

استخدام تكنولوجيا مستدامة لمعالجة مياه الصرف الصحي بالجنوب الليبي

مجيد الهادي ختريش

استاذ مساعد قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، الزاوية، ليبيا

البريد الإلكتروني: khitreesh@yahoo.com

الملخص:

تعتبر مياه الصرف الصحي من أكبر المشاكل البيئية التي تواجهه التطور الحضري للمدن بمختلف دول العالم لما يترتب على ذلك من أخطار صحية واقتصادية، ولمواجهة هذه الاخطار حدث تطور تكنولوجي كبير في مجال معالجة مياه الصرف الصحي وتطورت تقنيات واساليب المعالجة بناءً على الضوابط البيئية التي ترتبط بطبيعة المياه والهدف النهائي من معالجتها ويحقق الاعتبارات الاقتصادية ومتابعة الأثار البيئية مع ضرورة اختيار انسب طرق ادارتها واستدامتها.

ان هذه الدراسة تسلط الضوء على استخدام تكنولوجيا مستدامة لمعالجة مياه الصرف الصحي في مدن الجنوب الليبي (مدينة تمسه دراسة حالة). بهدف ابراز الفوائد البيئية والاقتصادية الناجمة عن تطبيق هذه التكنولوجيا المستمدة من الطبيعة في ليبيا ، حيث اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتصميم محطة معالجة تعمل بتكنولوجيا أحواض التثبيت تتكون من حوض اختياري متبوع بعدد 2 حوض نضوج بمساحة تقدر بـ4 هكتار لإقامة جميع وحدات المعالجة وتحقيق معيار قياسي لتحديد الطلب الكيميائي الحيوي على الاوكسجين (BOD_5) Biochemical Oxygen Demand للتدفق الناتج لا يزيد عن 25 مليجرام ١ لتر، وخلصت الدراسة الى إجراء تحليل اقتصادي لتكاليف الانشاء بلغت 110 الف دينار وبتوصيات هامة عن استخدام هذه التكنولوجيا محدودة التكاليف في ليبيا.

الكلمات المفتاحية: الصرف الصحي، تقنيات معالجة مياه الصرف، أحواض التثبيت

Abstract

Wastewater is considered one of the biggest environmental problems faced by the prohibitive development of cities in various countries of the world due to the health and economic risks that this entails. To confront these dangers, a great technological development occurred in the field of sewage treatment and treatment techniques and methods have developed based on environmental controls that are related to the nature of Water and the final goal of its treatment, and achieves economic considerations and follow-up environmental impacts with the need to choose the most appropriate methods of management and sustainability. This study sheds light on the use of sustainable technology for wastewater treatment in the southern Libyan cities. In order to highlight the environmental and economic benefits resulting from the application of this technology derived from nature in Libya, where the study relied on the descriptive analytical approach to design a treatment plant that operates with the technology of stabilization ponds consisting of 1 facultative pond followed by 2 maturation ponds with an estimated area of 4 hectares and meet the standard output BOD₅ of no more than 25 mg/L, The study concluded that an economic analysis of the construction costs amounted to 110 thousand dinars and important recommendations for the use of this technology .

Keywords: sewage treatment, sewage treatment techniques, oxidation ponds

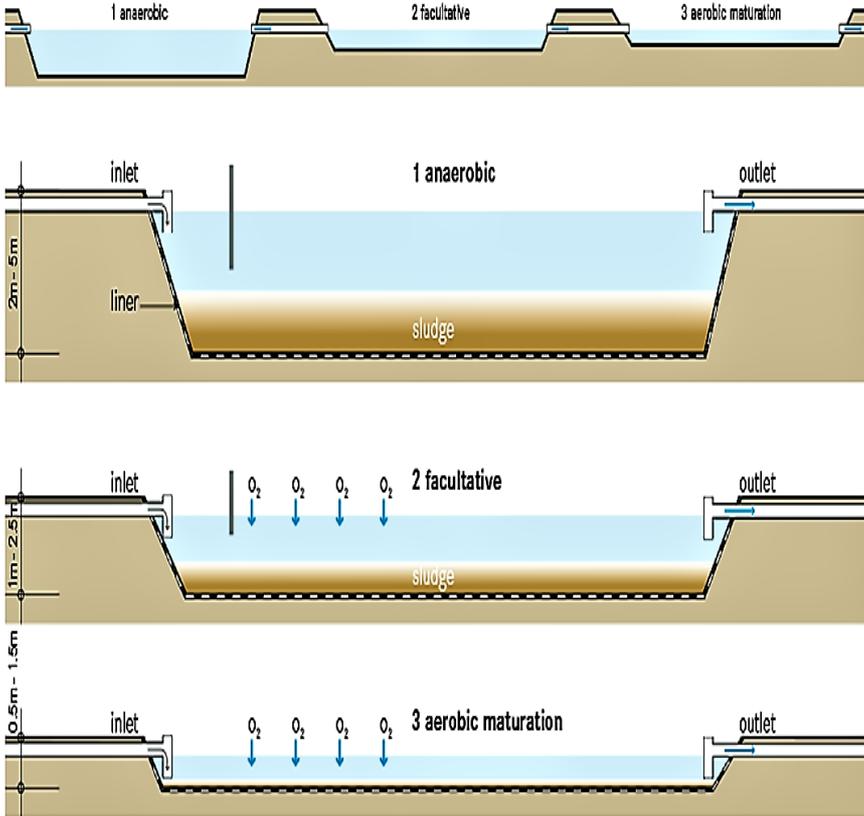
1- مقدمة

ان ازدياد التوسع العمراني والنمو السكاني وتطور الصناعة الذي تم في هذا العصر أدى الى المزيد من استهلاك المياه العذبة وبالتالي زيادة طرح المياه الملوثة المنزلية والصناعية في البيئة بدون معالجة مما أدى الى ظهور التلوث وتفاقمه بشكر خطير وخير دليل على ذلك انتشار الروائح الكريهة والمزعجة في العديد من المدن الليبية مما استلزم توجيه الاهتمام الى معالجة هذه المياه الملوثة ضمن محطات معالجة ومن ثم طرح المياه المعالجة في المصبات المائية او اعادة استخدامها بشكل مفيد.

ان اختيار نوع وتقنيات المعالجة المناسبة لمعالجة مياه الصرف الصحي ليست بالمهمة السهلة فهي تتطلب فهماً عميقاً لمختلف طرق المعالجة لهذه المياه الملوثة والإمكانيات التشغيلية للوحدات المختارة والظروف البيئية والمحلية المحيطة. حيث في هذه الدراسة تم اختيار مدينة تمسه بالجنوب الليبي لتطبيق تكنولوجيا مستدامة لمعالجة مياه الصرف الصحي "احواض التثبيت" وهي تقنية مبسطة مستمدة من الطبيعة لمعالجة مياه الصرف الصحي لتعميمها بمدن الجنوب الليبي التي تتميز بظروف بيئية مناسبة جداً لتطبيق هذه التكنولوجيا تتمثل بمناخ مشمس طول السنة وتوفر مساحات شاسعة من الارض بجوار هذه المدن.

2- تكنولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام احواض التثبيت

تعتبر المعالجة بأحواض التثبيت (WSPs, Waste stabilization ponds) أو برك الاكسدة إحدى الأنظمة البيئية الطبيعية التي تتم فيها معالجة المياه بيولوجياً بطريقة طبيعية تعتمد على نشاط مشترك ومتكامل تقوم به الكائنات الحية الدقيقة (بكتيريا، طحالب) للتخلص من المواد العضوية الكربونية وإزالة مسببات الأمراض من مياه الصرف الصحي عند توفر الظروف البيئية الملائمة مثل أشعة الشمس وبعض العناصر الموجودة أصلاً في مياه الصرف الصحي (زيتلي وأخرون، 2014).



الشكل (1): رسم تخطيطي لأنواع الثلاثة الرئيسية لأحواض التثبيت (WSPs): (1) اللاهوائية ، (2) الاختيارية ، (3) الهوائية (النضوج) ولكل منها خصائص معالجة وتصميم مختلفة.

ويتكون نظام المعالجة من سلسلة من الأحواض (اللاهوائية، الاختيارية، واحواض النضوج) وهي تختلف في العمق كما مبين في الشكل (1).

حيث تدخل المياه الملوثة على جانب واحد من حوض التثبيت وتخرج من الجانب الآخر على أنها مياه معالجة بعد قضاء عدة أيام في الحوض يمكن ان تصل الى 30 يوم تتم خلالها عمليات المعالجة، ويعتمد عدد و نوع الأحواض على درجة وكمية المياه المعالجة المطلوبة، حيث تحتوي أحواض التثبيت اللاهوائية وهي بعمق 2-5 متر على القليل جداً

من الأكسجين المذاب وبالتالي تسود الظروف اللاهوائية ، اما أحواض التثبيت الاختيارية وهي بعمق 1-2.5 متر تحافظ على سطح هوائي في الأعلى وتتنخفض نسبة الأكسجين الذائب في اتجاه الاسفل من الحوض ، بينما أحواض الإنضاج تكون بعمق بسيط 0.5-1.5 متر وهي توفر ظروفًا هوائية من سطح إلى قاع الحوض (زيتلي وأخرون، 2014). عند تشغيل الاحواض اللاهوائية يتم تثبيت جزء من المواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصحي، وبالتالي إزالة المادة العضوية التي تساهم بها هذه المواد الصلبة و بالإضافة إلى ذلك تتم إزالة بعض المواد العضوية المذابة عن طريق الهضم اللاهوائي، اما خلال المرحلة الثانية في الاحواض الاختيارية يتم إزالة معظم المواد العضوية الذائبة المتبقية بشكل رئيسي من قبل البكتيريا التي تحصل على الأكسجين من عملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها الطحالب. وتتمثل الوظيفة الرئيسية للمرحلة الثالثة في أحواض النضوج في إزالة مسببات الأمراض، على الرغم من أنها قد تساعد أيضًا في تقليل المغذيات مثل النيتروجين (بينيا واخرون، 2004). ومع ذلك فإن تثبيت النيتروجين بواسطة الطحالب التي تعيش في أنظمة أحواض التثبيت قد يؤدي إلى زيادة مستويات النيتروجين في مياه الصرف في أحواض التثبيت (فون واخرون، 2007).

3- التطبيق و ملائمة التكنولوجيا

يعتبر نظام المعالجة بطريقة أحواض التثبيت مناسباً جداً في المناطق التي تتمتع بمناخ حار وشمس ساطعة في معظم أيام السنة تساعد في سرعة اتمام عمليات المعالجة البيولوجية، وخاصة عند وجود مساحات شاسعة من الأراضي رخيصة الثمن حول المدن (فون واخرون، 2005). وتنشأ أحواض التثبيت بطرق هندسية بسيطة لا تتعدى في بعض الأحيان أعمال الحفر والتمهيد والتسوية إذا كانت التربة قوية متماسكة، ولنجاح هذه التكنولوجيا واستدامتها يفضل قبل أعمال التصميم والتنفيذ عمل دراسة وافية تشمل طبوغرافية المنطقة وما يحيط بها، طبيعة المياه الجوفية، خصائص التربة ومكوناتها، درجة الحرارة والرياح السائدة، السطوع الشمسي، خصائص مياه الصرف، شكل الاحواض المناسب وأسلوب التشغيل الأمثل ومجالات استعمال المخلفات السائلة بعد معالجتها. ومن خلال التجارب السابقة في تشغيل وصيانة هذه المحطات في العديد من المواقع حول

العالم كما مبين الشكل(2)، وجد ان لها العديد من المحاسن والتي منها (فون واخرون،2005).



الشكل(2): صورة جوية لأحواض الأكسدة في ريد لودج، مونتانا .

○ هذه الطريقة لا تحتاج الي عدد كبير من العناصر الفنية الماهرة وتعتبر من أرخص عمليات معالجة مياه الصرف الصحي من حيث التشغيل والصيانة ومحدودة الاحتياج الى الطاقة الكهربائية.

○ تستوعب هذه الطريقة التغيرات الفجائية في الأحمال الهيدروليكية والعضوية ويمكن تشغيلها بطرق كثيرة، مثلا أحواض لاهوائية تعمل كمعالجة تمهيدية، احواض اختيارية، احواض هوائية، أحواض أكسدة بالهواء المضغوط، احواض الإنضاج حيث يمكن ربط أكثر من طريقة من هذه الطرق في عملية معالجة واحدة حسب درجة المعالجة المطلوبة والتي ترتبط باستعمال المياه المعالجة.

ومن الملاحظ عن ملائمة وتطبيق هذه التكنولوجيا، لا تستطيع الأحواض أن تحقق كفاءة عالية في إزالة المواد العضوية وعادة ما يكون لها قدرة منخفضة على إزالة

النيتروجين والفوسفور وعادةً ما تحتوي المياه المعالجة على تركيزات عالية من المواد الصلبة العالقة الناتجة عن إنتاج الطحالب في الأحواض. لذلك فإن الأحواض ليست تقنية مناسبة في المناطق التي توجد فيها معايير صارمة لتصريف المياه المعالجة ما لم يتم تضمين مراحل إضافية من المعالجة اللاحقة (منظمة الصحة العالمية، 2006).

4- التشغيل و الصيانة

رغم ان تكنولوجيا احواض التثبيت توفر نظام لمعالجة مياه الصرف الصحي سهل التشغيل والصيانة حيث لا توجد معدات كهربائية أو ميكانيكية معقدة تتطلب الاهتمام والمهام التي يؤديها طاقم التشغيل بسيطة للغاية ولا تتطلب مهارات خاصة، إلا أنه يمكن ان تحدث بعض المشاكل في حالة اهمال متطلبات التشغيل والصيانة السليمة، مثل الروائح الكريهة وتكاثر البعوض والذباب والحشرات الاخرى ونمو الاعشاب المائية وطفو الخبث في الأحواض الاختيارية واحواض النضوج التي تتطلب القليل من الاهتمام.

والصيانة الروتينية الوحيدة المطلوبة هي تنظيف المناخل وإزالة الرمل (المعالجة الأولية)، والفحص الروتيني للأنابيب، والسدود والهياكل الهيدروليكية الأخرى، وإزالة النمو النباتي غير المرغوب فيه في السدود الجانبية ورش بعض المبيدات من حين الى آخر لمنع تكاثر الحشرات (منظمة الصحة العالمية ، 1990). أما عن تراكم الحمأة داخل الاحواض يتم إزالته بعد عدة سنوات يمكن ان تصل الى 25 عامًا للأحواض الاختيارية وهي ميزة مهمة لنظام، في حين تكون الإزالة الأكثر تكراراً في الأحواض اللاهوائية بسبب صغر حجمها وانخفاض قدرتها على تخزين الحمأة، وفي أحواض النضوج يكون تراكم الحمأة منخفضاً جداً وتتم عادة إزالة الحمأة عن طريق الشفط والضخ أو التجريف باستخدام معدات ميكانيكية (فون واخرون، 2007).

5- التكاليف والاستدامة

تعتبر معالجة مياه الصرف الصحي بتكنولوجيا أحواض التثبيت من بين أفضل طرق المعالجة البيولوجية من الناحية الاقتصادية، وذلك على الرغم من الغلاء النسبي لثمن الارض ببعض المواقع، وللتحليل الاقتصادي الأكثر تفصيلاً يجب اخذ جميع العناصر المباشرة وغير المباشرة في الاعتبار مثل تكاليف راس المال وتكاليف المواد والمعدات والأدوات المستخدمة في الانشاء وكذلك تكاليف الخدمات والطاقة و مصاريف التشغيل

والصيانة، والعائد من استخدام المياه المعالجة في اغراض الري او الاغراض الأخرى. ونظرًا لأن كل هذه العناصر خاصة بالموقع فمن الصعب تعميم تكاليف البناء الإجمالية، وفي معظم الحالات ستكون هذه أقل مقارنة ببدائل معالجة مياه الصرف الصحي الأخرى (أرثر وآخرون، 1983).

6- البيانات الفنية وتطبيق التكنولوجيا بموقع الدراسة

تقع مدينة تمسه بالجنوب الشرقي لمدينة سبها ضمن دائرة العرض $26^\circ N$ وخط الطول $15^\circ E$ وهي مدينة صغيرة ذات تعداد سكاني يبلغ 3000 نسمة، و يتميز موقع المدينة بتوفر الظروف المناسبة لتطبيق هذه التكنولوجيا من حيث الموقع و درجة الحرارة وإمكانيات تنفيذ هذا التصميم علي أرض الواقع.

بهذه الدراسة كما مبين بالجدول (1) تم اقتراح نظام معالجة يتكون من حوض اختياري يتبعه عدد 2 أحواض نضوج لإتمام عملية المعالجة والتخلص من الكائنات الدقيقة الممرضة أما المعادلات المستخدمة في التصميم والحسابات من رقم (1-4) استخدمت من المرجع

$$(1) \quad L = 20T - 60 \quad \text{وهي (بينيا وآخرون، 2004)}$$

حيث L = معدل التحميل السطحي مقاساً بالكيلو جرام BOD_5 / هكتار / يوم

T = المتوسط الشهري لأقل حرارة (درجة حرارة أبرد شهر) مقاسة بالدرجة المئوية (م°).

$$(2) \quad Be = \frac{Bi}{(1 + K_B(T))t^*}$$

Be = عدد البكتيريا القولونية لكل 100 مليلتر من المياه المعالجة.

Bi = عدد البكتيريا القولونية لكل 100 مليلتر من المياه الداخلة.

$K_B(T)$ = ثابت معدل إزالة البكتيريا القولونية عند درجة حرارة (م°) مقاسة لكل يوم.

ويمكن إيجاد ثابت معدل إزالة البكتيريا القولونية ($K_B(T)$) عند درجة حرارة T باستخدام

$$(3) \quad K_B(T) = 2.6 [1.19]^{T-20}$$

T = المتوسط الشهري لأقل درجة حرارة مقاساً بدرجة المئوية.

مقدار الازالة البكتيرية الكلية لسلسلة أحواض تتكون من أحواض لاهوائية و احواض اختيارية و أحواض نضوج

$$(4) \quad Be = \frac{Bi}{[1+KT(T)t^*an][1+KT(T)t^*fac.][1+KT(T)t^*mat.]^n}$$

والأحواض الاختيارية وأحواض النضوج على التوالي، $n =$ عدد أحواض النضوج في نظام المعالجة.

الجدول 1. البيانات التصميمية و النتائج المتوقعة بمنطقة الدراسة (مدينة تمسه)

الوحدات	أولا : البيانات التصميمية
عدد السكان التصميمي	3000 نسمة
المعيار التصميمي لـ FC. للتدفق الناتج	100 \ 100 مليلتر
المعيار التصميمي BOD5 في الناتج النهائي	لا يزيد عن 25 ملليجرام / لتر
العدد المسموح به للبكتيريا القولونية (FC) في المياه المعالجة	لا يزيد عن 100 / 100 (FC) مليلتر
متوسط درجة الحرارة السنوي	30 م°
معدل استهلاك مياه الشرب	200 لتر/ اليوم / شخص
معدل تراكم الحمأة في الأحواض الاختيارية للفرد	0.03 متر مكعب في السنة
عمق الحوض الاختياري	2م
عمق حوض النضوج	1م
الميول الجانبية للجسور	3:1
الارتفاع الظاهر فوق المنسوب التصميمي	0.5 متر .
فرق المنسوب بين الأحواض الاختيارية و أحواض النضوج	1 متر .
تركيز (BOD) في المياه الداخلة	250 ملليجراما لتر
ثانيا : نتائج التصميم المقترح	الوحدات
مساحة الحوض الاختياري الابتدائي	1423 متر مربع
حجم الحوض الاختياري	2846 متر مكعب
نسبة الإزالة المتوقعة لقيمة BOD ₅	95 %
زمن المكوث بالحوض الاختياري الابتدائي	20 يوم
عند استخدام حوضي نضوج على التوالي بزمن مكوث 8 أيام لكل منهما تكون عدد البكتيريا في المياه الخارجة	11.697 FC / 100ml و بنسبة ازالة مقدارها = FC 99.99%

7- التكاليف التقديرية لتنفيذ وتشغيل محطة المعالجة بموقع الدراسة

الجدول (2) يوضح تكلفة رأس المال المقدرة لتنفيذ محطة معالجة لمياه الصرف الصحي تعمل بتكنولوجيا أحواض التثبيت حيث تم حساب ثمن الأرض على أساس (2.5) دينار للمتر المربع، أما تكلفة أعمال التربة والتنفيذ والإنشاءات فتم تقديرها بناءً على أسعار تقريبية بالمنطقة، كما يوضح الجدول (2) مصاريف التشغيل والصيانة السنوية لعمل المحطة.

جدول 2. التكاليف والمصروفات السنوية المقدرة لتنفيذ وتشغيل وصيانة أحواض التثبيت

بنود التنفيذ	التكلفة (د.ل.)	بنود التشغيل والصيانة	التكلفة السنوية (د.ل.)
ثمن الأرض	25000	عمالة	$24000 = 12 * 2 * 1000$
أعمال التربة	30000	مبيدات حشرية	500
الخرسانة العادية	35000	وقود	1000
تجهيز الموقع	20000	صيانة ومعدات بسيطة	1000
التكلفة الإجمالية للتنفيذ	110000	أجمالي تكاليف السنوية	26500 دينار

8-الاستنتاجات

من خلال دراسة استخدام تكنولوجيا أحواض التثبيت لمعالجة مياه الصرف الصحي، ومن واقع المعلومات التي توضح الخبرات السابقة لكثير من الدول في مجال استخدام أحواض التثبيت حول العالم ومن خلال تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمنطقة تمسه بالجنوب الليبي يمكن استنتاج ما يلي: -

1- بلغت المساحة المطلوبة لمحطة المعالجة بمدينة تمسه حوالي 4 هكتار، وهي تغطي عدد 2 حوض نضوج بمساحة 8000 متر مربع، وحوض اختياري بمساحة 1500 متر مربع، والمساحة الباقية لتجفيف الحمأة والتوسع المستقبلي. وهي ذات قدرة لإزالة 99.99 % من الجراثيم الضارة، ونسبة الإزالة المتوقعة للمواد العضوية والملوثات (BOD) حوالي 95 %.

2- يمكن استخدام العوائد السنوية الناتجة من استخدام المياه المعالجة في الري أو تربية الأسماك كمصاريف لتشغيل والصيانة البسيطة (اليونسكو، 2018) حيث كما مبين

بهذه الدراسة باستخدام حوضي نضوج كمزارع أسماك وبفرض أن الهكتار الواحد ينتج سنوياً أربعة آلاف كيلو جرام من السمك فسيكون إجمالي إنتاج السمك 3500 كيلو جرام سنوياً، وعلى فرض أن سعر كيلو جرام من السمك يساوي 10 دينار بالسوق المحلي فيكون العائد السنوي من تربية الأسماك 35000 ألف دينار مما يغطي مصاريف التشغيل والصيانة السنوية للنظام ويوفر الاستدامة للمشروع .

3- يمكن الحصول على المواد والمعدات اللازمة لإنشاء محطات المعالجة باستخدام أحواض التثبيت محلياً ويمكن التنفيذ بشركات محلية موجودة بالمنطقة حيث بلغت تكلفة التنفيذ 110 ألف دينار، و 27 ألف دينار مصاريف تشغيل وصيانة سنوية لاستمرار واستدامة تشغيل المحطة بمنطقة تمسه.

9- التوصيات

1- الاتجاه الى تطبيق معالجة مياه الصرف الصحي في المنطقة الجنوبية من ليبيا باستخدام تكنولوجيا أحواض التثبيت فهي من أنسب طرق المعالجة البيولوجية للاستخدام وذلك لتوفر مساحات كبيرة من الأراضي حول المدن بسعر مناسب لإقامة هذه المحطات الي جانب ملائمة الظروف المناخية للعمليات البيولوجية التي تتم بهذه التقنية.

2- يجب القيام بالدراسات المحلية على مشاريع إعادة استعمال مياه الصرف لتقييم تأثير إعادة استعمال المياه على الصحة العامة والبيئة، ودراسة مدى ملائمة تطبيق الخطوط الاستراتيجية العالمية على هذه المشاريع والتعديل بها حسب النتائج لهذه الدراسات.

3- على الجهات المسؤولة وضع بدائل عامة لطرق المعالجة المفضلة بالمناطق بحيث تكون سهلة التنفيذ وبسيطة التشغيل تناسب الموقع الجغرافي للمدن من حيث غياب الخبرة التشغيلية المحترفة وضع الطاقة الكهربائية وتوفير قطع الغيار للمحطات والمواد الكيميائية المستخدمة بالمعالجة.

4- التقييم الدوري للتأثير الفعلي لمشروعات الصرف الصحي هام جدا أثناء وبعد تشغيل المشروع، وذلك للاستفادة من خبرة المشروع في مشاريع أخرى مشابهة.

المراجع

- [1] آرثر، جي بي، ملاحظات حول تصميم وتشغيل أحواض الأكسدة في المناخات الدافئة في البلدان النامية. الورقة الفنية رقم 7. واشنطن العاصمة، 1983.
- [2] بينيا فارون، د. مارا، برك التثبيت، المركز الدولي للمياه والصرف الصحي، دلفت، هولندا، 2004.
- [3] زتيلي، يورخ، ريموند، نظم وتقنيات الصرف الصحي، المعهد الفدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية، الطبعة الثانية، 2014.
- [4] فون سبيرلينج، ماركوس. المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في المناطق ذات المناخ الدافئ، لندن، 2005.
- [5] فون سبيرلينج، ماركوس، المبادئ الأساسية لمعالجة مياه الصرف الصحي، الناشر IWA، لندن 2007.
- [6] منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة (اليونسكو)، حلول مستمدة من الطبيعة لمعالجة قضايا المياه، باريس 2018.
- [7] منظمة الصحة العالمية (WHO)، إرشادات منظمة الصحة العالمية للاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي والفضلات والمياه الرمادية، جنيف، سويسرا، المجلد الرابع، 2006.
- [8] منظمة الصحة العالمية المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط، برك تثبيت المخلفات السائلة، الاسكندرية 1990.