

تقييم استخدام الرمل السيليكبي المحلي في مرشحات معالجة مياه الشرب

م.م. أركان ضاري جلال
كلية الهندسة
جامعه الأنبار

م.م. مجيد مطر رمل
كلية الهندسة
جامعه الأنبار

د. عبد صالح فياض
مركز دراسات الصحراء
جامعه الأنبار

تاريخ قبول النشر: ٢٠١١/٥/٢

تاريخ الاستلام: ٢٠١١/١/٩

الخلاصة (Abstract):

تم في هذه الدراسة تحديد خواص الرمل السيليكبي العراقي لغرض استخدامه في المرشحات الرملية السريعة التي تعمل بالحاذية ، وتشمل الخواص حجم الحبيبات ، معامل الانتظام ، شكل الحبيبات ، المسامية ، الكثافة ، الديمومة ، المحتوى الكيميائي (السيليكبي) ، قابلية السيليكبا للذوبان في الحامض . على العموم تبين إن الرمل السيليكبي العراقي ذو ثبوتية كجايوية وميكانيكية ودرجة عالية

تم تصميم وبناء النموذج المختبري للمرشح ، الذي يتكون من عمود الترشيح وحوض تجميع المياه المعالجة تم تشغيل المرشح لعدد من الدورات (Cycles) وتم أخذ معدل النتائج لخصائص ماء خام معينة ، حيث ترشيح مياه ذات كدرة ، مواد صلبة عالقة كلية وعدد احتمالي بكتيري كلي متغيرة ، تم تسجيل النتائج لكل من المياه الخام ، والمياه المعالجة لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد الاحتمالي للبكتريا.

أظهرت الدراسة إمكانية استخدام الرمل السيليكبي العراقي في محطات معالجة مياه الشرب في المرشحات حيث بينت النتائج والتجارب الحقلية أن معدل كفاءة الإزالة الكلية عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٥.٢٤) NTU لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي كانت (٨٢.٩% ، ٨٢.٨% ، ٧٩.٥%) على التوالي ، ومعدل كفاءة الإزالة الكلية عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٩.٥٨) NTU لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي كانت (٧٩.٤% ، ٧٨.٧% ، ٧٤.١%) على التوالي ، ومعدل كفاءة الإزالة الكلية عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٢٨.٣٥) NTU لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي كانت (٧٢.٦% ، ٧٢.٧% ، ٦٠.٩%) على التوالي.

Possibility of using the western Iraqi desert Silica sand at drinking water treatment fitters

Abstract:

This study was determined specified characteristics of Iraqi silica sand , to use it in the drinking water treatment rapid gravity filters. These properties includes grain size ,uniformity coefficient , grain shape , porosity , density , durability, chemical content and capability of solubility in the acid ..this study explained that the Iraqi silica sand has high degree at mechanical and chemical stabilities .The e filter column was operate for many cycles , the average results of raw water and treated water for variable values (turbidity , total suspended solids and total bacterial count) was taken .

The study showed that possibility of use the Iraqi silica sand in the western Iraqi desert in the rapid gravity drinking water treatment plant filters . when the raw

water has initial turbidity (5.24 NTU), the study and the experimental tests showed that the average removal efficiency of turbidity, T.S.S, and T.B.C of (82.9%, 82.8% and 79.5%) respectively. when the raw water has initial turbidity (9.58 NTU), the study and the experimental tests showed that the average removal efficiency of turbidity, T.S.S, and T.B.C of (79.4%, 78.7% and 74.1%) respectively. when the raw water has initial turbidity (28.35 NTU), the study and the experimental tests showed that the average removal efficiency of turbidity, T.S.S, and T.B.C of (72.6%, 72.7% and 60.9%) respectively.

١- المقدمة (Introduction):

أن عملية معالجة المياه التقليدية تمر بمراحل عديدة تتضمن الترسيب والترشيح والتعقيم، يتم إستيراد كميات كبيرة من الرمل في المرشحات المستخدمة لمعالجة مياه الشرب، إن أكثر الأوساط المرشحة إستعمالاً وإنتشاراً لمعالجة المياه في العالم هو الرمل السيليكي (Silica Sand). على الرغم من الجهود المبذولة من قبل الحكومة والمنظمات الحكومية وغير الحكومية في توفير مياه شرب صالحة وأمينه للمواطن، فأن عدد كبير من الناس لا يستعمل مياه أمينه وصحية، بسبب الكلف العالية للتصميم والتنفيذ والتشغيل والصيانة لمحطات معالجة المياه، لذا فانه ضرورة البحث عن مواد محلية متوفرة وكفوءة في معالجة المياه يعتبر من العوامل المساعدة في عملية تشغيل وصيانة محطات معالجة المياه. حاجة العراق إلى تطوير عمليات معالجة المياه يمكن إستغلالها محلياً باستخدام مواد محلية متوفرة بكميات كبيرة، كما أن إستغلالها عالمياً سيؤدي إلى دعم الإقتصاد الوطني، يتوفر الرمل السيليكي العراقي بكميات كبيرة في الصحراء العراقية (المنطقة الغربية). يبلغ سمك هذه الطبقة حوالي (٢٣) متر.

تتراوح أحجام حبيبات الرمل السيليكي الخام بين (١.٢-٠.٠٧٥) ملم وتكون ذات شكل جيد. يبين الجدول رقم (٥) التركيب الكميائي للرمل السيليكي وتصل درجة نقاوة السيليكون إلى أكثر من (٩٨%) والصيغة الكميائية لهذه الرمال هي (SiO₂). يستخدم الرمل السيليكي بشكل كبير في الصناعات السيراميكية والزجاج، الإسمنت، الأسمدة. تحتاج صناعة الزجاج والسيراميك إلى حبيبات ناعمة جداً وصافية بينما تحتاج مرشحات المياه إلى حبيبات أكبر نسبياً ولا يهم اللون، علماً أن هذه المادة تتوفر محلياً بكميات كبيرة في مقلع عكاشات في منطقة عكاشات غربي العراق العائد إلى هيئة المسح الجيولوجي والتعدين ويسعر (٣٥٠٠٠) دينار عراقي للطن الواحد واصل للموقع من المقلع الحكومي وهو وجهة الإنتاج الوحيدة.

تعتبر عملية معالجة المياه بالترشيح من التقنيات الحديثة في المعالجة. تم استخدام المرشح الرملي البطيء في بداية عام (١٩٥٠)، والذي يوفر مياه ذات نوعية عالية خالية من التلوث البكتيري بأقل الكلف (تشغيل وصيانة).

استعملت المرشحات الرملية السريعة بعد الحرب العالمية الثانية كمرشح ذا طاقة إنتاجية عالية وتستغل مساحة اقل من المرشحات البطيئة. يحتاج المرشح الرملي السريع الى عملية غسيل مستمرة عند انخفاض الإنتاجية التي تكون بحدود (٤-٥)م/٣ من مساحة المرشح /ساعة بشرط أن يكون سمك طبقة الرمل بحدود (٠.٦-١.٠) متر. إن كفاءة المرشحات الرملية السريعة في الإزالة اقل مما هو عليه في المرشحات الرملية البطيئة.^(١)

٢- هدف الدراسة :

هذه الدراسة ستوجه لتحقيق الأهداف التالية :

- تحديد خصائص الرمل السيليكي العراقي، تقديم وصف مثالي لخصائص الرمل السيليكي، لاستخدامه في مرشحات محطات تنقية المياه الخام لأغراض الإستهلاك البشري.
- توظيف خصائص الرمل السيليكي في مرشحات معالجة مياه الشرب.

٣- هيدروليكية الترشيح :

يعرف الترشيح بأنه عملية فصل السائل مما يحويه من الجسيمات الصلبة عبر فاصل أو حاجز ذي مسامات تمنع مرور الجسيمات الصلبة عبرها وتسمح بمرور الراشح. ولقد استخدمت مواد عديدة في الترشيح مثل الرمل، الأثراسيت، الحجاره المكسرة، اللدائن، الخرسانة المسامية والتربة (Diatomaceous Earth). وقد أثبت الرمل محاسنه مقارنة بالمواد الأخرى المستخدمة كمادة ترشيحية.^(٢)

أما الترسيب فيعمل على إزالة الحبيبات العالقة الكبيرة والثقيلة من على سطح حبيبات الرمل ، وتؤثر عوامل عدة على كفاءة الترسيب مثل سرعة الترشيح ، سرعة ترسيب المواد العالقة، درجة اللزوجة ، مقاس الحبيبات ، درجة الحرارة ، عوامل التخثير ، عمق المرشح والجريان المضطرب .^(٣)

يمكن تقسيم المرشحات حسب سرعة الترشيح إلى مرشحات سريعة وأخرى بطيئة . كما يمكن تقسيم المرشحات حسب المادة المرشحة إلى أحادية مادة الترشيح ومتعددة مادة الترشيح ، كما تقسم المرشحات حسب حركة الماء إلى مرشحات الجاذبية ومرشحات الضغط .^(٤)

تصنف المرشحات إلى ثلاثة أنواع هي المرشحات البطيئة ، المرشحات السريعة والمرشحات الضغطية ، جميع هذه المرشحات تمتلك نفس طريقة التنفيذ للأوساط المرشحة التقليدية. الإختلاف الرئيسي بينها هو في نسبة الجريان ، إنحدار أو هبوط الضغط عبر الوسط المرشح . يستخدم المرشح الرملي البطيء عادة في محطات معالجة المياه لتجهيز المياه البلدية ويكون نسبة الجريان فيها أقل من (٤.٨٩) م/ساعة ، المرشحات الرملية التقليدية السريعة ويكون نسبة الجريان فيها (٤.٨٩- ٢٩.٥) م/ساعة أما المرشحات الضغطية ويكون نسبة الجريان فيها أكثر من (٣٠) م/ساعة .^(٥) يبين الجدول رقم (١) بعض خصائص المرشحات الرملية .^(٦)

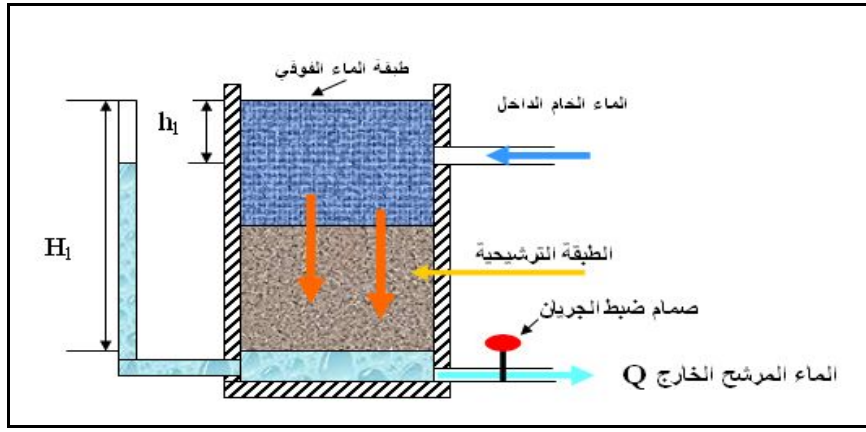
جدول رقم (١) بعض خصائص المرشحات

المرشح الرملي البطيء	المرشح الرملي السريع	الوصف
(٠.٤-٠.٢-٠.١) م/ساعة	(٢١-٥-٤) م/ساعة	معدل الترشيح Filtration Rate
(٢٠٠٠) متر مربع	(٤٠٠-٤٠) متر مربع	مساحة القاع
(١١٠-٩٠) سنتيمتر رمل	(٧٠-٦٠) سنتيمتر رمل	عمق الوسط المرشح
(٠.٣- ٠.٢٥) ملم	أكبر من (٠.٥٥) ملم	الحجم الفعال (E.S)
(٣- ٢)	أقل من (١.٥)	معامل الإنتظام (U.C)
غير متطبق	متطبق تكون الحبيبات الناعمة في الأعلى والخشنة في الأسفل	التوزيع الحجمي للحبيبات (G.S.D)
(١٢٠- ٦) سنتيمتر	(٢.٧٥-٠.٣) متر	خسائر الطاقة (Head loss)
(٦٠- ٢٠) يوم	(١٢- ٧٢) ساعة	مدة التشغيل
(٠.٢- ٠.٦) % من المياه المعالجة	(١- ٤) % من المياه المعالجة	كمية مياه الغسيل

تم استخدام الرمل السيليكلي في كثير من التطبيقات في معالجة المياه البلدية ، حيث تضمن العمل عمليات الترشيح لمعالجة المياه من خزانات التعفين ، هذه الدراسات أثبتت إمكانية استخدام الرمل السيليكلي في العديد من التطبيقات وهو وسط مرشح فعال وبديل عن الرمل الإعتيادي .^(٧)

تم استخدام المرشحات بعد الحرب العالمية الثانية مع معدل ترشيح يصل إلى أكثر من (٢٠) غالون بالدقيقة لكل قدم مربع ((gpm/ft²)). (5 to 25 m/h) ، هذه المرشحات السريعة لا تستخدم الملبدات ، إن عدم استعمال الملبدات والمخثرات وسرعة الترشيح العالية يعتبر عاملاً حرجاً أثناء تصميم وحدات المعالجة مثل المرشحات لذا يتطلب الحصول على وسط مرشح عالي التدرج وكفاءة ، المنخل القياسي الأمريكي رقم (٢٠ ، ٣٠) يعتبر مثالياً جداً للحصول على وسط عالي التدرج .^(٨)

تشابه المقاومة لجريان الماء عبر المرشحات تلك التي تحدث في الأنابيب الدقيقة أو الشعرية وأيضاً تشابه المقاومة من السائل على المواد المترسبة . تفترض المعادلة المستخدمة في هيدروليكية الترشيح وجود حبيبات منتظمة مكونة للوسط الترشيحي . يبين الشكل رقم (١) رسم تخطيطي يوضح خسائر الطاقة في المرشح .^(٤)



شكل رقم (١) يبين رسم تخطيطي يوضح خسائر الطاقة في المرشح

الخصائص المثالية للأوساط الحبيبية المرشحة (Typical properties of granular filter media):

توجد بعض الخصائص المهمة للأوساط المرشحة يجب أخذها بنظر الاعتبار عند إختيار الوسط المرشح (Media) لأنها تؤثر على كفاءة الترشيح ، هذه الخصائص تتضمن :

٤-١: حجم الحبيبات والتوزيع الحجمي (Grain Size & Size Distribution):

يؤثر حجم الحبيبات تأثيراً كبيراً على كفاءة عملية الترشيح وعلى متطلبات عملية الغسيل العكسي للوسط المرشح . يتم تحديد حجم الحبيبات بإستخدام عدة طرق منها طريقة التحليل المنخلي المستخدمة من قبل الهيئة الأمريكية للمواد والفحوصات (ASTM)، يستخدم الفحص القياسي للتحليل المنخلي للحبيبات الناعمة والخشنة المواصفة القياسية (C 163-92) ^(٨). يتم رسم النتائج على ورق لوغاريتمي (Log -Paper) ، وكما في الشكل رقم (٤) . في الولايات المتحدة الأمريكية يتم وصف التدرج الحجمي للأوساط المرشحة بإستخدام الحجم الفعال (Effective Size) ومعامل الإنتظام (Uniformity Coefficient) . يعرف الحجم الفعال بأنه مقياس فتحة المنخل بالمليمتر التي تسمح بمرور ما نسبته (١٠ %) من الحبيبات وزناً ، ويتم إيجادها من المنحنى ويمرر له (d_{10}) . أما معامل الإنتظام فهو مقياس لمدى حجوم الحبيبات وهو النسبة بين (d_{60}) إلى (d_{10}) التي يتم إيجادها من منحنى التوزيع الحجمي ^(٩).

يعتبر حجم حبيبات الرمل من العوامل المهمة في إختيار الأوساط المرشحة وذلك للأسباب التالية :

المرشحات ذات الوسط الحبيبي الناعم تنتج نوعية مياه أفضل من المرشحات ذات الوسط الخشن ^(١٠). المرشحات ذات الوسط الحبيبي الناعم تسبب خسائر في الشحنة (الطاقة) (Head loss) أكثر من المرشحات ذات الوسط الخشن . المرشحات ذات الوسط الحبيبي الخشن تسمح للجسيمات بالمرور أعمق خلال الوسط المرشح وبالتالي يزيد مدة تشغيل المرشح أكثر مما هو في المرشحات ذات الوسط الناعم . المرشحات ذات الوسط الحبيبي الخشن تكون عملية الغسيل أكثر فعالية مما هو في المرشحات ذات الوسط الناعم ، وذلك لأن الجسيمات الخشنة تحتاج إلى سرعة كبيرة لغسلها وهذا بدوره سيسبب بقوى قص كبيرة على اللبادات الملتصقة بالحبيبات الخشنة ^(١٠).

٤-٢: شكل الحبيبات والكروية (Grain Shape & Roundness):

إن شكل وكروية الحبيبات يعتبر مهماً بسبب تأثيرها على متطلبات عملية جريان المياه في مرحلة الغسيل العكسي للوسط المرشح ، مسامية الوسط المرشح ، كفاءة الترشيح ، خسائر الطاقة (Headlosses) ^(١١).

٣-٤: كثافة الحبيبات (Grain Density):

تعتبر الكثافة الكتلية للوسط المرشح من المعايير المهمة للأوساط المرشحة بسبب تأثيرها على متطلبات عملية الغسيل العكسي للوسط المرشح. الحبيبات التي كثافة عالية نسبياً و لها نفس القطر تحتاج إلى معدل جريان أعلى لتحقيق متطلبات عملية الغسيل. يتم إيجاد كثافة الحبيبات الجافة حسب المواصفة القياسية للهيئة الأمريكية للمواد والمواصفات (ASTM) رقم (93-128 C).^(٨)

٤-٤: صلابة الحبيبات (Grain Hardness):

تعتبر صلابة الحبيبات من العوامل المهمة من اجل ديمومة عمل المرشح لفترات طويلة الأمد (Long Time Operation)، يتم وصف الصلابة باستخدام رقم موهر (MOH Number) وهو مقياس من عشر درجات لقدرة المعادن والمواد على الحدش أو الحك. تم وضع جدول يبين صلابة كثير من المواد من قبل (Trefethen)^(١٢). تختلف الأوساط المرشحة في درجة صلابتها، يمتلك الفحم والكاربون الحبيبي المنشط صلابة قليلة بينما يكون الرمل السيليكلي صلابة عالية تتراوح بين (٦ - ٧) لذلك لا داعي للقلق بشأن صلابة الرمل السيليكلي.^(١٠)

٥-٤: المسامية (Porosity):

وهي النسبة بين حجم الفراغات إلى الحجم الكلي، ويعبر عنها بنسبة عشرية أو كنسبة مئوية. تؤثر المسامية على متطلبات عملية الغسيل العكسي للوسط المرشح، خسائر الطاقة وثبوتية الوسط المرشح. تتأثر المسامية بشكل الحبيبات، الحبيبات الزاوية (Angular Grains) لها معامل شكل (كروية) واطئ بينما تكون أكثر مسامية وثبوتية. إن استخدام مواد لها معامل انتظام عالي، وتداخل الحبيبات الصغيرة بين الفراغات للحبيبات الكبيرة في الوسط المرشح سيؤدي إلى تقليل المسامية. إن مسامية الأوساط المرشحة تكون عالية بالقرب من جدار عمود الترشيح لذا من الملائم جعل قطر عمود الترشيح أكبر بـ (٥٠) مرة من أكبر قطر للحبيبات للوسط المرشح وعلى سبيل المثال (d_{90}) للتقليل من تأثير جدران عمود الترشيح.^(١١)

٦-٤: التركيب الكيماوي للوسط المرشح:

يجب أن يكون التركيب الكيماوي متوافقاً مع المواصفة العراقية رقم (١٥٥٥)، من خلال فهم العوامل السابقة لخصائص الأوساط المرشحة يقدم الجدول رقم (٢) بعض القيم المثالية لبعض خصائص الأوساط المرشحة. إن الفرق الكبير في كثافة الحبيبات الخشنة يسمح بتصميم مرشح ثنائي الطبقة أو أكثر، الذي يستخدم الوسط الخشن ذي الكثافة الواطئة في الأعلى والوسط الناعم ذي الكثافة العالية في الأسفل. يبين الجدول رقم (٢) مواصفات الرمل والحصى المستخدم في عملية الترشيح حسب المواصفة العراقية رقم (١٥٥٥) لرمل المرشحات.^(١٣)

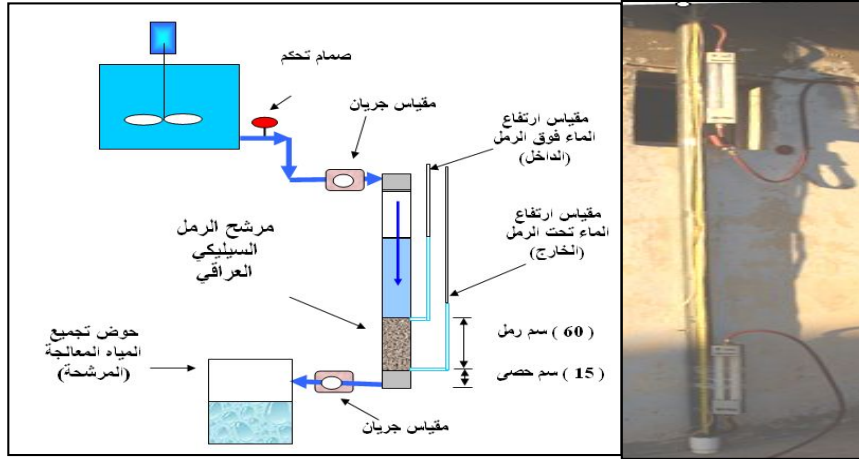
جدول رقم (٢) مواصفات الرمل والحصى المستخدم في عملية الترشيح حسب المواصفة العراقية رقم (١٥٥٥)

المتطلبات	الخاصية	المتطلبات	الخاصية					
٣/كجم (٢٦٧٠-٢٥٠٠)	الكثافة الحبيبية	٢ % كحد أعلى	الأطيان					
١.٥ كحد أعلى	معامل الإنتظام	٥ % كحد أعلى	المواد العضوية					
لا تقل عن (٩٠%)	نسبة السيليكال للرمل	٢ % كحد أعلى	التآكل بالحامض					
		١ % كحد أعلى	SO ₃					
النسبة المئوية للمواد العابرة من غربال حجم (ملم)								
٠.٤٢٥	٠.٥	٠.٦	٠.٧١	٠.٨٥	١	١.١٨	١.٤	رمل
-	-	٥	-	٩٥	-	-	-	مرشحات
								٠.٦-٠.٨٥

٥- طريقة العمل:

أجريت هذه الدراسة لمعرفة إمكانية استثمار الرمل السيليكلي العراقي كوسط مرشح في مرشحات محطات مياه الشرب. تم عمل نموذج لعمود الترشيح كما في المخطط رقم (٣) الذي يتكون من حوض الماء الخام، حيث استخدم طين الكاؤولين لإضافة الخصائص الى الماء الخام (مياه ذات كدرة ٥.٢٤، ٩.٥٨، ٢٨.٣٥) (NTU) وبجسم (١) متر مكعب، تم تجهيز حوض الماء الخام بمحرك كهربائي (خلاط) وصمام تحكم (Valve). عمود الترشيح بقطر داخلي (٧.٠) سنتمتر وبارتفاع (٢.٩٥) متر. وضعت طبقة من الحصى تحت طبقة الرمل لغرض الإسناد، وضع (٦٠) سم من الرمل السيليكلي بعمود الترشيح، ثبت على المرشح صمامات للتحكم

بمعدل جريان المياه (الداخله) ، مقياس لمعدل الجريان (Flowmeter) ومقاييس لارتفاع الماء لمعرفة مقدار خسائر الطاقة خلال الوسط المرشح ، وكذلك لتحديد فترة التشغيل الملائمة حسب مقدار خسائر الطاقة. استخدمت عبوات زجاجية معتمة سعة (١٠٠) مللتر لحفظ العينات لغرض الفحص ، يثبت عليها المعلومات الخاصة مثل ماء خام (غير معالج ، ماء معالج ، الكدرة (لإمكانية إيجادها حقلياً) ، فترة التشغيل والتأريخ ، سرعة الترشيح ، مقدار خسائر الطاقة. تم ترشيح مياه خام ذات كدرة ، مواد صلبة عالقة كلية وعدد احتمالي بكتيري كلي متغيرة . تم مراعاة المواصفات والطرق القياسية المتبعة في عملية أخذ النماذج والتحليل للمياه⁽¹⁴⁾ . أعمدت المواصفة العراقية رقم (١٥٥٥) لتقييم خصائص الرمل السيليكبي العراقي. أجريت فحوصات خصائص الرمل السيليكبي في مختبرات كلية الهندسة أما فحوصات نوعية المياه تم قياس الكدرة حقلياً ، أما المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي فقد أجريت في مشروع ماء الرمادي الكبير ويشرف الباحثين .



شكل رقم (٣) مخطط لعمود الترشيح المستخدم في البحث

٦- الأجهزة والأدوات المستخدمة : أستخدمت الأجهزة والأدوات الموضحة في الجدول التالي:

جدول رقم (٣) الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث

الموديل	اسم الجهاز	الموديل	اسم الجهاز
TAISITE	فرن كهربائي	HI93703	جهاز قياس الكدرة
Fanem model -502 size 2	حاضنة	Sartorius	ميزان كهربائي
GEC-Elliot -England	مقاييس جريان	(Retsch)	أوساط مغذية
ROTAMETER			جهاز فحص الحجم الحبيبي

٧- النتائج والمناقشة :

٧-١ : خصائص الرمل السيليكبي العراقي:

يبين الجدول رقم (٤) مواصفات الرمل السيليكبي المستخدم في عملية الترشيح بينما يشير الجدول رقم (٥) التركيب الكيماوي للرمل السيليكبي العراقي

جدول رقم (٤) مواصفات الرمل السيليكبي المستخدم في عملية الترشيح

القيمة	الخاصية	القيمة	الخاصية
١٥٦٥	الكثافة الظاهرية (كغم/م ^٣)	قليلة جداً	الأطيان %
شبه زاوي - شبه مدور	الشكل	قليلة جداً	المواد العضوية %
٠.٦ - ٠.٨	معامل الشكل ψ	٠.١٢	التآكل بالحامض بعد العمر بالحامض (HCl)
١.٢	معامل الإنتظام		لمدة (٢٤) ساعة %
٩٨.٣%	نسبة السيليكبا %		
٠.٦١	الحجم الفعال (E.S)	قليلة جداً	محتوى الكبريتات (SO ₃) %
٤٢	المسامية %	٢٦١٠	الكثافة الحبيبية (كغم/م ^٣)

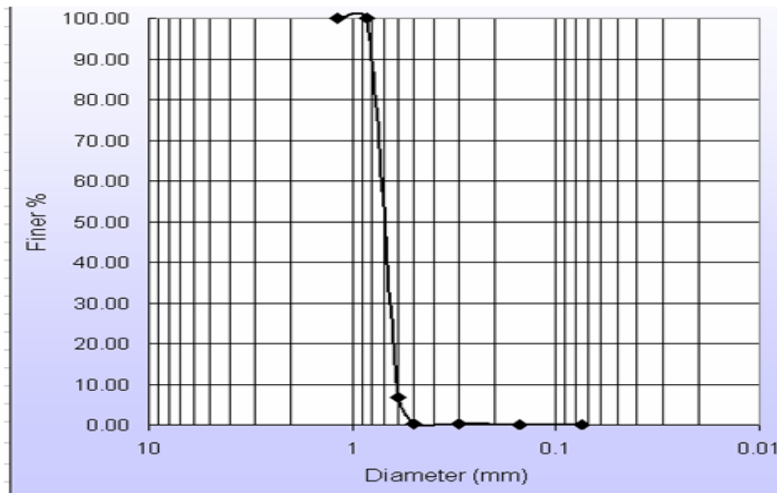
جدول رقم (٥) التركيب الكيميائي للرمل السيليكي

التركيب الكيميائي	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	فقد بالاحتراق
المحتوى (%)	٩٨.٣	٠.٠٦	٠.٥٥	١.٠٦	٠.١٢	٠.١٥	٠.١٦	٠.٧٤

أظهرت الفحوصات المخبرية بأن الرمل السيليكي المحلي يمتلك خصائص فيزيائية وكبائية ممتازة يمكن توظيفها في عملية معالجة المياه من خلال استخدامه في المرشحات، حيث أن المواصفات الفيزيائية والكيميائية الموضحة في الجدولين رقم (٤) ورقم (٥) تتوافق مع المواصفة العراقية رقم (١٥٥٥) لرمل المرشحات حيث تبين إن الرمل السيليكي العراقي ذو ثبوتية كباوية وميكانيكية وبدرجة عالية حيث كانت نسبة الذوبانية في الحامض بعد (٢٤) ساعة حوالي (٠.١٢%) والمحتوى السيليكي كان (٩٨.٣%) وكانت الكثافة الكتلية حوالي (٢٦١٥) كغم/م^٣. شكل الحبيبات يتراوح ما بين (شبه زاوي - شبه مدور)، حجم الحبيبات الفعال كان (٠.٦١) ملم، معامل الإنتظام كان (١.٢). ونسبة الأطنان والمواد العضوية قليلة جداً وكانت نسبة المسامية (٤٢%).

٢-٧: الحجم الحبيبي (Grain Size):

يبين الشكل رقم (٤) التوزيع الحجمي لحبيبات الرمل السيليكي مرسوم على ورق لوغاريتمي



شكل رقم (٤) يبين التوزيع الحجمي لحبيبات الرمل السيليكي العراقي

٣-٧: ظروف الترشيح (Filtration Conditions):

تم عمل نموذج مخبري مصغر لمعالجة المياه كما مبين في الشكل رقم (٣)، تم استخدام عمود (أنبوب) ذو قطر داخلي مقداره (٧) سنتيمتر وارتفاع (٢.٩٥) متر مساحة سطحية (٣٨.٤٨٥) سنتيمتر مربع. كان عمق الوسط المرشح (الرمل) (٦٠) سنتيمتر أي ما يعادل (٢٣٠٨) سنتيمتر مكعب. من خلال الدراسة الأولية للموديل (Small Scale Plant) ثبتت ظروف التشغيل التالية في البداية و استخدم ماء نظيف نسبياً لغرض تخمين قابلية ترشيح الرمل السيليكي اعتماداً على ارتفاع عمود الماء فوق طبقة الرمل السيليكي، يبين الجدول رقم (٦) والشكل رقم (٥) تغير قابلية الترشيح للرمل السيليكي مع تغير ارتفاع عمود الماء فوق طبقة الرمل السيليكي، وتم التحكم بسرعة الترشيح من خلال صمام تحكم ومقياس للجريان، تم تثبيت معدل جريان مقداره (٠.٧٥) لتر / دقيقة من خلال صمامات التحكم حيث كانت قابلية الترشيح (١١.٧) م/ساعة، ليلائم قابلية الترشيح للرمل والذي يكون عندما يكون منسوب الماء (١) متر فوق طبقة الرمل السيليكي وليعطي مرونة في فترة تشغيل المرشح. احتوى المرشح على طبقة سفلية من الحصى المدرج (١/٨×٣/٤) وبسمك (١٠) سم لغرض إسناد طبقة الرمل وما مقداره (٦.٠٣٥) كغم) من الرمل السيليكي العابر من المنخل رقم (٢٠) والمتبقي على المنخل رقم (٣٠).

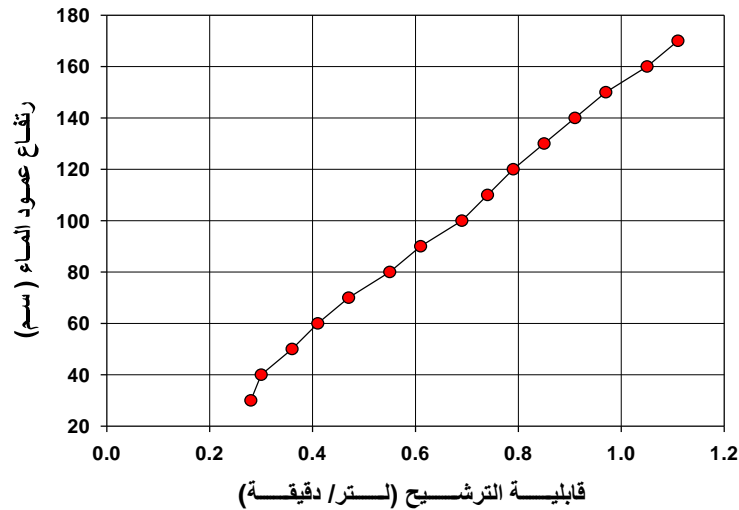
تم استخدام مياه معالجة (ترسيب) خالية من الكدرة لغرض معرفة قابلية الترشيح للرمل السيليكي العراقي. يبين الجدول رقم (٦) والشكل رقم (٥) تغير قابلية الترشيح مع تغير ارتفاع عمود الماء فوق الرمل السيليكي، في بداية تشغيل عمود الترشيح تم إختيار ارتفاع

(١٠٠) سم حيث كانت قابلية الترشيح (٠.٦٩) لتر / دقيقة والتصريف الداخل تم تثبيته عند (٠.٧٥) (لتر / دقيقة) لغرض إعطاء قابلية ترشيح أولية تتلاءم مع التصريف الداخل وكذلك يعطي مرونة في فترة تشغيل المرشح .

جدول رقم (٦) تغير قابلية الترشيح للرمل السيليكي العراقي مع تغير منسوب عمود الماء فوق طبقة الرمل السيليكي

إرتفاع عمود الماء (سم)	قابلية الترشيح (لتر/دقيقة)	إرتفاع عمود الماء (سم)	قابلية الترشيح (لتر/دقيقة)
٣٠	٠.٢٨	١١٠	٠.٧٤
٤٠	٠.٣٠	١٢٠	٠.٧٩
٥٠	٠.٣٦	١٣٠	٠.٨٥
٦٠	٠.٤١	١٤٠	٠.٩١
٧٠	٠.٤٧	١٥٠	٠.٩٧
٨٠	٠.٥٥	١٦٠	١.٠٥
٩٠	٠.٦١	١٧٠	١.١١
١٠٠	٠.٦٩		

يوضح الشكل رقم (٥) إن زيادة ارتفاع عمود الماء فوق طبقة الرمل يؤدي الى زيادة قابلية الترشيح (Filterability).



شكل رقم (٥) يبين قابلية الترشيح مع تغير ارتفاع عمود الماء فوق طبقة الرمل السيليكي

توضح الجداول رقم (٧) ، رقم (٨) ورقم (٩) نتائج التي تم الحصول عليها بترشيح مياه خام ذات معدل كدرة أولية ، معدل مواد صلبة عالقة كلية أولية و معدل عدد احتمالي بكتيري كلي أولي متغيرة باستخدام رمل سيليكي بسمك (٦٠) سم

جدول رقم (٧) معدل النتائج لماء خام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٥.٢٤) NTU

الزمن (ساعة)	التصريف (لتر/دقيقة)	خسائر الشحنة (الطاقة) (سم)	قابلية الترشيح (لتر/دقيقة) Qout	كفاءة إزالة الكدرة (%)	كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة (%)	عدد بكتيريا كلي = ٤٨
	Qin	HL				
٠	٠.٧٥	٣٣	٠.٦٩	٧٦.١	٧٦.٩	٦٠.٤
٥	٠.٧٥	٣٥	٠.٧١	٧٦.٩	٧٧.٩	٦٠.٤
١٠	٠.٧٥	٣٧	٠.٧١	٧٧.٨	٧٨.٣	٦٤.٥
١٥	٠.٧٥	٤١	٠.٧	٧٨.٦	٧٨.٩	٦٤.٥
٢٠	٠.٧٥	٤٣	٠.٧٢	٧٩.٣	٧٩.٦	٦٦.٦
٢٥	٠.٧٥	٤٨	٠.٧٣	٨٠.٥	٨٠.٢	٦٨.٧
٣٠	٠.٧٥	٥١	٠.٧٣	٨١.٢	٨٠.٩	٧٠.٨
٣٥	٠.٧٥	٥٤	٠.٧٤	٨٢.٤	٨١.٣	٧٢.٩

٧٥	٨١.٧	٨٠.٧	٠.٧٤	٥٧	٠.٧٥	٤٠
٧٧.٠	٨٢.٠	٨٢.٤	٠.٧٤	٦٢	٠.٧٥	٤٥
٧٩.١	٨٢.٤	٨٣.٠	٠.٧٤	٦٩	٠.٧٥	50
٨١.٢	٨٢.٩	٨٣.٥	٠.٧٥	٧٥	٠.٧٥	٥٥
٨٣.٣	٨٣.٢	٨٤.٣	٠.٧٤	٧٩	٠.٧٥	٦٠
٨٥.٤	٨٤.٢	٨٤.٧	٠.٧٥	٨٤	٠.٧٥	٦٥
٨٧.٥	٨٤.٥	٨٤.٩	٠.٧٤	٨٧	٠.٧٥	٧٠
٨٧.٥	٨٤.٩	٨٥.٣	٠.٧٤	٨٩	٠.٧٥	٧٥
٨٩.٥	٨٥.٥	٨٥.٨	٠.٧٣	٩٨	٠.٧٥	٨٠
٩١.٦	٨٦.٢	٨٦.٤	٠.٧٤	١١٧	٠.٧٥	٨٥
٩٣.٧	٨٦.٦	٨٧.٠	٠.٧٢	١٣٧	٠.٧٥	٩٠
٩٥.٨	٨٧.١	٨٧.٤	٠.٦٩	١٦٧	٠.٧٥	٩٥
٩٥.٨	٨٧.٨	٨٧.٩	٠.٦٧	٢٠٣	٠.٧٥	١٠٠
٩٧.٩	٨٨.٦	٨٨.٣	٠.٦٥	٢١٤	٠.٧٥	١٠٢
	79.50	82.8	82.92	0.72	85.45	المعدل

جدول رقم (٨) معدل النتائج لماء خام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٩.٥٨) NTU

خصائص الماء الخام : المواد الصلبة العالقة = ٥٤.٥٧ ملغم / لتر ، الكدرة = (٩.٥٨) ، عدد بكتريا كلي = ٦٤						
الزمن (ساعة)	التصريف (لتر/دقيقة)	خسائر الشحنة (الطاقة) (سم)	قابلية الترشيح (لتر /دقيقة) Qout	كفاءة إزالة الكدرة (%)	كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة (%)	كفاءة إزالة البكتريا الملاحظات
	Qin	HL				
٠	٠.٧٥	٤٠	٠.٦٤	٧٠.٨	٧٢.٨	٥٨.٠
٥	٠.٧٥	٤٧	٠.٦٥	٧٢.٠	٧٣.١	٥٩.٦
١٠	٠.٧٥	٥٦	٠.٦٧	٧٣.١	٧٣.٣	٦١.٢
١٥	٠.٧٥	٦٥	٠.٦٨	٧٤.٠	٧٣.٧	٦٢.٠
٢٠	٠.٧٥	٧٦	٠.٦٩	٧٥.٤	٧٤.٢	٦٣.٧
٢٥	٠.٧٥	٨١	٠.٧٠	٧٦.٣	٧٤.٦	٦٥.٣
٣٠	٠.٧٥	٨٥	٠.٦٩	٧٧.٠	٧٥.٢	٦٧.٧
٣٥	٠.٧٥	٨٨	٠.٧٠	٧٧.٨	٧٥.٩	٧٠.١
٤٠	٠.٧٥	٩٤	٠.٧٢	٧٨.٧	٧٦.٥	٧١.٧
٤٥	٠.٧٥	٩٩	٠.٧١	٧٩.٥	٧٧.٥	٧٢.٥
50	٠.٧٥	١١٢	٠.٧٢	٨٠.٤	٧٨.٥	٧٥.٨
٥٥	٠.٧٥	١٢٧	٠.٧١	٨١.٦	٧٩.٧	٧٩.٩
٦٠	٠.٧٥	١٤٨	٠.٧٠	٨٢.٧	٨٠.٩	٨٣.٠
٦٥	٠.٧٥	١٦٦	٠.٦٩	٨٣.٩	٨٢.٣	٨٤.٦
٧٠	٠.٧٥	١٨٩	٠.٦٨	٨٥.٠	٨٥.٠	٨٦.٢
٧٥	٠.٧٥	٢٠٤	٠.٦٥	٨٦.١	٨٦.٢	٨٧.٩
٨٠	٠.٧٥	٢١٧	٠.٦٢	٨٧.٣	٨٧.٦	٩١.١
٨٥	٠.٧٥	٢٢٧	٠.٥٨	٨٨.٧	٩٠.٦	٩٣.٥
		١٠٤.٨	٠.٦٧	٧٩.٤	٧٨.٧٥	٧٤.١
	المعدل					طفح

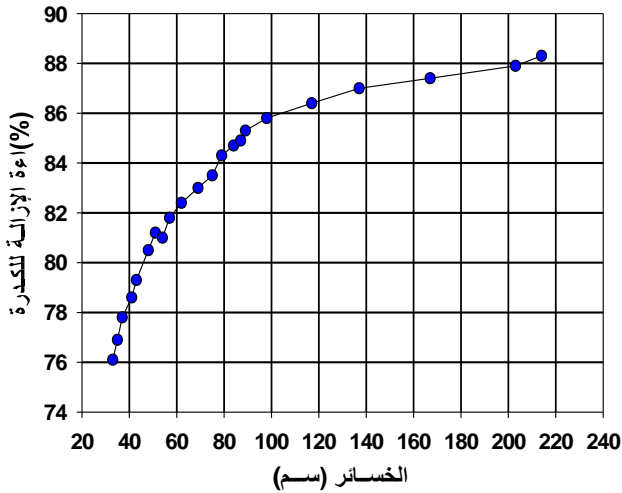
جدول رقم (٩) معدل النتائج لماء خام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٢٨.٣٥) NTU

خصائص الماء الخام : المواد الصلبة العالقة = ٦٨.٣٧ ملغم / لتر ، الكدرة = ٢٨.٣٥ ، عدد بكتريا كلي = ٧٣						
الزمن (ساعة)	التصريف (لتر/دقيقة)	خسائر الشحنة (الطاقة) (سم)	قابلية الترشيح (لتر /دقيقة) Qout	كفاءة إزالة الكدرة (%)	كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة (%)	كفاءة إزالة البكتريا الملاحظات
	Qin	HL				
٠	٠.٧٥	٦٢	٠.٦١	٦٧.٤	٦٨.٤	٥٣.٧
٥	٠.٧٥	٩٥	٠.٦٢	٦٩.٨	٧٠.٨	٥٥.٧
١٠	٠.٧٥	١٣٩	٠.٦١	٧٢.٩	٧٢.٩	٥٩.١

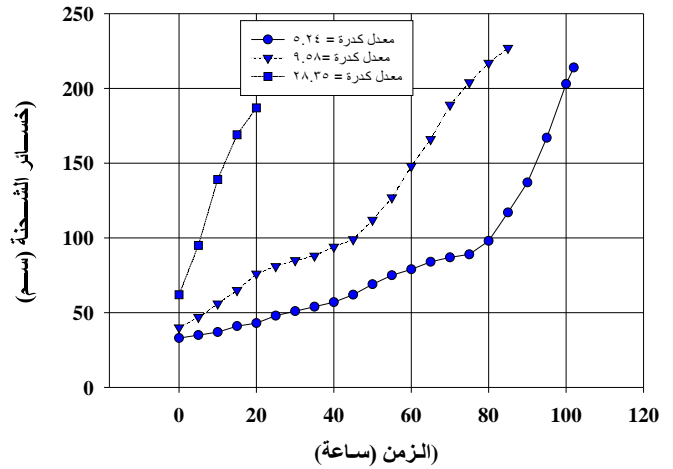
	٦٤.٦	٧٤.٧	٧٥.٤	٠.٦٢	١٦٩	٠.٧٥	١٥
طح	٧١.٤	٧٦.٩	٧٧.٨	٠.٥٥٠	١٨٧	٠.٧٥	٢٠
المعدل		٦٠.٩	٧٢.٧٤	٧٢.٦	٠.٦٠	١٣٠.٤	

١-٣-٧ :- خسائر الشحنة (الطاقة) :

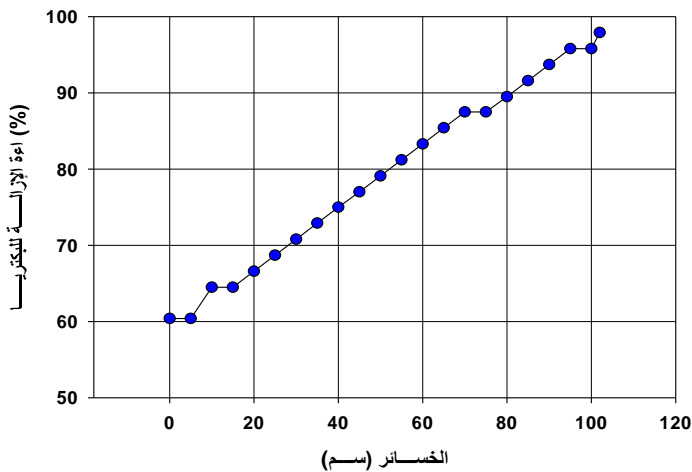
توضح الأشكال التالية (٦-١٥) تغير خسائر الشحنة (الطاقة) مع الزمن لماء خام مختلف الخصائص ، إن علاقة الخسائر مع كل من الكدرة، المواد الصلبة العالقة الكلية ، العدد البكتيري الكلي والزمن علاقة طردية ، حيث يتبين أن زيادة كل من الكدرة والمواد الصلبة العالقة الكلية و العدد البكتيري الكلي تزداد قيمة الخسائر بمرور الزمن . كان معدل الخسائر في الطاقة (الشحنة) (٨٥.٤ سم) عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٥.٢٤) NTU وفترة تشغيل (١٠٢) ساعة (أكثر من أربعة أيام) ، كان معدل الخسائر في الطاقة (الشحنة) (١٠٤.٨ سم) عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٩.٥٨) NTU وفترة تشغيل (٨٥) ساعة (أكثر من ثلاثة أيام)، كان معدل . كان معدل الخسائر في الطاقة (الشحنة) (١٣٠.٤ سم) عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٢٨.٣٥) NTU وفترة تشغيل (٢٠) ساعة (اقل من يوم واحد).



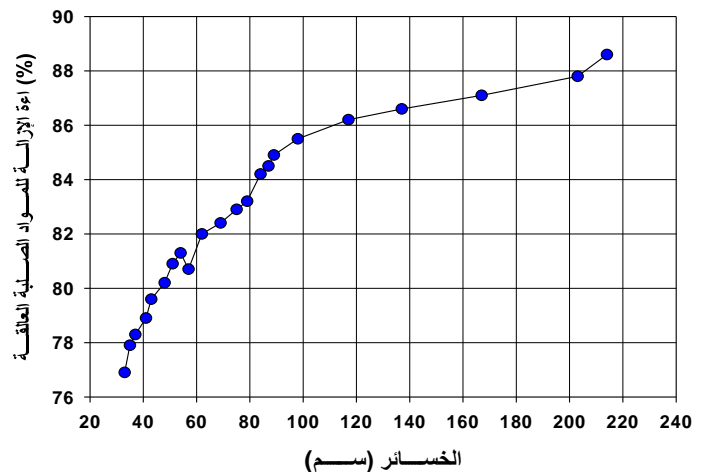
شكل رقم (٧) يبين تغير كفاءة الإزالة لكدرة تساوي (٥.٢٤) مع الخسائر



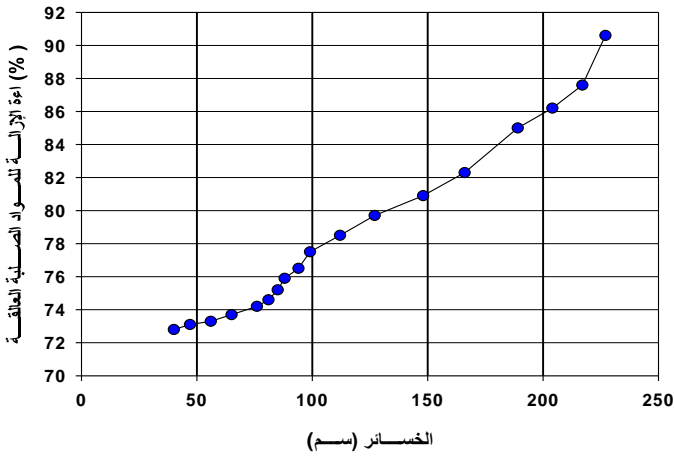
شكل رقم (٦) يبين تغير خسائر الشحنة مع الزمن



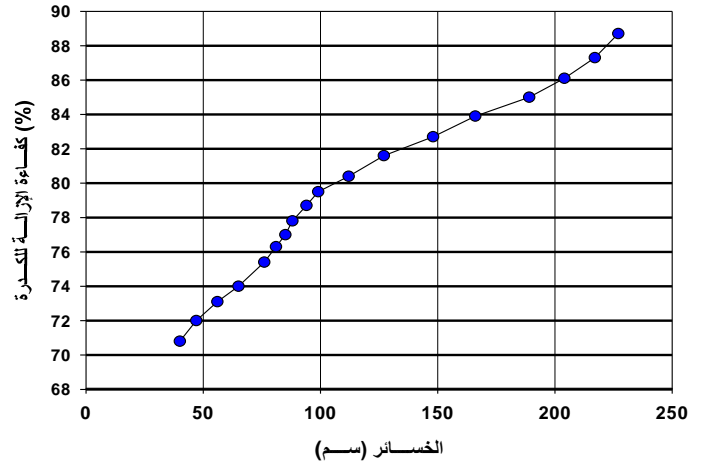
شكل رقم (٩) يبين تغير كفاءة الإزالة للبكتيريا لمعدل كدرة يساوي (٥.٢٤)



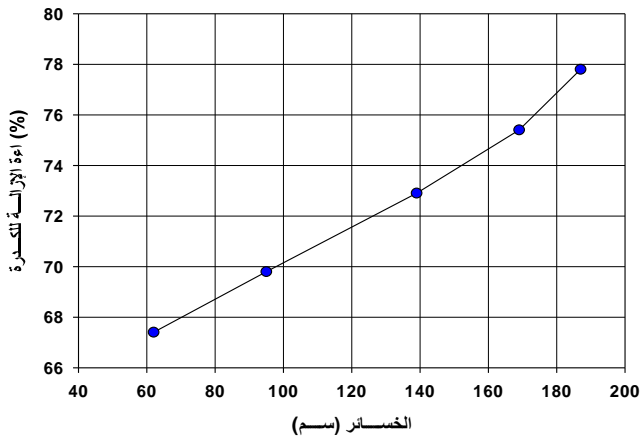
شكل رقم (٨) يبين تغير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٥.٢٤)



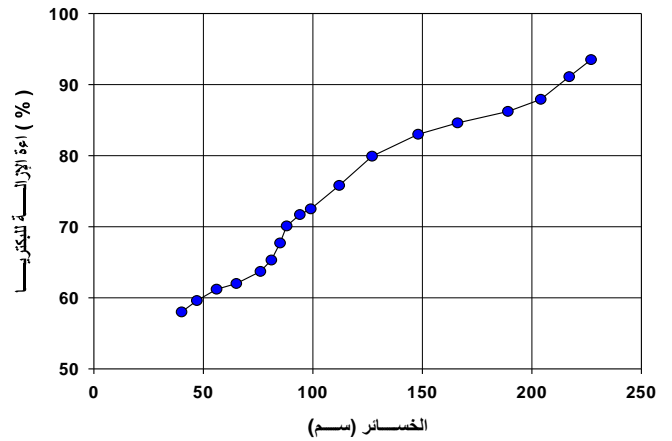
شكل رقم (١١) يبين تغيير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٩.٥٨)



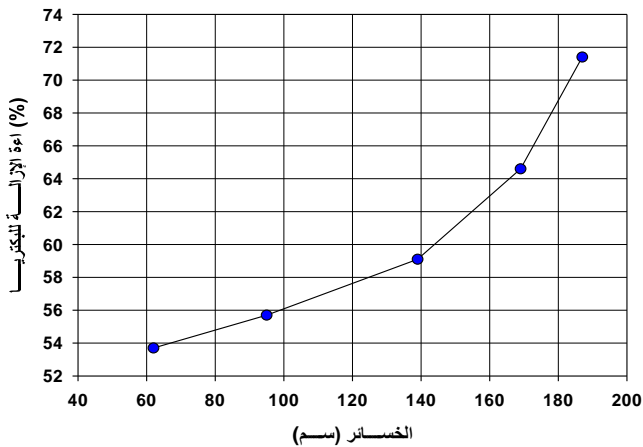
شكل رقم (١٠) يبين تغيير كفاءة الإزالة للكردرة مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٩.٥٨)



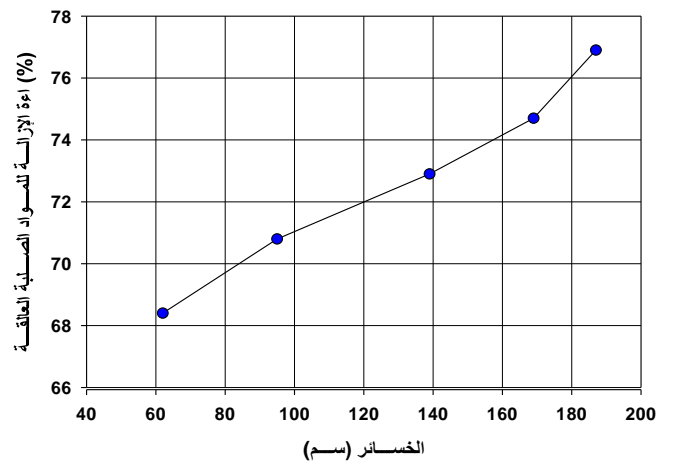
شكل رقم (١٣) يبين تغيير كفاءة الإزالة للكردرة مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٢٨.٣٥)



شكل رقم (١٢) يبين تغيير كفاءة الإزالة للبتريسا مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٩.٥٨)



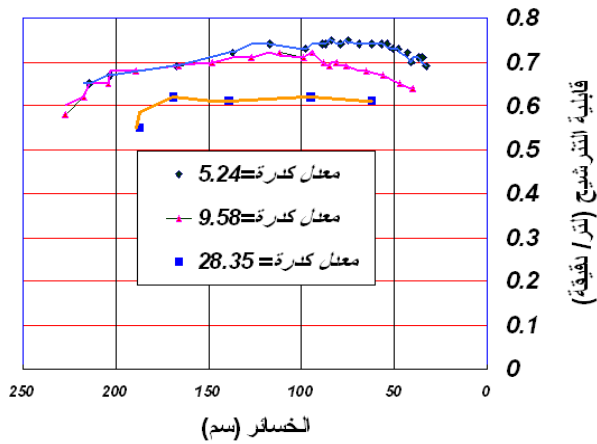
شكل رقم (١٥) يبين تغيير كفاءة الإزالة للبتريسا مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٢٨.٣٥)



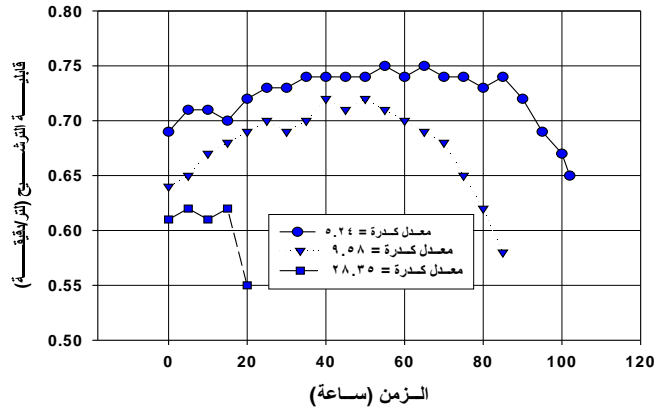
شكل رقم (١٤) يبين تغيير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع الخسائر لمعدل كدرة يساوي (٢٨.٣٥)

٢-٣-٧:- قابلية الترشيح :

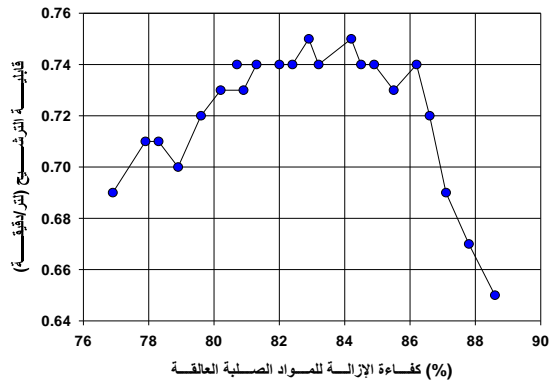
توضح الأشكال التالية (١٦-٢٦) تغير قابلية الترشيح مع الزمن لماء خام مختلف الخصائص ، وكذلك توضح العلاقة بين كفاءة الإزالة و قابلية الترشيح ، حيث يتبين أن زيادة كل من الكدرة والمواد الصلبة العالقة الكلية و العدد البكتيري الكلي تقل قابلية الترشيح بمرور الزمن . . . كان معدل قابلية الترشيح (٠.٧٢ لتر/دقيقة) عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٥.٢٤) NTU وفترة تشغيل (١٠٢) ساعة (أكثر من أربعة أيام)، كان معدل قابلية الترشيح (٠.٦٧ لتر/دقيقة) عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٩.٥٨) NTU وفترة تشغيل (٨٥) ساعة (أكثر من ثلاثة أيام)، كان معدل قابلية الترشيح (٠.٦ لتر/دقيقة) عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٢٨.٣٥) NTU وفترة تشغيل (٢٠) ساعة (اقل من يوم واحد).



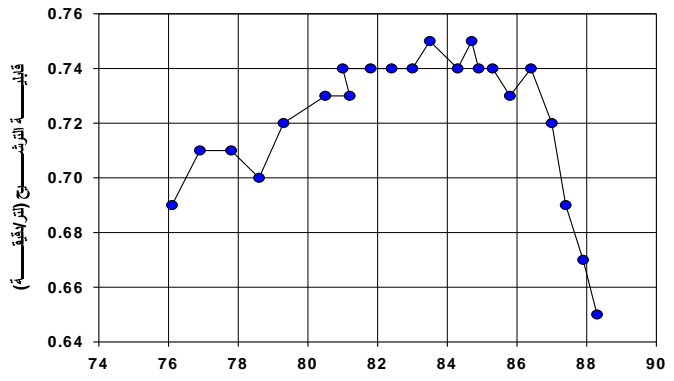
شكل رقم (١٧) يبين تغير قابلية الترشيح مع خسائر الشحنة



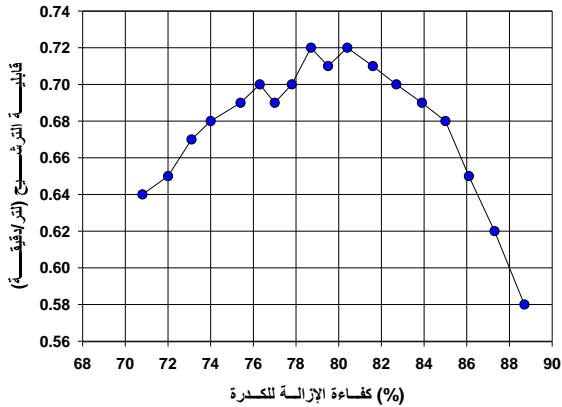
شكل رقم (١٦) يبين تغير قابلية الترشيح مع الزمن



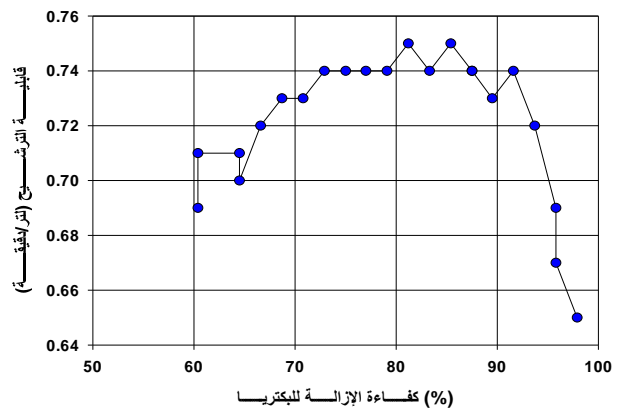
شكل رقم (١٩) يبين تفسير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٥.٢٤)



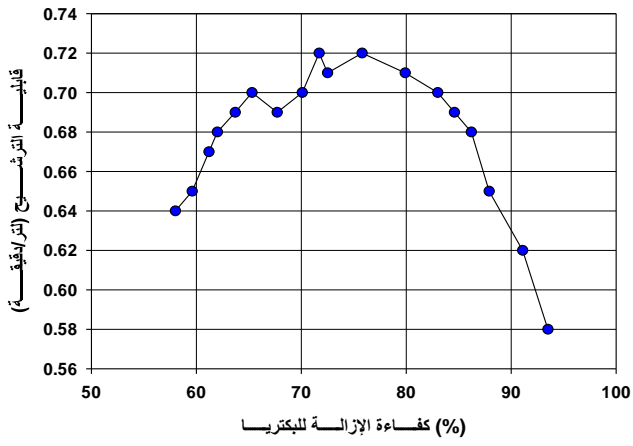
شكل رقم (١٨) يبين تفسير كفاءة الإزالة للكدرة مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٥.٢٤)



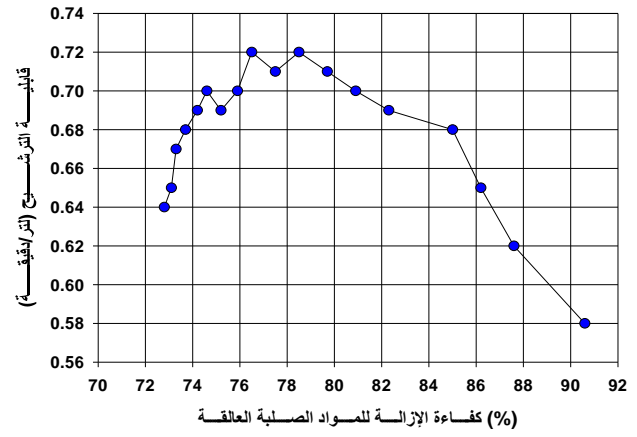
شكل رقم (٢١) يبين تفسير كفاءة الإزالة للكدرة مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٩.٥٨)



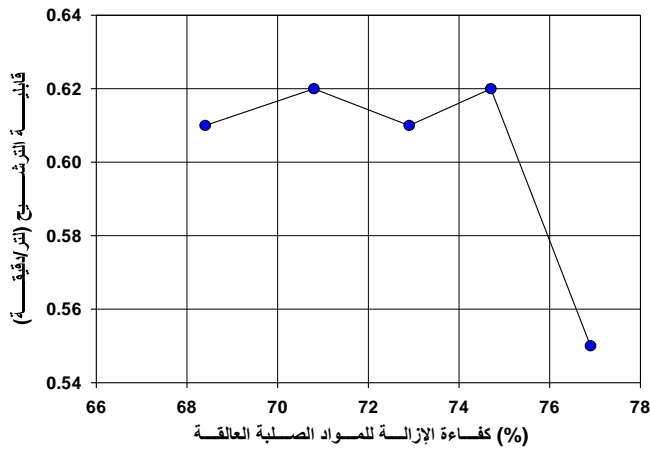
شكل رقم (٢٠) يبين تفسير كفاءة الإزالة للبكتريا مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٥.٢٤)



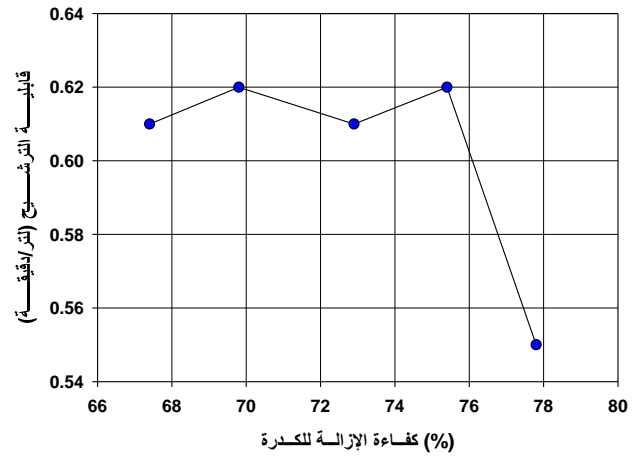
شكل رقم (٢٣) يبين تغير كفاءة الإزالة للبكتريا مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٩.٥٨)



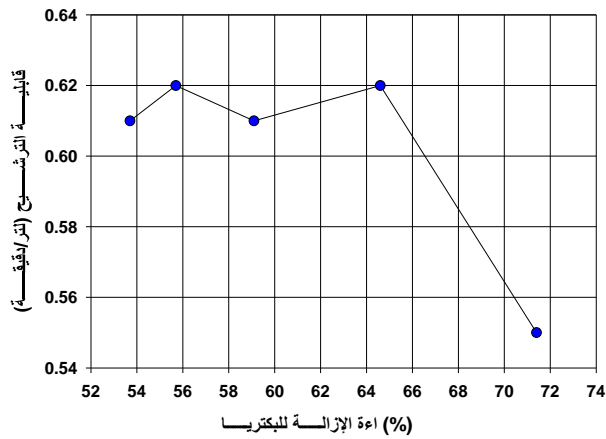
شكل رقم (٢٢) يبين تغير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٩.٥٨)



شكل رقم (٢٥) يبين تغير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٢٨.٣٥)



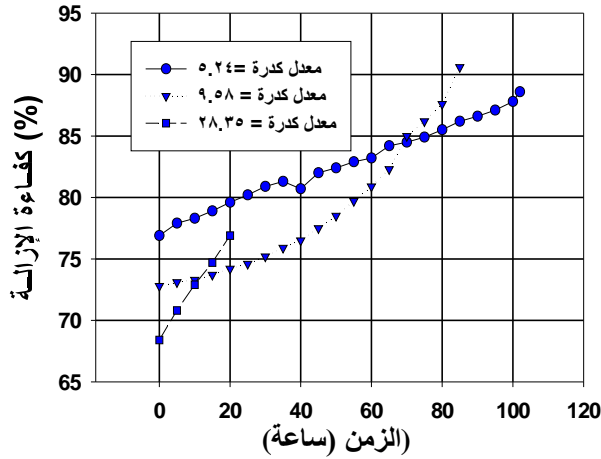
شكل رقم (٢٤) يبين تغير كفاءة الإزالة للكدرة مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٢٨.٣٥)



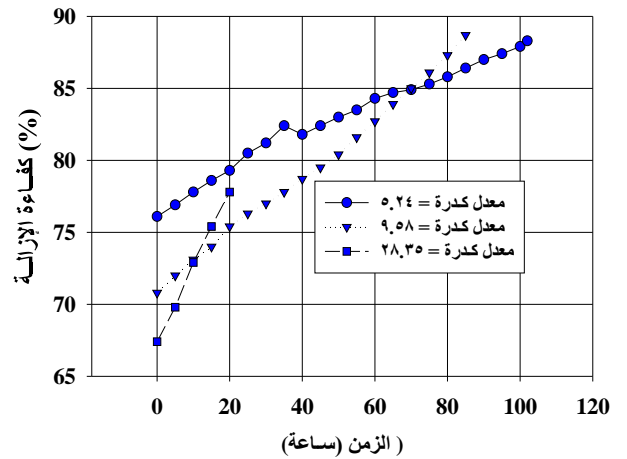
شكل رقم (٢٦) يبين تغير كفاءة الإزالة للبكتريا مع قابلية الترشيح لمعدل كدرة يساوي (٢٨.٣٥)

٧-٤:- كفاءة الإزالة:

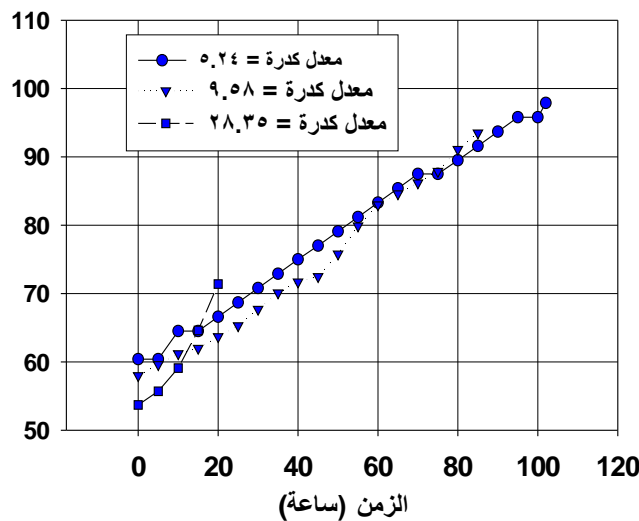
توضح الأشكال (٢٧)، (٢٨) و(٢٩) كفاءة الإزالة لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة الكلية والعدد البكتيري الكلي ، حيث يتبين أن كفاءة الإزالة تزداد بمرور الزمن الى حد معين ثم تبدأ بالنقصان كذلك يتبين انه بزيادة كل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة الكلية والعدد البكتيري الكلي تقل كفاءة الإزالة الكلية . بينت النتائج والتجارب الحقلية أن معدل كفاءة الإزالة الكلية عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٥.٢٤) NTU لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي كانت (٨٢.٩% ، ٨٢.٨% ، ٧٩.٥%) على التوالي ، ومعدل كفاءة الإزالة الكلية عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٩.٥٨) NTU لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي كانت (٧٩.٤% ، ٧٨.٧% ، ٧٤.١%) على التوالي ، ومعدل كفاءة الإزالة الكلية عندما كان الماء الخام يحتوي على معدل كدرة مقدارها (٢٨.٣٥) NTU لكل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة والعدد البكتيري الكلي كانت (٧٢.٦% ، ٧٢.٧% ، ٦٠.٩%) على التوالي.



شكل رقم (٢٨) يبين تغير كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة مع الزمن



شكل رقم (٢٧) يبين تغير كفاءة الإزالة مع الزمن



شكل رقم (٢٩) يبين تغير كفاءة الإزالة للعدد الكلي للبكتيريا مع الزمن

٨- الاستنتاجات و التوصيات :

- ١- توصلت الدراسة أن الرمل السيليكي المحلي يمتلك خصائص نوعيه ملائمة الى درجة كبيرة لغرض إستخدامه في مرشحات محطات معالجة مياه الشرب لذا توصي الدراسة بإستخدامه في مرشحات معالجة مياه الشرب لكفاءته في إزالة كل من الكدرة ، المواد الصلبة العالقة المليئة والعدد البكتيري الكلي .
- ٢- إجراء بحوث مستقبلية لمعرفة كفاءة الإزالة للرمل السيليكي العراقي لخصائص المياه المهمة الأخرى مثل المتطلب الأحيائي-الكيميائي للأوكسجين (Biochemical Oxygen Demand) ، الكبريتات ، الترات ، الصوديوم ، الكالسيوم ، المغنيسيوم ..الخ.

٩- المصادر:

- 1- TEBBUTT .T.H.y. 'PRINCIPLES OF WATER QUALITY CONTROL",5th Ed, British Library ,Biddles Ltd.1998.
- 2- Viessman W., and Hammer M. 1985," Water Supply and Pollution Control", 4th ed, Harper and Row, New York,.
- ٣- العدوي ، محمد صادق " هندسة الإمداد بالمياه" كلية الهندسة –جامعة الإسكندرية، منشأة المعارف ، ٢٠٠٥.
- ٤- أحمد ، عصام محمد عبدالمجيد ، ١٩٩٥."الهندسة البيئية" جامعة السلطان قابوس ، كلية الهندسة ، دار المستقبل للنشر والتوزيع.
- 5- Metcalf & Eddy (2003), Wastewater engineering: treatment and reuse, 4th edition, McGraw Hill: New York.
- 6-Fair , G.M., Geyer .J.C., and Okun . D.A. (1968)."Water and Wastewater Engineering, Volume 2.Wiley,New York.
- 7- Ceronio. AD * and Haarhoff. J ,1997 " Properties of South African silica sand used for rapid filtration" Water Research Group, Department of Civil Engineering, Rand Afrikaans University, South Africa .
- 8- American Society for Testing and Materials. Concrete and Aggregates, 1993 Annual Book of ASTM Standards , Vol. 04.02. Philadelphia, Pennsylvania : ASTM, 1993.
- ٩- American Water Works Association.AWWA Standard for Filtering Material, Standard B100-96. Denver, Colorado:AWWA, 1996.
- 10- Cleasby, J. L., and logsdon ,G.s.,1992 “Granular Bed And Precoat Filtration.” Iowa State University , Department of Civil and Construction .
- 11- Cleasby, J. L., and Fan. K. S., 1981 “Predicting Fluidization and Expansion of Filter Media.” Journal Envir. Engrg. Div.—ASCE, 107(EE3).
- 12-Trefethen, J.M."Geology for Engineers", 2nd ed. Princeton, New Jersey:D.Van Nostrand Co., 1959.
- ١٣- المركز القومي للمختبرات الإنشائية، قسم البحوث والشؤون الفنية ، ٢٠٠١"مواصفات المواد الإنشائية " بغداد العراق .
- 14-APHA, AWWA, WPCE, 1995" Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 17th Ed. USA.