

دراسة تحرر الأورثوفوسفات وعلاقته بعامل الزمن والأكسجين المنحل في أحواض ترسيب وتكثيف الحمأة

* الدكتور هيثم جناد

** باسم منصور

(تاريخ الإيداع 11 / 10 / 2016. قُبل للنشر في 30 / 1 / 2017)

□ ملخص □

يعد هذا العمل دراسة حقلية ومخبرية لتأثير عامل الزمن وتركيز الأكسجين المنحل على تحرر الأورثوفوسفات في المياه المعالجة الناتجة عن ترسيب وتكثيف الحمأة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة الرومية في ريف اللاذقية. تم تقييم كفاءة المحطة في إزالة الفوسفور من المياه المعالجة، ودراسة تحرر الأورثوفوسفات وعلاقته بعامل الزمن والأكسجين المنحل في حوضي الترسيب والتكثيف وفق ظروف المحطة. أجريت كذلك دراسة مخبرية لتحرر الأورثوفوسفات وعلاقته بزمن المكوث وتركيز الأكسجين المنحل، لعينات تحمل تراكيز أولية مختلفة للأورثوفوسفات هي: (20, 40, 60, 80) ملغ/ل.

أظهرت النتائج انخفاض كفاءة إزالة الأورثوفوسفات في المحطة حيث بلغت % 33.3 في شهر أيلول و % 41.6 خلال شهر تشرين الأول. كما أظهرت النتائج تحرر الأورثوفوسفات في أحواض الترسيب والتكثيف بازدياد زمن المكوث وبالتزامن مع انخفاض تركيز الأكسجين المنحل في كل منها.

بالنسبة للعينات الخاضعة للمعالجة وفق شروط تجريبية والتي تحمل تراكيز أولية مختلفة للأورثوفوسفات 20، 40، 60، 80 ملغ/ل، بدأ تحرر الأورثوفوسفات بعد مرور 4 ساعات من بدء عملية الترسيب وبقيت تراكيز الأورثوفوسفات ضمن الحدود المسموح بها للمحطة حتى زمن 10 ساعات. لوحظ عند استخدام الترسيب الكيميائي للأورثوفوسفات بإضافة كلوريد الحديد تأخر في تحرر الأورثوفوسفات وتحرر جزئي فقط مرتبط بجرعة كلوريد الحديد المضافة.

الكلمات المفتاحية: إزالة الفوسفور البيولوجية، إزالة المغذيات، الترسيب الكيميائي، تعزيز الإزالة البيولوجية للفوسفور، تكثيف الحمأة، الأكسجين المنحل

* مدرس - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Study the Release of Ortho-phosphate and its relation to the time and dissolved oxygen factors in sludge precipitation and thickening basins

Dr. Haitham Jnad*
Bassem Mansour**

(Received 11 / 10 / 2016. Accepted 30 / 1 / 2017)

□ ABSTRACT □

This work is a field and experimental study of effects of time and dissolved oxygen concentration factors on ortho-phosphate releasing in treated water resulting from sludge precipitation and thickening basins in Alruyemih wastewater treatment plant in the countryside of Latakia. Phosphorus removal efficiency from treated water in the plant has been evaluated and ortho-phosphate release and its relation to the time and dissolved oxygen factors in sludge precipitation and thickening basins have been studied according to plant conditions. An experimental studying of ortho-phosphate release and its relation to time and the dissolved oxygen factors for samples with different initial concentration of ortho-phosphate, which were 20, 40, 60, and 80 mg/l.

Results have shown a decrease of ortho-phosphate removal efficiency in the plant, which were 33.3 % in September and 41.6 % in October. Results have also shown ortho-phosphate release in sludge precipitation and thickening basins with increasing of retention time and decreasing of dissolved oxygen concentration in these basins.

For samples treated with experimental conditions of different initial concentrations of ortho-phosphate (20, 40, 60, and 80 mg/l), ortho-phosphate release has started after 4 hours of precipitation process beginning, and its concentrations have remained under allowed limits of the plant for 10 hours.

A time delay of ortho-phosphate release beginning has noticed when the chemical precipitation of ortho-phosphate has used. An ortho-phosphate partial release has also noticed, which is related to ferric chloride dose added.

Keywords: Biological Phosphorus Removal, Nutrient Removal, Chemical Precipitation, Enhanced Biological Phosphorus Removal, Sludge Thickening, Dissolved Oxygen.

*Assistant professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

**Postgraduate student, Department of Environmental Chemistry, Higher Institute of Environmental Research, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

تعد محطات معالجة الصرف الصحي ذات أهمية بالغة في مجال معالجة المياه وتقليل مستوى تلوثها وما له من أثر كبير على صحة الفرد والبيئة المحيطة به، وبالرغم من وجود عدد لا بأس به من هذه المحطات في الجمهورية العربية السورية إلا أن هناك الكثير من المشاكل التي لا تزال تقف عائقاً أمام الاستخدام الأمثل لهذه المحطات [1]. يتناول هذا البحث إحدى المشاكل الناتجة عن المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي في محطات المعالجة التي تعمل على هذا الأساس.

تخضع المياه المتدفقة إلى محطة المعالجة لعدة عمليات هي:

1. معالجة أولية
2. معالجة ثانوية.
3. معالجة متقدمة

تعتمد المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي في أحد جوانبها على إزالة الفوسفور من المياه المعالجة

للسبب الآتية:

✓ يعد الفوسفور مسبب رئيسي لظاهرة الإثراء الغذائي.

✓ عمليات الأكسدة التي يخضع لها هذا العنصر أثناء المعالجة قد تستنفذ بشكل كبير الأكسجين المنحل

ضمن المياه، الأمر الذي يؤثر سلباً على أداء محطة المعالجة [2].

يوجد الفوسفور في مياه الصرف الصحي إما بشكل عضوي أو بشكل معدني، وما يهمنا هو الشكل

المعدني لأنه الشكل المنحل في المياه على شكل أورثوفوسفات $(PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-)$ [3]، حيث تؤدي

الزيادة المفرطة في استخدام المنظفات المنزلية إلى ارتفاع تراكيز الأورثوفوسفات في مياه الصرف الصحي.

أشارت إحدى الإحصائيات التي أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية إلى أن نسبة المنظفات التي تقدم كميات

كبيرة من الفوسفات ثلاثية الصوديوم تعد نسبة كبيرة جداً وخاصة أن هذا المركب يتفكك بسهولة في الماء معطياً أيون

الأورثوفوسفات مما يزيد من تركيز الأورثوفوسفات في مياه الصرف الصحي [3].

يتحكم في ذوبان الفوسفور في الماء وجود الحديد أو الألمنيوم في الظروف الحمضية، أو وجود الكالسيوم في

الظروف القلوية، ويكون كل فلز من هذه الفلزات مركبات فوسفات غير ذائبة. وعندما تكون pH المحلول قريبة إلى حد

ما من الوسط الحمضي، يكون ذوبان الفوسفور أعلى ما يمكن وعلى هيئة $H_2PO_4^-$ [4].

هناك الكثير من الدراسات التي تناولت تحرير الأورثوفوسفات في مياه الصرف الصحي نذكر منها:

في عام 1998 تم دراسة النتائج المترتبة على تحرير الأورثوفوسفات وتأثيره على عملية إزالة الفوسفور بيولوجياً

حيث أظهرت النتائج أن التحرير الثانوي للفوسفور بدأ في الفترة ما بين ساعة إلى ثلاث ساعات بعد إضافة الحمأة، وأن

معدل تحرير الفوسفور كان $(0.2 - 0.4 \text{ mg P/g VSS.h})$ ، كما أظهرت النتائج أن تحرير الأورثوفوسفات بدأ بعد

مرور ساعتين من بدء عملية الترسيب للحمأة المأخوذة من نهاية دورة التهوية وبلغ أعظم قيمة بعد مرور

ساعة [5].

في دراسة أخرى لأثر الترسيب الكيميائي للفوسفور في عمليات تعزيز الإزالة البيولوجية للفوسفور، استخدمت

أملاح الألمنيوم والحديد، وقد وجد أن جرعة الألمنيوم والحديد الثلاثي المستخدمة كانت:

$(2.2 \text{ g Al/g P}, 2.7 \text{ g Fe/g P})$ وقد بلغت كفاءة إزالة الأورثوفوسفات % 91 [6].

أكدت وكالة حماية البيئة الأمريكية (US-EPA) في دراسة أجريت عام (2013) أن الرقم الهيدروجيني هو عامل مهم في تحديد أداء عملية إزالة الفوسفور البيولوجية وبينت التجارب أن الرقم الهيدروجيني المناسب لإزالة فعالة للأورثوفوسفات محصور بين (7-9) وأن كفاءة الإزالة تتخفض بشكل واضح عند قيمة pH أصغر من 7 [7].

في دراسة أخرى وجد باحثون أن لتركيز الأكسجين المنحل ودرجة الحرارة أثر كبير في عملية إزالة الفوسفور البيولوجية حيث أوضحت الدراسة أن تركيز الأكسجين المنحل الأفضل لهذه العملية يجب أن لا يقل عن 2 ملغ/ل. [8].

وأن درجة الحرارة المثلى كانت 20°C [7]، كما لوحظ أن انخفاض درجة الحرارة في المرحلة الهوائية إلى 5°C يؤدي إلى تناقص كبير في امتصاص الفوسفور، بينما عند رفع درجة الحرارة أعلى من 15°C زادت معدلات إزالة الفوسفور بشكل ملحوظ [9].

كما أوضحت الدراسة أن انخفاض درجة الحرارة يمكن أن يؤدي إلى زيادة تركيز النترات في الحمأة المعادة الأمر الذي يؤثر على عملية إزالة الفوسفور البيولوجية، حيث أظهرت الدراسات أن 90 % من النترجة ممكنة في درجات حرارة منخفضة تصل إلى 8°C [10].

وفي دراسة أخرى للتأكد من تأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني على كفاءة الإزالة البيولوجية للمغذيات (الفوسفور والأزوت) في محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وجد أن الرقم الهيدروجيني المناسب لإزالة الفوسفات هو محصور بين (7-9) وأن أعلى قيمة لامتناس الفوسفات وجدت عند درجة حرارة 25°C [11].

منطقة الدراسة: (محطة الروميّة-ريف اللاذقية):

تقع محطة الروميّة إلى الجنوب الشرقي من مركز مدينة اللاذقية وتبعد عن الطريق الدولي اللاذقية-دمشق حوالي 4 كم، تعالج مياه الصرف الصحي القادمة من عدة قرى بالتهوية المديدة باستخدام الحمأة المنشطة، ويبلغ عدد السكان المخدمين 5720 نسمة.

يوضح الجدول (1) قيم بعض مؤشرات الأداء البيئي التصميمي للمحطة والمنسجمة مع المواصفات القياسية السورية رقم /2752/ لعام 2003 [12]:

الجدول رقم (1) بعض مؤشرات الأداء البيئي التصميمي للمحطة

الواحدة	المؤشر
400mg/l	تركيز BOD في التدفق الداخل للمحطة
25mg/l	تركيز الأورثوفوسفات في التدفق الداخل للمحطة
20mg/l	تركيز BOD في التدفق المعالج
3mg/l	تركيز الأورثوفوسفات في التدفق المعالج
95%	فعالية إزالة BOD التصميمية المطلوبة
88%	فعالية إزالة الأورثوفوسفات التصميمية المطلوبة

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من كون المياه العائدة من أحواض التكثيف إلى بداية المحطة قد تحمل معها تراكيز عالية من الأورثوفوسفات التي تؤثر على مواصفات المياه كما تؤثر على عمل المحطة في حال ضخها بشكل مفاجئ وتخفض فعاليتها وتؤدي إلى هدر بطاقة المحطة نتيجة عودة المغذيات إليها مرة أخرى، كما أن ارتفاع تركيز

الأورثوفوسفات في المياه الناتجة عن أحواض الترسيب يؤثر على مواصفات المياه المعالجة والبيئة المستقبلية لهذه المياه.

وتتلخص أهداف البحث بما يلي:

- دراسة تأثير عامل الزمن والأكسجين المنحل على تحرر الأورثوفوسفات من أحواض الترسيب والتكثيف وساحات التجفيف
- قطف عينات من الحمأة الداخلة إلى المحطة ومعالجتها في شروط تجريبية، ثم دراسة تحرر الأورثوفوسفات مع مرور الزمن.

طرائق البحث ومواده:

1- مراحل البحث:

تم تنفيذ البحث على أربعة مراحل:

المرحلة الأولى: تم تقييم كفاءة إزالة الأورثوفوسفات في المحطة، على مدار شهرين وبمعدل ثلاثة قطفات في كل شهر.

المرحلة الثانية: تم فيها دراسة تحرر الأورثوفوسفات بمرور الزمن وفق ظروف المحطة وتأثير انخفاض تركيز الأكسجين المنحل على تحرر الأورثوفوسفات. تم تحديد تركيز الأورثوفوسفات في عينة الحمأة والمياه السطحية، ومن ثم تمت دراسة تأثير عامل الزمن وتركيز الأكسجين المنحل على تحرر الأورثوفوسفات خلال مدة 24 ساعة. المرحلة الثالثة: تم دراسة تحرر الأورثوفوسفات لمجموعة من عينات الحمأة وبتراكيز أولية مختلفة للأورثوفوسفات (20, 40, 60, and 80 mg/l) وذلك بعد إخضاعها إلى معالجة لاهوائية لمدة ساعة ومعالجة هوائية لمدة 28 ساعة، ثم ترسيب ودراسة تحرر الأورثوفوسفات بمرور الزمن. المرحلة الرابعة: تم فيها دراسة الترسيب الكيميائي للأورثوفوسفات باستخدام كلوريد الحديد.

2- الأدوات والأجهزة المستخدمة:

- ❖ جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH ELECTRODE+ Temp.) موديل PE-03K7.
- ❖ جهاز (Spectrophotometer) لقياس تركيز الأورثوفوسفات الكلي في المياه. المعهد العالي للبحوث البحرية
- ❖ جهاز قياس تركيز الأكسجين المنحل (DISSOLVED OXYGEN METER) موديل YK-22DO يحمل الرقم (40541) صنع تايوان. المخبر رقم 3 في المعهد العالي لبحوث البيئة.
- ❖ خلاط ميكانيكي، ناشر هواء.
- ❖ فرن تجفيف نوع FN 400 صنع شركة nuve تركيا. المخبر رقم 3 في المعهد العالي لبحوث البيئة.
- ❖ أدوات مخبرية وزجاجات لجمع العينات وحفظها.

3- جمع العينات:

تم قطف العينات من أربع مواقع هي:

- ✓ الموقع الأول: مدخل محطة المعالجة بعد الحواجز القصبانية.
- ✓ الموقع الثاني: المخرج النهائي للمحطة بعد حوض الكلورة.

✓ الموقع الثالث: حوض الترسيب.

✓ الموقع الرابع: حوض التكثيف.

جمعت العينات في عبوات من البولي إيثيلين سعة كل منها 3 ليتر، نظيفة ومغسولة بشكل جيد بالماء المقطر، وثبتت بطاقة لاصقة على كل عبوة مدون عليها موقع قطف العينة وتاريخ القطف، وساعة القطف. ثم بعد ذلك وضعت العينات في حاوية مبردة بعد إضافة بضع قطرات من حمض الكبريت الممدد [13]، ثم نقلت إلى مخبر المعهد العالي لبحوث البيئة لإجراء التحاليل اللازمة.

4 - المواد الكيميائية والكواشف المستخدمة:

- ☒ كاشف موليبيدات الأمونيوم $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$
- ☒ كاشف كلوريد القصدير $SnCl_2 \cdot 2H_2O$.
- ☒ فوسفات أحادية البوتاسيوم KH_2PO_4 .
- ☒ فاندات الأمونيوم NH_4VO_3 .
- ☒ حمض كبريت مركز H_2SO_4 (98%)
- ☒ حمض كبريت ممدد. (1/10)
- ☒ غليسرول.
- ☒ ماء ثنائي التقطير. (جميع المواد المستخدمة كانت عالية النقاوة).

5- التحاليل المستخدمة:

- i. تحديد قيمة الـ pH بواسطة جهاز الـ pH meter.
 - ii. تحديد تركيز الأكسجين المنحل (DO) بواسطة جهاز DISSOLVED OXYGEN METER
 - iii. تحديد تركيز الأورثوفوسفات الكلي بواسطة جهاز (Spectrophotometer).
- تحديد تركيز الأورثوفوسفات في عينات المياه وفق طريقة ستانوس [14]:
1. تحضير كاشف موليبيدات الأمونيوم:
 - أذيب 2.5 g من $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ في 17.5 ml ماء ثنائي التقطير.
 - أضيف بحدز 28 ml من حمض الكبريت المركز إلى 40 ml ماء ثنائي التقطير
 - أضيف محلول الموليبيدات إلى محلول حمض الكبريت وتم الحجم إلى 100 ml.
 2. تحضير كاشف كلوريد القصدير (كاشف ستانوس):
 - أذيب 2.5 g من كلوريد القصدير $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ في 100 ml غليسرول وسخن على حمام مائي مع التحريك حتى الذوبان التام.
 3. تحضير محلول الفوسفات:
 - أذيب 0.022 g من فوسفات أحادية البوتاسيوم KH_2PO_4 بالماء المقطر ثم أكمل الحجم إلى 100 ml.
 4. تحضير السلسلة العيارية:
 - أخذ 10 ml من محلول الفوسفات وأكمل الحجم حتى 100 ml، ثم حضر منحنى المعايرة بالتركيز المطلوبة 0.1, 0.2, 2, 4, 6, and 8mg/l
 - أضيف لكل عبوة 2 ml موليبيدات الأمونيوم وخمس قطرات من كاشف ستانوس ثم قيست الامتصاصية عند

طول موجة 690 نانو متر، وبعد ذلك رسم المخطط البياني.

5. طريقة قياس تركيز العينات:

رشّحت العينة، ثم أخذ 50 ml منها وأضيف لها 2 ml موليبديات الأمونيوم وخمس قطرات من كاشف

ثم حدد تركيز الأورثوفوسفات على جهاز السبكتروفوتومتر عند طول الموجة المحدد.

تحديد تركيز الأورثوفوسفات في عينات الحمأة:

تم تهضيم العينة وفق طريقة Cresser and Parsons [15]، ثم تم القياس بالطريقة اللونية

(الفاندات موليبديات) [16].

_ تم حساب فعالية إزالة المغذيات من العلاقة:

$$E(\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} * 100$$

C_{in} : تركيز الأورثوفوسفات الداخل إلى المحطة. C_{out} : تركيز الأورثوفوسفات النهائي.

النتائج والمناقشة:

i. تقييم كفاءة المحطة في إزالة الأورثوفوسفات:

تم تمثيل تراكيز الأورثوفوسفات للعينات المأخوذة من مدخل ومخرج المحطة خلال شهري أيلول وتشرين الأول

2015 وكفاءة إزالة الأورثوفوسفات في الجدول رقم (2).

الجدول رقم (2) تقييم كفاءة المحطة في إزالة الأورثوفوسفات

رقم العينة	تاريخ القطف	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ل)		E%	avg
		المدخل	المخرج		
1	2/9/2015	7.583	5.247	30.8%	33.3%
2	16/9/2015	5.932	3.968	33.1%	
3	28/9/2015	7.822	5.006	36%	
4	7/10/2015	11.617	7.028	39.5%	41.6%
5	18/10/2015	8.736	4.997	42.8%	
6	28/10/2015	10.376	5.966	42.5%	

✓ أظهرت النتائج أن كفاءة إزالة الأورثوفوسفات قد بلغت % 33.3 خلال شهر أيلول و % 41.6 خلال شهر تشرين الأول.

✓ لوحظ انخفاض كبير في كفاءة إزالة الأورثوفوسفات بالمقارنة مع كفاءة الإزالة التصميمية المطلوبة.

ii. دراسة تحرر الأورثوفوسفات بمرور الزمن وفق ظروف المحطة:

تم جمع عينات المياه من حوض الترسيب وحوض التكتيف، بمعدل عينة كل ساعتين، ومن ثم تمت دراسة

تحرر الأورثوفوسفات مع مرور الزمن. تم أخذ ثلاث مكررات عند كل قياس لتركيز الأورثوفوسفات وحساب المتوسط

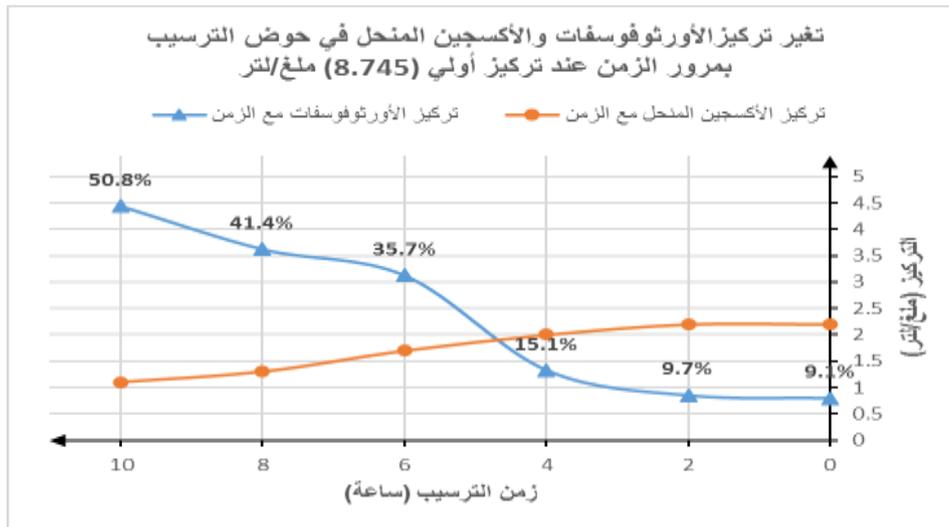
الحسابي لها. بلغ تركيز الأورثوفوسفات الداخل إلى المحطة 8.745 ملغ/ل، بينما بلغ تركيز الأورثوفوسفات في

حوض الترسيب عند بدء عملية الترسيب 0.80 ملغ/ل، وفي حوض التكثيف عند بدء عملية التكثيف 1.25 ملغ/ل.

يوضح الجدولان (3)، (4) والشكلان (1)، (2) تغير تراكيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل بمرور الزمن للعينات المقطوفة من حوض الترسيب وحوض التكثيف.

الجدول رقم (3) تأثير عامل الزمن وتركيز الأكسجين المنحل على تحرر الأورثوفوسفات في حوض الترسيب

زمن الترسيب (ساعة)	pH	درجة الحرارة الوسطية (°C)	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ لتر)	تركيز الأكسجين المنحل (ملغ/ لتر)	النسبة المئوية المتحررة (%)	E%
0	7.4	11.6	0.8	2.2	9.1	90.9
2	7.4		0.85	2.2	9.7	90.3
4	7.3		1.32	2.00	15.1	84.9
6	7.3		3.12	1.7	35.7	64.3
8	7.1		3.62	1.3	41.4	58.6
10	7.1		4.44	1.1	50.8	49.2

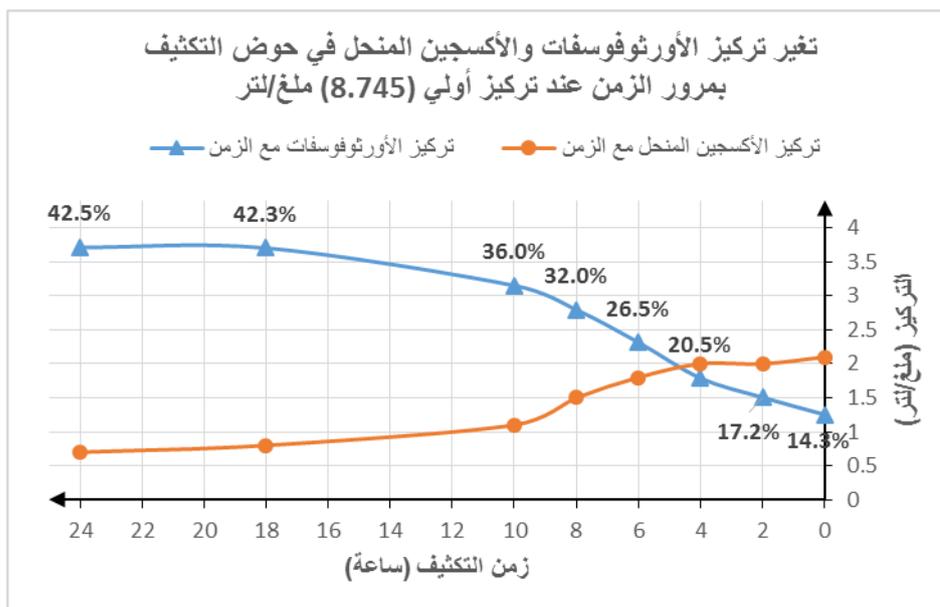


الشكل رقم (1) المنحني البياني المعبر عن تغير تراكيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل في حوض الترسيب بمرور الزمن

الجدول رقم (4) تأثير عامل الزمن وتركيز الأكسجين المنحل على تحرر الأورثوفوسفات في حوض التكثيف

زمن التكثيف (ساعة)	PH	درجة الحرارة الوسطية °C	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ لتر)	تركيز الأكسجين المنحل (ملغ/ لتر)	النسبة المئوية المتحررة (%)	E%
0	7.3		1.2533	2.1	14.3	85.7
2	7.3		1.5062	2.0	17.2	82.8
4	7.3		1.5892	2.0	18.2	81.8

73.5	26.5	1.8	2.3160	11.6	7.2	6
69.1	30.9	1.5	2.7055		7.2	8
64.0	36	1.1	3.1511		7.1	10
57.7	42.3	0.8	3.7028		7.0	18
57.5	42.5	0.7	3.7142		7.0	24



الشكل رقم (2) المنحني البياني المعبر عن تغير تراكيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل في حوض التكتيف بمرور الزمن

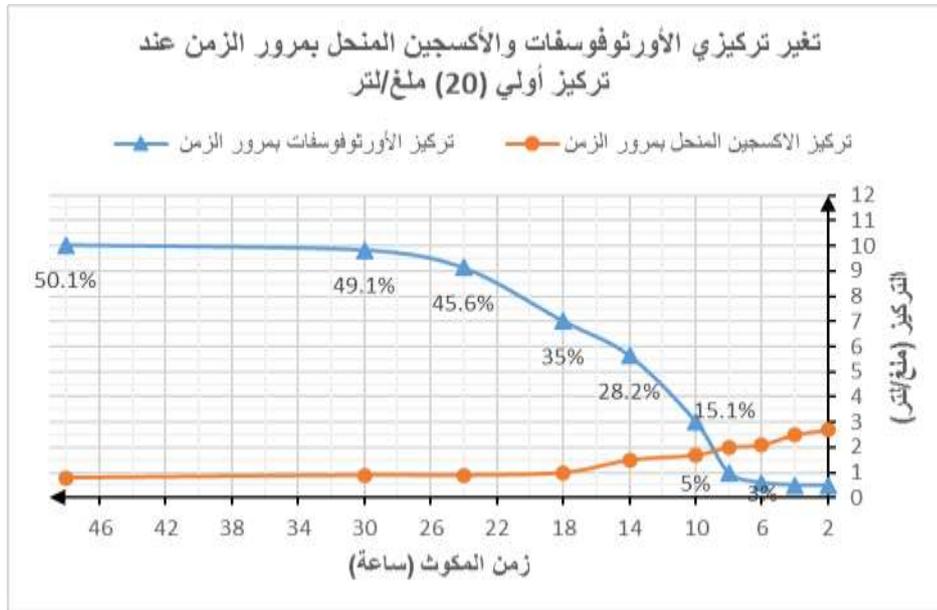
- ❖ أظهرت النتائج ارتفاع تراكيز الأورثوفوسفات في حوضي الترسيب والتكتيف مع مرور الزمن بالتزامن مع انخفاض تركيز الأكسجين المنحل في كلا الحوضين، حيث بلغت قيمة معامل الارتباط $R = 98\%$ في كلا الحوضين وهي قيمة تشير إلى ارتباط قوي، وبلغت النسبة المئوية المتحررة من الأورثوفوسفات في حوض الترسيب بعد مرور 6 ساعات على بدء عملية الترسيب 35.7 % عند قيمة $pH = 7.3$ ، بينما بلغت النسبة المئوية المتحررة في حوض التكتيف بعد مرور 18 ساعة على بدء عملية التكتيف 42.3 % عند قيمة $pH = 7$.
- ❖ بمقارنة النتائج مع القيم التصميمية المطلوبة لتركيز الأورثوفوسفات في المياه المعالجة لوحظ ارتفاع في تركيز الأورثوفوسفات في كلا الحوضين عن القيم التصميمية المطلوبة عندما تجاوز زمن المكوث 10 ساعات.
- iii. دراسة تحرر الأورثوفوسفات مخبرياً عند تراكيز أولية مختلفة للأورثوفوسفات:
- تم تحضير أربع عينات من الحمأة المأخوذة من المحطة، بتراكيز أولية مختلفة من الأورثوفوسفات (20, 40, 60, 80 mg/l)، تم إخضاع هذه العينات لمعالجة لاهوائية لمدة ساعة ومعالجة هوائية لمدة (28) ساعة ثم رسبت العينات وتركت لمدة ساعتين حتى انفصل الطور الصلب عن السائل ثم تمت دراسة تحرر الأورثوفوسفات بمرور الزمن.
- ❖ بلغت درجة الحرارة الوسطية في جميع العينات طيلة فترة الدراسة $15.6^\circ C$.

توضح الجداول (5، 6، 7، 8) الارتباط بين عامل الزمن وتركيز الأكسجين المنحل وتحرر

الأورثوفوسفات.

الجدول (5) النسبة المئوية المتحررة من الأورثوفوسفات بمرور الزمن عند تركيز أولي (20 ملغ/ل

النسبة المئوية المتحررة (%)	تركيز الأكسجين المنحل (ملغ/ لتر)	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ لتر)	درجة الحرارة الوسطية °C	زمن المكوث (ساعة)	pH	E%
2.4	2.7	0.4811	15.6	2	7.5	97.6
2.5	2.5	0.4903		4	7.4	97.5
3	2.1	0.5903		6	7.5	97
5	2.0	0.995		8	7.3	95
15.1	1.7	3.0195		10	7.3	84.9
28.2	1.5	5.634		14	7.1	71.8
35	1.0	7.0019		18	7.1	65.0
45.6	0.9	9.1170		24	6.9	54.4
49.1	0.9	9.8252		30	6.9	50.9
50.1	0.8	10.025		48	6.6	49.9



الشكل رقم (3) المنحني البياني المعبر عن تغير تركيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل بمرور الزمن عند تركيز أولي (20 ملغ/ل

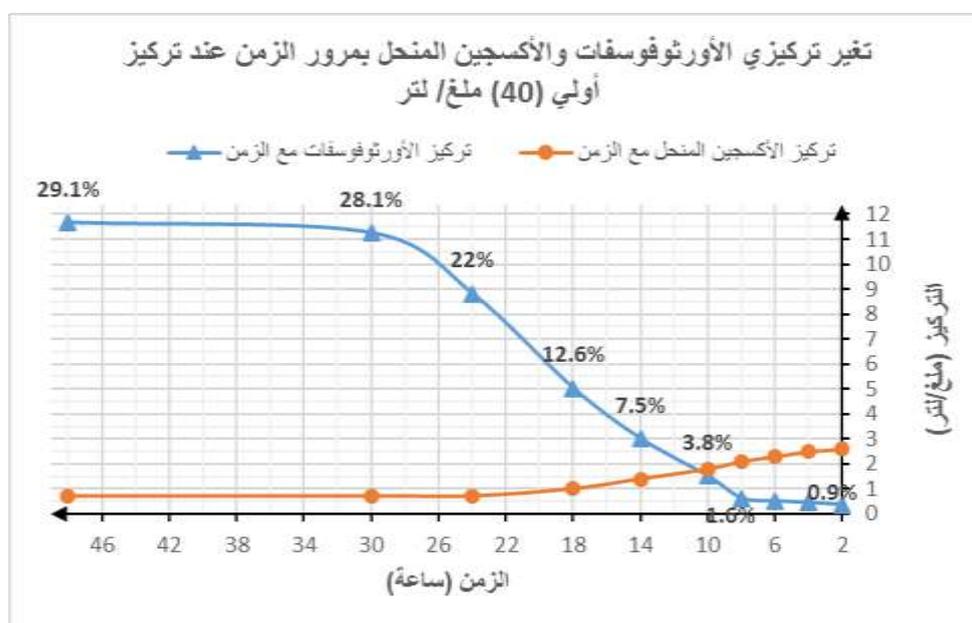
أظهر الجدول (5) أن تركيز الأورثوفوسفات بقي قريب من الحدود المسموحة خلال الـ 10 ساعات الأولى من الترسيب حيث بلغ تركيز الأورثوفوسفات في المياه المعالجة بعد 10 ساعات من بدء عملية الترسيب 3.01 ملغ/ل وهي قريبة من الحدود المسموح بها لمياه الصرف الصحي المعالجة، وبقيت كفاءة إزالة الأورثوفوسفات قريبة من القيم التصميمية المطلوبة. بينما انخفضت كفاءة الإزالة تدريجياً مع ازدياد زمن الترسيب وانخفاض تركيز الأكسجين

المنحل، وأشارت قيمة معامل الارتباط $R = 95.4\%$ إلى وجود ارتباط قوي بين تحرر الأورثوفوسفات وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل.

❖ بلغ تركيز الأورثوفوسفات في المياه بعد مرور 24 ساعة 9.11 ملغ/ل وهو أكبر بكثير من التركيز التصميمي المطلوب للأورثوفوسفات في المياه المعالجة.

الجدول (6) النسبة المئوية المتحررة من الأورثوفوسفات بمرور الزمن عند تركيز أولي (40 ملغ/ل)

النسبة المئوية المتحررة (%)	تركيز الأكسجين المنحل (ملغ/ لتر)	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ لتر)	درجة الحرارة الوسطية (°C)	pH	زمن المكوث (ساعة)
99.1	2.6	0.3631	15.6	7.5	2
98.9	2.5	0.4511		7.5	4
98.7	2.3	0.5122		7.6	6
98.4	2.1	0.6233		7.5	8
96.2	1.8	1.5115		7.3	10
92.5	1.4	3.0112		7.3	14
87.4	1.0	5.0334		7.1	18
78.0	0.7	8.8155		7.0	24
71.9	0.7	11.2421		6.8	30
70.9	0.7	11.6530		6.8	48



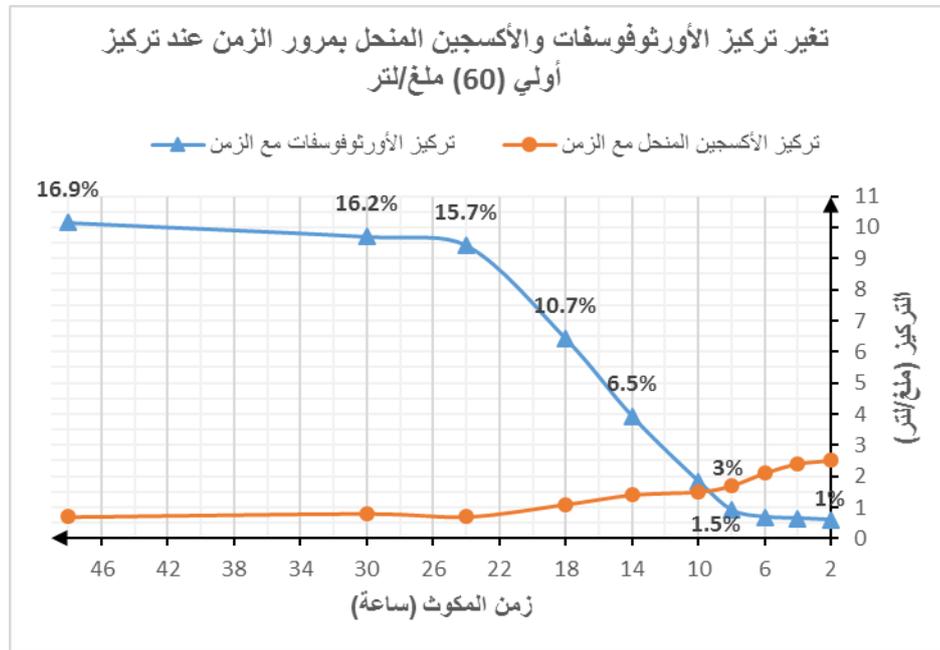
الشكل رقم (4) المنحني البياني المعبر عن تغير تركيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل بمرور الزمن عند تركيز أولي (40 ملغ/ل)

❖ أظهرت النتائج ارتفاع كفاءة إزالة الأورثوفوسفات بالمقارنة مع العينة ذات التركيز الأولي 20 ملغ/ل، حيث بقيت التراكيز ضمن الحدود المسموح بها تقريباً إلى حدود 14 ساعة من الزمن الترسيب وبلغت النسبة

المئوية المتحررة عندها 7.5 %، وقيمة الـ $pH = 7.3$ ، وبقيت فعالية إزالة الأورثوفوسفات قريبة من القيم التصميمية المطلوبة إلى حدود 18 ساعة، ثم انخفضت كفاءة الإزالة تدريجياً مع ازدياد زمن الترسيب وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل، وبلغت قيمة معامل الارتباط بين تحرر الأورثوفوسفات وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل $R = 92\%$.

الجدول (7) النسبة المئوية المتحررة من الأورثوفوسفات بمرور الزمن عند تركيز أولي (60 ملغ/ل

النسبة المئوية المتحررة (%)	تركيز الأكسجين المنحل (ملغ/ لتر)	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ لتر)	درجة الحرارة الوسطية (°C)	pH	زمن المكوث (ساعة)
99	2.5	0.5930	15.6	7.5	2
98.9	2.4	0.6437		7.5	4
98.9	2.1	0.6883		7.5	6
98.5	1.7	0.9044		7.5	8
97.0	1.5	1.8223		7.3	10
93.5	1.4	3.9105		7.3	14
89.3	1.1	6.4046		7.1	18
84.3	0.7	9.4195		7.0	24
83.8	0.8	9.7071		7.0	30
83.1	0.7	10.1531		6.8	48



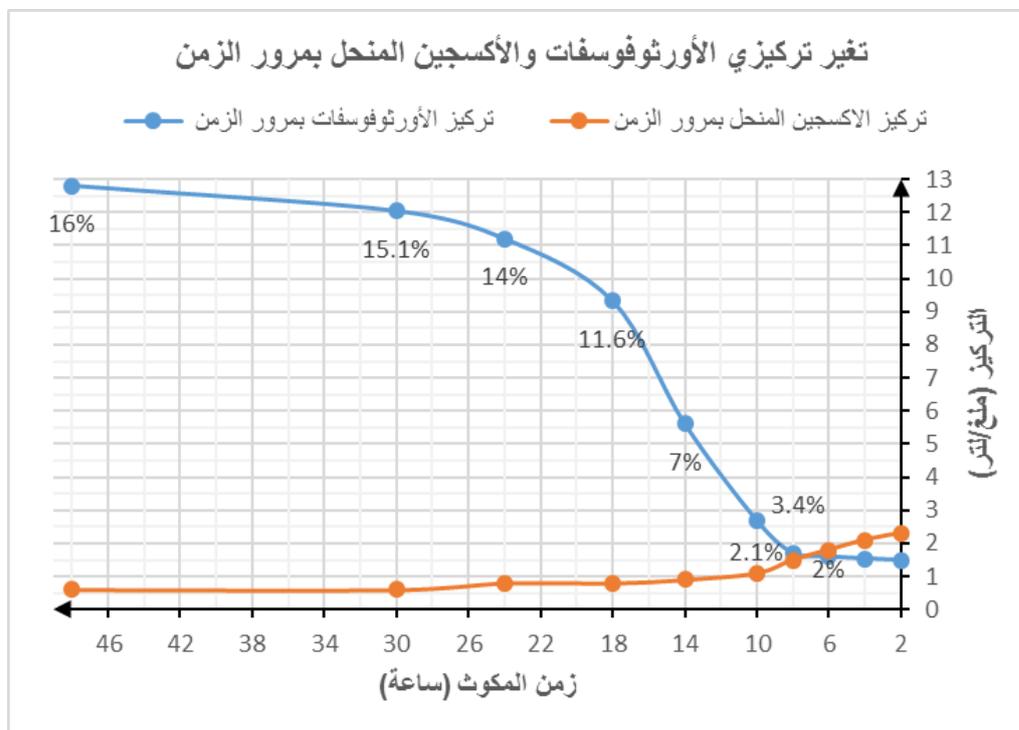
الشكل رقم (5) المنحني البياني المعبر عن تغير تركيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل بمرور الزمن عند تركيز أولي (60 ملغ/ل

❖ أظهرت النتائج أن كفاءة الإزالة كانت جيدة خلال زمن الدراسة، وبقي تركيز الأورثوفوسفات قريباً من التركيز التصميمي المطلوب إلى حدود 14 ساعة من بدء عملية الترسيب، حيث بلغ تركيز الأورثوفوسفات عندها

3.91 ملغ/ل، عند قيمة $pH = 7.3$ والنسبة المئوية المتحررة عندها % 6.5، ثم ارتفع تركيز الأورثوفوسفات تدريجياً بازدياد زمن المكوث وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل، وبلغت قيمة معامل الارتباط بين تحرر الأورثوفوسفات وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل $R = 92\%$.

الجدول (8) النسبة المئوية المتحررة من الأورثوفوسفات بمرور الزمن عند تركيز أولي (80 ملغ/ل

E%	النسبة المئوية المتحررة (%)	تركيز الأكسجين المنحل (ملغ/ لتر)	تركيز الأورثوفوسفات (ملغ/ لتر)	درجة الحرارة الوسطية (°C)	pH	زمن المكوث (ساعة)
98.1	1.9	2.3	1.4923	15.6	7.1	2
98.1	1.9	2.1	1.5412		7.1	4
98	2	1.6	1.6058		7.1	6
97.9	2.1	1.5	1.7116		7.1	8
96.6	3.4	1.1	2.6951		7.0	10
93	7	0.9	5.6124		7.0	14
88.4	11.6	0.8	9.3195		6.7	18
86.0	14	0.8	11.2001		6.6	24
84.9	15.1	0.6	12.042		6.6	30
84	16	0.6	12.803		6.6	48



الشكل رقم (6) المنحني البياني المعبر عن تغير تركيز الأورثوفوسفات والأكسجين المنحل بمرور الزمن عند تركيز أولي (80 ملغ/ل

❖ لوحظ من الجدول (8) أن تركيز الأورثوفوسفات قد بلغ 5.61 ملغ/ل بعد مرور 14 ساعة على بدء عملية الترسيب وبلغت النسبة المئوية المتحررة عندها 7 % وقيمة الأس الهيدروجيني عندها $pH = 7$. وبلغ تركيز الأورثوفوسفات بعد زمن 24 ساعة 11.2 ملغ/ل، بينما بقيت كفاءة إزالة الأورثوفوسفات قريبة من القيم التصميمية المطلوبة إلى حدود 18 ساعة من زمن الترسيب.

❖ بلغت قيمة معامل الارتباط بين تحرر الأورثوفوسفات وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل $R = 84.9\%$.

iv. دراسة الترسيب الكيميائي للأورثوفوسفات باستخدام كلوريد الحديد:

تم تحضير عينات من الحمأة المقطوفة من مدخل حوض الترسيب.

♦ وضعت العينات في ثلاثة أرلينات سعة كل منها 1 لتر.

- العينة الأولى: تمت معالجتها ورسبت دون أي إضافة من كلوريد الحديد وعند تركيز أولي للأورثوفوسفات بلغ 18.87 ملغ/ل، وبلغت قيمة الـ $pH = 7.6$.

- العينة الثانية: تمت معالجتها ثم أضيف كلوريد الحديد بنسبة وزنية (1/1) (كلوريد حديد/ أورثوفوسفات)، عند تركيز أولي للأورثوفوسفات 18.87 ملغ/ل، وبلغت قيمة الـ $pH = 7.3$.

- العينة الثالثة: تمت معالجتها ثم أضيف كلوريد الحديد بنسبة وزنية (1/3) (كلوريد حديد/ أورثوفوسفات)، عند تركيز أولي للأورثوفوسفات 18.87 ملغ/ل، وبلغت قيمة الـ $pH = 7.0$.

- حركت العينات بعد إضافة كلوريد الحديد ببطء لمدة ساعتين قبل بدء دراسة تحرر الأورثوفوسفات.

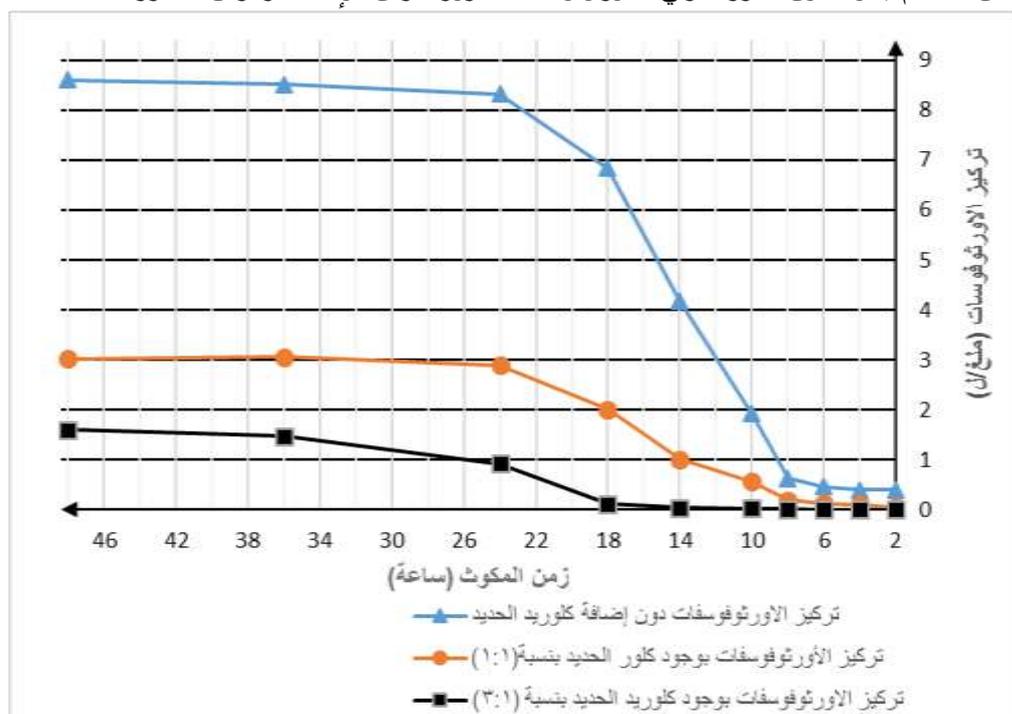
♦ يوضح الجداول (9) والشكل (7) تركيز الأورثوفوسفات في العينات المدروسة:

الجدول (9) فعالية إزالة الأورثوفوسفات لثلاث عينات، الأولى دون إضافة كلوريد الحديد E_1 ، والثانية والثالثة E_2, E_3 بوجود كلوريد الحديد بنسبة وزنية: (1:1)، (3:1) (أورثوفوسفات: كلوريد الحديد) على الترتيب.

E_3 (%)	C_3 (mg/l)	E_2 (%)	C_2 (mg/l)	E_1 (%)	C_1 (mg/l)	درجة الحرارة الوسطية (°C)	الزمن (h)
100.0	0.0027	99.7	0.0599	97.9	0.3945	17.7	2
100.0	0.0029	99.5	0.103	97.9	0.4015	17.5	4
100.0	0.0081	99.3	0.1324	97.6	0.4615	17.5	6
99.9	0.0113	99.0	0.1911	96.6	0.6366	17.5	8
99.9	0.0261	97.0	0.5645	89.8	1.9225	17.7	10
99.8	0.0455	94.6	1.017	77.9	4.1758	17.7	14
99.4	0.119	89.3	2.013	63.8	6.8375	17.6	18
95.1	0.9252	84.7	2.8954	55.9	8.3202	17.6	24
92.2	1.4792	83.8	3.0631	54.9	8.5164	17.6	36
91.5	1.6011	83.1	3.0194	54.4	8.6022	17.6	48

❖ لوحظ من الجدول (9) انخفاض تركيز الأورثوفوسفات في عينات المياه بإضافة كلوريد الحديد.
 ❖ أظهرت النتائج تحرر كبير للأورثوفوسفات بمرور الزمن في العينة الأولى (دون إضافة كلوريد الحديد)،

بالمقارنة بتحرر جزئي للأورثوفوسفات في كل من العينتين الثانية والثالثة (مع إضافة كلوريد الحديد).
 ❖ بالرغم من انخفاض تركيز الأورثوفوسفات في المياه باستخدام الترسيب الكيميائي بإضافة كلوريد الحديد إلا أن ذلك لم يحول دون تحرر جزئي للأورثوفوسفات بمرور الزمن، وإنما أحرز زمن التحرر.



الشكل رقم (7): تحرر الأورثوفوسفات بعلاقة الزمن لثلاث عينات، الأولى دون إضافة كلوريد الحديد والثانية والثالثة مع إضافة كلوريد الحديد بنسبة (1:1)، (3:1) (أورثوفوسفات: كلوريد الحديد) على الترتيب.

الاستنتاجات والتوصيات:

- بينت النتائج انخفاض فعالية إزالة الأورثوفوسفات في المحطة مقارنةً مع فعالية الإزالة التصميمية للمحطة.
- أظهرت نتائج دراسة تحرر الأورثوفوسفات في حوضي الترسيب والتكثيف أن زمن مكوث الحمأة الكبير في كلا الحوضين سبب رئيسي في ارتفاع تراكيز الأورثوفوسفات في المياه الناتجة عن المحطة، كما أن زيادة زمن المكوث في هذه الأحواض تؤدي إلى تحرر الأورثوفوسفات في المياه المفصولة التي يتم إعادتها إلى بداية المحطة مما يؤدي إلى انخفاض في فاعلية المحطة.
- بالنسبة للعينات المعالجة في المختبر، أظهرت النتائج أن التحرر بدأ يظهر بوضوح في العينات الأربعة بعد مرور 4 ساعات على بدء عملية الترسيب أو التكثيف، وبقي تركيز الأورثوفوسفات في المياه ضمن الحدود المسموحة إلى حدود العشر ساعات الأولى، ثم بدأ تركيز الأورثوفوسفات بالارتفاع تدريجياً في جميع العينات.
- لوحظ وجود علاقة ارتباط قوية نسبياً بين تحرر الأورثوفوسفات وانخفاض تركيز الأكسجين المنحل، الأمر الذي قد يعود إلى نقص كمية الأكسجين التي تحتاجها الكائنات الحية من أجل ضم الفوسفات إلى كتلتها الحيوية.

- لوحظ عند استخدام الترسيب الكيميائي للأورثوفوسفات بإضافة كلوريد الحديد انخفاض في تركيز الأورثوفوسفات في المياه المعالجة، كما لوحظ تأخر في تحرر الأورثوفوسفات وتحرر جزئي مرتبط بجرعة كلوريد الحديد المضافة.
- يجب ضبط زمن مكوث الحمأة في أحواض الترسيب والتكثيف بحيث لا يتجاوز زمن المكوث (10-14) ساعة في حال عدم استخدام الترسيب الكيميائي للأورثوفوسفات، وذلك لمنع تحرر الأورثوفوسفات في هذه الأحواض، الأمر الذي يؤثر على مواصفات المياه الخارجة من المحطة.

المراجع:

1. سعيد، مرام. تقييم كفاءة أنظمة الصرف الصحي في محافظة اللاذقية . رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة البيئية، جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، سوريا، 2014، 118.
2. AKPOR,O.B. *Wastewater Effluent Discharge: Effects and Treatment Processes*. International Conference on Chemical, Biological, and Environmental Engineering, Singapore, Vol.20, 2011, 85-91.
3. طلب، مازن أحمد. دراسة تلوث المياه بالفوسفات في بعض مناطق القطر العربي السوري . مكتبة الجامعة الأردنية، الأردن، 2007، 1-14.
4. إسلام، أحمد، مدحت؛ عمارة، مصطفى، محمود. *كيمياء البيئية*. الطبعة الأولى، دار الفكر العربي، مصر، 2006، 462.
5. WASIAC,K.W; HEDUIT,A; AUDIAC,J. *Consequences of an Occasional Secondary phosphorus Removal*. Institute of Agricultural and Environmental Engineering Research, France, Vol. 22 No. 2,1996, 91- 96.
6. KILIAN,R.; SHAMADA,T. *Struvite and Chemical Precipitation Evaluation*. Applied Technologies, Technical Memorandum, No. 6, 2009, 1-22.
7. United States Environmental Protection Agency (USEPA) National Section 303(d) List Fact Sheet. USEPA; Las Vegas, NV, USA: [(accessed on 28 October 2013)]. Available online: http://iaspub.epa.gov/waters/national_rept.control.
8. Shehab, O; Deininger, R; Porta, F; Wojewski, T. *Optimising phosphorus removal at the Ann Arbor wastewater treatment plant*. Water Sci Technol, 1996,34(1-2):493-9.
9. MULKERRINS, D.; DOBSON,A.D.W.; COLLERAN,E. *Parameters Affecting Biological Phosphate Removal from Wastewater*. ELSEVIER, HOLLAND, Environment International, Vol.30, 2004, 249- 259.
10. Choi E, Rhu D, Yun Z, Lee E. *Temperature effects on biological nutrient removal system with weak municipal wastewater*. Water Sci Technol 1998;37(9):219– 26.
11. AKPOR,O.B.; MOMBA,M.N.B.; OKONKWO,J.O. *The Effects of pH and Temperature on Phosphate and Nitrate Uptake by Wastewater Protozoa*. African Journal of Biotechnology, South Africa, Vol.7 N.13,2008, 2221-2226.
12. هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، المواصفات القياسية السورية رقم /2752/ لمياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري. المراجعة الأولى، وزارة الصناعة، دمشق، (2003).

13. American Water Works Association. *Standard Methods for the Examination of water and Waste water*. 1999, 541.

14. APHA (American Public Health Association), (1998), 20th. Edition: *Standard method for the examination of water and wastewater*, 20th Edition, Washington D.C. USA. P.4. 103-109.

15. CRESSER, M. S; Parsons, J.W. *Sulphuric Perchloric and Digestion of plant material for the determination of nitrogen, Phosphorus, potassium, calcium and magnesium*. 1979, Anal . Chem. Acta, 109 :431-436.

16. MOTSARA, M. R and ROY, R. N. In; “*FAO Guide to Laboratory Establishment for Plant Nutrient Analysis*”. Fertilizer and plant nutrition bulletin, 19, Rome, Italy. 2008.