Thi_Qar University Journal for Engineering Sciences ISSN 2075 – 9764
Vol. 9 No.1 (2018) Available at http://jeng.utq.edu.iq
engjrnal@jeng.utq.edu.iq

دراسة تأثير تعديل بعض محددات التشغيل والتصميم على أداء وحدات تصفية المياه السطحية المجمعة في مجمع ماء الاسكان في الديوانية

علي هادي غاوي† زيدون ناجي عبودي‡ رياض عبود ياسر الخفاجي†

† قسم الهندسة المدنية، جامعة القادسية، القادسية- العراق
‡ قسم الهندسة البيئية، الجامعة المستنصرية، بغداد- العراق
†قسم الهندسة المدنية، جامعة ذي قار، ذي قار- العراق

المستخلص

يهدف هذا البحث لمعالجة أوجه الضعف في عمليات المعالجة التي نفذت سابقاً لمشاريع معالجة المياه الشرب الصغيرة الجاهزة. و لتحقيق هذا الهدف تم اجراء التجارب والفحوصات المطلوبة في مجمع ماء الاسكان الواقع في جنوب مدينة الديوانية، حيث تم اجراء التجارب على وحدة ماء مجمعة جاهزة بسعة 100م3\ساعة في مجمع ماء الاسكان جنوب مدينة الديوانية. وشملت التجارب العملية المعايير التشغيلية والتصميمية (سرعة الجريان *(Influent Water Velocity)*، زمن البقاء*(Residence Time)* ، جرعة الشب*(Alum Dose)* ، وميل وارتفاع الصفائح المائلة *((Lamella)* هذه المعايير هي من بين العديد من المحددات التي تؤدي الى تحسن اداء مجمعات الماء وتقليل قيم العكورة في مجمعات الماء الجاهزة المنفذة في مختلف مدن العراق، والتي تجهز المناطق الريفية والنائية بمياه صالحة للشرب وجعلها ضمن الحدود المسموحة بها. إن هذا التعديل في التصميم ادى الى تقليل قيم العكورة الواصلة لمرشحات الماء التي تعمل بالضغط وبالتالي تقليل عدد مرات غسل المرشحات وزيادة عمر مواد الترشيح. حيث بينت النتائج ان الصفائح المائلة تعطي كفاءة عالية جداً بإزالة العكورة قبل وصولها للمرشحات وثم تضخ الاطيان من الجزء الاسفل لحوض الترسيب بصورة دورية. حيث وصلت كفاءة ازالة العكورة الداخلة في فصل الصيف والربيع *(NTU200)* الى 99.0% وبالتالي زيادة عمر مواد الترشيح مما ادى الى قلة تكاليف التشغيل، وكانت افضل زاوية لنصب صفائح الترسيب المائلة هي 45 ^{o} وبارتفاع 1.6م. اي ان التعديلات في التصميم فعالة في زيادة الحمأة المترسبة في قعر حوض الترسيب وتقليل قيم العكورة الواصلة الى احواض الترشيح الى اقل من 1 *NTU* وبالتالي زيادة كفاءة مجمعات الماء الجاهزة.

الكلمات الدالة: العكورة، صفائح الترسيب المائلة, وحدات الماء المجمعة, الحمأة, ماء الشرب

المقدمة:

تعد مواضيع المياه بصورة عامة والمياه الصالحة للشرب والاستخدام البشري بصورة خاصة من المواضيع التي تتطلب درجات عالية من الاهتمام. كما ان توفير المياه الصالحة للاستخدام البشري ولجميع المواطنين وفي كافة النواحي والقرى الموجودة في العراق تعد حقا طبيعيا لهم. مع الاخذ بنظر الاعتبار ان هذه العملية تتطلب اخذ عدة عوامل في نظر الاعتبار ومن اهم هذه العوامل توفير مصادر المياه من حيث النوعية والكمية وتوفر واستمرارية مصدر الطاقة (الكهرباء) اضافة الى توفر التخصيصات المالية والأراضي اللازمة لإنشاء محطات الماء. و يعاني قطاع المياه ككل والمياه الصالحة للشرب عدد من المشاكل سواء التي تخص كميات ونوعية المياه التي تصل الاراضي العراقية من دول الجوار التي تنبع منها هذه المياه والتي تتناقص سنوياً او تتردى نوعيتها بسبب تنفيذ دول الجوار المتشاطئة لعدد كبير من مشاريع الخزن لاستغلال هذه المياه دون التنسيق مع الجانب العراقي. ونتيجة لذلك ولاجل التغلب على هذه المشاكل فقد بادرت دوائر الماء في عدد من المناطق المختلفة في العراق باتخاذ بعض التدابير والتي من شانها ان تساهم اوتعالج هذه المشاكل وذلك من خلال تغيير مواقع مأخذ السحب لمحطات معالجة المياه (الاسالة) إضافة إلى المباشرة باجراءات الصيانة الدورية لهذه المحطات من اجل ضمان عملها بشكل مستمر، علاوة عن ربط مشاريع الاسالة بخطوط الكهرباء المستمرة (الطوارئ) ومعالجة الرشح في الانابيب ومتابعة التجاوزات فضلا عن التوعية على ترشيد الاستهلاك والحد من الهدر والاستخدام غير الأنسب لمياه الشرب. كما عملت المديرية العامة للماء وفي نختلف المناطق بنصب الوحدات المجمعة للمساهمة في خفض نسبة الشحة في تجهيز المياه الصالحة للشرب والتي انخفضت من (42%) عام 2006 الى(20%) عام 2010 **[1]**.

ان المصدر الاساسي لتجهيز المياه الى محطات الاسالة في عموم العراق يتمثل بنهري دجلة والفرات وروافدهما. وان توفير المياه في هذين النهرين وروافدهما لا يمكن ان يتم إلا من خلال عقد الاتفاقات مع دول الجوار على تثبيت كمية المياه ونوعيتها التي تتدفق الى العراق بالرجوع الى المعاهدات والاتفاقات الدولية الخاصة بتنظيم مياه الانهار بين الدول المتشاطئة. اضافة الى ضرورة اتخاذ الإجراءات السريعة لغرض حماية الأنهر من التلوث وذلك عن طريق نصب محطات مراقبة نوعية المياه في محطات مختلفة على طول مجرى المصدر المائي والحد من الضائعات والهدر.

وقد تم تحديد وتخمين نسبة العجز في المياه الصالحة للشرب من قبل المديرية العامة للماء خلال عام 2014 على مستوى عموم المحافظات حيث بلغت نسبة العجز(20)% بعد ان كانت 42% عام 2010. وقد تم تحديد هذه النسبة من خلال تحديد الحاجة للماء في المحافظة اعتماداً على عدد السكان ومعدل استهلاك الشخص الواحد لمعرفة الاحتياج الكلي للماء ومقارنتها بمجموع كمية المياه المنتجة (من المشاريع والمجمعات العاملة في المحافظة). وقد تم ذلك من خلال وضع خطة ضمن الموازنة الاستثمارية الخمسية للسنوات (2010-2014) للمديرية العامة للماء لتنفيذ عدة مشاريع ونصب وحدات ماء مجمعة وتأهيل وتوفير مستلزمات الصيانة بما يضمن ويساهم في القضاء على الشحة في تجهيز المياه الصالحة للشرب وفي عموم مدن العراق **[1]**. نتيجة الى ذلك وضمن هذه الخطة فقد نفذت مديرية ماء الديوانية في محافظة الديوانية العديد من

مشاريع وحدات الماء المجمعة حيث بلغ عددها اكثر من 200 وحدة مجمعة والتي تراوحت سعتها بين (14– 400) م^3/ساعة. وتم تنفيذ ونصب هذه الوحدات على مناطق موزعة على عموم اقضية ونواحي محافظة الديوانية وان مصدر تجهيز المياه لهذه المشاريع هو مياه سطحية من نهر الفرات وفروعه.

ان محطات معالجة المياه السطحية تتالف من سلسلة من العمليات المتسلسلة التي تهدف بصورة عامة إلى إزالة المواد العالقة التي تسبب ارتفاعاً في قيم العكورة (Turbidity) وتغيراً في اللون والرائحة، وكذلك القضاء على المسببات المرضية التي يحتمل وجودها في مصدر المياه المجهز الى المشروع. وعليه يمكن القول أن معظم طرق معالجة هذا النوع من المياه اقتصر على عمليات الترسيب والترشيح والتطهير. وتتكون المواد العالقة من مواد عضوية ومواد طينية، كما يحتوي على بعض الكائنات المجهرية الدقيقة مثل الطحالب والبكتيريا. وبسبب صغر حجم هذه المكونات وكبر مساحتها السطحية مقارنة بوزنها فإنها تبقي عالقة في الماء ولا تترسب. لذلك فلا بد من العمل على تكتل هذه المواد لزيادة حجمها وبالاعتماد على خواصها السطحية والكيميائية وباستخدام عمليات الترويب حيث تستخدم بعض المواد الكيمائية لتقوم بإخلال اتزان المواد العالقة من خلال حدوث فرق في الجهد الكهربائي للمواد العالقة وتهيئة الظروف الملائمة لترسيبها وإزالتها من أحواض الترسيب. يتبع عملية الترسيب عملية ترشيح باستخدام مرشحات رملية لإزالة ما تبقى من الرواسب. من ثم تتبع عمليتي الترسيب والترشيح عملية التطهير التي تسبق خزن او إرسال تلك المياه إلى المستهلك.

بعد عام 2003 تم انجاز المئات من مشاريع تنمية الأقاليم لتوفير الماء الصالح للشرب للمناطق الريفية والمناطق النائية البعيدة عن مشاريع تصفية المياه الكبيرة في محافظة الديوانية. حيث تتكون هذه المشاريع من وحدة ماء مجمعة (Package Water Treatment Plant) مع شبكة المياه (Water Network). ان مصدر المياه الصالحة للشرب في محافظة الديوانية هو مياه الانهار والتي مصدرها نهر الفرات. لذلك فان جميع وحدات تصفية مياه الشرب مصدر مياهها هو مياه الانهار لغرض تصفيتها وجعلها صالحة للشرب. كما هو معروف ان مياه نهر الفرات تعتبر من المياه العالية العكورة (Turbidity) وخصوصا في موسمي الربيع والصيف، وبما ان وحدات الماء المجمعة تستخدم مرشحات ماء تعمل بالضغط (Pressure Filters) لغرض ترشيح المياه وازالة العكورة، ونتيجة لقيم العكورة العالية التي تسبب ضغط كبير على اداء المرشحات وبالتالي يتطلب تغير مواد الترشيح مثل الرمال والحصى شهرياً وهذا يسبب زيادة في كلف التشغيل والصيانة وتقليل عدد ساعات التشغيل وبالتالي قلة كفاءة وحدات تصفية المياه.

قام العديد من الباحثين بدراسة تلوث المياه ومعالجته في العراق، فالخالدي و أخرون قاموا بدراسة عدد من مجمعات تصفية المياه في محافظة النجف خلال عام 2006 وكان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم نوعية المياه الخارجة من هذه المجمعات وحتى وصولها الى أخر الشبكة، وتم التقييم عن طريق أجراء بعض الفحوصات البيولوجية والفيزيائية والكيميائية لها. وقد أظهرت نتائج الفحص البكتيري اهذه المياه الى وجود تلوث بكتيري في المياه الخارجة من بعض المجمعات (بالبكتريا القولونية E. Coli والبكتريا القولونية البرازيةFecal Coliform)، في حين تم تسجيل تراكيز قليلة او معدومة من الكلور الحر او المتبقي (Residual Chlore) في بعض مياه هذه المجمعات ، كما اظهرت النتائج الى وجود تناسب عكسي بين قيم العكورة ونسبة الكلور المتبقي. وقد تبين أيضا من خلال النتائج (في بعض المجمعات) لم تنخفض فيها قيم العكورة و الاملاح الصلبة الذائبة الكلية (TDS) بعد عمليات المعالجة التي تعتمدها هذه المجمعات **[2]** . وقد بحث Wadiو AL-Samawi بناء النماذج الإحصائية لعمليات المعالجة في محطة معالجة مياه تعتمد مبدأ الترسيب الضحل حيث تم تصميمها وبناؤها في قرية النخيلة الغربية (عدد السكان 4800 في 500 مسكنا) في مدينة الحلة لإنتاج مياه الشرب. يؤخذ الماء الخام من نهر الحلة، وهو احد فروع نهر الفرات. واعتمدت نظرية الترسيب الضحل في هذا العمل نظرا لطبيعة المواد الصلبة العالقة في المياه الخام. أنتج نظام المعالجة مياه مرشحة بمعدل 5م^3/م^2/ساعة وتحت ضغط مقداره 1.85 متر فوق سطح طبقة الرمل في المرشح **[3]** .

وهناك العديد من الدراسات والابحاث التي اجريت على احواض الترسيب وعلى محطات معالجة المياه وعلى سبيل المثال الدراسة التي قام بها Ghawi وKris لرفع اداء وتحسين فعالية عمل احواض الترسيب الواسعة المستطيلة الشكل من خلال تحديث بعض الجوانب الانشائية **[4]**. وكذلك تم دراسة احواض الترسيب ومحطات تصفية مياه الشرب من قبل ابراهيم واخرون, الذين قاموا بدراسة محطة تصفية ماء الفلوجة ، التي تتكون من مراحل التصفية التقليدية الموجودة في معظم محطات الماء في العراق وقدكان الهدف من الدراسة هو اجراء الفحوصات الفيزيائية والكيميائية للمياه في مراحل المعالجة المختلفة. ومقارنة هذه القياسات مع المحددات والمعايير المحلية لمياه الشرب **[5]**.

كما توجد دراسة اجريت من قبل Tamayol واخرون حول دراسة الجريان الحركي لاحواض الترسيب الثانوية وزيادة كفاءة الترسيب من خلال استعمال عوائق الجرين (Baffles) **[6]**. ودرس Yonghai واخرون الخصائص الهيدروليكية للترسيب في القناة الانبوبية (Tube Settler) حيث تم دراسة الخسائر في الضغط (head loss) باستخدام اسلوب المحاكاة الرقمية (numerical simulation) **[7]**. بينما تم حساب الخصائص الهيدروليكية والترسيب في احواض الترسيب ذات الجريان المتحرك من قبل Ghawi وKris حيث تم توضيف برنامج Computational Fluid Dynamics (CFD) لغرض تطوير وتحسين المحددات التصميمية والتشغيلية لهذه الاحواض **[8]**. كما تم استخدام بعض المخثرات الطبيعية في معالجة المواد العالقة في المياه من قبل رافع وزينة **[9]**. كما قامت AL-kizwini باستخدام صفائح ترسيب مائلة في حوض ترسيب مختبري حيث كانت افضل زاوية ترسيب هي 30° ونسبة ازالة العكورة 87% بتدفق 0.5 لتر/دقيقة **[10]**. اما Fouad واخرون فقد قاموا بأجراء دراسة على محطات تصفية مياه الشرب في مصر وبينوا ان انابيب وصفائح الترسيب لها دور كبير في زيادة كفاءة

محطات تصفية مياه الشرب **[11]**. كما تم اجراء دراسة من قبل Ghawi حول استخدام المخثرات الطبيعية لازالة العكورة والعناصر الثقيلة من محطات معالجة مياه الشرب في العراق حيث تم استخدام بذور نبات البان الزيتوني او الشوع (Moringa Oleifera) بدلا من مادة الشب (Alum) كمادة مخثرة في احواض التخثير **[12]**.

بالنظر لكون قيم العكورة عالية جدا من مصدر المياه السطحية (Surface Water) من شط الديوانية خلال اغلب ايام السنة مما يجعل عملية التخثير والتلبيد (Coagulation & Flocculation) عامل مهم وحاسم في ازالة العكورة. وان كلور التعقيم يعتبر أقل فعالية عندما تكون عكورة المياه الخام مرتفعة جدا، أي عندما يكون هناك الكثير من الجسيمات في الماء (Particulate Matter) لان هذه الجسيمات تعمل على منع وصول الكلور الى البكتريا. بالتالي هناك حاجة لمجمعات ماء جاهزة غير مكلفة ومستدامة التي تعمل على إزالة الجزيئات او الدقائقيات من إمدادات مياه الشرب (Water Supplies).

تهدف هذه الدراسة الى القيام بتعديل في التصميم لتحسين اداء عمل مجمعات الماء لغرض تقليل العكورة في مجمعات الماء الجاهزة

وصف وحدات الماء المجمعة

ان وحدات الماء المجمعة عبارة عن محطة تصفية مجمعة في حاوية تجمع بين جميع المكونات الضرورية للمزج السريع (Coagulation)، والمزج البطيء (Flocculation)، والترسيب (Clarification)، والترشيح والتعقيم (Filtration and Disinfection) في نظام مدمج. ان هذا التصميم يجعلها مثالية لمعالجة المياه الصالحة للشرب وتستهلك طاقة اقل وسريعة التنفيذ، ويمكن أيضا أن تستخدم للحد من المواد الصلبة العالقة، والفوسفور والملوثات الأخرى مثل المعادن الثقيلة. ان حوض المزج السريع عبارة عن خزان نوع بولي اثلين PVC سعته 2000 لتر يحتوي على خلاط ميكانيكي كهربائي سريع لتخمير الشب لمدة 12 ساعة بكمية مضافة لا تقل عن 5 كغم للخزان حسب كمية العكورة الداخلة للمشروع ثم يمزج الشب مع الماء ويتم ضخه بأنبوب الى حوض المزج البطيء. ويتكون حوض المزج البطيء من خلاط ميكانيكي كهربائي يقوم بتحريك الماء حركة بطيئة لعمل تصادم والتصاق بين جزيئات العالقة في الماء وجعل حجمها اكبر و بالتالي تترسب في حوض الترسيب. ومن ثم ينتقل الماء من حوض المزج البطيء الى حوض الترسيب بالتساوي من الاسفل بواسطة انابيب موزعة بانتظام اسفل حوض الترسيب، وبإضافة صفائح مائلة مرسبة سوف يؤدي الى زيادة المساحة السطحية للترسيب واستقرار الجسيمات ونزولها بواسطة الجاذبية إلى قاع حوض الترسيب. يتم سحب الاطيان بشكل دوري من خلال صمام أوتوماتيكي. يتم جمع المياه المعالجة من خلال هدارات (Weirs) و قنوات في سطح حوض الترسيب لغرض ضخها الى مرشحات الضغط العالي.

يدخل الماء القادم من حوض الترسيب الى مرشحات الضغط لإزالة الجزيئات الصلبة المتبقية حيث يمر الماء عبر طبقات مواد الترشيح المختلفة ويغسل باستمرار بالاعتماد على كمية العكورة الداخلة. ومن ثم يجمع الماء المنفذة في مختلف مدن العراق والتي تمد المناطق الريفية والنائية بمياه صالحة للشرب وجعلها ضمن الحدود المسموحة بها وحسب المواصفات القياسية العراقية والعالمية. ان هذا التعديل في التصميم سيؤدي الى تقليل قيم العكورة الواصلة لمرشحات الماء التي تعمل بالضغط وبالتالي تقليل عدد مرات غسل المرشحات وزيادة عمر مواد الترشيح، حيث يتم زيادة كفاءة احواض الترسيب بإضافة صفائح مائلة (Lamella) بميل مناسب مما يؤدي الى زيادة الخبث في اسفل حوض الترسيب والذي يسحب باستمرار عن طريق انابيب وصمامات ومضخات. هذا التعديل في التصميم لتلبية الحاجة للحصول على أفضل عمليات التلبيد والترسيب عن طريق استخدام صفائح مائلة لتسريع الترسيب وتشكيل الحمأة في قاع حوض الترسيب التي من شأنها أن تقلل من حجم وتكلفة منظومة التصفية بأكملها.

ان المعايير التشغيلية للمشروع والتي تم استخدامها في هذه الدراسة لتحسين التصميم وبالتالي زيادة كفاءة المشروع هي تعديلات على سرعة الدخول، وقت البقاء، تركيز جرعات الشب، وارتفاع وميل صفائح الترسيب المائلة، وهذه المعايير هي من بين العديد من المحددات التي من شأنها أن تكون متنوعة لتحقيق هذا التحسن في اداء مجمعات الماء.

في خزان ويضاف الكلور الغاز بعد خلطة مع الماء لغرض التعقيم في بداية المشروع ونهايته قبل ضخه الى المستهلكين **(شكل 1)**.

شكل (1): صورة لجزء من مكونات وحدة ماء مجمعة في موقع مشروع مجمع ماء الاسكان

ركزت الدراسة الحالية على دراسة امكانية تطوير وحدة ماء مجمعة سعة 100م^3/ ساعة تقع في مشروع مجمع الاسكان في جنوب مدينة الديوانية في محافظة الديوانية. ان مشروع مجمع ماء الاسكان عبارة عن 10 وحدات ماء مجمعة كل وحدة سعتها 100 م^3/ ساعة و كل وحدتين تعملان على التوازي تجمعان الماء في حوض خزن واحد بأبعاد 12م×2.2م×2.2 م مع حوض تجميع و فلاتر ضغط عدد 3 وانبوب السحب بقطر 10 انج وانبوب الدفع بقطر 10 انج ومضخة بقدرة 75 حصان عدد 2. يتم تجهيز مجمع ماء الاسكان بالمياه الخام السطحية من شط الديوانية والذي هو احد تفرعات نهر الفرات بواسطة مضخات تبعد

100 م عن المحطة، ويبلغ عدد السكان التي يخدمهم هذا المشروع حوالي 100000 نسمة (**شكل** 2 و3).

شكل 2: صورة جوية تبين موقع مشروع مجمع ماء الاسكان في جنوب مدينة الديوانية

شكل 3: صورة لوحدات الماء المجمعة في موقع مشروع مجمع ماء الاسكان

المواد وطرائق العمل

1. **الجانب العملي**

تم اجراء التجارب العملية في مجمع ماء الاسكان والذي يقع قرب معمل اطارات الديوانية والذي يغذي العديد من مناطق جنوب مركز محافظة الديوانية بماء الشرب ومن المناطق التي يجهزها المشروع دور النسيج والاسكان وخيري. ان السعة الكلية للمشروع هي 1000 م^3/ ساعة ويتكون من 10 وحدات ماء مجمعة سعة الوحدة الواحدة 100م^3/ ساعة, كل وحدتين مربوطتين على التوازي يتم تجميع مياهها بخزان واحد ولكل مجمع ثلاث مرشحات ضغط (**شكل 4**).

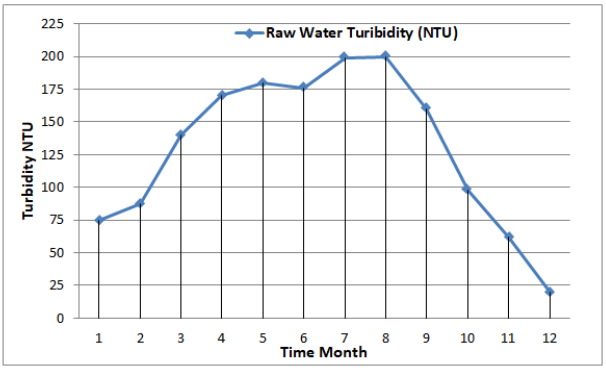
شكل 4: صورة لوحدتين مجمعتين مربوطتين على التوازي

ان ابعاد وحدة الماء المجمعة بسعة 100م^3/ ساعة هي 12م×2.20م×2.20 م (طول×عرض×ارتفاع). يستخدم الشب (كبريتات الالمنيوم) كمادة مخثرة (Coagulant) حيث يضاف بكمية 5 كغم الى حوض المزج السريع الخارجي والذي سعته 2000 لتر اي بتركيز (2.5 غم / لتر) في مواسم الشتاء التي تكون قيم العكورة الداخلة 30 وحدة عكورة (Nephelometric Turbidity Units (NTU)) و10 كغم في مواسم الصيف (5 غم / لتر) عندما تصل العكورة الى 200 وحدة عكورة (NTU). اما التعقيم فيتم بإضافة الكلور السائل بمعدل 10 ملغم/ لتر. وأدناه وصف للجانب العملي:

1. تم اجراء التجارب العملية والفحوصات المختبرية على وحدات ماء مجمعة لمدة عام للفترة من شهر كانون الثاني 2016 ولغاية شهر كانون الاول 2016. حيث كانت حدود الكدرة (العكورة) الداخلة من (20–200 وحدة عكورة (NTU)) (**شكل 5**).
2. تم استخدام صفائح مائلة (Inclined Plate) من الصفيح المغلون عدد 16 للمجموعة الواحدة وبواقع مجموعتين لوحدة التصفية المجمعة الواحدة بتباعد 30 سم وبمعدل ارتفاع 1.8 م (**شكل 6**). وكانت زاوية الميل محصورة بين 30 الى 85 درجة وتم اختبار 5 زوايا ميل هي (30، 45، 60، 75، 85 درجة). وتم اجراء التجارب لمجال تدفق من 50 الى 100 م^3/ساعة.
3. تم اجراء فحص الجرة القياسي (Jar Test) باستخدام جهاز (Lovibond) لتحديد القيمة المثلى لتركيز الشب المضاف Aluminum Sulphate.
4. لقد تم تجميع العينات لفحص العكورة من مأخذ مشروع محطة الاسكان ومن مدخل وحدات الماء المجمعة ومن حوض التلبيد ومن حوض الترسيب وقبل مرشحات الماء ومن حوض الخزن والتجميع. جمعت العينات بصورة شهرية ولمدة اثنى عشر شهراً للفترة من شهر كانون الثاني 2016 ولغاية شهر كانون الاول 2016 وقيست المواد العالقة الكلية ودرجة العكورة بوحدات NTU باستخدام جهاز Turbidity Meter HACH2100 وجميع الفحوصات أجريت في مختبرات مشروع ماء الاسكان .وقم تم تمثيل القياسات الخاصة بالماء الخام في **شكل 7** حيث كانت اعلى قيمة للعكورة هي NTU200 لذلك تم اعتماد هذه القيمة للعكورة في التجارب الخاصة بهذه الدراسة.

شكل 5: وحدة الماء المجمعة التي اجريت عليها التجارب

شكل 6: الصفائح المائلة في حوض الترسيب



شكل 7: قيم العكارة NTU للفترة من شهر كانون الثاني 2016 ولغاية شهر كانون الاول 2016

3. النموذج الرياضي: الترسيب في المرسبات ذات الصفائح المائلة

تعد عملية الترسيب من أوائل العمليات التي تم استخدمها في معالجة المياه. حيث تستخدم هذه العملية لإزالة المواد العالقة والقابلة للترسيب أو لإزالة المواد المترسبة الناتجة عن عمليات المعالجة الكيمائية مثل التخثير والترويب التي تعتمد على اضافة مواد كيميائية لها القدرة على تكتل المواد العالقة. تعتمد عملية الترسيب في أبسط صورها على قوة الجاذبية حيث يتم ازالة الرواسب تحت تأثير وزنها. تتكون المرسبات غالباً من أحواض خرسانية او حديدية دائرية أو مستطيلة الشكل تحتوي على مدخل ومخرج للمياه يتم تصميمها بطريقة ملائمة لإزالة أكبر كمية ممكنة من الرواسب، حيث يتم الاخذ بنظر الاعتبار الخواص الهيدروليكية لحركة الماء داخل الحوض. ومن المبادى الرئيسة لحوض الترسيب احتوائه على نظام لجمع الرواسب (الحمأة) وترسيبها إلى قناة في قاع الحوض او احواض خاصة لتجميع الرواسب والاطيان اذ يتم سحبها والتخلص منها بواسطة مضخات خاصة. تعد إزالة المواد العالقة بالترسيب والترشيح من مياه الشرب ضرورية لحماية الصحة العامة من ناحية ولمنع حدوث مشاكل تشغيلية في شبكة التوزيع من الناحية الأخرى. ايضاً قد تعمل هذه المواد (العالقة) على حماية الأحياء الدقيقة او البكتيريا من أثر المادة المطهرة، كما أنها قد تتفاعل كيمائياً مع المادة المطهرة مما يقلل من نسبة فاعليتها على الأحياء الدقيقة، وقد تترسب المواد العالقة في بعض أجزاء شبكة التوزيع مما قد يتسبب في نمو البكتريا وتغيير رائحة المياه وطعمها ولونها.

كما بينت الدراسات السابقة ان كفاءة الترسيب في احواض الترسيب الافقية لا تتعلق بعمق المرسب وان القيمة المثلى لعمق حوض الترسيب هي قيمة صغيرة. لذلك تم اقتراح اجراء عمليات الترسيب باستعمال الترسيب بالصفائح المائلة. بحيث تكون المسافة بين الصفائح او انابيب الترسيب تتراوح بين 10−30 سم. ويتم ووضع هذه الصفائح في احواض الترسيب بصورة مائلة بحيث تكون مسافة الترسيب اكثر بقليل من المسافة بين الصفائح. وينزلق الوحل بين الصفائح الى قاع حوض الترسيب. ان زمن البقاء في احواض الترسيب التي تحتوي على صفائح ترسيب قليلة جداً لا تتجاوز دقائق معدودة حسب ابعاد حوض الترسيب وذلك لان معدل التحميل السطحي كبير جداً. ان رقم رينولدز ورقم فرويد لهذا النوع من الاحواض لها قيم صغيرة مقبولة تقع ضمن المواصفات التصميمة لحوض الترسيب وبالتالي تزداد كفاءة احواض الترسيب في تصفية مياه الشرب. أي ان الجريان سيكون طباقي متوازناً بصورة جيدة. ان احواض الترسيب التي تحتوي على صفائح مائلة تكون كفاءتها ضعف كفاءة احواض الترسيب التي لا تحتويها. في **الشكل 8** توضيح لحركة جزئ من المواد الصلبة بين النقطتين (A,D) تتم كمحصلة لسرعة الجريان V_0 وسرعة الترسيب S_0 (التحميل السطحي) بحيث تكتب بالصيغة التالية **[13]**:

$$\frac{CD}{S_o} = \frac{AC}{V_o} \qquad (1)$$

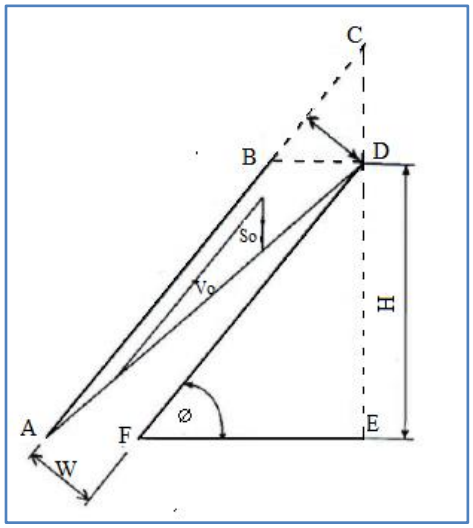
$$S_o = V_o\left(\frac{CD}{AC}\right) = V_o\left[\frac{w/\cos\emptyset}{(H+ w/\cos\emptyset)/\sin\emptyset}\right] \qquad (2)$$

$$V_o \sin\emptyset = \frac{Q}{A} \qquad (3)$$

حيث ان Q هو التدفق الكلي و A هي المساحة السطحية للحوض و H هو ارتفاع الصفائح, وان w هو المسافة بين الصفائح, و ان $\emptyset$ تمثل زاوية ميل الصفائح، وبإعادة ترتيب المعادلات أعلاه فان سرعة الترسيب تكون:

$$S_o = \frac{Q}{A}\left[\frac{w/sin\emptyset}{H/tan\,\emptyset+ w/sin\emptyset}\right] = \frac{AF}{AE} \qquad (4)$$

ان النموذج الرياضي المستخدم في هذا البحث يبين الاساس النظري الرياضي لعملية الترسيب التي تحصل في حوض الترسيب والخاصة بسرعة الترسيب (التحميل السطحي) ولا يتطلب اجراء مقارنة مع النتائج العملية كون نتائج البحث هي نتائج عملية وسوف يستفاد منها مستقبلا لعمل نموذج رياضي لمجمعات تصفية المياة.



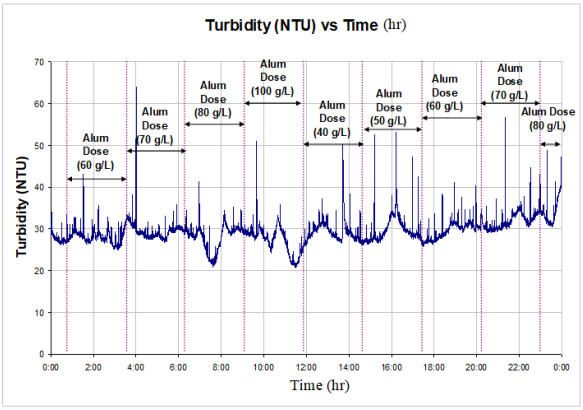
شكل 8: التمثيل الرياضي لعملية الترسيب في الصفائح المائلة

النتائج والمناقشة

1. تأثير تركيز جرعة الشب

أن زيادة جرعة الشب تؤثر على عملية التلبيد عن طريق زيادة حجم الجزيئات العالقة وبالتالي تترسب. والسبب وراء هذه الفرضية هو أن زيادة جرعة الشب يمكن أن تؤثر على معدل تشكيل الندف (Flocs) وربما تنتج ندف أكبر بسبب زيادة تفاعلات الجسيمات والتصاقها مع بعضها البعض. هذا بدوره سوف يتسبب في تشكيل الحمأة التي تستقر في قعر حوض الترسيب والذي سيقلل من قيم العكورة للمياه الخارجة من حوض الترسيب. وعندما تكون جرعة الشب اقل من الجرعة المثالية فان الندف المتكونة تكون صغيرة الحجم وتتاثر بسرعة الترسيب **[14]**.

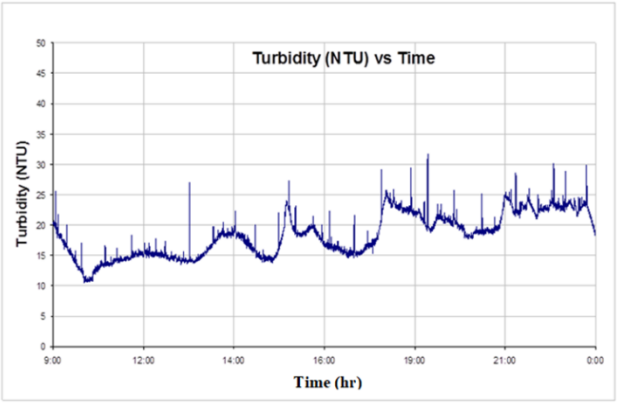
أجرينا اختبار الجرة (Jar Test) لمحاكاة عملية التخثير والتلبيد في محطة لمعالجة المياه لتحديد كمية الشب اللازم لإزالة العكورة الداخلة ومقدارها 200 NTU وهي اعلى قيمة للعكورة تم تسجيلها في الاء الخام المجهز الى المشروع. بينت نتائج اختبار الجرة إلى أن جرعة الشب اللازمة تتراوح بين 30 غم/لتر و 60 غم/لتر **(شكل 9)**. ان التغير في قيم العكورة الناتجة لجرع الشب من 30 الى 60 غم/لتر وجد انه قليل جداً وغير مؤثر. وهذا لقيم تدفق 100 م^3/ساعة ومما يؤكد ان العلاقة بين زيادة تركيز الشب عن قيمة الجرعة المثالية وعملية التلبيد غير مؤثر في عملية الترسيب ومكلفة في تصميم وحدات الماء المجمعة. حيث كانت الحماة المترسبة في قعر حوض الترسيب قليلة وغير كثيفة وهذا ادى الى اعادة انتشار الندف في حوض الترسيب بدلاً من ان تترسب وتستقر ونتيجة لذلك كانت قيمة العكورة الناتجة من حوض الترسيب اكثر من 30 NTU وهي قيم عالية جداً اكثر من الحدود المسموحة وتسبب حمل على المرشحات، اي ان زيادة جرعة الشب تسبب كلف كبيرة ونتائج عكسية لانها تقلل من نسب ازالة العكورة.



شكل 9: شكل يوضح تأثير جرع الشب في اليوم على ازالة العكارة مع الزمن (العكارة الداخلة 200 NTU)

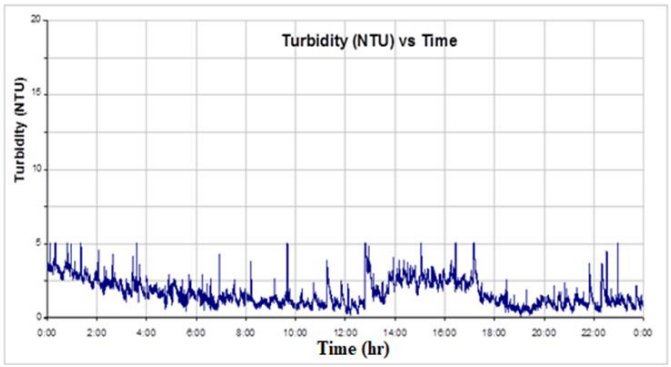
2. تأثير سرعة الجريان الداخلة

من الخصائص المهمة التي تم دراستها في هذا البحث هي سرعة الجريان داخل وحدة الماء المجمعة لما لها من دور فعال في تحسين عملية التلبيد وأثرها على قوى القص (Shear force) وزمن البقاء للجزيئات في حوض الترسيب. ان سرعة الجريان الداخلة لوحدة الماء المجمعة 34 م/دقيقة لتصريف 100 م^3/ساعة وقطر ألانبوب الواصل 10 انج. كانت قيم العكورة الناتجة لهذه السرعة بين 15−30 NTU **(الشكل 10)** وقيم العكورة هذه هي خارج المعايير القياسية لمياه الشرب (NTU 5>) حيث كفاءة الازالة كانت 85%. وذلك لأن سرعة الجسيمات في احوض الترسيب كبيرة (10.4 دقائق) مما تضطر للخروج من حوض الترسيب بسرعة كبيرة قبل ترسيبها. هذا سوف يؤثر على الندف ويبقيها معلقة طافية وكذلك يؤثر على تشكيل الحمأة المترسبة كون زمن الترسيب قليل وسرعة الجريان كبيرة فلا يوجد وقت كافي يسمح بحصول الترسيب المطلوب. وعلاوة على ذلك، فإن السرع العالية تحفز حصول القص للحمأة في قعر حوض الترسيب وان القص الذي يحصل سوف يقلل كفاءة عملية التلبيد. ان السرعة العالية تقلل من وقت البقاء للجسيمات في حوض الترسيب. من أجل التحقق من هذه النتيجة، تم اعادة التجربة بتقليل معدل الجريان بمقدار النصف إلى 50 م^3/دقيقة للحد من سرعة المدخل (15.5 دقيقة) ولرصد آثار القص ووقت البقاء لعملية التلبد.



شكل 10: شكل يوضح قيم العكورة عند تصريف 100 م^3/ساعة (العكورة الداخلة 200 NTU)

بينت النتائج والموضحة في **الشكل 11** انه عند تقليل سرعة الجريان سوف يزداد زمن البقاء وتقل سرعة القص وبالتالي تزاد كفاءة وحدات الماء المجمعة بإزالة العكورة حيث وصلت العكورة الخارجة الى NTU 8 عندما كانت قيم العكورة للماء الخام NTU 200 اي ان كفاءة الازالة اصبحت 96% لكن لكون معدل التدفق هو 50% من القيمة التصميمة للمحطة وهذا الخيار يمكن تطبيقه في موسم الشتاء اما في موسم الصيف قد يسبب عجز في كمية الماء الواصل للمستهلك لذلك فان الحل الامثل يتضمن اضافة صفائح ترسيب مائلة كما مبين لاحقاً.

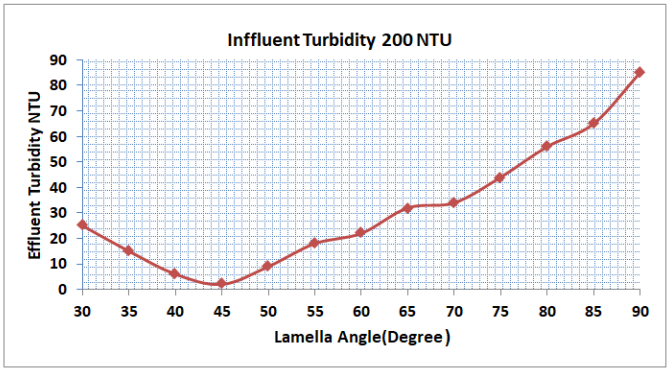


شكل 11: شكل يوضح قيم العكورة عند تصريف 50 م^3/ساعة (العكورة الداخلة NTU 200)

3. الاختيار الامثل لزاوية ميل صفائح الترسيب و ارتفاعها

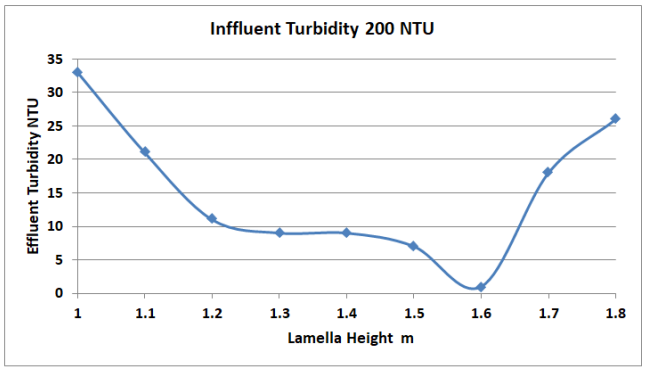
ان صفائح الترسيب المائلة توفر مساحة سطحية كبيرة وبالتالي تعزز مجانسة الدقائق العالقة المتكونة في حوض المزج البطيء وترسبها بشكل منتظم عن طريق تحسين التوزيع الهيدروليكي للمياه والحد من الجريان الاضطرابي. حيث يدخل الماء من قعر حوض الترسيب قادماً من حوض المزج البطيء يمر خلال صفائح الترسيب المائلة متجهاً الى سطح حوض الترسيب مما يؤدي الى ترسب المواد العالقة على سطح صفائح الترسيب ونزولها الى الاسفل بسبب الجاذبية بينما يتجمع الماء الصافي من خلال قنوات في سطح حوض الترسيب، ويتم التخلص من الحمأة التي تتراكم في الجزء السفلي من الخزان بانتظام باستخدام مضخة السحب.

الشكل 12 يوضح زاوية ميل صفائح الترسيب والتي أعطت الحد الأدنى الممكن للعكارة (العكورة الداخلة NTU 200) التي تزال للتدفق التصميمي للمحطة والبالغ 100 م^3/ساعة حيث تم اجراء التجارب على خمسة قيم لزوايا الميل.



شكل 12: قيم العكورة الناتجة لمختلف زوايا ميل صفائح الترسيب

حيث تبين النتائج ان افضل زاوية ميل تحقق اعلى قيم لإزالة العكورة هي 45 درجة، وهذا يتفق مع ما توصل الية Salem واخرون **[15]**، وكذلك القيمة المثلى للزاوية ضمن النطاق الذي اقترحه Wisniewski **[16]** وكذلك بين الانباري في بحثة ان زاوية الميل المثلى لمجموعة من الصفائح المقوسة هي 43.1 درجة. لإيجاد الارتفاع الامثل لصفائح الترسيب المائلة تم اختيار ارتفاعات مختلفة (من 1.0 الى 1.8 م) **[17]** ، وأظهرت النتائج أن اقل ارتفاع لصفائح المائلة (1.6 م) ينتج أفضل تصفية للمياه كما هو مبين في **الشكلين 13 و 14** حيث وصلت كفاءة الازالة الى 99.0 % عند اعتماد المحددات المثالية للتشغيل والجرعة المثالية في نفس الوقت. وان زيادة الارتفاع او تقليله لا يؤدي الى تحسين كفاءة الازالة للعكورة في حوض الترسيب حيث لوحظ زيادة في العكورة الخارجة من حوض الترسيب وكذلك زيادة التدفق سوف يؤدي الى حصول قلع للحمأة المترسبة وبالتالي انتشار الدقائق العالقة في حوض الترسيب و خروجها الى المرشحات مما يزيد العكورة. وقد تم



شكل 13: قيم العكورة الناتجة لمختلف ارتفاعات صفائح الترسيب

شكل 14: شكل يوضح انعدام العكورة في قنوات تجميع المياه الخارجة من حوض الترسيب

الاستنتاجات

هدفت هذه الدراسة الى تطوير عملية وحدات الماء المجمعة التي تستخدم لأنظمة معالجة المياه الصغيرة في البلدان النامية. وان فكرة البحث

جاءت نتيجة الحمل المسلط على المرشحات التي تعمل تحت ضغط (Pressure Filters) نتيجة العكورة العالية التي تؤدي الى زيادة مرات غسل المرشحات يومياً وكذلك استبدال مواد الترشيح شهرياً مما يؤدي الى زيادة كلف المعالجة وعدم جدوتها اقتصادياً بالإضافة الى قلة كفاءة وحدات الماء المجمعة في صورتها الحالية.

حيث تم تطوير وسائل مستدامة وفعالة وبسيطة لتحسين اداء وحدات الماء المجمعة في المياه السطحية عالية العكورة. وبينت النتائج انه بالإمكان زيادة كفاءة اداء وحدات الماء المجمعة وتقليل الحمل وزيادة عمر مواد الترشيح في المرشحات والحصول على كفاءة ازالة عكورة تصل الى 99.0%، وكانت العكورة الداخلة عالية تصل الى 200 NTU عن طريق تحسين التصميم ومعايير التشغيل مثل جرعة الشب، سرعة الجريان في المدخل وتنصيب صفائح الترسيب المائلة. وفي نهاية المطاف سوف تقلل التكلفة والوقت، والمواد المخصصة للتلبيد والترسيب. وكانت افضل زاوية لنصب صفائح الترسيب المائلة هي 45° وبارتفاع 1.6 م وافضل جرعة الشب 30 غم / لتر عند معدل تدفق 50% من القيمة التصميمة للمحطة.

المصادر

[1] تقرير وزارة البلديات والأشغال العامة العراقية. المديرية العامة للماء. (2010). http://www.iier.org/i/

[2] الخالدي، سعد كاظم, الظفيري، محمد ابراهيم, حمزة، حازم عزيز, الجبوري، خالد سلمان, و الحسيناوي، علوان كامل ""تقييم كفاءة بعض مجمعات تصفية مياه الشرب في محافظة النجف/العراق". مجلة جامعة بابل / العلوم الصرفة والتطبيقية" 2010، العدد (2) / المجلد (18).

[3] Wadi A. H. and AL-Samawi A. A. "Statistical Modeling of the Treatment Processes of A Shallow Depth Settling Water Treatment Plant" J. Babylon Univ./Eng. Sci., 2014, Vol.(22), No. (1).

[4] Ghawi A. H. and Kris J. "A CFD Methodology For The Design Of Rectangular Sedimentation Tanks In Potable Water Treatment Plants". Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 2009,.58(3) P.P. 212-220.

[5] إبراهيم عبد الكريم عبد الرحمن, ابتهال احمد مولود, ووهران منعم سعود " تقييم نوعية مياه الشرب وكفاءة محطة تصفية ماء الفلوجة:. المجلة العراقية للهندسة المدنية. (2009)المجلد\6, العدد\1 الصفحات 27-38.

[6] Tamayol A., Firoozabadi B., Ashjari M. A., "Hydrodynamics of secondary settling tanks and increasing their performance using baffles" J. Environ. Eng., 2010, 136(1):32–39.

[7] Yonghai Y., Dong L., Xiaofeng C., "Study on Hydraulic Characteristic of the Tube Settler" International Conference on Mechatronics, Control and Automation Engineering, 2016.

[8] Ghawi A. H. and Kris J. "Computational Fluid Dynamics Model of Flow and Settling in Sedimentation Tanks". · Source: InTech, Chapter In book: Applied Computational Fluid Dynamics Edited by Hyoung Woo Oh, 2012, P.P. 19-34.

[9] رافع جمال يعقوب, وزينة علي حميد "استخدام بعض المخثرات الطبيعية في معالجة المواد العالقة في المياه". مجلة تكريت للعلوم الهندسية، 2013، المجلد /20، العدد /5 ، الصفحات 21-29.

[10] Rasha. S. Al-kizwini, "Improvement of Sedimentation Process Using Inclined Plates", Mesop.environ. j. 2015, Vol. 2, No.1, pp. 100-114.

[11] Fouad H. A., Elhefny R. M, Marei A. I., "Evaluating the Use of Tube Settlers and Lamella Plates in Increasing the Efficiency of Sedimentation Tanks". J. of Applied Life Sciences International, 2016, 7(4): 1-8.

[12] Ghawi A. H "Using Natural Coagulant to Remove Turbidity and Heavy Metal from Surface Water Treatment Plant in Iraq" International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation, 2017, ISSN: 2456-1851, Vol. 02, Issue:01. PP 551-563.

[13] سلوى حجار "محطات تنقية مياه الشرب بوساطة الترسيب"، المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية, 2010. www.env-gro.com

[14] Alkhafaji R. A., Jianguo B, Zaidun N. A., Dan Z., Chunlei G. "Pretreatment of non-biodegradable landfill leachate by air stripping coupled with agitation as ammonia stripping and coagulation-flocculation processes", Clean Technologies and Environmental Policy, 2013, Vol, 15, 6, pp 1069-1076.

[15] Salem A., Okoth, G., Thöming, J. "An approach to improve the separation of solid–liquid suspensions in inclined plate settlers: CFD simulation and experimental validation" Water research. 2011. 45: 3541-3549.

[16] Wisniewski, E. "Sedimentation tank design for rural communities in the hilly regions of Nepal". Journal of Humanitarian Engineering, 2013).

[17] الانباري، رياض حسن هادي, "احتساب زاوية الميل المثلى ونسبة الازالة للكدرة لمجموعة من الصفائح المائلة المقوسة في احواض ترسيب المياه". مجلة التقني،2005، المجلد الثامن عشر العدد 2.