

نمذجة الحاجز في حوض الترسيب بمنهجية ديناميك الموائع الحاسوبية

تسنيم مقرش، محمد أمين شغالة، فاطمة جعارة

قسم الهندسة البيئية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب، حلب، سوريا

tsnimmkresh@gmail.com

الاستلام: 20/05/2020

القبول: 20/06/2020

المستخلص - يستعمل الترسيب بالجاذبية بشكل واسع في محطات تنقية المياه لإزالة المواد الصلبة العالقة وتكمن المشكلة في عدم تحقيق أحواض الترسيب الواقعية (في الحياة العملية) لكفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة التصميمية وهذا يعود إلى تشكل الدوامات المائية التي تسبب وصول المياه إلى هذّار الخروج بأقل من الزمن اللازم للجزيئات بالترسيب (زمن مكوث المياه). اعتمد البحث على المنهج التحليلي باستخدام برنامج ANSYS FLUENT بمنهجية CFD وهي اختصار Computational Fluid Dynamics أي ديناميك الموائع الحاسوبية اعتماداً على طريقة العناصر المحدودة، وعلى المنهج التجريبي من خلال دراسة مخبرية من حيث ضخ صبغة زرقاء اللون وتتبع مسار الجريان وتشكل الدوامات وحساب كفاءة الترسيب لأحواض ترسيب مستطيلة مزودة بحاجز لمعرفة أفضل نسبة d/L لبعد الحاجز عن المدخل بالنسبة لطول الحوض لسبع نسب متغيرة ($d/L = 0.1, 0.12, 0.125, 0.13, 0.14, 0.15, 0.2$) كما تمت دراسة تغيير زاوية تركيب هذا الحاجز لتسع زوايا متغيرة ($\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ$) وتحديد أمثل زاوية θ بالدرجات مع الأفق وخلصت النتائج إلى أن أفضل نسبة توافق $d/L = 0.125$ حيث كانت قيمة الدوامات $6.23 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$ والتي تقابل كفاءة ترسيب 88.72% وأفضل زاوية لثبيت الحاجز 60° مع الأفق حيث كانت قيمة الدوامات $6.162 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$ والتي تقابل كفاءة الترسيب 89.18% كما تمت دراسة حالة عدم تزويد حوض الترسيب بأي حاجز حيث كانت قيمة الدوامات $40.01 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$ والتي تقابل كفاءة الترسيب 54.36% حيث انخفضت الكفاءة كنسبة مئوية بحدود 34.5% ووجد توافق بالنتائج بين الدراسة المخبرية والدراسة التحليلية من خلال نمذجة البارامترات ببرنامج ANSYS FLUENT بمنهجية CFD.

الكلمات المفتاحية ديناميك الموائع الحاسوبية، الحاجز، الدوامات، كفاءة الترسيب، طريقة العناصر المحدودة.

Abstract- Gravity sedimentation is widely used in water purification plants to remove suspended solids. The problem is that the detention-time is not enough to achieve the efficient removal of suspended solids, this is due to the formation of water eddies that cause water exit the tank too quickly (short-circuiting). This research is an analytical work uses the ANSYS FLUENT program. Using CFD methodology, which is the abbreviation of Computational Fluid Dynamics. It depends on the method of finite elements, and the experimental approach through a laboratory study of a rectangular sedimentation basin equipped with a baffle. The research objectives are 1) to find the best ratio d / L , where d is the distance of baffle from the inlet and L is the length of the basin of seven variable proportions ($d / L = 0.1, 0.12, 0.125, 0.13, 0.14, 0.15$ and 0.2). 2) Studying the installation of the baffle for nine variable angles, ($\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ, 135^\circ$ and 150°). 3) Determine the optimum angle θ to the horizon. The research concluded that 1) The best compatibility ratio $d / L = 0.125$ where the value of the eddies was $6.23 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$. This corresponds to the sedimentation efficiency of 88.72%. 2) The best angle to fix the baffle is 60° to the horizon; the value was $6.162 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$. This corresponds to the sedimentation efficiency of 89.18%. When baffle is not provided, the value of eddies was $40.01 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$. This corresponds to the sedimentation efficiency of 54.36%. The efficiency has decreased about 34.5%. Results showed agreement between Laboratory studies and the analytical study with a CFD methodology.

المقدمة

وبسرعة لا تسمح للمياه أن تحمل معها في صعودها حبيبات المواد العالقة وهي لا تستعمل كأحواض للترسيب الطبيعي بعمليات تنقية المياه.

مناطق حوض الترسيب

افترض العالم Hazen أن اتجاه الجريان في حوض الترسيب المستطيل أفقي وسرعة الجريان ثابتة وصغيرة بحيث يكون الجريان ضمن الشروط الصفحية، ومن ثم فإن مدة بقاء الجزيئات في الحوض ستكون متساوية ومساوية إلى نسبة حجم الحوض إلى التدفق، أي مساوية إلى مدة بقاء الماء في الحوض وكل جزيء يصطدم بقاع الحوض اعتبره قد خرج من الحوض ولن يعود معلقاً في الماء مرة ثانية.

وهذه الفرضيات قادت العالم Hazen إلى فرض وجود أربع مناطق في المرسب أفقي الحركة

1 منطقة المدخل حيث يتم توجيه المياه لتسير بانتظام بكامل قطاع الحوض.

2 منطقة الترسيب حيث تسير المياه بسرعة صغيرة كافية لترسيب المواد العالقة.

3 منطقة المخرج حيث يتم توجيه المياه لتخرج على كامل مقطع هدار الخروج.

4 منطقة الرواسب حيث يتم تجميع الرواسب والتخلص منها.

تشكل الدوامات المائية

إن السبب الرئيس لانخفاض الكفاءة في أحواض الترسيب يعود إلى تشكل الدوامات المائية التي تؤدي إلى توزع غير منتظم للمياه الداخلة على كامل مقطع حوض الترسيب وتتجاوز المياه المسار الطبيعي للجريان خلال الحوض لتصل إلى هدار الخروج في زمن أقل من الزمن اللازم للترسيب

لقد افترض العالم Hazen أن السرعة الأفقية لجريان الماء في حوض الترسيب الأفقي ثابتة في كل نقاط الحوض، ولكن مقاومة الاحتكاك على طول جدران الحوض وعلى قاعه سوف تعيق حركة الماء وبالتالي ستكون سرعة الجريان قرب الجدران والقاع أقل من قيمها الوسطية بينما ستكون في مركز الحوض أكبر من القيمة الوسطية.

إضافة إلى تأثير الجدران والقاع تحدث دائماً بعض الإضطرابات بسبب الدخول غير المنتظم للماء الخام أو بسبب الخروج غير المنتظم للمياه النقية على عمق وعرض الحوض أو بسبب التيارات

تعد أحواض الترسيب من أهم وحدات محطة معالجة المياه، فمن الضروري التحقق من كفاءة الترسيب التصميمية بأحواض الترسيب الواقعية (في مرحلة التشغيل والاستثمار).

يهدف الترسيب في عمليات معالجة المياه إلى إزالة أكبر كمية من المواد الصلبة العالقة في المياه من خلال إمرارها في حوض ترسيب ضمن فترة زمنية معينة (زمن مكوث المياه في حوض الترسيب)

تصنف المواد الصلبة حسب حجمها وحالتها وخصائصها الكيميائية وتوزع حجمها إلى معلقة، قابلة للترسيب، غروانية. المواد الصلبة العالقة هي المواد غير القابلة للذوبان في المياه، وهذه المواد تكون من الرمل أو الطمي أو الغضار وتدخل الماء من سطح اليابسة أو من حت ضفاف المجرى المائي. وإن جميع ملوثات المياه تسهم في زيادة محتوى المياه من المواد الصلبة.

إن وجود المواد الصلبة العالقة في المياه تؤثر بشكل سلبي على نوعيته وجودته واستعمالاته لأنها توفر مواقع الامتزاز للمواد البيولوجية والكيميائية وهذه المواقع توفر للكائنات الحية الدقيقة حاجزاً واقياً ضد الفعل الكيميائي للكlor. كما يمكن لهذه المواد أن تتحلل بيولوجياً لتعطي منتجات ثانوية غير مرغوبة وهكذا، لذلك تعتبر عملية إزالة هذه المواد ذات أهمية كبيرة وتعطى اهتماماً خاصاً في محطات معالجة المياه لأنها تشير إلى فعالية المعالجة الفيزيائية والبيولوجية.

يتم فصل المواد الصلبة الداخلة في بداية أحواض الترسيب عن طريق تقليل سرعة الجريان بحيث تترسب المواد الصلبة العالقة في قاع أحواض الترسيب الابتدائية.

أنواع أحواض الترسيب

1- أحواض الترسيب المستطيلة ذات التصرف الأفقي، وتعتبر من أحسن الأحواض للترسيب البسيط وفيها تجري المياه أفقياً بسرعة لا تصل إلى الحد الذي يعيق عملية الترسيب على أن تكون هذه السرعة منتظمة في الحوض.

2- أحواض الترسيب الدائرية ذات التصرف القطري وفيها تدخل المياه من المركز وتنتهي عند محيط هدار المخرج الممتد على طول محيط الحوض.

3- أحواض الترسيب ذات التصرف الرأسي وتكون عميقة نسبياً توجه المياه بحيث يكون اتجاهها رأسياً من الأسفل إلى الأعلى

قاع الحوض بسرعات عالية، وكانت كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة تزداد باستخدام الحاجز من 90.4% إلى 98.6% وأدى ذلك إلى انقاص تراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة من الحوض تقريباً 85%.^[3]

وتم إجراء بحث بطريقة الحجوم المحدودة ونموذج الاضطراب للحساب العددي، أشارت النتائج إلى أنه يتم الحصول على أفضل وضع للحاجز عند أصغر حجم لمنطقة الدوامات ويقرب لأن يكون مجال الجريان منتظماً في منطقة الترسيب^[4].

في أحواض الترسيب الابتدائية تشكل المناطق الميتة والدوامات من أكثر المشكلات التي تؤثر على كفاءة الترسيب، وتم البحث باستخدام جهاز ADV للتحقق من تأثير الحاجز على توزع اشعة السرعة في حوض ترسيب مستطيل ابتدائي وقد توصل أن أفضل موقع للحاجز عند مدخل الحوض متوافقة مع أرقام رينولدس Re حيث توضح الدراسة عند تقليل كمية التدفق من $Q=42$ l/min إلى $Q=21$ l/min ينخفض Re من 3486 إلى 1743 و فرود Fr من 11.117 إلى 0.558 وبالتالي بانخفاض السرعة يقل الاضطراب وتقل الدوامات المائية المتشكلة وتزداد كفاءة الترسيب^[5]. تم تصميم نموذج رياضي لحوض الترسيب مع تزويده بحاجز للنتبؤ بمجال السرعة وتوزيع التركيز للمواد العالقة في حوض الترسيب، تمت النمذجة بوساطة معادلات الجريان مع دوامة لزوجة ثابتة كما تم اختبار النموذج باستخدام بيانات تم قياسها للسرعات والتركيزات ووجد أن النموذج يمكن استخدامه لمحاكاة حقول السرعة وتغير قيم التركيز في الألفية المفتوحة^[6].

تم إجراء تحريات حسابية ونمذجة عددية وقياسات تجريبية والتوصل إلى أنه أفضل موقع للحاجز حيث يمكنه من تخفيض وتبديد الطاقة الحركية^[7].

الهدف من الدراسة

يكمّن الهدف من الدراسة فيما يلي

- نمذجة حوض الترسيب المستطيل ببرنامج ANSYS FLUENT
نمذجة عددية باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM ومنهجية CFD.

- دراسة نسبة مسافة تركيب الحاجز عند مدخل الحوض والمعبر عنها بالرمز d بالنسبة لطول الحوض المعبر عنه بالرمز L وتحديد أفضل نسبة لموقع الحاجز $\frac{d}{L}$ التي تحقق أفضل تخفيض لدوامات

المغلقة الناتجة عن الاختلاف في الكثافة أو عن التيارات الدورانية (circulation current) التي تحدث بسبب عطالة الماء الداخل مما قد يؤدي إلى زيادة كبيرة في سرعة جريان الماء في جزء من الحوض وبالتالي إنقاص واضح للكفاءة، وأيضاً إلى إعادة نقل المواد الصلبة المترسبة في القاع وهنا يبقى جزء من الماء ساكناً أو يدور جزء من الماء حول نفسه فتشكل هذه الدوامات بما يعرف بالمناطق الميتة (dead zones) في حوض الترسيب^[1].

مفهوم جريان الموائع

يعرف المائع بأنه المادة التي تغير شكلها بسهولة أو تسيل إذا تعرضت لإجهاد قص، أو هو المادة التي تكون مقاومتها للتغيرات في الشكل صغيرة جداً وبالتالي إجهادات القص صغيرة. السوائل والغازات تشكل الموائع، يهتم علم حركة الموائع بدراسة العلاقة بين المكان والزمان للموائع المتحركة

بينما يعالج ديناميك الموائع القوى المسؤولة عن حركة المائع والتسارعات الناتجة عنها، تتأثر حركة المائع بالقوى التالية قوى الثقالة وقوى الضغط وقوى مقاومة القص الناتجة من الاحتكاك واللزوجة وقوى المقاومة الناتجة من الجدران وقوى الشد السطحي والانضغاطية. إن وجود مجموعة هذه القوى يجعل تحليل الجريان في المسائل العملية معقداً لدرجة كبيرة.

لذلك يمكن اعتماد فرضيات تقريبية لتسهيل المسألة، كأن نرفض المائع مثالي، أي أن الجريان غير قابل للانضغاط وديم اللزوجة والاحتكاك. إن دراسة حركة الموائع المثالية تعطي معلومات قيمة لمعالجة مسائل الهيدروليك الهندسي. من المعلوم أن الماء يملك لزوجة منخفضة نسبياً وهو من الناحية العملية غير قابل للانضغاط، لذلك فإن له سلوك مشابه للمائع المثالي^[2].

الدراسات السابقة

إحدى الطرق المتبعة لزيادة كفاءة الترسيب في أحواض الترسيب المستطيلة هي تزويد حاجز بمكان مناسب، استخدم المهندسون ديناميك الموائع الحاسوبي CFD على نطاق واسع لوضع النماذج وتحليل المشاكل المعقدة والمتعلقة بالتصميم الهيدروليكي ودراسات التخطيط للمحطات المستقبلية من أجل إيجاد الموضع الأمثل للحاجز في حوض ترسيب ابتدائي

تمت مقارنة أحواض عادية وأحواض مجهزة بحاجز ووجد أن الحاجز ينقص منطقة التيارات المغلقة و الدوامات المتشكلة في منطقة الدخول ويعزز ترسيب المواد الصلبة العالقة بتوجيهها نحو

الموائع، انتقال الحرارة والكتلة، التفاعلات الكيميائية والظواهر المتعلقة بها وللتنبؤ بهذه الظواهر، CFD يحل معادلات مصونة الكتلة، الطاقة الكامنة المحدودة.

إجراء العديد من العمليات الحسابية خلال زمن قصير وبدقة عالية. تكلفة التجارب العملية وصعوبة تنفيذها. تصميم نموذج بالمقياس الكامل واختباره والحصول على نتائج ذات دقة عالية بدون بذل الجهد والمال. بالنتيجة يمكن القول أن النمذجة باستخدام منهجية ديناميك الموائع الحسابي CFD هي تمثيل للحقيقة تسهل وتستقرى الحالات ذات الخصائص المهمة لواقع الحال الحقيقي فنقل الصعوبات التي تواجهنا لزيادة كفاءة أحواض الترسيب ومعرفة التصميم الأمثل في محطات معالجة المياه.

خطوات العمل في الدراسة التحليلية

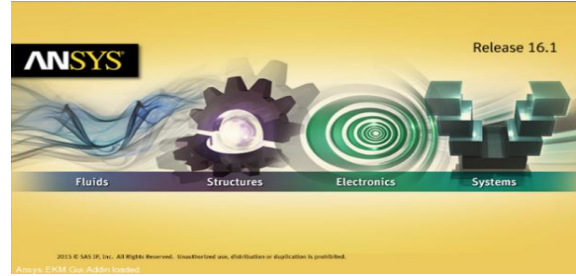
تم تنفيذ الدراسة التحليلية بالخطوات التالية

1-Geometry تصميم ورسم النموذج الرياضي الهندسي الذي هو مجموعة من العلاقات الرياضية التي تحقق الخواص الفيزيائية لمنظومة معينة بالأبعاد المدروسة التي نريد إجراء المحاكاة لها وتحديد نظام الوحدات المستخدمة، وقد استخدمت الوحدات الدولية في الدراسة SI.

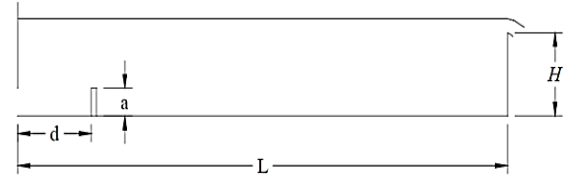
2-Mesh تقسيم النموذج إلى شبكة مثلثية أو مربعة / ناعمة أو متوسطة أو خشنة فعندما تتطلب النمذجة نتائج عالية الدقة نختار حجم العناصر دقيقاً (fine) عندها يتطلب النموذج عدداً كبيراً من العمليات الحسابية بالتالي زيادة زمن الحل والمساحة اللازمة لمعالج الحاسب أما عندما تكون دقة النتائج غير بالغة الأهمية فيفضل اختيار حجم تقسيمات متوسط (medium) لتقليل العمليات الحسابية في مرحلة التحليل وكل نقطة من نقاط الشبكة تمثل بمعادلة جبرية يتم حلها. كما يتم في هذه المرحلة تعريف وتحديد منطقة الدخول Inlet ومنطقة الخروج Outlet والأسطح surface والحاجز Baffle.

3-Setup (مرحلة إدخال البيانات) وتعتبر أهم مرحلة لأنها تحدد المواد المكونة للنموذج وتغير النوع من solid إلى fluid وإدخال العوامل البارومترية (السرعة ودرجات الحرارة والضغط وشدة الاضطرابات واللزوجة)، علماً أن البرنامج مزود بقاعدة بيانات تحتوي على كمية هائلة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمعادن والموائع. كما يتم في هذه المرحلة تحديد الشروط المحيطة Boundary Conditions لفهم منظومة النموذج الرياضي (كنوع

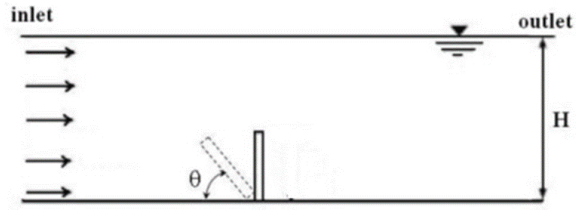
للزوجة والطاقة الحركية للاضطراب وبالتالي أفضل كفاءة لترسيب المواد الصلبة العالقة في المياه.



الشكل 1: واجهة برنامج ANSYS



الشكل 2: دلالات الرموز d بعد الحاجز عن مدخل الحوض، a ارتفاع الحاجز، L طول الحوض، H ارتفاع الماء في الحوض حيث ارتفاع الحاجز بالنسبة لارتفاع الماء $a/H=0.5$



الشكل 3: يعبر عن وضعية تغير زاوية الحاجز θ بالدرجات مع الأفق

المواد والمنهجية

النمذجة بمنهجية CFD

في معظم الجامعات العالمية ويتطور التقنيات والبرمجيات الحاسوبية الحديثة تم التوجه إلى برامج النمذجة العددية في كافة المجالات مثل المجالات الإنشائية-الستاتيكية-الديناميكية-الحرارية-جريان السوائل-الكهربائية والميكانيكية بالإضافة لمجالات أخرى وذلك لتحقيق الاستفادة و التصميم الأمثل فيما يتعلق بالجدوى الاقتصادية و الفعالية. كما يتم الاعتماد على هذه البرامج من قبل الكثير من الجامعات العالمية الشهيرة في أغراض البحث العلمي والدراسات العليا واختبار النماذج الجديدة. كما تمتاز هذه البرامج بالقدرة العالية على تمثيل المسألة مهما بلغت درجة التعقيد و تعدد المتغيرات المدروسة. CFD هي اختصار Computational Fluid Dynamics أي ديناميك الموائع الحاسوبي وهو علم التنبؤ بجريان

1000000 - عامل تحويل mL إلى L و g إلى mg. قمنا بدراسة تأثير نسبة بعد الحاجز عن المدخل بالنسبة لطول حوض الترسيب لسبع نسب متغيرة وتحديد أفضل نسبة تحقق أفضل كفاءة لإزالة المواد الصلبة العالقة ومن ثم تغيير زاوية تركيب الحاجز بالدرجات لتسع زوايا متغيرة وتحديد الزاوية المثلى لأفضل تصميم يحقق أمثل كفاءة ترسيب.



الشكل 4: القناة الزجاجية المستخدمة كحوض ترسيب مستطيل في مخبر الهيدروليك

النتائج والمناقشة

1 يبين الجدول 1 تغير نسبة بعد الحاجز عن المدخل بالنسبة لطول حوض الترسيب مع دوامات اللزوجة المتشكلة والطاقة الحركية حيث كانت أفضل نسبة $\frac{d}{L} = 0.125$ والتي توافقت أخفض قيمة لدوامات اللزوجة المتشكلة حيث كانت القيمة $6.230 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ وأقل قيمة لطاقة الاضطراب الحركية التي وصلت إلى $5.794 \cdot 10^{-2} \text{ J/Kg}$ مقارنة بالنسب الأخرى.

2 تبين الأشكال من 5 إلى 9 توزع قيم دوامات اللزوجة على كامل طول حوض الترسيب التي تم الحصول عليها ببرنامج ANSYS FLUENT والمظهرة بكتنورات ملونة للتعبير عن القيم المختلفة من الأصغر إلى الأكبر بحسب الموقع والتي تعبر عن سلوك الجريان ضمن حوض الترسيب المستطيل.

3 يوضح الجدول 2 والشكل 10 من الدراسة المخبرية وإجراء تجربة TSS نتائج كفاءة الترسيب % مع تغير نسبة بعد الحاجز عن المدخل بالنسبة لطول حوض الترسيب حيث وصلت كفاءة الترسيب إلى 88.72% عند النسبة $d/L = 0.125$.

4 يبين الجدول 3 نتائج تغير زوايا تثبيت الحاجز عند أفضل موقع من المدخل حيث كانت أفضل زاوية $\theta = 60^\circ$ مع الأفق حيث كانت قيمة دوامات اللزوجة مساوية إلى $6.162 \cdot 10^{-3}$ هي أخفض قيمة مقارنة مع الزوايا المدروسة الأخرى.

المائع قابل للانضغاط / غير قابل للانضغاط) و (نوع الجريان مضطرب أم صفحي).

بعد تعريف خواص المادة وتعريف الشروط المحيطة والابتدائية يتم تحويل المعادلات الحاكمة للجريان إلى منظومة من المعادلات الجبرية لإحدى طرق التحليل العددي وقد تم استخدام طريقة العناصر المحدودة ونموذج الاضطراب بحيث أن الجريان يتعرض لتغيرات وتقلبات مع الزمن.

Solution-4 يتم إنجاز الحل بالتقريب المتتالي وذلك بعد تحديد عدد خطوات التقريب اللازمة لإجراء الحل. ويبين البرنامج (خلال تنفيذ الحل) خطوات الحل مع مقدار الخطأ النسبي بمخطط ومع كل تكرار يتم حساب قيم لخواص المائع عند كل نقطة ومعرفة ما إذا كان الحل هو النتيجة المرتقبة أم لا ويتم تحديد نسبة الخطأ بين كل تكرار وآخر والوصول لهذه النسبة يكون علامة الوصول للحل المرتقب وهذا ما يعرف بتقارب الحل.

Results-5 مرحلة إظهار النتائج بعد إنجاز الحل يمكن عرض وتحليل النتائج بصورة تفاعلية في عدة أشكال مختلفة (رسوم كنتورية، مخططات، أشعة، رسوم بيانية) ويمكن التحكم بالألوان كما أن البرنامج مزود بنافذة إظهار خاصة للنتائج وهي CFD-Post.

الدراسة المخبرية

تمت الدراسة المخبرية في مخبر الهيدروليك التابع لكلية الهندسة المدنية بجامعة حلب على قناة زجاجية بعمق 30 cm وعرض 30 cm وطول 200 cm الموضحة بالشكل 4 وتم تركيب حاجز زجاجي رقيق الحافة على أبعاد مختلفة من مدخل الحوض بالنسبة لطول الحوض كما تم تغيير زاوية تركيب الحاجز بعد تحديد أفضل موقع لتخفيض الدوامات بضخ صبغة زرقاء اللون مع التدفق الداخل للحوض لتتبع مسارات الجريان وملاحظة تشكل الدوامات المائية، تم استخدام كربونات الكالسيوم كمادة صلبة عالقة وبتركيز 15g/l والتأكد من تجانس المزيج قبل ضخه، ثم قمنا بسحب عينات بدئية عند بداية زمن مكوث الماء في حوض الترسيب وعينة نهائية عند انتهاء زمن المكوث وإجراء تجربة المواد الصلبة العالقة باستخدام ورف الترشيح في مخبر تحليل المياه التابع لكلية الهندسة المدنية بجامعة حلب وحساب كفاءة الترسيب كنسبة مئوية من العلاقة التالية

$$TSS \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(C-D) \cdot 1000000}{\text{حجم العينة (ml)}} \quad (1)$$

حيث C - وزن غشاء الترشيح وطبق الألمنيوم بالإضافة إلى المادة الصلبة الجافة g, D - وزن غشاء الترشيح وطبق الألمنيوم g ،

5 يوضح الشكل 11 نمذجة حوض الترسيب بدون تثبيت حاجز حيث كانت قيمة الدوامات $40.01 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$ وانخفضت كفاءة الترسيب ل 54.36%. تبين الأشكال من 12 إلى 20 توزيع قيم الدوامات اللزوجة على كامل طول حوض الترسيب بتغير زاوية تثبيت الحاجز حيث توضح بكتورات ملونة قيم الدوامات المتشكلة.

جدول 1: نسبة بعد الحاجز عن المدخل بالنسبة لطول الحوض ودوامات اللزوجة والطاقة الحركية

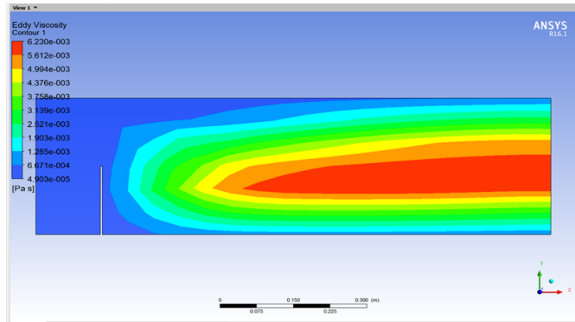
النسبة d/L	0.2	0.15	0.14	0.13	0.125	0.12	0.1
Eddy Viscosity $\cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$	7.385	6.841	6.781	6.342	6.230	6.569	6.851
Kinetic Energy $\cdot 10^{-2} \text{ J/Kg}$	8.725	6.940	6.732	6.235	5.794	6.914	7.373

جدول 2: كفاءة الترسيب % مع تغير النسبة d/L

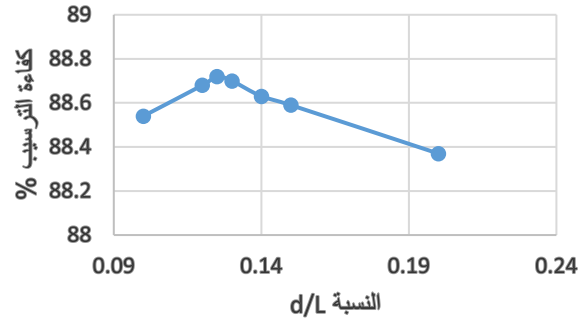
النسبة d/L	0.2	0.15	0.14	0.13	0.125	0.12	0.1
كفاءة الترسيب %	88.37	88.59	88.63	88.7	88.72	88.68	88.54

جدول 3: دوامات اللزوجة مع تغير زوايا تثبيت الحاجز

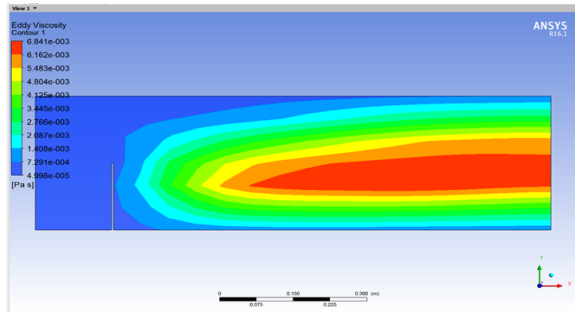
الزاوية θ بالدرجات	150°	135°	120°	105°	90°	75°	60°	45°	30°
Eddy Viscosity $\cdot 10^{-3} \text{ [Pa.s]}$	25.38	21.19	18.33	10.81	6.231	6.191	6.162	9.508	25.3



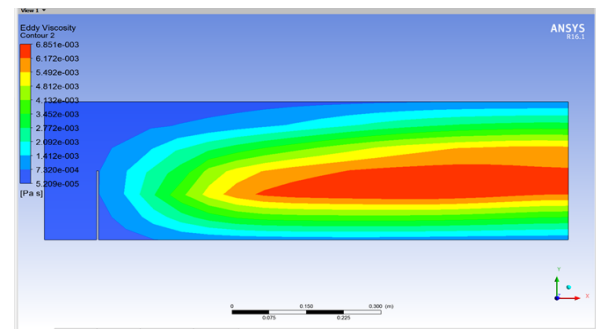
الشكل 7: توزيع دوامات اللزوجة عند النسبة $d/L = 0.125$



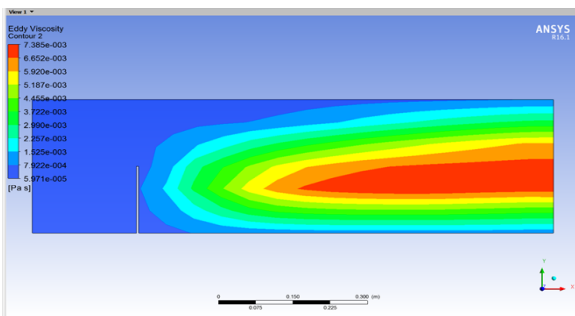
الشكل 10: تغير كفاءة الترسيب مع النسبة d/L



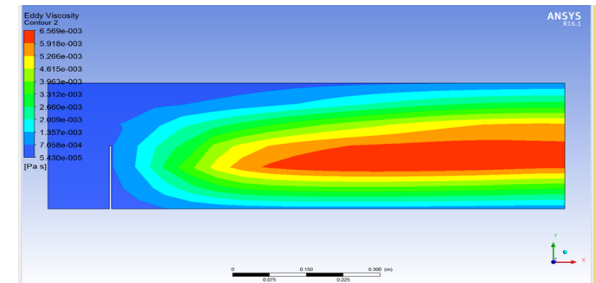
الشكل 8: توزيع دوامات اللزوجة عند النسبة $d/L = 0.15$



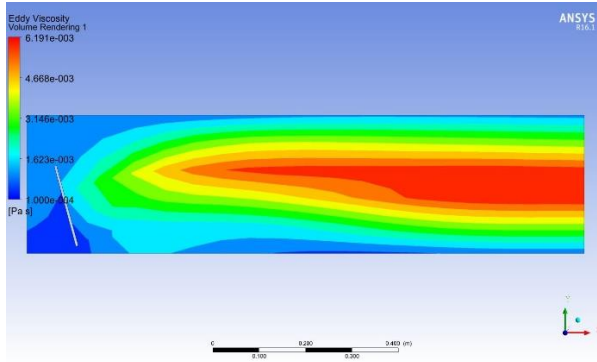
الشكل 5: توزيع دوامات اللزوجة عند النسبة $d/L = 0.1$



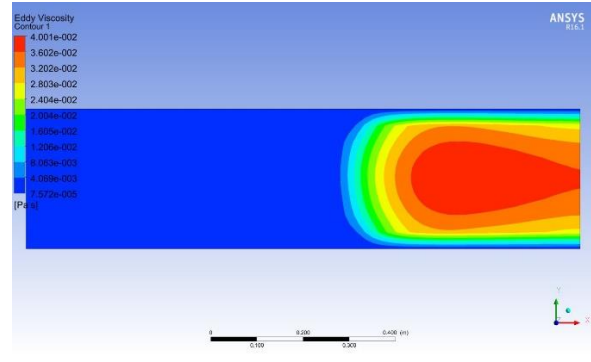
الشكل 9: توزيع دوامات اللزوجة عند النسبة $d/L = 0.2$



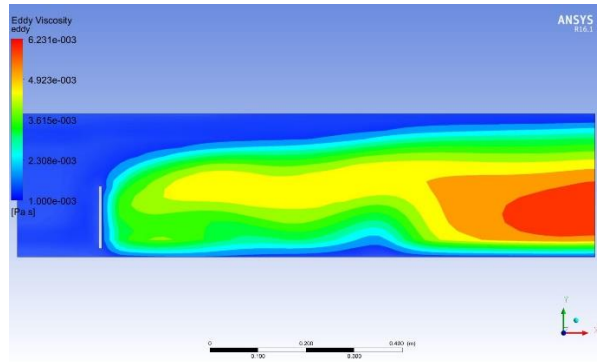
الشكل 6: توزيع دوامات اللزوجة عند النسبة $d/L = 0.12$



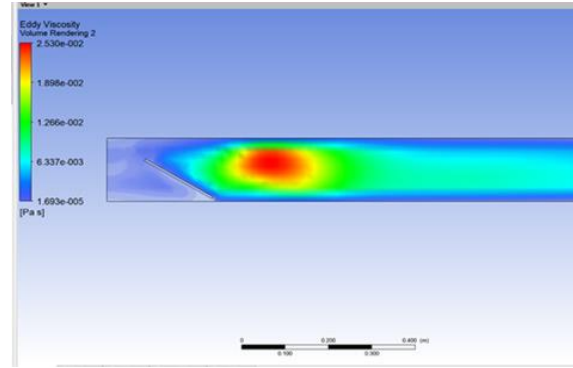
الشكل 15: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 75°



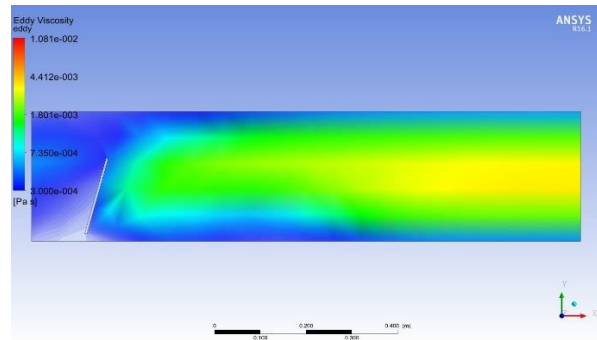
الشكل 11: توزيع دوامات اللزوجة بدون وجود حاجز



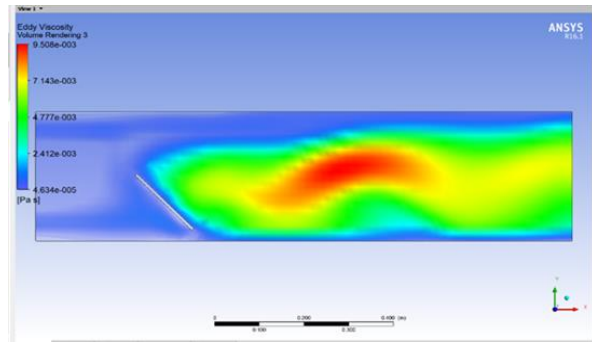
الشكل 16: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 90°



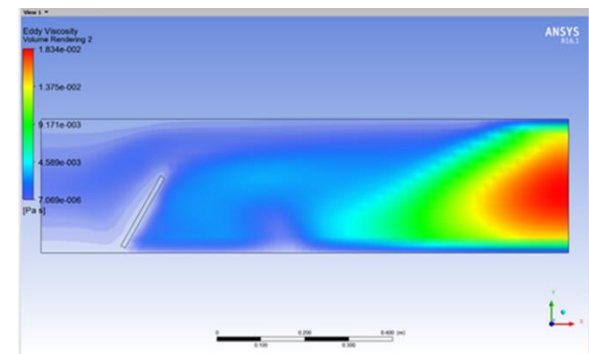
الشكل 12: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 30°



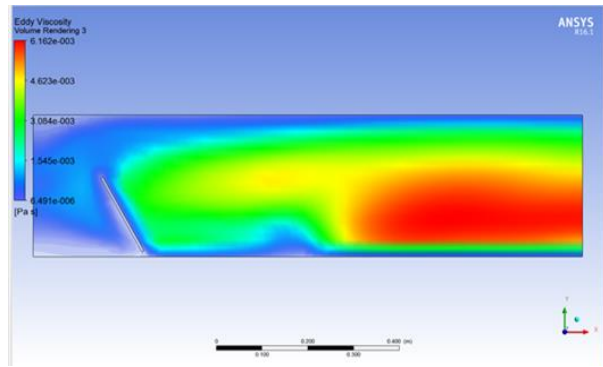
الشكل 17: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 105°



الشكل 13: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 45°



الشكل 18: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 120°



الشكل 14: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 60°

جدول 4: تغير كفاءة الترسيب % مع تغير زاوية الحاجز بالدرجات

الزاوية θ بالدرجات	كفاءة الترسيب %
150°	70.98
135°	72.73
120°	74.96
105°	76.24
90°	88.72
75°	88.78
60°	89.18
45°	70.56
30°	68.67

الاستنتاجات والتوصيات

1 من الضروري تزويد أحواض الترسيب المستطيلة بحاجز عند النسبة 0.125 من مسافة تثبيت الحاجز من المدخل بالنسبة لطول الحوض وذلك لتخفيض الاضطراب الناتج عن الدخول وزيادة كفاءة الترسيب.

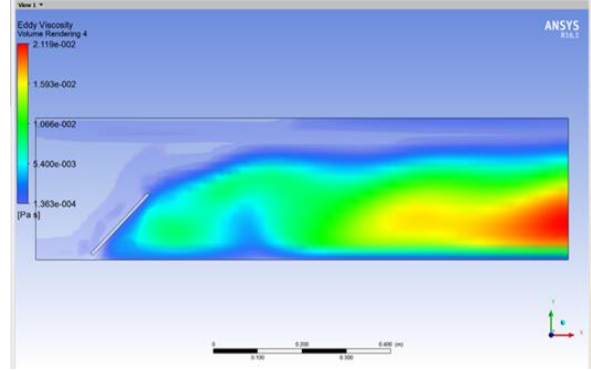
2 نوصي بتثبيت الحاجز عند الزاوية 60° مع الأفق.

3 الاعتماد على برامج النمذجة العددية لاختبار النماذج وتصميمها بمتغيرات عديدة وجهد وكلفة أقل من التجارب المخبرية.

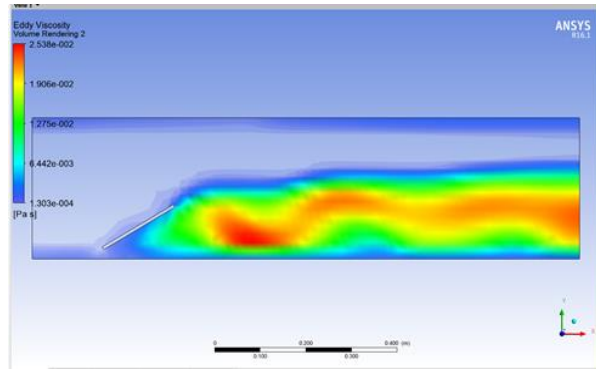
4 نوصي بالتأكد من صحة مدخلات ونتائج برامج النمذجة العددية تجريبياً قبل اعتمادها في الدراسات واختبار النماذج.

المراجع

- [1] د. سلوى حجار، (1985). معالجة مياه الشرب والمياه الصناعية. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية بجامعة حلب. حلب. سوريا.
- [2] د. محمد أمين شغالة، (2018). الهيدروليك الهندسي. منشورات جامعة حلب. حلب. سوريا.
- [3] Athanasia M. Goula, Margaritis Kostoglou, Thodoris D. Karapantsios, Anastasios I. Zouboulis, (2008) "A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment Case study the influence of a feed flow control baffle" Chemical Engineering Journal 140, 110-121.
- [4] M. Shahrokhi, F. Rostami, M.A. Md Said, S. Syafalni, (2011) "Numerical Investigation of Baffle Effect on the Flow in a Rectangular Primary Sedimentation Tank" World Academy of Science Engineering and Technology 15, 238-243.
- [5] H. Jamshidniai and B. Firoozabadi, (2010) "Experimental Investigation of Baffle Effect on the Flow in Rectangular Primary Sedimentation Tank" Mechanical Engineering 17, 241-252.
- [6] Tae Hoon Yoon. and Seung Oh Lee, (2000) "Numerical Modeling of Sedimentation Basins with a Baffle". Journal of Civil Engineering 4, 227-232.
- [7] Mahdi Shahrokhi, Fatemeh Rostami, Md Azlin Md Said, Syafalni, (2013) "Numerical modeling of baffle location effects on the flow pattern of primary sedimentation tanks" Applied Mathematical Modelling 37, 4486-4496.



الشكل 19: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 135°



الشكل 20: توزيع دوامات اللزوجة عند تثبيت زاوية الحاجز 150°

6 تمت الدراسة المخبرية وإجراء تجربة TSS لتحديد كفاءة الترسيب كنسبة مئوية حيث يوضح الجدول 4 نتائج كفاءة الترسيب % مع تغير زاوية تثبيت الحاجز بالدرجات حيث وصلت كفاءة الترسيب إلى 89.18% عند الزاوية 60° مع الأفق.

7 تمت مقارنة نتائج الدراسة التحليلية لنمذجة حوض الترسيب ببرنامج ANSYS FLUENT وبمنهجية CFD وبطريقة العناصر المحدودة FEM مع النتائج المخبرية لكفاءة الترسيب لإزالة المواد الصلبة العالقة في المياه وذلك بضخ صبغة لتتبع مسارات الجريان والدوامات المائية المتشكلة وحساب كفاءة أداء الحوض وتبين توافق النتائج لأفضل موقع وأمثل زاوية للحاجز فكلما انخفضت قيمة دوامات اللزوجة حققت كفاءة أفضل لأنها تعطي مساحة أكبر للترسيب وشروط هادئة لترسب الجزيئات العالقة.