LJEEST
ISSN 2710-5237
www.srcest.org.ly/jou

المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology(LJEEST)

DOI: https://doi.org/10.63359/dn0ffe57

إعادة تنشيط الكربون المنشط المستنفذ باستخدام هيدروكسيد الصوديوم لمعالجة مياه الصرف الصناعي بمجمع مليته للنفط والغاز

مجيد الهادي خترش [1] سالمين سالم البركي [2]

ARTICLE INFO

Vol. 8 No. 2 August, 2026

Pages (A49- 54)

Article history:
Revised form 06 Agusts 2026
Accepted 15 July 2026

Authors affiliation
[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sabratha University, Libya.
[2], Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Sabratha University, Libya.
khitreesh@yahoo.com

Keywords:
Spent Activated Carbon, Industrial Wastewater Treatment, Sodium Hydroxide (NaOH).

© 2026
Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية إعادة تنشيط الكربون المنشط المستنفذ وإعادة استخدامه في معالجة مياه الصرف الصناعي بمجمع مليتة للنفط والغاز غرب ليبيا. وتنبع أهمية الدراسة من إمكانية خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بشراء الكربون المنشط الجديد والتخلص من الكربون المستهلك، بما يسهم في تعزيز الكفاءة الاقتصادية والبيئية للعمليات الصناعية. تمت إعادة تنشيط الكربون المستنفد باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيزين 10% و15% وعند درجات حرارة مختلفة بزمن تلامس 30 دقيقة . وقد تم تقييم أداء الكربون المعاد تنشيطه من خلال قياس عدد من المؤشرات الكيميائية لمياه الصرف الصناعي، شملت نسبة الزيوت والشحوم(O&G) ، والرقم الهيدروجيني(pH) ، والطلب الكيميائي للأكسجين(COD) .أظهرت النتائج أن إعادة التنشيط باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 15% حققت كفاءة أعلى في إزالة الزيوت مقارنة بتركيز 10%، حيث سجل الكربون المعاد تنشيطه عند درجة حرارة 50°م أعلى كفاءة إزالة بلغت 98.60%. كما أظهر الكربون المعاد تنشيطه بتركيز 10% أداءً أفضل في ضبط الرقم الهيدروجيني، إذ بلغ متوسط قيمة pH نحو 6.1. أما فيما يتعلق بالطلب الكيميائي للأكسجين(COD) ، فقد أظهرت النتائج تقاربًا في الأداء بين الكربون المعاد تنشيطه بتركيزي 10% و15%، دون وجود فروق معنوية واضحة في كفاءة إزالة الملوثات العضوية. وتخلص الدراسة إلى أن إعادة تنشيط الكربون المنشط المستنفذ باستخدام هيدروكسيد الصوديوم تمثل خيارًا واعدًا لإعادة استخدامه في معالجة مياه الصرف الصناعي، مع تحقيق كفاءة مرتفعة في إزالة الزيوت. كما توصي بإجراء تقييم اقتصادي وبيئي شامل لمقارنة تقنيات إعادة التنشيط المختلفة، مع مراعاة دورة حياة الكربون المنشط بدءًا من الإنتاج والاستخدام وحتى إعادة التنشيط أو التخلص النهائي.

Reactivation of Spent Activated Carbon Using Sodium Hydroxide for Industrial Wastewater Treatment at the Mellitah Oil and Gas Complex, Libya

Majid Al-Hadi Khtrish[1], Salmeen Salem Al-Barki[2]

This study aimed to evaluate the effectiveness of reactivating spent activated carbon and reusing it in industrial wastewater treatment at the Mellitah Oil & Gas Complex in western Libya. The significance of this study lies in its potential to reduce the operational costs associated with purchasing new activated carbon and disposing of spent carbon, thereby enhancing the economic and environmental sustainability of industrial processes. Spent activated carbon was regenerated using sodium hydroxide (NaOH) solutions at concentrations of 10% and 15% under various temperature conditions with a contact time of 30 min. The adsorption performance of the regenerated carbon was assessed by analyzing key industrial wastewater quality parameters, including oil and grease (O&G), pH, and chemical oxygen demand (COD). The results demonstrated that reactivation with a 15% sodium hydroxide solution achieved higher oil removal efficiency than the 10% concentration. The reactivated carbon treated at 50°C exhibited the highest removal efficiency, reaching 98.60%. In contrast, the activated carbon reactivated with 10% sodium hydroxide showed superior performance in pH adjustment, with an average pH value of approximately 6.1. Regarding COD removal, the results indicated comparable performance between the activated carbon reactivated with 10% and 15% sodium hydroxide, with no significant differences observed in the removal efficiency of organic

pollutants. The study concludes that the reactivation of spent activated carbon using sodium hydroxide represents a promising approach for its reuse in industrial wastewater treatment, achieving high efficiency in oil removal. The study further recommends conducting a comprehensive economic and environmental assessment to compare different reactivation techniques while considering the entire life cycle of activated carbon, from production and utilization to reactivation and final disposal.

المقدمة

منذ ظهور الإنسان على سطح الأرض بدأت المخلفات والنفايات الصلبة، ومع مرور الزمن تزايدت وتنوعت هذه المخلفات وأصبحت عبئاً ثقيلاً على العديد من المجتمعات خاصة من النواحي الصحية والبيئية والاقتصادية، وذلك للمشاكل البيئية التي تنتج عن هذه المخلفات.

ان من بين هذه المخلفات الصلبة التي ترمى بعد انتهاء الاستخدام ما يعرف بالكربون النشط المستنفذ Spent Activated Carbon (SAC)، الذي يستخدم في عمليات معالجة مياه الصرف الصناعي بمجمع مليته للنفط والغاز، وتعود هذه الأهمية إلى قدرته الفريدة على الامتزاز الفعال لمختلف الملوثات والمواد العضوية وغير العضوية، الأمر الذي يجعل منه خيارًا استراتيجيًا في معالجة المياه، وإزالة المركبات السامة من البيئات الصناعية (إبراهيم، وآخرون (2018). تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على اعادة التنشيط الكيميائي للكربون النشط المستنفذ، أنواعه المختلفة، أساليب تصنيعه. والآليات التي يعتمد عليها في الامتصاص، بالإضافة إلى دوره المحوري في تحسين كفاءة العمليات النفطية.

أن الكربون النشط (Activated Carbon) هو مادة كربونية يتم إنتاجها من مواد أولية عضوية (biomass) عبر عمليتي الكربنة والتنشيط، بحيث تتكوّن فيها شبكة واسعة من المسام الدقيقة والمتوسطة والكبيرة، مما يمنحها مساحة سطح عالية جدًا وقدرة ممتازة على الامتزاز (البرادعي (2020).

وتختلف أنواع الكربون النشط تبعًا لطريقة تصنيعه وشكله الفيزيائي، وكل نوع منها يُناسب استخدامًا معينًا، خصوصًا في الصناعات النفطية التي تتطلب دقة وكفاءة في المعالجة كما هي ملخصة بالجداول التالية (1)، (2).

جدول (1) انواع الكربون النشط (أبوالقاسم، وآخرون (2020)

نوع الكربون	الخصائص	الاستخدامات	أهم الاستخدامات
الكربون المنشط الحبيبي (GAC)	مساحة سطحية عالية، قوة ميكانيكية ممتازة مناسب للجريان المستمر	معالجة المياه الصناعية وحدات إزالة الزيت المرشحات الكبيرة	معالجة المياه الصناعية والبلدية، إزالة الروائح معالجة مياه الصرف مرشحات التنقية الضخمة
الكربون المنشط المسحوق (PAC)	جسيمات دقيقة جداً معدل امتزاز سريع فعّال مع المركبات العضوية.	إزالة الأصباغ، مياه الصرف الملونة المعالجات السريعة	إزالة الأصباغ معالجة مياه الصرف الصناعي الصناعات الغذائية إزالة الروائح موسميًا إزالة الزئبق والدايوكسينات
الكربون المنشط الكروي (Spherical AC)	شكل كروي مثالي مقاومة تفتت عالية توزيع ممتاز للجريان.	الصناعات البترولية، الامتزاز المتكرر، أنظمة الضغط العالي.	امتزاز الأصباغ عمليات الامتزاز المتكرر الصناعات البترولية والكيميائية
ألياف الكربون المنشط (ACF)	ألياف ذات مسامية فائقة مساحة سطحية عالية جداً كفاءة امتزاز للغازات.	تنقية الهواء، إزالة الملوثات الغازية VOCs، الصناعات الكيميائية الدقيقة	تنقية الهواء إزالة المركبات العضوية المتطايرةVOCs الفلاتر عالية الكفاءة الامتزاز السريع للغازات

جدول (2) مميزات وعيوب انواع الكربون النشط (الشمري، وآخرون (2021).

النوع	المميزات	العيوب
الكربون المنشط الحبيبي (GAC)	قوة ميكانيكية عالية مناسب للأنظمة المستمرة قابل لإعادة التنشيط الحراري عدة مرات فعّال لإزالة المركبات العضوية والزيوت	تكلفة أعلى منPAC يحتاج زمناً أطول للوصول للاتزان فعال أكثر في التدفق البطيء
الكربون المنشط المسحوق(PAC)	مساحة سطحية عالية جداً سرعة امتزاز ممتازة فعّال لإزالة الأصباغ يمكن إضافته مباشرة للمياه	لا يمكن إعادة تنشيطه بسهولة يسبب عكارة ويتطلب ترشيحًا لاحقاً كفاءة أقل في الأنظمة المستمرة
الكربون المنشط الكروي (Spherical AC)	شكل كروي يعزز توزيع الجريان مقاومة عالية للتفتت أداء ممتاز تحت الضغط العالي فعال في الامتزاز المتكرر	تكلفة تصنيع عالية يتطلب تجهيزات صناعية خاصة
ألياف الكربون المنشط (ACF)	مساحة سطحية فائقة امتزاز سريع جداً للغازات فعال لإزالة المركبات المتطايرةVOCs مناسب لفلاتر الهواء	تكلفة إنتاج مرتفعة أقل ملاءمة لمعالجة المياه الثقيلة

ولقد تناولت العديد من الدراسات العلمية السابقة موضوع إعادة تنشيط الكربون المنشط المستنفذ باستخدام طرق مختلفة، والتي من بينها التنشيط الكيميائي بمحاليل قلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم، مع تقييم كفاءة الكربون المعاد تنشيطه في إزالة الملوثات من المياه الصناعية، ومن بين هذه الدراسات ذات الصلة بموضوع البحث

- دراسة Kow, H. (2016) وزملائه، بعنوان تجديد الكربون المنشط المستهلك باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم والماء الساخن كبديل منخفض التكلفة لطرق التجديد الحراري. اعتمدت الدراسة على طريقتي الدفعات والعمود لدراسة تأثير تركيز محلول (NaOH) ووقت التلامس على كفاءة التجديد. وأظهرت النتائج أن استخدام محلول بتركيز (N6) لمدة 30 دقيقة مكّن من استعادة أكثر من 90% من القدرة الامتزازية للكربون، مع تحسن واضح في المساحة السطحية وحجم المسام، مما يؤكد فعالية هذه الطريقة واقتصاديتها في التطبيقات الصناعية.
- تناولت دراسة كل من Puspitasari, : "M. & Wulan. (2023) تأثير تركيز هيدروكسيد الصوديوم على إنتاج الكربون النشط من قشور الكسافا، وأظهرت النتائج أن زيادة تركيز (NaOH) ساهمت في تحسين تكوين المسامات وإزالة المكونات غير الكربونية،

مما أدى إلى رفع كفاءة الامتصاص للكربون النشط حتى حدٍ معين، بينما أثرت التراكيز العالية سلبًا على صلابة البنية الكربونية. وخلصت الدراسة إلى أن اختيار التركيز المناسب من هيدروكسيد الصوديوم يُعد عاملًا أساسيًا في إنتاج كربون نشط عالي الجودة من قشور الكسافا، مع إمكانية الاستفادة من هذا المصدر الزراعي منخفض التكلفة في التطبيقات البيئية والصناعية.

° تناولت دراسة Mishra, C. (2021)، تطوير طريقة محسّنة للتجديد الكيميائي للكربون المنشط الحبيبي المستنفذ بفعل الألوان، وذلك من خلال مقارنة وتقييم عدة طرق للتجديد والاستصلاح. وأظهرت النتائج أن استخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم يُعد الخيار الأفضل من حيث التكلفة والأثر البيئي، حيث حقق تركيز (N6) عند درجة حرارة تتراوح بين (50–80) °م كفاءة تجديد تراوحت بين (80%–90%).

أن الكربون المنشط يُستخدم على نطاق واسع في مجمع مليته للنفط والغاز لمعالجة المياه الصناعية وإزالة الملوثات بالامتزاز، إلا أن تشبع مسامه بالملوثات يؤدي إلى انخفاض كفاءته وارتفاع تكاليف استبداله والتخلص منه. ورغم تعدد الدراسات العالمية حول إعادة تنشيط الكربون المنشط باستخدام عوامل كيميائية مختلفة، فإن الدراسات التي تناولت إعادة تنشيطه باستخدام هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) في ظروف التشغيل الفعلية للصناعات النفطية الليبية ما تزال محدودة. ومن هنا تتمثل الفجوة البحثية في عدم توفر تقييم عملي لكفاءة إعادة تنشيط الكربون المستنفد في مجمع مليته، ومدى قدرته على استعادة خصائصه الامتزازية وتحسين جودة المياه الصناعية، بما يدعم خفض التكاليف التشغيلية وتعزيز الاستدامة البيئية.

المواد والطرق

أُجريت الدراسة في مجمع مليته للنفط والغاز، الواقع على بعد حوالي 22 كيلومترًا شرقي مدينة زوارة، بين خطي طول (12°13′–12°14′) ودائرتي عرض (32°50′–32°51′). ويغطي المجمع مساحة تُقدَّر بحوالي 355 هكتارًا، تضم مرافق معالجة النفط والغاز، وخزانات لتخزين النفط الخام والمنتجات السائلة الأخرى، بالإضافة إلى مرافق التصدير والبنية التحتية المساندة، بما في ذلك التوربينات البخارية والغازية المستخدمة في توليد الطاقة.

وقد تم اختيار مجمع مليته الصناعي موقعًا لإجراء الدراسة لعدة أسباب، من أهمها توفر الكربون المنشط المستنفد، إلى جانب توفر المختبرات والتجهيزات اللازمة لإجراء التجارب والتحاليل المعملية. وبناءً على المعلومات المتحصل عليها من خلال الزيارة الميدانية، يحتوي المجمع على أربع أسطوانات (فلاتر) لمعالجة مياه الصرف الصناعي، تبلغ كمية الكربون المنشط في كل منها حوالي (1,840 كغ)، كما يبلغ متوسط العمر التشغيلي للكربون المنشط الحبيبي قبل الاستنفاد نحو أربعة أشهر، مما يجعل الاستهلاك السنوي للكربون المنشط بالمجمع يُقدَّر بحوالي (22,080 كغ).

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المدعوم بالجانب التجريبي المعملي، بهدف تقييم إمكانية إعادة استخدام الكربون المنشط المستنفد في معالجة مياه الصرف الصناعي، وذلك من خلال وصف خصائص مياه الصرف الصناعي وتحليلها مخبريًا، ثم دراسة كفاءة الكربون المنشط بعد إعادة تنشيطه في إزالة الملوثات المختلفة. وشملت الدراسة مجموعة من الخطوات والإجراءات التجريبية التي أُجريت داخل مختبر المجمع الصناعي بالتعاون مع الطاقم الفني، باستخدام مجموعة من الأجهزة والمعدات الحديثة مثل جهاز HACH DR 2800 Portable Spectrophotometer لقياس (COD)،، جهاز قياس محتوى الزيت في الماء (TD500D- OIL in WATER METER)، و جهاز قياس pH HACH-DR3900 بهدف الحصول على نتائج دقيقة وموثوقة.

لقد تم جمع عينات الكربون النشط المستنفد من وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي بمجمع مليته للنفط والغاز، ثم غُربلت وغُسلت بالماء المقطر وجُففت لمدة 24 ساعة كما هو موضح في الشكل (1)، أُعيد تنشيط العينات كيميائيًا باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزين (10% و15%) عند درجات حرارة (50، 65، 80، 95، و100°م) لمدة 30 دقيقة. بعد ذلك غُسلت العينات ورُشحت وجُففت في فرن عند 105°م لمدة 4 ساعات. وقُيمت كفاءة الكربون المعاد تنشيطه في معالجة مياه الصرف الصناعي بمقارنته بالكربون النشط الجديد والكربون المستنفد، وذلك من خلال قياس الرقم الهيدروجيني (pH)، والطلب الكيميائي للأكسجين (COD)، والزيوت والشحوم (O&G).

شكل (1) تجهيز عينات الكربون المستنفد

حُللت البيانات باستخدام برنامج التحليل الإحصائي، واعتمدت الدراسة على الإحصاء الوصفي، والذي شمل المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، والنسب المئوية، بالإضافة إلى تحليل الانحدار الخطي البسيط لدراسة العلاقة بين متغيرات الدراسة وتقييم تأثير ظروف إعادة التنشيط على كفاءة الكربون المنشط. كما حُسبت كفاءة إزالة الزيت من مياه الصرف الصناعي باستخدام المعادلة الآتية:=

$$\frac{\text{نسبة الزيت في العينة غير المرشحة} - \text{نسبة الزيت في العينة المعاد تنشيطها}}{\text{نسبة الزيت في العينة غير المرشحة}} \times 100.$$

النتائج والمناقشة:

لدراسة تأثير العوامل التشغيلية، وخاصة درجة الحرارة، على كفاءة عملية المعالجة، تم إجراء الاختبارات المعملية لتقييم كفاءة استخدام الكربون المنشط المستنفد بعد إعادة تنشيطه كيميائيًا باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزين مختلفين (10%) و15%)، وكانت النتائج على النحو التالي:

1. نتائج تحاليل استخدام الكربون المستنفد المعاد تنشيطه بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة تركيز (10%).

بعد عملية الترشيح لمياه الصرف الصناعي باستخدام الكربون المستنفد المعاد تنشيطه وقياس الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي الثلاثة (COD, pH, Oil in Water، اظهرت النتائج كما مبين بالجدول (3) تباين واضح في الخصائص الكيميائية مقارنة بالمواصفات الدولية المعمول بها كما هو موضح بالجدول 4.

جدول (3) الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي بعد الترشيح بالكربون المستنفد المعاد تنشيطه بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة تركيز (10%).

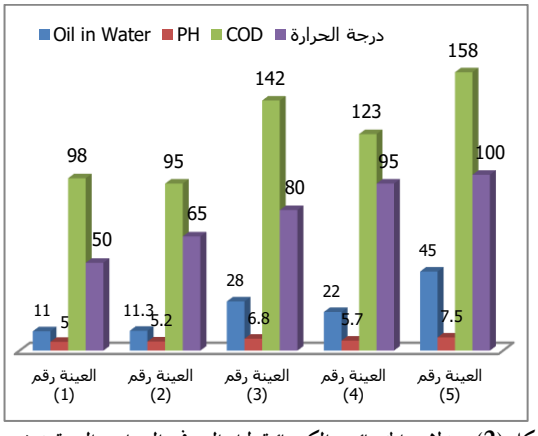
النوع الوحدات		Oil in Water مليجرام /لتر	pH	COD مليجرام /لتر	درجة الحرارة (مئوية)
العينة رقم (1)	الكربون المستنفد	11	5	98	50
العينة رقم (2)	المعاد	11.3	5.2	95	65

العينة رقم (3)	تنشيطه	28	6.8	142	80
العينة رقم (4)		22	5.7	123	95
العينة رقم (5)		45	7.5	158	100
العينة المرشحة – الكربون جديد		8	7.2	91	
العينة المرشحة – الكربون مستهلك		52.5	8.5	197	
عينة غير مرشحة(خام)		285	10.2	221	

جدول (4) المواصفات الدولية لمياه الصرف الصناعي بعد المعالجة (World Bank Group. 2007)

ت	الخصائص الكيميائية	القيمة
1	Oil in Water (OW)	اقل من 15 مليجرام /لتر
2	Chemical oxygen demand (COD)	أقل من 160 مليجرام /لتر
3	pH	6 – 9

ومن خلال تقييم اداء الكربون المستنفذ المعاد تنشيطه كما مبين بالشكل (2) تبين النتائج ان معدلات الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي، في العينة رقم (1) و (2) اظهرت ان قيمة الزيت بالماء (OW) و (COD) ضمن الحدود المسموح بها، وانخفاض قيمة (pH) عن الحد الأدنى وفق المواصفات المعمول بها. ، اما عند درجة الحرارة (50) م° و(65) م° ,العينة رقم (3) تشهد ارتفاعًا ملحوظًا في قيمة الزيت في الماء (OW)، مع ملاحظة ان قيمة (COD) و (pH) ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفة المعمول بها عند درجة حرارة (80) م° ، اما العينة رقم (4) شهدت ارتفاعا في قيمة الزيت في الماء (OW)، مع ملاحظة انخفاض قيمة (pH) عن الحدود المسموح و بقاء قيمة (COD) ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفات المعتمدة عند درجة حرارة (95) م°، العينة رقم (5) اظهرت ان قيمة الزيت بالماء (pH) و (COD) ضمن الحدود المسموح بها مع ملاحظة قرب القيمة من الحد المسموح به، وارتفاع قيمة (OW)، عند درجة الحرارة (100) م°.



شكل (2) معدلات الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي التي تم ترشيحها بالكربون المستنفذ المعاد تنشطه.

2. نتائج تحاليل استخدام الكربون المستنفذ المعاد تنشيطه في معالجة مياه الصرف الصناعي بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة تركيز (15 %).

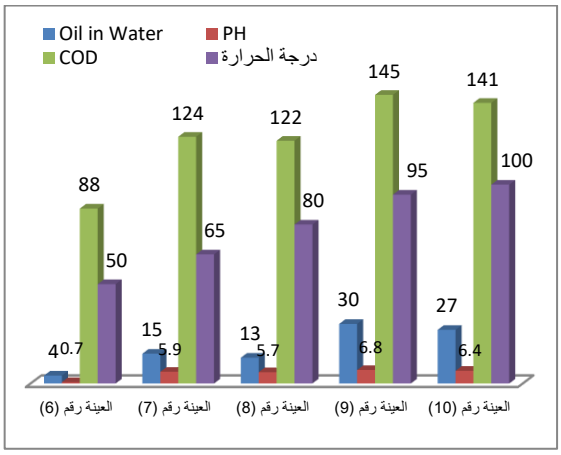
بعد عملية الترشيح لمياه الصرف الصناعي باستخدام الكربون المستنفذ المعاد تنشيطه كما موضح الجدول (5)، اظهرت النتائج تباين واضح في الخواص الكيميائية، بناء على المواصفات الدولية المعمول بها.

جدول (5) الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي بعد الترشيح بالكربون المستنفذ المعاد تنشيطه بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة تركيز (15%).

النوع		Oil in Water	PH	COD	درجة الحرارة (مئوية)
العينة رقم (6)	الكربون المستنفذ المعاد تنشيطه	4	7.0	88	50
العينة رقم (7)		15	5.9	124	65
العينة رقم (8)		13	5.7	122	80
العينة رقم (9)		30	6.8	145	95
العينة رقم (10)		27	6.4	141	100
العينة المرشحة – الكربون جديد		8	1.2	91	
العينة المرشحة – الكربون مستهلك		52.5	8.5	197	
عينة غير مرشحة		285	10.2	221	

وبناء على معدلات الخصائص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي التي تم ترشيحها بالكربون المستنفذ المعاد تنشيطه بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة تركيز (15 %)، كما يبين الشكل (3) والتي تم ترشيحها بالكربون المستنفذ المعاد تنشطه، وكفاءة الكربون المستنفذ المعاد تنشيطه في معالجة مياه الصرف الصناعي، وأثر درجة الحرارة على اداء الكربون المستنفذ المعاد تنشيطه، من حيث ارتفاع معدلات الخواص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي.

تبين النتائج في العينة رقم (6) و (7) و (8) ان قيمة الزيت بالماء (OW) و (COD) ضمن الحدود المسموح بها، وانخفاض قيمة (pH) عن الحد الأدنى وفق المواصفات المعمول بها، عند درجة الحرارة (50 م°) و(65 م°) و (80 م°). اما في العينة رقم (9) و (10) شهدت ارتفاعًا ملحوظًا في قيمة الزيت في الماء (OW)، مع ملاحظة ان قيمة (COD) و (pH) ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفة المعمول بها عند درجة حرارة (100 م°).



شكل (3) معدلات الخواص الكيميائية لمياه الصرف الصناعي

3. مقارنة أداء الكربون المعاد تنشيطه باستخدام تركيزين مختلفين 10%، 15% من محلول هيدروكسيد الصوديوم، عند درجات حرارة مختلفة

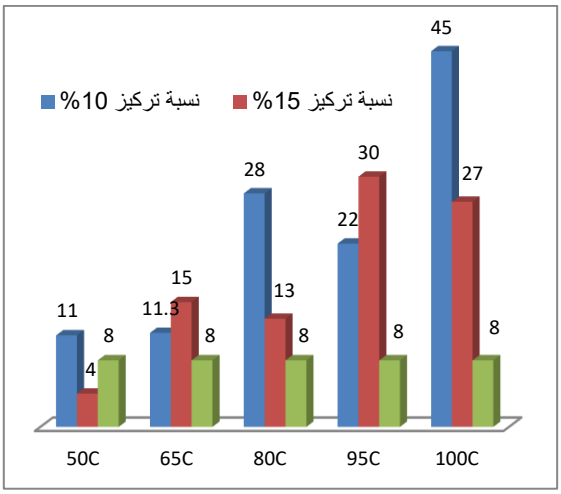
بهدف دراسة تأثير كل من تركيز المادة الكيميائية ودرجة الحرارة على كفاءة إعادة التنشيط وتحديد أفضل ظروف تشغيلية لتحقق أعلى كفاءة في إزالة الملوثات أظهرت النتائج ما يلي:

- **معدل الزيت في مياه الصرف الصناعي** Oil in water (OW)

أظهرت النتائج أن كفاءة الكربون المنشط المستنفد بعد إعادة تنشيطه باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز (15 %) كانت أعلى مقارنةً بالكربون المعاد تنشيطه بتركيز 10 (%)، فيما يتعلق بخفض تركيز الزيت في الماء في مياه الصرف الصناعي بعد عملية الترشيح، وكما هو موضح في الشكل (4)، فقد أظهر الكربون المعاد تنشيطه بتركيز 15 (%) قدرة أكبر على تقليل معدلات الزيت في مياه الصرف الصناعي ، حيث تم تسجيل انخفاض ملحوظ في تركيز الزيت عند تطبيق ثلاث درجات حرارة مختلفة (50، 65، 80 °م)، مما يدل على ان الحرارة المنخفضة هدى الأفضل لإزالة الزيوت ، وفي المقابل أظهر الكربون المعاد تنشيطه بتركيز 10 (%) كفاءة أقل نسبيًا، حيث لوحظ انخفاض في معدلات الزيت عند درجتي حرارة (50 م° و65 م°) فقط، دون تحقيق نفس مستوى الأداء عند درجات الحرارة الأعلى ويمكن تفسير ذلك بما يلي:

1. زيادة تركيز محلول التنشيط تؤدي إلى تحسين فتح المسام وزيادة المساحة السطحية للكربون، مما يعزز من كفاءة عملية الامتزاز.
2. ارتفاع درجة الحرارة يساعد على إزالة الملوثات العالقة داخل المسام، مما يزيد من فعالية الكربون المعاد تنشيطه.
3. عند التركيز المنخفض 10 (%)، قد لا تكون عملية التنشيط كافية لإزالة جميع الملوثات المتراكمة داخل المسام، مما يحد من كفاءة الامتزاز.

تشير النتائج إلى أن استخدام تركيز 15 (%) من محلول هيدروكسيد الصوديوم مع درجات حرارة مرتفعة يُعد أكثر كفاءة في تقليل نسبة الزيت في مياه الصرف الصناعي، مقارنةً باستخدام تركيز 10 (%)، مما يجعله الخيار الأفضل ضمن ظروف الدراسة الحالية. ويُعزى هذا التحسن إلى التفاعل المشترك بين تركيز المادة الكيميائية ودرجة الحرارة، كما هو موضح في الشكل (4)، والذي يبيّن العلاقة الطردية بين درجة الحرارة وكفاءة إزالة الزيت.

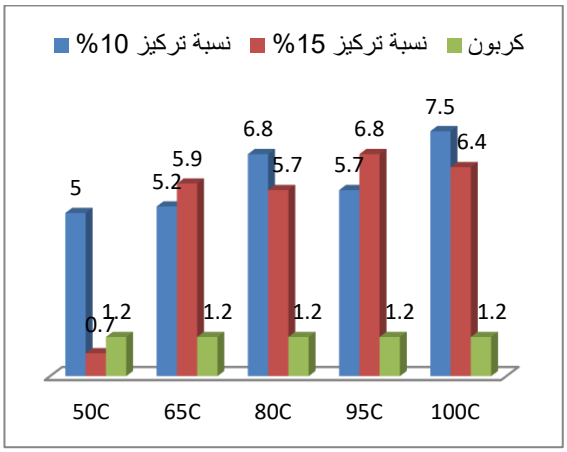


شكل (4) العلاقة بين درجة الحرارة وإزالة الزيت من مياه الصرف الصناعي

- **الرقم الهيدروجيني** (pH)

أظهرت النتائج أن كفاءة الكربون المنشط المستنفد بعد إعادة تنشيطه باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزين (10) % و(15) % كانت متقاربة بشكل عام، فيما يتعلق بتعديل قيمة الرقم الهيدروجيني لمياه الصرف الصناعي بعد عملية الترشيح، كما هو موضح في الشكل (5) وبشكل أكثر تفصيلاً، أظهر الكربون المعاد تنشيطه بتركيز (10%) أداءً أفضل نسبيًا في ضبط الرقم الهيدروجيني، حيث بلغ متوسط قيمة pH حوالي (6.1)، وهو ضمن الحدود المسموح بها (6–9)، كما تم تسجيل قيم ضمن النطاق الطبيعي في عينتين عند درجتي حرارة (80 ، 100) م° .

في المقابل، بلغ متوسط قيمة الرقم الهيدروجيني للكربون المعاد تنشيطه بتركيز (15) % حوالي (5.1)، وهي قيمة أقل من الحد الأدنى المسموح به، مما يشير إلى ميل الوسط نحو الحموضة. ومع ذلك، تم تسجيل قيم ضمن النطاق المقبول في عينتين عند درجتي حرارة (95، 100) م°.



شكل (5) العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل الرقم الهيدروجيني في مياه الصرف الصناعي

ويمكن تفسير ذلك بما يلي:

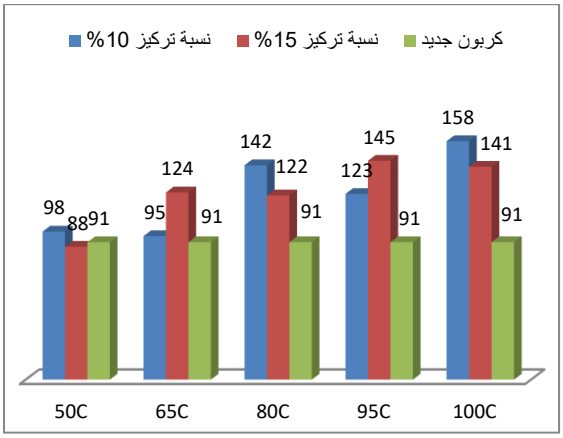
1. زيادة تركيز محلول التنشيط قد تؤدي إلى تكوين مجموعات سطحية حمضية على الكربون، مما يسبب انخفاض قيمة pH.
2. التركيز الأقل (10) % يوفر توازنًا أفضل بين إزالة الملوثات والحفاظ على طبيعة الوسط ضمن الحدود المقبولة.
3. ارتفاع درجة الحرارة يساهم في تحسين استقرار التفاعلات وتقليل التأثيرات الحامضية، مما يساعد في اقتراب pH من القيم الطبيعية.

وبناء عليه تشير النتائج السابقة إلى أن الكربون المعاد تنشيطه بتركيز (10) % يُعد أكثر ملاءمة من حيث ضبط الرقم الهيدروجيني ضمن الحدود القياسية، مقارنةً بتركيز (15) % الذي قد يؤدي إلى خفض pH إلى مستويات غير مرغوبة، رغم كفاءته الأعلى في إزالة الملوثات الأخرى. مع ملاحظة أن زيادة تركيز محلول NaOH تحسن كفاءة إزالة الملوثات، إلا أنها قد تؤثر سلبًا على توازن الرقم الهيدروجيني، مما يستدعي تحقيق توازن بين الكفاءة البيئية وجودة المياه المعالجة.

- **الطلب الكيميائي للأكسجين** Chemical Oxygen Demand (COD)

أظهرت النتائج أن الكربون المنشط المستنفد بعد إعادة تنشيطه باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزين (10) % و (15) % قد حقق أداءً متقاربًا إلى حد كبير في خفض قيمة الأكسجين الكيميائي المستهلك (COD) في مياه الصرف الصناعي، كما هو موضح في الشكل (6). وبشكل عام، أظهرت النتائج أن جميع القيم المسجلة لل COD بعد المعالجة كانت ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفات المعتمدة، وذلك في جميع العينات وعند مختلف درجات الحرارة المستخدمة في التجارب. ويمكن تفسير تقارب الكفاءة بين التركيزين (10) % و(15) % بما يلي:

1. عملية الامتزاز للمواد العضوية المسؤولة عن قيمة COD قد تصل إلى حد الإشباع، مما يجعل زيادة تركيز مادة التنشيط لا تؤدي إلى تحسن ملحوظ إضافي .
2. كلا التركيزين كان كافيًا لإعادة تنشيط المسام الفعالة للكربون بدرجة تسمح بإزالة المواد العضوية بكفاءة عالية .
3. طبيعة الملوثات العضوية في المياه قد تكون سهلة الإزالة نسبيًا، مما يقلل من تأثير اختلاف ظروف التنشيط(الساعدي وآخرون (2016).



شكل (6) العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل الطلب الكيميائي في مياه الصرف الصناعي

وبهذا يمكن استنتاج عدم وجود فرق معنوي واضح بين استخدام تركيز (10) % و (15) % من محلول هيدروكسيد الصوديوم في تحسين كفاءة إزالة COD، مما يدل على أن التركيز الأقل (10) % قد يكون كافيًا لتحقيق الأداء المطلوب، مع تقليل استهلاك المواد الكيميائية.

كما تُظهر نتائج COD أن زيادة تركيز محلول التنشيط لا تؤدي بالضرورة إلى تحسين الكفاءة، على عكس ما لوحظ في إزالة الزيت، مما يؤكد اختلاف آليات إزالة الملوثات العضوية والزيوت أثناء عملية المعالجة.

الخلاصة

من خلال دراسة نتائج استخدام الكربون المستنفذ المنشط في معالجة مياه الصرف الصناعي بمجمع مليته للنفط والغاز باستخدام طريقة التنشيط الكيميائي بمحلول هيدروكسيد الصوديوم تم الاتي:

1. أظهرت النتائج أن الكربون المنشط المستنفذ المعاد تنشيطه باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم حقق أعلى كفاءة في إزالة الزيوت من مياه الصرف الصناعي ضمن المجال الحراري (50–80) °م، حيث سُجلت أعلى كفاءة لإزالة الزيوت عند درجة حرارة (50) °م، مما يشير إلى ملاءمة هذه الدرجة الحرارية لعملية إعادة التنشيط وتحسين خصائص الامتزاز.
2. أظهرت نتائج الدراسة تقاربًا كبيرًا في أداء الكربون المنشط المستنفذ المعاد تنشيطه باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزي (10%) و(15%) فيما يتعلق بالتأثير على قيم الرقم الهيدروجيني (pH) لمياه الصرف الصناعي، حيث لم تُسجل فروق جوهرية بين التركيزين في هذا المؤشر.
3. بينت النتائج أن الكربون المنشط المستنفذ المعاد تنشيطه باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزي (10%) و(15%) حقق أداءً متقاربًا في خفض قيم الطلب الكيميائي للأكسجين (COD) في مياه الصرف الصناعي. وتشير هذه النتائج إلى أن كفاءة الامتزاز للكربون المعاد تنشيطه تتوافق مع ما أوردته الدراسات السابقة بشأن فعاليته في إزالة الملوثات العضوية وتحسين جودة المياه المعالجة.
4. أوضحت النتائج أن أفضل أداء فيما يتعلق بضبط قيم الرقم الهيدروجيني (pH) تحقق عند درجات حرارة تراوحت بين (80–100) °م، في حين سُجلت أفضل كفاءة لإزالة الطلب الكيميائي للأكسجين (COD) ضمن المجال الحراري (50–100) °م. وتتفق هذه النتائج مع الأدبيات العلمية التي تشير إلى أن استخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيزي (10% و15%)، بما يعادل (2.77 N و4.36 N على التوالي، ومع زمن تلامس يبلغ (30 دقيقة) أثناء عملية إعادة التنشيط يمثل خيارًا مناسبًا من حيث الكفاءة التشغيلية والجدوى الاقتصادية.
5. تؤكد نتائج هذه الدراسة أن إعادة تنشيط الكربون المنشط المستنفذ باستخدام هيدروكسيد الصوديوم تمثل خيارًا واعدًا لتعزيز كفاءة معالجة مياه الصرف الصناعي وإطالة العمر التشغيلي للكربون المنشط. ومع ذلك، فإن تحديد الظروف التشغيلية المثلى في المجمع الصناعي مليته ، يتطلب تحقيق توازن بين تعظيم كفاءة إزالة الملوثات والمحافظة على الخصائص الكيميائية والبيئية للمياه المعالجة، بما يضمن استدامة العملية وكفاءتها الاقتصادية.

الشكر وتقدير

نتقدم بالشكر والعرفان الى كل من ساهم ومد يد المساعدة والعون لإنجاز هذه الدراسة والله ولي التوفيق.

المراجع

أبو القاسم، سالم مفتاح، والورفلي، عبد الحميد محمد. (2020). دراسة كفاءة الكربون المنشط في معالجة مياه الصرف الصناعي. مجلة العلوم البيئية، 49(3)، 133–148.

إبراهيم، خالد محمود، ومحمد، عبد الرحمن علي. (2018). إعادة تنشيط الكربون المنشط المستنفذ باستخدام المعالجة الكيميائية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، 34(2)، 77–91.

البرادعي (2020)، دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصناعي، مؤسسة زايد الدولية للبيئة.

الساعدي، أحمد جاسم، والتميمي، سعدون حميد. (2016). استخدام الكربون المنشط في إزالة الملوثات العضوية من المياه الصناعية. المجلة العراقية للهندسة الكيميائية وهندسة النفط، 17(1)، 45–58.

الشمري، فهد عبد الله، والعتيبي، ناصر سعد. (2021). تقييم طرق تجديد الكربون المنشط المستخدم في معالجة المياه. المجلة العربية للعلوم البيئية، 14(2)، 61–75.

International Finance Corporation (IFC) & World Bank Group. (2007). Environmental, health, and safety guidelines for petroleum-based polymers manufacturing. Washington, DC: World Bank Group. Retrieved from https://www.ifc.org/

Kow, H., Abidin, M., Ong, A., & Naimah. (2016). Regeneration of spent activated carbon using NaOH and hot water. University Malaysia Perlis.

Mishra, C. (2021). Enhanced chemical regeneration of granular activated carbon: Comparison and evaluation of regeneration methods. Stockholm University .

Puspitasari, M., & Wulan, W. (2023). Effect of sodium hydroxide concentration on activated carbon production from cassava peels. UPN "Veteran" Yogyakarta.

Puspitasari, M., Nandari, W. W., & Santi, S. W. R. (2021). Effect of Sodium Hydroxide Concentration on Production of Activated Carbon from Cassava Peel. RSF Conference Series: Engineering and Technology, 1(1), 527–534.