

## تحسين كفاءة الترسيب في محطات معالجة مياه الصرف الصحي

ط. بانه السيد سليمان اشراف: د. نعيمة عجيب  
كلية: الهندسة المدنية جامعة : البعث

### الملخص:

تعاني بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي من ضعف عمليات الترسيب، حيث أن المياه الناتجة عن أحواض الترسيب ليست بالموصفات المطلوبة، ولا يمكن التوسع في مثل هذه المحطات وإضافة أحواض جديدة ضمنها.

هناك أساليب مختلفة للتخلص من الندف الهلامية والأجسام الحبيبية ذات الأقطار الصغيرة الموجودة في مياه الصرف، وتشمل إضافة مواد مساعدة للترسيب مثل كبريتات الألمنيوم المائية، واستخدام حواجز داخل أحواض الترسيب (مائلة أو مستقيمة)، وتلك الطرق كان لها أثر على عملية الترسيب ولكن ليس بالنتيجة المطلوبة.

يهدف البحث إلى تقديم دراسة عملية حول تحسين كفاءة عمل أحواض الترسيب باستخدام إضافات كيميائية وهي مادة كبريتات الحديد  $FeSO_4$ ، ودراسة أثر هذه المادة على مؤشر العكارة مع الزمن، وتم تحديد الجرعة الأفضل بالاعتماد على عامل عكارة المياه.

حيث تم إجراء تجارب على مياه الصرف الصحي في محطة مصفاة حمص باستخدام كبريتات الحديد  $FeSO_4$ ، وبزمن مكث ساعة ونصف، وذلك لتحديد الجرعة المثالية له، وكانت الجرعة الأفضل هي  $120 \text{ mg/l}$  لكبريتات الحديد  $FeSO_4$  حيث كانت نسبة إزالة العكارة %74.23.

### كلمات مفتاحية:

الندف - المخثر - زمن المكث - أحواض الترسيب - العكارة.

# Improvement of Sedimentation Efficiency in Wastewater Treatment Plants

## **Abstract:**

Some wastewater treatment plants suffer from poor sedimentation processes, as the water resulting from the sedimentation ponds does not meet the required specifications, and it is not possible to expand such plants and add new ponds within them.

There are different methods for getting rid of gelatinous flocs and small-diameter granular bodies found in wastewater. They include adding sedimentation aids such as aluminum sulphate, and using barriers inside sedimentation tanks (slanted or straight). These methods had an impact on the sedimentation process, but not with the desired result.

The research aims to present a practical study on improving the efficiency of sedimentation tanks using chemical additives, namely ferric sulphate, and to study the effect of this substance on the turbidity index over time. The best dose was determined based on the water turbidity factor.

Experiments were conducted on wastewater at the Homs Oil refinery station using ferric sulphate, with a residence time of one and a half hours, in order to determine the ideal dose for it. The best dose was 120 mg/l for ferric sulphate, as the turbidity removal rate was 74.23%.

**Key words:** Flocs- Coagulant - Residence time – Sedimentation tanks – Turbidity.

## 1- مقدمة:

الغرض من معالجة مياه الصرف تخليصها من الشوائب والمواد العالقة والملوثات والمواد العضوية لتصبح صالحة لإعادة الاستخدام، أو لتكون صالحة للتخلص منها في مصادر المياه الطبيعية دون أن تسبب تلوثاً لها، حيث تعاني بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي من خلل في عمل أحواض الترسيب الأولية حيث تكون المياه الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف مخالفة لمواصفات المياه المطلوبة، ولا يمكن التوسع في مثل هذه المحطات وإضافة أحواض إضافية لمعالجة هذه المشكلة، ويؤدي ذلك إلى قلة كفاءة عمل محطات المعالجة ككل، كما تعاني هذه الأحواض من زمن مكث كبير مما يؤدي إلى مشاكل تشغيلية من حيث انتشار الروائح، لكن بإضافة مواد كيميائية يمكن من تحسين عمل هذه الأحواض دون إضافة منشآت جديدة.

## 2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحديد الجرعة المثالية من المادة الكيميائية المضافة إلى أحواض الترسيب، والتي بدورها تؤدي إلى تحسين كفاءة عمل هذه الأحواض، وبالتالي تحسين أداء الأحواض اللاحقة في محطة المعالجة، كما تؤدي إلى تخفيض زمن المكث في هذه الأحواض.

### 3- الدراسات المرجعية:

ثمة الكثير من الأبحاث التي تناولت عمليات تحسين كفاءة عمل أحواض الترسيب من أجل تخفيض زمن المكث ضمن هذه الأحواض، وإمكانية الحصول على مواصفات أفضل للمياه الناتجة عن عمل هذه الأحواض، وذلك لتقوم بقية الأحواض بعملها على أكمل وجه.

- قام الباحثان (Prathna and Ankit Srivastava,2021) بجمع عينات من مياه الصرف في 11 محطة معالجة في دلهي، تم حقن عينات مياه الصرف الصحي الخام بجرعات تتراوح بين  $5-50$  mg/l من كلوريد الحديد، وتم المزج لمدة 30 min عند درجة حرارة الغرفة، تم قياس تراكيز الكبريتيد والأمونيا والفوسفات و TSS و BOD و COD عند قيم مختلفة لكلوريد الحديد، أدت الزيادة الإضافية من كلوريد الحديد ( $50$  mg/l) إلى إزالة % 25 من أمونيا مياه الصرف، و ما يقرب % 70 من TSS ودرجة الحموضة الطبيعية، وأدت أيضاً إلى زيادة إزالة الفوسفور من مياه الصرف، يمكن لجرعات كلوريد الحديد استخدامها كخطوة معالجة مسبقة في مداخل محطات معالجة مياه الصرف لأنها تخفض تركيز الكبريتيد وتركيزات الملوثات الأخرى بشكل كبير، مما يقلل من متطلبات التهوية في المعالجة مع توفير تحكم فعال في الرائحة من حيث التكلفة.

- قام الباحثون (Zambrano et al.,2019) بإجراء 19 اختباراً لدراسة تأثير إضافة كلوريد الحديد المترسب على مورفولوجيا واستقرار خصائص الحمأة، حيث تم جمع عينات الحمأة من محطة المعالجة في (فالنسيا، إسبانيا) في أربعة أيام مختلفة، تمت إضافة  $0-15$  ml من كلوريد الحديد مع NaOH، وذلك مع الخلط عند 120 r/min لمدة 10 min يتبعه خلط أبطئ عند  $25$  r/min لمدة 20 min، وكانت

النتيجة أن كثافة كل من الكتل والحماة الجافة تختلف خطياً مع جرعة راسب كلوريد الحديد.

• قام الباحثان (Jozef Kris and Ali Hadi Ghawi,2010) بجمع العينات من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الديوانية، تم استخدام اختبار Jar Test، حيث تضمن الاختبار الخلط السريع ثم الخلط البطيء والترسيب، تشتمل مواد التخثر المستخدمة على كبريتات الألومنيوم وكبريتات الحديد والجير وكلوريد الحديد بجرعات واسعة تصل إلى  $260 \text{ mg/l}$ ، وتوصل الباحثان إلى أن استخدام التخثر والترسيب يؤدي إلى تحسين إزالة المواد الصلبة العالقة الغروية من مياه الصرف الصحي، كما أظهرت كبريتات الألومنيوم وكبريتات الحديد إزالة تعكر أفضل من إزالة الجير وكلوريد الحديد، وأن مزيج من كبريتات الألومنيوم المائية وكلوريد الحديد يزيل جميع المواد الصلبة العالقة الغروية بجرعة 200 جزء في المليون حيث يؤدي استخدام التخثر والترسيب إلى تحسين إزالة COD بحوالي 40%.

• قام الباحثون (Pauline Johnson et al.,2008) بإضافة كلوريد الحديد مع بوليمر أنيوني، وكلوريد الحديد مع كبريتات الألومنيوم المائية لعينات مياه صرف خام بهدف إزالة بعض المعادن في هذه المياه، تم التوصل إلى أن فعالية كلوريد الحديد مع البوليمير الأنوني أكثر كفاءة من كلوريد الحديد مع كبريتات الألومنيوم المائية، تم تغيير تراكيز كلوريد الحديد من 0 إلى  $50 \text{ mg/l}$  وتراكيز البوليمر من 0 إلى  $0.75 \text{ mg/l}$ ، حيث حققت جرعات  $40 \text{ mg/l}$  من كلوريد الحديد و  $0.5 \text{ mg/l}$  من البوليمر كفاءة إزالة المعادن الثقيلة بأكثر من 200% للكروم والنحاس والزنك والنيكل و 475% للرصاص مقارنة بالمعالجة الأولية التقليدية، كما أن تركيز كلوريد الحديد البالغة  $30 \text{ mg/l}$  أو أكبر أعطت كفاءة إزالة TSS حوالي 80%.

#### 4- مواد وطرائق البحث:

تم جمع العينات المطلوبة للاختبار من حوض تجميع المياه الداخلة إلى محطة معالجة مياه صرف مصفاة حمص، كما تم قياس مؤشر العكارة للعينات الخام، بدأت التجربة بترشيح العينات بورق ترشيح قبل إضافة أي مادة كيميائية، وبعد ذلك تمت إضافة مادة كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  بجرع مختلفة (40 mg/l) وحتى الوصول للجرعة الأمثل لكبريتات الحديدي) إلى هذه العينات، حيث تم خلط كل عينة على حدى باستخدام خلاط ميكانيكي بسرعة 200 r/min، وخلال عملية الخلط تم وضع المادة الكيميائية، وتركت العينات لمدة ساعة ونصف، ثم تم قياس مؤشر العكارة لكل عينة ومقارنته مع مؤشر العكارة للعينات الخام وذلك لتحديد الجرعة الأمثل لكبريتات الحديدي  $FeSO_4$ ، وبالتالي الوصول إلى هدف البحث حيث تشكلت خلال هذه العملية ندف كبيرة ترسبت وأصبحت المياه أكثر نقاوة.

#### 5- نتائج البحث ومناقشتها:

تم قياس مؤشر العكارة للعينات الخام (التجربة الأولى) وكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول (1-1)، وكانت نتائج قياس مؤشر العكارة للعينات المدروسة بعد إضافة كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  بجرع مختلفة موضحة في الجدول (1-2).

الجدول (1-1): مواصفات المياه الخام (التجربة الأولى)

قيمة المؤشر	مؤشر التلوث
90.76	NTU العكارة

الجدول (2-1): نتائج المؤشرات المختلفة وفقاً لجرعات مادة كبريتات

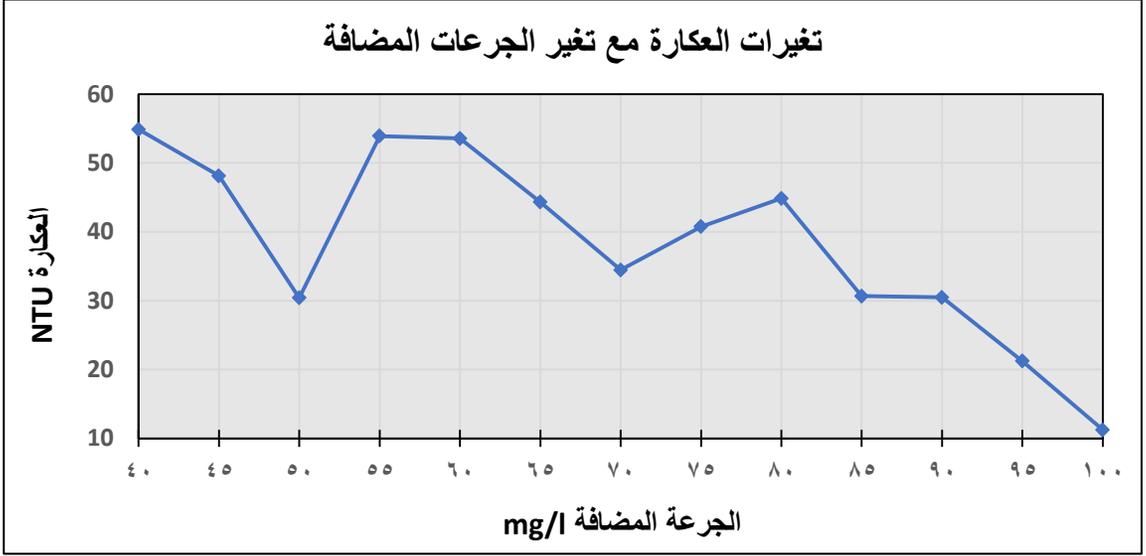
الحديدي (mg/l)

جرعة كبريتات الحديدي (mg/l) FeSO <sub>4</sub>							المؤشر
70	65	60	55	50	45	40	المقاس
34.45	44.32	53.57	53.91	30.42	48.12	54.88	العكارة NTU

100	95	90	85	80	75	كبريتات الحديدي FeSO <sub>4</sub>
11.23	21.24	30.47	30.67	44.86	40.75	العكارة NTU

ويتمثل قيم العكارة بيانياً تم الحصول على الشكل (1-1) والتي توضح بأن الجرعة

التي أعطت أفضل إزالة للعكارة هي 100 mg/l.



الشكل (1-1): مخطط بياني يوضح العلاقة بين عكارة المياه وجرعة كبريتات الحديد

من المخطط السابق يلاحظ مع زيادة جرعة كبريتات الحديد  $FeSO_4$  تزداد كفاءة إزالة العكارة فتمت المتابعة بزيادة الجرعة لتحديد الجرعة الأمثل للمادة الكيميائية.

تم قياس مؤشر العكارة للعينة خام (التجربة الثانية) حيث تم توضيح النتائج في الجدول (1-3)، وتم أخذ عينات لدراسة تغيير زمن الترسيب بعد ترشيح العينات وإضافة كبريتات الحديد  $FeSO_4$  بجرع مختلفة حيث تم أخذ القياسات بعد ترسيب ساعة ونصف وأيضاً أخذ القياسات بعد ترسيب ساعتين فكانت النتائج متقاربة ولم يلحظ تأثير واضح على المؤشرات المقاسة كما هو ملاحظ في الجدول (1-4).

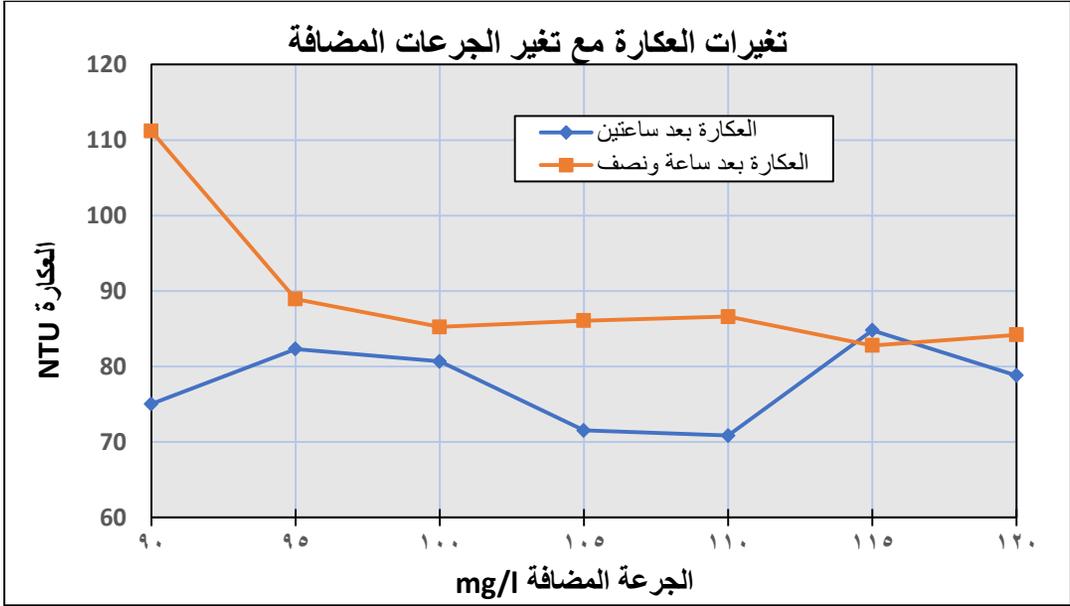
الجدول (3-1): مواصفات المياه الخام (التجربة الثانية)

قيمة المؤشر	مؤشر التلوث
110.3	NTU العكارة

الجدول (4-1): نتائج المؤشرات المختلفة وفقاً لجرعات مادة كبريتات الحديدي

جرعة كبريتات الحديدي (mg/l) FeSO <sub>4</sub>							مؤشر
120	115	110	105	100	95	90	القياس
78.81	84.8	70.85	71.53	80.68	82.32	75.05	العكارة بعد ساعتين NTU
84.19	82.79	86.61	86.08	85.24	88.95	111.2	NTU العكارة بعد ساعة ونصف

وبالتمثيل البياني للنتائج في الجدول السابق تم الحصول على المخطط (2-1) وبين المخطط (2-1) زمن المكث الأمثل التي تم اعتماده في التجارب اللاحقة.



الشكل (2-1): مخطط بياني يظهر الفرق في قيم العكارة بالنسبة لجرعات مختلفة من كبريتات الحديدي

من المخطط السابق تبين أنه لا يوجد فرق كبير بنسب الإزالة للعكارة عند زيادة الزمن عن ساعة ونصف وتم اعتماد المدة الزمنية للترسيب ساعة ونصف لباقي التجارب.

✚ بالمقارنة بين نتائج الجدول (2-1) والجدول (4-1) نجد أن عملية الترشيح ساعدت مادة كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  بأن تعطي نتائج إزالة أكبر للعكارة، وتم اعتماد عملية الترشيح المسبقة لباقي التجارب.

تم قياس مؤشر العكارة للعينة الخام (التجربة الثالثة) وكانت النتائج موضحة في الجدول (5-1) حيث تم أخذ عينات لدراسة أثر زيادة جرع كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  على مؤشر العكارة كما هو موضح في الجدول (6-1).

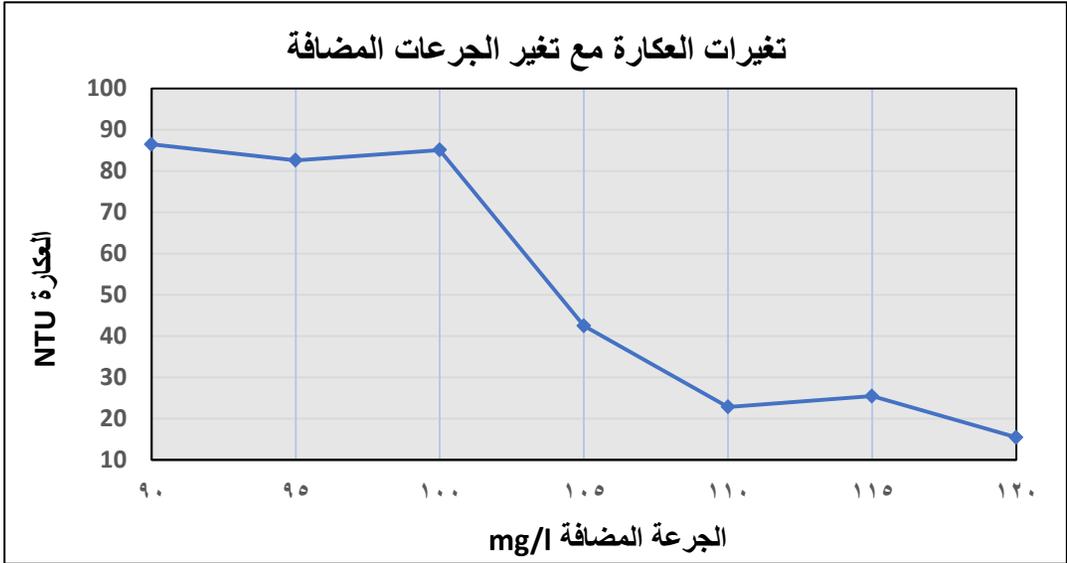
الجدول (5-1): مواصفات المياه الخام (التجربة الثالثة)

مؤشر التلوث	قيمة المؤشر
العكارة NTU	78.02

الجدول (6-1): نتائج المؤشرات المختلفة وفقاً لجرعات مادة كبريتات الحديدي

جرعة كبريتات الحديدي $FeSO_4$ (mg/l)							مؤشر القياس
+120	+115	+110	+105	+100	+95	+90	
15.44	25.45	22.86	42.48	85.13	82.63	86.5	العكارة بعد ساعة ونصف NTU

وبالتمثيل البياني للنتائج في الجدول السابق تم الحصول على المخطط (3-1).



الشكل (3-1): مخطط بياني يوضح العلاقة بين عكارة المياه وجرع كبريتات الحديد

من المخطط السابق تبين أن زيادة جرعة كبريتات الحديد  $FeSO_4$  يعطي إزالة أكبر للعكارة، فتتم المتابعة على زيادة الجرعة في تنمة التجارب وذلك للحصول على الجرعة الأمثل.

تم قياس مواصفات عينة خام (التجربة الرابعة) تم توضيح النتائج في الجدول (7-1) حيث تم أخذ عينات لدراسة أثر زيادة جرعة كبريتات الحديد  $FeSO_4$  ليتم التوصل للجرعة الأمثل من المادة على المؤشرات المقاسة كما هو موضح في الجدول (8-1).

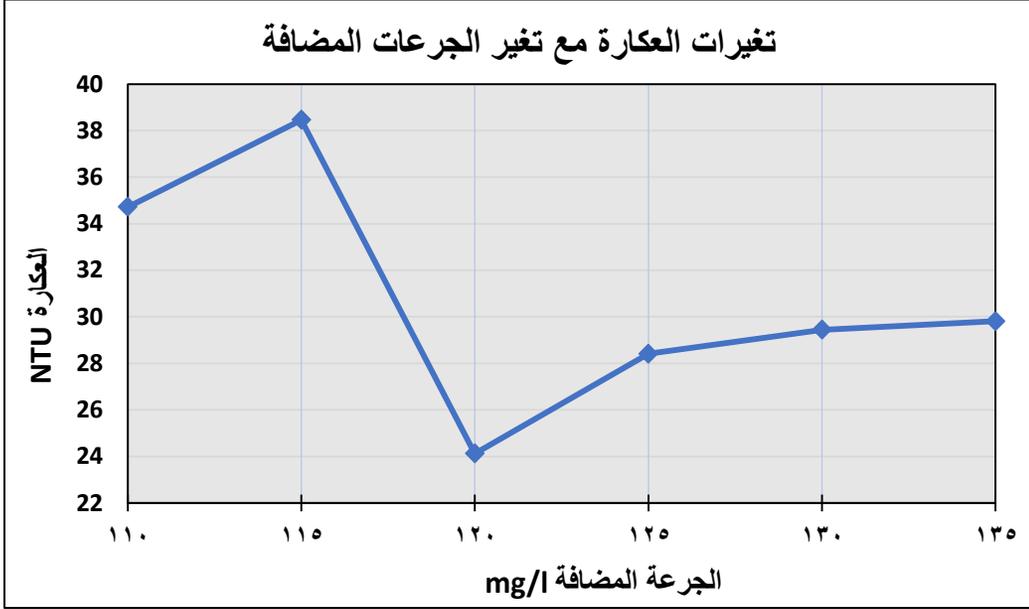
الجدول (7-1): مواصفات المياه الخام (التجربة الرابعة)

قيمة المؤشر	مؤشر التلوث
93.6	NTU العكارة

الجدول (8-1): نتائج المؤشرات المختلفة وفقاً لجرعات مادة كبريتات الحديدي

جرعة كبريتات الحديدي (mg/l) FeSO <sub>4</sub>						مؤشر القياس
+135	+130	+125	+120	+115	+110	
29.81	29.44	28.41	24.12	38.46	34.72	العكارة بعد ساعة ونصف NTU

بالتمثيل البياني للنتائج في الجدول السابق تم الحصول على المخطط (4-1).



الشكل (1-4): مخطط بياني يوضح العلاقة بين عكارة المياه وجرع كبريتات الحديدي

من المخطط السابق نجد أن زيادة الجرعة عن 120 mg/l بدأت فعالية مادة كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  بالتراجع ومن خلال ذلك تم التوقف عند هذه المرحلة وتحديد الجرعة الأفضل للمادة.

## 6- نمذجة النتائج:

تحتاج البرمجة في الوقت الحالي إلى سرعة التنفيذ والدقة في التطبيق، لذلك لجأ المختصون إلى الحاسوب، ونذكر من البرامج المتخصصة في هذا المجال:

إكسل Excel – ستورم Storm – QSB – تورا Tora – SPSS

تم استخدام اختبار ANOVA على نتائج البحث في برنامج SPSS.

اختبار ANOVA (one-way analysis of variance) معلمي يستخدم للمقارنة بين المتوسطات أو التوصل إلى قرار يتعلق بوجود أو عدم وجود فروق بين متوسطات الأداء عند المجموعات التي تعرضت لمعالجات مختلفة بهدف التوصل إلى العوامل التي تجعل متوسط من المتوسطات يختلف عن المتوسطات الأخرى.

▪ كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  مع نسبة إزالة العكارة:

جدول (9-1) معامل الارتباط بين المتغير التابع (نسبة إزالة العكارة) والمتغير المستقل (جرعة كبريتات الحديدي)

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.718	.515	.394	.166

يوضح الجدول السابق معامل الارتباط بين المتغير التابع (نسبة إزالة العكارة) والمتغير المستقل (جرعة كبريتات الحديدي) علاقة طردية جيدة حيث  $R=71.8\%$ .

جدول (10-1) إيجاد ثوابت المعادلة بين المتغير التابع (نسبة إزالة العكارة) والمتغير المستقل (جرعة كبريتات الحديدي)

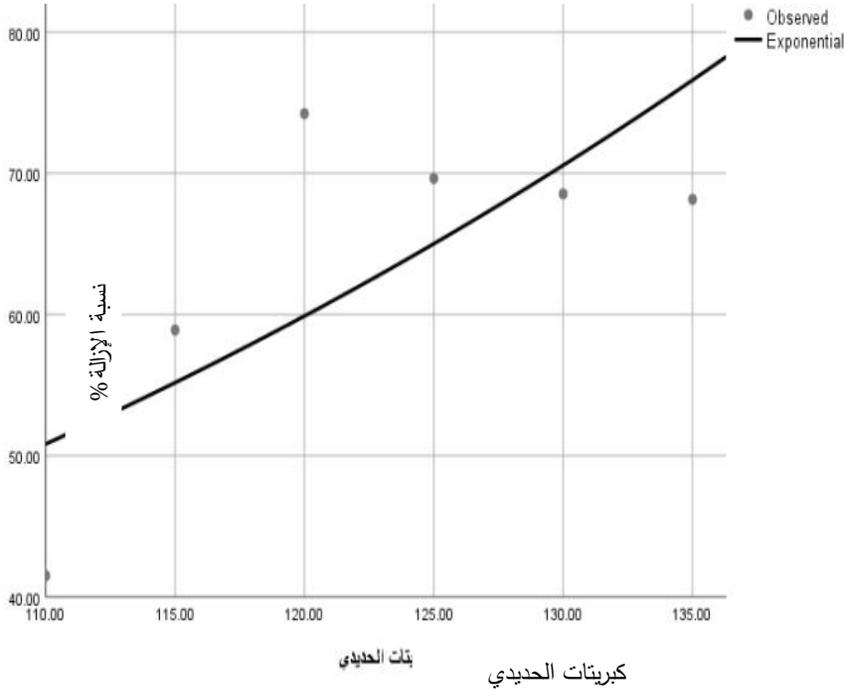
Coefficients					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
كبريتات الحديدي	.016	.008	.718	2.063	.108
(Constant)	8.363	8.168		1.024	.364

من الجدول السابق تم إيجاد المعادلة التالية:  $Y=0.016X+8.363$

جدول (11-1) نتائج تحليل التباين بين المتغير التابع (نسبة إزالة العكارة) والمتغير المستقل (جرعة كبريتات الحديدي)

ANOVA					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.118	1	.118	4.255	.108
Residual	.111	4	.028		
Total	.228	5			

يوضح الجدول السابق نتائج تحليل التباين أنوفا لاختبار معنوية الانحدار أن قيمة احتمالية  $\text{sig}=0.108$  أكبر من  $0.05$  وبالتالي نقبل الفرض الصفري ونرفض الفرض البديل وبالتالي لا توجد علاقة بين المتغير التابع والمتغير المستقل.



الشكل (5-1) مخطط يوضح العلاقة بين جرعة كبريتات الحديد ونسبة إزالة العكارة

وفق برنامج SPSS

## 7- مناقشة النتائج:

من نتائج التجارب السابقة على مياه صرف الخام أظهرت التجربة الأولى أن كلما زادت جرعة كبريتات الحديدي  $FeSO_4$  كلما انخفض مؤشر عكارة المياه وأن ترشيح هذه المياه قبل إضافة المادة أعطت نتائج أفضل للترسيب فتم اعتماد عملية الترشيح المسبقة في بداية التجارب اللاحقة، لذلك قمنا بمتابعة العمل بالترشيح المسبق وزيادة قليلة للجرعات في التجربة الثانية لدراسة أثر الترشيح وزمن المكث، فكانت النتائج مقاربة جداً بالنسبة للزمن فتم اعتماد زمن المكث ساعة ونصف لباقي التجارب، تم إكمال التجارب حتى يتم الوصول للجرعة التي تتوقف عندها فعالية الإزالة كما في التجربة الثالثة والرابعة، حيث تم الوصول إلى الجرعة الأمثل لكبريتات الحديدي  $FeSO_4$  التي أدت إلى تشكل ندف كبيرة تلاحظ بالعين المجردة، وأصبحت المياه أكثر نقاوة وأقل عكارة بنسبة ما يقارب 75% والتي حققتها الجرعة  $120 \text{ mg/l}$  من كبريتات الحديدي، حيث أن الجرعات الأكبر من  $120 \text{ mg/l}$  لم تعد تعطي نتائج أفضل للإزالة، تم نمذجة النتائج ببرنامج SPSS حيث أوضح المخطط (1-5) العلاقة بين المتغير التابع (نسبة إزالة العكارة) والمتغير المستقل (جرعة كبريتات الحديدي) وتبين من خلال تجربة أنوفا أنه يوجد علاقة طردية جيدة بين المتغيرين، وتم الحصول على المعادلة التي تربط بينهما

$$.Y=0.016X+8.363$$

## 8-المقترحات والتوصيات:

- بناء على التجارب المخبرية التي تم التوصل لها يفضل ترشيح المياه قبل إضافة المواد الكيميائية لأنها تحقق نسبة إزالة أكبر للعكارة.
- اعتماد زمن مكث في أحواض الترسيب ساعة ونصف عند استخدام كبريتات الحديدي  $FeSO_4$ .

9- المراجع:

[1] ميخائيل، جوزيف، و زكية، رصين، - 2002- الصرف الصحي /2/ محطات معالجة مياه المجاري، الطبعة الأولى، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة البعث، -  
صفحة 247.

[2] زينة حلاق، 2019، تغير خصائص الترسيب لحمأة أحواض الترسيب الأولى باستخدام إضافات كيميائية رسالة ماجستير/ قسم الهندسة البيئية / كلية الهندسة المدنية / جامعة البعث.

[3] رافع يعقوب، زينة حميد، 2013، استخدام بعض المخثرات في معالجة المواد العالقة في المياه، مجلة تكريت للعلوم الهندسية. /المجلد 20/العدد 5/، ص: (21-29).

[4] E. Alemany, D. Zambrano, E. Alemany, D. Aguado, 2019- Effect of the addition of precipitated ferric chloride on the morphology and settling characteristics of activated sludge flocs, Separation and Purification Technology, Vol. 227, 5 November 2019, 115711.

[5] Pauline D. Johnson, Padmanabhan Girinathannair, Kurt N. Ohlinger, Stephen Ritchie, Leah Teuber, Jason Kirby, 2008-

Enhanced Removal of Heavy Metals in Primary Treatment Using Coagulation and Flocculation, **Water Environment Research**, Vol. 80, No. 5 (2008).

[6] T. C. Prathna, Ankit Srivastava, 2021 -Ferric chloride for odour control: studies from wastewater treatment plants in India, **Water Practice & Technology**, Vol.16 No. 1.

[7] GHAWI, Ali. JOZEF, KRIŠ. (2010). **STUDY FOR WASTEWATER TREATMENT IN IRAQ USING COAGULANT**. Fourteenth International Water Technology Conference, SLOVAKIA.