

تنقية مياه المصادر السطحية لأغراض الشرب باستخدام الخلط الميكانيكي

د. حسام صبوح*

علياء جبيلي**

(تاريخ الإيداع 13 / 7 / 2021. قُبِلَ للنشر في 16 / 8 / 2021)

□ ملخص □

تعتبر عمليتي المزج وتشكل الندف من أهم العمليات اللازمة لتنقية مياه الشرب المأخوذة من مصادر سطحية . انطلاقاً من ذلك يعتبر الهدف الرئيس لهذا البحث هو دراسة تأثير تغير قيم بارامترات كل من عمليتي المزج وتشكل الندف والمتمثلة بمعامل تدرج سرعة المزج (G_1) وزمنه (T_1) ، وكذلك معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) (G_2) واستمراريته (T_2) على فعالية تصفية عينات من المياه (إزالة عكارتها) المأخوذة من بحيرة سد 16 تشرين، وذلك باستخدام مبدأ الخلط الميكانيكي في مرحلتي المزج وتشكل الندف ، ومن ثم التوصل إلى القيم المثلى لتلك البارامترات تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي. تم إجراء التجارب على عينات مياه خام بعكارات مختلفة: (50-100-150-200-250-300 mg/l)، وذلك باستخدام كبريتات الألمنيوم المائية $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ كمادة مخثرة بعد تحديد قيمة الجرعة المثالية منها لكل عكارة باتباع مبدأ التخثير التجريبي (Jar - Test) . سمحت نتائج التجارب بالتوصل إلى القيم المثلى لزمن عمليتي المزج وتشكل الندف والتي كانت على التوالي في حدود: ($T_1 = 35 - 50 \text{ sec}$) و ($T_2 = 840 - 1080 \text{ sec}$) ، كما تأرجحت القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج وتشكل الندف كما يلي: ($G_1 = 225 - 275 \text{ sec}^{-1}$) و ($G_2 = 40 - 55 \text{ sec}^{-1}$) وذلك كله تبعاً لقيم عكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي. أثبتت نتائج الاختبارات فعالية المعالجة المطبقة لتنقية المياه السطحية حيث لم تتجاوز العكارة المتبقية، عند القيم المثلى للبارامترات المأخوذة بعين الاعتبار، الحدود التي تسمح بتوجيه تلك المياه إلى الفلاتر بغية تخليصها من عكرها المتبقي، والذي يتراوح ما بين (8 - 15 mg/l) .

الكلمات المفتاحية: المزج - تشكل الندف - الخلط الميكانيكي - معامل تدرج سرعة المزج - معامل تدرج سرعة الخلط.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Surface Water Purification for Drinking Purposes Using Mechanical Mixing

Dr. Hossam Sabouh*
Aliaa Gbilly**

(Received 13 / 7 / 2021. Accepted 16 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

The coagulation and flocculation are considered one of the most important processes for drinking water purification from surface sources, so the aim of this research is to study the parameters affecting the coagulation and flocculation processes represented by the velocity gradient and time for each one, for samples of raw water (turbidity removing) from Lake "16 Tishreen" Dam by mechanical mixing. Then determine the optimal values of these parameters depend on the raw water turbidity that using in the experiments.

Experiments were conducted on water samples with different raw turbidity(50-100-150-200-250-300 mg/l) using aluminum sulfate [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$] as a coagulant after determining the optimal dose value for each Turbidity using the experimental coagulation device (Jar- Test).The results showed that the optimal values of the coagulation, flocculation time were ($T_1 = 35 - 50 \text{ sec}$), ($T_2 = 840 - 1080 \text{ sec}$) while The optimum value of velocity gradient was ($G_1 = 225 - 275 \text{ sec}^{-1}$), ($G_2 = 40 - 55 \text{ sec}^{-1}$) for each turbidity in the experimental work.

The results proved that mechanical mixing is an effective treatment technology for surface water purification where the residual turbidity didn't exceed the limits allow water to flow into the filters in order to remove her residual turbidity. It was (8 – 15 mg/l) at the optimal parameters.

Keywords: Coagulation – Flocculation- Mechanical mixing – Velocity gradient – Camp factor.

* Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .

** Postgraduate Student (Master), Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تستخدم المصادر السطحية والجوفية للإمداد العام بالمياه ولاسيما السطحية منها، حيث تتعلق مواصفات المياه السطحية (الأنهار والبحيرات الاصطناعية والطبيعية) بكمية الهطولات ونظافة الجو وطبيعية تربة الأحواض الساكنة كما يدخل في تركيب هذه المياه : الأملاح والمركبات العضوية (غروية وجزيئية) والغازات، بالإضافة إلى البكتريا والفيروسات والنباتات المائية [1,2] .

تحتوي مياه المصادر السطحية على شوائب مختلفة يمكن تصنيفها اعتماداً على قطر ذراتها ضمن ثلاث فئات رئيسية:
* **الفئة الأولى:** تضم الذرات التي تتراوح أقطار ذراتها ما بين ($10^{-5} - 10^{-3}$ cm) وهي تمثل المواد العالقة في المياه وتشمل ذرات الغضار والرمل والمواد العضوية التي تتجرف بفعل مياه الأمطار، إضافة إلى مستحلبات الزيوت المعدنية والمشتقات النفطية، حيث يسبب وجودها مجتمعة عكارة المياه [2] .

* **الفئة الثانية:** تضم تلك الذرات التي تتراوح أقطار ذراتها ما بين ($10^{-6} - 10^{-5}$ cm) وهي تشكل مع المياه جملاً غروانية (كالوئيدية) وهي بالأصل عبارة عن ذرات من التربة معدنية وعضوية المنشأ. هذا وتعتبر هذه الشوائب المسؤول الأول عن إكساب المياه درجة معينة من اللون وزيادة عكر المياه وتعتبر ذرات هذه الفئة من الملوثات الدقيقة لدرجة أنها ترى فقط بواسطة المجهر الإلكتروني، واحتجازها ممكن فقط بواسطة المرشحات الغشائية [2] .

* **الفئة الثالثة:** وهي تضم الشوائب المنحلة في المياه وتكون على هيئة جزيئات أو شوارد منفصلة مثل الكاتيونات ($Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, Ca^{+2}$) والأيونات ($HCO_3^{-}, SO_4^{-2}, Cl^{-}$) وكذلك العديد من الغازات المنحلة المتمثلة بـ (CO_2, H_2S, N_2, O_2)، أما الكشف عن هذا النوع من الملوثات فيتم بواسطة التحليل الكيميائي للمياه أو بواسطة حاسني الشم والذوق [2,3] .

تتلخص عملية تنقية المياه المأخوذة من مصادر سطحية واللازمة لأغراض الشرب بشكل أساسي في تخليصها من الشوائب المسببة لعكرها وتلونها، حيث تستخدم لهذه الغاية العديد من المواد الكيميائية المخترتة ، التي تتحللها بمجرد إضافتها إلى المياه مشكلةً ندفاً تجتذب إليها المواد العالقة وترسبها معها [3,4] .

من أهم المواد الكيميائية المخترتة المستخدمة في الواقع العملي لمعالجة المياه الطبيعية المأخوذة من المصادر السطحية نذكر: كبريتات الألمنيوم المائية ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)، كبريتات الحديد المائية ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$)، وكلور الحديد المائي ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) [3,4] .

من المهم الإشارة هنا إلى إمكانية إزالة المواد العالقة من المياه عن طريق الترسيب، في حين أن الذرات الغروية لا يمكن إزالتها عن طريق الترسيب لوحده لذلك يتم اللجوء إلى آليات أخرى لكسر استقرارها وتجميعها مع بعضها لتكوين جزيئات أكبر حجماً يمكن ترسيبها [4] .

إن عمليتي المزج وتشكل الندف من أهم مراحل معالجة المياه حيث أنه عند إضافة المادة الكيميائية المخترتة للمياه يتم اعتماد مبدأ المزج السريع لتأمين توزيع المادة المخترتة في كامل حجم المياه المعالجة، ثم الخلط البطيء لتشكيل الندف [5].
توصف شدة عملية المزج والخلط بما يسمى (معامل تدرج سرعة المزج G1 أو الخلط G2)، حيث تكون شدة المزج عادة عالية بغية تأمين التوزيع السريع والآني للمادة الكيميائية المخترتة المضافة داخل كامل حجم المياه الكائن في حيز (أو حوض) المزج، في حين تمتاز عملية الخلط (في حجرة تشكل الندف) بشدتها المنخفضة بغية المحافظة على الندف التي تم تشكيلها وحمايتها من التهشيم [6].

يشهد الواقع العملي في مجال معالجة المياه السطحية وعند إضافة المواد المخثرة إليها أساليب متعددة لتأمين عمليتي المزج والخلط المشار إليهما أعلاه ، ولعل من أكثر الطرق شيوعاً هي استخدام الخلاطات الميكانيكية داخل حجم المياه الخاضعة للمعالجة ، وهنا نشير إلى وجود عدة أنواع من الخلاطات الميكانيكية (مروحية وتوربينية وذات مجداف) ، حيث تستخدم الخلاطات المروحية والتوربينية عادة من أجل المزج السريع (عملية المزج) أما الخلاطات ذات المجداف فتستخدم من أجل الخلط البطيء (تشكل الندف) .

من التجارب العالمية في هذا المجال نذكر على سبيل المثال لا الحصر الدراسة التي قدمها الباحث V.AMHASALKAR وآخرون [7] لتحديد البارامترات الفيزيائية المؤثرة على عملية المزج باستخدام خلط ميكانيكي مروحي مؤلف من ست سفرات، باعتماد ثلاث عينات بعكارات خام مختلفة (480 - 120 - 30 NTU) وأظهرت الدراسة أنه بزيادة عدد دورات الخلط الميكانيكي تزداد قيمة معامل تدرج السرعة (G) وبالتالي تقل فعالية المعالجة ويعود السبب في ذلك إلى تهشم الندف، وبزيادة قيمة العكارة الخام تقل قيمة (G) ، كما بينت الدراسة فعالية المعالجة باستخدام تقنية الخلط المذكورة أعلاه حيث انخفضت قيمة العكارة إلى حدود (3 NTU) عند قيمة لمعامل تدرج سرعة المزج مساوية ($450 - 750 \text{ sec}^{-1}$) وزمن مزج (40 - 90 sec) [7] .

أما في دراسة VADASARUKKAI وآخرون [8] فقد تم فحص تأثير الخلط السريع وطاقة الخلط المصاحبة على تراكم الندف المتشكلة بالنسبة لمصدر مياه سطحي يتميز بنسبة عالية من المادة الدبالية المائية. أظهرت التحليلات الطيفية للأشعة تحت الحمراء أن المعقدات الغروانية الناتجة عن التبادل الترابطي بين الحديد والمواد العضوية الطبيعية المذابة (DOM) لم تتأثر بشكل كبير بمدخلات طاقة الخلط.

هذا يدل على أن إزالة DOM عن طريق التخثر يمكن تحقيقها بكثافة خلط أقل، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة. في المقابل، أظهرت التحقيقات المخبرية أن طاقة خلط التخثر أثرت على توزيعات حجم الكتلة أثناء مرحلة الخلط البطيء في التلبد، وإلى حد ما على خصائص ترسيبها، وأظهرت نتائج تحليل خصائص الكتلة بوضوح أنه تم إنفاق طاقة خلط أكثر من اللازم في عملية التخثر، والتي يتم تصميمها عادةً في نطاق كثافة خلط عالية تبلغ $(600-1000) \text{ Sec}^{-1}$ في محطات المعالجة. النتائج الرئيسية من هذه الدراسة لها آثار عملية على مرافق المياه لتحقيق أهداف جودة المياه بشكل استراتيجي مع تقليل الطلب على الطاقة [8].

إضافة إلى ذلك تظهر نتائج الدراسة التي قام بها S.M.PARK وآخرون [9] حول تأثير معامل تدرج سرعة المزج وزمن المزج على حجم الندف المتشكلة باستخدام جهاز التخثر التجريبي (Jar - test) ، أن لحجم الندف المتشكلة تأثيراً كبيراً على فعالية المعالجة بالعلاقة مع زمن المزج، وبينت أنه أثناء عملية المزج وبعد زمن (30 sec) عند قيمة لمعامل تدرج سرعة المزج مساوية ($G1 = 200 \text{ sec}^{-1}$) بدأت تتشكل ندف صغيرة الحجم (قطرها أصغر من $5 \mu\text{m}$) ليزداد تعداد وحجم هذه الندف مع زيادة زمن المزج (ندف قطرها أكبر من $8 \mu\text{m}$) عند نفس القيمة لـ ($G1$) حيث وصلت هذه الندف إلى القيمة العظمى عند زمن مزج (180 sec) ثم بدأت بالانخفاض [9] .

أهمية البحث و أهدافه:

تتم أهمية البحث في أنه يقدم أفكاراً علمية ونتائج تجريبية ذات معنى في مجال تنقية المياه السطحية وجعلها صالحة للشرب والأغراض المعاشية الأخرى .

أما هدف البحث فينحصر في تحديد القيم المثلى للبارامترات الأساسية لعملية المزج والخلط (تشكل الندف) ، والتي يعبر عنها بزمن وشدة كل منهما [(T1 , sec) و (G1 , sec⁻¹)] لعملية المزج ، وكذلك [(T2 , sec) و (G2 , sec⁻¹)] لعملية تشكل الندف ، وذلك من أجل العكارات المختلفة للمياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي ، وعند استخدام طريقة الخلط الميكانيكي لغايات المزج وتشكل الندف .

طرائق البحث ومواده:

1- محددات العمل التجريبي:

من المعروف أن عملية تنقية المياه المأخوذة من المصادر السطحية لغايات الشرب والأغراض المعاشية المختلفة تنحصر في تخليصها من العكر أو التلون أو الاتنين معاً والتي تتم بإضافة المواد الكيميائية المخثرة المختلفة إلى المياه المعالجة في منشآت خاصة تسمى أحواض أو تجهيزات المزج، لتتابع من بعدها عمليات تشكل الندف والترسيب والترشيح والتعقيم، والتي تعطي بنتيجتها مياهاً صالحة للشرب وفقاً للمواصفات المعروفة [10].

لاختصار عدد التجارب اللازمة للوصول إلى هدف البحث فقد تم اتخاذ مجموعة من الإجراءات والتي تمثلت بما يلي:
1- تم إجراء كافة التجارب على مياه مأخوذة من أحد خلجان بحيرة سد (16 تشرين) وذلك بعد حفظ الكمية اللازمة من المياه الخام في المخبر لمدة لا تقل عن (24 ساعة) قبل استخدامها في العمل التجريبي لتكتسب درجة حرارة الجو الخارجي، وقد تم قياس كل من درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني للمياه قبل إجراء التجارب .

2- لتحديد تأثير نوعية وجرعة المادة الكيميائية المخثرة المستخدمة فقد استخدم أثناء مراحل الاختبارات المختلفة التي قمنا بها مادة واحدة هي كبريتات الألمنيوم المائية [(Al₂SO₄)₃ . 18H₂O] ، أما جرعتها فتمّ تحديدها تجريبياً باستخدام جهاز التخثير التجريبي (Jar-Test) في مخبر الهندسة البيئية وذلك تبعاً لقيمة العكارة المقاسة في العينة المائية المدروسة، ويبين الجدول رقم (1) قيم الجرعات المثلى للعكارات المختلفة.

الجدول رقم (1): قيم الجرعات المثلى من المادة الكيميائية تبعاً لعكارة المياه الخام (Jar- Test)

عكارة المياه الخام (M , mg/l)	50	100	150	200	250	300
قيمة الجرعة المثلى (D _k , mg/l)	8	14	16	19	23	25

3- لتأمين إمكانية إجراء التجارب المخبرية على مياه خام بعكارات مختلفة فقد تم استخدام معكر اصطناعي تم تحضيره من الطمي المأخوذ من قاع البحيرة التي أخذت المياه الخام منها.

4- تم اعتماد الخلط الميكانيكي لإتمام عمليتي المزج والخلط (تشكل الندف) ، كما تم قياس قيم العكارات المتبقية في كافة العينات المعالجة بعد مرور زمن مقداره ساعة واحدة من الترسيب .

للتعبير عن شدة عملية المزج أو الخلط (تشكل الندف) تم استخدام ما يسمى معامل تدرج سرعة المزج أو الخلط، والذي يُعبر عنه بالعلاقة التالية [10] :

$$G = [P / (V \cdot \mu)]^{0.5} , \quad \text{sec}^{-1} \quad (1)$$

حيث أن:

G – معامل تدرج سرعة المزج أو الخلط ، sec⁻¹

P - الطاقة المصروفة لتأمين عملية المزج أو الخلط ، جول

V - حجم المياه المعالجة ، (m^3)

μ - اللزوجة الديناميكية للمياه تبعا لدرجة حرارتها، (pas. sec)

تُحسب الطاقة المصروفة لتأمين عملية الخلط بالمعادلة التالية:

$$P = V_p * F_D \quad (2)$$

على اعتبار أن:

V_p - السرعة الفعلية للخلط وتساوي (0.6 - 0.75) من سرعة رأس الخلاط **V_{pt}** ، (m/s)

F_D - قوة الخلط (N) ، وهي تعطى بالعلاقة :

$$F_D = (C_d * A * \rho * V_p^2) / 2 \quad (3)$$

حيث أن:

C_d - معامل الخلط ويتعلق بأبعاد شفرة الخلاط (طولها - L و عرضها - B) وتحدد قيمته تبعاً لذلك كما يلي:

L/B	Up to 5	5 - 20	Above 20
C_d	1.2	1.5	1.9

A - مساحة شفرة الخلاط من الزاوية اليمينية العليا حتى مركز الدوران ، (m^2)

ρ - كثافة الماء ، (Kg/m^3)

أما سرعة رأس الخلاط (V_{pt}) فيمكن حسابها من العلاقة:

$$V_{pt} = 2\pi * N * r / 60 \quad (4)$$

حيث أن:

V_{pt} - سرعة رأس الخلاط وتساوي (0.6 - 0.9 m/s)

N - عدد دورات الخلاط

r - نصف قطر الخلاط ، (m)

بتعويض المعادلات (2) و (3) و (4) في المعادلة (1) وباعتبار أن $V_p = 0.75 V_{pt}$ نحصل على المعادلة التي تسمح بحساب قيمة معامل تدرج سرعة المزج أو الخلط (G) على النحو التالي:

$$G^2 = \frac{0.5 C_d * A * \rho \left(\frac{1.5\pi * N * r}{60} \right)^3}{\mu * V} \quad (5)$$

لإنجاز العمل التجريبي العائد للبحث تم استخدام جهاز التخثير التجريبي (**Jar - Test**) المتوفر في مخبر قسم الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، والذي يضم خمس بياشر زجاجية مدرجة سعة كل منها واحد لتر، (مع العلم أن الحجم الممكن استخدامه أثناء العمل التجريبي هو 800 ml) يتحرك في داخل كل منها خلاط ميكانيكي مكون من ذراع شاقولية تنتهي في أسفلها بشفرة الخلاط طولها ($L = 7.5$ cm) وعرضها ($B = 2.5$ cm) انطلاقاً من أن درجة الحرارة المسجلة في عينات المياه المختبرة تراوحت ما بين ($15 - 18^\circ C$) تم اعتماد قيمة اللزوجة الديناميكية للمياه المعالجة عند درجة الحرارة ($15^\circ C$) (الحالة الأسوأ حيث قيمة اللزوجة الأكبر) والتي كانت مساوية : $\mu = 1.139 * 10^{-3}$ pas.sec ، أما كثافة المياه فأخذت مساوية : $\rho = 1000$ kg/m³ . استناداً إلى أبعاد شفرة الخلاط المبينة أعلاه يكون لدينا:

$$A = L * B = 7.5 * 2.5 = 18.45 \text{ cm}^2 \text{ - مساحة شفرة الخلاط:}$$

$$r = L / 2 = 7.5 / 2 = 3.75 \text{ cm} \text{ - نصف قطر شفرة الخلاط:}$$

$$L / B = 7.5 / 2.5 = 3 \longrightarrow C_d = 1.2 \text{ -}$$

بتعويض القيم الواردة أعلاه في المعادلة رقم (5) نحصل على المعادلة النهائية التي تربط ما بين قيمة معامل تدرج سرعة الخلط وعدد دورات شفرات الخلاط المستخدم والتي تأخذ الشكل التالي:

$$G = (0.0315 N^3)^{0.5} \quad (6)$$

5- انطلاقاً مما ورد أعلاه وبغية تحقيق هدف البحث فقد تم إجراء العمل التجريبي باعتماد خمسة بارامترات رئيسية هي :

أ- عكارة المياه الخام (M_o , mg/l) :

تم اختيار مجال تأرجح قيمة هذا البارامتر بحيث يشمل العكارات الضعيفة والمتوسطة والتي تضم بالتأكيد العكارات التي يمكن أن تلاحظ في مياه السدود السطحية في المناطق الساحلية، لذلك تم إجراء الاختبارات على مياه خام بعكارات تراوحت ما بين (50 - 300 mg/l).

ب- زمن (استمرارية) عملية المزج ، (T_1 , sec) .

ج- معامل تدرج سرعة المزج ، (G_1 , sec⁻¹) .

د- زمن أو استمرارية عملية الخلط (تشكل الندف) ، (T_2 , sec) .

هـ- معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) ، (G_2 , sec⁻¹) .

لقد أخذت حدود مجالات تأرجح البارامترات الأربعة الأخيرة انطلاقاً مما تورده المراجع المختصة [1] في هذا المجال مع الأخذ بعين الاعتبار أن التجارب المخبرية تتم في ظل ظروف ساكنة (استاتيكية)، أي في حالة عدم وجود جريان مستمر تنعكس خواصه الهيدروديناميكية على قيم تلك البارامترات . هذا وقد أوردنا في الجدول رقم (2) اللاحق مجالات تأرجح كافة البارامترات المذكورة أعلاه وكذلك مستويات الاختبار لكل منها .

الجدول رقم (2) : مجالات تأرجح قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في العمل التجريبي ومستويات الاختبار لكل منها

اسم البارامتر ورمزه	مجالات تأرجح قيم البارامترات	مستويات الاختبار						
		1	2	3	4	5	6	7
عكارة المياه الخام (M_o , mg/l)	50 - 300	50	100	150	200	250	300	---
استمرارية عملية المزج (T_1 , sec)	25 - 70	25	30	35	40	50	60	70
معامل تدرج سرعة المزج (G_1 , sec ⁻¹)	150 - 300	150	175	200	225	250	275	300
استمرارية عملية الخلط (T_2 , sec)	720 - 1200	720	780	840	900	960	1080	1200
معامل تدرج سرعة الخلط (G_2 , sec ⁻¹)	30 - 60	30	35	40	45	50	55	60

2- مراحل وآلية إنجاز العمل المخبري:

لقد تضمن العمل المخبري القيام بإجراء مجموعة واسعة من التجارب المخبرية المتتالية هدفها الوصول إلى القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف (T_1 , G_1 , T_2 , G_2) من أجل العكارات المختلفة للمياه الخام الخاضعة للمعالجة وعند استخدام الخلط الميكانيكي.

أجريت التجارب على مياه طبيعية مأخوذة من إحدى بحيرات سد (16 تشرين) محفوظة في ظروف المخبر لمدة لا تقل عن (24 ساعة) وضبطت عكارتها وفقاً لظروف التجربة إما بالتمديد أو بإضافة المعكر المحضر سلفاً من الطمي المأخوذ من قاع بحيرة السد كما ذكرنا سابقاً .

تم إنجاز العمل التجريبي على أربع مراحل كما يلي:

أ- المرحلة الأولى:

تم فيها تطبيق طريقة المعالجة المتبعة باستخدام الخلط الميكانيكي من أجل كل عكارة على حدة وذلك عند القيم المختلفة لزمن المزج (T_1 , sec) مع تثبيت باقي البارامترات، بهدف الوصول إلى قيمة زمن المزج المثلى من أجل كل عكارة للمياه الخام المستخدمة في التجارب، وهي القيمة الموافقة لأصغر قيمة للعكارة المتبقية في المياه المستخدمة في نهاية عملية المعالجة (M_1 , mg/l) .

بمعنى أن قيم البارامترات المتأرجحة في هذه المرحلة من الاختبارات هي :

$$M_0 = (50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300) \text{ mg/l}$$

$$T_1 = (25 - 30 - 35 - 40 - 50 - 60 - 70) \text{ sec.}$$

أما قيم البارامترات الثابتة في هذه المرحلة من الاختبارات فكانت :

$$G_1 = 225 \text{ sec}^{-1} , T_2 = 900 \text{ sec} , G_2 = 45 \text{ sec}^{-1}$$

ب- المرحلة الثانية:

هدفها الوصول إلى القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1 , sec^{-1}) من أجل كل عكارة للمياه المستخدمة في العمل التجريبي، وهذا يعني أن قيم البارامترات المتغيرة في هذه المرحلة هي:

$$M_0 = (50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300) \text{ mg/l}$$

$$G_1 = (150 - 175 - 200 - 225 - 250 - 275 - 300) \text{ sec}^{-1}$$

في حين أن البارامترات الثابتة كانت على النحو التالي:

$$T_1 = (T_{1, \text{Optimum}} \text{ for each } M_0 \text{ من الاختبارات الأولى في المرحلة الأولى})$$

$$T_2 = 900 \text{ sec} , G_2 = 45 \text{ sec}^{-1}$$

ج- المرحلة الثالثة:

كانت الغاية من الاختبارات في هذه المرحلة تحديد القيم المثلى لزمن عملية تشكل الندف (T_2 , sec) من أجل كل عكارة للمياه المستخدمة في العمل التجريبي، وهذا يعني أن قيم البارامترات المتغيرة في هذه المرحلة هي:

$$M_0 = (50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300) \text{ mg/l}$$

$$T_2 = (720 - 780 - 840 - 900 - 960 - 1080 - 1200) \text{ sec}$$

أما قيم البارامترات الثابتة في هذه المرحلة من الاختبارات فكانت :

$$T_1 = (T_{1, \text{Optimum}} \text{ for each } M_0 \text{ من الاختبارات الأولى في المرحلة الأولى})$$

$$G_1 = (G_{1, \text{Optimum}} \text{ for each } M_0 \text{ من الاختبارات الثانية في المرحلة الثانية})$$

$$G_2 = 45 \text{ sec}^{-1}$$

د- المرحلة الرابعة:

هدفت الاختبارات في هذه المرحلة إلى الوصول للقيم المثلى لمعامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) (G_2, sec^{-1}) لزمن عملية تشكل الندف من أجل كل عكارة للمياه المستخدمة في العمل التجريبي، وهذا يعني أن قيم البارامترات المتغيرة في هذه المرحلة كانت:

$$M_0 = (50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300) \text{ mg/l}$$

$$G_2 = (30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55 - 60) \text{ sec}^{-1}$$

مع العلم أن قيم البارامترات الثابتة في هذه المرحلة من الاختبارات كانت كما يلي:

$$T_1 = (T_1, \text{Optimum for each } M_0 \text{ الاختبارات الأولى من المرحلة الأولى من الاختبارات})$$

$$G_1 = (G_1, \text{Optimum for each } M_0 \text{ الاختبارات الثانية من الاختبارات})$$

$$T_2 = (T_2, \text{Optimum for each } M_0 \text{ الاختبارات الثالثة من الاختبارات})$$

كما ورد أعلاه نجد أنه لكل تجربة قيم محددة للبارامترات الخمسة المأخوذة بعين الاعتبار في هذا البحث، وهي:

$$(M_0, \text{ mg/l} - T_1, \text{ sec} - G_1, \text{ sec}^{-1} - T_2, \text{ sec} - G_2, \text{ sec}^{-1})$$

أما آلية إجراء التجارب فنوضحها على النحو التالي:

(1) - يُحضّر في بداية كل يوم عمل الحجم اللازم من المياه الخام المخزنة أصلاً في المخبر لمدة لا تقل عن (24 ساعة) وتضبط عكارتها عند القيمة ($M_0, \text{ mg/l}$) تبعاً لشروط التجربة وتقاس فيها درجة الحرارة والأس الهيدروجيني (pH) وتُملأ ثلاثة بياشر من جهاز التخثير التجريبي (Jar - Test) المستخدم لإجراء التجارب بحجم قدره (800 ml) من تلك المياه.

(2) - يُحسب عدد دورات الخلاط (N_1) الموافقة لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1) وكذلك عدد دورات الخلاط (N_2) الموافقة لقيمة معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) (G_2) وذلك بالاعتماد على العلاقة رقم (6).

(3) - نقوم بتشغيل جهاز تحريك الخلاطات المتوضعة داخل البياشر ونضبط سرعة دورانها بحيث يكون عدد الدورات مساوياً (N_1) ومن ثم نضيف الجرعة اللازمة من المادة المخثرة المستخدمة [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$] وذلك بعد الاستعانة بمعطيات الجدول رقم (1) السابق.

(4) - بعد انقضاء زمن المزج (T_1) نخفض سرعة دوران الخلاطات إلى القيمة (N_2) الموافقة لقيمة معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) (G_2)، وبعد مضي زمن الخلط (T_2) نقوم بتوقيف الخلاطات داخل بياشر الاختبار وتترك المياه المعالجة لتخضع لعملية الترسيب لمدة ساعة واحدة، ومن ثم تُقطف من أعلى كل بياشر عينة بحجم (10 ml) لقياس العكارة المتبقية ($M_1, \text{ mg/l}$) وقيمة الـ pH فيها.

ملاحظات هامة:

- تم تكرار كل تجربة مرتين على الأقل للتأكد من صحة القراءة المسجلة.
- تراوحت درجة حرارة المياه الخام المحفوظة في المخبر ما بين ($16 - 19^\circ\text{C}$).
- تراوحت قيمة الأس الهيدروجيني المقاسة في المياه الخام قبل المعالجة ما بين ($7.2 - 7.6$) وبعد المعالجة ما بين ($7.0 - 7.5$).

النتائج والمناقشة:

نعرض فيما يلي نتائج الاختبارات للمراحل الأربع المشار إليها أعلاه كما يلي:

الجدول رقم (3): نتائج اختبارات المرحلة الأولى
[تحديد القيم المثلى لزمن المزج (T_1 , sec) تبعاً لقيمة العكارة الأولية (M_0 , mg/l)
في المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي]

الخطوة الأولى من المرحلة الأولى							
$M_0 = 50$ mg/l		$G_1 = 225$ sec ⁻¹		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec ⁻¹	
T_1 (sec)	25	30	35	40	50	60	70
M_1 (mg/l)	16.1	14.5	13.1	12.6	11.0	12.0	12.8
الخطوة الثانية من المرحلة الأولى							
$M_0 = 100$ mg/l		$G_1 = 225$ sec ⁻¹		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec ⁻¹	
T_1 (sec)	25	30	35	40	50	60	70
M_1 (mg/l)	18.5	17.1	15.4	14.2	12.1	13.2	14.2
الخطوة الثالثة من المرحلة الأولى							
$M_0 = 150$ mg/l		$G_1 = 225$ sec ⁻¹		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec ⁻¹	
T_1 (sec)	25	30	35	40	50	60	70
M_1 (mg/l)	17.3	16.1	14.2	11.8	13.2	14.3	15.0
الخطوة الرابعة من المرحلة الأولى							
$M_0 = 200$ mg/l		$G_1 = 225$ sec ⁻¹		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec ⁻¹	
T_1 (sec)	25	30	35	40	50	60	70
M_1 (mg/l)	19.7	17.2	14.8	12.5	13.8	14.0	14.3
الخطوة الخامسة من المرحلة الأولى							
$M_0 = 250$ mg/l		$G_1 = 225$ sec ⁻¹		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec ⁻¹	
T_1 (sec)	25	30	35	40	50	60	70
M_1 (mg/l)	19.0	18.1	16.0	13.5	15.5	16.0	15.6
الخطوة السادسة من المرحلة الأولى							
$M_0 = 300$ mg/l		$G_1 = 225$ sec ⁻¹		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec ⁻¹	
T_1 (sec)	25	30	35	40	50	60	70
M_1 (mg/l)	18.5	16.5	13.3	14.5	14.9	15.2	15.0

من الجدول رقم (3) أعلاه نلاحظ انخفاض قيمة العكارة المتبقية مع زيادة زمن المزج لتصل إلى أخفض قيم لها ثم ترتفع من جديد، حيث يمكن الحصول على القيم المثلى لزمن المزج (T_1 , sec) تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي، وهي القيم المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه بعد إخضاعها للمعالجة حيث كانت (35- 50 sec)، وهذا ما بيناه في الجدول رقم (4) أدناه.

الجدول رقم (4) : القيم المثلى لزمن المزج تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي

عكارة المياه الخام (M_0 , mg/l)	50	100	150	200	250	300
القيم المثلى لزمن المزج (T_1 , sec)	50	50	40	40	40	35

الجدول رقم (5) : نتائج اختبارات المرحلة الثانية

[تحديد القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1 , sec^{-1}) تبعاً لقيمة العكارة الأولية (M_0 , mg/l)

في المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي]

الخطوة الأولى من المرحلة الثانية							
$M_0 = 50$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 50$ sec		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec^{-1}	
G_1 (sec^{-1})	150	175	200	225	250	275	300
M_1 (mg/l)	16.2	15.0	14.3	13.0	12.0	11.3	12.5
الخطوة الثانية من المرحلة الثانية							
$M_0 = 100$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 50$ sec		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec^{-1}	
G_1 (sec^{-1})	150	175	200	225	250	275	300
M_1 (mg/l)	17.2	16.0	15.5	15.0	13.6	12.0	13.4
الخطوة الثالثة من المرحلة الثانية							
$M_0 = 150$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 40$ sec		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec^{-1}	
G_1 (sec^{-1})	150	175	200	225	250	275	300
M_1 (mg/l)	18.8	17.0	15.0	13.9	12.7	13.8	14.6
الخطوة الرابعة من المرحلة الثانية							
$M_0 = 200$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 40$ sec		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec^{-1}	
G_1 (sec^{-1})	150	175	200	225	250	275	300
M_1 (mg/l)	18.1	16.8	14.2	12.2	11.0	13.3	13.2
الخطوة الخامسة من المرحلة الثانية							
$M_0 = 250$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 40$ sec		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec^{-1}	
G_1 (sec^{-1})	150	175	200	225	250	275	300
M_1 (mg/l)	19.2	17.6	15.4	12.8	12.1	14.2	14.5
الخطوة السادسة من المرحلة الثانية							
$M_0 = 300$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 35$ sec		$T_2 = 900$ sec		$G_2 = 45$ sec^{-1}	
G_1 (sec^{-1})	150	175	200	225	250	275	300
M_1 (mg/l)	20.0	18.5	16.5	13.5	14.0	15.2	15.3

زيادة قيمة معامل تدرج سرعة المزج تنخفض قيم العكارة المتبقية لتصل إلى أقل قيمة لها ثم ترتفع، لتكون قيم (G_1) المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه بعد إخضاعها للمعالجة القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1 , sec^{-1}) تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي حيث تراوحت بين ($225 - 275$ sec^{-1}) ، وهذا ما بيناه في الجدول رقم (6) أدناه.

الجدول رقم (6) : القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1, sec^{-1}) تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي

عكارة المياه الخام ($M_0, mg/l$)	50	100	150	200	250	300
القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1, sec^{-1})	275	275	250	250	250	225

الجدول رقم (7) : نتائج اختبارات المرحلة الثالثة

[تحديد القيم المثلى لزمان تشكل الندف (T_2, sec) تبعاً لقيمة العكارة الأولية ($M_0, mg/l$)

في المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي]

الخطوة الأولى من المرحلة الثالثة							
$M_0 = 50 mg/l$		$T_{1,Optimum} = 50 sec$		$G_{1,Optimum} = 275 sec^{-1}$		$G_2 = 45 sec^{-1}$	
$T_2 (sec)$	720	780	840	900	960	1080	1200
$M_1 (mg/l)$	12.8	11.8	10.9	10.5	10.1	8.8	11.0
الخطوة الثانية من المرحلة الثالثة							
$M_0 = 100 mg/l$		$T_{1,Optimum} = 50 sec$		$G_{1,Optimum} = 275 sec^{-1}$		$G_2 = 45 sec^{-1}$	
$T_2 (sec)$	720	780	840	900	960	1080	1200
$M_1 (mg/l)$	13.4	12.7	12.0	11.0	9.5	10.7	11.6
الخطوة الثالثة من المرحلة الثالثة							
$M_0 = 150 mg/l$		$T_{1,Optimum} = 40 sec$		$G_{1,Optimum} = 275 sec^{-1}$		$G_2 = 45 sec^{-1}$	
$T_2 (sec)$	720	780	840	900	960	1080	1200
$M_1 (mg/l)$	14.0	12.3	11.2	10.1	9.0	9.9	12.0
الخطوة الرابعة من المرحلة الثالثة							
$M_0 = 200 mg/l$		$T_{1,Optimum} = 40 sec$		$G_{1,Optimum} = 275 sec^{-1}$		$G_2 = 45 sec^{-1}$	
$T_2 (sec)$	720	780	840	900	960	1080	1200
$M_1 (mg/l)$	13.0	12.4	11.0	9.5	10.3	11.4	11.6
الخطوة الخامسة من المرحلة الثالثة							
$M_0 = 250 mg/l$		$T_{1,Optimum} = 40 sec$		$G_{1,Optimum} = 275 sec^{-1}$		$G_2 = 45 sec^{-1}$	
$T_2 (sec)$	720	780	840	900	960	1080	1200
$M_1 (mg/l)$	14.0	13.4	11.6	10.1	11.2	12.0	12.5
الخطوة السادسة من المرحلة الثالثة							
$M_0 = 300 mg/l$		$T_{1,Optimum} = 35 sec$		$G_{1,Optimum} = 275 sec^{-1}$		$G_2 = 45 sec^{-1}$	
$T_2 (sec)$	720	780	840	900	960	1080	1200
$M_1 (mg/l)$	13.6	12.8	9.9	10.8	11.9	12.6	12.1

تراوحت القيم المثلى لزمان الخلط بين (840 - 1080 sec) والمقابلة لأقل قيمة للعكارة المتبقية في المياه المعالجة وعند كل قيمة للعكارة الخام المعتمدة في التجارب.

من الجدول رقم (7) أعلاه يمكن الحصول على القيم المثلى لزمن تشكل الندف (T_2 , sec) تبعاً لعاكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي في الجدول رقم (8) أدناه.

الجدول رقم (8) : القيم المثلى لزمن تشكل الندف (T_2 , sec) تبعاً لعاكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي

عكارة المياه الخام (M_0 , mg/l)	50	100	150	200	250	300
القيم المثلى لزمن تشكل الندف (T_2 , sec)	1080	960	960	900	900	840

الجدول رقم (9) : نتائج اختبارات المرحلة الرابعة

[تحديد القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة تشكل الندف (G_2 , sec^{-1}) تبعاً لقيمة العكارة الأولية (M_0 , mg/l) في المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي]

الخطوة الأولى من المرحلة الرابعة							
$M_0 = 50$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 50$ sec		$G_{1,Optimum} = 275$ sec^{-1}		$T_{2,Optimum} = 1080$ sec	
G_1 (sec^{-1})	30	35	40	45	50	55	60
M_1 (mg/l)	11.0	9.7	9.1	8.1	7.3	6.5	8.0
الخطوة الثانية من المرحلة الرابعة							
$M_0 = 100$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 50$ sec		$G_{1,Optimum} = 275$ sec^{-1}		$T_{2,Optimum} = 960$ sec	
G_1 (sec^{-1})	30	35	40	45	50	55	60
M_1 (mg/l)	12.3	11.2	10.3	8.5	7.0	8.1	8.6
الخطوة الثالثة من المرحلة الرابعة							
$M_0 = 150$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 40$ sec		$G_{1,Optimum} = 275$ sec^{-1}		$T_{2,Optimum} = 960$ sec	
G_1 (sec^{-1})	30	35	40	45	50	55	60
M_1 (mg/l)	11.8	10.5	9.6	9.1	7.8	8.6	9.5
الخطوة الرابعة من المرحلة الرابعة							
$M_0 = 200$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 40$ sec		$G_{1,Optimum} = 275$ sec^{-1}		$T_{2,Optimum} = 900$ sec	
G_1 (sec^{-1})	30	35	40	45	50	55	60
M_1 (mg/l)	12.6	11.6	9.0	8.1	9.0	9.7	9.5
الخطوة الخامسة من المرحلة الرابعة							
$M_0 = 250$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 40$ sec		$G_{1,Optimum} = 275$ sec^{-1}		$T_{2,Optimum} = 900$ sec	
G_1 (sec^{-1})	30	35	40	45	50	55	60
M_1 (mg/l)	12.1	10.2	8.6	9.0	9.8	10.2	10.6
الخطوة السادسة من المرحلة الرابعة							
$M_0 = 300$ mg/l		$T_{1,Optimum} = 35$ sec		$G_{1,Optimum} = 275$ sec^{-1}		$T_{2,Optimum} = 840$ sec	
G_1 (sec^{-1})	30	35	40	45	50	55	60
M_1 (mg/l)	13.3	11.0	9.5	10.3	10.5	10.8	11.2

من الجدول رقم (9) أعلاه نحصل على القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة تشكل الندف (G_2 , sec^{-1}) تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي، وهي القيم المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه بعد إخضاعها للمعالجة حيث تراوحت بين ($40-55 sec^{-1}$)، وهذا ما بيناه في الجدول رقم (10) أدناه.

الجدول رقم (10): القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة تشكل الندف (G_2 , sec^{-1}) تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي

عكارة المياه الخام (M_0 , mg/l)	50	100	150	200	250	300
القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة تشكل الندف (G_2 , sec^{-1})	55	50	50	45	40	40

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- أظهرت نتائج الاختبارات أن القيم المثلى لزمن المزج (T_1) تراوحت ما بين ($35 - 50 sec$) ، أما القيم المثلى لزمن تشكل الندف (T_2) فتراوحت ما بين ($840 - 1080 sec$) وذلك تبعاً لقيم العكارة المقاسة في المياه الخام الخاضعة للمعالجة .

2- تراوحت القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G_1) ما بين ($225 - 275 sec^{-1}$) ، في حين انحصرت قيم معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) (G_2) في حدود ($40 - 55 sec^{-1}$) وذلك تبعاً لقيم العكارة المقاسة في المياه الخام الخاضعة للمعالجة .

3- بقراءة متأنية لنتائج الاختبارات نلاحظ انخفاض قيم بارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف مع ارتفاع عكارة المياه الخام الخاضعة للمعالجة .

4- تثبتت نتائج الاختبارات فعالية المعالجة المطبقة في هذا البحث لتنقية المياه السطحية حيث لم تتجاوز العكارة المتبقية عند القيم المثلى للبارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في الدراسة الحد الذي تسمح به الكودات العالمية بتوجيه تلك المياه إلى الفلاتر بغية تخليصها من عكرها المتبقي.

التوصيات:

- 1- ضرورة إجراء اختبارات أخرى وبنفس المنهجية على مياه بعكارات تقع خارج حدود القيم التي تم اختبارها في هذا البحث .
- 2- من المهم دراسة تأثير درجات الحرارة المنخفضة (درجة حرارة المياه في بحيرات السدود السطحية في المنطقة الساحلية شتاء) على عملية المعالجة برمتها .
- 3- ضرورة اختبار منهجية هذا البحث على مياه طبيعية أخرى قد تكون مختلفة بالموصفات الفيزيائية والكيميائية عن المياه الخام التي استخدمت في هذا البحث .

References:

- 1- AL SALLOUM, Dorgam. *Drinking Water Purification*. Syria ,2012,270.
- 2- Ohm, T. I. Computational Fluid Dynamics Modeling and Field Applications of Non-Powered Hydraulic Mixing in Water Treatment Plants. *Water*, 2020. 12(4), 939.
- 3- EL-BASSIONE,A.A *Novel Compact Coagulation-Flocculation-Sedimentation System*. Ninth International Water Technology Conference Egypt, IWTC9 ,2005,733.
- 4- LIN,J. *Enhanced particle destabilization and aggregation by flash-mixing coagulation for drinking water treatment*. Separation and Purification Technology Taiwan,2013,145-151.
- 5- MOHAMMED,T,J.*Effect of settling time, velocity gradient, and camp number on turbidity removal for oilfield produced water*. Egyptian.J.Petrol Egypt,2017.
- 6- ZHANG, Z. Effects of Slow-Mixing on the Coagulation Performance of Polyaluminum Chloride (PACl). *Chinese Journal of Chemical Engineering*,2013, 21(3), 318–323.
- 7- MHAISALKAR, V. A. *Optimizing physical parameters of rapid mix design for coagulation-flocculation of turbid waters*. *Water Research*, 1991, 25(1), 43–52.
- 8- VADASARUKKAI,Y. *Influence of the Mixing Energy Consumption Affecting Coagulation and Floc Aggregation*. *Environmental Science& Technology Canada*,2017,188-139-184-41.11
- 9- PARK,S,M. *Effects of velocity gradient and mixing time on particle growth in a rapid mixing tank*. *water Science& Technology Korea*,2006,95-102.
- 10- ALSHIKH,O. *Parameters affecting coagulation/flocculation of drinking water under cold temperatures*. *Library and Archives Canada* ,2007.