دراسة تأثير تغيير التحميل الهيدروليكي السطحي على كفاءة إزالة الفوسفور من المياه باستخدام نبات عدس الماء

م. رشا إحسان بنيان[1]
أ. م. د. عبود عبود[2]
أ. د. مصدق جانات[3]

ملخص

تناولت أبحاث عديدة المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي باستخدام النباتات المائية ومن بينها نبات عدس الماء، إلا أن أغلب الأبحاث تناولت تحديد نسبة إزالة المركبات المراد تخفيض تركيزها ومن بينها الفوسفور، دون التدخل في بيان تأثير تغيير عوامل التصميم كالتحميل الهيدروليكي السطحي لأحواض المعالجة وزمن المكث على مردود الإزالة.

لذا تأتي أهمية هذا البحث كمساهمة في تحديد قيم هذه العوامل التصميمية والتشغيلية في الظروف المحلية، وتوثيقها من خلال تجارب البحث، بهدف الوصول إلى مردود الإزالة المطلوب في المياه المراد استخدامها بشكل نوعي ومقيد.

من هنا كان هدف البحث وهو دراسة معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام نبات عدس الماء، من خلال اختبار عدة أحواض للمياه واستنبات عدس الماء فيها، واختبار عدة أحمال هيدروليكية سطحية مع تثبيت كل العوامل التصميمية الأخرى للأحواض، وذلك عند أكثر من زمن مكث للمياه، مما يتيح دراسة تأثير تغيير هذه الأحمال على مردود الإزالة، ومدى إمكانية الوصول إلى إزالة نوعية للفوسفور من خلال التحكم بالعوامل التصميمية للمعالجة، مع الأخذ بعين الاعتبار ظروف التشغيل والاستثمار الأفضل، وبالتالي تقييم النتائج بناءً على مردود الإزالة والجدوى الفنية للمعالجة.

الكلمات المفتاحية: إزالة الفوسفور– عدس الماء – التحميل الهيدروليكي

[1] طالبة دكتوراه – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق – سورية
[2] أستاذ مساعد – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق – سورية
[3] أستاذ دكتور – رئيس دائرة الري والمقننات المائية – هيئة الطاقة الذرية – سورية

Effect of Hydraulic Loading Rates Changes on Phosphorous Removal Efficiency from Water by Using Duck Weed

Eng. Rasha Ehsan Bnayyan [(1)]
Ph.D. Abood Abood [(2)]
Ph.D. Mosaddak Janat [(3)]

ABSTRACT

Many searches studied advanced treatment of sewage water by using aquatic plants, such as Duck Weed, but most of the searches studied removal rates of elements which we need to decrease- including phosphorous-, without study effect of changes of design parameters and considerations as detention time and hydraulic loading rates of treating ponds on removal efficiency.

So the importance of this search is to define these design parameters and considerations in local circumstances, and registration them by search's experiments to reach to removal requirement for special uses of treating sewage.

Therefore, the purpose of this search is studying treatment of sewage by using duck weed and test several tanks by planting Duck Weed in them, then test several hydraulic loading rates with confirmation others design parameters, within several detention times, so that to study effect of changes of these loadings on removal efficiency, and ability to achieve special phosphorous removal requirements, basing on best development and working circumstances, to study results depending on removal and treating efficiency.

key words: phosphorous removal - duck weed - hydraulic loading

[(1)] PhD. student, Department of Environmental Engineering - Faculty of Civil Engineering - Damascus University, Syria
[(2)] Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria
[(3)] Professor, Irrigation and Water Requirements Division Head, Atomic Energy Commission of Syria (AECS), Damascus, Syria

1- مقدمة

تفتقر الجمهورية العربية السورية للموارد المائية التقليدية في كثير من مناطقها، لذا كان البحث عن خيارات الموارد المائية غير التقليدية أمراً واجباً

من هنا كان لابد من معالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها للاستفادة منها لدعم مصادر المياه المتاحة.

2- أهمية البحث

انطلاقاً مما سبق لم يعد بالإمكان اختيار نظام المعالجة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي على أساس الأهداف الرئيسية للمعالجة فقط بل تعدى الأمر إلى ضرورة التدقيق الصحيح في كفاية المعالجة، وذلك حسب الغرض من استخدام المياه المعالجة، لذا تم البحث في إمكانية استخدام أحد النباتات المائية المحلية المسمى عدس الماء (Duck weed) في معالجة مياه الصرف الصحي لإزالة المعادن الثقيلة والمغذيات ومن ضمنها مركبات الفوسفور، حيث بينت بعض الدراسات أن لعدس الماء القدرة على تخفيض BOD وTSS، وامتصاص مركبات الفوسفور والنترات وبعض العناصر الثقيلة من الوسط الذي تعيش فيه وتجميع هذه العناصر في الجزء الأخضر منه [1]، مع انخفاض تكاليف الإنشاء والطاقة المستخدمة وسهولة التشغيل والصيانة، وإمكانية استخدام النبات المحصود كعلف للطيور والحيوانات والأسماك وكسماد خضري لتغذية النباتات، إضافة لاستخدامه كمصدر جيد للكربوهيدرات لإنتاج الوقود الحيوي، لا سيما وأن مياه الصرف الصحي توفر كافة العناصر الغذائية اللازمة لإنتاج كميات ضخمة من الكتلة الحيوية لعدس الماء [2].

إلا أن أغلب الأبحاث تناولت تحديد نسبة إزالة المركبات المراد تخفيض تركيزها، دون التدخل في تحديد عوامل التصميم كالتحميل السطحي الهيدروليكي وزمن المكث وبالتالي تحديد أبعاد الحوض الأنسب للمعالجة المعتمدة.

3- هدف البحث

يأتي هذا البحث كمساهمة لتحديد قيم هذه العوامل التصميمية والتشغيلية في بلادنا، وتوثيقها من خلال تجارب البحث التي تم إنجازها في العمل، بهدف الوصول إلى تركيز الفوسفور المسموح به في المياه المراد إلقاءها في المسطحات المائية، أو المراد استخدامها بشكل نوعي لا يسمح بنسب معينة من الفوسفور في المياه.

ولتحقيق هذا الغرض كان علينا اختبار كفاءة إزالة الفوسفور من المياه المعالجة ثالثياً بنبات عدس الماء عند تخفيض التحميل الهيدروليكي السطحي لحوض المعالجة عند أكثر من قيمة، ومقارنة هذه الكفاءات لبيان تأثير تغير التحميل الهيدروليكي السطحي وعمق المياه في مردود إزالة الفوسفور.

4- الدراسات المرجعية

باتت المعالجة بالنباتات المائية تلقى اهتماماً خاصاً من الجامعات ومراكز الأبحاث العالمية كأوروبا كما في الشكل (1)، وأمريكا والصين لا سيما في جنوبها لكونه الأكثر دفئاً.

الشكل (1) عدس الماء في إحدى محطات التجارب الهولندية

وقد اختلفت كفاءة إزالة الفوسفور باستخدام نبات عدس الماء تبعاً لعوامل عدة كزمن المكث والتحميل السطحي، إضافة للعوامل الطبيعية كدرجة الحرارة وغيرها

على سبيل المثال أجريت دراسة في البرازيل لتقييم كفاءة عدس الماء في معالجة مياه الصرف الصحي، وذلك باستخدام أربعة أحواض لاستزراع النبات مربوطة على التسلسل،

عمق كل حوض (0.90) m ومساحته (2.57) m^2 وحجمه (2.3) m^3 ، مع غزارة (2.9) m^3/d ، أي بتحميل هيدروليكي سطحي بمقدار 1.1 m^3/m^2. d، كان زمن المكث يوم لكل حوض، وقد أظهر عدس الماء كفاءة في إزالة الفوسفات وصلت لـ 51.8% [3] .

أما في الولايات المتحدة الأميركية فتعددت استخدامات هذا النوع من المعالجة في العديد من محطات المعالجة (الثانوية والمتقدمة) المنتشرة في ولاياتها، حيث وصلت تراكيز TP الخارجة من المحطة لما دون 2 mg/l. وقد اعتمدت المعالجة فيها –خلافاً عن أغلب الأسس التصميمية للبلدان الأخرى– على زمن مكث وعمق كبير حيث تراوح زمن المكث بين (10-30) يوم وعمق المياه m (1.5-2.5)، مما استدعى ازدياد المساحة السطحية لبرك المعالجة.

معدل التحميل الهيدروليكي

$0.006\ m^3/m^2.\ d >$

فكانت التراكيز الخارجة

TP> 2 mg/l [5]

كذلك تراوحت نسبة ازالة الفوسفات من مياه الصرف الصحي في دراسة جامعية في العراق ما بين % (20-50) باستخدام نبات عدس الماء– نوع Lemna gibba– وذلك حسب مدة المكث.

أما محلياً فيما يخص الأبحاث المدروسة على مياه الصرف الصحي المحلية فقد كان زمن المكث سبعة أيام في دراسة في جامعة تشرين في محطة الجنديرية كما في الشكل (2)، حيث تم استزراع نبات عدس الماء بوزن جاف $2)\ kg\backslash m^2$ في حوض أبعاده m (6.5*5.5*2.25) علماً أن عمق المياه في حوض النبات m (1.75) .

الشكل (2) حوض اختبار عدس الماء في محطة الجنديرية

وصلت كفاءة إزالة الفوسفور لـ% 34.73، وقد عُزي هذا الانخفاض إلى عمق المياه الكبير، حيث أوردت هذه الدراسة بأن العمق الأنسب في أنظمة معالجة المياه باستخدام أحواض نبات عدس الماء m (0.4-0.9) وكحد أقصى 1m، حيث تنخفض الكفاءة كلما ازداد العمق. وهذا ما أوردته المراجع العالمية [5-6].

إلا أن زيادة مدة المكث في هذه المحطة كذلك في المحطات المنفذة في الولايات المتحدة الأميركية ستتطلب زيادة كبيرة في المساحات السطحية وبالتالي زيادة في الكلف الإنشائية.

بالمقابل تناولت دراسة في جامعة دمشق إزالة الفوسفات باستخدام هذ النبات، باستخدام خزان بلاستيكي أبعاده cm (90*160*180)، بتحميل هيدروليكي سطحي مقداره $6\ l/m^2.min$ وهو ما يعادل $8.64\ m^3/m^2$. d، إلا أن كفاءة المعالجة كانت منخفضة 25%، ولم تصل للتراكيز المطلوبة في المواصفة السورية، وقد برر ذلك بانخفاض زمن المكث والمقدر بـ 7h [7].

هذا ما استدعى اختبار زمني المكث h (24-30) في هذه الدراسة حيث أن هذا الزمن الذي انتهجته العديد من الدراسات العالمية السابقة، وبعدة أحمال هيدروليكية تتناسب مع متطلبات محطات المعالجة للتجمعات السكانية الصغيرة وهو ما تحتاجه بلادنا في الوقت الراهن بعد

تغطية المدن الكبرى بمحطات المعالجة، كل ما سبق بهدف الوصول إلى أفضل مردود إزالة للفوسفور، تزامناً مع تحقيق ظروف التشغيل والاستثمار الأفضل وبأقل الكلف الممكنة.

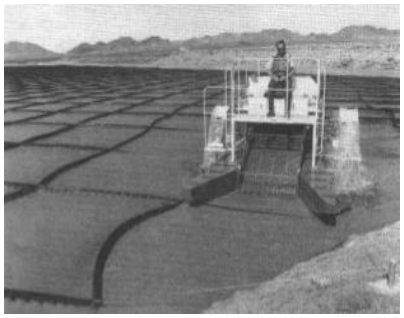
إلا أن كفاءة المعالجة النباتية بشكل عام تتأثر بالعوامل المناخية، وفيما يخص عدس الماء فقد أوردت بعض المراجع [8] بتميزه وقدرته على التأقلم في مختلف ظروف نمو النباتات المائية، وبسرعة النمو الخضري حيث يمكن مضاعفة الكتلة النباتية خلال (16-48) ساعة، وقد أوردت مراجع أخرى أنه يضاعف المساحة المغطاة في الحوض خلال 4 أيام [5].

ويعتمد نمو عدس الماء على عدة عوامل أهمها: الحرارة – الضوء – الرقم الهيدروجيني – المغذيات، حيث ينمو في درجة حرارة 7°c وأكثر، إلا أن درجة الحرارة المناسبة لنمو النبات تتراوح بين ° (17.5-30)، كما ينمو في مدى واسع للرقم الهيدروجيني يتراوح ضمن (5-9) [8]،

وللحصاد تأثير كبير على نمو النبات حيث أن الحصاد اليومي يعطي زيادة مقدارها % 58أكثر من الكمية التي يتم حصادها خلال أسبوع واحد [9].

إن كثافة النبات على سطح الماء تعتمد على: درجة الحرارة وتوفر المغذيات وتكرار الحصاد، كما تأخذ الخلايا النباتية فترة من (6-10) أيام تقريباً حتى تموت وتبدأ بالترسب.

إن معدل الكثافة المثالية في حوض مياه الصرف الصحي هو kg/m^2 (1.4-3.6)، بينما يبلغ معدل النمو الأمثل حوالي $0.49\ kg/m^2.d$. وقد اعتمد معدل الحصاد في بعض البلدان كالولايات المتحدة الأميركية بأن يكون شهرياً للمعالجة الثانوية، وأسبوعياً لإزالة المغذيات [5-11] كما في الشكل (3).



الشكل (3) الآليات المتبعة لحصاد عدس الماء في محطة معالجة مياه صرف صحي في الولايات المتحدة الأميركية [5]

ونظراً لاختلاف العوامل المناخية المؤثرة من منطقة إلى أخرى ومن بلد إلى آخر، لذا كان هذا البحث عاملاً مساهماً في بيان كفاءة إزالة الفوسفور باستخدام نبات عدس الماء في ظروفنا المحلية، لا سيما وأن هذا النبات ينتشر في بيئتنا المحلية في سورية، وخصوصاً ضمن قنوات الري في سهل الغاب (محافظة حماة)، وفي المياه العذبة الراكدة في غوطة دمشق وحمص وحلب وجبل العرب والجولان، وفي المناطق التي تتوفر فيها الظروف المناسبة. [7]

5- منهج البحث

1- اختيار محطة معالجة تعمل بنظام المعالجة البيولوجية التقليدية لإجراء البحث فيها وهي محطة السومرية الواقعة جنوب غرب مدينة دمشق والعاملة وفق المعالجة البيولوجية SBR، والقيام بمعالجة متقدمة بهدف إزالة الفوسفور الزائد، وذلك من خلال

2- بناء ثلاثة أحواض بمساحة سطحية ثابتة ($1m^2$)، بحيث تدخل المياه المراد معالجتها إليها بنفس الوقت، وبحيث يكون زمن المكث ثابت في الأحواض جميعها، ووفق الغزارة المحسوبة والخاصة بكل حوض.

3- تم استنبات عدس الماء في كل من الأحواض المدروسة، حيث تم إجراء قطف عينات الماء وإجراء تحاليل متماثلة ومتزامنة على كل من الأحواض

المدروسة والحصول على تراكيز عينات المدخل والمخرج ونسب الإزالة.

4- لدراسة تأثير تغيير التحميل الهيدروليكي السطحي على مردود إزالة الفوسفور من المياه، استلزم ذلك تخفيض الغزارة الداخلة إلى كل من الحوضين المذكورين وحسابها وفق:

التحميل الهيدروليكي السطحي $q = Q / A$

الغزارة $Q=V/T$

مما استلزم تغيير حجم المياه المعالجة أي تغيير عمقها،

تم اختيار عمق مياهه 90 cm, 70cm, 50 cmللاختبار.

الدراسة الحسابية:

طول وعرض كل حوض من الداخل m (1.5*0.7) وارتفاع 1m، وبفرض ارتفاع الماء في الحوض الأول [4] 90 cm، فيكون حجم المياه فيه:

$$V=L*B*H=1.5*0.7*0.9=0.945\ m^3$$

وبفرض زمن المكث T=1 day [4]

فتكون الغزارة الداخلة للحوض الأول:

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{0.945}{1} = 0.945\ m^3/d$$

والتحميل السطحي الهيدروليكي الموافق q:

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{0.945}{0.7 * 1.5} = 0.9 m^3/m^2 \cdot d$$

في الحوض الثاني H=70 cm:

فيكون:

$$V=L*B*H=1.5*0.7*0.7=0.735\ m^3$$

$$Q = 0.735\ m^3/d$$

$$q = 0.7\ m^3/m^2.\ d$$

في الحوض الثالث H=50 cm:

فيكون:

$$V= 1.5*0.7*0.5=0.525\ m^3$$

$$Q=0.525\ m^3/d$$

$$q = 0.5\ m^3/m^2.\ D$$

يبين الجدول (1) العوامل التصميمية للأحواض التي تم بناؤها:

الجدول (1) العوامل التصميمية لأحواض عدس الماء ضمن الاختبار الأول

رقم الحوض	حجم المياه (m^3)	الغزارة الداخلة (m^3/d)	زمن المكث (h)	التحميل الهيدروليكي السطحي ($m^3/m^2.d$)
الأول	1.5*0.7*0.9	0.95	24	0.9
الثاني	1.5*0.7*0.7	0.74	24	0.7
الثالث	1.5*0.7*0.5	0.53	24	0.5

دراسة المحطة:

تجمع المياه المعالجة في المحطة المعتمدة للدراسة ضمن خزان تجميع، تضخ المياه منه للسقاية، لذا قمنا بتركيب مضخة مياه ضمن خزان التجميع، تقوم بضخ المياه منه إلى الأحواض المدروسة، مع تحقيق استمرارية التغذية بالمياه الداخلة للأحواض.

يتفرع من أنبوب التغذية ستة مداخل للمياه، اثنان لكل حوض، أساسي واحتياط، مزود كل منها بسكر بلاستيكي للتحكم بالغزارة الداخلة إلى الأحواض، وثلاثة مخارج لكل حوض على ارتفاعات مختلفة مجهزة بسكورة فتح وإغلاق كما في الشكل (4)، مما يتيح لنا إمكانية التحكم بمنسوب المياه في الحوض وبالتالي زمن مكث المياه فيها.

الشكل (4) الأحواض المختبرة المجهزة بمخارج متعددة على ارتفاعات مختلفة

مكونات المحطة التجريبية:

تدخل المياه إلى الأحواض الثلاثة بنفس التوقيت، بحيث يشكل كل حوض وحدة مستقلة، لها مدخل ومخرج مستقل عن الأحواض الأخرى، مما يتيح لنا إمكانية دراسة كفاءة عمل الأحواض كل على حدا ومقارنتها فيما بينها.

تم بناء الأحواض الثلاثة بأبعاد متساوية من مادة الإسمنت والبلوك وبشكل متلاصق، مع تحقيق العزل اللازم.

وقد كانت أبعاد كل حوض cm^2 (70*150) وبعمق 100 cm.

تم تزويد مخارج الأحواض بمناخل مركبة على عرض الأحواض وارتفاعها وبحيث تبعد مسافة 10 cm عن المخارج وذلك لمنع نبات عدس الماء الطافي من الخروج من الأحواض مع المياه المعالجة كما في الشكل (5).

تم ملء الأحواض بالمياه المعالجة ثانوياً والمزودة من خزان التجميع إلى المناسيب المذكورة في الدراسة الحسابية كما في الشكل (5).

الشكل (5) يبين مناسيب المياه المختلفة في الأحواض المختبرة

الدراسة العملية:

تم استنبات عدس الماء في الأحواض الثلاثة بتاريخ 6/1 كما في الشكل (2)، وقد تم البدء بقطف العينات من الأحواض بتاريخ 7/1 بنفس التوقيت، ومن ثم تحليل العينات لمعرفة تركيز شوارد (PO_4) باستخدام جهاز الطيف اللوني Spectrophotometric في مخبر مديرية الموارد المائية بدمشق وريفها الكائن في منطقة القصور بدمشق، حيث حصلنا على النتائج الواردة في الجدول (2):

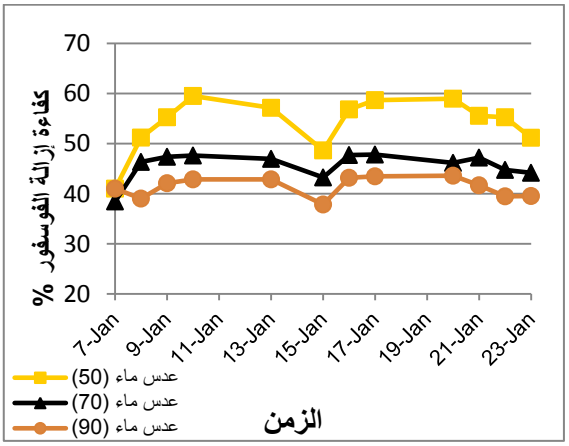
الجدول (2) يبين تراكيز PO4 الداخلة إلى الأحواض المختبرة والخارجة منها، مع كفاءة إزالة الفوسفور في كل حوض ضمن الاختبار الأول

تاريخ أخذ العينة	مدخل الأحواض (التجريبية)	مخرج الحوض الأول ذو التحميل الهيدروليكي ($0.9m^3/m^2.d$)		مخرج الحوض الثاني ذو التحميل الهيدروليكي ($0.7m^3/m^2.d$)		مخرج الحوض الثالث ذو التحميل الهيدروليكي ($0.5m^3/m^2.d$)	
	PO_4 (mg/l)	PO_4 (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	PO_4 (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	PO_4 (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)
07/01/	12.09	7.13	41.03	7.44	38.46	7.13	41.03
08/01/	12.71	7.75	39.02	6.82	46.34	6.2	51.22
09/01/	11.78	6.82	42.11	6.2	47.37	5.27	55.26
10/01/	13.02	7.44	42.86	6.82	47.62	5.27	59.52
13/01/	15.19	8.68	42.86	8.06	46.94	6.51	57.14
15/01/	11.47	7.13	37.84	6.51	43.24	5.89	48.65
16/01/	13.64	7.75	43.18	7.13	47.73	5.89	56.82
17/01/	14.26	8.06	43.48	7.44	47.83	5.89	58.70
20/01/	12.09	6.82	43.59	6.51	46.15	4.96	58.97
21/01/	11.16	6.51	41.67	5.89	47.22	4.96	55.56
22/01/	11.78	7.13	39.47	6.51	44.74	5.27	55.26
23/01/	13.33	8.06	39.53	7.44	44.19	6.51	51.16
القيمة الوسطية			41.78		46.61		55.96

تم حساب القيمة الوسطية لكفاءة المعالجة بعد استبعاد العينات المأخوذة في اليومين التاليين للاستنبات ولحصاد النبات – تحتها خط – نظراً لعدم استكمال المساحة السطحية للنبات ولأن هذه التحاليل لا تعكس فعلياً كفاءة إزالة النبات للفوسفور

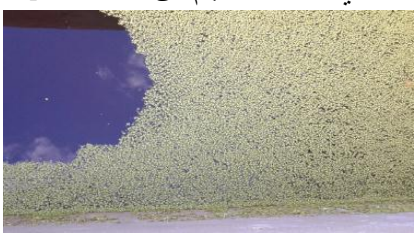
وللمقارنة بين أداء الأحواض تم تنظيم المخطط التالي الذي يبين تغير كفاءة إزالة الفوسفور في الأحواض

المختبرة خلال فترة الاختبار الأول مع عملية الحصاد الجزئي اللازم للنبات كما يوضح الشكل (3):



الشكل (3) مخطط يبين كفاءة إزالة الفوسفور في الأحواض ضمن الاختبار الأول

ضاعف النبات المساحة المغطاة (أي الكمية المزروعة) في الأحواض خلال ثلاثة أيام تقريباً، وقد أظهرت كفاءة الإزالة تزايداً في الأيام الثلاثة الأولى ومن ثم ثباتاً في الكفاءة لمدة أربعة أيام، حيث قمنا بحصاد النبات بتاريخ 13/1 بشكل جزئي كما في الشكل (4)، وكما هو مفروض بحسب الخصائص التشغيلية الخاصة بالمعالجة بعدس الماء، أي بعد سبعة أيام من الاستنبات [11]



الشكل (4) يبين عملية حصاد النبات

بعد الحصاد تراجعت الكفاءة نتيجة نقصان المساحة النباتية التي تغطي سطح الأحواض، إلى أن عادت الكفاءة تقريباً لمستواها الأعلى سابقاً، وذلك بعد اليوم الثالث من الحصاد، ومن ثم وكما حدث بعد اليوم الثالث للاستنبات تراوحت كفاءة إزالة الفوسفور في كل حوض على حدا حول قيم متقاربة في كل حوض من الأحواض المختبرة.

لتقييم كفاءة إزالة الفوسفور مع تغيير التحميل الهيدروليكي السطحي نجد:

تمت دراسة ومقارنة كفاءة إزالة الفوسفور بين الأحواض الثلاثة، حيث ثبتنا طريقة المعالجة بنبات عدس الماء، مع تثبيت زمن المكث والمساحة السطحية، وتغيير التحميل الهيدروليكي السطحي

كانت كفاءة إزالة الفوسفور في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي (0.5m3/m2.d) أفضل منها في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي (0.7 m3/m2.d)

كذلك فإن كفاءة إزالة الفوسفور في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.7 \quad m^3/m^2.\ d$) أفضل منها في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.9\ m^3/m^2.\ d$)

ونظراً لأن إزالة الفوسفور الكلي يرتبط بزمن المكث وقدرة جذر النبات [10]، تم إعادة الاختبارات السابقة مع زيادة زمن المكث لـ 30 hours [4] في الأحواض الثلاثة وتخفيض التحميل الهيدروليكي السطحي لكل من الأحواض، فتكون العوامل التصميمية للأحواض في الاختبار الثاني وفق الدراسة الحسابية السابقة كما في الجدول (3)

الجدول (3) العوامل التصميمية للأحواض في الاختبار الثاني بعد تخفيض التحميل الهيدروليكي وزيادة زمن المكث لـ 30 h

رقم الحوض	حجم المياه (m^3)	الغزارة الداخلة (m^3/d)	زمن المكث (h)	التحميل الهيدروليكي السطحي ($m^3/m^2.d$)
الأول	1.5*0.7*0.9	0.76	30	0.72
الثاني	1.5*0.7*0.7	0.59	30	0.55
الثالث	1.5*0.7*0.5	0.42	30	0.4

الدراسة العملية في الاختبار الثاني:

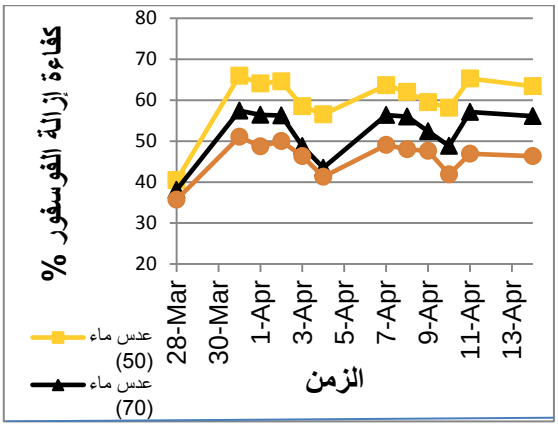
تم استنبات عدس الماء في الأحواض بتاريخ 27/3، والبدء بقطف العينات من الأحواض وتحليلها بتاريخ 28/3، تم حصاد النبات في اليوم السابع للاستنبات بتاريخ /3/4 وفق العوامل التشغيلية الخاصة بالمعالجة بعدس الماء كما ورد سابقاً [11]، ومن ثم تم إجراء الحصاد الثاني، حيث حصلنا على النتائج الواردة في الجدول (4)

الجدول (4) تراكيز PO_4 الداخلة إلى الأحواض المختبرة والخارجة منها، مع كفاءة إزالة الفوسفور في كل حوض في الاختبار الثاني

تاريخ أخذ العينة	مدخل الأحواض (التجريبية)	مخرج الحوض الأول ذو التحميل الهيدروليكي $(0.72m^3/m^2.d)$		مخرج الحوض الثاني ذو التحميل الهيدروليكي $(0.55m^3/m^2.d)$		مخرج الحوض الثالث ذو التحميل الهيدروليكي $(0.4m^3/m^2.d)$	
	PO_4 (mg/l)	PO_4 (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	PO_4 (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	PO_4 (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)
28/03/	13.02	8.37	35.71	8.06	38.10	7.75	40.48
31/03/	14.57	7.13	51.06	6.2	57.45	4.96	65.96
01/04/	12.09	6.2	48.72	5.27	56.41	4.34	64.10
02/04/	14.88	7.44	50.00	6.51	56.25	5.27	64.58
03/04/	12.71	6.82	46.34	6.51	48.78	5.27	58.54
04/04/	14.26	8.37	41.30	8.06	43.48	6.2	56.52
07/04/	17.05	8.68	49.09	7.44	56.36	6.2	63.64
08/04/	15.5	8.06	48.00	6.82	56.00	5.89	62.00
09/04/	13.02	6.82	47.62	6.2	52.38	5.27	59.52
10/04/	13.33	7.75	41.86	6.82	48.84	5.58	58.14
11/04/	15.19	8.06	46.94	6.51	57.14	5.27	65.31
14/04/	12.71	6.82	46.34	5.58	56.10	4.65	63.41
القيمة الوسطية لكفاءة المعالجة			47.6		54.57		62.52

تم حساب القيمة الوسطية لكفاءة المعالجة بعد استبعاد العينات المأخوذة في اليومين التاليين للاستنبات ولحصاد النبات – تحتها خط – لنفس الأسباب المذكورة أسفل الجدول (2)

ومن ثم وللمقارنة بين أداء الأحواض تم تنظيم المخطط التالي للمقارنة بين كفاءة إزالة الفوسفور في الأحواض المختبرة الثلاثة بعد زيادة مدة المكث وتخفيض التحميل الهيدروليكي السطحي أكثر من الاختبار السابق كما في الشكل (5):



الشكل (5) مخطط يبين كفاءة إزالة الفوسفور في الأحواض ضمن الاختبار الثاني

لدى تقييم كفاءة إزالة الفوسفور عند تخفيض التحميل الهيدروليكي السطحي حصلنا على نتائج تماثل نظيرتها في الاختبار الأول، إضافةً لملاحظة ارتفاع كفاءة إزالة الفوسفور مع زيادة مكث المياه في الأحواض التجريبية.

تقييم نتائج البحث:

في الاختبار الأول وعند اعتماد زمن مكث المياه 24h:

بلغت الكفاءة الوسطية لإزالة الفوسفور في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.5m^3/m^2$. d) تقريباً 56%، ووصلت تراكيز الفوسفور لما دون 6 mg/l، وكانت أفضل منها في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.7m^3/m^2$. d) حيث بلغت الكفاءة 47% تقريباً، وكانت التراكيز تتراوح حول 7 mg/l.

كذلك فإن كفاءة إزالة الفوسفور في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.7m^3/m^2$. d) أفضل منها في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.9\ m^3/m^2$. d) والبالغة 42% تقريباً، حيث كانت تراكيز الفوسفور فيه بين (6.5-8.5 mg/l)

في الاختبار الثاني وعند اعتماد زمن مكث المياه 30h:

بلغت الكفاءة الوسطية لإزالة الفوسفور في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.4m^3/m^2$. d) تقريباً 63%، ووصلت تراكيز الفوسفور لما دون 6 mg/l، وكانت أفضل منها في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.55m^3/m^2$. d) حيث بلغت الكفاءة 55% تقريباً، وكانت التراكيز تتراوح حول 6.5 mg/l.

كذلك فإن كفاءة إزالة الفوسفور في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.55m^3/m^2$. d) أفضل منها في حوض عدس الماء ذي التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.72\ m^3/m^2$. d) والبالغة 48% تقريباً، حيث كانت تراكيز الفوسفور فيه بين (6-8.5 mg/l)

مع العلم أن تراكيز الفوسفور بعد المعالجة تتعلق بتراكيزه قبل المعالجة، لذا كانت منحنيات الكفاءة السابقة للدلالة على مردود المعالجة بهذه الطريقة، ولكن تبقى التراكيز الناتجة هي المؤشر على صلاحية استخدام المياه للاستعمالات المختلفة.

لذا وبالملاحظة:

حققت تراكيز الفوسفور بعد المعالجة عند قيم التحميل الهيدروليكي السطحي 0.5 m^3/m^2. d بزمن مكث 24 h، وعند التحميل الهيدروليكي السطحي 0.4 m^3/m^2. d بزمن

مكث 30 h قيماً منخفضة تلائم العديد من استخدامات المياه الخاصة، وقد حققت المواصفة القياسية السورية 2752 الخاصة باستخدام المياه المعالجة لري المزروعات وهي 20 mg/l [12].

وحققت المواصفة 3474 الخاصة بإلقاء المياه المعالجة في البيئة المائية وهي 6mg/l [13].

مما استدعى تحديد العوامل التصميمية الخاصة بهذه الحالات لتكون مساهمةً مستقبلية في تحديد بعض العوامل التصميمية الخاصة بالمعالجة المتقدمة بعدس الماء في الظروف المحلية.

ونظراً لكون الاختبار ذي التحميل الهيدروليكي السطحي 0.5 m^3/m^2. d بزمن مكث 24 h أجدى من التحميل الهيدروليكي السطحي 0.4 m^3/m^2. d بزمن مكث 30 h لذا سنبحث في تحديد مواصفة خاصة بهذا العامل التصميمي:

تُعطى الغزارة الوسطية لمياه الصرف الصحي للتجمعات السكانية بالعلاقة:

$$Qav = \frac{0.8q` \cdot P_E}{1000}$$

حيث:

Q_{av} الغزارة الوسطية m^3/d

$q`$ معدل استهلاك الفرد l/p. d

P_E عدد السكان

$$q = \frac{Qav}{A} = \frac{0.8q` \cdot P_E}{A1000}$$

q التحميل الهيدروليكي السطحي m^3/m^2. d

A المساحة السطحية لأحواض المعالجة m^2

$$P_E = \frac{q \cdot A \cdot 1000}{0.8\, q`}$$

بفرض معدل استهلاك الفرد $q` = 110$ l/p. d

وحيث أن معدل التحميل الهيدروليكي السطحي لحوض المعالجة بعدس الماء يساوي ($q = 0.5 m^3/m^2$. d)، عندئذٍ سيكون:

$$\text{person } P_E = \frac{0.5.A.1000}{0.8*110} \cong 6A$$

$$m^2\ A = \frac{P_E}{6}$$

أي يمكن القول بأننا وصلنا لمواصفة تقريبية للمساحة السطحية اللازمة لبرك المعالجة بعدس الماء للتجمعات السكانية الصغيرة بحيث يكون معدل التحميل الهيدروليكي السطحي لبرك المعالجة ($0.5 m^3/m^2$. d)، وعمق المياه (0.5 m) وزمن مكث (24h)، فتكون المساحة السطحية اللازمة لتمام المعالجة تساوي عدد السكان مقسماً على 6.

الاستنتاجات:

1- حققت المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي بنبات عدس الماء كفاءات جيدة، إلا أنها لم تصل بتراكيز الفوسفات الناتجة إلى القيم المطلوبة في المواصفة الخاصة بإلقاء مياه الصرف الصحي المعالجة في الأنهار والقنوات المائية وفق معظم العوامل التصميمية الأولية في هذا البحث، وقد يُعزى ذلك إلى ارتفاع تراكيز الفوسفات الخارجة من محطة المعالجة الثانوية والداخلة إلى المحطة التجريبية.

2- ازدياد كفاءة إزالة الفوسفور طرداً مع تخفيض التحميل الهيدروليكي السطحي للمياه المعالجة.

3- تحقيق تراكيز الفوسفات الناتجة عن المعالجة بعدس الماء عند

- قيمة تحميل هيدروليكي سطحي $0.5 m^3/m^2$. d، وعمق مياه 50 cm، وزمن مكث 24h
- قيمة تحميل هيدروليكي سطحي 0.44 m^3/m^2. d، وعمق مياه 50 cm، وزمن مكث 30h

للقيم الواردة في المواصفتين القياسيتين الخاصتين باستخدام المياه المعالجة للري أو إلقائها في الأنهار والقنوات المائية، مما سيتيح لنا اعتماد هذه العوامل التصميمية للتجمعات السكانية الصغيرة المحلية.

4- المساهمة في الوصول إلى مواصفة تساعد في تحديد القيم التصميمية لأبعاد برك المعالجة بعدس الماء للتجمعات السكانية الصغيرة المحلية وهي:

$q = 0.5 m^3/m^2 . d$

عمق المياه 50 cm، زمن المكث 24h

$A = P_E /6$ المساحة السطحية لبرك المعالجة

5- ازدياد كفاءة إزالة الفوسفور مع ازدياد مدة مكث المياه، مما يتيح الوصول إلى قيم إزالة عالية تسمح باستخدام المياه لأهداف نوعية.

6- تزامن نقصان كفاءة الإزالة وارتفاعها في الأحواض الثلاثة بحسب نمو الكتلة الخضراء وحصادها.

7- استطاع عدس الماء مقاومة انخفاض درجات الحرارة والنمو شتاءً في الظروف المناخية المحلية.

8- إمكانية الاستفادة من النبات المحصود في مجالات عدة.

التوصيات:

1- العمل على تنفيذ واتباع هذا النوع من المعالجة محلياً نظراً لتحقيقها المتطلبات اللازمة مع الوفر المادي.

2- اختبار كفاءة المعالجة الناتجة عن تغيير أي من العوامل التصميمية الخاصة بهذا النوع من المعالجة.

3- اختبار كفاءة إزالة الفوسفور بعدس الماء مع المرسبات الكيميائية للفوسفور بهدف زيادة التحميل الهيدروليكي السطحي مما يتيح معالجة المياه للتجمعات السكانية الأكثر عدداً.

4- توجيه المختصين إلى استخدام تراكيز منخفضة من صيغ الفوسفات في المنظفات قدر الإمكان

المراجع References

1- Iqbal, Duckweed Aquaculture Sandec, Report no. 6199, 1999.

2- HAMID, M. A., Chowdhury, S.D., Razzak, M.A. and Roy, C.R., Effect feeding an aquatic weed lemnatrisulca as partial replacement of fish meat on the performance of growing ducklings, Journal of Science of Food and Agriculture, Vol.6l (1): 137 – 139, 1993.

3- Flavia de Almeida Tavares, Flavio Rubens Lapolli Rodrigo Roubach, Mariele Katherine Jungles, Debora Machado Fracalossi, Aquiles Moreira de Moraes. Use of Domestic effluent through duckweeds and red tilapia farming in integrated system. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 2010, 5(1): 1-10.

4- George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, & H. David Stensel, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, Metcalf and Eddy, 4 Edition, USA, 2003.

5-Abdel-Aziz S., Nutrient Recovery from Domestic Wastewater Using a UASB-Duckweed Ponds System. Submitted in Fulfilment of The Requirements of The Academie Board of Wageningen University and The Academie Board of the UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2004.

6-Caicedo R., Van der steen P., Arce O., and Gijzen J., Effect of Total Ammonia Nitrogen Concentration and pH on Growth Rates of Duckweed {Spirodela polyrrhiza). Water Res., 2000, 34, 3829-3835.

7-غادة بلال، دراسة التحكم بتراكيز المغذيات في مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات المحلية كمعالجة ثالثية، جامعة دمشق، 2013.

8-George Tchobanoglous, Small and Decentralized Wastewater Management Systems, International Editions, 1998.

9-Zaki M., Said M., culley D. D., Standifer L. C., J Epps E. A., Myers R. W. and Boney S. A., Effect of Harvest Yield of Duck Weed, Proc. World mariculsoc, l979, (1o): 769 -780

10-LEE, C.Y et al., Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads, Bio resource. Technol., Essex, Vol. 92(2): 173-179, 2004.

11- Leng, R.A., Stambolie, J.H., & Bell, R.E., Duck weed a potential high protein feed resource for

domestic animals and fish, Livestock Research for Rural Development, Vol.7(1): 36, 1995.

9- الجمهورية العربية السورية، وزارة الصناعة، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري (2752)، 2008.

10- الجمهورية العربية السورية، وزارة الصناعة، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، المخلفات السائلة المسموح بطرحها إلى البيئة المائية (3474)، 2013.

.....

ملاحظة: تم ترقيم المراجع حسب تسلسل ورودها في المقال.

إيداع البحث	2021/4/1	Received
قبول البحث للنشر	2021/7/7	Accepted for Publ.