دراسة كفاءة قشر الفستق الحلبي كمخثر طبيعي في معالجة المياه

إعداد: المهندسة هدى هاشم العلي
كلية الهندسة الكيميائية والبترولية –قسم الهندسة الكيميائية
إشراف: د. محمد أسعد[1]
كلية الهندسة الكيميائية والبترولية –قسم الهندسة الكيميائية

ملخص:

وُجد أن معالجة المياه العكرة عن طريق التخثر والتلبد هي الطريقة الأكثر انتشاراً وفعالية من حيث التكلفة. على مر السنين، تم تطبيق التخثر الكيميائي على نطاق واسع لتعزيز عملية المعالجة. إلا إن استخدام مواد التخثر الكيميائية يظهر العديد من العيوب، مثل تشكل الحمأة الضخمة وكونها غير قابلة للتحلل الحيوي وكذلك المركبات السامة للحياة المائية. نظراً للمخاوف العالمية بشأن الآثار الضارة، فإن استخدام مواد التخثر الطبيعية يعتبر حلاً واعداً وصديقاً للبيئة. لذا تناول البحث دراسة كفاءة استخدام قشور الفستق الحلبي كمخثر طبيعي للحد من عكارة المياه الخام وتحسين جودة مياه الشرب. تم تنظيف قشور الفستق الحلبي مسبقاً وغسلها بماء الصنبور وتجفيفها وطحنها وغربلتها بدقة، ثم تم معالجة المسحوق باستخدام مذيبات مختلفة مثل:(هيدروكسيد الصوديوم– كلوريد الصوديوم –حمض كلور الماء– الماء المقطر) بتراكيز مختلفة لاستخراج المكونات الفعالة من قشور الفستق الحلبي للوصول إلى أفضل معالجة في عمليات تقليل عكارة الماء. وأجريت سلسلة من التجارب باستخدام جهاز اختبار جرة المخثر/ جار تيست(Jar Test) لتقييم إداء مادة التخثر المستخرجة من مخثرات طبيعية نباتية ومقارنة فعاليتها مع الشبّة اعتماداً على نسبة إزالة العكارة. ودراسة تأثير جرعة المخثر على كل من العكارة ودرجة الحموضة. أظهرت النتائج أن استخدام مواد التخثر التي تم الحصول عليها من خلال معالجتها بالمذيبات كان فعالاً في إزالة العكارة بالمقارنة مع الشبّة بنسب إزالة وصلت إلى

(99%)، كما عمل المختثر الطبيعي على تكوين ندف واضحة، كبيرة الحجم وسهلة الترسب خلال مدة خمس الدقائق الأولى من عملية المزج البطيء.

الكلمات المفتاحية: التختير، العكارة، قشور الفستق الحلبي، جهاز اختبار جرعة المختثر، معالجة المياه.

Study of the Efficiency of Pistachio Shells as a Natural Coagulant in Water Treatment

Abstract:

through coagulation and It has been found that treating turbid water effective method. Over the -flocculation is the most widespread and cost years, chemical coagulation has been widely applied to enhance the treatment process. However, the use of chemical coagulants presents -s the formation of large sludge volumes, nonseveral drawbacks, such a biodegradability, and the presence of toxic compounds harmful to aquatic life. Given global concerns about these adverse effects, the use of natural coagulants is considered a promising and environmentally dly solution. This research focuses on studying the efficiency of frien using pistachio shells as a natural coagulant to reduce turbidity in raw -water and improve drinking water quality. The pistachio shells were pre and carefully sieved. The ،cleaned, washed with tap water, dried, ground resulting powder was treated with various solvents (sodium hydroxide, sodium chloride, hydrochloric acid, and distilled water) at different concentrations to extract the active components from the pistachio shells eatment in reducing water turbidity. A series of experiments for optimal tr

were conducted using the Jar Test apparatus to evaluate the performance of the coagulant extracted from natural plant coagulants dity and compare its effectiveness with aluminum sulfate based on turbi removal rates. The impact of coagulant dosage on both turbidity and pH levels was also studied. The results showed that the coagulants obtained through solvent treatment were effective in removing turbidity compared val rates of up to 99%. The natural to aluminum sulfate, achieving remo coagulant also facilitated the formation of clear, large flocs that settled easily within the first five minutes of slow mixing

Keywords: Coagulation, turbidity, pistachio shells, jar test, water treatment.

1-المقدمة:

لا يقتصر دور المياه على كونها ضرورية للحياة، بل يتعدى ذلك ليشمل مختلف جوانب حياتنا، من الزراعة والصناعة إلى النظافة والصحة. فبدون الماء، لا يمكننا تخيل وجود حضارات أو تقدم بشري. ولطالما ارتبطت المياه بأهمية قصوى للإنسان، فهي مصدر للحياة ورمز للازدهار .حيث تشير تقديرات منظمة الصحة العالمية إلى أن حوالي(80%) من جميع الأمراض والأوبئة في العالم ترجع إلى عدم كفاية الصرف الصحي أو المياه الملوثة أو عدم توفر المياه [1، 2]. كما أفادت منظمة الصحة العالمية أن حوالي ملياري شخص في جميع أنحاء العالم يستخدمون مصادر مياه الشرب الملوثة ، ويظهر تقدير منظمة الصحة العالمية أيضاً أن أربعة ملايين طفل يموتون في البلدان النامية كل عام بسبب الأمراض المنقولة عن طريق المياه [1]. لذا فإن نقص المياه عالية الجودة هو أخطر المخاوف البيئية التي تواجهها البلدان النامية. لذلك

تسعى معظم مناطق العالم لتحقيق الهدف المتعلق بجودة مياه الشرب [3].

العكارة هي غيوم أو ضبابية السائل الناجمة عن أعداد كبيرة من الجسيمات العالقة غير المرئية بشكل عام للعين المجردة مثل الطين والطمي، والرواسب الكيميائية مثل المنغنيز والحديد، والجزيئات العضوية مثل النفايات البشرية، وبقايا النباتات، والكائنات الحية، على غرار الدخان في الهواء. ففي المسطحات المائية مثل البحيرات والأنهار والخزانات، يمكن لمستويات العكارة العالية أن يؤثر على صحة الإنسان، وأن تقلل من كمية الضوء التي تصل إلى العمق الأدنى للنباتات المائية المغمورة. كما أنه يؤثر على قدرة الأسماك على امتصاص DO (الأكسجين المنحل)[4].

لذلك يعد الحد من العكارة خطوة أساسية في عمليات معالجة المياه سواءً لمحطات المعالجة واسعة النطاق أو المجتمعات الصغيرة أو الأسر. وخاصة في البلدان النامية في المناطق الريفية التي تفتقر إلى أنظمة معالجة المياه والتي تعتمد بشكل كبير على مصادر المياه الملوثة، مثل الأنهار وإمدادات المياه المجتمعية الصغيرة والسدود الصغيرة والبرك والآبار التقليدية [5].

تعتبر عمليات التخثر والتلبد هي الأكثر استخداماً على نطاق واسع لمعالجة مياه الصرف الصحي ومياه الشرب ، حيث يتميز التخثر بأنه عملية سريعة، تعتمد على خصائص الماء مثل درجة الحموضة، والمزج، وكمية الجزيئات الذائبة والمعلقة، وتتضمن إضافة مادة كيميائية أو طبيعية تسمى المخثر، والتي تتمثل وظيفتها في زعزعة استقرار المادة المعلقة والغروانية والمذابة [6].

لسنوات عديدة، كان للمخثرات الكيميائية مثل كبريتات الألمنيوم (الشبّة) والبولي ألمنيوم، أو البوليمرات العضوية الاصطناعية، مثل: مشتقات أميد البولي أكريل، فعالية جيدة في إزالة العكارة والملوثات، ولكنها باهظة الثمن وغير متوفرة بسهولة. حيث تتمثل القيود الرئيسية في استخدامها في حساسيتها العالية تجاه قيمة الرقم الهيدروجيني للمياه، وإدخال الملوثات الثانوية في مياه الشرب، مثل: آثار التخثر البوليميري الاصطناعي السام، أو أيونات الحديد والألمنيوم المتبقية. حيث وجد الباحثون علاقة بين مرض الزهايمر وأيونات الألمنيوم المتبقية في المياه المعالجة، كما أن الحمأة الناتجة عن استخدام هذه المخثرات لها تأثيرات بيئية مختلفة، حيث يصعب إعادة تدويرها بسبب عدم التحلل البيولوجي للبوليمرات الاصطناعية، بالإضافة إلى التلوث البيئي بسبب

التخلص غير السليم لها [7,8].

في ظل مواجهة التحديات السلبية لاستخدام المخثرات الكيميائية، اهتم الباحثون بالمخثرات الحيوية النباتية كبديل للمخثرات الكيميائية لأنها قابلة للتحلل الحيوي وغير سامة وبالتالي أكثر أماناً على البيئة والإنسان.

حيث وجد Mekayla أن مستخلص بذور القطن حقق كفاءة إزالة مماثلة لمواد التخثر التقليدية، مع ميزة كونه بديلاً طبيعياً ومنخفض التكلفة، فقد تبين إنه يقلل العكارة بنسبة 90% بغض النظر عن العكارة الأولية [9].

كما درس Saravanan استخدام مواد التخثر الطبيعية في معالجة مياه الصرف الصحي ووجد أنه يمكن استخدام مواد التخثر النباتية في عملية التخثر والتلبد لمعالجة مياه الصرف الصحي [10].

وبين Mohammed أن استخدام مسحوق أكواز الصنوبر كمادة تخثر طبيعية لإزالة تراكيز الطلب على الأكسجين الكيميائي (COD) (قيمة الاوكسجين المنحل)، ومجموع المواد الصلبة العالقة (TSS)، والأمونيا والنيتروجين (NH_3 – N) من مياه الصرف الصناعي قد حقق إزالة وصلت إلى83.3 ٪ و99 ٪ و83.9 ٪ على التوالي عند الرقم الهيدروجيني (8) وباستخدام جرعة تخثر (3) غ / لتر[11] .

وبحسب دراسة الباحثين Dehghani and Alizadeh ، أبدت الخلاصة المائية لبذور المورينغا M.oleifera فعالية في تخفيض كل من : قيم ال COD ، والعكارة، والمواد الصلبة العالقة TSS بنسب %(62–63.7–38.6) على التوالي [12].

تُقدم المخثرات الطبيعية بديلاً واعداً لمعالجة المياه، فهي فعالة وصديقة للبيئة وآمنة على صحة الإنسان. مع استمرار البحث والتطوير، يمكن أن تُصبح هذه التقنيات الطبيعية جزءً لا غنى عنه من استراتيجيات معالجة المياه في المستقبل.

2–هدف البحث:

تأتي أهمية البحث في كونه يهدف لتقييم كفاءة منتج طبيعي قابل للتحلل الحيوي يستخدم كمخثر طبيعي في عملية معالجة المياه الخام. حيث تم استخدام قشور الفستق الحلبي، والتي تتوفر بكثرة

في سوريا. وتم إجراء سلسلة من التجارب باستخدام (Jar–Test) على عينات من مياه اصطناعية بعكارة محددة. لتحقيق ما يلي:

1.أمثلة معالجة وتحضير مخثر طبيعي قابل للتحلل الحيوي اعتماداً على قشور الفستق الحلبي.

2. المقارنة بين المخثر الطبيعي المحضر والمخثر الكيميائي في معالجة مياه اصطناعية بعكارة محددة.

3–مواد وطرائق البحث:

3–1–الأجهزة المستخدمة:

3–1–1–جهاز اختبار جرعة المخثر (Jar– Test):

وهو اختبار يستخدم لتحديد الجرعات المضافة من المواد المخثرة الى المياه الخام، لتخفيض العكارة في المياه المعدة لأغراض الشرب، حيث يتأثر هذا الاختبار بكل من الكدرة وقيمة ال pH ودرجة الحرارة والاضطراب.

ويتم إجراء هذا الفحص باستخدام ستة من الكؤوس (بياشر) الزجاجية شفافة، الموضح في الشكل (1) للمساعدة على رؤية (اللبدات المتكونة) الضبابية، والتي تكون سعتها على الأقل (1) ليتر وذات شكل وحجم منتظم، ومعها جهاز الخلط المكون من ست مجاديف تقليب كل منها ذات ريشة بطول (50 سم) وقطر (1سم)، وجهاز منظم للسرعة يتراوح بين (0–500) دورة / دقيقة.

الشكل (1): جهاز اختبار جرعة المخثر (Jar- Test).

3-1-2-الأجهزة المساعدة:

1- جهاز قياس العكارة نوع(EUTECH INSTRUMENTS Turbidimeter TN-10) الموضح في الشكل (2).
2- جهاز قياس درجة الحموضة نوع (pH-2603).
3- ميزان حساس بدقة (0.001g).
4- ساعة توقيت.
5- فرن تجفيف الشكل (3).
6- سخان مع خلاط مغناطيسي.

الشكل (2): جهاز قياس العكارة.

الشكل (3): فرن تجفيف.

3-2-المواد المستخدمة:

1-كبريتات الألمنيوم المائية (الشبّة) $(AL_2(SO_4)_3.18H_2O)$.

2-قشور الفستق الحلبي.

3-كلوريد الصوديوم.

4-هيدروكسيد الصوديوم.

5-حمض كلور الماء.

6-طين الكائولين.

7-الماء المقطر.

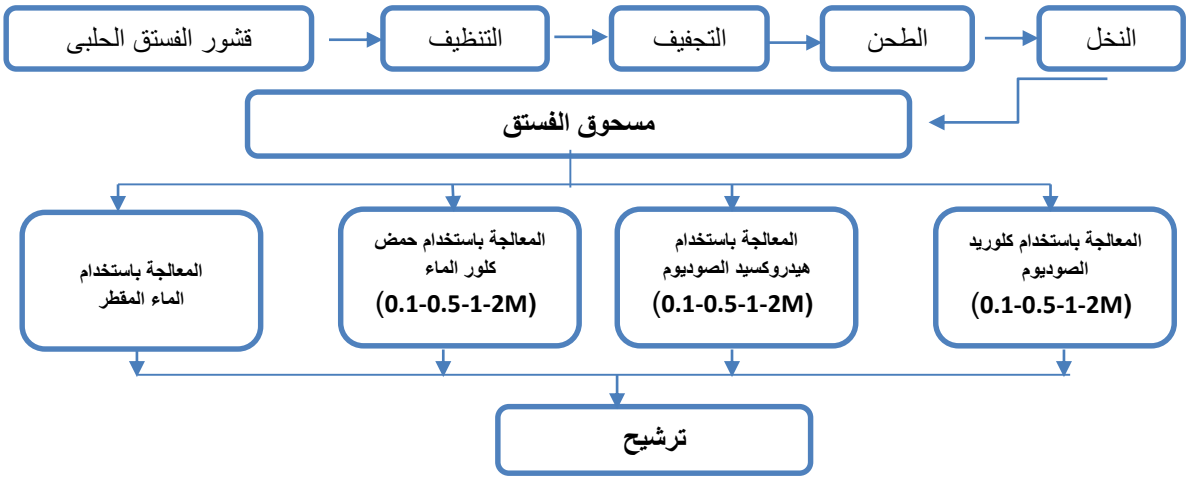
3-3- التجارب:

3-3-1-تحضير مادة التخثر الطبيعية (قشور الفستق الحلبي):

قشرة الفستق هي نفايات زراعية منخفضة التكلفة، وبحسب دراسات سابقة بينت إن محتوى العناصر الكيميائية الحيوية في غلاف الفستق على النحو التالي: الكربون (44.89%)، الهيدروجين (5.66%)، النتروجين (0.53%)، الكبريت (0.97%)، الأكسجين (47.95%). ووفقاً لمصادر مختلفة، فإن محتوى السليلوز هو (38.1-54%)، هيميسليلوز (15.2-31.4%)، اللجنين (25.2-29.4%)، كما إنه يحتوي على أعلى تركيز من المواد النشطة بيولوجياً (مثل البوليفينول، والتوكوفيرول،والبروتينات، والألياف الغذائية، والزيوت الأساسية، والأحماض الدهنية غير المشبعة) مع الخصائص المضادة للأكسدة والتأثيرات المعززة للصحة .إلى جانب ذلك، تم تحديد بعض المعادن والفلزات في أصداف الفستق، مثل Sn و Ca و K و Na و Mg و Fe و Ni و Mn و Cu و Zn و Si. تم تحديد متوسط محتواها (ملغ/كغ) على النحو التالي:(1.63 و424.90 و1646 و155.60 و296.2 و420 و31.52 و6.27 و5.26 و1.45 و153.46) على التوالي[13] .

تم جمع قشور الفستق الحلبي من مدينة حماة في شهر تشرين الأول لعام 2023 الشكل (4)، وغسلها عدة مرات بالماء المقطر لإزالة أي أوساخ، وتجفيفها تحت أشعة الشمس لمدة أسبوع، ثم جففت في الفرن عند الدرجة (80°C) للتخلص من أي رطوبة، بعد ذلك تم طحنها ونخلها من خلال منخل(0.35مم)، تم إضافة كمية صغيرة من المسحوق الناعم (12.5g) إلى (1000ml) من المذيبات المختلفة، تم تحريك المعلق باستخدام أداة تقليب مغناطيسية لمدة 20 دقيقة لاستخراج عامل التخثر الفعال من مسحوق الفستق الحلبي. كانت المذيبات المستخدمة على النحو التالي: الماء المقطر، محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.1-0.5-1-2N)، محلول كلوريد الصوديوم (0.1-0.5-1-2N)، حمض كلور الماء (0.1-0.5-1-2N) حسب المخطط الموضح بالشكل (5)، بعد 30 دقيقة من الترسيب، تم ترشيح المادة الطافية من خلال ورق ترشيح للحصول على مستخلص الترشيح، الذي تم حفظه في عبوات نظيفة لاستخدامه كمخثرات طبيعية[14,15] .

الشكل (4): قشور الفستق الحلبي ومسحوقه.



الشكل (5): مخطط تحضير مادة التخثّر الطبيعي

3-3-2-تحضير مياه العكرة الاصطناعية:

بالنسبة لتجارب التخثر تمت إضافة (0.1g) من الكائولين إلى (1000ml) من مياه الصنبور للحصول على ماء عكر صناعياً، ثم تم تحريك معلق الكائولين عند 200 دورة في الدقيقة لمدة ساعة لتحقيق تشتت منتظم لجزئياته، حيث تم الحصول على عكارة بحدود(100NTU)[16].

3-3-3-طريقة اختبار جرعة المخثر:

تم إجراء عمليات التخثر والتلبد باستخدام جهاز (Jar– Test) لتحديد الجرعة المثلى لكل من المخثر الطبيعي والمخثر الكيميائي كلاً على حدا، تم إجراء جميع التجارب عند درجة حرارة الغرفة (30درجة مئوية)، حيث احتوى كل كوب من أكواب الجهاز الستة على (200ml) من المياه العكرة. أثناء خطوة التخثر، تم إضافة مادة تخثر الطبيعية المحضرة مع المذيبات الأربعة بتراكيز مختلفة (الماء المقطر، هيدروكسيد الصوديوم، حمض كلور الماء، كلوريد الصوديوم) لتحديد

المذيب الأمثل والتركيز الأمثل، وبعد ذلك تم تحديد الجرعة المثلى للمذيب الأفضل. أثناء خطوة التخثر، تم تحريك المزيج لمدة دقيقة عند سرعة مزج 200 دورة في الدقيقة. وأثناء خطوة التلبيد، تم تقليل سرعة الخلط إلى 30 دورة في الدقيقة لمدة 20 دقيقة. أخيراً في خطوة الترسيب، تُركت جميع الأكواب لتترسب بشكل طبيعي لمدة 30 دقيقة[13] . ثم تم إتباع نفس الخطوات السابقة ولكن بإضافة المخثر الكيميائي (الشبّة) بتركيز (50 ملغ/لتر) بالكميات(0.1-0.5-1-2-4ml) لتحديد الكمية الأمثل.

بعد ذلك تم قياس العكارة النهائية للمياه المختبرة بسحب (10ml) من الطبقة السطحية من كل كوب، وقياس قيمة pH، وتسجيل النتائج. تم حساب نسبة إزالة العكارة للعينات من العلاقة [17]:

$$\text{نسبة إزالة العكارة \%} = ((\boldsymbol{T_B} - \boldsymbol{T_S})/\boldsymbol{T_B}) * \mathbf{100}$$

: $\boldsymbol{T_B}$ قيمة العكارة قبل اختبار التخثر.

$\boldsymbol{T_S}$: قيمة العكارة بعد اختبار التخثر.

4-النتائج والمناقشة:

4-1-تأثير استخدام المذيبات المختلفة لاستخراج مادة التخثر الفعالة:

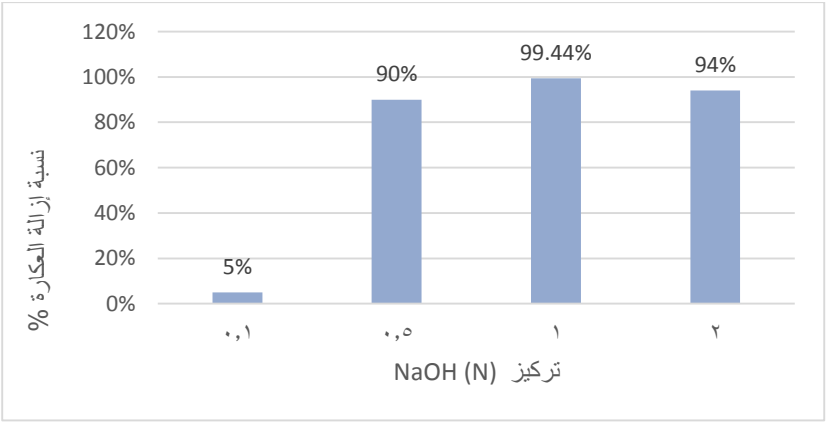
تم اختبار كل من الماء المقطر وهيدروكسيد الصوديوم وحمض كلور الماء وكلوريد الصوديوم في هذه الدراسة للحصول على أفضل مذيب لاستخراج مواد التخثر الطبيعية من قشور الفستق الحلبي. حيث تم اختيار أفضل مذيب بناءً على أعلى نسبة إزالة محققة للعكارة.

وفقاً للنتائج حقق الماء المقطر كمذيب لمسحوق القشور إداءً منخفضاً في إزالة العكارة ونشاط تخثر منخفض جداً بنسبة 2%، ويمكن تفسير ذلك بإن المكونات الفعالة في قشور الفستق الحلبي قد تكون غير قابلة للذوبان بشكل كامل في الماء المقطر، مما يقلل من فعاليتها، ولذلك يمكن الاستنتاج إن الماء المقطر غير مناسب كمذيب بسبب انخفاض قدرته على استخراج المواد الفعالة

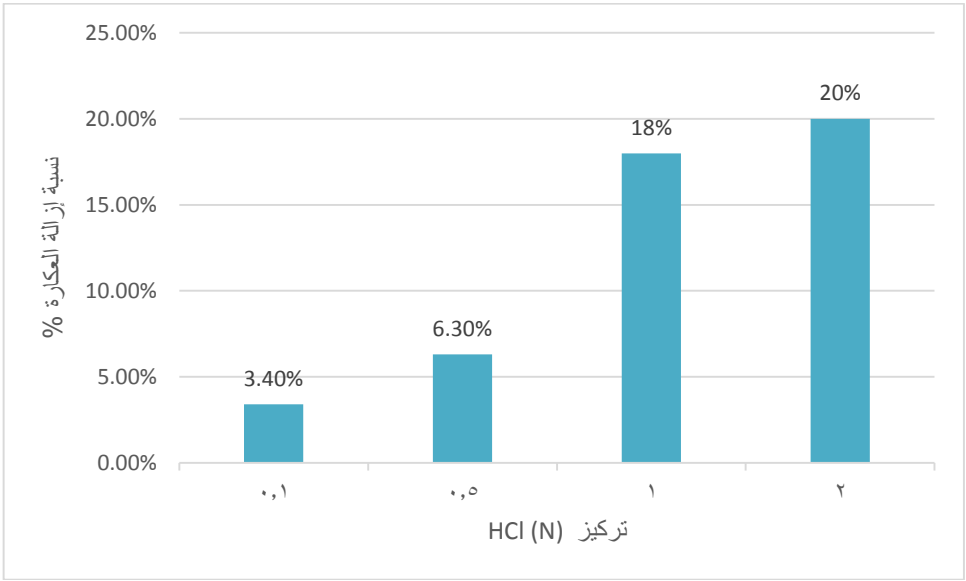
مقارنة مع المذيبات الأخرى.

ومن خلال النتائج، يمكن اعتبار تركيز هيدروكسيد الصوديوم البالغ (1N) التركيز الأمثل لاستخراج المكونات الفعالة من قشور الفستق الحلبي، حيث يوضح الشكل (6) تأثيرات مادة التخثر المستخرجة بمحاليل هيدروكسيد الصوديوم بتراكيز مختلفة (0.1–0.5–1–2N)على كفاءة إزالة العكارة، ووجد إن مع زيادة تركيز هيدروكسيد الصوديوم من (0.1N) إلى (1N) يكون إداء مادة التخثر أفضل وتزيد نسبة إزالة العكارة وتتوافق هذه النتيجة مع بعض الأبحاث السابقة [18] ،لتصل إلى أعلى حد لها 99.44%، ويرجع ذلك إلى الكفاءة العالية لمحلول NaOH في استخراج المزيد من عوامل التخثر من قشور الفستق الحلبي ، مما أدى إلى نشاط تخثر مرتفع وبالتالي نسبة إزالة أعلى للعكارة.

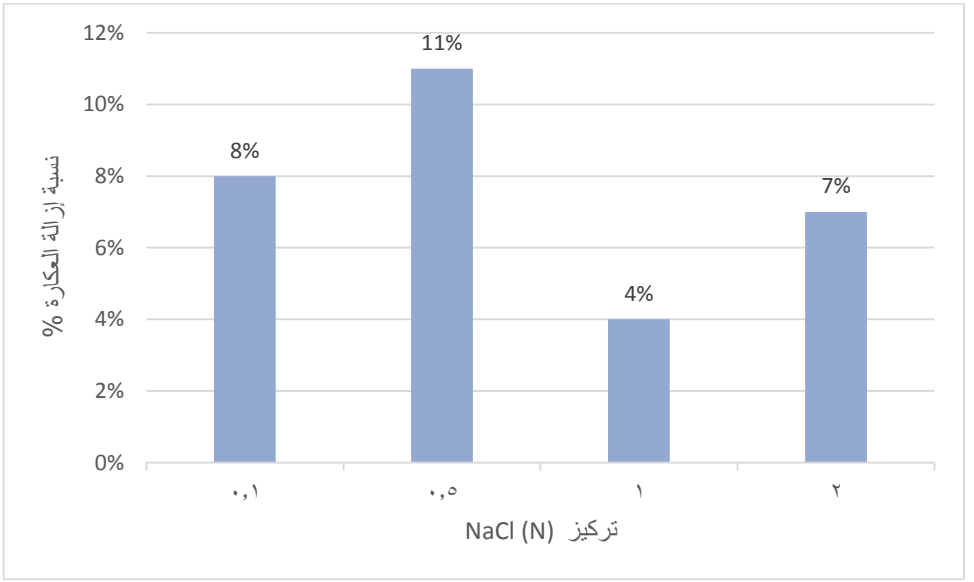
في حين لم يحقق مسحوق قشور الفستق مع محاليل حمض كلور الماء ومحاليل كلوريد الصوديوم كفاءة عالية في إزالة العكارة حيث كانت أعلى نسبة 20% و11% عند التراكيز (2N)(0.5N) على التوالي استناداً إلى الشكلين (7،8).



الشكل (6): نسبة إزالة العكارة باستخدام مواد المخثرة المستخرجة من القشور المعالجة بـNaOH



الشكل (7): نسبة إزالة العكارة باستخدام مواد المخثرة المستخرجة من القشور المعالجة بـHCL

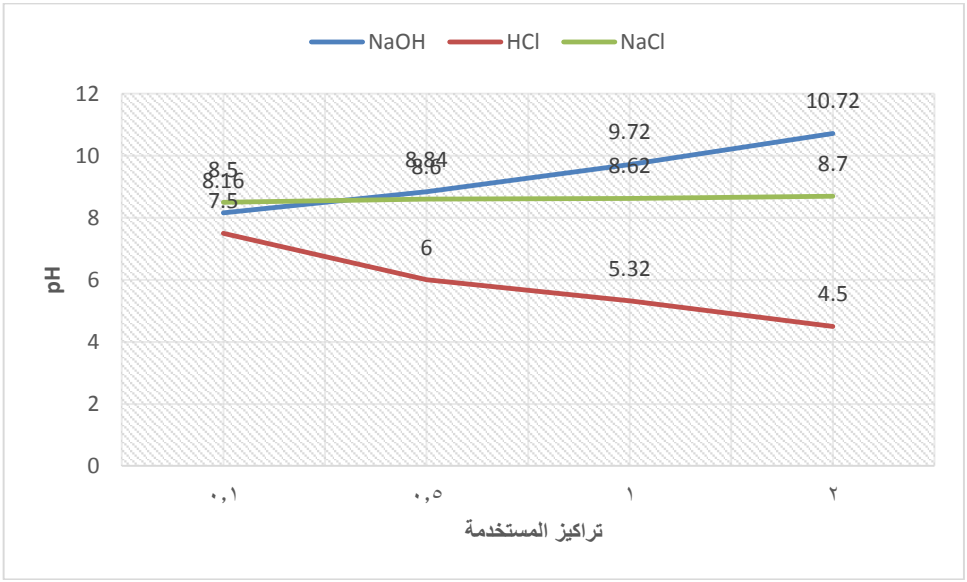


الشكل (8): نسبة إزالة العكارة باستخدام مواد المخثرة المستخرجة من القشور المعالجة ب NaCL

4-2-تأثير قيمة pHعلى التخثر الطبيعي:

يلعب pH دوراً مهماً في عملية التخثر، فهو يعتبر عاملاً أساسياً من العوامل المؤثرة في كفاءة التخثر. حيث قد تتأثر الشحنة السطحية لمواد التخثر بالرقم الهيدروجيني[19] . وقد تتسبب مواد التخثر ذات الشحنة السطحية المنخفضة في بطء نمو جسيمات الندف، مما يؤدي إلى انخفاض في نسب الإزالة عند معالجة المياه. يوضح الشكل (9) أن مادة التخثر مع المذيبات (هيدروكسيد الصوديوم- حمض كلور الماء -كلوريد الصوديوم) بالتراكيز N (2-1-0.5-0.1) تؤثر بشكل طفيف على قيمة pH للمياه الخام، حيث كانت قيمة pH للمياه التي تم استخدامها خلال

التجارب(pH=8)، ويمكن أن يرتبط هذا التأثير بطبيعة مادة التخثر المدروسة. فالشكل (9) يؤكد أنه عند استخدام محلول حمض كلور الماء كمذيب، ينخفض الرقم الهيدروجيني للمياه إلى الحد الأدنى (4.5)، ومن ناحية أخرى يزيد الرقم الهيدروجيني بالتناسب مع جرعة مادة التخثر التي تم الحصول عليها من قشور الفستق الحلبي بمحاليل هيدروكسيد الصوديوم. يمكن تفسير الزيادة في قلوية المياه من خلال طبيعة المذيب المستخدم (NaOH) الذي يسبب إطلاق الهيدروكسيد (OH^-)، كما يمكن أن تؤدي الطبيعة العضوية للمخثر المستخدم (قشور الفستق الحلبي) إلى زيادة مستوى المادة العضوية في الماء [20]. وبينت بعض الدراسات أن الرقم الهيدروجيني الأمثل للتخثير باستخدام مواد التخثر الطبيعية هي أما الحموضة العالية (2–5) أو القلوية (8–10) وذلك حسب مكونات المخثر الطبيعي المستخدم [21] . ومن خلال النتائج، تبين أن تركيز هيدروكسيد الصوديوم البالغ (N1) هو التركيز الأمثل لاستخراج المكونات الفعالة من قشور الفستق الحلبي، حيث كانت أعلى نسبة لإزالة العكارة عند هذا التركيز (99.44%) في الشكل (10).



الشكل (9): تأثير استخدام المذيبات المختلفة علىpH الوسط.

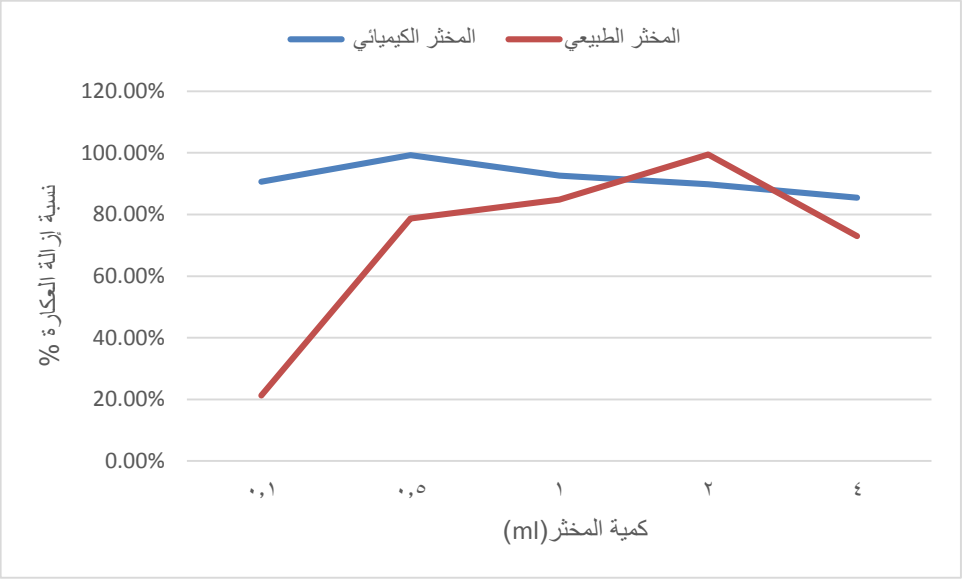
4-3-تأثير جرعة المخثر على إزالة العكارة:

في عملية التخثر والتلبد، تعد جرعة التخثر واحدة من أهم المعايير التي يجب مراعاتها، حيث تؤدي الجرعة غير الكافية أو الجرعة الزائدة إلى ضعف إداء التلبد في مادة التخثر. لذلك يجب تحديد جرعة التخثر المثلى لتقليل تكاليف الجرعات والحصول على معدلات إزالة عالية[22] . تم تحديد نطاقات الجرعة بناءً على الاختبارات الأولية التي أجريت لهذه الدراسة. ووفقاً للنتائج التي تم الحصول عليه كان من الواضح أن مذيب هيدروكسيد الصوديوم مع مسحوق القشور هو الأفضل بين المذيبات المستخدمة بنسبة إزالة وصلت إلى (99.44%) وبتركيز (1N) ، وكانت كمية (2ml) بالنسبة للمخثر الطبيعي هي الأفضل من بين الجرع المستخدمة حيث حققت أفضل النتائج ،إما بالنسبة للمخثر الكيميائي الشبّة فكانت كمية(0.5ml) بتركيز(50 ملغ/ليتر) هي الأفضل فقد حققت نسبة إزالة للعكارة (99.3%) ،ويوضح الشكل (10) العلاقة بين جرعة الشبّة ونسبة الإزالة ،فمن المعروف جيداً أنه مع زيادة جرعة الشبّة تزداد النسبة المئوية لإزالة العكارة

حتى تصل إلى قيمة عظمى تبلغ (99.3%) ثم تنخفض مع أي زيادة أخرى في جرعة الشبّة ،وتفسر هذه الظاهرة هو أن التعريف الرئيسي للتخثر هو زعرعة استقرار المواد الغروية والمعلقة من خلال إنتاج أيونات الألمنيوم الموجبة ولكن مع زيادة جرعة الشبّة ، سيؤدي ذلك إلى الإفراط من الايونات الموجبة مما يسبب التنافر بين الجسيمات وزعزعة استقرارها [17].من ناحية أخرى يلاحظ إن زيادة جرعة التخثر الطبيعي تعزز النسبة المئوية للتخلص من العكارة والمواد العالقة حتى يتم الوصول إلى الجرعة الأمثل، وبعد ذلك لا تؤدي الزيادة الإضافية في الجرعة إلى تحسين هذه النسب كما في الشكل(10) . كما بينت الدراسات أن آليات التخثر الطبيعي هي فقط تحييد الشحنة وتشكيل جسور بين البوليميرات. ويسبق تشكل الجسور للبوليمير امتزاز البوليمير، وهي عملية تلتصق فيها البوليمرات طويلة السلسلة بسطح الجسيمات الغروانية بسبب التقارب بينها. جزء فقط من البوليميرات مرتبط بالجسيم، والباقي بشكل حلقات وذيول، تشكل هذه الحلقات والذيول الهيكل الأساسي لجسر البوليمر لأنها تسهل الارتباط بالجسيمات الغروانية الإضافية، مما يؤدي إلى ندف أكبر، وبالتالي إداء أفضل لإزالة العكارة[24] .

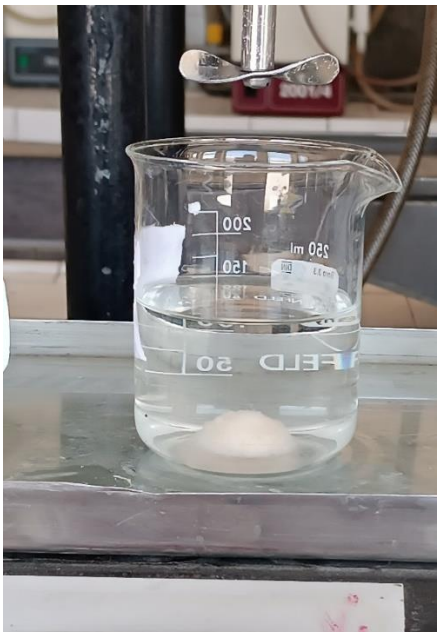
قد تُعزى فعالية قشور الفستق الحلبي في التخثر إلى احتوائها على العديد من المركبات الفعالة مثل محتوى السليلوزCellulose بنسبة(38.1–54%) ، هيميسليلوز (15.2–31.4%) ، اللجنين Lignin(25.2–29.4%) ، كما إنه يحتوي على أعلى تركيز من المواد النشطة بيولوجياً (مثل البوليفينول، والتوكوفيرول، والبروتينات، والألياف الغذائية، والزيوت الأساسية، والأحماض الدهنية غير المشبعة) مع الخصائص المضادة للأكسدة والتأثيرات المعززة للصحة، كما أنها تحتوي على بروتينات وسكريات بكميات قليلة، وذلك حسب دراسة أجراها Vaishali وآخرون [13]. وهذه المركبات الفعالة تُعد مواد مازة بسبب امتلاكها مواقع فعالة لجذب الأيونات موجبة الشحنة والجزيئات الأخرى، لتشكل معها معقدات معدنية أو مركبات مخلبية [25]. وهذا ما أكدته دراسات سابقة، حيث أظهرت قشور الفستق الحلبي قدرة على التخلص من أيونات الرصاص pb^{+2} والزئبق Hg^{+2} من المحاليل المائية كبديل فعال ومنخفض التكلفة بنسبة (90.9%) و(91.5%) على التوالي[13].

كما أن وجود العديد من المركبات الحيوية في قشر الفستق مع مجموعات وظيفية مختلفة (مجموعات الكربوكسيل وهيدروكسيل) المساهمة في خصائص الامتزاز العالية كمواد امتصاص لإزالة أيونات المعادن والأصباغ والمضادات الحيوية المختلفة من الأوساط المائية [13].

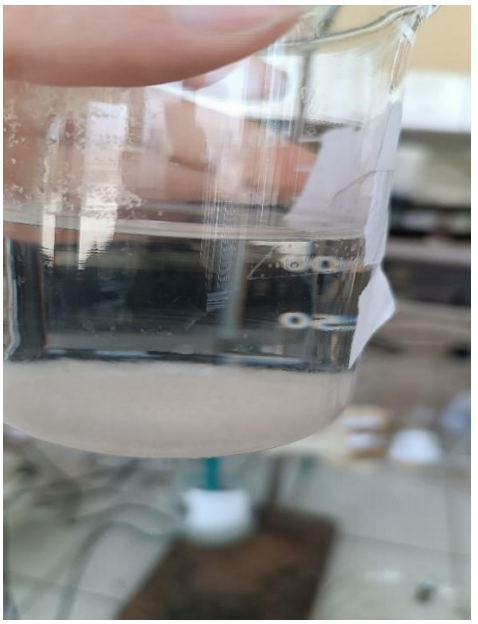


الشكل (10): نسب إزالة العكارة باستخدام كميات مختلفة من المخثرين الكيميائي والطبيعي.

لُوحظ بشكل عام أن تكوين الندف كان واضحاً حيث كانت كبيرة الحجم، كما كانت سريعة في تشكلها وترسبها وذلك بعد مرور أقل من (5) دقائق من المزج البطيء، في حين لم تكن الندف واضحة التشكل خلال تلك الفترة في حال استخدام المخثر الكيميائي، وإن الندف الناتجة في حال استخدام المخثر الطبيعي في نهاية الخلط البطيء كان أقل حجماً وأكثر تراصاً من الندف الناتجة عن استخدام كبريتات الألمنيوم الشكل(11،12) . وبالنسبة للندف المتشكلة عادة ما يتم فصلها عن المادة المعالجة بعد عملية التخثر أماعن طريق الترسيب أو التعويم أو الترشيح.



الشكل (11): الندف المتشكلة عن المخثر الطبيعي



الشكل (12): الندف المتشكلة عن المخثر الكيميائي

5-الاستنتاجات:

- ✓ أظهرت النتائج أن مواد التخثر المستخرجة من قشور الفستق الحلبي والمعالجة بمحلول NaOH يمكن استخدامها في معالجة المياه الملوثة، وبالتالي تقليل الاعتماد على مواد التخثر الكيميائية.
- ✓ بلغت كفاءة قشور الفستق الحلبي كمخثر طبيعي في إزالة عكارة (99.44%).
- ✓ التركيز الأمثل لمذيب NaOH لاستخراج المكون الفعال من قشور الفستق الحلبي هو (1N) بجرعة (2ml).

6-التوصيات:

- الحاجة إلى المزيد من البحث لتحسين وتطوير أنظمة التخثر الطبيعي بشكل أفضل.
- يجب تطوير طريقة استخلاص جديدة وموثوقة ومباشرة لاستخدام المخثرات الطبيعية

بسهولة.

- يجب إجراء المزيد من الدراسات للتحقق من كفاءة التخثر الطبيعي لإزالة الملوثات الدقيقة من مياه الشرب ومياه الصرف الصحي.

المراجع العلمية:

1. -2016 .Hailegebrial, and W. B. Direrssa .H. D. Beyene, T. D Investigation of coagulation activity of cactus powder in water Journal of Applied Chemistry, vol. Article ID 7815903, 9 .treatment pages.
2. H. T. Hippolyte C. Cornelius Tsamo, D. S. Djibrine Sali Meali, and generated -Studying the impact of anions pre-2018 .ukaTodou Assao iron corrosion products on the efficiency of contaminant removal in Journal of Environmental Science and ،Fe0/H2O systems ،10–Engineering B, vol. 7, 1, pp. 1.
3. Bureau of Economic Growth,Bureau -2009 .deTra Agriculture, and of Oceans, Environment, and Science, Addressing Water Challenges in the Developing World: A Framework for Action.
4. Monika Singh , Brij Kishor. 2020- A REVIEW ON REMOVAL OF TURBIDITY AND TDS FROM WATER BY USING NATURAL COAGULANTS,national Research Journal of Inter -2582 ، Modernization in Engineering Technology and Science 5208.
5. D. Sobsey, and L. M. .A. Soros, J. E. Amburgey, C. E. Stauber, M Casanova. 2019-Turbidity reduction in drinking water by Journal of Water ،polymers flocculation with chitosan-coagulation 218–and Health, vol. 17, no. 2, pp. 204.
6. Bratby, J. 2016-Coagulation and Flocculation in Water and IWA Publishing: London, UK ؛Wastewater Treatment.
7. m Y. D. Alazaiza , Ahmed Albahnasawi , Gomaa A. M. otaseM Ali. 2022-Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Wastewater: A Removal from Water and Wastewater: A Review

Review.Water, 14, 140 .
8. Gomaa A. M. Ali, ، Y. D. Alazaiza , Ahmed AlbahnasawiMotasem 2022 .Mohammed J. K. Bashir-ts Application of Natural Coagulan for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater: A Review.Water 14, 140 .
9. A contemporary -2019 .Mussarat Saleem, Robert Thomas Bachmann based coagulants for applications in water -review on plant (treatment.Chemistry Journal of Industrial and Engineering , 72 , 297–281
10. Mekayla DePaolis,Sophie De Respino,a Laxmicharan Cottonseed -2023 .Samineni,bScott Brightona and Manish Kumar extract as a coagulant for water treatment.the Royal Society of Chemistry.
11. ering @2017 by Saravaman International journal of civil engine IJCE journal, volume 4 issue 3-SSRG.
12. Mohammed Shadi S. Abujazara,b, Sakine Ugurlu Karaağaçb , Hamza Ramadanb , Salem S. Abu Amrc , Motasem Y.D. Alazaiza. 2022-Application of pinecones powder as a natural coagulants for ation and Desalin .treatment of industrial wastewater sustainable 64–57 . Water Treatment 269
13. -2022 .Vaishali VarsaniSuhas J. VyasDushyant R. Dudhagara based material from the Moringa oleifera and -Development of bio approach to treat A sustainable–coagulation kinetic modeling-its bio 116-Faculty of Chemical Technology 101 .the wastewater.
14. Natalia V. Kraysman , Svetlana V. ، Ildar G. Shaikhiev Sverguzova. 2022-Review of Pistachio (Pistacia) Shell Use to Remove Pollutants from Aqua Media . Biointerface Research in Applied Chemistry,Volume 13, Issue 4, 2023, 389.
15. Mmasinachi Mary Nweke1, Franklin O. Chukwuma , Benson O. Evbuomwan , and Akuma Oji ,Studies on the -2021 .Kinetics Coagulation of Abattoir Wastewater Using Groundnut Shell Extract Coagulant as a Natural,Journal of Engineering Research and Reports,2021 ،33-23 (3)21 .
16. Abderrezzaq Benalia, Kerroum Derbal , Antonio Panico, and Francesco Pirozzi. 2019- Use of Acorn Leaves as a Natural 57 ،11 ،Water.Coagulant in a Drinking Water Treatment Plant .
17. Benalia, A., Derbal, K., Panico, A & Pirozzi ,F. 2018-Use of

Acorn Leave as a Natural Coagulant in a Drinking Water Treatment 14-35/)1(Water, 11 .Plant.

18. -2017 . H.; Kenneth, M.P Stephan, J.K ،Alexander, K; Gerald Process to Counteract Combined Coagulation and Ultrafiltration Water 2017, 9, 697 .Increasing NOM in Brown Surface Water.
19. Bolto, B.; Gregory, J 2007-Organic polyelectrolytes in water 2324–Water Res. 41, 2301 .treatment.
20. bderrezzaq Benalia, Kerroum Derbal , Amel KhalfaouiA.2021-The vera as Natural Coagulant in Algerian Drinking Water Use of Aloe Treatment Plant. Jounrnal of renewable materials. jrm.2022.017848/10.32604.
21. Gheethi, Syazwani Mohd Asharuddin, -Vicky Kumar, Adel Al Norzila Othman.2020-Potential of Cassava Peels as a Sustainable ulant Aid for Institutional Wastewater Treatment: Coag Characterisation, Optimisation and TechnoEconomic Analysis. Chemical Engineering Journal,5-33764(20)8947-S1385 .
22. Claude Bollinger , -Ali Imessaoudene , Jean ، Amina Hadadi -2022 .rane and Lotfi MouniAm Aymen Amine Assadi , Abdeltif Coagulants Performances -Based Bio-omparison of Four PlantC Improvement of .against Alum and Ferric Chloride in the Turbidity Bentonite Synthetic Water, 14, 3324 .
23. Saritha V, Srinivas N, Srikanth Vuppala NV 2017- Analysis and Applied Water .optimization of coagulation and flocculation process 6-451:)1(7 .Science.
24. Ramli, S.F. Aziz, H.A. 2015-Use of ferric chloride and chitosan as Appl. .coagulant to remove turbidity and color from landfill leachate 1167–1163 ،774–Mech. Mater. 773 .
25. Legitimate use of -jayalakashmi,G.,Bhavya,D.,&Saritha V. 2016 Journal of .Plant Waste Products For Drinking Water Treatment 35-351،)2(Engineering Research and Development,11