

## Study of Thermodynamic and Kinetic of the Ionization Reaction of 4-Amino-3-hydroxynaphthalene-1-sulfonic Acid in Different Organic Solvents Using Electrical Conductivity

اشراف: أ.د. صالح الرحيل

طالبة الماجستير: الاء قمحية

### Abstract

This research investigated the electrochemical and kinetic behavior of 4-Amino-3-hydroxy naphthalene-1-sulfonic acid (AHNS) in methanol. Results demonstrated that methanol serves as the optimal solvent due to its high polarity and ability to form hydrogen bonds, which enhances the acid ionization process. The reaction followed first-order kinetics, with both the acid concentration and reaction rate decreasing over time. Temperature increase raised the rate constant from  $0.0036 \text{ min}^{-1}$  to  $0.0054 \text{ min}^{-1}$ , with an activation energy of  $14.29 \text{ kJ/mol}$ . The low activation energy value indicates that the reaction does not require a high energy barrier to occur. The results revealed that the dissociation process is non-spontaneous ( $\Delta G^\circ > 0$ ) and endothermic ( $\Delta H^\circ > 0$ ), while electrical conductivity showed a direct correlation with both concentration and time.

**Keywords:** Chemical Kinetics - Electrical Conductivity - Organic Solvents - Activation Energy - Acid Ionization.

## دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تأين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية

### ملخص البحث

تم في هذا البحث دراسة السلوك الكهروكيميائي والحركي لحمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك (AHNS) في الميثانول. أظهرت النتائج أن الميثانول يمثل المذيب الأمثل، ويعزى ذلك إلى قطبيته العالية وقدرته على تكوين روابط هيدروجينية، مما يعزز عملية تأين الحمض. اتبع التفاعل حركية المرتبة الأولى، حيث تناقص تركيز الحمض وسرعة التفاعل مع ازدياد الزمن. كما أدى مقدار ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة ثابت السرعة من  $0.0036\text{min}^{-1}$  إلى  $0.0054\text{min}^{-1}$ ، وبلغت طاقة التنشيط 14.29 كيلوجول/مول، حيث تشير قيمتها المنخفضة إلى أن التفاعل لا يحتاج إلى حاجز طاقة مرتفع للحدوث. بينت النتائج أن عملية التفكك غير تلقائية ( $\Delta G^\circ > 0$ ) وماصة للحرارة ( $\Delta H^\circ > 0$ )، مع ارتباط الناقلية الكهربائية بشكل طردي مع كل من التركيز والزمن.

**كلمات مفتاحية:** الحركية الكيميائية – الناقلية الكهربائية – المذيبات العضوية – طاقة التنشيط – تأين الحمض.

---

## 1- مقدمة:

تُعد دراسة الخواص الكهروكيميائية والحركية للمواد العضوية في المذيبات غير المائية من المجالات البحثية المهمة، نظراً لتطبيقاتها الواسعة في الصناعات الكيميائية والدوائية [1]. يعتمد سلوك الإلكتروليتات في المحاليل العضوية على عدة عوامل أهمها طبيعة المذيب وخصائصه الفيزيائية والكيميائية، يعتمد سلوك الأيونات في هذه المحاليل بشكل رئيسي على طبيعة المذيب، حيث تُحدد خصائص فيزيوكيميائية مثل ثابت العزل الكهربائي واللزوجة درجة تأين المذابات وسرعة انتقال الأيونات، مما ينعكس مباشرة على الناقلية الكهربائية الكلية للمحلول [2].

يُعتبر حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك (AHNS) مركباً عضوياً مهماً لاحتوائه على مجموعات وظيفية متعددة (سلفونيك، هيدروكسيل، أمين) تمنحه خصائص كيميائية مميزة. ترتبط هذه المجموعات مع جزيئات المذيب عبر روابط هيدروجينية، مما يؤثر على درجة تأين الحمض وسلوكه الكهروكيميائي [3].

قام الباحث محسن إيرنداوست عام 2018 بقياس كميات ضئيلة من النتيريت في عينات المياه باستخدام مركب 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك،

تعتمد قياسات الناقلية الكهربائية على قدرة المحاليل على نقل التيار الكهربائي عبر حركة الأيونات الحرة. تتناسب الناقلية طردياً مع تركيز الأيونات وسرعتها، وتتأثر سلباً بلزوجة الوسط. يمكن من خلال تتبع التغير في الناقلية الكهربائية مع الزمن استنتاج رتبة التفاعل وثوابت السرعة، كما يُمكن من خلال دراسة اعتماد الناقلية على درجة الحرارة حساب طاقة التنشيط للعملية [4].

تُصنف التفاعلات الكيميائية في المحاليل وفقاً لمرتبته، والتي تصف اعتماد سرعة التفاعل على تراكيز المواد المتفاعلة. تتميز تفاعلات المرتبة الأولى، الشائعة في عمليات التحلل والتفكك مثل بعض تفاعلات التأين، بأن زمن نصف التفاعل فيها ثابت ولا يعتمد على التركيز الابتدائي، كما أن ثابت سرعتها مستقل عن التركيز الابتدائي. يمكن تحديد رتبة التفاعل تجريبياً من خلال تتبع تغير تركيز أحد النواتج أو المواد المتفاعلة مع الزمن، أو عن طريق متابعة خاصية فيزيائية مرتبطة بالتركيز، مثل الناقلية الكهربائية في التفاعلات التي يتغير فيها عدد الأيونات [5,6].

## 2- أهمية و هدف البحث:

تكمن أهمية البحث في تقديم فهم أعمق لآليات تأين الأحماض العضوية في المذيبات غير المائية، مما يسهم في تطوير تطبيقات عملية في المجالات الكهروكيميائية والصناعية. توفر الدراسة بيانات مرجعية دقيقة حول السلوك الحركي والترموديناميكي لمركبات السلفونيك النفثالينية، التي تُعد مكونات أساسية في الصناعات الصيدلانية والكيميائية. كما يُسهم التحليل الشامل لتفاعل التأين باستخدام قياسات الناقلية الكهربائية في تطوير طرق تحليلية جديدة لدراسة التفاعلات في الأوساط العضوية، مما يفتح آفاقاً لتطبيقات مبتكرة في مجالات المواد المتقدمة والتحفيز الكيميائي.

يهدف هذا البحث إلى:

1. تحديد الناقلية الكهربائية لمحاليل حمض AHNS باستخدام مذيبات عضوية (الميثانول، الإيثانول، الأسيتون، الدروبانول-2) ومقارنة كفاءة المذيبات العضوية في تأين الحمض.
2. تحديد الخصائص الترموديناميكية ( $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ) لتفاعل تأين حمض AHNS باستخدام أفضل مذيب (الميثانول).
3. دراسة الحركية الكيميائية للتفاعل وتحديد مرتبة التفاعل و طاقة التنشيط لتفاعل تأين حمض AHNS باستخدام مذيب الميثانول.

## 3- القسم التجريبي:

### 3-1- الأجهزة المستخدمة:

- سخانة مزودة بمحرك مغناطيسي للتحكم بدرجة الحرارة انتاج شركة Lap Tech الكورية .
- جهاز قياس الناقلية الكهربائية CONSORT صنع بلجيكا .
- أرلينة سعة 100mL ، بيشر سعة 50 mL ، دورق حجمي سعة 5 mL
- ميزان حرارة

### 3-2- المواد الكيميائية المستخدمة :

✓ 4 - أمينو -3- هيدروكسي النفتالين-1- سلفونيك (AHNS) ذات النقاوة 99%

من إنتاج شركة BATCH

✓ مذيبات: ميثانول، إيثانول، أسيتون، برنانول-2 ذات نقاوة 99.9% من إنتاج

شركة .PHAGA INDUSTRIES

### 3-3- تحضير محاليل (AHNS) باستخدام مذيبات مختلفة القطبية:

لدراسة تأثير قطبية المذيب، تم تحضير سلسلة من محاليل 4 - أمينو -3- هيدروكسي النفتالين-1- سلفونيك (AHNS) في عدة مذيبات. حُضِرَت جميع المحاليل بنفس الحجم (5mL) وبتركيز مختلفة ومتماثلة بالنسبة لجميع المذيبات المستخدمة وفق الجدول (1).

الجدول (1): كميات وراكيز مركب (AHNS) المستخدمة في تحضير المحاليل

ضمن مذيبات مختلفة.

Solvent used	quantity (g)(( AHNS)	[AHNS] (mol/L)
MeOH	0.118	0.1
	0.142	0.12
	0.165	0.14
	0.189	0.16
	0.213	0.18
	0.236	0.2
EtOH	0.118	0.1
	0.142	0.12
	0.165	0.14
	0.189	0.16
	0.213	0.18
	0.236	0.2
Me-CO-Me	0.118	0.1
	0.142	0.12
	0.165	0.14
	0.189	0.16
	0.213	0.18

دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تاين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية

	0.236	0.2
CH <sub>3</sub> -CHOH- CH <sub>3</sub>	0.118	0.1
	0.142	0.12
	0.165	0.14
	0.189	0.16
	0.213	0.18
	0.236	0.2

#### 4-3- طريقة قياس الناقلية الكهربائية للمحاليل (SNHA) المحضرة

تم قياس الناقلية الكهربائية للمحاليل المحضرة لمركب (AHNS) ضمن ظروف ثابتة من درجة الحرارة (14°C) والزمن (30min) باستخدام جهاز قياس الناقلية الكهربائية. لتحديد الشروط المثلى التي تحقق أعلى ناقلية كهربائية، تم قياس الناقلية لجميع محاليل المركبات المحضرة من أجل فقط التركيز 0.2M (0.236g/5mL). حيث تم دراسة تأثير متغيرين:

1. تأثير الزمن: قيست الناقلية الكهربائية عند ثبات درجة الحرارة وتغير زمن التحضير، كما هو موضح في الجدول (2).
2. تأثير درجة الحرارة: قيست الناقلية الكهربائية عند ثبات زمن التحضير وتغير درجة الحرارة، كما هو موضح في الجدول (3).

الجدول (2): العينات المحضرة لمحاليل لمركب (AHNS) لقياس الناقلية عند أزمنة مختلفة

ودرجة حرارة وتركيز ثابتين

Solvent used	t (min)
MeOH	30
	60
	90
	120
	150
EtOH	30
	60
	90
	120
	150
Me-CO-Me	30
	60
	90
	120
	150
CH <sub>3</sub> -CHOH-CH <sub>3</sub>	30
	60
	90
	120
	150

الجدول (3): العينات المحضرة لمحاليل لمركب (AHNS) لقياس الناقلية عند درجات حرارة

مختلفة وزمن وتركيز ثابتين

Solvent used	درجة الحرارة (K)
MeOH	287.15
	293.15
	298.15
	303.15
	308.15
EtOH	287.15
	293.15
	298.15
	303.15
	308.15
Me-CO-Me	287.15
	293.15
	298.15
	303.15
	308.15
CH <sub>3</sub> -CHOH-CH <sub>3</sub>	287.15
	293.15
	298.15
	303.15
	308.15
	287.15

#### 4- النتائج والمناقشة:

1-4- دراسة الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) العضوية المحضرة بتركيز مختلفة:

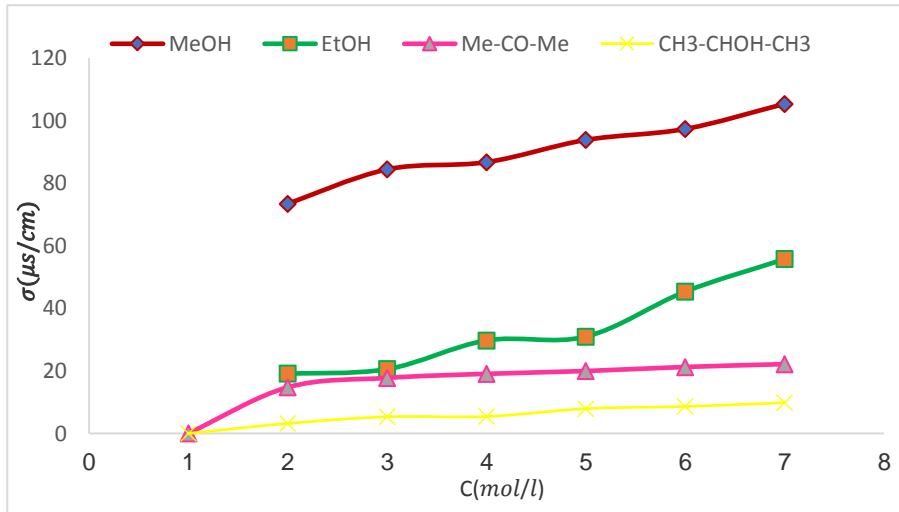
تم قياس الناقلية الكهربائية لمحاليل SNHA العضوية المحضرة بتركيز مولية مختلفة، حيث أجريت جميع القياسات تحت ظروف ثابتة من الحجم (5mL) والزمن (5min) ودرجة الحرارة (14°C). شملت الدراسة تقييم أداء أربعة مذيبات عضوية هي الميثانول

والإيثانول والأسيتون والبروبانول-2. وقد سُجلت قيم الناقلية الكهربائية المقاسة لكل عينة

الناقلية الكهربائية ( $\mu\text{S/cm}$ )				التركيز (mol/L)
ميثانول	إيثانول	أسيتون	2بروبانول-	
73.4	19.1	14.7	3.2	<b>0.1</b>
84.4	20.5	17.7	5.3	<b>0.12</b>
86.7	29.7	19	5.4	<b>0.14</b>
93.8	30.9	19.9	7.9	<b>0.16</b>
97.3	45.3	21.2	8.6	<b>0.18</b>
105.3	55.7	22.1	9.8	<b>0.2</b>

مع التركيز المولي الموافق لها، ودونت النتائج في الجدول (4).

الجدول(4): قيم لناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) بتركيز مختلفة مع ثبات الزمن والحرارة ويرسم العلاقة ما بين تغيرات الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) بدلالة تغيرات التركيز وفق المخطط البياني (1) التالي:



المخطط البياني (1): تغيرات الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) العضوية بدلالة تغير التركيز

أظهرت دراسة الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) في مذيبات مختلفة (الميثانول، الإيثانول، الأسيتون، البروبانول-2) عند تراكيز مختلفة مع ثبات الزمن ودرجة الحرارة وفق الجدول (1) والمنحني البياني (1)، وجود علاقة طردية بين زيادة التركيز المولي والناقلية الكهربائية، حيث تؤدي زيادة تركيز المركب (AHNS) إلى ارتفاع عدد حاملات الشحنة في المحلول، مما يعزز قدرته على التوصيل الكهربائي[7].

يُعزى الاختلاف في الناقلية بين المذيبات إلى عاملين رئيسيين:

- 1) القدرة على التأين: تسهل المذيبات البروتونية (كالميثانول والإيثانول) تأين المركب عبر تكوين روابط هيدروجينية، مما يزيد من تركيز الأيونات الحرة [8].
- 2) لزوجة الوسط: تعيق المذيبات عالية اللزوجة (كالبروبانول-2) حركة الأيونات حتى مع حدوث التأين [9]. بينما يُظهر الأسيتون - رغم قطبيته - ناقلية منخفضة لكونه مذيباً غير بروتوني يحد من عملية التأين [10].

**4-2- دراسة تغير الناقلية الكهربائية لمحاليل العضوية لـ (AHNS) عند أزمنة مختلفة وثبات كل من التركيز ودرجة الحرارة:**

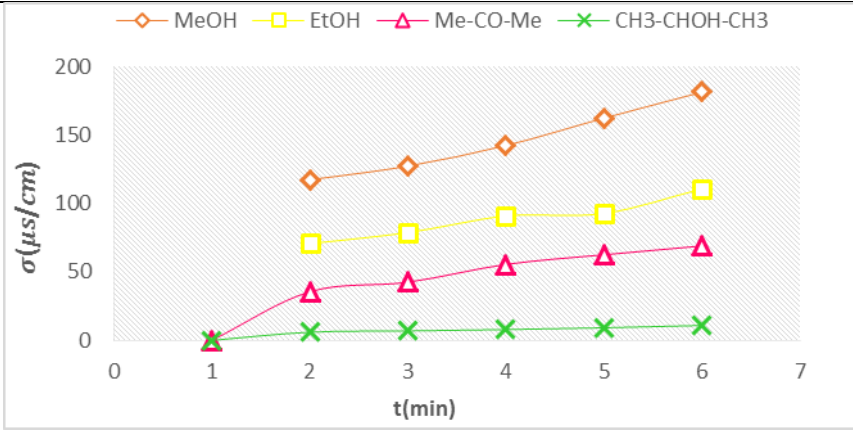
تم دراسة التغير الزمني للناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) المحضرة عند ثبات كل من التركيز (0.2mol/L)، ودرجة الحرارة (14°C) ودونت النتائج في الجدول (5) التالي:

**الجدول (5): قيم تغير الناقلية الكهربائية لمحاليل لمركب (AHNS) عند أزمنة مختلفة ودرجة**

**حرارة وتركيز ثابتين**

(μS/cm) الناقلية الكهربائية				(min) الزمن
ميثانول	إيثانول	أسيتون	2بروبانول	
117.3	70.7	35.5	6	<b>30</b>
127.3	78.7	42.5	6.9	<b>60</b>
142.3	90.8	55.5	7.9	<b>90</b>
162.3	92.7	62.5	9.2	<b>120</b>
181.3	110.7	69	10.9	<b>150</b>

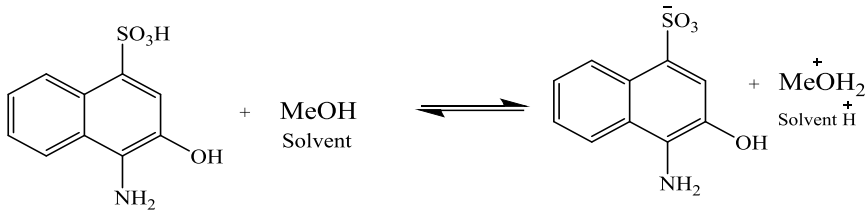
برسم العلاقة بين تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة تغير الزمن وفق المخطط (2) التالي:



المخطط البياني (2): تغيرات الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) بدلالة تغير الزمن

أظهرت نتائج دراسة الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) في مذيبات مختلفة (الميثانول، الإيثانول، الأسيتون، البروبانول-2) عند أزمنة مختلفة وثبات كل من التركيز ودرجة الحرارة وفق (الجدول (5) والمنحني البياني (2))، ما يلي:

- تزداد قدرة المذيب على إذابة وتفكيك AHNS بزيادة قطبيته وقدرته على تكوين روابط هيدروجينية (كونه مذيباً بروتونياً)
- تزداد الناقلية الكهربائية مع مرور الزمن، رغم ثبات درجة الحرارة والتركيز، حيث تعزى هذه الزيادة إلى حدوث تفاعل كيميائي بطيء في المحلول:



هذا التفاعل يؤدي إلى زيادة تدريجية في تركيز الأيونات الحاملة للشحنة، وهي المسؤولة مباشرة عن زيادة التوصيل الكهربائي.

الناقلية الكهربائية لمحلول ما تعتمد بشكل مباشر على وجود وتركيز الأيونات الحرة فيه. فكلما زاد عدد الأيونات في وحدة الحجم، زادت قدرة المحلول على نقل التيار الكهربائي. بما أن

دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تاين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية

المركب (AHNS) يحمل مجموعة سلفونيك حمضية  $\text{SO}_3\text{H}$  - ومجموعة هيدروكسيل وأمين، فإنه يدخل في تفاعل بطيء مع المذيب، مما يولد أيونات جديدة بشكل مستمر مع تقدم الوقت [11].

3-4- دراسة الناقلية الكهربائية للمحاليل العضوية لـ (AHNS) عند درجات حرارة مختلفة وثابت كل من التركيز والزمن:

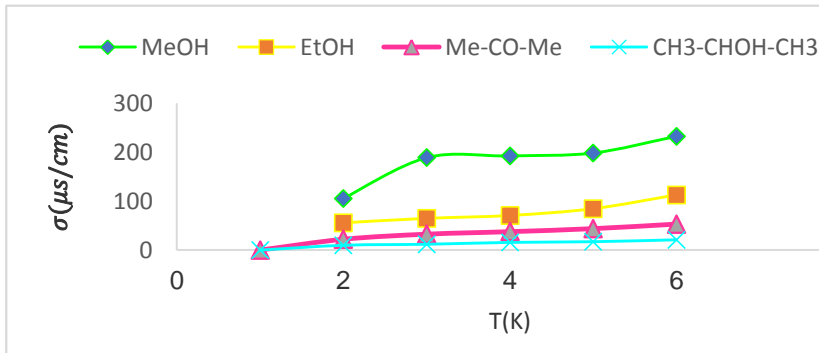
سُجّلت الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) العضوية المحضرة عند درجات حرارة مختلفة وثبات كل من التركيز (0.2mol/L)، والزمن (30min)، ودونت النتائج في الجدول (6)

الناقلية الكهربائية ( $\mu\text{s}/\text{Cm}$ )				الحرارة (K)
بروبانول 2	أسيتون	إيثانول	ميثانول	
9.8	22.1	55.7	105.3	287.15
11.9	32.5	64.8	188.8	293.15
15.7	37.6	70.7	192.3	298.15
17.1	43.8	84.6	198.3	303.15
21	53.1	112.7	232.3	308.15

التالي:

الجدول (6): قيم تغير الناقلية الكهربائية لمحاليل لمركب (AHNS) عند درجات حرارة مختلفة وزمن وتركيز ثابتين

ويرسم العلاقة ما بين تغيرات الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) بدلالة تغير درجة الحرارة وفق المخطط البياني (3) التالي:



**المخطط البياني (3):** تغيرات الناقلية الكهربائية لمحاليل (AHNS) بدلالة تغير درجة الحرارة أظهرت دراسة الناقلية الكهربائية لمحاليل في مذيبات مختلفة (الميثانول، الإيثانول، الأسيتون، البروبانول-2) عند درجات حرارة مختلفة مع ثبات التركيز و الزمن وفق الجدول (6) والمنحني البياني (3))، ما يلي:

1. الميثانول هو أفضل مذيب لمركب AHNS بسبب قطبيته العالية وقدرته البروتونية على تكوين روابط هيدروجينية، مما يعزز الذوبان والتأين .
2. تؤكد النتائج الطبيعية الأيونية لمركب AHNS ، حيث تتفكك مجموعة السلفونيك (-SO<sub>3</sub>H) في المحاليل القطبية منتجة أيونات تزيد الناقلية الكهربائية .
3. زيادة درجة الحرارة تزيد الناقلية الكهربائية بشكل ملحوظ بسبب انخفاض لزوجة المذيب وزيادة الطاقة الحركية والانتشار للأيونات [12] .

#### 4-4- دراسة الناقلية الكهربائية لمحلول AHNS في الميثانول ترموديناميكياً:

بما أن محلول AHNS في الميثانول أعطى قيم للناقلية الكهربائية أفضل من محاليله في المذيبات الأخرى ( الإيثانول، الأسيتون، البروبانول-2)، لذا تم دراسة الناقلية لهذا المحلول ترموديناميكياً وفق الخطوات التالية:

- 1- قياس الناقلية الكهربائية لمحلول AHNS في الميثانول وفق تراكيز ثابتة ودرجات حرارة مختلفة، حيث قيست باستخدام جهاز الناقلية الكهربائية ودونت النتائج بالجدول (7).

الجدول (7): قيم الناقلية الكهربائية لمحلول AHNS في الميثانول وفق تراكيز ثابتة ودرجات

حرارة مختلفة

الميثانول ( $\mu\text{s/cm}$ )	T(K)	C (mol/L)
73.4	287.15	<b>0.1</b>
115.5	293.15	
125.5	298.15	
140.1	303.15	
160.5	308.15	
84.4	287.15	<b>0.12</b>
129.9	293.15	
140.1	298.15	
150	303.15	
170.6	308.15	
86.7	287.15	<b>0.14</b>
145.2	293.15	
160	298.15	
165	303.15	
188.5	308.15	
93.8	287.15	<b>0.16</b>
160	293.15	
176.1	298.15	
178	303.15	
195.1	308.15	
97.3	287.15	<b>0.12</b>
175.8	293.15	
188.8	298.15	
191	303.15	
210.3	308.15	
105.3	287.15	<b>0.2</b>
188.8	293.15	
192.3	298.15	
198.3	303.15	

سلسلة العلوم الأساسية أ.د. صالح الرحيل	الاء قمحية	مجلة جامعة حمص المجلد 47 العدد 22 عام 2025
232.3	308.15	

2- تحديد الناقلية المولية  $\lambda$ :

تم حساب الناقلية المولية ( $\lambda$ ) لمحلول AHNS لكل تركيز عند كل درجة حرارة باستخدام العلاقة

الأساسية:

$$\lambda = \frac{\sigma}{C}$$

حيث:

$\lambda$ : الناقلية المولية ووحدها ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ).

$\sigma$ : الناقلية النوعية ووحدها ( $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ).

$C$ : التركيز المولي ووحدها ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

3- تحديد الناقلية المولية عند التخفيف اللانهائي ( $\lambda^\circ$ ) ودرجة التفكك ( $\alpha$ ):

لتحديد الناقلية المولية عند التخفيف اللانهائي ( $\lambda^\circ$ ) لمحلول AHNS بالميتانول، تم الاعتماد

على قانون كروش للمحاليل المخففة ( $\alpha = 1$ ) [13,14]:

$$\lambda = \lambda^\circ - K \sqrt{C}$$

حيث (K) ثابت تجريبي.

بناءً على هذا القانون، فإن الرسم البياني للعلاقة بين  $\lambda$  و  $\sqrt{C}$  يعطي خطاً مستقيماً. تم تمديد هذا الخط إلى حين تقاطعه مع محور الناقلية (عندما  $\sqrt{C} = 0$ ) للحصول على قيمة  $\lambda^\circ$

بشكل مباشر (انظر المخطط البياني (4)).

مما سبق تم حساب درجة التفكك ( $\alpha$ ) وفق العلاقة التالية:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda^\circ}$$

4- حساب ثابت التفكك ( $K_a$ ):

باعتبار الحمض (AHNS) حمضاً ضعيفاً في وسط الميثانول، تم تحديد ثابت تفككه الحمضي ( $K_a$ ) استناداً إلى قياسات الناقلية المولية. يعتمد هذا التحديد على قانون أوستفالد للتخفيف، الذي يُشتق من مبدأ فعل الكتلة للتوازن الكيميائي. يُعد استخدام الميثانول كمذيب مهماً نظراً لتأثير خواصه المذيبة (كثابت العزل الكهربائي) على سلوك الحمض.

لحساب ثابت التفكك ( $K_a$ )، تم استخدام الصيغة التالية لقانون أوستفالد للتخفيف:

$$K_a = \frac{\alpha^2 \cdot C}{1 - \alpha}$$

حيث:

$K_a$ : ثابت تفكك الحمض (AHNS).

$\alpha$ : درجة التفكك.

$C$ : التركيز المولي الأولي للحمض (AHNS).

وأخيراً دونت النتائج بالجدول (8) التالي:

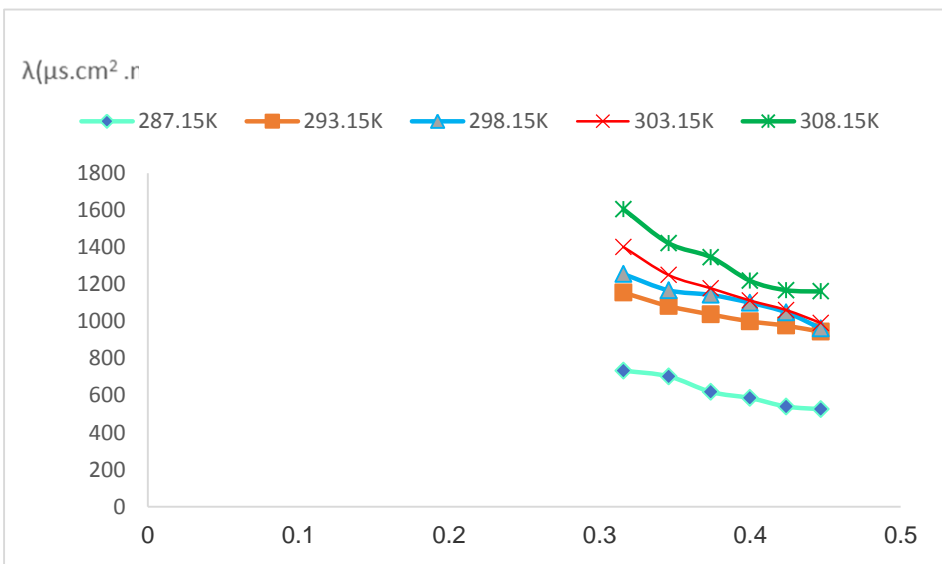
الجدول (8): قيم الناقلية المولية وثابت التفكك و درجة التشرذ لمحلول الحمض (AHNS)

في الميثانول وفق تراكيز ثابتة ودرجات حرارة مختلفة

$\ln K_a$	$K_a$	$\alpha$	$\log \lambda^{\circ}$	$\lambda^{\circ}$ ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ )	$\lambda$ ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ )	C (mol/l)	$\sqrt{C}$	T(K)
- 2.563	0.077	0.575	3.105	1276.1	734	0.1	0.31 6	287.1 5
- 2.513	0.081	0.551			703.3	0.12	0.34 6	
- 2.764	0.063	0.485			619.28	0.14	0.37 4	
- 2.780	0.062	0.459			586.25	0.16	0.4	
- 2.900	0.055	0.423			540.55	0.18	0.42 4	
- 2.864	0.057	0.412			526.5	0.2	0.44 7	
- 1.766	0.171	0.708	3.211	1629.1	1155	0.1	0.31 6	293.1 5
- 1.851	0.157	0.664			1082.5	0.12	0.34 6	
- 1.864	0.155	0.636			1037.14	0.14	0.37 4	
- 1.864	0.155	0.613			1000	0.16	0.4	
- 1.826	0.161	0.599			976.66	0.18	0.42 4	
- 1.838	0.159	0.579			944	0.2	0.44 7	
- 2.040	0.130	0.663	3.277	1892.9	1255	0.1	0.31 6	298.1 5
- 2.137	0.118	0.616			1167.5	0.12	0.34 6	
- 2.055	0.128	0.603			1142.85	0.14	0.37 4	
- 2.055	0.128	0.581			1100.62	0.16	0.4	
- 2.095	0.123	0.554			1048.88	0.18	0.42 4	
- 2.263	0.104	0.507			961.5	0.2	0.44 7	

دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تاين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات  
عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية

- 2.364	0.094	0.609	3.361	2299	1401	0.1	0.31 6	<b>303.1 5</b>
- 2.563	0.077	0.543			1250	0.12	0.34 6	
- 2.590	0.075	0.512			1178.57	0.14	0.37 4	
- 2.631	0.072	0.483			1112.5	0.16	0.4	
- 2.659	0.070	0.461			1061.11	0.18	0.42 4	
- 2.733	0.065	0.431			991.5	0.2	0.44 7	
- 2.375	0.093	0.607	3.421	2640.5	1605	0.1	0.31 6	<b>308.1 5</b>
- 2.590	0.075	0.538			1421.66	0.12	0.34 6	
- 2.617	0.073	0.509			1346.42	0.14	0.37 4	
- 2.764	0.063	0.461			1219.37	0.16	0.4	
- 2.764	0.063	0.442			1168.33	0.18	0.42 4	
- 2.688	0.068	0.439			1161.5	0.2	0.44 7	



المخطط البياني (4): العلاقة بين  $\sqrt{C}$  و الناقلية المولية ( $\lambda$ ) لمحلول الحمض (AHNS) في الميثانول

5- ربط ثابت التفكك ( $K_a$ ) بدرجة الحرارة ( $T$ ) والثوابت الترموديناميكية ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ ):  
العلاقة الأساسية التي تربط ثابت التفكك ( $K_a$ ) بدرجة الحرارة ( $T$ ) والثوابت الترموديناميكية ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ ).

$$\Delta G = -RT \ln K_a$$

حيث:

$\Delta G$ : طاقة جيبس الحرة.

$R$ : ثابت الغازات ( $2.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ ).

$T$ : درجة الحرارة المطلقة.

$K_a$ : ثابت التفكك.

ثم حساب طاقة جيبس الحرة من العلاقة:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

وإدمج العلاقتين السابقتين نحصل على علاقة فانت هوف:

$$\ln K_a = -\Delta H/RT + \Delta S/R$$

بالرسم البياني للعلاقة  $\ln K_a$  و  $1/T$  يعطي خطأ مستقيماً لمحاليل الحمض (AHNS) في عند تراكيز مختلفة (المخطط البياني (5)). تم تمديد هذا الخط إلى حين تقاطعه مع محور ثابت التفكك يعطي  $(\Delta S/R)$ ، ومن الميل تم الحصول على  $(-\Delta H/R)$  ( انظر الجدول (9)).

الجدول (9): قيم الثوابت الترموديناميكية ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ ) لمحلول الحمض (AHNS) في

الميثانول عند تراكيز ودرجات حرارة مختلفة [14]

إيثانول $\Delta G$ (KJ/mol)	إيثانول $\Delta S$ (J/mol)	إيثانول $\Delta H$ (KJ/mol)	T(K)	C (mol/l)
8.818	24-	1.927	287.15	<b>0.1</b>
8.962			293.15	
9.082			298.15	
9.202			303.15	
9.322			308.15	
24.726	-48	10.943	287.15	<b>0.12</b>
25.014			293.15	
25.254			298.15	
25.494			303.15	
25.734			308.15	
14.290	-34	4.527	287.15	<b>0.14</b>
14.494			293.15	
14.664			298.15	
14.834			303.15	
15.004			308.15	
22.308	-48	8.525	287.15	<b>0.16</b>
22.596			293.15	
22.836			298.15	
23.076			303.15	
23.316			308.15	
17.911			287.15	
18.157			293.15	

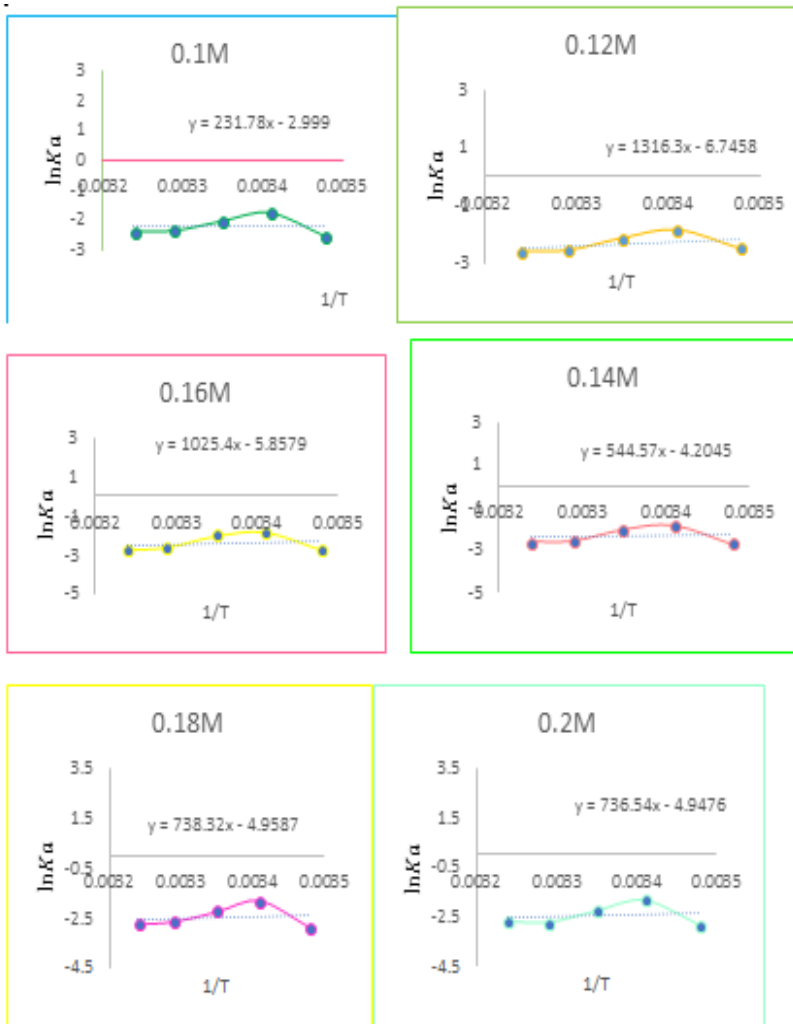
سلسلة العلوم الأساسية  
أ.د. صالح الرحيل

الاء قمحية

مجلة جامعة حمص  
المجلد 47 العدد 22 عام 2025

18.362	-41	6.138	298.15	<b>0.18</b>
18.567			303.15	
18.772			308.15	
17.896	-41	6.123	287.15	<b>0.2</b>
18.142			293.15	
18.347			298.15	
18.552			303.15	
18.757			308.15	

دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تاين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية



المخطط البياني (5): العلاقة بين  $1/T$  لمحاليل الحمض (AHNS) في الميثانول عند تراكيز مختلفة

مما سبق لوحظ أن القيم الموجبة لطاقة جيبس الحرة ( $\Delta G^\circ > 0$ ) وفق التراكيز ودرجات الحرارة المدروسة تشير إلى أن عملية تفكك حمض (AHNS) في الميثانول هي عملية غير تلقائية. كما تدل القيم الموجبة للتغير في الإنثالبية ( $\Delta H^\circ > 0$ ) على أن العملية ماصة للحرارة.

تعزى عدم التلقائية إلى الطبيعة غير المائية للميثانول، الذي يتميز بثابت عازل منخفض مقارنة بالماء، مما يجعله وسطاً غير فعال في استقرار الأيونات الناتجة عن التفكك (أيون الهيدروجين والأنيون المقابل). في هذه الحالة، تكون المساهمة الطاقية ( $\Delta H^\circ > 0$ ) أكبر من مساهمة زيادة الإنتروبية ( $T\Delta S^\circ$ )، مما يحافظ على قيمة  $\Delta G^\circ$  موجبة [14,15].

6- حساب طاقة التنشيط :

تم حساب طاقة التنشيط ( $E_a$ ) لحركة أيونات الحمض باستخدام نظرية أرينوس، حيث تعبر العلاقة بين الناقلية المولية المكافئة ودرجة الحرارة عن اعتماد حركة الأيونات على الطاقة الحرارية، ويمكن تمثيلها بالصيغة الأسية التالية [16]:

$$= A e^{\frac{-\Delta E_a}{RT}} = \log \lambda^\circ = \log A - (\Delta E_a / 2.303RT) \lambda^\circ$$

حيث :

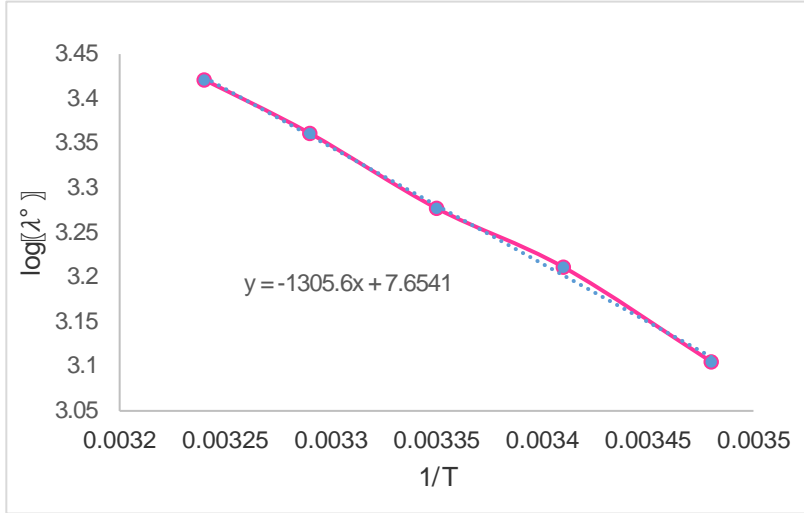
A: عامل التردد

$\lambda^\circ$ : الناقلية المولية المكافئة وواحدتها ( $\mu s/cm^2 \cdot mol \cdot l^{-1}$ ).

$E_a$ : طاقة التنشيط وواحدتها ( $KJ/mol, K^{-1}$ ).

بالرسم البياني للعلاقة بين  $\log \lambda^\circ$  و  $1/T$  وفق المخطط البياني (5) يعطي خطأ مستقيماً لمحلول حمض (AHNS) في الميثانول. تم تمديد هذا الخط إلى حين تقاطعه مع محور

يعطي  $(\log A)$ ، ومن الميل تم الحصول على  $(-\Delta E_a/2.303R)$ .



المخطط البياني (5): العلاقة بين  $\log \lambda^2$  و  $1/T$  لمحلول حمض (AHNS) في الميثانول عند تراكيز مختلفة

$$\Delta E_a = -1305.6 \times 2.303 \times 8.314 = 24.998 \text{ KJ/mol. } K^{-1}$$

تُشير قيمة طاقة التنشيط المرتفعة (24.998 كيلوجول/مول) إلى صعوبة حركة أيونات الحمض ضمن وسط الميثانول. يُعزى ذلك إلى حجم جزيئات المذيب الكبيرة التي تعيق حركة الأيونات مقارنةً بالمذيبات المائية، وضعف قدرته على استقرار الشحنات الأيونية، مما يزيد من الحاجز الطاقي اللازم لانتقال الأيونات [17].

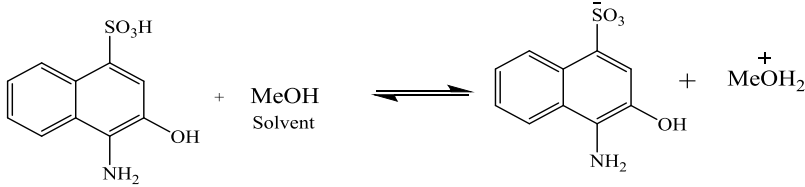
#### 5-4- دراسة الناقلية الكهربائية لمحلول حمض AHNS في الميثانول حركياً:

تم قياس الناقلية الكهربائية لمحلول حمض AHNS في الميثانول بتركيز ثابت (0.2M) عند أزمنة مختلفة (0, 30, 60, 90, 120, 150)، باستخدام جهاز الناقلية الكهربائية، حيث بدء قياس الناقلية الكهربائية عند الزمن صفر ( $t = 0$ ) ودونت النتائج بالجدول (10).

الجدول (10): قيم الناقلية الكهربائية (0.2M) لمحلول حمض AHNS في الميثانول عند أزمنة مختلفة

$\sigma (\mu\text{s}/\text{cm})$	t (min)
105.3	0
117.3	30
127.3	60
142.3	90
162.3	120
181.3	150

حيث تم ثبات الناقلية الكهربائية بعد 24 ساعة  $\sigma_{\infty} = 285 \mu\text{s}/\text{cm}$



لوحظ من خلال الجدول (10) السابق زيادة منتظمة في الناقلية الكهربائية لمحلول حمض AHNS في الميثانول مع مرور الزمن. هذه الزيادة ناتجة عن حدوث عملية تحول كيميائي مستمرة تنتج أنواعاً أيونية إضافية

. يُعزى هذا السلوك إلى تفاعل الحمض مع المذيب، حيث تؤدي الزيادة في تركيز الأيونات

الحررة إلى ازدياد الناقلية الكهربائية حتى بلوغ حالة الاستقرار بعد 24 ساعة [17].

تُعد عملية تأين حمض AHNS في الميثانول تفاعلاً من المرتبة الأولى، حيث يتميز بعدم اعتماد سرعة تفكك الجزيء على التركيز. يظهر هذا من خلال ثابت سرعة التفكك الذي لا يتأثر بتركيز الحمض.

حيث يعمل الميثانول كمذيب دون المشاركة كمتغير في معادلة السرعة، وتبقى سرعة التفاعل مستقلة عن تركيزه عند وجوده بكميات فائضة. تعتمد الزيادة في الناقلية الكهربائية ( $d\sigma/dt$ )

بشكل مباشر على تركيز جزيئات الحمض غير المتأينة المتبقية في المحلول، مما يتوافق مع العلاقة:

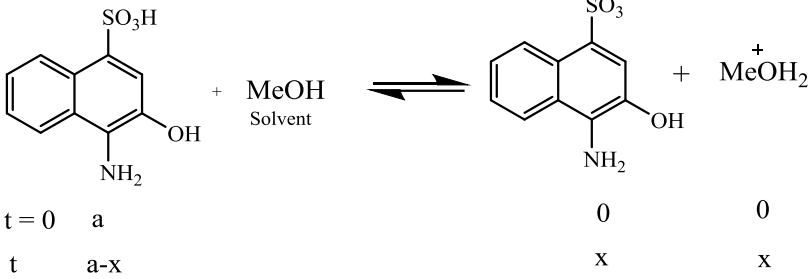
$$V = d\sigma/dt = k [AHNS]$$

حيث تمثل  $k$  ثابت سرعة التفكك من المرتبة الأولى الذي لا يتعلق بالتركيز طوال سير التفاعل. يتوافق هذا السلوك مع النموذج الحركي للتفاعلات من المرتبة الأولى [17,18].  $\sigma_0$  : الناقلية عند الزمن صفر (قبل بدء التفاعل)

$\sigma_t$ : الناقلية عند الزمن  $t$ .

$\sigma_\infty$ : الناقلية عند اكتمال التفاعل (عند اللانهاية).

$k$ : ثابت السرعة من المرتبة الأولى.



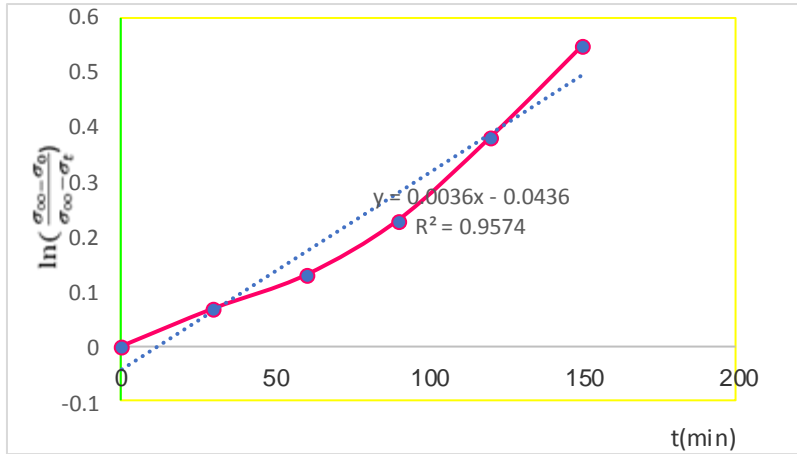
نظراً لأن التغير في الناقلية  $(\sigma_t - \sigma_0)$  يتناسب مع تركيز الناتج  $(x)$ ، و  $(\sigma_\infty - \sigma_t)$  يتناسب مع تركيز المتفاعل المتبقي  $(a - x)$ ، فإن معادلة السرعة من المرتبة الأولى (انظر الجدول (11) من أجل  $T_1=287.15K$  و الجدول (12) من أجل  $T_2=308.15K$ ) تأخذ الشكل:

$$\ln( (\sigma_\infty - \sigma_0) / (\sigma_\infty - \sigma_t) ) = k t$$

$$\ln\left(\frac{\sigma_\infty - \sigma_0}{\sigma_\infty - \sigma_t}\right) = k t$$

الجدول (11): المعلومات الحركية لتأين حمض AHNS في الميثانول باستخدام قياسات الناقلية الكهربائية عند درجة الحرارة (T<sub>1</sub>=287.15K)

$\ln\left(\frac{\sigma_{\infty}-\sigma_0}{\sigma_{\infty}-\sigma_t}\right)$	$\sigma_{\infty}-\sigma_t$	$\sigma_{\infty}-\sigma_0$	$\sigma_0$	$\sigma_{\infty}$	$\sigma_t$ ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	t (min)
0	179.7	179.7	105.3	285	105.3	0
0.069	167.7				117.3	30
0.130	157.7				127.3	60
0.230	142.7				142.3	90
0.381	122.7				162.3	120
0.549	103.7				181.3	150

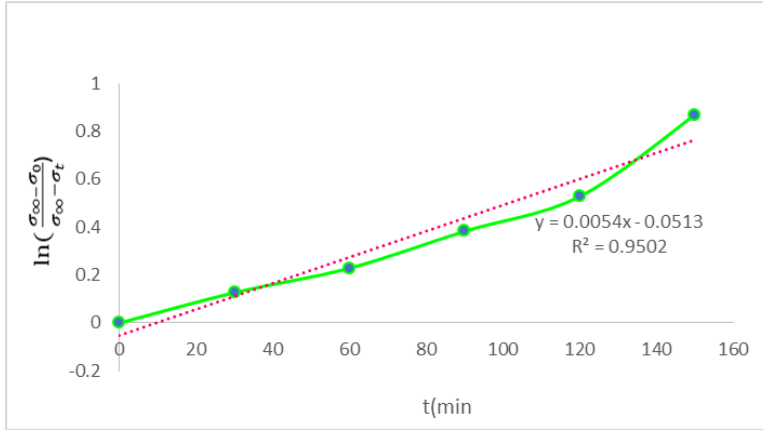


المخطط البياني (6): العلاقة بين  $\ln\left(\frac{\sigma_{\infty}-\sigma_0}{\sigma_{\infty}-\sigma_t}\right)$  و الزمن (t) عند (T<sub>1</sub>=287.15K)

دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تأين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية

الجدول (12): المعلومات الحركية لتأين حمض AHNS في الميثانول باستخدام قياسات الناقلية الكهربائية عند درجة الحرارة ( $T_2=308.15K$ )

$\ln\left(\frac{\sigma_{\infty}-\sigma_0}{\sigma_{\infty}-\sigma_t}\right)$	$\sigma_{\infty}-\sigma_t$	$\sigma_{\infty}-\sigma_0$	$\sigma_0$	$\sigma_{\infty}$	$\sigma_t$	t (min)
0	0	143.2	232.3	375.5	232.3	0
0.127	126				249.5	30
0.229	113.8				261.7	60
0.383	97.6				277.9	90
0.528	84.4				291.1	120
0.869	60				315.5	150



المخطط البياني (6): العلاقة بين  $\ln\left(\frac{\sigma_{\infty}-\sigma_0}{\sigma_{\infty}-\sigma_t}\right)$  و الزمن (t) عند ( $T_2=308.15K$ )

عند ( $T_1=287.15K$ )  $m_1 = k_1 = 0.0036 \text{min}^{-1}$

عند ( $T_2=308.15K$ )  $m_2 = k_2 = 0.0054 \text{min}^{-1}$

تم التحقق من ثابت السرعة بحساب زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  باستخدام العلاقة الخاصة بالمرتبة الأولى:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{0.0036} = 192.5 \text{min}, \quad T_1 = 287.15\text{K}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{0.0036} = 128.3 \text{min}, \quad T_2 = 308.15\text{K}$$

حساب سرعة التفاعل:

بما أن التفاعل من المرتبة الأولى، يتم حساب سرعة التفاعل عند أي زمن  $t$  عند درجة الحرارة  $(T_1 = 287.15\text{K})$  (انظر الجدول (13)) وعند درجة الحرارة  $(T_2 = 308.15\text{K})$  (انظر الجدول (14)) بالعلاقة:

$$\vartheta = k \cdot [A]_t = k \cdot [AHNS]_t$$

حيث:

$[A]_t$ : و تركيز المادة المتفاعلة (حمض AHNS) عند الزمن  $t$ ، ويُحسب من العلاقة:

$$[AHNS]_t = [AHNS]_0 \cdot e^{-kt}$$

$[AHNS]_0$ : التركيز الابتدائي عند الزمن  $t=0$ ، و ثابت السرعة  $k_1 = 0.0036 \text{min}^{-1}$  و  $k_2 = 0.0054 \text{min}^{-1}$

الجدول (13): قيم تركيز المادة المتفاعلة وسرعة التفاعل عند درجة حرارة  $287.15\text{K}$  وتركيز

ابتدائي  $0.2\text{M}$

$\vartheta_t (\text{mol. l}^{-1}. \text{min}^{-1}.)$	$\vartheta_0 (\text{mol. l}^{-1}. \text{min}^{-1}.)$	$[A]_t (\text{mol. l}^{-1}.)$	$[A]_0 (\text{mol. l}^{-1}.)$	$t (\text{min})$
0.00072	0.00072	0.2	0.2	0
0.00064		0.179		30
0.00057		0.161		60
0.00051		0.144		90
0.00046		0.129		120
0.00041		0.116		150

الجدول (14): قيم تركيز المادة المتفاعلة وسرعة التفاعل عند درجة حرارة  $308.15\text{K}$  وتركيز

ابتدائي  $0.2\text{M}$

$\vartheta_t (\text{mol. l}^{-1}. \text{min}^{-1}.)$	$\vartheta_0 (\text{mol. l}^{-1}. \text{min}^{-1}.)$	$[A]_t (\text{mol. l}^{-1}.)$	$[A]_0 (\text{mol. l}^{-1}.)$	$T$
0.00108		0.2		0
0.000918		0.170		30
0.000778		0.144		60

دراسة ترموديناميكية وحركية لتفاعل تأين حمض 4-أمينو-3-هيدروكسي نفتالين-1-سلفونيك في مذيبات عضوية مختلفة باستخدام الناقلية الكهربائية

0.000664	0.00108	0.123	0.2	90
0.000562		0.104		120
0.000475		0.088		150

**ملاحظة:** سرعة التفاعل الابتدائية:

$$\vartheta_{01}=k_1 \cdot [A]_0=(0.01) \cdot (0.2)=0.00072 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\vartheta_{02}=k_2 \cdot [A]_0=(0.011) \cdot (0.2)=0.00108 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

مما سبق وجد أن تفاعل تفكك حمض AHNS في الميثانول يتبع حركية المرتبة الأولى، حيث يتناقص تركيز الحمض وسرعة التفاعل باستمرار مع ازدياد الزمن. يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة ملحوظة في ثابت السرعة، مما يُظهر اعتماداً واضحاً لسرعة التفاعل على درجة الحرارة.

**حساب طاقة التنشيط (Ea):**

بمقارنة ثابتي السرعة عند درجتي الحرارة T<sub>1</sub> و T<sub>2</sub> وباستخدام معادلة أرينوس:

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{0.0054}{0.0036}\right) = \frac{Ea}{8.314} \left(\frac{1}{287.15} - \frac{1}{308.15}\right) = 14221.500 \text{ J/mol}$$

$$= 14.221 \text{ KJ/mol}$$

مما سبق وجد أن تفاعل تأين حمض AHNS في الميثانول يعتمد على درجة الحرارة وفقاً لحركية تفاعل المرتبة الأولى عند كلا درجتي الحرارة. تشير قيمة طاقة التنشيط المنخفضة نسبياً إلى أن التفاعل لا يحتاج إلى حاجز طاقة مرتفع للحدوث [19].

### 5- الاستنتاجات والتوصيات:

1. وجد أن الميثانول هو أنسب مذيب لمركب AHNS بسبب قطبيته العالية وقدرته البروتونية على تكوين روابط هيدروجينية، مما يعزز الذوبان والتأين.

2. يتبع تفاعل تفكك حمض AHNS في الميثانول حركية التفاعلات من المرتبة الأولى، حيث يتناقص تركيز الحمض وسرعة التفاعل باستمرار مع تقدم الزمن.
3. تزداد الناقلية الكهربائية وثابت سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة، حيث يؤدي ارتفاع الحرارة من 287.15 K إلى 308.15K إلى زيادة ثابت السرعة من  $0.0036\text{min}^{-1}$  إلى  $0.0054\text{min}^{-1}$ .
4. إن عملية التفكك غير تلقائية ( $\Delta G^\circ > 0$ ) وماصة للحرارة ( $\Delta H^\circ > 0$ ) ، مع قيمة طاقة تنشيط تبلغ  $14.29\text{kJ/mol}$ .
5. تتناسب الناقلية الكهربائية طردياً مع تركيز المحلول وتزداد مع مرور الزمن بسبب تكون أيونات إضافية ناتجة عن تفاعل التفكك.

### التوصيات:

1. استخدام محلول حمض AHNS - ميثانول في التطبيقات الكهروكيميائية بسبب خواصه التوصيلية الجيدة واستقراره الزمني.
2. العمل عند درجات حرارة مرتفعة حوالي (308K) لتعزيز كفاءة التفكك.
3. إجراء دراسات حيوية لتقييم فعالية AHNS في التطبيقات الصيدلانية بسبب وجود مجموعات الأمين والهيدروكسيل في بنيته .

## 6References – المراجع:

- [1]. Marcus Y. Internal pressure of liquids and solutions. *Chemical Reviews*. 2013 Aug 14;113(8):6536-51.
- [2]. Gao L, Chen Z, Yang H, Wan X, Wang M. Hydrodynamic pressure law of ground-rested circular RC tank under bi-directional horizontal seismic action. *Plos one*. 2022 Mar 22;17(3):e0265528.
- [3]. Geto A, Brett CM. Electrochemical synthesis, characterisation and comparative study of new conducting polymers from amino-substituted naphthalene sulfonic acids. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 2016 Nov;20(11):2969-79.
- [4]. Bard AJ, Faulkner LR. *Electrochemical methods*, 2001, - Bard Faulkner.
- [5]. Atkins PW, De Paula J. *Kurzlehrbuch Physikalische Chemie: für natur-und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge*. John Wiley & Sons; 2019 Nov 11.
- [6]. Zhao, C., Burrell, G., Torriero, A. A. J., Separovic, F., & Bond, A. M. (2008). Electrochemistry of Room Temperature Protic Ionic Liquids. *The Journal of Physical Chemistry B*, 112(23), 6923–6936.
- [7]. Atkins P, De Paula J, Friedman R. *Physical chemistry: quanta, matter, and change*. Oxford University Press; 2014.
- [8]. Nasser HN, Hamoudeh DH. Manufacturing electrical conductive cell and studying the optimum conditions of its work and analytical applications. *Latakia University Journal-Basic Sciences Series*. 2020 Mar 9;42(1).
- [9]. Kanakubo M, Harris KR, Tsuchihashi N, Ibuki K, Ueno M. Effect of pressure on transport properties of the ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2007 Mar 1;111(8):2062-9.
- [10]. Chen X, Li Z, Zhao H, Li J, Li W, Han C, Zhang Y, Lu L, Li J, Qiu X. Dominant solvent-separated ion pairs in electrolytes enable superhigh conductivity for fast-charging and low-temperature lithium ion batteries. *ACS nano*. 2024 Mar 11;18(11):8350-9.

- [11]. Yin W, Ruckenstein E. Soluble polyaniline co-doped with dodecyl benzene sulfonic acid and hydrochloric acid. In *Solution and Surface Polymerization 2019* Apr 1 (pp. 275-286). CRC Press.
- [12]. Yuan H, Yang J, Wang M, Li H, Li Y, Li T, Ren B. Solubility measurement and data correlation of 2-ethoxy-1-naphthoic acid in twelve pure solvents at temperatures from 278.15 to 323.15 K. *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 2025 Jan 1;200:107365.
- [13]. Atkins P. Shriver and Atkins' inorganic chemistry. Oxford University Press, USA; 2010.
- [14]. Kratochvil B, Yeager HL. Conductance of electrolytes in organic solvents. In *Nonaqueous chemistry 2006* Apr 20 (pp. 1-58). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [15]. Smith RM, Martell AE. Critical stability constants: second supplement. New York: Plenum Press; 1989.
- [16]. Hammad WA, El-Hammamy NH, Morshidy MH, Alkamis K, Darweesh MA. Electrical conductivity and thermodynamic studies on Sodium Dimethyldithiocarbamate in non aqueous solvents Dimethylformamide (DMF), at different temperatures. *Scientific reports*. 2022 Sep 17;12(1):15634.
- [17]. Bard AJ, Faulkner LR, White HS. *Electrochemical methods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons; 2022 May 3..
- [18]. Espenson JH. *Chemical kinetics and reaction mechanisms*. New York: McGraw-Hill; 1995 Jan.
- [19]. Atkins PW, De Paula J, Keeler J. *Atkins' physical chemistry*. Oxford university press; 2023.
- [20]. Shariati-Rad, M., Irandoust, M., & Niazi, F. (2015). Quantitation of trace amounts of nitrite in water samples using 4-amino-3-hydroxynaphthalene-1-sulfonic acid and central composite design.