعي والفني للدول المشاركة الثلاث، إلى إنتاج مياه بنوعية مناسبة للري من مياه الصرف البلدية

يهدف مشروع MADFORWATER بشكل عام إلى تطوير مجموعة متكاملة من أدوات التكنولوجيا والإدارة من أجل تعزيز معالجة مياه الصرف وإعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في الري وكفاءة المياه في الزراعة، مع تحقيق الهدف النهائي بخفض قابلية المياه للتأثر في بعض الأحواض في مصر والمغرب وتونس. تعامل مشروع MADFORWATER مع التكامل بين جانب العرض (معالجة مياه الصرف) والطلب (إعادة استخدام المياه في الزراعة) وتكييف الحلول المقترحة تبعاً لذلك وفقاً للسياق المحلي، وذلك عن طريق:

الزراعة، والري الذي يمثل المصدر الأول للطلب على المياه في الدول الأفريقية الواقعة على البحر الأبيض المتوسط. وبينما يهدف المحور الأول إلى زيادة كمية المياه المتاحة من النوعية المناسبة للري، يهدف المحور الثاني إلى تعزيز إعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الري وكفاءة استهلاك المياه في الزراعة، مع ضمان الصحة الجيدة للتربة. يتميز هذان المحوران في مجملهما بمفهومين أساسيين: التكيف والتكامل. يُطبق نهج التكيف على نحو صارم على تطوير تقنيات واستراتيجيات الإدارة للمياه والأراضي حتى تصبح ملائمة فنياً وثقافياً للسياق البيئي والاقتصادي الاجتماعي في الدول المستهدفة بإقليم البحر الأبيض المتوسط الأفريقي. يتضمن هذا النهج المشاركة القوية لأصحاب المصلحة في هذه الدول، ويقدمون رأيهم بانتظام بشأن التدابير التي يتم اتخاذها للتكيف، وبشأن القبول الاجتماعي للحلول المقترحة. إلى جانب ذلك، يُطبق التكامل في المقام الأول بين المحورين بواسطة سلسلة من المحطات التجريبية حيث يتم معالجة أنواع مختلفة من مياه الصرف باستخدام تقنيات مشروع MADFORWATER وإعادة استخدامها لأغراض ري المحاصيل النمطية في الدول الثلاث المستهدفة، وذلك باستخدام تقنية الري المكيفة لاستخدام مياه الصرف المعالجة. يُطبق نهج التكامل أيضاً داخل كل محور من محاور المشروع، مع تحقيق التكامل بين تطوير التقنيات وأدوات دعم القرار واستراتيجيات الإدارة للمياه والأراضي.

يتكون مشروع MADFORWATER من 3 مراحل أو مجموعة من الأنشطة:

1. تركيب وتعظيم كفاءة أربع محطات تجريبية ميدانية للمعالجة المتكاملة لمياه الصرف وإعادة استخدامها بكفاءة في الزراعة؛
 2. نهج تشاركي ومتعدد التخصصات لتصميم حلول في مجال التكنولوجيا والإدارة، يتم التوصل إليه بواسطة إطار تعاون دولي يتميز بالتعاون الراسخ بين الاتحاد الأوروبي وشركاء الدول الأفريقية في البحر الأبيض المتوسط؛
 3. حوار قوي بين شركاء المشروع والعديد من أصحاب المصلحة الدوليين وفي الدول الأفريقية في البحر الأبيض المتوسط من المشاركين في المجلس الاستشاري لأصحاب المصلحة، من أجل توسيع نطاق ملائمة الحلول المقترحة فيما يتعلق بالسياق المحلي، وبالتالي الأثر الطويل الأجل المتوقع لتقنيات مشروع MADFORWATER واستراتيجيات إدارة المياه وسياساتها.
- تمت ترجمة الهدف الشامل لمشروع MADFORWATER إلى الأهداف المحددة التالية: (1) النهوض بعملية تحديد أوجه القصور من حيث كمية المياه ونوعيتها في مصر والمغرب وتونس وتطوير أداة تتكيف مع السياق المحلي لتقييم قابلية المياه للتأثر حتى يتم استخدام هذه الأداة في تقييم الفعالية الممكنة لاستراتيجيات إدارة المياه على مستوى الأحواض. (2) تطوير تقنيات و/أو تكيفها مع السياق المحلي لمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدام مياه الصرف المعالجة الري واستخدام المياه بكفاءة في الزراعة. (3) تطوير استراتيجيات لإدارة المياه والأراضي على مستوى الأحواض، تتعلق على نحو وثيق بتقنيات المشروع. (4) رفع مستوى بناء القدرات في الدول المستهدفة فيما يتعلق بالحلول المقترحة والقبول الاجتماعي لإعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في الزراعة.
- يستند تحقيق هذه الأهداف على محورين: معالجة مياه الصرف، التي تم اختيارها كمصدر هام للمياه لأغراض

الدراسة، والتي تشمل جزء كبير غير معالج.

2. مياه صرف صناعة النسيج، التي تم اختيارها باعتبارها نوع هام من مياه الصرف الصناعية نظراً

لأهمية صناعة النسيج وموفا السريح في الدول المستهدفة الثلاث في أفريقيا والمطلة على البحر الأبيض المتوسط (يساهم إنتاج النسيج بحوالي 6 في المائة من الناتج المحلي الإجمالي في مصر، و7 في المائة في المغرب وتونس). يقدر إنتاج مياه صرف صناعة النسيج بـ 48 مليون متر مكعب/ في العام في مصر و2.8 مليون متر مكعب/ في العام في تونس و2.7 مليون متر مكعب/ في العام في المغرب (5 - 7 في المائة من إجمالي مياه الصرف الصناعية التي

يتم إنتاجها في الدول المستهدفة الأفريقية والمطلة على البحر الأبيض المتوسط).

3. تم اختيار نوعين من مياه الصرف الصناعية الزراعية بناءً على أهميتها الكمية والنوعية في الدول الثلاث في إقليم البحر الأبيض المتوسط الأفريقي، وكذلك بناءً على عدم وجود جدوى اقتصادية على النطاق الصناعي لمعالجتها:

a. مياه صرف معاصر الزيتون، التي تحتوي على تركيز عالي من الفينول (0.5 - 18 جم/ لتر) ومؤشر الطلب الكيميائي للاكسجين (20 - 70 جم/ لتر)، وتتميز بإنتاج مرتفع في الدول المستهدفة الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط: تونس 1.2 مليون متر مكعب/ في العام والمغرب 3.5 مليون متر مكعب/ في العام ومصر 140 ألف متر مكعب/ في العام. ارتفاع محتوى البولي كربونات (0.1 - 18 جم/ لتر) يجعلها سامة للنبات. وهكذا، وعلى الرغم من تصريف مياه صرف معاصر الزيتون في الأغلب مباشرةً في حقول أشجار الزيتون، منعت أغلب الدول مؤخراً هذه الممارسة، وبالتالي فرضت معالجة مياه صرف معاصر الزيتون.

• مرحلة التحليل، التي تطور الأدوات لأغراض تحليل أوجه قصور المياه فيما يتعلق بكل من مجالات إمداد المياه والحاجة للمياه على مستوى القطر وعلى مستوى الحوض؛

• مرحلة التكنولوجيا، المخصصة لتطوير التكنولوجيا وتكييفها من أجل معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها في الزراعة؛ تم البحث في عدد كبير من تقنيات معالجة مياه الصرف والري، كل على حدة على مستوى المختبر، وذلك من أجل فحص عدد كبير من الحلول المحتملة وتحديد أكثر الحلول الواعدة من حيث الأداء والأثر البيئي والتكلفة والفوائد والتكيف مع السياق المحلي، وبعد ذلك تم دمج بعض تقنيات معالجة مياه الصرف والري بالمياه في 4 محطات تجريبية ميدانية، وبالتالي زيادة نطاق تكيف التكنولوجيا وتكامل مجال الإمداد بالمياه والطلب عليها؛

• مرحلة التنفيذ، التي تضمنت الأنشطة لتعظيم الأثر الطويل الأجل للمشروع، مثل استراتيجيات إدارة المياه والأراضي، والتوصيات الخاصة بالسياسات، وبناء القدرات، والاستغلال الصناعي لمخرجات المشروع.

يهتم هذا الكتيب بعرض النتائج الرئيسية التي حققها مشروع MADFORWATER في إطار مرحلة التكنولوجيا. يقدم القسم السادس على وجه الخصوص النتائج التي تم التوصل إليها من جراء تطوير تكنولوجيا مياه الصرف والري وتكييفها على نطاق المختبر، بينما يعرض القسم السابع النتائج التي تم تحقيقها في المحطات التجريبية الأربعة للمعالجة المتكاملة لمياه الصرف وإعادة استخدامها في الزراعة.

تناول مشروع MADFORWATER أربع فئات من مياه الصرف تم اختيارها بناءً على أهميتها من الناحية الكمية والنوعية في الدول المستهدفة الثلاث، بهدف إنتاج مياه من نوعية مناسبة للري بناءً على الأساس المنطقي الموضح فيما يلي:

1. مياه الصرف البلدية، التي تمثل 82 - 92 في المائة من إجمالي مياه الصرف التي يتم إنتاجها في الدول الأفريقية الواقعة على البحر الأبيض المتوسط موضوع

b. مياه صرف تعبئة الفواكه والخضروات، التي يتم إنتاجها خلال عملية تعبئة الفواكه والخضروات المصدرة من الدول المستهدفة الأفريقية والمطلّة على البحر الأبيض المتوسط. تمثّل مياه الصرف الناتجة عن تعبئة الفواكه والخضر أمراً يثير القلق، في المقام الأول بسبب التركيزات الكبيرة من الفطريات المختلفة، لاسيما تيابندازول (0.8 – 1.5 جم/ لتر) وإمازاليل (0.25 – 0.5 جم/ لتر) وجوازانتين (0.6 – 1.2 جم/ لتر) واورتوفينيل فينول (1 – 1.2 جم/ لتر).

4. بالنسبة لمصر، اهتم مشروع MADFORWATER بمياه قنوات الصرف الزراعي التي تجمع إلى جانب الصرف الزراعي أغلب مياه الصرف البلدية والصناعية في منطقة الدلتا. وهي تحتوي على مستويات منخفضة من مؤشرات الحاجة الحيوية للاكسجين (0.02 – 0.07 مجم/ لتر)، والحاجة الكيميائية للاكسجين (0.03 – 0.12 جم/ لتر) والأمونيا (0.01 – 0.03 جم/ لتر)، والمعادن الثقيلة (النحاس والكروم والباريوم والمنجنيز والزنك؛ حتى 0.01 جم/ لتر)، والبكتريا القولونية الغائبية. يُستخدم 11 مليار متر مكعب/ في العام من مياه قنوات الصرف في الري في مصر.

5- شركاء المشروع

يضم مشروع MADFORWATER 17 شريكاً موزعين جغرافياً بالأساس حول البحر الأبيض المتوسط وفي 7 دول أوروبية و3 دول في إقليم البحر الأبيض المتوسط في أفريقيا والصين. ويضم 9 جامعات و4 مراكز بحثية ومنظمة دولية لا تسعى للربح وشركة استشارية تتمتع بخبرة في مجال التسويق وتطوير خطط الأعمال وشركتين لمعالجة مياه الصرف والري قامت بتصميم وتشيد المحطات التجريبية للمشروع.

Partner	Expertise
Alma Mater Studiorum – University of Bologna (Italy)	Project coordination; WW treatment
University of Manouba (Tunisia)	WW treatment; demonstrator pilot operation
Technical University of Crete (Greece)	WW treatment
University of Tunis El Mansour (Tunisia)	WW treatment; demonstrator pilot operation
Wageningen Environmental Research (Netherlands)	Water vulnerability analysis; stakeholder involvement
University of Applied Sciences and Arts of Northwestern Switzerland (Switzerland)	WW treatment; water vulnerability analysis; integrated water management, including policies and economic instruments, life cycle analysis of technologies
Agronomic and Veterinary Institute Hassan II (Morocco)	WW treatment; irrigation; demonstrator pilot operation
University of Milan (Italy)	WW treatment; irrigation
FAO Regional Office for Near East and North Africa (International)	Water vulnerability analysis; capacity building
Polytechnic University of Madrid (Spain)	Water vulnerability analysis; integrated water management, including policies and economic instruments
Mediterranean Agronomic Institute of Bari (Italy)	Irrigation; integrated water management, including policies and economic instruments
National Water Research Center - Ministry of Water Resources and Irrigation (Egypt)	WW treatment; demonstrator pilot construction and operation
National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture (France)	Irrigation
PNO Innovative advices (Netherlands)	Cost benefit analysis of technologies; business plans development; coordination of exploitation and dissemination activities
S.K. Euromarket Ltd (Cyprus)	WW treatment; demonstrator pilot construction
Nanjing University (China)	WW treatment
ROLLAND Autosprinklers Sprinklers (France)	Irrigation; demonstrator pilot construction

6- تطوير تقنيات معالجة مياه الصرف في مشروع MADFORWATER

والحيوي (COD و BOD5) في طرق المعالجة المشار إليها أعلاه تتعدى الحدود المقررة حسب المعايير المحلية (مثل: NT 106.03) ومعايير الأيزو (ISO) لإعادة استخدام مياه الصرف المُعالجة لأغراض الري. بالإضافة إلى أن المحتوى الميكروبيولوجي لمياه الصرف المُعالجة يشكل خطرًا على الصحة في حالة استخدامها في الري الزراعي.

1- النهج المبتكر لمعالجة مياه الصرف البلدية

أهم الملوثات التي ينبغي التخلص منها لإعادة استخدام المياه في أغراض الزراعة: المركبات العضوية والنيتروجين والفوسفور وإجمالي المواد الصلبة العالقة ومسببات الأمراض

عرض مُختصر للتقنيات المطوّرة بواسطة MADFORWATER لمعالجة مياه الصرف المعينة.

يتمثل التحدي في تطوير مراحل للمعالجة تكون قادرة على تحقيق مستويات عالية من الكفاءة والموثوقية في المعالجة، مع خفض تكاليف رأس المال، والتشغيل، والصيانة.

يعمل مشروع MADFORWATER حاليًا على تطوير إحدى التقنيات والتي تتمثل في مرشحات المياه المصممة لتحويل الأمونيا إلى نترات من خلال استخدام حوامل أسطح مبتكرة عالية الجودة في المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي البلدية. وبالنسبة للمعالجة الثلاثية، يتم اختبار نوعين من التقنيات: أ) إنشاء أراض رطبة اصطناعية للتخلص من النيتروجين والفوسفور والمعادن الثقيلة والملوثات الناتجة؛ ب) المفاعلات الحيوية التي تعمل بالإنزيمات المُقيدة لتحليل الملوثات الناتجة. تُعرض هذه التقنيات بشكل مُختصر في الجداول التالية.

التقنيات المستخدمة بشكل أساسي في مصر والمغرب وتونس لمعالجة مياه الصرف الصحي

تستخدم معظم محطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية الموجودة في مصر أسلوب المعالجة التقليدية بواسطة الحمأة المنشطة بالهواء (في الأحمال المنخفضة والمتوسطة) كمعالجة ثانوية. هناك عدد أقل من المحطات التي يوجد بها معالجة ثلاثية من خلال البحيرات المهواة لإزالة النيتروجين والفوسفور. كما يُستخدم التعقيم بواسطة الأشعة فوق البنفسجية كمعالجة ثلاثية في المحطات التجريبية فقط. ويُعد العيب الرئيسي لأسلوب المعالجة بواسطة الحمأة المنشطة في أنه يستهلك الطاقة الكهربائية في التهوية، أما العيب الرئيسي للبحيرات المهواة فهو انخفاض كفاءة إزالة نيتروجين الأمونيا أو الفوسفور. كما أن مستوى الطلب على الأكسجين الكيميائي

مرشحات التخلص من الأمونيا بواسطة حوامل سطحية مبتكرة عالية الجودة

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

مخلفات عضوية (تمثلة في مؤشر الحاجة الحيوية للاكسجين) والنيتروجين والفسفور ومسببات الامراض .

وصف التقنية

يتكون مرشح المياه من وسط ذي قابلية للنفاذ مصنوع من البلاستيك يتركز على قاعدة (من الصخر أو الخبث) وتوزع عليها مياه الصرف لترشح من خلالها. كما يتضمن أيضاً نظام لتوزيع المياه حيث تُستخدم في الأغلب تقنية التوزيع الهيدروليكي الدوار في هذه المعالجة.

تهدف هذه التقنية لتحقيق الآتي:

- تقليل زمن مكوث المياه في المرشح عن طريق زيادة سمك الغشاء الحيوي،
- تحسين أداء عمليات إزالة الأمونيا/إزالة النتروجين.

يتكون المفاعل في المختبر من 4 حجيرات: خزان صرف للمعالجة الأولية لمياه الصرف البلدية، ومرشح لتحويل الأمونيا إلى نترات (النترة) مصمم كنظام يعمل على مرحلتين (في المرحلة الأولى، يتم الانتهاء من نزع الحاجة الحيوية للاكسجين، تليها المرحلة الثانية حيث يتم الانتهاء من النترة)، وخزان لإعادة التدوير وخزان ثانوي لترسيب الحمأة.



مفاعل في المختبر لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية.

- (1) مدخل للنفايات السائلة؛ (2) مرشح كربون منشط؛ (3) خزان صرف؛ (4) خزان إعادة تدوير؛ (5) مضخة لإعادة التدوير؛ (6) موزع مياه؛ (7) المرحلة الأولى من المرشح؛ (8) المرحلة الثانية من المرشح؛ (9) خزان الترسيب الثانوي؛ (10) مخرج للنفايات

نطاق الحدود المفروضة وفقاً للوائح التونسية (NT106.03) المتعلقة بإعادة استخدام مياه الصرف في الري (الحاجة الكيميائية للاكسجين > 90 مجم/ لتر والحاجة الحيوية للاكسجين > 30 مجم/ لتر).

وفي ظل الظروف الثابتة، انخفض النيتروجين الأمونيومي بشكل ملحوظ ليسجل تركيز مقداره حوالي 0.6 مجم/ لتر، وهو أقل من الحدود الموضحة في اللوائح التونسية الجديدة المنشورة في عام 2018 (المجلة الرسمية للجمهورية التونسية) فيما يتعلق بالتصريف داخل شبكة الصرف الصحي الحكومية. إلا أن تركيز النترت والتترات قد انخفض ليصل إلى حوالي 0.18 مجم/ لتر و13 مجم/ لتر، على التوالي. انخفض تركيز الفوسفور بشكل ملحوظ من 12.5 مجم/ لتر إلى حوالي 2 مجم/ لتر، إلا أنه لا يزال أعلى من الحدود المفروضة وفقاً للمقاييس التونسية. انخفض كثيراً تركيز مجموع المواد الصلبة العالقة من 354.3 مجم/ لتر إلى حوالي 5.4 مجم/ لتر، ما يعكس كفاءة إزالة مقدارها 98 في المائة. هذه الأرقام مقبولة وفقاً للحدود التي تفرضها اللوائح التونسية NT 106.03 من حيث مجموع المواد الصلبة العالقة (30 مجم/ لتر).

تأرجحت البيانات الخاصة بالرقم الهيدروجيني بين 7.13 و7.62 وتحققت قيمة المواصفة المعيارية التونسية بمقدار 6.5 – 8.5. بلغ متوسط التوصيل الكهربائي (كمؤشر للملوحة) في النفايات السائلة الداخلة 7.2 ميليسيمنز/سم، ما يساوي تقريباً القيمة بالنسبة للنفايات السائلة الخارجة (7.8 ميليسيمنز/سم). تتجاوز بدرجة بسيطة قيم التوصيل الكهربائي للمواصفة المعيارية التونسية NT 106.03 والتي تنص على 7 ميليسيمنز/سم.

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر وتونس و/أو المغرب، والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

قد تكون مرشحات المياه مناسبة للدول المستهدفة بفضل انخفاض تكاليف الصيانة، وانخفاض تكاليف التركيب، وزيادة الثبات في مواجهة تذبذب الأحمال الهيدروليكية والعضوية. كما يتسم أسلوب المعالجة بواسطة مرشحات المياه أيضاً بأنها لا تحتاج لإمدادات خارجية من الهواء، وهو ما يؤدي لانخفاض استهلاك الطاقة، حيث يمر الهواء بصورة طبيعية بفعل اختلاف درجات الحرارة بين الداخل والخارج. بالإضافة إلى أن النظام المقترح يجمع بين المعالجة الثانوية والثلاثية بما يسمح بالتخلص من الحاجة الحيوية للاكسجين ونيتروجين الأمونيا، ما يجعل الأمر مناسباً للحصول على مياه صالحة للري.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

تم تشغيل المفاعل لمدة 350 يوماً بأزمة مكوث مختلفة لاحتجاز الماء: 20 يوماً و10 أيام و5 أيام ويومان. وخلال هذه الفترة، تمت مراقبة المؤشرات التالية: الحاجة الكيميائية للاكسجين والحاجة الحيوية للاكسجين ونيتروجين أمونيومي والنترت والتترات والفسفور.

تم تقييم أداء المفاعل عند كل زمن مكوث للماء في ظل ظروف الحالة الثابتة. عندما استقرت المنظومة، أظهر المفاعل كفاءة مقبولة في نزع المادة العضوية، حيث كان معدل الإزالة 91 و92 في المائة للحاجة الكيميائية للاكسجين والحاجة الحيوية للاكسجين (على مدار خمسة أيام)، على التوالي. وكانت تركيزات الحاجة الكيميائية للاكسجين والحاجة الحيوية للاكسجين في

الأراضي الرطبة الاصطناعية

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

المعادن الثقيلة (النيكل والكاديوم والزنك) والملوثات العضوية الناشئة (ثنائي الفينول أ، سيبروفلوكساسين، سالفاميثوكسازول)

وصف التقنية

يتضمن استخدام الأراضي الرطبة الاصطناعية لمعالجة مياه الصرف استخدام أنظمة هندسية مُصممة ومعدة خصيصاً لاستخدام العمليات الطبيعية. وقد صُممت هذه

النظم لمحاكاة نظم أراضي المستنقعات الطبيعية، عن طريق استخدام

النباتات التي تنمو في المستنقعات، وكذلك التربة والكائنات الدقيقة المرتبطة بها،

لإزالة الملوثات من مياه الصرف. ويمكنها تحقيق أهداف متعددة من إزالة الملوثات

مثل إزالة مجموع المواد الصلبة العالقة والحاجة الحيوية للاكسجين والمركبات

العضوية والمكونات غير العضوية وصولاً لتحقيق المتطلبات من المعايير القياسية. ويتم

تغذية الأراضي الرطبة الاصطناعية ذات السطح الأفقي المغمر والمصنوعة من الحديد

المقاوم للصدأ والمملوءة بالحصى والمزروعة بنبات الأسل المدبب *Juncus acutus*

الذي ينمو في إقليم حوض البحر المتوسط، بمياه الصرف الصحي البلدية والمُلوثة

بالمعادن الثقيلة والملوثات العضوية الناشئة.

يمكن استخدام بكتيريا محددة مزودة بالقدرة على استهلاك الملوثات وإمكانية تعزيز

نمو النبات لاستخراج المياه فيما يطلق عليه "تنقية النبات بمساعدة الميكروبات" مما

يعطي الأولوية لدراسة المايكروبيوم المرتبط بالنبات للحصول على المعلومات المتقدمة

والتي يمكن الاستفادة منها.

المعوقات المحددة أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب، وأمام

إنتاج مياه صرف مُعالجة تصلح للري وفقاً لمعيار ISO 16075

كان متوسط قيم المؤشرات الفيزيوكيميائية لمياه الصرف البلدية المعالجة مطابقة

للقيم المحددة في المعيار التونسي NT 106.03 بشأن إعادة استخدام مياه الصرف في

الري واللائحة التونسية الجديدة المنشورة في عام 2018 (المجلة الرسمية للجمهورية

التونسية) باستثناء الفوسفور والبولونيوم الغائبة.

تعتبر هذه التقنية معالجة ثانوية وجزء من المعالجة الثلاثية. ويجب إدماج المزيد من

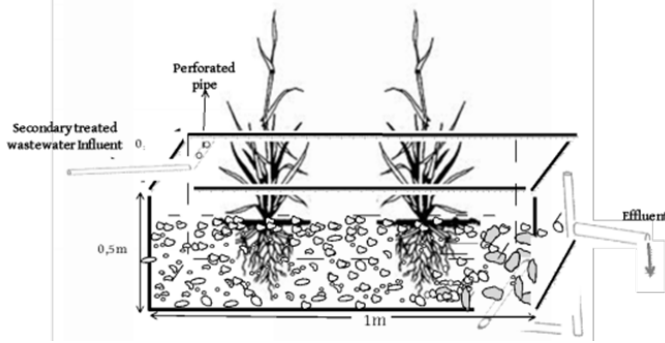
المعالجات للتخلص من مسببات الأمراض.

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/ أو تونس و/ المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

تتميز الأراضي الرطبة الاصطناعية بانخفاض تكاليفها وانخفاض استهلاكها للطاقة، إلى جانب سهولة تشغيلها وصيانتها مقارنة بنظم المعالجة التقليدية، كما يمكنها إزالة الملوثات بما يحقق المواصفات القياسية، وتتسم أيضًا بإمكانية تطبيقها بشكل قوي في الدول النامية، خاصة في المجتمعات الريفية الصغيرة. بالإضافة إلى ذلك، يعتبر اختيار الأنواع النباتية المناسبة أحد المعايير الهامة بالنسبة للكفاءة، حيث ثبت أن النباتات الملحية التي تنمو في إقليم حوض البحر المتوسط هي أنسب النباتات.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

مع وجود تركيزات للمعادن الثقيلة في مياه الصرف الصحي البلدية الداخلة بنسب تصل إلى ضعف الحدود المقررة لإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الري، لوحظ وصول قدرة الإزالة بواسطة الأراضي الرطبة الاصطناعية إلى 99% بالنسبة للكاديوم و51% للننكل و45% للزنك. ومع تركيزات الملوثات العضوية الناتجة في المياه الداخلة والتي تحتوي على 100 ميكروجرام/ل من ثنائي الفينول أ و1 مجم/ل من سيروفلأكسين و5 مجم/ل من سالفاميثوكسازول، سجلت كفاءة الإزالة بواسطة الأراضي الرطبة 76% بالنسبة لثنائي الفينول أ و94% لسيروفلأكسين و27% لسالفاميثوكسازول. وقد تحققت هذه النتائج بدون تأثير البكتيريا المحفزة لنمو النبات على الكفاءة العامة لهذه العملية.



تمثيل لنظام السطح الأفقي المغمور لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية الملوثة بالملوثات العضوية الناشئة والمعادن الثقيلة.

مفاعلات حيوية بالإنزيمات المثبتة

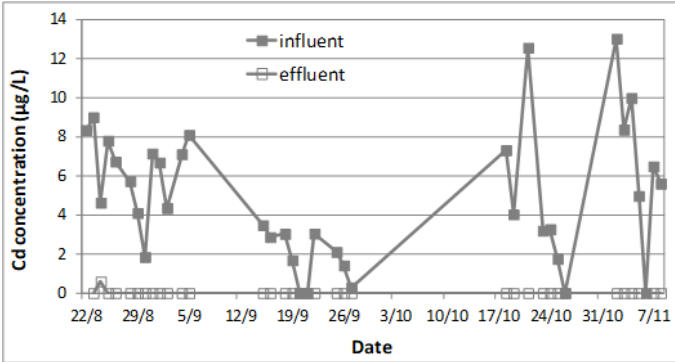
الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:
الأدوية والملوثات العضوية الدقيقة.

وصف التقنية

تستخدم هذه التقنية إنزيم اللاكيز المثبت على جزيئات الراتنج بضغط سقوط منخفض داخل مفاعل عمود معبأ يتم تغذيته بدفق مستمر من مياه الصرف. تم اختيار اللاكيز بسبب قدرته على تحفيز عملية الأكسدة في مجموعة كبيرة من مركبات الليغنين الفينولية وغير الفينولية، وتشمل العديد من الأدوية والملوثات العضوية الدقيقة التي تتواجد عادة في مياه الصرف الصحي البلدية وهي لا تتحلل عادة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية التقليدية، كما يمكن ببساطة عزلها وتطهيرها نسبياً من فطر العفن الأبيض. وقد ثبت أن عملية تثبيت الإنزيم على الأسطح الصلبة تعمل على زيادة ثبات الإنزيم إلى جانب أنها تساعد على التشغيل المستمر.



عمود مُغلف بالإنزيم المثبت



تركيز الكاديوم في التدفق الداخل والخارج من الأراضي الرطبة الاصطناعية

العقبات المتعلقة بتطبيق هذه التقنية في مصر و/ أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري وفقاً لمُعيار ISO 16075 لا يوجد

تركيزات الأدوية في عينات حقيقية من مياه الصرف من تونس والمغرب

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

مفاعل العمود المعبأ سهل التشغيل ولا يتطلب استخدام أي أدوات معقدة، أو إعدادات أو مضخات ضغط عالي، وقد يكون مناسباً أكثر من أنواع أخرى من المفاعلات، مثل المفاعلات الغشائية المستخدمة في معالجة مياه الصرف في البلدان الأفريقية.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

تم تثبيت إنزيمات اللاكيز المأخوذة من فطر *P. sanguineus* (1J) وفطر

القوس المتعدد أو *T. versicolor* (2J) على جزيئات الراتنج أو جزيئات

السيليكا النانوية المدخنة كما تم اختبارها في مفاعل دفعي في مياه صرف بلدية

ملوثة (500 نانوجرام/ل لكل مركب). أزال إنزيم لأكيز الأعلى كفاءة (المستخرج

من فطر *P. Sanguineus*) من 7 - 83 % من الأدوية بعد مرور

أيام. أجريت عملية معالجة مياه الصرف الصحي البلدية الحقيقية بواسطة

إنزيم لأكيز المستخرج من فطر *P. sanguineus* في مفاعل العمود المعبأ

بمعدل تدفق مستمر. لوحظ امتصاص الملوثات الدقيقة داخل حاملات

الإنزيم في الاختبارات التحضيرية، مما يعيق عملية تحديد حجم تحليل

الملوثات.

المركب (نانوجرام/لتر)	تونس	دراجرا	تزنيت
4-أسيكاميد انتي بيرين	لم يتحدد	163	112
أميسولبريد	78	لم يتحدد	101
أئينولول	384	117	219
حمض الأئينولول	151	124	90
كاربامازيبين	237	245	443
كاربندازيم	50	99	162
سيليرولول	180	لم يتحدد	19
كليمبازول	279	719	583
فلوكونازول	164	512	407
إربيسارتان	461	101	46
حمض النفلوميك	383	389	218
سولبيريد	161	70	178

المعنية:

يعمل مشروع MADFORWATER حاليًا على تطوير بديلين لمراحل معالجة مياه الصرف الناتجة عن معاصر الزيتون: يعتمد البديل الأول على إزالة المواد الصلبة العالقة عن طريق الترشيح الدقيق واسترجاع البوليفينول من المرشحات عن طريق الامتصاص وإزالة الحاجة الحيوية للاكسجين نهائيًا عن طريق إنتاج الميثان الحيوي؛ ويتمثل البديل الثاني في معالجة بيولوجية لاهوائية داخل مفاعل دفعي متتابع، مع إضافة الجير. هذه التقنيات معروضة بشكل مُختصر في الجداول التالية.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وأمام إنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري وفقًا لمعيار ISO 16075 تعتبر هذه التقنية ضمن المعالجة الثلاثية. يجب دمج المعالجة الأولية والمعالجة البيولوجية الثانوية. ترتفع نسبيًا تكاليف الإنزيمات والراتنج المستخدم في عملية التثبيت.

2- النهج المبتكر لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن معاصر الزيتون

أهم الملوثات التي ينبغي التخلص منها لإعادة استخدامها لأغراض الزراعة: المركبات العضوية (الحاجة الحيوية للاكسجين 100-20 جم/ل)، مركبات البولي فينول (10-1 جم/ل)

التقنيات المستخدمة بشكل أساسي في مصر والمغرب وتونس لمعالجة مياه الصرف المعنيّة: وفقًا للتشريعات التونسية، تتمثل الممارسة الرئيسية في التعامل مع مياه الصرف من معاصر الزيتون في تصريفها في أحواض التبخر. وتهدف المعالجة إلى الحد من تأثير مياه الصرف الناتجة عن معاصر الزيتون على البيئة، إذ تتمثل آثارها الجانبية في انبعاث الروائح النفاذة منها. والسبب في ذلك هو طفو مخلفات المواد الزيتية على سطح مياه الصرف من معاصر الزيتون، مما يحول دون عملية التبخر ويخلق ظروفًا لا هوائية. والروائح هي العيب الأساسي لأحواض التبخر، خاصة بالنسبة لتلك التي يتم تشغيلها بالقرب من المناطق السكنية.

عرض مُختصر للتقنيات المطوّرة بمعرفة مشروع MADFORWATER لمعالجة مياه الصرف

الترشيح الدقيق واسترجاع الفينول بالامتصاص

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:
المواد الصلبة العالقة ومركبات البولي فينول

وصف التقنية

تهدف المرحلة الأولية للفلتر الدقيق إزالة المواد المعلقة، ويليه مرحلة الامتصاص/الالتقاط التي تهدف لاسترجاع مركبات البولي فينول. ويسفر عن ذلك إنتاج ما يلي:
(أ) خليط غني بمركب البولي فينول يمكن استخدامه في العديد من عمليات المعالجة الصناعية أو في التركيبات الخاصة ببعض المنتجات بفضل قدرته العالية على مقاومة الأكسدة؛ (ب) ماء منزوع الفينول والذي يمكن معالجته بيولوجيًا بكفاءة أكبر. ويعمل عامودان بشكل متوازي: فبينما يمتص العامود الأول مركب البولي فينول من مياه الصرف القادمة من معاصر الزيتون، يعمل الآخر على التفاظ مضادات الأكسدة التي جُمعت في الدورة السابقة. ومن المعتاد أن يُعاد تدوير مذيّب الالتقاط (وعادة ما يكون مركب الإيثانول) بشكل كامل أثناء عملية المعالجة، عن طريق التبخير وإعادة التكثيف.



محطات تجريبية للترشيح الدقيق وامتصاص مياه الصرف من معاصر الزيتون

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

تتناسب هذه التقنية مع ظروف بلدان شمال أفريقيا بفضل قدرتها على إنتاج خليط مقاوم للأكسدة قد يكون ذي قيمة سوقية ذات صلة. وفي الوقت ذاته، تعتبر إزالة مركبات البولي فينول من مياه صرف معاصر الزيتون أمراً هاماً لتجنب إصابة المحاصيل بأضرار محتملة تتعلق بنشاط هذه المركبات في مقاومة الأكسدة أو الميكروبات.

ر ص م ي ف ي ن ق ت ل ا ه ذ ه ق ي ب ط ت م ا م ا ت ا ب ق ع ل ا
ف ر ص ل ا ه ا ي م ج ا ت ن إ و ب ر غ م ل ا و ا و س ن و ت و ا و
ISO ر ا ي ع م ل أ ق ف و ي ر ل ل ع ح ل ا ص ل ا ع ج ل ا ع م ل ا
16075

- لإنتاج مياه صالحة للري، يجب إدماج التقنية المقترحة
بمرحلة معالجة تعمل على تحليل المركبات العضوية بيولوجيًا
(مثل عملية الهضم اللاهوائي).
- يتطلب تشغيل هذه التقنية المقترحة فريقًا من العاملين يتمتع بالمهارات الفنية
المناسبة ولديه القدرة على إدارة عمليات الامتصاص والتبخير والتكثيف.
- تتعلق بعض المشكلات الأمنية بالحاجة لتخزين الإيثانول. لذلك يجب مراعاة الحرس
في تطبيق التشريعات المحلية المتعلقة بالسلامة في أماكن العمل.

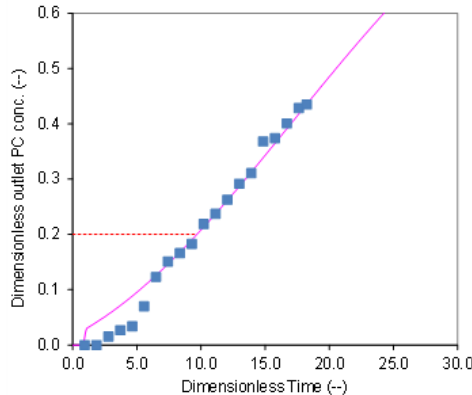
الهضم اللاهوائي

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

المواد العضوية

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية
كانت نسبة إزالة المواد العالقة مرتفعة جدًا (98%) وكانت تتسم بنسبة محدودة
ومقبولة من فقد مركبات البولي فينول (9%) مع العوالق. تم اختبار أنواع مختلفة من
الراتنجات من أجل الخطوة الخاصة باسترجاع البولي فينول من المرحلة المائية. وتم
اختيار نوع الراتنج محايد الامتصاص (XAD 16) بوصفه أكثر الأنواع كفاءة. ويؤدي
إلى استرجاع خليط البولي فينول الذي يتميز بقدرته الهائلة على مقاومة الأكسدة.
تساوي نسبة إزالة البولي فينول 90% تقريبًا، مما يسفر عن وجود تركيز متبقي من
البولي فينول في النفايات السائلة يساوي 0.1 جم/ل.

تركيز البولي فينول عند المخرج مقابل الزمن عند المخرج في اختبار الامتصاص. بيانات تجارب معملية وأنسب
طريقة للمحاكاة



وصف التقنية

يتم تحويل المركبات العضوية القابلة للتحلل بيولوجيًا إلى الميثان وثاني أكسيد الكربون بفضل الجمع بين نشاط الكائنات الدقيقة المولدة للحمض والمولدة للميثان. تعمل هذه العملية في ظروف لاهوائية تحت درجة حرارة تتراوح بين 35 و 40°م في مفاعل متحرك. يمكن هضم مياه الصرف من معاصر الزيتون الخالي من الفينول مع المخلفات الزراعية الأخرى. وغالباً ما يحترق الغاز الحيوي الناتج عن هذه العملية، مما يؤدي لإنتاج الطاقة الحرارية والكهربائية معاً.

محطة تجريبية للهضم اللاهوائي



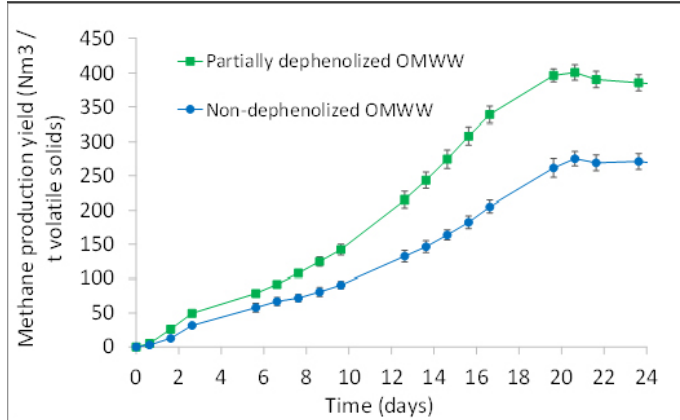
الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

تتسم عملية الهضم اللاهوائي بكونها عملية على درجة متوسطة إلى منخفضة من التعقيد من الناحية الفنية وغير مستهلكة للطاقة. ومن ناحية أخرى، فإنها تؤدي لإنتاج الطاقة الكهربائية التي يمكن بيعها لشبكة الطاقة المحلية. يتطلب إنتاج المياه الصالحة للري زمن مكوث طويل حتى تتم إزالة الحاجة الحيوية للاكسجين بشكل تام، كما تحتاج إلى خطوة معالجة إضافية للفصل بين العوالق/السوائل (مثل مكبس الترشيح على سبيل المثال). يمكن استخدام المواد الصلبة الناجمة عن هذه العملية كمخصبات.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

تشير النتائج إلى أن مياه الصرف من معاصر الزيتون تعتبر مرشحاً جيداً لعملية الهضم اللاهوائي، مع انبعاث مرتفع نسبياً من غاز الميثان ($260-400 \text{ NLCH}_4/\text{kg Volatile Solids}$) ومعدل مقبول لإنتاج الميثان ($110-200 \text{ LCH}_4/\text{m}^3 \text{ digestate/d}$). أدت إزالة السابقة للفينول من مياه الصرف الناجمة عن معاصر الزيتون إلى زيادة بنسبة 30-40% في أداء العمليات. وما زالت تُجرى بعض الاختبارات التي تهدف إلى تقييم قدرة العملية على الوصول إلى تراكيزات منخفضة للطلب الحيوي للاكسجين المقررة في معايير الأيزو الخاصة بإعادة استخدام المياه للأغراض الزراعية ($>100 \text{ مجم/ل}$).

معدل انبعاث الميثان المتحصل من مياه الصرف من معاصر الزيتون بعد التخلص من
الفينول الموجود بها وبدون التخلص من الفينول.



لعقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المعالجة
الصالحة للري وفقاً لمعيار ISO 16075
تعتبر عملية الهضم اللاهوائي لمياه الصرف الناتجة عن معاصر الزيتون ملائمة لمصر والمغرب والتونس.

المعالجة البيولوجية الهوائية داخل مفاعل متتابع

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية: المركبات

العضوية ومركبات الفينول.

وصف التقنية

تعتبر المفاعلات المتتابعة شكلاً خاصاً من أشكال

المعالجة بالحماة المنشطة، حيث تجرى عملية

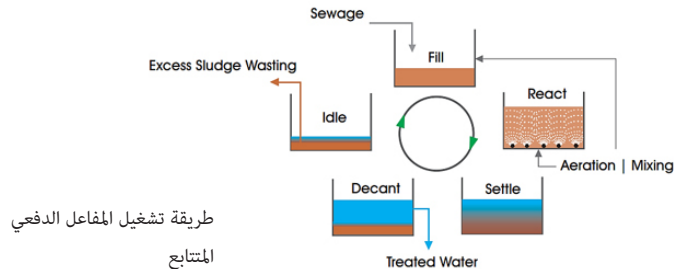
المعالجة بالكامل داخل خزان المفاعل ولا تتطلب

أي خزانات اضافية. تعالج هذه العملية مياه الصرف

بأسلوب الدفعات، حيث تتتابع كل دفعة عبر سلسلة

مكونة من 5 مراحل للمعالجة: 1-الماء؛ 2-التفاعل؛ 3-الترسيب؛

4-التصريف؛ 5-السكون.



طريقة تشغيل المفاعل الدفعي
المتتابع

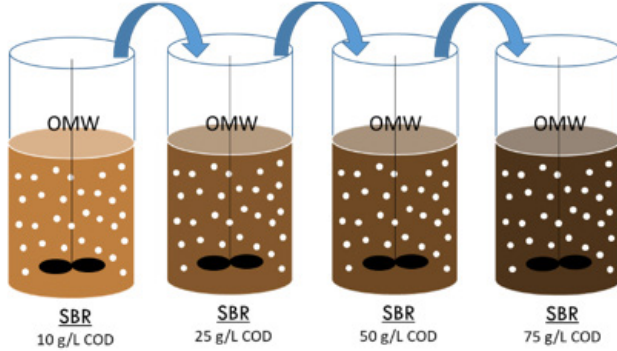
رُود المفاعل الدفعي المتتابع بعينة من الحمأة المنشطة من إحدى محطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية، وقد تم تكييفها تدريجيًا على المحتوى العالي من الحاجة الكيميائية للاكسجين الموجود في مياه صرف معاصر الزيتون، وذلك عن طريق تشغيل المفاعل لعدة دفعات متتابة على أن يكون زمن الاحتجاز الهيدروليكي 30 يومًا لكل دفعة، مع زيادة تركيزات الحاجة الكيميائية للاكسجين في مياه صرف معاصر الزيتون ليصل إلى 75 جم/ل. وقد تحققت درجات كفاءة مماثلة في خفض طلب الأكسجين الكيميائي (بنسبة 60% تقريبًا) عقب كل دفعة متتابة بمعدل إزالة مستقر قدره 1.5 جم الحاجة الكيميائية للاكسجين ل-1 يوم-1، مما يدل على وجود مجموعة ميكروبية مستقرة. ساعد الجمع بين المعالجة البيولوجية وإضافة مسحوق الجير في إزالة ما يصل إلى 80% و90% من الحاجة الكيميائية للاكسجين والأحماض الفينولية بالترتيب. غير أن الحاجة الكيميائية للاكسجين الموجود بمياه صرف معاصر الزيتون ما زال زائدًا عن نسب المعايير الخاصة بمياه الري التي أقرتها معايير الأيزو والمعايير التونسية (NT 106.03).

يتم أولاً ملء الخزان بمياه الصرف من معاصر الزيتون. خلال المرحلة الثانية، تتم عملية الخلط بطرق ميكانيكية ثم يتم تهوية السائل المختلط من فتحات مخصصة مثبتة في أرضية الخزان. لا توجد عمليات تهوية أو خلط في المرحلة الثالثة حتى تترسب العوالق. خلال المرحلة الرابعة، يتم استرجاع مياه الصرف من معاصر الزيتون الطافية والمعالجة وفي المرحلة الخامسة، تُزال الحمأة المتبقية. تخضع مياه الصرف المعالجة بعد ذلك لإضافة الجير على هيئة مسحوق (أكسيد الكالسيوم) حتى يتم بلوغ الرقم الهيدروجيني pH 12.

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

يُمكن تطبيق تقنية المفاعل الدفعي المتتابع في إزالة المغذيات والحاجة الحيوية للاكسجين المرتفع في مياه الصرف الصناعي ومياه الصرف التي تحتوي على مواد سامة، مثل السيانيد والنحاس والكروم والرصاص والنيكل والموائل المتدفقة خارج مصانع الأغذية ومن مدافن القمامة ومياه صرف المدايح. ومن مميزات هذه العملية التصميم لخزان واحد فقط وصغر البصمة وسهولة توسيعه وبساطة التشغيل وانخفاض تكاليف رأس المال. بالإضافة إلى أنها ساعدت على تكوين مجموعة ميكروبية مستقرة، قادرة على تحليل المركبات ذات السمية المحتملة. كما أن إضافة مسحوق الجير تساعد على استمرار عملية إزالة طلب الأكسجين الكيميائي والأحماض الفينولية عن طريق ظاهرتي التخثر والامتصاص .

3- المراحل المبتكرة لمعالجة مياه صرف الناتجة عن مصانع النسيج



تكييف تدريجي لمجموعة الميكروبات الهوائية على التركيزات العالية في مياه صرف معاصر الزيتون داخل مفاعل دفعي متتابع.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المعالجة الصالحة للري وفقاً لمعيار ISO 16075 تناسب هذه التقنية الظروف الخاصة بمصر والمغرب وتونس. لم يتم تسجيل أي عقبات خاصة فيما يتعلق بإنتاج مياه الصرف المعالجة لأغراض الري. غير أن الأمر يتطلب تخفيفاً أو معالجة إضافيين لتقليل تركيز الطلب الكيميائي للاكسجين المتبقي بشكل أكبر.

أهم الملوثات التي ينبغي التخلص منها لإعادة الاستخدام في المجال الزراعي:
أصباغ الآزوت، أصباغ الآزوت المُسَلَفَن

التقنيات المستخدمة بشكل أساسي في مصر والمغرب وتونس لمعالجة مياه الصرف المعنية تختلف الأوضاع الحالية لمياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج بشكل كبير بين هذه الدول الثلاث. فبعض شركات النسيج

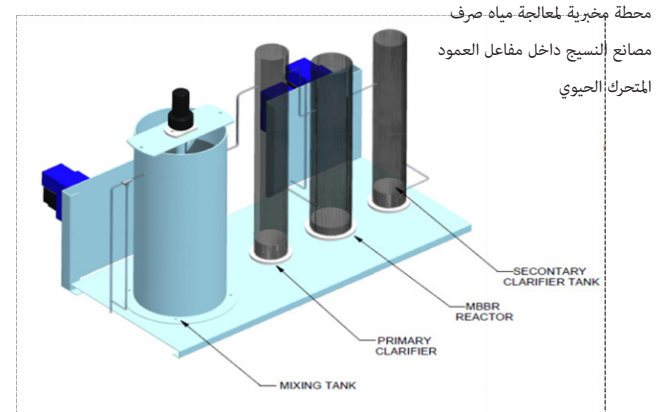
قد دُمجت بالفعل عمليات معالجة مياه الصرف داخلياً في خط العمليات الخاص بها، إذ تهدف إلى تحقيق إعادة دمج ما يصل إلى 60% من مياه الصرف في المعالجة. ويتم توجيه مياه الصرف المتبقية إلى شبكة الصرف الصحي البلدية. وتُستخدم عملية التخثر على نحو موسع كمعالجة مسبقة قبل بدء المعالجة الرئيسية باستخدام الحماة المنشطة أو الأكسدة أو الأغشية. يهدف التخثر إلى إزالة الجزيئات الغروانية والمواد العضوية. وكفاءة المعالجة الحالية غير مستقرة بشكل عام بفعل التغيرات الكبيرة التي تطرأ بشكل يومي وموسمي على حجم التدفقات الداخلة وكذلك الأحمال العضوية والمعدنية. لذلك يجب استخدام أسلوب معالجة مناسب يمكنه تحمل حالات الذروة التي تطرأ بصورة عرضية على حجم التدفقات الداخلة والأحمال العضوية. ويتم أحياناً توجيه النفايات السائلة من مصانع النسيج إلى شبكات الصرف الصحي البلدية بصورة مباشرة دون إخضاعها لأي معالجة مسبقة.

عرض مُختصر للتقنيات المُطورة بواسطة مشروع MADFORWATER لمعالجة مياه الصرف المعنّية.

يعمل مشروع MADFORWATER حاليًا على تطوير عملية معالجة ثانوية داخل عمود مفاعل العمود المتحرك الحيوي ليتم استخدامها فيما بعد في مرحلة التخمّر والتلبّد (تلاصق المواد العالقة المتخثرة) بهدف تحليل المواد العضوية (طلب الأكسجين الكيميائي) وأصبغ الآزوت، بالإضافة إلى عمليتين بديلتين للمعالجة الثلاثية وتهدفان إلى إزالة بقايا الأصباغ وتحديدًا: (أ) التحلل الإنزيمي للأصبغ داخل مفاعلات العمود المعبأ مع إنزيم لأكيز المقيّد؛ (2) امتصاص/لفظ الأصباغ بواسطة راتنجات مغناطيسية مبتكرة. تُعرض هذه التقنيات بشكل مُختصر في الجداول التالية.

تُضخ مياه الصرف الملوثة بالأصبغ السامة إلى خزان الخلط الأول بواسطة مضخة تمعّجية حيث تُضاف المواد المحفزة للتخمّر والتلبّد ثم يُحوّل الماء ليصل إلى خزان الترسيب الأولي لتصفية الجزيئات العالقة. وتسيل مياه الصرف الطافية من هذا الخزان إلى الخزان المزود بالناقلات (مفاعل العمود المتحرك الحيوي) حيث تجري عملية التحلل البيولوجي. ويعمل جهاز التهوية على تزويد الماء بالأكسجين وتسييل ناقلات الغشاء الحيوي. ويُسمح للحمأة الترسب داخل خزان الترسيب الثانوي الذي يليها، في الوقت الذي يتم تدوير المياه الخارجة من هذا الخزان عبر مضخة تمعّجية إلى خزان التحلل البيولوجي (مفاعل العمود المتحرك الحيوي). تم تشغيل هذا النظام كمفاعل دفعي، بينما كان يتم تشغيل مفاعل العمود المتحرك الحيوي وخزان الترسيب الثانوي بطريقة إعادة تدوير الماء.

مفاعل العمود المتحرك الحيوي
الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:
أصبغ الآزوت السامة

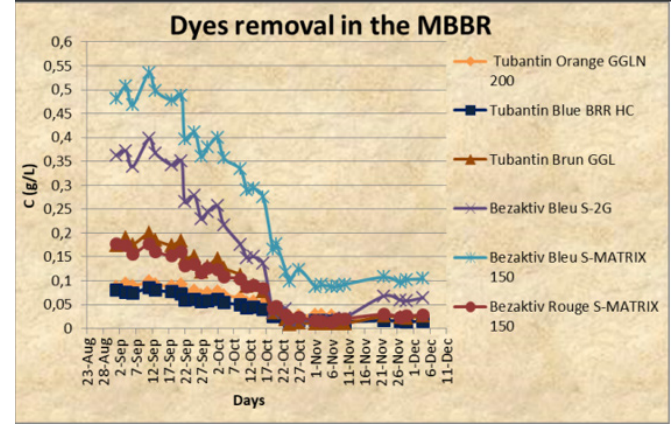


الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف دول شمال افريقيا، ولتحقيق المعايير الدولية المتعلقة بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

ثبتت فعالية هذه التقنية في عملية تحليل الأصباغ بيولوجيًا، حيث أُشير إلى أن وجود هذه الأصباغ في مياه صرف مصانع النسيج يعتبر مشكلة خطيرة لدى إعادة استخدامها في الري.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

زُود مفاعل العمود الحيوي المتحرك بمياه صرف اصطناعية مُضاف إليها تركيزات من الأصباغ تتراوح بين 0.08 إلى 0.48 جم ل-1. يتم الحصول على هذه التركيزات في الأغلب بعد المعالجة الأولية بواسطة المخترات. يتم تلقيح النظام بمجموعة كفوة معزولة من البيئة البحرية، لتكوين كتلة حيوية على ناقلات حرة الحركة. بلغت كفاءة النظام في إزالة الألوان أكثر من 80% في مجمل الأصباغ التي تم اختبارها بعد مرور 95 يومًا وهي فترة التشغيل. كانت قياسات نيتروجين الأمونيا ومجموع النيتروجين ومجموع الفسفور 1.2 و 35 و 2.7 مجم/ل على التوالي. وبحسب الحد الأقصى لمستوى المغذيات في مياه صرف مصانع النسيج المستخدمة للري (ISO 16075-1-2015) وهي 30 لنيروجين الأمونيا و 35 لمجموع النيتروجين و 7 مجم/ل لمجموع الفسفور، فإنه يُمكن استخدام مياه صرف مصانع النسيج المعالجة لأغراض الري.



يويحل لكرحتم لادومع لادعافم في جيسن لادعناصم فرص هاي م ن م غاب صال لادلازا.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في ظروف الدول الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط وإنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري

بشكل عام، لا ينبغي أن تكون هناك مشكلة في تطبيق تقنية مفاعل العمود المتحرك الحيوي، غير أنه يجب مراعاة الحذر عند إزالة الحمأة من المرحلة الأولية. إذا كانت الكميات صغيرة (عند استخدام مخثرات باهظة الثمن)، فيكفي مجرد تجفيف الحمأة والتخلص منها. وفي حالة استخدام الجير، تكون كمية الحمأة المحتفظة بالماء التي يتم إنتاجها عالية جدًا (حيث تصل من 30 إلى 50% تقريبًا من حجم مياه الصرف الأولي) ويجب مراعاة استخدام تقنية خاصة لمعالجة هذا الأمر.

تقنية: المفاعلات الحيوية بالإنزيم المثبت

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

أصباغ الآزوت، أصباغ الآزوت المُسلفن

وصف التقنية

يُعرف إنزيمي لأكيز وبيروكسيداز بقدرتهما على إزالة ألوان العديد من الأصباغ المختلفة. وتستخدم هذه التقنية إنزيمات مثبتة على مفاعل العمود المُعَبأ لمعالجة مياه الصرف من مصانع النسيج. ويؤدي تثبيت الإنزيم في الأغلب إلى زيادة ثبات الإنزيم. كانت جزيئات الراتنج (بحجم 100-300 ميكرومتر) تُستخدم كناقلات للإنزيم، مع تشغيل مفاعل العمود المُعَبأ بمعدل تدفق مستمر.



مفاعل حيوي على مقياس مخبري لإزالة الأصباغ بالإنزيمات المثبتة.

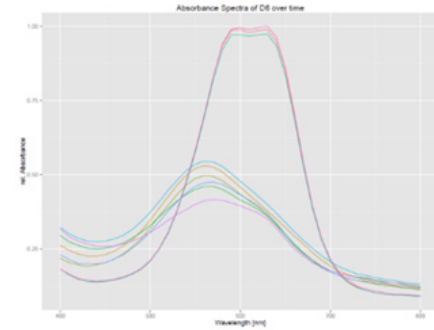
الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

مفاعل العمود المُعَبأ سهل التشغيل ولا يحتاج لاستخدام أي أجهزة أو إعدادات معقدة أو استخدام مضخات عالية الضغط، وقد يكون استخدامه مناسباً أكثر عند مقارنته بالأنواع الأخرى التي تستخدم الإنزيمات المثبتة، مثل المفاعلات الغشائية المستخدمة في مياه الصرف في البلدان الأفريقية.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

تم اختيار ستة أصباغ آزوتية مُسلفنة كملوثات أساسية لمياه الصرف الحقيقية الناجمة

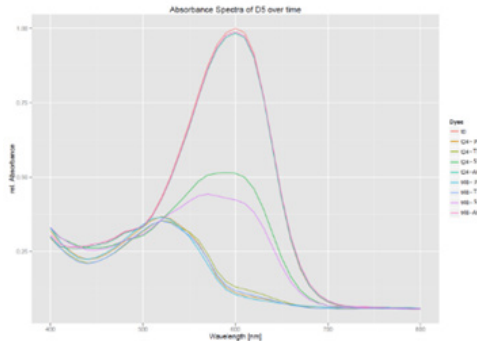
عن مصانع النسيج. تمكنت إنزيمات اللاكيز المستخرجة من فطر *P. sanguineus* و *T. versicolor* من إزالة ألوان 2 من أصل 6 أصباغ. ولم يتمكن إنزيم بيروكسيداز الذي يزيل ألوان الأصباغ من إزالة أية أصباغ، بينما أزال إنزيم horseradish peroxidase صبغ واحد فقط. تُمكن وسائط الأكسدة والاختزال إنزيم لاكيز من أكسدة عدد أكبر من المركبات. تجرى عملية الأكسدة من خلال الوسيط في صورته المؤكسدة والذي يتولد من تفاعله مع إنزيم لاكيز. تم اختبار ثلاثة أنواع مختلفة من وسائط الأكسدة والاختزال، وقد أظهر 1mM 1-hydroxybenzotriazole أكبر قدرة على إزالة الألوان. لوحظ حدوث إزالة جزئية للألوان في مياه حقيقية من صرف مصانع النسيج، حيث كانت تحتوي على ستة أصباغ وتم معالجتها بواسطة إنزيم لاكيز المأخوذ من فطر القوس المتعدد أو *T. versicolor* في التجارب التي أجريت بواسطة إنزيمات لاكيز، حدث امتصاص للأصباغ على ناقل الإنزيم بشكل أساسي، مع تحليل الأصباغ بنسبة لا تُذكر.



إزالة ألوان الأصباغ Bezaktiv Bleu S-2G و Bezaktiv Bleu S-Matrix 150 بواسطة إنزيم لاكيز كما سبق الإشارة إليه، بتقليل الامتصاص حتى 600 نانومتر.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري وفقاً لمُعايير

تعتمد هذه التقنية بشكل كبير على نوعية مياه الصرف من مصانع النسيج. فالإنزيمات لا يمكنها إزالة الألوان من مجموعة كبيرة من الأصباغ ذات التركيبات المختلفة، وإذا كانت مكونات مياه الصرف متباينة إلى حد كبير، فقد تصبح هذه التقنية غير فعالة. تُمتص الأصباغ سالبة الشحنة بواسطة ناقلات الإنزيم. تكاليف الإنزيمات والراتنج المستخدم في عملية التقييد مرتفعة نسبياً.



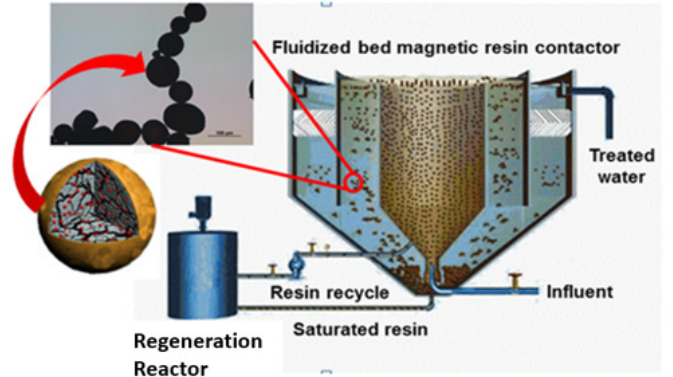
الامتصاص على الراتنجات المبتكرة

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

الأصباغ والمواد العضوية المُذابة

وصف التقنية

صُمم راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي الذي طوره جامعة نانجينغ في الصين خصيصاً للتخلص من المواد العضوية والأصباغ سالبة الشحنة من المياه ومياه الصرف. لدى راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي مصفوفة بولي أكريليك، وبنية ذات مسام دقيقة، ومجموعة وظيفية ذات قاعدة متينة. يصل قطر حبات الراتنج ما بين 100-200 ميكرومتر، ما يجعل مساحة سطحها كبيرة ومعدل نقل الكتلة أكبر من الراتنج التقليدي. يُستخدم راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي بأسلوب التعليق داخل مفاعل ذي تدفق مختلط بالكامل. تساعد النواة المغناطيسية على تجمع الراتنج وترسيبه. يُمكن إعادة توليد راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي باستخدام محلول كلوريد الصوديوم بنسبة 10%، ويستخدم المفاعل تياراً جانبياً وعملية إعادة توليد مستمرة بما يسمح بتوفير المياه المعالجة بشكل مستمر تولد حوالي 200-300 م³ من مياه الصرف 1م³ من مياه الصرف المالحة.



راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي والمفاعل ذو القاع المُجمع

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

يتمتع راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي بقدرة جيدة وسريعة على المعالجة للتخلص من معظم المواد العضوية والأصباغ سالبة الشحنة. غير أن استخدام مركب كلوريد الصوديوم ومعالجة مياه الصرف المالحة لإعادة توليد الراتنج يحد من استخدامها على نطاق واسع. فمصانع النسيج في هذه الدول عادة ما تولد 200 م³ تقريباً من مياه الصرف يومياً، ما يوازي إنتاج 1 م³ تقريباً من مياه الصرف المالحة يومياً. يعتبر سعر كلوريد الصوديوم رخيصاً، ويمكن تبخير مياه الصرف المالحة بسهولة بحسب درجة جفاف المناخ المحلي.

توليف راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي الدائم وقدرته على الامتصاص مع صبغة Orange-G مقارنة براتنجات التبادل الأيوني التجارية MIEX وIRA-900

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER
تم تطوير نوع جديد من راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي الدائم باستخدام diallyl itaconate كرابط مُستعرض، الذي يحسن إلى حد كبير من خاصية إلف الماء (امتصاص الماء) والصلابة والقدرة على الامتصاص . يُمكن إعادة توليد راتنجات التبادل الأيوني المغناطيسي المشبعة بالأصباغ بكفاءة بواسطة محلول 10%/1% (NaCl/NaOH) . وعلى مدى 20 دورة، أمكن إعادة استخدام راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي بدون أي انخفاض يُذكر في قدرة الامتصاص بالنسبة لصبغ Orange-G، ما يدل على تفوق الأداء في مقاومة الحشف لإزالة المواد العضوية. وكل هذه الخصائص مجتمعة، من السعة الكبيرة وسرعة الحركة، بالإضافة إلى قابلية ممتازة لإعادة الاستخدام وقابلية ملائمة للانفصال، تجعل من راتنج التبادل الأيوني المغناطيسي مرشحاً جيداً لإزالة المواد العضوية.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري وفقاً لمعيار ISO 16075

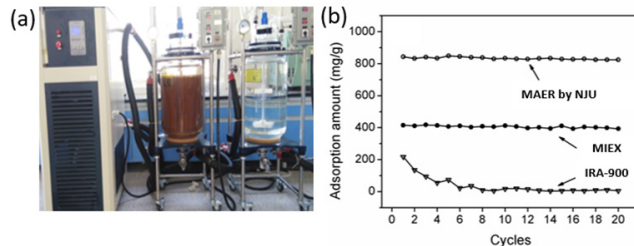
لا تستطيع راتنجات التبادل الأيوني إزالة الألياف والمواد العضوية والأصباغ التي لا تحمل شحنات سالبة في مياه الصرف من مصانع النسيج. ويجب أن تتوافق هذه التقنية مع التقنيات الأخرى لمعالجة مياه الصرف.

4- النهج المبتكر لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة تعبئة وتغليف الخضروات والفاكهة

أهم الملوثات التي ينبغي التخلص منها لإعادة استخدامها لأغراض الزراعة:

المواد العضوية (الحاجة الكيميائية للاكسجين)، المواد الصلبة العالقة ومبيدات الفطريات

التقنيات المستخدمة بشكل أساسي في مصر والمغرب وتونس لمعالجة مياه الصرف المعنوية:



وصف التقنية

تعتمد هذه التقنية على استخدام عناصر ناقلة صغيرة من البلاستيك تماثل كثافتها كثافة المياه، وهي تحتوي على كائنات دقيقة على هيئة غشاء حيوي. تختلط النواقل بمياه الصرف داخل خزان مُهوى وتعمل الكائنات الدقيقة على إزالة المواد العضوية المنحلة من مياه الصرف. تساعد تهوية المفاعلات الحيوية في عملية الخلط وتزود الكائنات الدقيقة بالأكسجين. يتراوح زمن التلامس المطلوب لمياه الصرف المعنّية بين يوم و4 أيام، حسب التركيز المبدئي لمبيدات الفطريات. وبالتالي، تُزال المياه المُعالجة من المفاعل الحيوي، بينما يتم الإبقاء على النواقل في الداخل بواسطة غربال. تولد هذه المعالجة البيولوجية كمية محددة من الكتلة الحيوية الزائدة، والتي يتم فصلها في المرحلة التالية من التبلد والتعويم بالهواء المذاب، بالإضافة إلى إزالة المواد العالقة الناتجة من مياه الصرف.

بحسب الظروف المحلية، تُستخدم الخيارات المختلفة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن تعبئة وتغليف الفواكه والخضروات، مثل خزانات التحلل والبحيرات الهوائية أو عملية الحماة المنشطة. وتستطيع تقنيات المعالجة هذه إزالة جزء من الملوثات الخطرة (الملوثات العضوية الثابتة والمواد العالقة ومبيدات الفطريات)، غير أن جودة النفايات السائلة الناتجة تعتبر ضعيفة مقارنة بالمعايير الخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف.

عرض مُختصر للتقنيات المُطورة بواسطة مشروع MADFORWATER لمعالجة مياه الصرف المعنّية:

من أجل التوصل لجودة عالية للنفايات السائلة، بما يستوفي المعايير الخاصة بإعادة استخدامها، تم تصميم مفاعل شريط العمود الحيوي المتحرك لإزالة الملوثات العضوية ومبيدات الفطريات، والطفو والتبلد المدمجان لإزالة المواد العالقة، والأكسدة بالأشعة فوق البنفسجية / الإنزيمات المثبتة لإزالة مبيدات الفطريات المتبقية. ووعداً عن التقنية الأخيرة، يمكن تطبيق تقنية الامتصاص على الكربون المنشط لإزالة مبيدات الفطريات.

مفاعل العمود المتحرك الحيوي الهوائي
الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

ناقلات مفاعل العمود المتحرك الحيوي مع
الغشاء الحيوي المُطور



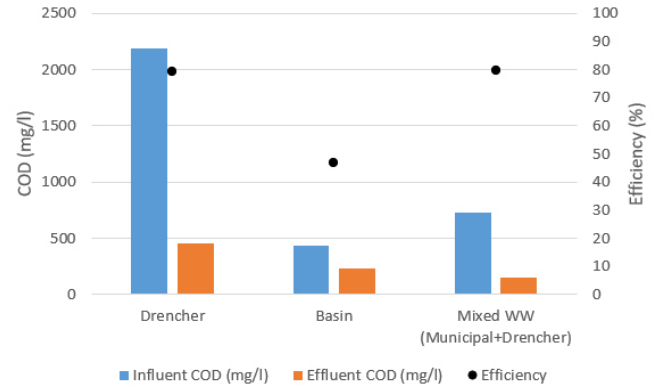
الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

إن وجود المركبات السامة والمواد ضعيفة التحلل في مياه الصرف المعنية قد يؤثر سلبيًا على الكائنات الدقيقة أثناء المعالجة البيولوجية. حيث تصبح الكتلة الحيوية المتعلقة بالناقلات أقل حساسية تجاه هذه المركبات، ويمكن ابقاؤها داخل المفاعل بطريقة موثوقة، مما يمنع انجراف الكائنات الحية بطيئة النمو. كما تتيح مفاعلات العمود المتحرك الحيوي أيضًا نمو الكتلة الحيوية عالية الكثافة، وبالتالي استخدام المفاعلات المدمجة. هذه التقنية سهلة الإنشاء والتشغيل.

إزالة الحاجة الكيميائية للاكسجين والعكارة ومبيد الفطريات ثيابندازول من مياه الصرف بواسطة تقنية مفاعل العمود المتحرك الحيوي في زمن مختلف للاحتفاظ بالماء

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

خضعت تدفقات مياه الصرف القادمة من مصانع تجهيز الخضروات والفاكهة للمعالجة بتقنية مفاعلات العمود المتحرك الحيوي. تمكنت تقنية مفاعلات العمود المتحرك الحيوي من إزالة ٦٥ إلى ٨٠٪ من الملوثات العضوية (الحاجة الكيميائية للاكسجين). عقب التأقلم، تستطيع المعالجة الحيوية إزالة ما يزيد على ٩٠ في المائة من مبيدات الفطريات. كما تم إزالة بعض مبيدات الفطريات بكفاءة أيضًا، ولكن بقيت بعض المبيدات الأخرى من مياه الصرف في المياه المعالجة. إذا كانت إزالة مبيدات الفطريات في المفاعل البيولوجي غير كافية، يمكن اتباع مرحلة المعالجة اللاحقة بواسطة الامتصاص كخطوة إضافية. كما احتوت مياه الصرف المعالجة أيضًا على مواد عالقة. وتُعالج هذه الملوثات في المرحلة الثانية من تقنية المعالجة: التنديف/التبلد والطفو المدمجين، وهذه المرحلة هي جزء أساسي من مراحل المعالجة المقترحة.



العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف
المعالجة الصالحة للري وفقاً لمعيار ISO 16075

يُعتبر إنتاج مياه الصرف من مصانع تغليف/تجهيز الفاكهة والخضروات عملاً
موسميًا. غير أن مفاعل العمود المتحرك الحيوي، مثله مثل طرق معالجة مياه الصرف
البيولوجية الأخرى، يعتمد على الإمداد المستمر. لذلك، فمن الضروري توفير مياه
صرف بديلة (مثل مياه الصرف البلدية) لتغطية فترات التوقف.

التنديف/التبلد والتعويم المُدمجان

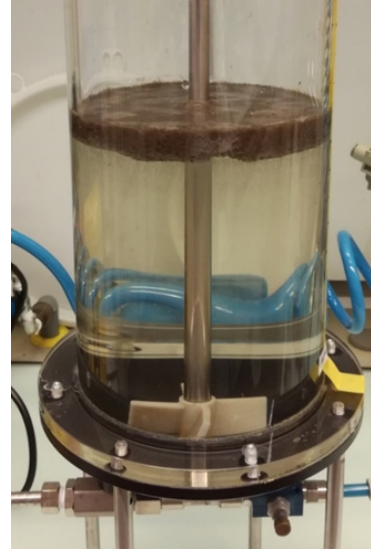
الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:

المواد الصلبة العالقة والمواد الغروانية

وصف التقنية

تتمثل فكرة تعويم الهواء المذاب في إزالة الجزيئات العالقة من مياه الصرف
باستخدام الفقاعات الدقيقة التي تتولد بمجرد إطلاق الهواء المضغوط
والمشبع بالماء إلى الضغط المحيط. تتعلق الفقاعات بالجزيئات وتحملها
إلى السطح، حيث تشكل طبقة من الحمأة (تحتوي على 3 إلى 6%
من العوالق الجافة). تحتاج الجزيئات الموجودة في مياه الصرف
للتخثر والتنديف قبل إدخال الهواء المشبع بالماء لتسهيل تكتل
الجزيئات والفقاعات الدقيقة. في النظام المقترح، تضاف
تقنية تعويم الهواء المذاب إلى تقنية المعالجة بمفاعل

العمود الحيوي المتحرك لإزالة الجزيئات والكتلة الحيوية الزائدة. ويمكن إضافة
جرعات من مسحوق الكربون المنشط بصورة اختيارية إلى السائل المتدفق لتعويم
الهواء المذاب لامتصاص مبيدات الفطريات المتبقية.



فصل المواد العالقة في وحدة تعويم
على نطاق مخبري

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

عند المقارنة بتقنية الترسيب ، يزيد استهلاك الطاقة في عملية تعويم الهواء المذاب، ولكنها تستطيع من ناحية أخرى تحقيق كفاءة كبيرة في إزالة العوالق خلال مدة قصيرة جدًا (بضعة دقائق). ويتيح هذا الأمر بناء وحدة مدمجة ذات إنتاجية كبيرة. إن الكفاءة العالية في إزالة العوالق الملوثة من مياه الصرف الناتجة من عمليات تغليف الفواكه يوفر مياه ذات عالية النقاء ومناسبة لإعادة استخدامها.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

اقترحت عملية تعويم الهواء المذاب المجمعة لإزالة المواد العالقة عقب المعالجة الحيوية بواسطة مفاعل العمود المتحرك الحيوي. حيث يمكنها إزالة العوالق بكفاءة من عينات مياه الصرف الناتجة من محطات تغليف الفواكه والخضروات إلى >5 مجم/ل. وبالإضافة إلى استخدام تقنية مفاعل العمود المتحرك الحيوي، وصلت كفاءة إزالة الحاجة الكيميائية للاكسجين إلى 95 في المائة، بحسب مكونات مياه الصرف. كانت أفضل نوعية من المياه تحتوي على طلب الأكسجين الكيميائي >30 مجم/ل وطلب الأكسجين البيوكيميائي >5 مجم/ل. وقد تمكنت المعالجة المجمعة أيضًا من إزالة مبيدات الفطريات بنسب تصل إلى 0.1 مجم/ل، باستثناء الثيابندازول الذي وُجد في أعلى تركيز. وإضافة جرعات من مسحوق الكربون المنشط إلى التدفق الداخل للتعويم ساعد على تحقيق إزالة إضافية لمبيد الفطريات (90% تقريبًا).

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري وفقًا لمعيار ISO 16075 لم يتم الإبلاغ عن أي عقبات محددة.

الأكسدة بواسطة الأشعة فوق البنفسجية بواسطة ثنائي أكسيد التيتانيوم-العمود المعبأ مقترنة بالمفاعلات الحيوية بالإنزيم المثبت.

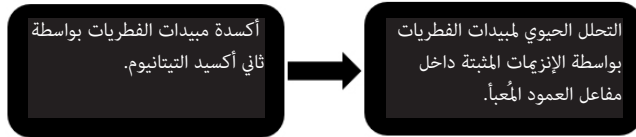
تستهدف هذه التقنية ملوثات محددة:
ثيابندازول

وصف التقنية

تُجرى المعالجة اللاحقة في مفاعل ضوئي باستخدام ثنائي أكسيد التيتانيوم المثبت. يعمل المفاعل بصورة مستمرة في ضوء الشمس. تتمثل أهم نواتج التحول الضوئي في مشتقات الهيدروكسي من مبيدات الفطريات، والتي تمثل ركائز ذات قابلية أكبر لتحليل الحفازات الحيوية. تستخدم تقنية المعالجة التالية إنزيمات لأكيز المثبتة. تم اختبار جزيئات الراتنج التي تتسم ببطء هبوط الضغط كناقلات للإنزيم، وبذلك يصبح من الممكن بناء مفاعل العمود المعبأ وتشغيله.

الخصائص المحددة لمياه الصرف التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب والوصول للمعيار ISO 16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

لا يحتاج المفاعل الضوئي لمصابيح الأشعة فوق البنفسجية أو الطاقة من أجل إتمام عملية الأكسدة حيث يمكن تشغيله في ضوء الشمس. مفاعل العمود المعبأ سهل التشغيل ولا يتطلب استخدام أي أدوات معقدة أو إعدادات أو زيادة ضغط المضخات، لذلك، فهو مناسب أكثر من أنواع المفاعلات الحيوية الأخرى، مثل المفاعلات الحيوية الغشائية المستخدمة في معالجة مياه الصرف في البلدان الأفريقية.



مفاعل ضوئي



مفاعل العمود المعبأ

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER

أمكن تحليل مركب الثيابندازول في مياه الصرف الاصطناعية بواسطة إنزيم ثاني أكسيد التيتانيوم بنسبة تصل إلى 94% خلال 120 دقيقة. وأظهر تحليل جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم انبعاث منخفض للغاية (>1%) في التدفق الخارج من المفاعل، ما يدل على جودة الثبات الميكانيكي للمحفزات الضوئية المثبتة. غير أن كفاءة المفاعل الضوئي قد تأثرت بشكل كبير بمصفوفة مياه الصرف، كما قلت بفعل الحشف الحيوي، حيث لم يُلاحظ تحلل الثيابندازول ضوئياً في مياه الصرف الحقيقية. يجب تضمين خطوات غسل المفاعل الضوئي في عملية المعالجة. لم يُلاحظ تحلل مركب الثيابندازول بواسطة إنزيمات لأكيز المثبتة.

مفاعل العمود المعبأ لمعالجة مياه الصرف الناتجة من تعبئة الفاكهة بواسطة الإنزيم.

5- النهج المستدام لمعالجة وتثمين مياه قنوات الصرف

أهم الملوثات التي ينبغي التخلص منها لإعادة استخدامها في المجال الزراعي:

المركبات العضوية (الحاجة الكيميائية للاكسجين -200
600 مجم/ل) والأمونيا (10-2 مجم/ل) والنيترات (10-2
مجم/ل)

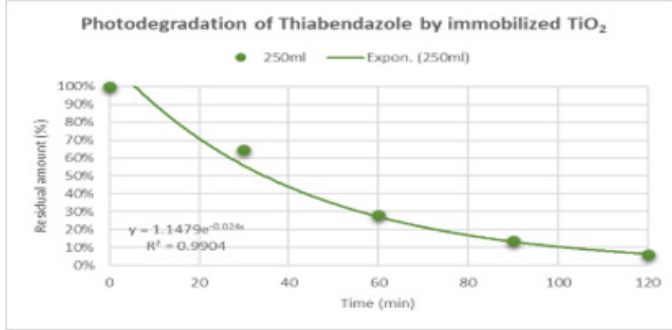
التقنيات المستخدمة بشكل أساسي في مصر لمعالجة مياه الصرف المعنوية:

لا يتم إجراء أي معالجات حالياً على مياه قنوات الصرف قبل استخدامها لأغراض الري

عرض مُختصر للتقنيات المطبّورة بواسطة مشروع MADFORWATER لمعالجة مياه الصرف المعنوية:

R حالياً استخدام الأحواض الاختيارية ذات القنوات لإزالة طلب الأكسجين البيوكيميائي والنيتروجين (النترتة/إزالة النيتروجين) من مياه الصرف في منطقة دلتا النيل. تهدف هذه التقنية إلى تحويل قنوات الصرف الحالية التي تستقبل المياه المستعملة ومياه الصرف المحلية داخل بحيرات اختيارية ذات قنوات مشقوقة من خلال تصميم ملائم.

الأحواض الاختيارية ذات القنوات المشقوقة



التحلل الضوئي لمركب الثيابندازول بواسطة إنزيم لأكيز المثبت.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر و/أو تونس و/أو المغرب وإنتاج مياه الصرف المُعالجة الصالحة للري وفقاً لمعيار ISO 16075

يعمل المفاعل الضوئي خلال النهار فقط، نظراً لاحتياجه لأشعة الشمس للعمل. يجب تركيب مصابيح الأشعة فوق البنفسجية في حالة تشغيله ليلاً. ترتفع نسبياً تكاليف الإنزيمات والراتنج المستخدم في عملية التثبيت.

الخصائص المحددة التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر والوصول للمعيار ISO16075 المتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف لأغراض الزراعة.

الملوثات الخاصة المستهدفة بهذه التقنية:
المركبات العضوية والأمونيا والنترات.

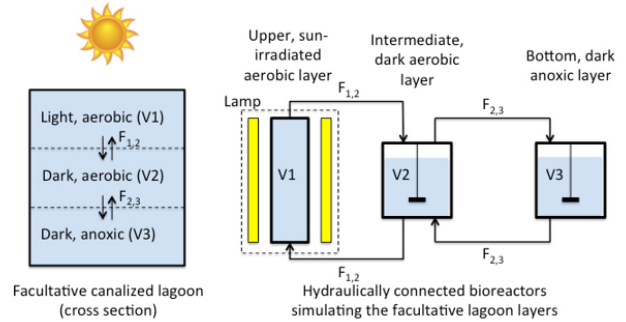
وصف التقنية

تتمثل هذه التقنية في قنوات تتدفق بها المياه الملوثة بفعل الجاذبية، وهي مُصممة على نحو ملائم من حيث الأبعاد الهندسية (مثل العمق) وديناميكا السوائل (عبر الحواجز) من أجل تكوين (1) طبقة هوائية عليا معرضة لأشعة الشمس، حيث يساهم نمو الطحالب الدقيقة في أكسجة الماء؛ (2) طبقة هوائية معتمدة، حيث تتواجد فقط البكتريا الهوائية غريبة التغذية المزيلة للحاجة الكيميائية للاكسجين، والبكتريا الجمادية التغذية المؤكسدة للأمونيوم؛ (3) طبقة سفلية من الأكسجين الذائب/ لا هوائية، حيث تعمل البكتريا المُخَيِّرة على تقليل النترات وهو ما يساهم في إزالة المزيد من الحاجة الكيميائية للاكسجين؛ (4) معدلات مناسبة لانتقال الأكسجين والكتلة بين الطبقات.

تتناسب هذه التقنية مع ظروف منطقة شمال أفريقيا بفضل المناخ الدافئ الذي يساعد على إزالة مسببات الأمراض والقولونيات. وتعتبر الأحواض الاختيارية مطلوبة أيضًا في البلدان النامية لسهولة بنائها وانخفاض تكاليف الطاقة والصيانة اللازمة لها، خاصة بالنسبة للنظم التي تعمل بالتدفق بالجاذبية. وقنوات الصرف موجودة بالفعل في منطقة دلتا النيل: وتحويل القنوات الحالية إلى بحيرات اختيارية ذات قنوات مشقوقة لن يؤثر بشكل كبير على سطح الأراضي المغطاة (وهو أحد العيوب المعتادة في الأحواض التقليدية للبحيرات الاختيارية).

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية

تم تركيب نظام مفاعلات المختبر والذي يتكون من 3 مفاعلات حيوية متصلة مائياً (v1، v2، وv3، انظر الشكل) لمحاكاة طبقات الأحواض الاختيارية ذات القنوات المشقوق، مثل عمليات إزالة الحاجة الكيميائية للاكسجين والنترتة وإزالة النتروجين التي تجري بها وظاهرة انتقال الكتلة بينها. خضع الجزء المعتم من هذا النظام (حيث فصل المفاعل v1 واستبدل بنظام تطهير الهواء في المفاعل v2) لاختبار مبدئي في مياه صرف اصطناعية ملقحة بمجموعة بكتيرية قادمة من إحدى قنوات الصرف بمنطقة دلتا النيل. لوحظ حدوث إزالة مبدئية للطلب الكيميائي للاكسجين (450 مجم/ل) وصلت إلى 90 مجم/ل (حيث إن متوسط معدل الإزالة الكلي هو 4 ± 65 مجم/ل/ساعة) بالإضافة إلى معدل لإزالة $\text{NH}_4\text{-N}$ بلغ 0.3 ± 2.4 مجم/ل/ساعة ومعدل إزالة $\text{NO}_3\text{-N}$ بلغ 2 ± 25 مجم/ل/ساعة وحين كان المفاعلات (v2= 2 لتر، v3= 1 لتر) متصلين ببعضهما مائياً، بمعدل تدفق 2.08 مل/دقيقة. ستؤدي عملية توصيل المفاعل الضوئي الهوائي (v1) وتحسين نسبة الحجم ومعدل التدفق بالنسبة للطبقات إلى توفير المعلومات حول عمق القناة ودرجة الاضطراب المطلوبة لتحويلها إلى نظام البحيرة الاختيارية ليكون قادراً على تحقيق المستوى المطلوب لجودة المياه لأغراض الري



عرض تخطيطي لطبقات الأحواض الاختيارية ذات القنوات المشقوق وتجهيز المحطة المخبرية لمحاكاة الأحواض الاختيارية ذات القنوات المشقوق.

العقبات الخاصة بتطبيق هذه التقنية في مصر وإنتاج مياه الصرف المعالجة الصالحة للري وفقاً لمعيار ISO 16075

- قد تتطلب عملية التحسين بعض التعديلات على الجانب الهندسي (العمق) وديناميكا السوائل (تركيب حواجز) لقطاعات محددة بالقناة.
- وقد تؤدي القدرة المحدودة على التحكم في مؤشرات التشغيل (مثل درجة الاضطراب من خلال تعديل المسافات بين الحواجز وعمقها)؛ التغيرات الموسمية على الظروف المناخية (درجة الحرارة، شدة الضوء، طول النهار) إلى التأثير جزئياً على أداء عملية المعالجة.

7. تطوير تقنيات الري في مشروع MADFORWATER

1- رشاش فعال بفوهات صغيرة وضغط منخفض ومقاوم للانحراف متوافق مع مياه الصرف المعالجة

أنواع المحاصيل المستهدفة بهذه التقنية

صُمم هذا الرشاش الصغير المبتكر خصيصاً لأجل بساتين الأشجار التي تخضع لنظام ري أسفل الغطاء النباتي.

التقنيات القياسية المستخدمة بشكل أساسي في مصر والمغرب وتونس لري هذه المحاصيل

في الدول المستهدفة، عادة ما تُروى البساتين بالتنقيط إذا كانت نوعية المياه جيدة أو عن طريق رشاشات متناهية الصغر عند تزايد تكرار مشاكل الانسداد بسبب العوالق التي تحملها مياه الري.

يمكن استخدام هذه التقنية في ري أشجار البساتين بنظام ري أسفل الغطاء النباتي، على أن يتجنب التصميم ملامسة المياه لأجزاء النبات الصالحة للأكل. يتمثل الهدف في تطوير رشاشات صغيرة منخفضة التكلفة، تعمل على تقليل خطر انتشار مسببات الأمراض بسبب الرذاذ الذي يصدر من الرذاذ الأصغر والذي يقاوم الانسداد المحتمل بسبب استخدام مياه الصرف المعالجة. هذا الرشاش الصغير الذي صُمم للتحكم في حجم القطرات التي يطلقها لتقليل الرذاذ، قد صُنِعَ خصيصاً للعمل تحت ضغط تشغيلي منخفض (> 2 بار). يتراوح قطر القطرات ما بين 0.5 مم و 2.5 مم لأكثر من 95 في المائة من كميات المياه المستخدمة: تكون أكبر من 0.5 مم لتجنب انحراف القطرات بسبب الرياح وأقل من 2.5 مم لتجنب كتم التربة بسبب اصطدام القطرات بها. يتم التحكم في توزيع حجم القطرات عن طريق مجموعة من العوامل المجتمعة، وتتمثل في حجم فوهة الرش وضغط التشغيل وشكل قناة العاكس وسرعة الدوران. ويُمثل تصميم النماذج الأولية والتوصل إلى الشكل الأمثل للرشاش المبتكر جزءاً هاماً من هذا البحث. وبالنسبة للصيانة ومعالجة المياه، فإن الهدف المراد تحقيقه هو الوصول إلى تشغيل طويل الأمد بمرشحات خشنة حجمها 0.500 مم. بالنسبة للتكلفة، فهذه التقنية عبارة عن جهاز من البلاستيك غير المعقد، وهو سهل التركيب وغير مكلف. الضغط التشغيلي للجهاز منخفض، لذلك فهو يجمع في تركيبه بين البنية التحتية غير المعقدة وسهولة الاستخدام. بالنسبة للتأثير البيئي، يساعد انخفاض ضغط التشغيل على تقليل فقد الماء وتجنب محطات ضخ (ارتفاع الحاجة للطاقة).

إعادة استخدام مياه الصرف المُعالجة، مع تقليل خطر الانسداد إلى أقل حد ممكن، ثم تقليل خطر انتشار العوامل المُمرضة في حالة هبوب الرياح، عن طريق الوصول إلى حجم القطرات الذي يحد من احتمالية الانحراف. وسيؤدي ذلك بدوره إلى تقليل احتمالية التبخر.



الشكل - رشاش متناهي الصغر مقاوم للانحراف

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية

النتائج التي تحققت حتى الآن تتعلق أساسًا بتوزيع حجم القطرات بطول نصف قطر دائرة الرش. وقد جُمعت هذه البيانات باستخدام جهاز دسدروميتر بتقنية الليزر والذي يقوم بعد القطرات وتقدير أحجامها. وتظهر القياسات أن أحجام القطرات قريبة من النطاق المطلوب. وقد تم إجراء بعض التجارب على النفائات السائلة الناتجة عن تربية الأحياء المائية لاختبار هذه التقنية باستخدام مياه صرف تحتوي على نسبة كبيرة من العوالق (>200 مجم/ل) ولم يتم رصد أي تغير على مدى نطاق توزيع حجم القطرات. لا يزال تحليل تأثير الرياح على توزيع المياه وتوزيع أحجام القطرات قيد الدراسة.

الخصائص التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب واستخدامها مع مياه الصرف المُعالجة.

من السمات المشتركة لتلك الدول المستهدفة ندرة المياه بشكل ملحوظ ومناخها الذي يتسم بارتفاع نسبة التبخر. يتمثل الغرض من هذه التقنية أولاً في إيجاد القدرة على

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية على مياه الصرف المعالجة في مصر وتونس و/أو المغرب.

العقبات التي تقف أمام تصميم هذا النوع من الرشاشات المتناهية الصغر والتي تتسم بالمتانة الشديدة وخاصيتها المقاومة للانحراف تتعلق باختيار المواد التي تمنع نمو غشاء حيوي والشكل المناسب للعكاس حتى يتوافق مع خصائص التوزيع من خلال لزوجة الدوران ومقاومة الإجهاد. تم تحديد المواد البلاستيكية من واقع تجربة باستخدام مياه صرف معالجة حقيقية.

2- جهاز توزيع مياه الري مقاوم للانسداد

«في وقت لا يذهب» «فدهت سمل» «لي صاحم لا عاونأ

يمكن استخدام هذا النوع من أجهزة توزيع مياه الري مع المحاصيل عالية القيمة الدائمة والمؤقتة على حد سواء، ولكنه يناسب محاصيل الحبوب والمحاصيل المزروعة بنظام الزراعة الموسعة.

التقنيات القياسية المستخدمة بشكل أساسي في مصر والمغرب وتونس لري هذه المحاصيل

يعتبر هذا النوع من الأجهزة لتوزيع مياه الري حلاً بديلاً لأجهزة الري بالتنقيط، حيث لا يتطلب الترشيح أقل من 1 مم. تتحقق هذه الخاصية عن طريق رفع مستوى

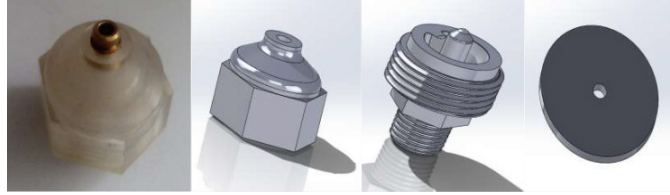
التدفق، بحيث يمنع أي ترسب من شأنه أن يؤدي لحدوث انسداد داخل الجهاز والتأثير على انتظام التوزيع وبالتالي على كفاءة عملية الري. يتم ضبط التوازن بالنسبة لارتفاع التدفق، والذي قد يؤدي لفقد الماء عبر الجريان السطحي، عن طريق قدرة جهاز الري على العمل على دورات قصيرة (وهي عادة نبضات متكررة مدتها دقيقة واحدة)، لتوفير مستوى الري المطلوب ويتم التطبيق على دفعات متعددة لرفع كفاءة التسرب.

وصف التقنية

وفقاً لحجم الفوهات التي تم ضبطها على جهاز الري، يتراوح التدفق ما بين 30 إلى 100 ل/ساعة تحت ضغط يتراوح بين 0.5 إلى 2.0 بار. سيؤدي إلى زيادة التدفق إلى معدلات رش لحظية تتعدى سعة الرش في أغلب أنواع التربة الزراعية. وبالتالي، تُقسم عملية التشغيل إلى دورات قصيرة (وتكون مدتها عادة من دقيقة واحدة إلى دقيقتين) على أن تُكرر حسب الحاجة. باعتبار أن كتلة الري التي تصل مساحتها إلى 200 م تستغرق دقيقة واحدة تقريباً ملئها وضغطها عند تشغيلها، فقد زُودت بغشاء مانع للتسرب لغلق جهاز الري عند ضغط 0.35 بار. لذلك، فإن عملية تكييف ضغط النظام تعتبر تقريباً عملية لحظية، وهو ما يساعد على انتظام عملية التوزيع إلى حد كبير. يوجد جهاز لضبط الضغط قيد التطوير للحفاظ على انتظام عملية التوزيع عبر فوهة بحجم واحد.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية

خلال عملية تطوير المشروع، تم تصميم جهاز الري ووضع النموذج الأولي له وتقييمه بشكل تجريبي من حيث الأداء الهيدروليكي والحساسية للانسداد مع مختلف أنواع الملوثات الفيزيائية (مثل الجزيئات - انظر الشكل أدناه - والألياف). كما خضع النظام أيضاً للتقييم من حيث ميكانيكا الموائع عن طريق المحاكاة الرقمية. نجحت الاختبارات في المختبر باستخدام النفايات السائلة الاصطناعية، والتي طُورت بحيث تُعيد إنتاج النفايات السائلة من مختلف أنواع مياه الصرف التي يستهدفها مشروع MADFORWATER. يتم إجراء المزيد من الاختبارات على التدفقات السائلة القادمة من مياه الصرف الحقيقية في المواقع التجريبية التي يديرها المعهد الوطني للبحوث في العلوم والتكنولوجيا من أجل البيئة والزراعة (Irstea) وأكدت النتائج المخبرية على مدار 10 أسابيع.

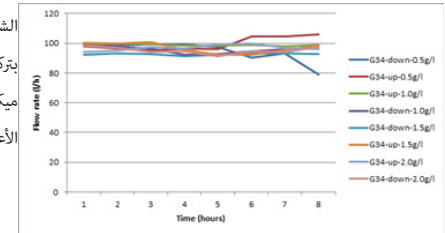


الشكل - لرشاش مانع للتسريب

الخصائص التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر وتونس و/أو المغرب واستخدامها مع مياه الصرف المُعالجة.

تتمثل الميزة الأساسية في هذه التقنية في قدرتها على الصمود أمام مياه الصرف المُعالجة التي تحتوي على نسب عالية من المواد العالقة، والتي عادة ما تحتاج لاستخدام نظم ترشيح دقيقة أو حلول تنظيف متكررة في حالة توزيع المياه باستخدام أنظمة دقيقة للري بالتنقيط. إذا تطلب الترشيح الدقيق صيانة مستمرة، وهو الأمر الذي لا يلتزم به العديد من المزارعين على المدى الطويل، ربما يكون هذا الحل الذي يقبل الترشيح الخشن أفضل للمزارعين الأقل مهارة. وقد خضع جهاز الري المبتكر للتقييم باستخدام تركيزات للعوالق تتراوح بين 2 إلى 4 جم/ل، بدون حدوث أي ظواهر انسداد ذات صلة. ويدل هذا الأمر على أن هذا النوع يصلح للاستخدام مع مياه الصرف المُعالجة بمرشحات خشنة تحتوي على نسب عالية من المواد العالقة.

الشكل - تقييم الانسداد في وجود ألياف بتركيز يصل إلى 2 جم/ل (بقطر 50-60 ميكرومتر) مع وضعية جهاز الري في الأعلى والأسفل.



معياريين أساسيين، وهما: 1) درجة ملوحة المياه؛ 2) تركيز البكتريا القولونية (E. Coli). يساعد النموذج أيضاً على تقييم ومكافحة المخاطر الميكروبية. يستطيع النموذج محاكاة تأثير الأحداث السنوية المتعلقة بمياه الري على الخصائص الفيزيائية للتربة وغلة المحاصيل.

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية على مياه الصرف المعالجة في مصر و/أو تونس و/أو المغرب.

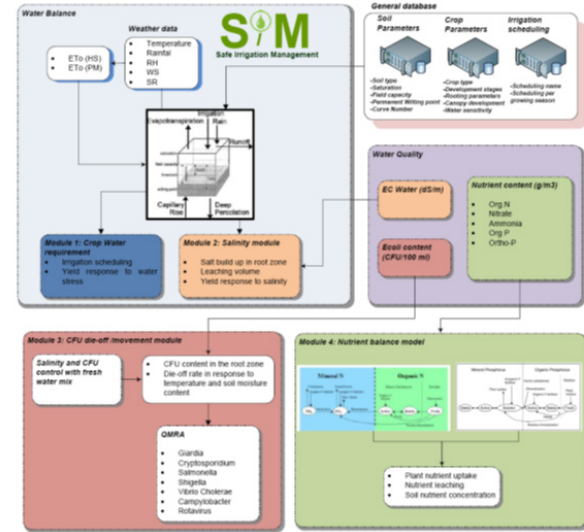
تختلف الممارسات الخاصة باستخدام هذا النوع من أجهزة الري عن الممارسات القائمة الخاصة بأنظمة الري بالتنقيط. من الضروري إتاحة الوقت للتكيف إلى جانب إجراء عروض الإثبات بعد انتهاء المشروع. كما أن ضغط التصريف العالي في أجهزة الري تلك لا يناسب جميع أنواع المحاصيل، وقد يستلزم الأمر تغيير مقاسات أنابيب الري بالمقارنة بنظم الري المعيارية بالتنقيط.

3 - النموذج الموحد لتحقيق الاستفادة المثلى من الري بنوعيات مختلفة من

أنواع المحاصيل «المستهدفة» بهذه التقنية
اختُبر النموذج على العديد من محاصيل الفاكهة (مثل الطماطم والبطاطس)
والمحاصيل الحقلية (مثل القمح والذرة).

وصف التقنية

نموذج الري الآمن هو نموذج قائم على استخدام الدلو يوميًا ويُستخدم لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل باستخدام المياه العذبة أو مياه الصرف المعالجة أو المياه المختلطة. يتوافق هذا النموذج مع مختلف نظم الري ونوعيات المياه وأنواع التربة والمحاصيل. في حالة استخدام مياه الري المعالجة، يجب مراعاة



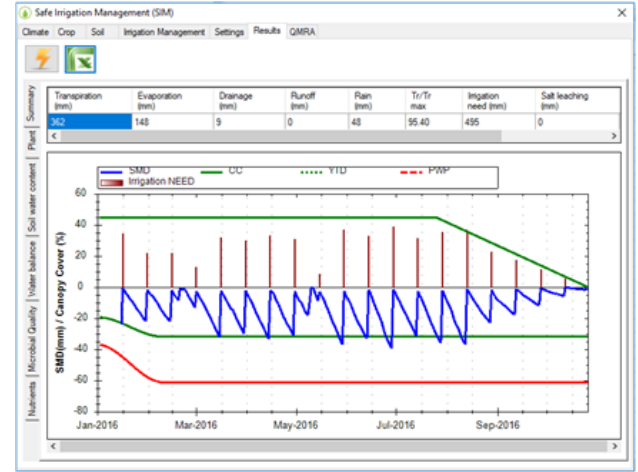
الشكل - وحدات إدارة الري الآمن (نموذج SIM)

الخصائص التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر و/أو تونس و/أو المغرب ولاستخدامها مع مياه الصرف المُعالجة.

يدعم هذا النموذج المزارعين وصناع القرار في تحديد الأسلوب الأمثل لتوزيع المياه والتوقيت والخيارات المتاحة للإدارة، بما في ذلك اختيار مزيج المياه الأمثل. كما يمكن الاستفادة من قدرة النموذج الجيدة على توقع الظروف المستقبلية في التخطيط للمخرجات من الاستراتيجيات المختلفة والمحتملة في إدارة الري.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية

يتم حالياً تطبيق نموذج الري الآمن في حوض سوس ماسة في المغرب لتحقيق الاستفادة المثلى من جدول الري والتوازن الملحي في بعض المحاصيل المحددة باستخدام أنواع مختلفة من المياه. وقد أُجري اختبار مبدئي لتقييم أداء النموذج. ويظهر الشكل المبين أدناه الجدول الزمني الاعتيادي للري حيث تتحدد توقيتات الري تلقائياً. بمجرد ضبط التوقيتات الخاصة بالري، يمكن ضبط كمية المياه بصورة آلية، مثل: (1) كمية المياه المحددة (مم)؛ (2) العودة لمستوى ثابت من نقص رطوبة التربة (مم)؛ (3) العودة لمستوى ثابت من نفاذ رطوبة التربة (%) لقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء).



الشكل - جدول زمني للري تم الحصول عليه من نموذج الري الآمن

العقبات الخاصة المتعلقة بتطبيق هذه التقنية على مياه الصرف المُعالجة في مصر وتونس و/أو المغرب.

- صعوبات في الحصول على البيانات المطلوبة (لاسيما فيما يتعلق بمؤشرات التربة المائية)
- صعوبات في الحصول على البيانات المطلوبة لمعايرة النموذج لكل بلد على حدة (المحاصيل والأرصاء الجوية، وما إلى ذلك).
- استخدام مياه الصرف محظور وغالباً ما يُسمح به في التجارب الخاضعة للرقابة فقط.

4 - المخصبات الحيوية المبتكرة من أجل زراعة مستدامة في بلدان شمال أفريقيا

أنواع المحاصيل «المستهدفة» بهذه التقنية

جُمعت كميات كبيرة من البكتريا المحفزة لنمو النباتات من العديد من النباتات المعيلة ، وخاصة من الذرة الرفيعة والبرسيم والأرجان وأشجار الزيتون وأشجار التين والمواالح والنباتات التي تنمو في الظروف القاسية من البلدان الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط. وتم اختيار أفضل السلالات من حيث الأداء لإجراء اختبارات بالجسم الحي باستخدام الطماطم والقمح القاسي وبعض المحاصيل الهامة في تلك البلدان. مبدئيًا، يمكن تطبيق عملية التلقيح بالبكتريا المحفزة للنمو على جميع المحاصيل لتعزيز النمو والإنتاجية وتعزيز القدرة على الصمود أمام الإجهاد.

وصف التقنية

تستطيع الجراثيم المحفزة للنمو أن تدعم نمو النباتات في الظروف القاسية التي تحدث عادة في البيئات المتطرفة، مثل الجفاف وملوحة التربة اللذين يعتبران أهم عوامل الإجهاد غير الإحيائية والتي تحد من إنتاجية المحاصيل. غير أن استخدامها على نطاق واسع لتعزيز إنتاجية المحاصيل لا يزال ضعيفًا للغاية. يعمل مشروع MADFORWATER حاليًا على تطوير وتطبيق لقاح البكتريا المحفزة للنمو والمُصممة بما يتوافق مع المواقع المختلفة كمخصبات/محفزات حيوية لبعض المحاصيل المختارة التي لها أهمية اقتصادية كبيرة في البلدان الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط. وهذا اللقاح الذي تم اختياره لن يُستخدم في الأنشطة المتعلقة بنمو النباتات فقط ، بل سيتم تكييفه للعمل بكفاءة في سياق إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في الأراضي المجعدة والقاحلة التي تعد من سمات البلدان المستهدفة.

الخصائص التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر وتونس و/أو المغرب واستخدامها مع مياه الصرف المُعالجة.

إلى جانب نشاط البكتريا المحفزة للنمو التي تعمل كمخصبات حيوية (تحسين استخدام المغذيات) والمكافحة البيولوجية (عوامل إنتاج مضادات الجراثيم والمبيدات الحشرية)، يمكنها أيضًا تحسين قدرة المحاصيل على الصمود أمام الظروف المناخية القاسية التي تتسم بها منطقة شمال أفريقي (مثل ملوحة التربة والجفاف)، من أجل زيادة كفاءة إعادة استخدام المياه المعالجة.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية

جُمعت كميات كبيرة من البكتريا من مختلف أنواع النباتات العشبية والشجرية من تونس والمغرب ومصر. قمنا بتحديد سلالات البكتريا وتقييم مقاومتها للضغط الأوسموزي والإجهاد الملحي وصفاتها المحفزة للنمو، بما في ذلك نشاطها في المكافحة البيولوجية، بواسطة اختبارات خارج الجسم الحي وقد أجرينا دراسة خارج الجسم

- عدم انتشار استخدام التكنولوجيا والإنتاج واسع النطاق في مصر وتونس والمغرب.
- قلة الوعي بين مجموعات المزارعين حول خصائص المخصبات الحيوية.
- نقص القوانين والمعايير المتعلقة بإنتاج وتسويق المخصبات الحيوية.
- يحتاج لوضع نظام واضح للمسائل الأخلاقية والمتعلقة بالسلامة.



الشكل - نظام تجريبي في الحقول لاختبار الآثار الناجمة عن استخدام البكتيريا المحفزة لنمو النباتات على محصول الذرة في ظل الري بمياه الصرف البلدية المعالجة وتطبيق نموذج الإدارة الآمنة للري.

الحي لخاصية تعزيز النمو في أفضل السلالات أداءً في ظل ظروف الدفيئة مستخدمين الطماطم والقمح القاسي، مع تطبيق ظروف الري المختلفة، مثل استخدام مياه الصرف المعالجة وحث الإجهاد المائي اصطناعياً. وساعدت النتائج التي توصلنا إليها في تحديد مختلف السلالات الهامة المحفزة للنمو بوصفها أنواع واعدة لإعداد مخصبات حيوية مُكيفة مع الظروف المناخية السائدة في بلدان شمال أفريقيا.

قمنا بإجراء تجربة في الحقول باستخدام البكتيريا الجذرية المختارة المحفزة لنمو النباتات من أجل اختبار عوامل، منها الري بالمياه العذبة أو مياه الصرف البلدية المعالجة واستخدام الإدارة الآمنة للري (نموذج الإدارة الآمنة للري SIM) على غلة محصول الذرة. أوضحت النتائج الأثر المحفز نتيجة استخدام البكتيريا المحفزة لنمو النباتات، إلا أن هناك عامل إضافي، وبالأخص الأحوال المناخية، التي قد يكون لها دور هام في نمو محصول بعينه. وتوجد تجربة أخرى قيد التنفيذ من أجل اختبار نفس العوامل على محصول القمح الخشن.

العقبات الخاصة المتعلقة بتطبيق هذه التقنية على مياه الصرف المُعالجة في مصر و/أو تونس و/أو المغرب.

على حساب نوعية المياه التي تُطلق في قنوات الصرف.

وصف التقنية

تتمثل الفكرة الأساسية من هذه التقنية في تحويل المساقى والمرابى إلى أنابيب مضغوطة مزودة بصنابير لإمداد المياه للأنابيب المَبوَّبة الموجودة عند المصب، والتي زُوِّدت بفوهات معايرة وأخاديد حقلية للري. يساعد هذا النظام في الري على المحافظة على كفاءة ري الحقول على المدى البعيد وتوحيد التوزيع وبالتالي تقليل حجم الصرف. وبهذا تتوفر كمية أكبر من المياه العذبة عند قنوات التوزيع الرئيسية وتنخفض بالتالي كميات مياه الصرف وتتحسن الظروف البيئية العامة للمنطقة المروية.

5- رفع كفاءة نظم الري السطحي في مصر

أنواع المحاصيل «المستهدفة» بهذه التقنية
المحاصيل الحقلية

تقنيات الري المستخدمة بشكل أساسي في مصر لري تلك المحاصيل

وجد في دلتا النيل بمصر قنوات مكشوفة (تُسمى مساقى) لنقل مياه الري إلى القنوات الحقلية الفرعية والتي يطلق عليها المرابى التي تُغذى الحقول المروية. وتقوم مياه الصرف الناتجة عنها بري الحقول التي تقع على طول قنوات الصرف، أو تختلط بالمياه العذبة لتعود إلى نظام التوزيع. وبالتالي، فإنه يتحقق مستوى عالٍ من الكفاءة على مستوى الحوض، ولكن

الخصائص التي تجعل هذه التقنية مناسبة لظروف مصر

هذه التقنية لا تحتاج أي معالجات مسبقة للمياه قبل تطبيقها. بالنسبة للظروف في مصر، تنطبق هذه التقنية على مياه الري ومياه الصرف على حد سواء.

النتائج التي حققها مشروع MADFORWATER فيما يتعلق بهذه التقنية

لتقليل تكاليف الطاقة والصيانة، تم تكييف تصميم النظام المحلي بحيث يستطيع العمل تحت ضغط منخفض (0.5 بار تقريباً). إن معدل التصريف العالي من الفوهات المقترحة يقلل من مشكلات الانسداد في أجهزة الري، وهي مشكلات شائعة في حالات الري بمياه ذات نوعية رديئة. وقد اهتمنا بشكل خاص بدمج أغشية مرنة مع فوهة فتحة الانبوب، لتطوير أجهزة الري التي تعمل على تعويض الضغط والتي تتسم بانتظام مستوى التصريف إلى حد كبير بطول الأنبوب. أثبتت الاختبارات الحقلية أن استخدام هذه التقنية يقلل كمية مياه الصرف بمقدار يزيد على 30 في المائة.

قد تتمثل العقبة الرئيسية في موافقة المزارعين على التكيف مع استخدام تقنية بديلة للنهج القديم والموحد القائم على نظام الغمر.

8 - المحطات التجريبية لمشروع MADFORWATER للمعالجة المتكاملة لمياه الصرف وإعادة استخدامها في مجال الزراعة

تتكون أحد الأعمال الرئيسية للمشروع من بناء ورصد وتعزيز 4 محطات تجريبية تتكامل فيها على نحو فعال التقنيات الواعدة في مجال معالجة الأنواع المختلفة من مياه الصرف وإعادة استخدامها في مجال الزراعة: حيث أنشئت محطة في مصر وإثنتان في تونس وواحدة في المغرب. وُتمت معالجة أنواع مختلفة من مياه الصرف وإعادة استخدامها ضمن المحطات التجريبية لمشروع MADFORWATER: مياه الصرف البلدية ومياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج ومياه قنوات الصرف الزراعي، كما يتضح من الجدول التالي:



Pressure (Bars)	Discharge (L/s)
0.15	0.75
0.2	0.8
0.4	0.84
0.5	0.89

الشكل - أنبوب مزود بفتحات وفوهة مُعايرة

العقبات أمام تطبيق هذه التقنية في مصر.

1-1 المحطة التجريبية الأولى - أريانة، تونس

أقيمت أول محطة تجريبية لمياه الصرف البلدية في محطة شطرانة لمعالجة مياه الصرف في أريانة، تونس. وهي مخصصة لمعالجة مياه الصرف البلدية وإعادة استخدامها.

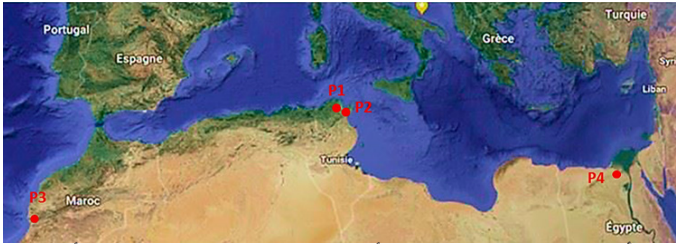
تتكون المحطة التجريبية الأولى (10 متر مكعب/ اليوم) من:

- 1- مرشح نترتة للمعالجة الثانوية للمواد العضوية والأمونيا
- 2- خزان ثانوي لترسيب الحمأة
- 3- أراضي رطبة اصطناعية لإزالة المعادن الثقيلة والمغذيات المتبقية
- 4- وحدة تعقيم كيميائي
- 5- نظام تكثيف الحمأة الثانوية الزائدة.

تم تسجيل مستوى مُرضي لكفاءة المعالجة خلال الفترة التجريبية: 90 في المائة من الحاجة الكيميائية للاكسجين و92 في المائة من الحاجة الحيوية للاكسجين و93 في المائة من مجموع المواد الصلبة العالقة والنيتروجين الإجمالي و61 في المائة لمنتهى التسمم وخفض البكتريا القولونية بثلاث درجات لوغاريتمية.

وتبين أن متوسط تركيز المياه المعالجة من المحطة ضمن الحدود الآمنة وفقاً للمعيار التونسي NT106.03 بشأن إعادة استخدام مياه الصرف في الزراعة والمرسوم التونسي رقم 315-2018 بشأن تصريف المياه العادمة في المجاري العامة.

المحطة التجريبية	نوع مياه الصرف	الموقع
المحطة الأولى	مياه الصرف البلدية	محطة شطرانة لمعالجة مياه الصرف البلدية في أريانة، تونس
المحطة الثانية	مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج	صناعة النسيج باستخدام تقنية GWash في نابل، تونس
المحطة الثالثة	مياه الصرف البلدية	أغادير، المغرب
المحطة الرابعة	مياه قنوات الصرف الزراعي	بحيرة المنزل، مصر



الموقع وأهم الخصائص للمحطات التجريبية الأربع لمشروع MADFORWATER المحطة الأولى والثانية والثالثة والرابعة

1- المحطات التجريبية لمعالجة مياه الصرف البلدية وإعادة استخدامها في محطة شطرانة في أريانة، تونس (المحطة الأولى) وفي أغادير، المغرب (المحطة الثالثة)

تم إنشاء محطتين تجريبيتين وتشغيلهما لأغراض معالجة مياه الصرف البلدية وإعادة استخدامها في تونس والمغرب.



محطة سُطْرانة لمعالجة مياه الصرف البلدية (أريانة - تونس): موقع المحطة التجريبية الأولى لمياه الصرف البلدية في مشروع MADFORWATER

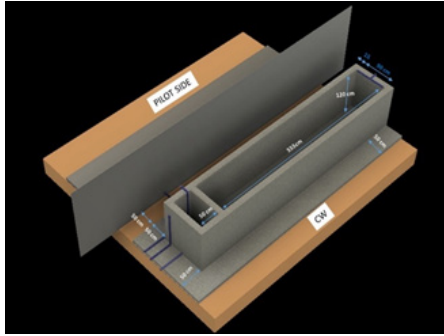
استُخدمت مياه الصرف البلدية المعالجة والنااتجة عن المحطة التجريبية في ري محاصيل القمح. ومن جانبهم، قام شركاء مشروع MADFORWATER بتطوير تقنيات عديدة في مجال الري تتناسب مع إعادة استخدام مياه الصرف البلدية المعالجة أثناء مدة المشروع بغرض تقليل استهلاك المياه وزيادة إنتاج المحاصيل. تم إجراء الاختبارات لتقنيات الري التي وقع عليها الاختيار في هذه المحطة التجريبية: وهي بمثابة نموذج لجدولة الري مع الأخذ في الاعتبار الخصائص المحددة لمياه الصرف المعالجة والرشاشات الصغيرة المبتكرة التي تناسب مياه الصرف البلدية المعالجة والأجواء الحارة والإمداد بالبكتيريا المحفزة لنمو النبات؛ فكانت النتائج واعدة بالنسبة لزراعة القمح من خلال الجمع بين الري باستخدام مياه الصرف البلدية المعالجة والإمداد بالبكتيريا المحفزة على نمو النبات. ويمكن تحضير ملقحات البكتيريا المحفزة

لنمو النبات لتيسير استخدامها من قبل المزارعين. إلا أن قبول هذه التقنية اجتماعياً وقانونياً لا يزال يمثل عائقاً كبيراً أمام تنفيذها على نطاق واسع.



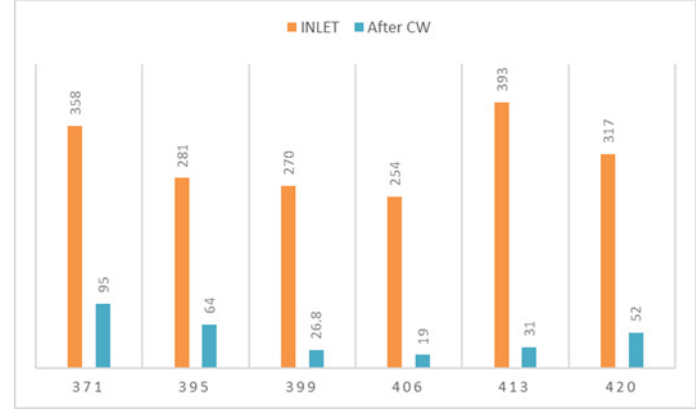
المحطة التجريبية الأولى في محطة سُطْرانة لمعالجة مياه الصرف البلدية في أريانة - تونس: (أ) صورة المحطة التجريبية؛ (ب) القمح المروي بمياه الصرف البلدية المعالجة باستخدام الرشاشات الصغيرة





المحطة التجريبية الأولى لمعالجة مياه الصرف البلدية في أريانة - تونس: تفاصيل الأراضي الرطبة الاصطناعية

أثناء الأسابيع الأولى من التشغيل، نتج عن المحطة التجريبية الأولى معدلات إزالة مرتفعة للغاية بالنسبة للمؤشرات الأساسية. إلا أن تراكم الحمأة في وحدات المرشحات قد أثرت سلباً على أداء المنظومة برمتها. ونتج عن تركيب وحدة تنقية أولية تحسن كبير في جودة المخلفات السائلة. كما أن تنفيذ الأراضي الرطبة الاصطناعية على سبيل المعالجة الثلاثية قد أدى إلى تحسن خطير في جودة المخلفات السائلة. ولكن اتضح أن التعقيم الكيميائي لا يزال ضرورياً من أجل الاستجابة للمعايير الوطنية والدولية من أجل إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في مجال الزراعة.



معالجة مياه الصرف البلدية في المحطة التجريبية الأولى في أريانة - تونس: تركيز الحاجة الحيوية للاكسجين (المقاسة على مدار خمسة أيام) (مجم/لتر) مقابل الزمن. أراضي رطبة اصطناعية

يبدو أن سلسلة المعالجة المقترحة (الترسيب - مرشح التقطير والأراضي الرطبة الاصطناعية) تلائم تماماً المجتمعات الريفية الصغيرة (1000 - 10000 شخص)، حيث تتميز بالغياب التام لمعالجة مياه الصرف البلدية وعدم وجود مياه عذبة بجودة مناسبة للري. تصل التكلفة الإجمالية لمعالجة مياه الصرف إلى 0.6 - 0.7 يورو/ متر مكعب) وهي مناسبة للسياق التونسي. تمثل هذه المعالجة تقنية ميسورة التكلفة يمكن تنفيذها في العديد من الدول الأفريقية.

1-2 المحطة التجريبية الثالثة في أغادير - المغرب

في منطقة سوس ماسة بالمغرب، اعتمدت المحطة التجريبية الثالثة على محطة معالجة مياه الصرف القائمة داخل محطة مازر في أغادير، بطاقة 75000 متر مكعب/ اليوم. يبعد موقع محطة مازر لمعالجة مياه الصرف البلدية حوالي 8.5 كم جنوب مدينة أغادير، على الكثبان الساحلية في مازر. تبعد الحدود الغربية للموقع عن البحر بمسافة 1500 متر تقريباً. وتبلغ مساحة الموقع المخصصة لتنفيذ المشروع 200 هكتار. تتضمن عملية محطة المعالجة حوض لاهوائي للمعالجة الأولية وارتشاح على طبقة رملية للمعالجة الثانوية وتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية للمعالجة الثلاثية. ولقد تبين من أعمال الرصد التخلّص من 97-98 في المائة في المتوسط من الحاجة الحيوية للاكسجين (المقاسة على مدار خمسة أيام) والحاجة الكيميائية للاكسجين ومجموع المواد الصلبة العالقة، وكذا التخلّص من 99 في المائة من النيتروجين الإجمالي والعكارة و100 في المائة من بيض الديدان الطفيلية والبكتيريا القولونية و60 في المائة من الفوسفور. وتمثّل النفايات السائلة الخارجة من المحطة مع المعايير المغربية المعينة بالري باستخدام مياه الصرف المعالجة، باستثناء الموصلية الكهربائية (4.5-3 ميليسيمنز/ سم) التي تتجاوز هذا المعيار قليلاً. يمكن تفسير ارتفاع الموصلية الكهربائية بالكمية الكبيرة من مياه الصرف المالحة الناتجة عن محطات تغليب الأسماك. وللتغلب على هذه المشكلة، قامت الشركة المغربية المسؤولة عن معالجة مياه الصرف البلدية RAMSA بإلزام مصانع تغليب الأسماك بمعالجة المخلفات السائلة في مرحلة مسبقة وعلى نحو منفصل قبل ضخها في شبكة الصرف الصحي.



معالجة مياه الصرف البلدية في المحطة التجريبية الثالثة في أغادير - المغرب: (أ) المعالجة الأولية؛ حوض لاهوائي للمعالجة الأولية؛ (ب) المعالجة الثانوية؛ مرشح رملي؛ (ج) منظومة تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية - المعالجة الثلاثية.

- تقدم التقنية المقترحة لمعالجة مياه الصرف البلدية عدة مزايا:
- النتيجة آمنة ولا تسبب الضرر للبشر أو البيئة أو الحياة البرية؛ بل تضمن الحصول على نتيجة مرضية بدون إضافة المنتجات الكيميائية؛
- نتائج طيبة من حيث خفض المواد العالقة؛
- مستوى متقدم من النتزعة وتوفير الحاجة الحيوية للاكسجين؛
- إزالة كميات كبيرة من البكتيريا؛
- انخفاض تكلفة التشغيل؛
- سهولة التشغيل؛
- اندماج جيد في البيئة.

نتيجة الملوحة الشديدة في المخلفات السائلة الناتجة عن محطة مازر، يقتصر

وختاماً، أدت كلتا السلسلتين لمعالجة مياه الصرف البلدية اللتين تم اختبارهما في المحطات التجريبية لمشروع MADFORWATER إلى إنتاج مياه صرف معالجة عالية الجودة، واستخدمت بنجاح في ري القمح وأشجار الزيتون. بالنسبة لكلتا السلسلتين المعالجتين، كانت التكلفة الإجمالية لمعالجة مياه الصرف (0.6 – 0.7 يورو/ م³) مقبولة في السياق التونسي والمغربي.

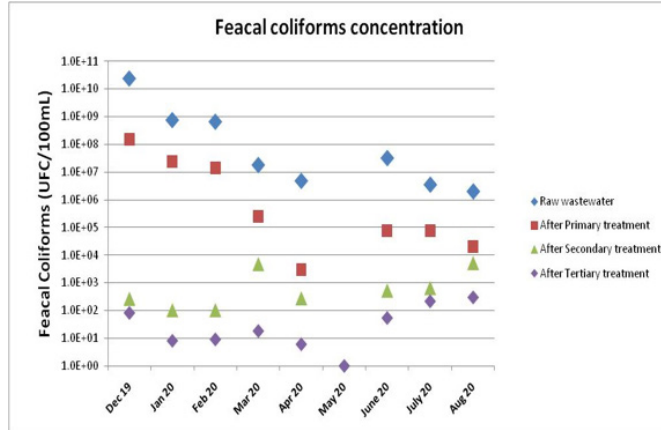
يبدو أن دمج وحدة المرشح التضاض مع وحدة الأراضي الرطبة الاصطناعية على وجه الخصوص يناسب تماماً المجتمعات الريفية الصغيرة (1000 – 10000 شخص) التي تعاني في الواقع من نقص تام في معالجة مياه الصرف البلدية وكذلك نقص المياه العذبة بالجودة المناسبة للري. من ناحية أخرى، هناك ضرورة لإجراء المزيد من البحث من أجل تقييم فعالية تسلسل المعالجة للتخلص من الفيروسات والبكتيريا المسببة للأمراض والملوثات المستحدثة.



معالجة مياه الصرف البلدية في المحطة التجريبية الثالثة في أغادير - المغرب: (أ) عملية معالجة مياه الصرف البلدية في مازر؛ (ب) أشجار الزيتون المروية بمياه الصرف البلدية المعالجة باستخدام فوهات ري معاصرة

استخدامهما على المحاصيل الحساسة تجاه الأملاح.

استخدمت مياه الصرف البلدية الناتجة عن محطة مازر في ري أشجار الزيتون الصغيرة بواسطة فوهات ري معاصرة مبتكرة. وأجريت جدولة مياه الري باستخدام نموذج مبتكر لمحاكاة توازن مياه التربة (SIM). بعد عام من التجارب، مكّن الري باستخدام مياه الصرف البلدية المعالجة من تحقيق وفورات في الأسمدة والمياه مقدارها 570 يورو/ الهكتار عند تطبيق نموذج SIM. وتقاربت غلة المحاصيل التي تم الحصول عليها باستخدام مياه الصرف البلدية والمياه العذبة.



معالجة مياه الصرف البلدية في المحطة التجريبية الثالثة في أغادير - المغرب: إزالة البكتيريا القولونية على مر الوقت.



محطة تجريبية لمعالجة مياه الصرف البلدية وإعادة استخدامها في أغدير - المغرب: تجانس قيم التوزيع المقاسة لتقنيات الري المختلفة التي تم اختبارها أثناء المرحلة التجريبية. مياه الصرف المعالجة والمياه العذبة ونموذج الري الآمن

مرحلة المفاعل البيولوجي الهوائي MBBR لهذا النوع من مياه الصرف، حيث يتسبب ارتفاع الملوحة والملوثات العسوية في منع نمو الكتلة الحيوية. وفي ضوء هذه النتائج، خضعت المحطة التجريبية المطورة لإعادة تطوير وتطبيق التخر والتلبد في المعالجة الرئيسية قبل عمليات تحسين الامتصاص والترشيح. أدت المحطة التجريبية إلى إنتاج نفايات سائلة عالية

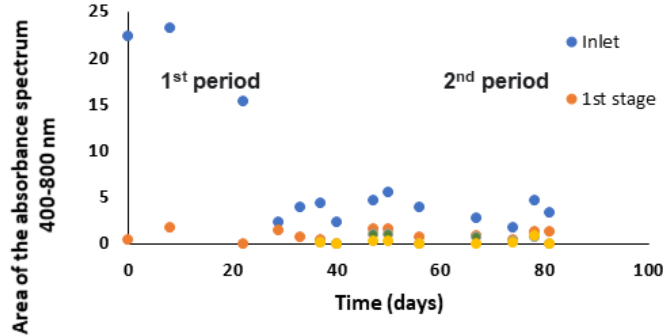
الجودة بمتوسط عمليات إزالة للألوان 96 في المائة و63 في المائة للطلب الكيميائي للاكسجين COD و66 في المائة للطلب الكيميائي الحيوي للاكسجين BOD و95 في المائة للمواد الصلبة العالقة TSS و100 في المائة للأمنوم NH₄ والفوسفات PO₄ والبكتريا القولونية الغائطية والإجمالية. كانت جميع قيم النفايات السائلة باستثناء الموصلية الكهربائية (في المتوسط حوالي 18 ميليسيمز/سم) في حدود المعايير التونسية بشأن إعادة استخدام مياه الصرف في الزراعة NT106.03 والتصريف المقبول لمياه الصرف على المستوى القومي في المجاري العامة (المرسوم رقم 315 لعام 2018). وتتميز التكنولوجيا المتطورة بتكلفة معالجة تبلغ 0.15 يورو لكل متر مكعب من مياه الصرف، وهي بذلك في حدود أسعار صرف المياه المتعارف عليها في تونس.

2. المحطة التجريبية الثالثة لمعالجة مياه صرف المنسوجات المصنوعة بتقنية GWash وإعادة استخدامها (نابل - تونس)

تم تركيب محطة تجريبية لمياه صرف ناتجة عن مصنع للنسيج بطاقة 10 م³/اليوم يعمل بتقنية GWash (نابل - تونس) وتتكون من وحدة تخر/ تلبد وخزان ترسيب أولي ومفاعل بيولوجي هوائي بطبقة متحركة MBBR وخزان ترسيب ثانوي ومرشح رملي وعمود امتصاص. أثناء التشغيل الأولى للمحطة التجريبية، تبين عدم ملاءمة



صناعة النسيج بتقنية GWash (كوربا، نابل - تونس): موقع المحطة التجريبية الثانية لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج وإعادة استخدامها



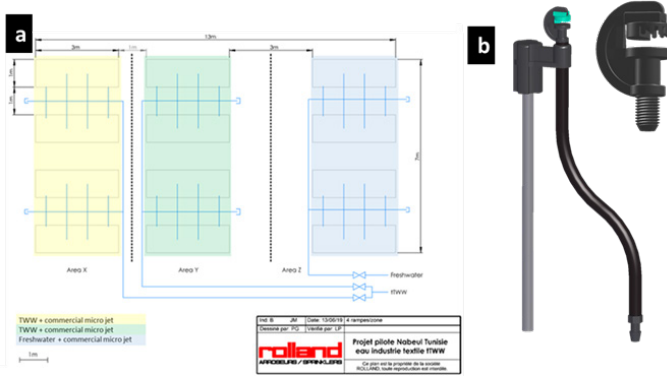
المحطة التجريبية الثانية لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج وإعادة استخدامها في نابل، تونس: إزالة الألوان في الأقسام المختلفة من محطة معالجة المياه. المرحلة الأولى: وحدة التخمير والتلبد؛ المرحلة الثانية: المرشح الرملي؛ المرحلة الثالثة: عمود امتصاص المادة الصمغية

أعيد استخدام مياه صرف النسيج المعالجة في ري الذرة البيضاء. كانت النتائج مشجعة من حيث المعايير المورفولوجية والفسيولوجية والغلة. تشابه النمو والغلة في قطع الأراضي المروية بمياه صرف النسيج المعالجة وتلك المروية بالمياه العذبة. في كلتا القطعتين، كانت غلة جبوب الذرة البيضاء تساوي حوالي 1500 كيلوجرام/الهكتار، ضمن نطاق متوسط القيم المسجلة في تونس في عام 2017.



المحطة التجريبية الثانية لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة المنسوجات في نابل - تونس: تركيب شبكة الري في الحقول التجريبية

يصدر عن صناعة المنسوجات في تونس حوالي 3 ملايين متر مكعب/ السنة من مياه الصرف والتي يتم تصريفها عادةً في المجاري العامة، مما يحدد شحنة إضافية ضخمة من المواد العضوية غير القابلة للتحلل والألوان على محطات معالجة مياه الصرف البلدية.

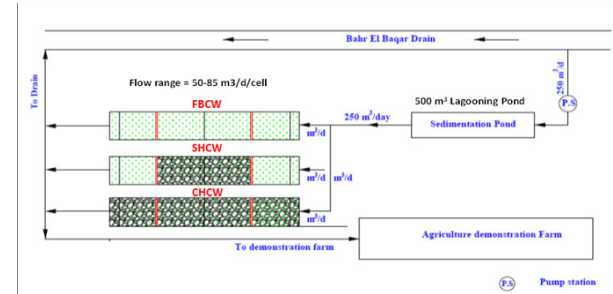


المحطة التجريبية الثانية لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج وإعادة استخدامها في نابل - تونس: (أ) مخطط بياني لتصميم شبكة الري؛ (ب) رشاشات صغيرة

اتضح التشابه الشديد بين ملامح التربة المروية بمياه الصرف المعالجة والمجموعة الحاكمة من التربة المروية بالمياه العذبة. وبعد مضي عام تقريباً، لوحظت زيادة في الموصلية الكهربائية التي ربما تؤثر سلباً على حساسية المحاصيل تجاه الأملاح. ولذلك، من الضروري إجراء التصريف المناسب للتحكم في الملوحة. إذ يساعد التصريف في تيسير إطلاق الأملاح في اتجاه التربة. تتكون شبكة الري المستخدمة من شبكة رشاشات صغيرة بتدفق منتظم

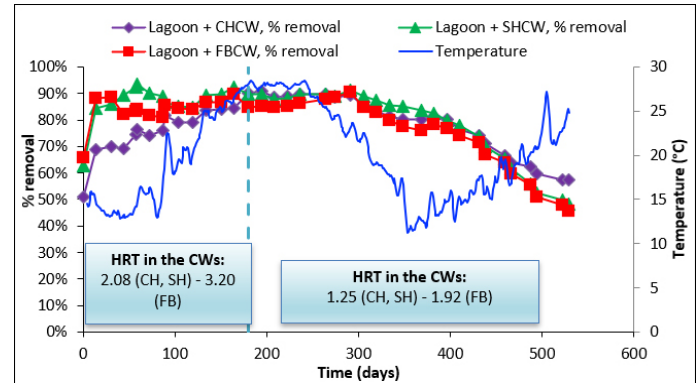
وهي سهلة الاستخدام والتشغيل، وهكذا، تحقق التوزيع المتجانس للمياه. إلا أن هناك ضرورة لإجراء الصيانة اللازمة للرشاشات الصغيرة وتنظيفها لإزالة البقايا المترسبة. وجدير بالإشارة كذلك أن كفاءة الرشاشات الصغيرة قد انخفضت في الأجواء الشديدة الرياح. هناك إمكانية لتنفيذ العملية المنخفضة التكلفة التي تم اختبارها في المحطة التجريبية الثالثة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج وإعادة استخدامها، وذلك على نطاق واسع في إطار شمال أفريقيا، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في شحنة الملوثات الناتجة عن صناعة النسيج. يمكن إعادة استخدام مياه صرف المنسوجات المعالجة في ري المحاصيل غير الغذائية حيث اتضحت فعاليتها في إطار مشروع MADFORWA- TER. كما يوجد خيار بديل يكمن في إعادة الاستخدام على المستوى الداخلي في إطار صناعة المنسوجات، مع تحقيق انخفاض في استهلاك المياه العذبة وبالتالي الإجهاد المائي في المناطق التي تتميز بارتفاع كثافة مصانع النسيج.

3- المحطة التجريبية المتكاملة الرابعة لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي وإعادة استخدامها في منطقة المنزلة - مصر



المحطة التجريبية الرابعة لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي وإعادة استخدامها في بحيرة المنزلة - مصر: رسم بياني لقسم معالجة المياه

تتكون المحطة التجريبية الرابعة لمشروع MAD4WATER من حوض اختياري وثلاثة أنواع من الأراضي الرطبة الاصطناعية التي خضعت لاختبارات متوازية (الأراضي الرطبة الاصطناعية الهجينة المتعاقبة CHCW والأراضي الرطبة الاصطناعية الهجينة المسلسلة SHCW والأراضي الرطبة الاصطناعية على قاع عائم FBCW) لمدة أكثر من عام واحد والذي تضمن اختبار زمني للمكوّن لكل من الأنواع الثلاثة. وتم تركيبها بالقرب من بحيرة المنزلة في مصر وتخصيصها لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي وإعادة استخدامها بالقرب من بحيرة المنزلة في مصر، بطاقة 250 م³/3 اليوم. وفيما يلي رسم بياني لقسم معالجة المياه.



المحطة التجريبية الرابعة لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي وإعادة استخدامها في بحيرة المنزلة - مصر: كفاءة إزالة الأمونيوم مقابل الزمن. زمن احتجاز الماء - الأراضي الرطبة الاصطناعية

التوالي). كانت هذه الانتاجية التجريبية أعلى كثيراً من المحاصيل التي قدمها موقع مؤشر موندي، ما يعادل 762 كيلوجرام/ هكتار في مصر لعام 2019. وكانت إنتاجية المياه التي تم الحصول عليها من مياه الصرف المعالجة وشبه المعالجة مرتفعة، بدون تسجيل أي فرق ملحوظ بين تقنيتي الري.

ختاماً، أظهر الجمع بين الأحواض الاختيارية والأراضي الرطبة الاصطناعية إمكانية كبيرة لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي في منطقة دلتا النيل. من خلال التصميم والتخطيط الدقيقين، يمكن معالجة مياه الصرف الزراعي مما يؤدي إلى إنتاج نفايات سائلة بمستوى جودة تصلح للري، مع استهلاك منخفض للغاية للطاقة وعدم استهلاك للمواد الكيماوية. كما أن استخدام أنظمة الأنابيب المزودة بالفوهات المعيارية يمكن أن يقلل بشكل كبير من كمية المياه التي يتم توفيرها على مستوى الحقل، وبالتالي تقليل كمية مياه الصرف، دون تقليل غلة المحاصيل. يمكن أن يؤدي تنفيذ هذه التقنيات على نطاق واسع في دلتا النيل إلى تحسن ملحوظ في جودة مياه الري وتوفير كبير في استهلاك المياه العذبة من نهر النيل وانخفاض في شحنة الملوثات التي يتم تصريفها في نهاية المطاف إلى البحر الأبيض المتوسط.

أدى المزج بين البحيرة والأراضي الرطبة الاصطناعية الهجينة التعاقبية إلى أعلى معدلات الكفاءة في المعالجة، حيث تم إزالة 70 في المائة من الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين و66 في المائة من الطلب الكيميائي للأوكسجين و90 في المائة من المواد الصلبة العالقة (TSS) و83 في المائة من النيتروجين الإجمالي و81 في المائة من الفوسفات (PO4) وتم خفض البكتريا القولونية الإجمالية بمقدار 1.9 درجة لوغاريتمية للقولونيات الغائطية الإجمالية و2.2 درجة لوغاريتمية للبكتريا الغائطية، في زمن مكوث مدته 2.1 يوم في الأراضي الرطبة الاصطناعية وزمن مكوث لمدة يومين في البحيرة. وبلغ متوسط تركيزات النفايات السائلة للمياه المعالجة (39 مجم/ لتر للطلب الكيميائي للأوكسجين (COD) و16 مجم/ لتر للطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين (BOD) و13 مجم/ لتر للمواد الصلبة العالقة (TSS) و3 مجم/ لتر للنيتروجين الإجمالي و1.1 مجم/ لتر للفوسفات و220 لكل 100ملي لتر من البكتريا القولونية الغائطية) وكانت متوافقة مع المعايير المصرية لري الحبوب والمحاصيل غير الغذائية، مثل القطن.

وأدى انخفاض زمن الاحتجاز في الأراضي الرطبة الاصطناعية والذي تم اختياره خلال الجزء الثاني من مرحلة الرصد، إلى انخفاض ملحوظ في كفاءة المعالجة. أعيد استخدام مياه قنوات الصرف المعالجة وشبه المعالجة (التي تم رفع العينات منها بعد التخزين في البحيرة وقبل الأراضي الرطبة الاصطناعية) في ري نباتات القطن باستخدام الأنابيب المزودة بفتحات معيارية في قسم من المحطة التجريبية والري التقليدي بالأحادي في قسم آخر. بالمقارنة مع نظام الري السطحي المطبق تقليدياً في دلتا النيل، تم اختبار تقنية الأنابيب المزودة بفتحات معيارية، الأمر الذي أتاح توفير ما بين 14 و23 في المائة من مياه الري - حسب نوع المياه المستخدمة - بدون أي انخفاض في غلة القطن. أدى الري بمياه الصرف شبه المعالجة إلى أعلى غلة قطن لكل من الأنابيب المزودة بفتحات والري السطحي (1780 و1690 كيلوجرام/ هكتار على

المحطة التجريبية الرابعة لمعالجة مياه قنوات الصرف الزراعي وإعادة استخدامها:
(أ) ضبط الأراضي الرطبة الاصطناعية الهجينة المسلسلة في بحيرة المنزل - مصر؛ (ب)
نبات القطن مروي بمياه قنوات الصرف الزراعي باستخدام الأنابيب المزودة بفوهات.

وختاماً، يتضح أن التوسع في نطاق التقنيات التي تم اختيارها لمشروع MADFOR-
WATER وتشغيلها في المحطات التجريبية لمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها
قد سمح من ناحية بالتعرف أكثر على إمكانية تنفيذها على نطاق واسع وبالتالي عرض
هذه التقنيات في الأسواق في شمال أفريقيا، ومن ناحية أخرى التعرف على العناصر
التي لا تزال تحتاج إلى مزيد من التقصي والبحث.



