

## تحديد القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف عند استخدام الخلط الهوائي في عمليات تنقية المياه السطحية

د. حسام صبوح\*

(تاريخ الإيداع 5 / 7 / 2021. قُبل للنشر في 6 / 9 / 2021)

### □ ملخص □

يتلخص البحث في إجراء سلسلة واسعة من التجارب المخبرية بغية تحديد القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف عند استخدام طريقة الخلط الهوائي لإنجاز كلتا العمليتين، حيث تتمثل تلك البارامترات باستمرارية كل من عمليتي المزج (  $T_1$ , sec ) وتشكل الندف (  $T_2$ , sec ) ، وكذلك بشدة عملية الخلط لكل منهما ، والتي يعبر عنها بما يسمى معامل تدرج سرعة المزج (  $G_1$ ,  $sec^{-1}$  ) ومعامل تدرج سرعة الخلط ( تشكل الندف ) (  $G_2$ ,  $sec^{-1}$  ) .  
تعرض البحث بشكل موجز إلى الأسس النظرية لعمليات تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية، التي تشمل طرق ونوعية المنشآت المستخدمة لمعالجة مياه الشرب، وكذلك مفهوم عملية الترويب ( التخثير ) الجارية عند استخدام المواد الكيميائية في عمليات معالجة المياه الطبيعية والعوامل المؤثرة عليها.  
تضمنت منهجية إجراء البحث الأسس والفرضيات المعتمدة للعمل التجريبي، وكذلك البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار ومجالات تأرجحها ، إضافة إلى آلية تنظيم وإجراء العمل التجريبي والتجهيزات المستخدمة لذلك.  
لاختصار عدد التجارب اللازمة للوصول إلى الغاية المرجوة من البحث فقد تم إجراء كافة التجارب على مياه مأخوذة من أطراف إحدى بحيرات سد ( 16 تشرين ) بالقرب من قرية مشقينا .  
تبعاً لعكارة المياه الخام التي ستخضع للمعالجة تم باعتماد طريقة التخثير التجريبي ( Jar – Test ) تحديد قيمة الجرعة المثالية اللازمة من المادة الكيميائية المخثرة التي تم استخدامها في العمل التجريبي والتي تمثلت بكميات الألمنيوم المائية [  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ] .  
تم عرض وتمثيل نتائج التجارب المخبرية بيانياً على مخططات سمحت بمناقشة وتحليل تلك النتائج ، وكذلك بالتوصل إلى القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف المعروضة أعلاه، والتي أوضحنها في جدول خاص تبعاً لقيم عكارة المياه الخام المستخدمة في التجارب المخبرية .  
في الختام تم عرض الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من خلال القراءة التحليلية الدقيقة لنتائج الاختبارات، والتي سمحت بدورها بالتوصل إلى عدد من التوصيات التي نرى أهمية الأخذ بها في الأبحاث اللاحقة في هذا المجال لتطوير أسلوب تنقية مياه الشرب المأخوذة من المصادر السطحية.

**الكلمات المفتاحية:** تنقية مياه الشرب - عملية المزج - عملية تشكل الندف - الخلط الهوائي

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

husamsabouh@tishreen.edu.sy

## Determining the Optimum Values of the Mixing and Floc Formation Parameters When Air Mixing is Used in Surface Water Purification Processes

Dr. Housam Sabouh\*

(Received 5 / 7 / 2021. Accepted 6 / 9 / 2021)

### □ ABSTRACT □

The research is summarized in conducting a wide series of laboratory experiments in order to determine the optimal values of the mixing and floc formation parameters when air mixing is used to accomplish both processes. These parameters are represented by the continuity of each of the mixing processes ( $T_1$ , sec) and floc formation ( $T_2$ , sec), as well as the intensity of the mixing process for each of them, which is expressed by the so-called mixing velocity gradient coefficient ( $G_1$ ,  $\text{sec}^{-1}$ ) and the mixing velocity gradient coefficient (flake formation) ( $G_2$ ,  $\text{sec}^{-1}$ ).

The research presented briefly to the theoretical foundations of the processes of purifying drinking water from surface sources, which include the methods and quality of facilities used to treat drinking water, as well as the concept of the ongoing coagulation process when using chemicals in natural water treatment processes and the factors affecting them.

The methodology of conducting the research included the foundations and hypotheses adopted for the experimental work, as well as the parameters taken into account and their oscillation fields, in addition to the mechanism for organizing and conducting the experimental work and the equipment used for that.

To shorten the number of experiments needed to reach the desired goal of the research, all experiments were conducted on water taken from the outskirts of one of the lakes of the Tishreen 16 Dam near the village of Mashkita.

According to the turbidity of the raw water that will be subjected to treatment, using the experimental coagulation method (Jar-Test), the value of the required optimal dose of the chemical coagulant that was used in the experimental work was determined, which was hydrated aluminum sulfate [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ].

The results of the laboratory experiments were presented and represented graphically on charts that allowed discussion and analysis of those results, as well as reaching the optimal values for the parameters of the mixing and floc formation processes presented above, which we explained in a special table according to the turbidity values of raw water used in laboratory experiments.

In conclusion, the conclusions reached through careful analytical reading of the test results were presented, which in turn allowed us to reach a number of recommendations that we see the importance of adopting in subsequent research in this field to develop a method for purifying drinking water taken from surface sources.

**Keywords:** Purification of drinking water - Mixing process - Floc formation process – Air Mixing.

\* Associate Professor –Department of Environmental Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University – Lattakia- Syria. husamsabouh@tishreen.edu.sy

## مقدمة:

ينطلب تطور مستوى حياة الناس وتعدد الأنشطة المختلفة للمجتمعات البشرية تأمين المياه اللازمة كماً ونوعاً بما ينسجم مع الغايات المستخدمة من أجلها . فأمام النقص المتزايد والحاجة المتعاظمة للمياه نجد من الضرورة بمكان السعي لاستثمار كافة مصادر المياه الممكنة بما فيها السطحية منها ، التي تشمل الأنهار والبحيرات الطبيعية والاصطناعية ( بحيرات السدود )، والتي تعتمد جودة مياهها بشكل أساسي على مواصفات المياه التي تصل إليها، وتتعلق هذه الجودة بصورة رئيسية بالانشطات البشرية التي تمارس ضمن الحوض الساكب للمصدر المائي [1,2] .

من هنا كان السعي لإيجاد الحلول المثلى للعمليات المتبعة عند تنقية المياه السطحية وجعلها صالحة للاستخدامات البشرية والصناعية أمراً ضرورياً ، ولعل هذا ما يؤمن لنا إنجاز تلك العمليات بأبسط الطرق وأقل الكلف ، وهذا بدوره يمكن أن يوفر حلاً لمسألة الشح المائي المتنامي في سورية ومنها مناطق الساحل السوري التي تضم عدداً كبيراً من السدود السطحية ، والتي يمكن استخدام مياه بحيراتها لتأمين المياه اللازمة للتجمعات السكانية الكبيرة والصغيرة بعد إخضاعها لعمليات التنقية اللازمة.

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في أنه يتطرق بشكل معمق للعوامل المؤثرة على عمليتي المزج وتشكل الندف المستخدمتين عند تنقية المياه السطحية، ولا سيما تلك المأخوذة من بحيرات السدود السطحية، والتي يمكن اعتبارها مصدراً للمياه اللازمة للأغراض المعاشية مما يساعد في التغلب على مشكلة النقص المائي في معظم المناطق الريفية للساحل السوري وحيث تنتشر بحيرات تلك السدود بكثرة .

أما الهدف الرئيسي للبحث فيتلخص في الدراسة النظرية والتجريبية لعمليتي المزج و الخلط ( تشكل الندف ) عند استخدام الخلط الهوائي في عمليات تنقية المياه السطحية وإيجاد القيم المثلى للبارامترات العائدة لكلتا العمليتين والمتمثلة بزمن وشدة كل منهما بغية توفير إمكانية تصميم حجر المزج وأحواض تشكل الندف بما يتفق مع نوعية المياه التي ستخضع للتنقية في تلك المنشآت .

### 1- الأسس النظرية لعمليات تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية :

#### 1-1 طرق ونوعية المنشآت المستخدمة لمعالجة مياه الشرب [3...5] :

تصنف عمليات تنقية مياه الشرب المياه المأخوذة من مصادر سطحية ضمن مجموعتين أساسيتين هما :

- (1) - المجموعة الأولى: وتضم عمليات تحسين المواصفات الحسية للمياه مثل إزالة العكارة ( التصفية ) واللون من تلك المياه.
- (2) - المجموعة الثانية: وتشمل عمليات ضمان سلامة المياه من وجهة النظر الصحية ، وهي تلك العمليات المتمثلة بتعقيم المياه بواسطة مواد مختلفة مثل : الكلور ، الأوزون ، الأشعة فوق البنفسجية ... الخ .

إن اختيار الطريقة الملائمة لمعالجة المياه يستند بشكل رئيسي إلى دراسة وتحليل مواصفات مياه المصدر المائي المعتمد ومقارنتها مع المواصفات التي يملئها المستهلك ( في حالتنا مياه الشرب ) .

عندما يجري تحضير مياه الشرب من مصادر سطحية تكون عمليات المعالجة محصورة عادة بإزالة العكارة واللون ومن ثم التعقيم ، في حين تتلخص تلك العمليات بعملية واحدة هي التعقيم وذلك عندما تؤخذ المياه من مصادر جوفية ( الآبار بأنواعها ) أو من برك طبيعية نظيفة نسبياً .

من الأمور التي يمكن أن تلعب دوراً في تغيير شكل المخطط التكنولوجي اللازم لمعالجة المياه المأخوذة من مصادر سطحية هي الحاجة لإضافة الكلور بجرعات عالية بغية تخليصها من العناصر المسببة للرائحة والتلون، (والتي يصعب التخلص منها بواسطة المخثرات المستعملة في المعالجة) وكذلك للقضاء على العوالق النباتية التي قد تحملها المياه الداخلة إلى المعالجة. ففي مثل هذه الحالات غالباً ما يضاف الكلور على مرحلتين: في الأولى تتم إضافة الكلور إلى المياه المعالجة في محطة الضخ للرفع الأول، وفي المرحلة الثانية يضاف الكلور بعد خروج المياه المعالجة من أحواض الترسيب أو من المرشحات. وهنا نشير إلى ضرورة إزالة الكلور الزائد في بعض الأحيان والتي تتم بإمرار المياه المعالجة عادة عبر مرشحات حشوتها من حبيبات الفحم النشط.

## 1-2- مفهوم عملية الترويب (التخثير) الجارية عند استخدام المواد الكيميائية في عمليات معالجة المياه الطبيعية والعوامل المؤثرة عليها [9...3]:

بغية تسريع عملية تخليص المياه المعالجة من الشوائب المسببة لعكرها وتلونها تضاف عادة مواد كيميائية مخثرة مختلفة، والتي تتحلل (تتفاعل مع الماء) بمجرد إضافتها إلى المياه مشكلة ندفاً تجتذب إليها المواد العالقة وترسيبها معها في منشآت خاصة تسمى أحواض الترسيب.

من أهم المواد الكيميائية المخثرة المستخدمة في الواقع العملي لمعالجة المياه الطبيعية نذكر: كبريتات الألمنيوم المائية  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  وكبريتات الحديد المائية (الزاج الأخضر)  $FeSO \cdot 7H_2O$  وكبريتات الحديد  $Fe_2(SO_4)_3$ ، إضافة إلى كلور الحديد  $FeCl_3$ .

أما أهم العوامل المؤثرة على عملية الترويب (التخثير) الحاصلة عند إضافة المواد الكيميائية المخثرة للمياه المعالجة فيمكن تلخيصها بما يلي:

### (1) - تأثير قيمة الـ pH للمياه المعالجة على عملية الترويب:

تلعب قيمة pH في المياه المعالجة دوراً هاماً في عملية الترويب عند إضافة المواد الكيميائية المخثرة إليها، فقد أثبتت معطيات استثمار منشآت المعالجة القائمة أن القيم المثلى لـ pH في المياه المعالجة باستخدام كبريتات الألمنيوم (على سبيل المثال لا الحصر) تنحصر ما بين (5 - 7.5) وذلك تبعاً لقلوية وقساوة ودرجة تلون المياه المعالجة.

### (2) - تأثير التركيب الأيوني (الشاردي) للمياه المعالجة على عملية الترويب:

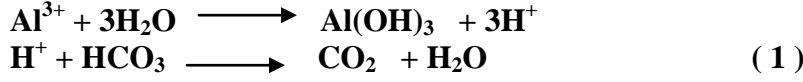
عند تعرض شوائب المياه الطبيعية للترويب يجري امتزاجها على سطوح ذرات هيدروكسيدات معادن المواد المخثرة المضافة إلى المياه المعالجة، التي يجري التخلص منها على هيئة رواسب بفعل التخثير الكهروليتي للأحماض المحتواة في المياه الطبيعية المعالجة، وبالتالي فالتركيب الشاردي للمياه يؤثر بشكل واضح وجلي على عملية التخثير الكهروليتي لهيدروكسيدات المعادن في لحظة تشكلها أثناء سريان عملية الحلمة.

### (3) - تأثير الاختيار الصحيح لجرعة المادة الكيميائية المخثرة المضافة:

يلعب الاختيار الصحيح لقيمة جرعة المادة الكيميائية المخثرة المضافة عند معالجة المياه الطبيعية الدور الأهم في تأثيره على عملية الترويب، فعندما تكون جرعة المادة المخثرة غير كافية فإن عملية الترويب لن تتم، وفي ذات الوقت عندما تكون كمية المادة المخثرة المضافة أكبر من الجرعة المثالية فستتم عملية التخثر وستنتج عنها ندف هلامية كبيرة الحجم ذات بنية هشة وتحتوي في تركيبها على جزيئات من المياه تجعل كثافتها بالمجمل قريبة من كثافة المياه المعالجة، مما يسبب لعملية التخلص منها في أحواض الترسيب اللاحقة، ولعل الوسيلة الأنجع لتحديد القيمة المثلى لتلك الجرعة تتمثل باستخدام مبدأ "التخثير التجريبي" "Jar - Test".

**4- تأثير قلوية المياه على عملية الترويب :**

في الواقع يمكن التمييز بين قلوية بيكربوناتية (  $\text{HCO}_3^-$  ) وأخرى كربوناتية (  $\text{CO}_3^{2-}$  ) ، بالإضافة إلى القلوية الهيدراتية (  $\text{OH}^-$  ) ، والتي تشكل بمجموعها ما يسمى قلوية المياه .  
تظهر المعادلات الكيميائية أدناه تأثير قلوية المياه على عملية حلمهة المادة الكيميائية المخثرة المضافة ( كبريتات الألمنيوم مثلاً ) :



حيث تعمل شوارد الهيدروجين المنطلقة على تخفيض قيمة pH في المياه مما يسيء لعملية الترويب برمتها ، كما تقوم في الوقت نفسه الكمية الفائضة من تلك الشوارد بإعاقة عملية حلمهة كبريتات الألمنيوم ذاتها . من هنا تأتي أهمية توفر كمية كافية من القلوية في الوسط المائي المعالج لضمان سير عملية حلمهة المواد الكيميائية المخثرة اللازمة لعمليات تصفية المياه .

**5- تأثير سرعة مزج المادة الكيميائية المخثرة مع المياه المعالجة وكذلك انتظام توزيعها داخل الحجم المائي المعالج :**

عند إضافة المادة الكيميائية المخثرة إلى المياه المعالجة يجب أن تتأمن شروط توزيعها بشكل منتظم ، وذلك لتأمين حدوث عملية الترويب بشكل مؤكد داخل كامل حجم تلك المياه .  
من الأمور الهامة أيضاً والمؤثرة على عملية الترويب برمتها هي سرعة مزج المادة الكيميائية المضافة مع كامل حجم المياه المعالجة .

**6- تأثير ظروف خلط المياه المعالجة على عملية التخثير :**

تمثل هذه المرحلة من المعالجة والتي تتم في منشآت خاصة تسمى حجر تشكل الندف وتستمر عموماً لمدة تصل حتى ( 25 - 30 ) دقيقة الطور الثاني من عملية الترويب وهي ذات أهمية بالغة لأنها تنتهي عادة بتشكيل ندف كبيرة الحجم وكثيفة يسهل التخلص منها في أحواض الترسيب . من أجل ذلك فإن عملية خلط المياه المعالجة مع نواتج المرحلة الأولى من التخثير ( مرحلة المزج ) يجب أن تؤمن الارتظام الهادئ للندف الجينية بغية تأمين إمكانية تجاذبها وتلاصقها مع بعضها البعض لتشكيل ندف كبيرة الحجم ، لا أن تؤدي إلى تهشمها وتحطيمها والإساءة بالتالي لعملية المعالجة برمتها .

**طرائق البحث ومواده:**

2- منهجية إنجاز البحث والمواد اللازمة :

2-1- الأسس والفرضيات المعتمدة للعمل التجريبي :

من المعروف أن فعالية عملية معالجة مياه الشرب المأخوذة من مصادر سطحية ترتبط خلال مراحلها المختلفة بجملة من العوامل أهمها [3...6,9...11] :

- المواصفات الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة ( العكارة - اللون - درجة الحرارة - pH - التركيب الشاردي ..... الخ ) .
- البارامترات التصميمية للعمليات المختلفة التي تتم في منشآت المعالجة المتتابعة .
- جرعة المادة الكيميائية المخثرة المضافة .

ولاختصار عدد التجارب اللازمة للوصول إلى الغاية المرجوة من البحث فقد تم اتخاذ مجموعة من الإجراءات التي مكنتنا من ذلك دون الإساءة إلى الجوهر والتي تمثلت بما يلي :

- (1)- لتجنب تأثير اختلاف مواصفات المياه المعالجة على نتائج البحث فقد تم إجراء كافة التجارب على مياه مأخوذة من أطراف إحدى بحيرات سد ( 16 تشرين ) بالقرب من قرية مشقيتا .
- (2)- لتحديد تأثير نوعية وجرعة المادة الكيميائية المخترنة المستخدمة فقد تم أثناء مراحل الاختبارات المختلفة التي قمنا بها استخدام مادة واحدة هي كبريتات الألمنيوم المائية [  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  ] ، أما جرعتها فتم تحديدها تجريبياً باعتماد طريقة التخثير التجريبي ( Jar – Test ) على جهاز خاص في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين ، وبنتيجة ذلك تم التوصل إلى القيم المثلى لجرعات المادة المخترنة تبعاً لعكارة المياه الخام وقد تم إيضاح ذلك في الجدول رقم ( 1 ) أدناه [12,13] .

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

عكارة المياه الخام ( $M_0$ ) , ( mg/l )	25	50	75	100	125
قيمة الجرعة المثلى من المادة المخترنة ( $D_k$ ) , ( mg/l )	10	10	12	15	15

- (3)- لتحديد دور درجة حرارة المياه التي تؤثر بشكل ملحوظ على التفاعلات الكيميائية الحاصلة في حجم المياه المعالجة عند إضافة المواد الكيميائية المخترنة إليها ، إضافة إلى تأثيرها على لزوجة المياه التي ترتفع بانخفاضها مما يؤثر سلباً على عملية ترسيب المواد العالقة في المياه المعالجة ، فقد تم حفظ عينات المياه التي ستجرى عليها الاختبارات 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 في المياه قبل إجراء التجارب في كل مرة وتأرجحت قيمها في حدود ضيقة انحصرت بالنسبة لدرجة الحرارة ما بين (  $T = 16 - 19 ^\circ C$  ) وبالنسبة للرقم الهيدروجيني في حدود (  $pH = 7.2 - 7.7$  ) . مع العلم أن كافة التجارب تمت في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين خلال فترة امتدت على طول ربيع وصيف العام 2016 .

- (4)- بغية توفير إمكانية التعامل مع مياه خامية بعكارات مختلفة فقد تم تحضير معكّر اصطناعي من الطمي المأخوذ من قاع نفس البحيرة المشار إليها أعلاه ( إحدى بحيرات سد 16 تشرين ) وتحضيره بالطرق الهيدروليكية المعروفة في أسطوانات خاصة بما يحقق الشروط التصميمية لأحواض الترسيب المتعلقة بحجم الذرات العالقة [14].

- (5)- إضافة إلى ما ذكر أعلاه وبغية تخفيض عدد البارامترات التي يجب أخذها بعين الاعتبار في العمل التجريبي فقد تم اعتماد زمن ترسيب ثابت في كل التجارب التي أجريت في الظروف الستاتيكية والذي أخذ مساوياً ( 1.5 ) ساعة .

- (6)- لقد تم إنجاز البحث بالاعتماد على الخلط باستخدام الهواء المضغوط في مرحلتي المزج وتشكل الندف ، حيث يتم التعبير عن شدة الخلط الهوائي بما يسمى معامل تدرج سرعة الخلط والذي يمكن حساب قيمته من العلاقة التالية : [3,5,11]

$$G = \{ Q \cdot P_0 \cdot \ln [ ( P_0 + \rho \cdot g \cdot h ) / P_0 ] / V \cdot \eta \}^{0.5} , \quad \text{sec}^{-1} \quad ( 2 )$$

على اعتبار أن :

- $G$  - معامل يعبر عن شدة المزج أو الخلط (تشكل الندف) ويسمى معامل تدرج سرعة المزج أو الخلط.
- $Q$  - غزارة الهواء الداخل إلى حيز المزج أو تشكل الندف ، (  $m^3/s$  ) .
- $P_0$  - قيمة الضغط الجوي ( Pascal ) وتساوي (  $10^5 Pa$  ) .
- $\rho$  - كثافة المياه الخام عند درجة حرارة التجربة ، (  $kg/m^3$  ) ، (  $\rho = 1000 kg/m^3$  ) .
- $g$  - تسارع الجاذبية الأرضية ، (  $m/sec^2$  ) ، (  $g = 9.81 m/sec^2$  ) .
- $h$  - عمق توضع جملة توزيع الهواء اللازم للمزج أو تشكل الندف تحت سطح الماء ، (  $m$  ) .
- $V$  - حجم المياه المعالجة ( وهو عبارة عن حجم حيز المزج أو حيز تشكل الندف ) ، (  $m^3$  ) .
- $\eta$  - اللزوجة الديناميكية للمياه عند درجة الحرارة التي أجريت عندها التجارب ، (  $Pa \cdot sec$  ) وقد أخذت في حساباتنا مساوية (  $10^{-3} Pa \cdot sec$  ) .

من المعادلة أعلاه يمكن حساب غزارة الهواء الموافقة لقيمة معامل تدرج سرعة الخلط كما يلي :

$$Q = ( G^2 \cdot V \cdot \eta ) / P_0 \cdot \ln [ ( P_0 + \rho \cdot g \cdot h ) / P_0 ] \quad , \quad m^3/sec \quad (3)$$

## 2-2- البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار ومجالات تأرجحها :

انطلاقاً مما ورد أعلاه فقد تم حصر العمل التجريبي باختبار خمسة بارامترات أساسية هي :

- عكارة المياه الخام الداخلة إلى المعالجة (  $M_0$  ) ،  $mg/l$  .

- زمن ( استمرارية ) عملية المزج (  $T_1$  ) ،  $sec$  .

- معامل تدرج سرعة المزج ( شدة المزج ) (  $G_1$  ) ،  $sec^{-1}$  .

- زمن ( استمرارية ) عملية الخلط ( تشكل الندف ) (  $T_2$  ) ،  $sec$  .

- معامل تدرج سرعة الخلط ( شدة الخلط ) (  $G_2$  ) ،  $sec^{-1}$  .

لقد تم إجراء الاختبارات عند خمسة مستويات لكل بارامتر وبخطوة ثابتة تؤمن الانتقال من القيمة الدنيا إلى القيمة العظمى لكل من تلك البارامترات ، أما حدود مجالات تأرجح قيم البارامترات المذكورة فقد تم انطلاقاً من التصورات التالية [3,5,7...10] :

أ- عكارة المياه الخام (  $M_0$  ,  $mg/l$  ) :

تم تحديد الحد الأعلى انطلاقاً من العكارة الأعظمية التي يمكن أن تصادف في مياه بحيرة السد والتي قد تصل في بعض الأحيان إلى  $125 mg/l$  ، أما الحد الأدنى فقد أخذ مساوياً  $20 mg/l$  ، حيث أن المياه ذات العكارة الأخفض من ذلك يمكن توجيهها إلى المرشحات السريعة مباشرة  $( 15 - 8 ) mg/l$  ، أما قيم مستويات الاختبار فكانت على النحو التالي :

$$( M_0 = 25 - 50 - 75 - 100 - 125 mg/l )$$

ب- استمرارية عملية المزج (  $T_1$  ,  $sec$  ) :

من المعروف أن عملية مزج المادة الكيميائية المخثرة المضافة إلى المياه المعالجة تتم في منشآت خاصة تسمى أحواض المزج وهي تستمر لفترة لا تزيد عن (  $120 sec$  ) في الأحواض التي تعتمد على الطاقة الهيدروليكية لتيار المياه المعالجة في إتمام عملية المزج ، في حين أن استمرارية عملية المزج يمكن أن تنخفض قليلاً عند استخدام أحواض مزودة بخلطات ميكانيكية أو بمنظومة للهواء المضغوط يمكن أن تؤمن عملية المزج المطلوبة [3,5] .

انطلاقاً من ذلك فقد تم إجراء الاختبارات عند القيم التالية :

$$( T_1 = 30 - 40 - 50 - 60 - 70 sec. )$$

ج- شدة عملية المزج ( $G_1, \text{sec}^{-1}$ ) :

يُعبّر عن شدة عملية المزج بمعامل تدرج سرعة المزج ( $G_1, \text{sec}^{-1}$ ) ، والذي تؤخذ قيمته الدنيا بحدود ( $200 \text{ sec}^{-1}$ )، في حين يتراوح حده الأعلى بحدود ( $300 - 350 \text{ sec}^{-1}$ ) كما تشير المراجع المختصة [3,5] ، أما قيم هذا البارامتر التي أجريت عندها الاختبارات فكانت كما يلي :

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

د- بارامترات عملية الخلط (تشكل الندف) ( $T_2, G_2$ ) :

من المعروف أن عملية الخلط تتم في أحواض خاصة بها تسمى (حجر أو أحواض تشكل الندف) وهي عملية تتسم بأنها أهدأ وتستمر لفترة أطول مما هو عليه الحال بالنسبة لعملية المزج ، أما مجالات تأرجحها فقد تمت باعتماد نفس التصورات الخاصة بعملية المزج وكانت قيم مستويات تأرجحها على النحو التالي :

- استمرارية عملية الخلط (تشكل الندف) :

$$T_2 = 720 - 840 - 960 - 1080 - 1200 \text{ sec}$$

- شدة الخلط (معامل تدرج سرعة الخلط) :

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

### 2-3- آلية تنظيم وإجراء العمل التجريبي والتجهيزات المستخدمة :

لقد تم إنجاز العمل التجريبي بشكل يؤمن الوصول إلى الهدف المنشود من البحث والمتمثل في الوصول إلى القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج ( $T_1, G_1$ ) وتشكل الندف ( $T_2, G_2$ ) الموافقة لقيم العكارات المختلفة للمياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي ، والتي تمت الإشارة إليها أعلاه .

انطلاقاً من التصورات العلمية المنطقية في مجال بحثنا [3...6] وبمراعاة ما تم عرضه أعلاه حول حدود ومستويات تأرجح قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في البحث فقد تم وضع مخطط لإجراء مجموعة واسعة من التجارب المخبرية عند القيم المختلفة لتلك البارامترات ، وقد عرضنا في الجداول ذوات الأرقام ( 2 ) ، ( 3 ) ، ( 4 ) و ( 5 ) آلية تنظيم العمل التجريبي التي تسمح بالوصول إلى الغاية المرجوة منه .

الجدول رقم ( 2 ) : قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في المجموعة الأولى من التجارب المخبرية

عكارة المياه الخام ( $M_0$ ) ( $\text{mg/l}$ )	استمرارية عملية المزج ( $T_1$ ) ( $\text{sec}$ )	معامل تدرج سرعة المزج ( $G_1$ ) ( $\text{sec}^{-1}$ )	استمرارية عملية الخلط (تشكل الندف) ( $T_2$ ) ( $\text{sec}$ )	معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) ( $G_2$ ) ( $\text{sec}^{-1}$ )
25	30	250	960	40
	40			
	50			
	60			
	70			
50	30	250	960	40
	40			
	50			
	60			
	70			
75	30	250	960	40
	40			



	50			
	60			
	70			
100	30	250	960	40
	40			
	50			
	60			
	70			
125	30	250	960	40
	40			
	50			
	60			
	70			

الجدول رقم ( 3 ) : قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في المجموعة الثانية من التجارب المخبرية

عكارة المياه الخام ( $M_0$ ) ( mg/l )	استمرارية عملية المزج ( $T_1$ ) ( sec )	معامل تدرج سرعة المزج ( $G_1$ ) ( $sec^{-1}$ )	استمرارية عملية الخلط (تشكل الندف) ( $T_2$ ) ( sec )	معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) ( $G_2$ ) ( $sec^{-1}$ )
25	The optimum value from the first group of experiments	200	960	40
		225		
		250		
		275		
		300		
50	The optimum value from the first group of experiments	200	960	40
		225		
		250		
		275		
		300		
75	The optimum value from the first group of experiments	200	960	40
		225		
		250		
		275		
		300		
100	The optimum value from the first group of experiments	200	960	40
		225		
		250		
		275		
		300		
125	The optimum value from the first group of experiments	200	960	40
		225		
		250		
		275		
		300		

الجدول رقم ( 4 ) : قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في المجموعة الثالثة من التجارب المخبرية

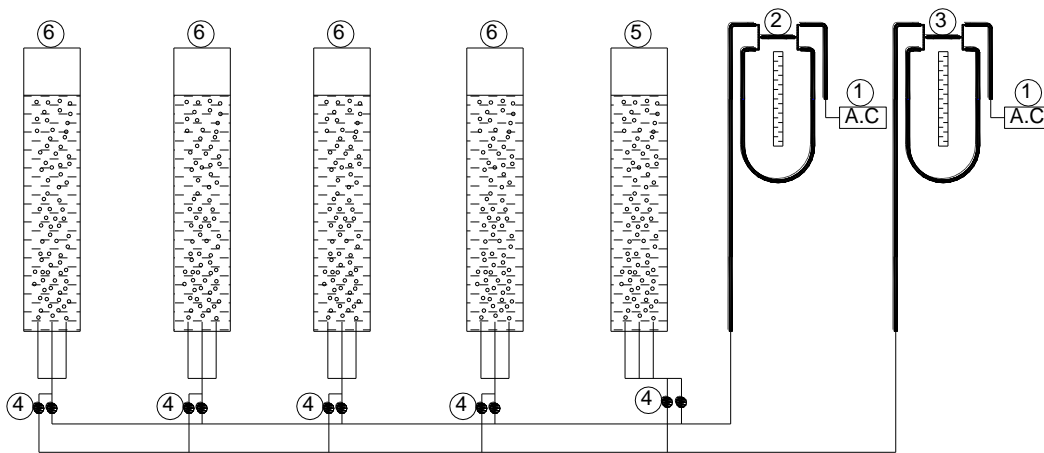
عكارة المياه الخام ( $M_0$ ) ( mg/l )	استمرارية عملية المزج ( $T_1$ ) ( sec )	معامل تدرج سرعة المزج ( $G_1$ ) ( $sec^{-1}$ )	استمرارية عملية تشكل الندف ( $T_2$ ) ( sec )	معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) ( $G_2$ ) ( $sec^{-1}$ )
25	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	720	40
			840	
			960	
			1080	
			1200	
50	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	720	40
			840	
			960	
			1080	
			1200	
75	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	720	40
			840	
			960	
			1080	
			1200	
100	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	720	40
			840	
			960	
			1080	
			1200	
125	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	720	40
			840	
			960	
			1080	
			1200	

الجدول رقم ( 5 ) : قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار في المجموعة الرابعة من التجارب المخبرية

عكارة المياه الخام ( $M_0$ ) ( mg/l )	استمرارية عملية المزج ( $T_1$ ) ( sec )	معامل تدرج سرعة المزج ( $G_1$ ) ( $sec^{-1}$ )	استمرارية عملية الخلط (تشكل الندف) ( $T_2$ ) ( sec )	معامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) ( $G_2$ ) ( $sec^{-1}$ )
25	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	The optimum value from the third group of experiments	30
				35
				40
				45
				50
50	The optimum value from the first group of	The optimum value from the second group	The optimum value from the third group of	30
				35
				40

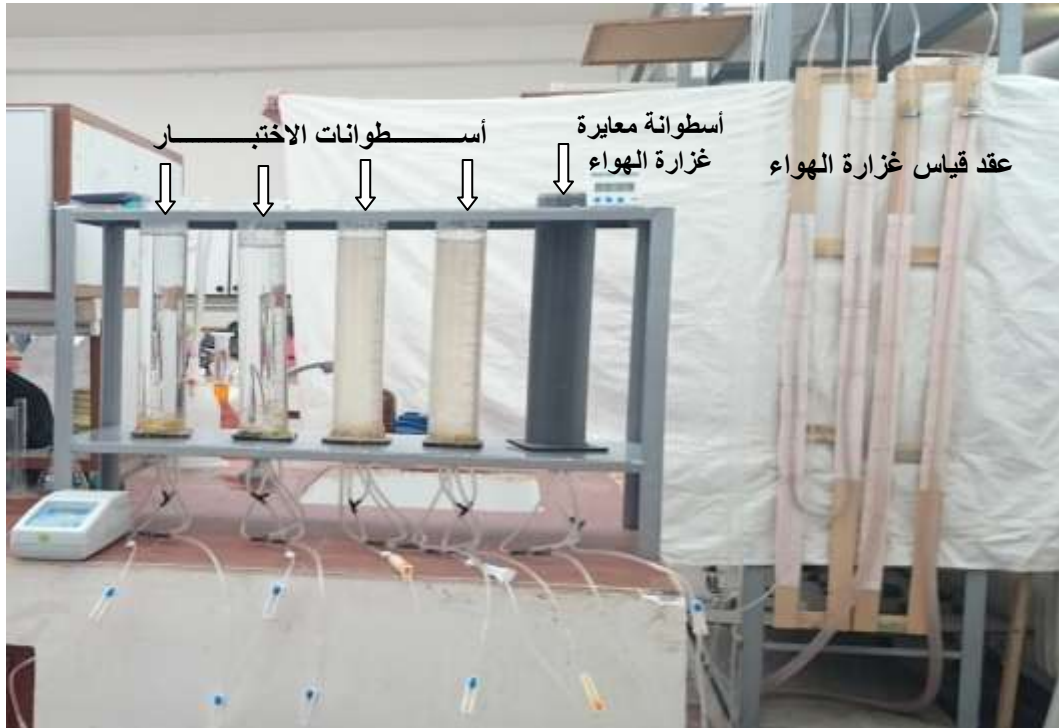
	experiments	of experiments	experiments	45
				50
75	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	The optimum value from the third group of experiments	30
				35
				40
				45
				50
100	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	The optimum value from the third group of experiments	30
				35
				40
				45
				50
125	The optimum value from the first group of experiments	The optimum value from the second group of experiments	The optimum value from the third group of experiments	30
				35
				40
				45
				50

لقد تم إنجاز تجارب السلاسل الأربعة من العمل التجريبي باستخدام جهاز خاص قمنا بتصنيعه في المخبر وقد بينا رسماً تخطيطياً وصورة فوتوغرافية له على الشكلين رقم ( 2 ) و ( 3 ) أدناه .



الشكل رقم ( 1 ) : رسم تخطيطي للجهاز المستخدم لإجراء التجارب المخبرية

- 1- مضخة هواء مضغوط ، 2- عقدة قياس تدفق الهواء اللازم لعملية المزج ، 3- عقدة قياس تدفق الهواء
- اللازم لعملية الخلط ( تشكل الندف ) ، 4- محابس ( صمامات ) تحكم على أنابيب نقل الهواء ،
- 5- أسطوانة معايرة غزارة الهواء اللازم للمزج وتكل الندف ، 6- أسطوانات الاختبار .



الشكل رقم ( 2 ) : صورة فوتوغرافية للجهاز المستخدم لإجراء التجارب المخبرية

يتألف الجهاز المخبري المشار إليه أعلاه من هيكل معدني حامل لخمس أسطوانات مخبرية سعة كل منها ( 1 ) لتر، خصصت الأولى منها لمعايرة وضبط غزارة الهواء اللازم لعمليتي المزج وتشكل الندف، في حين استخدمت الأسطوانات الأربع المتبقية لإجراء سلاسل التجارب المخبرية المشار إليها سابقاً .

لقياس غزارة الهواء الداخلة إلى أسطوانات الاختبار تم استخدام عقد قياس خاصة جرت معايرتها من قبلنا باستخدام جهاز قياس خاص بتحديد غزارات الهواء .

لتأمين إمكانية التحكم بغزارة الهواء القادم إلى أسطوانات الاختبار تم تزويد الأنابيب الواسلة بين عقدتي قياس غزارة الهواء وأسطوانات الاختبار بمحابس تؤمن التحكم بغزارة الهواء الداخل إلى تلك الأسطوانات .

أما آلية إجراء التجارب فيمكن تلخيصها بالخطوات التالية :

(1) - يُحضر حجم من المياه الخام المأخوذة من بحيرة سد ( 16 تشرين ) والمخزنة في المخبر لمدة لا تقل عن ( 24 ) ساعة بحجم يكفي ليوم عمل في المخبر ( أي بحدود 10 لتر ) ومن ثم يجري تعكيرها بإضافة المعكر المحضر من قبلنا ( كما أوضحنا سابقاً ) لتصل عكارتها الحد المطلوب (  $M_0, mg/l$  ) وفقاً لظروف التجربة، ومن ثم تملأ أسطوانة المعايرة وأسطوانة الاختبار الأولى بتلك المياه .

(2) - نقوم بتشغيل مضخات الهواء الموصولة أصلاً مع عقد قياس تدفق الهواء ومنها إلى أسطوانة المعايرة حيث يجري التحكم بغزارة الهواء المارة عبر عقد القياس المذكورة بواسطة محابس خاصة مركبة على أنابيب نقل الهواء إليها .

(3) - تحسب قيمة غزارة الهواء اللازمة لعمليتي المزج وتشكل الندف انطلاقاً من قيمتي معاملي تدرج سرعة المزج (  $G_1$  ) (  $sec^{-1}$  ) والخلط ( تشكل الندف ) (  $G_2, sec^{-1}$  ) وفقاً لظروف التجربة وذلك باستخدام العلاقة ( 3 ) بعد التعويض بالقيم التالية:

$$\eta = 10^{-3} \text{ pa.sec} , V = 0.001 \text{ m}^3 , h = 0.33 \text{ m} , \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 , P_0 = 10^5 \text{ pa.}$$

(4)- بعد ضبط قيمة الغزارة اللازمة للمزج ضمن أسطوانة المعايرة يُغلق صمام التحكم المركب على أنبوب الهواء الداخل إلى تلك الأسطوانة ويُفتح صمام الهواء على أنبوب نقله إلى أسطوانة الاختبار الأولى لإنجاز عملية المزج ، وفي الوقت ذاته يجري ضبط قيمة غزارة الهواء القادم من عقدة القياس العائدة لعملية الخلط بما يتفق مع القيمة المحسوبة أعلاه وفور انتهاء زمن المزج وفقاً لظروف التجربة نقوم بإغلاق صمام الهواء المخصص للمزج ويُفتح صمام الهواء المخصص للخلط في أسطوانة الاختبار الأولى.

(5)- بعد مضي زمن الخلط المحدد وفقاً لظروف التجربة يُغلق صمام الهواء وتترك عينة المياه المعالجة في أسطوانة الاختبار الأولى لعملية الترسيب التي تستمر حوالي ساعة ونصف لتؤخذ من بعدها عينة من تلك المياه لقياس قيمة العكارة المتبقية فيها وتدوينها في جدول خاص.

(6)- بنفس الأسلوب المعروف أعلاه تم إنجاز كافة مجموعات التجارب عند مختلف قيم البارامترات المأخوذة بعين الاعتبار ( راجع الجداول ذوات الأرقام 2 ، 3 ، 4 ، 5 ).

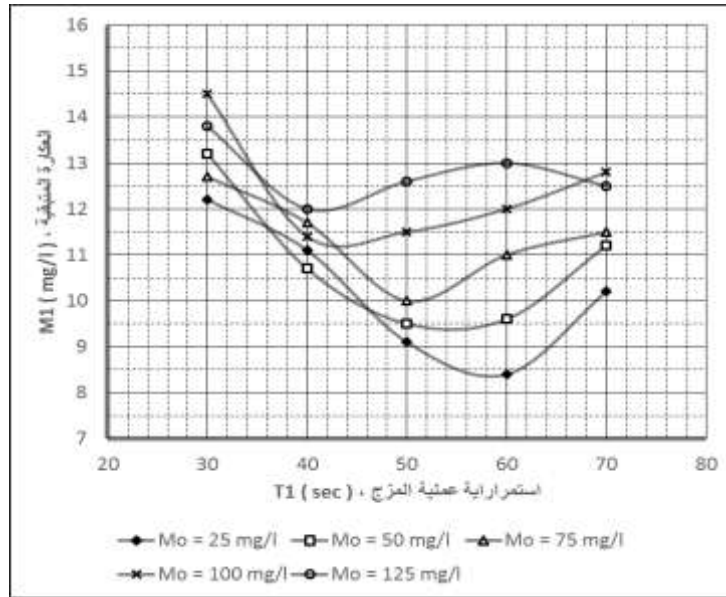
#### ملاحظة:

تم إعادة كل تجربة مرتين على الأقل للتأكد من نتيجة الاختبار ، كما تم في نهاية كل تجربة قياس قيمة العكارة المتبقية (  $M_1$  , mg/l ) وكذلك قيمة الـ pH التي لم تختلف بشكل ملحوظ عن القيم المقاسة في بداية كل تجربة والتي تأرجحت في حدود (  $pH = 7.2 - 7.7$  ) كما ذكرنا سابقاً .

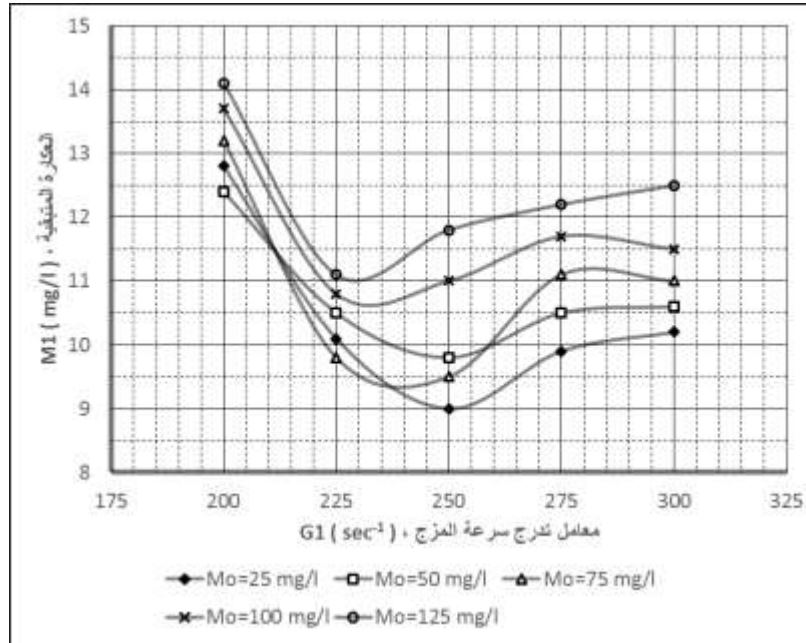
#### النتائج والمناقشة:

#### 3- عرض ومناقشة النتائج المخبرية:

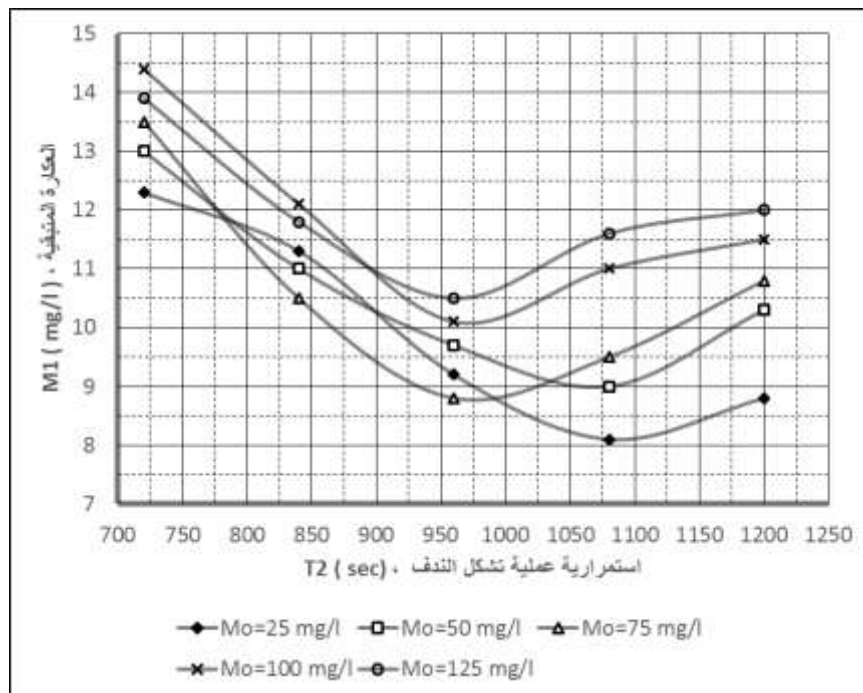
لقد تم تمثيل نتائج مجموعات التجارب المخبرية الأربع المشار إليها أعلاه بيانياً على الأشكال ذوات الأرقام (3)، (4)، (5) و (6) المبينة أدناه .



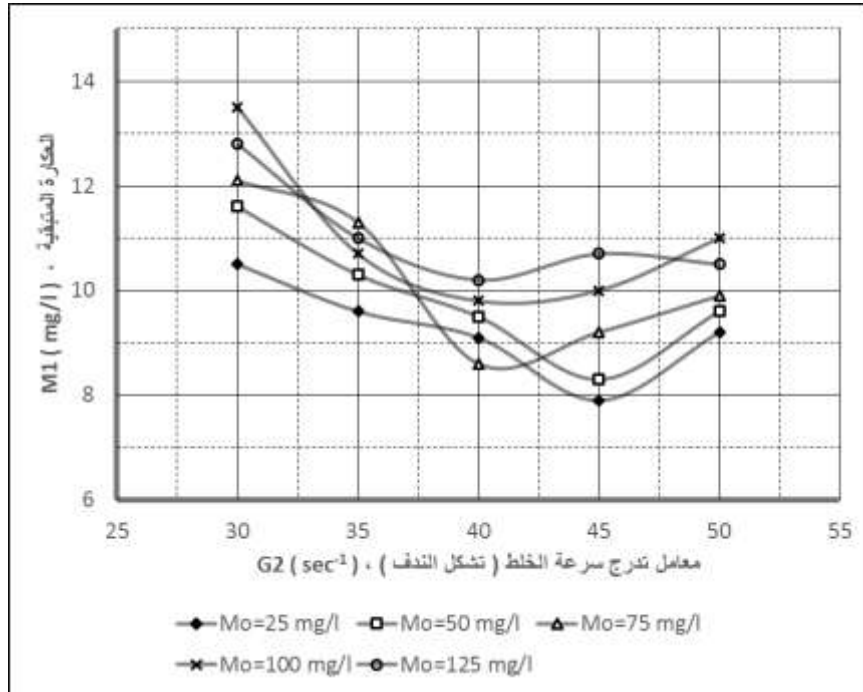
الشكل رقم ( 3 ) : التمثيل البياني لنتائج المجموعة الأولى من التجارب المخبرية



الشكل رقم ( 4 ) : التمثيل البياني لنتائج المجموعة الثانية من التجارب المخبرية



الشكل رقم ( 5 ) : التمثيل البياني لنتائج المجموعة الثالثة من التجارب المخبرية



الشكل رقم ( 6 ) : التمثيل البياني لنتائج المجموعة الرابعة من التجارب المخبرية

بقراءة متأنية لنتائج الاختبارات الممثلة على المخططات البيانية الواردة أعلاه تمكنا من الوصول إلى القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج ( $T_1, G_1$ ) وتشكل الندف ( $T_2, G_2$ ) من أجل كافة قيم العكارة المعتمدة أثناء الاختبار للمياه الخام ( $M_0$ ) ، وهي القيم التي توافقت القيم الدنيا للعكارات المتبقية المقاسة ( $M_1$ ) في العينات المقطوفة من أعلى أسطوانة الاختبار في نهاية كل تجربة ، وللايضاح فقد تم عرض القيم المثلى للبارامترات المذكورة أعلاه وقيم العكارة المتبقية عند كل منها من أجل كافة قيم عكارة المياه الخام في الجدول رقم ( 6 ) أدناه.

الجدول رقم ( 6 ) : القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف

من أجل القيم المختلفة لعكارة المياه الخام المستخدمة في العمل التجريبي

تحديد القيم المثلى لزمن المزج تبعاً لعكارة المياه الخام انطلاقاً من نتائج المجموعة الأولى من التجارب المخبرية			تحديد القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج تبعاً لعكارة المياه الخام انطلاقاً من نتائج المجموعة الأولى من التجارب المخبرية		
عكارة المياه الخام ( $M_0, mg/l$ )	الزمن المثالي لعملية المزج ( $T_1, sec$ )	العكارة المتبقية المقاسة ( $M_1, mg/l$ )	عكارة المياه الخام ( $M_0, mg/l$ )	القيمة المثلى لمعامل تدرج سرعة المزج ( $G_1, sec$ )	العكارة المتبقية المقاسة ( $M_1, mg/l$ )
25	58	9.2	25	250	10.0
50	53	10.1	50	250	9.8
75	50	10.6	75	237	9.3
100	43	12.0	100	232	10.7
125	41	12.4	125	230	11.0

تحديد القيم المثلى لزمن الخلط (تشكل الندف) تبعاً لعكارة المياه الخام انطلاقاً من نتائج المجموعة الثالثة من التجارب المخبرية			تحديد القيم المثلى لمعامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) تبعاً لعكارة المياه الخام انطلاقاً من نتائج المجموعة الرابعة من التجارب المخبرية		
عكارة المياه الخام ( $M_0$ , mg/l)	الزمن المثالي لعملية الخلط (تشكل الندف) ( $T_2$ , sec)	العكارة المتبقية المقاسة ( $M_1$ , mg/l)	عكارة المياه الخام ( $M_0$ , mg/l)	القيمة المثلى لمعامل تدرج سرعة الخلط (تشكل الندف) ( $G_1$ , sec)	العكارة المتبقية المقاسة ( $M_1$ , mg/l)
25	1080	8.1	25	45	7.9
50	1080	9.0	50	45	8.3
75	975	8.8	75	41	8.6
100	960	10.1	100	40	9.8
125	960	10.5	125	40	10.2

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

أ- أثبتت نتائج الاختبارات الفعالية الأكيدة لاستخدام الخلط الهوائي لإتمام عمليتي المزج وتشكل الندف المستخدمتين عند تنقية مياه الشرب المأخوذة من مصادر سطحية .

ب- انخفاض القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج ( $T_1$ ,  $G_1$ ) وتشكل الندف ( $T_2$ ,  $G_2$ ) عند استخدام الخلط الهوائي بالمقارنة مع القيم المعروفة لتلك البارامترات في الأحواض التي تعتمد على الطاقة الهيدروليكية لتيار المياه المعالجة لإتمام تلك العمليتين .

ج- بقراءة نتائج الاختبارات المتمثلة بقيم العكارات المتبقية والموضحة بيانياً على الأشكال ذوات الأرقام (3)، (4)، (5) و (6) نلاحظ أن معظمها لم يتجاوز القيم المسموحة لعكارة المياه المسموح توجيهها إلى المرشحات الرملية السريعة والتي تتراوح ما بين (8 - 12 mg/l) .

#### التوصيات:

- أ- من الضروري اختبار فعالية الطريقة المعروضة في صلب هذا البحث عند قيم أكبر لعكارة المياه الخام الخاضعة للمعالجة .
- ب- يُنصح في مرحلة لاحقة بدراسة تأثير درجة حرارة المياه المعالجة على القيم المثلى لبارامترات عمليتي المزج وتشكل الندف .
- ج- ضرورة تطبيق نفس أسلوب المعالجة المتبع هنا على مياه سطحية مأخوذة من مصادر أخرى لدراسة مدى تأثير النتائج الحاصلة بمواصفات تلك المياه وبالتركيب الحبي لذرات المواد العالقة فيها والتي تسبب العكر الذي نسعى لإزالته
- د- ضرورة استخدام نتائج البحث لابتكار وتصميم واختبار وحدات معالجة حقيقية يمكن أن تؤمن حلاً لمسألة نقص مياه الشرب في مناطق واسعة من ريفنا الساحلي وحيث ينتشر العدد الكبير من السدود السطحية .



## References:

- [1] JAZAA , N . I . *Using water quality indicators to assess the water suitability of Salah El-Din Dam lake for irrigation and drinking purposes* . Master Thesis in Civil Engineering , Environmental Engineering Department , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Lattakia 2016 .
- [2] ATALLAH , R . M . *Using the CCMEWQI Water Quality Index to assess the water quality of the Sourani Dam Lake* . Master Thesis in Civil Engineering , Environmental Engineering Department , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Lattakia 2020 .
- [3] NICOLADZE , G . E . *Treatment technology for natural water* , first edition , High School , Moscow , 1987 , 479 p.
- [4] EDZWALD , J . K . ; TOBIASON , J . E . *Enhanced coagulation : US requirements and a broader view* . Water Science and Technology , volume 40 , Iss. 9 , 1999 , pp. 63 – 70 .
- [5] FROG , B . N . ; LEVCHENKO , A . P . *Water treatment* , first edition, publishing house MGU , Moscow , 1996 , 680 p.
- [6] KAN , C. C. ; HUANG , J. P. ; PAN, J. R. S . *Coagulation of high turbidity water: The effects of rapid mixing* . J. Water Supply Res. Technol. 51, (2002), pp. 77–85.
- [7] KAN , C.C. ; HANGg , J.P. ; PAN , J. R. S . *Time requirement for rapid-mixing in coagulation* . Physicochemical and Engineering Aspects 203, August 2002 , pp. 1–9
- [8] PARK , S . M . ; HANG BAE JUN ; JUNG, M . S . ; KOO, H . M . *Effects of velocity gradient and mixing time on particle growth in a rapid mixing tank* . Water Science & Technology, 53(7), February 2006 , pp. 95-102.
- [9] Edzwald , J . K . *Coagulation in drinking water treatment : Particles , organics and coagulants* . Wat. Sci. Tech. , Vol. 27, No.1 1, 1993 , pp. 21-35.
- [10] ROSSINI , M . ; GARRIDO , J. G ; GALLUZO , M . *Optimization of the coagulation-flocculation treatment: Influence of rapid mixing parameters*. Water Res., 33(8), 1999, pp. 1817–1826 .
- [11] TEA IN OHM; JONG SEONG CAE; MENG YU ZHANG; JIN CHUL JOO . *Computational Fluid Dynamics Modeling and Field Applications of Non-Powered Hydraulic Mixing in Water Treatment Plants*. Water 2020, 12, 939.
- [12] SELAMI TUGRUL ; MEGUMU FUJIBAYASHI ; MARUO CHIKAKO. *Influence of velocity gradient and rapid mixing time on flocs formed by polysilica iron (PSI) and polyaluminum chloride (PACl)* . November 2012 . Desalination and Water Treatment 53(22).
- [13] YAO, C.H. *The Preparation of Polymeric Aluminum Chloride (PACl) and its Application in Water Treatment*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1987.
- [14] GIANI APOSTAL ; REDHA KOUACHI ; IONEL CONSTANTINESCU. *Optimization of coagulation – flocculation process with aluminum sulfate based on response surface methodology*, 2011 , U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 73, Iss. 2 .