

تحسين قابلية نزع الماء من الحمأة

عبدالله اسماعيل ابراهيم الحياي

مدرس مساعد

قسم الهندسة المدنية - جامعة الموصل

الخلاصة

إن الهدف الرئيس من هذه الدراسة هو المقارنة بين ثلاثة بدائل استخدمت كمواضع لتحسين قابلية نزع الماء من الحمأة الناتجة من أحواض الترسيب الثانوية في محطة معالجة مياه فضلات مدينة طب الموصل ، وهذه المواد هي الكاولين و الحجر الجيري و الحجر الطيني.

استخدمت ستة جرعة من هذه المواد بنسب وزنية جافة (٢, ٤, ٦, ٨, ١٠, ١٢) % من الوزن الجاف للحمأة. تم اعتماد المقاومة النوعية للحمأة كمعيار للمقارنة في تحديد المادة الأكفأ من بين البدائل المدروسة.

بينت النتائج العملية إن اقل قيم للمقاومة النوعية للحمأة كانت $10^{12} \times 0,8$, $10^{12} \times 0,9$, $10^{12} \times 4,1$ م/كغم عند استخدام جرعة اضافية مقدارها ٨% لكل من الكاولين و الحجر الجيري و الحجر الطيني على التوالي, وتبين من الدراسة ان افضل البدائل المدروسة هو الكاولين اذ حقق كفاءة تقليل في المقاومة النوعية للحمأة تجاوزت ٧٠%.

الكلمات الدالة: نزع الماء من الحمأة, معالجة الحمأة, المقاومة النوعية للحمأة

*Using of Fine Particle to Improvement of Sludge Dewater Ability***Abstract**

The main objective of this study is to compare the performance of three alternative materials used to improve dewatering of sludge produced from secondary settling tank of Mosul medical city wastewater treatment plant, those materials are Kaolin, Limestone and Clay stone.

Six dry weight percentages for each alternative are used (2, 4, 6, 8, 10, 12) % from dry weight of sludge. The specific resistance to filtration (SRF) was used as a criterion to compare the studied materials.

Experimental results showed that SRF is 4.1×10^{12} , 5.9×10^{12} , 5.8×10^{12} m/kg when 8% additional dose were used for each of Kaolin, Limestone and Clay stone respectively, this study showed that the best alternative material studied is kaolin which achieve decreasing efficiency in SRF more than 70%.

Key Words: Sludge dewatering, Sludge conditioning, Specific Resistance to Filtration (SRF).

مقدمة

إن العملية الأساسية في معالجة مياه الفضلات بيولوجيا هي تحويل الملوثات الذائبة في المياه وتحويلها الى كتلة حية على شكل احياء مجهرية ومن ثم طرح الزائد من هذه الأحياء المجهرية كحمأة مثخنة ومجففة يتم نقلها إلى مواقع الطمر الصحي أو يتم الاستفادة منها كسماد عضوي إذا لم توجد موانع لهذه العملية، أو قد تحرق أو تلقى في البحار والمحيطات في قسم من دول العالم.

تعاني محطات معالجة مياه الفضلات كثيراً من مشكلة إدارة وطرح الحمأة الناتجة عن المعالجة، إذ تشكل عمليات معالجة وطرح الحمأة حوالي (٣٠-٤٠) % من كلفة التأسيس لمحطات المعالجة و 50 % من كلفة التشغيل والصيانة و 90 % من مشاكل التشغيل في محطات المعالجة (Steel & McGhee, 1990). ونظراً لتلك الكلف العالية فقد تم اعتماد تقنية التجفيف باستخدام أحواض التجفيف Dry Beds في عملية فصل الحمأة عن المياه والتي تعد أرخص التقنيات المستخدمة في تجفيف الحمأة، ولكنها تتطلب فترات مكوث طويلة للحمأة المثخنة لكي يتم فصل المياه عنها بالكامل وخاصة في المواسم الباردة وهذا ما يترتب عليه مشاكل كثيرة أهمها تكاثر الحشرات الضارة فضلاً عن الروائح غير مرغوب فيها والتي تعد بدورها مصدر إزعاج للمناطق القريبة من محطات معالجة مياه الفضلات وخاصة إذا كانت تلك المناطق يتطلب فيها توفر أجواء خاصة كالمستشفيات والمدارس و المنتجات وغيرها.

تصنف الحمأة على أنها مادة معقدة من حيث التركيب والخصائص فهي تتكون بشكل رئيس من المياه والكتلة الحية والتي بدورها تتكون بشكل كبير من الماء، ويكون الماء في الحمأة إما حراً أو أن يكون مرتبطاً بجسم الأحياء المجهرية، إذ أن الحمأة الحاوية على 95 % ماء فإن حوالي 70 % منه

يكون بشكل طليق و 30 % يكون مرتبطاً بجسم الكتلة الحية Biomass فالماء الحر يمكن عزلة بسهولة عن الحمأة أما الماء المرتبط فإن حوالي ٦٧ % منه يكون مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالكتلة الحية و حوالي ٢٦ % يكون مرتبطاً بقوى كيميائية تربطه بالكتلة الحية و حوالي ٧ % يكون على شكل ماء شعري Capillary Water، وبما أن الجزء الأكبر من المياه الموجودة في الحمأة المطروحة هي مياه طليقة فمن الممكن فصلها بسهولة أما الجزء المتبقي أي 30 % من المياه فيحتاج إلى تقنيات و طاقة لفصله عن الحمأة (Liu, ٢٠٠٧).

هنالك عدة أنواع من تقنيات معالجة مياه الفضلات وما يهمنا هنا في هذا البحث هي الحمأة المنشطة (Activated Sludge) وهي الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب الثانوية بعد وحدات المعالجة البيولوجية وتتكون بشكل رئيس من الأحياء المجهرية التي تشكلت في أحواض المعالجة البيولوجية نتيجة استهلاك المواد العضوية وتحول جزء كبير منها إلى خلايا جديدة حيث يتم طرح الفائض منها عن الحاجة، وتكون ذات محتوى رطوبي عالي جداً (٩٨,٥-٩٩) % (Wiener & Matthews, 2003). وتحتاج الحمأة إلى معالجات فيزيائية، بيولوجية وكيميائية لتقليل حجمها وكفاءتها البيولوجية لغرض طرحها بشكل آمن. ومن هذه الطرق هو استخدام الطاردات المركزية والمجففات الرملية والبرك والأحزمة الضغطية (Berkay, 1998)، وقد تستعمل المخثرات الكيميائية كمواضع مساعدة في تحسين قابلية نزع الماء من الحمأة لتقليل الوقت اللازم لتجفيفها. وقد تصل كفاءة هذه المواد في تقليل المحتوى الرطوبي في الحمأة من (٩٠-٩٩) % إلى حوالي (٦٥-٨٥) % حسب المادة المستخدمة في المعالجة (Ghebremichael & Hultman, 2004).

تقاس قابلية نزع الماء من الحمأة باستخدام مقاومتها النوعية للترشيح والتي يطلق عليها اختصاراً Specific Resistance of Filtration (SRF) ويستخدم هذا العامل ليس فقط لمقارنة المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من الحمأة بل ويستخدم أيضاً كمحددات تصميمية لتحديد المادة الأكفأ من بين البدائل المختلفة المستخدمة في تحسين قابلية نزع الماء من الحمأة (Eckenfelder, 2000) وتختلف قيم المقاومة النوعية للحمأة باختلاف أنواعها كما هو مبين في الجدول رقم (١). وكلما كانت مقاومة الحمأة أكبر فأن قابلية نزع الماء منها أصعب والعكس بالعكس (Berkday, 1998). ولما كانت المقاومة النوعية للحمأة هي العامل الأكثر تأثيراً في إمكانية نزع الماء منها فقد بدأ الاتجاه نحو استخدام وسائل أكثر فاعلية لزيادة سرعة فصل المياه عن الحمأة وإن أكثر الطرق المستخدمة تحتاج إلى طاقة تشغيل وبالتالي زيادة في كلف إدارة وتشغيل المحطات ولذلك تم اعتماد عمليات استخدام المخثرات الكيميائية كمحسنات لقابلية نزع المياه من الحمأة.

الدراسات السابقة

أجريت العديد من الدراسات في مجال نزع الماء من الحمأة وبطرق عدة ومن هذه الدراسات ما قام به (Katja & Mika, 2007) إذ درس الباحثان ميكانيكية عملية تلييد الحمأة و العوامل المؤثرة عليها كحجم اللبادة ودرجة الحرارة والطبقة المحيطية حول اللبادة وتأثير ذلك في خصائص الحمأة من ترسيب وقابلية نزع الماء وتوصل الباحثان إلى أن الحمأة ذات التلييد الجيد تترسب بشكل جيد أيضاً وبالتالي فأن عملية نزع الماء منها تكون أسهل، و تبين من هذه الدراسة أيضاً أن تراكيز المواد الصلبة الكلية في الراشح تتناسب عكسياً مع المقاومة النوعية للحمأة المدروسة. ودرس (Buyukkamaci &

Kucukselek, 2006) إمكانية تحسين قابلية نزع الماء من الحمأة الناتجة عن إحدى الصناعات البتروكيمياوية وقد استخدم الباحثان معالجات تقليدية من الشب والنورة والبولي اليكتروليت ومواد ليست تقليدية كالرماد والجبس والبتونايت. وبينت الدراسة إن أفضل تلك المواد المستخدمة كان الشب وبجرعة مقدارها 8% وزناً من الحمأة إذ انخفضت المقاومة النوعية للحمأة بنسبة مقدارها ٥٠%. أما (Chia-Hung and Kung-Cheh, 2003) فقد درساً زمن السحب الشعري (CST) والمقاومة النوعية للحمأة (SRF) باستخدام الرماد المتطاير والبوليمير وبين الباحثان أن المقاومة النوعية للحمأة قد انخفضت (من 1.33×10^{12} إلى 1.0×10^{12} م/كغم) وأن زمن السحب الشعري تناقص (من ٢٠,٩ إلى ٢٠ ثانية) عند استخدام نسب اضافة مقدارها (٠ - ١٢) % من الرماد المتطاير في حين تناقصت هذه القيم (من 1.33×10^{12} إلى 0.13×10^{12} م/كغم و (من ٢٠,٩ إلى ١٥) ثانية لكل من المقاومة النوعية للحمأة وزمن السحب الشعري على التوالي وذلك عند استخدام جرع من البوليمر تراوحت بين (٠ - ٢٥) ملغم/لتر، وتوصل الباحثان إلى أن افضل جرعة من البوليمر كانت ١٥ ملغم/لتر.

ومع إن أكثر الدراسات اهتمت بمعالجة الحمأة كيميائياً إلا أنه هنالك دراسات أخرى اعتمدت المعالجة الفيزيوكيميائية وذلك من خلال الاستفادة من الخصائص التي تمتلكها بعض الأطياف والتي تستعمل كمادة ناعمة في تحسين قابلية نزع الماء من الحمأة ومن هذه الدراسات ما قام به (Sommerfeld & Maxham, ١٩٨٣) إذ استخدم الباحثان كاربونات الكالسيوم وميتاسليكا الكالسيوم والكاولين كمادة ناعمة لتحسين قابلية نزع الماء من الحمأة الناتجة عن معالجة مطروحات احد معامل الورق وقد استخدمت نسب إضافة من هذه المواد تراوحت بين

(١٠-٢) % كوزن جاف من الحمأة وقد بينت الدراسة إن أفضل تلك المواد هو الكاؤلين إذ انخفضت المقاومة النوعية للحمأة من (9×10^{13}) م/كغم إلى (5×10^{12}) م/كغم عند نسبة إضافة ٩%.

المواد وطرائق العمل

أجريت الدراسة الحالية لاختبار كفاءة كل من (طين الكاؤلين، الحجر الجيري و الحجر الطيني) في تحسين قابلية نزع الماء من الحمأة الناتجة عن أحواض الترسيب الثانوية في محطة معالجة مياه فضلات مدينة طب الموصل وتم اعتماد المقاومة النوعية للحمأة (SRF) كدالة لتحديد المادة الأفضل من بين تلك المواد المستخدمة في الدراسة. تم جلب نماذج الحمأة وأخضعت هذه النماذج إلى عملية تهوية ومزج لمدة ٢٤ ساعة، بعد ذلك بدأت التحاليل الخاصة بقياس المقاومة النوعية للحمأة، وتم استخدام الجهاز الموضح في الشكل (١) لهذا الغرض، إذ يتكون الجهاز من قمع زجاجي بقطر ٦ سم مربوط إلى اسطوانة زجاجية مدرجة سعة ٢٥٠ مللتر وربطت هذه الاسطوانة إلى مضخة ماصة لإحداث تخلخل بالضغط داخل الاسطوانة مقداره 50 كيلونيوتن/م^٢ ينتج عنه سحب لمياه الحمأة. تم جلب المواد المراد اختبار كفاءتها من مناطق مختلفة من العراق، إذ أن الكاؤلين تم جلبه من منطقة العكرة في مدينة الرمادي وتم اخذ النماذج من عمق ١,٠ متر تحت مستوى سطح الأرض، أما الحجر الجيري فقد تم جلب هذه الصخور من منطقة أسكي موصل الواقعة شمال غرب مدينة الموصل وعلى بعد ٤٥ كيلومتر تقريباً، إذ أخذت النماذج على عمق ١,٢ متر من سطح الأرض، وفيما يخص الحجر الطيني فتم أخذ نماذج هذا الحجر من منطقة حي الشهداء في مدينة الموصل على عمق ٢,٠ متر تحت مستوى سطح الأرض ويمكن تعريفه على أنه تربة طينية متكتلة

مكونة ما يسمى بالحجر الطيني، ويمكن الرجوع الى المصادر المتخصصة بدراسة هذه الأنواع من الأطين لمعرفة المزيد عن خصائصها. تمت تهيئة المواد بتجفيفها بفرن بدرجة حرارة ٦٠ درجة مئوية ولمدة ٢٤ ساعة (Pansu & Gautheyrou, 2006) ثم طحنت هذه المواد ومررت من منخل رقم ٢٠٠ (٧٥ مايكرون) للحصول على النعومة المطلوبة.

يؤخذ نموذج من الحمأة المثخنة ويوضع في وعاء زجاجي وتضاف إليه الجرعة المحددة من المواد الناعمة وحسب الطريقة التي ذكرها (Eckenfelder, 2000) وهي كالتالي:

١. اخذ نموذج من الحمأة مقداره ١,٠ لتر.
٢. مزج سريع ١٠٠ دورة/ الدقيقة لمدة ١,٥ دقيقة.
٣. مزج بطيء ٤٠ دورة/ دقيقة لمدة ٢٠ دقيقة.
٤. ترسيب لمدة ٣٠ دقيقة.

ثم يؤخذ نموذج من الحمأة مقداره ١٥٠ مللتر ويوضع في القمع الزجاجي من الجهاز الموضح في الشكل (١) وتسجل كمية الراشح بعد دقيقتين من بدء عملية الترشيح ومن ثم تسجل القراءات بفترة خمسة دقائق بين الواحدة والأخرى وبعد استقرار كمية الراشح مع الزمن تتوقف عملية القياس ويقاس الأس الهيدروجيني pH والمواد الصلبة الكلية TS. ترسم العلاقة بين وقت الترشيح مقسوماً على حجم الراشح (t/v) مع حجم الراشح (v) ويستخرج ميل هذه العلاقة لاستخدامه في المعادلة (١) والمسماة بمعادلة روث (Attar et al., 2005, (Ruth Equation) (Eckenfelder, 2000).

$$(1) \quad \frac{t}{v} = \left(\frac{\mu r w}{2A^2 P} \right) v + \mu \frac{R_f}{AP} \dots \dots \dots$$

حيث أن:

t = وقت الترشيح (ثانية).

v = حجم السائل الراشح (مللتر).

μ = لزوجة الحمأة نيوتن. ثانية/م^٢.
 r = المقاومة النوعية للحمأة كغم/م.
 w = وزن المادة الصلبة من الحمأة لوحدة الحجم كغم/م^٣.
 A = مساحة الفلتر م^٢.
 P = ضغط السحب نيوتن/م^٢.
 R_f = مقاومة مادة المرشح م^{-١}.
تفترض هذه العلاقة إن الجريان صفائحي (توزيع منتظم للمادة أثناء الترشيح) وزيادة منتظمة في الرشح. ولما كانت قيمة R_f قليلة جداً مقارنة مع مقاومة الحمأة (Eckenfelder, 2000) فإن المعادلة (1) ستكون بالشكل التالي.

$$\frac{t}{v} = \left(\frac{\mu r w}{2A^2 P} \right) v \dots \dots \dots (2)$$

وعند اخذ ميل العلاقة متمثلاً بـ b (فإن المقاومة النوعية للحمأة r) ستحسب من المعادلة التالية.

$$r = \frac{2PA^2b}{\mu w} \dots \dots \dots (3)$$

حيث أن:

b = ميل الخط المستقيم الناتج عن رسم حجم الماء المسحوب مع الزمن المستغرق/حجم الماء المسحوب.

النتائج والمناقشة

الكاولين Kaolin

يوضح الشكل (2) العلاقة بين المقاومة النوعية للحمأة والنسب المئوية لإضافة طين الكاولين

كمادة ناعمة مستخدمة لخفض المقاومة النوعية للحمأة، و يتبين من الشكل أن اقل مقاومة نوعية للحمأة يمكن استحصالتها عند نسبة إضافة ٨% وزناً من الكاولين إذ بلغت هذه القيمة حوالي 4.1 $\times 10^{12}$ كغم/م و يمكن أن يرجع ذلك إلى التأثير الأيوني الموجب للكاولين عند أطراف جزيئاته وهذا ما يعطي الكاولين فرصة للالتصاق بالحمأة كونها سالبة الشحنة كما أشار إلى ذلك (Murthy, 1998) أو قد يعود السبب إلى كون العنصر السائد للكاولين هو الألمنيوم والذي يتواجد على شكل أوكسيد الألمنيوم والذي يكون تأثيره من ناحيتين الأولى انه يعمل على تقليل الانتفاخ في الحمأة الممزوجة معه والثانية هي عمله كمادة رابطة ولكن عند زيادة الجرعة يبدأ تأثير أوكسيد الألمنيوم العكسي إذ يعمل على جعل الحمأة كتلة متماسكة لا تسمح بمرور الماء من خلالها وبذلك تقل كمية الراشح مع الزمن مما يزيد من المقاومة النوعية للحمأة حسب المعادلة (3). ويبين الشكل (3) العلاقة بين النسب المئوية لإضافة الكاولين والأس الهيدروجيني للراشح المستحصل من عملية الترشيح ومن الملاحظ في هذا الشكل ان قيم الأس الهيدروجيني تتذبذب مع تغاير جرع الكاولين إلا أنه من الجدير بالذكر إن هذا التذبذب في تناسب يكاد يكون طردياً مع كفاءة انتزاع الماء من الحمأة الموضح في الشكل (2) ويمكن أن يعود السبب إلى كون اللبادات المتكونة تحاط بطبقة شمعية تسمى Extra Cellular Polymer Substance (EPS) والتي تساعد في ربط اللبادات مع بعضها البعض إذ ترتبط هذه الطبقة مع سطح اللبادات بروابط الكترولستاتيكية وبأواصر هيدروجينية وتلعب هذه الطبقة (EPS) دوراً كبيراً في عملية نزع الماء من الحمأة إذ أن وجودها يعرقل عملية الانتزاع وذلك لاحتجاز جزيئات الماء فيها، وتتأثر هذه الطبقة بقيم الأس الهيدروجيني (Liu, 2007 Katja & Mika, 2007).

أما فيما يتعلق بالشكل (4) فإنه أيضاً يوضح العلاقة بين النسب المئوية لإضافة الكاولين ولكن هذه المرة مع المواد الصلبة الكلية المتبقية في النموذج بعد الترشيح، إذ تعطي قيم هذه المواد صورة واضحة عن حالة الترسيب وترابط جزيئات الحمأة مع المادة المضافة، ويبدو واضحاً من هذا الشكل ان العلاقة بين نسب الاضافة وقيم المواد الصلبة الكلية كانت متذبذبة كما هو مع قيم الأس الهيدروجيني لاعتماد على هذا الشكل يمكن القول انه كلما كانت الخصائص الترسيبية والتلبد للحمأة جيدة كانت قيم النواتج النهائية افضل اي ان قيمها اقل.

الحجر الجيري Lime stone

يبين الشكل (5) العلاقة بين النسب المئوية لإضافة مسحوق الحجر الجيري مع المقاومة النوعية للحمأة ويبدو جلياً ان المقاومة النوعية تتناقص تدريجياً مع زيادة نسبة الإضافة ويعود السبب في ذلك إلى أن كمية الكالسايت (الذي يعد العنصر السائد في الحجر الطيني) وثاني اوكسيد الكربون تزداد بزيادة نسبة الإضافة مما يعطي فرصة اكبر لتكون بيكاربونات الكالسيوم الذائبة والتي تمنح المزيج مزيداً من الليونة (العبيدي، ٢٠٠٧، Katja & Mika, 2007) مما يسهل عملية سحب الماء منه، هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فإن زيادة الكالسايت في المزيج تزيد من إمكانية امتزاز الكتلة الحية على سطوحه وفي كلتا الحالتين يمكن أن تنخفض المقاومة النوعية للحمأة. ويبين الشكل (6) العلاقة بين النسب المئوية لإضافة مسحوق الحجر الجيري مع الأس الهيدروجيني للراشح ومن هذا الشكل يمكن ملاحظة ان قيم الأس الهيدروجيني تتزايد تدريجياً بزيادة نسب الاضافة وهذا بدوره يرجع إلى تأثير ثاني اوكسيد الكربون الموجود في المادة المضافة إذ أن وجوده يؤدي إلى زيادة سعة القاعدية (Buffer capacity)

بفعل تولد البيكاربونات والتي تعمل على معادلة قيم الأس الهيدروجيني باتجاه (٨,٢) (حد قاعدية البيكاربونات) (العبيدي، ٢٠٠٧، Eckenfelder, 2000)، إذ تتأثر الخصائص الترسيبية للحمأة بشكل كبير بزيادة هذه القيم وذلك لتعرضها للإمهاة في تلك الظروف مما يساعد في عملية نزع الماء منها (Metcalf & Eddy, 2003) وهذا ما يفسر زيادة كفاءة نزع مع تزايد قيم الأس الهيدروجيني وتبعاً لذلك فإن تراكيز المواد الصلبة الكلية في الراشح النهائي تتناسب عكسياً معه وطردياً مع قيم المقاومة النوعية للحمأة كما هو واضح في الشكل (7).

الحجر الطيني Clay stone

يلاحظ من الشكل (8) ان المقاومة النوعية للحمأة كانت تقريباً مستقرة عند استخدام نسب إضافة مقدارها (٨,٦,٤) % من الحجر الطيني إذ بلغت قيمها حوالي (59,60,57) $\times 10^{12}$ كغم/م على التوالي، ويمكن أن يعود ذلك إلى أوكسيد الألمنيوم الذي يعمل كمادة رابطة يمكن أن تجمع كتل الحمأة مع بعضها البعض ولكن ذلك لا يدوم طويلاً إذ سرعان ما يجتذب الماء من طبقات معدن المونتموريلونايت ذات التطبيق الثلاثي والتي تمتاز بكون الترابط بينها ضعيفاً وهذا ما يعطي فرصة كبيرة لجزيئات الماء بالتغلغل خلالها مما يجعل عملية الترشيح تتباطئ وهذا بدوره ينعكس على المقاومة النوعية للحمأة. أما الشكل (9) فيوضح تغير قيم الأس الهيدروجيني مع النسب المئوية لإضافة الطين ويوضح الشكل (١٠) العلاقة بين تراكيز المواد الصلبة الكلية مع النسب المئوية لإضافة الطين ويتضح من الشكل قيم هذه المواد يتزايد تدريجياً بزيادة جرع المادة المضافة ويمكن أن يعود السبب في ذلك إلى تغلغل جزيئات الماء بين طبقات السيليكات الموجودة في تركيب المعادن الطينية المكونة لهذا

الطين الأمر الذي ينتج عنه انتفاخ لجزيئات الطين وفي نفس الوقت قد ينتج عنه انفصال لبعض هذه الجزيئات ومرورها عبر مادة المرشح مما يؤدي إلى زيادة تراكيز المواد الصلبة في الراشح النهائي.

الاستنتاجات

تم استنتاج النقاط التالية من نتائج الدراسة الحالية وهي:

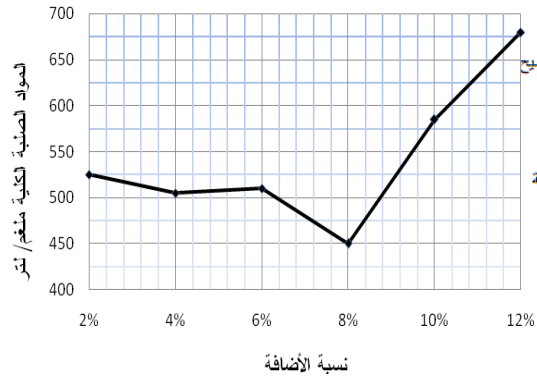
١. اثبتت جميع البدائل كفاءة لا بأس بها ولكن كان الكاؤلين أفضل تلك البدائل المستخدمة في تقليل المقاومة النوعية للحمأة.
٢. ترتبط المقاومة النوعية للحمأة ارتباط وثيق بقيمة الأس الهيدروجيني وتتناسب معه عكسياً.
٣. تتأثر قيم المواد الصلبة الكلية للراشح بالمقاومة النوعية للحمأة المعالجة.

المصادر

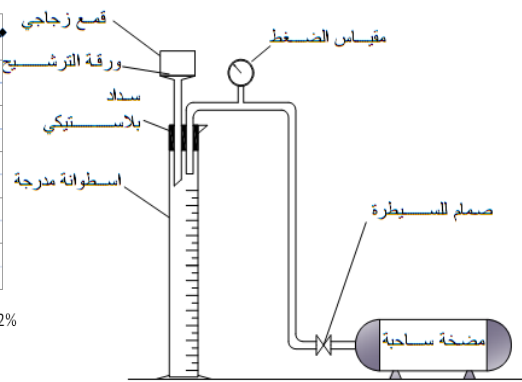
١. العبيدي، احمد ياسين، (٢٠٠٧)، " تطوير أداء وحدات الحمأة المنشطة باستخدام تقنية النمو الثابت المتكامل" رسالة ماجستير/ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الموصل.
2. Steel, E.W. and McGhee, T.J., (1990), "Water supply and sewerage" 5th Ed. McGraw-Hill.
3. Liu, Sean X., (2007), "Food and agricultural wastewater utilization and treatment" Black Well Publishing.
4. Wiener, Ruth F. and Matthews, Robin, (2003), "Environmental Engineering", 4th Ed. Butterworth Heinemann.

5. Berkday, Ali, (1998), "Properties of sludge produced from the pressurized wastewater treatment process", Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22, pp.377- 385.
6. Ghebremichael , Kebreab A. and Hultman, Bengt, (2004), "Alum sludge dewatering using moringa oleifera as a conditioner", J. Water, Air, and Soil Pollution, vol. 158, pp. 153-167.
7. Eckenfelder, W. Wesley Jr., (2000), "Industrial water pollution control" 3rd Ed. McGRAW-HILL International Editions.
8. Katja, Haarainen and Mika, Sillanpaa (2007), "Flocculation in paper and pulp millsludge process", Res. J. Chem. Environ., vol. 11 (3) Sep, pp.96-103
9. Buyukkamaci, N. and Kucukselek E, (2006), " Improvement of dewatering capacity of a petrochemical sludge", Elsevier B.V. pp. 323-327.
10. Chia-Hung, Hou and Kung-Cheh, Li , (2003), "Assessment of sludge dewaterability using rheological properties" , Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 26, No. 2, pp. 221-226

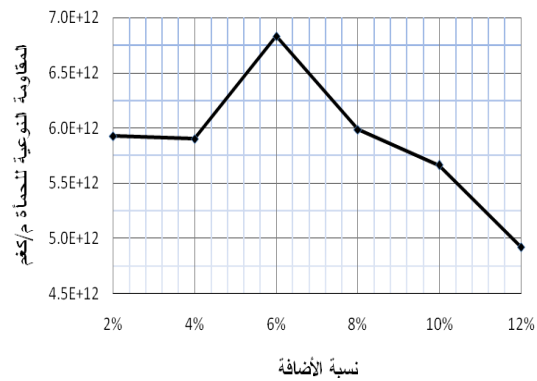
11. Sommerfeld, D. and Maxham, J.V., (1983), " The effect of fine particle addition on the dewatering characteristics", A progress report to members of the institute of paper chemistry, Appleton, Wisconsin, pp. 1-16.
12. Pansu, Marc and Gautheyrou, Jacques, (2006), "Handbook of soil analysis, mineralogical, organic and inorganic methods", Springer-Verlag Berlin Heidelberg,.
13. Attar, M. H. ,Bina, B. and Moeinian, Kh, (2005), "Effects of aeration rate and detention time on thermophilic aerobic digestion of mixed sludge and its dewaterability", International journal of Environmental Science and Technology ,Vol. 2, No. 2, pp. 105-111.
14. Murthy, Sudhir N., (1998)," Bioflocculation: implications for activated sludge properties and wastewater treatment", Ph.D thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
15. Metcalf and Eddy, (2003), "Wastewater engineering treatment and reuse", McGraw- Hill companies Inc.4th Edition.



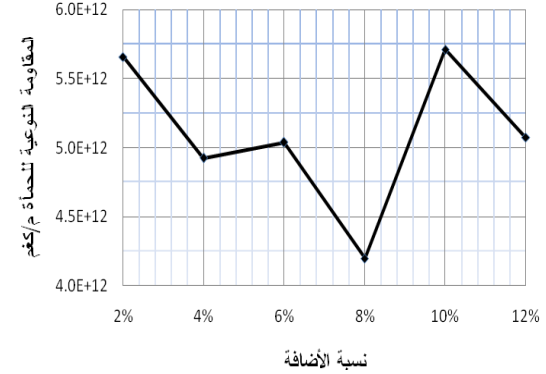
شكل رقم (4): العلاقة بين نسب إضافة الكاؤلين والمواد الصلبة الكلية للراشح



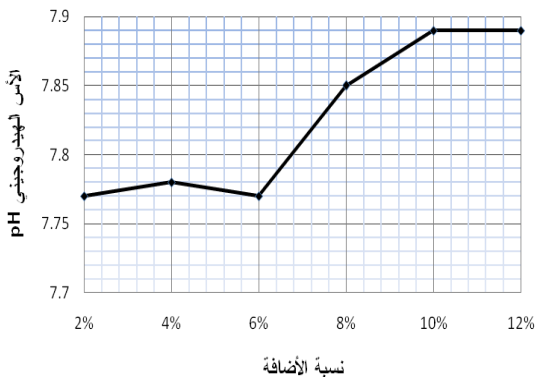
شكل رقم (1): الجهاز المستخدم في التجربة



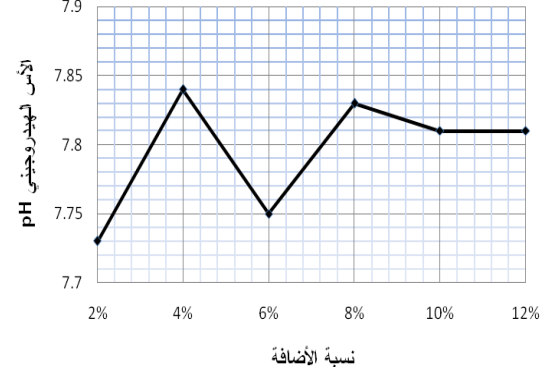
شكل رقم (5): العلاقة بين نسب إضافة الحجر الجيري والمقاومة النوعية للحمأة



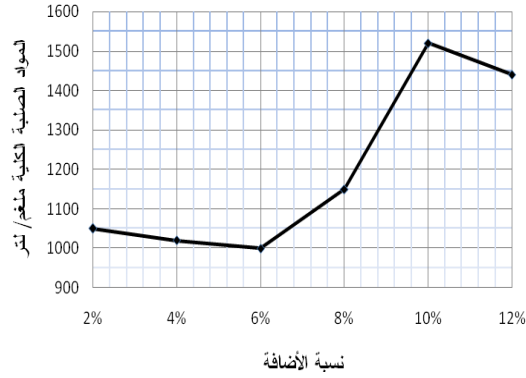
شكل رقم (2): العلاقة بين نسب إضافة الكاؤلين والمقاومة النوعية للحمأة



شكل رقم (6): العلاقة بين نسب إضافة الحجر الجيري والأس الهيدروجيني للراشح



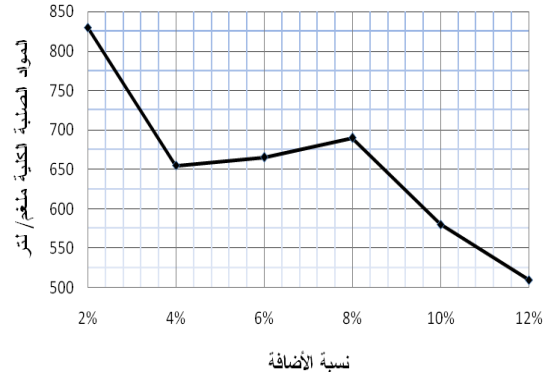
شكل رقم (3): العلاقة بين نسب إضافة الكاؤلين والأس الهيدروجيني للراشح



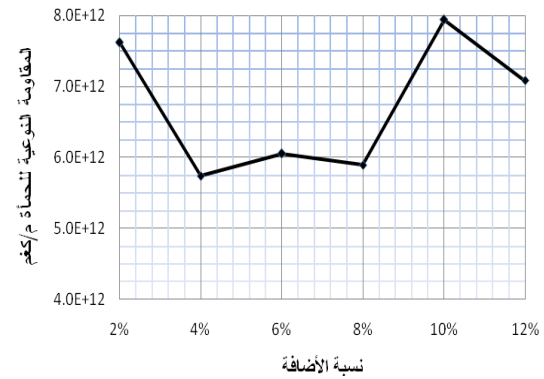
شكل رقم (١٠): العلاقة بين نسب إضافة الحجر الطيني والمواد الصلبة الكلية للراشح

جدول (١): يبين قيم المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من الحمأة (Ruth & Matthews, 2003).

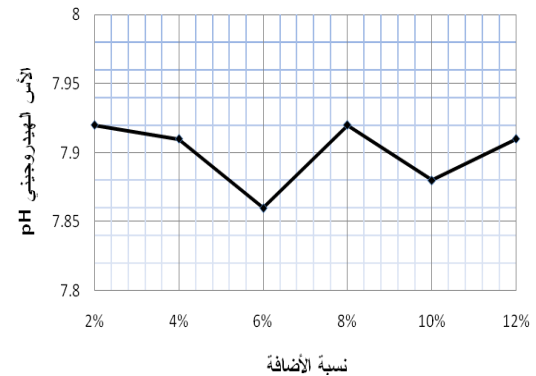
Sludge type	SRF (m/kg)
Raw primary	$10 - 30 \times 10^{14}$
Mixed digested	$3 - 30 \times 10^{14}$
Waste activate	$5 - 20 \times 10^{14}$
Lime & biological sludge	$1 - 5 \times 10^{14}$
Lime slurry	$5 - 10 \times 10^{13}$
Alum	$2 - 10 \times 10^{13}$



شكل رقم (7): العلاقة بين نسب إضافة الحجر الجيري والمواد الصلبة الكلية للراشح



شكل رقم (8): العلاقة بين نسب إضافة الحجر الطيني والمقاومة النوعية للحمأة



شكل رقم (٩): العلاقة بين نسب إضافة الحجر الطيني والأس الهيدروجيني للراشح