CC BY 4

College of Basic Education Research Journal

https://berj.uomosul.edu.iq/

Electrical Study of Ionization Constant and Thermodynamic Parameters of Schiff bases Derived from 2-Nitrobenzaldehyde with Biological Activity Evaluation

Amina Ayad Abdul-Karim Al-Dabagh **Fedaa Hasan Marie Altaiea**

University of Mosul, College of Education for Pure Sciences, Department of Chemistry, Mosul, Iraq

Article Information

Article history:
Received: February 11, 2026
Reviewer: March 31, 2026
Accepted: April 7, 2026
Available online: September, 2026

Keywords:
Conductivity,
Ka,
Schiff bases,
Ionization Thermodynamics,
Biological activity.

Correspondence:
Amina Ayad AbdulKarim
E-mail :
amina.24esp33@student.uomosul.edu.iq

Abstract

The study involves using the compound (2-nitrobenzaldehyde) as a basic core for the preparation of three phenolic Schiff bases containing a hydroxyl group in the (ortho, meta and para) positions on the primary amine side. The structures of these Schiff bases were confirmed using IR, UV, and ^{1}H-NMR spectroscopy, as well as melting point measurements. The main objective is to determine the ionization constants (Ka) over a temperature range of (20–60 °C) using the electrical conductivity method, a precise and reliable technique. The results showed an increase in acidity with increasing temperature while maintaining a consistent order of Ka values. Thermodynamic analysis revealed that the ionization process in aqueous medium is non-spontaneous (ΔG = +), endothermic (ΔH = +), and accompanied by a decrease in entropy (ΔS = -).In addition, the effect of temperature on the equivalent conductivity at infinite dilution was investigated with detailed analysis. Regarding biological activity, the compounds showed variation in inhibitory effects against *S. aureus* and *E. coli*. Compound (N1) showed the highest activity with inhibition zones of (19 mm) for Gram-positive and (7 mm) for Gram-negative bacteria, followed by (N2) with (18 mm) for Gram-positive, while (N3) showed balanced activity with (16 mm) and (15 mm), respectively. These findings highlight the promising potential of these compounds in chemical and biological applications.

P-ISSN: 1992–7452 **E-ISSN:** 2664-2808

دراسة كهربائية لتقدير ثابت التاين والمتغيرات الثيرموداينمكية لقواعد شيف المشتقة من 2-nitrobenzaldehyde وتقيم الفعالية البيولوجية

أمنة أياد عبدالكريم الدباغ **فداء حسن مرعي الطائي**

جامعة الموصل، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الكيمياء، الموصل، العراق.

المستخلص

تتضمن الدراسة استخدام المركب (2-nitrobenzaldehyde) كنواة أساسية لتحضير ثلاث قواعد شيف فينولية والمحتوية على مجموعة هيدروكسيل في المواقع (اورثو، ميتا وبارا) على جهة الأمين الاولي تم اثبات الهيئات التركيبية للقواعد بواسطة أطياف IR، UV، H^1NMR ودرجات الانصهار. الهدف الرئيسي للدراسة هو تعيين قيم (Ka) لهذه القواعد المذكورة في مدى من درجات الحرارة بين (20-60 C°) وباستعمال طريقة المواصلة الكهربائية والتي تعتبر من الطرق الدقيقة والمضبوطة. أظهرت النتائج زيادة الحامضية مع ارتفاع درجة الحرارة مع الحفاظ على ترتيب ثابت للقيم في جميع الدرجات الحرارية المدروسة، وبينت دراسة ثيرموداينميكية التأين ان عملية التأين للقواعد في مذيب الماء هي غير تلقائية (ΔG +)، ماصة للحرارة (ΔH +) ومصحوبة بزيادة الانتظام (ΔS −). كما تم متابعة تحليل أثر التباين الحراري على قيم التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي مع تحليل مفصل للنتائج. اما تقييم الفعالية البيولوجية فقد اثبتت تفاوتاً ملحوظاً في التثبيط ضد بكتيريا (*S. aureus, E.coli*) حيث سجل المركب (N1) اعلى نشاطاً بقطر (19mm) للموجبة و(7mm) للسالبة، تلاه (N2) (18mm) للموجبة، بينما حقق المركب (N3) فعالية متوازنة بلغت بقطر (16mm) و (15mm) على التوالي. تبرز هذه النتائج الرقمية والدلالات الثيرموداينميكية الإمكانيات الواعدة لهذه المركبات في التطبيقات الكيميائية والحيوية.

الكلمات المفتاحية: التوصيلية، ka، قواعد شيف، ثرموداينمك التأين، الفعالية البيولوجية.

البحث مستل من رسالة ماجستير

1- المقدمة Introduction

أظهرت قواعد شيف اهتماماً متزايداً في الأبحاث الكيميائية نظراً لقدرتها للعمل كروابط متعددة التنسيق مما يسهل تكوين معقدات معدنية مستقرة ذات أشكال هندسية وخصائص فيزيائية وكيميائية وإلكترونية متنوعة (Silas واخرون ,2025) و (2025,Rao) والتي تنتج عادة من تفاعل الالدهيدات او الكيتونات مع الامينات الأولية وقد وجدت هذه المركبات بشكل طبيعي في بعض الأنظمة الحيوية وكما حظيت باهتمام كبير في مجال الكيمياء التحضيرية (Raczuk واخرون ,2022)، فظلاً عن ذلك، تشير الادبيات العلمية الى دورها المهم في المجالات الدوائية (Sunjuk واخرون ,2023)، مسكن للألم، مضاد للالتهابات (Ceramella واخرون ,2022)، لها نشاطاً مضاداً للبكتيريا(Alqahtani ,2025)، والعلاج الكيميائي ومضادات السرطان (Abid واخرون,2025)، وقد شهدت قواعد شيف انشطة بيولوجية متنوعة (Sinicropi واخرون 2022)، كما يمثل nitrobenzaldehyd -2 وسيطًا مهماً في صناعة ألأدوية (Jiang واخرون , 2023)، ومن الوسائط الكيميائية الحيوية في الصيدلة حيث يدخل بشكل أساسي في تخليق عقار النيفيديبين المستخدم لعلاج امراض القلب (Zhao واخرون ,2024)، وهو مركب عضوي صيغته الكيميائية [$C_7H_5NO_3$] يظهر على شكل بلورات ذهبية صلبة باهتة ذات رائحة نفاذة قوية، وهو لبنة أساسية في التخليق العضوي (Khan , 2024)، وبما ان مشتقات nitrobenzaldehyd -2الحاوية على مجاميع فينولية تمتلك مواقع مانحة ومستقبلة للهيدروجين، فإن سلوكها في المحاليل يتأثر بتوازنها الحامضي والقاعدي، وتعد قيمة ثابت التأين (pKa) موشراً مهماً لدرجة التأين واستقرارية المركبات وإمكانية تكوين ألأواصر الهيدروجينية مما ينعكس على فعاليتها الكيميائية والبيولوجية (Pezzola واخرون, 2022)، وتواجه بعض الطرق التحليلية التقليدية قيم pKa مثل المعايرة الجهدية والطرائق الطيفية محدودية في الدقة عند دراسة مركبات غير نقية او متعددة المجموعات الفعالة وبناءاً على ذلك ، تم اعتماد طريقة التوصيل الكهربائي في هذا البحث لتحديد ثوابت التأين للمركبات الفينولية المشتقة من قواعد شيف لما تتميز به من دقة موثوقية وقدرة افضل على توصيف توازنات التأين في المحاليل المخففة (Kalkir واخرون 2025) و(Han و Priefer ,2023) توثر قيم pKa بصورة مباشرة في البنية الفراغية والتشكيلية للجزيئات، كما تتحكم في اتجاه التفاعلات النيوكلوفيلية والالكتروفيلية، قيم طاقة التنشيط للتفاعلات الكيميائية، تفسير علاقتها ببنيتها الكيميائية ونشاطها البيولوجي المحتمل (Lo واخرون ,2024).

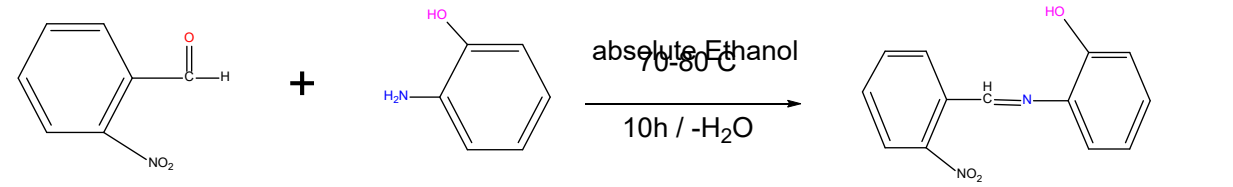
2- طريقة العمل

1.2. الأجهزة المستخدمة:

تم استخدام مجموعة من الأجهزة لأغراض التشخيص والقياس في هذه الدراسة، حيث تم تسجيل أطياف الأشعة فوق البنفسجية–المرئية باستخدام جهاز Shimadzu UV-Visible 1601، كما تم قياس أطياف الأشعة تحت الحمراء باستعمال جهاز Bruker Alpha (ATR-IR) ضمن المدى ($400cm^{-1}$ –4000). وتم تحديد تراكيب المركبات باستخدام طيف الرنين النووي للبروتون (^{1}H NMR) بواسطة جهاز Varian Agilent 500 MHz. كذلك استُخدم جهاز قياس الموصلية الكهربائية من نوع Wissenschaftlich Technische Werkstätten (WTW) لتحديد التوصيلية الكهربائية وحساب ثوابت التأين واستخدمت تقنية كروماتوغرافية الطبقة الرقيقة (TLC) لمتابعة اكتمال سير التفاعل للمركبات باستخدام الواح جاهزة من الالمنيوم مغطاة بطبقة من Silica gel وبسمك (0.2mm).

2.2. تحضير قواعد شيف:

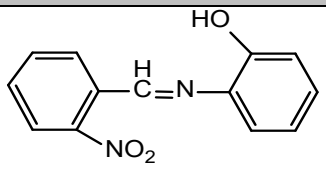
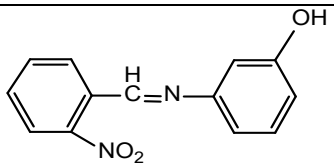
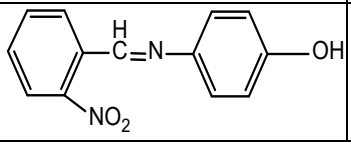
حضرت قواعد شيف بخلط كميات مولارية متكافئة من خلال مفاعلة (1.511g) وبتركيز (0.01M) من مركب 2-nitrobenzaldehyde المذاب في (10 ml) من الايثانول المطلق، مع (1.091g) وبتركيز (0.01M)، من مشتقات Amino phenol (o, m, p- aminophenol) المذابة في المذيب نفسه، ثم توضع في دورق مخروطي سعة (100 ml) مجهز بمحرك مغناطيسي واضيف من (2–3) قطرة من حامض الخليك الثلجي الى مزيج التفاعل كعامل مساعد وصعد المزيج مع التحريك المستمر لمدة 10 ساعات عند درجة حرارة تتراوح ما بين (°C 70–80)، وتم متابعة عملية سير اكتمال التفاعل بواسطة TLC حيث استخدم (Hexan 4: Ethyl acetate 1)، بعد انتهاء التفاعل تم تحويل محتويات الدورق في بيكر ويبرد مزيج التفاعل بالثلج ومن ثم يرشح الراسب المتكون ويغسل بالايثانول المطلق الساخن عدة مرات لغرض إعادة بلورته والتخلص من الشوائب (Cinarli واخرون ,2011) و (Patel, واخرون ,2014). جهزت المواد الكيميائية الأولية والمذيبات المستعملة جميعها من شركة (Sigam (Fluka) , (BDH), (Aldrich وقد استخدمت مباشرة من دون عملية تنقية أضافية. وندرج المعادلة (1) كمثال نموذجي لتحضير قواعد شيف للمركبات قيد الدراسة (N3,N2,N1).



2-nitrobenzaldehyde 2-aminophenol 2-((2-nitrobenzylidene)amino)phenol

المعادلة (1): تحضير قواعد شيف

الجدول (1): الأسماء والصيغ التركيبية والرموز ودرجات الانصهار واللون للمركبات المحضرة

symbol	Compound	Structural Formula	(°M.p C)	Colour
N_1	2-((2-nitrobenzylidene)amino) phenol		120 -121	أصفر
N_2	3-((2-nitrobenzylidene)amino) phenol		D	بني
N_3	4-((2-nitrobenzylidene)amino) phenol		150 -152	أصفر

D : درجة تفكك أو تحلل المركب (Decomposed Temperature)

3- النتائج والمناقشة

بعد تحضير القواعد الثلاثة قيد الدراسة كان من الضروري تشخيص وتدقيق الصيغ التركيبية لها من خلال الوسائل الفيزيائية والتي تشمل ما يلي:

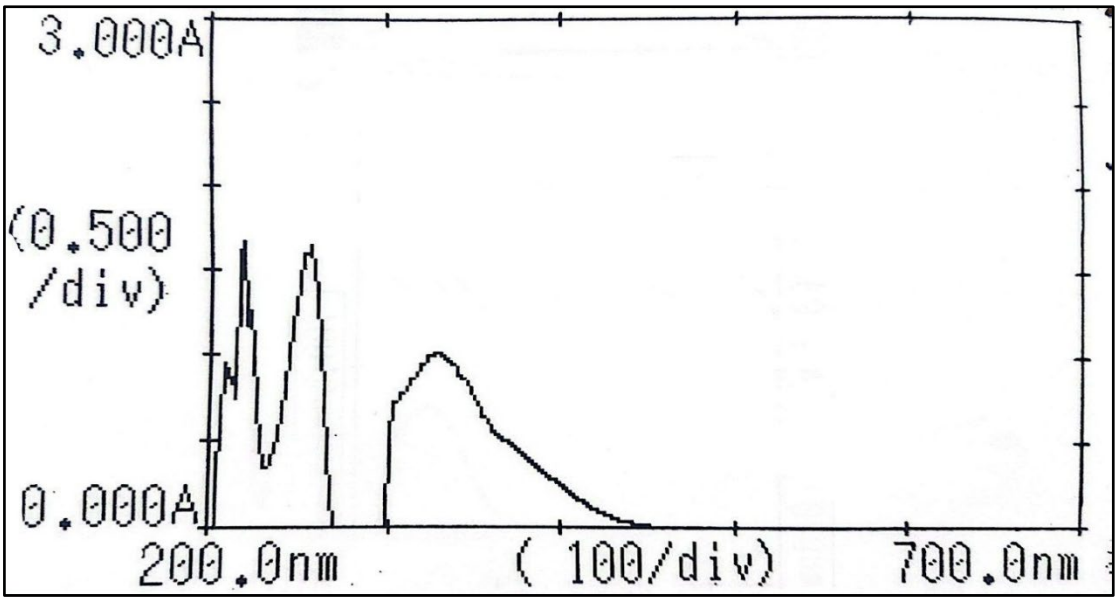
1.3. أطياف الاشعة فوق البنفسجية (U.V):

المقاسة في المنطقة المحصورة بين (200 – 450 nm) وبتركيز (10^{-4}M) وفي مذيب قطبي مثل الايثانول المطلق ومذيب ضعيف القطبية مثل ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2. وشخص نوع الانتقال الالكتروني بواسطة قيمة معامل الامتصاص المولاري (ε_{max}) والجدول (2) يبين القيم المستحصلة عليها.

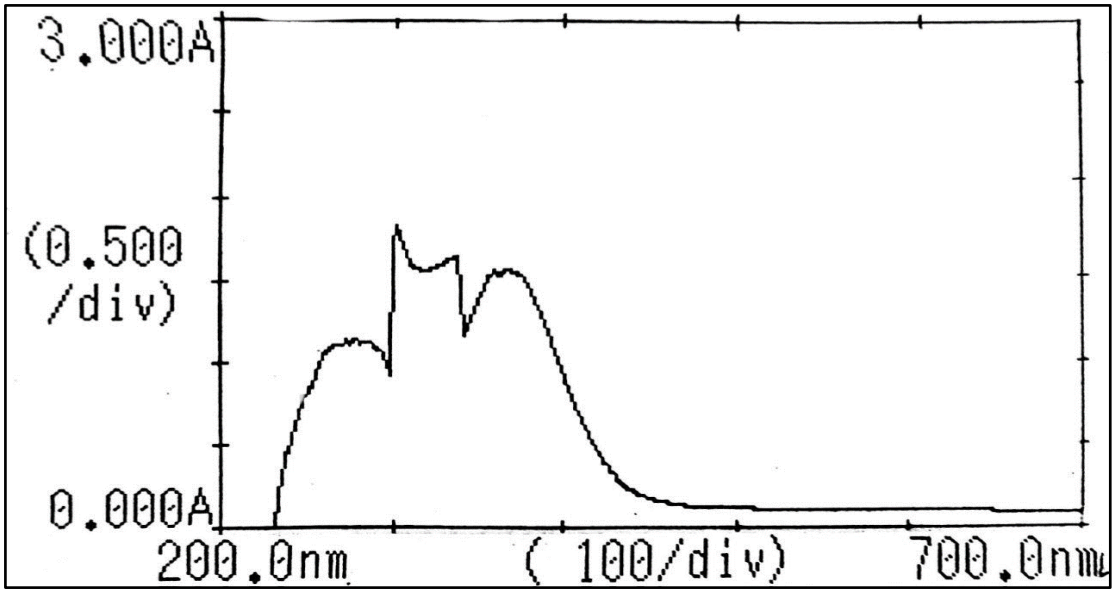
الجدول (2): الذروات الهامة في طيف الاشعة فوق البنفسجية لقواعد شيفالمقاسة بمذيبي الايثانول وثنائي كلورو ميثان.

symbol	Ethanol solvent			dichloromethane solvent			Transition type	$\overline{\Delta v}$ (cm^{-1})
	λmax (nm)	A	ε_{max} L.mol^{-1}.cm^{-1}	λmax (nm)	A	ε_{max} L.mol^{-1}.cm^{-1}		
N1	330	1.035	10350	374	1.362	13620	$\pi \rightarrow \pi^*$	+3565.1
N2	326	0.734	7340	356	0.544	5440	$\pi \rightarrow \pi^*$	+2584.9
N3	330	1.011	10110	368	1.556	15560	$\pi \rightarrow \pi^*$	+3129.1

يتبين من خلال الجدول (2) ان قيم معامل الامتصاص المولاري كانت أكثر من (1000 L . mol^{-1}. Cm^{-1}) مما يدل على ان الانتقال الالكتروني من نوع ($\pi \rightarrow \pi^*$) على الرغم من وجود مجاميع (C=N)، (NO_2) التي تسمح بانتقالات من نوع ($n \rightarrow \pi *$)، الا ان شدة الامتصاص العالية (ε_{max}) اكبر من (1000) تشير الى سيادة انتقالات ($\pi \rightarrow \pi^*$)، بينما تختفي انتقالات ($n \rightarrow \pi^*$) الضعيفة نتيجة التداخل الطيفي (Overlapping) وتأثير المذيب القطبي (AL-Hyali واخرون ,2018) و (Sidir و Sidir ,2025). والشكل (1 و2) كمثال توضيحي نموذجي.



الشكل (1): طيف الاشعة فوق البنفسجية للمركب (N3) بمذيب الايثانول وبتركيز 10^{-4}M



الشكل (2): طيف الاشعة فوق البنفسجية للمركب (N3) بمذيب ثنائي كلورو ميثان وبتركيز $10^{-4}M$

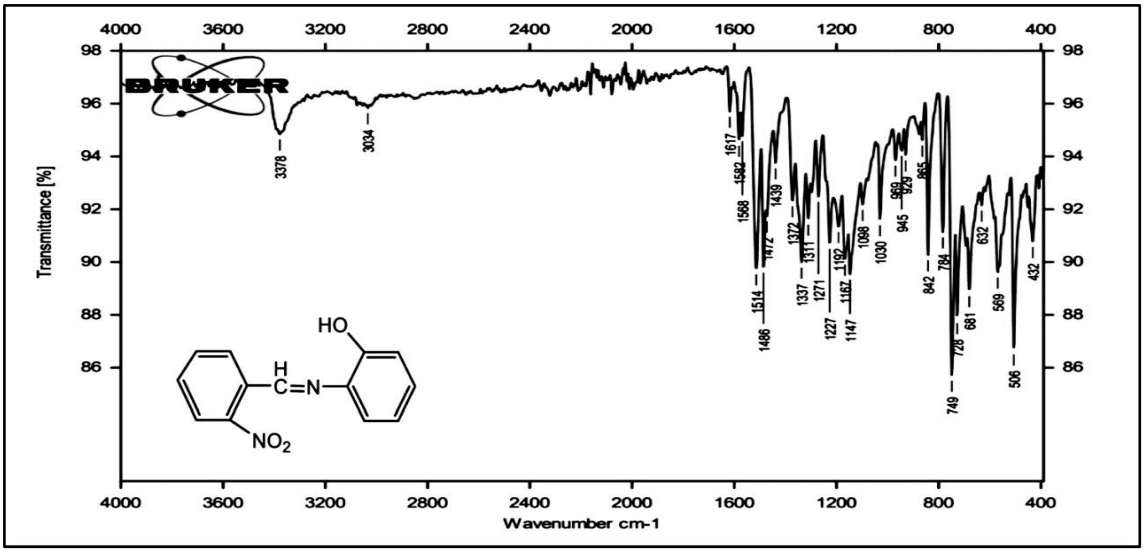
2.3. أطياف الاشعة تحت الحمراء (I.R):

تم تسجيل أطياف الاشعة تحت الحمراء (IR) للمركبات المحضرة في الحالة الصلبة حيث أظهرت النتائج ظهور حزمة امتصاصية عريضة ضمن المنطقة ($3410 - 3374\ cm^{-1}$)، تعزى الى اهتزازات مجموعة الهيدروكسيل (OH) وقد تشير اتساع هذه الحزمة الى احتمالية وجود أواصر هيدروجينية، كما لوحظت حزمة امتصاصية متوسطة إلى قوية في المنطقة ($3034 - 3067cm^{-1}$) تنسب الى اهتزازات (C–H) الاروماتية، وكذلك ظهرت حزمة مميزة ضمن المجال ($1617 - 1614\ cm^{-1}$) تعود إلى مجموعة الايمين (C=N) مما يوكد تكون قواعد شيف، إضافة الى ذلك ظهر ازدواج مميز لحزم (NO_2) الامتصاصية المتماثلة وغير المتماثلة في المركبات المدروسة ضمن المدى ($1525 - 1514\ cm^{-1}$). وبصورة عامة جاءت أطياف U.V و I.R متوافقة مع ما ورد في الدراسات السابقة (Khalaf واخرون 2024,) و (Sulaiman و Najm, 2023).

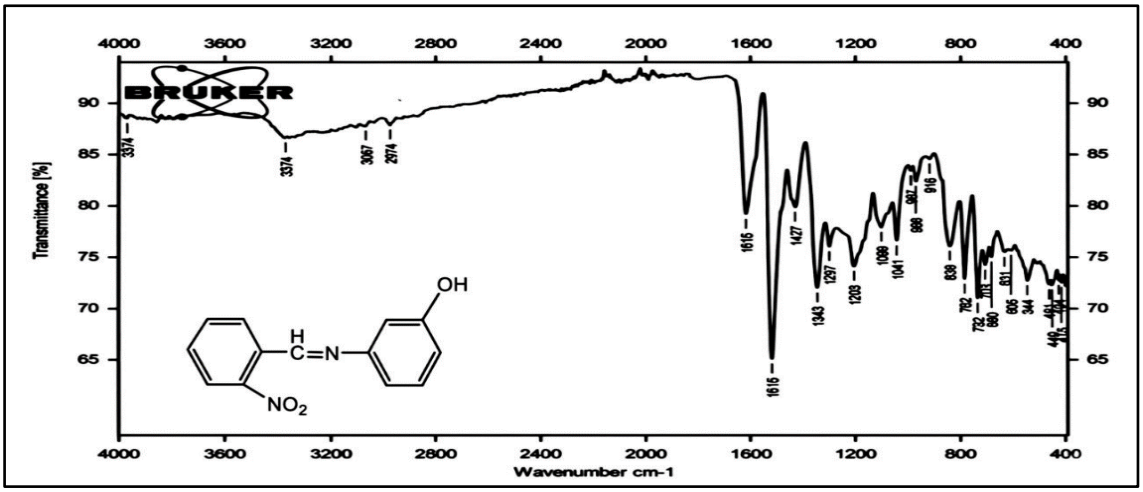
جدول (3): يوضح اطياف الاشعة تحت الحمراء (I.R) ودرجات الانصهار لقواعد شيف المحضرة

symbol	الاعداد الموجبة للذروات (cm^{-1})			
	$\upsilon_{C=N}$	υ_{C-H}	υ_{OH}	υ_{NO2}
N1	$1617_{(m)}$	$3034_{(W)}$	$3378_{(b)}$	$1514_{(V.s)}$
N2	$1615_{(m)}$	$3067_{(W)}$	$3374_{(b)}$	$1515_{(V.s)}$
N3	$1614_{(m)}$	$3059_{(W)}$	$3410_{(b)}$	$1525_{(S)}$

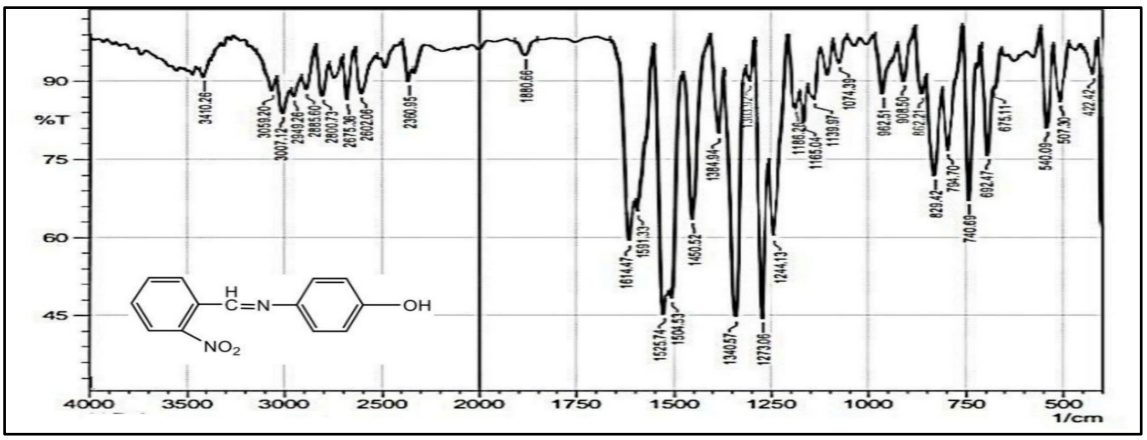
*S= strong, w =Weak, m = medium, b = broad, v.s= very strong.



الشكل (3) : طيف الاشعة تحت الحمراء للمركب (N1)



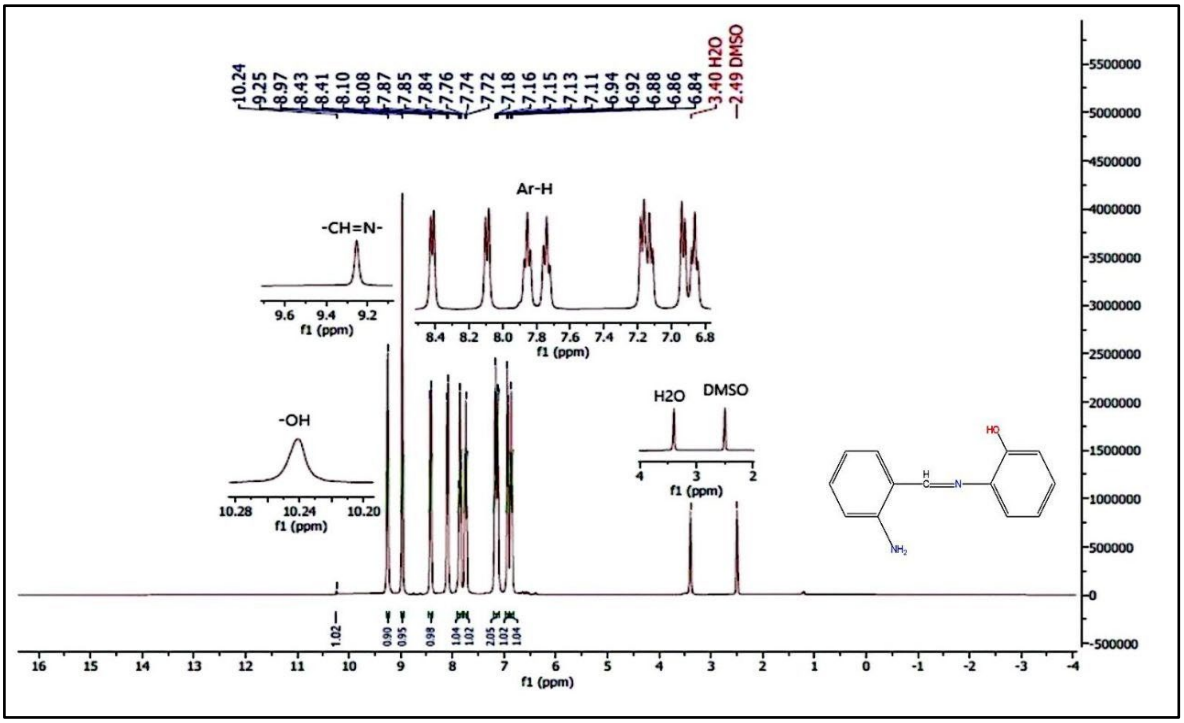
الشكل (4): طيف الاشعة تحت الحمراء للمركب (N2)



الشكل (5): طيف الاشعة تحت الحمراء للمركب (N3)

3.3. قياس الرنين النووي المغناطيسي للبروتون H^1NMR:

تم قياس طيف الرنين المغناطيسي النووي للبروتون (H^1NMR) للمركب (N1) باستخدام مذيب DMSO-d_6 وبتردد 400 MHz. اظهر الطيف إشارة مفردة عند ازاحة كيميائية بحدود 10.24ppm $= \delta$ تعود الى بروتون مجموعة الهيدروكسيل الفينولية (OH) مما يدل احتمال وجود ارتباط هيدروجيني. كما ظهرت إشارة مفردة أخرى عند المدى 9.25 ppm تعود الى بروتون مجموعة الازوميثين(−CH=N−) مما يدل على تكون قاعدة شيف , في حين لوحظت عدة إشارات متعددة في المدى 8.43−6.84 ppm $= \delta$ تعود الى بروتونات الحلقات العطرية (Ar-H) لمجموعة النيترو (NO_2) و مجموعة الهيدروكسيل OH كما يلاحظ تأثير مجموعة النيترو(-NO_2) الساحبة للإلكترونات والذي يودي الى انزياح بعض البروتونات العطرية نحو قيم اعلى من الازاحة الكيميائية, بالإضافة الى إشارة عند 2.49 ppm $= \delta$ وهي تعزى لبروتونات المذيب المستخدم (DMSO-d_6) وبالإضافة الى إشارة عند 3.40 ppm $= \delta$ تعود لجزيئات الماء الممتصة في المذيب. يتم عرض طيف الرنين لأول قاعدة محضرة (N1) كمثال توضيحي نموذجي في الشكل (6) .



الشكل (6): طيف الرنين النووي المغناطيسي للبروتون للمركب (N1)

4.3. طريقة التوصيل الكهربائي:

لغرض قياس التوصيلية الكهربائية تم اولاً تحضير محاليل قياسية لكل قاعدة بتركيز (10^{-3}M) وبإضافة (10ml) من الايثانول المطلق لغرض اذابة قاعدة شيف واكمال الحجم بماء التوصيلية الى حد العلامة وبحجم (50 ml) لكل محلول محضر وبعملية التخفيف حضر منه أربعة محاليل مختلفة التراكيز (0.2×10^{-3} - 10^{-3} M) وفي درجات حرارية مختلفة (293-333K), ثم حضرت املاح الصوديوم لقواعد شيف المحضرة بعملية التسحيح الاعتيادية وباستعمال دليل الفينونفثالين ولمحلول (10^{-3}M) لكل قاعدة محضرة ثم أجرينا التخفيف للحصول على خمسة محاليل مختلفة التراكيز وبحجم نهائي (50 ml)، واجرينا عليها قياسات التوصيل الكهربائي. وتم ضبط درجات الحرارة ضمن المدى (293-333K), باستخدام حمام مائي مزود بمنظم حراري. استعملت طريقة التوصيل الكهربائي في تعين ثوابت التأين للقواعد (N3, N2, N1) قيد الدراسة. ولأجل ذلك تم حساب التوصيل المكافئ (Λ) للالكتروليت وفق العلاقة التالية:

$$\Lambda = (1000 \times K)/C \dots\dots\dots\dots (1)$$

Λ = التوصيل المكافئ للالكتروليت عند أي تركيز.
K = التوصيل النوعي .
C= التركيز العياري او المولاري للأحماض قيد الدراسة

وحيث ان قواعد شيف المدروسة تعد الكتروليتات ضعيفة، فانه يتعذر إيجاد قيمة التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي (Λ_o) لها مباشرة من الرسم البياني للعلاقة بين (Λ) و ($\sqrt{C}$) لذا تم تحويل هذه القواعد الى املاح الصوديوم المقابلة لها (NaA) عن طريق التسحيح مع قاعدة NaOH القياسية. وبما ان املاح الصوديوم المتكونة هي الكتروليتات قوية فقد أمكن تطبيق معادلة كولراوش عليها لاستخراج قيم (Λ_oHA):

$$\Lambda = \Lambda o - b\sqrt{C} \dots\dots\dots\dots (2)$$

وبالاستعانة بقيم (Λ_o) لمركبات HCl و NaCl من المصادر الموثوقة (2004, Al-Tai)، تم حساب التوصيل المكافئ اللانهائي لكل قاعدة شيف (N3, N2, N1) الضعيفة (Λ_oHA) بتطبيق كولراوش للهجرة المستقلة للأيونات وفق المعادلة التالية:

$$\Lambda_{oNaA} + \Lambda_{oHCl} \rightarrow \Lambda_{oHA} + \Lambda_{oNaCl} \dots\dots\dots (3)$$

اذ ان: (Λ_{oNaA}) التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي لملح الصوديوم الحامضي (مستخرج من الرسم البياني)، ($\Lambda_{o\ HCl}$) التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي لحامض الهيدروكلوريك ويتم استخراجه من الرسم البياني، ($\Lambda_{o\ NaCl}$) التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي لملح كلوريد الصوديوم

ويتم استخراجها من الرسم البياني و ($\Lambda_{o\,HA}$) التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي لحوامض قواعد شيف وهي المطلوب ايجادها. وبعد تحديد قيمة (Λ_o) للقاعدة الضعيفة، تم حساب درجة التفكك (α) من خلال النسبة بين التوصيل المكافئ عند تركيز معين والتوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي:

$$\alpha = \Lambda/\Lambda_o \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

α = درجة التفكك للالكتروليتات الضعيفة .

Λ = التوصيل المكافئ لقاعدة شيف عند أي تركيز.

Λ_o = التوصيل المكافئ للقاعدة عند التركيز اللانهائي.

واخيراً، تم تعيين ثابت التأين (Ka) للقواعد الضعيفة قيد الدراسة باستخدام معادلة اوستولد للتخفيف (Ostwal's dilution law) كما يلي:

$$ka = (\alpha^2 C)/(1-\alpha) \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

وكما هو موثق في الادبيات (Artemov واخرون ,2021) حيث هناك نوعان من الالكتروليتات القوية (Strong electrolytes) والتي عند رسم العلاقة بين التوصيل المكافئ للالكتروليت عند درجة حرارية ثابتة مقابل الجذر التربيعي أعطت خطوط مستقيمة، اما الالكتروليتات الضعيفة (Weak electrolyes) التي أعطت منحنيات عند نفس درجة الحرارة وبالاستناد الى المعادلة (2) :

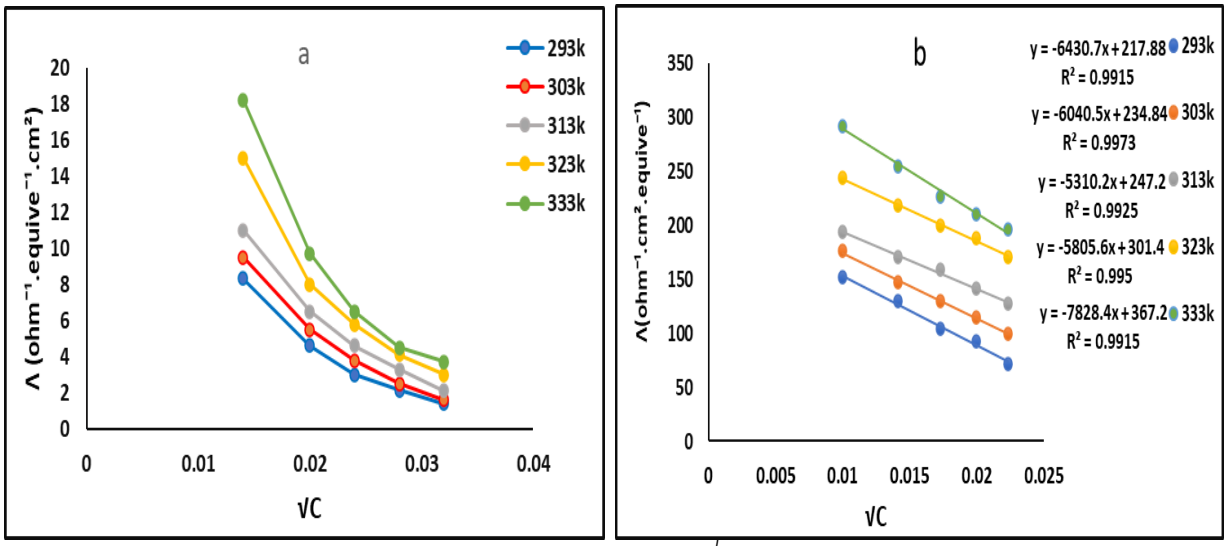
الجدول (4): يوضح التوصيلات المكافئة لمحاليل كلوريد الصوديوم
وحامض الهيدروكلوريك وبدرجات حرارية مختلفة

درجة الحرارة K	Λ_o HCl	Λ_o NaCl
293	344.4	116.530
303	396.18	142.970
313	441.01	170.280
323	516.93	211.500
333	569.74	242.970

الاشكال (7-9) توضح العلاقة بين (Λ) مقابل ($\sqrt{C}$) لقواعد شيف قيد الدراسة وبدرجات حرارية مختلفة.

الجدول (5): يوضح التوصيلات الكهربائية ودرجة التأين وثوابت التأين للمركب N1 في مذيب الماء

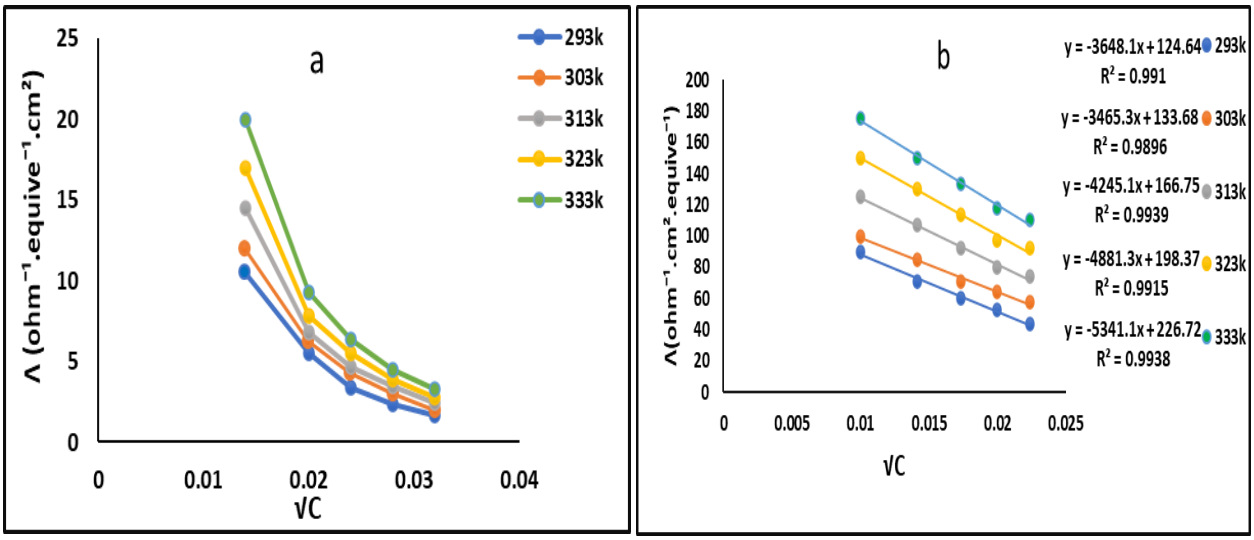
التركيز $Equiv.lit^{-1}\times10^{3}$	درجة الحرارة المطلقة	Λ_{Equiv} $ohm^{-1}.cm^{2}.equiv^{-1}$	Λ_{o} $ohm^{-1}.cm^{2}.equiv^{-1}$	A	$K_a \times10^{8}$	$\grave{K}_a\times10^{8}$
1	293	1.4	445.75	0.00314	0.98954	3.386
0.8		2.13		0.00477	1.83546	
0.6		3		0.00673	2.73617	
0.4		4.6		0.01031	4.30425	
0.2		8.3		0.01862	7.06588	
1	303	1.6	488.05	0.00327	1.07829	3.854
0.8		2.7		0.00553	2.46206	
0.6		3.8		0.00778	3.66593	
0.4		5.5		0.01126	5.13781	
0.2		9		0.01844	6.92898	
1	313	2.6	517.93	0.00405	1.65067	5.024
0.8		3.25		0.00627	3.16984	
0.6		4.6		0.00888	4.77526	
0.4		6.5		0.01254	6.30796	
0.2		11		0.02123	9.21713	
1	323	3	606.83	0.00494	2.45615	6.248
0.8		4.1		0.00675	3.67675	
0.6		5.8		0.00955	5.53399	
0.4		8		0.01318	7.04447	
0.2		15		0.02471	12.5303	
1	333	3.7	693.97	0.00533	2.85826	6.913
0.8		4.5		0.00648	3.38573	
0.6		6.5		0.00936	5.31358	
0.4		9.7		0.01397	7.92565	
0.2		18.8		0.02709	15.0866	



الشكل (7): العلاقة بين (Λ) مقابل ($\sqrt{C}$) للمركب N1 عند درجات حرارية مختلفة حيث يمثل (a) سلوك الحامض الضعيف (المنحني)، ويمثل (b) سلوك ملح الصوديوم للحامض (الخطي)

الجدول (6): يوضح التوصيلات الكهربائية ودرجة التأين وثوابت التأين للمركب N2 في مذيب الماء

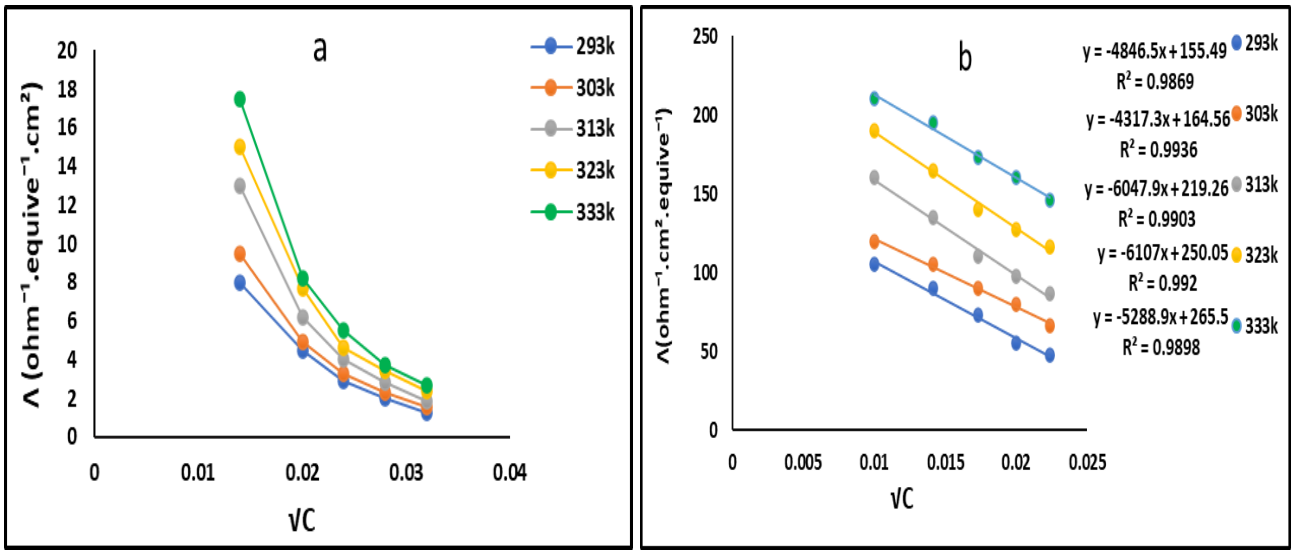
التركيز $Equiv.lit^{-1}\times10^{-3}$	درجة الحرارة المطلقة	Λ_{Equiv} $ohm^{-1}.cm^2.equiv^{-1}$	Λ_o $ohm^{-1}.cm^2.equiv^{-1}$	A	$K_a\times10^8$	$\grave{K}_a$ $\times10^8$
1	293	1.7	352.51	0.00482	2.3362	7.964
0.8		2.38		0.00675	3.6711	
0.6		3.4		0.00964	5.6355	
0.4		5.5		0.01560	9.8915	
0.2		10.5		0.02978	18.289	
1	303	2	386.89	0.00516	2.6858	8.973
0.8		2.8		0.00723	4.2201	
0.6		4.3		0.01111	7.4944	
0.4		6.25		0.01615	10.609	
0.2		12		0.03101	19.856	
1	313	2.4	437.48	0.00548	3.0262	9.545
0.8		3.5		0.00800	5.1617	
0.6		4.7		0.01074	6.9999	
0.4		6.8		0.01554	9.8166	
0.2		14.5		0.03314	22.724	
1	323	2.8	503.8	0.00555	3.1061	9.694
0.8		3.9		0.00774	4.8314	
0.6		5.5		0.01091	7.2300	
0.4		7.8		0.01548	9.7388	
0.2		17		0.03374	23.567	
1	333	3.3	553.49	0.00596	3.5760	11.012
0.8		4.4		0.00794	5.0961	
0.6		6.33		0.01143	7.9384	
0.4		9.25		0.01671	11.361	
0.2		20		0.03613	27.092	



الشكل (8): العلاقة بين (Λ) مقابل (√C) للمركب N2 عند درجات حرارية مختلفة حيث يمثل (a) سلوك الحامض الضعيف (المنحني)، ويمثل (b) سلوك ملح الصوديوم للحامض (الخطي).

الجدول (7): يوضح التوصيلات الكهربائية ودرجة التأين وثوابت التأين للمركب N3 في مذيب الماء

التركيز Equiv.lit^{-1}×10^{-3}	درجة الحرارة المطلقة	Λ_{Equiv} ohm^{-1}.cm^2.equiv^{-1}	Λ_o ohm^{-1}.cm^2.equiv^{-1}	A	K_a ×10^8	$\grave{K}_a$×10^8
1	293	1.3	383.36	0.00339	1.1538	4.254
0.8		2		0.00521	2.1888	
0.6		2.9		0.00756	3.4596	
0.4		4.5		0.01173	5.5770	
0.2		8		0.02086	8.8952	
1	303	1.55	417.77	0.00371	1.3817	4.939
0.8		2.3		0.00550	2.4382	
0.6		3.3		0.00789	3.7735	
0.4		5.3		0.01268	6.5205	
0.2		9.5		0.02273	10.582	
1	313	1.9	489.99	0.00387	1.5095	5.823
0.8		2.8		0.00571	2.6274	
0.6		4		0.00816	4.0314	
0.4		6.2		0.01265	6.4863	
0.2		13		0.02653	14.461	
1	323	2.4	555.48	0.00432	1.8748	6.364
0.8		3.4		0.00612	3.0156	
0.6		4.6		0.00828	4.1490	
0.4		7.7		0.01386	7.7941	
0.2		15		0.02700	14.9887	
1	333	2.7	592.27	0.00455	2.0877	7.400
0.8		3.7		0.00624	3.1418	
0.6		5.5		0.00928	5.2226	
0.4		8.6		0.01452	8.5579	
0.2		17.5		0.02954	17.992	



الشكل (9): العلاقة بين (Λ) مقابل ($\sqrt{C}$) للمركب N3 عند درجات حرارية مختلفة حيث يمثل (a) سلوك الحامض الضعيف (المنحني)، ويمثل (b) سلوك ملح الصوديوم للحامض (الخطي).

تظهر النتائج المستحصلة من الجداول (5–7) ان زيادة درجة الحرارة تودي الى زيادة في قيم ثابت التأين (Ka) لكافة القواعد قيد الدراسة، ويعزى هذا السلوك إلى أن زيادة درجة الحرارة تؤدي بشكل مباشر إلى زيادة درجة التأين للأحماض الضعيفة، مما ينتج عنه زيادة في أعداد الأيونات الموجبة والسالبة وتوليد طاقة حركية تسهم في تفكك الجزيئات. هذا الارتباط الوثيق بين الحرارة وقوة التأين يثبت أن العملية هي تفاعل ماص للحرارة (Endothermic)، وهو ما يتوافق مع الدراسات السابقة (Al-2014,Dabbagh) و (Azzouz و Al-Zybaidy,2011) ويشير إلى أن قيم انثالبية التأين ستكون ذات إشارة موجبة. اما عند ثبوت درجة الحرارة المحصورة بين(293-333K) فقد وجد ان تسلسل ازدياد الحامضية يكون وفق التسلسل التالي $Km > Kp > K_O$ وهذا يعزى الى ارتباط مركب البارا بأواصر هيدروجينية بينية مما يعيق عملية التأين يليه مركب الاورثو الذي يتوقع يكون أواصر هيدروجينية ضمنية. في حين ان مركب الميتا يكون أواصر هيدروجينية بينية ضعيفة ويدعم هذا العمل بانه عند زيادة التراكيز يزداد قيمة ثابت التاين مع زيادة درجة الحرارة. ولأجل ذلك تم الاستعانة بقيم ثوابت هامت (σ) لمجموعة الهيدروكسيل في موقعي الميتا والبارا، حيث بلغت هذه القيم (+0.121) و(−0.37) على التوالي. وتشير القيمة الموجبة في موقع الميتا إلى سيطرة التأثير الحثي الساحِب للإلكترونات (−I)، مما يؤدي إلى زيادة حامضية المركب. أما القيمة السالبة في موقع البارا فتعكس سيطرة تأثير الرنين المانح للإلكترونات (+M)، مما يقلل من الحامضية مقارنة بمركب الميتا. وبناءً على ذلك فإن التأثير الساحِب في موقع الميتا يكون أكثر فاعلية في زيادة الحامضية مقارنة بموقع البارا.

5.3. دراسة المتغيرات الثرموديناميكية

أن النتائج التي تم الحصول عليها كانت مشجعة للدراسة الثرموديناميكية. وحسبت قيم المتغيرات الثرموديناميكية لتفاعل التأين °ΔG، وفي الدرجات الحرارية الخمسة من العلاقة:

$$\Delta G^\circ = -RTLnKa \dots\dots\dots (6)$$

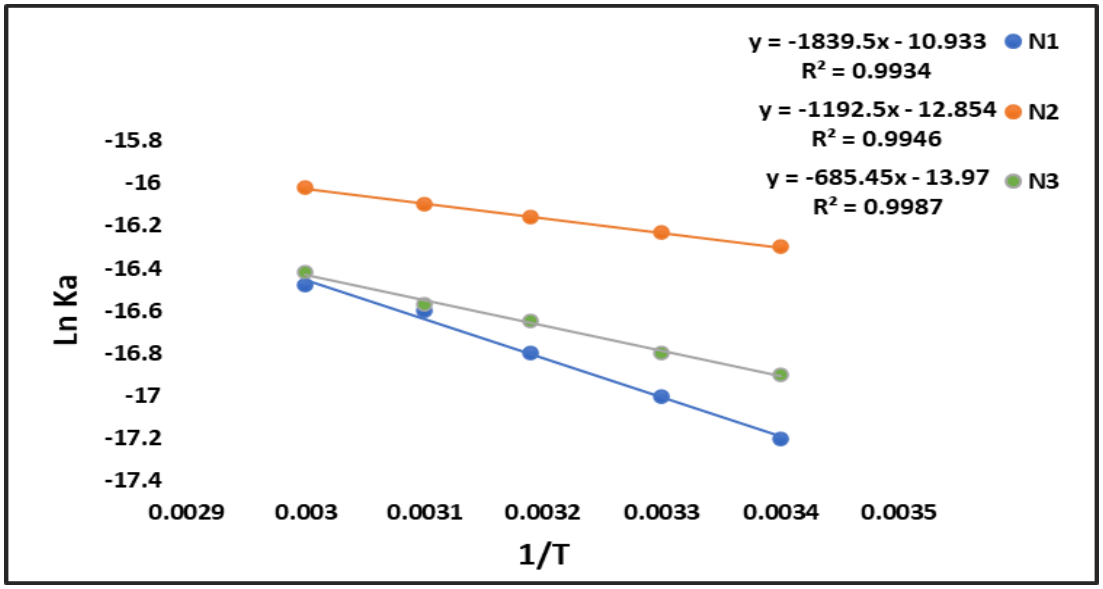
اما انثالبية التاين °ΔH للأحماض فقد احتسبت من معادلة فانت هوف التكاملية ذات الصيغة.

$$Ln\ Ka = constant - \ \Delta H/(RT) \ \dots\dots\dots (7)$$

احتسب التغير في قيمة الأنتروبي في (°ΔS) لتفاعل التأين للأحماض قيد البحث من معادلة جبس الموضحة ادناه.

$$\Delta G^\circ = \ \Delta H^\circ \ - \ T\Delta S^\circ \dots\dots.. (8)$$

ان رسم العلاقة بين $Ln\ Ka$ مقابل 1/ T اعطت خطوط مستقيمة كما في الشكل (10) للأحماض قيد الدراسة وبمعاملات ارتباط R^2 محصورة بين المدى (0.9987 – 0.9934).



الشكل (10): العلاقة بين Ln Ka مقابل 1/T للمركبات

الجدول (8): يوضح المتغيرات الثرموديناميكية لتفاعلات تأين الاحماض للمركبات وبدرجات حرارية محصورة بين (293–333 K).

symbol	درجة الحرارة المطلقة	ΔG J. mol⁻¹	ΔG J. mol⁻¹	ΔH J. mol⁻¹	ΔH J. mol⁻¹	ΔS J.mol⁻¹.K⁻¹	ΔS J.mol⁻¹.K⁻¹
N1	293	+41899.23	+43753.90	+15266.42	+15303.15	-90.89	-90.89
	303	+43001.75		+15459.97		-90.89	
	313	+43718.33		+15267.58		-90.89	
	323	+44524.29		+15164.57		-90.89	
	333	+45624.90		+15357.21		-90.89	
N2	293	+39804.27	+42087.57	+5773.32	+5733.70	-116.14	-116.14
	303	+40885.67		+5693.26		-116.14	
	313	+42052.87		+5698.99		-116.14	
	323	+43342.71		+5827.36		-116.14	
	333	+44352.36		+5675.55		-116.14	
N3	293	+41338.95	+43393.69	+10026.58	+9917.15	-106.86	-106.86
	303	+42371.96		+9990.91		-106.86	
	313	+43327.99		+9878.26		-106.86	
	323	+44497.44		+9845.02		-106.86	
	333	+45432.10		+9845.00		-106.86	

ومن خلال النتائج التي تم الحصول عليها من الجدول أعلاه، يتضح أن قيم الطاقة الحرة (ΔG°) لتفاعلات التأين ذات شحنة موجبة، مما يدل على أن تفاعلات التأين غير تلقائية؛ ويعود ذلك إلى أن المجاميع الحامضية الفينولية في الأحماض ترتبط بأواصر تساهمية يصعب تأينها في الماء. وفي السياق ذاته، جاءت قيم التغير في انثالبية التأين (ΔH°) موجبة أيضاً، مما يشكل دلالة إضافية على أن عملية التأين ماصة للحرارة. أما فيما يتعلق بـ التغير في انتروبي التأين (ΔS°)، فقد كانت ذات إشارة سالبة، وهو ما يخالف الحالة النظرية التي يتوقع فيها زيادة الأنتروبي نتيجة زيادة عدد الأيونات؛ ويُفسر هذا

السلوك بحدوث تداخلات قوية بين المذيب والمواد الناتجة، مما يؤدي إلى انتظام الأيونات بفعل الأواصر الهيدروجينية وخاصة البينية. دعمت النتائج الثرموديناميكية من قبل دراسات سابقة (Ali Mohsin و Al-Niemi, 2022) و (2020.Merie) و(Hashim و Al-Niemi , 2023)

5.3. تحليل أثر التباين الحراري على قيم التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي.

يتناول هذا القسم استقصاء وتحليل استجابة التوصيلية المكافئة عند التخفيف اللانهائي (Λ_o) للمتغيرات المنهجية ضمن مدى حراري محصور بين (20–60) م° وقد تم اعتماد هذا التقييم التحليلي على النموذج الرياضي المعتمد من قبل (AL-Hyali واخرون ,2018)، والمتمثل في المعادلة التالية (9).

$$\Lambda_{o(t)} = \Lambda_{o\ (25)} + B\Lambda_{o(25)}\ (t\ -25)\ \text{.....(9)}$$

$\Lambda_{o(t)}$ = التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي للمحلول في أي درجة حرارية .

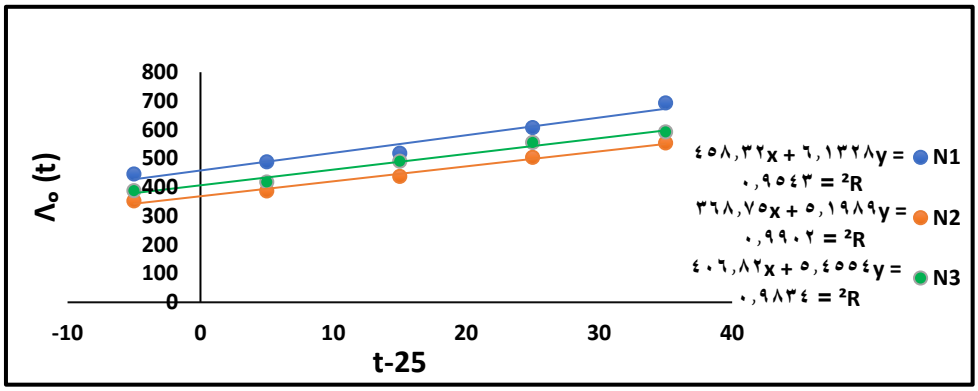
$\Lambda_{o\ (25)}$ = التوصيل المكافئ عند التخفيف اللانهائي للمحلول في درجة 25 م°.

B = معامل الثبات الحراري .

وعند رسم العلاقة بين ($\Lambda_{o(t)}$) مقابل (t -25) تم الحصول على خطوط مستقيمة محصورة ضمن المدى (0.9543 _ 0.9902) . تم التوصل الى وجود علاقة طردية بين التوصيل المكافئ ودرجة الحرارة عند حساب قيم معامل الثبات الحراري المرتبطة بطبيعة المحلول وخصائصه الفيزيائية من المعادلة (9) تم الحصول عل القيم التالية.

الجدول (9) النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق معادلة (9) الموضحة في الجدول.

symbol	$\Lambda_{o(25)}$	B	R^2
N1	458.32	0.0133	0.9543
N2	368.75	0.0140	0.9902
N3	406.82	0.0134	0.9834



الشكل (11) العلاقة بين $\Lambda_{o\ (t)}$ مقابل (t -25) للمركبات قيد الدراسة

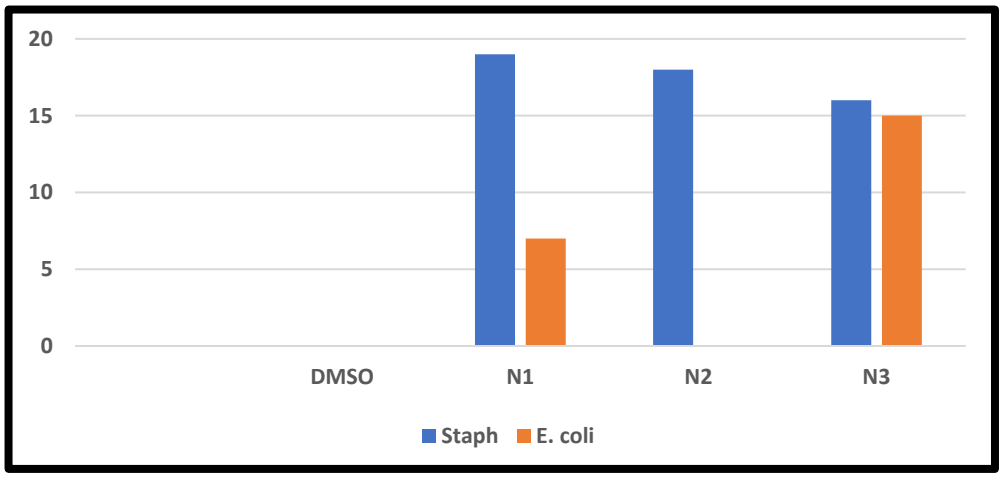
6.3. الفعالية البيولوجية

نظراً للأهمية البيولوجية المتزايدة لقواعد شيف, تم تقيم الفعالية البيولوجية للمركبات المحضرة في هذه الدراسة، حيث أظهرت النتائج نشاطاً بيولوجياً جيداً، وتشير الادبيات العلمية الى ان قواعد شيف، في الاطار العام، تمتلك أنشطة مضادة للبكتريا ومضادة للفيروسات (Isalm واخرون ,2025) و(Cui واخرون , 2024) ولها اهمية في المجالين الطبي والصيدلاني (Thakur واخرون, 2024) وتم اختيار الفعالية التثبيطية لنوعين من البكتريا، واحدة سالبة لصبغة كرام(-Ve Gram, *Escherichia Coli*) والثانية موجبة لصبغة كرام (+Ve Gram, *Staphylococcus aureus*)، وتعد هذه البكتريا الأكثر استخداماً في الدراسة المختبرية، وتم استعمال المضاد الحيوي (Gentamicin) كعامل مضاد للجراثيم ومرجع قياسي ايجابي (Borges واخرون , 2025)، باستعمال طريقة الانتشار الاكار، استعمل مولر_هينتون كوسيط غذائي لنمو البكتريا وتم اذابة القواعد المحضرة بمذيب ثنائي مثيل سلفوكسيد DMSO كمرجع سلبي اذا لم يظهر أي نشاطاً مضاد للبكتيريا، ثم اضيف (30µL) لكل حفرة على الطبق، وتم وضع الاطباق في حاضنة عند درجة حرارة 37 درجة مئوية لمدة 24 ساعة .وتم قياس منطقة التثبيط بالمليمتر (mm).

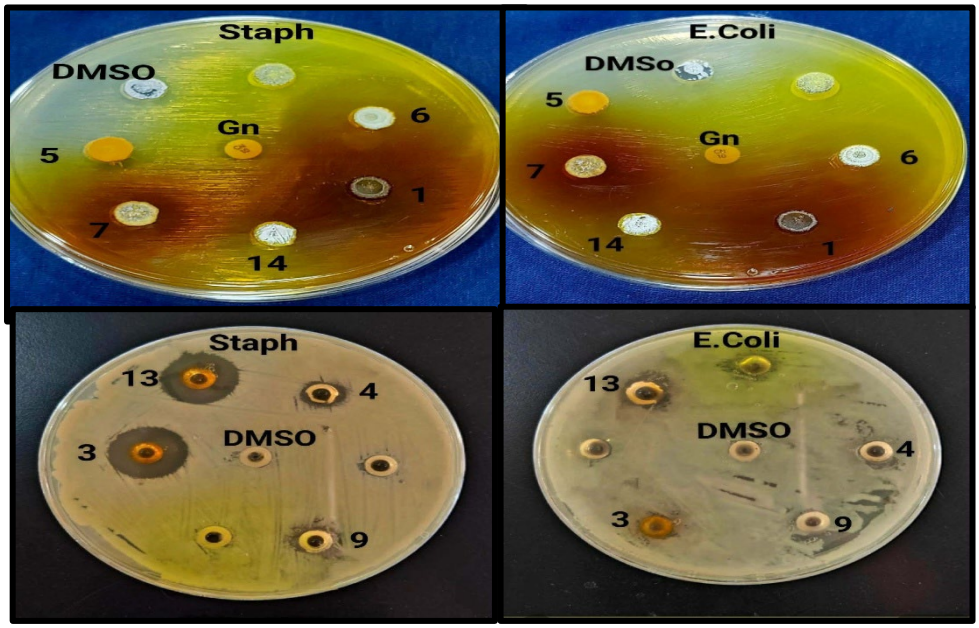
إذ أظهر المركب N1 أعلى نشاط تثبيطي ضد البكتيريا S. aureus بقطر منطقة تثبيط بلغ 19 mm ، بينما كان تأثيره أقل ضد البكتيريا E. coli حيث بلغ قطر منطقة التثبيط 7 mm. في حين أظهر المركب N2 نشاطاً تثبيطياً جيداً ضد S. aureus بقطر منطقة تثبيط قدره 18 mm ، ولم يسجل أي نشاط تثبيطي ضد E. coli. أما المركب N3 فقد أظهر نشاطاً تثبيطياً ضد كل من البكتيريا S. aureus و E. coli، حيث بلغت أقطار مناطق التثبيط 16 mm و 15 mm على التوالي وتبين مناطق التثبيط في الاطباق للمركبات بالأرقام (6,5,4,) .

الجدول (10): القطر التثبيطي لقواعد شيف ضد نوعين من البكتيريا

Sombol	*Staphylococcus aurius*	*Escherichia coli*
N1	19 mm	7 mm
N2	18 mm	------
N3	16 mm	15 mm
DMSO	-------	------



الشكل (12): النشاط المضاد للبكتيرية للمركبات المحضرة



الشكل (13): مناطق التثبيط للمركبات المحضرة

4. References

Abid, M.A., Mustafa, A., Al-Jumaili, J., & Abed, A.A.(2025). Synthesis, Characterization, and Gene Expression of Novel Bis-Schiff Base Compounds and Study of Their Antibacterial Activity Using Different Genes. *Results in Chemistry*, 13, 102042. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102042

Al-Dabbagh, M. Gh. A. E. (2014). Determination of pKa for some Schiff bases derived from benzaldehyde and amino phenols by conductivity measurement. *Journal of Education and Science*, 27(1), https://doi.org/10.33899/edusj.2014.161534

AL-Hyali, E. A., Al–Taai, F. H., & Othman, S. S. (2018). Thermodynamic and Theoretical Studies of Average Ionization Constants of a Number of Phenolic Schiff Bases Derived from Salicylaldehyde by Conductivity Measurements. *Journal of Education and Science*, 27(3), 46-0.

Ali Mohsin, A. H., Al-Niemi, M.M.H.Y. (2022). Thermodynamic study for the stability of aromatic complexes formation derived from the reaction of 4-dimethylaminobenzaldehyde with diazotized dinitro aniline reagents. Egyptian Journal of Chemistry, 65(2), 421-437. https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.87003.4241

Alqahtani, N. F. (2025). Synthesis and characterization of a new nano-antibiotic integrating polyphosphonium chitosan Schiff base and copper nanoparticles for bacterial infection therapy.*Materials Today Communications,* 42, 111385. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.111385

Al-Tai, F. H. M. (2004). Determination of ionization constants of some compounds derived from benzoylacetone and dimedone (Unpublished master's thesis) ,College of Education, University of Mosul, Mosul, Iraq. (In Arabic).

Artemov, V., Ryzhov, A., Ouerdane, H., & Stevenson, K. (2021). Ionization differences between weak and strong electrolytes: the role of protonic quantum effects as perturbed by dielectric relaxation spectroscopy. https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2021-v9l4m

Azzouz, A. S., & Al-Zybaidy, M. A. I. (2011). Effect of temperature and various solvents on the ionization constants of oxime and phenolic acids derived from aromatic and aliphatic carbonyl compounds (In Arabic). *Journal of Education and Science,* 24(4). https://doi.org/10.33899/edusj.1970.58937

Borges, N. H., Suss, P. H., Ortis, G. B., Dantas, L. R., & Tuon, F. F. (2025). Synergistic Activity of Vancomycin and Gentamicin Against Staphylococcus aureus Biofilms on Polyurethane Surface. Microorganisms, 13(5), 1119. https://doi.org/10.3390/microorganisms13051119

Ceramella, J., Iacopetta, D., Catalano, A., Cirillo, F., Lappano, R., & Sinicropi, M. S. (2022). A review on the antimicrobial activity of Schiff bases: Data collection and recent studies. Antibiotics, 11(2), 191. https://doi.org/10.3390/antibiotics11020191

Cinarli, A., Gürbüz, D., Tavman, A., & Birteksöz, A. S. (2011). Synthesis, spectral characterizations and antimicrobial activity of some Schiff bases of 4-chloro-2-aminophenol. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia,* 25(3). https://doi.org/10.4314/bcse.v25i3.68593

Cui, J., Wang, Y., Liang, X., Zhao, J., Ji, Y., Tan, W., ... & Guo, Z. (2024). Synthesis, antimicrobial activity, antioxidant activity and molecular docking of novel chitosan derivatives containing glycine Schiff bases as potential succinate dehydrogenase inhibitors. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131407. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131407

Hadjeb, R., & Barkat, D. (2017). Determination of acid dissociation constants of some substituted salicylideneanilines by spectroscopy. Application of the Hammett relation. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3646-S3651. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.04.002

Han, G. E., & Priefer, R. (2023). A systematic review of various pKa determination techniques. *International Journal of Pharmaceutics*, 635, 122783. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122783

Hashim, A. Y., & Al-Niemi, M. M. H. (2023). A spectroscopic study for the pH-effect on the thermodynamics of formation for colored Azo-dyes prepared from the reaction of paracetamol with two diazotized reagents. *Journal of Education and Science*, 32(3), 95-0. DOI: 10.33899/edusj.2023.139346.1353

Isalm, A. N., Habib, M. A., Hasan, M. M., Hasan, M. R., Karim, K. M. R., Mahiuddin, M., ... & Georghiou, P. E. (2025). Exploration of the synthesis, crystal structure, Hirshfeld surface analysis, binding properties, antibacterial activities, and molecular docking of

a Schiff base nickel (II) Complex. *Journal of Molecular Structure*, *1322*, 140294. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.140294

Jiang, Y. R., Su, D., Wang, M. Z., Jia, A. Q., & Zhang, Q. F. (2023). Syntheses and characterizations of 2-nitrobenzaldehyde amino acid Schiff base reductive amination compounds. *Indian Journal of Chemistry (IJC)*, *62*(5), 425-430. https://doi.org/10.56042/ijc.v62i5.1408

Kalkir, F., Demiralay, E. Ç., Daldal, Y. D., & Yilmaz, H. (2025). Chromatographic analysis and pKa evaluation of active pharmaceutical ingredients in anti-metastatic breast cancer: Green vs. conventional RPLC. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 256, 116671. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2025.116671

Khalaf, M. M., Abd El-Lateef, H. M., Gouda, M., Abdelhamid, A. A., Amer, A. A., & Abdou, A. (2024). Designing, characterization, DFT, biological effectiveness, and molecular Docking analysis of novel Fe (III), Co (II), and Cu (II) complexes based on 4-Hydroxy-2 H-pyrano [3, 2-c] quinoline-2, 5 (6 H)-dione. ACS omega, 9(6), 6466-6481.https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06274

Khan, S. (2024). Exploring the chemistry, reactions, applications, and biomedical potentials of 2-nitrobenzaldehyde and 2-chlorobenzaldehyde. *Fine Chem Eng*, *5*(2), 345. https://doi.org/10.37256/fce.5220244858

Lo, M., Faye, D., Seye, D., Dieng, M., Sall, M. L., Thiaré, D. D., ... & Fall, M. (2024). A Novel Method for Combination of Ionic Conductivity and pH-metry Methods for the Determination of the Aqueous Solubility of a New Diisopropylammonium Hydrogenmaleate Crystalline Molecule. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, *25*(6), 12-27. https://doi.org/10.9734/irjpac/2024/v25i6882

Merie, F. (2020). A Study of the Component Formats Effect on Ionization Constants for A Number of Schiff Pyridine Water and Ethanol with Variant Temperature Degrees. Egyptian Journal of Chemistry, 63(12), 4975-4985. https://doi.org/10.21608/ejchem.2020.21228.2266

Patel, V., Trivedi, P., Gohel, H., & Khetani, D. (2014). Synthesis and Characterization of Schiff Base of p-chloro aniline and their Metal Complexes and their evaluation for Antibacterial Activity. IJAPBC, 3(4), 999-1003.

Pezzola, S., Tarallo, S., Iannini, A., Venanzi, M., Galloni, P., Conte, V., & Sabuzi, F. (2022). An accurate approach for computational pKa determination of phenolic compounds. *Molecules*, 27(23), 8590. https://doi.org/10.3390/molecules27238590

Raczuk, E., Dmochowska, B., Samaszko-Fiertek, J., & Madaj, J. (2022). Different Schiff bases—structure, importance and classification. *Molecules*, *27*(3), 787. https://doi.org/10.3390/molecules27030787

Rao, D. P., Gautam, A. K., Verma, A., & Gautam, Y. (2025). Schiff bases and their possible therapeutic applications: A review. *Results in Chemistry*, *13*, 101941. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101941

Sıdır, Y. G., & Sıdır, İ. (2025). The Optical Properties, UV-Vis. Absorption and Fluorescence Spectra of 4-Pentylphenyl 4-n-benzoate Derivatives in Different Solvents. *Journal of Fluorescence*, 1-19. https://doi.org/10.1007/s10895-025-04154-9

Silas, C. U., Ezenweke, L. O., Ojiako, E. N., & Eboh, N. P. (2025). Synthesis, characterization, and study of anti-microbial properties of Fe(III) Schiff base complex derived from hydrazone and benzaldehyde. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS)*, 14(9). https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.140906

Sinicropi, M. S., Ceramella, J., Iacopetta, D., Catalano, A., Mariconda, A., Rosano, C., ... & Longo, P. (2022). Metal complexes with Schiff bases: Data collection and recent

studies on biological activities. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 14840. https://doi.org/10.3390/ijms232314840

Sulaiman, R. D., & Najm, Z. A. (2023). Determination of ionization constants of some Schiff bases derived from vanillin, aniline, and their substituted derivatives by spectrophotometric titration method (Application of the Hammett relationship). (In Arabic), *Journal of the College of Basic Education Research,* 19(1). https://doi.org/10.33899/berj.2023.178143

Sunjuk, M., Al-Najjar, L., Shtaiwi, M., El-Eswed, B. I., Sweidan, K., Bernhardt, P. V., ... & Al-Essa, L. (2023). Metal Complexes of Schiff Bases Prepared from Quinoline-3-Carbohydrazide with 2-Nitrobenzaldehyde, 2-Chlorobenzaldehyde and 2, 4-Dihydroxybenzaldehyde: Structure and Biological Activity. *Inorganics*, *11*(10), 412. https://doi.org/10.3390/inorganics11100412

Thakur, S., Jaryal, A., & Bhalla, A. (2024). Recent advances in biological and medicinal profile of schiff bases and their metal complexes: An updated version (2018–2023). *Results in Chemistry*, 7, 101350. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101350

Zhao, X., Li, C., Zeng, H., Gu, X., & Zheng, J. (2024). Determination of nitrobenzene potential genotoxic impurities in nifedipine with GC-MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis,* 248, 116274. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2024.116274