ISSN: 1813-162X (Print); 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: http://www.tj-es.com

Shihab AS, Ahmad AM. Performance Study of Tube Settlers in Removing Low Turbidity from The Tigris River Water Using a Bench Scale Model. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2020; **27**(4): 1-7.

# Performance Study of Tube Settlers in Removing Low Turbidity From The Tigris River Water Using a Bench Scale Model

**Abdulmuhsin S. Shihab*[1]**
**Aladdin M. Ahmad[2]**

[1]Environmental Research Center, University of Mosul, Iraq
[2]Department of Civil Engineering, College of Engineering / University of Mosul, Iraq

***Keywords*:**

Tube settlers
Turbidity
Tube length
Relative length
Alum dose
Inclination angle
Over flow rate
Flow velocity

**ARTICLE INFO**

***Article history:***

Received 16 June 2019
Accepted 10 October 2019
Available online 01 December 2020

**ABSTRACT**

The current research aims to evaluate the efficiency of tube settlers in removing low turbidity of Tigris River water in Mosul city, then comparing the results with the conventional settler. Laboratory model for tube settler is designed and manufactured for conducting the experiments. The model consists of a coagulation and flocculation basin containing a mixer. This basin is connected with water fixing level basin which is used to obtain a uniform flow in the model. This basin is followed by another one which is called pre-tube settler basin. After that came the tube settler unit. It consists from 4 tubes of square section and 4 x 4 cm2 in dimension and manufactured at five levels of inclination angle: 30, 40, 50, 60 and 70 degrees. These tubes are manufactured at 40 cm in length and their length can be increased by connecting additional pieces with a length of 20 cm to obtain the studied length levels: 60, 80, 100 and 120 cm. Alum is added as a coagulant with six levels at 0, 5, 10, 15, 20 and 25mg/L. At the same time, another model was designed and manufactured for conventional settler from glass for making experiments parallel to the tube settler and compare the results between them. The initial turbidity of raw water ranged from 20-29 NTU during the study period. Turbidity removal percent was used as an indicator of tube settler efficiency. The highest turbidity removal percent reached 80.53% with an effluent turbidity of 5.1 NTU at 120 cm length,15 mg/L alum dose and 60° inclination angle. The results showed an increase in turbidity removal percent with increasing the tube length at all levels of the inclination angle and alum dose. The tube settler exceeds the conventional one by 20-30% in removing percent of low turbidity within the range of 20-29 NTU of the Tigris River water. Additionally, the short detention time of tube settlers compared with the conventional one can be utilized to increase the production of the plant. This can be achieved by installing modular tube settler units in the sedimentation tanks of the old water treatment plants.

@2020 TJES, College of Engineering, Tikrit University

DOI: http://doi.org/10.25130/tjes.27.4.01

## دراسة تأثير نوع حبيبات وسط مسامي على تحسين انتقال الحرارة للمبادل الحراري ذي الانبوب المزدوج

عبدالمحسن سعدالله شهاب / مركز بحوث البيئة, جامعة الموصل, العراق
علاء الدين ميسر أحمد / قسم الهندسة المدنية, كلية الهندسة, جامعة الموصل, العراق

**الخلاصة**

يهدف البحث الحالي إلى دراسة استخدام المرسبات الأنبوبية في إزالة العكارة الواطئة من مياه نهر دجلة في مدينة الموصل وتقييم أدائها، ومقارنة النتائج مع المرسب التقليدي. تم تصميم وتصنيع موديل مختبري للمرسب الأنبوبي يتكون من حوض للتخثير والتلبيد يحتوي على مازجة ويرتبط مع حوض تثبيت المنسوب الذي يغذي حوض ماقبل المرسب الأنبوبي، يأتي بعدها المرسب الأنبوبي الذي يتكون من 4 أنابيب ذات مقطع مربع بأبعاد 4 × 4 سم وبطول 40 سم، ويمكن زيادته للحصول على المستويات 40 و 60 و 80 و100 و120 سم، وقد تم تصنيعها بخمسة مستويات من زاوية الميل وهي 30 و40 و50 و60 و70 درجة. واستخدم الشب كمخثر بستة مستويات وهي 0 و 5 و 10و15 و20 و25 ملغم/لتر. كما تم تصميم وتصنيع موديل للمرسب التقليدي لإجراء تجارب موازية للمرسب الأنبوبي ومقارنة النتائج معه . استخدم ماء نهر دجلة كماء خام لاجراء التجارب والذي تراوحت عكورته بين20-29 NTU. تم اعتماد نسبة إزالة العكارة كمؤشر لكفاءة المرسب الأنبوبي. أظهرت نتائج تحليل التباين أنّ طول الأنبوب وجرعة الشب وزاوية الميل والتداخلات بينها الثنائية والثلاثية كانت ذات تأثير معنوي على نسبة إزالة العكارة والتي تزداد مع زيادة طول الأنبوب ولمستويات زاوية الميل وجرعة الشب كافة . وبلغت أعلى نسبة إزالة 80.53% مع عكارة خارجة 5.1 NTU عند طول انبوب 120 سم وجرعة شب 15 ملغم/لتر وزاوية ميل 60. وتغلب المرسب الأنبوبي على المرسب التقليدي بنسبة 20-30% في إزالة العكارة الواطئة ضمن المدى 20-29 NTU من مياه نهر دجلة. وعلى ضوء وقت المكوث القصير للمرسب الأنبوبي فضلا عن تفوقه في نوعية الماء المنتج في الدراسة الحالية، فبالامكان زيادة انتاجية المحطات التي تستخدم الترسيب التقليدي بتركيب وحدات الترسيب الانبوبية في أحواض الترسيب التقليدية.

**الكلمات الدالة:** المرسبات الأنبوبية ، العكارة ، طول الأنبوب ، الطول الفعال ، جرعة الشب ، زاوية الميل ، معدل الحمل السطحي ، سرعة الجريان .

* Corresponding Author: E-mail: alqazzazmssh@gmail.com

## 1. المقدمة

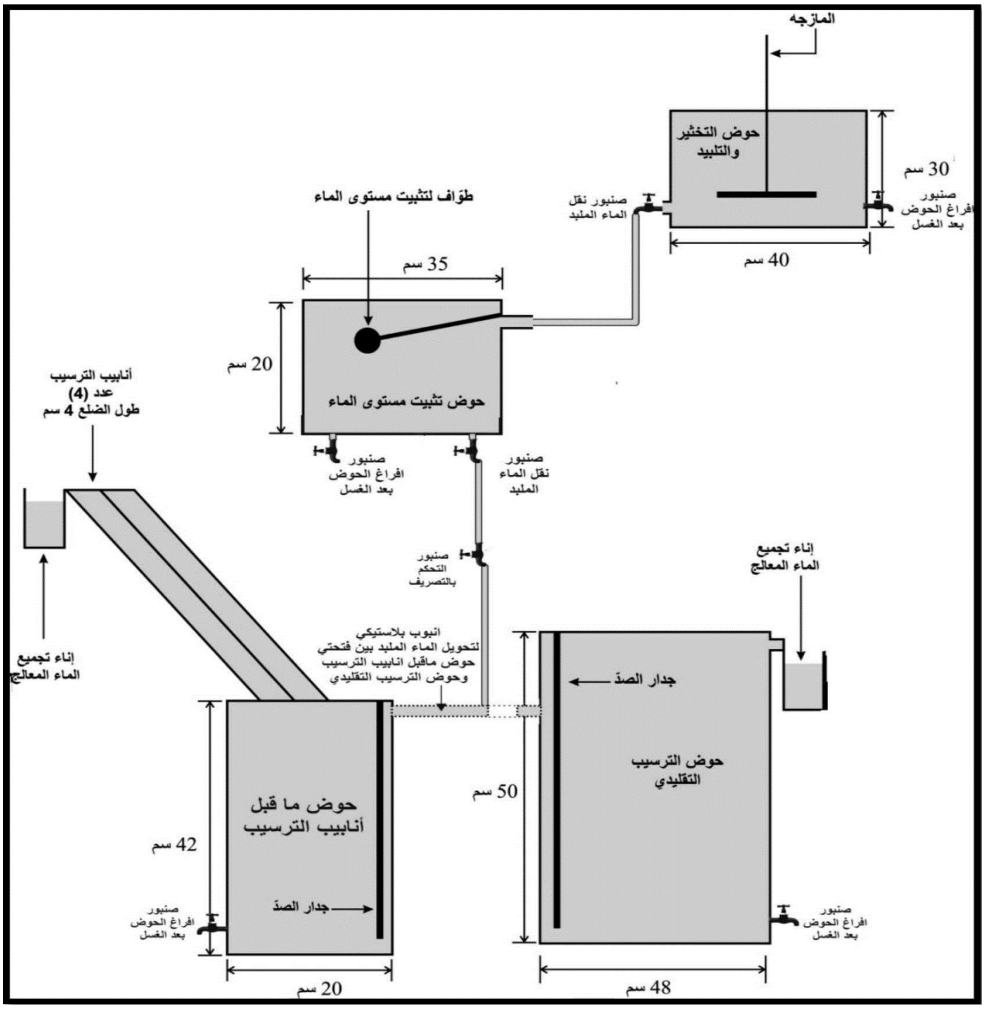
تعتمد محطات الإسالة الرئيسة في مدينة الموصل على أنظمة الترسيب التقليدية التي تتميز بقدرتها على إزالة العكارة العالية لمياه نهر دجلة (عند إضافة الشب كمخثر) والتي تم إنشاء معظمها قبل إنشاء سد الموصل. وقد ساهم السد في تقليل عكارة مياه نهر دجلة بسبب ترسب المواد العالقة في بحيرة السدّ خلال فترة مكوث الماء فيها، إذ تتراوح قيم العكارة في معظم أيام السنة بين 2 – 26 NTU [1]. قام Mossa [2] باجراء دراسة لكفاءة المرسبات الانبوبية في ازالة العكارة العالية من مياه نهر دجلة، ولاحظ وجود تغير طفيف في قيم نسب إزالة العكارة على الرغم من التغاير الكبير في قيم عكارة النهر خلال فترة الدراسة، واستنتج بأنّه كلّما زاد معدل الحمل السطحي تقل كفاءة الإزالة. إنّ أحواض الترسيب التقليدية غير كفوءة في التعامل مع المياه ذات العكارة الواطئة، وفي معظم الأوقات يخرج الماء من الأحواض كما دخل اليها أو بإزالة طفيفة للعكارة لكون الدقائق الناعمة العالقة في المياه الخارجة من بحيرة السد تكون صعبة الإزالة وتحتاج إلى تقنيات وأساليب ترسيب حديثة قادرة على اقتناصها قبل خروجها من حوض الترسيب. ومن التقنيات التي تزيد من كفاءة الترسيب هي المرسبات الأُنبوبية، فقد بيّنت Fouad وآخرون [3] أنّ إضافة المرسبات الأُنبوبية إلى أحواض الترسيب التقليدية يزيد من جودة المياه المعالجة كما يضاعف القدرة الانتاجية لمحطات الإسالة. تُعرف أنابيب الترسيب على أنّها سلسلة من الأنابيب المترابطة مع بعضها على شكل حزمة توضع بشكل مائل بزاوية معينة من سطح الخزان، بحيث يكون اتجاه جريان الماء في الأُنبوب نحو الأعلى [4]، وعند مرور الماء داخل هذه الأنابيب فإن كل أنبوب يتحول إلى حوض ترسيب صغير، وكلما زاد عدد هذه الأنابيب زادت طاقة استيعاب المياه المعالجة [5]. تكون الأنابيب المستخدمة في المرسب الانبوبي ذات مقاطع دائرية أو مربعة أو سداسية أو أشكال أُخرى وهي ذات قطر هيدروليكي يتراوح ما بين 80–50 ملم [6]. وحينما توضع أنابيب الترسيب بصورة مائلة فإنها تسمح بالتنظيف الذاتي للمواد المترسبة على سطح الأنبوب الداخلي بواسطة الجاذبية بحيث تتسبب بانزلاق الحمأة نحو الأسفل وعدم تراكمها داخل الانبوب [7].إنّ استخدام أنابيب الترسيب يقلل فترة مكوث الماء من 2-4 ساعات في أحواض الترسيب التقليدية إلى 10-15 دقيقة في المرسبات الأُنبوبية وذلك بسبب قصر مسافة ترسيب اللبادة داخل الأنبوب [8]، فضلاً عن تقليل مشاكل ازالة الرواسب التي تحدث في خزانات الترسيب التقليدية. إنّ معيار كفاءة إزالة العكارة في أحواض الترسيب يتحدد بقيمة معدل الحمل السطحي، وعلى هذا الأساس فإنّ استخدام أنابيب الترسيب يعدّ وسيلة لزيادة المساحة السطحية لحوض الترسيب، والذي يؤدي إلى تقليل معدل الحمل السطحي وبالتالي تحسين كفاءة ازالة العكارة[9] . ويسعى البحث الحالي إلى تصميم وتصنيع وحدة ترسيب أُنبوبية تتضمن حوض تخثير وتلبيد، مع وحدة ترسيب أُنبوبية بحيث يمكن زيادة طول الانبوب وتغيير زاوية الميل لدراسة امكانية استخدامها في زيادة كفاءة عملية الترسيب مع الشب.

## 2. المواد وطرق العمل

يتكون موديل المرسب الانبوبي من حوض التخثير والتلبيد وحوض تثبيت منسوب الماء يحتوي على طواف يستخدم للحفاظ على منسوب ثابت للماء داخل الحوض لضمان ثبات التصريف الخارج منه والداخل إلى حوض ماقبل أنابيب الترسيب، وحوض ماقبل أنابيب الترسيب يرتبط بحوض تثبيت منسوب الماء من خلال فتحة علوية مقابلة لجدار الصد لضمان عدم اضطراب جريان الماء الملبد وتكسر اللبادات أثناء دخوله الحوض، وأنابيب الترسيب التي تتكون من أربعة أنابيب بلاستيكية ذات مقطع مربع بأبعاد 4×4 سم على شكل خمسة قطع تربط مع بعضها طولياً لغرض التحكم في طول انبوب الترسيب، كما تحتوي من الأعلى على اطار مربع يضمّ أربعة فتحات تستخدم لربط قطع الأنبوب التالية معها لزيادة طول الأنبوب تدريجياً، وتم تصنيع القطعة الأولى بخمس مستويات لزاوية الميل وذلك لدراسة تأثير زاوية الميل على كفاءة المرسب الأُنبوبي. كما تم تصنيع موديل مختبري للمرسب التقليدي لمقارنة نتائجه مع المرسب الانبوبي (الشكل أ).

تميّزت الدراسة باستخدام ماء نهر دجلة كماء خام لإجراء التجارب المختبرية ممّا يجعل التجارب أقرب إلى الواقع بدل استخدام مياه ذات عكارة مصنّعة، وكذلك يجعل النتائج تحاكي الواقع الحالي لمحطات الإسالة، ويتم سحب الماء بواسطة مضخة مربوطة بحوض مأخذ الماء الخام في مشروع ماء الأيسر القديم. استُعملت مادة الشب (كبريتات الألمنيوم) المستعملة في مشروع ماء الأيسر القديم ذات التركيب الكيميائي Al2(SO4)3.17H2O، وقيست العكارة باستخدام جهاز نوع TB 300 IR، ويقيس العكارة بوحدة NTU وبدقة تصل إلى 0.01 NTU. ولقياس الرقم الهيدروجيني استُعمل جهاز نوع Crizon Basic 20، ويقيس قيمة pH مع درجة حرارة الماء بنفس الوقت، وقيست التوصيلة الكهربائية باستخدام جهاز نوع Crizon Basic 30، ويقيس التوصيلية الكهربائية بوحدة مايكروموز\سم، ويتم تعديل قيمة التوصيلية الكهربائية للماء إلى درجة حرارة 25 درجة مئوية بواسطة معاملات تصحيح مرفقة مع الجهاز. حُضِّر محلول الشب القياسي بتركيز 10غم\لتر بوزن 10 غم من الشب بواسطة ميزان الكتروني حساس نوع 17250ADAM-N ومن ثم يُذاب في الماء المقطر بواسطة جهاز المزج المغناطيسي نوع Elexa-Mix، ويوضع المحلول بعد المزج في دورق حجمي سعة لتر واحد ويكمل بالماء المقطر إلى حد العلامة ثم يحفظ في الثلاجة.

يتم سحب الماء الخام من مأخذ مشروع ماء الساحل الأيسر القديم بواسطة مضخة إلى حوض التخثير والتلبيد ويضبط تصريف الماء الخارج من حوض تثبيت المنسوب إلى الحوض الذي يليه بحيث يكون 1 لتر في الدقيقة بواسطة صنبور. ويتم في الوقت نفسه أخذ عينة من الماء الخام لقياس كل من العكارة والدالة الحامضية والتوصيلية الكهربائية ودرجة الحرارة. وتضاف بعدها جرعة الشب المحددة إلى الماء الخام في حوض التخثير والتلبيد من خلال فتحة دائرية في أعلى الغطاء المعدني المركب على الحوض، وبعدها مباشرة يتم تشغيل المازجة بسرعة 250 دورة\دقيقة لمدة دقيقة واحدة لإكمال عملية التخثير، ثم يتم خفض سرعة المزج إلى 40 دورة\دقيقة ولمدة 20 دقيقة لإكمال عملية التلبيد. وبعد اكتمال عملية التلبيد يتم فتح الصنبور لينتقل الماء الملبد إلى حوض تثبيت المنسوب. وبعد امتلاء حوض تثبيت المنسوب يسمح للماء الملبد بالانتقال إلى حوض ماقبل أنابيب الترسيب، ويصطدم الماء أثناء دخوله بجدار الصدّ الذي يعمل على منع اضطراب الماء الملبد الداخل إلى الحوض، وبعدها يبدأ الماء بالصعود خلال أنابيب الترسيب ذات طول 40 سم وزاوية ميل 30 درجة إلى أن يبدأ بالخروج عند نهايتها. تؤخذ عينتين من الماء الخارج من المرسبات الأُنبوبية بعد دقيقتين من خروجه لغرض قياس كل من العكارة والدالة الحامضية والتوصيلية الكهربائية ودرجة الحرارة، ثم يتم زيادة طول الأنبوب بربط قطع بطول 20 سم في كل زيادة مع أخذ عينتين من الماء الخارج بعد كل زيادة في طول الأنبوب بعد مرور دقيقتين لحين اكتمال كافة مستويات طول الأنبوب المحددة في الدراسة والبالغة 40، 60، 80، 100، 120 سم. تُعاد الخطوات السابقة مع تغيير جرعة الشب لكل تجربة وللمستويات المحددة في الدراسة وهي 0 و 5 و 10 و 15 و 20 و 25 ملغم\لتر. ويتم عند كل جرعة شب ربط حوض تثبيت المنسوب مع حوض الترسيب التقليدي لنقل الماء الخام الملبد بعد ضبط التصريف لإجراء عملية الترسيب التقليدية مع أخذ عينتين من الماء الخارج من المرسب التقليدي لكل جرعة شب لقياس العكارة والدالة الحامضية




**شكل (أ)** مخطط يوضح مكونات الموديل المستخدم في الدراسة وحوض الترسيب التقليدي

والتوصيلية الكهربائية ودرجة الحرارة لغرض المقارنة مع المرسب الأنبوبي.

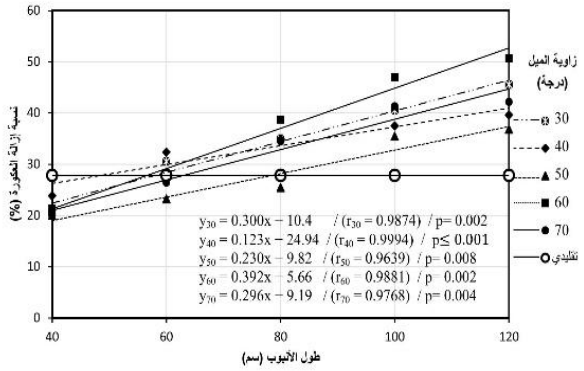
تضمن البحث دراسة تأثير ثلاثة متغيرات على كفاءة المرسب الأنبوبي : طول الأنبوب بخمسة مستويات وهي 40 و 60 و80 و 100 و 120 سم، وزاوية ميل الأنبوب بخمسة مستويات وهي 30 و 40 و 50 و 60 و70 درجة، وجرعة الشب بستة مستويات وهي 0 و 5 و 10 و 15 و 20 و 25 ملغم\لتر، وبلغ عدد التجارب التي أجريت5 × 5 × 6 = 150 تجربة، يتم فيها تثبيت زاوية ميل انبوب الترسيب عند 30 درجة وجرعة الشب عند صفر ملغم\لتر، ثم يتم زيادة طول الأنبوب بمقدار 20 سم بدءاً بـ40 سم، وبعد اكتمال مستويات طول الأنبوب الخمسة يتم زيادة جرعة الشب إلى المستوى الثاني، وهو 5 ملغم\لتر وتكرر زيادة طول الأنبوب مع تثبيت زاوية الميل، وبعد اكتمال مستويات جرعة الشب المضافة الستة يتم تغيير زاوية ميل الأنبوب إلى الزاوية التالية وهي 40 درجة وتعاد كافة التجارب السابقة لحين اكتمال كافة مستويات زاوية ميل الأنبوب الخمسة.

## 3. النتائج والمناقشة

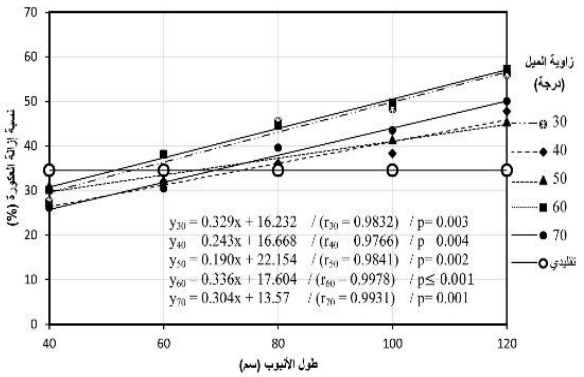
### *3.1 تأثير طول الأُنبوب على كفاءة المرسب الأنبوبي*

يبيّن الشكل (1) وجود علاقة طردية ومعنوية بين طول الأُنبوب والنسبة المئوية لإزالة العكارة وذات معامل ارتباط معنوي يقارب الواحد، إذ تزداد نسبة إزالة العكارة مع ازدياد طول الأُنبوب ولكل مستويات زاوية ميل الأُنبوب، وذلك لانخفاض الحمل السطحي مع زيادة طول الأُنبوب، وهذا الطول أقل من طول الأُنبوب الملائم الذي وجده Mossa [2] والبالغ 150 سم، ويمكن أن يعزى ارتفاع طول الأُنبوب لديه بالمقارنة مع الدراسة الحالية إلى العكارة العالية لمياه نهر دجلة في مدّة دراسته التي تحتاج إلى أُنبوب أكثر طولاً أي إلى حمل هيدروليكي أقل لإزالتها، أمّا عند اضافة الشب كمادة مخثرة بمقدار 5 ملغم/لتر، فيلاحظ زيادة نسبة إزالة العكارة مع زيادة طول الأُنبوب بصورة معنوية، وكان معدل نسبة إزالة العكارة أكثر تزايداً عند زاويتي ميل 60 و 30 درجة، فكلّما زاد طول الأُنبوب بمقدار 10 سم ازدادت نسبة إزالة العكارة بمقدار 3.36 % و 3.29% على التوالي (الشكل 2) ، وكانت أعلى نسب الإزالة في الطول 120 سم. وعند زيادة جرعة الشب إلى 10 ملغم/لتر كان معدل نسبة إزالة العكارة أكثر تغايراً مع طول الأُنبوب عند زاويتي ميل 60 و 70 درجة، فكلّما زاد طول الأُنبوب بمقدار 10 سم ازدادت نسبة إزالة العكارة بمقدار 3.93 % و 3.70% على التوالي، وعند تجاوز طول الأُنبوب 72 سم ولكافة مستويات زاوية ميل الأُنبوب فإن نسبة إزالة العكارة في المرسب الأنبوبي كانت أعلى من المرسب التقليدي (الشكل 3). واستمرت نفس العلاقة السابقة عند اضافة شب بمقدار 15 ملغم/لتر مع ارتفاع النسبة المئوية لإزالة العكارة عند زاوية ميل 60 درجة عن بقية المستويات (الشكل 4). أما عند استخدام جرعة شب 20 ملغم/لتر، فإنّ أعلى تأثير لطول الأُنبوب كان عند زاوية ميل 60 درجة كذلك بزيادة مقدارها 3.7% في نسبة إزالة العكارة لكل 10 سم طول، وبلغ معامل الارتباط الخطي 0.976 عند نفس الزاوية (الشكل 5). وحينما يتجاوز طول الأُنبوب 78 سم فإنّ نسبة إزالة العكارة في المرسب الأنبوبي سوف تكون أعلى من المرسب التقليدي ولكافة

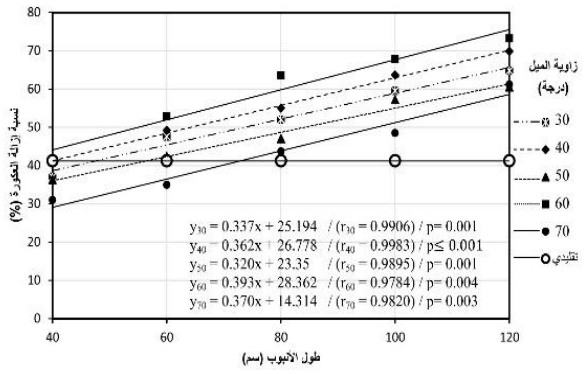
مستويات زاوية ميل الأُنبوب، وهو أعلى منه عند جرعة الشب15 ملغم/لتر بمقدار 18 سم، ويمكن أن يعزى ذلك إلى أن زيادة جرعة الشب فوق 15 ملغم/لتر تؤدي إلى حدوث حالة فوق الإشباع للشب بحيث تنعكس شحنة الدقائق العالقة وتعمل على زيادة العكارة والتي تتطلب أُنبوب أكثر طولاً لإزالتها. وكانت نسبة الزيادة في كفاءة إزالة العكارة عند اضافة شب بجرعة 25 ملغم/لتر أكثر تغايراً مع طول الأُنبوب عند زاوية ميل 60 درجة إذ بلغت 4.14% مع كل زيادة لطول الأُنبوب بمقدار 10سم، بارتباط معنوي بلغ مقداره 0.994 (الشكل 6). وحينما يتجاوز طول الأُنبوب 95 سم ولكافة مستويات زاوية ميل الأُنبوب فإن نسبة إزالة العكارة في المرسب الأنبوبي تكون أعلى من المرسب التقليدي.



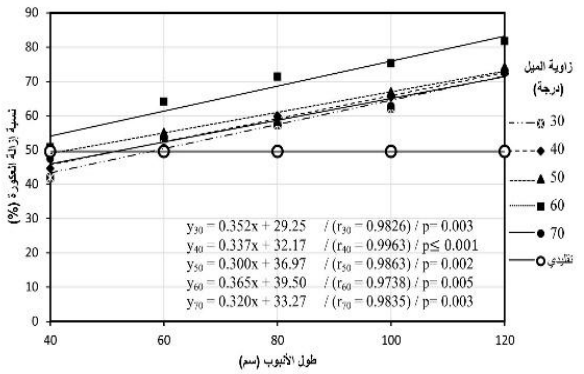

**شكل (1)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وطول الانبوب حسب زاوية الميل بدون اضافة شب



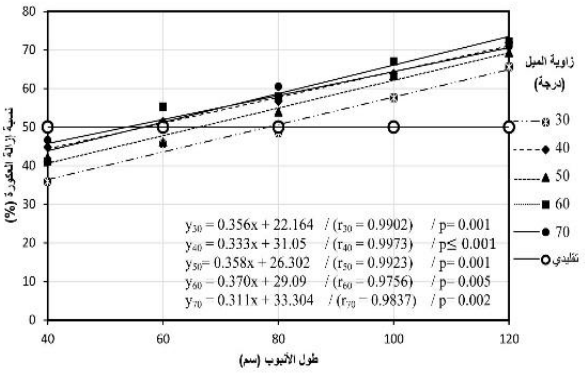

**شكل (2)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وطول الانبوب حسب زاوية الميل عند جرعة شب 5 ملغم/لتر



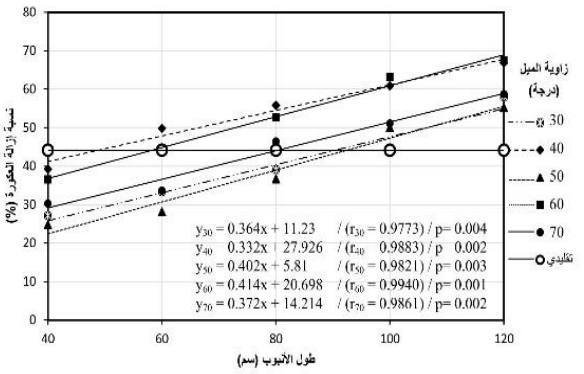

**شكل (3)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وطول الانبوب حسب زاوية الميل عند جرعة شب 10 ملغم/لتر




**شكل (4)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وطول الانبوب حسب زاوية الميل عند جرعة شب 15 ملغم/لتر




**شكل (5)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وطول الانبوب حسب زاوية الميل عند جرعة شب 20 ملغم/لتر

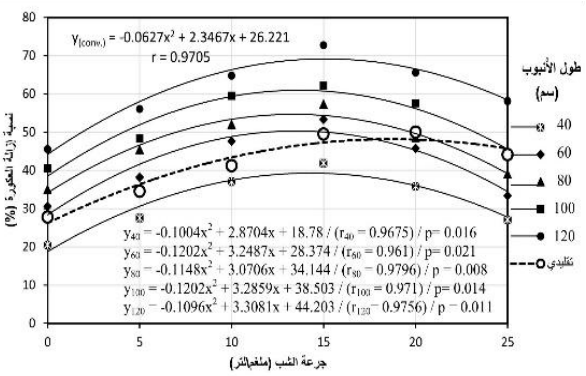



**شكل (6)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وطول الانبوب حسب زاوية الميل عند جرعة شب 25 ملغم/لتر

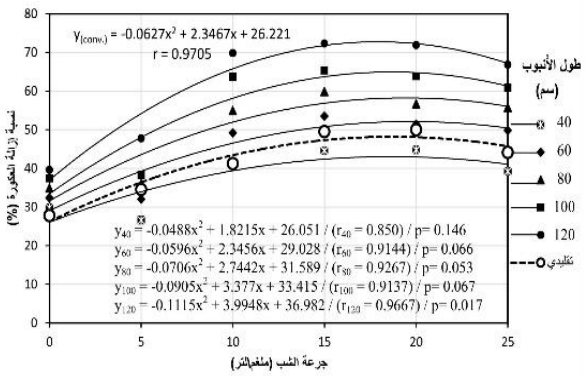
### *3.2 تأثير جرعة الشب على كفاءة المرسب الأنبوبي*

يبيّن الشكل (7) زيادة نسبة إزالة العكارة مع زيادة جرعة الشب لحين الوصول إلى الجرعة المثلى، بعدها تحدث حالة فوق الأشباع بحيث تنعكس شحنة الدقائق العالقة وتعمل على زيادة العكارة، ويلاحظ تدهور عمل المرسب الأنبوبي عند زيادة جرعة الشب إلى 25 ملغم/لتر لأطوال الأنابيب 40 و60و80 سم. وعند زيادة زاوية الميل إلى 40 درجة، تراوحت الجرعة المثلى للشب بين 15-20 ملغم/لتر (الشكل 8)، ويلاحظ من الشكل نفسه أنّ العلاقة بين نسبة إزالة العكارة وجرعة الشب لم تصل حد المعنوية ماعدا طول أُنبوب 120 سم. وعند زاوية ميل 50 درجة، كانت العلاقة معنوية بين نسبة إزالة العكارة وجرعة الشب ولمستويات طول الأُنبوب من 80 إلى 120 سم (الشكل 9)، وتراوحت جرعة الشب المثلى بين 15-20 (ملغم/لتر)، ووصل مقدار الفرق في نسبة الإزالة بين جرعة الشب صفر والجرعة المثالية 15 ملغم/لتر إلى مايقارب 35% كزيادة عند طول أُنبوب 120 سم، وكانت نسبة الإزالة فوق المرسب التقليدي بأكثر من 20% عند الجرعة المثلى للشب وعند طول الأُنبوب نفسه. ويبين الشكل (10) وجود علاقة

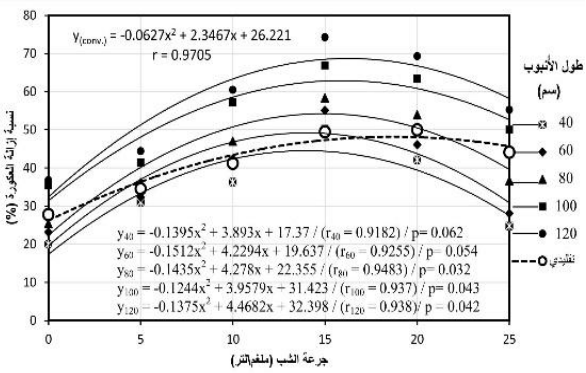
معنوية بين نسبة إزالة العكارة وجرعة الشب عند زاوية ميل الأنبوب 60 درجة باستثناء طولي الأنبوب 80 و 100 سم، ووصل مقدار الزيادة في نسبة الإزالة بين جرعة الشب صفر والجرعة المثلى 15 ملغم/لتر إلى اكثر من 30% كزيادة عند طول أنبوب 120 سم، وكانت نسبة الإزالة فوق المرسب التقليدي بأكثر من 28% عند الجرعة المثلى وعند طول الأنبوب نفسه. ولم تصل العلاقة بين نسبة إزالة العكارة وجرعة الشب إلى حد المعنوية عند زاوية ميل الأنبوب 70 درجة (الشكل 11) ماعدا طول الأنبوب 120 سم وبمعامل ارتباط 0.947، وتراوحت جرعة الشب المثلى بين 15-20 (ملغم/لتر)، ووصل مقدار الزيادة في نسبة الإزالة بين جرعة الشب صفر، والجرعة المثالية 15 ملغم/لتر إلى مايقارب 30% كزيادة عند طول أنبوب 120 سم، وكانت نسبة الإزالة فوق المرسب التقليدي بأكثر من 20% عند الجرعة المثلى وعند طول الأنبوب نفسه.



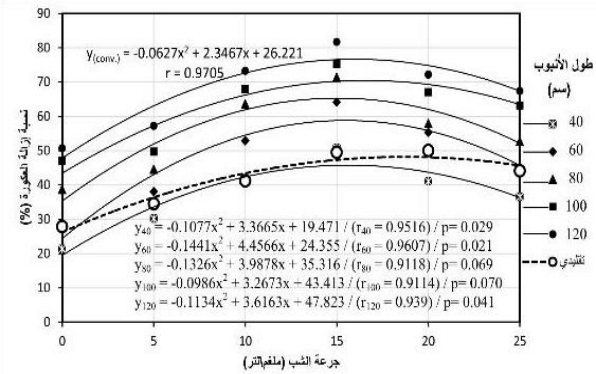

**شكل (7)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وجرعة الشب حسب طول الانبوب عند زاوية ميل 30 درجة



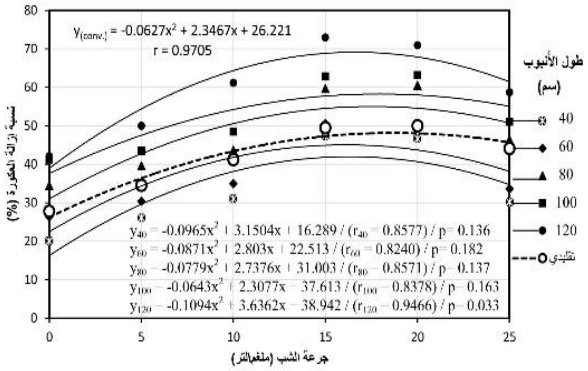

**شكل (8)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وجرعة الشب حسب طول الانبوب عند زاوية ميل 40 درجة




**شكل (9)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وجرعة الشب حسب طول الانبوب عند زاوية ميل 50 درجة




**شكل (10)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وجرعة الشب حسب طول الانبوب عند زاوية ميل 60 درجة

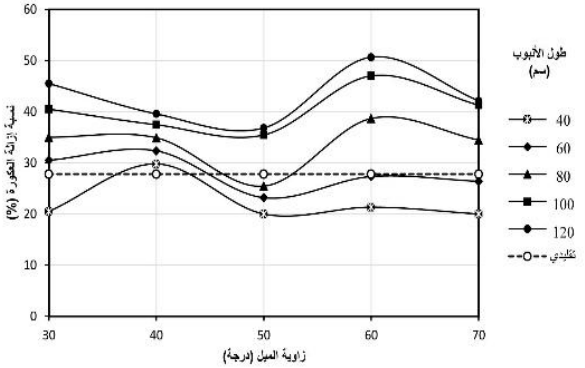



**شكل (11)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وجرعة الشب حسب طول الانبوب عند زاوية ميل 70 درجة

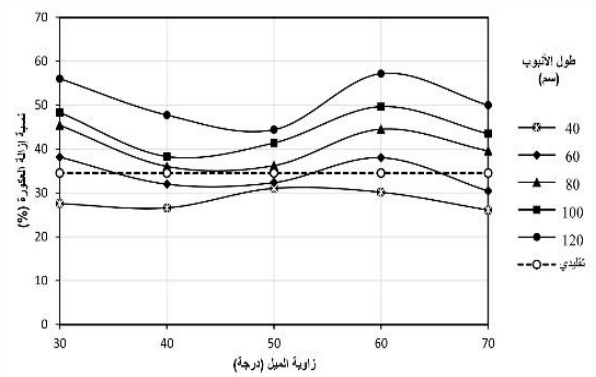
### 3.3 تأثير زاوية الميل على كفاءة المرسب الأنبوبي

يبيّن الشكل (12) انخفاض نسبة إزالة العكارة مع زيادة زاوية ميل الأنبوب فوق 30 درجة في حالة الأنابيب بطول 100 و 120 سم بدون إضافة شب، أمّا عند طولي الأنبوب 60 و 80 سم فإنّ الانخفاض في نسبة إزالة العكارة بدأ عند زاوية ميل 40 درجة ووصل إلى أوطأ قيمة لأطوال الأنابيب الأربعة من 60 إلى 120 سم عند زاوية ميل الأنبوب 50 درجة، ليبدأ بعدها بالصعود ويصل إلى أعلى قيمة عند زاوية ميل 60 درجة. ووصلت الزيادة في نسبة إزالة العكارة إلى 20% فوق المرسب التقليدي عند طول أنبوب 120 سم. وعند اضافة الشب كمخثر بجرعة 5 ملغم/لتر. ويبيّن الشكل (13) انخفاض نسبة إزالة العكارة مع زيادة زاوية ميل الأنبوب فوق 30 درجة ولأطوال الأنابيب من 60 إلى 120 سم لتصل إلى أوطأ نسبة إزالة بين زاويتي ميل 40-50 درجة، تعود بعدها بالصعود لتصل إلى أعلى قيمة عند زاوية ميل 60 درجة، وبلغت الزيادة في نسبة إزالة العكارة 22% فوق المرسب التقليدي

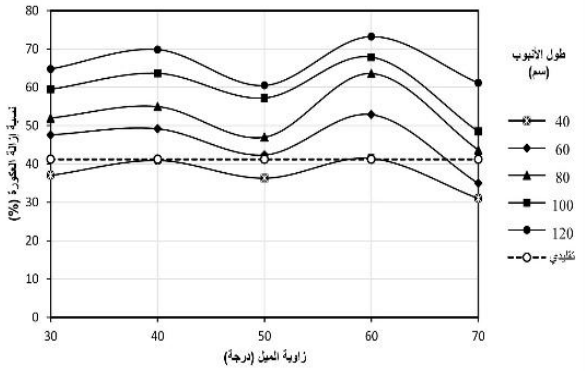
عند زاوية ميل 60 درجة وطول أُنبوب 120 سم. وعند زيادة جرعة الشب إلى 10 ملغم/لتر، ويبيّن الشكل (14) ارتفاع طفيف في نسبة إزالة العكارة مع زيادة زاوية ميل الأُنبوب فوق 30 درجة ولكافة مستويات طول الأُنبوب لغاية زاوية ميل 40 درجة، تعود بعدها بالانخفاض لتصل إلى أوطأ قيمة عند زاوية ميل 50 درجة، ثم تبدأ بعدها بالارتفاع لتصل ذروتها عند زاوية ميل 60 درجة، إذ يعمل التداخل بين تغير كل من طول الأُنبوب وزاوية ميله على تغيير معدل الحمل السطحي والذي بدوره يعمل على تغيير نسبة إزالة العكارة، وبلغت الزيادة في نسبة إزالة العكارة 32% فوق المرسب التقليدي عند زاوية ميل 60 درجة وطول أُنبوب 120 سم . أما عند جرعة شب 15 ملغم\لتر، فيلاحظ تغير طفيف في نسبة إزالة العكارة مع زيادة زاوية الميل فوق 30 درجة إلى أن تصل الزاوية إلى 50 درجة لتبدأ بعدها بالارتفاع لتصل إلى أعلى نسبة إزالة عند زاوية ميل الأُنبوب 60 درجة. وكانت الزيادة في نسبة إزالة العكارة 32% فوق المرسب التقليدي عند زاوية ميل 60 درجة وطول أُنبوب 120 سم (الشكل 15). وعند زيادة جرعة الشب إلى 20 ملغم/لتر فإن مقدار التغير في النسبة المئوية لإزالة العكارة كان طفيفاً ولم يتجاوز 5% ماعدا مع أطوال الأنابيب القصيرة 40 و 60 سم، ويلاحظ وجود قمتين لنسبة الإزالة عند زاويتي ميل 40 و 60 درجة. وكانت نسبة الإزالة فوق المرسب التقليدي بمقدار أكثر من 20% عند زاوية ميل أُنبوب 60 درجة وطول أُنبوب 120 سم (الشكل 16). ويبيّن الشكل (17) زيادة تأثير زاوية ميل الأُنبوب مع زيادة جرعة الشب إلى25 ملغم\لتر، ويلاحظ وجود قمتين لنسبة إزالة العكارة عند زاويتي ميل 40 و 60 درجة. وتراوحت الزيادة في نسبة إزالة العكارة بين أقل من 10% إلى أكثر من 20% مع زيادة زاوية الميل من 30 إلى 40 درجة، وبلغت الزيادة في نسبة إزالة العكارة مايقارب 18% فوق المرسب التقليدي عند زاوية ميل 60 درجة وطول أُنبوب 120 سم، ويمكن أن يعزى ذلك إلى تأثير التغير في طول الأُنبوب وزاوية الميل معاً.



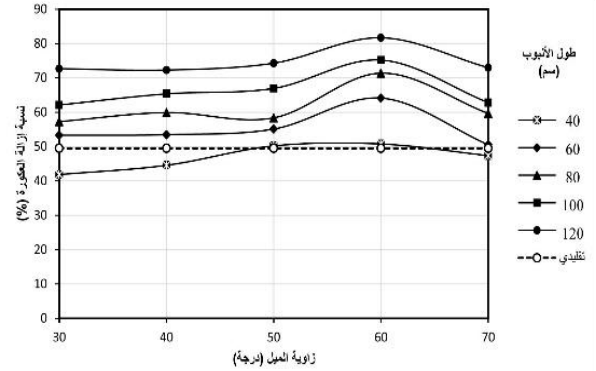

**شكل (12)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وزاوية الميل حسب طول الانبوب عند جرعة الشب صفر



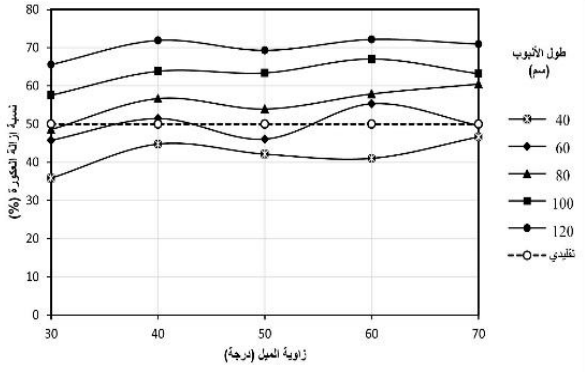

**شكل (13)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وزاوية الميل حسب طول الانبوب عند جرعة 5 ملغم/لتر



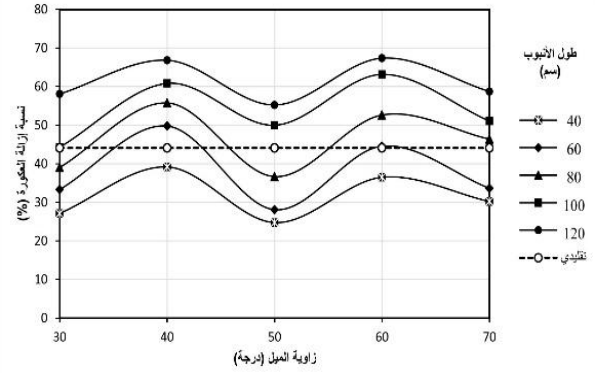

**شكل (14)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وزاوية الميل حسب طول الانبوب عند جرعة 10 ملغم/لتر




**شكل (15)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وزاوية الميل حسب طول الانبوب عند جرعة 15 ملغم/لتر




**شكل (16)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وزاوية الميل حسب طول الانبوب عند جرعة 20 ملغم/لتر




**شكل (17)** العلاقة بين نسبة ازالة العكورة في المرسب الانبوبي وزاوية الميل حسب طول الانبوب عند جرعة 25 ملغم/لتر

## 5. الاستنتاجات

من خلال النتائج التي تم التوصل اليها يمكن استنتاج ما يأتي :

1. في المياه ذات العكارة الواطئة مابين 20-29 NTU ، فإن استخدام المرسبات الأنبوبية يزيد من كفاءة إزالة العكارة بنسبة 20-30% بالمقارنة مع أنظمة الترسيب التقليدية.
2. تزداد كفاءة المرسب الأنبوبي مع كل زيادة في طول أُنبوب الترسيب وبصورة معنوية، وسجلت أفضل النتائج عند طول أُنبوب 120 سم.
3. وجود تأثير معنوي لجرعة الشب المضافة للمرسب الأنبوبي في نسبة إزالة العكارة، إذ تزداد نسبة الإزالة مع زيادة جرعة الشب لحين بلوغ جرعة الشب المثلى 15 ملغم/لتر ثم تنخفض بعد ذلك.
4. وجود تأثير معنوي لزاوية ميل المرسب الأنبوبي على نسبة إزالة العكارة، وكانت أفضل النتائج عند زاويتي ميل 40 و 60 درجة مع تفوق زاوية الميل 60 درجة في كثير من الأحيان.
5. كانت الحالة الامثل لكفاءة الترسيب عند استخدام مستويات طول انبوب 120 سم وجرعة شب 15 ملغم\لتر وزاوية ميل 60 درجة.

## 6. المصادر


[1] Al-Masri NA, Fadhel MN. Pollutant Variation through Tigris River in Mosul City", *Int. J. of Interdisciplinary Res. and Innovations*. 2014; **2** (4): 38-58.

[2] Mossa MT. Removal of High Turbidity of Tigris River by High Rate Circular Tube Settlers Prior to Coagulation M.Sc. Thesis in Civil Engineering, University of Mosul. 1978

[3] Fouad HA, Elhefny RM Marei AI. Evaluating the Use of Tube Settlers and Lamella Plates in Increasing the Efficiency of Sedimentation Tanks. *J. of Applied Life Sci. Int*. (2016); **7** (4):1-8.

[4] Bogusch ED. Split Countercurrent Flow Tube Settler. United States Patent, Patent Number: 4,783,255. 1988. Date of Patent Nov. 8, 1988, 10p.

[5] Fujisaki K Terashi M. Improvement of Settling Tank Performance Using Inclined Tube Settlers, *WIT Transactions on Ecology and the Env. Fukuoka, Japan*. 2005; 80:475-484.

[6] Johnson M, Ratnayaka DD, Brandt MJ. Twort's Water Supply. 6th ed., Published by Elsevier Ltd., Oxford, England; 2009. 300p.

[7] Baruth EE. Water Treatment Plant Design. 4th Ed., McGraw-Hill, New York, USA; 2005: 155p.

[8] Gurjar A, Bhorkar M, Bhole AG, Baitule P. Performance Study of Tube Settlers Module. *Int. J. of Eng. Res. and App*. 2017; **7**(3): 52-55.

[9] Cumming S. Process Optimization of an Upflow Sludge Blanket Clarifier through the Installation of Tube Settlers", Barwon Water, 65th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Kardinia Heights Centre, Geelong, Australia. 2002; 4-5 Sep., 2002, pp 59-66.