مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 39- العدد 3 (2023) 212-224

Damascus university Journal for engineering sciences
Vol 39 No.3 (2023): 212-224

تقييم كفاءة الأراضي الرطبة لمعالجة تلوث المياه في نهر الليطاني
"دراسة مؤشر الطلب البيولوجي على الأوكسيجين BOD"

عبد الله حرب[1]، أ.د. غادة بلال[2]

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

[2]أستاذ في قسم الهندسة الصحية والبيئية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

الملخص

إن مشكلة التلوث واحدة من أكبر التحديات التي تواجهها الدول والتي تهدد الاستمرارية البشرية. يعد تلوث المياه أكبر المشكلات تهديداً وتحدياً للبشرية، لذلك كانت المحاولات لإيجاد حلول لهذه المشكلة. لقد تعددت أساليب وتقنيات معالجة تلوث المياه بدءاً من محطات التكرير التقليدية وصولاً الى الأراضي الرطبة الطبيعية والاصطناعية.

من هنا تبرز خلفية البحث الذي يتناول تقنية الأراضي الرطبة الطبيعية كحل حقيقي قادر على معالجة او تخفيض من نسب تلوث المياه بأقل كلفة ممكنة. وقام هذا البحث باتخاذ منطقة الأرض الرطبة في منطقة جب جنين في البقاع اللبناني كحيز مكاني للدراسة وتقييم مدى فعالية وقدرة هذه الأراضي في معالجة تلوث المياه الناتج عن مياه الصرف الصحي المنزلي. ومن أجل الوصول الى أفضل النتائج والتحقق من صحتها، قام الباحث باختبار 96 عينة مقسومة مناصفة الى 48 قبل الأرض الرطبة (نهر الليطاني) و48 بعدها. كان هدف الباحث اختبار مدى تأثير مدة المكث وغزارة الضخ في معالجة تلوث المياه، لذلك لجأ الى اختبار هذه العينات في مدة مكث 3 و6 أيام وبغزارة ضخ 30,60,90 ليتر في الثانية. ومن أجل ضمان سلامة ومصداقية النتائج اختبرت مرتين في اليوم.

أظهرت النتائج أنَ متوسط نسبة إزالة الطلب البيولوجي على الأوكسيجين قبل وبعد الأرض الرطبة كانت 61.07%، كما اختلفت هذه النسبة باختلاف مدة المكث وغزارة الضخ،

تاريخ الإيداع:2022/4/3
تاريخ القبول:2022/7/24

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص
CC BY-NC-SA 04

ISSN:2789-6854 (online)

http://journal.damascusuniversity.edu.sy

فكانت مدة مكث 6 أيام بغزارة ضخ 30 l/s خلال الأشهر الجافة هي الأفضل حيث بلغت نسبة الازالة 87.16%.

ضمن حدود هذه الدراسة نستنتج أنَ الأراضي الرطبة وفق هذا النظام قادرة على تخفيض الطلب البيولوجي على الاوكسيجين حيث تبين أنَ قيمة المؤشر بعد الأرض الرطبة اقل من القيمة الحدية البيئية. وعليه فإن تطبيق هذه التقنية يعود بالفائدة من حيث كفاءتها في معالجة تلوث المياه الناتج بشكل أساسي عن مياه الصرف الصحي المنزلي. إضافةً الى فائدتها الاقتصادية حيث تعد أقل كلفة من التقنيات الأخرى.

الكلمات المفتاحية: الأرض الرطبة، نهر الليطاني، مدة المكث، غزارة الضح، الطلب البيولوجي على الاوكسيجين.

Evaluation of the Efficiency of Wetlands to Treat water Pollution in the Litani River "studying the Biochemical Oxygen Demand"

Abdallah Harb[1], Prof. Ghada bilal[2]

[1]Master student at environment and sanitary of faculty of civil engineering– Damascus university

[2]Professor at environment and sanitary of faculty of civil engineering –Damascus university.

Received: 3/4/2022
Accepted: 24/7/2022

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

Abstract

Evaluation of the Efficiency of Wetlands to Treat water Pollution in the Litani River (Studying the Biochemical Oxygen Demand)

Pollution is one of the major challenges that countries are facing which threatens the continuity of life. Water pollution is one of the most challenging obstacles humanity faces, and for that many methods and procedures were taken in an attempt to treat water pollution starting from water treatment plants reaching natural and artificial wetlands.

Hence, the research background which discusses the technique of natural wetlands arises. This technique is a factual solution capable of treating water pollution or at least reducing its rates at the lowest cost possible. This research considered the wetlands in Joub Jannine, West Beqaa of Lebanon as a chosen site of study and evaluation of the effectiveness and capability of these lands in treating water pollution resulting from domestic wastewater discharges. In order to get the best results and to check out their validity, the researcher tested 96 samples halved into 48 before the wetland construction (Litani River) and 48 after it. The researcher goal was to study the effect of the hydraulic retention time and the flow rate in treating water pollution, that's why he tested the samples stucked in for 3 and 6 days with flow rate equal to 30, 60, 90 L/s, and to verify the accuracy and credibility of the results, the test was repeated 2 times per day.

The results showed that the average removal rate of the Biochemical Oxygen Demand before and after the wetland was 61.07%. This percentage differs as the HRT and flow rate differs. It was found that HRT of 6 days with pumping at rate of 30 L/s was the best during months of drought, where it reaches 87.16%.

Within the limits of this study, we conclude that wetlands are able to reduce the Biochemical Oxygen Demand, where we found that the value of the indicator after the constructed wetland is less than the threshold regression model. Based on what mentioned, this method is useful and beneficial concerning its efficiency in treating water pollution mainly caused by domestic wastewater discharges, in addition to its economic benefits where its low-cost compared to conventional treatment systems.

Keywords: Wetland, Litani River, Hydraulic Retention Time, Flow Rate, Biochemical Oxygen Demand.

المقدمة:

المتوسط، يبلغ طوله حوالي 170كلم تقريباً (LRA, 2019). حيث يبلغ متوسط التدفق السنوي للنهر حوالي 750 مليون متر مكعب (Saadeh *et al.*, 2012).

يعاني نهر الليطاني من دخول المياه غير المعالجة الى مجراه الناتجة عن مياه الصرف الصحي المنزلي والصرف الزراعي بالإضافة الى العمل الضعيف لمحطات الصرف الصحي المنزلي، حيث تتعاظم الملوثات في المياه (LRA, 2014). بالإضافة إلى ذلك، فإن معظم محطات معالجة مياه الصرف الصحي في البقاع (حتى تلك التي تم تشييدها مؤخراً مثل معمل جب جنين في أعلى موقع الأرض الرطبة) لا يتم تشغيلها حالياً أو يتم تشغيلها بشكل هامشي وتدخل مياه الصرف الصحي المنزلي غير المعالجة مباشرة إلى نهر الليطاني (LRBMS, 2012) .

وفي ظل هامشية عمل محطات معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي أوجدت الأراضي الرطبة التي تعتبر من الخيارات القابلة للتطبيق لمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلي (R. H. Kadlec & Wallace, 2008) وهي من الطرق البديلة للمعالجات التقليدية(Garcia *et al.*, 2010)، وتعد هذه التقنية أقل كلفة وسهلة التشغيل والصيانة (Wu *et al.*, 2014) .

تستخدم هذه الأنظمة، التي تتكون أساساً من الغطاء النباتي والركائز والتربة والكائنات الدقيقة والمياه، عمليات معقدة تتضمن آليات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية لإزالة الملوثات المختلفة أو تحسين جودة المياه (Saeed & Sun, 2012). ويتم التخفيض من خلال آليات معالجة متنوعة بما في ذلك الترسيب، والترشيح، والترسيب الكيميائي، والتفاعلات الميكروبية، وامتصاص النباتات(Vymazal, 2011) .

على هذا النحو فإنَ الهدف الرئيس من هذه الدراسة هو تقييم أداء الأراضي الرطبة لتحديد كفاءة معالجة الطلب البيولوجي على الاوكسيجين BOD وتحسين جودة مياه النهر.

2-الدراسات المرجعية

الدراسة الأولى: حسب LRBMS (الجهة الممولة للمشروع) ومصلحة مياه نهر الليطاني عام 2012، قد تم تصميم نظام الاراضي الرطبة لإزالة 90-30 % من حمل التلوث اعتمادا على نوع الملوث والوقت من العام(LRBMS, 2012).

تم إجراء تحاليل للعينات المأخوذة قبل وبعد منطقة CW، وبينت نتيجة الدراسة التجريبية بأن نظام الأراضي الرطبة في موقع جب جنين قادر على تحقيق معالجة (حوالي 1500 متر مكعب / يوم خلال فصل الصيف وحوالي 3000 متر مكعب / يوم خلال موسم الأمطار)، بغزارة ضخ 30-60 l/s، ونوع النباتات المزروعة phragmites australis، كانت قيم العينات المأخوذة خلال فصلي الصيف والشتاء قبل وبعد المنطقة الرطبة ونسب الازالة للمؤشر الطلب البيولوجي على الأوكسيجين BOD كما هو موضح أدناه.

الجدول (1) متوسط نسبة إزالة BOD في الأشهر الجافة.

Dry Season	BOD5
Inflow Concentration (mg/L)	60
Inflow Mass Rate (kg/ha/d)	64
Outflow Concentration (mg/L)	32
Outflow Mass Rate (kg/ha/d)	22
Concentration Removal	47%
Mass Removal	66%

الجدول (2) متوسط نسبة إزالة BOD في الأشهر الرطبة.

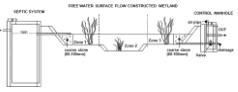
Wet Season	BOD5
Inflow Concentration (mg/L)	9
Inflow Mass Rate (kg/ha/d)	20
Outflow Concentration (mg/L)	7
Outflow Mass Rate (kg/ha/d)	13
Concentration Removal	24%
Mass Removal	35%

مما هو واضح في الجداول أعلاه، تبين أنَ أفضل كفاءة إزالة هي في الأشهر الجافة (47%) BOD

الدراسة الثانية: أجرى Gunes Kemal وآخرون عام 2012 تقييم أداء الأراضي الرطبة وفق نظام السطح المائي الحر (FWS) من قرية Garib في الشرق الأوسط. تتكون من ثلاثة احواض تغطي مساحة اجمالية قدرها 284000 متر مربع الحوض الأول ابعاده (22.1*52.40) متر لتوفير وظائف الترسيب والتعويم، اما الحوض الثاني ابعاده (10*52.4) متر، وهو نظام الطحالب السطحية للمياه المفتوحة ولذلك تم زراعة macrophytes المغمورة لتوفير الاوكسيجين.

أما الحوض الثالث فأبعاده (22.1*52.4) L*W فقد صممت كمكر وفيت (Typha latifolia L.) لزيادة إزالة المعادن والمواد الصلبة العالقة ومسببات الأمراض عبر الترسيب والترشيح.

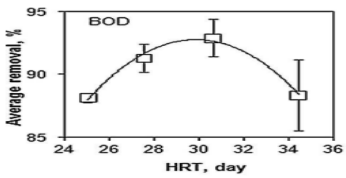
ملاحظة: الحوضين الأول والثالث عمقهما 0.75 متر ومزروعين من (Typha latifolia L.) وهذا التصميم ينتج عن اجمالي زمن مكث هيدروليكي 29.1 يوم، لمدة 12 شهر تحت التجربة.



الشكل (1) الأرض الرطبة ذات السطح الحر (FWS)

الجدول (3) نتائج تراكيز الملوثات قبل وبعد الأرض الرطبة.

Water quality parameters	Septic S. effluent e.g., FWS influent wetland influent	FWS effluent	FWS red effluent (%)
BOD (mg l^{-1})	292	30	89.7



الشكل (2) متوسط نسب الإزالة مقارنة بوقت الاحتفاظ الهيدروليكي.

افترض Kemal بأنّ زيادة مدة المكث عن 29.1 يوم يؤدي الى انخفاض نسبة كفاءة الإزالة. أتت نتائج أن كفاءة إزالة الطلب البيولوجي على الاوكسيجين (Gunes *et al.*, 2012)BOD(91.5%) .

الدراسة الثالثة: أجرى Midhun دراسة حول تقييم كفاءة معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي بنظام مبني من الأراضي الرطبة والتي كانت على مبدأ الإسالة الطبيعية بمدة مكث تراوحت بين 4, 8, 12, 16 يوم ولمدة 12 شهر. توصل Midhun الى أنّ لنوع النبات المستخدم دور كبير في زيادة فعالية الأراضي الرطبة، فإعتمد على نبات يسمى Common Reed وهو نوع من أنواع القصب المشترك Phragmites australis، إضافة الى ذلك توصل الى أن كلما زادت مدة المكث كلما زادت فعالية معالجة المياه فكانت افضل نسب الإزالة بمدة مكث 16 يوم حيث بلغت كفاءة إزالة الطلب البيولوجي على الأوكسيجين BOD(84.79%) كما هو موضح في الجدول(Midhun *et al.*, 2016).

الجدول (4) يبين قيم BOD قبل وبعد الأرض الرطبة

(Midhun *et al.*, 2016)

Retention time (days)	Wetland system 1			Wetland system 2			Control		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Treatment efficiency (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Treatment efficiency (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Treatment efficiency (%)
4	511.1	299.9	41.32	511.1	322.2	36.95	511.1	477.7	6.53
8	511.1	222.2	56.52	511.1	233.3	54.35	511.1	433.3	15.22
12	511.1	144.4	71.74	511.1	155.5	69.57	511.1	399.9	21.75
16	511.1	88.8	82.62	511.1	77.7	84.79	511.1	322.2	36.95

الدراسة الرابعة: قام Ghermandi عام 2007 بتقييم أداء 38 من الأراضي الرطبة المعالجة من الدرجة الثالثة في جميع أنحاء العالم باستخدام FWS CWs ووجد أنه متوسط الإزالة لهذه الأراضي الرطبة ما يقارب 50% من الطلب الأوكسجين البيولوجي (andi Gherm *et al*.، 2007).

الدراسة الخامسة: تم إجراء دراسة حالة في سريلانكا باستخدام ثلاثة أنواع من الأراضي الرطبة المبنية الثابتة (1 م × 25 م × 0.6 م) لمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلي. تم تغذية مياه الصرف الصحي المنزلي المعالجة الأولية عن طريق تدفق الجاذبية. كان متوسط كفاءة إزالة BOD 44%، 68%، 54% (al., 2006 *asa et*linad).

3-أهمية البحث وأهدافه:

إنَ نهر الليطاني من أهم المصادر المائية في لبنان القادرة على سد حاجات الاستخدام المنزلي والزراعي وتوليد الطاقة، ونظرا لتدني نوعية المياه في السنوات الأخيرة بسبب التلوث تكمن أهمية البحث في محاولة إيجاد الحلول المناسبة لمعالجة مشكلة تلوث المياه.

كما تبرز أهمية البحث في استخدام طرق طبيعية (الأراضي الرطبة) لمعالجة تلوث المياه بإجراءات بسيطة وبتكلفة مادية منخفضة إضافة الى سهولة التشغيل والصيانة مقارنة بالطرق المعالجة التقليدية.

يهدف هذا البحث إلى تقييم فعالية الاراض الرطبة لمعالجة تلوث مياه نهر الليطاني من خلال:

1. تقييم فعالية الأراضي الرطبة في إزالة الملوثات الناتجة عن مياه الصرف الصحي المنزلي من مجرى النهر من خلال دراسة الخصائص الفيزيائية والكيمائية والبيولوجية للمياه. ومقارنة نتائج البحث الحالي مع النتائج السابقة ان وجدت وكخيار مستدام للمعالجة (من النواحي الفنية والاقتصادية).
2. مقارنة جودة المياه الخارجة من المنطقة الرطبة مع المعايير اللبنانية (قرار 8/1 عام 2001).

4-الدراسة النظرية لمعالجة تلوث المياه بطريقة الأراضي الرطبة:

إنَ الأراضي الرطبة المخصصة لمعالجة المياه، تقوم بتسخير البكتيريا الطبيعية الموجودة فيها لإزالة الملوثات الفيزيائية والكيميائية، والجرثومية، من مياه الصرف الصحي المنزلي. إن هذا النظام يتم استخدام لأكثر من 60 عاماً وشهدت منذ ذلك الحين تقدماً على نطاق واسع، خصوصاً في العقدين الماضيين كخيار قابل للتطبيق للتحكم في تلوث المياه من دون استخدام للطاقة التقليدية، كما وهناك إمكانية لتقليص إلى حدٍ كبير عمليات الصيانة التي تتطلب نسبة من التكنولوجيات التقليدية.

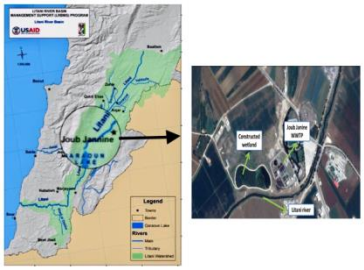
وفي إطار تقييم كفاءة الأراضي الرطبة لمعالجة تلوث المياه في نهر الليطاني يحاول هذا البحث معالجة الإشكالية من خلال استعراض الموارد المائية في لبنان وتبيان أهمية الأراضي الرطبة من خلال إجراء الاختبارات اللازمة التي تمكن من الوصول الى النتائج التي تبين كفاءة الأراضي الرطبة.

5- طرائق البحث ومواده Materials and methods

موقع الأراضي الرطبة المبنية Location of wetlands

تم اختيار قطعة أرض تابعة لمركز الإرشاد الزراعي التابع لمصلحة مياه نهر الليطاني بالقرب من جسر جب جنين في قرية خربة قنافار لتطوير نظام الأراضي الرطبة المعالجة (LRMBS, 2012).

إن الأراضي الرطبة المبنية هي ذات سطح مائي حر (FWS) تعمل بشكل طبيعي وقد تم تشييدها عام 2013. تقع على ضفاف نهر الليطاني عند منبع بحيرة القرعون مباشرة، وقد تم تصميمها لتوفير جودة مياه محسنة في اتجاه مجرى النهر الى البحيرة وقناة الري(LRBMS, 2012).



الشكل (3) موقع الأرض الرطبة في جب جنين.

الهدف من الأرض الرطبة THE GOAL OF WETLANDS

قام برنامج دعم ادارة نهر الليطاني بإنشاء منطقة رطبة بمحاذاة نهر الليطاني لتستخدم لعدة اهداف، بما في ذلك:

- معالجة مياه النهر الملوثة بمياه الصرف الصحي المنزلي.

- استعادة الأراضي الرطبة والموائل النهرية.
- تعزيز الوعي البيئي والتعليم الخاص بالموارد المائية.
- عرض طرق طبيعية ومبتكرة لمعالجة المياه
- كلفة البناء المنخفضة، سهولة الانشاء والتشغيل والصيانة(LRBMS, 2012).

وصف نظام المنطقة الرطبة The Description of Wetlands System

شيدت على مساحة تقارب الثلاث هكتارات وتتكون من ثلاث أحواض عميقة ومنطقتين للأحواض الضحلة.

يتكون نظام الأراضي الرطبة المُنشأة من ثلاثة عناصر رئيسية: (Amacha *et al*., 2017)

الأرض الرطبة المُنشأة الرئيسية نفسها، محطة ضخ لتوفير التدفق إلى الأراضي الرطبة من نهر الليطاني، وقناة الصرف (التفريغ) لنقل مياه الصرف الصحي المنزلية المعالجة إلى نهر الليطاني.

منشأة الأرض الرطبة:

- يتكون نظام الأراضي الرطبة المبني من تسلسل متناوب من مناطق عميقة (2 م) وضحلة (30–50 سم). تعمل المناطق العميقة على تعزيز الاختلاط والتدفق المنتظم، بينما تعزز المناطق الضحلة نمو نباتات الأراضي الرطبة الناشئة التي توفر بيئة متنوعة بيولوجياً وكيميائياً.
- تم تضمين نسبة (70/30) % تقريباً من المناطق الضحلة إلى المناطق العميقة في التصميم مما يزيد من فعالية كل منطقة كجزء من النظام العام.
- يبلغ متوسط الطول المنطقة الرطبة حوالي 240 متر ومتوسط العرض حوالي 125 متر والمحيط 730 متر ومتوسط العمق حوالي 1.5 متر.
- تبلغ مساحة الحوض العميق الأول 1895 م2 والحوض العميق الثاني حوالي 1380 م2 والحوض العميق الثالث حوالي 1549 م2.
- تم زراعة الاحواض الضحلة Phragmites australis وهي من أنواع النباتات التي تتكيف مع البيئة المحيطة وكفاءة في معالجة مياه النهر.
- الأرض الرطبة بأكملها محاطة بساتر يبلغ ارتفاعه حوالي 2 متر لاحتواء المياه وتوفير الوصول إلى المحيط عبر طريق في الأعلى.
- تدخل مياه النهر الى الحوض الأول لتبلغ منسوب 857.50 م وعندها تدخل المياه بالإسالة الطبيعية الى المنطقة الضحلة (المزروع بنباتات الأرض الرطبة) ومن ثم تتابع المياه جريانها الى الحوض الثاني وعندما يصل منسوب المياه الى 858.50 م تدخل الى المنطقة الثانية لتتابع جريانها الى الحوض الثالث بمنسوب 558.50.
- إنَ مجرى المياه من الحوض الأول الى الثالث ومرورها في المنطقة الأولى والثانية وصولاً الى قناة التصريف يكفل الحصول على المياه المعالجة المطلوبة.

محطة الضخ:

تم وضع مضختين لنقل المياه من نهر الليطاني الى المنطقة الرطبة، من اجل سلامة التشغيل يجب أنَ نأخذ بعين الاعتبار التدفق المقترح 60/30 ليتر في الثانية (30 ليتر/ ثانية في الصيف و60 ليتر/ثانية في الشتاء).

قناة التفريغ:

- تقع منشأة التصريف في الحوض العميق الثالث في غرفة اسمنتية بالقرب من الساتر الترابي. حيث يسمح الانبوب الواقع بجنب المنشأة بتصريف المياه.
- تعمل قناة التصريف على نقل التدفق الخارج من أرض الرطبة المعالجة إلى نهر الليطاني.
- جزء كبير من قناة التفريغ عبارة عن قناة ترابية شبه منحرفة تم بناؤها على شكل حرف V.

الشكل (4) مخطط التكنولوجي للأرض الرطبة (LRBMS, 2012).

آلية عمل المنطقة الرطبة ومعالجة المياه THE CRITERIA OF WETLANDS

إنَ عـدد مراحـل وأقسـام المنطقـة الرطبـة هـي خمسـة بالإضافة للمفيض وإن المدة التي تستغرقها المياه الملوثة للبقاء في المنطقة الرطبة لتحللها وتنقيتها هي ستة أيام للتمكن من إخراجها عبر الـ outlet.

ترفـع ميـاه نهـر الليطـاني نحـو المنطقـة الرطبـة عبـر مضـختين قدرتهما (الأولى 60 l/s والثانية 30 l/s) بعد تعبئة الحـوض الأول تبـدأ أولـى مراحـل تكريـر الميـاه عبـر ترسـيب المـواد العضـوية فيـه فتفقد الميـاه نسـبة مـن المـواد العضـوية ويعنـي انخفـاض نسـبة التلـوث، وكـذلك كـون حـوض الترسـيب الأول هـو حـوض مفتـوح تتفكـك فيـه المـواد العضـوية، وعنـد التقـاء الحـوض الأول بـالحوض الثـاني تولـد البكتيريـا الحميـدة المولجة بتكرير المياه وهذه البكتيريا تسمى الدافنيا (Daphnia) فـي المرحلـة الثانيـة فـي الحـوض الضـحل الأول والمـزروع بنباتات الـ phragmitesو الـ Nymphaea alba، تقوم جذور هذه النباتات بامتصاص ملوثات المياه وتزود هذه النباتات مياه المنطقـة الرطبـة بمـادة الاوكسـجين وبالتـالي تفقد كـذلك الميـاه الملوثـة نسـبة أخـرى مـن التلـوث فباتحـاد عمـل دافنيـا (البكتيريـا المولجـة بعمليـة تكريـر الميـاه) وتهويـة الميـاه وتفكـك المـواد العضـوية تفقـد الميـاه كميـة أخـرى مـن نسـبة التلـوث، وهكـذا بانتقال المياه الملوثة عبر المراحل المتبقية خـلال ال 6 أيام (عـدد الأيـام التـي تبقـى الميـاه الملوثـة فـي المنطقـة الرطبـة) للوصول الى المرحلة الأخيرة تكون المنطقة الرطبة افقدت تلك المياه نسبة كبيرة من ملوثاتها، بذلك تخرج المياه من المنطقة الرطبة بنسبة من الملوثات المنخفضة.

إنَ المنطقـة الرطبـة هـي وسـط حيـوي جـداً هـام لـبعض الكائنـات الحيـة كالحيوانـات (الحيـاة البريـة المتنوعـة) والنباتـات حيـث اسـتقطبت الطيـور المائيـة علـى مـدار السـنة (الطيـور المحليـة المتنوعـة) او الشـتوية خاصـة المهاجرة منهـا، لا يمكـن رؤيتهـا فـي الأمـاكن بـل فـي البـرك الاصـطناعية والمسـتنقعات الطبيعيـة، وقـدرتها علـى تنقيـة الميـاه مـن خـلال احتجـاز الملوثات داخـل التربـة خاصـة عند جذور النباتـات او الغطـاء النبـاتي (نباتـات الـ phragmites وال Nymphaea) وبـذلك تكون من المسـاهمات المهمـة فـي حفظ وحمايـة وإعادة تأهيـل للنظام البيئي.

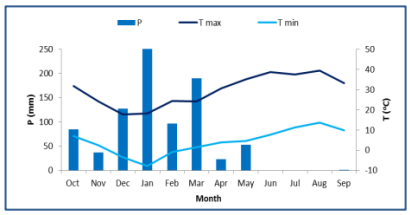
الشكل (5) الأرض الرطبة في منطقة جب جنين.

الخصائص المناخية للموقع climatic characteristics

منـاخ المنطقـة متوسـطي، ويتميـز بموسـم حـار وجـاف. تـم جمع مؤشرات الطقس الرئيسية من محطة أرصاد جوية زراعية قياسية تقع في المحطة التجريبية لمركز الإرشاد الزراعي التابع للمصـلحة الوطنيـة لحـوض نهـر الليطـاني فـي خربـة قنافـار والقريـب مـن موقـع الأراضـي الرطبـة يوضـح الشـكل نظـام الطقس، من حيث هطول الأمطار (P) ودرجة الحرارة القصوى (Tmax) ودرجة الحرارة الدنيا (Tmin).

يُظهـر تقيـيم بيانـات درجـة الحـرارة أنَ الظـروف المناخيـة للمنطقة مناسبة لتنمية وبقاء النباتات المزروعة في الأراضـي الرطبة المبنية خلال 7 إلى 8 أشهر على الأقل من السنة.

المنـاخ الـدافئ النمـوذجي لمنـاطق البحـر الأبـيض المتوسـط ، على مدار السنة مناسب لاستخدام الأراضي الرطبة كمعالجة لمياه الصـرف الصـحي المنزلـي، حيـث أنـه يسـاعد علـى نمـو النبـات والنشاط الميكروبيولوجي، مما لـه تأثير إيجابي على كفاءة المعالجة (Barbagallo *et al*., 2012).



مخطط البياني (2) الخصائص المناخية للموقع.

تقييم كفاءة إزالة الطلب البيولوجي على الاوكسيجين BOD:

قد فسر أداء النظام ككل على أساس معدلات الإزالة المحسوبة. وقد قيمت النسبة المئوية للتركيز على الكفاءة وفقا للمعادلة الموصي بها من قبل (R. Kadlec *et al.*, 2000). من ثم حسبت لمؤشر BOD بالصيغة الواردة: كما تم عرضها أيضاً في دراسة (Chang et al., 2007) وغيرها.

$$RR\ (\%) = (C_i - C_e)/C_i * 100$$

حيث، Ci و Ceهي تركيزات(mg/l) قبل وبعد الأرض الرطبة.

مقارنة مع المعايير اللبنانية:

لايوجد دلائل أو إرشادات لتصميم وأداء الأراضي الرطبة في لبنان، لذلك كانت المقارنة ممكنة فقط مع المعايير اللبنانية لمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلي وإطلاقها لري الأراضي الزراعية. تستند هذه المعايير على قرارين صادرين عن وزارة البيئة اللبنانية:

- القرار 1/52 بتاريخ 29/7/1996 والذي ينص على تدابير التخفيف من تلوث المياه والتربة والهواء والضوضاء.
- القرار 1/8 بتاريخ 30/1/2001 والذي يشمل محطات معالجة مياه الصرف الصحي

في هذه الدراسة سيتم الإعتماد في مقارنة النتائج مع القرار 1/8.

إضافة الى ذلك سيتم مقارنة أداء الأراضي الرطبة أيضاً بالإرشادات الخاصة بإعادة إستخدام مياه الصرف الصحي المنزلي في الري الزراعي على النحو الذي إفترضته منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (FAO, UTF, LEB,2001).

وعليه تقوم هذه الدراسة على مقارنة 96 عينة من المياه المأخوذة خلال أربعة أشهر تموز وآب (أشهر جافة)، تشرين الأول وتشرين الثاني (أشهر رطبة)، وذلك قبل وبعد الأرض الرطبة. كما تمت مقارنة نتائج العينات وفق متغير مدة المكث (3-6 أيام) ومتغير غزارة الضخ (30-60-90 ليتر في الثانية).

6- النتائج ومناقشتها Results of study

1. نتائج القيم المتوسطة قبلInfluent الأرض الرطبة (نهر الليطاني):

يبين الجدول رقم (5) القيم المتوسطة والانحراف المعياري (AVERAGE ±STDEV) قبل المنطقة الرطبة للطلب البيولوجي على الأوكسيجين (56.75±14.86) BOD.

الجدول (5) النتائج قبل الأرض الرطبة.

	Influent (litani water)				Environmental limit values for surface water based on Moe Decision 8/1 (Moe,2001)	Effluent specificatios for wastewater irrigation based on propsed Lebanese guidelines (FAO 2011)		
Physico-chemical parameters (mg/l)	Min	Max	Mean	STDEV		Water Category I	Water Category II	Water Category III
BOD	31.5	355	56.8	14.9	25	25	100	100

نتائج القيم المتوسطة بعد Effluent الأرض الرطبة:

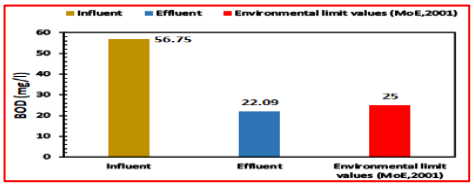
يبين الجدول رقم (6) القيم المتوسطة والانحراف المعياري (AVERAGE ±STDEV)بعد المنطقة الرطبة للطلب البيولوجي على الأوكسيجين (22.09±11.53) BOD.

الجدول (6) النتائج بعد الأرض الرطبة.

	Effluent (litani water)				Environmental limit values for surface water based	Effluent specificatios for wastewater irrigation based on propsed Lebanese guidelines (FAO 2011)		
Physico-chemical parameters (mg/l)	Min	Max	Mean	STDEV		Water Category I	Water Category II	Water Category III
BOD	7.55	34	22.1	11.5	25	25	100	100

3. مقارنة النتائج مع القيم الحدية البيئية

- بالمقارنة مع القيم الحدية البيئية المحددة في القرار 1/8 تبين أن القيمة المتوسطة للطلب البيولوجي على الاوكسيجين قبل الأرض الرطبة (BOD=56.75>25 mg/l) اعلى من القيم الحدية البيئية.
- بالمقارنة مع القيم الحدية البيئية المحددة في القرار 1/8 تبين أن القيمة المتوسطة للطلب البيولوجي على الاوكسيجين بعد الأرض الرطبة (BOD=22.1<25 mg/l) أقل من القيم الحدية البيئية.



مخطط البياني (3) قيمة BOD قبل وبعد المنطقة الرطبة مقارنة مع المعايير اللبنانية.

4. كفاءة إزالة القيم المتوسطة لـ BOD قبل وبعد الأرض الرطبة:

بحسب الجدول رقم (7) كان متوسط كفاءة نسبة فعالية الأراضي الرطبة وفق نظام السطح المائي الحر FWS للطلب البيولوجي على الأوكسيجين (61.07%) BOD.

الجدول (7) نسبة كفاءة المتوسطة لـ BOD.

Physico-chemical parameters (mg/l)	Removal efficiency (%)		
	RR-min	RR-max	RR-mean
BOD	76.03%	90.42%	61.07%

5. نتائج الدراسة حسب مدة المكث وغزارة الضخ

خلال فترة الدراسة تم اخذ 96 عينة، قسمت هذه العينات حسب مدة المكث (3 أيام، 6 أيام) وحسب غزارة ضخ المياه (30,60,90 l/s). من بعدها تم مقارنة قيم الطلب البيولوجي على الاوكسيجين قبل وبعد الأرض الرطبة. ومن ثم عرض أفضل نسب الازالة.

الجدول (8) نسب الازالة لمؤشر الطلب البيولوجي على الاوكسيجين حسب مدة مكث ستة أيام.

زمن المكث	6أيام									أفضل نسبة إزالة (%)
غزارة الضخ (l/s)	30			60			90			
مؤشر BOD (mg/l)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	
تموز	47.5	6.1	87.16	61.5	12.1	80.33	65.5	17.5	72.82	87.16
آب	84	20.5	75.6	76.5	20	73.86	76	25	67.32	75.6
تشرين الأول	42.5	7.55	82.24	31.5	7.75	75.4	34	11.5	66.18	82.24
تشرين الثاني	53	19.5	63.21	36	17.5	51.39	51.5	28	45.63	63.21

الجدول (9) نسب الازالة لمؤشر الطلب البيولوجي على الاوكسيجين حسب مدة مكث ثلاثة أيام.

زمن المكث (day)	3أيام									أفضل نسبة إزالة (%)
غزارة الضخ (l/s)	30			60			90			
مؤشر BOD (mg/l)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	
تموز	215	71	66.98	98.5	31	65.36	105	40	61.9	66.98
آب	57.5	19	66.96	63	27.5	56.35	71	34	52.11	66.96
تشرين الأول	39	18.5	52.56	49	24.5	50	60	33	45	52.56
تشرين الثاني	76.5	24	68.63	56	21.5	61.61	76.5	31.5	58.82	68.63

مناقشة النتائج:

بعد مقارنة الجداول أعلاه تبين أنَ نسبة الإزالة بغزارة الضخ 30 l/s أعلى معدلاتها مقارنة مع الغزارات الأخرى، كما كانت نسبة هذه الإزالة بمدة مكث 6 أيام أكبر من مدة مكث 3 أيام. من هنا فإن مدة مكث 6 أيام بغزارة 30 l/s هي الأفضل من حيث كفاءة المعالجة.

تظهر النتائج أنَ فعالية الأرض الرطبة تزداد في اشهر الجافة مقارنة مع الأشهر الرطبة.

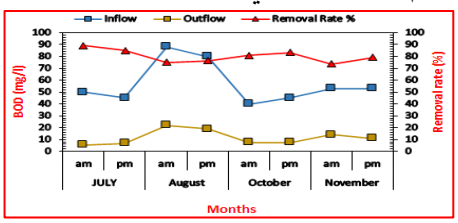
الجدول (10) نسبة الازالة في الأشهر الرطبة.

طقس رطب					
تشرين الأول			تشرين الثاني		
قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)	قبل	بعد	نسبة الإزالة (%)
42.5	7.55	82.24	53	19.5	63.21

الجدول (11) نسبة الازالة في الأشهر الجافة.

طقس جاف					
آب			تموز		
نسبة الإزالة (%)	بعد	قبل	نسبة الإزالة (%)	بعد	قبل
75.6	20.5	84	**87.16**	6.1	47.5

في مقارنة نسبة الازالة في مدة مكث 6 أيام وغزارة ضخ 30 ليتر في الثانية والتي بلغت 87.16% كانت أفضل من نسبة إزالة القيم المتوسطة والتي بلغت 61.09%.



مخطط البياني (4) كفاءة إزالة BOD بالأراضي الرطبة.

مقارنة ومناقشة النتائج مع الدراسات المرجعية

إنَ غالبية الدراسات تناولت فعالية الأراضي الرطبة على مدار السنة عدا الجهة LRBMS حيث درست فعالية هذه الأرض في منطقة جب جنين خلال الأشهر الرطبة والجافة، وتوصلت هذه الدراسة إلى أنَ نسبة الإزالة تزيد في الأشهر الجافة وهذه النتيجة هي نفسها التي توصل اليها هذا البحث. يكمن الفرق بين هذا البحث ودراسة LRBMS في أنَ الأخيرة درست الأشهر الرطبة بغزارة ضخ 60 l/s و30 l/s في الأشهر الجافة، في حين أنَ هذا البحث درس فعالية هذه الأراضي في الأشهر الجافة والرطبة على حد سواء بغزارة ضخ متغيرة (30, 60,90 l/s).

ركزت غالبية الدراسات على مدة مكوث المياه في الأرض الرطبة، إلا أن هذه المدة كانت تختلف من دراسة الى أخرى. كانت المدة ثابتة في دراسة الجهة الممولة للمشروع الأرض الرطبة في جب جنين بمدة 5 أيام، توصل Midhun الى أنَ كلما زادت مدة المكث كلما زادت نسب الإزالة على عكس Kemal الذي وجد أنه في حال زادت هذه المدة عن 29 يوم فإن نسبة الازالة تنخفض. في هذا الاطار اتفق هذا البحث مع نتائج التي توصل اليها Midhun حيث زادت نسب الإزالة مع زيادة مدة المكث من ثلاثة الى ستة أيام.

نتفق مع الباحث Midhun في دراسته حول تقييم كفاءة الأراضي الرطبة فيما يخص معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي، حيث خلصت الدراسة ان زمن المكث يزيد من كفاءة معالجة المياه باستخدام تقنية الأراضي الرطبة.

فيما يخص غزارة ضخ المياه، إن أغلب هذه الدراسات قامت على مبدأ الإسالة الطبيعية ضمن الأرض الرطبة. أما الدراسات التي أخذت بهذا المتغير فهي دراسة الجهة الممولة لمشروع نهر الليطاني والتي كات 30 l/s في الأشهر الجافة و 60 l/s في الأشهر الرطبة. أما هذا المتغير فقد كانت ثابت في الدراسة التي قام بها Kemal Gunes والذي كان 462 m^3/day.

في هذا البحث كان لمتغير غزارة ضخ المياه دور مهم في قياس فعالية الأرض الرطبة في منطقة جب جنين وتوصل الباحث الى أن افضل غزارة ضخ هي 30 l/s في منطقة الدراسة.

أما فيما يخص نوع النبات المزروع بالأراضي الرطبة في الدراسات المرجعية هو نفسه المزروع في منطقة هذا البحث والذي يسمى Phragmites Australis. كل هذه الدراسات أثبتت كفاءة هذه النباتات في معالجة تلوث المياه.

نتفق مع الباحث Ghermandi أنه متوسط الإزالة لهذه الأراضي الرطبة ما يقارب 50% من الطلب الأوكسجين البيولوجي (Ghermandi *et al.*,2007)

نتفق مع الباحث Jindasa في تقييم أداء الأراضي الرطبة حيث كانت طريقة تدفق المياه بالجاذبية وكانت نسبة متوسط الكفاءة فيما يخص لـ BOD ما يقارب54% .

7- الاستنتاجات والتوصيات:

7-1- الاستنتاجات

1- أثبتت طريقة المعالجة كفاءتها مقارنة بالمعايير الحدية البيئية واستخدامها في الري الزراعي من حيث مؤشر الطلب البيولوجي على الاوكسيجين.

2- تفوقت مدة المكوث 6 أيام على مدة مكوث 3 أيام.

3- تفوقت غزارة الضخ 30 l/s على غزارتي الضخ 60-90 l/s.

4- إنَ نسب الإزالة في الأشهر الجافة حققت معدلات أعلى من نسب الإزالة في الأشهر الرطبة.

5- أثبت القصب المشترك والمسمى بـ Phragmites Australis كفاءة وفعالية عالية لمعالجة مياه النهر الملوثة بشكل أساسي بمياه الصرف الصحي المنزلي في منطقة الدراسة.

بعد اختبار العينات والوصول إلى النتائج المطلوبة ومن خلال مقارنة هذه النتائج مع المعايير الحدية لجودة المياه، تبين أن المياه موضع الدراسة أصبحت صالحة للري من حيث مؤشر الطلب البيولوجي على الاوكسيجين. وعليه فإن تطبيق هذه التقنية يعود بالفائدة من حيث كفاءتها في معالجة تلوث المياه الناتجة بشكل أساسي عن مياه الصرف الصحي المنزلي.

7-2- التوصيات

بعد عرض فوائد الأراضي الرطبة ونظراً للأهمية البالغة التي تحظى بها يقدم الباحث التوصيات التالية:

1- زيادة الأراضي الرطبة الاصطناعية المبنية على المعايير التي تكفل تحقيق الإزالة المطلوبة.

2- الحفاظ على الأراضي الرطبة الطبيعية واتباع نهج متكامل، والحلول الدائمة الذي يتضمن التعاون والحلول القائمة على الطبيعة والتنمية المستدامة والإدارة المتكاملة لموارد المياه.

3- زيادة الوعي بخصائصها وأهميتها. فالمعرفة والوعي يخلقان استجابة أكبر لإيجاد نهج للإدارة.

7-2- التوصيات لأبحاث مستقبلية:

1- إجراء دراسات للمعادن الثقيلة ودراسات مكروبيولوجية على مياه النهر قبل وبعد المعالجة للوقوف على جدوى طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة في الحد من انتشار الميكروبات وفعاليتها في المعالجة الحيوية وانتزاع المعادن الثقيلة.

2- إجراء دراسات للمؤشرات الفيزيائية والكيميائية الأخرى لتحديد مدى كفاءة الأراضي الرطبة لمعالجة المياه الملوثة.

3- متابعة البحث باستخدام أنواع أخرى للأراضي الرطبة كالأراضي الرطبة المصطنعة ذات التدفق تحت السطحي الافقي.

4- متابعة البحث لاختبار كفاءة نباتات واوساط زراعة أخرى في الأراضي الرطبة.

References

1. Amacha, N., Karam, F., Jerdi, M., Frank, P., Viala, E., Hussein, D., Kheireddin, S., et al. (2017). Assessment of the efficiency of a pilot constructed wetland on the remediation of water quality; case study of Litani River, Lebanon. *Environ Pollut CLIM Change, 1*, 119 .
2. Barbagallo, S., Cirelli, G. L., Consoli, S., Licciardello, F., Marzo, A., & Toscano, A. (2012). Analysis of treated wastewater reuse potential for irrigation in Sicily. *Water Science and Technology, 65*(11), 2024-2033 .
3. Chang, J., Zhang, X ،.Perfler, R., Xu, Q.-S., Niu, X.-Y., & Ge, Y. (2007). Effect of hydraulic loading rate on the removal efficiency in a constructed wetland in subtropical China. *Fresenius Environmental Bulletin, 16*(9), 1082-1086 .

4. Garcia, J., Rousseau, D. P., Morato, J ،.Lesage, E., Matamoros, V., & Bayona, J. M. (2010). Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetlands: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *40*(7), 561-661 .
5. Ghermandi, A., Bixio, D., & Thoeye, C. (2007). The role of free water surface constructed wetlands as polishing step in municipal wastewater reclamation and reuse. *Science of the Total Environment*, *380*(1-3), 247-258 .
6. Gunes, K., Tuncsiper, B., Ayaz, S., & Drizo, A. (2012). The ability of free water surface constructed wetland system to treat high strength domestic wastewater: a case study for the Mediterranean. *Ecological Engineering*, *44*, 278-284 .
7. Jinadasa, K., Tanaka, N., Mowjood, M., & Werellagama, D. (2006). Free water surface constructed wetlands for domestic wastewater treatment: a tropical case study. *Chemistry and Ecology*, *22*(3), 181-191 .
8. Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., & Haberl, R. (2000). *Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation*: IWA publishing.
9. Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*: CRC press.
10. LRA. (2014). (Litani River Authority), Official website of the Litani River authority.www.litani.gov.lb .
11. LRA. (2019). (Litani River Authority), The Characteristics of the Litani River. http://www.litani.gov.lb/en/?page_id=63 [Citation Time(s):1] .
12. LRBMS. (2012). Litani River Constructed Treatment Wetland Design , Lebanon. Prepared by NewFields for IRG. June 2012.
13. LRMBS. (2012). Feasibility study for constructed wetlands in the Litani River Basin, Lebanon. Prepared by NewFields for IRG . .
14. Midhun, G., Divya, L., George, J., Jayakumar, P., & Suriyanarayanan, S. (2016). Wastewater treatment studies on free water surface constructed wetland system. In *Integrated Waste Management in India* (pp. 97-109): Springer.
15. Saadeh, M., Semerjian, L., & Amacha, N. (2012). Physicochemical evaluation of the upper litani river watershed, lebanon. *The Scientific World Journal*, *2012* .
16. Saeed, T., & Sun, G. (2012). A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of environmental management*, *112*, 429-448 .
17. Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. *Environmental science & technology*, *45*(1), 61-69 .
18. Wu, S., Kuschk, P., Brix, H., Vymazal, J., & Dong, R. (2014). Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. *Water research*, *57*, 40-55 .