معالجة المياه المطروحة من مصافي بيجي لأعادة تدويرها للأغراض الزراعية

رافع جمال يعقوب
مدرس
قسم العمليات النفطية– كلية هندسة النفط والمعادن – جامعة تكريت
E-mail: rafijamalalgawi33@yahoo.com

الخلاصة

يهدف البحث الى معالجة المياه الصناعية المطروحة من مصافي بيجي من خلال أضافة مرحلة ثالثة وهي أضافة وحدتين الاولى الترسيب بالألواح المتوازية ووحدة الأمتزاز بالكاربون المنشط لاعادة استعمالها مرة ثانية وخصوصا للاغراض الزراعية حيث تبلغ كمية المياه المطروحة بحدود 2000 م^3/ساعة وتحتوي على مواد عضوية وعناصر ثقيلة غير مسموح بيئيا طرحها الى النهر.

تم الحصول على نتائج جيدة في تخليص المياه من المواد الضارة دون الوصول الى المواصفات المطلوبة حيث كانت نسبة الأزالة بحدود 90% مما تطلب اعادة التجارب بأستخدام متعدد كلوريد الحديديك لغرض الوصول الى المواصفات العالمية اللازمة لاعادة استخدام المياه.أن الطريقة الكيمياوية بحقن مادة متعدد كلوريد الحديديك في وحدة الترسيب بالألواح المتوازية بينت كفاءتها العالية في ازالة المواد السامة وخصوصا الفينول حيث تم الوصول الى المواصفات المطلوبة للمياه لغرض أعادة تدويرها للأستخدام للاغراض الزراعية.

الكلمات الرئيسية :–معالجة مياه المصافي،الأمتزاز بالكاربون المنشط،الترسيب بالصفائح المتوازية،أعادة أستعمال المياه المعالجة.

Baji Refinery Water Treatment to Reuse for Agricultural Purposes

Rafi Jamal Yacoup
Lecturer
University Of Tikrit-College of Petroleum&Minerals Engineering
E-mail: rafijamalalgawi33@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this research is to treat Baiji refinery waste water by adding tertiary treatment which consist of two units:-Lamella precipitators & adsorption by activated carbon,and reuse it for agricultural purposes.The treatment covers 2000 m^3/hr of water which contains organic and heavy metals impurities not recommended to drain to

river according to Environmental rules. Good results were gained in this research and the removal was 90% by adsorption & Lamella precipitation .This result is not according to environmental rules so we treat the waste water by using poly ferric chlorides to remove all the remaining phenol and be written the environmental limits for reuse the water for agriculteral purposes.

Keywords: refinery waste water treatment,adsorption by activated carbon,lamella precepitation ,water reuse

المقدمة

تعتبر المواد الهايدروكاربونية من اخطر الملوثات الصناعية على الإطلاق في الوقت الحاضر وذلك لعدة أسباب منها: ضخامة كمياتها وصعوبة تحللها عن طريق البكتريا اضافة الى أن العديد منها تعتبر مواداً مسرطنة .تتوفر في جميع المصافي العديد من الوحدات لمعالجة المياه الصناعية الملوثة ولكن في اغلب الأحيان تكون هذه الوحدات غير قادرة على جعل المياه الصناعية ضمن المواصفات المطلوبة لذلك استلزم الأمر التفكير بإضافة وحدات أخرى يمكنها التعامل مع المواد الهايدروكاربونية، ومن هذه الوحدات وحدات الامتزاز باستخدام الكاربون المنشط. ومصفى بيجي يعاني من ارتفاع تراكيز المواد الهايدروكاربونية في المياه الخارجة من وحدات معالجة المياه الصناعية بحيث تتخطى الحدود المسموح بها وفق المواصفات العراقية لذا استوجب دراسة إمكانية معالجة هذه المياه لازالة المواد الهايدروكاربونية باستخدام الكاربون المنشط الحبيبي(**لطيف.1988**)

يمكن تقسيم طرق معالجة مياه الفضلات إلى ثلاث طرق:-

1- المعالجة الأولية. 2- المعالجة الثانوية. 3-المعالجةالمتقدمة.

حيث تستخدم المعالجة الأولية لإزالة المواد الصلبة العالقة من مياه الفضلات سواء كانت هذه المواد قابلة للتحلل أو غير قابلة للتحلل فيمكن إزالة المواد الصلبة العالقة بعملية الترسيب مع إضافة بعض المخثرات أو تتم إزالتها باستخدام المناخل أو المرشحات والمعالجة الثانوية تكون بطريقة التطويف. وأخيراً وحدات المعالجة المتقدمة حيث تقوم هذه الوحدات بإزالة الملوثات التي يتعذر إزالتها بالطرق السابقة ومن أهم طرق المعالجة المتقدمة هي عمليات الامتزاز والتبادل الأيوني والتناضح العكسي وضخ الكلور والأوزون.

الامتزاز بواسطة الكاربون المنشط تقنية مفيدة وفعالة لمعالجة المياه الملوثة الصناعية وكمعالجة متقدمة للمواد الخارجة من وحدات المعالجة البايولوجية. تستخدم تقنيات الامتزاز بشكل واسع في مجال إزالة كميات صغيرة من الملوثات الموجودة في حجم كبير من المائع. تتم معالجة المواد الخارجة من مصافي النفط والتي تحتوي على الفينول والفورفورال وعناصر سامة والامونيا بطرق مختلفة مثل الأكسدة الكيميائية والفصل الفيزيائي والمعالجة البايولوجية (**اسماعيل 2008**) استخدمت المنشط الحبيبي لإزالة الفينول والامبرلايت مع XAD4 لإزالة صبغة ألمثيلين الزرقاء لإزالة إضافة نسب مختلفة من حبيبات الزجاج كمادة غير مازة مع الكاربون المنشط ومع الامبرلايت لجعل عملية الامتزاز أكثر كفاءة بزيادة المساحة السطحية للامتزاز، وجدت الباحثة ان إضافة 5% من حبيبات الزجاج إلى الكاربون المنشط الحبيبي والامبرلايت بالتعاقب تقلل الوزن لكل مادة مازه بمقدار 5% وزيادة لزمن التشغيل بمقدار 80%. ان زيادة نسبة حبيبات

الزجاج الكروية أكثر من 60% لكلا المادتين يجعل عملية الامتزاز غير كفوءة مقارنة مع استخدام المادة ألمازة بمفردها وقد وجدت الباحثة أن علاقة التوازن مطابقة لمعادلة (لونكماير)لكل من الفينول وصبغة المثيلين الزرقاء.

قام الباحثان **(حميد و رحمن 2008)** باستخدام الكاربون المنشط المصنوع من نشارة خشب جوز الهند لإزالة الفينول من المياه وقد تم إجراء التجارب عند درجة حرارة 30 ^{0}م ودرجة حامضية (3–10) وتراكيز فينول (25–200) ملغم/لتر وجد الباحثان توافقاً بين النتائج المختبرية والنماذج الرياضية (لونكماير) و (فريندلج)..

ووجد**(رادوشكفج ودبلنن 2009)** أن أقصى سعة امتزاز مقدارها 149.25 ملغم/غم واثبتت النتائج ان الكاربون المنشط مادة مازه فعالة لإزالة الفينول.

قام **(ديليناس و دايامادوبولص2008)** بتصنيع وحدة ترشيح تجريبية لمعالجة المياة الملوثة في اليونان وقد تم اجراء ثلاثة تجارب الاولى عملية ترشيح فقط والثانية عملية ترشيح وتخثير بالشب اما التجربة الثالثة والاخيرة فكانت تشمل اضافة الكاربون المنشط بنوعيه (المسحوق والحبيبي) خلال عملية الترشيح. تم ازالة المطلب الكيمياوي للاوكسجين بنسبة 19% وازالة المطلب الحيوي للاوكسجين بنسبة 25% وازالة الكدرة بنسبة 90% وكذلك كانت هنالك ازالة للعناصر الثقيلة ، وعندما تم مزج عمليتي الترشيح والتخثير كانت النتائج مشابهة لنتائج عملية الترشيح بدون تخثير. اما في حالة اضافة مسحوق الكاربون المنشط فان ازالةالمطلب الحيوي أكثر من 60% ولكن كان هنالك زيادة بالضغط على سطح غشاء الترشيح . ونتج في حالة أضافة الكاربون الحبيبي فأن أزالة المتطلب الحيوي بنسبة 36% بدون ان يسبب ارتفاعاً في الضغط وقد تم ازالة فعالة جداً للعناصر الثقيلة أيضاً عند استعمال الكاربون المنشط الحبيبي

بينت**(أبتسام 2011)** إمكانية إزالة هذه المواد بالكامل من مياه الفضلات باستخدام أعمدة من الكاربون المنشط. كذلك بينت النتائج أن زمن الاختراق وزمن الاستنزاف يتناسبان عكسياً مع تركيز الملوثات الداخلة وسرعة السائل الفراغية وطردياً مع سمك الكاربون المنشط. كذلك فقد تبين بأن سعة الامتزاز تتناسب طردياً مع تركيز الملوثات الداخلة وسرعة السائل الفراغية وقد وجد أيضا أن سمك مجال الامتزاز الذي تم إيجاده في هذه الدراسة يتناسب طردياً مع سرعة السائل الفراغية.

درس **(مدائني2013)** أداء الترشيح المايكروي والأغشية الأنتقائية في معالجة مياه المصافي المطروحة وضمن الحدود البيئية لغرض أعادة أستخدامها للأغراض الزراعية وقد حصل على نسبة أسترجاع بجدود 95% مع وجود كمية من المياه الملوثة وبتركيز عالي بنسبة 5%

قام **(توني مكين مع أخرين 2010)**بمعالجة المياه الملوثة بأستخدام الألواح المتوازية كمرسب وبأستخدام مادة الألمنيوم كلورو هيدريت كمادة مخثرة ووجد أن نسبة أزالة المواد الصلبة بحدود 57% ونسبة أزالة المتطلب الحيوي للأوكسجين 30% ومع فعالية عالية في أزالة عناصر الفسفور والنتروجين.

قامت**(زينة ورافع 2013)** بأستخدام الألواح المتوازية في معالجة المياه الملوثة وبكفاءة عالية بأستخدام مواد طبيعية كبديل عن أستخدام الشب. وتبين كفاءته العالية في تخليص المياه من التلوث.

أستخدم متعدد كلوريد الحديديك كمادة مزيلة للفينول من قبل عدد من الباحثين**(ولديرير وأخرين2014)** تبين وصول الكفاءة في الأزالة 99.7% وفاقت هذه الكفاءة على أستخدام متعدد سلفات الحديديك وكلوريد الحديديك.

الفحوصات الكيمياوية للمياه الملوثة

تم الحصول من شركة مصافي الشمال في بيجي على كمية ماء بحدود (1 م^3) من الماء المطروح إلى النهر لغرض إجراء التجارب العملية عليه. ولغرض معرفة طرق المعالجة الإضافية لتحسين الماء المطروح إلى النهر لابد من إجراء فحوصات مختبرية في مختبرات جامعة تكريت , حيث تم أستخدام جهاز لقياس قيمة الرقم الهيدروجيني ويسمى موديل 410 من صنع شركة (ثيرمو أورينت)

وجهاز الأشعة فوق البنفسجية المستخدم لقياس التراكيز عند الأطوال الموجية المعينة ومن خلال إجراء المعايرة نتمكن بواسطته قياس تركيز المواد الهايدروكاربونية في المياه وهو من (UV Spectrophotometer)(Model530-V) وهو ياباني المنشأ. وتم عمل معايرة للأمتصاصية مع تركيز الفينول. ونتائج فحوصات موضحة في الجدول رقم (1)

الأجهزة ألمختبرية وطريقة العمل

تم بناء منظومة البحث وحسب ما هو موضح في الشكل رقم (1) المنظومة البحثية لعملية الامتزاز والتي تم اعتماد الاعتبارات التصميمية في بناء المنظومة وأجريت تجارب عديدة لتقليل نسبة الفينول في المياه.

مع الأخذ بنظر الاعتبار عند بناء الجهاز ألمختبري إمكانية التحكم بأهم العوامل التي تؤثر على عملية الامتزاز وهي كل من سرعة السائل الفراغية المرتبطة بمعدل الجريان ومساحة المقطع العمودي على الجريان وسمك طبقة الكاربون وتركيز الملوثات الداخلة للجهاز. أما درجة الحرارة فقد أنجزت جميع التجارب ضمن درجة حرارة المختبر لكون ذلك هو واقع الحال في المؤسسات الصناعية حيث يشكل رفع أو خفض درجات الحرارة للمياه الملوثة قبل معالجتها كلفة اقتصادية عالية لا يمكن تحملها.

تم تصنيع عمود الامتزاز بطول 50سم وقطره يساوي 2سم وهو دائري الشكل مصنوع من مادة البايركس ، و للتحكم بسمك طبقة الكاربون التي تستقر فوق قطعةخزفية مثقبة يتم اعادة تدوير الماء للحصول على ارتفاع اضافي (60 سم و 90 سم). وقد تم اختيار معدل الجريان بالاعتماد على الأعتبارات التصميمية وتتراوح ما بين 2-6 لتر/ساعة. أما بالنسبة لطول العمود أن كل أعمدة الامتزاز يتم ترك مسافة للأسفل وتترك مسافة للأعلى وهذا للغسل العكسي يحتاج إلى فراغ فوق الطبقة المحشوة يصل إلى 10سم لذلك تركنا هذا الفراغ في العمود.

يوضح الشكل رقم (2) مخططاً لجهاز الترسيب بالألواح المتوازية والشكل يمثل صورة للجهاز الذي يتألف من عدة أجزاء يمثل الجزء الأول منها حجرة التخثير والجزء الثاني يمثل حجرة التلبيد ، أما الجزء الثالث فيمثل حجرة الترسيب التي تحتوي على صفائح مائلة بزاوية 60. تفصل بين صفيحة وأخرى مسافة متغيرة حيث تكون بالقسم الأول 4 سم أما في القسم الثاني فتكون المسافة بين الصفائح 2 سم.

يحتوي الجهاز إضافة لذلك على خزان الماء المراد معالجته وخزان الماء المعالج ، إضافة إلى مضخة وعدد من الصمامات للسيطرة على جريان الماء. الجدول (3) يبيّن مواصفات جهاز الترسيب ذي الصفائح المائلة المستخدم

طريقة العمل في جهاز الترسيب ذو الصفائح المائلة

تم تهيئة الماء الملوث أو الماء الخارج من وحدة الأمتزاز بالكاربون المنشط .

– تم إضافة كميات محددة من المواد الكيمياوية المستعملة في البحث (مثل مادة الشب او متعدد كلوريد الحديديك) إلى حجرة المزج السريع ، ينتقل الماء بعدها إلى حجرة التلبيد .

– بعدها يدخل الماء إلى حجرة الترسيب وبمعدل جريان يتم السيطرة عليه بواسطة المضخة.

النتائج والمناقشة

إن أهم العوامل التي تؤثر على عملية الامتزاز هي معدل الجريان وسمك طبقة المادة ألمازة وطبيعة وتركيز المادة الممتزة (تم أستخدام الماء الملوث المطروح من مصافي النفط في بيجي الى النهر وبتركيز ثابت مفحوص وهو 8 (ملغم /لتر) ولمادة الفينول.

إن زمن التماس عامل مهم في تصميم عمود الامتزاز ذي الطبقة الثابتة ولذلك فأن سمك الطبقة وسرعة السائل الفراغية هما العاملان الرئيسيان في التصميم.

نلاحظ من الشكل رقم (3) انه عند زيادة معدل الجريان بثبوت سمك الطبقة فأن تركيز الفينول الخارج يزداد وذلك لعدة أسباب منها عدم وجود الوقت الكافي لحدوث الامتزاز و وجود مساحات معينة وحجم معين من الكاربون غير مغطاة ولذلك لا يحدث الامتزاز عليه وبذلك تتكون مناطق نقية من الكاربون المنشط أي مواقع أمتزاز فارغة. ولكن عندما يكون معدل الجريان قليلة أي وقت التماس كبيراً فأن ذلك سيؤدي إلى إتاحة الوقت الكافي لامتزاز كمية اكبر من الملوثات وهذا يؤدي إلى شبه تشبع الكاربون المنشط بالمواد الملوثة قبل الانتقال إلى الجزء الأخر من الطبقة مما يعني إن كمية المادة الممتزة تكون اكبر في هذه الحالة.

إن سمك طبقة الكاربون أهمية كبيرة في عملية الامتزاز , ويتضح من الشكل رقم(4) أن قلة سمك الطبقة تؤدي إلى زيادة تركيز الفينول الخارج. أما زيادة سمك طبقة الكاربون فأنها تعني زيادة كمية الكاربون أي زيادة المواقع المتاحة للامتزاز وهذا ما يقلل من تركيز تركيز الفينول الخارج كذلك زيادة السمك تؤدي إلى تقليل ظاهرة ترك مساحات فارغة لكونه يتيح وقت أكثر للماء الملوث للتماس مع الكاربون.

ان زيادة سمك طبقة الكاربون تؤدي إلى امتزاز كمية مواد هايدروكاربونية أكثر وبالتالي يتم استهلاك الكاربون بصورة كاملة والذي يؤدي إلى استنزاف الكاربون وبذلك يفقد عمود الامتزاز فائدته بحيث يخرج الماء الملوث بدون معالجة وتتساوى تراكيز الملوثات الداخلة والخارجة وعندها يحتاج

الشكل رقم (5) وهي تمثل منحنيات الامتزاز للفينول عند سمك كاربون منشط مقداره 35سم. نلاحظ من هذه الأشكال انه عند زيادة سرعة السائل الفراغية بثبوت سمك الطبقة فأن نقطة الاختراق ستظهر مبكرة أي يحدث الاختراق بسرعة وذلك لعدة أسباب منها عدم وجود الوقت الكافي لحدوث الامتزاز و وجود مساحات معينة وحجم معين من الكاربون غير مغطاة ولذلك لا يحدث الامتزاز عليه وبذلك تتكون مناطق نقية من الكاربون المنشط أي مواقع أمتزاز فارغة. ولكن عندما تكون قليلة أي وقت التماس كبيراً فأن ذلك سيؤدي إلى إتاحة الوقت الكافي لامتزاز كمية اكبر من الملوثات وهذا يؤدي إلى شبه تشبع الكاربون المنشط بالمواد الملوثة قبل الانتقال إلى الجزء الأخر من الطبقة مما يعني إن كمية المادة الممتزة تكون اكبر في هذه الحالة. ومن الملاحظ أيضاً أن زيادة سرعة السائل الفراغية تقلل حجم الماء المعالج إلى أن يتم حدوث الاختراق وتقلل زمن التماس بين المادة المذابة والمـادة ألمازة وهذا متوافق مـع ما توصلت إلـيه(**أبتسام2011**).أن تشبع الكاربون المنشط بالملوثات يتم أعادة تنشيطه بالتسخين

أما حوض الترسيب بالألواح المتوازية فأن تشبعه بالملوثات فيتم التخلص منها من خلال تفريغ الحوض ودفع المياه الملوثة والمشبعة بالملوثات الى أحواض تجفيف بالطاقة الشمسية وهي عملية أقتصادية وفعالة للتخلص من المياه الملوثة.

تم ربط منظومة الترسيب بالألواح المتوازية مع الخارج من وحدة الأمتزاز بالكاربون المنشط وتم أضافة متعدد كلوريد الحديديك وبتركيز قليل(10-25 ملغم /لتر) لغرض أزالة الكمية المتبقية من الفينول وتم الحصول على مياه معالجة تنطبق عليها شروط المياه المستخدمة للأغراض الزراعية وحسب الجدول رقم(2) النوع (ب) مع الأحذ بنظر الأعتبار أن تركيز الفينول يقترب من الصفر..وجميع هذه التجارب أجريت في منظومة الألواح المتوازية من خلال حقن كمية محددة من متعدد كلوربد الحديديك وتم الأكتفاء بقياس نسبة الفينول في المياه الخارجة من منظومة الألواح المتوازية وكانت قريبة الى الصفر وهي تتطابق مع نتائج الباحثين(**ولديرير وأخرين2014**).

الاستنتاجات

1- إن تركيز الملوثات المدروسة لمياه مصفى بيجي الخارجة من جميع وحدات المعالجة لا تزال مرتفعة جداً وهي خارج الحدود المسموح بها وفق المواصفات العراقية.

2- إمكانية تقليل تراكيز قسم محدد من الملوثات إلى الحدود المسموح بها وفق المواصفات العراقية باستخدام الكاربون المنشط الحبيبي ولكن ضمن هذه المواصفات لا يمكن استخدام هذه المياه للإغراض الزراعية وحسب الجدول رقم(2).

3- أن أفضل معدل جريان هو 2 لتر/ساعة.

4- ان معدل الجريان التي لها علاقة بزمن التماس وسمك الكاربون المنشط لها تأثيراً مهما على عملية الامتزاز.

5- يتناسب تركيز الفينول الخارج عكسيا مع سمك طبقة الكاربون المنشط وطردياً مع معدل الجريان.

6- أن أستخدام مادة متعدد كلوريد الحديديك يساعد على أزالة الكمية المتبقية من الفينول

المصادر

لطيف حميد علي، "التلوث الصناعي"، دار الكتب للطباعة والنشر جامعة الموصل، صفحة (184- 188) ، 1987.

Dialynas, E. and Diamadopoulos, E, "Integration of Immersed Membrane Ultra-filtration with Coagulation and Activated Carbon Adsorption for Advanced Treatment of Municipal Waste Water", Department of Environmental Engineering, Technical university of crete, chania, Greece, 2008.

Hameed, B. H., and Rahman, A., "Removal of phenol from aqueous Solution by Adsorption onto Activated Carbon Prepared from Biomass Material", Applied science publishers LTD, Essex, chapter 3, PP. (49-84), 2008.

Ibtisam A. Jaddo," Study of Using Granular Activated Carbon For Removing Phenol, Parachlorophenol, and Benzene From Wastewater of Baiji Refinery", Department of chemical engineering, University of Tikrit, 2011.

Ismail, Sh., "Evaluation of Heterogeneous Adsorbents Bed for the Removal of Organic Materials from Water", Ph. D. Thesis, university of Baghdad P. (4-39), Iraq, 2008.

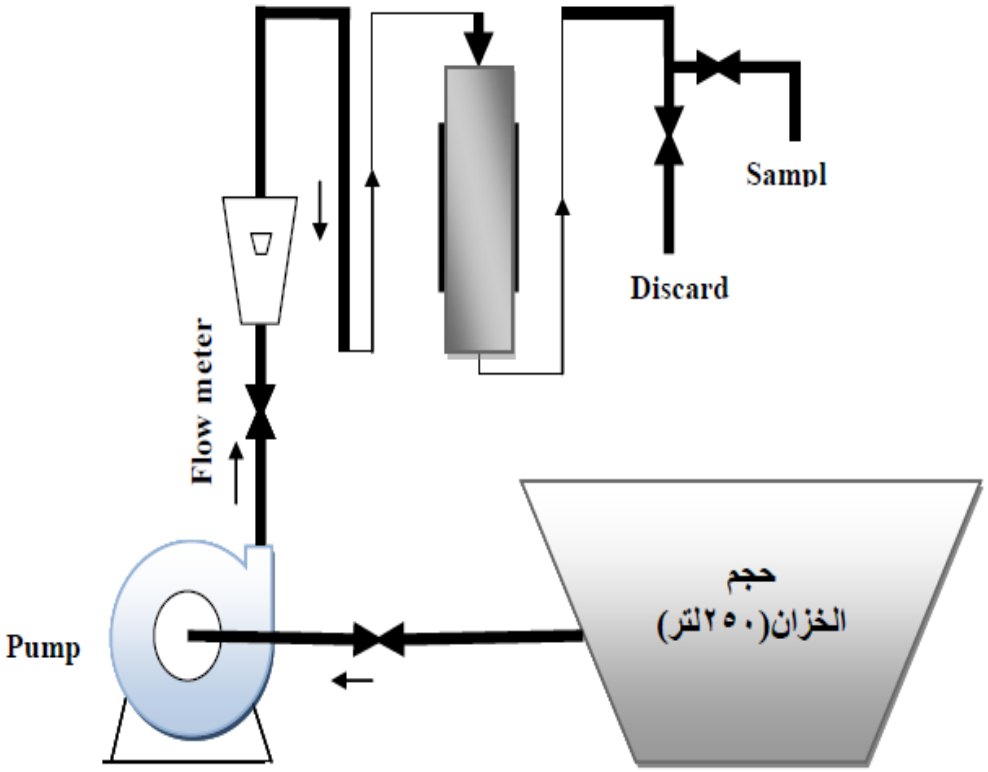
Madaeni S.S,"Membarance Treatment of Oily Waste Water From Refinery Processes",Asia Pacific Journal of Chemical Engineering,8,(45-53), 2013.

Wilderer,A."Evolution of Sanitation & waste treatmenttechnologies through the centeries", 2014, ISBN9781780404844.

WWW.ress.com,vol.113,IssB,1,25

جدول رقم1 .نتائج الفحوصات المختبرية للمياه المطروحة إلى النهر من مصافي بيجي

الفحص	القيمة	الفحص	القيمة
pH	8.65	Cd, mg/l	<0.1
Cond., ms	2.39	Cr, mg/l	<0.1
Cl^- ,mg/l	122	Cu, mg/l	0.19
Hardness ,mg/l	640	Fe, mg/l	0.6
SO_4^- ,mg/l	80	Pb, mg/l	<0.1
OH^- ,mg/l	zero	Ni, mg/l	0.15
(HCO_3^-,CO_3^-),mg/l	120	Ag, mg/l	<0.05
Phenol, mg/l	8	Oil	7.5



شكل رقم 1 . مخطط لجهاز الأمتزاز

جدول رقم 2 . الحدود القصوى المسموح بها للمعايير القياسية الخاصة بالمياه المعالجة المستخدمة لأغراض الري

المؤشر	الخضار المطبوخة	المتنزهات والملاعب	الملاعب الرياضية	الأشجار المثمرة	جوانب الطرق الخارجية	المسطحات الخضراء	الحبوب والمحاصيل العلفية	المحاصيل الصناعية	الأشجار الحرجية
المؤشر	أ			ب				ج	
BOD_5(mg/l)	30			100				150	
COD(mg/l)	75			200				300	
DO(mg/l)	أكبر من 4			–				–	
TDS(mg/l)	15000			1500				–	
SS(mg/l)	50			150				150	
SAR	9								
pH	9–6								
CL2residual	0.5			–				–	
NO_3–N (mg/l)	20			25				25	
NH_4–N (mg/l)	3			5				–	

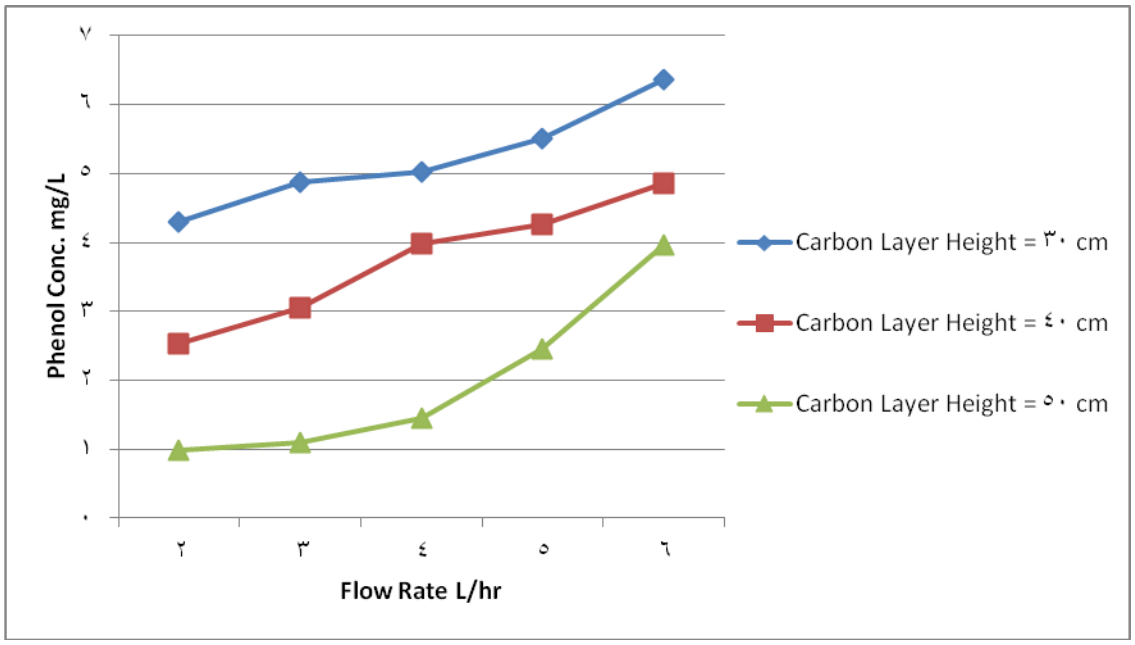
جدول رقم 3 . مواصفات جهاز الترسيب ذو الصفائح

زاوية ميل الصفائح	60°
معدل الجريان	(55– 24)لتر /ساعة
ارتفاع الجهاز	100 سم
مساحة الترسيب لحجرة الترسيب	12837 سم^2
عرض الجهاز	120 سم
سمك الجهاز	25 سم

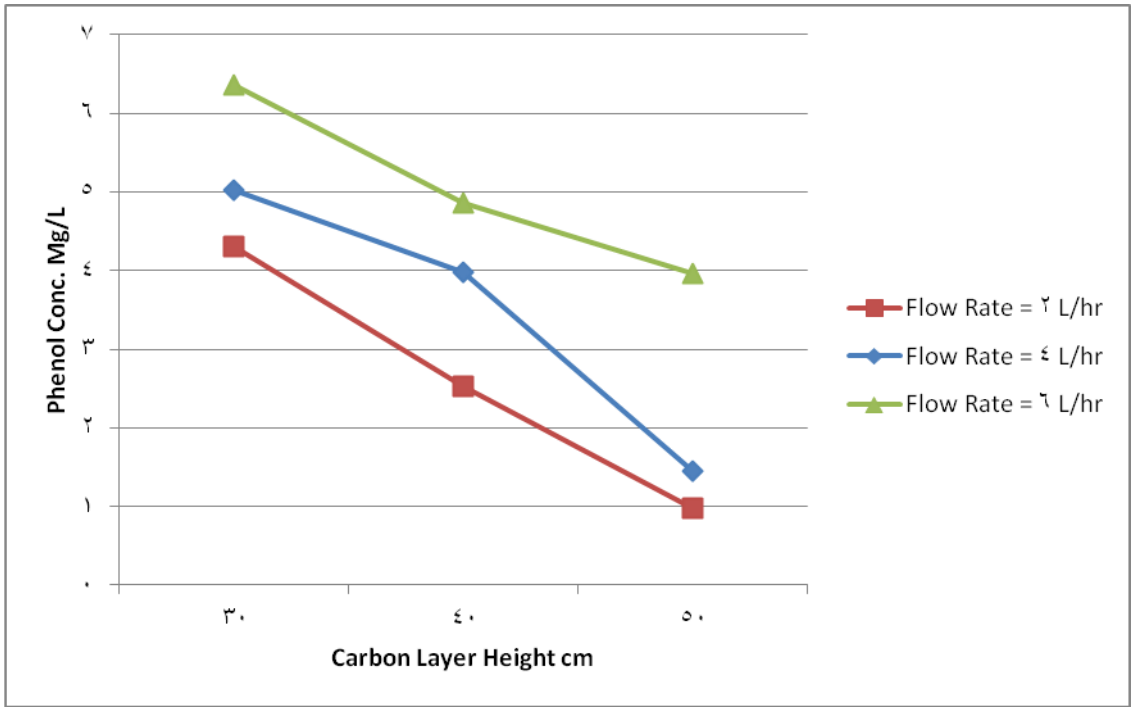
شكل رقم2. جهاز الترسيب ذو الصفائح

جدول 4. بعض الخواص الفيزياوية للكاربون المنشط الحبيبي

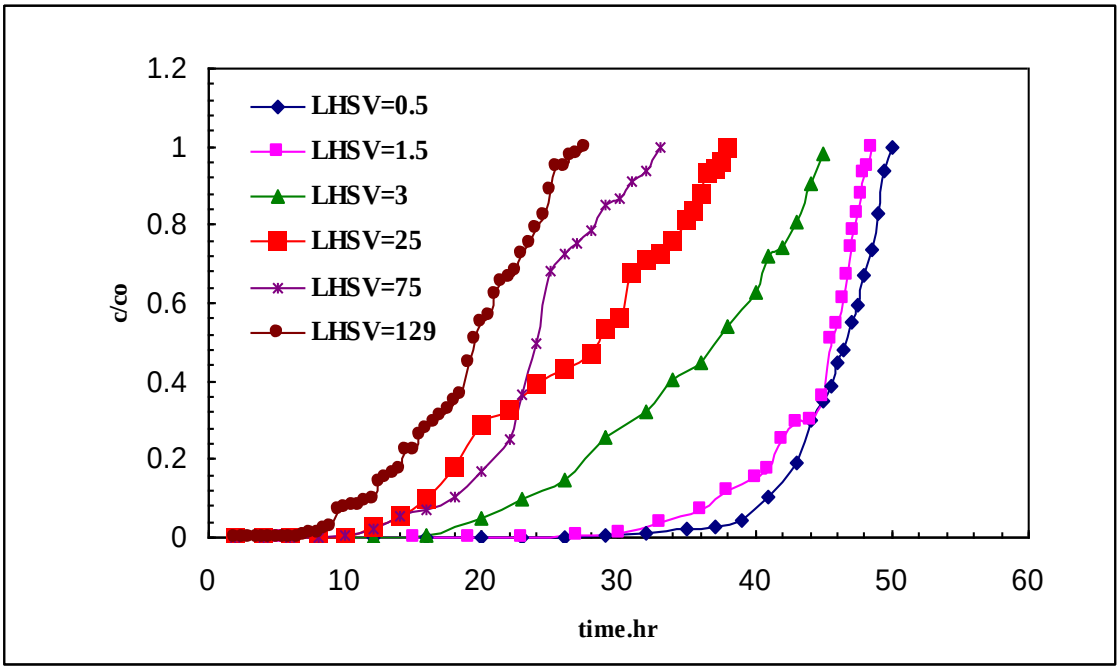
الخاصية	القيمة
الكثافة	482.025 كغم/م^3
المسامية	0.41
قطر الحبيبية	(2–3) ملم
المساحة السطحية	1175.62م^2/غم



شكل رقم 3. تأثير معدل التدفق على تركيز الفينول المزال من الماء الملوث



شكل رقم4. تأثير سمك طبقة الكاربون على تركيز الفينول المزال من الماء



شكل رقم 5. منحنيات الامتزاز للفينول على الكاربون المنشط (السمك =35سم)