

Surface Water Purification for Drinking Purposes Using Mechanical Mixing and Settling Tanks with Plate Settlers

Dr. Hossam Sabouh*
Tasnim Debs**

(Received 11 / 8 / 2022. Accepted 20 / 9 / 2022)

□ ABSTRACT □

Coagulation, flocculation, and sedimentation are the most common processes for drinking water purification from surface sources. Therefore, there is a great tendency to improve these processes and study the parameters affecting them. Thus, this study aims to find the optimal values of the main design parameters of both the coagulation and flocculation processes using the mechanical mixing method.

The research included conducting a wide range of experiments on raw water samples taken from the lake of the dam of 16 Tishreen with medium and high turbidity, whose values were as follows: (100-200-300-400-500-600mg/l), and the coagulant used was alum (aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$). The optimal dose for each turbidity was determined using the principle of experimental coagulation (Jar-Test).

The optimal values for the mixing time and the velocity gradient of the rapid mixing process (mixing) ranged according to the results of the experiments within the following values : (T1 = 25-55 sec) and (G1 = 180-300 sec⁻¹), while the optimal values for the mixing time and the velocity gradient of the slow mixing process (flocculation process) are as follows: (T2 = 540–1080 sec) and (G2 = 25–55 sec⁻¹) according to the turbidity of the raw water used in the experimental work.

Based on the results of these tests, a laboratory pilot was designed for a compact purification unit that adopts the principle of sedimentation using inclined plates and was tested to evaluate the effectiveness of its work when following the method of mechanical mixing and sedimentation in two cases using inclined plates and without them.

The results of the proposed purification unit test demonstrated the effectiveness of the applied mechanism for purifying surface water, as the residual turbidity at the optimum values of the parameters taken into account did not exceed the limits that allow water to flow into the filters in order to remove its residual turbidity, which ranges between (8-15 mg/l). The presence of inclined plates within the sedimentation basins led to a greater removal of turbidity compared with those without plates.

Keywords: Coagulation – Flocculation- Sedimentation- Mechanical mixing – Mixing velocity gradient coefficient –Inclined plates.

* Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University , Lattakia, Syria . hossamsab1959@gmail.com

** Master student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria . tasnimdebs93@gmail.com

تنقية مياه المصادر السطحية لأغراض الشرب باستخدام الخلط الميكانيكي والترسيب الصفائحي

د. حسام صبوح*

تسنيم دبس**

(تاريخ الإيداع 11 / 8 / 2022. قُبِلَ للنشر في 20 / 9 / 2022)

□ ملخص □

تعتبر عمليات التخثير والتنديف والترسيب العمليات الأكثر شيوعاً لتنقية مياه الشرب المأخوذة من مصادر سطحية . لذلك هناك توجه كبير لتحسين هذه العمليات ودراسة البارامترات المؤثرة عليها، وبالتالي تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد القيم المثلى للبارامترات التصميمية الرئيسية لكل من عمليتي المزج وتشكل الندف وذلك عند استخدام طريقة الخلط الميكانيكي. تضمن البحث إجراء مجموعة واسعة من التجارب على عينات مياه خام مأخوذة من بحيرة سد 16 تشرين بعكارات متوسطة وعالية كانت قيمها على النحو التالي: (100-200-300-400-500-600mg/l)، أما المادة المختثرة المستخدمة فكانت الشبة (كبريتات الألمنيوم المائية $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)، التي تم تحديد قيمة الجرعة المثالية الموافقة لكل عكارة خام باتباع مبدأ التخثير التجريبي (Jar - Test) .

تأرجحت القيم المثلى لزمن وشدة عملية الخلط السريع (المزج) تبعاً لنتائج التجارب ضمن المجالات التالية : ($T_1 = 25 - 55 \text{ sec}$) و ($G_1 = 180 - 300 \text{ sec}^{-1}$) ، في حين تراوحت القيم المثلى لزمن وشدة عملية الخلط البطيء (تشكل الندف) كما يلي : ($T_2 = 540 - 1080 \text{ sec}$) و ($G_2 = 25 - 55 \text{ sec}^{-1}$) وذلك تبعاً لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي.

انطلاقاً من نتائج هذه الاختبارات تم تصميم نموذج مخبري لوحدة تنقية مدمجة تعتمد مبدأ الترسيب الصفائحي وتم اختبارها لتقييم فعالية عملها عند اتباع طريقة الخلط الميكانيكي والترسيب بحالتين: الأولى بوجود الصفائح المائلة، والثانية بحالة عدم وجود تلك الصفائح.

برهنت نتائج اختبار وحدة التنقية المقترحة فعالية الآلية المطبقة لتنقية المياه السطحية حيث لم تتجاوز العكارة المتبقية عند القيم المثلى للبارامترات المأخوذة بعين الاعتبار، الحدود التي تسمح بتوجيه تلك المياه إلى المرشحات بغية تخليصها من عكرها المتبقي، والذي يتراوح ما بين ($8 - 15 \text{ mg/l}$) . كما أعطى وجود الصفائح المائلة ضمن أحواض الترسيب فعالية إزالة أكبر للعكارة مقارنة مع حالة عدم وجود هذه الصفائح .

الكلمات المفتاحية: التخثير - تشكل الندف - الترسيب - الخلط الميكانيكي - معامل تدرج سرعة المزج - معامل تدرج سرعة الخلط - الصفائح المائلة.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. hossamsab1959@gmail.com

** طالب ماجستير - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

tasnimdebs93@gmail.com

مقدمة:

نظراً لكون المياه العنصر الأساسي لاستمرار الحياة بكافة مجالاتها، أصبح الحصول على مياه صالحة للشرب في القرن الحادي والعشرين تحدياً عالمياً كبيراً، نتيجة لما شهده العالم من تطور صناعي وتقني وزيادة في معدلات استهلاك المياه، فضلاً عن اكتشاف العلاقة بين مياه الشرب وبعض الأمراض السائدة. فالمياه النقية وغير الملوثة هي المطلب الأساسي لجميع الكائنات الحية [1].

إن وجود المعادن الثقيلة والصبغات والكائنات الدقيقة حتى بكميات ضئيلة، تشكل خطراً كبيراً على صحة الإنسان والنظم المائية والبيئة [2]. لذلك شهدت الآونة الأخيرة تطوراً سريعاً في مجال تقنيات معالجة المياه حيث أن معالجة وتأمين مياه الشرب مهمة صعبة تتضمن جوانب متعددة من إدارة نوعية المياه في المصدر المائي، تشغيل ومراقبة محطات معالجة المياه، ومن ثم توزيع المياه المعالجة إلى التجمعات السكانية [3].

إن احتواء مصادر المياه الطبيعية على كائنات دقيقة ضارة أو مواد أخرى بتركيز تجعل المياه غير صالحة للشرب أو غير صالحة للاستخدامات المنزلية، لذلك يجب إزالة هذه الكائنات والمواد من المياه عن طريق عمليات المعالجة لجعل المياه صالحة للاستخدامات المعاشية، كما يجب أن تتمتع بطعم ورائحة مستساغين وأن تكون مستقرة كيميائياً (أي لا تسبب التآكل أو تشكل الرواسب في الأنابيب أو التجهيزات الأخرى مثل سخانات) [4]. إذاً فالهدف الرئيسي من معالجة المياه هو إنتاج المياه الصالحة للاستخدام المحلي بشكل موثوق من مصدر المياه الخام بتكلفة معقولة للمستهلكين، ولاسيما أن محطة تصفية المياه تستخدم العديد من عمليات المعالجة المستقلة التي ترتبط بشكل متسلسل لإنتاج المياه بالجودة المطلوبة [5].

بما أن سورية تقع في المنطقة الجافة وشبه الجافة كما هو حال الوطن العربي عموماً، وتتصف بندرة مواردها المائية، حيث أن ما يعادل 75% من مساحتها الكلية يعاني من الجفاف، وحيث يبلغ متوسط الهطول المطري حوالي 46 مليار متر مكعب سنوياً يضيع منها حوالي 81% منها في التبخر، أي أن مساحة سورية بالكامل تتلقى وسطياً أقل من (250 mm من الأمطار سنوياً، وهذا ما دفع العديد من الباحثين إلى تصنيفها ضمن البلدان التي تعاني من شح المياه. تقسم سورية إلى سبعة أحواض مائية رئيسية، تتوزع الموارد المائية المتاحة فيها بين سطحية بمعدل إجمالي وسطي قدره 10 مليار متر مكعب، وجوفية بمعدل وسطي قدره 6 مليار متر مكعب في السنة. ولا بد من الإشارة هنا إلى أنه قد تختلف الأرقام المتعلقة بالموارد المائية من دراسة إلى أخرى، وذلك بحسب المعدلات السنوية التي أخذت بعين الاعتبار في الحسابات وذلك حسب موسم الأمطار، وبما أن كمية المياه الجوفية التي تعتبر من الناحية البيولوجية أفضل مصدر لمياه الشرب لا تكفي لسد الاحتياجات المتزايدة لاستهلاك السكاني كان لابد من السعي نحو تنقية المياه من المصادر السطحية [6].

2- لمحة موجزة حول تقنيات تنقية مياه المصادر السطحية لأغراض الشرب:

تتم تنقية المياه السطحية بشكل عام عن طريق مجموعة من العمليات المتتابعة كما يلي: التخثير،التنديف،الترسيب ومن ثم الترشيح والتعقيم. والتي تهدف بشكل أساسي إلى تخلص تلك المياه من عكارتها التي غالباً ما تحدث بسبب وجود ذرات من المواد العالقة والغروية في المياه السطحية، فالمواد الغروية مستقرة بطبيعتها لذلك يجب زعزعة استقرارها قبل أن يكون من الممكن تجميعها في كتل كبيرة تسهل إزالتها عن طريق الترسيب والترشيح، حيث تتم زعزعة الاستقرار بالتخثير عن طريق الخلط السريع لتحقيق التشتت الفوري والمتجانس للمادة المخثرة المضافة للمياه الخاضعة للمعالجة،

أما تجميعها في كتل (ندف) كبيرة فيتم بعملية التنديف عن طريق الخلط البطيء لتحقيق الارتطام الهادئ واللطيف بين الندف الجينية بفعل الاستقطاب الكهربائي الضعيف [3].

لقد أظهرت معطيات استثمار محطات تنقية المياه السطحية أن أكثر مواد التخثير شيوعاً في هذا المجال هي: 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].

تتم عمليات التخثير والتنديف في منشآت وأحواض خاصة (أحواض المزج وأحواض تشكل الندف) والتي لها أنظمة مختلفة (ميكانيكية، هيدروليكية، هوائية...)، حيث يعتبر الخلط الميكانيكي أكثر هذه الأنظمة شيوعاً نظراً لمرونته باستيعاب التدفقات المختلفة والمتغيرات التشغيلية، كما أن الضياعات فيه ضئيلة جداً، كون معدات الخلط الميكانيكي هي عبارة عن خلطات لها أنواع مختلفة مثبتة على محور دوران مجهز بمخفض سرعة ومحرك كهربائي.

يُعبّر عن شدة الخلط، أي كمية الطاقة التي ينشرها الخلاط ضمن الحوض، بما يسمى معامل تدرج سرعة الخلط (G_1) للخلط السريع و G_2 للخلط البطيء، والذي يُعبر عنه بالعلاقة التالية [7]:

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

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، (pascal. sec).

أما بالنسبة لعملية الترسيب فتتم في أحواض كبيرة الحجم نسبياً (مستطيلة أو دائرية)، وعادة ما تكون سرعة الجريان فيها ضئيلة جداً وتسمح باستقرار المواد العالقة والندف المتشكلة خلال عمليتي التخثير والتنديف بفعل قوى الجاذبية. وقد استخدم العديد من التقنيات لتسريع عملية الترسيب وتحسين أدائها من هذه التقنيات تقليل المسافة التي يجب أن يترسب الجسيم خلالها قبل إزالته (عمق الترسيب)، وذلك بتركيب سلسلة من الألواح المائلة في حوض الترسيب تسمح للمواد العالقة بالوصول إلى سطح تستقر عليه بعد مسافة ترسيب قصيرة [7].

هناك كم هائل من الدراسات والأبحاث العلمية التي ناقشت بعمق وتفصيل كافة جوانب عمليات التخثير والتنديف الميكانيكية والترسيب الصفائحي وتقنياتها المختلفة المستخدمة في تنقية مياه الشرب من مصادر سطحية. فمن فيض هذه الأبحاث ما قام به الباحث Sang-Min Park وآخرون [8] لدراسة بارامترين هامين جداً لعمليتي المزج وتشكل الندف وهما زمن المزج وتدرج سرعته إلى جانب البارامترات الأخرى من نوع المخثر وجرعته وتأثيرها على سير هاتين العمليتين باستخدام جهاز التخثير التجريبي (Jar - test). حيث تأثرت الاختلافات في عدد الجسيمات الغروية للمياه الخام (العكارة المتبقية) الناتجة عن تشكل الندف الجينية في عملية الخلط السريع بشكل كبير بزمن المزج وتدرج سرعته وجرعة المادة المخثرة المستخدمة (الشبة).

إضافة إلى ذلك توسع العديد من الأبحاث بدراسة بارامترات أخرى بالإضافة للبارامترات السابقة، حيث قام الباحث Chichuan Kan وآخرون [9] بدراسة أدوار بعض البارامترات التشغيلية لعملية المزج بما في ذلك جرعة المخثر وتركيزه، موقع إضافة الجرعات ونوع الخلاط وكثافة الخلط عند معالجة المياه الخام عالية العكارة. حيث أظهرت نتائج

هذه الدراسة أن لجرعة المخثر وتركيزه وشدة الخلط تأثيرات كبيرة على العكارة المتبقية، في حين أظهر كل من موقع إضافة جرعات المخثر المستخدم ونوع الخلاط تأثيراً ضئيلاً، كما تأثرت عملية التنديف أيضاً بكثافة الخلط السريع. تم اختبار تأثير إدخال صفائح مائلة بزوايا مختلفة على كفاءة إزالة العكارة في حوض الترسيب ومقارنتها مع حالة عدم وجود صفائح من قبل الباحثة رشا صلاح القزويني [10]، حيث أظهرت النتائج أن الصفائح المثبتة في الحوض زادت من كفاءة إزالة العكارة بنسبة (87%) بزوايا 30° (زاوية الميل المثلى) مقارنة مع حالة عدم وجود صفائح مائلة والتي أعطت كفاءة إزالة للعكارة بنسبة (59%).

من الأبحاث العلمية التي اعتمدت في دراستها على المقارنة بين أحواض الترسيب التقليدية وأحواض الترسيب ذات الصفائح المائلة الدراسة التي أجريت من قبل الباحثة زينة علي حميد [11] باستخدام نموذجين مخبريين: الأول يستخدم مبدأ الترسيب التقليدي، والثاني يستخدم مبدأ الترسيب الصفائحي مع مزج ميكانيكي وتنديف هيدروليكي في وحدة مدمجة حيث أظهرت النتائج أن استخدام حوض الترسيب الصفائحي يؤدي إلى زيادة كفاءة الترسيب بشكل ملحوظ وذلك لقدرته على خفض نسبة التحميل السطحي.

أهمية البحث و أهدافه:

تأتي أهمية البحث من كونه يوفر طريقة جيدة للحصول على المياه الصالحة للشرب من المصادر السطحية ولاسيما البحيرات الطبيعية والاصطناعية (بحيرات السدود) والتي تنتشر بكثرة في الساحل السوري وبالتالي تأمين المياه بالكمية والنوعية المطلوبتين لتخديم التجمعات السكانية الصغيرة.

أما هدف البحث فينحصر في تحديد قيم البارامترات التصميمية المثلى لعمليتي التخيير وتشكل الندف و التي تتمثل بالزمن (T,sec) ومعامل تدرج السرعة (G,sec^{-1}) وذلك عند استخدام الخلط الميكانيكي. بالإضافة إلى اختبار فعالية الترسيب الصفائحي باستخدام الصفائح المائلة في وحدة تنقية مدمجة مقترحة لتنقية المياه المأخوذة من المصدر المائي المعني بالدراسة .

طرائق البحث ومواده:

1- منهجية إنجاز البحث والمواد اللازمة:

1-1- محددات العمل التجريبي :

من أجل تحقيق هدف البحث تم اتخاذ مجموعة من الإجراءات شملت ما يلي:

1- إجراء كافة التجارب على مياه مأخوذة من أحد خلجان بحيرة سد (16 تشرين) في منطقة البهلوية ، وذلك بعد حفظ الكمية اللازمة من المياه الخام في المخبر لمدة (24 ساعة) قبل استخدامها في العمل التجريبي لتكتسب درجة حرارة الجو المحيط ، ومن ثم تم قياس كل من درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني للمياه قبل إجراء التجارب.

2- لتأمين إمكانية إجراء التجارب المخبرية على مياه خام بعكارات مختلفة فقد تم قطف عينات المياه يدوياً، وذلك بتعكير مياه البحيرة في موقع الاعتيان بطريقة ميكانيكية والانتظار لمدة (3 – 5 min) ومن ثم قطفها باستخدام أوعية من البلاستيك محكمة الإغلاق ونقلها إلى المخبر لتحضير معكر طبيعي واستخدامه لإنجاز التجارب اللازمة بالعكارات الخام المطلوبة وفقاً لبرنامج العمل التجريبي في البحث.

3- تم إجراء الاختبارات في الظروف الستاتيكية باستخدام جهاز التخثير التجريبي (Jar-Test) باتباع الخلط الميكانيكي لمرحلي المزج وتشكل الندف، و أخذت قيم العكارات المتبقية في كافة العينات المعالجة بعد مرور زمن مقداره ساعة واحدة من الترسيب.

4- استخدمت أثناء مراحل الاختبارات المختلفة التي قمنا بها مادة تخثير واحدة هي كبريتات الألمنيوم المائية $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ ، أما الجرعة المضافة منها وفقاً للعكارات المختلفة فقد تم تحديدها تجريبياً باستخدام طريقة التخثير التجريبي (Jar-Test) في مخبر الهندسة البيئية، وقد أوردنا في 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 ($M_0, mg/l$)	100	200	300	400	500	600
قيمة الجرعة المثلى ($D_k, mg/l$)	15	20	26	30	32	35

5- تم إجراء العمل التجريبي باعتماد خمسة بارامترات رئيسية أخذت حدود مجالات تأرجحها انطلاقاً مما تورده المراجع المختصة في هذا المجال [12]، علماً بأنه تم اختيار مجال تأرجح العكارة الخام بحيث يشمل العكارات المتوسطة والعالية، مع الأخذ بعين الاعتبار أن التجارب المخبرية تتم في ظل ظروف ساكنة (استاتيكية) ، أي لا يوجد جريان مستمر تنعكس خواصه الهيدروديناميكية على قيم تلك البارامترات . هذا وقد بينا في الجدول (2) أدناه مجالات تأرجح هذه البارامترات.

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

اسم البارامتر ورمزه	عكارة المياه الخام ($M_0, mg/l$)	استمرارية عملية المزج (T_1, sec)	معامل تدرج سرعة المزج (G_1, sec^{-1})	استمرارية عملية الخلط (T_2, sec)	معامل تدرج سرعة الخلط (G_2, sec^{-1})
مجالات تأرجح قيم البارامترات	100 – 600	25–55	180–300	540–1080	25–55

4-2- مراحل وآلية إنجاز العمل المخبري :

لقد تضمن العمل المخبري القيام بإجراء مجموعة واسعة من التجارب المخبرية تم إنجازها على مرحلتين:

1- مرحلة استاتيكية:

هدفها الوصول إلى القيم المثلى لبارامترتي المزج وتشكل الندف (T_1, G_1, T_2, G_2) من أجل العكارات المختلفة للمياه الخام الخاضعة للمعالجة باستخدام الخلط الميكانيكي .

2- مرحلة ديناميكية:

هدفها تقييم فعالية آلية الخلط الميكانيكي والترسيب بحالة استخدام الصفائح المائلة وفي حالة عدم وجودها، وذلك عن طريق تصميم واختبار نموذج مخبري (سنتعرض لـه لاحقاً) لوحدة مدمجة لتنقية المياه.

وفيما يلي نستعرض كيفية إنجاز العمل التجريبي وفقاً لما تم ذكره أعلاه كما يلي:

أولاً- المرحلة الستاتيكية:

تم إنجاز العمل التجريبي في هذه المرحلة باستخدام جهاز التخثير التجريبي (Jar – Test) المتوفر في مخبر قسم الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، والذي يضم خمسة بياضر زجاجية مدرجة سعة كل منها لتر واحد (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 خلاط طولها (L = 7.5 cm) وعرضها (B = 2.5 cm) ، وقد أجريت التجارب على أربع خطوات كالتالي:

أ- الخطوة الأولى:

تم فيها تطبيق طريقة المعالجة المتبعة باستخدام الخلط الميكانيكي من أجل كل عكارة على حدة وذلك عند القيم المختلفة لزمن المزج (T₁ , sec) مع تثبيت باقي البارامترات، بهدف الوصول إلى قيمة زمن المزج المثلى من أجل كل عكارة للمياه الخام المستخدمة في التجارب، وهي الموافقة لأصغر قيمة للعكارة المتبقية في المياه المستخدمة في نهاية عملية المعالجة (M₁ , mg/l) .

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

$$M_0 = (100 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600) \text{ mg/l}$$

$$T_1 = (25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55) \text{ sec.}$$

أما قيم البارامترات الثابتة في هذه المرحلة من الاختبارات فكانت :

$$G_1 = 240 \text{ sec}^{-1} , T_2 = 810 \text{ sec} , G_2 = 40 \text{ sec}^{-1}$$

ب- الخطوة الثانية:

هدفها الوصول إلى القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج (G₁ , sec⁻¹) من أجل كل عكارة للمياه المستخدمة في العمل التجريبي، وهذا يعني أن قيم البارامترات المتغيرة في هذه المرحلة هي:

$$M_0 = (100 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600) \text{ mg/l}$$

$$G_1 = (180 - 200 - 220 - 240 - 260 - 280 - 300) \text{ sec}^{-1}$$

في حين أن البارامترات الثابتة كانت على النحو التالي:

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

$$T_2 = 810 \text{ sec} , G_2 = 40 \text{ sec}^{-1}$$

ج- الخطوة الثالثة:

كانت الغاية من الاختبارات في هذه المرحلة تحديد القيم المثلى لزمن عملية تشكل الندف (T₂ , sec) من أجل كل عكارة للمياه المستخدمة في العمل التجريبي، وهذا يعني أن قيم البارامترات المتغيرة في هذه المرحلة هي:

$$M_0 = (100 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600) \text{ mg/l}$$

$$T_2 = (540 - 630 - 720 - 810 - 900 - 990 - 1080) \text{ sec}$$

أما قيم البارامترات الثابتة في هذه المرحلة من الاختبارات فكانت :

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

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

$$G_2 = 40 \text{ sec}^{-1}$$

د- الخطوة 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:

$$M_0 = (100 - 200 - 300 - 400 - 500 - 600) \text{ mg/l}$$

$$G_2 = (25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55) \text{ sec}^{-1}$$

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

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

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

$$T_2 = (T_{2, \text{Optimum}} \text{ for each } M_0 \text{ من الاختبارات المرحلة الثالثة في الحصول عليها في المرحلة الثالثة من الاختبارات (وهي قيم تم الحصول عليها في المرحلة الثالثة من الاختبارات)})$$

مما 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 (وتنضبط عكارتها عند القيمة ($M_0, \text{ mg/l}$) تبعاً لشروط التجربة وتُقاس فيها درجة الحرارة والأس الهيدروجيني (pH) وتُملأ ثلاثة بيّاشر 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 باستخدام العلاقة التالية (باعتبار محور الدوران شاقولي) [1]:

$$G = k \cdot N^{1.5} \quad , \quad \text{Sec}^{-1} \quad (2)$$

حيث أن:

G - معامل تدرج سرعة المزج أو الخلط ، sec^{-1}

N - سرعة دوران الخلاط ، RPM.

K - ثابت تعطى قيمته بالعلاقة:

$$K = \left(\frac{D^5 k}{Vv} \right)^{0.5} \quad , \quad (3)$$

حيث أن:

D - قطر شفرة الخلاط ، m.

k - ثابت بلا أبعاد يتراوح بين (0.1-5) حسب شكل الخلاط .

V - حجم المياه المعالجة ، m^3 .

v - اللزوجة الحركية للماء ، m^3/sec .

(3) - نقوم بتشغيل جهاز تحريك الخلاطات المتوضعة داخل البيّاشر ونضبط سرعة دورانها بحيث يكون عدد الدورات مساوٍ (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 بياض الاختبار وتترك المياه المعالجة لتخضع لعملية الترسيب لمدة ساعة واحدة ، ومن ثم تُقطف من أعلى كل بيشر عينة بحجم (10 ml) لقياس العكارة المتبقية (M_1 , mg/l) وقيمة الـ pH فيها.

ملاحظات هامة:

- تم تكرار كل تجربة مرتين على الأقل للتأكد من صحة القراءات المسجلة.
- تراوحت درجة حرارة المياه الخام المحفوظة في المخبر ما بين ($19 - 22^\circ\text{C}$).
- تراوحت قيم الـ pH في المياه الخام ما بين ($7.3 - 7.8$) ، في حين أنه تم تسجيل انخفاض قيمة الـ pH في المياه الخارجة من الوحدة المدمجة المدروسة بمقدار (0.1) لكل (10 mg/l) مضافة من المادة المخثرة المستخدمة (الشبة).

ثانياً: المرحلة الديناميكية:

تضمنت هذه المرحلة من البحث تصميم نموذج مخبري لوحدة تنقية مدمجة اعتماداً على النتائج المخبرية التي تم الحصول عليها في المرحلة الستاتيكية، ومن ثم اختبار هذه الوحدة لتقييم فعالية آلية الخلط الميكانيكي والترسيب بوجود الصفائح المائلة من أجل كافة قيم العكارة الخامية التي تم اختبارها في المرحلة الأولى والتي شملت القيم التالية: (M_0) ($100, 200, 300, 400, 500, 600 \text{ mg/l}$).

1- تصميم وتصنيع وحدة التصفية المدمجة المقترحة :

لتحديد حجوم كل من حوضي المزج وتشكل الندف في وحدة التصفية المدروسة لا بد من تحديد قيم الزمن الحقيقي لاستمرارية كل من عمليتي المزج وتشكل الندف في الظروف الديناميكية (T_{1R} , T_{2R}) ، وقد تم ذلك اعتماداً على نتائج الاختبارات التي أجريت في الظروف الستاتيكية باستخدام الخلط الميكانيكي على عينات من المياه بعكارة خامية مقدارها ($M_0 = 20 \text{ mg/l}$) (وهي القيمة الحرجة لعكارة المياه الخامية أثناء عمليات المعالجة وفق ما تبينه المراجع المختصة) [12,13,14]، وكانت مساوية:

$$T_{1,ST} = 55 \text{ sec} , \quad T_{2,ST} = 990 \text{ sec}.$$

للانتقال إلى الظروف الديناميكية في التصميم وتحديد قيم (T_{1R} , T_{2R}) انطلاقاً من قيم (T_{1ST} , T_{2ST}) المبينة أعلاه من أجل العكارة الخامية المساوية ($M_0 = 20 \text{ mg/l}$) تم الاعتماد على مفهوم " معامل الانتقال الزمني - K_T " من الظروف الستاتيكية إلى الظروف الديناميكية لوحدة التنقية المدمجة من النموذج المستخدم في بحثنا، والذي تم تحديد قيمته من المخطط المبين على الشكل رقم (1) [14] اللاحق على النحو التالي :

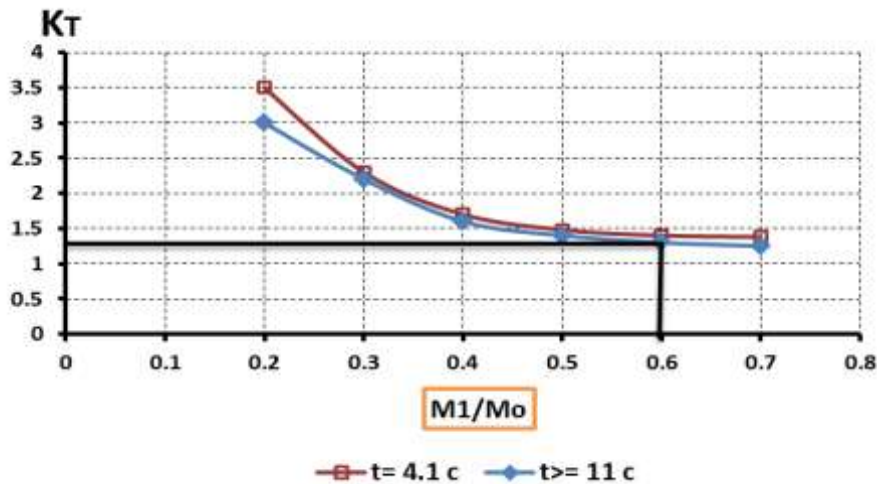
بفرض أن قيمة العكارة المتبقية في المياه الخارجة من وحدة التصفية إلى المرشحات تساوي $M_1 = 12 \text{ mg/l}$ ، وبما أن العكارة الخامية التصميمية هي $M_0 = 20 \text{ mg/l}$ يكون لدينا:

$$(M_1 / M_0 = 12 / 20 = 0.6 \implies K_T = 1.3)$$

وهذا يعني أن:

$$T_{1R} = K_T \cdot T_{1,ST} = 55 * 1.3 = 71.5 \text{ sec}$$

$$T_{2R} = K_T \cdot T_{2,ST} = 990 * 1.3 = 1287 \text{ sec}$$



الشكل رقم (1) : معامل الانتقال الزمني K_T تبعاً لدرجة التصفية المطلوبة [12]

لتصغير حجوم أقسام وحدة التصفية المدمجة المدروسة (المؤلفة من حجرة مزج متوضعة في وسط حجرة تشكل الندف ومن حوضي ترسيب عموديين مثبتين على جانبي حجرة تشكل الندف) وللتقليل من كمية المياه الخام الواجب نقلها من بحيرة سد 16 تشرين لإجراء التجارب اللازمة فقد تم افتراض قيمة الغزارة التصميمية لتلك الوحدة مساوية :

$$q_{\max} = 18 \text{ ml / s or } 18 \text{ cm}^3/\text{s}$$

مما سبق أعلاه نحصل على ما يلي :

أ- حجم حوض المزج :

$$V_1 = T_{1R} * q_{\max} = 71 * 18 = 1278 \text{ cm}^3$$

$$B * L * H = 10.5 * 10.5 * 11.5 \text{ cm}$$

وأخذت أبعاده على النحو التالي :

ب- حجم حجرة تشكل الندف :

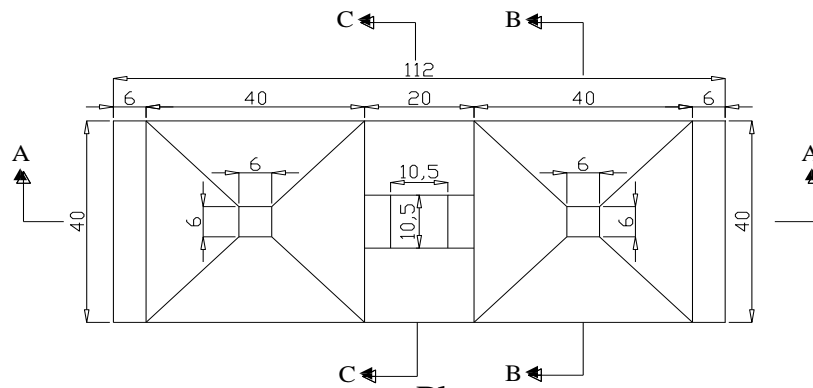
$$V_2 = T_{2R} * q_{\max} = 1287 * 18 = 23166 \text{ cm}^3$$

$$B * L * H = 20 * 40 * 29 \text{ cm}$$

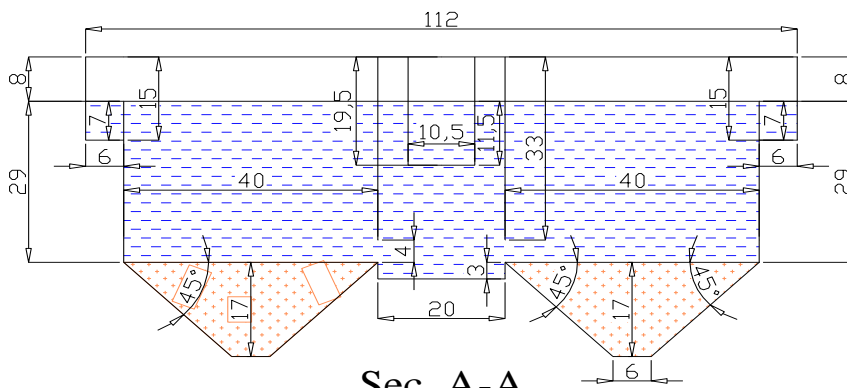
وكانت أبعاده كما يلي :

ج- أحواض الترسيب :

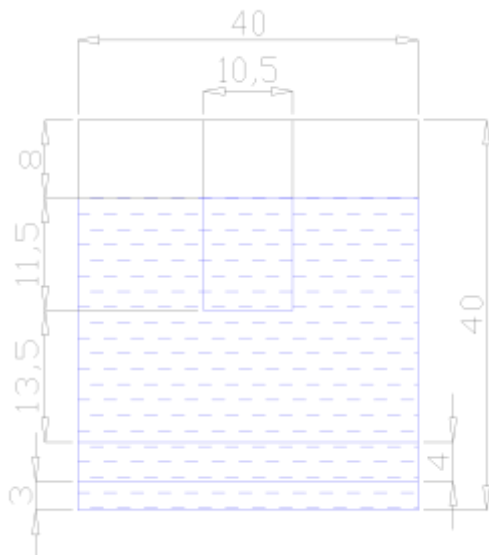
تضم وحدة التصفية المقترحة حوضي ترسيب عموديين مدمجين مع حوض المزج وحجرة تشكل الندف ضمن حوض كلي يمثل الوحدة المدمجة المقترحة والتي نبين أبعادها وعناصرها على الأشكال نوات الأرقام (2) و (3) و (4) .



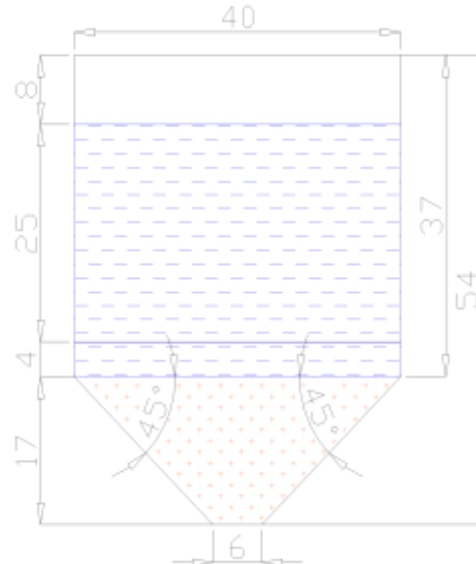
Plan
(without Lamella plates)



Sec .A-A

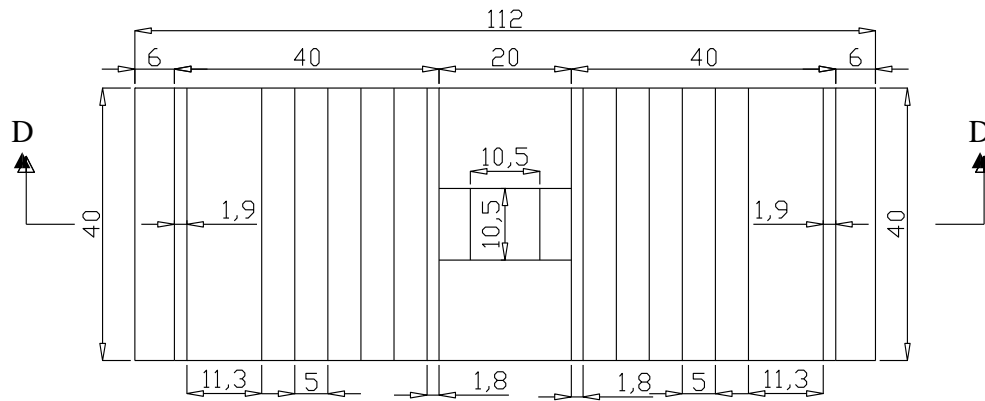


Sec. C – C

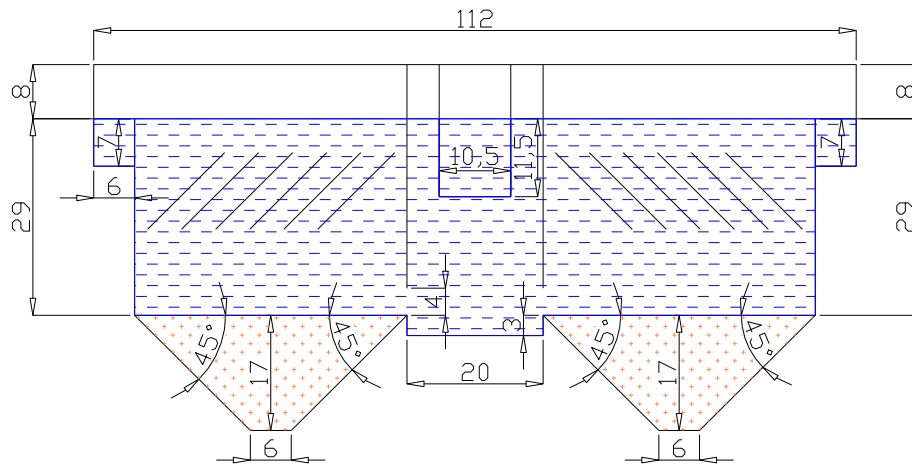


Sec. B – B

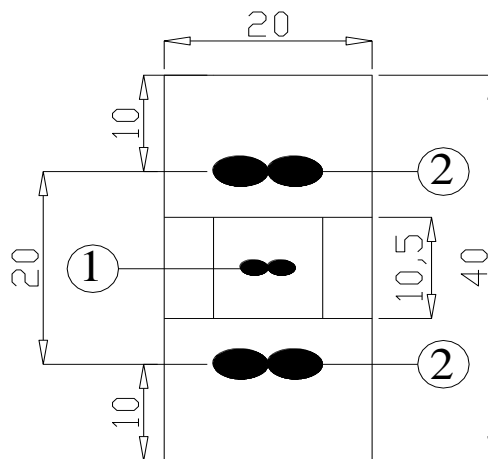
الشكل رقم (2) : رسم تخطيطي لوحدة التنقية المدمجة المقترحة بدون الصفائح المائلة في حوض الترسيب



Plan
(with Lamella plates)



Sec. D - D



مسدقات وضع
الخلاطات الميكانيكية

1- خلاط المزج 2- خلاطات شكل الندف

الشكل رقم (3): رسم تخطيطي لوحدة التنقية المدمجة المقترحة مع الصفائح المائلة في حوض الترسيب



الشكل رقم (4): صورة توضيحية لوحدة التنقية المدمجة

يتلخص تصميم حوضي الترسيب العائدين لوحدة التنقية المدروسة بتحديد أبعادها الأساسية التي تم حسابها انطلاقاً من قيمة الغزارة التصميمية الداخلة إلى كل منهما وزمن المكث فيهما والذي أخذ من الكودات مساوياً (1.6 hour)، بمعنى أن حجم كل منهما يساوي :

$$V_S = (q_{max} / 2) \cdot T = (18 / 2) * 1.6 * 3600 = 51840 \text{ cm}^3$$

انطلاقاً من هذا الحجم فقد تم أخذ كل من الحوضين على النحو التالي:

$$B * L * H = 40 * 40 * 29 \text{ cm}$$

(2) - آلية اختبار الوحدة المدمجة المقترحة:

تم اختبار الوحدة المدمجة المقترحة عند كافة العكارات الخام المدروسة في المرحلة الستاتيكية وفي حالتين:
 الحالة الأولى: حالة عدم تزويد حوض الترسيب بالعناصر الصفائحية المائلة.
 الحالة الثانية: حالة تزويد حوض الترسيب بالعناصر الصفائحية المائلة.
 أما آلية الاختبار في كلتا الحالتين فكانت على النحو التالي:

آ- يحضر حجم كاف من المياه الخام في خزان التزويد الخاص المتوضع أعلى الوحدة المدمجة المدروسة وبالعكارة المطلوبة للاختبار باستخدام معكر طبيعي محضر من قبلنا وفق ما تمت الإشارة إليه سابقاً، وتقاس مباشرة درجة الحرارة وقيمة pH في تلك المياه، ومن ثم تُملأ الوحدة المدمجة من ذلك الخزان عبر خرطوم مثبت في بدايته بفواشة للمحافظة على ثبات الغزارة التصميمية المطلوبة.

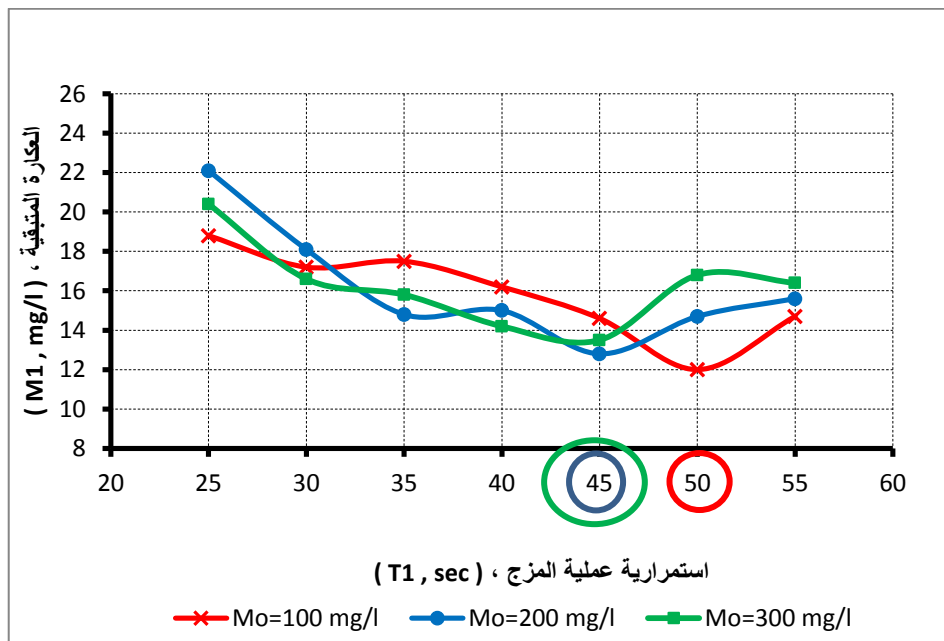
ب- بعد امتلاء الوحدة المدمجة المدروسة بالمياه الخام يتم تشغيل الخلاطات الميكانيكية المتوضعة داخل حيزي المزج وتشكل الندف، حيث يتم التحكم بعدد دورات كل منها الموافق لشدة الخلط المطلوبة لكل من عمليتي المزج وتشكل الندف بواسطة ريليه خاص بكل منها، كما يُفتح سكر التزويد بالمادة الكيميائية المخثرة المستخدمة (الشبة).

ج- بغية التأكد من استقرار عمل الوحدة يتم أخذ العينة الأولى من المياه الخارجة من أعلى حوض الترسيب بعد مرور (2.5 ساعة) على امتلاء الوحدة بالمياه الخام المدروسة، ومن ثم تؤخذ العينات تباعاً كل نصف ساعة وتقاس في كل منها العكارة المتبقية وقيمة pH.

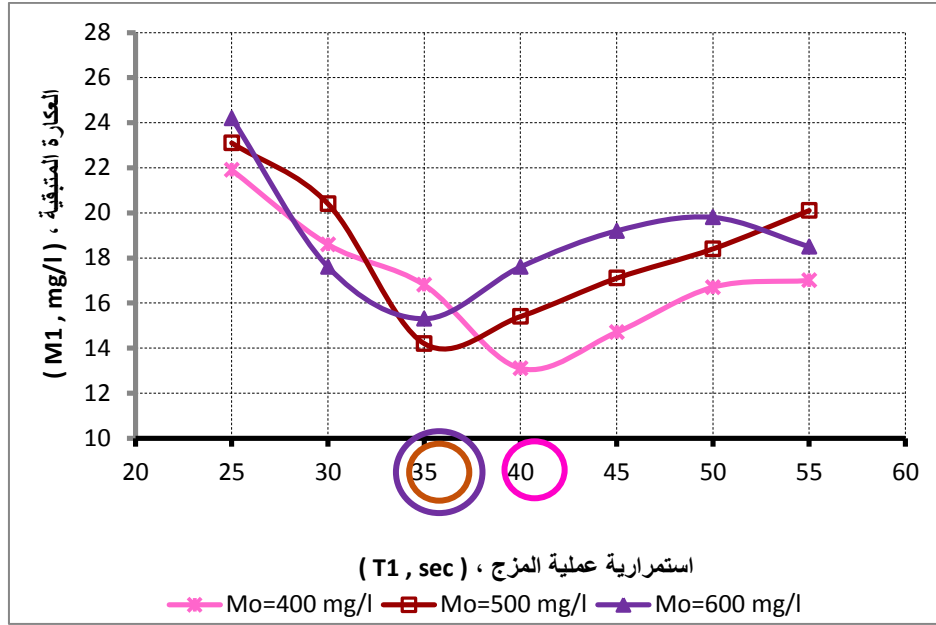
النتائج والمناقشة:

5-1- المرحلة الستاتيكية:

نعرض فيما يلي نتائج الاختبارات للخطوات الأربع المشار إليها سابقاً من خلال تمثيل تلك النتائج بيانياً كما يلي:
 أ- اختبارات الخطوة الأولى: نتلخص بتحديد القيم المثلى لزمن عملية المزج (T_1, sec) المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه الخاضعة للمعالجة تبعاً لقيم عكارتها الأولية ($Mo, mg/l$). لقد تم تمثيل نتائج اختبارات هذه الخطوة بيانياً على الشكلين رقم (5) و (6) أدناه.

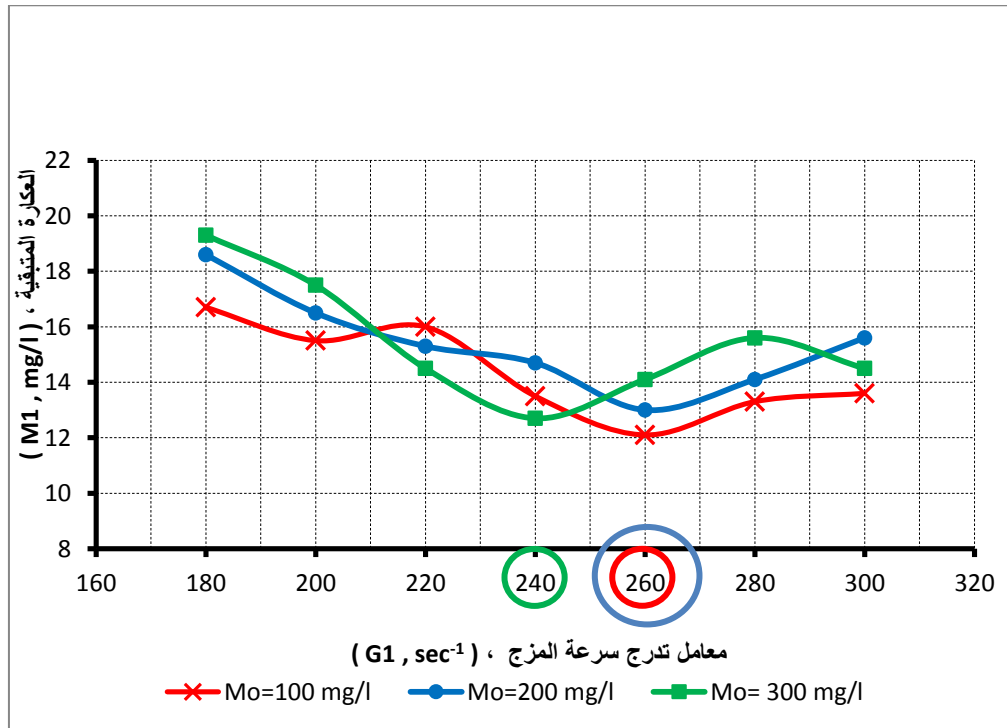


الشكل رقم (5): التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($T_{1,Optimum}$) من أجل العكارات (100 , 200 , 300 mg/l) للمياه الخام الخاضعة للاختبار

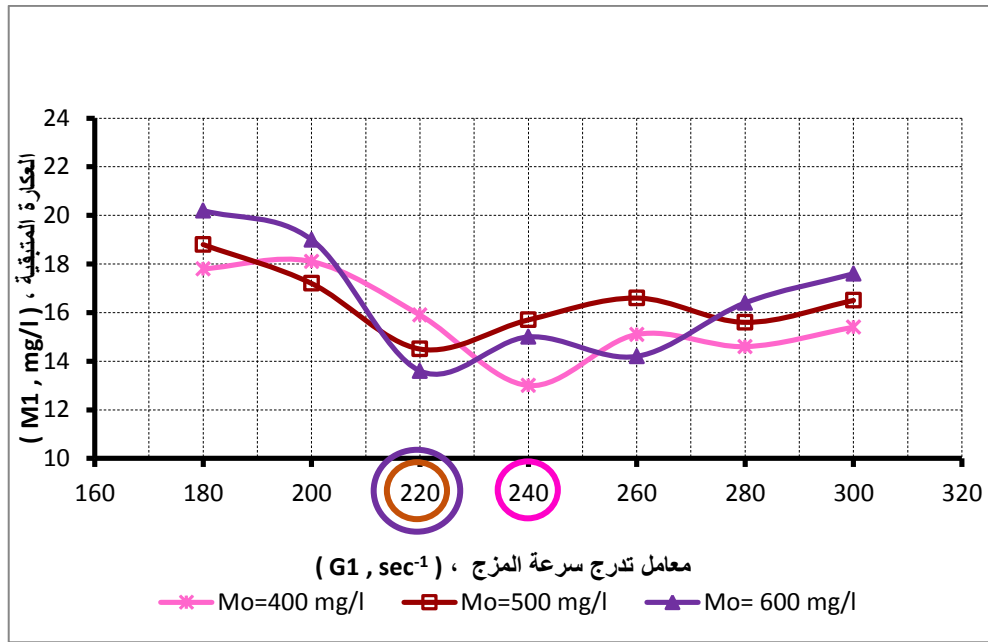


الشكل رقم (6) : التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($T_{1,Optimum}$) من أجل العكارات (400 , 500 , 600 mg/l) للمياه الخام الخاضعة للاختبار

ب- اختبارات الخطوة الثانية: تتلخص بتحديد القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج ($G1, Sec^{-1}$) المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه الخاضعة للمعالجة تبعاً لقيم عكارتها الأولية ($Mo, mg/l$). لقد تم تمثيل نتائج اختبارات هذه الخطوة بيانياً على الشكلين رقم (7) و (8) أدناه.

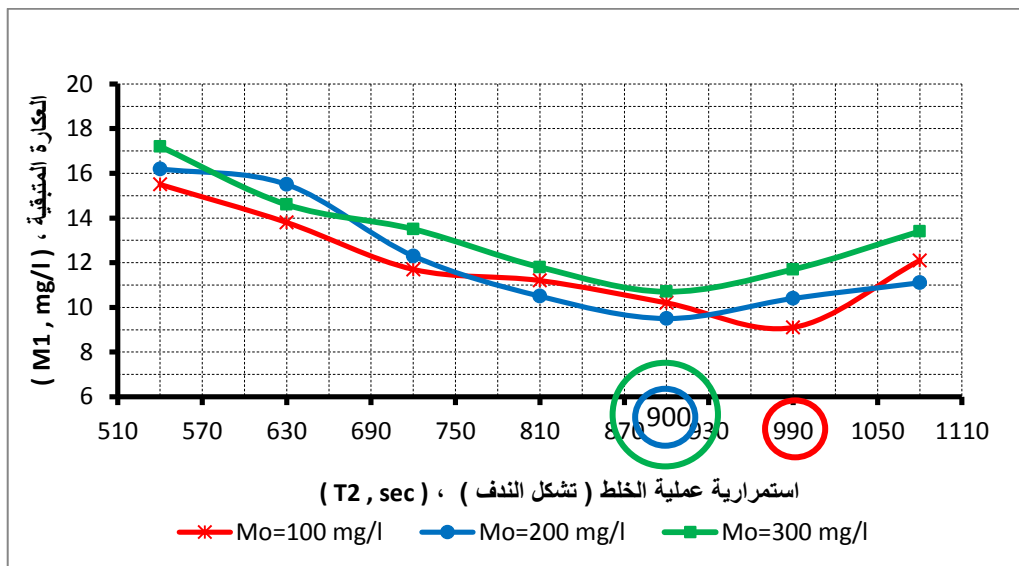


الشكل رقم (7) : التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($G_{1,Optimum}$) من أجل العكارات (100 , 200 , 300 mg/l) للمياه الخام الخاضعة للاختبار

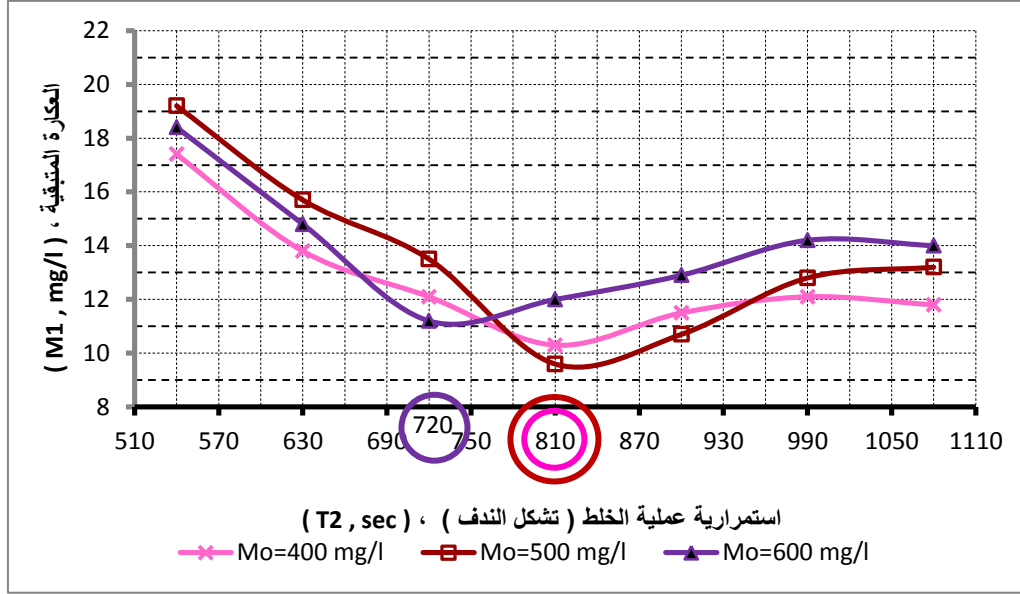


الشكل رقم (8): التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($G_{1,Optimum}$) من أجل العكارات للمياه الخام الخاضعة للاختبار (400 , 500 , 600 mg/l)

ج- اختبارات الخطوة الثالثة: نتلخص بتحديد القيم المثلى لزمن عملية تشكل الندف (T_2, sec) المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه الخاضعة للمعالجة تبعاً لقيم عكارتها الأولية ($Mo, mg/l$). لقد تم تمثيل نتائج اختبارات هذه الخطوة بيانياً على الشكلين رقم (9) و (10) أدناه.

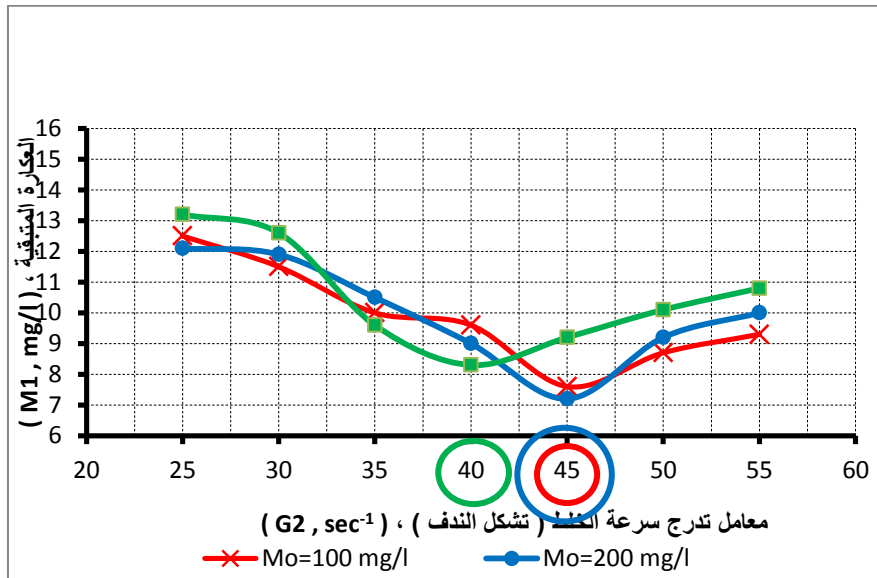


الشكل رقم (9): التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($T_{2,Optimum}$) من أجل العكارات للمياه الخام الخاضعة للاختبار (100 , 200 , 300 mg/l)

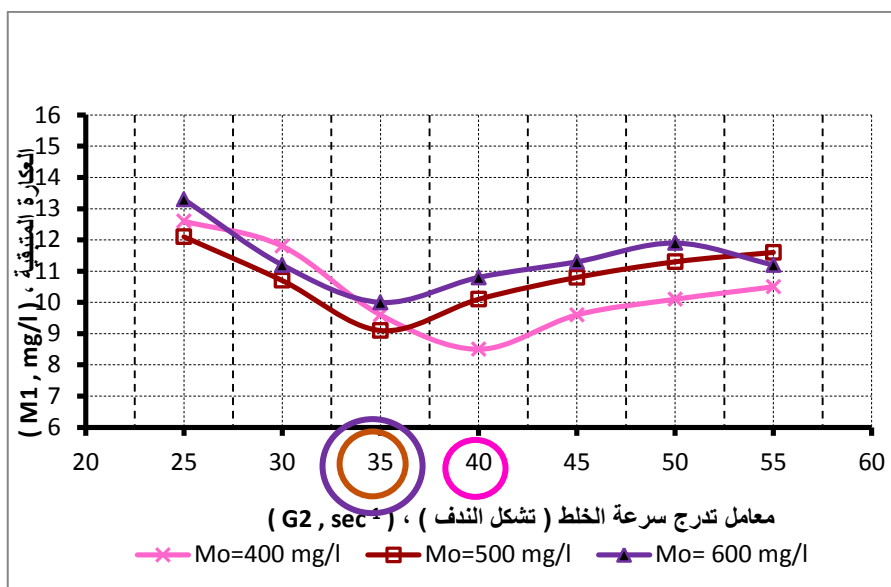


الشكل رقم (10) : التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($T_{2,Optimum}$) من أجل العكارات (400 , 500 , 600 mg/l) للمياه الخام الخاضعة للاختبار

د- نتائج اختبارات الخطوة الرابعة: تتلخص بتحديد القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة الخلط (عملية تشكل الندف) (G_2 , sec^{-1}) المقابلة للقيم الدنيا للعكارات المتبقية في المياه الخاضعة للمعالجة تبعاً لقيم عكارتها الأولية (Mo , mg/l). لقد تم تمثيل نتائج اختبارات هذه الخطوة بيانياً على الشكلين رقم (11) و (12) أدناه.



الشكل رقم (11) : التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($G_{2,Optimum}$) من أجل العكارات (100 , 200 , 300 mg/l) للمياه الخام الخاضعة للاختبار



الشكل رقم (12): التمثيل البياني لنتائج تجارب تحديد ($G_{2,Optimum}$) من أجل العكارات (400 , 500 , 600 mg/l) للمياه الخام الخاضعة للاختبار

نلاحظ من المخططات البيانية الواردة أعلاه أنه عند القيم المنخفضة لقيم البارامترات السابقة (T_1, G_1, T_2, G_2) كانت فعالية المعالجة منخفضة (قيمة العكارة المتبقية عالية)، لتحسن كفاءة المعالجة باستمرار عند زيادة قيم هذه البارامترات إلى أن تصل إلى حد معين موافق لأقل قيمة للعكارة المتبقية وبالتالي نحصل على القيم المثلى لهذه البارامترات ، حيث أن استمرار زيادتها أدى إلى تهشم الندف المتشكلة وتفكيكها وبالتالي ارتفاع قيم العكارة المتبقية. استناداً لما سبق وبالاعتماد على معطيات المخططات البيانية السابقة تمكنا من التوصل إلى القيم المثلى لعمليتي المزج (T_1 , G_1) وتشكل الندف (T_2 , G_2) في الظروف الستاتيكية، والتي أوردناها في الجدول رقم (3) أدناه.

الجدول رقم (3): نتائج اختبارات المرحلة الستاتيكية تبعاً لقيمة العكارة الأولية ($M_0 , mg/l$) للمياه الخام

العكارة الخام $M_0, mg/l$	الجرعة المثلى من المادة المخترنة $D_k, mg/l$	القيم المثلى لبارامترات عملية المزج		القيم المثلى لبارامترات عملية تشكل الندف	
		T_1, sec	G_1, Sec^{-1}	T_2, sec	G_2, Sec^{-1}
100	15	50	260	990	45
200	20	45	240	900	45
300	26	45	240	900	40
400	30	40	240	810	40
500	32	35	220	810	35
600	35	35	220	720	35

5-2- المرحلة الديناميكية:

بعد اختبار وحدة التنقية المدمجة وفق الطريقة التي عرضناها سابقاً وعند القيم المختلفة للعكارات الخام للمياه المعالجة تم تدوين نتائج الاختبار في الجدول رقم (4) اللاحق.

الجدول رقم (4) : نتائج اختبار وحدة التنقية المدمجة عند العكارات المدروسة للمياه الخام

زمن أخذ العينات (hour)	العكارة الخام (M ₀ , mg/l)	العكارة المتبقية (M ₁ , mg/l)		العكارة الخام (M ₀ , mg/l)	العكارة المتبقية (M ₁ , mg/l)		العكارة الخام (M ₀ , mg/l)	العكارة المتبقية (M ₁ , mg/l)	
		عند عدم استخدام الصفائح المائلة	عند استخدام الصفائح المائلة		عند عدم استخدام الصفائح المائلة	عند استخدام الصفائح المائلة		عند عدم استخدام الصفائح المائلة	عند استخدام الصفائح المائلة
2.5	100	14.7	15.1	200	14.8	14.5	300	13.9	13.5
3.0		13.8	13.6		13.6	13.2		13.6	14.2
3.5		12.5	11.9		12.8	12.3		12.6	12.2
4.0		12.1	10.2		11.3	10.8		12.1	11.2
4.5		10.6	10.8		11.0	9.9		11.2	10.1
5.0		9.2	8.3		10.1	9.1		10.3	9.2
5.5		8.5	7.5		9.5	8.8		9.6	8.3
6.0		8.6	7.0		9.3	7.9		9.4	7.1
2.5	400	15.6	14.0	500	16.2	15.3	600	16.7	14.5
3.0		13.8	12.7		15.8	14.7		15.8	13.9
3.5		12.4	11.3		13.8	13.2		14.1	12.7
4.0		11.3	11.8		12.1	12.5		13.6	10.4
4.5		10.6	10.0		11.4	10.6		12.2	9.3
5.0		10.5	9.7		10.2	9.2		10.9	10.0
5.5		9.5	9.2		9.2	9.8		10.2	9.1
6.0		10.0	8.5		9.4	8.2		9.4	8.6

بعد قراءة وتحليل نتائج اختبار الوحدة المدمجة في ظل الظروف الهيدروديناميكية (جريان مستمر) يمكن استخلاص الحقائق التالية:

- 1- أثبتت النتائج فعالية عمل وحدة التنقية المدمجة المدروسة، التي أعطت نتائج متقاربة بعد استقرار عملها خلال (3 - 4 ساعات) ، حيث انحصرت قيم العكارات المتبقية بعد استقرار عمل الوحدة ضمن الحدود (7- 10 mg/l) ، وهذا يعني إمكانية توجيه تلك المياه إلى المرشحات دون أية عوائق .
- 2- إضافة إلى ما ذكرناه أعلاه تؤكد نتائج تلك الاختبارات فعالية استخدام العناصر الصفائحية المائلة داخل حوض الترسيب المستخدم، حيث كانت العكارة المتبقية أقل مما هو عليه الحال عند عدم استخدام تلك الصفائح.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- 1- أظهرت نتائج الاختبارات أن القيم المثلى لزمن المزج (T₁) تراوحت ما بين (35 - 50 sec) ، أما القيم المثلى لزمن تشكل الندف (T₂) فتراوحت ما بين (720 - 990 sec) وذلك تبعاً لقيم العكارة المقاسة في المياه الخام الخاضعة للمعالجة .

2- تراوحت القيم المثلى لمعامل تدرجة سرعة المزج (G_1) ما بين ($220 - 260 \text{ sec}^{-1}$) ، في حين انحصرت قيم معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) (G_2) في حدود ($35 - 45 \text{ sec}^{-1}$) وذلك تبعاً لقيم العكارة المقاسة في المياه الخام الخاضعة للمعالجة .

3- نلاحظ من نتائج الاختبارات في المرحلة الستاتيكية أنه كلما ارتفعت عكارة المياه الخام الخاضعة للمعالجة انخفضت قيم بارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف.

4- تثبت نتائج الاختبارات فعالية المعالجة المطبقة في هذا البحث لتنقية المياه السطحية ، حيث أعطت وحدة التنقية المصممة نتائج جيدة فقد كانت قيم العكارة المتبقية بحدود ($7 - 10 \text{ mg/l}$)، حيث لم تتجاوز العكارة المتبقية عند القيم المثلى للبارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في الدراسة الحد الذي تسمح به الكودات العالمية [12،13] بتوجيه تلك المياه إلى المرشحات ($8 - 15 \text{ mg/l}$) بغية تخليصها من عكرها المتبقي.

5- فعالية استخدام العناصر الصفائحية المائلة داخل حوض الترسيب المستخدم، حيث أظهرت نتائج الاختبار انخفاض قيم العكارات المتبقية في المياه المصفاة في معظم العينات المأخوذة عما هو عليه الحال عند عدم استخدام تلك الصفائح.

التوصيات:

1- أهمية إجراء اختبارات أخرى وبنفس المنهجية على مياه بمواصفات أخرى مختلفة عن مواصفات المياه التي تم اختبارها في هذا البحث (مواصفات فيزيائية و كيميائية).

2- نمذجة تجارب المرحلة الستاتيكية ضمن معادلة رياضية لضبط العمل بشكل أفضل وتقليل الوقت والجهد نظراً لكم الهائل من التجارب الواجب إجراؤه في هذه المرحلة .

3- ضرورة دراسة تأثير تغير بعض البارامترات الخاصة بالصفائح المائلة (زاوية ميل الصفائح مثلاً) على فعالية عملية المعالجة .

4- أهمية إجراء دراسة هيدروديناميكية مفصلة لوحدة التنقية المقترحة .

5- دراسة تأثير درجات الحرارة المنخفضة (درجة حرارة المياه في بحيرات السدود السطحية في المنطقة الساحلية شتاء) على عملية المعالجة برمتها .

References:

- 1- K. Edzwald, James. (2011). WATER QUALITY & TREATMEN. United States: American Water Works Association .
- 2- Jafar, R., NSFQI Application of Water Quality Index On al-Sin Lake, , 2016. 38 Journal of Tishreen University, Engineering Sciences series, 2016,38)4(.
- 3- DR Engineering Inc. (2001). Handbook of Public Water Systems. United States: John Wiley & Sons.
- 4- Jubaili, p. , Subuh, h. , Purification of water from surface sources for drinking purposes using mechanical mixing. Magazine, Journal of Tishreen University, Engineering Sciences series, 2021,43)4(Tishreen University - Engineering Sciences Series, 2021. 43 (4).
- 5- Schutte, Frick. (2006). Handbook For The Operation Of Water Treatment Works. The Water Research Commission: South Africa.
- 6- Mohammad, Hiba, (2017). SWOT Analysis for Water Resources Sector in Syria. Syria.
- 7- Howe, Kerry J and Hand, David W.(2012).Principles of Water Treatment. New Jersey, Canada: John Wiley & Sons ,Inc.

- 8- S. M . Park, T.Y .Heo, J.G. Park, H.B. Jun. (2016). Effects of hydrodynamics and coagulant doses on particle aggregation during a rapid mixing. Environ. Eng. Res, 21(4), 365-372 .
- 9- Kan, C.C., Huang, C.P. and Pan, J.R.(2002). Coagulation of High Turbidity Water: The Effects of Rapid Mixing. Journal of Water Supply: Research and Technology, 51(2), 77-85.
- 10- Al-kizwini, R.S. (2015) .Improvement of sedimentation Process Using Inclined Plates. Mesop.environ, 2(1), 100-114.
- 11- Yakop, Rafea and Hamid, Zena .(2013). Treatment of Suspended Materials in Water using Natural Coagulants. Tikrit Journal Of Engineering Sciences, 20 (5), 21-29.
- 12- Frog, B. N., Levchenko, A. P. Water treatment. Textbook for higher education institutions, Moscow State University, 680 p.p., 1996.
- 13- Nikoladze, G. E. Water supply, Textbook for technical schools, Moscow – stroyizdat, 496 p.p, 1989.
- 14- Sabbouh, H. PhD thesis entitled " Finding the optimal solution for coagulation and flocculation when using air mixing in a compact purification unit " (1990). Leningrad , USSR (1990).