الإزالة المتزامنة للنترات والفوسفور من مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً بواسطة بكتريا ذاتية التغذية و باستخدام الكلس والكبريت

م. نبراس أحمد حمدان
قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق – سورية
الأستاذ المساعد د. عبود عبود، الأستاذ المساعد د.غسان حداد

الملخص :

استخدام الكلس والكبريت يعتبر طريقة هامة ومجدية في إزالة النترات والفوسفور من مياه صرف صحي معالجة ثانوياً باعتبار أن النسبة C/N تكون منخفضة في هذا النوع من المياه وذلك خلال عمليات نزع النترجة ذاتية التغذية.

العوامل التي لعبت دوراً في تحديد الإزالة هي:

HRT – pH – التركيز البدائي للنترات– التركيز البدائي للفوسفات.

وقد تم الوصول لنسب إزالة عالية للنترات، فبالنسبة لتراكيز منخفضة من النترات mg/l (10–45) وصلت نسبة الإزالة إلى %(95–98)، أما التراكيز العالية من النترات mg/l (75–100) وصلت نسبة الإزالة إلى %(67.5–72.6) خلال 6 ساعات.

أما بالنسبة لإزالة الفوسفات وصلت نسبة الإزالة حتى %(50–60) حسب التركيز المدروس وخلال ست ساعات وهي نسبة مقبولة وجديرة بالاهتمام.

المعالجة تمت بطرق تشغيل بسيطة ومواد رخيصة والآلية الأساسية للتخلص من النترات بيولوجية باستخدام بكتريا نزع النترجة الكبريتية ، أما الفوسفور بالترسيب الكيمائي عن طريق تشكل مركب فوسفات الكالسيوم.

كلمات مفتاحية: النترات، الفوسفور، الحجر الكلسي الكبريتي، مياه صرف، بكتريا ذاتية التغذية

Simultaneous removal of nitrates and phosphorous from Secondary Treated Wastewater by Autotrophic Bacteria Using Sulfur and Limestone in

Eng. Hamdan N, Prof .Dr. Eng. Abboud A,
Prof.Dr.Eng.Haddad Gh
Environment Dep. Faculty of Civil Engineering. Damascus Un. Syria

Abstract:

The use of lime and sulfur is considered an important method to remove nitrates and phosphorous, from secondary treated wastewater which have low C/N by autotrophic bacteria and the following factors :HRT–pH–influent nitrates–influent phosphate are important factors in determining the percentage of removal.

In this study high nitrate removal rates have been achieved,

For low nitrates concentrations (10–45)mg/l the removal rates were (98–95)% and for high nitrates concentration (75–100)mg/l the removal rates were (72.6–67.5)%.

While for phosphate removal the removal rate has reached to (50–60)% within 6hr, according to the studied concentration, it is important removal efficiency

The treatment was done with a simple operation method using cheap materials and The main mechanism of removing nitrates was biological while the removing phosphate was chemical by formation of calcium phosphate precipitates.

Keywords: nitrates, phosphorous, Sulfur limestone , Wastewater, Autotrophic Bacteria.

الإزالة المتزامنة للنترات والفوسفور من مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً بواسطة بكتريا ذاتية التغذية و باستخدام الكلس والكبريت

1. المقدمة :

يمثل تلوث المصادر المائية بالمغذيات النباتية (نترات و فوسفور) مشكلة خطيرة لابد من معالجتها، ولعل من أهم أسباب هذا التلوث هو تزايد غزارات مياه الصرف الصحي غير المعالجة (أو المعالجة ثانوياً فقط)، والتي تصب في المصادر المائية المجاورة، وبالتالي وصول كميات كبيرة من المغذيات النباتية إلى تلك المصادر المائية، وهذا ما يؤدي في غالب الأحيان إلى حدوث ظاهرة اضطراد النمو البيولوجي (Eutrophication)، التي تؤدي بدورها إلى تفاقم مشكلة التلوث.

انطلاقاً مما ذكر أعلاه نلاحظ أهمية الوقوف بشكل جدي أمام مشكلة التلوث بالمغذيات ومعالجة التصريف الخارج من المحطة المسبب لهذا التلوث بالإضافة لضرورة تعزيز سياسة إعادة الاستخدام حفاظاً على البيئة، وخاصة أن العالم قادم على مشكلة تدهور مائي نتيجة سوء الاستعمال.

من المعروف أن القيمة (C/N) تكون منخفضة في مياه الصرف الصحي التي خضعت للمعالجة البيولوجية وأن تلك المياه تكون حاوية على مقادير صغيرة من الكربون العضوي القابل للتحلل، لذلك فإن فعالية المعالجة الثالثية ببكتريا عضوية التغذية كما هو متبع في الطرق التقليدية تكون منخفضة، وفي هذه الحالة يكون من الضروري إضافة مواد عضوية باعتبار مياه الصرف الخاضعة

للمعالجة الثانوية تكون فقيرة بالمادة العضوية، وهذه الكمية المضافة تسبب تلوث ثانوي لا مفر منه بالإضافة لغلاء سعر المواد المضافة [1]، ومن هنا جاءت أهمية التخلص من المغذيات باستخدام بكتريا ذاتية التغذية للأسباب التالية [2-3]:

أ- المعالجة باستخدام بكتريا ذاتية التغذية لاتحتاج لإضافة مادة الكربون العضوي مثل (ميتانول، إيتانول، خلات ...)، بل يؤخذ الكربون اللاعضوي من الكلس وهذا ينعكس إيجاباً على التكلفة ويقلل من مخاطر العمل.

ب- الانخفاض في إنتاج الخلايا عند استخدام البكتريا ذاتية التغذية وبالتالي انخفاض كمية الحمأة المنتجة.

ت- إن مادتي الكبريت (S) والكلس ($CaCO_3$) المقترح استخدامهما هي مواد رخيصة الثمن ومتوافرة بالبيئة السورية.

تتم عملية تخفيض تركيز النترات وفق المعادلة البيولوجية التالية [4]:

$$1.06NO_3 + 1.11S + 0.3CO_2 + 0.78H_2O \rightarrow 0.5N_2 + 1.11SO_4^{2-} + 1.16H^+ + 0.06C_5H_7O_2N \quad (1)$$

حيث يتحول النترات إلى غاز النتروجين وبذلك يتم تخفيض تركيز النترات بيولوجياً، ونلاحظ أن شاردة الهيدروجين تسهم في خفض قيمة pH وسط التفاعل.

أما عملية تخفيض تركيز الفوسفور وتعديل وسط التفاعل يكون باستخدام الكلس وفق المعادلات الكيماوية التالية[5]:

$$CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{+2} + HCO_3^- \quad (2)$$
$$H2O + PO4 \rightarrow HPO_4^{-2} + OH$$
$$Ca^{+2} + HPO_4^{-2} \rightarrow CaHPO_4\downarrow$$

من المعادلات أعلاه نجد أن الآلية الأساسية لإزالة الفوسفور من المياه تمثلت بالتشكل الكيمائي لمركب فوسفات الكالسيوم القابل للترسيب، إضافة إلى أنه يوفر الكربون غير عضوي اللازم لحياة ونشاط البكتريا ذاتية التغذية ويعدل وسط التفاعل.

2.هدف البحث:

دراسة أداء المفاعل الكبريتي الكلسي باستخدام بكتريا ذاتية التغذية في الإزالة لكل من النترات والفوسفات

للوصول للحدود الآمنة لرميها في المسطحات المائية والمنصوح بها عالمياً[6] وهي:

$10mg/l = NO_3^{-1}$ــ N

$5mg/l = PO_4^{-3}$ــ P

و تحديد العوامل المؤثرة على الإزالة رسم المنحنيات الملائمة لمعرفة جدوى استخدام مثل هذة الطرق ذات المواد الرخيصة والصديقة للبيئة وللوصول لقواعد سليمة بالتشغيل البسيط الآمن وغير المكلف.

3. منهجية العمل التجريبي:

هناك علاقة وثيقة بين إزالة النترات وإزالة الفوسفات ولدراسة أثر هذه العلاقة في تخفيض كل من النترات والفوسفات ولمعرفة سلوك الإزالة لهذا النوع من المفاعلات في كل تراكيز التلوث وبالتالي الوصول لتحديد عوامل الإزالة والتي هي هدف البحث تم تغطيتها بالدراسة وفق ثلاث محاور:

- المحور الأول عينة تحوي تركيز ثابت للنترات 45 mg/l وتركيز ثابت للفوسفات15 mg/l

- المحور الثاني أربع عينات تحوي كل منها تراكيز مختلفة للنترات (10-45-75-100)mg/l) مع تركيز ثابت للفوسفات15 mg/l
- المحور الثالث أربع عينات تحوي كل منها تراكيز مختلفة للفوسفات(5-7-10-15)mg/l مع تركيز ثابت للنترات45mg/l

وبهذا تكون العوامل المستهدفة من هذه المحاور هي: (تركيز النترات، تركيز الفوسفات، زمن المعالجة) مع ملاحظة أننا لدراسة تغير معامل على المعالجة، يجب تثبيت باقي المعاملات فبالنسبة:

للمحور الأول هدفه معرفة أثر زمن المعالجة على كفاءة الإزالة، لذلك كانت العينة فيها تركيز النترات ثابت وتركيز الفوسفات ثابت بينما المتغير هنا هو زمن المعالجة. لذلك تم اعتماد تركيزين ثابتين للنترات والفوسفات وتم مراقبة تغير زمن المعالجة مبدئياً خلال 12 ساعة كانت قابلة للتمديد في حال لزمت مراقبة أكثر. وتمت اختيار القيم الثابتة للعينة لأنها تجاوزت الحدود المسموحة لإزالة النترات 10 mg/l، وتركيز الفوسفات 5mg/l وبالتالي وجب المعالجة.

أما المحور الثاني فهدفه معرفة تأثير تغير تركيز النترات على الإزالة لذلك تغيرت تراكيز النترات (وهو المتغير) بينما كان تركيز الفوسفات ثابت والزمن ثابت،

تراكيز النترات هي (10-45-75-100)mg/l بينما تركيز الفوسفات 15 mg/l بحيث شملت تراكيز النترات التراكيز المنخفضة إلى العالية باعتبار الحد المسموح 10mg/l، وجميع العينات السابقة وجب معالجتها محاولين الوصول للحدود المسموحة، أما الزمن تم اختياره 6ساعات هو الزمن المنصوح به لتراكيز نترات أقل من 100 mg/lبحسب البحث [7] ولا توجد دراسات مستفيضة عن إزالة هذا النوع من المفاعلات للفوسفات.

أما المحور الثالث فهدفه معرفة تأثير تغير تركيز الفوسفات على الإزالة لذلك تغيرت تراكيز الفوسفات (وهو المتغير) بينما كان تركيز النترات ثابت والزمن ثابت،

تراكيز الفوسفات هي mg/l(5-7-10-15) بينما تركيز النترات 45mg/l

بحيث غطت هذه التراكيز للفوسفات التراكيز المنخفضة إلى العالية باعتبار الحد المسموح للفوسفات 5mg/l والزمن تم اختياره 6ساعات هو الزمن المنصوح به لتركيز نترات أقل من 100 mg/lحسب[7]

وقد أجريت هذه الدراسة باستخدام المفاعل اللاهوائي الموضح بالشكل (1) وهو أسطوانة زجاجية قطرها الداخلي 15cm وارتفاعها الكلي 70cm، ومحاطة بحمام مائي يتم تسخينه بدرجة الحرارة المطلوبة عبر سخان كهربائي موصول بجملة المفاعل ويقع خلفه ، يزود الماء المحاط بكامل الأسطوانة الزجاجية(المفاعل) من الخارج، بالدرجة المطلوبة ليؤمن توزع متجانس للحرارة لكامل نقاط المفاعل وتم ضبط درجة الحرارة من لوحة التحكم على الدرجة°25C وهي الحرارة المنصوح بها لهذا النوع من البكتريا [7]، تم ملء المفاعل بطبقة دعم من البحص، أقطارها تتراوح بين mm(8-10) وبارتفاع 5cm لتأمين توزيع منتظم للمياه الداخلة للمفاعل، ويعلو هذه الطبقة مزيج متجانس من الكبريت والكلس بنسبة حجمية (1:1) بأقطار تتراوح مابينmm(3-5) وبارتفاع حواليcm45 ، هذا وقد تم الحصول على الحجر الكلسي والكبريت من تجمعات خام الكبريت ومقالع الكلس في تدمر وكان الجريان للماء من الأسفل إلى الأعلى تم ضخها من خزان التغذية وذلك لتأمين عدم انسداد المفاعل بالغشاء البيولوجي وبسرعة جريان لا تسبب تعليق لحبيبات المفاعل.

أما الغشاء البيولوجي فقد تم تأمينه من حمأة ثانوية حوالي 1.5 L تم استقدامها من محطة معالجة الصرف الصحي، وحتى يصل الغشاء البيولوجي لمرحلة التأقلم اتبعت طريقة الاستنبات التالية وحسب الدراسة [5]:

حيث استخدمت مياه تركيبية عبارة عن مياه حنفية مضاف لها بعض المركبات الكيماوية ليصبح تركيبها يماثل تركيب مياه صرف صحي معالجة ثانوياً أما المركبات المضافة فهي:

KH_2PO_4 فوسفات أحادي الكالسيوم

KNO_3 نترات البوتاسيوم

$NaHCO_3$ بيكربونات الصوديوم

NH_4CL كلوريد الأمونيوم

$MgCL_2.6H_2O$ كلوريد المغنزيوم المائية

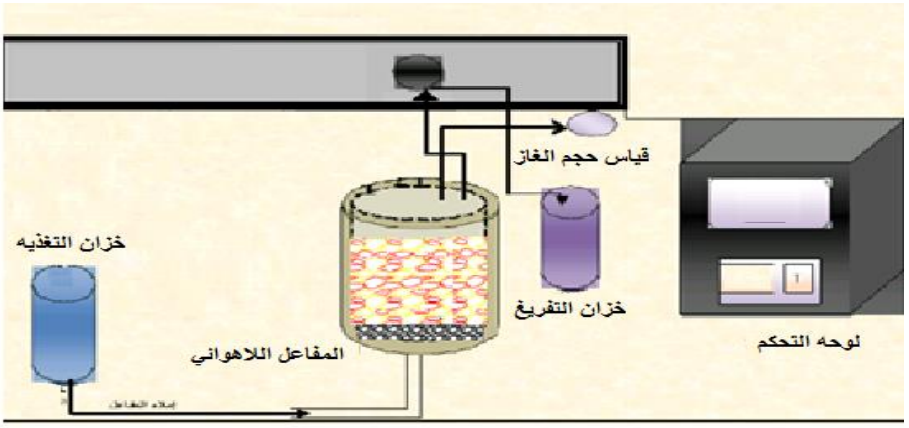
تمت الإضافة بالتراكيز التالية والموضحة بالجدول رقم (1)

الجدول رقم 1 : يوضح تركيب المياه المستخدمة في الدراسة

اسم المركب	KH_2PO_4	KNO_3	$NAHCO_3$	NH_4CL	$MgCL_2.6H_2O$
التركيز mg/l	4.4	86	100	3.92	0.03

ويضاف للعينة $Na_2S_2O_3.5H_2O$ سولفات الصوديوم بتركيز 500mg/l والغاية من إضافة سولفات الصوديوم ليكون مصدر أولي للكبريت (S) للبكتريا الكبريتية ذاتية التغذية حيث أن البكتريا في مرحلة ماقبل التأقلم من الأسهل لديها أن تأخذ الكبريت من سولفات الصوديوم أكثر من أن تأخذه من الحجر الكبريتي وقد تم

الإقلاع بدورة مغلقة بزمن مكث 6 ساعات ودرجة حرارة 25C° وتم أخذ عينات عدة للمياه المصرفة على مدار العمل، وأجري تحليل للنترات الخارجة وعند كفاءة إزالة مستقرة لثلاث قراءات متتالية ناجحة، وصلت البكتريا لمرحلة التأقلم . واستغرق هذا حوالي الشهر، بعدها تم استبعاد مياه الإقلاع، وتم تحضير المياه التركيبية من مياه الحنفية وفق التركيب السابق بدون سولفات الصوديوم $Na_2S_2O_3.5H_2O$ لأن البكتريا الآن أصبحت قادرة على أخذ الكبريت من الحجر الكبريتي. وتم التحكم بتراكيز KNO_3 بحسب تركيز النترات المراد دراسته و وتم التحكم بتراكيز KH_2PO_4 بحسب تركيز الفوسفات المراد دراسته وضبطت قيمةpH للمياه الداخلة لجميع العينات على 7.1 لأنه بحسب الدراسة [8] وجد أن انحلال الكلس يتناسب عكساً مع قيم للـ pH وذلك لقيم أقل من 7.1 أي يزداد الانحلال الكلس مع انخفاض قيم pH.



الشكل رقم 1 : مفاعل الحجر الكلسي الكبريتي

خزان التغذية: يحوي العينات الغير معالجة ويتم ضخ المياه لجملة المفاعل عبر مضخة يتم التحكم بها عبر لوحة التحكم

المفاعل اللاهوائي: أسطوانة زجاجية بقطر 15cm وارتفاع 70cm وتحوي الميديا موضوع الدراسة

خزان التفريغ: يحوي العينات بعد المعالجة ويتم تفريغ المياه من جملة المفاعل عبر مضخة تفريغ يتم التحكم بها عبر لوحة التحكم

جهاز قياس حجم الغاز: أسطوانة زجاجية مدرجة تحوي على الماء المقطر وعندما ينطلق الغاز يزيح حجم من الماء بمقدار حجمه. والدراسة الراهنة لم تدخل بتفصيلات حجم الغاز.

لوحة التحكم: لوحة الكترونية عن طريقها تم ضبط درجة الحرارة بالدرجة المطلوبة من السخان الكهربائي وكذلك زمن المكث وكذلك التحكم بمضخات السحب والتفريغ على حوضي التغذية و التفريغ.

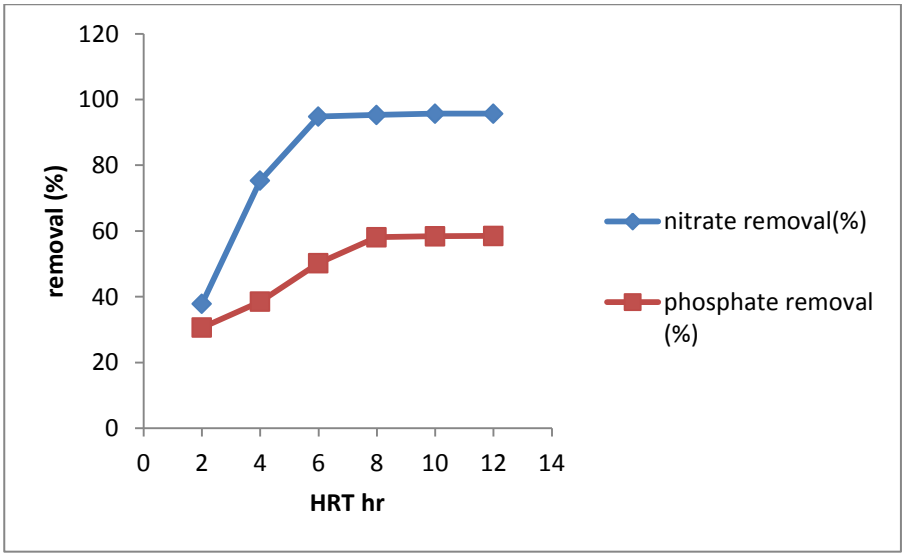
4. النتائج والمناقشة:

4.1المرحلة الأولى: عينة فيها تركيز النترات ثابت (NO_3^{-1}–N)= 45mg/l وتركيز الفوسفات ثابت (PO_4^{-3}–P)=15mg/l

تمت دراسة تغيرات كفاءة الإزالة مبدئياً خلال 12 ساعة حيث تم أخذ القياسات لانخفاض النترات والفوسفات كل ساعتين حتى 12 ساعة ثم حساب الكفاءة في كل قياس فكان الجدول(2) و الشكل (2) معبراً عن تغيرات في كفاءة الإزالة لكل من النترات والفوسفات:

الجدول رقم 2 : يظهر كفاءة الإزالة للنترات والفوسفات لعينة تركيز النترات فيها 45mg/l تركيز الفوسفات 15mg/l مع الزمن

12	10	8	6	4	2	HRT(hr)
1.9	1.9	2.1	2.3	11.12	28	NO_3^{-1}– N خارج mg/l
7.44	7.49	7.56	7.59	9.23	10.4	Po_4^{-3}–p خارج mg/l
95.7	95.7	95.3	94.8	75.3	37.8	النسبة المئوية للإزالة% للنترات
58.5	58.4	58.1	50.2	38.5	30.6	النسبة المئوية لإزالة% الفوسفات
8.8	8.6	8.4	7.2	7.4	7.6	PH



الشكل رقم 2 : يظهر كفاءة الإزالة للنترات والفوسفات لعينة تركيز النترات فيها 45mg/l تركيز الفوسفات 15mg/l مع الزمن

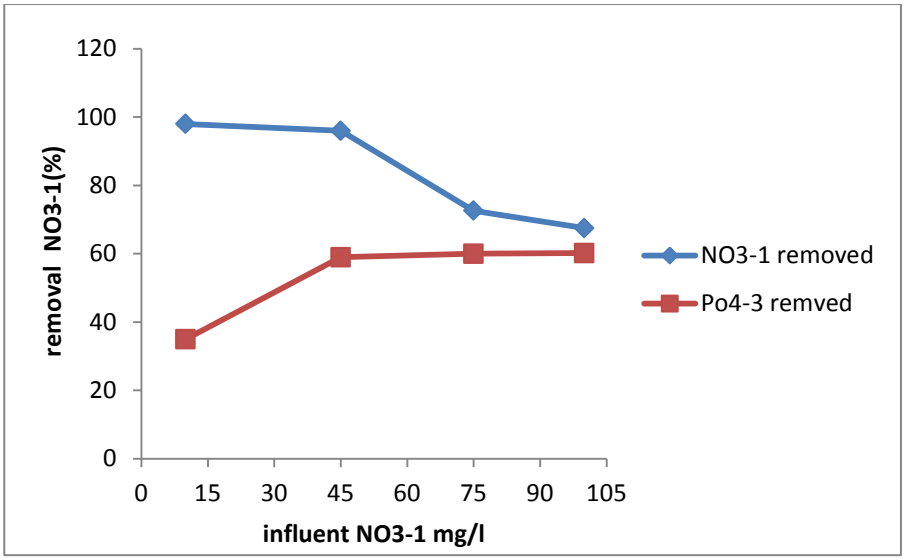
مناقشة المرحلة الأولى : نجد أن نسبة الإزالة للنترات تزايدت مع تزايد زمن المكث ووصلت تقريبا لكفاءة معالجة 96% مما يؤكد أن زمن المكث هو عامل هام في تطور كفاءة الإزالة للنترات حيث تطورت الإزالة من 37.8% بداية زمن المعالجة حتى 96% نهاية زمن المعالجة علماً أن الإزالة بعد ست ساعات حتى 12 ساعة أصبحت ضئيلة جداً، بالمقابل بالنسبة للمنحني الخاص بالفوسفات نجد أيضاً بالبداية هناك تزايد في نسبة إزالة الفوسفات ثم تصبح ضئيلة جداً، وهذا ماجعل الدراسة تكتفي بـ12hr وبمعاينة المنحنين منحني النترات ومنحني الفوسفات نجد أن شكلي المنحنين متشابهين وهذا يؤكد العلاقة التزامنية بينهما.

4.2المرحلة الثانية:

تم أخذ أربع عينات تتنوع فيها تراكيز النترات وفق مايلي mg/l(10-45-75-100) بينما تركيز الفوسفات ثابت يبلغ 15mg/l في كل العينات، ثم حساب كفاءة الإزالة للنترات والفوسفات بنهاية زمن المكث الثابت 6 ساعات لكل عينة والنتائج موضحة بالجدول (3) والشكل(3).

الجدول رقم3 : : يظهر كفاءة الإزالة لكل من النترات والفوسفات وذلك لأربع عينات تركيز النترات فيها على التتالي (100-75-45-10) mg/l مع تركيز ثابت للفوسفات 15mg/l

NO_3^{-1}– N داخلmg/l	10	45	75	100
PO_4^{-3}–P داخلmg/l	15	15	15	15
NO_3^{-1}– N خارجmg/l	0.2	2.3	20.5	32.5
PO_4^{-3}–P خارجmg/l	8.19	7.32	6.23	5.97
النسبة المئوية% لإزالة النترات	98	94.8	72.6	67.5
النسبة المئوية% لإزالة الفوسفات	25	49.4	56.4	60.2
PH	8.8	8.6	8.6	8.2



الشكل رقم 3 : يظهر كفاءة الإزالة لكل من النترات والفوسفات وذلك لأربع عينات تركيز النترات فيها على التتالي (10–75–45–100) mg/l مع تركيز ثابت للفوسفات 15mg/l

مناقشة المرحلة الثانية : مع دراسة تراكيز مختلفة للنترات مع تركيز ثابت للفوسفات نجد أنه وبزمن مكث مساوي 6 ساعات وجدنا أن التراكيز الصغيرة (15–45)mg/l وصلت كفاءة المعالجة للنترات لكفاءة عالية (96–98)% على الترتيب، أما التراكيز الأكبر (75–100)mg/l فكانت كفاءة الإزالة (67–72)% على الترتيب وهي جيدة أيضا وهذا يؤكد أن التركيز البدائي للنترات ضمن زمن مكث ثابت له دور في كفاءة المعالجة، وبالمقابل بالنسبة لتركيز ثابت للفوسفات في كل العينات في نهاية 6 ساعات لم تتجاوز نسبة الإزالة للفوسفات حد معين 60.2% ويعود الضآلة بجدوى المعالجة مقارنة بنسب الإزالة التي حصلنا عليها بالنترات، إن الإزالة الكيماوية للفوسفور ممثلة بتشكيل مركب فوسفات الكالسيوم ($CaHPO_3$) حسب المعادلة (2)، وهذا الراسب يتشكل عند pH تتراوح مابين (6–10)، وهو أقل ثباتاً من مركبات فوسفات الكالسيوم الأخرى مثل (Ca3(po4)2–Ca5(po4)3) [9] التي تعتبر كراسب أفضل لأن معامل الانحلال لها أقل وهي تتشكل فقط ضمن

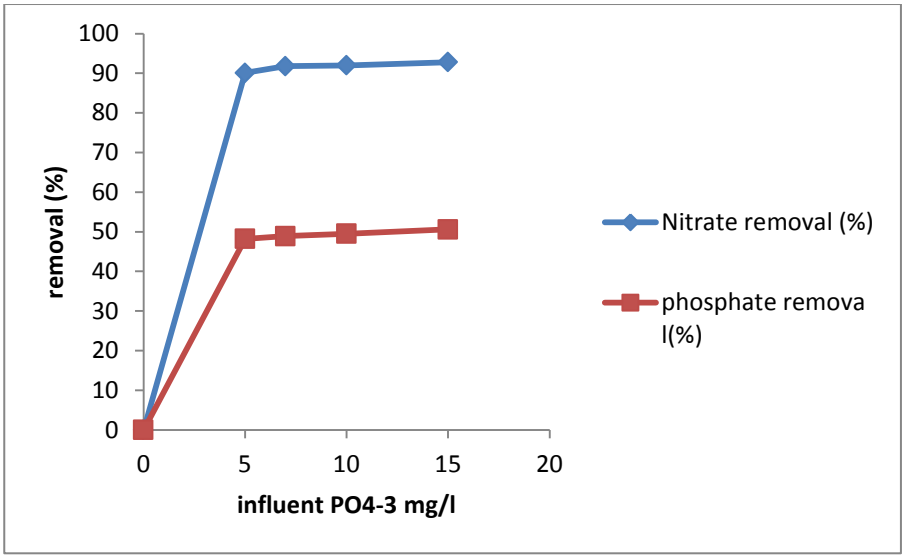
وسط فيه PH يتجاوز فيه 10، ومنه pH الوسط عامل مؤثر على نسبة الإزالة للفوسفور وفي دراستنا قيم pH لم تتجاوز 8.8.

4.3المرحلة الثالثة:

تم أخذ أربع عينات تتنوع فيها تراكيز الفوسفات وفق مايلي mg/l(5 –7–10–15) بينما تركيز النترات ثابت يبلغ 45mg/l في كل العينات، ثم حساب كفاءة الإزالة للنترات والفوسفات بنهاية زمن المكث الثابت 6 ساعات لكل عينة والنتائج موضحة بالجدول (4) والشكل (4).

الجدول رقم (4) : يظهر كفاءة الإزالة لكل من النترات والفوسفات وذلك لأربع عينات تركيز الفوسفات فيها على التتالي mg/l (5–7–10–15) مع تركيز ثابت للنترات 45mg/l

PO_4^{-3}–P داخل (mg/l)	5	7	10	15
NO_3^{-1}– N داخل (mg/l)	45	45	45	45
PO_4^{-3}–P خارج (mg/l)	2.63	3.63	5.1	7.41
NO_3^{-1}– N خارج (mg/l)	4.45	3.69	2.79	2.34
النسبة المئوية% لإزالة النترات	90.4	91.8	92	92.8
النسبة المئوية% لإزالة الفوسفات	48.2	48.9	49.5	50.6
pH	8.5	8.2	8.6	8.7



الشكل رقم 4 : يظهر كفاءة الإزالة لكل من النترات والفوسفات وذلك لأربع عينات تركيز الفوسفات فيها على التتالي mg/l (5-7-10-15) مع تركيز ثابت للنترات 45mg/l

مناقشة المرحلة الثالثة: تراكيز مختلفة للفوسفات مع تركيز ثابت للنترات، نجد أن الإزالة لتركيز ثابت للنترات تتحسن مع تزايد تركيز الفوسفات الداخل وهذا يبرز دور الفوسفور في تنشيط الخلية البكترية وبالتالي التحسن في الإزالة البيولوجي للنترات وهذا ينعكس على التحسن أيضا في إزالة الفوسفور الكيماوي بسبب الترابط بين التفاعلين لذلك التركيز البدائي للفوسفات له دور في عملية المعالجة.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

5.1 الاستنتاجات:

1-إن استخدام الكلس والكبريت في إزالة النترات والفوسفات يعتبر طريقة مجدية لمياه صرف صحي معالجة ثانوياً حيث يكون محتواها العضوي صعب التحلل وبالتالي البكتريا ذاتية التغذية الكبريتية تكون أفضل من استخدام بكتريا عضوية التغذية التي سوف تتطلب بدورها إضافة لمواد عضوية وهذا يسبب

تلوث ثانوي لامفر منه ناتج عن المواد العضوية الفائضة وكلفة زائدة ، بالإضافة لكمية حمأة أكبر.

2-أعطت هذه الطريقة نسب إزالة عالية في الإزالة للنترات فقد وصلت نسبة الإزالة لتراكيز منخفضة للنترات mg/l(10-45) إلى (95-98)% بينما التراكيز العالية للنترات mg/l(75-100) وصلت نسبة الإزالة إلى (72.6-67.5)% بالترتيب خلال زمن ست ساعات.

3- بالنسبة لإزالة الفوسفات كانت مقبولة وجديرة بالاهتمام فقد وصلت لنسبة إزالة تراوحت مابين (50-60)% حسب التراكيز المدروسة وهذا يتعلق بتشكيل الراسب $CaHPO_4$ الذي يتشكل ضمن وسط فيه pH تحت 10 وفي الدراسة لم يتجاوز pH 8.8.

4-لعبت كل من العوامل التالية HRT – pH الوسط – التركيز البدائي للنترات – التركيز البدائي للفوسفات دوراً في النتائج التي وصلت لها الدراسة في هذا النمط من المعالجة التي فيها الآلية الأساسية لإزالة النترات بيولوجية باستخدام بكتريا نزع النترجة التي تحول النترات إلى غاز النتروجين حسب المعادلة (1) أما بالنسبة للفوسفور الإزالة تمت بتشكيل الراسب الكيماوي فوسفات الكالسيوم حسب المعادلة(2).

5-بطء نمو البكتريا ذاتية التغذية ترافق مع فترة طويلة للإقلاع وصلت للشهر تقريباً ولكن عندما تم الوصول لنهاية الإقلاع بدأ المفاعل يعمل بشكل جيد وبشروط تشغيل بسيطة وليست معقدة كما هو الحال في الإزالة للنترات والفوسفور بالطرق التقليدية التي تحتاج مراقبة في التشغيل و كلفة مضافة مما يجعل هذه الطريقة تستحق البحث والتنفيذ والتطوير لاحقاً من أجل إزالة النترات و الفوسفور من مياه الصرف الصحي كمعالجة ثالثية.

5.2 التوصيات:

يوصي البحث من أجل دراسات مستقبلية قادمة بما يلي:

*-الأخذ بعين الاعتبار نسبة حجم الحجر الكلسي إلى حجم الحجر الكبريتي وتأثيرها على كفاءة المعالجة في مفاعل الحجر الكلسي الكبريتي.

*- دراسة إمكانية زرع بكتريا جاهزة في بداية العمل لتأمين إقلاع سريع للمفاعل.

*- دراسة بيولوجية مفصلة لنوعية البكتريا التي تنمو في هذا المفاعل.

6.المراجع:

1 Wang JH, Peng YZ and Chen YZ. Advanced nitrogen and phosphorus removal in A2O-BAF system treating low carbon-to- nitrogen ratio domestic wastewater. Front. Environ. Sci. Eng. 2011;5:474

2 Rocca CD, Belgiorno V, Meric S. Heterotrophic / autotrophic denitrification (HAD) of drinking water :prospective use for permeable reactive barrier. Desalination. 2007;210(1-3):194-204

3 Sierra-Alvarez R, Beristain-Cardoso R, Salazar M, Gomez J, Razo flores E, Field JA. Chemolithotrophic denitrification with elemental sulfur for groundwater treatment. Water Research. 2007;41(6):1253-1262

4 Koenig A, Liu LH. Kinetic model of autotrophic denitrification in sulphur packed-bed reactors. Water Research. 2001;35(8):1969-1978

5 Ruihua LI, Yulin Yuan, Xinmin Zhan, Bo liu. Phosphorus removal in a sulfur-limestone autotrophic denitrification (SLAD) biofilter. Environmental Science and pollution Research. 2014;21:972-978

6 Xiao-mei Lv, Ju-sheng Song, Ji Li and Fang-lei Wu. Tertiary Denitrification by Sulfur/Limestone packed Biofilter. Environmental Engineering science. 2017;34(2):103-109

7 Weili Zhou, et al. Autotrophic denitrification for nitrate and nitrite removal using sulfur-limestone. J. Environmental

science. 2011;23(1):1761-1769

8 A.koenig, L.H.Liu. use of limestone for pH control in autotrophication denitrification: continuous flow experiments in pilot-scale packed bed reactors. J.Biotechnology. 2002;99:161-171

9 Liu JC, Warmadewanthi, Chang CJ Precipitation flotation of phosphate from water. Colloids Surf A. 2009;347:215–219