

إزالة الفوسفور من المياه باستخدام كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم المائية (الجبس)

م. رشا بنيان⁽¹⁾

أ. م. د. عبود عبود⁽²⁾

أ. د. مصدق جانان⁽³⁾

الملخص

استدعى الشح المائي في الظروف المحلية إلى ضرورة البحث عن مصادر داعمة للاحتياط المائي الوطني من خلال صرف مياه الصرف الصحي المعالجة إلى الأنهار والقنوات المائية، مع تحقيق مياه الصرف الصحي المعالجة لمعايير المواصفة القياسية السورية 3474 الخاصة بذلك، لاسيما مركبات الفوسفور حيث كان تركيز الفوسفور المطلوب في المواصفة (كشوارد فوسفات) يساوي 6 mg/l. لذا كان هدف البحث وهو استكمال معالجة هذه المياه معالجة ثالثة (متقدمة) وتخفيض مركبات الفوسفور في المياه المعالجة منعاً لحدوث ظاهرة الإثراء الغذائي في المصادر المائية المطروح إليها. وذلك من خلال منهج البحث العملي وهو اختبار إضافة بعض المواد الكيميائية، ونظراً لارتفاع تكاليف مركبات الحديد والألمنيوم والجير المستخدمة عالمياً عادة لهذا الغرض، لذا تم اختبار إضافة كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) - المتوفرة طبيعياً ويوفرة في سورية- إلى مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً، بحيث يتم إضافة كل منهما على حدة، ومن ثم إضافتهما معاً، ودراسة كفاءة إزالة الفوسفور عند استخدام كل من الإضافات المذكورة، ومقارنة التراكيز الناتجة بعد المعالجة بالتركيز المطلوب في المواصفة السورية 3474 للتوصل إلى طريقة المعالجة الأجدى ذات المردود الأفضل بأقل كلفة، وذلك بعد اختبار عدة نسب للمواد المضافة واختيار الأفضل.

نتيجة لذلك تم إيجاد مواصفة هندسية محلية لطريقة المعالجة المختارة والمقبولة في الظروف المحلية. يُنصح باستخدام هذا النوع من المعالجة الكيميائية ذات الكلف المنخفضة والمردود العالي في سورية.

الكلمات المفتاحية: إزالة الفوسفور - كربونات الكالسيوم - كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس)

(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

Phosphorous Removal from Water Using Calcium Carbonate and Hydrated Calcium Sulfate (Gypsum)

M.C.Eng. Rasha Ehsan Bnayyan⁽¹⁾

Ph.D. Abood Abood⁽²⁾

Ph.D. Mosaddak Janat⁽³⁾

ABSTRACT

Decreasing water in local conditions had to search for support sources of the national water reservoir, through disposal of treatment sewage water to the rivers and water channels, with conform it to Standard specifications of Allowable Wastewater discharge to the environment of Water Recipient Bodies /3474/ in Syria, particularly phosphorus compounds, which is required phosphorus concentration in standard specifications (as phosphate ions) is 6 mg/l. So research purpose has been to completing treatment of this water, and reduce phosphorus compounds in treated water for prevention of Eutrophication problem in water resources. That's by steps of practical research, by test some chemicals, because of lime, iron and aluminum compounds are expensive (which are generally used internationally to this aim), chemicals as calcium carbonate and gypsum are tested - which are cheap and available in Syria - by add them to secondary treated wastewater, each separately, and then together, later study efficiency of phosphorus removal during use each of additions. by comparing results, it can be known the best way of phosphorus removal from water which has best efficiency. All that after testing several rates of chemicals, and choose best efficiency.

As a result, we find local engineering specification for accepted way of the treatment in local circumstances.

It's recommended to use chemical treatments which have low coasts and high efficiency in Syria.

key words: phosphorous removal - calcium carbonate - hydrated calcium sulfate (gypsum)

⁽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- المقدمة:

إن أنظمة المعالجة البيولوجية التقليدية نجحت إلى حد كبير في الوصول إلى كفاءة معالجة جيدة، خاصة بمؤشرات التلوث (BOD-COD-SS) أما باقي المؤشرات فلم تكن كفاءتها ضمن المرادود المطلوب، لاسيما المركبات المغذية الفوسفاتية، مما قد يسبب ظاهرة الإثراء الغذائي. ولتحقيق هذا الهدف كان لا بد من التقيد بالموصفة القياسية السورية 3474 الخاصة بصرف المياه المعالجة إلى الجداول والمسطحات المائية، وهي PO_4^{3-} تساوي 6 mg/l بحال إلقائها في الأنهار والقنوات المائية و 1 mg/l بحال إلقائها في المسطحات المائية [1]

2- أهمية البحث

عادةً ما كانت مركبات الحديد والألمنيوم والجير تستخدم عالمياً لترسيب المواد المنحلة المراد إزالتها من المياه [2] - لا سيما شوارد الفوسفات - ولكن ارتفاع تكاليف استخدام هذه المركبات دعا إلى اختبار كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس المستخدم في الديكور) وكربونات الكالسيوم (المستخدمة في أعمال الإكساء والبناء محلياً)، حيث أن هذه المركبات متوفرة طبيعياً وبكثرة في الأراضي السورية، مما يجعل استخدامها مجدياً من الناحية الاقتصادية، إضافةً إلى سهولة استحصالها ونقلها وتخزينها. من هنا كان مبرر الاستعانة بالإضافات الكيميائية المرسبة للفوسفات بهدف الوصول إلى الموصفة القياسية السورية 3474.

3- هدف البحث

لذا كان هدف الدراسة هو الحصول على أكبر نسبة إزالة للفوسفور من المياه بأقل زمن وكلفة وتكنولوجيا، من خلال البحث في أفضل المركبات الممكن إضافتها المياه

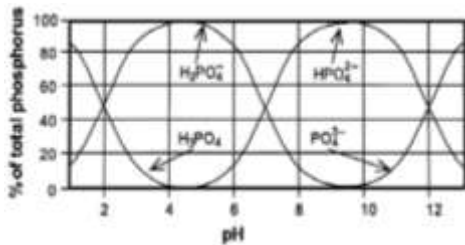
حيث يتحول الفوسفات من الصورة الذائبة إلى الصورة غير الذائبة (الراسبة).

4- منهج البحث:

اختبار كفاءة إزالة الفوسفور من المياه المعالجة ثانوياً عند إضافة كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) كل على حدة، ومن ثم الجمع بينهما وذلك بنسب معينة، ومقارنة الكفاءات الناتجة مع بعضها، ودراسة تأثير كل منها على مواصفات المياه، واستنتاج طريقة المعالجة الأجدى ذات المرادود الأفضل على المياه المحلية بأقل كلفة وزمن وتكنولوجيا، ومن ثم المساهمة في استنتاج مواصفة هندسية محلية لطريقة المعالجة المختارة في البحث.

5- إزالة الفوسفور من المياه:

إن ما يحدد أشكال الفوسفات الموجودة في المياه هو pH المياه، حيث تُظهر أنواع شوارد الفوسفات المذابة التوازن التالي المعتمد على الرقم الهيدروجيني وفق الشكل (1) [3]



الشكل (1) تحديد أشكال الفوسفات اعتماداً على درجة

pH

$pH > 2$: هو النوع السائد في

المياه

$2 < pH < 7$: هو النوع السائد في

المياه

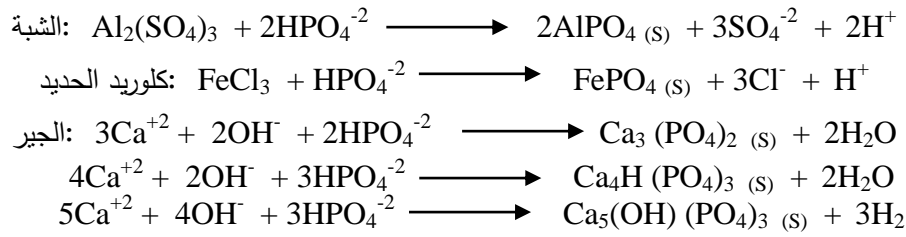
$7 < pH < 12$: هو النوع السائد في المياه

$pH > 12$: هو النوع السائد في المياه [3]



المعدنية الموجبة إلى شوارد الفوسفات السالبة مشكلةً مركبات راسبة غير قابلة للامتصاص من قبل النبات.

غالباً ما تكون مياه الصرف الصحي مائلة للقلوية، أي $\text{pH} > 7$ ، وهذا يعني أن شوارد الفوسفات السائدة في المياه هي HPO_4^{-2} وأن التفاعلات الكيميائية الخاصة بترسيب الفوسفات مع الشبة، كلوريد الحديد، والجير ستأخذ الشكل التالي: [3]



لذا تم اختيار كل من كبريتات وكربونات الكالسيوم نظراً لتوفرهما محلياً بكثرة، وبسبب قلة تكاليفهما وسهولة النقل والتخزين إضافة إلى الديمومة.

كبريتات الكالسيوم: مركب كيميائي له الصيغة CaSO_4 ، ويكون على شكل مسحوق أبيض، ويوجد في الطبيعة بعدة أشكال حسب محتوى ماء التبلور في البنية البلورية [6].

فإذا كان كبريتات الكالسيوم خالي من الماء يسمى أنهدرت (الجبسين).

أما إذا اشتركت جزيئتين من كبريتات الكالسيوم بجزيء ماء واحد تكون صيغته $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ويسمى باسبنيت (الجبس).

أما إذا اشتركت جزيء من كبريتات الكالسيوم بجزيئين من الماء تكون صيغته $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ويسمى كبريتات الكالسيوم ثنائي الهيدرات (الجبس).

تم اختبار الجبس في هذا البحث للأسباب المذكورة سابقاً، وهو متواجد في السوق المحلية.

عند إضافة الجبس إلى المياه الحاوية على شوارد

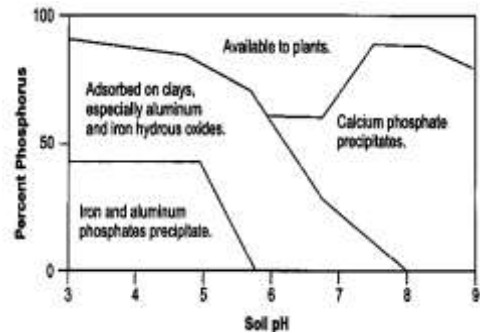
الفوسفات الذائبة ينحل الجبس وفق

5-1- إزالة الفوسفور من المياه باستخدام كبريتات

الكالسيوم المائية (الجبس):

إن إزالة الفوسفور من المياه من خلال الإضافات الكيميائية المساعدة يعتمد على التفاعلات التبادلية الأيونية [4]، فعند إضافة المركبات الكيميائية تتجذب الشوارد

يبين الشكل (2) علاقة pH بتفاعلات استقرار الفوسفات في كل مجال من مجالات pH ونسب حدوث هذه التفاعلات [3]، أي أنه لترسيب الفوسفات في الظروف الحمضية يفضل وجود أو استخدام مركبات الحديد والألمنيوم، أما في الظروف القلوية أو القلوية البسيطة المعتادة في مياه الصرف الصحي فيفضل وجود الكالسيوم في الوسط لحدوث الترسيب مع $\text{P} [5][3]$ ، وهذا ما برر التوجه إلى اختبار مركبات الكالسيوم لإزالة الفوسفور من المياه، إضافةً لكون المرسبات المعدنية كمركبات الحديد والألمنيوم عالية الكلفة.



الشكل (2) علاقة pH باستقرار الفوسفات في المياه

ونظراً لكون pH مياه الصرف الصحي يتراوح حول 7،

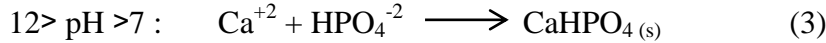
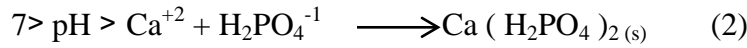
بالتالي سيتشكل فوسفات أحادي الكالسيوم Ca

$(H_2PO_4)_2$ وفوسفات ثنائي الكالسيوم $CaHPO_4$

عندئذٍ يمكن تحديد معادلات ترسيب الفوسفور (أو تشكيل

مركبات الفوسفور غير الذائبة) في المياه وفق pH المياه

كالتالي:



للقوية [9]. أما إذا كان الوسط حمضياً فإن شوارد السلفات والأيونات العضوية الموجودة في المياه هي التي ستدمص على الكربونات [9].

يحدث هذا الادمصاص في المياه الجارية على الأسطح

الكلسية بحال احتوائها على شوارد الفوسفات المنحلة [10].

وفي المياه الجوفية على مواد الطبقات الصخرية المائية

مثل الحجر الجيري والذي يؤدي إلى إزالة الكثير من

الفوسفات، مما يحافظ على تركيز الفوسفات في المياه

الجوفية منخفضاً أو ثابتاً نسبياً [10].

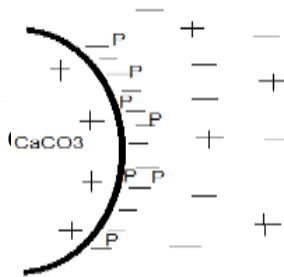
عند إضافة كربونات الكالسيوم إلى المياه الحاوية على

شوارد الفوسفات السالبة المنحلة فإن هذه الشوارد تدمص

على كربونات الكالسيوم مشكلةً معقد فوسفات - كربونات

الكالسيوم وفق الشكل (3)، مما يساهم في سحب شوارد

الفوسفات المنحلة وإزالتها من المياه.



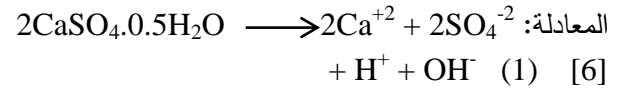
الشكل (3) ادمصاص شوارد الفوسفات على مركب كربونات

الكالسيوم

6- الدراسة العملية والحسابية:

1- تم إنشاء أربعة أحواض بيتونية مسلحة كما يبين

الشكل (4) ضمن محطة معالجة مياه صرف صحي وهي



يتحول الفوسفات الذائب إلى الشكل غير الذائب

(الراسب) من خلال التجاذب الأيوني لكاتيونات الكالسيوم

الموجبة (Ca^{+2}) مع أيونات الفوسفات (HPO_4^{-2} , PO_4^{-3} ,

$\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$) السالبة المتواجدة في المياه حسب قيمة pH،

لتتشكل مركبات غير ذائبة راسبة [6].

إن المركبات الناتجة من المعادلات (2-3) هي مركبات

راسبة تبقى غير منحلة في ظروف مياه الصرف الصحي

المعتدلة ومتوسطة القلوية [6].

5-2- إزالة الفوسفور من المياه باستخدام كربونات

الكالسيوم:

هو مركب كيميائي له الصيغة الكيميائية CaCO_3

ويكون على شكل مسحوق أبيض، يعد عملياً غير منحل

بالماء (فقط 0.14 mg/l)، إلا أنه يتفكك إذا تواجد في وسط

حمضي [7].

تختلف آلية إزالة الفوسفات عند إضافة كربونات

الكالسيوم ذات الانحلال الضعيف عنها عند إضافة الجبس،

إذ يمتاز الفوسفات على أسطح الكربونات، فتتعدم الاستفادة

منه بواسطة النبات [9].

وقد أظهرت الدراسات العالمية بأن معظم الترب لديها

قدرة كبيرة على ادمصاص الفوسفور عليها عند pH معتدلة

بما فيها الطمي والمعادن الطينية [8].

وقد كان للمحتوى المعدني للرمال (أي الشوائب والأكاسيد

المعدنية المرتبطة بالرمال) تأثير كبير في إزالة الفوسفور، إذ

تبين أن الرمال ذات المحتوى العالي من المعادن تحتوي على

قدرة إزالة للفوسفور أعلى بكثير من الرمال الأخرى ذات

المحتوى المعدني المنخفض كرمال الكوارتز الخامل [8].

وقد كانت للرمال ذات المحتوى الأعلى من الكالسيوم

مردود الإزالة الأفضل من غيرها ذات المحتوى المعدني من

Fe و Al [8].

كما أكدت الدراسات العالمية حدوث ادمصاص الفوسفات

على كربونات الكالسيوم لا سيما عندما يكون الوسط مائلاً



الشكل (5) تحليل عينات المياه مخبرياً

كان تركيز شوارد الفوسفات في عينة المياه الخام
المأخوذة من مدخل المحطة التجريبية قبل إضافة الجبس
 $PO_4 = 16.74 \text{ mg/L}$

الجدول (1) نتائج اختبار كفاءة إزالة الفوسفور عند إضافة

نسب مختلفة من الجبس

نسبة الجبس المضافة	0.1 %	0.25 %	0.5 %
تركيز PO_4 في المياه بعد إضافة الجبس بعد (mg/L) 30 h	9.92	8.06	6.82
كفاءة إزالة PO_4 من المياه المختبرة (%)	40.7	51.9	59.3

نلاحظ أن كفاءة الإزالة تزداد بازدياد نسبة الجبس
المضافة، وذلك بسبب ازدياد نسبة الكالسيوم المتشرد في
المياه بعد إضافة الجبس وازدياد احتمالية التقائه مع شوارد
الفوسفات وارتباطه بها مشكلاً مركبات غير منحلّة.

ولكن نلاحظ نقصان تحسن الإزالة مع ازدياد نسبة
الجبس المضافة لذلك اخترنا إضافة النسبة 0.5 % من
الجبس إلى المياه مع افتراض ازدياد كفاءة الإزالة مع ازدياد
النسبة المضافة، ومن ثم تم اختيار نفس النسبة من كربونات
الكالسيوم لإمكانية المقارنة بين الأحواض مع إضافة نفس
النسب من أملاح الكالسيوم المختبرة.

لبيان فعالية ادمصاص شوارد الفوسفات على أحجام
مختلفة من حبيبات كربونات الكالسيوم تم اختبار عدة أحجام
من كربونات الكالسيوم المستخدمة في البحث كما يبين
الجدول (2)، وذلك لبيان مدى اختلاف كفاءة إزالة الفوسفات
باختلاف أبعاد حبيبات كربونات الكالسيوم المستخدمة، وذلك
من خلال نخلها في مخبر ميكانيك التربة في المعهد التقني
الهندسي بدمشق على مناخل الرمال الخشنة والمتوسطة
والناعمة الخاصة بتجربة التدرج الحبي.

محطة السومرية، والعاملة وفق المعالجة البيولوجية SBR،
حيث تم ضخ المياه الخارجة من هذه المحطة إلى ثلاثة
أحواض تجريبية، ليتم معالجتها ثالثياً وفق الخطة المتبعة في
منهج البحث.



الشكل (4) المحطة التجريبية لإزالة الفوسفور

2- تدخل المياه المراد معالجتها إليها على التوازي،
وبحيث تكون غزارة المياه وزمن مكثها ثابت في الأحواض
جميعها، مما يجعل حجم المياه ثابتاً في الأحواض.

3- القيام بمعالجة ثالثية كيميائية للمياه: ولتحديد نسبة
المواد الكيميائية المضافة تم اختيار نسبة الإضافة من الجبس
الكيميائية 0.5% بعد اختبار ثلاث نسب مضافة من الجبس
وهي (0.5 % - 0.25 % - 0.1 %) كما في الجدول (1)،
حيث تم إضافة g/L (5 - 2.5 - 1) إلى عينات من مخرج
محطة المعالجة التقليدية، وقد تم قياس تركيز الفوسفات في
العينة الخام بدون إضافات، وتركيزه في العينات المختبرة مع
إضافة نسب الجبس المختلفة، وحساب كفاءة إزالة الفوسفات
في العينات الثلاثة بعد مضي زمن المكث المعتمد في
المحطة التجريبية وهو (30 h).

تم الاختبار في مخبر الموارد المائية بدمشق وريفها
الكائن في منطقة القصور بدمشق، لمعرفة تركيز شوارد
الفوسفات - TDP - باستخدام جهاز يعتمد على مبدأ الطيف
اللونى (سبيكتروفوتومتر الطيفي Spectrophotometric)
كما يُظهر الشكل (5).



الشكل (6) أملاح الكالسيوم المضافة

4- تم إجراء قطف عينات المياه من مدخل ومخارج الأحواض، وإجراء تحاليل متماثلة ومتزامنة على كل من الأحواض المدروسة للحصول على تراكيز عينات المياه الداخلة والخارجة ونسب الإزالة.

لبيان تأثير إضافة أملاح الكالسيوم: تمت دراسة ومقارنة كفاءة الإزالة بين الأحواض الثلاثة، حيث تم تثبيت كل العوامل التصميمية (غزارة المياه الداخلة للأحواض - زمن مكث المياه في الأحواض - أبعاد الأحواض) وكان الاختلاف محصوراً بالمواد الكيميائية المضافة إلى المياه.

العوامل التصميمية للأحواض والمعالجة

التجريبية:

طول وعرض كل حوض من الداخل (1.5*0.7) m وارتفاع الجدران 1m، وبفرض ارتفاع الماء في الأحواض 90 cm، فيكون حجم المياه فيه:

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

وبفرض زمن مكث المياه في الأحواض T=30 hours

فتكون الغزارة الداخلة للأحواض

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{0.945}{30} = 0.0315 \text{ m}^3/\text{h} = 0.76 \text{ m}^3/\text{d}$$

لدى تحليل عينة من المياه الخارجة من محطة المعالجة

التقليدية بتاريخ 4/4/2021 على النتائج التالية:

$$\text{BOD} = 67.2 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD} = 96 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS} = 88 \text{ mg/L}$$

$$\text{pH} = 7.2$$

$$\text{PO}_4^{-3} = 14.26$$

تم الاختبار في مخبر الموارد المائية من خلال إضافة نفس النسبة المعتمدة في الأحواض التجريبية والبالغة 0.5% أي (5mg/L) من حبيبات الكربونات الخشنة والمتوسطة والناعمة إلى ثلاث عينات من المياه الداخلة إلى المحطة التجريبية وقياس كفاءة الإزالة في هذه العينات بعد مرور زمن المكث المعتمد في البحث وهو (30 h)، وقد كانت كفاءة إزالة الفوسفات باستخدام حبيبات كربونات الكالسيوم الناعمة أكبر من المتوسطة والمتوسطة أكبر من الخشنة، وقد فُسر ذلك بسبب زيادة مساحة السطح النوعي للحبيبات الأنعم.

كان تركيز شوارد فوسفات في عينة للمياه الخام المأخوذة من مدخل المحطة التجريبية قبل إضافة المواد الكيميائية $\text{PO}_4 = 14.26 \text{ mg/L}$

الجدول (2) اختبار كفاءة ادمصاص الفوسفور على أحجام

مختلفة لحبيبات كربونات الكالسيوم

حجم الحبيبات المختبرة	كربونات الكالسيوم الخشنة	كربونات الكالسيوم المتوسطة	كربونات الكالسيوم الناعمة
1.18 mm	0.212 mm	0.036 mm	
تركيز PO_4 في المياه بعد إضافة كربونات الكالسيوم بعد 30h (mg/L)	10.85	9.3	7.13
كفاءة إزالة PO_4 من عينات المياه المختبرة (%)	23.9	34.8	50

بالتالي وبناءً على ما سبق تم استخدام حبيبات كربونات الكالسيوم الناعمة ذات القطر 0.036 mm في تجارب البحث، وقد تم إضافة أملاح الكالسيوم بنسبة 0.5% من حجم المياه في أحواض المحطة التجريبية بحيث:

- تدخل المياه إلى الحوض الأول مع إضافة كبريتات الكالسيوم المائية بتركيز (5 g/l).
- تدخل المياه إلى الحوض الثاني مع إضافة كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) بتركيز (2.5 g/l) مع كربونات الكالسيوم بتركيز (2.5 g/l) أيضاً.
- تدخل المياه إلى الحوض الثالث مع إضافة كربونات الكالسيوم بتركيز (5 g/l)
- أما الحوض الرابع فتم إنشاؤه احتياطياً، ولم يحدث أي اضطراب لاستخدامه.

المسطحات المائية والبالغة (300 mg/L)، ويهدف إلقائها في الأنهار والقنوات المائية والبالغة (400mg/L). ولدى قياس تركيز شاردة الكبريتات في عينة مدخل ومخرج حوض الجبس، دل التحليل على: تركيز شاردة الكبريتات في عينة المدخل يساوي 6 mg/L، وفي عينة المخرج تساوي 132 mg/L. وفي تحليل آخر لعينة من مخرج حوض الجبس كان تركيز الكبريتات يساوي 126 mg/L. وفي كلا التحليلين كانت التراكيز ضمن الحدود المسموحة للإلقاء في المسطحات والمجاري المائية. ومن الطبيعي أن ينطبق ذلك على حوض الجبس مع الكربونات حيث أن كمية الجبس المضافة إليه تساوي نصف الكمية المضافة إلى حوض الجبس فقط والمختبر أعلاه.

تم متابعة إجراء تحاليل الفوسفات فقط بشكل شبه يومي ولمدة ثلاثة أسابيع تقريباً، حيث تم تنظيم الجدول (3) والمخططات المبينة في الشكل (7) والشكل (8) لبيان تراكيز الفوسفات الداخلة والخارجة من كل حوض من الأحواض الثلاثة التجريبية ومن ثم كفاءة الإزالة في كل منهم. تم حساب كفاءة إزالة الفوسفور وفق القانون:

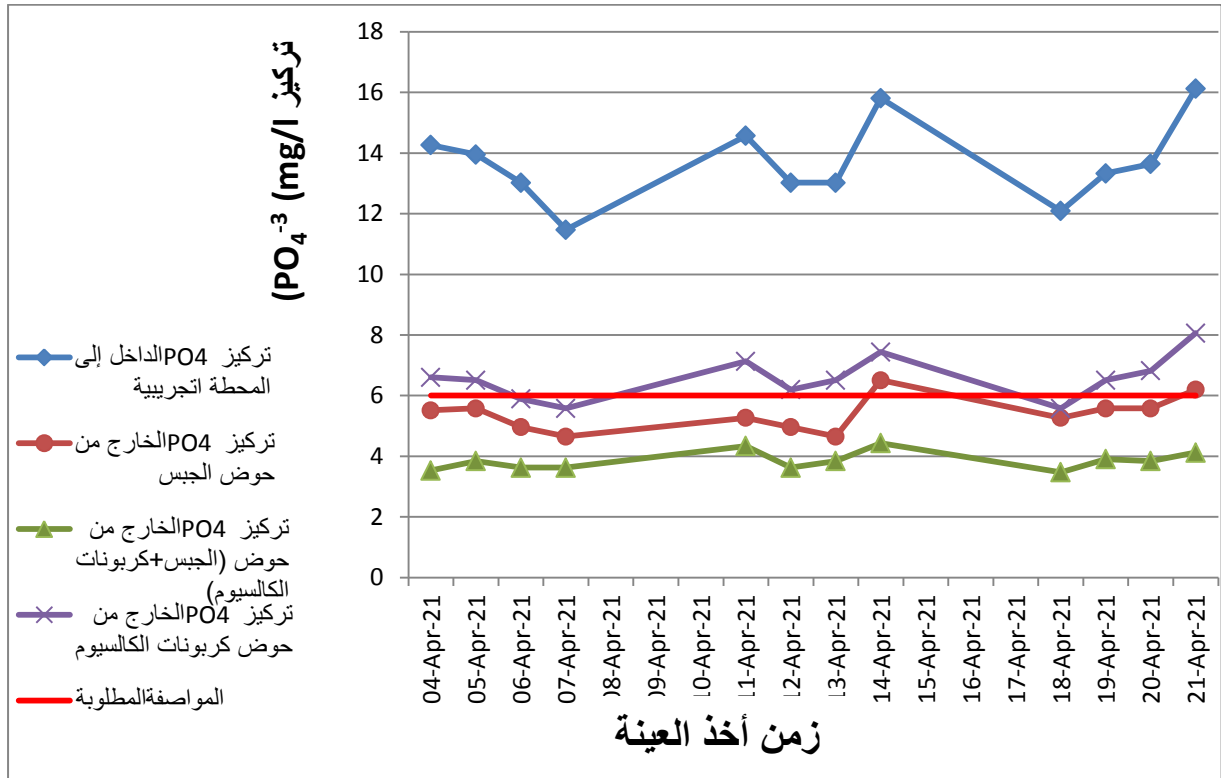
$$E = \frac{C - C1}{C} * 100\%$$

حيث C تركيز الفوسفور في المياه الداخلة إلى المحطة المدروسة.

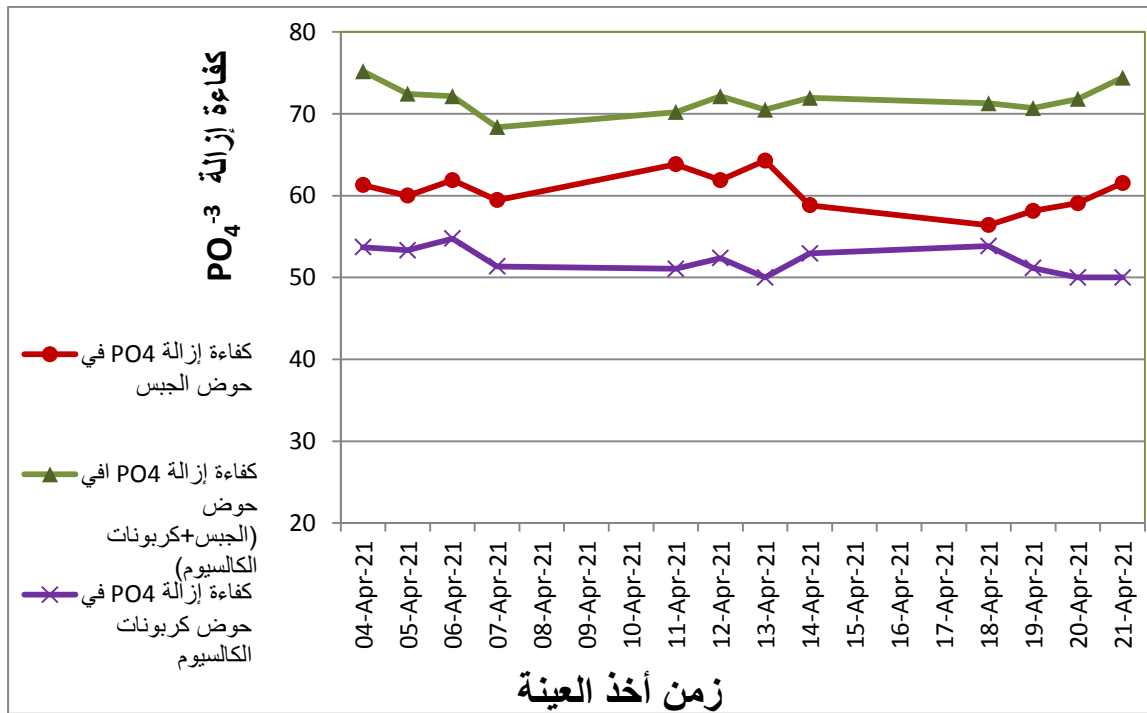
C1 تركيز الفوسفور في المياه الخارجة من كل حوض من أحواض المحطة التجريبية. أثناء إجراء التحاليل تم قياس شوارد الكبريتات في حوض الجبس عدة مرات للتأكد من عدم تجاوز شوارد الكبريتات للنسب المسموحة في المياه المعالجة بهدف إلقائها في

الجدول (3) تراكيز الفوسفات الداخلة والخارجة من كل حوض من أحواض المحطة التجريبية وكفاءة الإزالة

زمن أخذ العينة	مدخل الأحواض (التجريبية)	مخرج الحوض الأول (جبس)			مخرج الحوض الثاني (جبس + كربونات الكالسيوم)		مخرج الحوض الثالث (كربونات الكالسيوم)	
	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	كفاءة الإزالة (%)	
4/4/2021	14.26	5.518	61.30	3.534	75.22	6.603	53.70	
5/4/2021	13.95	5.58	60.00	3.844	72.44	6.51	53.33	
6/4/2021	13.02	4.96	61.90	3.627	72.14	5.89	54.76	
7/4/2021	11.47	4.65	59.46	3.627	68.38	5.58	51.35	
11/4/2021	14.57	5.27	63.83	4.34	70.21	7.13	51.06	
12/4/2021	13.02	4.96	61.90	3.627	72.14	6.2	52.38	
13/4/2021	13.02	4.65	64.29	3.844	70.48	6.51	50.00	
14/4/2021	15.81	6.51	58.82	4.433	71.96	7.44	52.94	
18/4/2021	12.09	5.27	56.41	3.472	71.28	5.58	53.85	
19/4/2021	13.33	5.58	58.14	3.906	70.70	6.51	51.16	
20/4/2021	13.64	5.58	59.09	3.844	71.82	6.82	50.00	
21/4/2021	16.12	6.20	61.54	4.123	74.42	8.06	50.00	
القيمة الوسطية لكفاءة المعالجة		5.4	60.6	3.9	71.8	6.6	52.04	



الشكل (7) الخطوط البيانية لتراكيز PO_4^{3-} الداخلة والخارجة من أحواض المحطة التجريبية



الشكل (8) الخطوط البيانية لكفاءة إزالة PO_4^{3-} في أحواض المحطة التجريبية

الكالسيوم) حيث كانت كفاءة الإزالة بحدود 71.8%، تلتها الكفاءة الناتجة في حوض كبريتات الكالسيوم المائبة بكفاءة حوالي 60.6%، ومن ثم حوض كربونات الكالسيوم حيث كانت كفاءة الإزالة بحدود 52.04%.

7- تقييم نتائج البحث:

تفاوتت نسب الإزالة بين الأحواض الثلاثة، وقد نتجت كفاءة الإزالة الأعلى للفوسفور (كشوارد فوسفات) في حوض (كبريتات الكالسيوم المائبة (الجبس) + كربونات

$$Q_{av} \text{ الغزارة الوسطية } m^3/d$$

$$q \text{ معدل استهلاك الفرد } l/p. d$$

$$P_E \text{ عدد السكان}$$

$$q = \frac{Q_{av}}{A} = \frac{0.76}{1.5 * 0.7} = 0.72 \text{ m}^3/m^2.d$$

حيث:

$$q \text{ التحميل الهيدروليكي السطحي } m^3/m^2. d$$

$$A \text{ المساحة السطحية لأحواض المعالجة } m^2$$

ومنه نجد:

$$A = \frac{Q_{av}}{q} = \frac{0.8 q \cdot P_E}{1000 q}$$

بفرض معدل استهلاك الفرد $q = 110 \text{ l/p. d}$ ، وحيث

أن معدل التحميل الهيدروليكي السطحي لأحواض المعالجة المختبرة يساوي $(q = 0.72 \text{ m}^3/m^2. d)$ ، عندئذٍ سيكون:

$$A = \frac{0.8 * 110 * P_E}{1000 * 0.72}$$

وقد دلت النتائج على وصول تراكيز الفوسفات الناتجة عن المعالجة الثالثية وفق العوامل التصميمية الأولية في هذا البحث وعند إضافة (كبريتات الكالسيوم المائية+ كربونات الكالسيوم)، أو عند إضافة كبريتات الكالسيوم المائية فقط إلى القيمة الخاصة بالفوسفات والمذكورة في المواصفة 3474 المطلوبة، وعدم وصولها بحال إضافة كربونات الكالسيوم فقط.

لذا سيتم البحث في تحديد مواصفة للمعالجة المقبولة، وهي تحديد أبعاد برك المعالجة بالعوامل التصميمية المتبعة في هذا البحث وذلك من خلال الخطوات التالية: تُعطى الغزارة الوسطية لمياه الصرف الصحي للتجمعات السكانية بالعلاقة:

$$Q_{av} = \frac{0.8 q \cdot P_E}{1000}$$

حيث:

$$A = 0.12 P_E m^2$$

وهي المواصفة المطلوبة.

8- الاستنتاجات:

- 1- تحقيق المواصفة 3474 المطلوبة من خلال إضافة الجبس أو الجبس مع كربونات الكالسيوم كمعالجة ثالثية لمياه الصرف الصحي وفق العوامل التصميمية المختبرة في البحث، مع الانخفاض الملحوظ في التراكيز الناتجة بعد المعالجة عند إضافة الجبس مع كربونات الكالسيوم لما دون المواصفة مما يتيح إمكانية زيادة التحميل الهيدروليكي السطحي لبرك المعالجة إلى أن تصل التراكيز الناتجة عن المعالجة لقيمة المواصفة السورية (6 mg/l) ، وهذا يساهم في:
 - إمكانية استخدام هذه المعالجة لتجمعات سكانية أكبر وزيادة الجدوى الفنية للمعالجة.
 - تخفيض المساحة السطحية لبرك المعالجة، مما يوفر الكلف المادية التشغيلية والاستثمارية في المحطة.
 - 5- الوصول إلى مواصفة تساهم في تحديد القيم التصميمية لأبعاد برك المعالجة الثالثية باستخدام الجبس أو الجبس مع كربونات الكالسيوم، بزمن مكث 30 h

فيما يخص الرواسب المتشكلة نتيجة ترسب كربونات الكالسيوم المضافة ونتيجة تشكل فوسفات الكالسيوم الراسبية أيضاً، تجدر الإشارة إلى ضرورة إجراء تنظيف دوري للرواسب في برك المعالجة بهذه الآلية، وذلك من خلال استخدام آلات خاصة لهذا الغرض تقوم بجرف الرواسب أثناء تشغيل البرك دون الحاجة لإيقافها وتفريغها، وإن هذه الآليات مستخدمة محلياً وعالمياً. وقد أوردت الدراسات النظرية العالمية [6] أن الرواسب الكلسية بشكل عام ولاسيما فوسفات الكالسيوم تساعد على إزالة شوارد الفوسفات من المياه من خلال ادمصاص هذه الشوارد على الرواسب المتشكلة، وقد يكون ذلك عاملاً إيجابياً مساعداً في تحسين كفاءة الإزالة في هذا البحث. كما أنه من المجدي استخدام هذه الرواسب كأسمدة زراعية [11]، لاسيما في الأراضي الفقيرة بالكلس والموجودة في بعض المناطق السورية، والتي تسبب ضعف عند النباتات لاسيما الفصيلة الباذنجانية.

9- التوصيات والمقترحات:

- 1- العمل على تنفيذ وأتباع طريقة المعالجة الثالثة بإضافة الجبس أو الجبس مع كربونات الكالسيوم إلى مياه الصرف الصحي المحلية المعالجة ثانوياً نظراً لتحقيقها المتطلبات اللازمة مع الوفر المادي.
- 2- إجراء دراسة تبحث في حجم الرواسب المتشكلة والزمن اللازم لعملية تنظيفها.
- 3- اختبار كفاءة المعالجة بالجبس أو الجبس مع كربونات الكالسيوم مع زيادة التحميل الهيدروليكي السطحي أو رفع نسبة المواد الكيميائية المضافة عن النسبة المستخدمة في البحث، مما يتيح معالجة المياه للتجمعات السكانية الأكثر عدداً.
- 4- اختبار كفاءة المعالجة بالجبس أو الجبس مع كربونات الكالسيوم مع تخفيض التحميل الهيدروليكي للمياه أو زيادة مدة مكث المياه وذلك للحصول على مواصفات مياه نوعية، على ألا تؤثر الإضافات على الغاية من استخدام هذه المياه.
- 5- اختبار كفاءة المعالجة بكربونات الكالسيوم مع رفع النسبة المضافة منها عن النسبة المستخدمة في البحث، أو زيادة مدة مكث المياه في الأحواض بهدف تحقيق مؤشرات المواصفة السورية 3474 المطلوبة، وبالتالي الوصول إلى مواصفة تصميمية مقترحة كمواصفة محلية لهذا النوع من المعالجة.
- 6- إجراء دراسة تبحث في مدى ديمومة فعالية أملاح الكالسيوم المختبرة في البحث لإزالة الفوسفور من المياه المعالجة ثانوياً، مع دراسة الزمن اللازم لتجديد هذه الإضافات الكيميائية.
- 7- توجيه المختصين إلى استخدام تراكيز منخفضة من صيغ الفوسفات في المنظفات قدر الإمكان.
- 8- دراسة كفاءة إزالة الفوسفور من مياه الصرف الصحي المحلية المعالجة ثانوياً عبر إمرارها على أسرة من كربونات الكالسيوم.

- وتحميل هيدروليكي سطحي $d = 0.72 \text{ m}^3/\text{m}^2$ وعمق 0.9m مما سيتيح اعتماد هذه العوامل التصميمية للتجمعات السكانية الصغيرة المحلية، بحيث تكون المساحة السطحية لبرك المعالجة $A = 0.12 P_E$.
- 6- لم تصل تراكيز الفوسفور (كشوارد فوسفات) الناتجة عن المعالجة الثالثة عند إضافة كربونات الكالسيوم، إلى المواصفة 3474 المطلوبة وذلك وفق العوامل التصميمية للبحث، وذلك بسبب ارتفاع تراكيز الفوسفات الخارجة من المعالجة الثانوية، مما يجعل إضافتها بالنسب المختارة أو العوامل التصميمية المتبعة ليس مجدياً.
 - 7- لم تؤثر إضافة الجبس إلى المياه المعالجة ثالثياً على الحدود المسموحة للكبريتات في المياه المعالجة بهدف إلقائها في المسطحات والقنوات المائية مما يسمح بإضافتها بهذه النسب.
 - 8- ازدياد كفاءة إزالة الفوسفور بازدياد نسبة الجبس المضاف إلى المياه المعالجة ثالثياً.
 - 9- ارتفاع كفاءة ادمصاص الفوسفور (شوارد الفوسفات) على حبيبات كربونات الكالسيوم طرداً مع انخفاض حجم هذه الحبيبات.
 - 10- مساهمة الرواسب الكلسية المتشكلة (فوسفات الكالسيوم) في تحسين كفاءة إزالة الفوسفور من خلال ادمصاص شوارد الفوسفات عليها.
 - 11- استخدام الرواسب المتشكلة في برك المعالجة الثالثية كأسمدة زراعية لاسيما في الأراضي الفقيرة بالكلس، وذلك بعد تنظيفها بشكل دوري.
 - 12- من المجدي أن تصرف مياه الصرف الصحي المعالجة إلى مسطحات مائية ذات أرضية غنية بكربونات الكالسيوم أو الجبس (كالأراضي الجبسية) حيث ستكون عاملاً فعالاً في إزالة الفوسفور من المياه.

Chemosphere. Vol. 63. No. 10. pp: 1744-1753. Oxford.

- 10- Neal, C., Helen P. Jarvie, Richard J., Williams, Neal M. et al. (2002). Phosphorus Calcium Carbonate Saturation Relationships in a Lowland Chalk River Impacted by Sewage Inputs and Phosphorus Remediation: An Assessment of Phosphorus Self – Cleansing Mechanisms in Natural Waters, The Science of the Total Environment. pp: 295-310. U.K.

11- محمد الأمين، علم التربة، 25 نيسان، 2018.
<https://agronomie.info/الاسمدة-الفوسفاتية/>

:المراجع (References)

- 1- هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية. (2013). المخلفات السائلة المسموح بطرحها إلى البيئة المائية (3474). الجمهورية العربية السورية. وزارة الصناعة. ص: 20.
- 2- Tchobanoglous, G., Franklin, L. B., & David, H. S. (2003). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 4th Ed. USA. p:1878.
- 3- Eugene, R. Weiner. (2000). Applications of Environmental Chemistry. London. Lewis Publishers. p: 723.
- 4- Lee, C.Y et al. (2004). Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads. Bio resource Technol., Essex. Vol. 92. No. 2. pp: 173-179.
- 5- McGuire, Elizabeth. Phosphorus Cycling in the Ellison Park Wetland at the Mouth of Irondequoit Creek: A Case Study Evaluating the Movement of Phosphorus as it Transits a Coastal Wetland of Lake Ontario. Environmental Science and Ecology. The College at Brockport: State University of New York. 14 July, 2011. http://digitalcommons.brockport.edu/env_theses/59
- 6- Khasawneh, F. E., Sample, E. C., Kamprath E. J. (1980). USA. The Role of Phosphorus in Agriculture. American Society of Agronomy. p: 910.
- 7- Renlu, Liu. Shanshan, Huang. Xiaowen, Zhang. Yongsheng, Song. Genhe, He. Zaifeng, Wangb. et al. Bio-mineralization, characterization, and stability of calcium carbonate containing organic matter. Royal Society of Chemistry. RSC. Advances.19 April, 2021. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2021/ra/d1ra00615k>
- 8- Arias, C. A., Bubba, M. D., & Brix, H. (2001). Phosphorous Removal by Sands for Use as Media in Subsurface Flow Constructed Reed Beds. Water Environment Research. Vol. 35. No. 5. pp: 1159-1168. Aarhus. Nordlandsvej. Denmark. Elsevier Science Ltd.
- 9- Hadad, H. R. et al. (2006). Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment.