مواصفات الفحم المنشط من عيدان نبات القندريس واستخدامه لإزالة المركبات الفينولية من مياه الصرف الصناعي لمعامل الأدوية

د.م. فاطمة التركي

الملخص

تشكل المركبات الفينولية الموجودة في مياه الصرف الصناعي الخارجة من صناعات مختلفة ولاسيما الصناعات الدوائية خطراً كبيراً ينعكس بشكل سلبي على البيئة بشكل عام وعلى صحة الانسان والكائنات الحية بشكل خاص.

تم في هذا البحث دراسة تصنيع فحم منشط من عيدان نبات القندريس، وتم تحديد خواص الفحم المصنّع ومقارنتها بخواص فحم منشط تجاري تم اعتماده كعينات مرجعية.

بينت النتائج أن رقم اليود الخاص بالفحم المصنّع أكبر من رقم اليود الخاص بالفحم التجاري بنسبة 2.13% ، وكانت كثافة الفحم المصنّع أقل من كثافة الفحم التجاري بنسبة 10.3% ، وكانت نسبة الرماد للفحم المصنّع أقل من نسبة رماد الفحم التجاري بنسبة 19.14%، وتفوق الفحم التجاري على الفحم المصنّع من ناحية تحمله للضغط بنسبة 7.8% . استطاع الفحم المصنّع إزالة الفينولات من مياه صرف أحد معامل الأدوية بنسبة إزالة وصلت إلى 93.7% بينما أزال الفحم المنشط التجاري نسبة 90% من تلك الفينولات وعند نفس الكمية من الفحم المنشط، وبينت الدراسة أيضاً أن الكمية الاقتصادية الأفضل لإزالة الفينولات من المياه المدروسة هي 4 g/500ml من كلا النوعين من الفحم.

في المحصلة وجِد أن الفحم المنشط المصنّع يقترب من خواصه بشكل كبير من الفحم المنشط التجاري مما يجعله بديلاً مستداماً وفعالاً من حيث التكلفة لأنظمة معالجة المياه التقليدية.

الكلمات المفتاحية: ساق نبات القندريس، الفحم المنشط، الفينولات، مياه صرف معامل الأدوية.

Specifications of activated charcoal from Syrian stems and its use to remove phenolic compounds from industrial wastewater in pharmaceutical factories

Dr. Fatima Alturki

Abstract

Phenolic compounds found in industrial wastewater from various industries, particularly the pharmaceutical industry, pose a significant threat, negatively impacting the environment in general and human health and other living organisms in particular.

This research investigated the production of activated carbon from the Thistle Syrian stems. The properties of the manufactured carbon were determined and compared to those of commercially available activated carbon used as a reference sample.

The results showed that the iodine value of the manufactured carbon was 2.13% higher than that of the commercially available carbon. The density of the manufactured carbon was 10.3% lower than that of the commercially available carbon, and the ash content was 19.14% lower. However, the commercially available carbon outperformed the manufactured carbon in terms of compressive strength by 7.8%. Manufactured activated carbon successfully removed phenols from the wastewater of a pharmaceutical plant, achieving a removal rate of 93.7%. Commercially available activated carbon removed 90% of these phenols using the same quantity. The study also indicated that the optimal economical concentration for phenol removal from the tested water was 4 g/500 ml for both types of activated carbon.

In conclusion, the manufactured activated carbon exhibited properties very similar to those of commercially available activated carbon,

making it a sustainable and cost-effective alternative to conventional wastewater treatment systems.

Key Words: Thistle Syrian stems, activated charcoal, phenols, wastewater from pharmaceutical factories.

1.مقدمة:

تُعدّ المياه من أهم الموارد الطبيعية الحيوية لاستمرار الحياة ودعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية في مختلف أنحاء العالم. ومع ذلك، يشهد العالم في العقود الأخيرة تزايداً ملحوظاً في الطلب على الموارد المائية نتيجة النمو السكاني المتسارع، والتوسع الحضري، والتطور الصناعي المستمر، إضافةً إلى التأثيرات المتزايدة للتغيرات المناخية التي تؤثر في توافر المياه وتوزيعها الجغرافي. وقد أدى هذا التزايد في الطلب إلى زيادة الضغط على مصادر المياه العذبة المحدودة، مما جعل إدارة الموارد المائية والحفاظ على جودتها من أبرز التحديات البيئية التي تواجه المجتمعات الحديثة.

وفي هذا السياق، يُعدّ تلوث المياه من أخطر المشكلات البيئية التي تهدد استدامة الموارد المائية، إذ تتعرض العديد من المسطحات المائية لمختلف أنواع الملوثات الناتجة عن الأنشطة البشرية، ولا سيما النشاطات الصناعية. وتعتمد العديد من الصناعات على كميات كبيرة من المياه في عمليات الإنتاج المختلفة مثل الغسيل والتبريد والنقل والتفاعلات الكيميائية، مما يؤدي إلى توليد كميات كبيرة من المياه العادمة الصناعية التي تحتوي على مجموعة متنوعة من الملوثات الكيميائية والفيزيائية والعضوية.

تتميز المياه العادمة الصناعية بتركيب معقد نتيجة احتوائها على طيف واسع من الملوثات مثل المعادن الثقيلة، والمركبات العضوية السامة، والمواد الصبغية، والمركبات الفينولية، والمذيبات الكيميائية، إضافة إلى المواد الصلبة العالقة والمركبات التي تسبب ارتفاع الطلب الحيوي والكيميائي على الأكسجين. وفي حال تصريف هذه المياه إلى البيئة دون معالجة مناسبة، فإنها قد تؤدي إلى تدهور نوعية المياه السطحية والجوفية، وإلحاق أضرار بالكائنات الحية المائية، إضافة إلى المخاطر الصحية المحتملة على الإنسان نتيجة تراكم المواد السامة في السلاسل الغذائية.

كما أن العديد من الملوثات الصناعية تتميز بثباتها الكيميائي ومقاومتها لعمليات التحلل الطبيعي، الأمر الذي يؤدي إلى بقائها في البيئة لفترات طويلة ويجعل إزالتها باستخدام تقنيات المعالجة التقليدية أكثر صعوبة. ولذلك أصبحت معالجة المياه العادمة الصناعية ضرورة بيئية ملحّة تهدف إلى الحد من التلوث المائي وتحسين جودة المياه قبل تصريفها إلى البيئة أو إعادة استخدامها في التطبيقات المختلفة.

وقد طُوّرت العديد من التقنيات لمعالجة المياه العادمة الصناعية، وتشمل هذه التقنيات العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تهدف إلى إزالة الملوثات المختلفة وتحسين نوعية المياه. ومن بين هذه التقنيات، تُعدّ عملية الامتزاز باستخدام الفحم المنشط (Activated Carbon) من أكثر الطرق كفاءة وانتشاراً في مجال معالجة المياه، نظراً لما يتميز به الفحم المنشط من مساحة سطحية عالية وبنية مسامية متطورة تمنحه قدرة كبيرة على امتزاز مجموعة واسعة من الملوثات العضوية وغير العضوية.

ويُستخدم الفحم المنشط على نطاق واسع في إزالة العديد من الملوثات مثل المركبات العضوية السامة، والمواد الصبغية، والمركبات الفينولية، وبعض المعادن الثقيلة، إضافة إلى المركبات التي تؤثر في الطعم والرائحة واللون في المياه. وتكمن أهمية هذه التقنية في قدرتها العالية على إزالة الملوثات حتى عند التراكيز المنخفضة، فضلاً عن إمكانية استخدامها في مراحل مختلفة من عمليات المعالجة سواء كمرحلة أساسية أو كمعالجة متقدمة لتحسين جودة المياه.

ومع التزايد المستمر في تعقيد الملوثات الصناعية وارتفاع متطلبات جودة المياه، ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بتطوير مواد كربونية منشّطة ذات خصائص محسنة، مثل زيادة المساحة السطحية وتحسين البنية المسامية وتعديل الخصائص السطحية للفحم المنشط بهدف تعزيز كفاءته في إزالة الملوثات المختلفة. كما اتجهت العديد من الدراسات الحديثة إلى إنتاج الفحم المنشط من مواد أولية منخفضة التكلفة ومصادر حيوية متجددة، مما يساهم في تقليل التكاليف وتحقيق الاستدامة البيئية في عمليات معالجة المياه.

وانطلاقاً من هذه المعطيات، يكتسب استخدام الفحم المنشط أهمية متزايدة في مجال معالجة المياه العادمة الصناعية باعتباره تقنية فعالة وقابلة للتطبيق في العديد من الأنظمة البيئية والصناعية. ولذلك يركز العديد من الباحثين على دراسة كفاءة الفحم المنشط في إزالة الملوثات المختلفة من المياه العادمة الصناعية، إضافة إلى تطوير تقنيات جديدة تعتمد على الامتزاز لتحسين أداء عمليات المعالجة والمساهمة في حماية الموارد المائية من التلوث.

وبناءً على ما سبق، يتناول هذا البحث دراسة إمكانية تصنيع فحم منشط من عيدان نبات القندريس واستخدامه كمادة مازة لإزالة المركبات الفينولية من مياه الصرف الناتجة عن أحد معامل الأدوية. وتُعدّ المركبات الفينولية من الملوثات العضوية الخطرة التي تنتشر في المياه العادمة الصناعية، ولا سيما في الصناعات الدوائية والكيميائية، نظراً لسميتها العالية وتأثيراتها الضارة على الكائنات الحية والبيئة المائية. ولذلك تناول هذا البحث عملية تحضير فحم منشط من مصدر نباتي متوافر ودراسة كفاءته في امتزاز الفينولات من المياه الملوثة، بما يساهم في تطوير مواد مازة منخفضة التكلفة ويمكن استخدامها في معالجة المياه الصناعية والحد من آثارها البيئية.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في استخدام أحد المصادر الزراعية التي تُعتبر نفايات زراعية في تصنيع فحم منشط يُستخدم في إزالة الفينولات من المياه العادمة لأحد معامل تصنيع الأدوية، وهذا يمثل حلاً مستداماً صديقاً للبيئة، ويوفر بديلاً اقتصادياً للفحم المنشط التجاري الذي غالباً ما يكون مكلفاً. كما أن استخدام الفحم المنشط المشتق من مصادر متجددة في معالجة المياه العادمة الصناعية يساهم بشكل مباشر في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

أهداف البحث:

1- الاستفادة من سيقان نبات القندريس في صناعة فحم منشط بمواصفات جيدة.

2- إعطاء توصيف دقيق للخصائص الفيزيائية والكيميائية للفحم المنشط الناتج.

3- تقييم فعالية الفحم المنشط المُنتج في إزالة الفينولات من المياه العادمة الناتجة عن أحد معامل الأدوية ومقارنتها بفعالية الفحم المنشط التجاري لأداء نفس الغرض.

4- تحديد الظروف المثلى لعملية الامتزاز من حيث كمية الفحم المنشط.

3. الدراسات المرجعية:

شهدت العقود الأخيرة اهتماماً متزايداً بتطوير الفحم المنشط واستخدامه في مجالات معالجة المياه الملوثة بمختلف أنواعها. وقد اتجهت العديد من الدراسات البحثية إلى تحسين خصائص الفحم المنشط بطرق متعددة؛ حيث ركّز بعض الباحثين على تطويره من خلال تحسين تقنيات التنشيط المستخدمة في تحضيره، في حين اتجه آخرون إلى اقتراح مواد أولية عضوية، خاصة المخلفات الزراعية، كمصادر بديلة منخفضة التكلفة لإنتاج الفحم المنشط. كما عمل عدد كبير من الباحثين على دراسة كفاءة أنواع مختلفة من الفحم المنشط في إزالة طيف واسع من الملوثات الموجودة في المياه. وفيما يلي نستعرض بعض الدراسات السابقة التي تناولت استخدام الفحم المنشط في مجال معالجة المياه.

في العام 2009 قام سعيد ورفاقه بإجراء بحث تناولوا فيه استخدام ثلاثة أنواع من الفحم المنشط من أجل إزالة الفينولات الموجودة في كل من مياه الصرف الصحي ومياه الصرف الصناعي، وقد استخدم الباحثون في دراستهم الكربون المنشط المُصنّع مخبرياً من قشور اللوز وقشور الجوز كمواد مازة. وقورنت النتائج بنتائج الكربون المنشط التجاري. بلغت أعلى معدلات إزالة فينول من مياه الصرف الصحي باستخدام الفحم المخبري التجاري وفحم قشر اللوز وفحم قشر الجوز 99.87% و 91.36% و 78.17% على التوالي، ومن مياه الصرف الصناعي بلغت 99.71% و 85.54% و 65.49% على التوالي. [1]

قام برنجيل وزملائه في العام 2009 ببحث عملوا فيه على تصنيع فحم منشط من قشور جوز الهند لاستخدامه في إزالة الفينولات الموجودة في المياه الناتجة عن مصافي تكرير البترول، حيث تم تصنيع الفحم المنشط مخبرياً وتنشيطه باستخدام حمض الفوسفوريك، وتم بعد ذلك اختبار الفحم الجديد

في امتزاز الفينول من مياه المدروسة، وقد أثبت الفحم المدروس بأنه قادر على إزالة الفينولات التي تحتويها مياه الصرف الناتجة عن مصافي البترول. [2]

أجرى دهماني ورفاقه عام 2022 دراسة هدفت إلى استخدام الفحم المنشط المحضّر من خشب البلوط لإزالة الفينول من مياه الصرف الصحي. حيث تم تحضير الفحم أولاً من خشب البلوط، ثم تنشيطه كيميائياً باستخدام حمض الفوسفوريك. وأظهرت النتائج تفوق الفحم المنشط المحضّر في هذه الدراسة على الفحم المنشط التجاري من حيث كفاءة إزالة الفينول، إذ بلغت نسبة إزالة الفينول باستخدام فحم البلوط المنشط 98.77% ، في حين بلغت نسبة الإزالة باستخدام الفحم التجاري حوالي 91.48%. [3]

أما من ناحية استثمار سيقان نبات القندريس، فقد تم اجراء العديد من الأبحاث في هذا المجال نذكر منها البحث الذي أجراه قرمو ورفاقه في العام 2016 والذي قام فيه باستخدام سيقان نبات القندريس في تصنيع ألواح عزل حراري، لما تمتلكه هذه المادة من مواصفات وتركيبة كربونية. [4]

4. طرائق البحث:

1.4.المواد والأجهزة المستخدمة:

المواد الأولية:

1- سيقان نبات القندريس: نبتة القندريس هي نبتة سورية بامتياز، موطنها المشرق العربي وحوض البحر الأبيض المتوسط، وهي نبتة برية شوكية، لها زهرة شوكية وساق تنبت على ارتفاع جيد. يعتبر نبات القندريس نبتة ضارة، يتم التخلص منها إما بالحرق أو بإزالتها باقتلاعها من الأرض. حيث أنها تنتشر محلياً بمساحات واسعة جداً، وخاصةً في الأراضي المهملة، وإن عملية جمعها سهلة جداً، لذلك فإن استثمارها لأي غرض مفيد يعتبر أمراً ناجعاً في حال أثبت نجاحه. في الصيف تجف هذه النبتة ويصبح لونها أصفر، وتصبح سيقانها على شكل عيدان جافة، خفيفة الوزن، قصفة وقاسية، وذات كثافة منخفضة. يعتبر جمع عيدان القندريس وإجراء أبحاث عليها وتصنيع فحم منشط منها أمراً مغرياً في حال أثبت نجاحه. [5]



الشكل (1) يبين نبات القندريس وهو في حالتيه الخضراء والجافة.

2- حمض الفوسفوريك (H_3PO_4): بتركيز 85% كعامل تنشيط كيميائي.

3- حمض كلور الماء (HCl): لضبط درجة الحموضة والغسيل.

4- نشاء الذرة: بنسبة وزنية تبلغ 10% من وزن الفحم، كعامل ربط لتشكيل الحبيبات الفحم.

5- مياه صرف صناعي ناتجة عن معامل الأدوية: تم جمع عينات من مياه صرف أحد معامل الأدوية.

6- ماء مقطر: لأغراض الغسيل والتحضير.

7- غاز النيتروجين: عالي النقاء، لتوفير جو خامل أثناء الكربنة والتنشيط.

الأجهزة المستخدمة:

1- فرن كهربائي مزود بمدخل ضخ غاز نيتروجين: من أجل استخدامه في عملية كربنة عيدان نبات القندريس، ويمكن التحكم في درجات حرارة الكربنة والتنشيط (حتى 800 C°).

2- مجفف مزود بمروحة: لتجفيف عيدان القندريس وتجفيف الفحم في مراحل تصنيعه المختلفة.

3- مطحنة: لطحن الفحم بعد كربنة عيدان القندريس.

4- ميزان رقمي دقيق: لقياس وزن كميات المواد.

5- جهاز قياس درجة الحموضة (pH meter): لتحديد وضبط درجة الحموضة.

6- خلية ترشيح: لفصل الفحم عن السائل بعد عملية الامتزاز.

8- مفاعل اهتزازي: للخلط وذلك لضمان التجانس أثناء تجارب الامتزاز.

9- جهاز سبيكتروفوتومتر: لقياس تركيز الفينولات في المياه المدروسة.

10- جهاز اختبار الضغط: وذلك لتحديد قوة كسر الفحم المنشط، واجهاد الكسر نتيجة الضغط.

2.4. طريقة تصنيع الفحم المنشط:

مراحل تصنيع الفحم المنشط:

أولاً: التحضير الأولي لعيدان القندريس

تم في البداية غسل عيدان نبات القندريس بالماء المقطر حتى تتخلص من الغبار والاتربة المتراكمة عليها، من ثم تم تقطيع العيدان بأحجام مناسبة كما هو مبين في الشكل رقم (2) ووضعها في المجفف عند درجة حرارة 105 °C وتركها لفترة زمنية تبلغ 24 ساعة وإجراء وزن دوري للعيدان حتى التأكد من ثبات الوزن وضمان الجفاف التام لها.



يوضح الشكل (2) عملية تقطيع عيدان نبات القندريس.

ثانياً: الكربنة (إنتاج الفحم الأولي)

تم وضع عيدان القندريس في فرن خاص للكربنة، حجرته معزولة عن الهواء ويتم تزويدها بشكل مستمر بغاز النيتروجين لضمان الكربنة وتحويل العيدان إلى فحم دون احتراقها، حيث تم ضبط الفرن عند درجة الحرارة 600 °C ، بقيت العيدان فترة زمنية تزيد عن الساعتين لضمان تفحيم العيدان بشكل كامل، ويبين الشكل (3) عيدان القندريس بعد عملية الكربنة.



الشكل (3) عيدان نبات القندريس بعد التفحيم

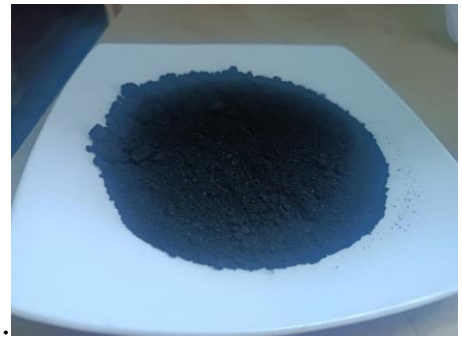
ثالثاً: طحن الفحم الأولي وتشكيل حبيبات الفحم والتنشيط

في هذه المرحلة جرى تحويل الفحم الناتج من المرحلة السابقة إلى مسحوق باستخدام مطحنة مناسبة للطحن. بعد ذلك أضيف نشاء الذرة بوصفه مادة رابطة بنسبة وزنية مقدارها 10%، ثم خلطت المكونات جيداً لضمان توزيع متجانس للنشاء داخل مسحوق الفحم. عقب ذلك أضيف حمض الفوسفوريك بتركيز 85% إلى الخليط ليعمل كعامل تنشيط كيميائي، واستمر الخلط لفترة كافية إلى أن تشكلت مادة ذات قوام عجيني متجانس.

لاحقاً خضعت العجينة لعملية الكبس والتشكيل باستخدام مكبس يدوي بهدف إنتاج حبيبات ذات شكل متقارب ومنتظم، بحيث تكون مشابهة في هيئتها للحبيبات التجارية للفحم المنشط المستخدمة كعينات مرجعية للمقارنة، (الحبيبات المرجعية ذات شكل مكعب وطول ضلع المكعب 3mm تقريباً).

بعد تشكيل الحبيبات، وضعت داخل فرن حراري مع تمرير مستمر لغاز النيتروجين بمعدل تدفق ثابت، وذلك لتوفير وسط خامل يمنع احتراق الفحم أثناء المعالجة الحرارية. ثم رفعت درجة حرارة الفرن تدريجياً حتى بلغت حوالي 400°C، واستمرت المعالجة لمدة تزيد عن ساعة لضمان حدوث عملية التنشيط بكفاءة.

تؤدي هذه المعالجة الحرارية في وجود عامل التنشيط (حمض الفوسفوريك) إلى تكوين بنية مسامية داخل الحبيبات، حيث تتشكل مسامات متعددة الأحجام إضافة إلى شقوق مجهرية ونانوية ضمن البنية الداخلية للمادة. وتؤدي هذه المسامية العالية إلى زيادة المساحة السطحية الفعالة للفحم المنشط، الأمر الذي يعزز من قدرته على الامتزاز. وفي النهاية أخرجت الحبيبات من الفرن وتركت لتبرد إلى درجة حرارة الغرفة. ويبين الشكل (4) الفحم بعد طحنه.



الشكل (4) الفحم بعد طحنه

رابعاً: المعادلة الحمضية للفحم

بعد الانتهاء من مرحلة التبريد، خضع الفحم المنشط الناتج لعملية غسيل لإزالة بقايا المواد الكيميائية والشوائب المتبقية من عملية التنشيط. حيث عولج أولاً باستخدام محلول حمض الهيدروكلوريك، ثم غسل عدة مرات بالماء المقطر لضمان التخلص من بقايا الحمض والأملاح الذائبة. وخلال هذه العملية جرى قياس قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) بصورة متكررة إلى أن أصبحت متعادلة تقريباً عند قيمة تقارب 7. بعد استكمال عملية الغسل والمعادلة، نقل الفحم المنشط إلى فرن تجفيف حيث جفف عند درجة حرارة 105°C، واستمر التجفيف إلى أن تحقق ثبات في الوزن، مما يدل على إزالة الرطوبة بشكل كامل من العينة. ويبين الشكل (5) الشكل النهائي لحبيبات الفحم.



الشكل (5) شكل حبيبات الفحم النهائي

3.4. تحديد مواصفات الفحم المنشط المصنوع من ساق القندريس ومقارنتها بمواصفات الفحم التجاري:

تم تحديد أهم المواصفات القياسية للفحم الجديد المنتج ومواصفات الفحم التجاري (فحم المقارنة)

1- تحديد رقم اليود:

إن الغرض من تحديد رقم اليود هو أخذ مؤشر لمسامية الفحم والذي يُعتبر مقياساً لمساحة السطح الفعال لحبيبات الفحم المدروسة، فكلما زاد رقم اليود؛ زادت مساحة السطح الفعال، وبالتالي زادت إمكانية امتزازه لملوثات أكثر، ويعرف رقم اليود بأنه كمية اليود التي يمتزها الغرام الواحد من الفحم، ويقاس رقم اليود بـ mg/g.

تم وضع كميتان من محلول اليود في دورقين مختلفين، وهاتين الكميتين معلومتي الحجم والتركيز، وتم وزن كمية من الفحم المنشط الذي تم تصنيعه وكمية مشابهة من الفحم التجاري (فحم المقارنة)، من ثم تم وضع كميتي الفحم من كلا النوعين في الدورقين المليئين باليود، من ثم تم رج الدورقين وتركهما لفترة زمنية كافية ليمتز الفحم أكبر كمية من اليود، تم بعد ذلك ترشيح المحلولين لفصل الفحم عن المحاليل، من ثم تم معايرة اليود المتبقي الراشح لكل عينة باستخدام ثيوسلفات الصوديوم لتحديد كميته وبناءً عليه تحديد رقم اليود حسابياً.

تم اجراء هذا القياس بالاعتماد على الموصفة الأمريكية ASTM D4607 والتي يتم الاعتماد عليها في تحديد رقم اليود للفحم المنشط. [6]

2- تحديد الكثافة الظاهرية:

تم وزن كميتين متساويتين فحم منشط من كلا النوعين كلاً على حدى، من ثم تم تحديد حجم كل كمية على حدى، وتم بعد ذلك حساب الكثافة وذلك بقسمة الوزن على الحجم لكل عينة من العينات، وبذلك تم حساب كثافة كل نوع من أنواع الفحم المدروس، تم تطبيق هذا الاجراء عدة مرات على كميات مختلفة من الفحم المنشط المدروس، وحساب الكثافة في كل مرة، من ثم حساب متوسط الكثافة الظاهرية لكل نوع من الأنواع.

تم تحديد الكثافة الظاهرية لحبيبات الفحم المنشط التي تم صناعته والفحم التجاري بالاعتماد على معايير الجمعية الأمريكية لاختبار المواد وفقاً للمواصفة ASTM D2854-09(2025) ، الخاصة بتحديد الكثافة الظاهرية للفحم المنشط. [7]

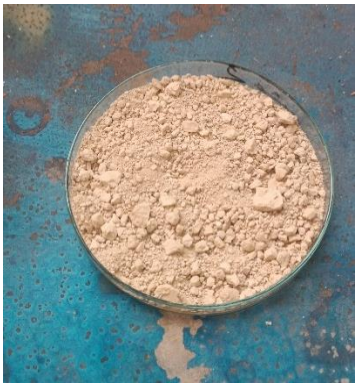
3- تحديد نسبة الرماد:

تم تحديد نسبة الرماد بالاعتماد على المواصفة الأمريكية ASTM D2866-11 الخاصة بتحديد نسبة الرماد للفحم المنشط، وذلك بترميد الفحم المنشط باستخدام مرمدة وفي جو يحتوي على اوكسجين لإتمام احتراق الفحم المنشط، وقد تم وزن كمية الفحم قبل عملية الترميد ووزن الرماد المتبقي بعد الترميد، وبتطبيق العلاقة التالية تم حساب نسبة الرماد لكل نوع من أنواع الفحم المدروس.

$$\text{نسبة الرماد}[\%] = \frac{W2}{W1} X100$$

حيث: W1: وزن العينة قبل الترميد، W2: وزن الرماد المتبقي.

تم تطبيق هذا الاجراء على الفحم المنشط التجاري وعلى الفحم المنشط المصنوع من عيدان القندريس.[8]



الشكل (6) الرماد الناتج عن عملية ترميد الفحم المنشط

4- اختبار صلادة (متانة) الفحم المنشط:

تم تطبيق اختبار الكسر الناتج عن الضغط باستخدام جهاز قياس الكسر نتيجة الضغط الموضح بالشكل (7)، حيث تم تطبيق حمولة متزايدة على الفحم الموجود بين فكي الجهاز، ومراقبة قيم الحمولة المطبقة، وعند انهيار العينة تم اخذ القراءة من الجهاز حيث تم اعتماد هذه القراءة كقوة لتحمل

الفحم نتيجة الضغط، وعلى أساسها تم حساب إجهاد الانكسار نتيجة الضغط لكل نوع من أنواع الفحم المدروس وفقاً للمعادلة التالية:

$$\sigma = F/A$$

حيث:

σ : اجهاد الانكسار بـ MPa ، F: القوة التي تنكسر عندها العينة بـ N

A: مساحة سطح العينة بـ m^2

تم تطبيق هذا الاختبار وفقاً للجمعية الأمريكية للمواصفات والمقاييس بالاعتماد على المواصفة القياسية ASTM D4179-22. [9]



يبين الشكل (7) جهاز اختبار الضغط

5- اختبار كفاءة فحم عيدان القندريس المنشط في تخفيض تركيز الفينولات من مياه معامل الأدوية:

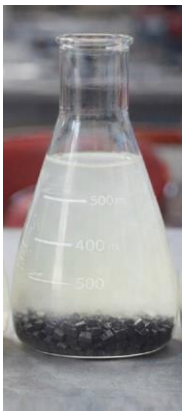
تم جمع عينات من مياه أحد معامل الأدوية باستخدام حاويات زجاجية معقمة، ووفقاً للطرائق التقنية والمعيارية المعتمدة. بعد ذلك، خضعت العينات لعملية ترشيح باستخدام جهاز تفريغ (شفط) بهدف تسريع عملية الترشيح، حيث تم تمرير العينات عبر ورق ترشيح ماكروي بمسامية 0.45 µm، وذلك لإزالة الشوائب الصلبة العالقة والمواد القابلة للترشيح.

من ثم تم أخذ العينات للمخبر لأجراء التحاليل الأولي عليها وتحديد تركيز الفينولات الأولي، وقد تم التحليل باستخدام جهاز السبيكتروفوتومتر المبين في الشكل (8)، وتم تحديد مواصفات أخرى وفقاً لتحاليل أخرى، فبلغت الحموضة 9 ، وكانت القساوة 180 mg/l وبلغت قيمة TSS في تلك المياه 45 mg/l وبين الفحص أن المواد الصلبة السائلة 1220 mg/l .



الشكل (8) جهاز السبيكتروفوتومتر المستخدم لقياس تركيز الفينولات

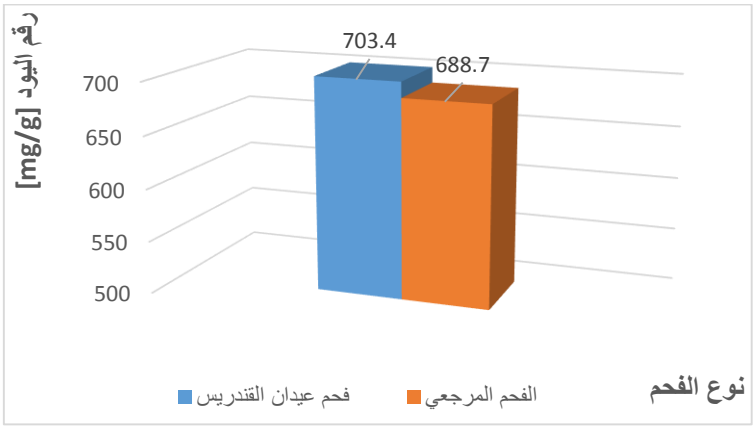
تم بعد ذلك وضع كميات متماثلة من المياه الملوثة المرشحة في أواني زجاجية 500 ml ، ثم البدء بإضافة الفحم المنشط لعينات المياه، حيث تم وضع كميات متدرجة معلومة الوزن من الفحم المنشط لعينات المياه المراد معالجتها (من فحم عيدان القندريس ومن الفحم المنشط المرجعي)، والكميات هي 0.5 g و 1 g و 2 g و 4 g و 8 g، ووضع هذه الاواني على جهاز هزاز من أجل تحسين الامتزاز من ثم ترك العينات فترة زمنية بلغت 120 min، وجرت تلك العملية بشكل كامل ضمن شروط المخبر فكانت درجة الحرارة 20 C° وكانت الرطوبة % 50 ، من ثم تمت عملية فصل الفحم عن المياه بالترشيح، وإجراء تحليل تراكيز الفينولات الجديدة لجميع العينات لمعرفة فعالية كل كمية مضافة من الفحم المنشط. ويبين الشكل (9) عملية إضافة الفحم المنشط لإحدى عينات المياه المدروسة.



الشكل (9) عملية إضافة الفحم المنشط لإحدى عينات المياه المدروسة

5.النتائج والمناقشة:

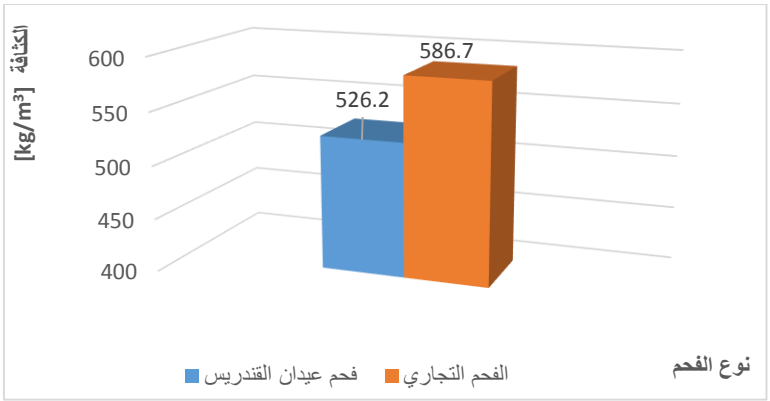
تم تحضير فحم منشط انطلاقاً من عيدان نبات القندريس، وخضع كل من الفحم المُصنَّع وعينة من فحم تجاري (تم الحصول عليها من السوق المحلي لاستخدامها كمرجع) لسلسلة من الاختبارات. بعد اكتمال العمليات التحليلية والحصول على جميع النتائج، تمت مقارنة أداء الفحم المحضر من عيدان القندريس بالفحم المرجعي. ويوضح الشكل (10) النتائج المقارنة لقيم رقم اليود المقاسة لكل من الفحمين.



الشكل (10) مقارنة رقم اليود بين فحم عيدان القندريس والفحم التجاري

تشير النتائج الموضحة في الشكل السابق إلى تفوق قيمة رقم اليود للفحم المنشط المحضر من عيدان نبات القندريس على نظيره في الفحم التجاري المرجعي، حيث بلغت 703.4 mg/g مقارنة بـ 688.7 mg/g للفحم المعياري. يعكس هذا الارتفاع في رقم اليود اتساعاً في المساحة السطحية الفعالة للفحم المحضر محلياً، مما يمنحه قدرة امتزازية أعلى؛ إذ تتيح المساحة السطحية الأكبر مجالاً أوسع لامتزاز الملوثات. تُعزى هذه الزيادة في السطح النوعي الفعال إلى وفرة المسام والشقوق داخل بنية العينة، والتي تنتج عن كفاءة عملية التنشيط في إحداث هذه الفراغات الدقيقة.

وبالنظر لنتائج تحديد الكثافة نجد من خلال الشكل (11) مقارنة بين الكثافة لفحم عيدان القندريس المنشط وكثافة الفحم التجاري المرجعي.



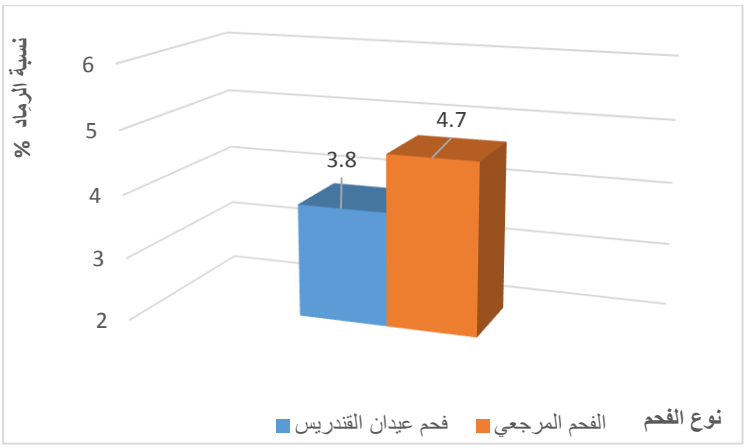
الشكل (11) مقارنة بين كثافة فحم عيدان القندريس وكثافة الفحم التجاري

من خلال الشكل السابق، يُلاحظ أن كثافة الفحم المنشط المحضر من عيدان القندريس كانت أقل من كثافة الفحم التجاري المرجعي، حيث بلغت قيمتها 526.2 kg/m^3 مقابل 586.7 kg/m^3 للفحم المرجعي. يُعزى هذا الاختلاف في الكثافة إلى مجموعة من العوامل، يأتي في مقدمتها طبيعة المادة الأولية المستخدمة في تحضير كل نوع من الفحم؛ إذ تلعب الكثافة الأولية للمادة دوراً محورياً في تحديد الكثافة النهائية للفحم المنشط. كما تسهم درجة الضغط المطبقة أثناء تشكيل حبيبات الفحم في

ذلك، حيث تزداد الكثافة النهائية بازدياد الضغط. إضافةً إلى ذلك، تؤثر فعالية عملية التنشيط بشكل ملحوظ، إذ يؤدي ارتفاع كفاءة التنشيط إلى انخفاض كثافة الحبيبات. ويمكن أن تسهم هذه العوامل مجتمعةً في تحديد الكثافة النهائية للفحم، مع تفاوت في درجة تأثير كل منها.

بناءً على أن الفحم المنشط المحضر من عيدان القندريس أظهر كثافة أقل، يمكن استنتاج أن هذا الفحم يمتاز بمسامية أعلى، مما ينعكس إيجاباً على اتساع مساحة سطحه. تُعد هذه الخاصية ميزة نسبية للفحم المحضر محلياً مقارنةً بالفحم التجاري المرجعي، حيث تمنحه قدرة أكبر على التفاعل والامتصاص.

يبين الشكل (12) مقارنة بين فحم عيدان القندريس المنشط والفحم التجاري المرجعي من ناحية نسبة الرماد.

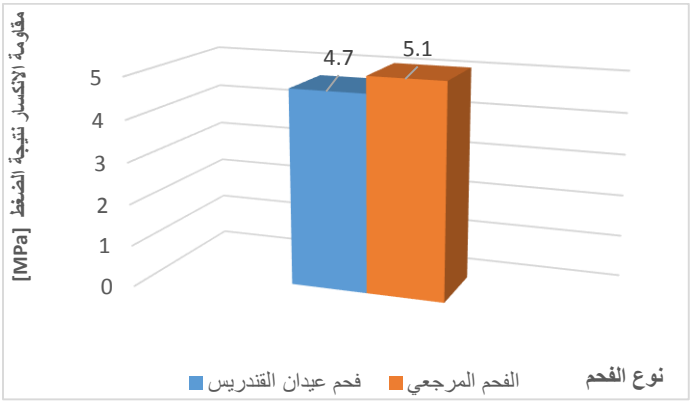


الشكل (12) مقارنة نسبة الرماد بين فحم عيدان القندريس والفحم التجاري

أظهرت نتائج تحليل نسبة الرماد في كل من الفحم المنشط المحضر من عيدان القندريس والفحم التجاري المرجعي انخفاض هذه النسبة في العينة المحضرة محلياً مقارنة بالعينة المرجعية، حيث بلغت 3.8% للفحم المحضر مقابل 4.7% للفحم التجاري. يُعزى هذا الفرق إلى احتواء فحم عيدان القندريس على شوائب معدنية أقل مقارنة بالفحم المرجعي. تجدر الإشارة إلى أن انخفاض نسبة الرماد

يُعد مؤشراً على جودة الفحم المنشط، وتُصنف مواصفات الفحم بأنها جيدة عندما تقل نسبة الرماد فيه عن 5% وهو ما ينطبق على الفحم المحضر من عيدان القندريس.

يبين الشكل (13) مقارنة بين فحم عيدان القندريس المنشط وبين الفحم التجاري المرجعي من ناحية مقاومته للكسر نتيجة الضغط.



الشكل (13) مقارنة مقاومة الانكسار نتيجة الضغط بين فحم عيدان القندريس والفحم التجاري

تمت مقارنة مقاومة الكسر تحت تأثير الإجهاد الضاغط بين الفحم المنشط المحضر من عيدان القندريس والفحم التجاري المرجعي، وقد أوضحت النتائج المعروضة في الشكل (13) أن الفحم المحضر محلياً أبدى مقاومة أقل للكسر مقارنة بنظيره التجاري. ففي حين انهارت عينة الفحم المحضر عند إجهاد ضغط مقداره 4.7 MPa، أظهرت العينة المرجعية مقاومة أعلى حيث انهارت عند إجهاد ضغط بلغ 5.1 MPa . يمنح هذا الفارق أفضلية للفحم التجاري من حيث قدرته على تحمل الإجهادات الميكانيكية، لا سيما عند وضعه في قاع أعمدة التنقية حيث يتعرض لثقل الطبقات العلوية، كما يمنحه متانة أكبر أثناء عمليات النقل والشحن التي تنطوي على إجهادات ناتجة عن التحميل والتفريغ والمناولة.

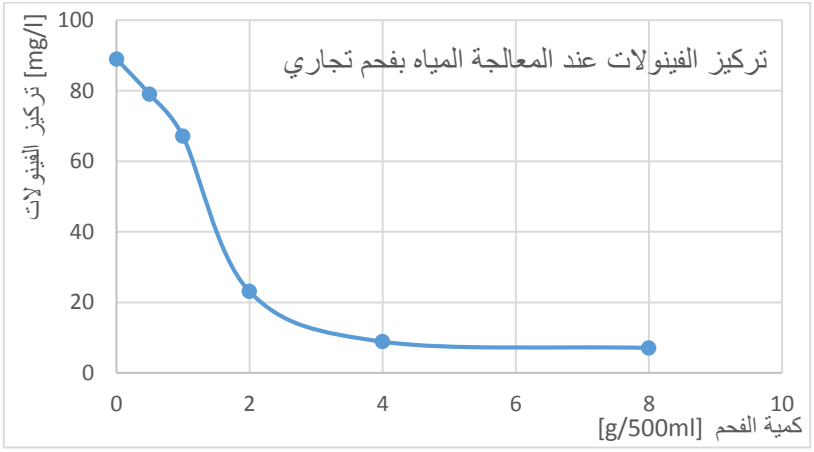
يمكن إرجاع تفوق الفحم التجاري في هذه الخاصية إلى عدة عوامل، يأتي في مقدمتها ارتفاع كثافته، مما يشير إلى احتوائه على نسبة أعلى من المادة الصلبة وبالتالي تماسك أكبر بين جزيئاته. كما تسهم درجة الضغط المطبقة أثناء عملية التصنيع في تعزيز هذا التماسك؛ إذ تزداد متانة الفحم

بازدياد قوة الضغط. إضافةً إلى ذلك، تلعب نسبة المادة الرابطة (النشاء) دوراً أساسياً في تحديد صلابة الفحم، حيث يؤدي ارتفاع نسبتها إلى زيادة تماسك العينات. ولا يمكن إغفال دور نوع المادة الأولية المستخدمة في التصنيع كعامل مؤثر في الخواص الميكانيكية للفحم الناتج.

بعد استكمال دراسة الخصائص المختلفة للفحم المنتج، تم تقييم كفاءة الفحم المنشط المحضر من عيدان القندريس من خلال اختبار قدرته على إزالة المركبات الفينولية الموجودة في مياه الصرف الصناعي الناتجة عن أحد معامل الأدوية، كما تم توضيحه سابقاً. ولتحليل النتائج، جرى تمثيل ذلك بيانياً لإظهار العلاقة بين تركيز الفينولات المتبقي في المياه وكمية الفحم المستخدمة في عملية المعالجة. وقد أُجري هذا الاختبار باستخدام نوعين من الفحم المنشط، وهما الفحم المنشط المحضر من عيدان القندريس والفحم المنشط التجاري المستخدم كعينة مرجعية للمقارنة. وتوضح الأشكال (14) و(15) هاتين العلاقتين على التوالي.



الشكل (14) تغير تركيز الفينولات في العينات مع تغيير كمية فحم عيدان القندريس المنشط المستخدم للمعالجة



الشكل (15) تغير تركيز الفينولات في العينات مع تغيير كمية الفحم التجاري المنشط المستخدم للمعالجة

بالاستناد إلى الشكلين السابقين، يُلاحظ أن تركيز الفينولات ينخفض تدريجياً مع زيادة كمية الفحم المنشط المستخدمة في عملية المعالجة، ويُعزى ذلك إلى ازدياد المساحة السطحية الفعّالة المتاحة لامتزاز الملوثات الموجودة في المياه المعالجة. وبناءً عليه، يؤدي رفع كمية الفحم المنشط إلى تعزيز القدرة على إزالة الفينولات من المياه الملوثة. إذ بلغ تركيز الفينولات قبل المعالجة 89 mg/l ، في حين انخفض بعد المعالجة باستخدام كمية 0.5 g/500ml من فحم عيدان القندريس والفحم التجاري، كلٌّ على حدة، ليصل إلى 74.7 mg/l و 79 mg/l على التوالي.

ومع زيادة كمية الفحم إلى 1 g/500 ml ، لوحظ انخفاض إضافي في تركيز الفينولات ليبلغ 54.2 mg/l عند استخدام فحم عيدان القندريس و 67.07 mg/l عند استخدام الفحم التجاري. كما استمر هذا الاتجاه التنازلي عند رفع كمية الفحم إلى 2 g/500 ml ، حيث انخفض تركيز الفينولات إلى 16.2 mg/l و 23.1 mg/l عند استخدام فحم عيدان القندريس والفحم التجاري على التوالي. واستمر تركيز الفينولات بالانخفاض مع زيادة كمية كل من فحم عيدان القندريس والفحم التجاري المضافة للمياه إلى 4 g/500 ml حيث بلغ تركيز الفينولات 5.6 mg/l و 8.9 mg/l على التوالي، ومع زيادة كمية الفحم المستخدم للمعالجة بعد هذا الحد، لوحظ انخفاض فعالية امتزاز الفحم للفينولات، حيث

يصبح معدل انخفاض التركيز أقل بكثير، فعند استخدام كمية فحم بلغت 8 g/500ml بلغ تركيز الفينولات 4.6 mg/l عند استخدام فحم عيدان القندريس، وينخفض تركيزه قليلاً في العينة التي تم فيها استخدام الفحم التجاري ليصبح 7.11 mg/l عند استخدام الفحم التجاري، أي أن زيادة كمية الفحم في المعالجة لن تعد مجدية لأن التغير في تركيز الفينولات أصبح ضئيلاً جداً مع مضاعفة كمية الفحم المنشط في كلا النوعين من الفحم، لذلك يمكن اعتبار كمية 4 g/500ml من الفحم هي الأفضل، كون أن الزيادة في كميته لم تعد مجدية اقتصادياً.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال ما تم بحثه في هذه الدراسة يمكن صياغة الاستنتاجات التالية:

1. بينت الدراسة أن ساق نبات القندريس يمكن أن يصلح لصناعة فحم منشط عالي الأداء.
2. دلّ رقم اليود لفحم عيدان القندريس أن هذا الفحم يمكتلك مساحة سطح فعالة كبيرة نسبياً، حيث تفوق رقم اليود الخاص بالفحم المنتج على رقم اليود الخاص بالفحم التجاري بنسبة 2.13% .
3. بينت نتائج قياس الكثافة أن كثافة فحم عيدان القندريس أقل من كثافة الفحم المنشط التجاري بنسبة 10.3% .
4. بينت تجربة نسبة الرماد أن نسبة الرماد بفحم عيدان القندريس هي نسبة منخفضة وأقل من نسبته الموجودة بالفحم التجاري بنسبة 19.14% ، وبالتالي إن الشوائب في فحم عيدان القندريس أقل من الشوائب الموجودة في الفحم التجاري.
5. أبدى الفحم التجاري مقاومة للانكسار نتيجة الضغط تفوق المقاومة التي أبداها فحم عيدان القندريس بنسبة تصل 7.8% .
6. استطاع فحم عيدان القندريس أن يمتز الفينولات الموجودة في مياه الصرف الناتجة عن أحد معامل الأدوية بنسبة تصل إلى 93.7% عند كمية فحم اقتصادية بلغت 4 g/500ml ، بينما امتز الفحم المنشط التجاري نسبة 90% من الفينولات عند نفس الكمية من الفحم المنشط.

7. يمكن لفحم عيدان القندريس المنشـط أن ينافس الفحم المنشـط التجاري وذلك لتمتعه بخواص جيدة متقاربة نسبياً مع خواص الفحم المنشط التجاري تجعله مناسباً لتطبيقات معالجة المياه.

التوصيات:

من خلال ما سبق يمكن صياغة التوصيات التالية:

1- اجراء دراسات تحدد فعالية فحم عيدان القندريس في امتزاز ملوثات أخرى.

2- العمل على دراسة فعالية فحم عيدان القنديس على معالجة أنواع أُخرى من المياه.

3- دراسة إمكانية إعادة تنشيط فحم عيدان القندريس.

4- العمل على تصـــنيع الفحم المنشـــط من مواد أخرى واختبار فعاليتها في إزالة أنواع مختلفة من الملوثات.

7. المراجع References

1- Saeedi M et al. 2009- **Adsorptive Removal of Phenol from Contaminated Water and Wastewater by Activated Carbon, Almond, and Walnut Shells Charcoal.** *Water Environment Federation, Volume81, Issue6, June 2009, Pages 641-648.*

2- Bringle C et al. 2009. **Removal of phenols from water and petroleum industry refinery effluents by activated carbon obtained from coconut coir pith.** *Advances in Industrial and Engineering Chemistry, Volume 15, pages 439–451*

3- Dehmani Y et al. 2024- **Adsorption removal of phenol by oak wood charcoal activated carbon**. *Biomass Conv. Bioref. 14,pages 8015–8027* .

4- Qarmo A and Esteifi K., 2016- **Determination of Mechanical and Thermal Characteristics of some Waste Materials in Order to Be Used for Thermal Insulation Purposes.***Research Journal of Aleppo University, Engineering Science Series (2), 2016.129.*

5- Qarmo A**. Using Waste Materials for Thermal Insulation.** *Aleppo University, Thesis (MSC) 2016.Page 31.*

6- **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon**. *ASTM D4607-14(2021). https://store.astm.org/d4607-14r21.html.*

7- **Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon**. *ASTM D2854-09(2025).* https://store.astm.org/d2854-09r25.html.

8- **Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon.** *ASTM D2866-11-202. https://store.astm.org/d286611r25.html.*

9- **Standard Test Method for Single Pellet Crush Strength of Formed Catalysts and Catalyst Carriers**. *ASTM D4179-22. https://store.astm.org/d4179-22.html*