# دراسة فعالية الفحم المنشط المصنّع من كوز الذرة في تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز من المياه الصناعية (منصرفات معمل الدهانات)

د.م. فاطمة التركي

**الملخص**

تم في هذا البحث تصنيع فحم منشط عالي الأداء من كوز الذرة، بهدف استخدامه في معالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة عن أحد معامل الدهانات، وتخفيض تراكيز الرصاص والمنغنيز فيها. حيث تم تصنيع الفحم وتحديد بعض خصائصه ومقارنتها بخصائص الفحم التجاري المنشط المأخوذ من السوق للمقارنة، وبينت القياسات أن كثافة فحم كوز الذرة أخفض من كثافة الفحم التجاري بنسبة 3.65% وأن رقم اليود في النوع الأول أكبر منه في النوع الثاني بنسبة 2.23%، وكانت نسبة الرماد في النوع الأول أخفض من نسبته في النوع الثاني بنسبة 11.53%، وكانت قدرة تحمل النوع الأول للضغط أقل من قدرة تحمل النوع الثاني بنسبة 16.66%، من ثم تم تقيّم قدرة كلا النوعين من الفحم المنشط على إزالة كل من الرصاص والمنغنيز من المنصرفات الناتجة من معمل الدهانات، حيث خفّض فحم كوز الذرة تركيز الرصاص والمنغنيز بنسبة 96.58% و 84.24% على الترتيب، بينما خفّض الفحم التجاري المنشط هاذين العنصرين بنسبة 98.29% و 85.87% بنفس الترتيب، وأظهرت النتائج أن أفضل كمية فحم منشط قادرة على تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز بشكل اقتصادي هي 2 g لكل 500ml من المياه المدروسة المراد معالجتها.

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

**الكلمات المفتاحية**: كوز الذرة، الفحم المنشط، الرصاص، المنغنيز.

# Studying the effectiveness of activated carbon made from corncobs in reducing the concentration of lead and manganese from industrial water (paint factory wastewater).

**Dr. Fatima Alturki**

**Abstract**

This research involved the manufacturing of a high-performance activated carbon from corn cob waste, intended for use in treating industrial wastewater from a paint factory and reducing the concentrations of lead and manganese. The carbon was produced, and some of its properties were characterized and compared with those of a commercial activated carbon procured from the market for benchmarking. The measurements revealed that the density of the corn cob carbon was 3.65% lower than that of the commercial carbon, while its iodine number was 2.23% higher. The ash content in the corn cob carbon was 11.53% lower than in the commercial type. However, the compressive strength of the former was 16.66% lower than that of the latter.

Subsequently, the capacity of both activated carbon types to remove lead and manganese from the paint factory effluent was evaluated. The corn cob carbon reduced the concentrations of lead and manganese by 96.58% and 84.24%, respectively. In comparison, the commercial activated carbon reduced these elements by 98.29% and 85.87%, in the same order. The results indicated that the optimal dose of activated carbon for the cost-effective reduction of lead and manganese concentration was 2 g per 500 ml of the studied wastewater intended for treatment.

In conclusion, it was found that the activated carbon produced from corn cob closely approximates the properties of commercial activated carbon, positioning it as a sustainable and cost-effective alternative to conventional water treatment systems.

**Key Words:** Corn cob charcoal, activated carbon, lead and manganese removal

## 1. مقدمة:

مع التطور الصناعي المتسارع، يتزايد القلق حول تلوث المياه الناتج عن مياه الصرف الصناعي، حيث تحتوي هذه المياه على مجموعة واسعة من الملوثات، تتصدرها الملوثات الكيميائية والعناصر الثقيلة، فتشكل هذه المواد تهديداً خطيراً لجودة المياه وتؤثر سلباً على النظم البيئية المائية وصحة الإنسان. إن المواد الكيميائية والعناصر الثقيلة التي تشمل عناصر كيميائية سامة مركبات عضوية منحلة تؤدي إلى جعل المياه ذات طبيعة سمية وغير صالحة لأي استخدام في شتى المجالات.

لذا فإن إيجاد حلول فعالة ومستدامة لإزالة هذه الملوثات يعد أمراً حيوياً للحفاظ على الموارد المائية وتحقيق التنمية المستدامة.

يُمثل الامتزاز (Adsorption) أحد الأساليب التكنولوجية البارزة والأكثر انتشاراً في مجال معالجة وتنقية المياه، وذلك لما يتسم به من كفاءة عالية، وسهولة في التطبيق. وتقوم آلية هذه التقنية على تراكم المواد الملوثة (المُمتَزَة) على السطح الخارجي والداخلي للمادة المازة (المُمتِزة)، نتيجة تفاعلات فيزيائية (كالترابط بقوى فان دير فالس) أو كيميائية (كتفاعلات التبادل الأيوني). ويحظى الفحم المنشط (Activated Carbon) بمكانة محورية بين المواد المازة، نظراً لامتلاكه مساحة سطحية فائقة الاتساع، ونسبة مسامية عالية، وتنوع في الأشكال (كالمسحوق والحبيبات والألياف)، إضافة إلى قدرته على امتزاز مجموعة واسعة من الملوثات.

وعلى الرغم من تعدد المواد الخام المستخدمة في إنتاج الفحم المنشط لأغراض معالجة المياه، إلا أن الاعتماد على المصادر التقليدية يواجه تحديات بيئية واقتصادية، كالانبعاثات الكربونية وارتفاع التكاليف. وقد دفع ذلك الأوساط العلمية إلى التوجه نحو استكشاف مواد خام بديلة، تكون متجددة ومنخفضة التكلفة، وعادةً ما تكون نواتج ثانوية لعمليات زراعية أو صناعية. بهذا النهج يُحقّق مبدأ الاقتصاد الدائري فائدتين أساسيتين: تخفيض تكلفة إنتاج الفحم المنشط، والإدارة المستدامة للنفايات عبر

تحويلها إلى منتجات ذات قيمة مضافة. ومن بين هذه المواد الواعدة، يبرز كوز الذرة كموضوع البحث الحالي.

**2. أهمية البحث وأهدافه:**

تكمن أهمية هذا البحث في معالجة مشكلة التخلص من مخلفات كوز الذرة، التي تُعد من النفايات الزراعية الوفيرة، وتحويلها إلى مادة ذات قيمة مضافة عالية: الفحم المنشط. ويمثل هذا النهج حلاً مستداماً وصديقاً للبيئة ويقلل من الاعتماد على مصادر الوقود الاحفوري في إنتاج مواد المعالجة، ويوفر بديلاً اقتصادياً للفحم المنشط التجاري الذي غالباً ما يكون مكلفاً. كما أن استخدام الفحم المنشط المشتق من مصادر متجددة في معالجة مياه الصرف الصناعي يساهم بشكل مباشر في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

**أهداف البحث:**

1- تصنيع فحم منشط من مخلفات كوز الذرة باستخدام مواد كيميائية.

2- توصيف بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للفحم المنشط الناتج.

3- تقييم كفاءة الامتزاز للفحم المنشط المصنّع في إزالة الرصاص والمنغنيز من المنصرفات الناتجة من أحد معامل تصنيع الدهانات، ومقارنتها بكفاءة إزالة الفحم التجاري للرصاص والمنغنيز من ذات المياه.

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

**3. الدراسات المرجعية:**

شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً بتطوير الفحم المنشط من الكتلة الحيوية لمعالجة المياه، حيث أكدت العديد من الدراسات على الإمكانات الواعدة لكوز الذرة كمادة خام لهذا الغرض. على سبيل المثال، أظهرت دراسة تانج ورفاقه في عام 2016 فعالية الفحم المنشط من كوز الذرة في إزالة أيونات الكروم سداسية التكافؤ بعد التفحيم عند درجة حرارة 600 C° وتنشيط بحمض الفوسفوريك، مما يبرز قدرته على امتزاز المعادن الثقيلة [1].

أكدت دراسة لاحقة أجراها دوكزيكالسكا في عام 2022 على فعالية استخدام هيدوكسيد البوتاسيوم KOH كعامل تنشيط قوي لكوز الذرة، مما ينتج عنه فحم منشط بخصائص مسامية ممتازة [2].

في سياق دراسة تحسين الفحم المنشط المنتج من كوز الذرة، استعرض جيانك ورفاقه في عام 2023 في دراسة استخدام بعض المنهجيات لتحسين نوعية الفحم المنشط من خلال تحسين السطح، مما يساعد في تحديد الظروف المثلى للتصنيع بكفاءة أعلى [3].

كشفت بعض الدراسات مثل دراسة غارسيا ورفاقه التي جرت في العام 2024 عن استخدامات متنوعة للفحم المنشط المشتق من كوز الذرة، بما في ذلك تطبيقاته في الأقطاب الكهربائية للمكثفات الفائقة وامتصاص الزئبق، مما يدل على مرونته وخصائصه الوظيفية المتعددة [4].

إن الدراسات المرجعية التي ذُكرت تدعم بقوة استخدام كوز الذرة كخيار مستدام وفعال في إنتاج الفحم المنشط لمعالجة مياه الصرف الصناعي.

## 4. طرائق البحث:

هدف هذا القسم إلى توضيح الخطوات التفصيلية والمواد المستخدمة في تصنيع الفحم المنشط من كوز الذرة، بالإضافة إلى منهجية تقييم أدائه في معالجة مياه الصرف الصناعي. تم تصميم هذه الطرق لضمان قابلية التكرار والكفاءة.

### 1.4. المواد والأجهزة المستخدمة:

**المواد الأولية:**

1- كوز الذرة: تم الحصول عليه من مصادر زراعية محلية، حيث يتم الاستفادة من الذرة سواء في صناعة الزيوت أو المواد الغذائية المعلبة، وتم غسله جيداً وتجفيفه ثم طحنه إلى حجم جسيمات مناسب. تم استخدام كمية كافية من كوز الذرة المجفف في المراحل الأولية.

2- هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH): بتركيز 85% كعامل تنشيط كيميائي.

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

4- نشاء الذرة: بنسبة 10% كعامل ربط لتشكيل الحبيبات.

5- مياه صرف صناعي: تم جمع عينات من مياه منصرفات أحد مصانع الدهانات.

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 الكربنة، ويمكن التحكم في درجات حرارة الكربنة والتنشيط (حتى 800 C°).

2- مجفف مزود بمروحة: لتجفيف العينات في مراحل تصنيع العينات.

3- مطحنة: لطحن كوز الذرة والمواد الصلبة.

4- ميزان دقيق: لقياس 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: لضمان التجانس أثناء تجارب الامتزاز.

9- جهاز امتصاص ذري: لقياس تركيز العناصر الثقيلة في المياه.

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

**2.4. طريقة تصنيع الفحم المنشط:**

تعتمد عملية التصنيع على عدة خطوات رئيسية وفيما سيتم شرح المراحل التي تمت خلالها صناعة الفحم المنشط:

1- التحضير الأولي لكوز الذرة:

تم غسل كوز الذرة جيداً بالماء المقطر لإزالة الشوائب والأتربة العالقة، من ثم تجفف الأكواز في الفرن عند درجة حرارة 60 C° لمدة 24 ساعة حتى الوصول إلى وزن ثابت، تم بعد ذلك تقطيع الأكواز إلى قطع صغيرة تتراوح أبعادها ما بين 1-2 cm لتسهيل عملية الكربنة.

يوضح الشكل (1) تقطيع أكواز الذرة بعد غسيله وتجفيفه.

**يوضح الشكل (1) عملية تقطيع أكواز الذرة.**

2- الكربنة (لإنتاج الفحم الأولي):

تم وضع كمية من أكواز الذرة التي تم تحضيرها في الخطوة السابقة (مجففة ومقطعة) في فرن معزول عن الهواء (تحت جو من غاز النيتروجين يتم تدفقه بمعدل ثابت)، وتم تشغيل الفرن ورفع درجة حرارته بشكل تدريجي إلى 600 C° لمدة زمنية كافية لعملية تفحيم كامل الكمية الموضوعة بالفرن، تم بعد ذلك اخراج تلك الكمية من الفرن وتبريدها.

يوضح الشكل (2) عملية الكربنة باستخدام الفرن.

**الشكل (2) عملية الكربنة باستخدام الفرن.**

3- تشكيل حبيبات الفحم والتنشيط:

تم في هذه المرحلة طحن الفحم الذي تم إنتاجه في المرحلة السابقة باستخدام مطحنة ليصبح على شكل مسحوق فحمي، تم بعد ذلك إضافة نشاء الذرة كمادة رابطة بنسبة وزنية بلغت 10% والخلط بشكل جيد حتى تحقيق تجانس المسحوق، من ثم تم إضافة كمية مناسبة من هيدروكسيد البوتاسيوم بتركيز 85% للخليط كمادة تنشيط، وتم المزج بشكل جيد ولفترة زمنية جيدة تضمن الحصول على مادة عجينية متجانسة، تم بعد ذلك عملية ضغط وتحبيب للعجينة، وذلك للحصول على حبيبات متجانسة من حيث الشكل وشبيهة بحبيبات الفحم المنشط التجارية (عينات مقارنة مرجعية). تم بعد ذلك وضع حبيبات الفحم بالفرن مع وجود تيار من غاز النتروجين يتم ضخه بتدفق ثابت (من أجل عدم احتراق الفحم)، وتم رفع درجة حرارة الفرن بشكل تدريجي حتى تصل إلى 500 C° وتركه لمدة تزيد عن الساعة حتى تتم عملية التنشيط بشكل جيد، وينتج عن هذه العملية توليد مسام داخل بنية الحبيبات، بالإضافة لتشكيل تشققات داخلية مكروية ونانوية، حيث تعمل المسامات المتشكلة والتشققات الحاصلة على زيادة السطح الفعال ضمن حبيبات الفحم المنشط وبالتالي زيادة السطح الذي يعمل على الامتزاز. تم اخراج حبيبات الفحم المنشط وتبريدها.

يبين الشكل (3) مراحل عملية التحبيب والتنشيط.

**الشكل (3) مراحل عملية التحبيب والتنشيط**

4- غسيل وتجفيف الفحم المنشط:

بعد أن تم تبريد الفحم المنشط تم البدء بعملية غسله، حيث تم غسيله باستخدام حمض كلور الماء من ثم الماء المقطر عدة مرات مع القياس المتكرر للـ pH حتى تصبح قيمته 7 ، من ثم تم وضع الفحم المنشط الناتج في المجفف وتجفيفه عند درجة حرارة 105°C وذلك حتى ثبات الوزن.

### 3.4. توصيف الفحم المنشط الذي تمت صناعته:

بعد الانتهاء من عملية تصنيع الفحم المنشط تم اجراء عملية توصيف للفحم المنشط الذي تم صناعته وللفحم المنشط المرجعي الذي تم احضاره من السوق للمقارنة، حيث تم تحديد كثافته الظاهرية، ومساحة السطح (بطريقة رقم اليود)، وتحديد محتوى الرماد، وأخذ صورة للسطح باستخدام المجهر الالكتروني الماسح وذلك لتحديد المسامية السطحية،

1- تحديد الكثافة الظاهرية:

تم تحديد الكثافة الظاهرية لحبيبات الفحم المنشط التي تم صناعته بالاعتماد على معايير الجمعية الأمريكية لاختبار المواد وفقاً للمواصفة ASTM D2854-09(2025) ، الخاصة بتحديد الكثافة الظاهرية للفحم المنشط [5]، حيث تم قياس حجم عدد من حبيبات الفحم المنشط (كلٍ على حدى باستخدام بياكوليس رقمي)، من ثم وزن الحبيبات، وبقسمة وزن الحبيبات على حجمها تم تحديد الكثافة الظاهرية لكل حبيبة فحم منشط، حيث كانت الكثافة متقاربة جداً، فتم حساب المتوسط الحسابي لكثافات الحبيبات، وهو الذي تم اعتماده ككثافة ظاهرية للفحم المنشط، حيث بلغت قيمة الكثافة الظاهرية للفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة 585.185 kg/m3 ، بينما بلغت هذه القيمة للفحم المنشط المرجعي 607.41 kg/m3.

يظهر الشكل (4) وزن إحدى حبيبات الفحم المنشط الذي تم تصنيعها.

**الشكل (4) وزن إحدى حبيبات الفحم المنشط الذي تم تصنيعها.**

2- تحديد مساحة سطح الفحم المنشط عن طريق رقم اليود:

يعد رقم اليود من أهم معلمات جودة الفحم المنشط، لأنه يعطي مؤشراً على مسامية الفحم مساحة سطحه ومستوى تنشيطه، فكلما كان رقم اليود أكبر، كلما كانت مساحة سطحه أكبر، ويمكن التعبير عنه وتعريفه بأنه كمية اليود التي يمتزها غرام واحد من الفحم المنشط ويقدر بـ mg/g، وقد تم تحديد رقم اليود في هذا البحث بالاعتماد على المواصفة الأمريكية ASTM D4607. [6]

تم وزن كمية من الفحم المنشط الذي تم تصنيعه في البحث الحالي ووضعه في دورق، ووزن كمية مماثلة من الفحم المنشط المرجعي ووضعها في دورق آخر، من ثم تم إضافة محلول يود قياسي بتركيز معلوم وبكميات متساوية لكل من الدورقين اللذين يحويان الفحم المنشط، وتم رج كل من الدورقين بشكل جيد وتركهما فترة زمنية متساوية حتى يتسنى للفحم المنشط في كلا الدورقين امتزاز أكبر كمية من اليود، تم بعد ذلك ترشيح الخليط المتبقي لفصل الفحم عن المحلول المتبقي، وتم بعد ذلك معايرة اليود والمتبقي في الراشح باستخدام محلول من ثيوسلفات الصوديوم لتحديد كميته، وبناءً عليه تم حساب رقم اليود الذي امتزته كل عينة من عينات الفحم المنشط. بلغ رقم اليود في عينة الفحم المنشط التي تم تصنيعها من كوز الذرة 822 mg/g ، بينما بلغ رقم اليود في العينة التجارية المرجعية 804 mg/g ، وبذلك من خلال رقم اليوم يمكن تحديد أن مساحة سطح حبيبات الفحم المنشط في كلا النوعين من الفحم تتراوح ما بين 800 – 1000 $m^2/g$ ، لكن يوجد تفوق نسبي للفحم المصنع من كوز الذرة على الفحم المنشط التجاري.

3- تحديد نسبة الرماد:

يساعد هذا الاختبار في تحديد جودة الكربون النشط، حيث يمكن أن تؤثر كمية وتركيبة الرماد على قدراته في التطبيقات المختلفة مثل تنقية الماء والهواء، فكلما قلت نسبة الرماد كلما كان الفحم المنشط أكثر جودة، والهدف من الاختبار قياس نسبة الرماد (الشوائب) في الكربون النشط عبر حرق العينة في درجات حرارة عالية.

تم تطبيق هذا الاجراء وفقاً لمواصفة الجمعية الأمريكية ASTM D2866-11 على الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة والفحم المنشط المرجعي. [7]

تم اجراء قياس نسبة الرماد كما يلي:

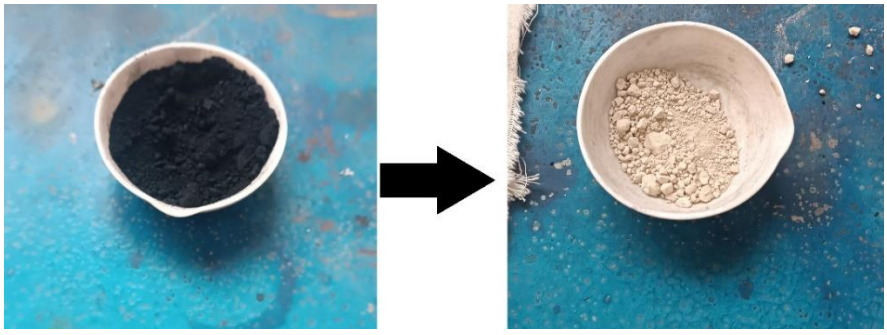
تم في البداية تجفيف كمية من فحم كوز الذرة والفحم المرجعي في فرن حتى ثبات وزنه، من ثم تم وزن كمية 5 g من الفحم المجفف من كل نوع ووضعه في بوتقة، وتم وضع البواتق في الفرن وتم رفع درجة حرارة الفرن إلى 800 C° مع تأمين هواء لضمان احتراق الفحم بشكل كامل، استمرت العملية اربع ساعات لضمان الاحتراق الكامل للعينات، تم بعد ذلك اخراج البواتق وتبريدها، وبعد التبريد تم وزن الرماد المتبقي في كل بوتقة، حيث بلغ وزن رماد فحم كوز الذرة 0.23 g بينما بلغ وزن رماد الفحم المرجعي 0.26 g .

تم تحديد نسبة الرماد من خلال العلاقة:

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

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

بعد تطبيق العلاقة تم معرفة نسبة الرماد، حيث بلغت نسبة الرماد في الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة 4.6% بينما بلغت النسبة في الفحم المنشط المرجعي 5.2% ، وتعتبر هاتين النسبتين نسب جيدة وتعطي معياراً جيداً لجودة الفحم المنشط. الشكل (5) يبين الفحم قبل وبعد عملية الترميد.



**الشكل (5) يبين الفحم قبل وبعد عملية الترميد.**

4- اختبار صلادة (متانة) الفحم المنشط:

يعطي هذا الاختبار مؤشراً عن قوة وصلادة الفحم المنشط ومدى مقاومته للتكسير عند وضعه في أعمدة الامتزاز وتعرضه للضغط نتيجة الوزن أعلاه وأثناء عمليات نقله وتخزينه، تم تطبيق هذا الاختبار وفقاً للجمعية الأمريكية للمواصفات والمقاييس بالاعتماد على المواصفة القياسية ASTM D4179-22. [8]

تم تطبيق هذا الاختبار على مجموعة حبيبات من فحم كوز الذرة ومجموعة حبيبات الفحم المنشط المرجعية، فتم اختيار مجموعة من الحبيبات سليمة البنية ومنتظمة الشكل وخالية من العيوب من الفحم المراد اختباره، وتم وضع حبيبة فحم بين فكي جهاز الضغط المبين في الشكل (6) وتطبيق ضغط متزايد بسرعة بطيئة ثابتة حتى انكسار حبيبة الفحم، وتدوين القراءة عند انكسار الحبيبة، حيث يتم اخذ القراءة بالنيوتن.

تم تطبيق هذا الاختبار على عشرة عينات على كل نوع من أنواع الفحم المنشط المدروس، وقد كان متوسط ضغط الانكسار لعينة الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة 37.8 N واجهاد الانكسار لها ، بينما بلغ في الفحم المنشط المرجعي 44.1 N .

وبتطبيق علاقة حساب اجهاد الكسر:

$$\sigma = F/A$$

حيث: $\sigma$ : اجهاد الانكسار بـ MPa ، F: القوة التي تنكسر عندها العينة بـ N

A: مساحة سطح العينة بـ $m^2$

بلغ متوسط اجهاد الكسر نتيجة الضغط في عينة فحم كوز الذرة 4.2 MPa ، بينما بلغت في عينة الفحم المنشط المرجعي 4.9 MPa ،

**يبين الشكل (6) جهاز اختبار الضغط**

يبين الجدول (1) بعض خصائص فحم كوز الذرة المنشط والفحم المرجعي المنشط بعد اجراء اختبارات تحديد تلك الخصائص.

**يبين الجدول (1) بعض خصائص فحم كوز الذرة المنشط والفحم المرجعي المنشط**

| العينة | الكثافة الظاهرية [$kg/m^3$] | رقم اليود [mg/g] | مساحة السطح [$m^2/g$] | نسبة الرماد [%] | قوة ضغط الانكسار [N] | اجهاد الكسر نتيجة الضغط [MPa] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| فحم كوز الذرة المنشط | 585.185 | 822 | 800 - 1000 | 4.6 | 37.8 | 4.2 |
| الفحم التجاري المرجعي | 6074.1 | 804 | 800 - 1000 | 5.2 | 44.1 | 4.9 |

يُلاحظ من الجدول ومن خلال النظر لخصائص كل من الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة وخصائص الفحم المنشط المرجعي، أن هنالك اختلاف في الخصائص، فنجد أن الكثافة الظاهرية لفحم كوز الذرة أصغر من كثافة الفحم المرجعي، وهذه النتيجة تعطي قراءة أن نسبة الفراغات في فحم كوز الذرة أكبر من نسبتها في الفحم المرجعي، أي أن المسام والتجاويف ضمن حبيبات فحم كوز الذرة أكثر، وهذا يدل على أن عملية التنشيط في فحم كوز الذرة فعالة أكثر لما تركته من فراغات وتجاويف في الفحم تزيد عن تلك الموجودة في الفحم المرجعي.

بالنظر لرقم اليود في الجدول نجد بأن رقم اليود الخاص بفحم كوز الذرة المنشط أكبر من رقم اليود الخاص بالفحم المنشط المرجعي، وهذا يدل أن امتزاز الفحم المنشط من النوع الأول لليود أكبر من امتزاز النوع الثاني، وبالتالي مساحة سطح الامتزاز أكبر، حيث أن رقم اليود يعطي مؤشراً لمساحة السطح المازة، وهذه النتيجة تتوافق مع نتيجة الكثافة الظاهرية، لأن انخفاض الكثافة تعني زيادة في المسام على حساب المادة الكربونية، وهذا يزيد من مساحة السطح النوعي للفحم وبالتالي سيعمل على امتزاز كمية أكبر من اليود.

من خلال الحقل الخاص بنسبة الرماد، نجد بأن نسبة الرماد في فحم كوز الذرة أقل من نسبة رماد الفحم التجاري، وهذا يعني أن نسبة الشوائب في النوع الأول أقل، وهذا يتوافق مع النتيجتين السابقتين، فكل ما كانت نسبة الشوائب أقل كلما زادت نسبة امتزاز الفحم المنشط ليود.

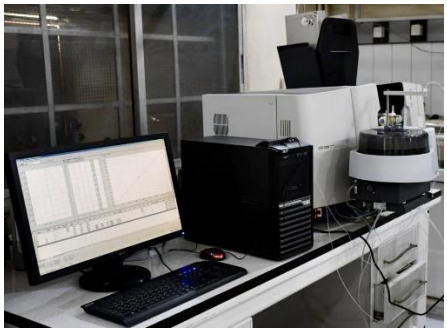
من خلال حقل قوة ضغط الانكسار الخاص باختبار الضغط، نجد بأن مقاومة فحم كوز الذرة أقل من مقاومة الفحم التجاري، وهذا قلل من إجهاد الكسر نتيجة الضغط الذي يتحمله النوع الأول مقارنةً بالثاني، ويعزى السبب لعدة عوامل، أولها انخفاض كثافة النوع الأول والتي تعمل على تقليل المادة الكربونية الصلبة في هيكل حبيبة الفحم، وهذا يعمل على اضعاف البنية الهيكلية لحبيبة الفحم بالمجمل، والسبب الثاني قد يعود لنوع مادة الربط المستخدمة مع خلطة الفحم ونسبتها، فقد تكون نسبة مادة الربط في النوع الثاني أكبر من نسبتها في النوع الأول.

**5- اختبار كفاءة فحم كوز الذرة المنشط في تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز من مياه معامل الطلاء:**

تم قطف عينات من مياه أحد معامل الدهانات الواقعة في إحدى المدن الصناعية، وتمت عملية قطف العينات بالطرق الفنية والقياسية المعتمدة باستخدام أواني زجاجية معقمة، من ثم تم اجراء عملية ترشيح لهذه المياه بواسطة جهاز التخلية من أجل التسريع في عملية الترشيح التي تمت باستخدام ورق ترشيح ماكروي من نوع Zelpa عيار 0.45 µm من أجل تخليصها من الشوائب الصلبة المعلقة وجميع المواد التي يمكن ترشيحها كما هو مبين في الشكل (7) .

**الشكل (7) عملية ترشيح مياه الملوثة**

وتم أخذها لإجراء تحاليل أولية عليها لتحديد تركيز كل من الرصاص والمنغنيز،
وقد تم القياس باستخدام جهاز الامتصاص الذري المبين في الشكل (8)، حيث تم قياس تركيز كل من الرصاص والمنغنيز في تلك المياه الملوثة، فبلغ تركيز الرصاص 11.7 mg/l بينما بلغ تركيز المنغنيز 31.16 mg/l .



**الشكل (8) جهاز الامتصاص الذري**

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 كوز الذرة ومن الفحم المنشط المرجعي)، والكميات هي 0.5 g و 1 g و 2 g و 4 g ، ووضع هذه الاواني على جهاز هزاز من أجل تحسين الامتزاز من ثم ترك العينات فترة زمنية تزيد عن الساعة ونصف، من ثم تمت عملية فصل الفحم عن المياه بالترشيح،

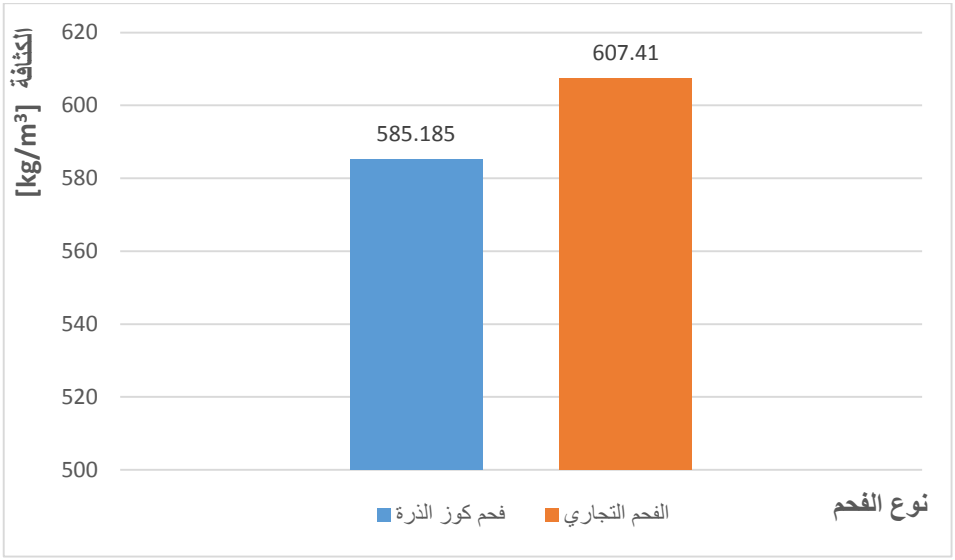
وأخذ الراشح الناتج للمخبر وتحليل تراكيز كل من الرصاص والمنغنيز بعد المعالجة، لمعرفة مدى فعالية فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي في إزالة الملوثين المذكورين، ويبين الشكل (9) عملية إضافة الفحم المنشط للمياه الملوثة بكميات مختلفة.

**الشكل (9) عملية إضافة الفحم المنشط للمياه الملوثة بكميات مختلفة.**

## 5.النتائج والمناقشة:

تم تصنيع فحم منشط من كوز الذرة، وتم اجراء اختبارات للفحم المصنع ولأحد أنواع الفحم التجاري الذي تم احضاره من السوق كمرجع، لمقارنة نتائج الاختبارات فحم كوز الذرة مع نتائج الفحم المرجعي وذلك بعد أن تم الحصول على جميع النتائج.

تم مقارنة نتائج تحديد الكثافة لفحم كوز الذرة مع الفحم التجاري المرجعي من خلال الشكل (10).




**الشكل (10) مقارنة بين كثافة فحم كوز الذرة وكثافة الفحم التجاري**

يُلاحظ من خلال الشكل (10) أن كثافة فحم كوز الذرة المنشط أخفض من كثافة الفحم المنشط التجاري (المرجعي)، حيث بلغت كثافة فحم كوز الذرة 585.185 $kg/m^3$ بينما بلغت كثافة الفحم التجاري المرجعي 607.41 $kg/m^3$ ، ويمكن أن يعود ذلك لعدة أسباب، أهم تلك الأسباب هي:

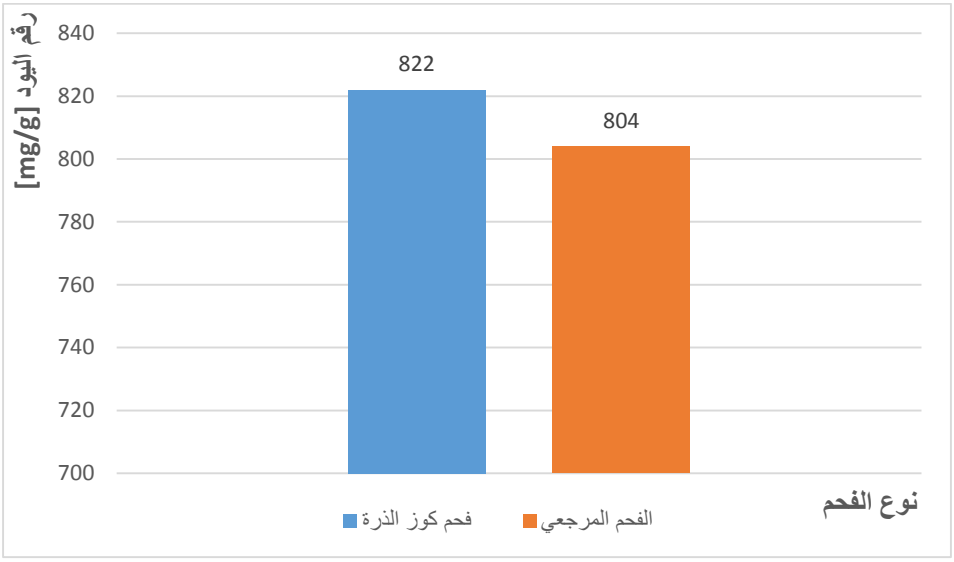
1- مقدار ضغط حبيبات الفحم عند التصنيع، فكلما زاد الضغط عند التصنيع زادت كثافة الفحم المنتج.

2- فعالية التنشيط، حيث تنقص كثافة حبيبات الفحم كلما زادت فعالية التنشيط، حيث يعمل التنشيط على زيادة المسام المتشكلة في حبيبات الفحم بالتالي يزيد من مقدار الهواء الذي يتخلل حبيبات الفحم على حساب المادة الصلبة، وهذا يقلل من الوزن عند حجم ثابت، أي تقلل من الكثافة.

3- كثافة المادة الأولية المستخدمة في صناعة الفحم، حيث تبلغ كثافة كوز الذرة في حالته الأولية 267.78 $kg/m^3$ [9] وهي تعتبر كثافة منخفضة مقارنةً بالمواد الأخرى التي يتم منها صناعة الفحم المنشط.

باعتبار أن فحم كوز الذرة المنشط أقل كثافة، فهذا يعني أن مساماته أكثر وبالتالي مساحة سطحه أكبر، وهذا يعطي ميزة لفحم كوز الذرة المنشط عن الفحم التجاري المرجعي.

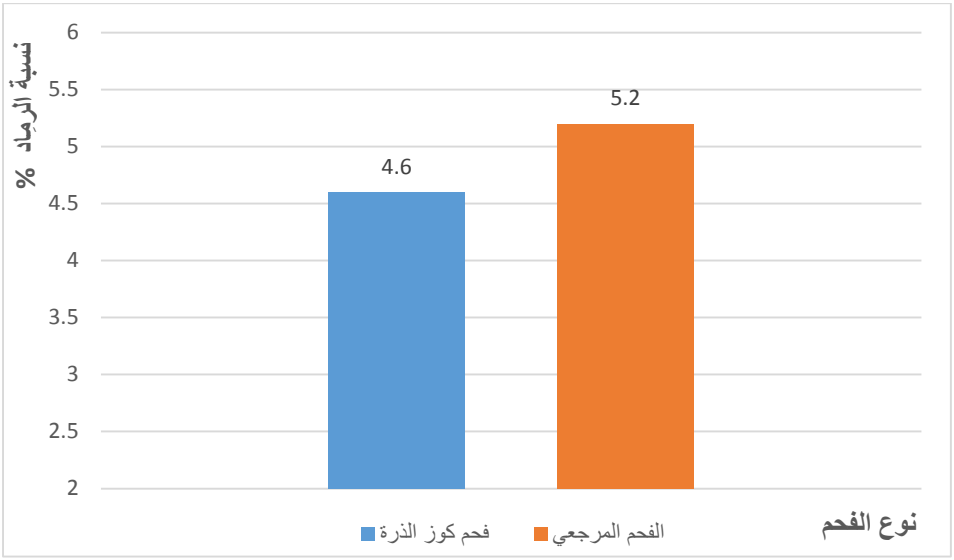
يبين الشكل (11) مقارنة بين رقم اليود لفحم كوز الذرة المنشط ورقم اليود للفحم التجاري المرجعي.




**الشكل (11) مقارنة رقم اليود بين فحم كوز الذرة والفحم التجاري**

يُلاحظ من الشكل (11) أن رقم اليود الخاص بفحم كوز الذرة المنشط أكبر من رقم اليود الخاص بالفحم المنشط المرجعي، حيث بلغ رقم اليود في فحم كوز الذرة المنشط المدروس 822 mg/g بينما بلغ في الفحم التجاري المرجعي 804 mg/g ، بما أن رقم اليود للفحم المنشط يعطي دلالة عن مساحة الأسطح في حبيبات الفحم (كلما زاد رقم اليود كلما زادت مساحة سطح البيبة)، هذا يعني أن المساحة السطحية لحبيبات فحم كوز الذرة المنشط أكبر من مساحة حبيبات الفحم التجاري المرجعي أي أن فحم كوز الذرة المنشط أفضل من الفحم التجاري المرجعي (عينات المقارنة) من هذه الناحية، حيث يستطيع امتزاز كميات أكبر من الملوثات.

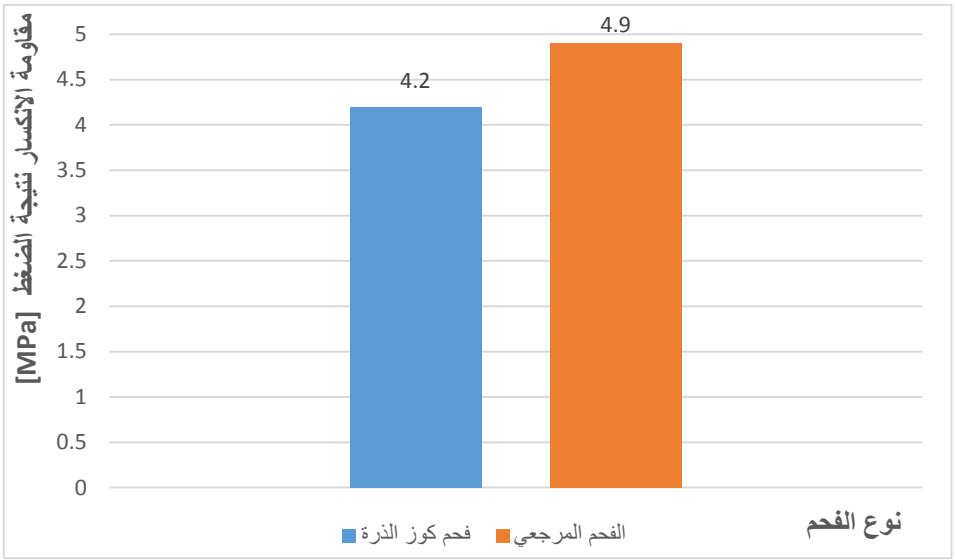
يبين الشكل (12) مقارنة بين فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي من ناحية نسبة الرماد.




**الشكل (12) مقارنة نسبة الرماد بين فحم كوز الذرة والفحم التجاري**

بعد اجراء تجربة نسبة الرماد لكل من فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي، تبين أن نسبة الرماد في فحم كوز الذرة المنشط أقل من نسبته في الفحم التجاري المرجعي، حيث بلغت نسبة الرماد بفحم كوز اذرة 4.6% بينما بلغت في الفحم التجاري المرجعي 5.2% ، يمكن تفسير ذلك أن فحم كوز الذرة يحتوي على شوائب أقل من الفحم المرجعي، وتزداد جودة الفحم المنشط كلما قلت نسبة الرماد فيه، وتعتبر مواصفات الفحم جيدة عندما تقل نسبة الرماد عن 5% كما هو الحال في فحم كوز الذرة المنشط.

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

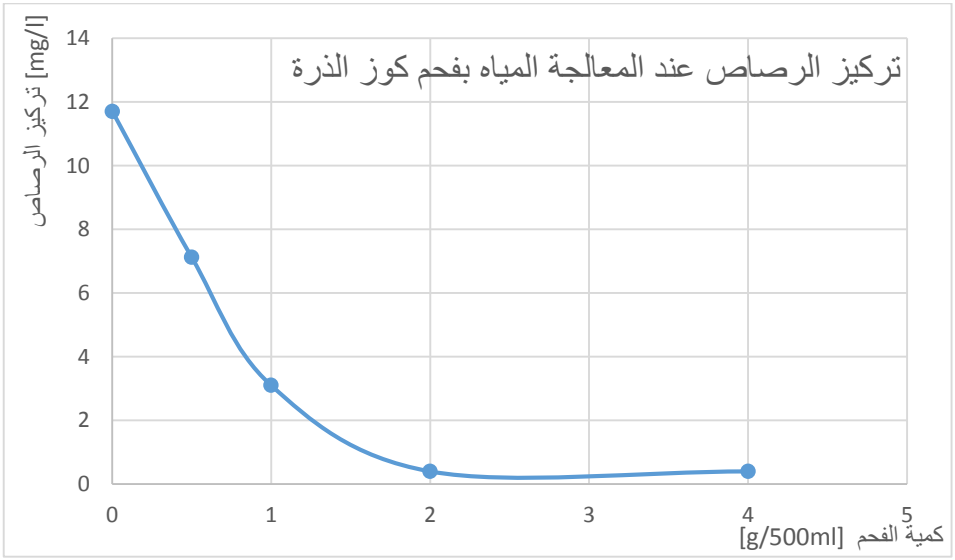



**الشكل (13) مقارنة مقاومة الانكسار نتيجة الضغط بين فحم كوز الذرة والفحم التجاري**

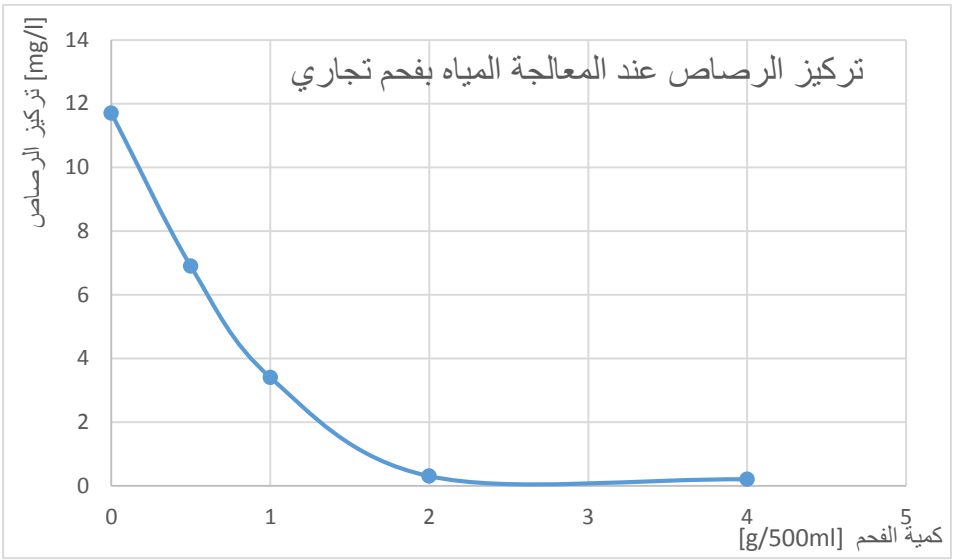
تم اجراء مقارنة بين فحم كوز الذرة المنشط وبين الفحم التجاري المرجعي من ناحية مقاومته للكسر نتيجة الضغط، وذلك بعد إجراء الاختبار، وبينت النتائج من خلال الشكل (13) أن فحم كوز الذرة المنشط أقل مقاومة للكسر من الفحم التجاري المرجعي، حيث انهارت عينة الفحم المصنعة من كوز الذرة عند 4.2 Mpa بينما أبدت عينة الفحم المرجعي مقاومة أكبر، حيث انهارت عن قيمة 4.9 Mpa ، وهذه النتيجة تعطي عينة الفحم التجاري المرجعي أفضلية من هذه الناحية، حيث يمكن تحمل الاجهادات الميكانيكية بشكل أكبر وخاصةً عندما يكون الفحم متموضعاً في أسفل أعمدة التنقية، حيث يتعرض لثقل المكونات التي تعليه، ويعطيه أيضاً ميزة في عمليات النقل والشحن لأنه يتعرض أثناء ذلك إلى العديد من الإجهادات الميكانيكية الناتجة عن التحميل والتفريغ والحركة.

يمكن تفسير سبب تفوق الفحم التجاري على فحم كوز الذرة من هذه الناحية هو أن كثافة الفحم التجاري أعلى، وهذا يعني أن نسبة المادة الصلبة أكبر وبالتالي سيكون التماسك أكبر، بالإضافة لقوة الضغط أثناء عملية التصنيع، فكلما زادت القوة الضاغطة كلما زاد التماسك، وتلعب نسبة المادة الرابطة (النشاء) دوراً أساسياً في هذه الخاصية أيضاً، فكلما زادت نسبتها زاد التماسك في العينات، وأخيراً نوع المادة الأولية المستخدمة في تصنيع الفحم قد تلعب دوراً كبيراً في ذلك.

بعد الانتهاء من دراسة خصائص الفحم السابقة، تم اختبار فعالية الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة من خلال ازالته للرصاص وللمنغنيز الموجودان في مياه المنصرفات الناتجة من احدى معامل الدهانات كما ذُكر سابقاً، وتم بعد ذلك رسم المنحنيات البيانية التي تبين تغير تركيز الرصاص مع تغير كمية الفحم المستخدمة في معالجة المياه، وذلك عند استخدام كلا النوعين من الفحم المنشط، وهما فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي المنشط، حيث يبين الشكلان (14) و (15) هالتين العلاقتين على التوالي.




**الشكل (14) تغير تركيز الرصاص في العينات مع تغيير كمية فحم كوز الذرة المنشط المستخدم للمعالجة**



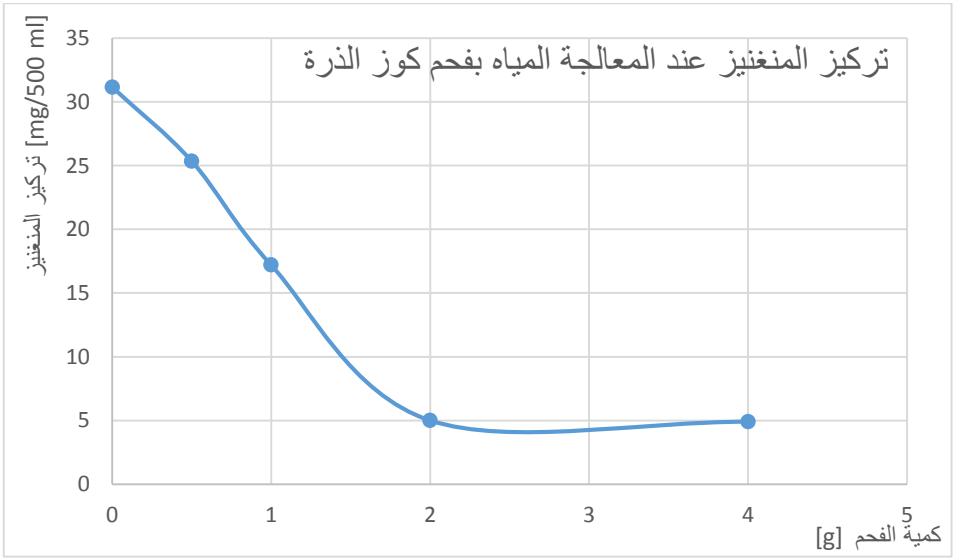

**الشكل (15) تغير تركيز الرصاص في العينات مع تغيير كمية الفحم التجاري المنشط المستخدم للمعالجة**

بالاستناد إلى الشكلين السابقين، يُلاحظ أن تركيز الرصاص 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 الرصاص من المياه الملوثة. إذ بلغ تركيز الرصاص قبل المعالجة 11.7 mg/l ، في حين انخفض بعد المعالجة باستخدام كمية 0.5 g/500ml من فحم كوز الذرة والفحم التجاري، كلٌّ على حدة، ليصل إلى 7.12 mg/l و 6.9 mg/l على التوالي.

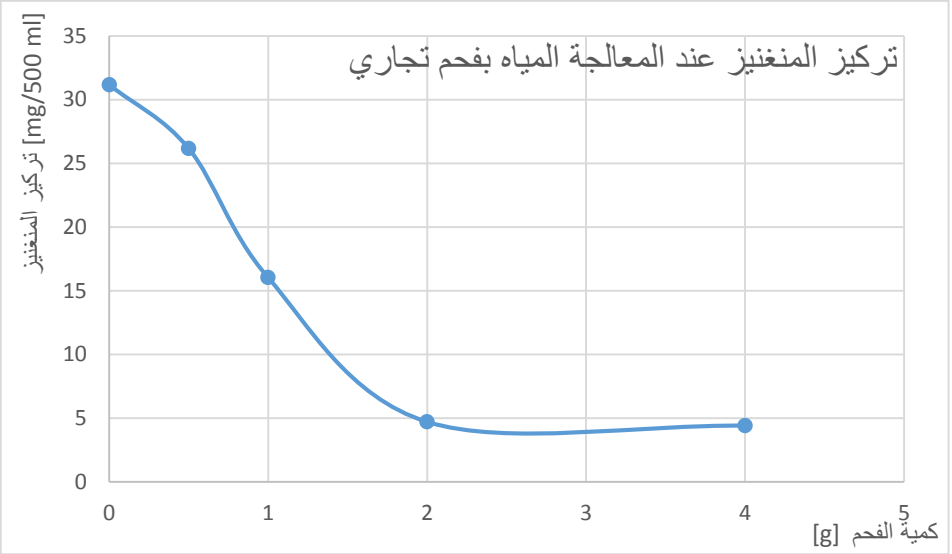
ومع زيادة كمية الفحم إلى 1 g/500 ml ، لوحظ انخفاض إضافي في تركيز الرصاص ليبلغ 3.1 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة و 3.4 mg/l عند استخدام الفحم التجاري. كما استمر هذا الاتجاه التنازلي عند رفع كمية الفحم إلى 2 g/500 ml ، حيث انخفض تركيز الرصاص إلى 0.4 mg/lو 0.3 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة والفحم التجاري على التوالي. ومع زيادة كمية الفحم المستخدم للمعالجة بعد هذا الحد، لوحظ انخفاض فعالية امتزاز الفحم للرصاص، حيث يصبح معدل انخفاض التركيز أقل بكثير، فعند استخدام كمية فحم 4 g/500ml يبقى تركيز الرصاص 0.4 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة، وينخفض تركيزه قليلاً في العينة التي تم فيها استخدام الفحم التجاري

ليصبح 0.2 mg/l عند استخدام الفحم التجاري، أي أن زيادة كمية الفحم في المعالجة لن تعد مجدية لأن تركيز الرصاص بقي ثابتاً مع مضاعفة كمية الفحم المنشط في كلا النوعين من الفحم، لذلك يمكن اعتبار كمية 2 g/500ml من الفحم هي الأفضل، كون أن الزيادة في كميته لم تعد مجدية اقتصادياً، وقد تلعب عوامل أخرى في تخفيض نسبة امتزاز الفحم للرصاص.

تم بعد ذلك رسم المنحنيات البيانية التي تبين تغير تركيز المنغنيز مع تغير كمية الفحم المستخدمة في معالجة المياه، وذلك عند استخدام كلا النوعين من الفحم المنشط، وهما فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي المنشط، حيث يبين الشكلان (16) و (17) هالتين العلاقتين على التوالي.




**الشكل (16) تغير تركيز المنغنيز في العينات مع تغيير كمية فحم كوز الذرة المنشط المستخدم للمعالجة**




**الشكل (17) تغير تركيز المنغنيز في العينات مع تغيير كمية الفحم التجاري المنشط المستخدم للمعالجة**

بالنظر للشكلين السابقين نجد أن تركيز المنغنيز ينخفض مع زيادة كمية الفحم المنشط المستخدم في عملية المعالجة، حيث مع ازدياد كمية الفحم تزداد المساحة الفعالة لإمتزاز الملوثات الموجودة ضمن المياه التي يجري معالجتها، وبالتالي سيعمل الفحم المنشط على امتزاز قدر أكبر من المنغنيز، فنجد أن تركيز المنغنيز في المياه كان 31.16 mg/l قبل المعالجة، وبعد المعالجة بكمية 0.5 g/500ml من فحم كوز الذرة والفحم التجاري كلاً على حدى نجد بأن تركيز المنغنيز انخفض في كلا العينتين فأصبح 25.35 mg/l في العينة المعالجة فحم كوز الذرة و 26.17 mg/l في العينة المعالجة بالفحم التجاري، ومع زيادة كمية الفحم المستخدم في المعالجة من كلا النوعين إلى 1 g/500ml نجد بأن تركيز المنغنيز ينخفض أكثر ليصبح 17.2 mg/l عند استخدم فحم كوز الذرة المنشط و 16.03 mg/l عند استخدام الفحم التجاري المنشط، واستمر انخفاض تركيز المنغنيز مع زيادة كمية الفحم لـ 2 g/500ml ، ليصبح 5.01 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة المنشط و 4.7 mg/l عند استخدام الفحم التجاري المنشط، ومع زيادة كمية الفحم المستخدم للمعالجة فوق هذا الحد، تنخفض فعالية إزالة الفحم للمنغنيز، حيث يصبح انخفاض التركيز أقل بكثير، فعند استخدام كمية فحم منشط 4 g/500ml ينخفض تركيز المنغنيز بمقدار ضئيل جداً فيصبح 4.91 mg/l عند استخدام

فحم كوز الذرة، وينخفض تركيزه قليلاً في العينة التي تم فيها استخدام الفحم التجاري ليصبح 4.4 mg/l ، أي أن زيادة كمية الفحم في المعالجة تصبح دون فائدة تقريباً، بسبب عدم وجود انخفاض ملحوظ في تركيز المنغنيز، وبالتالي تصبح عملية زيادة الفحم المنشط غير مجدية اقتصادياً، لذلك يمكن اعتبار كمية 2 g/500ml من الفحم هي الأفضل من أجل خفض المنغنيز لأكبر قدر، كون أن الزيادة في كميته أصبحت دون فعالية واضحة، وهذه النتيجة مشابهة تقريباً لنتيجة إزالة الرصاص، لذلك يمكن اعتبار هذه الكمية هي الأفضل لإزالة كلا الملوثين، ومن أجل زيادة فعالية الإزالة، يجب التركيز على عوامل أخرى قد تلعب دوراً في تخفيض نسبة امتزاز الفحم للرصاص والمنغنيز.

**6. الاستنتاجات والتوصيات:**

من خلال الدراسة التي تمت أصبح من الممكن صياغة بعض الاستنتاجات على النحو الآتي:

1. أكدت الدراسة نجاح تصنيع فحم منشط من كوز الذرة الذي يعد من المخلفات الزراعية.
2. بينت نتائج قياس الكثافة أن كثافة الفحم المدروس أقل من كثافة الفحم المنشط التجاري بنسبة 3.65% .
3. كانت قيمة رقم اليود في فحم كوز الذرة أكبر منه في الفحم التجاري بنسبة 2.23% أي أن المساحات الفعالة السطحية متقاربة بين النوعين.
4. بينت تجربة نسبة الرماد أن نسبة الرماد بفحم كوز الذرة أصغر من نسبته الموجودة بالفحم التجاري بنسبة 11.53% ، وهذا يدل على أن الشوائب في فحم كوز الذرة أقل من الشوائب الموجودة في الفحم التجاري.
5. تفوق الفحم المنشط التجاري على فحم كوز الذرة المنشط من ناحية مقاومته للانكسار نتيجة الضغط بنسبة 16.66%.
6. استطاع فحم كوز الذرة المنشط أن يمتز كلاً من عنصري الرصاص والمنغنيز من مياه المنصرفات الناتجة من أحد معامل تصنيع الدهانات بكفاءة جيدة تقارب كفاءة الفحم المنشط التجاري المستخدم للمقارنة.

7. بلغت فعالية الفحم المنشط المصنّع من كوز الذرة في إزالة كل من الرصاص والمنغنيز من المياه الملوثة نسبة 96.58% و 84.24% على الترتيب، بينما بلغت فعالية الفحم التجاري المنشط في إزالة هاذين العنصرين نسبة 98.29% و 85.87% بنفس الترتيب.
8. بينت جميع نتائج الاختبارات والقياسات أن فحم كوز الذرة المنشط يضاهي الفحم المنشط التجاري المتوفر في السوق مع وجود بعض الفوارق البسيطة، وأنه يتمتع بمواصفات جيدة تجعله مناسباً لتطبيقات معالجة المياه.

**التوصيات:**

من خلال ما سبق يمكن صياغة التوصيات التالية:

1-.اجراء أبحاث مستقبلية تعمل على دراسة أفضل شروط لتحقيق إزالة كاملة للملوثات بواسطة فحم كوز الذرة، والتركيز على دراسة متغيرات pH ودرجات حرارة مختلفة للمياه المراد معالجتها وزمن التلامس أثناء الازالة.

2- دراسة فعالية فحم كوز الذرة المنشط في إزالة الملوثات من أنواع أخرى من المياه الملوثة.

3- العمل على تصنيع الفحم المنشط من مواد أخرى واختبار فعاليتها في إزالة أنواع مختلفة من الملوثات.

3- اجراء دراسات تعمل على تبيان مدى قابلية فحم كوز الذرى المنشط على إعادة تنشيطه بعد استعماله في معالجة المياه.

4- تشجيع الباحثين ومراكز الأبحاث والشركات العامة والخاصة على البدء بشكل جدي بإجراء أبحاث مشابهة تشجع الاستدامة وترشيد الطاقة.

## 7. المراجع References

1- Tang S et al. 2016 - **Preparation of activated carbon from corn cob and its adsorption behavior on Cr(VI) removal.** *Journal of Water Sci Technol. 2016; 73(11): 2654-61- doi: 10.2166/wst.2016.120.*

**2-** Doczekalska, B et al. 2022 - **Activated carbon prepared from corn biomass by chemical activation with potassium hydroxide.** *BioResources 17(1), 1794-1804.*

3- Jiang L et al. 2023- **Optimization of activated carbon production from corn cob using response surface methodology**. *Front.Environ. Sci. Toxicology, Pollution and the Environment Volume 11 – 2023.*

4- Garcia E et al. 2024 - **Activated Carbon Electrodes for Supercapacitors from Purple Corncob (Zea mays L.)**. *The Authors. Published by American Chemical Society. ACS Environ .Au 2024 ,4, Page 80−88.*

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

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

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

9- Qarmo A et al**. The description of the Physical properties of some waste materials, to determine the possibility of recycling.** *Journal of Homs University, 38(15) 2016.Page 57-77.*