Study of adsorption capacity changes of gamma alumina nanoparticles used in the treatment of water polluted with diclofenac sodium

Nabila Al Khteeb*,Durgham Salloum**, Thanaa Shriteh *|**

Abstract

In this study, laboratory-synthesized gamma alumina nanoparticles were used as an adsorbent to treat water contaminated with different concentrations of diclofenac sodium (DS), the highest removal rate was achieved at a concentration of 50 mg/L of DS.

Additionally, the changes in the adsorption capacity of alumina were studied in relation to different concentrations of the contaminant (DS). It was found that the adsorption capacity increases with increasing concentration of DS.

To reduce the costs of the water treatment process, the used nano-gamma alumina was reactivated through heat treatment up to 300°C and then reused to treat water contaminated with DS at a concentration of 100 mg/L. The removal rates of DS using the reactivated alumina were comparable to those achieved with the raw (fresh) alumina.

Keywords : Gamma alumina nanoparticles, Activated alumina, Diclofenac sodium, Removal rate, Adsorption capacity.

*) Master's student in Civil Engineering - Department of Environment - Faculty of Civil Engineering - Al-Baath University

**) Professor - Department of Environmental Engineering - Faculty of Civil Engineering - Al-Baath University

Professor, Chemistry Department, Faculty of Science, AL Baath University ***) Associate

دراسة تغيرات السعة الامتزازية للألومينا غاما النانوية المستخدمة في معالجة المياه الملوثة بديكلوفيناك الصوديوم

نبيلة الخطيب * ، د. درغام سلوم ** ، د. ثناء شريتح***

ملخص البحث

في هذه الدراسة استخدمت جزيئات الألومينا النانوية غاما المصنعة مخبرياً كمادة مازة لمعالجة المياه الملوثة بتراكيز مختلفة من ديكلوفيناك الصوديوم (DS) ، وكانت أعلى نسبة إزالة قد حققت من أجل تركيز 50mg/L من (DS).

أيضاً درست تغيرات السعة الامتزازية للألومينا تبعاً لتراكيز مختلفة من المادة الملوثة (DS)، ووجد أن السعة الامتزازية تزداد بازدياد تركيز المادة الملوثة(DS).

لتخفيض تكاليف عملية معالجة المياه تم إعادة تنشيط الألومينا غاما النانوية المستهلكة بمعالجتها حرارياً حتى 300°C، ومن ثم إعادة استخدامها لمعالجة المياه الملوثة بـ 100mg/L من(DS)، فكانت نسب إزالة (DS) في حالة استخدام الألومينا المنشطة متقاربة مع مثيلتها الخام.

كلمات مفتاحية: ألومينا غاما، ألومينا منشطة، ديكلوفيناك الصوديوم، نسبة الإزالة، سعة امتزازية.

* طالب ماجستير هندسة مدنية – قسم البيئة– كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص

** استاذ– قسم الهندسة البيئية– كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص

*** أستاذ مساعد– قسم الكيمياء– كلية العلوم الثانية – جامعة حمص

1- مقدمة:

أصبح الطلب المتزايد للمياه ونقص مصادرها النظيفة مشكلة تعاني منها جميع أنحاء العالم، كما أن تلوث المياه يفاقم من حجم هذه المشكلة، حيث تتلوث المياه بمصادر عدة تعتبر الصناعة أهمها، وتعد صناعة الأدوية من أخطر هذه الصناعات، حيث تتميز منصرفاتها باحتوائها على كميات كبيرة من المواد العضوية والملوثات ذات السمية الحيوية والملوحة العالية، الأمر الذي دفع الباحثين في حماية البيئة لأهمية معالجة هذا النوع من المنصرفات قبل صرفها إلى البيئة المحيطة لتجنب آثارها السلبية على التربة والماء والهواء [1,2] ، كما يمكن أن تتراكم الهالوجينات العضوية القابلة للامتصاص (AOX) وغيرها من المنتجات الثانوية و بقايا الأدوية مثل المضادات الحيوية API في مياه الصرف الصحي الصيدلانية لتصل إلى البيئات الطبيعية مما يؤدي إلى مخاطر سامة على الصحة[3].

تختلف مواصفات مياه الصرف الدوائية بالتركيب وأيضاً بالكمية وذلك حسب المواد المصنعة اعتماداً على المواد الخام والعمليات المستخدمة في تصنيع الأدوية المختلفة [4].

في عام 2022 استخدم من قبل الباحث SM Safwat وآخرون جسيمات أكسيد الألومنيوم النانوية كمادة مازة لإزالة المركبات الفينولية من المحاليل المائية، وقد حددت هذه الدراسة العديد من البارامترات العملية الفيزيائية والكيميائية مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتركيز الفينول الأولي وكمية المادة المازة، بالإضافة إلى تأثير تلك البارامترات على آلية إزالة الفينول بالامتزاز، وأبرزت النتائج أن جسيمات أكسيد الألومنيوم النانوية أظهرت بنجاح إزالة متفوقة للفينول من المحلول المائي، بالإضافة إلى إمكانية تجديد عالية للجسيمات النانوية المستهلكة بواسطة حمض كلور الماء، وبالنسبة لكتلة المادة المازة التي تبلغ 0.5g وصل امتزاز الفينول إلى 92%، وكانت أقصى سعة للامتزاز 16.97mg/g [5] .

كما تم في نفس العام من قبل الباحث Al-Ghouti وفريقه تخليق أكسيد الألومنيوم النانوي غاما ($\gamma-Al_2O_3$) من رقائق الألومنيوم المهدرة وتطبيقه لإزالة البورون والبروميد من المحاليل، وتم فحص العديد من البارامترات المهمة التي تحكم عملية الامتزاز مثل الرقم الهيدروجيني ودرجة حرارة المحلول وتركيز الأيونات الأولي، وقد وجد أن البورون يفضل بيئة قاعدية بينما يفضل البروميد بيئة حمضية ضعيفة، كما أظهر الماز المحضر كفاءة

إزالة عالية جداً، حيث تم تحقيق نسبة إزالة تصل إلى 88.35% من البورون و87.65% من البروميد، وكانت أقصى سعات امتزاز تساوي 25.86mg/g عند درجة الحرارة 35°C من أجل البورون و 90.72mg/g عند الدرجة 25°C من أجل البروميد، وأكدت تجارب الامتزاز أنه يمكن تجديد المواد المازة المستهلكة وإعادة استخدامها بشكل فعال، كما تم اختبار أكسيد الألومنيوم النانوي غاما ($\gamma-Al_2O_3$) باستخدام عينة مياه جوفية حقيقية، وتبين أن 96.25% من البورون و100% من البروميد تم امتزازهما بنجاح، بالإضافة إلى ذلك تبين أيضاً أنه تم إزالة 99% من أيونات الكبريتات، وهذا يدل على أن المادة المازة المحضرة لديها ميل لامتزاز أيونات متعددة من عينة المياه الجوفية الحقيقية [6] .

في عام 2023 تم من قبل الباحث Sangor وآخرون تصنيع أكسيد الألومنيوم النانوي ($\gamma-Al_2O_3$) من رقائق الألومنيوم المهدرة لامتزاز فعال لصبغة الميثيلين الأزرق(MB) ، ومن أجل توضيح عملية الامتزاز تم دراسة بعض البارامترات كالرقم الهيدروجيني وتركيز الصبغة الأولي ودرجة الحرارة، وبينت النتائج أن لأكسيد الألومنيوم النانوي المحضر سعات امتزاز تبلغ 148.9mg/g، كما أشارت دراسات الامتزاز إلى أن استخدام حمض كلور الماء(0.5M) كان قادرًا على استعادة (37.5%) من(MB) المستنفد، و كانت أقصى سعة للامتزاز 175.4 mg/g عند درجة الحرارة 45°C [7].

وأخيراً في عام 2024 قدم الباحث Gharbi وفريقه نهجاً صديقاً للبيئة وفعّالاً من حيث التكلفة لتصنيع جسيمات النانو Al_2O_3 باستخدام مستخلصات مشتقة من أوراق Calligonum comosum، فتم الحصول على جسيمات النانو Al_2O_3 بشكل كروي مع ترتيبات بلورية ومتوسط بعد للبلورة 25.1nm ، وذلك لاستخدامها كمادة مازة لإزالة الصبغتين الضوئيتين أزرق الميثيلين وروز بنغال، حيث حدثت عمليات التحلل تحت إشعاع ضوء الشمس مع وقت اتصال يبلغ 120min، ودرجة حموضة ثابتة تبلغ7 ودرجة حرارة 25°C، فكانت كفاءة الإزالة بنسبة 98% لأزرق الميثيلين و 90.5% لروز بنغال [8] .

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى:

1) استخدام الألومينا غاما النانوية المحضرة مخبرياً كمادة مازة لمعالجة المياه الملوثة بالمادة الدوائية ديكلوفيناك الصوديوم (DS) Diclofenac sodium.
2) دراسة تغيرات السعة الامتزازية للألومينا غاما باستخدام مياه ملوثة بتراكيز مختلفة من ديكلوفيناك الصوديوم (DS).
3) دراسة إمكانية تنشيط الألومينا غاما لإعادة استخدامها في إزالة ديكلوفيناك الصوديوم(DS) من المياه الملوثة.

3- القسم التجريبي:

3-1- الأجهزة المستخدمة:

- سخانة كهربائية مزودة بمحرك مغناطيسي مع حساس حراري.
- فرن ترميد حراري من النوع Carbolat يصل مداه إلى 300ºC.
- جهاز توليد ماء مقطر عالي النقاوة:

Ultra-Pure Water Machine Production:

ينتج ماء ثلاثي التقطير منزوع الشوارد، ناقليته الكهربائية لا تزيد عن 0.02 µs/cm ودرجة حموضة الوسط pH=6.98 ± 0.5 ويعمل بطاقة إنتاجية (30L/Hour) من انتاج شركة SG الألمانية.

- **مجموعة من الأدوات المخبرية الزجاجية:** استُخدمت مجموعة من الدوارق الحجمية بسعات مختلفة، وماصات ذات حجوم مختلفة ميكروية وعادية، وأقماع زجاجية مختلفة السعة، وبياشر بسعات مختلفة، بالإضافة إلى مجموعة من الأدوات المتوفرة في أغلب المخابر البحثية.
- أعمدة زجاجية مزودة بصنبور للامتزاز طول 20Cm وقطر 2Cm.
- ميزان تحليلي بدقة 0.1mgr، إضافة إلى زجاجيات متنوعة.

3-2- المواد الكيميائية المستخدمة:

- ألومينا غاما محضرة مخبرياً بطريقة الترسيب الكيميائي متوسط بعد الحبيبة 32nm .
- ديكلوفيناك الصوديوم Diclofenac Sodium (DS) .

- ملح مور، برمنغنات البوتاسيوم، حمض الكبريت المركز 98%.
- كاشف الفروين.
- حمض كلور الماء المركز.
- مزيج كرومي للتنظيف.
- صوف زجاجي.
- إيتانول ، أسيتون، ماء مقطر ثلاثي التقطير.

3-3- تنقية المياه الملوثة بديكلوفيناك الصوديوم بالامتزاز على الألومينا غاما النانوية:

تم تصنيع الألومينا النانوية مخبرياً وذلك عن طريق حل كلوريد الألمنيوم في ماء مقطر ويضاف له محلول هيدروكسيد الصوديوم حتى نحصل على هيدروكسيد الألمنيوم ثم تترك كامل كمية هيدروكسيد الألمنيوم حتى تترسب في الأسفل وتنفصل عن الطور المائي ثم تتم عملية التجفيف والطحن، ثم ينقل الناتج إلى فرن تكليس لمدة 3 ساعات عند الدرجة $300\ ^oC$ للحصول على الألومينا غاما، تم قياس أبعاد الألومينا النانوية غاما باستخدام المجهر الالكتروني الماسح في مركز هيئة الطاقة الذرية بدمشق فكان متوسط أبعادها 32nm.

تمت تنقية المياه الملوثة بديكلوفيناك الصوديوم باستخدام الألومينا غاما النانوية وفق ما يلي:

3-3-1- تحضير عينات المياه الملوثة بدكلوفيناك الصوديوم (DS):

تم تحضير ست عينات مياه ملوثة بـ (DS)، وذلك بأن يوضع في دورق حجمي سعة ليتر كمية معينة من ديكلوفيناك الصوديوم وتحل بـ ليتر من الماء المقطر وفق الجدول (1) التالي:

الجدول (1): عينات المياه الملوثة بـ (DS)

اسم العينة	تركيز العينة (mg/l)
A	50
B	60
C	70
D	80
E	90

F	100

3-3-2- تجهيز عمود الامتزاز:

تم استخدام عمود زجاجي طوله 20Cm وقطره 2Cm، ويوضع في قعره طبقة من الصوف الزجاجي بعد غسله بالأسيتون وتجفيفه (لمنع تسرب الألومينا)، ثم يضاف 15g من الألومينا غاما، وتوضع فوق الألومينا طبقة أخرى من الصوف الزجاجي لتجانس جريان المياه على طول العمود، حيث يتم تمرير المياه من الأعلى إلى الأسفل، ويضبط تدفق المياه من خلال مفتاح الصنبور الموجود أسفل العمود(تم ضبط مفتاح الصنبور بحيث يتم مرور 24 نقطة في الدقيقة وبالتالي حجم مياه معالجة مارة يصل إلى 160mL في الساعة) الشكل(1).

الشكل(1): عمود الامتزاز

3-3-4- إجراء عملية الامتزاز:

بعد تجهيز عينات المياه وعمود الامتزاز، مررت عينات المياه على أعمدة الامتزاز (تم استخدام عمود لكل عينة) بمعدل 160mL/h ، ثم تم تحديد قيم الأوكسجين الكيميائي المنحل (COD) للمياه الممتزة وفق الطريقة التالية:

تم أخذ $2.5\ cm^3$ من عينة المياه الملوثة بـ (DS)، ويضاف لها $1.5cm^3$ من ثاني كرومات البوتاسيوم و $3.5\ cm^3$ من حمض الكبريت المركز، ومن ثم الحضن لمدة ساعتين، و يغسل الأنبوب بـ $1\ cm^3$ من الماء المقطر، ثم يوضع الناتج في بيشر ويضاف له نقطتين من كاشف الفروين ثم يعاير باستخدام ملح مور، ويقاس الحجم المستهلك من ملح مور (v_2) وذلك عند تغير لون العينة الى لون اخضر مزرق ثم أحمر، ثم يحدد حجم ملح مور المستخدم من اجل عينة مياه مقطرة(v_1) ، ويكون COD لهذه المياه:

$$\mathbf{COD = (V_1 - V_2) * N * 8 * \frac{1000}{V}}$$

حيث:

V_1: حجم عينة الماء المقطر.

V_2: حجم عينة المياه المدروسة.

ومن قيمة COD للمياه الخام الخارجة من المياه الملوثة وقيمة COD للمياه المعالجة بالامتزاز على الألومينا حددت نسب الازالة (الكفاءة) وفق العلاقة التالية:

$$\text{نسبة الإزالة} = \frac{COD_0 - COD}{COD_0} * 100$$

4-3 - تنشيط الألومينا غاما بعد عملية الامتزاز:

حتى لا يتم استبدال الألومينا غاما بعد كل عملية امتزاز، تم تنشيطها باستخدام بعض الطرائق الشائعة والتي استخدمت في هذا البحث:

<u>التنشيط الحراري:</u> وذلك بتسخين عمود الامتزاز إلى درجات حرارة عالية (300^oC) لتحفيز إزالة ديكلوفيناك الصوديوم الممتزة في جو خامل لتجنب تأكسد الألومينا، و يتم التحكم بعناية في رفع درجة الحرارة والوقت للحفاظ على سلامة الألومينا.

4- النتائج والمناقشة:

4-1- دراسة معالجة المياه الملوثة بـ (DS) بالامتزاز على الألومينا النانوية-γ :

تمت دراسة فعالية الألومينا غاما الامتزازية باستخدامها لتنقية المياه الملوثة بديكلوفيناك الصوديوم، وذلك من خلال تجهيز ستة أعمدة امتزاز وست عينات من المياه الملوثة بـ **(DS)** وهي (A,B,C,D,E,F) وتمرير هذه العينات على أعمدة الامتزاز بمعدل

160mL/hعلى دفعات بحجم قدره 40mL، وحددت قيم الـ COD للمياه الممتزة وحسبت نسب الازالة وفق العلاقة التالية:

$$\text{نسبة الإزالة} = \frac{COD_0 - COD}{COD_0} * 100$$

حيث:

COD_0: قيمة COD من أجل المياه ملوثة مقدرة ب (mg/L).

COD: قيمة COD من أجل المياه المعالجة مقدرة ب (mg/L).

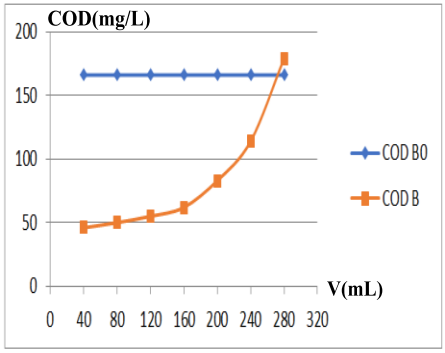
ودونت النتائج وفق الجدول(2) التالي:

الجدول(2): قيم نسب الإزالة و الـ COD للمياه الممتزة على الألومينا غاما النانوية

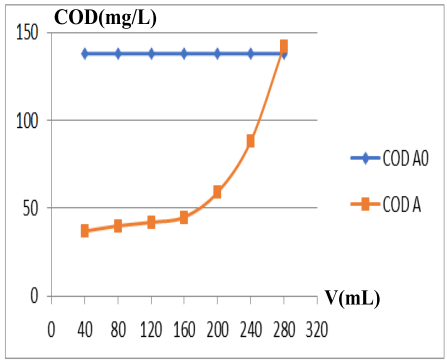
اسم العينة	تركيز المادة الملوثة (mg/L)	COD_0 (mg/L)	حجم المياه الملوثة المارة في عمود الامتزاز (mL)	COD (mg/L)	نسبة الإزالة (%)
A	50	138	40	37	73
			80	40	71
			120`	42	69
			160	45	67
			200	59	57
			240	88	55
			280	153	-
B	60	166	40	46	72.2
			80	50	70
			120	55	66.8
			160	62	62.2
			200	83	50
			240	114	31.3
			280	179	-
C	70	193	40	54	72
			80	59	69.4
			120	67	65.2
			160	75	61.1
			200	105	45.5
			240	148	31.3
			280	179	-
D	80	221	40	64	71
			80	71	67.8
			120	81	63.3
			160	100	54.7
			200	129	41.6
			240	184	16.7
			280	243	-

69.7	75	40	248	90	E
66.5	83	80			
62.1	94	120			
52	119	160			
38.7	152	200			
10	223	240			
-	281	280			
68.1	90	40	282	100	F
64.8	99	80			
57.4	120	120			
48.9	144	160			
34.7	184	200			
-	284	240			
-	-	280			

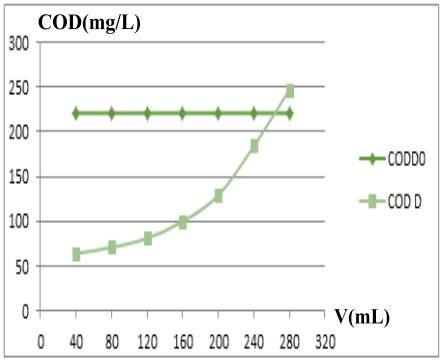
وبرسم العلاقة بين حجم المياه المارة في عمود الامتزاز وقيم الـ COD للمياه الناتجة لكل عينة على حدا وفق المخططات البيانية الموضحة بالشكل(2) التالي:



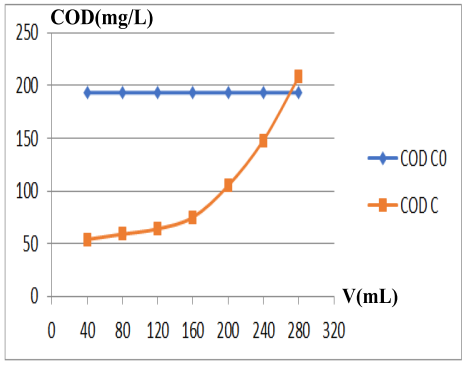
Sample(B)



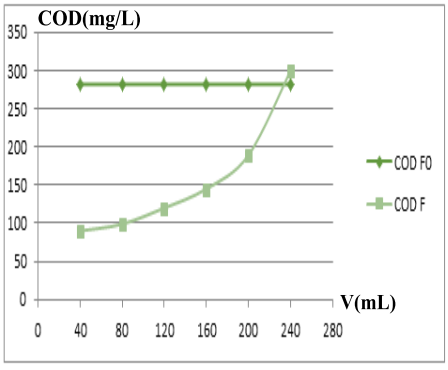
Sample(A)



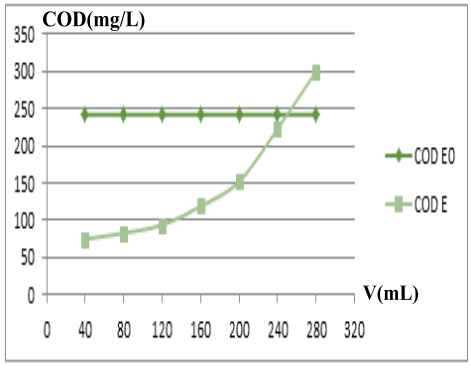
Sample(D)



Sample(C)



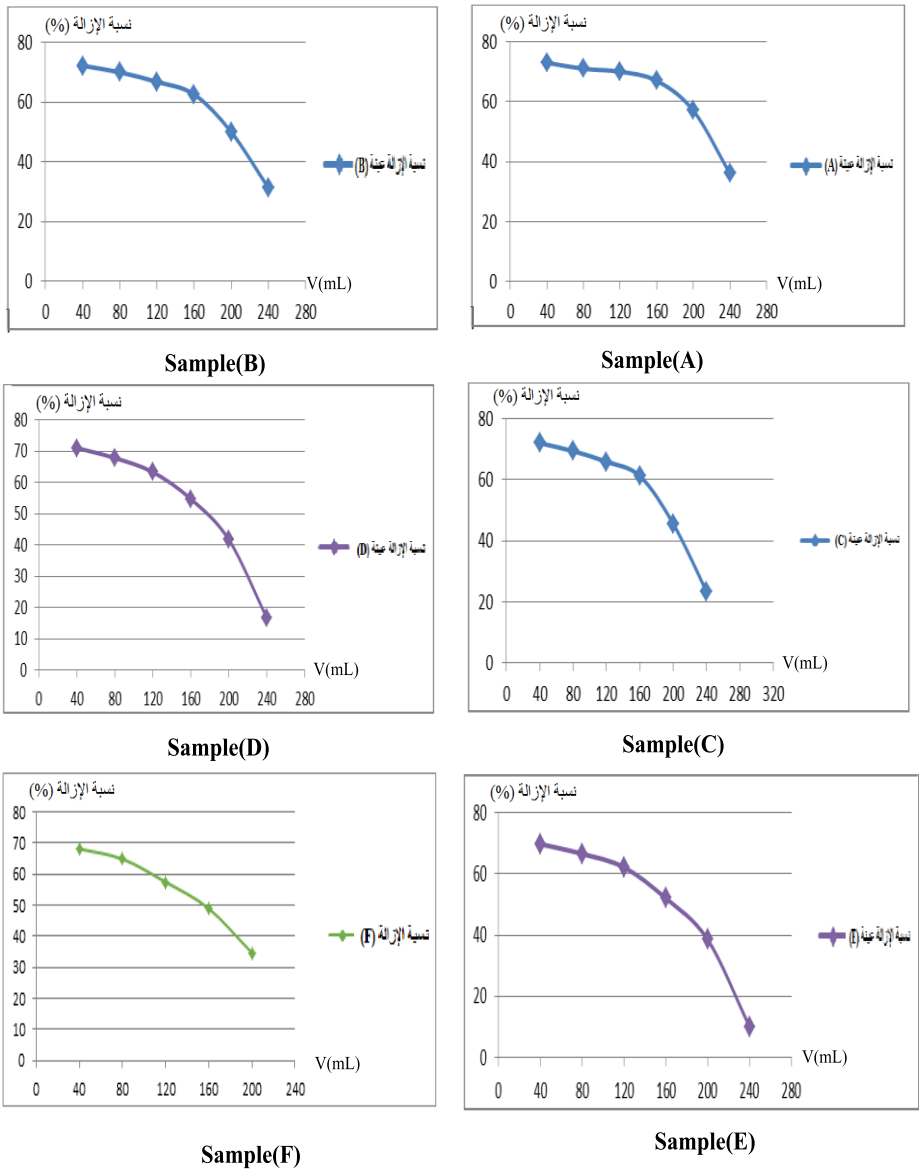
Sample(F)



Sample(E)

الشكل(2):المخططات البيانية للعلاقة بين حجم المياه المارة في عمود الامتزاز وقيم الـ COD للمياه الناتجة

وبرسم العلاقة بين حجم المياه المارة في عمود الامتزاز ونسب الإزالة لكل عينة على حدا أيضاً وفق المخططات البيانية الموضحة بالشكل (3)



الشكل(3):المخططات البيانية للعلاقة بين حجم المياه المارة في عمود الامتزاز ونسب الإزالة للمياه الناتجة

لوحظ من المخططات السابقة الموضحة بالشكلين (2) و(3): أن نسبة إزالة ديكلوفيناك الصوديوم تتناقص بازدياد حجم المياه المارة عبر عمود الامتزاز مع مرور الزمن وبازدياد تركيز المادة الدوائية، ويعود ذلك للأسباب التالية:

1) يكون في البداية السطح النوعي للألومينا فعالاً مما يؤدي إلى نسبة إزالة عالية.
2) عند زيادة تركيز المادة الدوائية يتشبع السطح النوعي للألومينا وتقل فعاليته مما يؤدي إلى انخفاض نسبة الإزالة.

4-2-تحديد السعة الامتزازية(Q) للألومينا غاما النانوية:

بناءً على قيم الـ COD التي تم التوصل إليها حددت قيم السعة الامتزازية للألومينا غاما للعينات الستة من أجل 1g منها ، وذلك وفق الطريقة المرجعية [9] باتباع الخطوات التالية:

- أولاً: تم تحديد قيمة COD_1 من أجل حجم 40mL من المياه الملوثة المارة من عمود الامتزاز بالعلاقة التالية:

كل V_0 من المياه الخام تحوي COD_0

كل V من المياه الخام تحوي COD_1

$$COD_1 = COD_0 \times V / V_0$$

حيث:

COD_1: قيمة COD_0 من أجل حجم(40mL) من المياه الخام الملوثة المارة.

COD_0 : قيمة COD_0 من أجل حجم(1000mL) من المياه الخام الملوثة الكلية.

V : حجم المياه الملوثة المارة (40mL).

V_0 : حجم المياه الملوثة الكلي (1000mL).

- ثانياً: بنفس الطريقة تم تحديد قيمة COD_2 من أجل حجم 40mL من المياه المعالجة المارة من عمود الامتزاز بالعلاقة التالية:

$$COD_2 = COD \times V / V_0$$

حيث:

COD_2 : قيمة COD من أجل حجم (40mL) من المياه المعالجة المارة .

COD : قيمة COD لكل (1000mL) من المياه المعالجة المارة.

V : حجم المياه المارة المعالجة (40mL).

V_0 : حجم المياه المعالجة الكلية (1000mL).

- ثالثاً: تم تحديد السعة الامتزازية من أجل 1gr من الألومينا النانوية غاما بالاعتماد على العلاقة:

$$Q = (COD_1 – COD_2) / m$$

Q : السعة الامتزازية مقدرة mg/g .

COD_1: قيمة COD_0 من أجل حجم (40mL) مياه خام ملوثة مارة.

COD_2 : قيمة COD من أجل حجم(40mL) مياه معالجة مارة .

m: وزن الألومينا النانوية المستخدمة في عمود الامتزاز وتعادل 15gr.

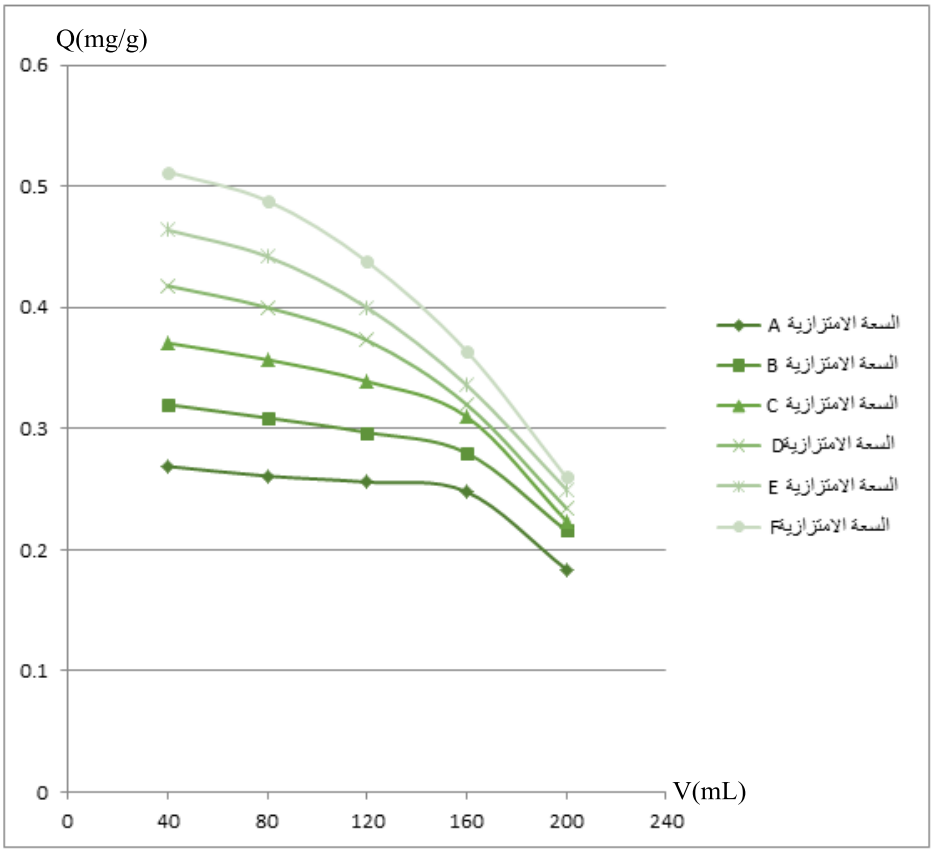
ونبين في الجدول (3) قيم السعة الامتزازية Q(mg/g) للألومينا غاما النانوية من أجل جميع عينات المياه الملوثة بديكلوفيناك الصوديوم بدلالة حجم المياه المارة بعمود الامتزاز.

الجدول (3): قيم السعة الامتزازية للألومينا غاما النانوية من أجل جميع عينات المياه

اسم العينة	تركيز المادة الملوثة (mg/L)	COD_0 (mg/L)	حجم المياه الملوثة المارة في عمود الامتزاز (mL)	Q(mg/g)
A	50	138	40	0.269
			80	0.261
			120`	0.256
			160	0.210
			200	0.133
B	60	166	40	0.320
			80	0.309
			120	0.296
			160	0.280
			200	0.221
C	70	193	40	0.370
			80	0.357
			120	0.336
			160	0.310
			200	0.234
D	80	221	40	0.410
			80	0.400

0.373	120			
0.322	160			
0.245	200			
0.46	40	248	90	E
0.44	80			
0.41	120			
0.346	160			
0.258	200			
0. 51	40	282	100	F
0.488	80			
0.43	120			
0.368	160			
0.261	200			

وبرسم العلاقة بين تغير السعة الامتزازية للألومينا غاما النانوية بدلالة تغير حجم المياه المارة عبر أعمدة الامتزاز بمرور الزمن من أجل جميع عينات المياه الملوثة بديكلوفيناك الصوديوم نحصل على مخطط بياني موضح بالشكل (4) التالي:



الشكل (4): المخطط البياني للعلاقة بين تغير السعة الامتزازية للألومينا غاما النانوية و تغير حجم المياه المارة عبر أعمدة الامتزاز

لوحظ من المخطط السابق: أن أعلى قيمة للسعة الامتزازية للألومينا غاما النانوية كانت من أجل العينة (F)، وأخفض قيمة كانت من أجل العينة (A)، ويعود ذلك إلى أنه عند زيادة تركيز ديكلوفيناك الصوديوم في المحلول(عينة المياه الملوثة) تزداد القوة المحركة الناتجة عن فرق التركيز بين المحلول وسطح الألومينا، مما يعزز توجه الجزيئات الممتزة نحو السطح الماز.

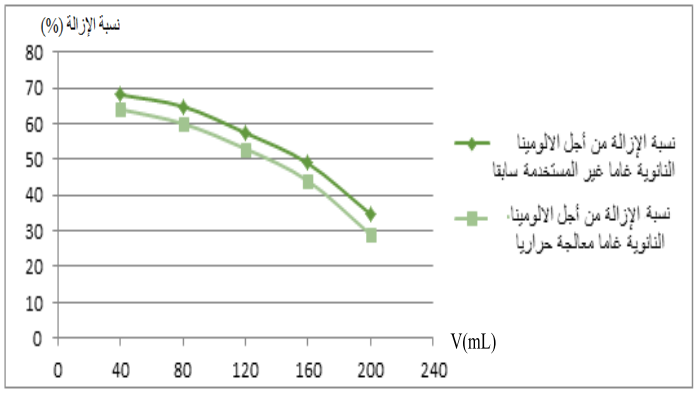
2-4- دراسة تنشيط الألومينا النانوية-γ بعد عملية الامتزاز:

بعد عملية الامتزاز باستخدام الألومينا غاما، أُعيد تنشيطها لإعادة استخدامها في عملية امتزاز جديدة لتخفيض تكلفة عملية معالجة المياه الملوثة بـ(DS) ، حيث تم استخدام طريقة التنشيط بالحرارة، والتوصل إلى النتائج الموضحة بالجدول(4) التالي:

الجدول(4): قيم نسب الإزالة و الـ COD للمياه الممتزة على الألومينا غاما النانوية المنشطة بالحرارة

اسم العينة	COD_0 (mg/L)	حجم المياه الملوثة المارة في عمود الامتزاز (mL)	COD (mg/L)	نسبة الإزالة (%)
عمود امتزاز يحوي ألومينا غاما نانوية خام	282	40	90	68.1
		80	99	64.8
		120`	120	57.4
		160	144	48.9
		200	184	34.7
عمود امتزاز يحوي ألومينا غاما منشطة بالحرارة	282	40	101	64.1
		80	113	60
		120`	132	53.1
		160	158	43.9
		200	200	29.1

وبرسم العلاقة ما بين حجم المياه المارة بعمود الامتزاز ونسب الإزالة في حالة استخدام كل من الألومينا الخام والألومينا المنشطة بالحرارة، تم الحصول على مخطط بياني موضح بالشكل (4):



الشكل(4): العلاقة بين حجم المياه المارة بعمود الامتزاز ونسب الإزالة في حالة استخدام كل من الألومينا الخام و الألومينا المنشطة بالحرارة

لوحظ من الشكل السابق: إن قيم نسب إزالة ديكلوفيناك الصوديوم باستخدام الألومينا غاما النانوية المستهلكة المنشطة بالمعالجة حرارياً متقاربة نوعاً ما من نسب الإزالة في حالة استخدام الألومينا الخام غير المستخدمة سابقاً.

5- الاستنتاجات والمقترحات:

1. تم بنجاح استخدام الألومينا غاما النانوية كمادة مازة لإزالة ديكلوفيناك الصوديوم من المياه.
2. وجد أن نسبة إزالة ديكلوفيناك الصوديوم تتناقص بازدياد حجم المياه المارة عبر عمود الامتزاز مع مرور الزمن وبازدياد تركيزها، ويعود ذلك لطبيعة السطح النوعي للألومينا.
3. تم التوصل إلى علاقة طردية ما بين السعة الامتزازية وتركيز المادة الممتزة، أي كلما ازداد تركيز ديكلوفيناك الصوديوم كلما ازدادت قيمة السعة الامتزازية للألومينا غاما النانوية.
4. عند التنشيط الحراري للألومينا غاما النانوية المستهلكة تم الحصول على نسب إزالة للمادة الممتزة (DS) متقاربة نوعاً ما من نسب الإزالة في حالة استخدام الألومينا الخام غير المستخدمة سابقاً.
5. نقترح بمتابعة البحث باستخدام الألومينا غاما لمعالجة مياه صرف معامل الأصبغة.
6. نقترح استخدام مواد مازة نانوية أخرى من مخلفات البيئة كقشور الرمان والجوز لمعالجة مياه صرف معامل الادوية نظراً لتكلفتها المنخفضة.
7. استخدام عبوات الألمنيوم الفارغة المستهلكة لتوليد أكسيد الألمنيوم النانوي بما يساعد من المحافظة على الموارد الطبيعية وتقليل التلوث.

6- المراجع:

[1]. Radjenovic, J., Petrovic, M., & Barceló, D. (2007). Analysis of pharmaceuticals in wastewater and removal using a membrane bioreactor. Analytical and bioanalytical chemistry, 387(4), 1365-1377.

[2]. Fawzy, M. E., Abdelfattah, I., Abuarab, M. E., Mostafa, E., Aboelghait, K. M., & El-Awady, M. H. (2018). Sustainable approach for pharmaceutical wastewater treatment and reuse: case study. Journal of Environmental Science and Technology, 11(4), 209-219.

[3]. Chu TP, Nguyen NT, Vu TL, Dao TH, Dinh LC, Nguyen HL, Hoang TH, Le TS, Pham TD. Synthesis, characterization, and modification of alumina nanoparticles for cationic dye removal. Materials. 2019 Feb 1;12(3):450.

[4]. Nguyen NT, Dao TH, Truong TT, Nguyen TM, Pham TD. Adsorption characteristic of ciprofloxacin antibiotic onto synthesized alpha alumina nanoparticles with surface modification by polyanion. Journal of Molecular Liquids. 2020 Jul 1;309:113150.

[5]. Safwat SM, Mohamed NY, Meshref MN, Elawwad A. Adsorption of phenol onto aluminum oxide nanoparticles: performance evaluation, mechanism exploration, and principal component analysis (PCA) of thermodynamics. Adsorption Science & Technology. 2022 Apr 4;2022:1924117.

[6]. Al-Ghouti MA, Khan M, Malik A, Khraisheh M, Hijazi D, Mohamed S, Alsorour S, Eltayeb R, Al Mahmoud F, Alahmad J. Development of novel nano-γ-Al2O3 adsorbent from waste aluminum foil for the removal of boron and bromide from aqueous solution.

Journal of Water Process Engineering. 2022 Dec 1;50:103312.

[7]. Sangor FI, Al-Ghouti MA. Waste-to-value: Synthesis of nano-aluminum oxide (nano-γ-Al2O3) from waste aluminum foils for efficient adsorption of methylene blue dye. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023 Dec 1;8:100394.

[8]. Gharbi AH, Laouini SE, Hemmami H, Bouafia A, Gherbi MT, Ben Amor I, Hasan GG, Abdullah MM, Trzepieciński T, Abdullah JA. Eco-Friendly Synthesis of Al2O3 Nanoparticles: Comprehensive Characterization Properties, Mechanics, and Photocatalytic Dye Adsorption Study. Coatings. 2024 Jul 6;14(7):848.

[9]. Water Treatment Plant Operation Volum 1+2 Third Edition, kenneth D.kerri California State University , U.S.A 1996.