------ مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 2 خاص بعلوم الأرض، ص 14-26، 2005 ------

استخدام النورة المحلية كمخثر أو كمساعد للتخثير مع كبريتات الحديدوز في إزالة العكورة المصطنعة من الماء

محمد سليمان حسن مصعب عبدالجبار التمر

قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2003/6/11 ، تاريخ القبول 2004/5/22)

الملخص

استخدمت النورة المحلية كمخثر مستقل أو كمساعد للتخثير مع كبريتات الحديدوز المائية في إزالة العكورة من الماء لمستويات مختلفة من العكورة الأبتدائية المصطنعة (500،100،25) وحدة عكورة، أظهرت الدراسة أنه يمكن استخدام النورة كمخثر مستقل ضمن مستويات العكورة المتوسطة والعالية ولا ينصح باستخدامها ضمن المستويات الواطئة. أما عند استخدامها كمساعد للتخثير مع كبريتات الحديدوز تزداد كفاءة الإزالة خاصة عند المستويات الواطئة من العكورة الابتدائية وبجرعة مثلى 20ملغم/لتر مع 7.5ملغم/لترمن كبريتات الحديدوز وبنسبة إزالة 93%، وتقل هذه الكفاءة عند المستويات الأعلى من العكورة الابتدائية.

وتم إجراء تحليل إحصائي للنتائج وإيجاد نموذج رياضي يحدد العلاقة بين المتغيرات المشمولة في الدراسة، ووجد أن العكورة الابتدائية هي المتغير الأكثر تأثيرا على العكورة المتبقية يليها زمن الترسيب ثم جرعة كبريتات الحديدوز ثم جرعة النورة.

The Use of Local Lime as A Coagulant or A Coagulant Aid With Ferrous Sulfate For Synthetic Turbidity Remo val From Water

Mohammed S. Hasan **Mussab A. Al-Tamir**
Department of Civil Engineering
College of Engineering
Mosul University

ABSTRACT

The local lime has been used as a coagulant and a coagulant aid with ferrous sulfate in turbidity removal for deferent level of initial synthetic turbidity (25,100,500) ntu. The study revealed that the lime can effectively be used alone as a coagulant with medium and high initial turbidity levels (100and500) ntu, And it revealed a better result when it used as a coagulant aid with ferrous sulfate at low initial turbidity limit 25ntu with a dose of 20mg/l with 7.5mg/l of ferrous sulfate to get a removal of 93% of turbidity.

Regression analysis has been done and a mathematical model determined for the variables included in the study, and it found that the most important variable affect to turbidity removal is the initial turbidity followed by settling time then ferrous sulfate dose then lime dose.

المقدمة

يحتوي الماء السطحي بصورة عامة على شوائب عالقة بأحجام مختلفة ناتجة عن عمليات التحات (Land erosion) وانحلال النباتات (Decaying vegetation) فضلاً عن الكائنات الدقيقة الموجودة في الماء، تـسبب هذه الشوائب العالقة ما يعرف بعكورة الماء (اللون الظاهري للماء) التي يمكن إزالتها أو التقليل منهـا بواسـطة الترسيب البسيط (Plain sedimentation)، هذا بالنسبة للجسيمات الخشنة (Coarse particles)، أما الجـسيمات الدقيقة التي يقل قطرها عن (50µm) فلا يمكن إزالتها إلا بإضافة بعض المواد الكيماوية أو الطبيعية التي تعرف بالمخثرات ومساعدات التخثير.(Hammer, 1977),(Tebbutt, 1998)

تعتبر أملاح الألمنيوم والحديد من أكثر المخثرات شيوعاً وقد تستخدم معها البوليمرات الـصناعية كمساعدات للتخثير لزيادة كفاءة إزالة العكورة وتحقيق مزايا أخرى، إلا أنه اكتـشف مـؤخراً المـضار الصحية والبيئية لهذه المواد فصلاً عن أن استخدامها يحتاج إلى مهارة تـشغيلية وتعقيـد فـي وحـدات المعالجة.(Kawamura, 1995) ,(Montgomery, 1985)، كما أن هذه المواد مستوردة للقطر، لـذا تـم اللجوء مؤخراً إلى استخدام مساعدات التخثير الطبيعية والمتوفرة محلياً مثل النـورة وطـين البنتونايـت وغيرها للاستعاضة عن المواد الصناعية.

أهداف البحث

1. استخدام النورة كمخثر أو كمساعد مخثر مع كبريتات الحديدوز في إزالة العكورة من الماء لمستويات مختلفة من العكورة الابتدائية.
2. إيجاد الجرع المثلى اللازمة لإزالة العكورة لكل من النورة وكبريتات الحديدوز لمستويات العكورة تحت الدراسة.

3. تأثير استخدام النورة مع كبريتات الحديدوز على زمن الترسيب لإزالة العكورة.
4. استنباط نموذج رياضي يحدد العلاقة بين المتغيرات المعتمدة وغير المعتمدة المشمولة بالدراسة.

استعراض الدراسات السابقة

أشار (Kim et al.,. 1965) إلى أن إضافة النورة إلى الماء يزيد قيمة pH ويحسن عملية التخثير ونوعية الماء المنتج،كما استخدم (Ketchum and Weber, 1974) النورة مع السيليكا المنشطة في معالجة مياه الأمطار وأشارا إلى فاعلية واقتصادية هذه الطريقة في معالجة الماء ذو القاعدية الواطئة مثل ماء المطر.

ودرس (York and Drewry, 1974) فاعلية التخثير والتلبيد باستخدام الشب وأملاح الحديد في إزالة الفيروسات، العكورة و (COD) واللون من مياه الشرب وأشاروا إلى فاعلية المادتين في إزالة هذه الشوائب.

كما أشار (Carnduff, 1976) عند استخدامه للشب وكلوريد الحديديك إلى أن الجرعة اللازمة من الشب لتحقيق إزالة معينة هي أعلى من جرعة كلوريد الحديديك اللازمة لتحقيق نفس الإزالة، كما قام (Quareshi and Mambery, 1985) بدمج استخدام الشب مع كلوريد الحديديك وبين أن هذه العملية تقلل من تركيز الألمنيوم المتبقي في الماء المعالج كما يختزل من كلفة المعالجة.

وقامت (Yasin, 1991) باستخدام النورة كمساعد للتخثير مع كل من الشب وكلوريد الحديديك في إزالة العكورة لنماذج من العكورة المصطنعة لمياه نهر دجلة ووجدت أن النورة تعمل بكفاءة على إزالة عكورة الماء ضمن المستويات العالية من العكورة الأبتدائية وان كفاءة الأزالة تزداد عند إضافة النورة قبل الشب أو كلوريد الحديديك بخمس دقائق.

المواد وطرائق العمل

1. نماذج الماء :

تم استخدام ثلاث مستويات من العكورة الابتدائية لنماذج من ماء نهر دجلة حيث تم تعديل العكورة الطبيعية للماء إلى مستويات العكورة المطلوبة بإضافة طين الكاؤولين الذي يستخدم في كثير من الدراسات لهذا الغرض (McCook and West, 1978) . ويوضح الجدول رقم (1) المعدل الشهري لبعض خصائص ماء النهر خلال فترة الدراسة.

2.النورة:

استخدمت النورة المحلية المطفأة $Ca(OH)_2$ ذات فاعلية (55%) المنتجة في معمل السكر/الموصل على شكل محلول بتركيز (1%) .

3. كبريتات الحديدوز:

استخدمت كبريتات الحديدوز المائية $FeSO_4. 7H_2O$ المختبرية بنقاوة (99.9%) على شكل محلول بتركيز (1%) .

4.الأجهزة:

استخدام جهاز فحص العكورة مـن نـوع Hatch Laboratory Turbidimeter 2100A لفحـص عكورة النماذج قبل وبعد المعالجة ويتم القياس بوحدة NTU (وحدة عكورة). كما استخدم جهـاز قيـاس الرقم الهيدروجيني نوع WTW, pH 322 لقياس الرقم الهيدروجيني للنماذج قبل وبعد المعاملة.

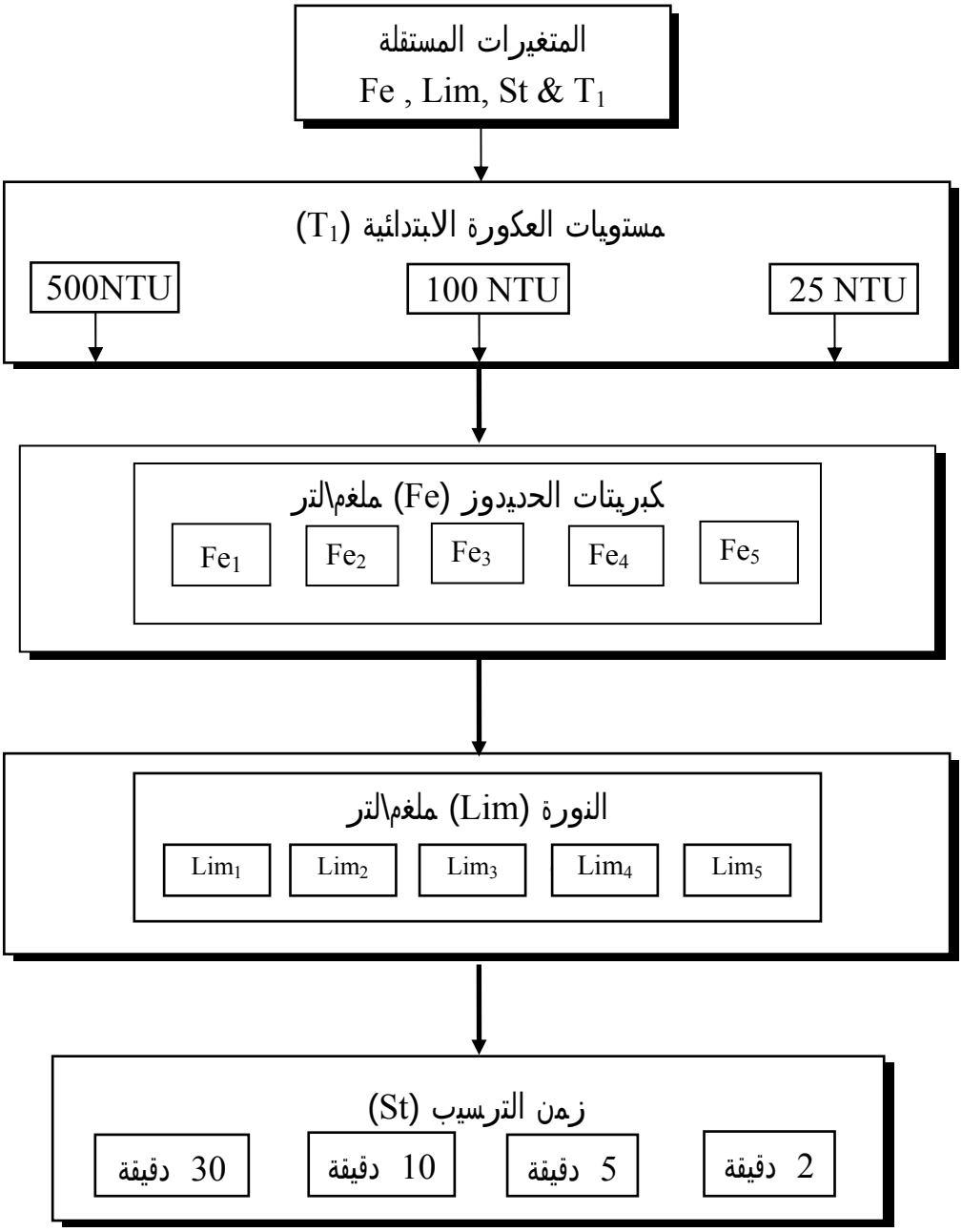
واستخدم جهاز فحص الجرة (Jar test) يحتوي على ستة مازجات كل منها ذات رفـاس (Blade) بطول (6) سم وعرض (2) سم، استخدمت مع الجهاز حاويات زجاجية ذات مقطع دائري سـعة (1000) مللتر، أجريت سلسلة من فحوص الجرة استخدمت خلالها المتغيرات والثوابت الآتية:

1. متغيرات فحص الجرة وتم تثبيتها كالأتي: (Ammirthirajah, 1986)، (Al-Layla and Mddlebrooks, 1974)، (حسن, 1994)
   أ. مزج سريع (100) دورة\ دقيقة لمدة دقيقة واحدة ، بتدرج سرعي مقداره (62) ثانية$^{-1}$.
   ب. مزج بطيء (40) دورة\ دقيقة لمدة (30) دقيقة ، تدرج سرعي مقداره (15.8) ثانية$^{-1}$.
   ج. زمن ترسيب أقصى مقداره (30) دقيقة.
2. ثلاث مستويات من العكورة الابتدائية المصطنعة (500,100,25) وحدة عكورة.
3. خمس مستويات من جرع كبريتات الحديدوز تتراوح بين (2.5-25) ملغم\لتر تتغاير حسب مـستوى العكورة الابتدائية.
4. خمس مستويات من جرع النورة تتراوح مستوياتها بين (5-60) ملغم\لتر تتغاير حسب مستوى العكورة الابتدائية.
5. أربع مستويات من أزمنة الترسيب.
6. تم إضافة النورة مع كبريتات الحديدوز في نفس الوقت ضمن مرحلة المزج السريع.

تصميم التجربة

تم إجراء تصميم إحصائي للتجربة بحيث تكون العكورة المتبقية(T_2) لكل معاملة هي المتغير المعتمد Dependent variable، أما المتغيرات المستقلة فهي جرعة كبريتات الحديدوز(Fe)، جرعة النورة (Lime)، مستوى العكورة الابتدائية(T_1)وزمن الترسيب(St) وكما مبينة في الشكل رقم (1).

وتم تحليل النتائج بالاعتماد على أسلوب تحليل الانحدار متعدد الخطوات Stepwise Multiple Regression لإيجاد نموذج رياضي للتنبؤ بقيمة العكورة المتبقية بالاعتماد على قيم المتغيرات المستقلة.

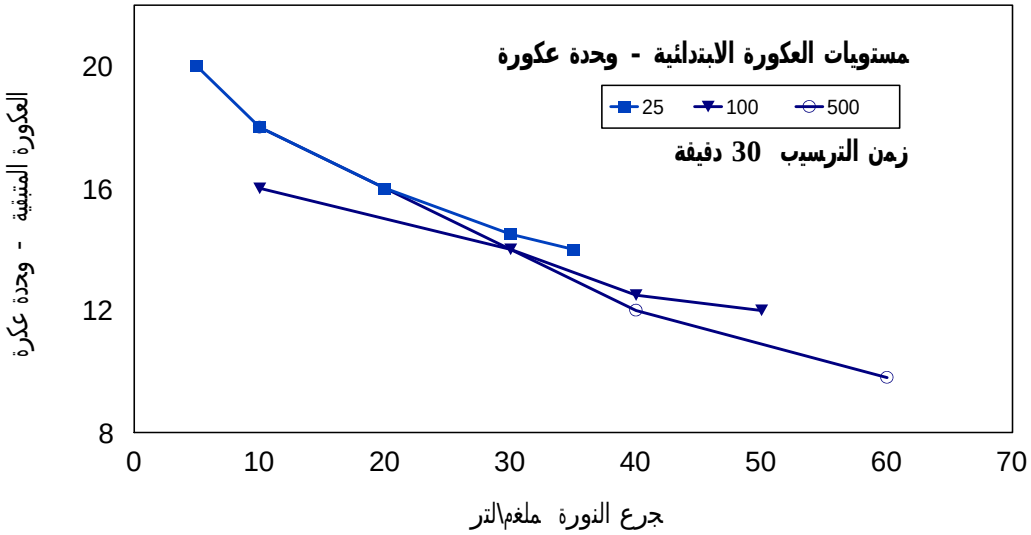


شكل 1: التصميم الإحصائي للتجارب.

النتائج والمناقشة

تأثير استخدام النورة كمخثر:

يتضح من الشكل رقم (2) الذي يمثل تأثير النورة كمخثر لوحدها على العكورة المتبقية أن النـورة تعمل على التقليل من العكورة المتبقية بزيادة جرعها ولكافة مستويات العكورة الابتدائية، وتظهر النـورة فاعلية أكثر عند المستويات العالية من العكورة وخصوصاً بزيادة جرعها فمثلاً 10 ملغم\التر من النـورة أعطت عكورة متبقية مقدارها (17.5,16,18) وحدة عكورة ، أما 40 ملغم\التر من النورة فأعطت عكورة متبقية مقدارها (12,125,14.5)وحدة عكورة عند مستويات العكـورة الابتدائيـة (500,100,25)وحـدة عكورة على الترتيب ويمكن تعليل ذلك بكون التشتتات ذات التركيز العالي أكثر تـأثراً بأيونـات Ca^{++} الذائبة والناتجة عن إضافة النورة (Kim et al., 1965) . ويمكن اعتبـار جـرع النـورة (40,40,30) ملغم\التر الجرع المثلى لمستويات العكورة (500,100,25) وحدة عكورة على التوالي والتي تعطي عكورة متبقية مقدارها (12,12.5,14.5) وحدة عكورة على الترتيب نفسه.



شكل 2: تأثير النورة كمخثر على العكورة المتبقية لمستويات مختلفة من العكورة الابتدائية.

تأثير استخدام النورة كمساعد مخثر مع كبريتات الحديدوز على العكورة المتبقية لمستويات مختلفة من العكورة الابتدائية:

1. مستوى العكورة الابتدائية الواطئة:

يوضح الشكل رقم (3 أ) تأثير جرع كبريتات الحديدوز على العكورة المتبقية عند اسـتخدامه مـع النورة لمستوى العكورة الابتدائية 25 وحدة عكورة، باستخدام (5) ملغم\التر من النورة مـع (10،5،2.5) ملغم\التر من كبريتات الحديدوز، تكون العكورة المتبقية (4.55، 2.1،2.7) وحدة عكورة على الترتيـب مقارنة مع عكورة متبقية مقدارها (2.8،3.9،4.7) وحدة عكورة عند استخدام كبريتات الحديدوز لوحـده أي أن استخدام النورة مع كبريتات الحديدوز يزيد من كفاءة إزالة العكورة، من هذا يتبين أن النورة تظهر كفاءة جيدة عند استخدامها مع كبريتات الحديدوز لهذا المستوى من العكورة الابتدائية، ويلاحظ من الشكل

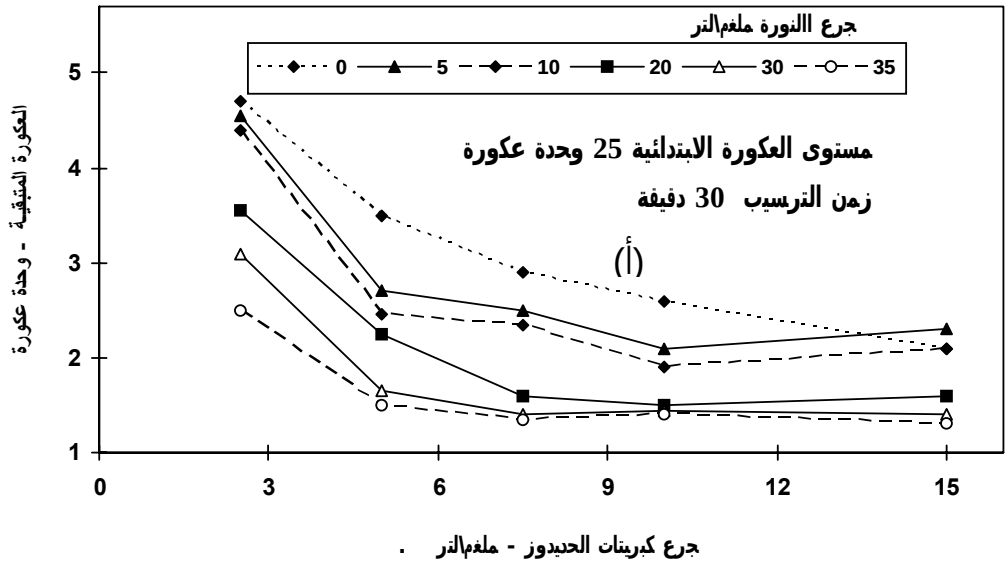
ان العكورة المتبقية تزداد بزيادة جرعة كبريتات الحديدوز عن (10) ملغم\لتر وذلك بسبب زيادة نـواتج التحلل الموجبة لكبريتات الحديدوز وزيادة أيونات (Ca^{++})الناتجة عن إضافة النورة وبذلك تحدث حالـة إعادة الاستقرار ومن ثم تتثبط عملية التخثير .(Dentel, 1991) ويمكن اعتبـار الجرعـة المثلـى مـن كبريتات الحديدوز عند استخدامه مع النورة هي 7.5ملغم\لتر لهذا المستوى من العكورة الابتدائية.

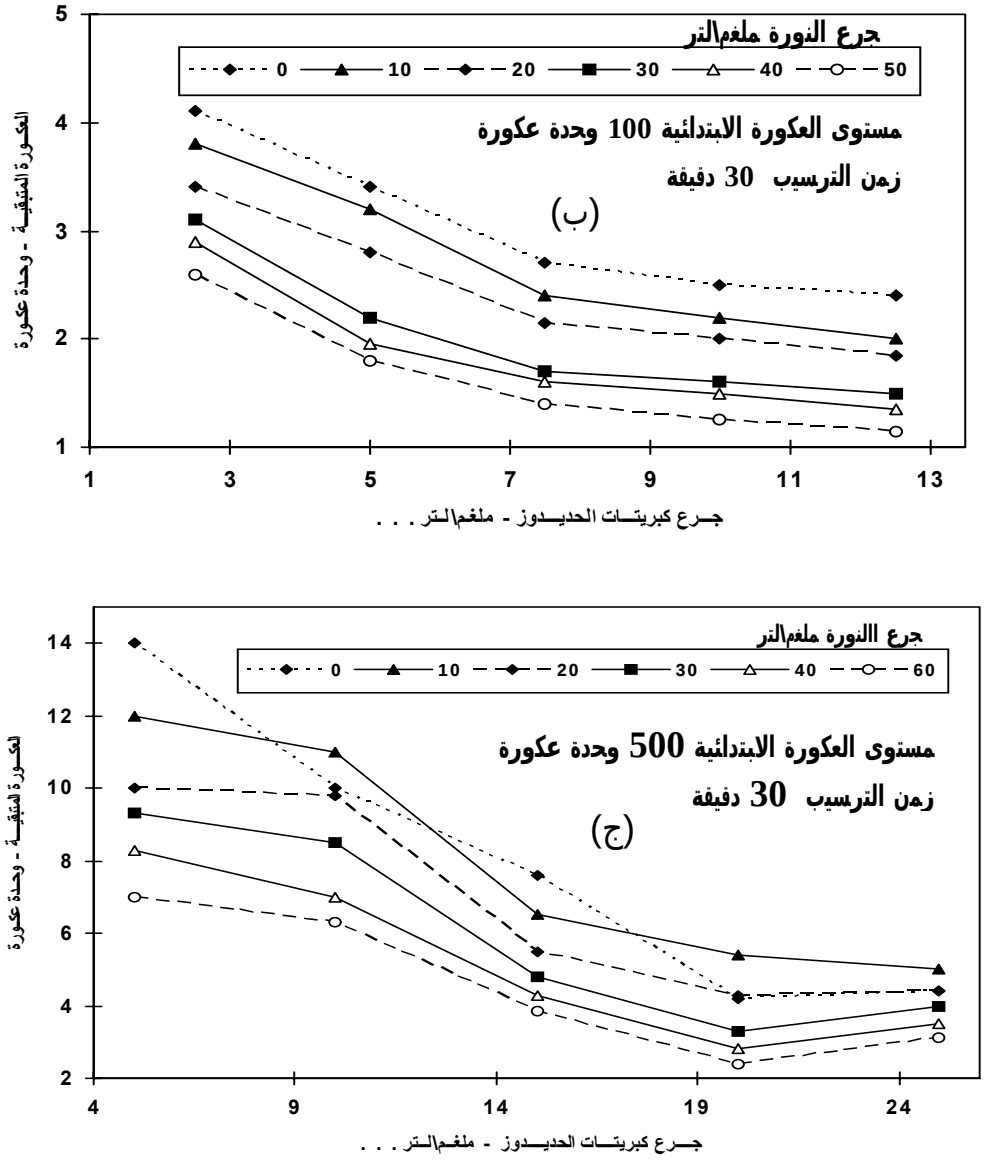
2. مستوى العكورة الابتدائية المتوسطة:

يوضح الشكل (3 ب) نتائج العكورة المتبقية لمستوى العكورة الابتدائية (100) وحـدة عكـورة؛ يلاحظ انه بزيادة جرعة كبريتات الحديدوز تقل العكورة المتبقية فمثلاً إستخدام (10) ملغم\لتر من النـورة مع (2.5،5، 10)ملغم\لتر من كبريتات الحديدوز تعطي عكورة متبقية (3.8 ، 3.2 ، 2.2)وحدة عكـورة على الترتيب بالمقارنة مع عكورة متبقية مقدارها (4.1 ، 3.4 ، 2.5)وحدة عكورة عند إستخدام كبريتات الحديدوز لوحده، ويمكن اعتبار الجرعة المثلى من كبريتات الحديدوز عند استخدامه مع النورة هي (7.5) ملغم\لتر لهذا المستوى من العكورة الابتدائية .

3. مستوى العكورة الابتدائية العالية:

يمثل الشكل (3 ج) نتائج العكورة المتبقية لمستوى العكـورة الابتدائيـة (500) وحـدة عكـورة؛ باستخدام (10) ملغم\لتر من النورة مع (5 ، 15 ، 25)ملغم\لتر من كبريتات الحديدوز تكـون العكـورة المتبقية (12 ، 6.5 ، 5)وحدة عكورة بالمقارنة مع عكورة متبقيـة مقـدارها (14 ، 7.6 ، 4.4)وحـدة عكورة يلاحظ ان فاعلية النورة مع كبريتات الحديدوز لهذا المستوى من العكورة الابتدائية أقل مما هـي عليه في المستويين السابقين. ويمكن اعتبار الجرعة المثلى من كبريتات الحديدوز عنـد اسـتخدامه مـع النورة لهذا المستوى من العكورة الابتدائية هي (20) ملغم\لتر.



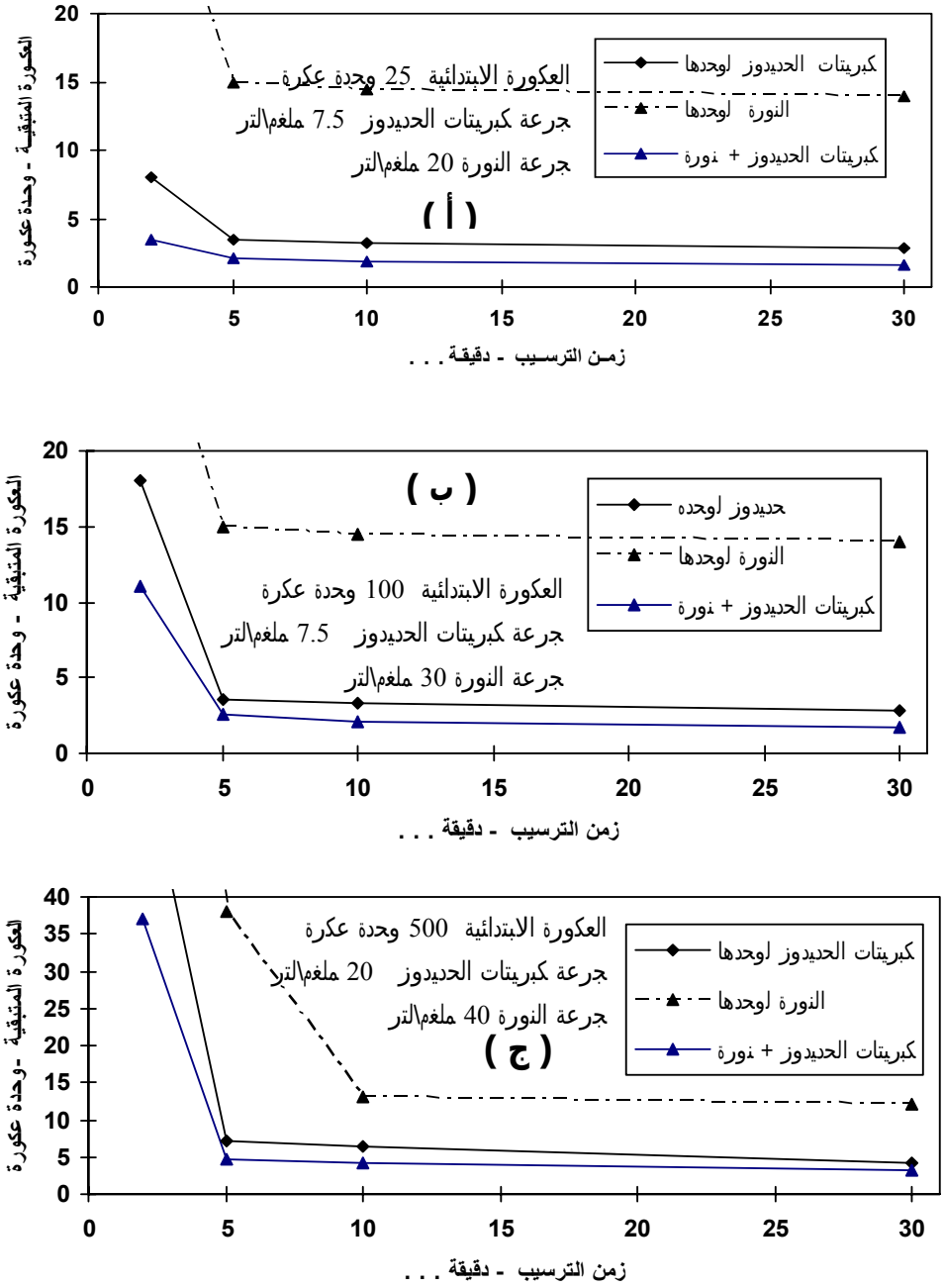


شكل 3 أ، ب، ج: تأثير تغاير جرع كبريتات الحديدوز على العكورة المتبقية عند استخدامه كمخثر مع النورة.

تأثير استخدام النورة مع كبريتات الحديدوز على زمن الترسيب.

يوضح الشكل رقم (4) (أ، ب، ج) تأثير تغاير زمن الترسيب على العكورة المتبقية للجرع المثلى من النورة مع كبريتات الحديدوز لمستويات العكورة الابتدائية (25 ، 100 ، 500) وحدة عكورة ؛ يلاحظ ان هناك تحسناً طفيفاً في زمن الترسيب خاصة عند مستوى العكورة الابتدائية الواطئة والمتوسـطة (25 و100) وحدة عكورة، فضمن مستوى العكورة الابتدائية الواطئة باستخدام (20) ملغم\التر من النورة مـع (7.5) ملغم\التر من كبريتات الحديدوز تكون العكورة المتبقية (1.6،1.75،2.1،3.5) وحدة عكورة عنـد فترات الترسيب (30،10،5،2) دقيقة بالمقارنة مع عكورة متبقية مقدارها (3،3.2،3.5،8) وحدة عكـورة على الترتيب عند استخدام كبريتات الحديدوز لوحده ضمن نفس فترات الترسيب، ويمكن اعتبـار زمـن

الترسيب الأمثل (5) دقيقة لمستويات العكورة الابتدائية اعلاه إذ ان الانخفاض في العكورة المتبقية بعد هذا الزمن غير معنوي.



شكل 4 أ ، ب ، ج: تأثير زمن الترسيب على العكورة المتبقية عند إستخدام النورة مع كبريتات الحديدوز.

التحليل الاحصائي للنتائج

تم استخدام تحليل الانحدار متعدد الخطوات (Stepwise multiple regression analysis) لإيجاد نماذج رياضية للتنبوء بقيمة العكورة المتبقية (T_2) (المتغير المعتمد) الناتجة من إضافة النورة (Lim)

وكبريتات الحديدوز (Fe) ضمن مستويات العكورة الأبتدائية (T_1) مع تغاير أزمنة الترسيب St، وتم اختيار النموذج الرياضي الملائم بالاعتماد على قيمة الخطأ القياسي (Standard Error)ومعامل الارتباط R^2.

ويوضح الجدول (2) مجموعة النماذج الرياضية وقيمة الخطأ القياسي ومعامل الارتباط الخاصة بكل نموذج، ويمثل النموذج اللوغارثمي النموذج الأمثل لتمثيل العلاقة بين المتغيرات كون قيمة الخطأ القياسي له هي الأدنى(0.22) كما أن معامل ارتباطه هي الأعلى (0.75) هذا يعني أن نسبة تأثير المتغيرات غير المعتمدة على العكورة المتبقية هي (75%) أما النسبة المتبقية (25%) فترجع إلى عوامل أخرى لم تؤخذ بنظر الاعتبار والى عوامل الصدفة.

كما يبين الجدول (3) قيم (t) وأوزان (□) الخاصة بكل متغير من المتغيرات غير المعتمدة للنموذج الأخير، إذ يتبين من قيم (t) التأثير المعنوي العالي للمتغيرات غير المعتمدة، كما توضح أوزان (□) مدى تأثير كل متغير غير معتمد وتسلسله في تأثيره على العكورة المتبقية، على هذا الأساس فأن المتغيرات الأكثر تأثيراً على العكورة المتبقية هي العكورة الأبتدائية (T_1)، يليها زمن الترسيب (St)، يليه جرعة كبريتات الحديدوز (Fe)، ثم جرعة النورة (Lime).

جدول 1: المعدل الشهري لبعض الخصائص الأساسية لماء نهر دجلة في منطقة اخذ النماذج خلال فترة الدراسة.

الخاصية	آذار	نيسان	أيار	حزيران
العكورة NTU	9	9.6	3.6	3.2
الرقم الهيدروجيني pH	8.07	8.06	8.08	7.95
العسرة الكلية ملغم\لتر بدلالة $CaCO_3$	224	214	200	200
Ca^{++} ملغم\لتر	54.5	52	47.5	46.5
Mg^{++} ملغم\لتر	19.8	18.8	18.3	18.8

جدول 2: مجموعة النماذج الرياضية المستخدمة وقيمة معامل الارتباط الخاصة بكل نموذج.

رقم النموذج	النماذج الرياضية	الخطأ القياسي	معامل الارتباط R^2
1	$T_2 = 17.72 - 0.879\ Fe - 0.177\ Lim - 0.518\ St + 0.059\ T_1$	15.5	0.36
2	$\sqrt{T_2} = 4.628 - 0.548\sqrt{Fe} - 0.225\sqrt{Lim} - 0.516\sqrt{St} + 0.187\sqrt{T_1}$	1.25	0.553
3	$\log T_2 = 0.754 - 0.426 \log Fe - 0.396 \log Lim - 0.561 \log St + 0.659 \log T_1$	0.22	0.754

جدول 3: قيم t وأوزان□ الخاصة بكل متغير من المتغيرات غير المعتمدة .

إستخدام النورة مع كبريتات الحديدوز		
النموذج المختار : النموذج اللوغارثمي (رقم 3)		
المتغيرغير المعتمد**	قيمة □	قيمة t
T_1	0.78	*23.4
St	0.54 -	*18.5 -
Fe	0.27 -	*8.6 -
Lim	0.25 -	*8.5 -

* تعني ان المتغير ذو معنوية عند درجة ثقة 95% .

** رتبت المتغيرات غير المعتمدة حسب تسلسل تأثيرها على العكورة المتبقية لكل حالة .

T_1 = العكورة الابتدائية (وحدة عكورة)

T_2 = العكورة المتبقية (وحدة عكورة)

St = زمن الترسيب (دقيقة)

Fe = جرعة كبريتات الحديدوز (ملغم\لتر)

Lim = جرعة النورة (ملغم\لتر)

الاستنتاج والتوصيات

من خلال ما تقدم يمكن تحديد الاستنتاجات والتوصيات التالية تحت ظروف الدراسة:

1. تعمل النورة كمخثر مستقل على إزالة العكورة بكفاءة ضمن المستويات المتوسطة والعالية من العكورة (500,100) وحدة عكورة بجرع بحدود (40) ملغم\لتر ولا ينصح باستخدام النـورة لوحـدها ضـمن المستويات الواطئة من العكورة الابتدائية بحدود (25) وحدة عكورة فما دون.
2. تحسن النورة من كفاءة إزالة العكورة عند استخدامها مع كبريتات الحديدوز خاصـة عنـد مـستويات العكورة الابتدائية (25) وحدة عكورة بجرع لاتزيد عن (20) ملغم\لتر مع جرع من كبريتات الحديدوز بحدود (7.5) ملغم\لتر.
3. الجرع المثلى من كبريتات الحديدوز عند استخدامه مع النورة كانت (20،7.5،7.5)ملغم\لتر مع جـرع من النورة مقدارها (40،30،20)ملغم\لتر لمستويات العكورة الابتدائية (500،100،25)وحدة عكـورة على الترتيب.

4. لاينصح باستخدام النورة مع كبريتات الحديدوز في ازالة العكورة ضمن مستوى العكـورة الابتدائيـة العالية (500) وحدة عكورة بل يفضل استخدام كبريتات الحديدوز لوحده.
5. لا يوجد تحسن كبير في زمن الترسيب عند استخدام النورة مع كبريتـات الحديـدوز خاصـة عنـد مستويات العكورة الابتدائية المتوسطة والعالية ويمكن اعتبار زمن الترسيب الأمثل 5دقائق.
6. من التحليل الاحصائي للنتائج وجد ان العوامل الاكثر تأثيراً للعكورة المتبقية(T_2) عند استخدام النورة كمساعد للتخثير مع كبريتات الحديدوز كانت على التوالي: العكورة الابتدائية (T_1)، زمـن الترسـيب (St)، جرعة كبريتات الحديدوز (Fe)، ثم جرعة النورة (Lim)، واستنبط النموذج الرياضـي التـالي لتوقع قيمة العكورة المتبقية (T_2)

(قيمة الخطأ القياسي 0.22 ومعامل الارتباط 0.754)

$$\log T_2 = 0.754 - 0.426 \log Fe - 0.396 \log Lim - 0.561 \log St + 0.659 \log T_1$$

المصادر العربية

حسن، علي عبدالله، 1994. تأثير الاملاح على إزالة المواد الغرويـة باسـتخدام هيدروكـسيد المعـدن، رسالةماجستير مقدمة إلى جامعة الموصل.

المصادر الأجنبية

Al-Layla, M.A. and Middlebrooks, B.J., 1974. Optimum Values for operationalvariables on turbidity removal. Jour. Water and Sewage Works, 121 (9), pp.66-69.

Ammirtharajah, A. and Trusler, S.L., 1986. Destabilization of particles byturbulent rapid mixing. Jour of Environmental Engineering Division, ASCE,112, (6), pp.1085-1108.

Carnduff, J.A., 1976. Pretreatment of the metropolitan Tomto water supply utilizing ferric chloride. Jour AWWA, 81(10), pp.431.

Dentel, S.K. 1991. Coagulation control in water treatment. CRC ,.21(1), 41-135.

Hammer, M.J. 1977. Water and waste water technology. John Wiley and Sons, Inc., New York, 504 p.

Kawamura, S., 1991. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. Jour. AWWA, 83(10), pp.88-91.

Ketchum, L.H. and Weber, W.J., 1974. Coagulation of storm waters and lowalkalinity wastewaters. Jour. WPCF, 46(1), pp.53-62.

Kim, W.; Ludwi, H.F. and Bishop, W.D. 1965. Cation-exchange capacity and pH in the coagulation process, Jour. AWWA. 57(3), pp.327-348.

McCooke, NJ. and West, J.R. 1978. The coagulation of a kaolinite suspension with aluminum sulfate. Water Research, 12(10), pp.793.

Montgomery, J.M., 1985. water Treatment, principles and design. John Wiley Inc., New York, 696p.

Qureshi, N.; and Malmberg, R.H. 1985. Reducing aluminum residuals in finished water. Jour. AWWA, 77(10), pp.101-108.

Randtke, S.J.; Thiel, C.E.; Liao, M.Y. and Yamaya, C.N., 1982. Removing soluble organic contaminants by lime -softening. Jour AWWA, 74(4), pp.192-202.

Tebbutt, T.H.Y. 1998. Principles of water quality control. 5th edition, Butterworth-Heinemann, London, 280p.

Yasin, A.M. 1991. Effect of using lime in conjunction with alum and ferric chloride coagulation on turbidity and hardness removal. M.Sc. Thesis, University of Mosul 90p.

York, D.W. and Drewry, A.W., 1974. Virus removal by chemical coagulation. Jour. AWWA, 66(12), pp.711.