

العلاقة بين التوصيلية الكهربائية والقوة الأيونية
للكتروليتات ثنائية الشحنة $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{Na}_2\text{CO}_3$

م.م. اقبال سلمان محمد م.م. احمد اسماعيل م.م. شيماء باسم
كلية التربية – الرازي / جامعة ديالى

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة العلاقة بين التوصيلية الكهربائية (Λ) للكاتيونات القوية والقوة الأيونية (I) عن طريق استخدام الكتروليتات قوية ثنائية التكافؤ (كربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم) بتركيزات مختلفة تتراوح بين (0.01 - 1.0) مولاري وتم قياس التوصيلية الكهربائية وحساب القوة الأيونية.

بتطبيق العلاقة التالية بين القوة الأيونية (I) والتوصيل الكهربائي (Λ) . ($I = F * \Lambda$) تم استخراج قيم المعاملات (F) لهذه العلاقة في حدود معينة من التركيزات وتؤدي هذه الطريقة إلى حساب القوة الأيونية مباشرة عن طريق قياس التوصيلية لأي نموذج مجهول. وتمتاز هذه العلاقة أنها تعطي نتائج أكثر دقة وبشكل بسيط غير معقد وجهد أقل.

وكما تم أيضاً مزج محاليل الإلكتروليتين المستخدمين وبتراكيز مختلفة وتشير النتائج أن مزيج الأملاح يقلل من قيم الإيصالية الكهربائية بالرغم من زيادة القوة الأيونية بسبب حدوث ظاهرة الأيون المشترك وتأثير الذوبانية بالإضافة إلى المزدوجات الأيونية وكذلك تأثير الاسترخاء للمذيب.

وتم تطبيق قيم القوة الأيونية المستنتجة في قانون ديبي – هيكل الموسع وكانت النتائج مقاربة جداً

The relationship between electrical conductivity and Ionic strength to dielectrical charge , $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{Na}_2\text{SO}_4$

Abstract

In this paper studied the relationship between electrical conductivity (Λ) to strong electrolytes and ionic strength (I) by using strong electrolytes dielectrical charge (Sodium Sulphate and Sodium Carbonate) with different. Concentration about (0.01 - 1.0) molar and measurement the electrical conductivity and calculate the ionic strength.

By applied the relationship between ionic strength and electrical conductivity ($I = F * \Lambda$) and obtained the factors (F) of this relationship in limit of concentration this method calculate the ionic strength directly by measuring of conductivity of any unknown sample. This relationship give the result more accuracy and very simply and less hard.

In addition we mixture solution of two electrolytes and different concentration . The indicated results that the mixture of salt reduce the conductivity with increasing of ionic strength because the common ion and effect of solubility and the ion pairs however the relaxation solvent the ionic strength values have been applied from the suggested mathematical relationship in Extended Debye-Huckel equation and the result were similar .

المقدمة Introduction

استعرضت النظريات المختلفة لتوصيل الإلكتروليتات بصورة وافية من قبل العديد من الباحثين⁽¹⁾⁽²⁾ استنبطت النظرية الحديثة لتوصيل الإلكتروليتات من قبل ديبي - هيكل (Debye-Huckel)⁽³⁾ ومن ثم أونساكر Onsager⁽⁴⁾ وذلك بدراسة سلوك الأيونات في المحاليل الإلكتروليتية⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ ويستدل من ذلك انه نتيجة للتجاذب الكهربائي بين الأيونات الموجبة والسالبة في المحلول الإلكتروليتي تتجمع حول كل أيون كما لو كان موجود في مركز كرة تحيط به من جميع الجهات وعلى أبعاد مختلفة فالأيون الموجود في مركز الكرة يسمى بالأيون المركزي (Central ion) والأيونات وجزيئات المذيب الموجودة ضمن الغلاف المحيط بالأيون والجو الأيوني (Ionic Atmosphere) ومحصلة الشحنات الموجودة في الجو الأيوني مساوية في المقدار لشحنة الأيون المركزي ومخالفة له في الإشارة ويكون هذا الجو الأيوني في الأحوال الاعتيادية عند عدم تسليط مجال كهربائي عليه متناسقاً على هيئة كرة منتظمة⁽⁸⁾.

إن معامل الفعالية لأيون ما يقل مع زيادة القوة الأيونية للمحلول ويكون الانخفاض بشكل أكبر في حالة الأيونات التي تحمل شحنات متعددة وعندما يكون ثابت عزل الوسط واطئ وهذا القانون يصح في المحاليل المخففة ولكن عندما يزيد تركيز المحلول الإلكتروليتي على (0.1) مولاري حيث يكون نصف قطر الجو الأيوني مقارباً لنصف قطر الأيون المركزي لذلك أدخل ديبي - هيكل تعديلاً على هذه المعادلة⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

من المعروف أن مجموع التداخلات (التأثيرات) الإلكتروليتية بين الأيونات ودورها في تحديد إيصاليات محاليل الإلكتروليتات القوية الترموديناميكية للأيونات هو ما يدعى بمعامل الفعالية (Activity)⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ (Coefficient).

جميع المحاليل تحتوي على أيونات ودقائق مشحونة تكون بعيدة عن المحلول المثالي وأن مقدار الابتعاد عن المثالية يتناسب مع كمية الشحنة الكهربائية الناجمة عن تلك الأيونات والدقائق المشحونة⁽¹¹⁾. يعتمد معامل الفعالية للإلكتروليت بصورة واضحة على التركيز ففي المحاليل المخففة تكون التأثيرات البينية من نوع التجاذب والتنافر الكولومي البسيط حيث تكون هذه الأيونات متباعدة جداً وبشكل يمنعها من حصول أي تجاذب بينها إلى حد كبير ويصل معامل الفعالية فيها إلى الواحد⁽¹⁶⁾. ويكون هذا التأثير أكبر للأيونات ذات الشحنات العالية وكذلك للمذيبات ذات الثوابت الكهروكيميائية الواطنة حيث تكون التأثيرات البينية الكهروستاتيكية أقوى⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾.

وبشكل عام فإن قيم معامل الفعالية الأيونية ($\pm \gamma$) له أهمية في وصف المحاليل الحقيقية للإلكتروليتات وخاصة الصفات الترموديناميكية لهذه الإلكتروليتات وهذه المعاملات ذات أهمية تطبيقية في إزالة الأملاح من المياه واستخراج النفط⁽¹⁶⁾ وتستعمل في حساب معامل التنشيط للحصول على بعض المعلومات المهمة في تصريف مياه حقول النفط⁽¹⁷⁾.

المواد وطرائق العمل **Material and Method**

تحضير المحاليل: تم تحضير محاليل كربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم بالتراكيز التالية: (1.0 , 0.9 , 0.8 , 0.7 , 0.6 , 0.5 , 0.45 , 0.4 , 0.35 , 0.3 , 0.25 , 0.2 , 0.15 , 0.1 , 0.05 , 0.01) مولاري وتم قياس تركيز أيون الصوديوم بجهاز الانبعاث الذري اللهبى JENNAY{PFP7} وقياس التوصيل الكهربائي بواسطة جهاز التوصيلية PHILIPS{Model9526} عند درجة حرارة (25°م).
تم مزج كلاً من محلولي كربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم بالنسب التالية: (0.35 : 0.4 , 0.3 : 0.45 , 0.25 : 0.5 , 0.2 : 0.6 , 0.15 : 0.7 , 0.1 : 0.8 , 0.05 : 0.9 , 0.01 : 1.0) والعكس بالعكس.

وتم حساب العلاقة بين القوة الأيونية والتوصيل الكهربائي وحسب المعادلة التالية⁽¹⁸⁾ :

$$I = F * \Lambda$$

I = Ionic Strength , Λ = Electrical conductivity.

F = Factors

النتائج والمناقشة **Results and Discussion**

أظهرت النتائج في الأشكال (1) (2) (3) (4) إن الزيادة في مقدار القوة الأيونية المحسوبة حسب القانون العام لها $I = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 C_i$ وبالمعادلة المقترحة $I = F * \Lambda$ لمحي كبريتات الصوديوم وكربونات الصوديوم أدت إلى زيادة في مقدار التوصيلية نظراً لكون توصيلية المحاليل الإلكترونية تعتمد على عدد ونوع الأيونات الموجودة وحركتها ونوعية المذيب والجهد المسلط حيث أن حجم أو نصف قطر الأيون له علاقة واضحة بتوصيليته فكلما كان حجمه أصغر كانت حركته أكبر، كما أن عدد الأيونات يعتمد على التركيز وهذا ينطبق على الأملاح عندما تكون بصورة منفردة في المحلول وعموماً فإن هناك زيادة كبيرة في الإيصالية لهذه الأملاح مع التخفيف حيث أن المسافات بين الأيونات تكون كبيرة وأن (التأثرات) أو التجاذبات بين هذه الأيونات تكاد تكون معدومة وأن المسافة بين الشحنات المتجاورة يمكن حسابها من المعلومات التجريبية وهي متطابقة مع الحسابات الجيومترية لمعادلة Mannig⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾ في حين تظهر التراكيز العالية للمحاليل انخفاض في قيم التوصيل المتوقعة فالتوصيل المكافئ (الذي هو مجموع التوصيل لجميع الأيونات الموجودة) للأيونات يزداد عندما يقل التركيز ويمكن أن ترتبط هذه الظاهرة بصورة مباشرة بالقوى الداخلية (Inter ionic force) في المحلول نتيجة لإحاطة الكاتيون بأيون أكثر من المتوقع خلال التوزيع العشوائي وبممتلك الجو الأيوني (Ionic atmosphere) تأثيرين هما تأثير المذيب (Electrophoretic) وزمن الاسترخاء (Time of relaxation) وكلاهما يميل إلى تقليل حركة وانتقال الأيون (Ion mobility) ويؤدي التأثير الأول إلى ارتباط جزيئات المذيب مع الجو الأيوني بحركتها باتجاه معاكس لاتجاه الأيون المركزي (Central ion) بينما في الأخير فالجو الأيوني يتحرك بصورة أبداً من الأيون المركزي مسبباً تباعد الشحنة من الأيون المركزي⁽²¹⁾⁽²²⁾ وكلما أصبحت المحاليل أكثر تخفيفاً فإن الجو الأيوني يصبح أضعف. ونتيجة لذلك يقل تأثير كل من هجرة الأيونات الكهربائي وزمن الاسترخاء مع الجذر التربيعي لتركيز المحلول.

نلاحظ أن هناك اختلافات قليلة في قيم التوصيلية بين ملح الكربونات وملح الكبريتات لنفس التركيز حيث نلاحظ قيم الذوبانية لكلا الملحيتين متقاربة في درجات الحرارة الاعتيادية فالاختلافات تعود إلى إيصاليات أيونات CO_3 , SO_4 في المحلول بصورتها المنفردة في المحلول بإيصالية SO_4 مساوية لـ $(80.0 \text{ ms.cm}^{-1})$ وإيصالية CO_3 مساوية لـ $(69.3 \text{ ms.cm}^{-1})$ ⁽²³⁾⁽²⁴⁾.

تؤثر قابلية ذوبان هذه الأملاح بشكل كبير على التركيز وبالتالي على التوصيلية فكلما زادت قابلية الذوبان للملح زادت حركة الأيونات السالبة والموجبة (أي وجود أيونات حرة الحركة أكثر) وبالتالي على قابليتها على التوصيل في حين أن نوع الأيون هو الذي يسبب الاختلافات في مقدار الإيصالية وكذلك التجاذبات والتأثرات بين الأيونات في المحلول وخاصة في التراكيز العالية.

يكون التوصيل المكافئ للتراكيز العالية لكلا الملحني (Na_2SO_4 , Na_2CO_3) أقل من المتوقع على الرغم من وجود عدد كبير من الأيونات المشحونة وذلك لأن زيادة التركيز يؤدي إلى تقارب الأيونات مع بعضها فيقترب الأيون الموجب (M^+) من الأيون السالب (A^-) لتكوين ما يسمى بالمزدوج الأيوني (ion-pair) ويعبر عنه (M^+A^-) ويحدث تبادل مستمر بين أيونات المزدوجات المختلفة بحيث يكون لكل مزدوج أيوني زمن بقاء معين والمزدوج الأيوني ليس بجزيئية ولكنه يسلك كما لو كان جزيئة غير متفككة وعليه فإنه لا يسهم في حمل التيار الكهربائي داخل المحلول وبازدياد تركيز المزدوجات الأيونية في المحلول يقل التوصيل المكافئ للمحلول لأن جزء من تركيز الالكتروليت يكون مقيد في تجمعات أيونية غير قادرة على حمل التيار الكهربائي ويزداد تركيز المزدوجات الأيونية في محلول الالكتروليت كلما صغر حجم الأيون وزادت شحنته وكذلك كلما ازداد ثابت عزل الوسط ولا يقصد هنا حجم الأيون المجرد وإنما حجمه وهو مرتبط بجزيئات المذيب والحجم الأخير يكون عادة أكبر من الحجم المجرد للأيون⁽²⁴⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾ ففي حالة كبريتات الصوديوم يمكن أن يتكون في التراكيز العالية لهذه الالكتروليتات نوعين من المزدوجات الأيونية أحدهما للأيون $\text{Na}_2\text{SO}_4^{(5)}$ مع المذيب والآخر مع أيون الالكتروليت الموجب في المحلول وجود هذه المزدوجات يسبب إلى أن يكون الأيون بطيء الحركة وبسبب تأثير هذه المزدوجات الأيونية إضافة إلى تأثير الجو الأيوني Ionic atmosphere ويمكن أن يزداد التوصيل مرة أخرى مع زيادة التركيز بسبب تكون الثلاثيات الأيونية حيث تتجمع ثلاثة أيونات مثل ($M^+A^-M^+$) التي تبدو أنها حاملة شحنة موجبة واحدة أو (A^-MA^-) التي تبدو أنها حاملة شحنة سالبة واحدة حيث تمتاز بأنها شحنات قادرة على توصيل التيار الكهربائي في محلول الالكتروليت وتطبق هذه الحالة مع ملح Na_2CO_3 .

تم تحديد اثنين من المعاملات (F) للعلاقة بين التوصيلية والقوة الأيونية لمحلول كبريتات الصوديوم وكربونات الصوديوم مما يشير إلى وجود منطقتين هي (0.01-0.5) و (0.6-1) مولاري للالكتروليت وكما يلي:

(0.0229 , 0.0321 , 0.0223 , 0.0266) لاحظ الأشكال (1) (2) (3) (4) في حين أن معامل الارتباط للعلاقة بين التوصيلية الكهربائية والقوة الأيونية لكلا الالكتروليتين هي (0.903 , 0.85 , 0.929 , 0.880,) للمعاملات أعلاه وعلى التوالي.

تأثير مزيج كبريتات الصوديوم وكربونات الصوديوم على التوصيلية الكهربائية

من خلال ملاحظة الأشكال (5) (6) أنه بالرغم من أن قيم القوة الأيونية عالية وذلك لكون الإلكتروليتين ثنائية الشحنة فتكون المساهمة في القوة الأيونية عالية إلا أنه قيم التوصيلية أقل مما عليه في حالة الالكتروليت الانفرادي (قبل المزج) وذلك بسبب تأثير الأيون المشترك (Common ion) الذي يقلل من ذوبانية الإلكتروليتين وبالأخص الملح الأقل ذوباناً (كربونات الصوديوم) وبالتالي يؤثر على عدد الأيونات الموجودة بصورة حرة بالمحلول والتي تساهم في إيصالية المحلول الذوبانية⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾.

إن تأثير إضافة الأملاح المختلفة في المحاليل سيؤدي إلى الاختلاف في توزيع الأيونات وبالتالي اختلاف جهد دونان (Donnan Potential). وهذا الاختلاف سيغير من الاختيارية التي تتمتع بها الأغشية المحيطة بالأيونات داخل المحلول⁽³⁰⁾.

نلاحظ هناك اختلافات قليلة في قيم التوصيلية بين المزيجين ففي المزيج الأول عندما يكون تركيز الكبريتات هو الأعلى تكون قيم التوصيلية أعلى قليلاً وعلى العكس في المزيج الثاني عندما يكون تركيز الكربونات هو الأعلى يعود ذلك إلى الاختلاف القليل في قيم الذوبانية للملحين وقيم التوصيلية لكلا مجموعة SO_4 و CO_3 على اعتبار أن الأيون الموجب ثابت هو الصوديوم في الحالتين وينفس النسبة والمساهمة فإيصالية الكبريتات أعلى من إيصالية الكربونات وكذلك ذوبانية كبريتات الصوديوم أعلى قليلاً من ذوبانية الكربونات.

تم تحديد اثنين من المعاملات للمزيجين (0.0479, 0.0561) لاحظ الاشكال (4) (5) كما وان معامل الارتباط للعلاقة بين التوصيلية الكهربائية والقوة الأيونية لكلا الالكتروليتين هما (0.985, 0.848) للمعاملات اعلاه وعلى التوالي .

تطبيقات على المعادلات المقترحة

تم حساب معدل معامل الفعالية Activity Coefficient

$$\text{حيث أن : } \log \gamma_{\pm} = \frac{-A|Z_+ Z_-| \sqrt{I}}{1 + aB \sqrt{I}}$$

$$A = 0.509 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^{-1/2}$$

$$B = 0.328 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^{-1/2}$$

وذلك باستخدام المعاملات المستخرجة من المعادلات المقترحة في البحث وكانت النتائج مقارنة مع القيم المحسوبة بالقانون العام $I = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 C_i$ الجداول (1) (2) (3) (4) وهناك بعض الاختلافات وخاصة في التراكيز العالية كما أن النتائج مقارنة في حالة مزج محاليل الالكتروليتين مع بعضها الجداول (5) (6) مما يدل على أن المعاملات المستنتجة من البحث مناسبة جداً وتوفر الكثير من الجهد والوقت في حساب القوة الأيونية لمحاليل مجهولة بطريقة قياس التوصيلية مباشرة دون اللجوء إلى طرق تحليل معقدة.

Ionic Strength Mol.L ⁻¹	$\gamma_{\pm}$, EDHL	Λ MS.cm ⁻¹	$I = F * \Lambda$	$\gamma_{\pm}$, EDHL
0.03	0.8178	1.594	0.0365	0.6551
0.15	0.4469	7.774	0.1780	0.5762
0.3	0.3368	15.930	0.3647	0.3031
0.45	0.2756	21.274	0.4871	0.2601
0.6	0.2350	26.874	0.6154	0.2274
0.75	0.2057	32.327	0.7402	0.2030
0.9	0.1835	36.574	0.8375	0.1875
1.05	0.1656	40.970	0.9382	0.1753
1.2	0.1512	46.174	1.0573	0.1603
1.35	0.1391	51.275	1.1741	0.1489
1.5	0.1106	56.174	1.2863	0.1394

$\gamma_{\pm}$: معامل الفعالية الأيوني

EDHL : قانون ديبي - هيكلموسع

جدول (1) يبين قيم معامل الفعالية محسوبة على أساس قيم القوة الأيونية بالطرق الاعتيادية وبالمعادلات المقترحة لمحلول كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) (0.01-0.5) مولاري في درجة 25°م.

Ionic Strength	$\gamma_{\pm}$, EDHL	Λ	$I = F * \Lambda$	$\gamma_{\pm}$, EDHL
----------------	-----------------------	-----------	-------------------	-----------------------

Mol.L ⁻¹		MS.cm ⁻¹	Ionic Strength	
1.8	0.0704	61.874	1.9861	0.0998
2.1	0.1000	67.874	2.1787	0.0926
2.4	0.0900	75.274	2.4162	0.0850
2.7	0.0818	80.574	2.5864	0.0803
3.0	0.0750	84.07	2.6986	0.0775

جدول (2) يبين قيم معامل الفعالية محسوباً على أساس قيم القوة الأيونية بالطرق الاعتيادية وبالمعادلات المقترحة لمحلول كربونات الصوديوم (Na₂CO₃) (1.0-0.6) مولاري في درجة 25°م.

Ionic Strength Mol.L ⁻¹	$\gamma_{\pm}$, EDHL	Λ MS.cm ⁻¹	I = F * Λ Ionic Strength	$\gamma_{\pm}$, EDHL
0.03	0.8178	1.73	0.0385	0.6480
0.15	0.4469	8.75	0.1951	0.4292
0.3	0.3368	15.12	0.3371	0.3290
0.45	0.2756	20.12	0.4486	0.2720
0.6	0.2350	27.72	0.6181	0.2268
0.75	0.2057	35.174	0.7843	0.2782
0.9	0.1835	33.774	0.7531	0.2008
1.05	0.1656	37.923	0.8456	0.1864
1.2	0.1512	44.920	1.0017	0.1664
1.35	0.1391	58.374	1.3017	0.1382
1.5	0.1106	63.774	1.4221	0.1294

جدول (3) يبين قيم معامل الفعالية محسوباً على أساس قيم القوة الأيونية بالطرق الاعتيادية وبالمعادلات المقترحة لمحلول كبريتات الصوديوم (Na₂SO₄) (0.5-0.01) مولاري في درجة 25°م.

Ionic Strength Mol.L ⁻¹	$\gamma_{\pm}$, EDHL	Λ MS.cm ⁻¹	I = F * Λ Ionic Strength	$\gamma_{\pm}$, EDHL
1.8	0.0704	79.574	2.0900	0.0950
2.1	0.1000	89.474	2.3800	0.1770
2.4	0.0900	90.474	2.4066	0.0850
2.7	0.0818	93.574	2.4890	0.0870
3.0	0.0750	100.474	2.6726	0.0785

جدول (4) يبين قيم معامل الفعالية محسوباً على أساس قيم القوة الأيونية بالطرق الاعتيادية وبالمعادلات المقترحة لمحلول كبريتات الصوديوم (Na₂SO₄) (1.0-0.6) مولاري في درجة 25°م.

Ionic Strength Mol.L ⁻¹	$\gamma_{\pm}$, EDHL	Λ MS.cm ⁻¹	I = F * Λ Ionic Strength	$\gamma_{\pm}$, EDHL
4.03	0.0585	61.674	3.9541	0.0555
2.85	0.0783	58.714	2.8124	0.0748
2.7	0.0818	56.874	2.7242	0.0769
2.55	0.0857	55.874	2.6763	0.0780
2.40	0.0900	54.370	2.6043	0.0899
2.25	0.0947	51.374	2.2608	0.0899
2.25	0.0947	47.874	2.2931	0.0888
2.25	0.0947	46.774	2.2404	0.0905

جدول (5) يبين قيم معامل الفعالية محسوباً على أساس قيم القوة الأيونية بالطرق الاعتيادية وبالمعادلات المقترحة لمزيج كبريتات الصوديوم وكربونات الصوديوم في درجة 25°م. المزيج (1)

Ionic Strength	$\gamma_{\pm}$, EDHL	Λ	I = F * Λ	$\gamma_{\pm}$, EDHL
----------------	-----------------------	-----------	-------------------	-----------------------

Mol.L ⁻¹		MS.cm ⁻¹	Ionic Strength	
4.03	0.0585	48.67	3.7303	0.0585
2.85	0.0783	48.474	2.7193	0.0753
2.7	0.0818	51.574	2.8933	0.0848
2.55	0.0857	45.187	2.5349	0.0821
2.4	0.0900	45.674	2.5623	0.0810
2.25	0.0947	45.74	2.5660	0.0809
2.25	0.0947	46.774	2.6240	0.0898
2.25	0.0947	44.474	2.2949	0.0887

جدول (6) يبين قيم معامل الفعالية محسوباً على أساس قيم القوة الأيونية بالطرق الاعتيادية وبالمعادلات المقترحة لمزيج كبريتات الصوديوم وكربونات الصوديوم في درجة 25°م. المزيج (2)

الاستنتاجات Conclusion

في ضوء النتائج المستخلصة من البحث والملاحظات والملاحظات التي تم تسجيلها تم التوصل إلى ما يلي:-

- 1-إن محاليل الالكتروليتات الثنائية التكافؤ (كبريتات الصوديوم وكربونات الصوديوم) وبتركيز مختلفة تصل إلى (1M) لها إيصالية أعلى من الالكتروليتات الأحادية التكافؤ بسبب زيادة الشحنات المساهمة في التوصيل وإنها تزداد بزيادة القوة الأيونية مع انخفاض واضح في التراكيز العالية بسبب القوى الداخلية.
- 2-تم استنتاج معاملات لمختلف التراكيز من خلال العلاقة بين القوة الأيونية والإيصالية الكهربائية $I = F \cdot \Lambda$ يستفاد منها لتغيير القوة الأيونية من خلال قياس الإيصالية الكهربائية لمحاليل غير معروفة المكونات. وتم قياس معاملات هذه العلاقات لمحاليل معلومة لاستخدامها مباشرة في المعادلة المذكورة أعلاه في حالة المحاليل المجهولة.

المصادر References

- 1-M.S. Behera, and R.S., Journal of electrochemical society of India. 38, 203-205, (1980).
- 2-A.M.Abrahim,M.Sc.,Thesis, Basrah university (1978).
- 3-P. Debye and E. Huckel, Z. Bid, 24, 305, (1923).
- 4-L. Onsager, Z. Phys. 27, 388, (1926).
- 5-Hefter, Glenn, Ting, Journal of physical chemistry b, Issn: 1520-6106, (1999).

-
- 6-Hefter, Glenn, Ting, Journal of physical chemistry b, Issn: 1520-6106, (2004).
 - 7-Chandrika Akilan, N. Ohman, Chem, Physchem, Vol.7, Issn:11, 2319-2330, (2006).
 - 8-J.M. Salah, Electrical chemistry, Baghdad University, (1992).
 - 9-J.J.M. Bockris and A.N. Reddy, Modren Electrochemistry, Vol.1, Plenum Press, (1970).
 - 10-Bockris, J. Modren Electrochemistry 1, 2A and 2B, 2nd ed, 215-218, (2007).
 - 11-Kith J. Indler and John H. Meiser, Physical chemistry, New York 303, (1999).
 - 12-K.S. Pitzer, Activity, Coefficients in electrolyte solution. 2nd, London CRC Press, Baca. Raton, 237, (1991).
 - 13-J.M.J.Barthal,K.Krienkeand W.Kanz , J . Physical chemical of electrolyte solution. New York, 356, (1998).
 - 14-C.P.Atkinsand ,J.D.Scanttelaury,Journal of corrosion science and engineering, 1,2, (1995).
 - 15-C.L. Paye, P. Vassic, Materials and structures materiauxer constructions, 243, (1991).
 - 16-V.S. Pateardnan, Anil, Aiche Journal, 32, 1429-1438, (1986).
 - 17-V.S. Pateardnan, Anil, Aiche Journal, 32, 1429-1438, (1985).
 - 18- IQBAL S.AL- Joburi,M.Sc,Thesis,AL-anbar university,2005.
 - 19-H. Bloom, E. Heymann, Journal of polymer science, 28, 505-511, (1990).
 - 20-Pollard, Richard, Journal of the electrochemical society, 136, 3734-3748, (1989).
 - 21-F.A. Obead, Method of instrument analysis, Baghdad University, 295, (1988).
 - 22-P.W. Atkins, Physical chemistry, 6ed. Oxford, 249, (2001).
 - 23-Kiefer, David M., Chem Chron, Today's chemist at work, Vol.11, No.1, PP.45-6, (2002).
 - 24-Butts, D. Kirk-Othmer Encyelopedia of chemical technology, V22, (1997).
 - 25-K.J. Laidler and J. Mciser, Physical chemistry, 3rd Boston, New York, 284-285, (2000).
 - 26-Encyclopaedia Britannica retrieved. January 07, 2009, from encyclopaedia Britannica online, <http://www.Britannica.com>.
 - 27-Khan M.S., Rogaks n the Journal of supercritical fluids, Issn:0896-8446, Vol.30, 359-373, (2004).
 - 28-A.H. Al-Zubaedee, Soilsalinity, Baghdad University, (1989).
 - 29-A.H.S. Al-Karbulee, the partical and theoretical basise in analytia chemistry, Baghdad University, (2003).
 - 30-The journal of supercritical fluids, Issn: Vol.30, 359-373, (2004).
 - 31- Daniel C.Harris, Quantitative Chemical Analysis ,6^{ed} ,New yourk,153,2003.