

تحضير وتوصيف بولي (بارا أمينو فينول) في وسط حامضي ودراسة حركيته وثباته الحراري

جهينه محمد الغدير *

عضو هيئة تعليمية، قسم الكيمياء - كلية العلوم، جامعة دمشق.
juhaina.alghdir@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تدخل البوليمرات الناقلة في العديد من التطبيقات الصناعية نظراً لخصائصها الهامة في الناقلية الكهربائية. يهدف هذه الدراسة تحضير بولي (بارا أمينو فينول) عند درجة حرارة المختبر في وسط حامضي بوجود بير كبريتات الأمونيوم مؤكسداً. وصِفَ البوليمر الناتج باستعمال FTIR، فلوحظَ ظهور عصابة امتصاص تعود لزمرة (NH) مما يدل على حدوث البلمرة عن طريق (NH₂) الموجودة في بارا أمينو فينول. دُرِسَتْ الخصائص المورفولوجية لسطح بولي (بارا أمينو فينول) باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح (SEM). أظهرت عينة البوليمر سطحاً خشن بجسيمات ذات أبعاد ميكروية. دُرِسَ الثبات الحراري للبوليمر باستعمال التحليل الحراري الكتلبي (TGA)، فوجدَ بأنه يتألف من ثلاثة مراحل تفكك. كما وُحِدَتْ درجة حرارة الذروة عند كل مرحلة تفكك باستعمال منحنى التفاضل الوزني الحراري (DTG). أُجِرِيَ المسح الحراري التفاضلي (DSC) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) للبوليمر المُحضَّر تبين أن البوليمر المحضَّر لا يمتلك درجة انصهار وانتقال زجاجي بسبب تفكك البوليمر قبل أن يصل للانصهار. سُحِبَتْ طيوف الامتصاص الجزيئي للبوليمر المحضَّر في المجال المرئي Vis بواسطة جهاز Spectroscopy (UV-Vis) حيث ظهرت قمة امتصاص أعظمي لمحاليل البوليمر المحضَّر عند طول موجة أعظمي (550 nm) فكان معامل الامتصاص الجزيئي مساوياً إلى (60.7 L.cm⁻¹.mol⁻¹). كما ويدرس هذا البحث حركية تشكُّل بولي (بارا أمينو فينول)، فوجدَ بأن تفاعل بلمرة بارا أمينو فينول يعدُّ تفاعلاً من المرتبة الأولى وبلغت قيمة ثابت السرعة (1.79X10⁻⁴ sec⁻¹).

الكلمات المفتاحية: البوليمرات الناقلة، بارا أمينو فينول، حركية البلمرة، الثبات الحراري، مرتبة التفاعل، TGA، UV-Vis.

تاريخ الإيداع: 2024/05/07

تاريخ القبول: 2024/07/03



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص
CC BY-NC-SA 04

Preparation and characterization of Poly(*p*-Aminophenol) in an acidic medium and Study of Its Kinetics and Thermal stability

Juhaina Mohammad Alghdir

Member of The Teaching Staff, Department of Chemistry, Faculty of Science, Damascus University. juhaina.alghdir@damascusuniversity.edu.sy

Abstract

Conducting polymers are used in many industrial applications due to their important electrical conductivity properties. This study aims to prepare the poly (*p*-Aminophenol) preparation at laboratory temperature in an acidic medium, in the presence of ammonium pyrosulfate as an oxidant. The resulting polymer was characterized using (FTIR), and it was noted that the (NH) band appeared, which indicates that the polymerization reaction occurred through (NH₂) that is present in (*p*-Aminophenol). The morphological properties of poly (*p*-Aminophenol) were studied using Scanning Electron Microscopy (SEM). The polymer sample showed a rough surface with particles of microscopic dimensions. The thermal stability of poly (*p*-Aminophenol) was analyzed using Thermogravimetric Analysis (TGA). It was found to consist of three dissociation steps. The peak temperature at each disintegration step was determined using a Differential Thermogravimetric curve (DTG). Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Differential Thermal Analysis (DTA) of the prepared polymer were performed. It was found that the polymer does not have any melting or glass transition point and disintegrates before melting. A spectroscopic study of the polymer was conducted using a Molecular Absorption Spectrophotometer in the visible field (Vis). It was found that the maximum absorption peak for polymer solutions is located at ($\lambda_{\max}=550\text{nm}$), and the value of the molecular absorption coefficient was calculated and was equal to ($60.7 \text{ L.cm}^{-1}.\text{mol}^{-1}$). This research also studies the formation kinetics of the polymer. It found that the polymerization reaction of poly (*p*-Aminophenol) was a first-order reaction and its velocity constant was ($1.79 \times 10^{-4} \text{ Sec}^{-1}$).

Received: 07/05/2024

Accepted: 03/07/2024



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Keywords: Conducting Polymers, *p*-Aminophenol, Polymerization Kinetics, Thermal Stability, Reaction Order, TGA, UV-Vis.

1- المقدمة:

تدخل البوليمرات في العديد من التطبيقات الكهربائية والإلكترونية نظراً للصفات النموذجية التي تتمتع فيها مثل؛ المرونة والقوة وقابلية التشكيل (Ebewe, 2000, 1). لكن كان يُنظر إليها على أنها عوازل كهربائية قبل اكتشاف البوليمرات الناقلة، حيث أحدثت ظهورها ثورة صناعية كبيرة بسبب خصائصها الكهربائية العائدة لثباتها وسهولة تحضيرها (Molapo et al, 2012, 11859) وناقليتها الكهربائية الجديرة بالملاحظة (Nezakati et al, 2018, 6766). أصبحت البوليمرات الناقلة موضع اهتمام كبير للتطبيق بين العلماء في صناعات مختلفة؛ مثل الفصل القائم على الغشاء، والطب الحيوي، وتكنولوجيا النانو، والحفز الكيميائي، والكيمياء الكهربائية، والمعالجة البيئية، والإلكترونيات وما إلى ذلك (Cao et al, 2022, 1; Ding et al, 2024, 253; Ensafi et al, 2022, 185; Ibanez et al, 2018, 4731; Namsheer et al, 2021, 5659; Nguyen et al, 2022, 429; Yamini et al, 2022, 91). يعدُّ البولي أنيلين واحداً من أكثر وأهم البوليمرات الناقلة التي تمت دراستها بشكل مكثف (AlFannakh et al, 2019, 347; Boeva et al, 2014, 144; Hafizah et al, 2021, 7). وفي عام 2021 أُجريت دراسة استعرضت فيها حركية تفاعل بلمرة الأنيلين في وسط حامضي بوجود بير كبريتات الأمونيوم (Alghdir et al, 2021, 7). تعتبر الأمينوفينولات مواد كهروكيميائية جديرة بالاهتمام لاحتوائها على مجموعتين هما (-NH₂) و(-OH) والتي يمكن أكسبتها على عكس الأنيلين ومشتقاته، وبالتالي يمكن أن تُظهر سلوكاً كهروكيميائياً مشابهاً للأنيلينات والفينولات (Dinç et al, 2014, 629). أُجريت في الآونة الأخيرة عدد كبير من الدراسات حول أورتو وميتا وبارا أمينو فينول (Alghdir et al, 2020, 13; Bereket et al, 1999, 57; Ivanov et al, 2008, 1204; Kar et al, 2008, 59; Kar et al, 2010, 1524; Kong et al, 2011, 2301; Thenmozhi et al, 2014). حُضِرَ بولي (بارا أمينو فينول) بالبلمرة الأنزيمية وُدِرِسَ الثبات الحراري للبوليمر وحركية تفككه (Park et al, 2015). استُخدمَ بولي (بارا أمينو فينول) في عدة تطبيقات منها في تحضير أجهزة الاستشعار الحيوية (Biosensors) عن طريق البلمرة الكهروكيميائية لبارا أمينو فينول، ووَصِفَ الإلكتروني في الحساس المُحصَّر من حيث الانتقائية والثبات وزمن استجابة (Ekinci et al, 1996, 6). تم في هذا البحث تحضير بولي (بارا أمينو فينول) بطريقة سهلة وبدرجة حرارة المختبر في وسط من حمض كلور الماء بوجود بير كبريتات الأمونيوم التي تعمل عاملاً مؤكسداً. وُصِفَ البوليمر الناتج وُدِرِسَ خواصه وثباته الحراري. ودرست حركية تفاعل تشكُّل بلمرته وُحَدِّدَت مرتبة التفاعل وثابت سرعته.

2- مواد البحث وطرائقه:**1-2-1- المواد والأدوات والأجهزة المستعملة:**

1-2-1-1- المواد المستخدمة: بارا أمينو فينول من إنتاج شركة سيغما، بير كبريتات الأمونيوم من إنتاج شركة سيغما، حمض كلور الماء 36.5% من إنتاج شركة ميرك، مذيبات عديدة: دي ميثيل سلفوكسيد (DMSO)، دي ميثيل فورم أميد (DMF)، نترا هيدروفوران (THF)، أسيتون، حمض النمل، ميتانول، وأيتانول 99.9% من إنتاج شركة سيغما.

1-2-1-2- الأدوات المستخدمة: استُخدمت مجموعة من الأدوات: مثل: ميزان إلكتروني (Sartorius Basic) صُنِعَ في سويسرا، سخان مغناطيسي صُنِعَ في إنكلترا، مُجَفِّف موديل: Jsof-100 صُنِعَ في كوريا، وأدوات زجاجية مختلفة الأشكال والقياسات.

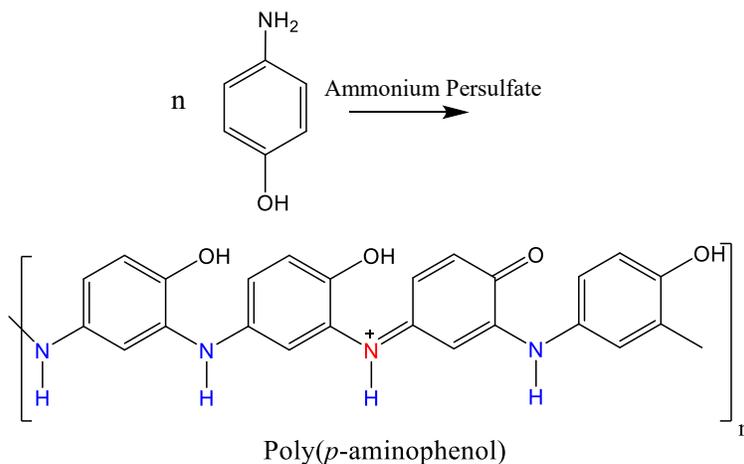
1-2-3- الأجهزة المستخدمة:

- مطيافية الأشعة ما تحت الأحمر FTTR Spectrophotometer طراز 4200، إنتاج شركة Jasco اليابانية، وسُجِّلَت أطياف البوليمرات المُحصَّرة.
- المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) Electronic Microscopy من إنتاج شركة TESCAN.

- التحليل الحراري الوزني (TG) Thermogravimetry والمسعّر التفاضلي (DSC) Differential Scanning Calorimetry، موديل SDT Q600- TA Instruments، شركة بيم جوستار تابان-إيران، صُنِعَ في إنكلترا. تم تطبيق التحلل الحراري للبوليمر المدروس في نطاق $^{\circ}\text{C}$ (30-1000) بمعَدَل تسخين 10 درجة مئوية/دقيقة.
 - جهاز طيف Optizen UV-Vis موديل OUV322 من إنتاج شركة Mecasys Co.
- 2-2- الطرائق العملية المتبعة:

2-2-1- تحضير بولي (بارا أمينو فينول):

يتم وزن (5g) من بارا أمينو فينول، ثم يضاف إليه بالتدريج محلولاً من بير كبريتات الأمونيوم (المُحَصَّرَة مسبقاً بحل (6.25g) من بير كبريتات الأمونيوم في (80ml) من حمض كلور الماء (1M)، يلاحظ تلوّن المحلول باللون الأزرق بسرعة نتيجة لحدوث البلمرة، ثم يغمق فيتحوّل إلى أزرق قاتم مائل إلى الأسود، بعدها تركّ التفاعل لمدة ساعة مع التحريك لتتمام حدوث التفاعل. فُصِلَ الراسب بالإبانة عن الرشاحة وغُسِلَ الراسب بمحلول قلوي وبعدها غُسِلَ بالماء المقطّر، بعدها جُفِّفَ الناتج وحُفِظَ للاستعمال لاحقاً. يوضّح الشكل (1) معادلة تحضير (بولي بار أمينو فينول).



الشكل 1- معادلة تحضير بولي (بارا أمينو فينول)

2-2-2- الدراسة الطيفية لبولي (بارا أمينو فينول):

حُصِّرَت سلسلة محاليل بارا أمينو فينول بوجود حمض كلور الماء مع المؤكسد بير كبريتات الأمونيوم. يبين الجدول (1) التراكيز المستخدمة لكل من المونومير والمؤكسد، تُركِبَت المحاليل عند الدرجة $^{\circ}\text{C}$ 25 لمدة 4 ساعات حتى يحدث تفاعل البلمرة، حيث أنّ ازدياد الشدة اللونية للمحاليل (أزرق غامق) دليل على انتهاء التفاعل، بعدها أُجْرِيَ مسح طيفي باستعمال جهاز الامتصاص الجزيئي في المجال المرئي (Vis) للمحاليل السابقة في المجال المرئي (400-900nm).

الجدول 1- تركيز كل من بارا أمينو فينول وبير كبريتات الأمونيوم

رقم المحلول	1	2	3	4
تركيز المونومير المُحَصَّر (mol.l ⁻¹)	0.010	0.020	0.030	0.040
تركيز المونومير بعد المزج (mol.l ⁻¹)	0.005	0.010	0.015	0.020
تركيز بير كبريتات الأمونيوم (mol.l ⁻¹)	0.100	0.100	0.100	0.100

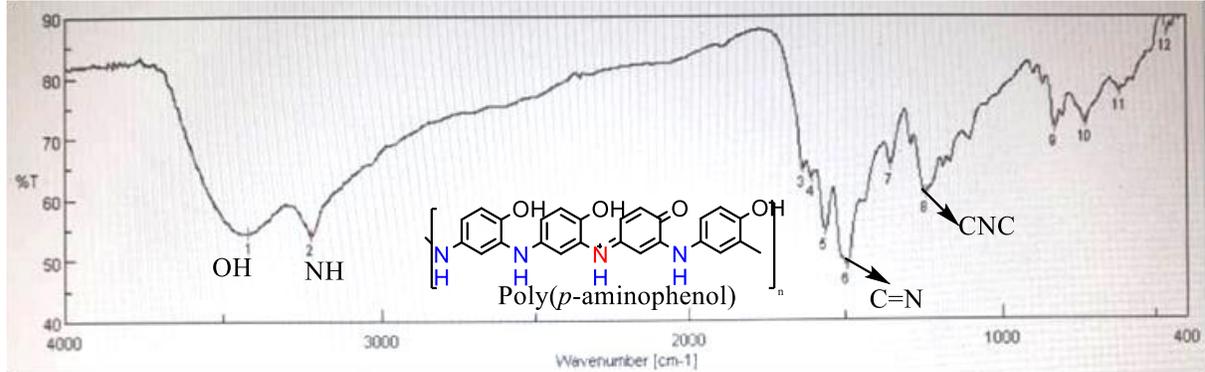
3- النتائج والمناقشة:

3-1- دراسة ذوبانية بولي (بارا أمينو فينول) في المذيبات المختلفة:

البوليمر الناتج لا يذوب في المذيبات الشائعة (الميتانول والإيثانول والأسيتون...) لكنه يذوب جيداً في دي ميتيل سيلفوكسيد (DMSO) ودي ميتيل فورم أميد (DMF) وحمض النمل.

3-2- طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لبولي (بارا أمينو فينول):

سُجِّلَ طيف الأشعة ما تحت الأحمر للبوليمر المُحضَّر، كما هو موضَّح في الشكل (2).

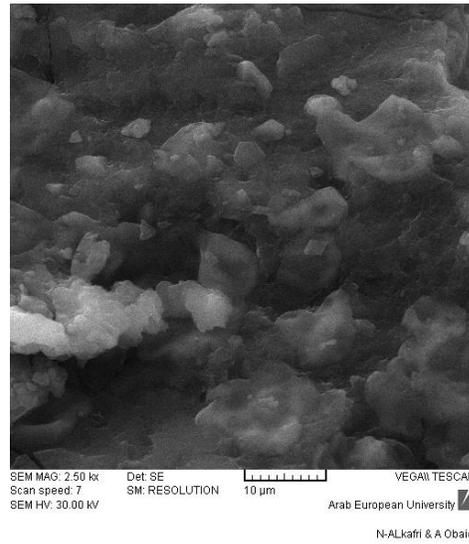
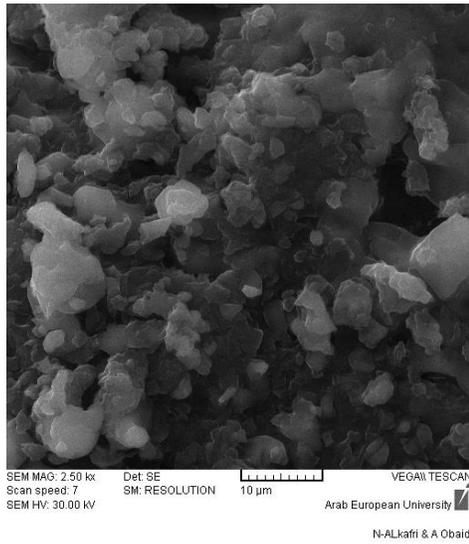
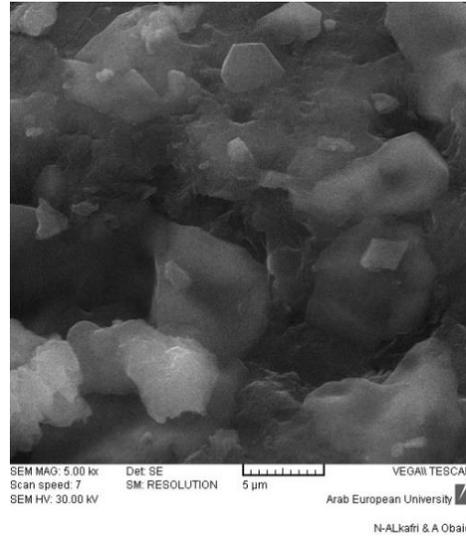
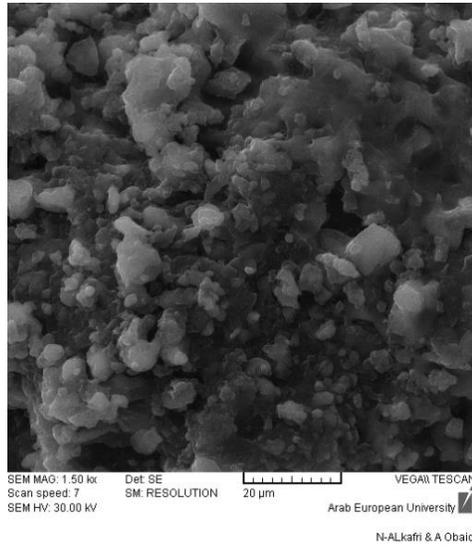


الشكل 2- طيف FTIR لبولي (بارا أمينو فينول)

يُلاحظ من الشكل (2) ظهور عصابة امتصاص عند (3416cm^{-1}) عائدة لامتطاط زمرة (OH)، وظهور عصابة امتصاص عند (3219cm^{-1}) عائدة لزمرة الأمين (NH)، وعصابة امتصاص عند (1492cm^{-1}) عائدة لزمرة (C=N)، وظهور عصابة امتصاص عند (1245.7cm^{-1}) عائدة لامتطاط الرابطة (CNC) المتشكلة في البوليمر. إنَّ ظهور عصابة امتصاص عند التردد (3219cm^{-1}) تؤكد حدوث تفاعل البلمرة.

3-3- دراسة مورفولوجية سطح بولي (بارا أمينو فينول):

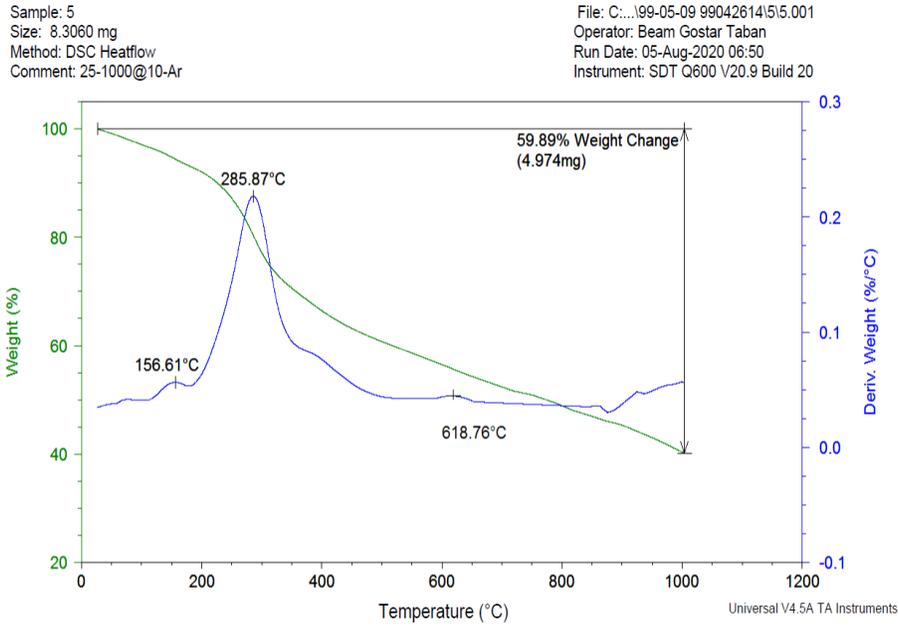
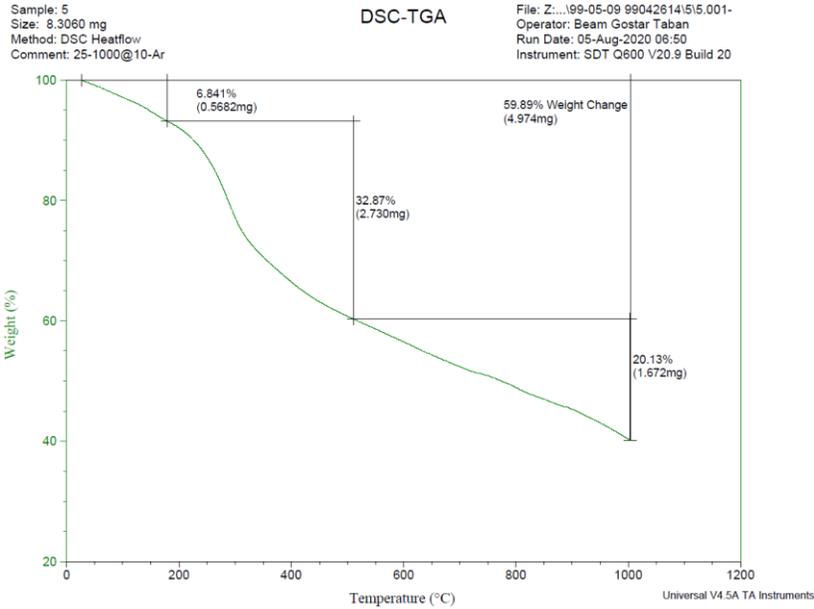
دُرِسَتْ مورفولوجية سطح بولي (بارا أمينو فينول) باستعمال جهاز المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، أظهرت عينة البوليمر المُحضَّر سطحاً خشن بجسيمات ذات أبعاد ميكرونية، كما في الشكل (3).



الشكل 3- صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لبولي (بارا أمينو فينول)

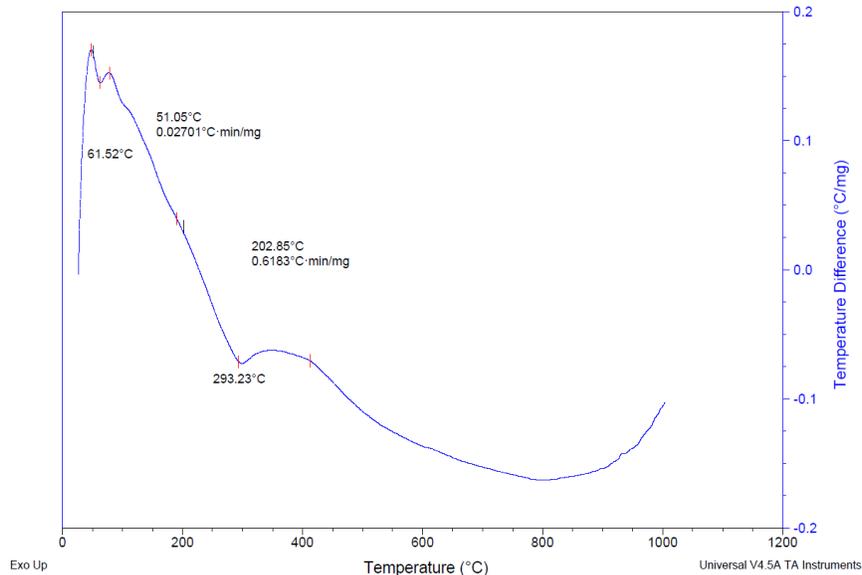
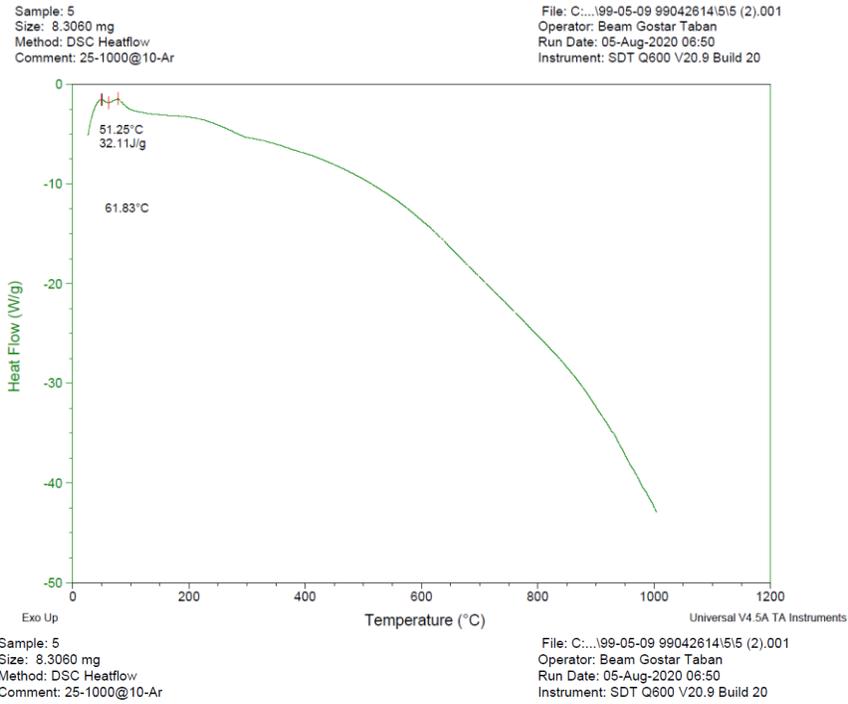
3-4- التحليل الحراري لبولي (بارا أمينو فينول):

دُرِس الثبات الحراري للبوليمر المُحضَّر باستعمال تقنيات (TGA, DTG, DTA, DSC). يُلاحظ من الشكل (4) بأنَّ البوليمر يتفكك على ثلاثة مراحل، المرحلة الأولى للتفكك بدرجة حرارة ذروة (156.61°C)، والمرحلة الثانية عند (285.87°C)، أما المرحلة الثالثة للتفكك فكانت عند (618.76°C).



الشكل 4- TGA-GTA لبولي (بارا أمينو فينول)

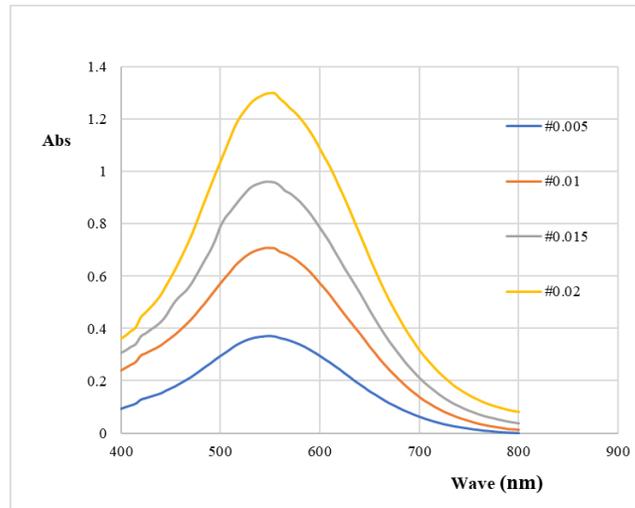
ويلاحظ أيضاً من الشكل (5) أنه ليس للبوليمر الناتج درجة انصهار أو انتقال زجاجي، حيث أنّ القمة الظاهرة في DSC يكون فيها خسارة كبيرة في الوزن ملاحظ في مخطط TGA الموافق للبوليمر عند هذه الدرجة، ومن ثمّ فإنّ هذه القمة تكون ناتجة عن امتصاص حرارة بسبب تفكك البوليمر، أي أنّ البوليمر يتفكك قبل أن ينصهر.



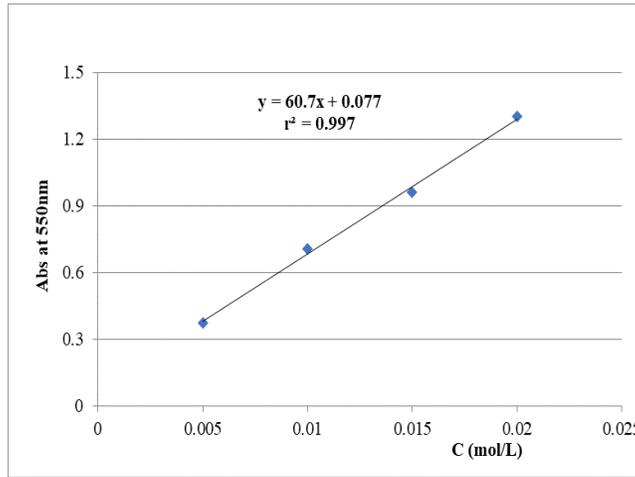
الشكل 5- DSC-DTA لبولي (بارا أمينو فينول)

3-5- الدراسة الطيفية لبولي (بارا أمينو فينول):

يُبين الشكل (6) طيوف UV-Vis المسجلة لمحاليل بولي (بارا أمينو فينول)، كما أسلفنا سابقاً في طرائق العمل وفق الفقرة (2-2-2)، حيث لوحظت قمة امتصاص أعظمي للمحاليل المُحضَّرة سابقاً عند طول موجة امتصاص أعظمي ($\lambda_{\max}=550\text{nm}$). من أجل تحديد قيمة معامل الامتصاص الجزيئي، قيسَت الامتصاصية لكل محلول محضَّر عند ($\lambda_{\max}=550\text{nm}$)، ورُسِمَت الامتصاصية الجزيئية تابعاً للتركيز للتأكد من خطية العلاقة، كما هو موضَّح في الشكل (7)، وحُسِبَت قيمة معامل الامتصاص الجزيئي من معادلة الخط العياري الناتج فكانت تساوي ($60.7 \text{ L}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$).



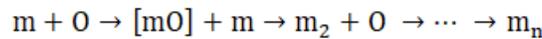
الشكل 6- الطيف الالكترونية لمحاليل بولي (بارا أمينو فينول) بتركيز مختلفة في مجال الأشعة المرئية



الشكل 7- العلاقة بين الامتصاصية الضوئية وتركيز مختلفة لمحاليل بولي (بارا أمينو فينول) عند طول موجة امتصاص أعظمي ($\lambda_{max}=550nm$)

3-6- دراسة حركية تشكّل بولي (بارا أمينو فينول):

يُعدّ تفاعل البلمرة تفاعلاً متسلسلاً، حيث يتم بمراحل متتالية، يضاف فيها جزيء مونومير واحد في كل مرحلة أو يحصل ارتباط للنواتج المرحلية، بشكل عام ممكن أن يكون تفاعل البلمرة كالاتي:



حيث تمثل m المونومير، و O الوسيط.

يُعبّر عن سرعة استهلاك المونومير m في تفاعل البلمرة الذي يتم بوجود وسيط O بالعلاقة:

$$-\frac{d[m]}{dt} = k [m]^a [O]^b$$

بما أنه لدينا تركيز الوسيط (المؤكسد) ثابت لا يتغير، فتصبح العلاقة السابقة:

$$-\frac{d[m]}{dt} = k'_{ap} [m]^a$$

يتم تتبع امتصاصية المواد الناتجة بمرور الوقت ويحتسب تركيز المونومير المتفاعل عند اللحظة t من العلاقة:

$$[m]_t = [m]_0 - A_t/\epsilon l$$

حيث: $[m]_0$ التركيز الابتدائي للمونومير، $[m]_t$ تركيز المونومير عند اللحظة t

A_t الامتصاص عند اللحظة t ، l طول المسار الضوئي

ϵ معامل الامتصاص الجزيئي للمواد الناتجة المكافئ لتركيز المادة المتفاعلة.

يمكن حساب سرعة التفاعل برسم مماس لمنحني تركيز المونومير بدلالة الزمن، ونحصل على السرعة في كل لحظة.

بأخذ لوغاريتم العلاقة نجد:

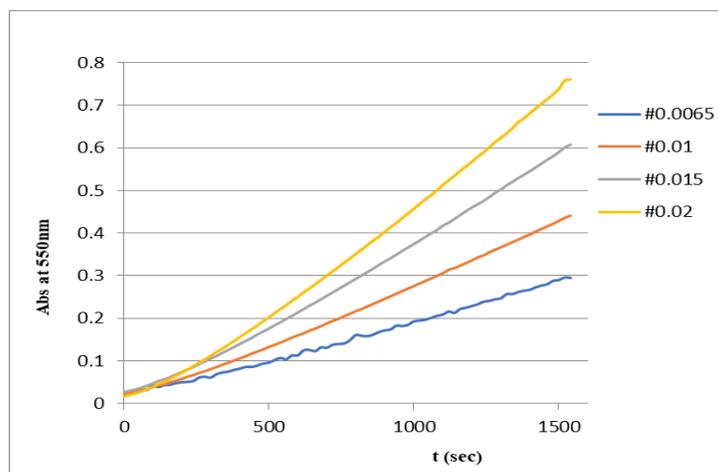
$$\ln\left(-\frac{d[m]}{dt}\right) = \ln k'_{ap} + \ln([m])$$

تم حساب السرعة الابتدائية للتفاعل برسم المماس في بداية منحني تغيرات التركيز بدلالة الزمن، وذلك باستخدام البيانات التجريبية التي جمعت من قياس الامتصاصية مع الزمن لسلسلة من المحاليل يكون فيها تركيز المونومير متغيراً، حيث يتم أخذ تراكيز محددة من أجل دراسة حركية تشكّل البوليمر، أما تركيز المؤكسد ثابتاً بالنسبة للمونومير المدروس.

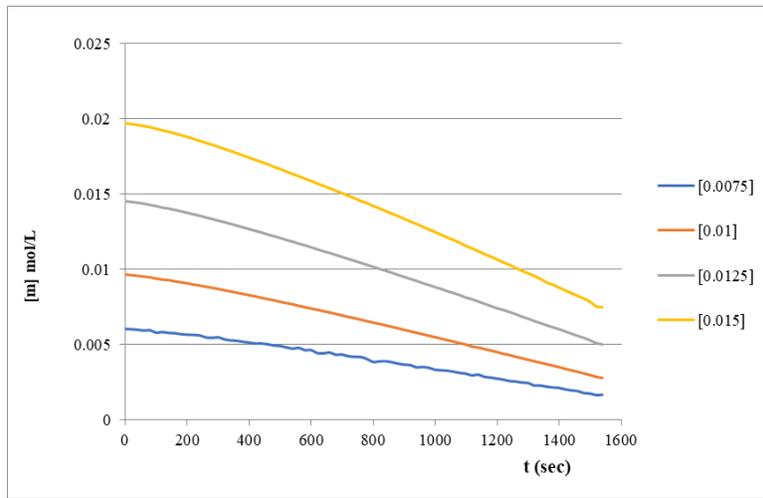
من أجل حساب السرعة الابتدائية للتفاعل، سُجِّلَت البيانات التجريبية لسلسلة من محاليل بارا أمينو فينول بتراكيز $(0.013, 0.02, 0.03, 0.04 \text{ mol.L}^{-1})$ ، مع محلول بير كبريتات الأمونيوم (0.1 mol/L) ، موضح بالجدول (2)، وذلك بترك التفاعل يجري لمدة نصف ساعة عند الطول الموجي $(\lambda_{\max}=550\text{nm})$ ، يوضّح كل من الشكلين (8)، و(9) منحنيات تغير الامتصاصية والتركيز بدلالة الزمن.

جدول 2- قيم التركيز وسرعة التفاعل لبولي (بارا أمينو فينول)

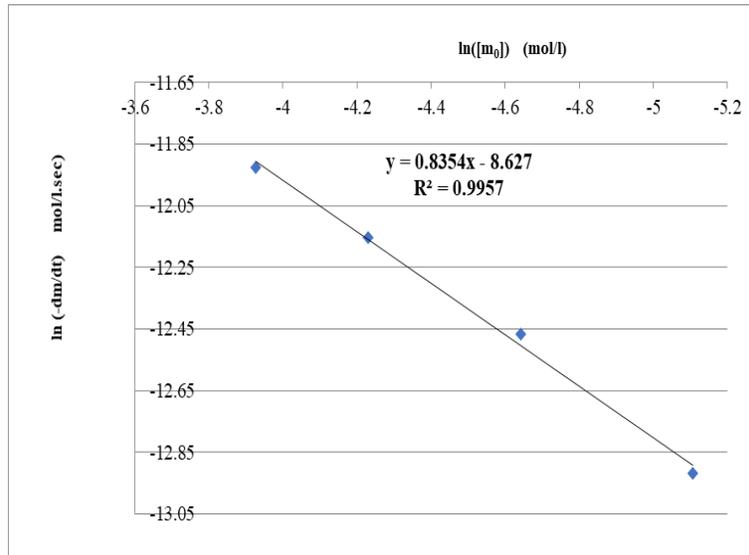
رقم المحلول	1	2	3	4
$[m]_0 \text{ (mol.L}^{-1}\text{) المُحضّر}$	0.0130	0.0200	0.0300	0.0400
$[m]_0 \text{ (mol.L}^{-1}\text{) بعد المزج}$	0.0065	0.0100	0.0150	0.0200
$-dm/dt \text{ (mol.L}^{-1}\text{.sec)}$	2.45556×10^{-6}	3.84825×10^{-6}	5.26651×10^{-6}	6.61603×10^{-6}
$\ln([m]_0)$	-5.106839613	-4.64208713	-4.229807685	-3.926125271
$\ln(-dm/dt)$	-12.9171562	-12.46789234	-12.15414183	-11.92601576



الشكل 8- منحنيات تغير الامتصاصية بدلالة الزمن لمحاليل بولي (بارا أمينو فينول) عند $(\lambda_{\max}=550\text{nm})$



الشكل 9- منحنيات تغيّر التراكيز بدلالة الزمن لبولي (بارا أمينو فينول) عند ($\lambda_{\max}=550\text{nm}$)



الشكل 10- الخط العياري لتحديد مرتبة التفاعل بالنسبة لتركيز بارا أمينو فينول

يُلاحظ من الشكل (10) بأنّ تفاعل بلمرة بارا أمينو فينول، تفاعل من المرتبة الأولى بالنسبة لتركيز بارا أمينو فينول، وبلغت قيمة ثابت السرعة ($1.79 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$).

4- الاستنتاجات:

- 1- حُضِرَ بولي (بارا أمينو فينول) بطريقة سهلة عند درجة حرارة المختبر في وسط من حمض كلور الماء باستخدام بير كبريتات الأمونيوم عاملاً مؤكسداً.
- 2- وصِفَ بولي (بارا أمينو فينول) باستخدام FTIR، ولوحظَ ظهور حزمة (NH) وهذا من أحد الأدلة على حدوث تفاعل البلمرة.
- 3- دُرِسَتْ مورفولوجية سطح البوليمر المُحضَّر باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، حيث أظهرت عينة بولي (بارا أمينو فينول) سطحاً خشن بجسيمات ذات أبعاد ميكرونية.

- 4- دُرِسَ الثبات الحراري للبوليمر باستعمال التحليل الحراري الكتلي (TGA) فلوحظَ بأنه يتألف من ثلاثة تفكك، وحدِّدَت درجة حرارة الذروة عند كل مرحلة تفكك بمنحني التفاضل الوزني الحراري (DTG).
- 5- أُجْرِيَ قياس المسح النفاضلي (DSC) والتحليل الحراري النفاضلي (DTA) لعينة بولي (بارا أمينو فينول) فوجدَ أن البوليمر ليس له درجة انصهار وانتقال زجاجي، حيث أن القمة الظاهرة في DSC تكون ناتجة عن امتصاص حرارة بسبب تفكك البوليمر والبوليمر يتفكك قبل أن ينصهر.
- 6- دُرِسَت حركية تشكُّل بولي (بارا أمينو فينول) وحدِّدَت مرتبة التفاعل، فوجدَ بأن التفاعل من المرتبة الأولى بالنسبة لبارا أمينو فينول، وبلغت قيمة ثابت السرعة $(1.79 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1})$.

5- التوصيات:

- تحضير بولي (بارا أمينو فينول) باستخدام أوساط حامضية مختلفة ودراسة تأثير تغير هذه الحموض على تفاعل البلمرة.
- دراسة حركية تشكُّل بولي (بارا أمينو فينول) بدرجات حرارة مختلفة لإمكانية تحديد طاقة التنشيط.
- تحضير بوليمرات مشتركة من بارا أمينو الفينول مع مونوميرات أخرى بغية الحصول على بوليمرات جديدة بمواصفات مرغوبة، للعمل على إدخالها في التطبيقات الصناعية المختلفة.

6- المراجع:

1. AlFannakh, H., Arafat, S., and Ibrahim, S. (2019). Synthesis, electrical properties, and kinetic thermal analysis of polyaniline/polyvinyl alcohol – magnetite nanocomposites film, *Sci. Eng. Compos. Mater.* 26, 347–359.
2. Alghdir, J. and Falah, A. (2020). Study the Properties of Poly(m-aminophenol) and Its Polymerization Kinetics Using HPLC, *Chemistry Research Journal*, 5(6):13-20.
3. Alghdir, J. and Falah, A., Hamo, S. (2021). Study the Polymerization Kinetics of Polyaniline by UV-Vis and HPLC and Determination of the Thermodynamic Functions using Coats-Redfern Equation from TGA Curves, *Research J. Pharm. and Tech.* 14(8), 4117-4121.
4. Bereket, G. and Duran, B. (1999). Anticorrosive properties of electrosynthesized poly(m-aminophenol) on copper from aqueous phenylphosphonic acid solution, *Prog. Org. Coat.*, 64:57–66.
5. Boeva, Z. A. and Sergeev, V.G. (2014). Polyaniline: Synthesis, properties, and application, *Polym. Sci. Ser. C.*, 56, 144–153.
6. Cao, Y., Nakhjiri, A. T., Sarkar, S. M. and Ghadiri, M. (2022). Time-dependent numerical investigation of 3-hydroxypropionic acid extraction using a microporous membrane contactor, *Eur. Phys. J.* 137, 1–9.
7. Dinç, C., Yalçinkaya, S., Altuntaş, H. and Çolak, N. (2014). Synthesis and characterization of poly(m-aminophenol)-succinat, *Designed Monomers and Polymers*, 17, No. 7, 629–636.
8. Ding, H., Hussein, A. M., Ahmad, I., Latef, R., Abbas, J. K., Abd Ali, A. T., Saeed, S. M., Abdulwahid, A. S., Ramadan, M. F., Ali Rasool, H. and Elawady, A. (2024). Conducting polymers in industry: A comprehensive review on the characterization, synthesis and application, *Alexandria Engineering Journal*, 88, 253-276.
9. Ebewe, R. O. (2000). *Polymer Science and Technology*, 1–6.
10. Ekin, E., Karagozler, A. A. and Kurugozler, A. E. (1996). The Preparation and Sensor Application of Poly(p-Aminophenol), *Electroanalysis*, 8, 6.
11. Ensafi, A. A., Mousabadi, K. Z. and Fazel-Zarandi, R. (2022). Application of Conductive Polymers in Electrochemistry, *Conduct. Polym. Anal. Chem.*, ACS Publ., 185–217.
12. Hafizah, M. A. E., Bimantoro, A., Andreas and Manaf, A. (2016). Synthesized of Conductive Polyaniline by Solution Polymerization Technique, *Procedia Chem.*, 19, 162–165.
13. Ibanez, J. G., Rincon, M. E., Gutierrez-Granados, S., Mh Chahma, Jaramillo Quintero, O. A., and Frontana-Urbe, B. A. (2018). Conducting polymers in the fields of energy, environmental remediation, and chemical–chiral sensors, *Chem. Rev.*, 118, 4731–4816.
14. Ivanov, V.D., Zhuzhel'skii, D.V. and Malev, V.V. (2008). Comparison of properties of aniline and m-aminophenol polymers obtained using hydrogen peroxide, *Russ. J. Electrochem.*, 44:1204–1211.
15. Kar, P., Pradhan, C. and Adhikari, B. (2008). A novel route for the synthesis of processable conducting poly(m-aminophenol), *Mater. Chem. Phys.*, 111:59–64.
16. Kar, P., Pradhan, N.C. and Adhikari, B. (2010). Induced doping by sodium ion in poly(m-aminophenol) through the functional groups, *Synth. Met.*, 160:1524–1529.
17. Kong, Y., Zhou, Y., Shan, X., Jiang, Y. and Yao, C. (2011). Electropolymerization of m-aminophenol on expanded graphite and its electrochemical properties, *Synth. Met.*, 161:2301–2305. 2012; 2012:1–26.
18. Li, X. (2018). Preparation, properties and application of polyaniline nanocomposites, *Chem. Eng. Trans.* 71, 889–894.
19. Mocioiu, A. M., Tudor, I. A. and Mocioiu, O.C. (2021). Application of Polyaniline for Flexible Semiconductors, *Coatings.*, 11, 49.
20. Molapo, K. M., Ndagili, P. M., Ajayi, R. F., Mbambisa, G., Stephen M., Njomo, N., Masikini, M., Baker, P. and Iwuoha, E. (2012). Electronics of Conjugated Polymers (I) : Polyaniline. *International Journal of Electrochemical Science*, 7, 11859-11875.
21. Namsheer, K. and Rout, C.S. (2021). Conducting polymers: A comprehensive review on recent advances in synthesis, properties and applications, *RSC Adv.*, 11, 5659–5697.
22. Nezakati, T., Seifalian, A., Tan, A. and Seifalian, A. M. (2018). Conductive polymers: opportunities and challenges in biomedical applications, *Chem. Rev.*, 118, 6766–6843.

23. Nguyen, M. L., Nakhjiri, A. T., Kamal, M., Mohamed, M., Algarni, M., Yu, S. T., Wang, F. M. and Su, C. H. (2022). State-of-the-art review on the application of membrane bioreactors for molecular micro-contaminant removal from aquatic environment, *Membranes* 12, 429.
24. Park, H., Kwon, O. and Ryu, K. (2015). Thermal stability and degradation kinetics of polyphenols and poly phenylenediamines enzymatically synthesized by horseradish peroxidase, *Korean J. Chem. Eng.*
25. Prasutiyo, Y. J., Manaf, A. and Hafizah, M.A.E. (2020). Synthesis of polyaniline by chemical oxidative polymerization and characteristic of conductivity and reflection for various strong acid dopants, *J. Phys. Conf. Ser.*, 1742-6596
26. Syafei, D. I., Rini, E. P., Paristiowati, M., Imaduddin, A. and Budi, S. (2022). Synthesis and Characterization of High Conductivity Polyaniline Prepared at Room Temperature, *Chemistry Materials*, 1, 7–11.
27. Thenmozhi, G., Arockiasamy, P., and Santhi, R. J. (2014). Isomers of Poly Aminophenol: Chemical Synthesis, Characterization, and Its Corrosion Protection Aspect on Mild Steel in 1M HCl, *International Journal of Electrochemistry*, Hindawi Publishing Corporation, 11.
28. Yamini, Y., Tajik, M. and Baharfar, M. (2022). Cleanup and Remediation Based on Conductive Polymers, *Conduct. Polym. Anal. Chem.*, ACS Publ., 91–117.