مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (١٠) العدد (٣) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies –Basic Sciences Series Vol. (10) No. (3) 2026

تحديد الزرنيخ في الأوساط المائية و اللامائية باستخدام المعايرة بالناقلية الكهربائية

رزان جلال خيربك*

(تاريخ الإيداع ١/٣/ ٢٠٢٦ – تاريخ النشر ٤/٥/ ٢٠٢٦)

□ ملخّص □

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تركيز الزرنيخ في الأوساط المائية واللامائية وذلك بتطبيق المعايرة بالناقلية الكهربائية باستخدام كواشف قياسية من نترات الفضة و كبريتات النحاس.

أظهرت الدراسة عند استخدام المعايرة بالناقلية باستخدام كاشف نترات الفضة أنّ قيمة حد الكشف للزرنيخ وصلت إلى (1×10^{-5} M) وذلك في الوسط المائي، أما في الأوساط اللامائية لاحظنا أنّ أفضل المحلات المستخدمة هو الميتانول حيث وصل حد الكشف إلى (1×10^{-4} M) .

أما عند استخدام الإيتانول وأسيت نتريل وصل حد الكشف إلى (1×10^{-3} M) و (1×10^{-2} M) على التوالي.

وبالنسبة للمعايرة باستخدام كاشف كبريتات النحاس كانت قيمة حد الكشف في الوسط المائي (10^{-} M $1\times^{5}$) ، وفي الأوساط اللامائية كان أفضل المحلات هو الميتانول حيث وصل حد الكشف أيضاً إلى (10^{-} M $1\times^{5}$) أما عند استخدام الإيتانول وأسيت نتريل وصل حد الكشف إلى (10^{-4} M $\times$ 1) و (1×10^{-3} M) على التوالي.

كما تم حساب الانحراف المعياري و الانحراف المعياري المئوي وحد الثقة بالإضافة إلى الإسترجاعية التي دلت على كفاءة الطريقة في تحديد تركيز الزرنيخ وحد الكشف لكل وسط.

كلمات مفتاحية :الزرنيخ، الناقلية الكهربائية، نترات الفضة، كبريتات النحاس.

*استاذ مساعد – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة طرطوس – طرطوس – سورية.

Email:Razan.8885@gmail.com

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (١٠) العدد (٣) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies –Basic Sciences Series Vol. (10) No. (3) 2026

Determination of Arsenic in Aqueous and non Aqueous media Using a Conductivity Titrations

RazanGalalKHerbik*

(Received 1/3/2026.Accepted 4/5/2026)

□ABSTRACT □

This research aims to determine the arsenic in aqueous and non aqueous media by electrical conductivity, using standard reagents of silver nitrate and copper sulfate.

it is found through this study that the detection limit for arsenic when using a standard solution of silver nitrate as detector reach to(1×10^{-5} M) in aqueous media , but in non aqueous media noticed that the best of solutions was methanol and the detection limit reached to (1×10^{-4} M) .

In ethanol and acete nitrile the detection limit was (1×10^{-3} M) and (1×10^{-2} M) respectively.

As for using a standard solution of copper sulfate the detection limit for arsenic reach to (1×10^{-5} M) in aqueous media , but in non aqueous media noticed that the best of solutions was methanol and the detection limit reached to (1×10^{-5} M) .

In ethanol and acete nitrile the detection limit was (1×10^{-4} M) and (1×10^{-3} M) respectively.

Also the standard deviation and standard deviation percentile , in addition to the retrospective , which showed that the efficiency of this method in determining the arsenic compared with other methods .

Keywords: Arsenic , conductivity, silver nitrate , copper sulfate.

*Associate Professor, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, , Tartous University, Tartous, Syria.

Email:Razan.8885@gmail.com

١- مقدمة:

يعد الزرنيخ عنصر طبيعي يتواجد في التربة والمعادن فهناك ما يقارب مائتي معدن تحتوي على الزرنيخ، فهو يلوث الهواء والماء، والأرض من الغبار الذي تثيره الرياح، ويمكنه الوصول إلى المياه من الجريان السطحي والرشح و يمكن أن يوجد -أيضاً- في النباتات والحيوانات، إذ يتراكم في الأسماك وغيرها من مصادر الغذاء. يتعرض الناس للزرنيخ بشكل يومي بما يكفي للتسبب بالسمية إما بشكل حاد أو مزمن.

تساهم المصادر الطبيعية بمقدار قليل في انطلاق الزرنيخ في البيئة عن طريق التكوينات الجيولوجية (القشرة الأرضية) ، النشاط البركاني، التمثيل الغذائي البيولوجي، الصخور والتربة. وأما الغالبية من الزرنيخ التي تطلق في البيئة فهي تنتج من المصادر البشرية، و يتم تحرير الزرنيخ الموجود في الخامات المعدنية كمنتج ثانوي في البيئة من خلال استخراج وصهر النحاس والرصاص والكوبالت والذهب والخامات الأخرى. بالإضافة إلى تعدين المعادن غير الحديدية وعمليات الصهر، ويتم تحرير الزرنيخ أيضاً في البيئة من خلال استخدام المبيدات ، احتراق الفحم، احتراق الخشب، وعمليات حرق النفايات (Bundschuh,E. et al,2022 ; Authority, E.P. et al,2021).

تختلف أشكال الزرنيخ المتحملة من الزرنيخ باختلاف شكل الزرنيخ (الشكل العضوي في الغذاء هو أقل سمية من الأشكال غير العضوية في المياه أو التربة)، فضلاً عن كمية التعرض، ومدة التعرض، وقابلية الشخص المتعرض للتخلص منه. يسبب التعرض لمستويات مرتفعة من الزرنيخ على المدى الطويل الكثير من المشاكل الصحية المختلفة فهناك أمراض مرتبطة بقوة بهذا النوع من التعرض تشمل بعض أنواع السرطان (المثانة والرئة والجلد والكلى والبروستات والكبد)، ثخانة الشرايين، تليف الكبد، تلف الأعصاب الطرفية(إحساس من الدبابيس في اليدين والقدمين)، تغييرات في لون أو سماكة الجلد (Igwe, E. et al,2023 ; Rathi, B. et al,2021).

هناك طرائق مخبرية مختلفة لكشف وتحديد الزرنيخ ، ويمكن لبعض هذه الطرائق والأساليب التمييز بين الأشكال الكيميائية المختلفة التكافؤ من الزرنيخ (Kumar, A. et al,2021 ; Irunde, R. et al,2022).

يعدُّ طيف الامتصاص الذري **(AAS)** هو الإجراء التحليلي الأكثر شيوعاً لتحديد الزرنيخ في المواد البيولوجية والبيئية، واستخدمت مؤخراً التقانات**(ICP-AES)** و **(ICP-MS)** لتحليل الزرنيخ بشكل متزايد، والتي يمكن أن توفر عموماً حدوداً أدنى للكشف من طرائق الكشف الأخرى. ويمكن تحديد الزرنيخ في السوائل البيولوجية والأنسجة باستخدام التحليل بالتنشيط النيوتروني**(NAA)**،وتستخدم الأشعة السينية لتحديد الزرنيخ في المواد البيولوجية والعينات البيئية. (Rajiv, C. et al,2018 ; Sevak, P. et al,2024; Rahidul,H. et al,2023).

٢- أهمية البحث وأهدافه:

نظراً للاهتمام العالمي المتزايد في السنوات الأخيرة بمشكلة التلوث الناتج عن الزرنيخ كونه يعدّ من أخطر الملوثات المتداولة دولياً حيث أنّه يدخل في العديد من الصناعات التطبيقية، ومع تنامي الوعي العالمي إلى ضرورة إيجاد الحلول المناسبة للحيلولة دون تحوّل مشكلة التلوث بالزرنيخ كارثة بيئية، ومع الأخذ بعين الاعتبار عدم وجود دراسات محلية لتقييم الأثر التلوثي للزرنيخ من حيث توزعه وانتشاره وأشكاله، فتكمن أهمية هذا البحث في كونه يمثل إضافة تطبيقية جديدة لتحديد تركيز الزرنيخ في الأوساط المائية واللامائية وذلك باستخدام طريقة المعايرة بالناقلية الكهربائية عن طريق المعايرة بكاشف نترات الفضة وكاشف كبريتات النحاس، مما يساهم في تقييم الأثر التلوثي له. كما تأتي أهمية البحث من كونه يتناول طريقة جديدة في مجال التحليل الكهربائي وهي المعايرة بالناقلية الكهربائية.

حيث أنّ الطرائق المتبعة سابقاً في تحديد تركيز عنصر الزرنيخ هي على الأغلب طرائق طيفية تعتمد على استخدام جهاز ICP-MS أو جهاز الامتصاص الذري وهي أجهزة باهظة الثمن ومعقدة.
(Manjakkal, L. et al,2020; Meduni,c,2020; Reid, M . et al 2020 Lin, Y . et al 2020)

حيث أن التحليل بواسطة المعايرة بالناقلية استخدم في كثير من التطبيقات لتحديد المعادن الثقيلة في كم هائل من المواد البيئية والغذائية والدوائية، ولم يستخدم أبداً في تحديد تركيز عنصر الزرنيخ. كما تتمتع المعايرة بالناقلية الكهربائية بميزات عدة من حيث سهولة استخدامها والسرعة في إجراء التحليل والحساسية والدقة العالية وتكرارية وصحة النتائج وتكاليفها المنخفضة والاستخدام الميداني لها وتطبيقها في جميع المجالات البيئية.
.(Bhat, A. et al,2023 ; He, Y. et al,2022; Irunde, R et al,2022; Jung, M,2017)

٣- طرائق البحث ومواده:

تمت معايرة الزرنيخ بكاشف نترات الفضة وكاشف كبريتات النحاس في الأوساط المائية واللامائية وذلك باستخدام طريقة المعايرة بالناقلية، إذ أجريت عملية المعايرة لحجم محدد من محلول الزرنيخ بحجم محدد من محلول قياسي من الكاشف باستخدام جهاز المعايرة بالناقلية ومن ثم حساب حد الكشف لتحديد الزرنيخ بطريقة المعايرة بالناقلية.

٤- الأجهزة المستخدمة:

١- الجهاز المستخدم في هذا البحث جهاز المعايرة بالناقلية الآلية من إنتاج شركة **CRISON** كما يظهر الشكل (١):



الشكل 1: جهاز الناقلية الكهربائية المستخدم

٢- مقياس الـ**pH** رقمي.
٣- ميزان تحليلي ميكانيكي مع موازين معايرة دقيقة.
٤- خلاط كهربائي مغناطيسي مع سخان.

٥- المواد الكيميائية والكواشف:

استخدم في هذا البحث الماء ثنائي التقطير،أكسيد الزرنيخ ، نترات الفضة ، كبريتات النحاس، محلول ماءات الصوديوم، حمض الكبريت، وهي مواد ذات نقاوة عالية.

٦- النتائج والمناقشة:

تناول البحث اختيار الشروط التحليلية بشكل يعطي حساسية عالية وحد كشف أقل، ويوضح الجدول (١) شروط المعايرة بالناقلية من حيث درجة حموضة الوسط و نوع التفاعل والكواشف المستخدمة:

الجدول ١: يوضح شروط المعايرة بالناقلية

	المعايرة بالناقلية
الجهاز المستخدم	جهاز المعايرة بالناقلية الآلية من إنتاج شركة CRISON
درجة حموضة الوسط	pH=7
نوع التفاعل	ترسيب
الكواشف المستخدمة	نترات الفضة، كبريتات النحاس

٦-١- دراسة حد الكشف:

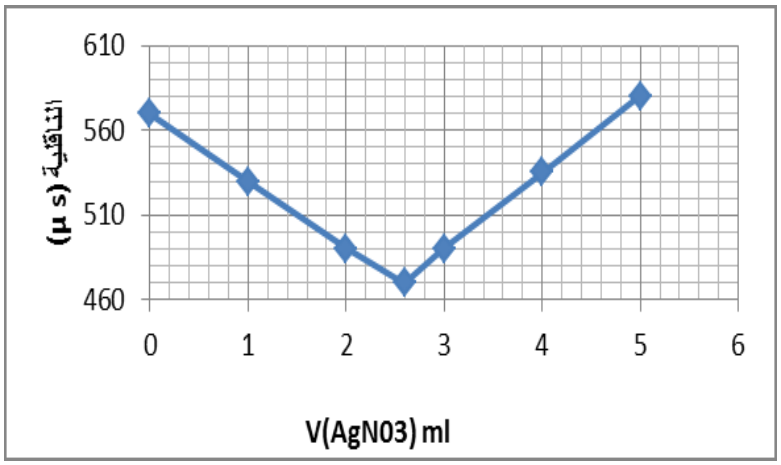
حضرت محاليل عدة من الزرنيخ بتراكيز مختلفة تتراوح بين $(1\times10^{-2}mol/l - 1\times10^{-6}mol/l)$ وذلك عند قيمة ($pH = 7$) .

٦-١-١- المعايرة بتشكيل راسب باستخدام نترات الفضة ($AgNO_3$) :

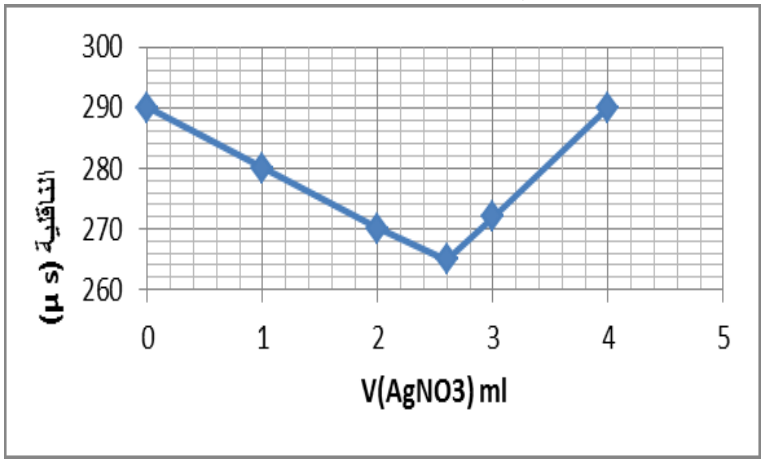
٦-١-١-١- المعايرة المائية:

حضرت محاليل عدة من الزرنيخ بتراكيز مختلفة تتراوح بين $(1\times10^{-2}mol/l - 1\times10^{-6}mol/l)$ ،ومن ثم قمنا بإضافة محلول نترات الفضة إلى المحاليل المحضرة كلاً على حدا، ومن ثم سجلت قيمة الناقلية بعد كل إضافة باستخدام جهاز الناقلية حيث تشّكل راسب أصفر من زرنيخات الفضة، وبعدئذٍ تحسب نقطة التكافؤ عن طريق رسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين حجم كاشف نترات الفضة المضافة والناقلية المقابلة.

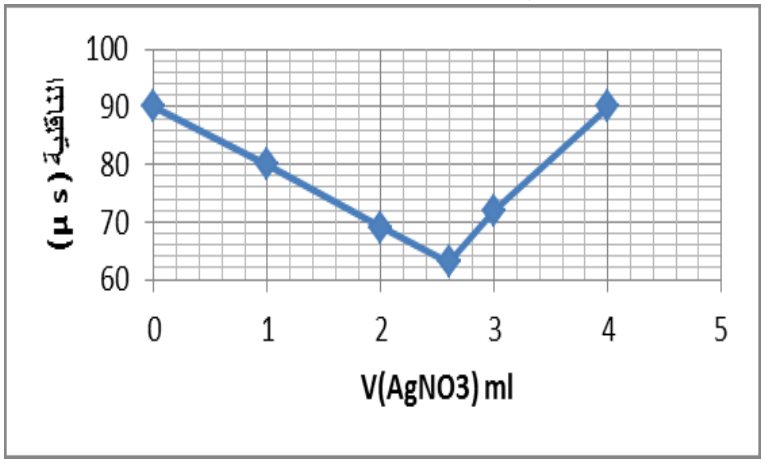
وتظهر الأشكال (٥-٢)علاقة الناقلية بحجم كاشف نترات الفضة المضافة للمحلول المائي للزرنيخ في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



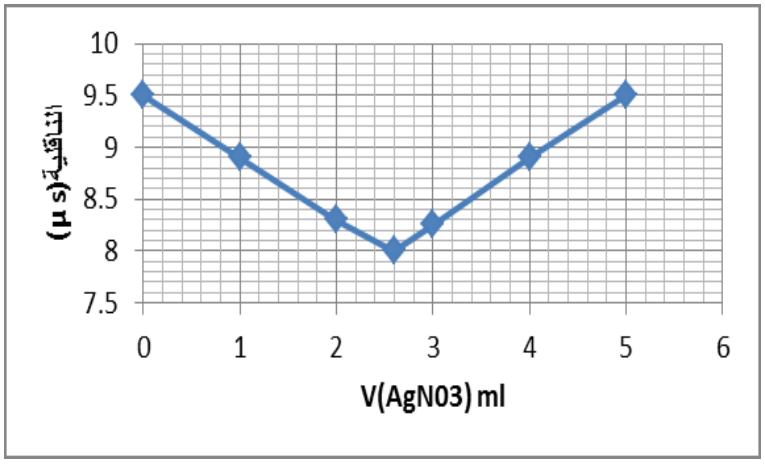
الشكل 2: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.01 M من الزرنيخ



الشكل 3: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ



الشكل 4: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.0001 M من الزرنيخ



الشكل ٥: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.00001 M من الزرنيخ

نستنتج من خلال التجارب أنّ أصغر تركيز لمحلول الزرنيخ أمكن تحليله بنجاح باستخدام المعايرة بالناقلية هو (1×10^{-5} mol/l)، وهي قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في الأوساط المائية بطريقة المعايرة بالناقلية، وهي قيمة جيدة بالمقارنة مع الطرائق الأخرى المستخدمة في تحديد الزرنيخ.

أما قيمة حد الكشف النظرية عن الزرنيخ، تحسب عن طريق العلاقة التالية:

$$L= 2S \qquad (1)$$

حيث أن:

L: حد الكشف.

S: الانحراف المعياري.

وبالتالي فإن قيمة حد الكشف النظرية تساوي $L=2\times (1.9\times10^{-7}) = 3.8\times10^{-7}$ mol/l

و قمنا بحساب الانحراف المعياري و الانحراف المعياري المئوي وحد الثقة بالإضافة إلى الإسترجاعية، ومن أجل حساب الإسترجاعية قمنا بتحضير محاليل معلومة التركيز من الزرنيخ ، ومن ثم تحليلها باستخدام جهاز المعايرة بالناقلية وفق الطريقة المقترحة. تحسب استرجاعية هذه المحاليل بالنسبة المئوية بين التركيز المحسوب (الفعلي) والتركيز المحضر، العلاقة التالية:

$$\text{Recovery \%} = C_A/C_{th}\times 100 \qquad (2)$$

حيث أن:

Recovery % : الإسترجاعية محسوبة كنسبة مئوية.

C_A: تركيز المادة المحسوبة وفق الطريقة المقترحة (التركيز الفعلي).

C_{th} : تركيز المادة المحضرة (التركيز النظري).

ويبين الجدول (2) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ المائية وذلك بمعايرتها بنترات الفضة بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

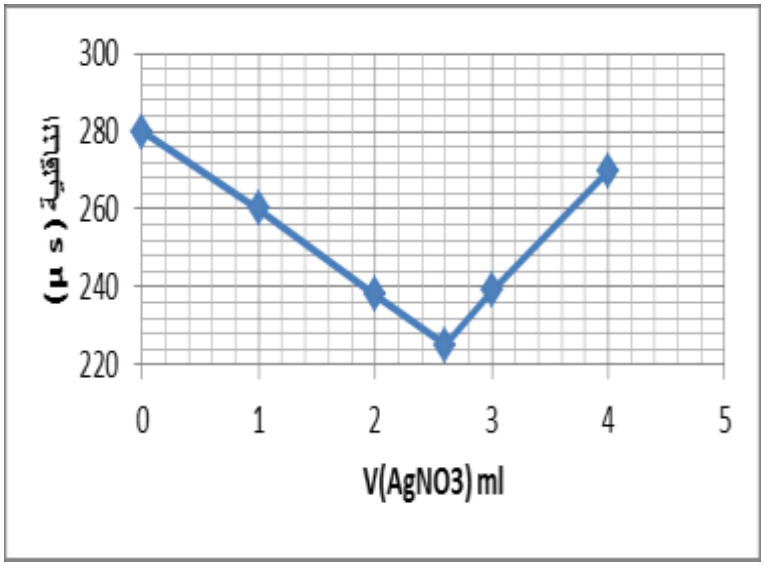
الجدول 2: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة ($1\times10^{-2}M - 1\times10^{-5}M$)

التركيز لنظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.98×10^{-2}	1.1×10^{-4}	1.1	98	$0.98\times10^{-2} \pm 2.4\times10^{-4}$
1×10^{-3}	0.97×10^{-3}	1.3×10^{-5}	1.3	97	$0.97\times10^{-3} \pm 2.9\times10^{-5}$
1×10^{-4}	0.95×10^{-4}	1.5×10^{-6}	1.5	95	$0.95\times10^{-4} \pm 5.2\times10^{-6}$
1×10^{-5}	0.92×10^{-5}	1.9×10^{-7}	1.9	92	$0.92\times10^{-5} \pm 3.9\times10^{-7}$

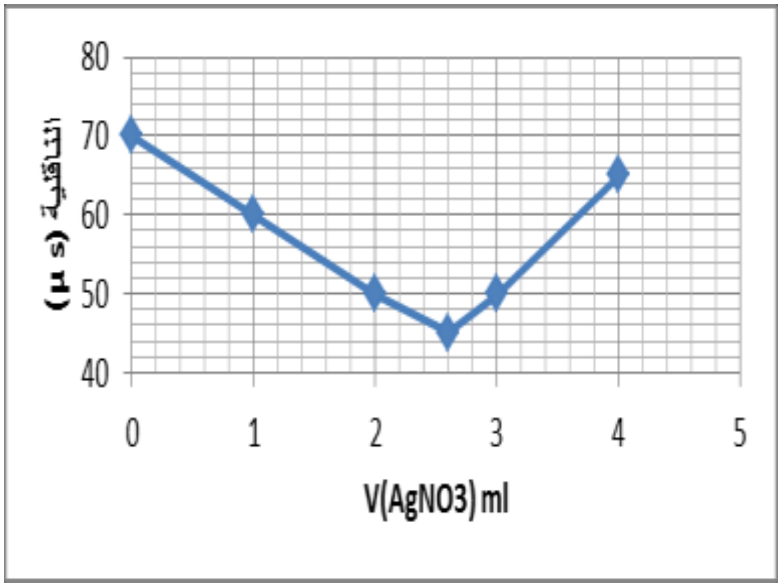
٦-١-١-٢- المعايرة اللامائية:

١- الميتانول:

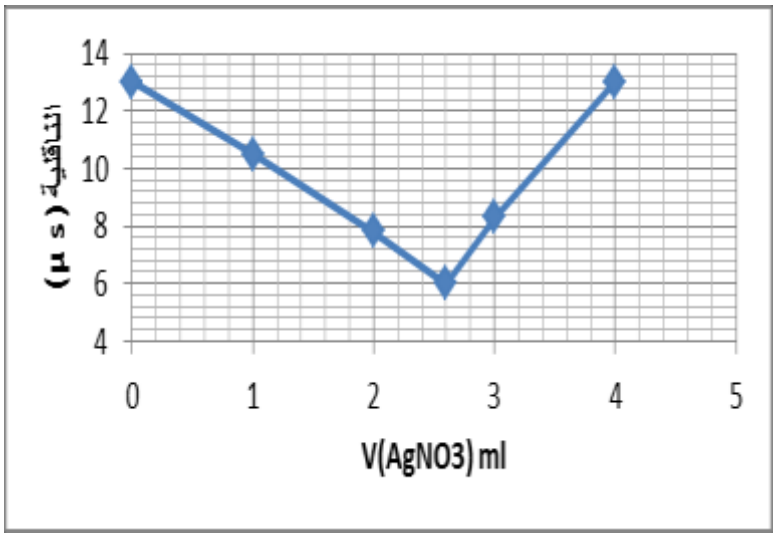
تظهر الأشكال (6-8)علاقة الناقلية بحجم كاشف نترات الفضة المضافة للمحلول اللامائي للزرنيخ في الميتانول في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



الشكل 6: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0. 01 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول



الشكل 7: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول



الشكل ٨: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.0001 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول

نستنتج من خلال التجارب أنّ أصغر تركيز لمحلول الزرنيخ أمكن تحليله بنجاح باستخدام المعايرة بالناقلية هو (1×10^{-4} mol/l) وهي قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في وسط من الميتانول بطريقة المعايرة بالناقلية،

أما قيمة حد الكشف النظرية عن الزرنيخ تساوي $L=2\times(1.6\times10^{-6}) = 3.2\times10^{-6}$ mol/l

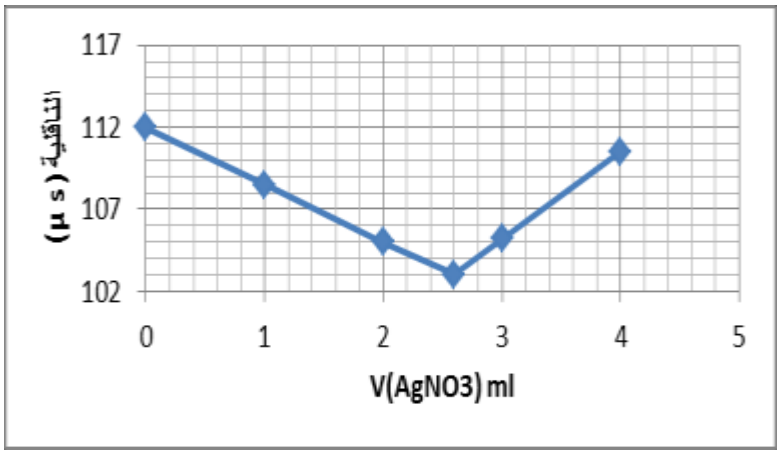
ويبّين الجدول (3) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ في وسط من الميتانول وذلك بمعايرتها بنترات الفضة بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول 3: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة ($1\times10^{-2}M - 1\times10^{-4}M$)

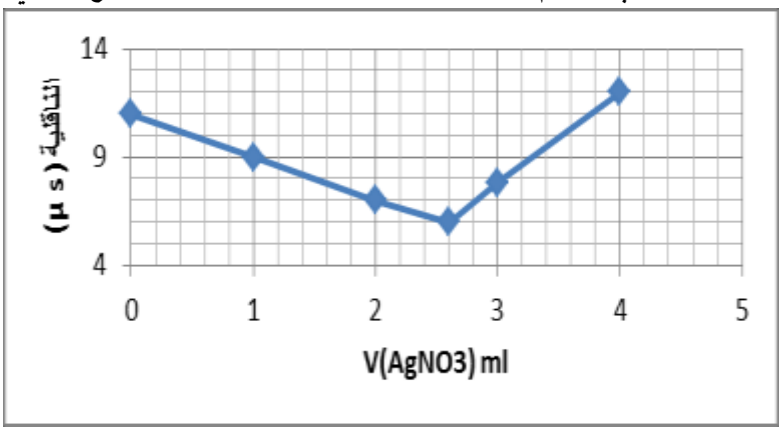
التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.97×10^{-2}	1.3×10^{-4}	1.3	97	$0.97\times10^{-2}\pm2.5\times10^{-3}$
1×10^{-3}	0.95×10^{-3}	1.5×10^{-5}	1.5	95	$0.95\times10^{-3}\pm2.8\times10^{-5}$
1×10^{-4}	0.94×10^{-4}	1.6×10^{-6}	1.6	94	$0.94\times10^{-4}\pm5.5\times10^{-6}$

٢- الإيتانول:

تظهر الأشكال (9-10) علاقة الناقلية بحجم كاشف نترات الفضة المضافة للمحلول اللامائي للزرنيخ في الإيتانول في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



الشكل 9: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.01 M من الزرنيخ اللامائي في الإيتانول



الشكل ١٠: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ اللامائي في الإيتانول

نستنتج أن قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في وسط من الإيتانول بطريقة المعايرة بالناقلية وصلت إلى (1×10^{-3} mol/l).

أما قيمة حد الكشف النظرية عن الزرنيخ تساوي $L=2\times(2.5\times10^{-5}) = 5\times10^{-5}$ mol/l

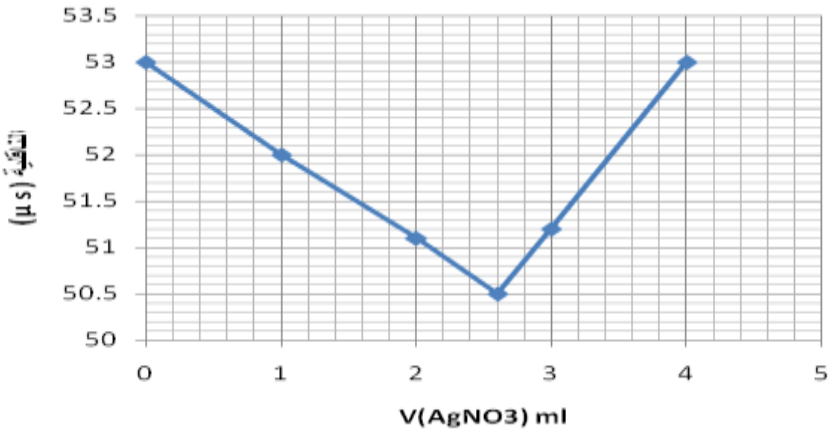
ويبين الجدول (٤) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ في وسط من الإيتانول وذلك بمعايرتها بنترات الفضة بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول 4: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة ($1\times10^{-2}M - 1\times10^{-3}M$)

التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.94×10^{-2}	1.7×10^{-4}	1.7	94	$0.94\times10^{-2}\pm2.9\times10^{-3}$
1×10^{-3}	0.92×10^{-3}	2.5×10^{-5}	2.5	92	$0.92\times10^{-3}\pm3.5\times10^{-5}$

٣- أسيت نتريل:

يظهر الشكل (١١) علاقة الناقلية بحجم كاشف نترات الفضة المضافة للمحلول اللامائي للزرنيخ في أسيت نتريل في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



الشكل ١١: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم نترات الفضة المضافة لمحلول 0.01 M من الزرنيخ اللامائي في أسيت نتريل

نستنتج أن قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في وسط من أسيت نتريل بطريقة المعايرة بالناقلية وصلت إلى (1×10^{-2} mol/l).

أما قيمة حد الكشف النظرية عن الزرنيخ تساوي $L=2\times(1.4\times10^{-3})=2.8\times10^{-3}$ mol/l

ويبّين الجدول (٥) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ في وسط من أسيت نتريل وذلك بمعايرتها بنترات الفضة بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول ٥: النتائج الإحصائية لمحلول الزرنيخ المدروس ذو التركيز ($1\times10^{-2}M$)

التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.94×10^{-2}	1.4×10^{-3}	1.4	98	$1\times10^{-2}\pm0.7\times10^{-3}$

نلاحظ أنّ أفضل المحلات اللامائية المستخدمة عند المعايرة بالناقلية باستخدام كاشف نترات الفضة هي الميتانول حيث توصلنا إلى تركيز (1×10^{-4} M) ،أما عند استخدام الإيتانول وأسيت نتريل توصلنا تركيز إلى(10^{-} M $(1\times^{3}$

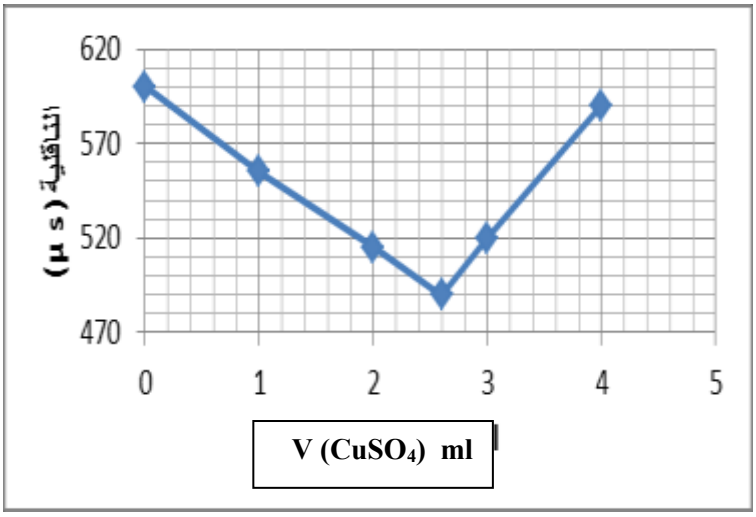
و(1×10^{-2} M) على التوالي.

٦-١-٢-المعايرة بتشكيل راسب باستخدام كبريتات النحاس ($CuSO_4$) :

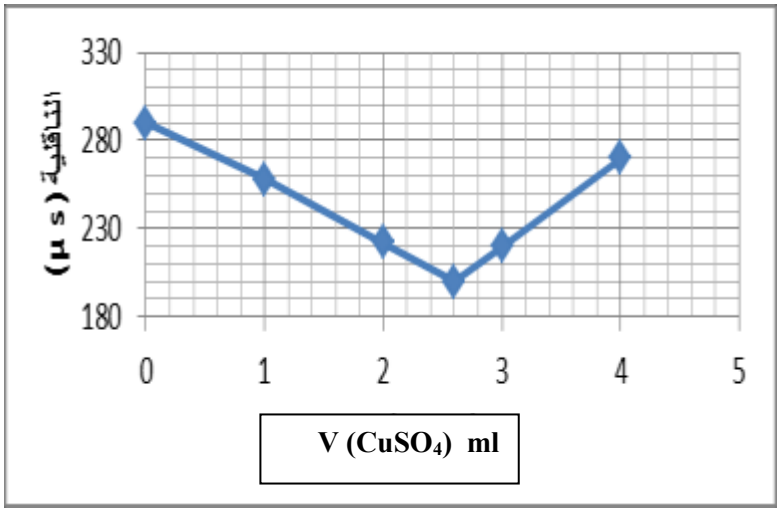
٦-١-٢-١- المعايرة المائية:

تمت إضافة محلول كبريتات النحاس إلى المحلول المدروس ، ومن ثم سجلت قيمة الناقلية بعد كل إضافة باستخدام جهاز الناقلية حيث تشكل راسب أخضر من زرنيخات النحاس، وبعدئذٍ تحسب نقطة التكافؤ عن طريق رسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين حجم كاشف نترات الفضة المضافة والناقلية المقابلة.

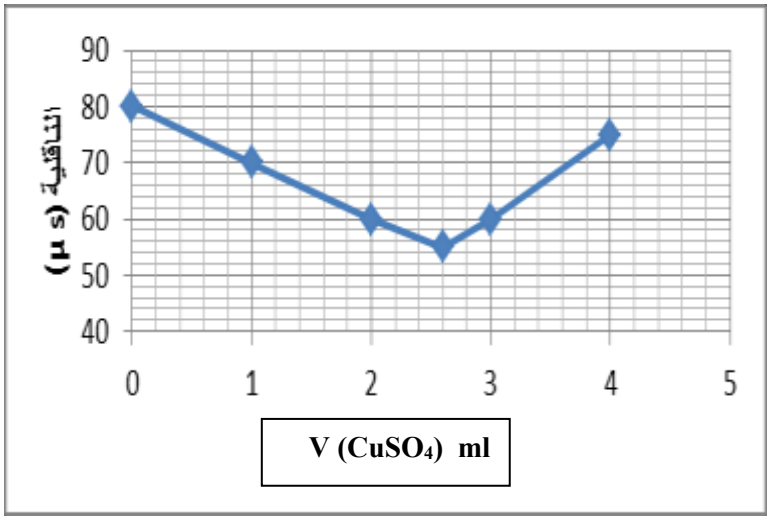
وتظهر الأشكال (١٥-١٢)علاقة الناقلية بحجم كاشف كبريتات النحاس المضافة للمحلول المائي للزرنيخ في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



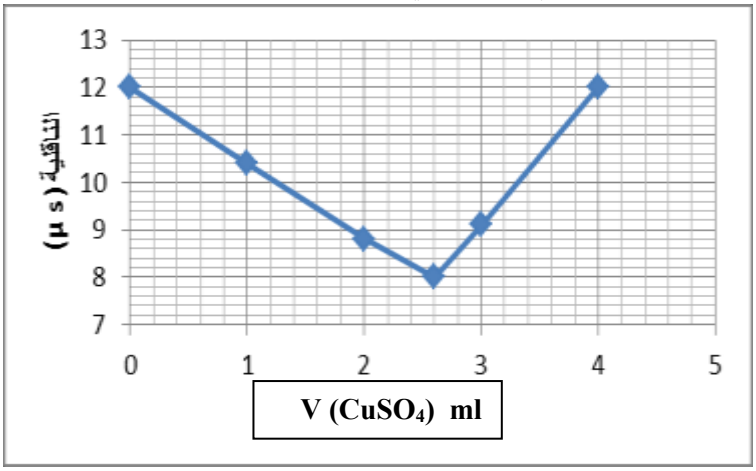
الشكل 12: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.01 M من الزرنيخ



الشكل 13: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ



الشكل 14: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.0001 M من الزرنيخ



الشكل ١٥: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.00001 M من الزرنيخ

نستنتج أنّ قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في الوسط المائي وذلك بمعايرته بكبريتات النحاس بطريقة المعايرة بالناقلية الكهربائية يبلغ (1×10^{-5} mol/l)، أما قيمة حد الكشف النظرية تساوي:

$$L=2\times (1.7\times10^{-7}) = 3.4\times10^{-7} \text{ mol/l}$$

ويبين الجدول (٦) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ المائية وذلك بمعايرتها بكبريتات النحاس بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول 6: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة (1×10^{-2}M – 1×10^{-5}M)

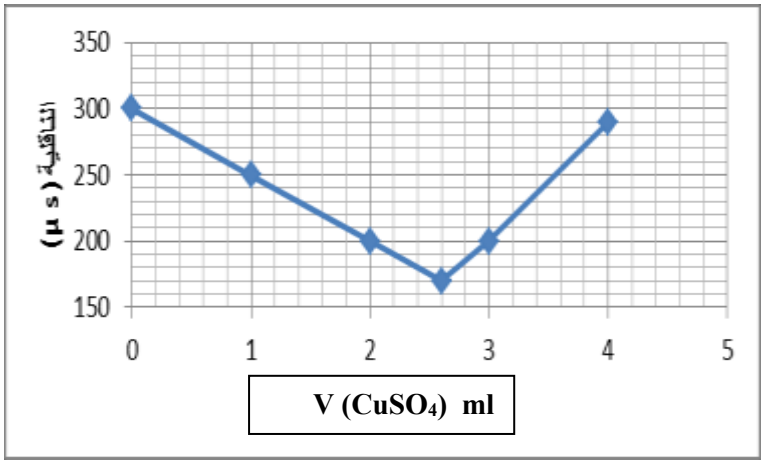
التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.99×10^{-2}	1×10^{-4}	1	99	$0.99\times10^{-2} \pm 2.1\times10^{-4}$
1×10^{-3}	0.99×10^{-3}	1.1×10^{-5}	1.1	99	$0.99\times10^{-3} \pm 2.4\times10^{-5}$
1×10^{-4}	0.97×10^{-4}	1.2×10^{-6}	1.2	٩٧	$0.97\times10^{-4} \pm 3.2\times10^{-6}$

$0.96\times10^{-5}\pm 2.9\times10^{-7}$	96	1.7	1.7×10^{-7}	0.96×10^{-5}	1×10^{-5}

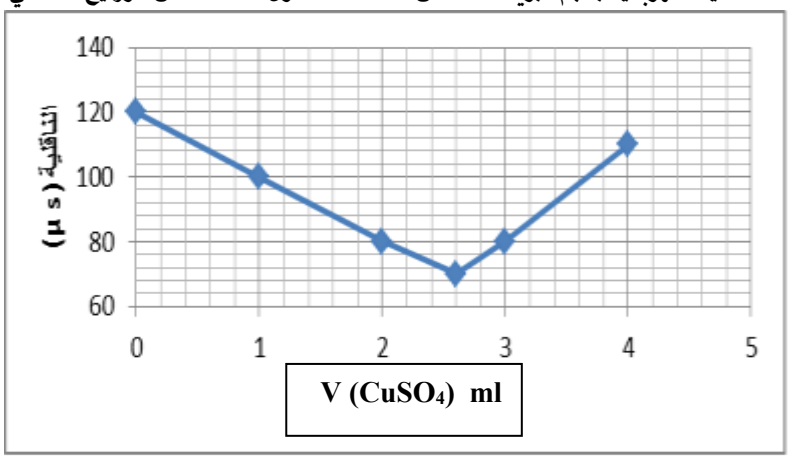
٦-١-٢-٢- المعايرة اللامائية:

١- الميتانول:

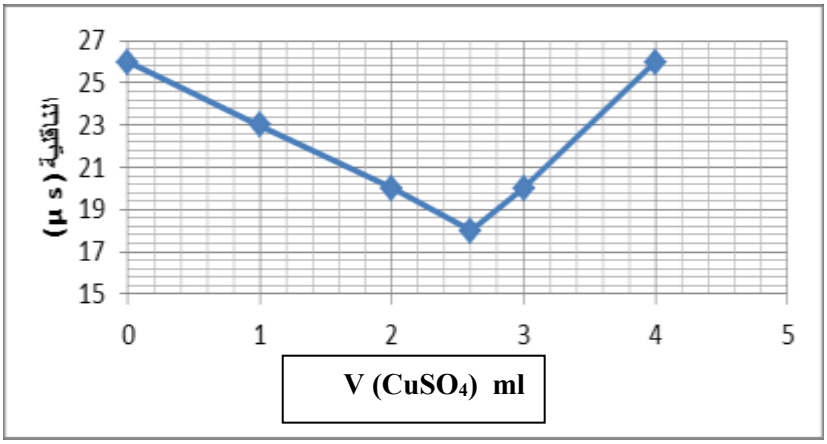
تظهر الأشكال (16-19) علاقة الناقلية بحجم كاشف كبريتات النحاس المضافة للمحلول اللامائي للزرنيخ في الميتانول في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



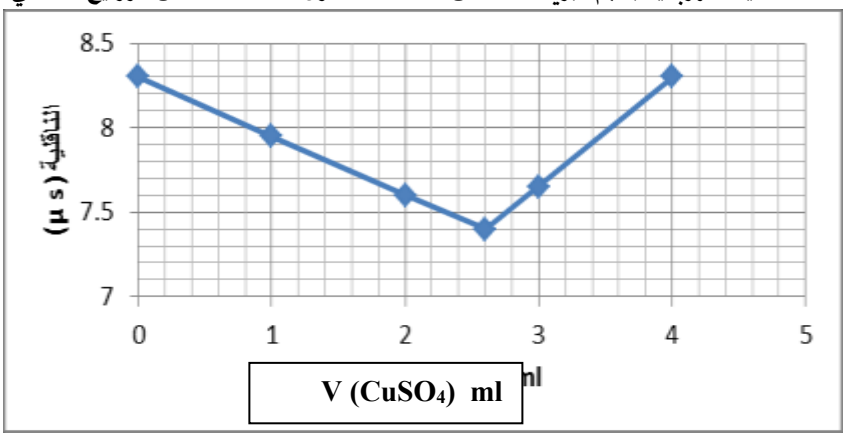
الشكل 16: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0. 1 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول



الشكل 17: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول



الشكل 18: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.0001 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول



الشكل 19: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.00001 M من الزرنيخ اللامائي في الميتانول

نستنتج أنّ قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في وسط من الميتانول بطريقة المعايرة بالناقلية باستخدام كبريتات النحاس هي (1×10^{-5} mol/l)، أما قيمة حد الكشف النظرية تساوي:

$$L=2\times (2.1\times10^{-7}) =4.2\times10^{-7} \text{ mol/l}$$

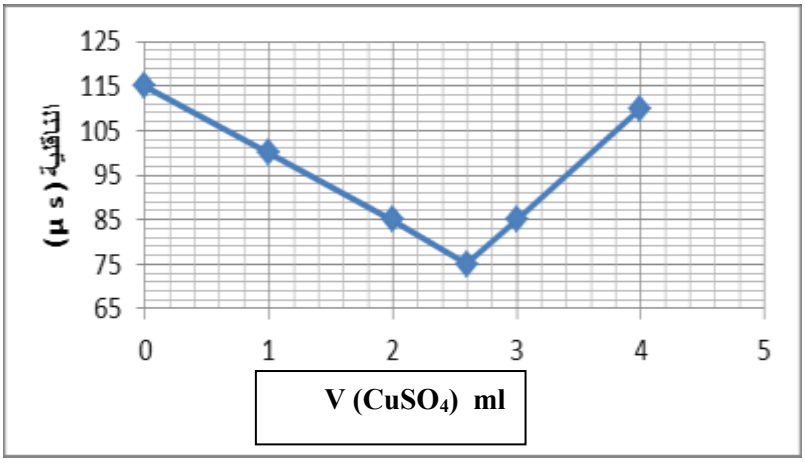
ويبّين الجدول (٧) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ المائية وذلك بمعايرتها بكبريتات النحاس بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول 7: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة (1×10^{-2}M – 1×10^{-5}M)

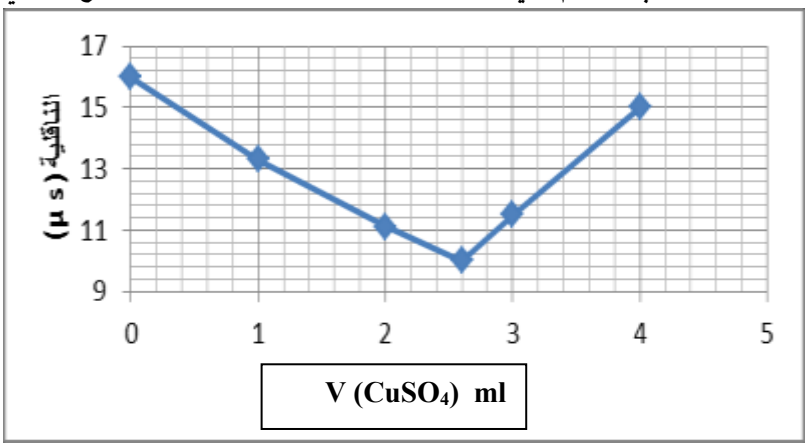
التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.98×10^{-2}	1.2×10^{-4}	1.2	98	$0.98\times10^{-2}\pm 2.2\times10^{-4}$
1×10^{-3}	0.96×10^{-3}	1.5×10^{-5}	1.5	96	$0.96\times10^{-3}\pm 2.7\times10^{-5}$
1×10^{-4}	0.95×10^{-4}	1.9×10^{-6}	1.9	95	$0.95\times10^{-4}\pm 3.6\times10^{-6}$
1×10^{-5}	0.93×10^{-5}	2.1×10^{-7}	2.1	93	$0.93\times10^{-5}\pm 3.9\times10^{-7}$

٢- الإيتانول:

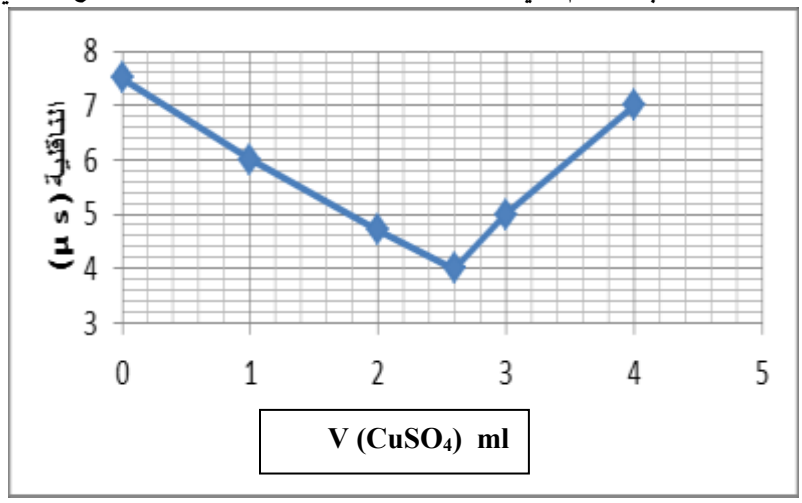
تظهر الأشكال (20–22) علاقة الناقلية بحجم كاشف كبريتات النحاس المضافة للمحلول اللامائي للزرنيخ في الإيتانول في تراكيز مختلفة من الزرنيخ.



الشكل 20: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.01 M من الزرنيخ اللامائي في الإيتانول



الشكل 21: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ اللامائي في الإيتانول



الشكل 22: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.0001 M من الزرنيخ اللامائي في الإيتانول

نستنتج أنّ قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في وسط من الإيتانول بطريقة المعايرة بالناقلية باستخدام كبريتات النحاس (1×10^{-4} mol/l)،أما قيمة حد الكشف النظرية عن الزرنيخ تساوي:

$$L=2\times (1.9\times10^{-6}) = 3.8\times10^{-6} \text{ mol/l}$$

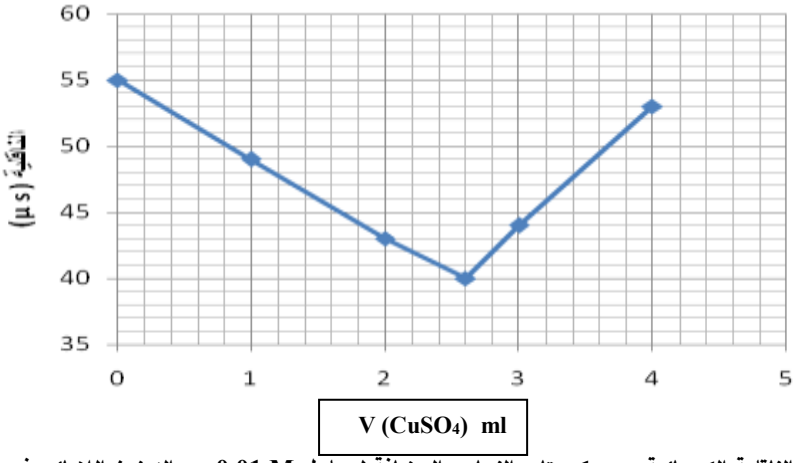
ويبين الجدول (8) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ في وسط من الإيتانول وذلك بمعايرتها بنترات الفضة بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول 8: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة ($1\times10^{-2}M - 1\times10^{-4}M$)

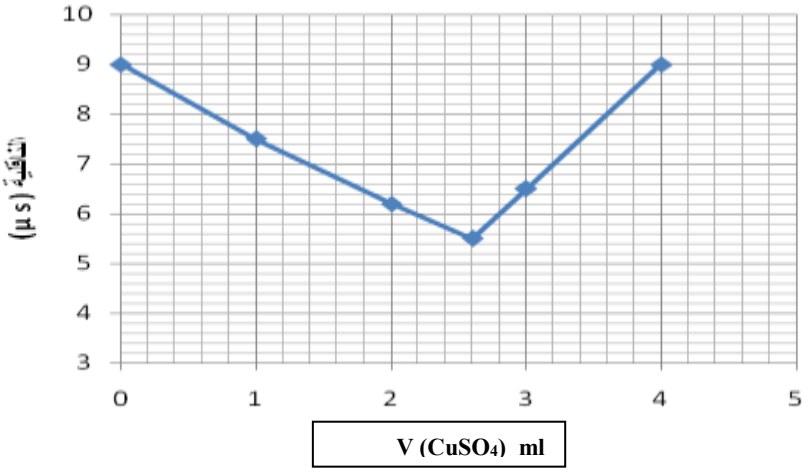
التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.98×10^{-2}	1.4×10^{-4}	1.4	98	$0.98\times10^{-2}\pm2.6\times10^{-3}$
1×10^{-3}	0.96×10^{-3}	1.6×10^{-5}	1.6	96	$0.96\times10^{-3}\pm3.1\times10^{-5}$
1×10^{-4}	0.95×10^{-4}	1.9×10^{-6}	1.9	95	$0.95\times10^{-4}\pm3.9\times10^{-6}$

٣- أسيت نتريل:

يظهر الأشكال (23-24) علاقة الناقلية بحجم كاشف كبريتات النحاس المضافة للمحلول اللامائي للزرنيخ في أسيت نتريل بتراكيز مختلفة من الزرنيخ.



الشكل 23: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.01 M من الزرنيخ اللامائي في أسيت نتريل



الشكل ٢٤: علاقة الناقلية الكهربائية بحجم كبريتات النحاس المضافة لمحلول 0.001 M من الزرنيخ اللامائي في أسيت نتريل

نستنتج أنّ قيمة حد الكشف التجريبية عن الزرنيخ في وسط من أسيت نتريل بطريقة المعايرة بالناقلية باستخدام كبريتات النحاس (1×10^{-3} mol/l)،أما قيمة حد الكشف النظرية عن الزرنيخ تساوي:

$$L=2\times (2.1\times10^{-4}) =4.2\times10^{-4} \text{ mol/l}$$

ويبين الجدول (9) التراكيز التي تم الكشف عنها لمحاليل الزرنيخ في وسط من أسيت نتريل وذلك بمعايرته كبريتات النحاس بطريقة المعايرة بالناقلية ونتائج حساب الأخطاء والإسترجاعية للمكررات المحللة (n=3):

الجدول 9: النتائج الإحصائية لمحاليل الزرنيخ المدروسة ذات التراكيز المختلفة (1×10^{-2}M – 1×10^{-3}M)

التركيز النظري (M)	التركيز الفعلي (M)	الانحراف المعياري SD	الانحراف المعياري المئوي RSD%	الإسترجاعية R %	حد الثقة X±ΔX
1×10^{-2}	0.96×10^{-2}	1.2×10^{-3}	1.2	99	$0.96\times10^{-2}\pm 2.4\times10^{-3}$
1×10^{-3}	0.95×10^{-3}	2.1×10^{-4}	2.1	97	$0.95\times10^{-3}\pm 3.3\times10^{-4}$

نلاحظ أنَ أفضل المحلات اللامائية المستخدمة عند المعايرة بالناقلية باستخدام كاشف كبريتات النحاس هي الميتانول ، حيث توصلنا إلى تركيز(1×10^{-5} M) ، أما عند استخدام الإيتانول وأسيت نتريل توصلنا إلى تركيز(1×10^{-4} M) و(1×10^{-3} M) على التوالي.

٧- الاستنتاجات و التوصيات:

استخدمت في هذا البحث طريقة تحليلية الكتروكيميائية جديدة من أجل تحديد عنصر الزرنيخ في الأوساط المائية وهي طريقة المعايرة بالناقلية الكهربائية، وتوصلنا إلى الاستنتاجات التالية:

- إمكانية استخدام طريقة المعايرة بالناقلية الكهربائية من أجل تحديد عنصر الزرنيخ في الأوساط المائية.
- إمكانية استخدام طريقة المعايرة بالناقلية الكهربائية من أجل تحديد عنصر الزرنيخ في الأوساط اللامائية.
- تم رفع حساسية الطريقة والوصول بحد الكشف إلى مرتبة ppm.
- استخدام طريقة المعايرة بالناقلية الكهربائية بنجاح وفعالية في تحديد الزرنيخ في الأوساط المائية واللامائية وهذا ما تجلى من خلال قيم الإسترجاعية الجيدة، كما لاحظنا الدقة الجيدة من خلال انخفاض قيمRSD%.
- إن أفضل المحلات اللامائية المستخدمة عند المعايرة بالناقلية الكهربائية باستخدام كاشف نترات الفضة هي الميتانول، حيث توصلنا إلى تركيز(1×10^{-4} M) ،أما عند استخدام الإيتانول وأسيت نتريل توصلنا إلى تركيز (1×10^{-3} M)، (1×10^{-2} M) على التوالي.
- إن أفضل المحلات اللامائية المستخدمة عند المعايرة بالناقلية الكهربائية باستخدام كاشف كبريتات النحاس هي الميتانول، حيث توصلنا إلى تركيز(1×10^{-5} M) ، أما عند استخدام الإيتانول وأسيت نتريل توصلنا إلى تركيز (1×10^{-4} M) و(1×10^{-3} M) على التوالي.

يتوقع أن يكون للبحث نتائج تطبيقية في مجال المعالجات البيئية التي تعنى بموضوع التلوث بالزرنيخ وتقييم الأثر التلوثي للزرنيخ الذي يعدُّ من أكثر المشكلات البيئية التي يعاني منها المجتمع. وهو سيساعد في دعم الجهود التي تقوم بها وزارة البيئة و الجهات المعنية الأخرى للكشف عن التلوث الناتج عن الزرنيخ والوصول إلى بيئة نظيفة

خالية من الملوثات بكافة أشكالها و أنواعها مما يساهم في عملية النمو الاقتصادي الذي يتطلب في الكثير من جوانبه بيئة ملائمة للإنتاج الحيواني و الزراعي.

المراجع :

1- AUTHORITY, E.F.; ARCELLA, D.; CASCIO, C.; GOMES, J.A 2021,*Chronic dietary exposure to inorganic arsenic*. *EFSA J*, 19, e06380.

2- BHAT, A.; HARAa, T.O.; TIAN, F.; SINGH, B. 2023,*Review of analytical techniques for arsenic detection and determination in drinking water. Environ. Sci. Adv*, 2, 171–195.

3- BUNDSCHUH, J.; NIAZI, N.K.; ALAM, M.A.; BERG, M.; TGH I.; TOMASZEWSKA, B.; MAITY, J.P.; OK, Y.S. 2022,*Global arsenic dilemma and sustainability*. *J. Hazard. Mater*, 436, 129-197.

4- HE, Y.; LIU, J.; DUAN, Y.; YUAN, X.; MA, L.; DHAR, R.; ZHENG, Y. 2022, *A critical review of on-site inorganic arsenic screening methods. J. Environ,* Sci. 125, 453–469.

5-IGWE, E.; ONOJA, S.; NWODO, P.; BAHARANE, V.; DIAKITE, S.; SAQUEE, F.; UGWU, B.; AMECHI, O.; NIAMBE, O.; SHAIBU, O. 2023,*Identification of Sources of Some Priority Heavy Metallic Pollutants Caus-ing Environmental Degradation and It's Health Implications, J. Ind. Pollut. Control* ,39- 50.

6- IRUNDE, R.; IJUMULANA, J.; LIGATEe, F.; MAITY, J.P.; AHMADd, A.; MTAMBA, J.; MTALO, F.; BHATTACHARYA, P. 2022, *Arsenic in Africa: Potential sources, spatial variability, and the state of the art for arsenic removal using locally available materials. Groundw. Sustain*, Dev18, 100-146.

7- JUNG, M.Y. 2017,*Inorganic Arsenic Contents in Infant Rice Powders and Infant Rice Snacks Marketed in Korea Determined by a Highly Sensitive Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Following Derivatization with British Anti-Lewisite. Food Sci. Biotechnol,*27, 617–622.

8- KISOMI, A.S.; ALIZADEH, T.; SHAKERI, A.; NOURI, A.; FARSADROOH, M.; NAJAFI, S. 2020, *Application of μ-TLC for Speciation of Inorganic Arsenic by Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Microchem. J.*, 158, 105143.

9- KUMAR, A.; KUMAR, M.; SAGAR, P.; PANDEY, R.K.; AKHOURI, V.; KUMAR, V.; ANAND, G.; NIRAJ, P.K. 2021,*Arsenic exposure in Indo Gangetic plains of Bihar causing increased cancer risk*. Sci. Rep, 11, 2306.

10- LAL, B. KAPOOR ,D. JAIMINI, M. 2019,*A review on analytical method validation and its regulatory perspectives. Drug Delivery and Therapeutics*, 9 (2), 501-506.

11- LIN, Y.; SUN, Y.;WANG, X.; CHEN, S.;WU, Y.; FU, F. 2020, *Universal Method for the Speciation Analysis of Arsenic in Various Seafood Based on Microwave-Assisted Extraction and Ion Chromatography-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Microchem,* J. 159, 105-142.

12-MANJAKKAL L, SZWAGIERCZAK D, DAHIYA R. 2020*, Metal oxides based electrochemical pH sensors: Current progress and future perspectives. Progress in Materials Science*, 109, 601-635.

13-MEDUNI´c, G.; FIKET, Z.; IVANI´c, M. 2020, *Arsenic contamination status in Europe, Australia, and other parts of the world. In Arsenic in Drinking Water and Food. Springer,* pp. 183–233.

14- RAJIV, C.; ANNA, R.; LINDA, M.O.K.; SARA, S.; SETOR, K.K.; TAULANT, M.; JOHN, G.; PETER, W.; SAMANTHA, W.; HASSAN, K. 2018, *Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease. Systematic review and meta-analysis*, BMJ 362, 33-50.

15-RAHIDUL, H. 2023,*A review on different arsenic removal techniques used for decontamination of drinking water. Environ. Pollut. Bioavailab*, 35, 216-296.

16- RATHI, B.S.; KUMAR, P.S. 2021, *A review on sources, identification and treatment strategies for the removal of toxic Arsenic from water system. J. Hazard. Mater*, 418, 126-144.

17- REID, M.S.; HOY, K.S.; SCHOFIELD, J.R.M.; UPPAL, J.S.; LIN, Y.; LU, X.; PENG, H.; LE, X.C. 2020,*Arsenic Speciation Analysis: A Review with an Emphasis on Chromatographic Separations. TrAC Trends Anal. Chem*, 123, 115-170.

18-SEVAK, P.; PUSHKAR, B. 2024, *Arsenic pollution cycle, toxicity and sustainable remediation technologies: A comprehensive review and bibliometric analysis. J. Environ,* 349, 119-134.

.