CC BY 4

College of Basic Education Research Journal

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

Synthesis, Characterization, and Evaluation of the Antibacterial Activity of Alkyl Imidazolium Bromide and Their Complex Salts with Several Transition Metals

Aya A. Hussein[1] Assim A. Sabah[2] Ammar A. Ibrahim[3]

[1,3]University of Mosul, College of Science, Chemistry Department, Mosul, Iraq

[2] University of Mosul, College of Basic Education, Science Department, Mosul, Iraq

Article Information

Article history:
Received: April 30, 2025
Reviewed: June 3, 2025
Accepted: June 17, 2025
Available online: September 2026

Keywords:
Imidazolium ionic liquids,
Complex salts,
Biological activity.

Correspondence:
Aya A. Hussein
Email:
aya.24scp28@student.uomosul.edu.iq

Abstract

In this study, newly synthesis alkyl imidazolium bromide ionic liquids (ILS) and their complex salts with several transition metals. The prepared ionic liquids included 1,3-diethylimidazoluim bromide (A1) and 1,3-diallyl imidazoluim bromide (A2). These ILs were reacted with transition metal chlorides (Mn(II), Fe(II), Co(II), Ni(II), and Cu(II)) in a 2:1 molar ratio to form their complex salts. The synthesized organic salts and complex were characterized by physical methods, in addition to using various spectroscopic techniques, including nuclear magnetic resonance spectroscopy (1H and 13C NMR), mass spectrometry (MS), Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR), electronic spectroscopy (UV-Vis), and elemental determination by atomic absoption spectroscopy (AAS), Additionally molar conductivity measurements and magnetic susceptibility were conducted, confirming that all synthesized complexes adopt Suggested a tetrahedral geometry. The biological activiy of the prepared organic salts and their complexes was evaluated by testing their inhibitory effects on the growth of Gram-positive and Gram-negative bacteria using the disk diffusion method, Most organic salts and their complexes showed varying effectiveness against the bacteria used in the study.

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

تحضير وتشخيص وتقييم الفعالية المضادة للبكتريا لألكيل إيميدازوليوم بروميد وأملاحهِ المعقدة مع عدد من العناصر الانتقالية

أية علي حسين[1] عاصم عادل صباح[2] عمار عبدالستار إبراهيم[3]

[3،1] جامعة الموصل، كلية العلوم، قسم الكيمياء ، الموصل، العراق

[2] جامعة الموصل، كلية التربية الاساسية، قسم العلوم، الموصل، العراق

المستخلص

في هذهِ الدراسة، حُضرت سوائل أيونية جديدة مشتقة من الكيل إيميدازوليوم بروميد وأملاحها المعقدة مع عدد من العناصر الانتقالية، حيث تضمنت السوائل الأيونية المحضرة 3,1 – ثنائي إيثيل إيميدازوليوم بروميد (A1) و 3,1 – ثنائي أليل إيميدازوليوم بروميد(A2) ، تمت مفاعلة هذهِ السوائل الايونية بنسبة مولارية 2:1 مع كلوريدات العناصر الإنتقالية ((Mn(II), Fe(II), Co(II), Ni(II), Cu(II)) لتكوين الاملاح المعقدة. شُخصت الأملاح العضوية ومعقداتها المحضرة بالطرائق الفيزيائية، إضافةً إلى استخدام تقنيات طيفية مختلفة، منها طيف الرنين النووي المغناطيسي (H , 13C NMR1)، طيف الكتلة، طيف الأشعة تحت الحمراء (FT–IR)، الأطياف الالكترونية (UV–Vis)، وتقدير العناصر من خلال تقنية الامتصاص الذري، كما أُجريَ قياس التوصيلية المولارية، وقياس الحساسية المغناطيسية، وأثبتت هذه القياسات أن جميع المعقدات المحضرة تمتلك الشكل الهندسي المقترح رباعي السطوح. كما تم إجراء إختبار الفعالية البايولوجية للأملاح العضوية المحضرة ومعقداتها من خلال دراسة التأثير التثبيطي لنمو صنفين من البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة كرام بطريقة الإنتشار بالأقراص، وأظهرت معظم الأملاح العضوية ومعقداتها فعالية متفاوتة تجاه البكتريا المستعملة في الدراسة.

الكلمات المفتاحية: السوائل الايونية للايميدازوليوم، الاملاح المعقدة، الفعالية البايولوجية.

1. المقدمة:

جذبت السوائل الايونية أو الاملاح المنصهرة عند درجة حرارة أقل من (100 °C) اهتماماً كبيراً، وذلك لخصائصها المثيرة للاهتمام، منها التوصيل الكهربائي العالي، قابلية الإشتعال المنخفضة، السمية المنخفضة، والضغط البخاري الذي يكاد لا يذكر، إضافةً إلى الإستقرار الحراري والكيميائي الجيد وقابليتها على إذابة العديد من المركبات العضوية وغير العضوية لذلك يمكن استخدامها كمذيبات خضراء بدلاً من المذيبات العضوية التقليدية (Patel, Kumari, & Khan, 2014). بشكل أساسي تتكون السوائل الايونية من أيونات موجبة عضوية كبيرة والتي تحمل واحدة أو أكثر من معوضات الالكيل، أما الايون السالب فيمكن أن يكون عضوي مثل هاليدات الالكيل أو غير عضوي مثل رباعي فلورو بورات (BF^-_4) أو سداسي فلورو فوسفات (PF^-_6) (Novello et al., 2024).تعتمد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسوائل الايونية على ثلاثة متغيرات، وهي طول سلسلة الالكيل، وطبيعة أو نوع الايون الموجب العضوي، إضافةً إلى الايون السالب (Sivapragasam, Moniruzzaman, & Goto, 2020)، حيث يمكن التحكم في الخصائص الفيزوكيميائية من خلال اختيار الايونات المكونة للأملاح المنصهرة وفقاً لطبيعة التفاعلات الجزيئية، كما في السوائل الايونية لأملاح الايميدازوليوم فقد أظهرت الدراسات أن قوى كولوم التي تحدث بين الايون الموجب والسالب تتغير بشكل ملحوظ حسب نوع الايون المستخدم مما يؤدي إلى تغيير الخصائص الفيزيائية لها (Denizalti, Ali, Ela, Ekmekci, & Erten-Ela, 2018; Wendler et al., 2011).

أظهرت السوائل الايونية خصائص بيولوجية عالية الفعالية جعلتها محط اهتمام علماء الكيمياء الحيوية، الطب والبيئة حيث زاد التركيز على الأنشطة البيولوجية للسوائل الايونية بشكل خاص في مجالي الصيدلة والطب ، ويعزى ذلك إلى امتلاكها صفات مضادة للخلايا السامة ضد أصناف مختلفة من البكتريا والفطريات، مما أعطى إمكانية استخدامها في تركيب الادوية، ومن المرجح أن تشكل السوائل الايونية بديلاً جيداً في تصميم الأدوية المضادة للسرطان نظراً لخصائصها القابلة للتعديل كتغيير الايونات الموجبة والسالبة وذلك لغرض التحكم في ذوبانية المواد والسمية الخلوية (Khanapure, Jagadale, Bansode, Choudhari, & Rashinkar, 2018) أيضاً برز دور السوائل الايونية في مجموعة متنوعة من المجالات الحديثة، مثل استخدامها كمحفزات للتفاعلات الكيميائية (Kar, Plechkova, Seddon, Pringle, & MacFarlane, 2018)، المحفزات الحيوية (Sheldon, 2021)، معالجة البوليمرات الحيوية (Ren et al., 2020)، المكونات النشطة في الادوية (Egorova, Gordeev, & Ananikov, 2017)، إضافةً إلى استخدامها في المواد الالكترولايتية للبطاريات وغيرها من التطبيقات الأخرى (Yang et al., 2018).

من بين أكثر السوائل الايونية شيوعاً هي المشتقة من الإيميدازول وذلك بسبب تطبيقاتها المتعددة والواسعة في العديد من المجالات مثل التحفيز والتخليق الكيميائي وفي عمليات الاستخلاص والفصل، حيث يتم تحضير هذه السوائل الايونية بشكل عام من تفاعل نسبة مكافئة من هاليد الالكيل مع المركب الكيل إيميدازول عند درجة حرارة وزمن معينين (Hussain, Siddiqui, Zia-ur-Rehman, Yasinzai, & Parvez, 2009; Soujanya & Sastry, 2007). في الآونة الأخيرة، جذب ابتكار المواد ذات الأنشطة المضادة للبكتريا اهتماماً كبيراً في الرعاية الصحية الحديثة، وذلك بسبب زيادة الإستخدام للمضادات الحيوية والزيادة السريعة في مقاومتها للبكتريا المسببة للامراض (Bai et al., 2015; Wang et al., 2014). وعليهِ، فقد أظهرت دراسات مختلفة النشاط المضاد للبكتريا للسوائل الايونية المشتقة من الايميدازول ضد أصناف مختلفة من البكتريا (Anderson & Long, 2010). على وجه الخصوص، السوائل الايونية المشتقة من الايميدازوليوم ذات سلاسل الالكيل الطويلة وجِد أنها تمتلك نشاطاً عالياً ضد أصناف مختلفة من البكتريا، مثل البكتريا الإشريكية القولونية (*E.Coli*) والبكتريا العنقودية الذهبية (*S.aureus*) والبكتريا العصوية الرقيقة (*B.Subtilis*) وممكن أن يرجع السبب إلى طول سلسلة الألكيل في الايون الموجب والذي يؤدي إلى تفاعل السوائل الايونية مع غشاء الخلية للبكتريا، مما يؤثر على نفاذيتها ويؤدي إلى موت الخلايا(Demberelnyamba et al., 2004; Pendleton & Gilmore, 2015). بالتالي، فقد مهد التفاعل بين السوائل الايونية وأغشية الخلايا الطريق لابتكار مجموعة من المضادات الحيوية للسوائل الايونية القائمة على الايميدازول لمعالجة العديد من الامراض المعدية (Wu et al., 2020). إلى جانب ذلك، خُضعت السوائل الايونية المشتقة من الايميدازوليوم والحاوية على كلوريدات المعادن الانتقالية مثل النحاس (II) والزنك (II) والحديد (III) لدراسة النشاط المضاد للبكتريا وأثبتت فعاليتها الجيدة تجاه البكتريا من نوع (*E.Coli*) و (*S.aureus*)، مما يجعل هذه المركبات ذات إمكانيات واعدة في التطبيقات الطبية والحيوية نظراً لخصائصها المضادة للبكتريا (Zheng et al., 2017).

الهدف من دراستنا هو تحضير سوائل أيونية جديدة مشتقة من ألكيل إيميدازوليوم بروميد، إضافةً إلى تحضير أملاحها المعقدة مع عدد من العناصر الانتقالية التالية Mn (II), Fe(II), Co(II), Ni(II), Cu(II)، ثم يتم بعد ذلك تشخيص هذه المركبات باستخدام الطرائق الفيزيائية والطيفية، إضافة إلى إجراء اختبار الفعالية البايولوجية على صنفين من البكتريا (*E.Coli*) و(*S.aureus*).

المواد وطرائق العمل:

جميع المواد الكيميائية والمذيبات المستخدمة في البحث تم الحصول عليها من مصادر موثوقة. تم إجراء قياس طيف الرنين النووي المغناطيسي NMR لكل من ^{1}Hو ^{13}C بإستخدام جهاز Bruker 500MHz، أما قياس طيف الكتلة فتم إجراءهُ بواسطة جهاز Agilent 5975C. تم إستخدام المذيب الكيميائي DMF بتركيز 10^{-3} M ودرجة حرارة 25°C لإجراء قياس التوصيلية المولارية للمركبات المحضرة بواسطة جهاز BC3020 professional benchtop counductivity meter. بينما تم إجراء قياس الأطياف الإلكترونية (UV–Vis) بواسطة جهاز shimadzu 1800. أيضاً تم إجراء قياس الحساسية المغناطيسية بواسطة جهاز Sherwood scientific MK1. بينما أُستخدم جهاز GBC Scientific equibment SenssAA لإجراء قياس الامتصاص الذري. تم إجراء قياس درجات الإنصهار أو درجات التفكك بواسطة جهاز Melting point Apparatues–stuart–SMP30. وتم إستخدام أدوات فعالة ودقيقة لإجراء القياسات المتبقية.

تحضير الأملاح العضوية:

3,1– ثنائي إيثيل إيميدازوليوم بروميد (A_1) [diEIm]Br

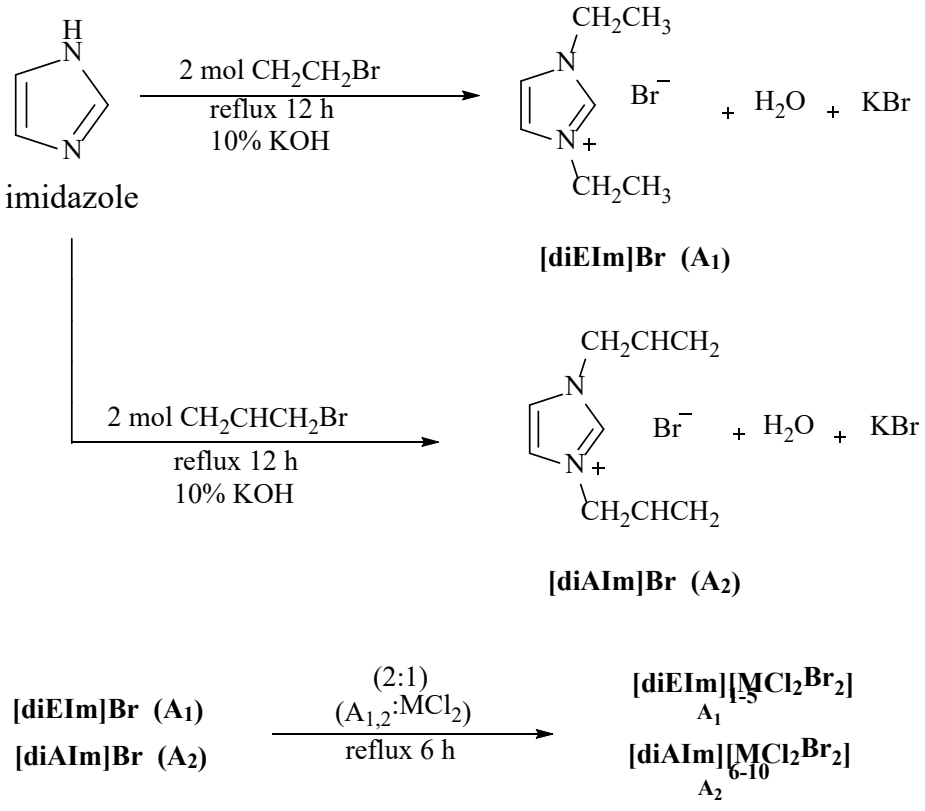
جميع المركبات تم تحضيرها وفقاً للأدبيات المنشورة (Mohammed, Sulliman, Sabah, & Mohammed, 2025; Sabah et al.). تم تحضير الملح العضوي 3,1–ثنائي إيثيل إيميدازوليوم بروميد (A_1) ذي الصيغة [diEIm]Br بنسبة مولارية 2:1 عن طريق تفاعل الإضافة والإستبدال بين إيثيل بروميد (2.18 g, 0.02 mol) و الإيميدازول (0.68g, 0.01mol) المذاب في 10 ml من الإيثانول المطلق، وبوجود هيدروكسيد البوتاسيوم KOH بتركيز 10%، تمت الإضافة بشكل تدريجي وبطيء، ثم تم تصعيد المزيج لمدة 12 ساعة بعد ذلك تم الحصول على سائل ذو لون أبيض وتم إستخلاصهِ بإستخدام مذيب الهكسان عدة مرات لإزالة الفائض من إيثيل بروميد، ثم تم ترشيح السائل لإزالة الناتج العرضي KBr.

3,1– ثنائي أليل إيميدازوليوم بروميد (A_2) [diAlm]Br

تم تحضير الملح العضوي 3,1– ثنائي أليل إيميدازوليوم بروميد (A_2) [diAlm]Br بنفس طريقة العمل المذكورة سابقاً للملح العضوي (A_1) لَكن تم إستخدام (2.42g.0.02 mol) من أليل بروميد بدلاً من إيثيل بروميد، وتم الحصول على سائل ذو لون أصفر، أيضاً تم استخلاصهُ بالهكسان لإزالة المتبقي من أليل بروميد ثم رُشح لإزالة الناتج العرضي KBr.

تحضير الأملاح المعقدة

تم مفاعلة الأملاح العضوية المحضرة مع كلوريدات العناصر الإنتقالية بنسبة 2:1 من الملح العضوي إلى كلوريد الفلز لإنتاج الأملاح المعقدة، حيث تمت مفاعلة (0.408g,0.002 mol) من الملح العضوي ([diEIm]Br (A_1) مع (0.198g,0.001 mol) من كلوريد المنغنيز وبوجود الإيثانول، تم تصعيد المزيج لمدة 6 ساعات، ثم رشح الراسب وغُسِل بالإيثر لإنتاج الملح المعقد الأول. تم تحضير باقي المعقدات بنفس الطريقة السابقة، مع تبديل الملح العضوي وكلوريد الفلز وكما موضح في مخطط (1). الجدول (1) يوضح بعض الصفات الفيزيائية للمركبات المحضرة.



مخطط (1). تحضير الأملاح العضوية (A_1) و (A_2) وأملاحها المعقدة.

الجدول (1): بعض الصفات الفيزيائية للمركبات المحضرة.

الرمز	الاملاح العضوية ومعقداتها	اللون	نسبة الناتج%	درجة الانصهار °C	التوصيلية ($سم^2$. $اوم^{-1}$. $مول^{-1}$)
A_1	[diElm]Br	أبيض	91	95*	85
A_2	[diAlm]Br	أصفر	77	98*	96
1	$[diElm]_2[MnCl_2Br_2]$	وردي فاتح	45	300 <	102
2	$[diElm]_2[FeCl_2Br_2]$	برتقالي غامق	73	300 <	130
3	$[diElm]_2[CoCl_2Br_2]$	أزرق غامق	56	172–175	120
4	$[diElm]_2[NiCl_2Br_2]$	أخضر	48	300 <	130
5	$[diElm]_2[CuCl_2Br_2]$	زيتوني	73	87*	150
6	$[diAlm]_2[MnCl_2Br_2]$	برتقالي فاتح	55	300 >	140
7	$[diAlm]_2[FeCl_2Br_2]$	برتقالي غامق	86	300 >	114
8	$[diAlm]_2[CoCl_2Br_2]$	بنفسجي	54	300 >	137
9	$[diAlm]_2[NiCl_2Br_2]$	أخضر	62	300 >	90
10	$[diAlm]_2[CuCl_2Br_2]$	بُني	37	87*	160

درجة الغليان *

النتائج والمناقشة

تشخيص الاملاح العضوية: تم دراسة خصائص المركبات المحضرة بإستخدام البيانات الفيزيائية والطيفية التالية:

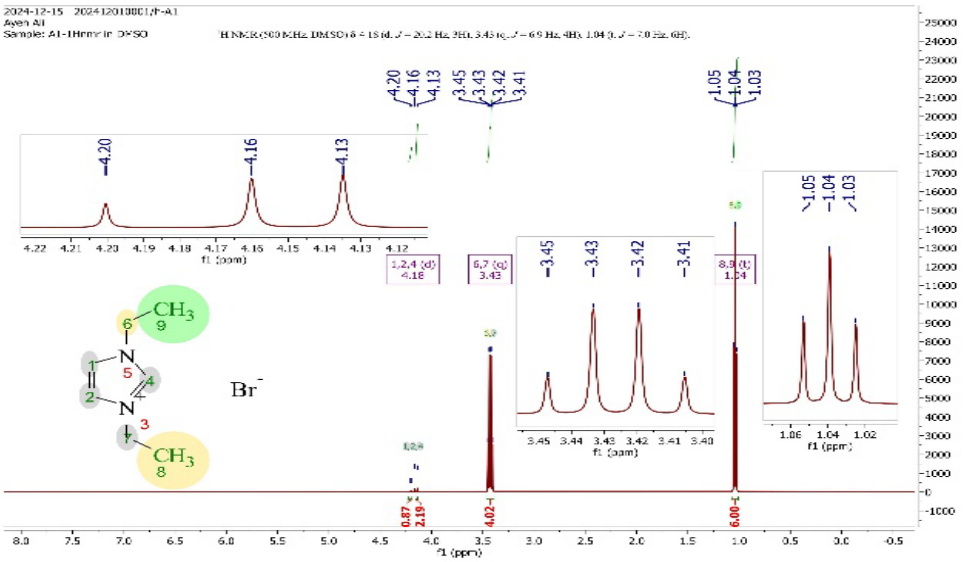
3,1- ثنائي إيثيل إيميدازوليوم بروميد (A_1) [diElm]Br كما في الشكل(1) ^{1}H NMR (500 MHz, DMSO)

δ 4.18 (d, J = 20.2 Hz, 3H), 3.43 (q, J = 6.9 Hz, 4H), 1.04 (t, J = 7.0 Hz, 6H). ^{13}C NMR (126 MHz, DMSO) δ 134.86, 120.60, 56.31, 18.73.

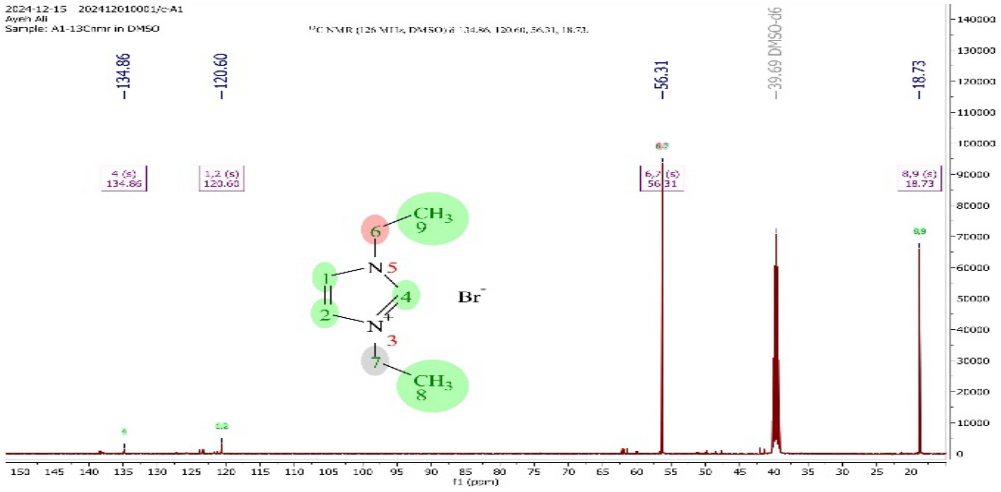
3,1- ثنائي أليل إيميدازوليوم بروميد (A_2) [diAlm]Br:كما في الشكل(2) ^{1}H NMR (500 MHz, DMSO)

δ 6.04 (s, 1H), 4.87 (d, J = 6.2 Hz, 2H), 3.42 (q, J = 7.0 Hz, 4H), 1.03 (t, J = 6.9 Hz, 6H). ^{13}C NMR (126 MHz, DMSO) δ 122.74, 120.48, 56.14, 51.04, 18.54.

^{1}H NMR

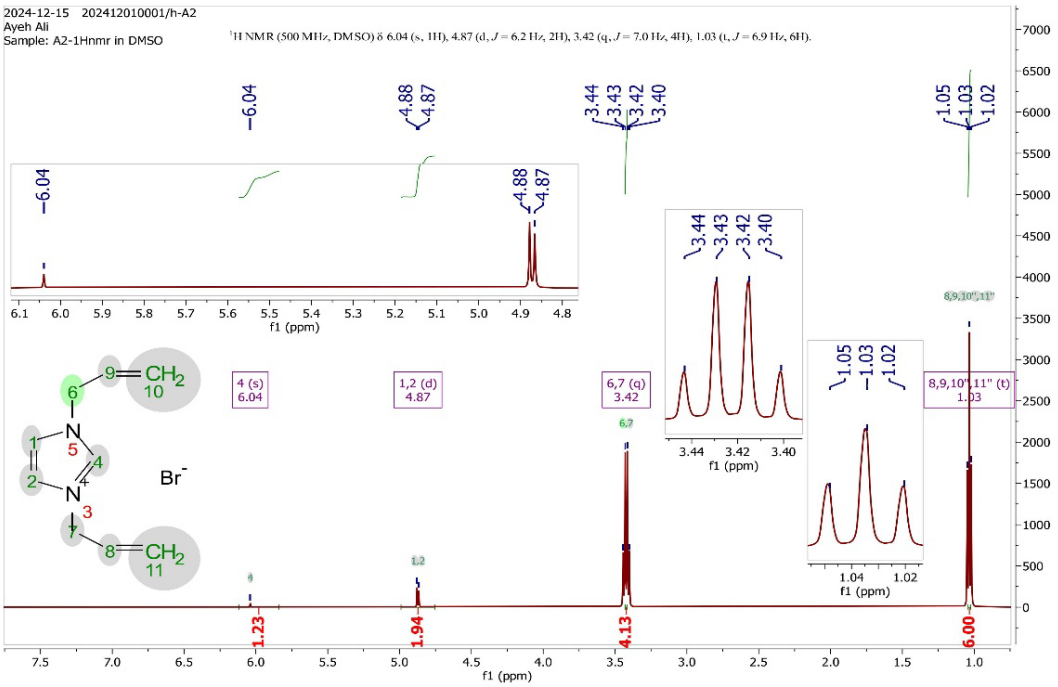


^{13}C NMR

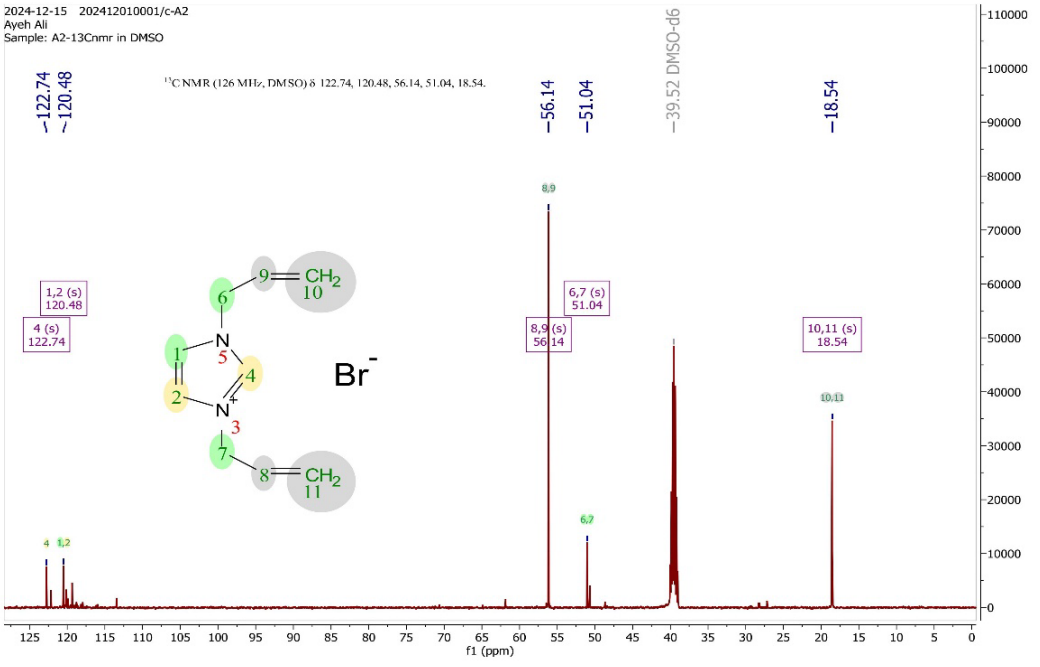


الشكل:(1) NMR للملح العضوي [diEIm]Br (A_1)

^{1}H NMR



^{13}C NMR



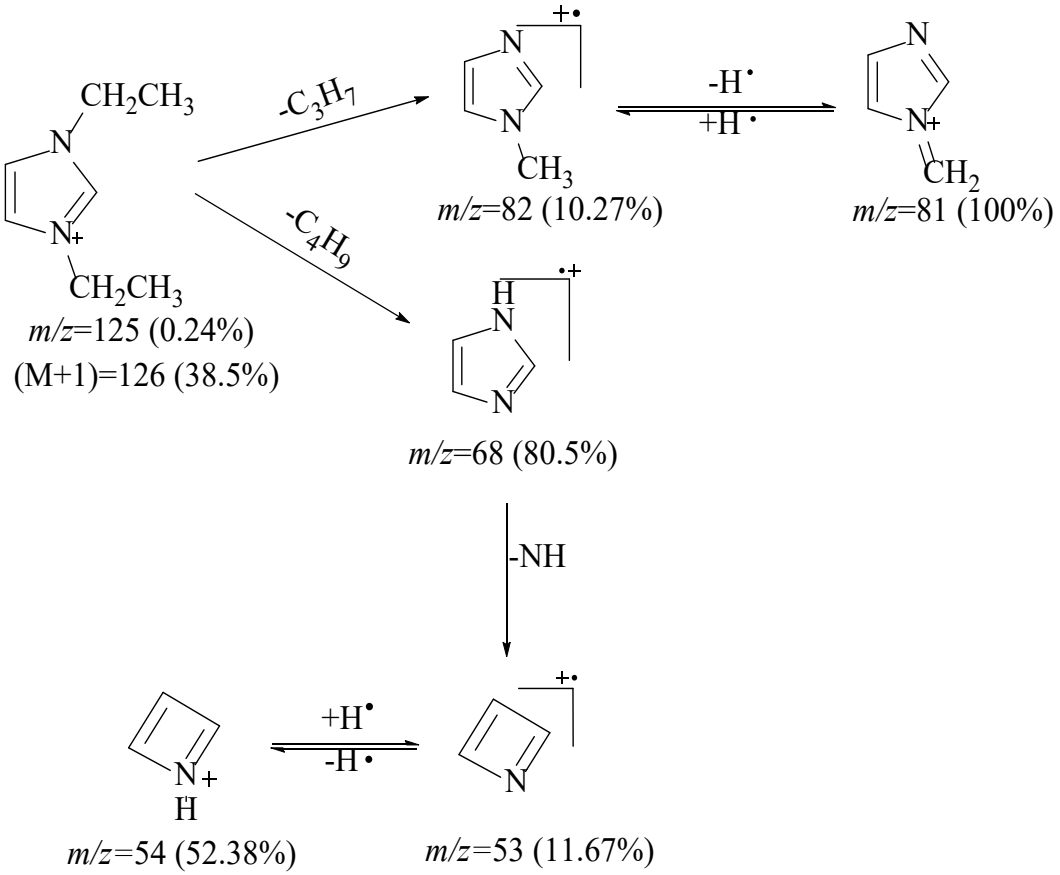
الشكل (2): NMR للملح العضوي [diAlm]Br (A_2)

طيف الكتلة:

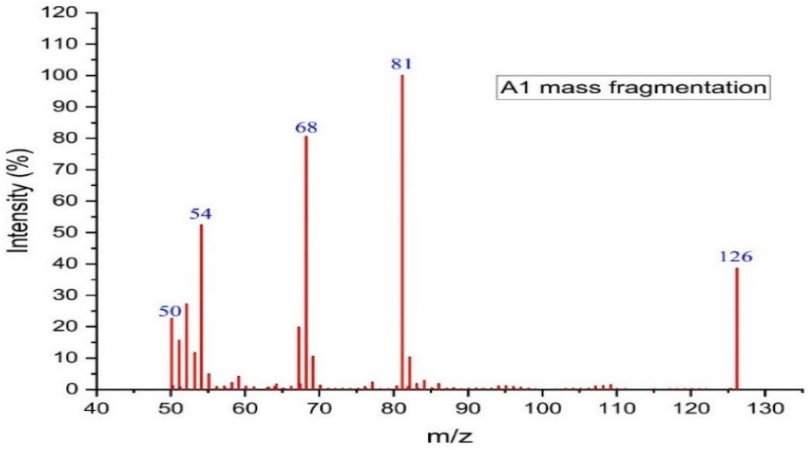
3,1- ثنائي إيثيل إيميدازوليوم بروميد(A_1) [diElm]Br: كما موضح في المخطط (2) والشكل (3) ميكانيكة التكسر المقترحة، m/z=125 (0.24%), (M+1)=126 (38.5%), m/z=82 (10.27%), m/z=81 (100%), m/z=68 (80.5%), m/z=53 (11.67%), m/z=54 (52.38%).

3,1- ثنائي أليل إيميدازوليوم بروميد (A_2) [diAlm]Br: كما موضح في المخطط (3) والشكل (4) ميكانيكة التكسر المقترحة، m/z =149 (11.42%), (M−2)=147 (21.79%), m/z=108 (49.86%), m/z=107 (86.9%)

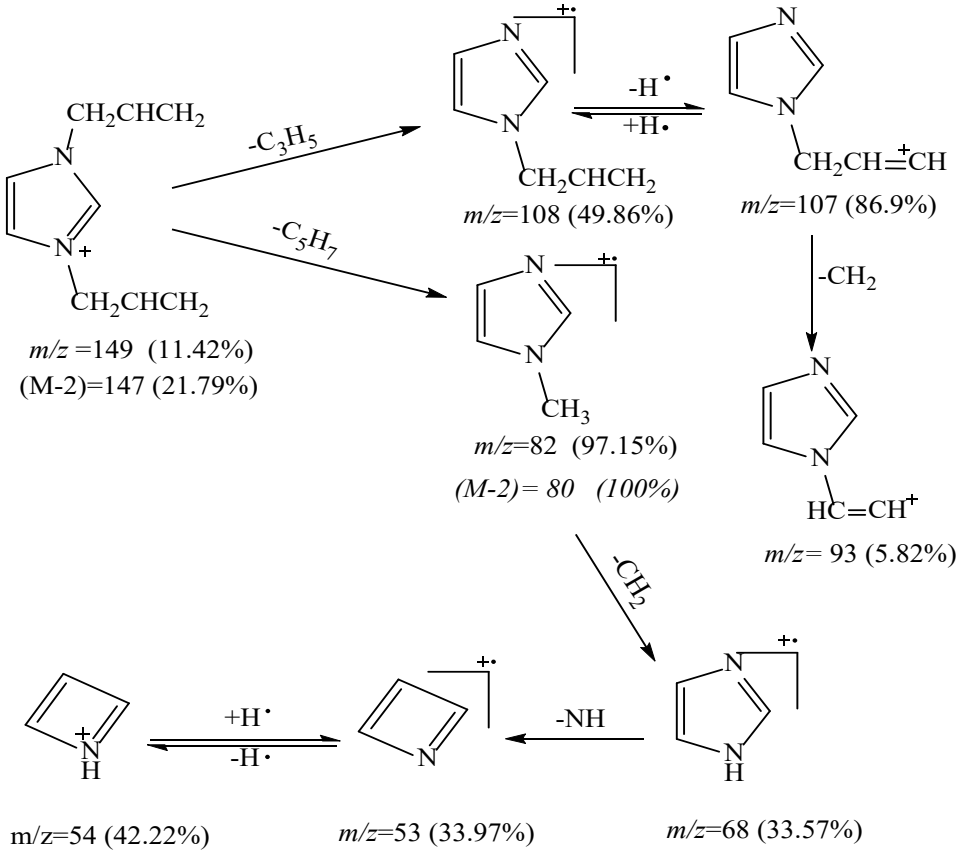
m/z= 93 (5.82%), m/z=82 (97.15%), m/z=68 (33.57%), m/z=53 (33.97%), m/z=54 (42.22%).



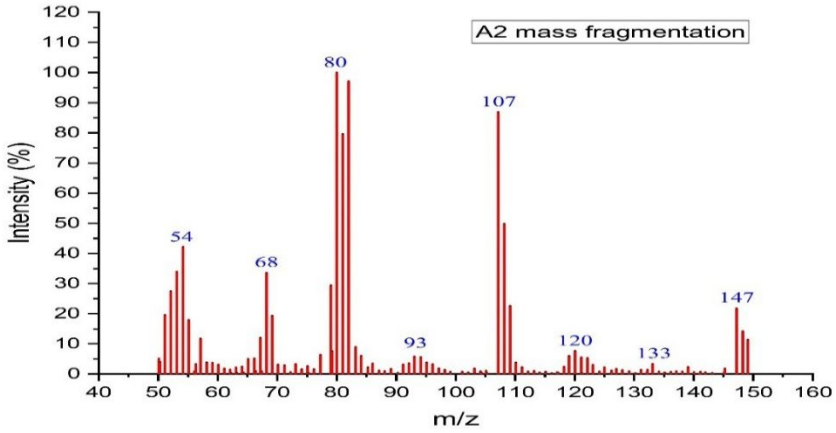
المخطط (2): يوضح ميكانيكة التكسر المقترحة للمركب (A1) [diElm]Br.



الشكل (3): يوضح طيف الكتلة للمركب [diElm]Br (A1)



المخطط (3): ميكانيكة التكسر المقترحة للمركب [diAlm]Br (A_2)

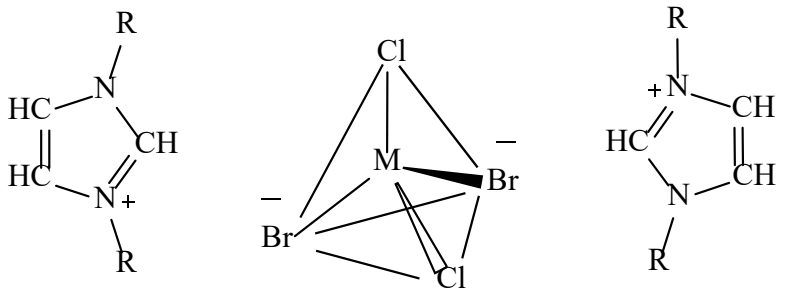


الشكل (4): يوضح طيف الكتلة للمركب (A_2) [diAlm]Br

حسب ما تبين من نتائج المغناطيسية، التوصيلية، والأطياف الالكترونية أن الشكل الهندسي المقترح للمعقدات الأيونية المحضرة هو رباعي السطوح، وهذا يتوافق مع ما نُشِر في الأبحاث والأدبيات السابقة (Sabah, 2021)، الجدول (2) يعرض بيانات الأطياف الالكترونية للأملاح العضوية ومعقداتها المحضرة، والتي تؤكد الشكل الهندسي حول أيونات الفلز هو رباعي السطوح وكما موضح في مخطط (4).

الجدول (2): بعض الأطياف الإلكترونية للأملاح المعقدة المحضرة (cm^{-1})

الرمز	الأملاح العضوية ومعقداتها	حزم UV–Vis	نوع الإنتقالات المقترحة
A_1	[diElm]Br	39841	$\pi \longrightarrow \pi^*$
A_2	[diAlm]Br	33670	$\pi \longrightarrow \pi^*$
1	$[diElm]_2[MnCl_2Br_2]$	22523	C.T
6	$[diAlm]2[MnCl_2Br_2]$	34364	
2	$[diElm]_2[FeCl_2Br_2]$	9814,37594	$^5E \rightarrow {}^5T_2$
7	$[diAlm]_2[FeCl_2Br_2]$	10953,37879	C.T
3	$[diElm]_2[CoCl_2Br_2]$	15015,37736	$^4A_2$ (F)$\rightarrow$ $^4T_1$(P) (υ_3)
8	$[diAlm]_2[CoCl_2Br_2]$	14859,37736	C.T
4	$[diElm]_2[NiCl_2Br_2]$	13123,33670	$^3T_1$(F) $\rightarrow$$^3T_1$(P) ($\upsilon_3$)
9	$[diAlm]_2[NiCl_2Br_2]$	14388,33784	C.T
5	$[diElm]_2[CuCl_2Br_2]$	11274,23202	$^2T_2 \rightarrow {}^2E$ (υ_3)
10	$[diAlm]_2[CuCl_2Br_2]$	10941,32573	C.T



$R = CH_2CH_3,\ CH_2CHCH_2$

M(II) = Mn, Fe, Co, Ni , Cu

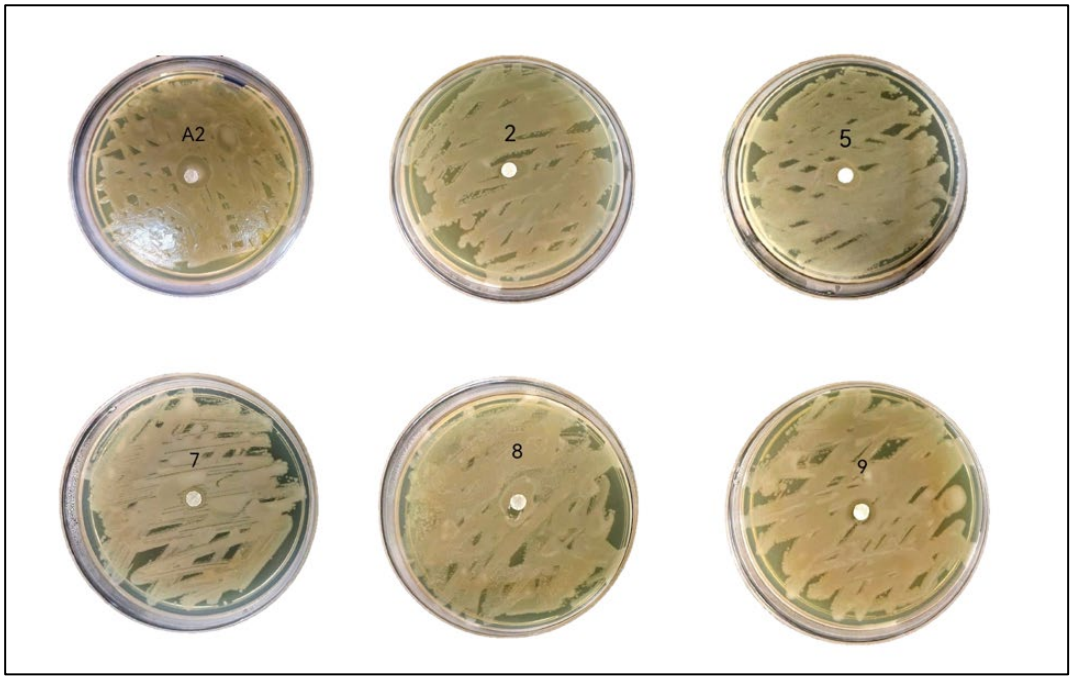
المخطط (4): التركيب الأيوني المقترح رباعي السطوح للأملاح المعقدة المحضرة

الفعالية البايولوجية:

تم دراسة النشاط البايولوجي للأملاح العضوية المحضرة ومعقداتها ضد صنفين من البكتريا، الصنف الأول هو بكتريا سالبة الجرام *Escherichia coli (E. coli)* ، أما الصنف الثاني فهو بكتريا موجبة الجرام (*Staphylococcus. Aurous*(*S.aureus* ، حيث اعتمدت طريقة الدراسة على عمل ثقوب في الوسط الزرعي داخل الطبق بإستعمال الثاقب الفليني المعقم بالإيثانول المُطلق، ثم يتم بعد ذلك عمل مسح للبكتريا بشكل متجانس بإستعمال مسحة قطنية معقمة (sterile cotton swabs) وذلك لغرض إنتشار البكتريا بشكل كامل داخل الطبق ، المحاليل المحضرة المستخدمة في دراستنا بتركيز (10^{-3} M) مذابة في المذيب DMF ، تم وضع 100 مايكروليتر داخل الثقوب في الوسط الزرعي ، ثُم وضعت الأطباق في الحاضنة لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة 37°C، بعدها استعمل جهاز الفيرنية (Vernier Caliper) لقياس قطر التثبيط بشكل دقيق لبيان حساسية المركبات المحضرة والتي تعتمد على قطر التثبيط. تم إستعمال 3 أنواع من المضادات الحيوية وهي (TRIMETHOPRIM, TETRACYCLINE, Amoxicillin/clavulanic acid).

تظهر النتائج المبينة في الجدول (3) أن الأملاح العضوية ومعقداتها تظهر فعالية تثبيطية متفاوتة تجاه أصناف البكتريا المستعملة في الدراسة، حيث أظهر الملح العضوي (A_2) أعلى فعالية تثبيطة تجاه تجاه البكتريا سالبة الجرام *(E. coli)* مقارنة بالملح العضوي (A_1) وممكن أن يرجع السبب في ذلك إلى تأثير طول سلسلة الألكيل، حيث أن الفعالية المضادة للسوائل الايونية تزداد بشكل ملحوظ مع زيادة طول سلسلة الالكيل حتى يتم الوصول إلى النقطة الحرجة (قيمة العتبة ;The threshold value) أي أفضل

طول سلسلة، مما يؤدي إلى زيادة تداخلات فان دير فالز والذي يؤدي إلى أدنى حد من التركيز المثبط ، وعلى العكس فإن أي زيادة أخرى في طول السلسلة يؤدي إلى انخفاض النشاط المضاد للبكتريا (Borkowski, Syczewski, & Czarnecka-Skwarek, 2019; Kumari, Pillai, & Benedetto, 2020)، كذلك أظهرت جميع معقدات الملح العضوي (A_2) فعالية تثبيطية جيدة تجاه البكتريا السالبة وبشكل خاص معقد النحاس أظهر أعلى فعالية مقارنة بباقي المعقدات وحسب الترتيب التالي Cu(II)> Co(II)> Fe(II)> Ni(II)> Mn(II)، لذلك يمكننا الإستنتاج أن وجود أيونات الفلزات ممكن أن يحسن بشكل ملحوظ من كفاءة المضادات الحيوية للسوائل الأيونية تجاه البكتريا (Zheng et al., 2017)، أما معقدات الملح العضوي (A_1) فأعطت فعالية ثبيطية متفاوتة. بالنسبة للبكتريا موجبة الجرام فكانت مقاومة بشكل أكبر للمركبات المحضرة بإستثناء الملح العضوي (A_1) ومعقدات كل من الحديد والنحاس فقد أعطت فعالية جيدة تجاه البكتريا السالبة الجرام. وكما موضح في الصور التالية الفعالية المضادة للبكتريا لبعض الأملاح العضوية ومعقداتها.



صورة (1): الفعالية المضادة للبكتريا السالبة الكرام *(E. coli)* للملح العضوي (A_2) وبعض معقداتهِ

صورة(2) : الفعالية المضادة للبكتريا الموجبة الكرام *(S.aureus)* للمضادات الحيوية والملح العضوي (A_1) وبعض معقداتهِ

الجدول (3): الفعالية المضادة للبكتريا للأملاح العضوية وبعض معقداتها المحضرة

رمز المركب	المضادات الحيوية/الاملاح العضوية/ المعقدات	Inhibition zoon (mm) *E.Coli*	Inhibition zoon (mm) *S.aureus*
A	TRIMETHOPRIM	6.00	6.22
B	TETRACYCLINE	8.38	13.64
C	Amoxicillin/clavulanic acid	6.00	6.00
A_1	[diEtIm]Br	8.22**S**$^{+}$	13.81**S**$^{++}$
A_2	[diAIm]Br	14.36**S**$^{++}$	R
1	$[diEtIm]_2[MnCl_2Br_2]$	R	R
2	$[diEtIm]_2[FeCl_2Br_2]$	7.55**S**$^{+}$	8.22**S**$^{+}$
3	$[diEtIm]_2[CoCl_2Br_2]$	R	R
4	$[diEtIm]_2[NiCl_2Br_2]$	R	R
5	$[diEtIm]_2[CuCl_2Br_2]$	9.18 **S**$^{+}$	9.66**S**$^{+}$
6	$[diAIm]_2[MnCl_2Br_2]$	6.51**S**$^{+}$	R

رمز المركب	المضادات الحيوية/الاملاح العضوية/ المعقدات	Inhibition zoon (mm) *E.Coli*	Inhibition zoon (mm) *S.aureus*
7	[diAlm]2[FeCl2Br2]	S+9.11	R
8	[diAlm]2[CoCl2Br2]	S++12.36	R
9	[diAlm]2[NiCl2Br2]	S+8.64	R
10	[diAlm]2[CuCl2Br2]	S++14.09	R

R=Resistant, 1−2 mS, 2−5 S, 5−10 S^{+}, 10−20 S^{++}

الاستنتاج:

من خلال نتائج القياسات الطيفية والحساسية المغناطيسية التي تم الحصول عليها في البحث تَبين أن الأملاح العضوية المحضرة ترتبط من خلال الأيون السالب البروم Br^{-} مع الفلز المركزي لتعطي الشكل الهندسي المقترح رباعي السطوح وتكون الاملاح المعقدة. كما وأثبتت جميع المركبات المحضرة أنها موصلة جيدة للتيار الكهربابي، حيث أظهرت الأملاح العضوية توصيلية كهربائية بنسبة (1:1)، أما الأملاح المعقدة فكانت موصلة بنسبة (2:1) كما هو موضح في الجدول (1). كذلك أظهرت نتائج الفعالية البايولوجية التي أُجريت للأملاح والمعقدات المحضرة فعالية متفاوتة ضد صنفين من البكتريا، حيث أظهر الملح العضوي (A_2) ومعقداتهِ أعلى فعالية تثبيطية ضد البكتريا السالبة الكرام *Escherichia coli* مقارنةً بالملح العضوي (A_1) ومعقداتهِ والمضادات الحيوية المستخدمة في الدراسة ، أما البكتريا الموجبة الجرام *Staphylococcus. Aurous* فأظهرت مقاومة بشكل واضح ضد معظم المركبات المحضرة.

الشكر والتقدير

يود الباحثون بتقديم الشكر والتقدير إلى جامعة الموصل على ماقدمتهُ من تمويل ودعم لهذا البحث، وإلى كل من ساهم في تسهيل وإجراء القياسات الطيفية والفيزيائية لهذهِ الدراسة.

تضارب المصالح

يعلن الباحثون بعدم وجود تضارب في المصالح فيما يتعلق بنشر هذا البحث. وأن جميع الأشكال والجداول تم الحصول عليها من خلال نتائج التطبيقات العملية لهذا العمل.

المصادر:

Anderson, E. B., & Long, T. E. (2010). Imidazole-and imidazolium-containing polymers for biology and material science applications. *Polymer, 51*(12), 2447-2454.

Bai, H., Yuan, H., Nie, C., Wang, B., Lv, F., Liu, L., & Wang, S. (2015). A supramolecular antibiotic switch for antibacterial regulation. *Angewandte Chemie, 127*(45), 13406-13411.

Borkowski, A., Syczewski, M., & Czarnecka-Skwarek, A. (2019). Ionic liquids strongly affect the interaction of bacteria with magnesium oxide and silica nanoparticles. *RSC Advances, 9*(49), 28724-28734.

Demberelnyamba, D., Kim, K.-S., Choi, S., Park, S.-Y., Lee, H., Kim, C.-J., & Yoo, I.-D. (2004). Synthesis and antimicrobial properties of imidazolium and pyrrolidinonium salts. *Bioorganic & medicinal chemistry, 12*(5), 853-857.

Denizalti, S., Ali, A. K., Ela, Ç., Ekmekci, M., & Erten-Ela, S. (2018). Dye-sensitized solar cells using ionic liquids as redox mediator. *Chemical Physics Letters, 691*, 373-378.

Egorova, K. S., Gordeev, E. G., & Ananikov, V. P. (2017). Biological activity of ionic liquids and their application in pharmaceutics and medicine. *Chemical reviews, 117*(10), 7132-7189.

Hussain, T., Siddiqui, H. L., Zia-ur-Rehman, M., Yasinzai, M. M., & Parvez, M. (2009). Anti-oxidant, anti-fungal and anti-leishmanial activities of novel 3-[4-(1H-imidazol-1-yl) phenyl] prop-2-en-1-ones. *European journal of medicinal chemistry, 44*(11), 4654-4660.

Kar, M., Plechkova, N. V., Seddon, K. R., Pringle, J. M., & MacFarlane, D. R. (2018). Ionic liquids–further progress on the fundamental issues. *Australian Journal of Chemistry, 72*(2), 3-10.

Khanapure, S., Jagadale, M., Bansode, P., Choudhari, P., & Rashinkar, G. (2018). Anticancer activity of ruthenocenyl chalcones and their molecular docking studies. *Journal of Molecular Structure, 1173*, 142-147.

Kumari, P., Pillai, V. V., & Benedetto, A. (2020). Mechanisms of action of ionic liquids on living cells: The state of the art. *Biophysical reviews, 12*(5), 1187-1215.

Mohammed, H. A., Sulliman, E. A., Sabah, A. A., & Mohammed, M. A. (2025). Synthesis and characterization of some cupric chloride piperidinium complex salts, application on extractive desulfurization. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia, 39*(5), 833-840.

Novello, E., Scalzo, G., D'Agata, G., Raucci, M. G., Ambrosio, L., Soriente, A., . . . Consoli, G. M. (2024). Synthesis, Characterisation, and In Vitro Evaluation of Biocompatibility, Antibacterial and Antitumor Activity of Imidazolium Ionic Liquids. *Pharmaceutics, 16*(5), 642.

Patel, R., Kumari, M., & Khan, A. B. (2014). Recent advances in the applications of ionic liquids in protein stability and activity: a review. *Applied biochemistry and biotechnology, 172*, 3701-3720.

Pendleton, J. N., & Gilmore, B. F. (2015). The antimicrobial potential of ionic liquids: A source of chemical diversity for infection and biofilm control. *International journal of antimicrobial agents, 46*(2), 131-139.

Ren, F., Wang, J., Xie, F., Zan, K., Wang, S., & Wang, S. (2020). Applications of ionic liquids in starch chemistry: A review. *Green Chemistry, 22*(7), 2162-2183.

Sabah, A. A. (2021). Synthesis and characterization of some transition metals complex salts of pyridinium iodide ionic liquids: Application on extractive desulfurization. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry, 8*(3), 763-774.

Sabah, A. A., Sulyman, S. A., Aldabagh, A. A., Ayoob, A. K., Alsultan, M., & Hameed, R. T. Using of Benzotriazolium Iodide Ionic Liquids for Extractive Desulfurization of Model Diesel Oil. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry, 11*(4), 1641-1650.

Sheldon, R. A. (2021). Biocatalysis in ionic liquids: state-of-the-union. *Green Chemistry, 23*(21), 8406-8427.

Sivapragasam, M., Moniruzzaman, M., & Goto, M. (2020). An overview on the toxicological properties of ionic liquids toward microorganisms. *Biotechnology journal, 15*(4), 1900073.

Soujanya, Y., & Sastry, G. N. (2007). Theoretical elucidation of the antioxidant mechanism of 1, 3-dihydro-1-methyl-2H-imidazole-2-selenol (MSeI). *Tetrahedron letters, 48*(12), 2109-2112.

Wang, X., Wang, Y., Bi, S., Wang, Y., Chen, X., Qiu, L., & Sun, J. (2014). Optically transparent antibacterial films capable of healing multiple scratches. *Advanced Functional Materials, 24*(3), 403-411.

Wendler, K., Zahn, S., Dommert, F., Berger, R., Holm, C., Kirchner, B., & Delle Site, L. (2011). Locality and fluctuations: Trends in imidazolium-based ionic liquids and beyond. *Journal of Chemical Theory and Computation, 7*(10), 3040-3044.

Wu, X., Yu, Q., Wu, J., Li, T., Ding, N., Wu, W., . . . Qi, J. (2020). Ionic liquids containing ketoconazole improving topical treatment of T. Interdigitale infection by synergistic action. *International Journal of Pharmaceutics, 589*, 119842.

Yang, Q., Zhang, Z., Sun, X.-G., Hu, Y.-S., Xing, H., & Dai, S. (2018). Ionic liquids and derived materials for lithium and sodium batteries. *Chemical Society Reviews, 47*(6), 2020-2064.

Zheng, Z., Guo, J., Mao, H., Xu, Q., Qin, J., & Yan, F. (2017). Metal-containing poly (ionic liquid) membranes for antibacterial applications. *ACS Biomaterials Science & Engineering, 3*(6), 922-928.