

تقييم كفاءة تقنية المعالجة بالقصبينات المزروعة على جوانب النهر في تخفيض الحمل العضوي

عبد الرحمن الجاسم المراد^{1*} * غادة عبد الكريم بلال² غسان حداد³

*1. طالب ماجستير في قسم الهندسة الصحية والبيئية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

abedalrhamanalmerad@damascusuniversity.edu.sy

². أستاذة في قسم الهندسة الصحية والبيئية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

ghada.bilal@damascusuniversity.edu.sy

³. أستاذ في قسم الهندسة الصحية والبيئية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

GhasanHadad@Damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تقييم كفاءة تقنية المعالجة بالقصبينات المزروعة على جوانب النهر في تخفيض الحمل العضوي.

خلفية البحث:

انتشرت تقانات لمعالجة تلوث المياه ومن أهمها المعالجة بالأراضي الرطبة المصطنعة، وهي محطات معالجة تصمم هندسياً؛ وتستخدم العمليات الطبيعية من نباتات وترب وتجمعاتها البكتيرية،

من هنا تبرز خلفية البحث الذي يتناول تقنية الأراضي الرطبة المصطنعة على أنها حل حقيقي قادر على معالجة أو تخفيض نسب تلوث المياه وبأقل كلفة ممكنة. صُممت محطة معالجة تجريبية بالقصبينات بنوعي جريان تحت سطحي مجاورة لنهر بردى لتكون حيزاً مكانياً للدراسة، وتقييم مدى فعالية وقدرة هذه المحطة في معالجة تلوث مياه النهر.

هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تقييم فعالية الأراضي الرطبة المصطنعة في معالجة مياه الصرف الصحي القادمة إليه من مجرى النهر إلى الحدود المسموحة للحمل العضوي وفق عوامل تصميمية وتشغيلية مختارة؛ من خلال تحقيق محطة معالجة تجريبية بالقصبينات بالاعتماد على الدراسات المرجعية والتجارب العالمية التي استخدمت هذه التقنية وكخيار مستدام للمعالجة (من النواحي الفنية والاقتصادية).

المواد والطرائق:

من أجل الوصول إلى أفضل النتائج والتحقق من صحتها، أُختبرت 36 عينة مقسومة إلى 12 عينة قبل حوضي الأرض الرطبة و24 عينة بعد حوضي الأرض الرطبة، مقسومة مناصفة إلى 12 عينة بعد كل حوض. كان هدف الباحث اختبار مدى تأثير معدل التحميل السطحي الهيدروليكي في معالجة تلوث المياه تبعاً لنوعي الجريان تحت السطحي المعتمد

تاريخ الابداع: 2022/9/14

تاريخ القبول: 2023/11/9



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص CC
BY-NC-SA 04

في الحوضين مع ثبات زمن المكث، لذلك اختبرت هذه العينات يومياً بتحميل سطحي هيدروليكي 6,8 لتر في المتر المربع بالدقيقة؛ وفي مدة مكث 3 ساعات.

النتائج:

أظهرت النتائج أن متوسط نسبة الإزالة لكلٍ من (COD, BOD, TN, NH₄, NO₃, TP) تحت تحميل سطحي هيدروليكي 8 لتر في المتر المربع بالدقيقة كانت (59%, 28%, 63%, 37%, 74%, 67%) على التوالي لدى الجريان تحت السطحي الأفقي؛ وكانت (48%, 30%, 42%, 32%, 68%, 58%) على التوالي لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي، وأن متوسط نسبة الإزالة تحت تحميل سطحي هيدروليكي 6 لتر في المتر المربع بالدقيقة كانت (68%, 48%, 76%, 57%, 86%, 83%) على التوالي لدى الجريان تحت السطحي الأفقي، وكانت (57%, 50%, 61%, 53%, 85%, 80%) على التوالي لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي.

الاستنتاجات:

ضمن حدود هذه الدراسة نستنتج أن تطبيق هذه التقنية يعود بالفائدة من حيث كفاءتها في معالجة تلوث المياه الناتج أساساً عن مياه الصرف الصحي، إضافةً إلى فائدتها الاقتصادية؛ إذ تعد أقل كلفة من التقنيات الأخرى.

الكلمات المفتاحية: الأراضي الرطبة المصطنعة - نبات القصب - التحميل السطحي الهيدروليكي - الحمل العضوي.

Evaluation The Efficiency Of Constructed Wetland Treatment Technology On The River's Sides For Reducing It Is Organic Load

Abdallah Aljasim Almorad*¹ Ghada Abdalkarim Bilal² Ghasan Hadad³

*¹. Master student at environment and sanitary of faculty of civil engineering–Damascus university.
abedalrhamanalmerad@damascusuniversity.edu.sy

² Professor at environment and sanitary of faculty of civil engineering –Damascus university.
ghada.bilal@damascusuniversity.edu.sy

³. Professor at environment and sanitary of faculty of civil engineering –Damascus university.
GhasanHadad@Damascusuniversity.edu.sy

Abstract:

In the last few decades, constructed wetlands have spread across the globe as a mean of treating water pollution with engineering processes that harness plants, soils, and their bacterial communities. The purpose of this research is to investigate the technology of constructed wetlands as an effective solution to reducing or treating water pollution rates. In this study, an experimental reedbeds treatment plants with two subsurface flows near the Barada River was designed and evaluated for its effectiveness and capacity to treat the river water pollution.

Research Objective:

This research aims to evaluate the effectiveness of the constructed wetland technology in treating wastewater inflow from the river to the allowable thresholds of organic load. Selected design and operational constraints were used to construct of an experimental treatment plant based on reference studies and international experiences that used this technique for achieving the technical and economical sustainability.

Materials and Methods:

To obtain optimal results and ensure their validity, 36 samples were tested divided into 12 samples before two wetland plants, and 24 samples afterwards, divided equally into 12 samples after each plant. It was the researcher's objective to test the effects of the hydraulic surface loading rate on the treatment of water pollution according to the two types of subsurface flow adopted in the two plants with a constant residual time. Therefore , he tested these samples daily with a hydraulic surface loading of 6 and 8 liters per square meter per minute and for a duration of 3 hours as residual time.

Results:

The results showed that the average removal rate of (COD, BOD, TN, N-NH₄, N-NO₃, TP) under hydraulic surface loading of 8 liters per square

Received:14/9/2022

Accepted:9/11/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

meter per minute was (67%,74%,37%,63%,28%,59%) respectively for the horizontal subsurface flow.

In other hand, it was (58%,68%,32%,42%,30%,48%) respectively for the vertical subsurface flow. Under hydraulic surface loading of 6 liters per square meter per minute, the average removal percentage was (83%,86%,57%,76%,48%,68%) respectively at the horizontal subsurface flow, and it was (80%,85%,53%,61%,50%,57%), respectively for the vertical.

Conclusion: Considering the limitations of this study, we conclude that the application of this technique is advantageous in treating water pollution caused mainly by sewage water. Besides its economic benefit, it is also less expensive than other technologies.

Keywords: Constructed Wetland, Reedbeds, Hydraulic Surface Loading, Organic Load.

المقدمة:

يعد نهر بردى مصدراً شديداً الأهمية لمدينة دمشق وإرثاً حضارياً وثقافياً، يبدأ النهر رحلته من نبع بردى على ارتفاع 1095م عن سطح البحر ويصب في بحيرة العتبية على مسافة 28كم شرقي مدينة دمشق على ارتفاع 596م، ويبلغ الطول الكلي للمجرى الرئيسي للنهر نحو 65كم (Selkhozpromexport, 1986).

في السنوات الأخيرة أصبح النهر يعاني من عديد المشكلات؛ أبرزها مشكلة الصرف الصحي الناتجة عن تعطل محطة معالجة عدرا عن العمل، وكذلك شبكات الصرف الصحي التي تعاني من الانسدادات بسبب الأعمال التخريبية، مما سبب كارثة تلوث بيئي على سكان دمشق. كما يعاني النهر على طول مجرى الربوة حتى حديقة تشرين من حمل عضوي ملوث، مصدره مياه الصرف الصحي القادم من جبل الرز؛ ومياه الصرف الصحي للمطاعم التي لم تلتزم بتطبيق الاشتراطات والضوابط على صرفها للمياه إلى الشبكة النظامية، وهذا يؤدي إلى تحويل النهر لبؤرة تلوث وانتشار الروائح الكريهة المنبعثة.

لحل هذه المشاكل أوجدت الأراضي الرطبة المصطنعة التي تعد من الخيارات القابلة للتطبيق لمعالجة مياه الصرف الصحي وردف النهر بمياه معالجة (R. H. Kadlec & Wallace, 2008) وهي من الطرق البديلة للمعالجات التقليدية (Garcia et al., 2010)، وتعد هذه التقنية أقل كلفة وسهولة التشغيل والصيانة (Wu et al., 2014).

على هذا النحو فإن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم كفاءة الأراضي الرطبة في تخفيض الحمل العضوي إلى الحدود المسموحة من خلال المحطة التجريبية بالقصبيا وتحسين جودة مياه النهر.

الدراسات المرجعية:

الدراسة الأولى: أجرى Shuili Yu وآخرون دراسة لتقييم كفاءة المعالجة المسبقة لإمدادات المياه شديدة التلوث في خزانات عن طريق الأراضي الرطبة تحت السطحية، حيث تهدف الدراسة لمعالجة إمدادات المياه من النهر الأصفر في الصين إلى خزان بحيرة يوتشينغ بمدينة جيانان. تم إجراء المحطة التجريبية ذات الجريان تحت السطحي الأفقي بالقرب من بحيرة يوتشينغ، حيث تأتي إليها المياه بعد معالجتها مسبقاً نتيجة الإقامة الطويلة في خزان البحيرة (Shuili Yu et al., 2008).

| Plant Species | substrate | The type of flux | Dimension (L*W*D) | HLR (m ³ /m ² *d) | HRT (day) |
|----------------|-----------|------------------|-------------------|---|-----------|
| Common bulrush | Gravel | HSF | (6*1.5*0.6) | 2 | 1.35 |

الجدول (1): يبين مواصفات المحطة التجريبية والمعايير التشغيلية المختارة.

كفاءة المعالجة:

| Removal Performance (%) | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|---------------------|---------------------|-----|-----|
| TSS | BOD | COD | NH ₄ - N | NO ₃ - N | TN | TP |
| - | - | 49% | 47% | 53% | 52% | 49% |

الجدول (2): يبين متوسط نسبة إزالة المؤشرات المعتمدة.

نلاحظ أن الخلايا ذات الجريان السطحي الحر (FWS) أعطت كفاءة معالجة أفضل؛ مع زمن احتفاظ هيدروليكي أقل وتحميل سطحي أكبر منه في الخلايا ذات الجريان تحت السطحي (SSF). ونلاحظ أن إزالة الفوسفور كانت جيدة تبعاً للبارامترات المأخوذة ونتيجة انخفاض نسبة الفوسفور العضوي في المياه الداخلة.

الدراسة الثالثة: قام Tripathi وآخرون بتشييد أرض رطبة كأداة للتكنولوجيا البيئية من أجل معالجة التلوث والحفاظ على نهر الجانج.

بارامترات الدراسة كانت زمن الاحتفاظ الهيدروليكي والغطاء النباتي (U.N. Rai et al., 2013).

| Plant Species | substrate | The type of flux | Dimension (L*W*D) | HLR (m ³ /m ² *d) | HRT (hour) |
|---|-----------|------------------|-------------------|---|------------|
| Typha, Althernanthera, Phragmites australis, Polygonum, Colocasia, Pistia | Gravel | SSF | (7.8*6*1.8) | 0.065 | 12 |
| | | | | | 24 |
| | | | | | 36 |

الجدول (5): يبين مواصفات الأرض الرطبة والمعايير التشغيلية المختارة.

كفاءة المعالجة:

| HRT (hour) | Removal Performance (%) | | | | | | |
|------------|-------------------------|-----|-----|---------------------|---------------------|----|-----|
| | TSS | BOD | COD | NH ₄ - N | NO ₃ - N | TN | TP |
| 12 | 46% | 86% | - | 52% | 55% | - | 47% |
| 24 | 57% | 90% | - | 64% | 63% | - | 68% |
| 36 | 66% | 94% | - | 84% | 82% | - | 75% |

الجدول (6): يبين متوسط نسبة إزالة المؤشرات المعتمدة.

وجد الباحثون أن انخفاض BOD، TSS، TDS، NO₃-N، PO₄-P، NH₄-N يزيد مع نمو وتأسيس النباتات بالكامل (بعد 6 أشهر) مقارنةً بالتأسيس المسبق والجزئي (بعد 2، 4 أشهر) على التوالي. وأن أفضل معدلات الإزالة

نلاحظ انخفاض كفاءة المعالجة نتيجة انخفاض تراكيز التلوث العضوي في المياه الداخلة للمحطة التجريبية، وكذلك انخفاض زمن الاحتفاظ الهيدروليكي في الدراسة إذ أن الزمن الملائم للظروف المحلية الصينية بين (5-30day).

الدراسة الثانية: قام Haifeng Jia وآخرون بتقييم كفاءة نظام أرض رطبة مشيدة من ثلاثة مراحل لمعالجة المياه الملوثة من نهر حضري

حيث تهدف الدراسة إلى تحسين نوعية مياه نهر Zhijiashe ومعدل تدفقه. تم إنشاء أرض رطبة مستطيلة الشكل ومجاورة للنهر بطول 76m وعرض 41m ومكونة من ثلاثة مراحل.

بارامترات الدراسة كانت نوع جريان المياه ومعدل التحميل السطحي الهيدروليكي وزمن المكث Haifeng Jia et al., (2014)

| Plant Species | substrate | The type of flux | Dimension (L*W) | HLR (m ³ /m ² *d) | HRT (day) |
|------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|---|-----------|
| Canna, Cyperus, Thalia, Iris | Gravel, Sand, Limestone, Zeolite | Rapid Filter | 75m ² | 0.54 | 1.85 |
| | | SSF | 300m ² | 3.93 | 0.4 |
| | | FWS | 1020m ² | 7.33 | 0.14 |

الجدول (3): يبين مواصفات مراحل الأرض الرطبة والمعايير التشغيلية المختارة.

| The type of flux | Removal Performance (%) | | | | | | |
|------------------|-------------------------|-----|-----|---------------------|---------------------|-----|-----|
| | TSS | BOD | COD | NH ₄ - N | NO ₃ - N | TN | TP |
| Rapid Filter | - | - | 70% | 73% | 48% | 74% | 78% |
| SSF | - | - | 67% | 63% | 42% | 65% | 64% |
| FWS | - | - | 81% | 53% | 55% | 63% | 78% |

الجدول (4): يبين متوسط نسبة إزالة المؤشرات المعتمدة.

كانت بعد 6 أشهر من تشغيل الأراضي الرطبة وبعد 36 ساعة من وقت الاحتفاظ.

الدراسة الرابعة: قام Yucong Zheng وآخرون بدراسة أراضي رطبة هجينة لمعالجة مياه نهر Zaohe شديد التلوث.

تهدف الدراسة إلى تطوير أنظمة هجينة تجريبية يتم فيها دمج أنواع مختلفة من الأراضي الرطبة (FWS,SSF)، لتحقيق إزالة أكثر فاعلية واكتساب المعرفة والخبرات في تصميم هذا النظام وتشغيله. بارامترات الدراسة كانت نوع الجريان والتحميل السطحي الهيدروليكي وزمن الاحتفاظ الهيدروليكي (Yucong Zheng et al., 2014).

| Plant Species | substrate | The type of flux | Dimension (L*W*D) | HLR (m ³ /m ² *d) | HRT (day) |
|-----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---|-----------|
| Typha, Phragmites australis | Gravel, Sand, Slag | A (SSF) | (34*20*0.8) | 0.1 | 2.8 |
| | | B (SSF+FWS) | (57*40*0.7) | 0.06 | 3.2 |
| | | | | | |
| | | C (SSF+FWS) | (74*40*0.7) | 0.046 | 4.6 |
| | | | | | |
| | | D (SSF+FWS) | (86*40*0.7) | 0.04 | 4.5 |
| | | E (FWS+FWS) | (90*40*0.6) | 0.05 | 3.1 |
| E1 (FWS) | | | | | |

الجدول (7): يبين مواصفات الأرض الرطبة والمعايير التشغيلية المختارة.

كفاءة المعالجة:

| Cells | Removal Performance (%) | | | | | | |
|---------------|-------------------------|-----|-----|--------------------|--------------------|-----|-----|
| | TSS | BOD | COD | NH ₄ -N | NO ₃ -N | TN | TP |
| A (SSF) | 91% | 92% | 74% | 28% | - | 33% | 50% |
| B (SSF+FWS) | 88% | 90% | 71% | 47% | - | 47% | 66% |
| | | | | | | | |
| C (SSF+FWS) | 88% | 93% | 70% | 60% | - | 55% | 72% |
| | | | | | | | |
| D (SSF+FWS) | 92% | 94% | 72% | 66% | - | 61% | 70% |
| D E (FWS+FWS) | 89% | 91% | 67% | 69% | - | 62% | 70% |
| | | | | | | | |

الجدول (8): يبين متوسط نسبة إزالة المؤشرات المعتمدة.

كانت إزالة BOD في هذه الدراسة مرتفعة، وإزالة COD كانت منخفضة نسبياً، نتيجة تسرب مياه الصرف الصناعي للنهر، وهذا أدى إلى زيادة المواد العضوية غير القابلة للتحلل في الغزارات الداخلة إلى CWS. فيما يتعلق بإزالة النيتروجين والفوسفور تبعاً للتحميل السطحي، كان النظام A مع تحميل سطحي أعلى من الأنظمة الأخرى (0.1m³/m².day)، فقد كانت نسبة إزالة TN حوالي 30% فقط وكانت إزالة TP حوالي 50%. أما النظام B، مع تحميل سطحي (0.06m³/m².day) أقل من النظام A وأعلى من إجمالي متوسط التحميل السطحي (0.053m³/m².day)، لا يمكن أن يحقق إزالة عالية من النيتروجين والفوسفور.

بالنسبة للأنظمة (E, D, C) ذات التحميل السطحي الأقل من 0.053m³/m².day، كانت إزالة TN حوالي 60% وكانت إزالة TP أكثر من 70%.

المواد والطرائق Materials and methods

1. بارامترات تصميم المحطة التجريبية:

صممت المحطة التجريبية وفقاً لبارامترات التصميم الواردة في الكود الألماني ATV-DVWK- 262 الذي اعتمد في حساب حقول النباتات على:

$$1. \text{التحميل السطحي الهيدروليكي} \leq 6 \text{ l/m}^2 \cdot \text{min}$$

$$2. \text{زمن المكث} \leq 6/2 \text{ hour}$$

اعتماداً على هذه البارامترات، اختيرت مساحة 3*2m² لكل حوض، ووفقاً لذلك بلغت الغزارة الداخلة إلى المحطة 6m³/h أي 3m³/h لكل حوض (خلال ساعة واحدة هي فترة تحميل الأحواض بالمياه)، وعليه يكون زمن الترشيح بين

1.3 مضخة المياه الجارية إلى خزان التجميع

والترسيب:

وضعت هذه المضخة في مجرى النهر بداخل برمبل ارتفاعه cm55، تم تزويده بشقوق طولية على محيطه الخارجي (كل شق طوله cm10 وعرضه mm5) كما يغطي البرميل بشبك معدني فتحاته mm5، لمنع دخول المواد العالقة كبيرة الحجم الموجودة في مياه النهر وذلك من أجل تخفيض حمل التلوث في منشأة المعالجة اللاحقة، ولمنع إضرار هذه المواد بالمضخة.

يتم ضخ المياه إلى خزان التجميع والترسيب بواسطة أنبوب الضخ المستخدم من مادة البولي إيثيلين (PE).

2.3 خزان تجميع وترسيب المياه:

سعة الخزان $1/m^3$ مصنوع من مادة PVC، يتم فيه التخلص من الندف الموجودة في المياه كما يتم التخلص من الأجسام الحبيبية ذات الأقطار الصغيرة. يتراوح زمن المكث في الخزان بين (1-2) hour يتم فيها فصل المياه عن الحمأة التي تتجمع في قاع الخزان حيث تسحب إلى حوض تجفيف الحمأة بواسطة انبوب من البولي إيثيلين والمزود بسكر بلاستيك.

تُضخ المياه بالإسالة من خزان التجميع والترسيب إلى خزان التوزيع الرئيسي عن طريق تامين فرق منسوب بميل 1% وبواسطة انبوب من البولي إيثيلين (PE) والمزود بسكر بلاستيك عند مخرج خزان التجميع والترسيب.

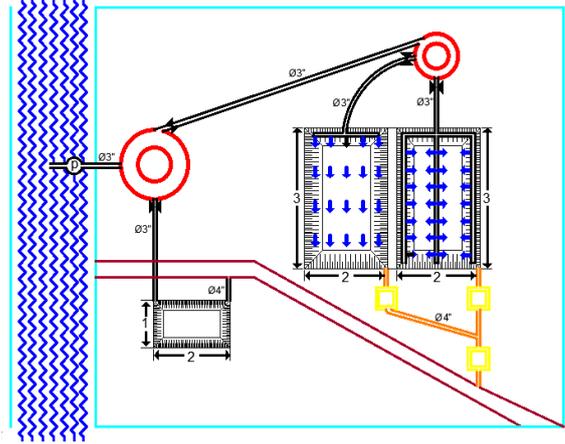
3.3 حوض تجفيف الحمأة:

حوض أسمنتي بأبعاد $2*1m^2$ وعمق 0.4m، وضعت طبقة من الرمل في أرضية الحوض بسماكة cm5 لحماية

تحميلين متتاليين هو 3 ساعات، علماً أن هذه الغزارة سحبت من خزان التوزيع الرئيسي الذي يسبق الحوضين النباتيين.

2. المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية: يبين

الشكل التالي المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية:



الشكل (3): يبين المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية.

الذي يتألف من مرحلتين :

المرحلة الأولى: المعالجة الأولية لمياه الصرف، وتشمل خزان التجميع والترسيب.

المرحلة الثانية: المعالجة الثانوية لمياه الصرف، وتشمل حوضي المعالجة بنبات القصب مربوطين على التوازي.

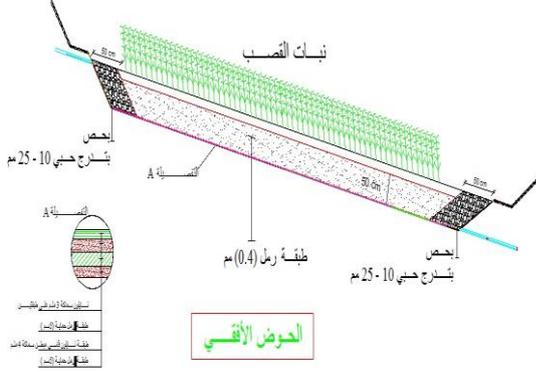
3. الخط التكنولوجي للمحطة التجريبية:

يتألف الخط التكنولوجي لمحطة المعالجة من المنشآت الرئيسية التالية:



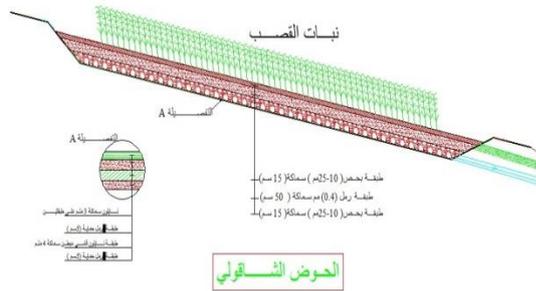
الشكل (4): يبين الخط التكنولوجي للمحطة التجريبية.

ومخرج الحوض وبتدرج من (10-25mm)، ورمل المازار في المنتصف وبتدرج حتى (0.4mm).
الشكل التالي عبارة عن رسم مبسط يوضح مقطع عرضي في الحوض الأفقي:



الشكل (6): يبين الحوض ذو الجريان تحت السطحي الأفقي.

شكل الحوض الثاني ذي الجريان تحت السطحي الشاقولي من أكتاف ترابية مائلة بأبعاد $2 \times 3 \text{m}^2$ وعمق 0.8m، ثم نفذ الفلتر من البحص وبتدرج من (10-25mm)، ثم رمل المازار وبتدرج حتى (0.4mm)، ثم البحص وبتدرج من (10-25mm)، وبسماكات 15cm و 50 و 15 على التوالي من الأسفل إلى الأعلى.
الشكل التالي عبارة عن رسم مبسط يوضح مقطع عرضي في الحوض الشاقولي:



الشكل (7): يبين الحوض ذو الجريان تحت السطحي الشاقولي.

طبقة العزل، ثم وضعت الطبقة العازلة على أرضية وجوانب الحوض لمنع تسرب الحمأة، بعدها ثبتت أنابيب الدريناج فوق طبقة العزل وجمعت في مجمع يتم تصريفه إلى قناة ترابية مجاورة للحوض.



الشكل (5): يبين حوض تجفيف الحمأة.

4.3. خزان توزيع المياه الرئيسي إلى حوضي المعالجة النباتية:

سعة الخزان 0.1m^3 مصنوع من البلاستيك، يغذي كل حوض من حوضي النباتات عبر الضخ بالإسالة عن طريق تامين فرق منسوب بميل 1% ويوساطة انبويين من البولي إيثيلين، رُكبت سكورة بلاستيكية على أنبويي تغذية الحوضين عند مخرج خزان التوزيع؛ بهدف التحكم بالغرارة الداخلة إلى الحوضين النباتيين وقياسها.

5.3. حوضي المعالجة النباتية:

اختير حوضي معالجة بنبات القصب بمواصفات معالجة محددة ومختارة من خلال شبكة توزيع الانابيب ونوع جريان المياه ضمن الانابيب وتوزيع القصبيات تبعاً لنظام الجريان المعتمد.

شكل الحوض الأول ذي الجريان تحت السطحي الأفقي من أكتاف ترابية مائلة بأبعاد $2 \times 3 \text{m}^2$ وعمق 0.5m، ثم نفذ فلتر المعالجة من البحص على مسافة 50cm عند مدخل

2. قاطع كهرباء مزدوج 32 امبير يؤمن تشغيل المضخة يدوياً إذ أن عمل المحطة متقطع.

5. عمل المحطة التجريبية:

تُضخ المياه الملوثة من مجرى النهر عن طريق مضخة متوضعة في برميل تم تزويده بشقوق طولية على محيطه الخارجي ومغطى بشبك معدني إلى خزان التجميع والترسيب بوساطة أنبوب الضخ. بعد انتهاء فترة تحميل الحوض يتم إيقاف عمل المضخة عبر فصل قاطع الكهرباء المزدوج.

بعد تحقيق زمن المكث في خزان التجميع والترسيب، تُضخ المياه إلى خزان التوزيع الرئيسي بالإسالة عبر فتح السكر المركب عند مخرج الخزان بوساطة أنبوب الضخ المستخدم من مادة البولي إيثيلين والمثبت بقضبان حديدية.

تُسحب الحمأة المتجمعة في قاع خزان التجميع والترسيب عن طريق فتح السكر المركب عند مخرج الخزان عبر أنبوب الضخ بالإسالة المثبت عند مدخل حوض تجفيف الحمأة، حيث يتم تصريف المياه في الحوض عبر أنابيب دريناج مثبتة فوق الطبقة العازلة ومنه يتم جمعها في مجمع يتم تصريفه إلى قناة ترابية مجاورة للحوض، ويتم التخلص من الحمأة المتجمعة في الحوض بعملية التعزير اليدوي بعد أن تصبح مجففة ويُستفاد منها بالتسميد العضوي.

يتم ضخ المياه من خزان التوزيع الرئيسي إلى الأحواض النباتية بوساطة أنابيب الضخ بالإسالة المستخدمة من مادة البولي إيثيلين، والمزودة بسكورة فتح وأغلاق بلاستيكية مركبة عند مخرجي خزان التوزيع تضمن المحافظة على ثبات غزارات المياه المطلوبة والداخلية إلى حوضي المعالجة.

وضع فلتر المعالجة فوق طبقة عزل نُفذت على أرضية وجوانب الحوضين لمنع تسرب المياه، ونفذت طبقة من الرمل تحت الطبقة العازلة في أرضية الحوضين وبسماكة 5سم لحمايتها، ثم ثبتت أنابيب الدريناج فوق طبقة العزل ووصلت إلى غرف التفتيش التي تلي الحوضين.

6.3. غرف التفتيش بعد الأحواض النباتية:

مصنوعة من البلاستيك بسعة $0.02m^3$ ، يتم من خلالها تحويل المياه الراشحة بالإسالة من حوضي القصب إلى قناة التجميع النهائي للمياه المعالجة عن طريق فتح السدات الموجودة ضمنها. وذلك عن طريق تأمين فرق منسوب بميل 2% .



الشكل (8): يبين غرفة التفتيش في المحطة التجريبية.

7.3. قناة التجميع النهائي:

قناة بيتونية مكشوفة مهمتها هي استقبال المياه المعالجة القادمة من حوضي النباتات وتجميعها لتستثمر حسب المجال المطلوب لاستخدامها.

4. التجهيزات الكهربائية والميكانيكية في المحطة:

جهزت المحطة التجريبية بالتجهيزات التالية:

1. مضخة تثبت في برميل التصفية في مجرى النهر، تؤمن سحب مياه النهر الجارية باستطاعة $200l/min$ إلى خزان التجميع والترسيب.

قبل تحديد مكان أخذ العينات من المحطة التجريبية، لابد من ذكر الملوثات المراد تحديد تراكيزها، أو البارامترات التي يجب تحديد تراكيزها تجريبياً. وهي:

TN,NO₃,NH₄,TP,pH,COD,BOD

1.6. الأماكن التي حددت لأخذ العينات هي:

1. من خزان التوزيع الرئيسي للمياه (مياه معالجة أولياً).

2. المياه الخارجة من حوضي النباتات، حيث أخذت العينات من غرف التفتيش التي تلي هذه الأحواض.

2.6. زمن الاعتيان:

بعد الانتهاء من إنشاء المحطة وتجهيزها بكامل التجهيزات اللازمة لعملها، زرعت الأحواض بنبات القصب، حيث تم الإنتهاء من زراعة جذور نبات القصب في الحوضين في شهر حزيران من عام 2022 .

تم تقسيم التجارب إلى مرحلتين:

المرحلة الأولى: بدأت من تاريخ 2022/8/6 حتى تاريخ 2022/8/11 وفق المؤشرات التالية:

$(q=8l/m^2.min, Q=3m^3/h, t=3hour)$

المرحلة الثانية: بدأت من تاريخ 2022/8/13 حتى تاريخ 2022/8/18 وفق المؤشرات التالية:

$(q=6l/m^2.min, Q=2^3m/h, t=3hour)$

6. تقييم نتائج التجارب:

نتائج التجارب التي تم اجريتها من أجل المرحلة الأولى (Step1)، قد تم التعبير عنها بشكل بياني في الأشكال (9،10،11،12،13،14،15) التي تظهر كفاءة إزالة الملوثات في الحوضين النباتيين تبعاً لنوع الجريان تحت السطحي (الأفقي، الشاقولي) في كل حوض.

• النتروجين الكلي TN:

تأتي المياه إلى حوضي القصبينات بالإسالة وذلك بتأمين فرق منسوب مناسب بينها وبين خزان التوزيع الرئيسي، شبكة توزيع المياه في الحوض الأفقي عبارة عن أنبوب رئيسي متقرب يتوضع في بداية الحوض، مهمته توزيع المياه أفقياً بانتظام في الحوض، أما الأنبوب الرئيسي في بداية الحوض الشاقولي تركيب عليه شبكة أنابيب فرعية متعامدة معه ومتقبة، مهمتها توزيع المياه شاقولياً بانتظام في الحوض.

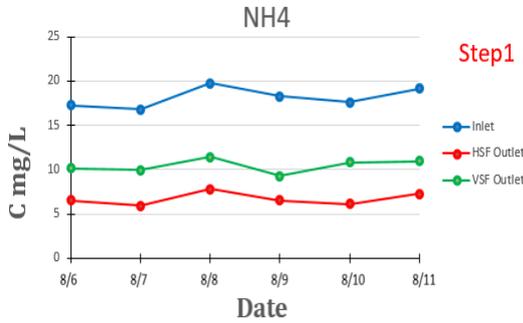
تقوم المياه الداخلة بتغذية نبات القصب المزروع في رمل المزار ضمن الأحواض، وفق الاحتمالين الآتيين:

الاحتمال الأول: يُغلق السكر المركب عند مخرج خزان التوزيع الرئيسي إلى الحوض الشاقولي، ويفتح جزئياً السكر الآخر المركب عند مخرج الخزان إلى الحوض الأفقي، ليسمح بتمرير غزارة المياه المطلوبة عبر أنبوب الإسالة. بعد انتهاء فترة تحميل الحوض وتحقيق زمن المكث المطلوب، تُفتح السدة الموجودة في غرفة التفتيش بعد الحوض يدوياً لنسمح بنقل المياه عبر شبكة أنابيب الدريناج إلى غرفة التفتيش ومن ثم عبر قساطل PVC إلى قناة التجميع النهائي للمياه المعالجة.

الاحتمال الثاني: يغلق السكر المركب عند مخرج خزان التوزيع الرئيسي إلى الحوض الأفقي، ويفتح جزئياً السكر الآخر المركب عند مخرج الخزان إلى الحوض الشاقولي، ليسمح بتمرير غزارة المياه المطلوبة عبر أنبوب الإسالة. بعد انتهاء فترة تحميل الحوض وتحقيق زمن المكث المطلوب، تُفتح السدة الموجودة في غرفة التفتيش بعد الحوض يدوياً لنسمح بنقل المياه عبر شبكة أنابيب الدريناج إلى غرفة التفتيش ومن ثم عبر قساطل PVC إلى قناة التجميع النهائي للمياه المعالجة.

6. خطة الاعتيان:

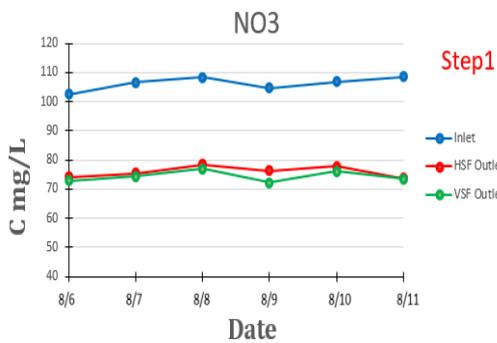
الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (آ، ب).



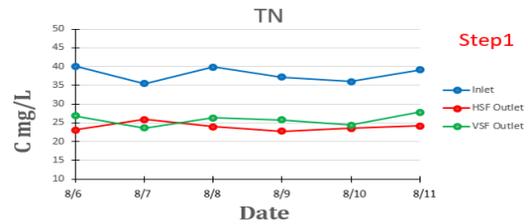
الشكل رقم (10) يبين منحنيات الإزالة لـ (NH₄) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).

• النترات NO₃ :

نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ NO₃ لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الأولى (Step1) من الشكل 11، أن القيمة الوسطية بلغت 75.97mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسبة إزالة وصلت إلى (28%) أما القيمة الوسطية بلغت 74.35mg/L لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي وبنسبة إزالة وصلت إلى (30%). والقيمتان السابقتان تحققان المواصفة القياسية السورية رقم 2008-2752 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (ج).



نلاحظ من منحنى الإزالة لـ TN لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الأولى (Step1) من الشكل 9، أن كفاءة الإزالة كانت منخفضة، لتصل القيمة الوسطية إلى 23.92mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسبة إزالة بلغت (37%)، وقيمة وسطية 25.8mg/L لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي وبنسبة إزالة (32%). وهذه القيم تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (4et al., 201 Yucong Zheng).



الشكل رقم (9) يبين منحنيات الإزالة لـ TN لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).

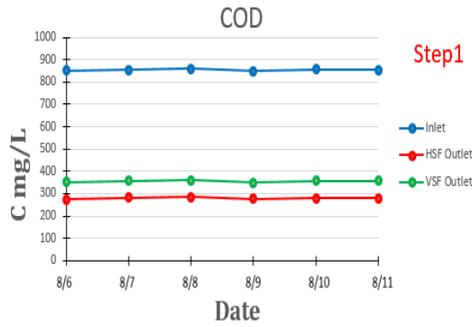
• الأمونيوم NH₄ :

نلاحظ من منحنى الإزالة لـ NH₄ لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الأولى (Step1) من الشكل 10، إن القيمة الوسطية بلغت 6.68mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسبة إزالة وصلت إلى (63%) وهذه القيمة تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (4et al., 201 Haifeng Jia)، أما القيمة الوسطية لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي بلغت 10.41mg/L وبنسبة إزالة وصلت إلى (42%) وهذه القيمة منخفضة ولكنها تتسجم إلى حد كبير مع دراسات مرجعية سابقة (08et al., 20 Shuili Yu)، والقيمتان السابقتان تحققان المواصفة القياسية السورية رقم 2008-2752 الخاصة بمواصفات مياه الصرف

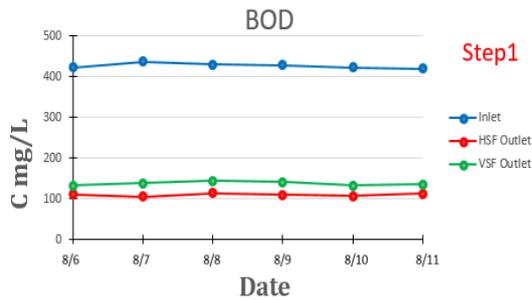
الشكل رقم (12) يبين منحنيات الإزالة لـ (TP) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).

• BOD , COD :

نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ COD, BOD لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الأولى (Step1) من الأشكال (13،14)، أن نسب الإزالة لدى الجريان تحت السطحي الأفقي بلغت (67%،74%) على التوالي، وهذه النسب تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (Haifeng Jia et al., 2014) أما نسب الإزالة لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي بلغت (58%،68%) على التوالي. وهذه النسب تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (Shuili Yu et al., 2008).



الشكل رقم (13) يبين منحنيات الإزالة لـ (COD) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).



الشكل رقم (14) يبين منحنيات الإزالة لـ (BOD) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).

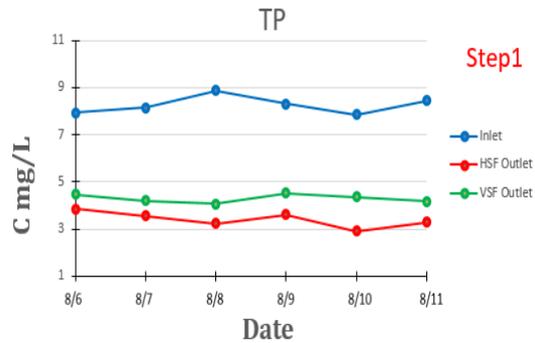
قيم الـ BOD, COD في المياه المعالجة كانت مرتفعة نتيجة أن تراكيزها في المياه الداخلة كانت مرتفعة جدا،

الشكل رقم (11) يبين منحنيات الإزالة لـ (NO₃) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).

التفسير العلمي لانخفاض نسبة إزالة النترات في المياه المعالجة يعود إلى أن الامونيوم الذي تمت أكسدته في الحوضين النباتيين (نترته) أقل بقليل من كمية النترات التي تم إرجاعها، وهذا واضح من خلال انخفاض تراكيز NH₄.

• الفوسفور الكلي TP:

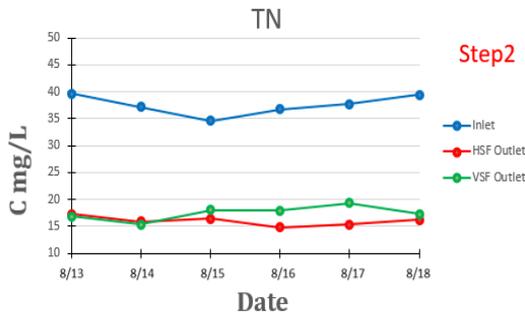
نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ TP لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الأولى (Step1) من الشكل 12، إن القيمة الوسطية بلغت 3.4mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسب إزالة متجانسة وصلت إلى (59%) وهذه القيمة تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (Haifeng Jia et al., 2014) أما القيمة الوسطية بلغت 4.29mg/L لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي وبنسبة إزالة وصلت إلى (48%) وهذه القيمة منخفضة ولكنها تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (Shuili Yu et al., 2008). والقيمتان السابقتان تحققان المواصفة القياسية السورية رقم 2752-2008 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (آ، ب، ج).



نتائج التجارب التي أجريت في الفترة المذكورة قد عبر عنها بيانياً في المرحلة الثانية (Step2) من الأشكال (16،17،18،19،20،21،22) التي تظهر كفاءة إزالة الملوثات في الحوضين النباتيين تبعاً لنوع الجريان تحت السطحي (الأفقي، الشاقولي) في كل حوض.

• النتروجين الكلي TN:

نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ TN لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الثانية (Step2) من الشكل 16، أن نسب الإزالة من TN قد ارتفعت عن قبل إذ بلغت القيمة الوسطية 116 mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسبة إزالة بلغت (57%)، وقيمة وسطية 17.49 mg/L لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي وبنسبة إزالة (53%). وهذه القيم تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (Shuili Yu et al., 2008).



الشكل رقم (16) يبين منحنىات الإزالة لـ (TN) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).

• الأمونيوم NH₄:

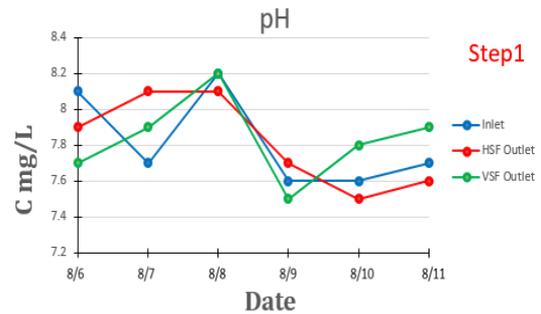
نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ NH₄ لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الثانية (Step2) من الشكل 17، إن القيمة الوسطية بلغت 4.53 mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسبة إزالة وصلت إلى

وذلك نتيجة أن فرع النهر الذي يزود المحطة التجريبية يعد تجمع لمصادر تلوث عدة لم تلتزم بتصريف المخلفات إلى شبكة معالجة خاصة وإنما تصرف مباشرة لفرع النهر.

مع ذلك فإن القيم السابقة تحقق المواصفة القياسية السورية رقم 2752-2008 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (ج).

• pH:

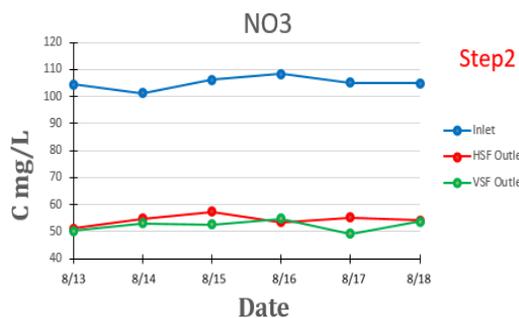
تشير نتائج قياس الـ pH للمياه الداخلة والخارجة من حوضي القصب في المرحلة الأولى (Step1)، أن تغيرها يتراوح بين (7.5-8.2) كما هو موضح في الشكل 15:



الشكل رقم (15) يبين منحنىات الإزالة لـ (pH) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step1).

المرحلة الثانية:

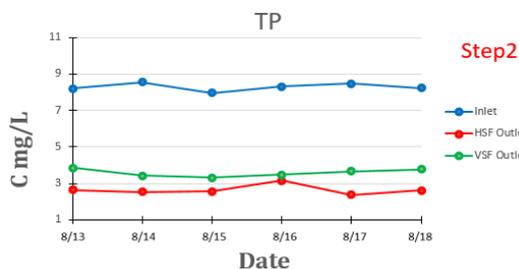
تم تخفيض التحميل السطحي الهيدروليكي انطلاقاً من التحميل الأولي (8l/m².min)، بحيث يصبح التحميل هو (6l/m².min)، وبالتالي الغزارة الداخلة إلى الحوض 2m³/h مع ثبات زمن المكث في الحوضين بقيمة 3hour. التجارب امتدت لستة أيام من تاريخ 8/13 حتى تاريخ 8/18.



الشكل رقم (18) يبين منحنيات الإزالة لـ NO_3 لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).

• الفوسفور الكلي TP:

نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ TP لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الثانية (Step2) من الشكل 19، إن القيمة الوسطية بلغت 2.64mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسب إزالة متجانسة وصلت إلى (68%)، وهذه القيمة تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (et al., 2013 U.N. Rai)، أما القيمة الوسطية بلغت 3.58mg/L لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي وبنسبة إزالة وصلت إلى (57%)، وهذه القيمة تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (et al., 2014 Yucong Zheng). والقيمتان السابقتان تحققان المواصفة القياسية السورية رقم 2008-2752 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (أ، ب، ج).

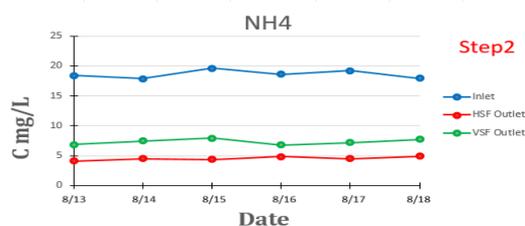


الشكل رقم (19) يبين منحنيات الإزالة لـ (TP) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).

• BOD, COD:

(76%)، وهذه القيمة تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (et al., 2013 U.N. Rai) وكذلك تحقق المواصفة القياسية السورية رقم 2009-3474 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المسموح بصرفها إلى البيئة المائية ولاسيما (الأنهار).

أما القيمة الوسطية لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي قد بلغت 7.32mg/L وبنسبة إزالة وصلت إلى (61%)، وهذه القيمة تتسجم إلى حد كبير مع دراسات مرجعية سابقة (Shuili Yu et al., 2008)، والقيمتان السابقتان تحققان المواصفة القياسية السورية رقم 2008-2752 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (أ، ب).

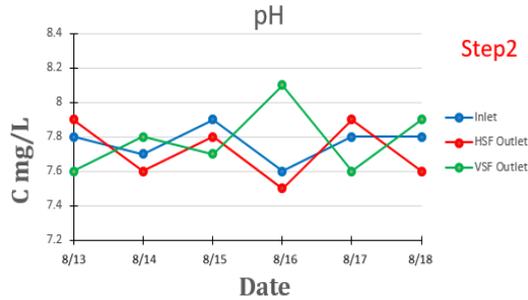


الشكل رقم (17) يبين منحنيات الإزالة لـ NH_4 لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).

• النتراة NO_3 :

نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ NO_3 لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الثانية (Step2) من الشكل 18، إن القيمة الوسطية بلغت 54.39mg/L لدى الجريان تحت السطحي الأفقي وبنسبة إزالة وصلت إلى (48%) أما القيمة الوسطية بلغت 52.33mg/L لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي وبنسبة إزالة وصلت إلى (50%). والقيمتان السابقتان تتسجمان مع دراسات مرجعية سابقة (Shuili Yu et al., 2008) وتحققان المواصفة القياسية السورية رقم 2008-2752 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (أ).

تشير نتائج قياس الـ pH للمياه الداخلة والخارجة من حوضي القصب في المرحلة الثانية (Step2)، أن تغيرها يتراوح بين (7.5-8.1) كما هو موضح في الشكل 22:



الشكل رقم (22) يبين منحنيات الإزالة لـ (pH) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).

الاستنتاجات:

1- حققت طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة المصطنعة كفاءات جيدة، إلا أنها لم تصل بتراكيز بعض الملوثات الناتجة إلى القيم المطلوبة في المواصفة القياسية السورية رقم 2009-3474 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المسموح بصرفها إلى البيئة المائية ولاسيما (الأنهار)، نتيجة التراكيز المرتفعة في المياه الداخلة للمحطة التجريبية.

2- ازدياد كفاءة إزالة الملوثات (TN, NO3, NH4, TP, BOD, COD) طردياً مع تخفيض التحميل السطحي الهيدروليكي.

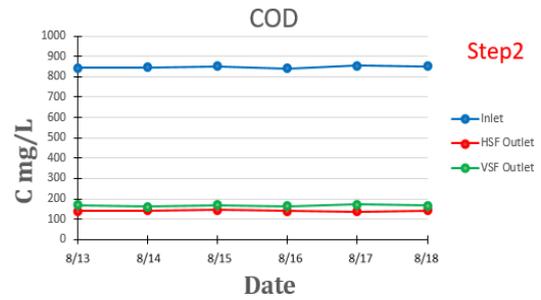
3- الجريان تحت السطحي الأفقي أعطى نتائج إزالة أفضل من الجريان تحت السطحي الشاقولي ضمن حدود الدراسة.

4- أثبت نبات القصب المشترك كفاءة وفعالية عالية لمعالجة مياه النهر الملوثة بشكل أساسي بمياه الصرف الصحي المنزلي في منطقة الدراسة.

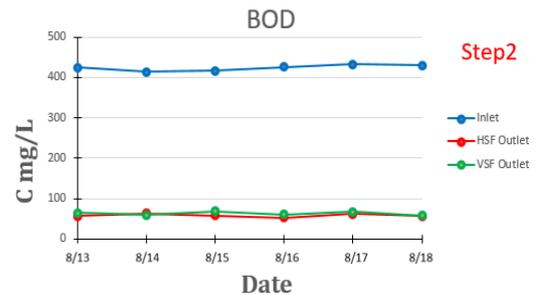
5- بعد اختبار العينات والوصول إلى النتائج المطلوبة ومن خلال مقارنة هذه النتائج مع الدراسات المرجعية

نلاحظ من منحنى مردود الإزالة لـ COD, BOD لدى نوعي الجريان تحت السطحي، موضحة في المرحلة الثانية (Step2) من الأشكال (20,21)، إن نسب الإزالة لدى الجريان تحت السطحي الأفقي بلغت (83%)، (80%) على التوالي. أما نسب الإزالة لدى الجريان تحت السطحي الشاقولي بلغت (86%)، (85%) على التوالي.

وهذه النسب تتسجم مع دراسات مرجعية سابقة (U.N. Rai et al., 2013)، قيم الـ COD, BOD في المياه المعالجة لا تزال مرتفعة نتيجة ما ذكرناه سابقاً. ومع ذلك فهي تحقق المواصفة القياسية السورية رقم 2008-2752 الخاصة بمواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة لأغراض الري ولاسيما النموذج (ب،ج).



الشكل رقم (20) يبين منحنيات الإزالة لـ (COD) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).



الشكل رقم (21) يبين منحنيات الإزالة لـ (BOD) لدى نوعي الجريان تحت السطحي (Step2).

• pH

والتجارب العالمية، تبين أن هذه التقنية أعطت كفاءة جيدة في معالجة تلوث المياه وتخفيض الحمل العضوي. وعليه فإن تطبيق هذه التقنية يعود بالفائدة من حيث كفاءتها إضافة إلى فائدتها الاقتصادية حيث تعد أقل كلفة من التقنيات الأخرى.

التوصيات:

- 1- العمل على تنفيذ وإتباع هذه التقنية من المعالجة محلياً نظراً لتحقيقها المتطلبات اللازمة وبأقل كلفة اقتصادية.
- 2- اختبار كفاءة المعالجة الناتجة عن تغيير زمن المكث من 3 ساعات لفترة زمنية أطول، وتقييم كفاءة هذا التغيير مع نوعي الجريان تحت السطحي.

- 3- اختبار كفاءة المعالجة في حال تغيير التحميل السطحي بالملوثات عبر تدوير نسب مختارة من المياه المعالجة الناتجة عن الأراضي الرطبة المصطنعة.
- 4- إجراء دراسات على مياه النهر للمعادن الثقيلة وتقييم فعالية هذه التقنية من المعالجة في انتزاع المعادن.
- 5- اختبار كفاءة المعالجة عبر استخدام واستنبات نباتات وأوساط زراعية أخرى في هذه التقنية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1. الجمهورية العربية السورية، وزارة الصناعة، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري (2752)، 2008.
2. الجمهورية العربية السورية، وزارة الصناعة، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، المخلفات السائلة المسموح بطرحها إلى البيئة المائية (3474)، 2009.