

تأثير زيادة تركيز الجسيمات النانوية لـ ZnO بطورها السائل في تنقية المياه الملوثة  
بالفينول وبدرجات حرارة مختلفةعبد الكريم حمودي عساف\* عصمت رمزي عبدالغفور\*\* أحمد مشعل محمد\*\*\*  
الباحث استاذ استاذ مساعد

\* جامعة الأنبار، مركز دراسات الصحراء

\*\* جامعة الأنبار، كلية العلوم، قسم الفيزياء

\*\*\* جامعة الأنبار، كلية العلوم، قسم الكيمياء

Email: [asmata\\_hadithi@uoanbar.edu.iq](mailto:asmata_hadithi@uoanbar.edu.iq)

## المستخلص

استخدمت جسيمات نانوية لمادة ZnO بطورها السائل والمحضرة بطاقة 100 مل جول وعدد نبضات 600,300 نبضة باستخدام (PLA) للتخلص من الفينول المذاب بالماء بتركيز 100 ملغم لتر<sup>-1</sup> وبدرجات حرارة مختلفة 25 و 35 و 45 و 55 °م، أكدت الدراسة ان نسبة تنقية المياه الملوثة بالفينول تقل بزيادة درجة الحرارة عند تركيز الجسيمات النانوية المحضرة بـ 300 نبضة ولكن عند تركيز الجسيمات النانوية المحضرة باستخدام 600 نبضة فإن عامل الحرارة يكون غير مؤثر، وتزداد نسبة التنقية (كفاءة الأمتزاز) لتصل الى 98.427% ، وتشير دراسة الدوال الترموديناميكية بان نوع الامتزاز الحاصل بين الجسيمات النانوية المستخدمة والفينول هو فيزيائي وتلقائي وباعث للحرارة وذو كفاءة عالية جداً.

الكلمات المفتاحية: ZnO، PLA، الفينول، تركيز الجسيمات النانوية، درجة الحرارة، الدوال الترموديناميكية.

## EFFECT OF NANOPARTICLES CONCENTRATION INCREASE FOR ZNO UNDER LIQUID PHASE ON PURIFICATION OF WATER CONTAMINATED WITH PHENOL AT DIFFERENT TEMPERATURES

Abdulkareem Hammoodi Assaf\* Asmiet Ramizy\*\* Ahmed Mishaal Mohammed\*\*\*

Researcher

Prof. Assist.

Prof.

\* University Of Anbar, Center of Desert Studies

\*\* University Of Anbar, College of Science, Department of Physics

\*\*\* University Of Anbar, College of Science, Department of Chemistry

Email: [asmata\\_hadithi@uoanbar.edu.iq](mailto:asmata_hadithi@uoanbar.edu.iq)

### ABSTRACT

Used nanoparticles of ZnO with liquid phase and prepared 100 mJ, and the number of pulses (300,600) pulse using (PLA). To remove phenols dissolved in water at a concentration of 100 mg.mol<sup>-1</sup> and at different temperatures (25,35,45,55) °C. The study confirmed that the percentage of purification of water polluted with phenol decreases with the increase of temperature at the concentration of nanoparticles prepared (300) pulses, but when the concentration of nanoparticles prepared with 600 pulses, the heat factor is not effective, and increase the rate of purification (adsorption efficiency) to 98.427%. The study of thermodynamic functions indicates that the type of adsorption between nanoparticles used and phenol is physical, automatic, heat-emitting and very efficient.

**Key words:** ZnO, PLA, phenol, concentration of nanoparticles, temperature, thermodynamic functions.

البحث مستل من رسالة الباحث الأول.

## المقدمة:

تفاقت مشكلة المخلفات الصناعية في العالم بنسب عالية تفوق الحدود المسموح بها لا سيما بعد الثورة الصناعية العالمية، ومن أهم هذه المخلفات الخطرة المركبات العضوية (Aust و Fernondo، 1994)، إذ يعد الفينول من أهم ملوثات المركبات العضوية السامة والأكثر شيوعاً لخطورته على الأحياء بصورة عامة والأنسان في مقدمتها (EPA، 2003) بسبب قابلية هذا المركب على التراكم (Bioaccumulation) الحيوي في الأنسجة الحية (Dos Santos وآخرون، 2009). الفينول هو مركب اروماتي اي حلقة بنزين مرتبطة بمجموعة هيدروكسيل (EPA و 2003)، ووجوده في البيئة يكون اما كمخلفات لمصادر طبيعية كالانبعاث نتيجة حرائق الغابات او عند استخدامه كمادة لاصقة ضمن الأسفلت في المدن (Ghadhi و Sangodker، 1995)، او كمخلفات صناعية مثل المنتجات الخشبية ومصانع الأوراق والأصباغ ومخلفات المستشفيات وصناعة الأدوية واللدائن والمخلفات البتروكيماوية (Busca وآخرون، 2008). من المعلوم عند معالجة المياه الحاوية على الفينول بالكور فإنه ممكن أن يتكون مركب سام ومسرطن يسمى الكلوروفينوكسي (Marrot وآخرون، 2006). استخدمت عدة طرائق المعالجات المخلفات (الطبيعية، الصناعية)، والمخلفات الفينولية بوجه الخصوص منها التناضح العكسي الأزموزي (Reverse osmosis)، الأكسدة اللاكتروليتية (Electrolytico oxidation)، والتحلل الضوئي (Photo catalysis) وهذه المعالجات تكون ذات كلف عالية نسبياً (Marrot وآخرون، 2006)، ومعظم هذه الطرائق تحتاج الى عوامل محفزة مثل الضوء او الأشعة تحت الحمراء او الموجات فوق الصوتية أو الأشعة فوق البنفسجية علماً ان نسب الإزالة كانت لا تتجاوز 55% بوجود الأشعة فوق بنفسجية ولا تتجاوز 13.7% بوجود الموجات فوق الصوتية كعامل محفز (Anju وآخرون، 2012). تعد طريقة الأمتزاز (Adsorption) احد طرائق التخلص من الملوثات العضويه (كالفينول) لذا تهدف الدراسة الى التخلص من الملوث العضوي (الفينول) المذاب بالماء باستخدام جسيمات نانوية لمادة ZnO بطورها السائل المحضرة بطريقة الأستئصال بالليزر النبضي (PLA) كمادة مازة وتعد هذه الطريقة رخيصه نسبياً وأمنه مع ضمان عدم تحول الملوث العضوي (الفينول) الى صورة مركب آخر سام.

## المواد والطرائق:

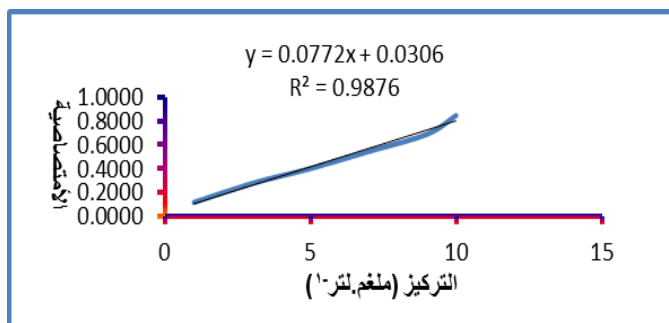
**تحضير الملوث العضوي (الفينول) مختبرياً وبتركيز 100 ملغم. لتر<sup>-1</sup>**  
حُضِر المحلول القياسي للمادة الملوثة (الفينول) بتركيز 1000 ملغم. لتر<sup>-1</sup> بوضع 1 غرام من الفينول (نقاوته 99%) بقتينة حجمه سعة 1 لتر، ثم أضيف اليها نصف لتر من الماء الخالي من الأيونات بعدها رجت القنتينة الحجمية جيداً لمدة 15 دقيقة لحين ذوبان المادة الملوثة (الفينول) بعدها أكمل الحجم بالماء المقطر الخالي من الايونات لحد علامة القنتينة الحجمية 1 لتر المستخدمه اعلاه.

## تعيين منحنى المعايرة للفينول المحضر

لغرض تعيين منحنى المعايرة للمحاليل القياسية تثبتت قيمة ( $\lambda_{max}$ ) وهي 270 نانومتر الخاصة بالفينول (Sharma، 2010)، حُضرت محاليل من الفينول بتركيز مختلفة (1 و 2 و 3 و 4 و 5 و 6 و 7 و 8 و 9 و 10) ملغم.لتر<sup>-1</sup>، وتم قياس الامتصاصية لتلك المحاليل برسم منحنى المعايرة استناداً لقانون بير لامبرت (Beer-Lambert's) الذي يعطي العلاقة بين الامتصاصية والتركيز (Alkines، 1990)، باستخدام مطياف الأشعة المرئية- فوق البنفسجية (Uv-visible) ضمن المدى من (200-400) نانومتر وكما في (شكل، 1).

## ايزوثيرمات الإمتزاز

طبقت عمليات الإمتزاز للملوث العضوي ( الفينول) بمحلوله المائي ولغرض الحصول على ايزوثيرمات الإمتزاز للمحاليل المحضرة وضعت 5 ملي لتر من المادة الغروية الحاوية على الجسيمات النانوية لمادة ZnO المحضرة بطريقة (PLA) بجهاز نوع ليزر النيديوم - ياك النبضي (Nd:YAG) ذو منشأ (S.Korea) ونوع (Type:00912901) بطاقة 100 ملي جول ، تردد 6 هرتز، الطول الموجي المستخدم يساوي 1064 نانومتر، عرض النبضة يساوي 10 نانوثانية، باستخدام عدد نبضات 300 نبضة للحصول على متوسط حجم نانوي يساوي 49 نانو متر وقيمة جهد زيتا له تساوي -17.75 مل فولت (Assaf, under published) ولكل نموذج في قناني حجمه سعة 25 مل وأضيف لكل نموذج 5 مل من المادة الملوثة (الفينول) المحضر بتركيز 100 ملغم.لتر<sup>-1</sup> وغلقت القناني الحجمية بإحكام ووضعت في حمام مائي هزاز (متحرك) بدرجات حرارة (25 و35 و45 و55) م°، لمدد زمنية



الشكل (1) منحنى المعايرة القياسية لمحاليل الفينول القياسية أعدت في الطول الموجي 270 نانومتر في تراكيز متفاوتة .

حصول حالة الأتزان بين كمية المادة الممتزة وتركيز المادة المتبقية اي (غير الممتزة) في المحلول المركب فقيمة ثابت أتران الإمتزاز يمكن إيجاده بالمعادلة (3) أدناه (Gorges، 2008) .

$$K = \frac{x_{eq}^{(3)}}{a - x_{eq}} \quad \dots\dots 3$$

حيث :  
K = ثابت الأتزان،  $x_{eq}$  = كمية المادة الممتزة عند الأتزان، a = التركيز الابتدائي،  $\alpha - x_{eq}$  = تركيز المادة الحرة (غير الممتزة) عند الأتزان  
تم حساب قيم للدوال التيرموديناميكية ( $\Delta S$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta G$ ) كما في المعادلات الآتية (Gorges، 2008).

$$\Delta G = - RT \ln K \quad \dots\dots (4)$$

حيث:  
R = ثابت الغازات العام ، T = درجة الحرارة المطلقة،

وتم حساب القيمة ( $\Delta H$ ) من معادلة فانت هوف (Weber، 1972).

$$K = K_0 e^{-\Delta H/RT} \quad \dots\dots (5)$$

$$\ln K = \ln K_0 - \Delta H/RT \quad \dots\dots (6)$$

ويرسم العلاقة بين ( $\ln K$ ) كدالة ( $1/T$ ) تم الحصول على خط مستقيم ميله يساوي ( $-\Delta H/R$ ).

وقيمة ( $\Delta S$ ) فقد حسبت من المعادلات الآتية (Weber، 1972).

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \dots\dots (7)$$

$$\Delta S = (\Delta H - \Delta G) / T \quad \dots\dots (8)$$

### النتائج والمناقشة:

تأثير زيادة تركيز المواد النانوية بزيادة عدد النبضات الليزر

تم قياس الإمتصاصية للمادة الملوثة بعد معالجتها بالجسيمات النانوية المحضرة عند طاقة 100 ملي جول وعدد نبضات ليزر 300 و 600 نبضة كما بالأشكال (2 و 3) على التوالي وكما تم إيجاد التركيز عند طاقة 100 ملي جول وعدد النبضات 300 و 600 نبضة وحسب

مختلفة من الرج المستمر (80-10) دقيقة، ولمدى 10 دقائق، بعدها أخرجت النماذج الواحد تلو الآخر وكل حسب توقيته وفصلت النماذج أعلاه عن طريق جهاز الطرد المركزي نوع (HERMLE Z200A) ولعدد دورات (4000) دورة دقيقة<sup>1</sup> ولمدة 10 دقائق، بعدها تم قياس الإمتصاصية للمحاليل باستخدام جهاز مطياف الأشعة المرئية - فوق البنفسجية (Uv- vis) نوع (T80 UV/Vis spectrometer-PG Instruments Ltd) بعدها تم تعيين تركيز الأتزان من منحنى المعايرة الموضح بالشكل (1) .

تم حساب كمية المادة الممتزة بالحالات جميعها بالعلاقة الرياضية (1) ادناه (Alkines، 1996) .

$$\text{con.} = \frac{\text{Abs.} - \text{Intercept}}{\text{slope}} \quad \dots\dots (1)$$

حيث :

Con. = التركيز، Abs. = الامتصاصية،

Intercept = التقاطع، Slope = الميل

ثم حسبت النسبة المئوية للكمية الممتزة اي تركيز الملوث (نسبة تنقية الملوث) بعد المعالجة وتسمى أيضاً كفاءة الأمتزاز بموجب العلاقة الرياضية ادناه (Al-Sammrae، 2006).

$$R\% = \left[ \frac{(C_e - C_0)}{C_e} \right] \times 100 \quad \dots\dots (2)$$

إذ أن :

R% = هي النسبة المئوية للإمتزاز (النسبة المئوية للإزالة)،  $C_0$  = التركيز الابتدائي مقدر بوحدة ملغم.لتر<sup>-1</sup>،  $C_e$  = التركيز عند الأتزان مقدر بوحدة ملغم.لتر<sup>-1</sup>.

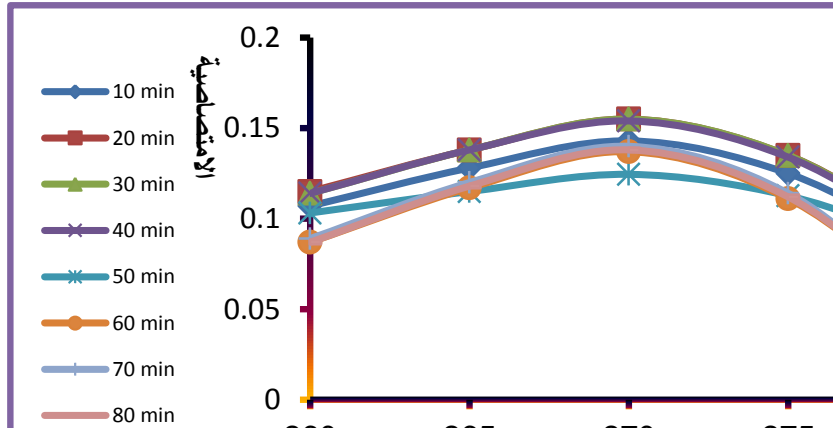
وتم اجراء الخطوة اعلاه ولكن بزيادة تركيز الجسيمات النانوية لمادة ZnO الى الضعف اي عند 600 نبضة وبففس المَعلمات اعلاه.

### حساب الدوال التيرموديناميكية

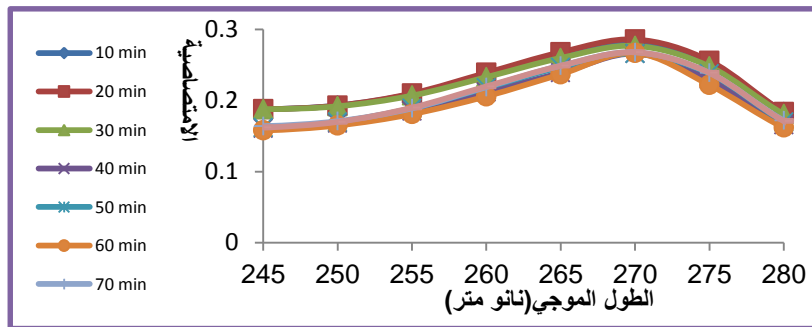
حسبت قيم ثابت الأتزان للإمتزاز (K) عند درجات حرارية (25 و 35 و 45 و 55)م° للتركيزين من الجسيمات النانوية لمادة ZnO اي عند (300 و 600) نبضة، والمحضرة عند طاقة 100 مل جول، وعند

فكانت النسبة المئوية لكفاءة الإمتزاز (R %) للفينول قد بلغت 93.864% عند عدد النبضات 300 نبضة وزادت النسبة المئوية لكفاءة الإمتزاز (R %) فبلغت 98.427% عندما كان عدد النبضات 600 نبضة، اي ان نسبة تنقية الملوث اقتربت من 98.5% عند زيادة تركيز الجسيمات النانوية للضعف وكما مبين بالجدول (1).

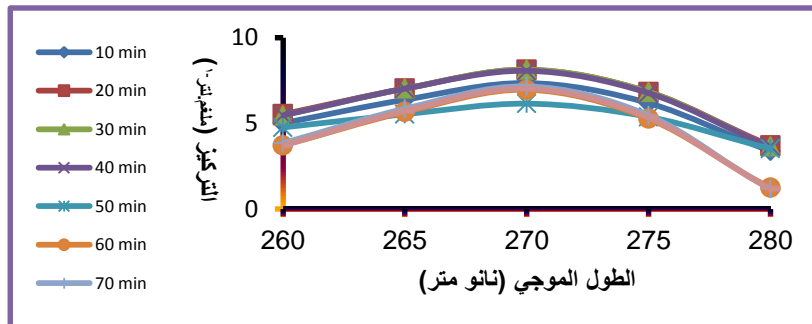
معادلة منحنى المعايرة وكما مبين بالأشكال (4) و(5) على التوالي، وعند درجة حرارة 25°C ووجد أن أفضل وقت للإمتزاز عند الزمن 50 دقيقة برغم أنه الإمتزاز ومنذ أول 10 دقيقة يصل لمستويات عالية وقريبة من أفضل وقت. وبأخذ أفضل نتائج الإزالة عند ( $\lambda_{max}$ ) لامتصاصية وتركيز المادة الملوثة عندما تكون عدد النبضات (300 و 600) نبضة كما موضح بالأشكال أعلاه.



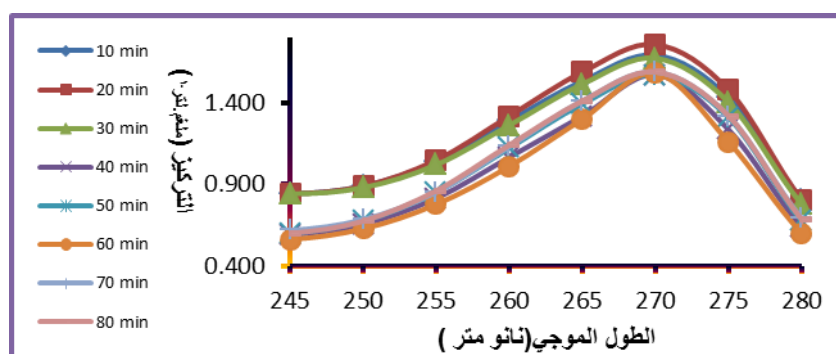
شكل 2. الامتصاصية للفينول بعد معالجتها بالجسيمات النانوية المحضرة عند 100ملي جول 300 نبضة



شكل 3. الامتصاصية للفينول بعد معالجتها بالجسيمات النانوية المحضرة عند 100ملي جول 600 نبضة



شكل 4. التركيز للفينول بعد معالجتها بالجسيمات النانوية المحضرة عند 100ملي جول , 300 نبضة



شكل 5. التركيز للفينول بعد معالجتها بالجسيمات النانوية المحضرة عند 100 ملي جول 600 نبضة

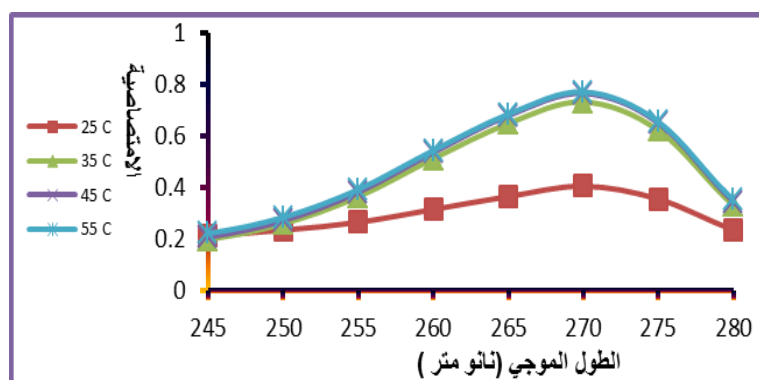
جدول 1. نسبة الإزالة للمادة الملوثة (الفينول) بتركيز ابتدائي 100 ملغم. لتر<sup>-1</sup> كدالة لعدد نبضات الليزر

| عدد النبضات | افضل وقت للأمتزاز (min) | تركيز الأتزان (ملغم. لتر <sup>-1</sup> ) | كفاءة الإمتزاز R (%) |
|-------------|-------------------------|--|----------------------|
| 300         | 50                      | 6.136                                    | 93.864               |
| 600         | 50                      | 1.573                                    | 98.427               |

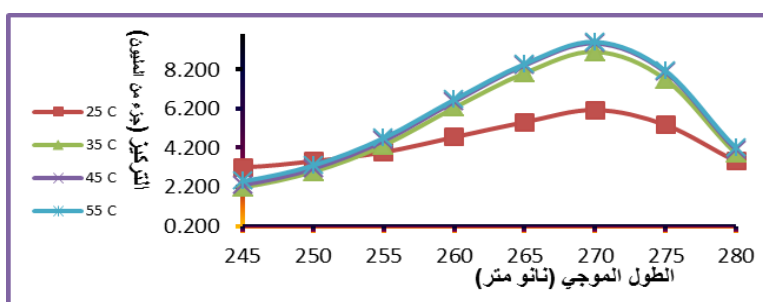
### تأثير درجة الحرارة على إزالة المادة الملوثة (الفينول)

أخذت عينات من الجسيمات النانوية لـ ZnO بطورها السائل والمحضرة بطاقة 100 ملي جول عند 300 نبضة وذلك لدراسة تأثير درجات الحرارة عند 25 و 35 و 45 و 55 م° على كمية المادة الممتزة وبالتالي يمكن معرفة نسبة الإزالة للمادة الملوثة عند هذه الدرجات الحرارية المختلفة والأشكال (6 و 7) توضح نسب الإمتصاصية والتركيز على التوالي عند

درجات الحرارة المختلفة، فنلاحظ عند الدرجات الحرارة الواطئة 25°C بلغت نسب إزالة للمادة الملوثة (93.86%) وهي أفضل، ولكن عند درجات الحرارة العالية 55°C فبلغت نسبة الأزالة 90.384% ، عند الجسيمات النانوية المحضرة بطاقة ملي جول (100 و 300) نبضة اي كلما ارتفعت درجة الحرارة قلة كمية المادة الممتزة (قلة كفاءة الأمتزاز) وكما مبين بالجدول (2).



الشكل (6) يبين الأمتصاصية عند طاقة 100 ملي جول ، 300 نبضة لدرجات حرارة مختلفة



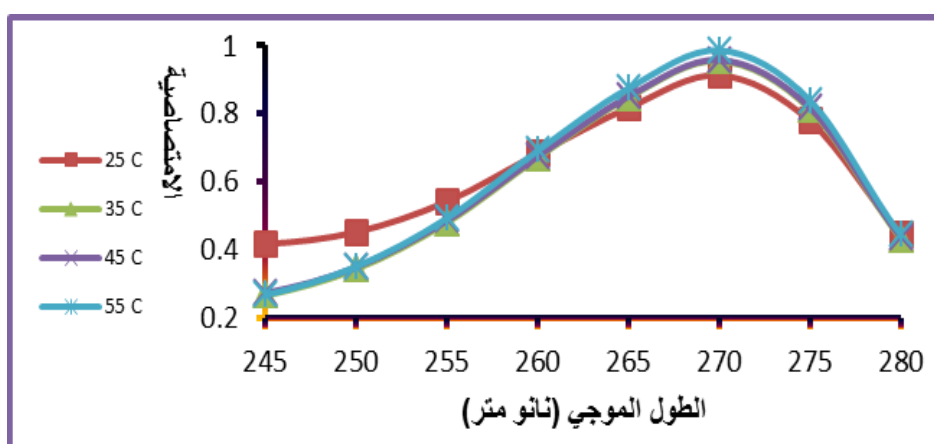
الشكل 7. التركيز عند طاقة 100 ملي جول 300 نبضة لدرجات حرارة مختلفة

الجدول 2. نسبة إزالة المادة الملوثة الفينول عند طاقة 100 ملي جول، 300 نبضة لدرجات حرارة مختلفة

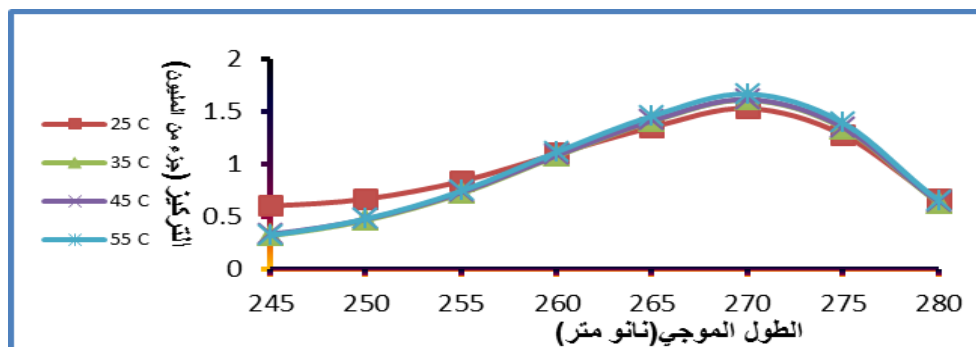
| كمية المادة الممتزة (%) | نسبة التركيز بعد الإمتزاز (ملغم. لتر <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup> | التركيز الكلي (ملغم. لتر <sup>-1</sup> ) | درجة حرارة (مطلق) | درجة حرارة (°م) | عدد النبضات لتحضير جسيمات نانوية |
|-------------------------|---|--|-------------------|-----------------|----------------------------------|
| 93.864                  | 6.136   | 100                                      | 298               | 25              | 300                              |
| 90.89                   | 9.11  | 100                                      | 308               | 35              | 300                              |
| 90.461                  | 9.539   | 100                                      | 318               | 45              | 300                              |
| 90.384                  | 9.616   | 100                                      | 328               | 55              | 300                              |

بزيادة تركيز الجسيمات النانوية اي ان عملية التخلص من المادة الملوثة (الفينول) عند زيادة تركيز الجسيمات النانوية لمادة ZnO لا تتأثر بزيادة درجة الحرارة للملوث المذاب بالماء كما في الأشكال (10 و 11) التي تبين الامتصاصية والتركيز للمادة الملوثة كدالة لدرجة الحرارة بالتتابع .

ولكن عند زيادة تركيز المادة النانوية عند (600) نبضة نلاحظ أن تأثير درجة الحرارة يكون شبه معدوم، وأن أعلى نسبة إزالة للفينول بلغت (98.427 % ) عند درجة حرارة 25 م° وقلها (98.34 %) عند درجة حرارة 55 م° كما موضحة بالجدول (3) ، وكما مبينة بالأشكال (8 و 9) التي توضح الامتصاصية والتركيز للمادة الملوثة على التوالي، اي أن عامل درجة الحرارة يمكن أن يُحدّد



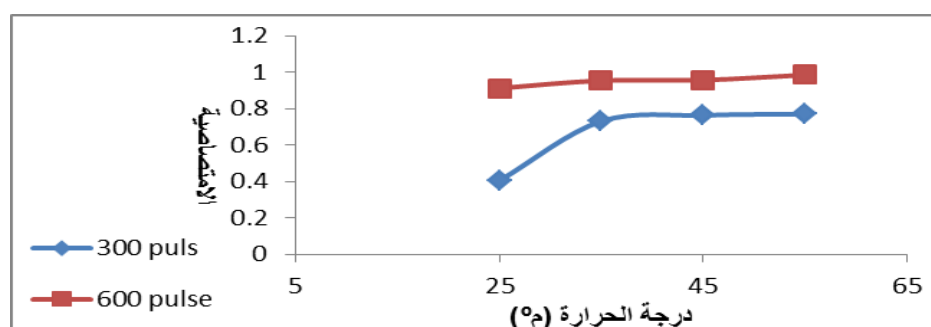
الشكل 8. الامتصاصية عند طاقة 100 ملي جول 600 نبضة لدرجات حرارة مختلفة



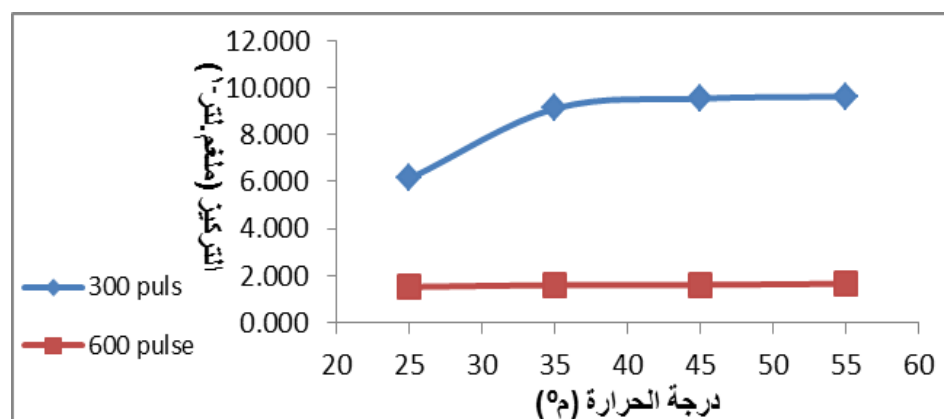
الشكل 9. التركيز عند طاقة 100 ملي جول ، نبضة لدرجات حرارة مختلفة

الجدول 3. يبين نسبة ازالة المادة الملوثة (الفينول) عند طاقة 100 ملي جول ، نبضة لدرجات حرارة مختلفة

| كمية المادة الممتزة (%) | نسبة التركيز بعد الإمتزاز (ملغم.لتر <sup>-1</sup> ) | التركيز الكلي (ملغم.لتر <sup>-1</sup> ) | درجة حرارة (K) | درجة حرارة (°C) | عدد النبضات لتحضير جسيمات نانوية |
|-------------------------|---|---|----------------|-----------------|----------------------------------|
| 98.427                  | 1.573   | 100                                     | 298            | 25              | 600                              |
| 98.395                  | 1.605   | 100                                     | 308            | 35              | 600                              |
| 98.39                   | 1.61  | 100                                     | 318            | 45              | 600                              |
| 98.34                   | 1.66  | 100                                     | 328            | 55              | 600                              |



الشكل 10. الامتصاصية للطاقة 100 ملي جول عند ( 300,600 ) نبضة كدالة لدرجات حرارة مختلفة



الشكل 10. التركيز للطاقة 100 ملي جول عند ( 300,600 ) نبضة كدالة لدرجات حرارة مختلفة

نلاحظ تتباين قيم كل من الدوال الترموداينميكية ( $\Delta G$ ) و ( $\Delta H$ ) و ( $\Delta S$ ) للإمتزاز، فتشير قيمة وإشارة ( $\Delta H$ ) الى إن الإمتزاز ذو طبيعة فيزيائية أذ إن قيم ( $\Delta H$ ) اقل من (40 كيلو جول. مول<sup>-1</sup>) وان العملية بمجملها باعثة للحرارة فيما توضح قيم ( $\Delta G$ ) السالبة على أن التفاعل يسير بصورة تلقائية باتجاه تكوين النواتج خلال عمليات الإمتزاز ويلاحظ من خلال قيم التغيير في الأنتروبي ( $\Delta S$ ) الحالة العشوائية او اللانظام في نظام الإمتزاز يشير الى قيم ( $\Delta S$ ) المدرجة في الجدول (4 و 5) أن حالة اللانظام بالنسبة للمركب الواحد لا تتغير ضمن المدى المدروس من الدرجات الحرارية (Gorges، 2008)، وعند أمعان النظر في قيم الدوال الترموداينميكية التي تكون بمثابة مؤشر على كفاءة الإمتزاز اذ تشير القيم العالية لسرعة التفاعل ( $k$ ) بأن كفاءة الإمتزاز عالية ومن الملاحظ أيضا أن جميع الدوال الترموداينميكية تكون ذات قيم أعلى سواء بالاتجاه الموجب او السالب عندما يكون عدد النبضات أعلى (600 نبضة. دقيقة<sup>-1</sup>) وبمعنى آخر عندما يكون تركيز الجسيمات النانوية المحضرة بعدد نبضات أعلى ضمن طورها السائل ويكون مؤشر على زيادة عملية الإمتزاز وتلقائيتها (Al-Sammrae، 2006).

#### الاستنتاجات:

عند استخدام الجسيمات النانوية بطورها السائل والمحضرة عند 100ملي جول ، 300 نبضة فان نسبة تنقية المياه الملوثة بالفينول وبتركيز 100جزء من المليون بلغت 93,864% بدرجة حرارة 25°C وتقل هذه النسبة لتصل الى 90.384% عند رفع درجة حرارة الماء الملوث الى 55°C، ولكن بزيادة تركيز المواد النانوية الى الضعف 600 نبضة فان كفاءة تنقية

#### حساب الدوال الترموداينميكية للإمتزاز

تم حساب قيم الدوال الترموداينميكية للإمتزاز للجسيمات النانوية المازة للفينول وعند طاقة تحضير للجسيمات تساوي 100ملي جول وعدد نبضات (300 و 600) نبضة عند أعلى امتزاز أفضل إزالة للمادة الملوثة (الفينول) لأفضل وقت وهو 50 دقيقة في مدى من الدرجات الحرارية تتراوح بين (25-55)°C والموضحة في الجداول (4 و 5) على التوالي. فتم حساب قيمة الأنتالبي ( $\Delta H$ ) والأنتروبي ( $\Delta S$ ) خلال عمليات الإمتزاز باستخدام معادلة فان ت هوف (Vant Hoff) من خلال رسم العلاقة بين ( $\ln K_{eq}$ ) كدالة لمقلوب درجة الحرارة  $(1/T)K^{-1}$ ، ومنها حسبت قيم ( $\Delta H$ ) من قيمة الميل التي تمثل ( $-\Delta H / R$ ) كما موضح بالشكل (12 و 13) وذلك بالتعويض عن قيمة ( $R$ ) بالمقدار (18.314 J.mole<sup>-1</sup>.k)، كما تم حساب قيم الطاقة الحرة التنشيطية ( $\Delta G$ ) باستخدام المعادلة (4). حيث كانت قيمة التغيير في الأنتالبي المحسوبة سالبة وهذا يدل على أن التفاعل باعث للحرارة خلال عمليات الإمتزاز. كما حسبت قيم الأنتروبي ( $\Delta S$ ) من خلال العلاقة بين ( $\Delta G$ ) و ( $\Delta H$ ) و ( $\Delta S$ ) كما في المعادلات (7 و 8). والجدول (4 و 5)، تبين قيم ( $K_{eq}$ ) المحسوبة عند درجات حرارية مختلفة فضلا عن قيم الدوال الترموداينميكية. ومن ملاحظة الجداول هذه الجداول نجد ان قيم سرعة التفاعل ( $k$ ) تقل بزيادة درجة الحرارة لأن الارتفاع بدرجة الحرارة يعمل على عودة المادة الممتازة من السطح الماز الى محلول الإمتزاز وهذا يتفق مع الطبيعة الفيزيائية للإمتزاز الباعثة للحرارة (Lucas و Cocero، 2003). وكما نلاحظ تتباين قيم كل من الدوال الترموداينميكية ( $\Delta G$ ) و ( $\Delta H$ ) و ( $\Delta S$ ) للإمتزاز، فتشير قيمة وإشارة وكما

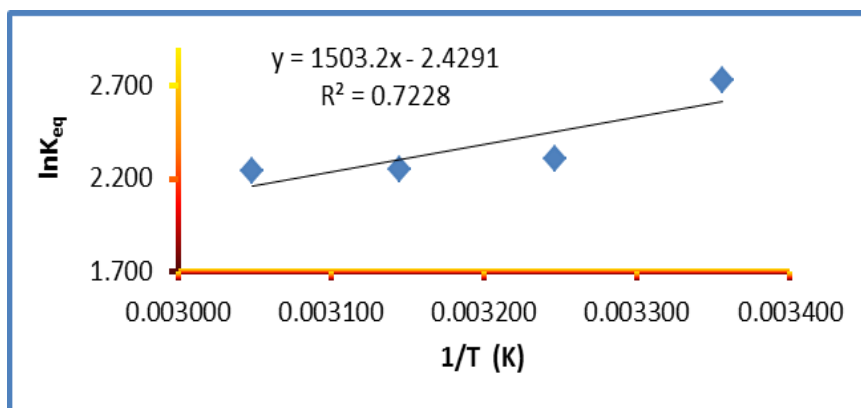
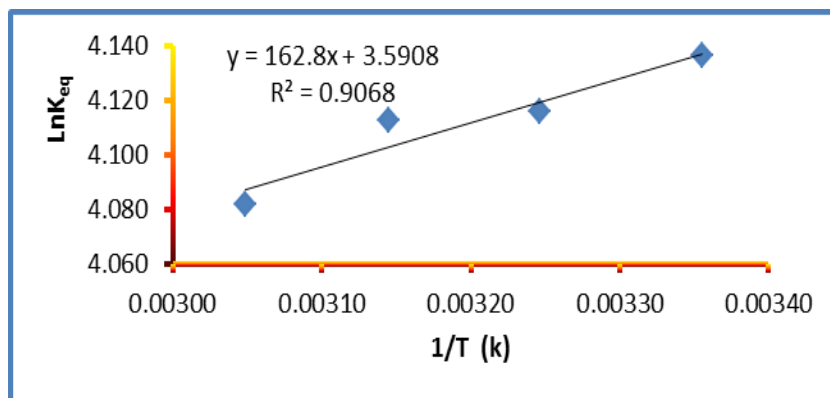
الجدول 4. قيم الدوال الترموداينميكية لعملية امتزاز الفينول على سطح جسيمات مادة ZnO النانوية المحضرة عند طاقة 100ملي جول، 300 نبضة

| $\Delta S$<br>(J/mol.K) | $\Delta H$<br>(J/mol) | $\Delta G$ (J/mol) | Slope    | lnK   | K      | 1/T (K <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------|-------|--------|------------------------|
| -19.260                 | -12497                | -6758.008          | 1503.173 | 2.728 | 15.297 | 0.003356               |
| -21.451                 |                       | -5890.348          |          | 2.300 | 9.977  | 0.003247               |
| -20.597                 |                       | -5947.425          |          | 2.250 | 9.483  | 0.003145               |
| -19.473                 |                       | -6110.204          |          | 2.241 | 9.399  | 0.003049               |



جدول 5. يبين قيم الدوال الترموديناميكية عند طاقة 100 مل جول ، 600 نبضة

| $\Delta S$<br>(J/mol.K) | $\Delta H$<br>(J/mol) | $\Delta G$ (J/mol) | slope    | lnK   | K      | 1/T (K <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------|-------|--------|------------------------|
| 29.847                  | -1353.53              | -10248.057         | 162.8017 | 4.136 | 62.573 | 0.00336                |
| 29.825                  |                       | -10539.548         |          | 4.116 | 61.305 | 0.00325                |
| 29.937                  |                       | -10873.383         |          | 4.113 | 61.112 | 0.00314                |
| 29.808                  |                       | -11130.527         |          | 4.082 | 59.241 | 0.00305                |

الشكل 12. العلاقة الخطية لمعادلة فان ت هوف لإمتزاز الفينول عند طاقة ملي جول 100،  
و عدد نبضات 300 نبضةالشكل 13. العلاقة الخطية لمعادلة فان ت هوف لإمتزاز الفينول عند طاقة 100 مل جول ،  
و عدد نبضات 600 نبضة

$\Delta H$  اقل من 40 كيلو جول.مول<sup>-1</sup> بمعنى انه ليس هناك تحول لمركب الفينول الى صورة اخرى ممكن ان تكون ذات تأثير خطر، وان التفاعل تلقائي وقيمة  $\Delta S$  كبيرة اي ان النظام ذو عشوائية كبيرة وهذا دليل على الكفاءة العالية للأمتزاز (نسبة تنقية الملوث عالية).

المياه تزداد لتصل الى 98.427% كما ان ارتفاع درجة الحرارة المياه الملوثة لا يؤثر على كفاءة تنقية المياه، كما اكدت الدراسة بان افضل وقت للتماس بين الجسيمات النانوية بطورها السائل والماء الملوث بالفينول هو 50 دقيقة وان عملية التنقية كانت بطريقة الأمتزاز وهذا الأمتزاز ذو طبيعة فيزيوية لأن قيمة

## REFERENCES

- Alkines, P. W. 1996 . Physical Chemistry, 4<sup>th</sup> ed., Oxford University press.pp(199-225).
- Al-Sammrae , L. H. and A. Jbara, 2006. Study of The Factors Affecting The Adsorption of Some Azo Dyes By Using Different Adsorbents, M.Sc Thesis College of Education for Women, University of Tikrit, Physical Chemistry, pp.84.
- Anju, S. G., S. Yesodharan, and E.P. Yesodharan, 2012 . Zinc oxide mediated sonophotocatalytic degradation of phenol in water, Chemical Engineering Journal.
- Assaf, A. H., A. Ramizy and A. M. Mohammed, 2019. Removal of Phenol from Water Using ZnO Nanoparticles.(under published).
- Busca G. B., Resini, C. S., and Arrighi, L., 2008. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments J. Hazard Mater 160: 265-288.
- Dos Santos, V . L. A. de Souza Monterio, D. T. Braga, and M. M. Santoro. 2009. Phenol degradation by Aureobasidium pullulans FEB isolated from industrial effluents. J. Hazard Mater, 161: 1413-1420.
- Fernando, T. and S. D. Aust. 1994. Biodegradation of toxic chemicals by white rot fungi. In : Biological degradation and bioremediation of toxic chemicals. Chaudhry- GR. Ed. (Discoorides Press, Portland, or), pp. 386-387.
- Ghadhi, SC., and UMX Sangodkar. 1995. Potentials of Pseudomonas cepacia PAA in bioremediation of aquatic wastes containing phenol. Proceeding of National symposium frontiers in applied and environmental microbiology 11-13, Dec cochin.
- Gorges, D. M. Y., 2008. Study of The Factors Affecting on The Adsorption of Some Substituted Phenol and Aniline Using Different Adsorbents, A Thesis Submitted to The Council of the College of Education University of Tikrit, pp.34
- Lucas, S., and M. J. Cocero, 2003. Study and modeling of furfural adsorption on activated Carbon under supercritical conditions, Available.
- Sharma, Y.R., 2010. "Organic spectroscopy", S.Chand ,Indian universities and Competitive examinations, pp.23.