

DOI: <https://doi.org/10.63359/c57mnt71>

التحقق من قيمة معامل التحويل من الموصلية الكهربائية إلى الأملاح الذائبة الكلية باستخدام الطريقة الوزنية

عبد الله أبوظahir¹ بشير بريكة²

ARTICLE INFO

Vol. 7 No.4 December, 2025

Pages A (48- 53)

Article history:

Revised form 31 October 2025
Accepted 15 November 2025

Authors affiliation

1- Libyan Authority for Scientific Research, Tripoli, Libya Font & size.
2- Libyan Advanced Center for Chemical Analysis, Libyan Authority for Scientific Research, Tripoli, Libya Font & size.

1- ovisabdo@yahoo.com
2- bashirforlibya@gmail.com

Keywords: Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids, Conversion Factor, Aqueous Solutions

الملخص

تحتوي المياه على مذابة يشار إليها عادةً بالمواد الصلبة الذائية الكلية (TDS) أو الأملاح الذائية الكلية، وتختلف كميتها باختلاف مصدر المياه وموقعها. يمكن تقدير المواد الصلبة الذائية الكلية (ملغم/لتر) من قياسات التوصيل الكهربائي (EC) عند 25°C (ملي 25°سم) من خلال تطبيق معامل التحويل (f)، والذي يتراوح عادةً بين (0.54) و (1.1) وفق ما تذكره كتيبات التشغيل للموصولة للأجهزة. إلا أنه قد لوحظ في العديد من الدراسات المنشورة حديثاً عدم الالتزام بما تذكره كتيبات التشغيل وتسجيل قراءات للموصولة الكهربائية والأملاح الذائية الكلية يكون معامل التحويل بينهما (0.45) مثلاً وهذا غير مقبول من الناحية العلمية. تهدف هذه الدراسة إلى قياس كمية المواد الصلبة الذائية الكلية باستخدام الطريقيتين الوزنية والكهربائية لعدد (12) عينة من المحلول الماء الحضرية في المختبر بتراكيز مختلفة، ومن ثم حساب معامل التحويل للتحقق من مدى توافقه مع القيم المذكورة في كتيبات التشغيل. ولتحقيق ذلك، تم تحضير محلول مزدوج من الأملاح بتراكيزات (100, 1000, 10000 ملغم/لتر)، ثم جرى تخفيفها بنسب محددة، وقيس الموصولة الكهربائية لها بواسطة جهاز القياس، بينما حدّدت الأملاح الذائية الكلية بالطريقة الوزنية. أظهرت النتائج أن معامل التحويل المحسوب يتطابق مع القيم المذكورة في كتيبات التشغيل عند التراكيز المختفية، بينما يختلف عنها عند التراكيز العالية. وبناءً عليه، يوصي الباحثان باستخدام الطريقة الوزنية لتحديد كمية الأملاح الذائية في عدد من العينات ذات التراكيز المرتفعة (≤ 500 ملغم/لتر)، ومن ثم حساب معامل التحويل وتوظيفه لمقدمة العينات المشاهدة.

Verifying The Value of The Conversion Factor from Electrical Conductivity to Total Dissolved Solids Using The Gravimetric Method

Abdulla Aboudhier¹, Bashir Brika²

Water contains dissolved minerals, commonly referred to as Total Dissolved Solids (TDS), or sometimes as total dissolved salts, whose concentrations vary according to the source and location of the water. TDS (mg/l) could estimate from electrical conductivity (EC) measurements at 25 °C (mS/cm) by applying a conversion factor (f), which typically ranges between 0.54 and 1.1, as reported in instrument manuals and guidelines. However, it is noted in several locally published studies failure to comply with instructions in the operating manuals accompanying the devices, and recording readings for electrical conductivity and total dissolved salts with a conversion factor of (0.45), for example, which is scientifically unacceptable. This study aims to determine TDS using both gravimetric and conductivity-based methods for a number of (12) samples laboratory-prepared aqueous solutions with varying concentrations, and to calculate the conversion factor in order to verify its consistency with reported values. For this purpose, aqueous salt mixtures were prepared at concentrations of 100, 1000, and 10000 mg/l, then diluted to specific levels. Their electrical conductivity measured by using an EC meter, while TDS was determined by using the gravimetric method. The results showed that the calculated conversion factor agrees with the reference range at low concentrations, but deviates at higher concentrations. Accordingly, the authors recommend applying the gravimetric method to determine TDS at higher concentrations (≥ 500 mg/l), and subsequently calculating the conversion factor to be used for other concentrations.

© 2025

Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.



المقدمة

للمواد الصلبة المذابة في العينة (Hem, 1985). إن قياس المواد الصلبة الذائية للعينات الأولية وزتها وارجاع هذه النتائج مقابل التوصيل الكهربائي المحدد للعينات من شأنه تحديد الارتباط. بناءً على ما سبق، تستند قياسات المواد الصلبة الذائية الكلية (TDS) عادةً إلى قياسات الموصولة الكهربائية (EC)، باستخدام عوامل التحويل (f) المستمدّة من الملوّح أو الإرشادات في كتيب التشغيل. تهدف هذه الورقة إلى قياس كمية الأملاح الذائبة الكلية بالطريق الوزنية ومن خلال قياس الموصولة الكهربائية لعدد من المحاليل المائية المختبرة في المعمل بتراكيز مختلفة ومن تم حساب معامل التحويل بالطريقة الوزنية لمعرفة ما إذا كانت عوامل التحويل الموصى بها متطابقة مع ما تم حسابه من التجارب المعملية أم لا.

المواد والطرق:

تحضير المحاليل المائية

في بداية التجارب، جرى تحضير محلول مائي نموذجي بتراكيز 100 ملغم/لتر من الأملاح الذائية الكلية (TDS). ولتحقيق هذا التراكيز، وزنت وأضيفت بدقة الكميات الآتية من الأملاح الكيميائية: 0.032 غ من كلوريد الكالسيوم (CaCl_2)، 0.012 غ من بيكربونات البوتاسيوم (NaHCO_3)، 0.028 غ من بيكربونات الصوديوم (NaHCO_3)، 0.023 غ من كبريتات المغنيسيوم (MgSO_4). ثم مزجت هذه الكميات في دوري زجاجي معابرية بسعة 1 لتر باستخدام الماء المقطر، حيث أن اختيار الأملاح بالنسبة المذكورة يهدف إلىمحاكاة التركيب الأيوني النموذجي الشائع في مصادر مياه الشرب (WHO, 2017).

قياس الأملاح الذائية الكلية بالطريق الوزنية

بعد تحضير محلول، جرى تقدير كمية الأملاح الذائية الكلية (TDS) باستخدام الطريقة الوزنية، وهي إحدى الطرق الكلاسيكية والموثوقة في هذا المجال. تعتمد هذه الطريقة على وزنوعاء التبخير فارغاً بدقة، ثم إضافة حجم معلوم من محلول وتبخير الماء حتى الجفاف التام عند 180°C، ليوزن الوعاء بعد ذلك مع الراسب المتبقى. يمثل الفرق بين الوزنين كثافة الأملاح الذائية في الحجم المستخدم من محلول. وتعد هذه الطريقة مرجعاً أساسياً لقياس TDS، حيث وردت في الدليل القياسي لفحص المياه والصرف الصحي الصادر عن جمعية الصحة العامة الأمريكية (WEF)، والرابطة الأمريكية لأعمال المياه (AWWA)، واتحاد البيئة المائية (WEF) (الطريقة رقم C - Total Dissolved Solids Dried at 180 °C 2540)، (APHA, 2017).

قياس الموصولة الكهربائية وحساب الأملاح الذائية بالجهاز

في الخطوة الثانية، قيست الموصولة الكهربائية (EC) للمحلول باستخدام جهاز قياس موصولة إلكتروني متزوج بخاصية تصحيح درجة الحرارة نوع HACH HQ 40 D. واستناداً إلى معامل التحويل (f) الموصى به من قبل الشركة المصنعة والمبيّن في كتيب الإرشادات، جرى حساب قيمة الأملاح الذائية الكلية (TDS) (المقابلة لقراءات الموصولة).

تحضير المحاليل ذات التراكيز الأعلى (1000 و 10000 ملغم/لتر)

بعد الانتهاء من المرحلة الأولى، جرى تحضير محلول بتراكيز 1000 ملغم/لتر من TDS باستخدام نفس الأملاح المذكورة سابقاً ولكن بكثيارات مضاعفة بما يتناسب مع التراكيز المستهدفة. بلغت كميات الأملاح: 0.32 غرام CaCl_2 ، 0.12 غرام KHCO_3 ، 0.28 غرام NaHCO_3 ، 0.23 غرام MgSO_4 ، و 0.28 غرام NaHCO_3 . المقطر. بعد التحضير، قيست كمية الأملاح الذائية الكلية باستخدام الطريقين الوزنية وجهاز قياس الموصولة، وقارنت النتائج المتحصل عليها بالطريقتين (Baird, 2017).

وفي المرحلة التالية، تم تحضير محلول عالي التراكيز بتراكيز 10000 ملغم/لتر، وذلك بإضافة

تُعدّ المواد الصلبة الذائية الكلية (TDS) من الخصائص المهمة في توصيف المياه الطبيعية، وتعد بالتأكيد أحد أهم المعايير لجودة مياه الشرب خاصة بالنسبة للمستهلكين (Brika et al., 2022) وُيُعرَفُ بأنَّها التراكيز الكلية للمواد العضوية وغير العضوية في المحلول المائي، والتي قد تكون في شكل أيوني (McNeil et al., 2000). تشكل أيونات الكالسيوم والماغنيسيوم والصوديوم والبيكربونات والكلوريدات والكربونات غالبية المكونات غير العضوية للمواد الصلبة الذائية الكلية من خلال الاحتياج الأكسجيني الحيوي (BOD) (Hubert et al., 2015)، بينما تقدر المكونات العضوية للمواد الصلبة الذائية الكلية من خلال الاحتياج الأكسجيني الحيوي (COD) (Balasubramanian et al., 1999). هناك طريقتان رئيسيتان لقياس إجمالي المواد الصلبة الذائية: الطريقة الوزنية، وطريقة قياس الموصولة. الطريقة الأولى هي الأكثر دقة، ولكنها تستغرق وقتاً طويلاً لأنه يجب تبخير كل الماء، حتى الجفاف، عادةً عند درجة مئوية في ظل ظروف معملية صارمة ثم يتم قياس كثافة المتبقيات (APHA). (2017) الطريقة الثانية وهي طريقة قياس الموصولة ليست دقيقة مثل الطريقة الوزنية إلا أنها تعتبر الطريقة الأكثر ملاءمة وسرعة وانتشاراً لأنها تعتمد على قياس بسيط للتوصيل الكهربائي ودرجة الحرارة، والذي يمكن إجراؤه في ثوانٍ معدودة باستخدام جهاز منخفض التكلفة لأن التوصيل الكهربائي للماء مرتبط بشكل مباشر بتراكيز المواد المائية المذابة في الماء، وهي مفيدة بشكل خاص لأغراض مراقبة الجودة مثل التحكم في مياه الشرب أو تقدير العدد الإجمالي للأيونات في المحلول (Baird et al., 2017).

تعتمد قياسات الموصولة الكهربائية على درجة الحرارة، أي إذا ارتفعت درجة الحرارة، تزداد الموصولة أيضاً لأن الأيونات في المحلول تتحرك بشكل أسرع. للحصول على قياسات مستقلة عن درجة الحرارة، تم تقديم مفهوم درجة الحرارة المرجعية. يسمح ذلك بمقارنة نتائج الموصولة التي تم الحصول عليها عند درجات حرارة مختلفة. وبالتالي، يمكن لقياس الموصولة قياس الموصولة الفعلية ودرجة الحرارة ثم استخدام دالة ارتباط درجة الحرارة لتحويل القيمة المقاسة تلقائياً إلى درجة حرارة مرجعية 20 أو 25 درجة مئوية. إذا كانت هناك حاجة إلى دقة عالية جدًا، يمكن وضع العينة في منظر حرة، ثم يتم معادلة الجهاز عند نفس درجة الحرارة المستخدمة للقياس تمامًا. تحتوي معظم أجهزة قياس الموصولة الكهربائية الحديثة على مستشعر درجة حرارة مدمج يمكن استخدامه لتصحيح درجة الحرارة وكذلك لقياس درجة الحرارة. يمكن للأجهزة القىلس الأكبر تطوير قياس وعرض الموصولة والمقاومة والملوحة وكثافة الماء الصلبة الذائية الكلية والتراكيز. ومع ذلك، فإن جميعها تقيس الموصولة ودرجة الحرارة فقط ثم تحسب القيمة الفيزيائية للقياسات الأخرى وفقاً لحسابات معينة عند نفس درجة الحرارة (Visconti et al., 2016).

غالباً ما يتم وصف العلاقة بين المواد الصلبة الذائية والموصولة في الأدبيات من خلال المعادلة التالية:

$$(1) \quad TDS = f \times Kt$$

حيث f هو عامل التحويل و Kt هي الموصولة عند درجة حرارة محددة T (عادةً 25 درجة مئوية) يتراوح عامل التحويل بين 0.5 و 0.9 لمعظم أنواع المياه (Walton, 1989). تعتمد العلاقة بين المواد الصلبة الذائية والموصولة الكهربائية على نوع وطبيعة الكاتيونات والأيونات المذابة في الماء، كما إن العلاقة بينهما ليست خطية مباشرة حيث أن الحركة التوصيلية للأيونية متغيرة (Baird et al., 2017).

إن الارتباط بين المواد الصلبة الذائية والموصولة الكهربائية في المعادلة (1) هو ارتباط تقربي لأن الأنواع غير الأيونية لا تساهم في التوصيل الكهربائي والأنواع الأيونية الفردية لها أوزان مختلفة. يعتمد المضاعف الفعلي على نشاط الأيونات المذابة المحددة الموجودة والنشاط المتوسط لجميع الأيونات في العينة والتي تتأثر بدورها بدرجة حرارة العينة والكمية النسبية لكل أيون والتراكيز الكلية

5527	6490	6000	S12
------	------	------	-----

من خلال هذه البيانات يتضح أن قيم TDS تزداد تدريجياً مع زيادة EC، وهو ما يعكس الطبيعة الطردية المتوقعة للعلاقة بينهما.

العلاقة بين TDS و EC بالجهاز

يوضح هذا الجزء نتائج قياسات المواد الصلبة الذائية الكلية (TDS) باستخدام جهاز قياس الموصولة الكهربائية. اعتمد الجهاز على معامل التحويل الافتراضي المدمج في نظامه لاحتساب من قراءات EC. يبين الجدول (2) العلاقة بين قراءات TDS وقيمة المقاومة الموصولة الموزنية عند 24°C، لنفس العينات المستخدمة في القياسات الوزنية.

الجدول (2). العلاقة بين كمية الأملاح الذائية الكلية (TDS) المقاومة بالجهاز وقيمة الموصولة الكهربائية (EC) عند 24°C.

كمية الأملاح الذائية بالجهاز (ملي غرام/لتر)	الموصولة عند 24 درجة منوية (ميكروسيممنز/سم)	حدود التركيز (ملي غرام/لتر)	رقم العينة
117.5	165.5	100	S1
122.48	172.5	100	S2
115.23	162.3	100	S3
411.8	580	1000	S4
582.2	820	1000	S5
760.41	1071	1000	S6
1290.33	1593	3000	S7
1911.6	2360	3000	S8
2673	3300	3000	S9
3134.7	3870	6000	S10
4220.1	5210	6000	S11
5256.9	6490	6000	S12

تشير هذه النتائج إلى أن قيم TDS المحسوبة بواسطة الجهاز تزداد طردياً مع قيمة EC، وهو ما يتفق مع المبدأ الأساسي للجهاز في ربط الموصولة بتركيز الأملاح الذائية.

التحليل الإحصائي للعلاقة بين TDS و EC

لتقييم قوة العلاقة بين الموصولة الكهربائية (EC) والماء الصلبة الذائية الكلية (TDS)، جرى استخدام معامل ارتباط بيرسون (Pearson correlation coefficient). وقد صيغت الفرضيات الإحصائية على النحو التالي:

الفرضية الصفرية: (H_0) لا توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين (TDS و EC).

$$\text{معامل الارتباط} = 0$$

الفرضية البديلة: (H_1) توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين (TDS و EC).

$$\text{معامل الارتباط} \neq 0$$

الجدول (3). قيم معامل بيرسون للعلاقة بين TDS و EC (وزني)

القيمة	المؤشر
0.9997	بيرسون المحسوبة
0.576	بيرسون المحدولة
0.4237	الفرق

كميات أكبر من نفس الأملاح: 3.2 غرام CaCl_2 , 1.2 غرام KHCO_3 , 2.8 غرام NaHCO_3 , 2.3 غرام MgSO_4 إلى لتر واحد من الماء المقطر. ومن هنا الخلول المكرر جرى تحضير سلسلة من المحلول المخففة:

- محلول بتركيز 3000 ملغم/لتر، قياساته كمية الأملاح الذائية الكلية بالطريقتين.
- محلول آخر بتركيز 6000 ملغم/لتر، أجريت له نفس القياسات.

كان المدفوع من هذه المرحلة هو التتحقق من مدى ثبات أو تغير معامل التحويل (f) عند الانتقال من التراكيز المتوسطة إلى التراكيز العالية. وبحذر الإشارة إلى أن كليب تشغيل جهاز قياس الموصولة الكهربائية يورد قيمة واحدة لمعامل التحويل صالحه لمحال واسع من التراكيز (10000–10000 ملغم/لتر)، وهو مجال قد لا يعكس بدقة السلوك الحقيقي للعلاقة بين EC و TDS عند التراكيز المرتفعة.

كما جرى استخدام دالة معامل ارتباط بيرسون (Pearson correlation coefficient) في دراسة نطاق العلاقة الخطية بين الموصولة الكهربائية والأملاح الذائية الكلية لجميع القراءات المتحصل عليها. بناءً على ذلك، سيتم في القسم التالي عرض النتائج المتحصل عليها من جميع التحاليل والقياسات، متوجعاً بمناقشة مفصلة لتفصيل هذه النتائج في ضوء أهداف البحث.

النتائج والمناقشة:

يُعرض في هذا القسم تحليل النتائج المستخلصة من التجارب المعملية التي أجريت لقياس العلاقة بين الموصولة الكهربائية (EC) وكمية الأملاح الذائية الكلية (TDS) في المحلول المائية. تم تقسيم النتائج وفق المحاور التالية:

العلاقة بين TDS و EC بالطريقة الوزنية

يُعرض هنا الجزء نتائج قياسات المواد الصلبة الذائية الكلية (TDS) بالطريقة الوزنية ومقارنتها مع قيمة الموصولة الكهربائية (EC) المقاومة عند درجة حرارة 24°C. يوضح الجدول (1) هذه العلاقة عبر العينات المختلفة ضمن نطاقات تركيز محددة، مما يتبع تقدير التغيرات في قيمة TDS مع ازدياد EC.

الجدول (1). العلاقة بين كمية الأملاح الذائية الكلية (TDS) المقاومة بالطريقة الوزنية وقيمة الموصولة الكهربائية (EC) عند 24°C.

كمية الأملاح الذائية بالطريقة الوزنية (ملي غرام/لتر)	الموصولة عند 24 درجة منوية (ميكروسيممنز/سم)	حدود التركيز (ملي غرام/لتر)	رقم العينة
106	165.5	100	S1
108	172.5	100	S2
105	162.3	100	S3
410	580	1000	S4
580	820	1000	S5
756	1071	1000	S6
1290	1593	3000	S7
1930	2360	3000	S8
2710	3300	3000	S9
3291	3870	6000	S10
4390	5210	6000	S11

حساب معامل التحويل (f) ومناقشة قيمه

جرى حساب معاملات التحويل (f) من بيانات الطريقة الوزنية ومن قراءات الجهاز، وذلك وفق العلاقة:

$$(2) \quad f = TDS \left(\frac{mg}{l} \right) / EC \left(\frac{\mu S}{cm} \right)$$

وتم تدوين النتائج في الجدولين جدول (5) وجدول (6) كالتالي:

الجدول (5): قيم معامل التحويل (f) المحسوبة من العلاقة بين EC و TDS المقاسة بالطريقة الوزنية

معامل التحويل $f=ECTDS$	كمية الأملال الذائبة عند بالطريقة الوزنية (ملي غرام/لتر)	الموصولة عند 24 درجة مئوية (ميكروسينتر/سم)	رقم العينة
0.6405	106	165.5	S1
0.6261	108	172.5	S2
0.6469	105	162.3	S3
0.7069	410	580	S4
0.7073	580	820	S5
0.7059	756	1071	S6
0.8097	1290	1593	S7
0.8178	1930	2360	S8
0.8212	2710	3300	S9
0.8504	3291	3870	S10
0.8426	4390	5210	S11
0.8516	5527	6490	S12

الجدول (6): قيم معامل التحويل (f) المحسوبة من العلاقة بين الأملال الذائبة الكلية (TDS) وقيمة الموصولة الكهربائية (EC) المقاسة بالجهاز.

معامل التحويل $f=TDS/EC$	كمية الأملال الذائبة بالمجهاز (ملي غرام/لتر)	الموصولة عند 24 درجة مئوية (ميكروسينتر/سم)	رقم العينة
0.7100	117.5	165.5	S1
0.7100	122.48	172.5	S2
0.7100	115.23	162.3	S3
0.7100	411.8	580	S4
0.7100	582.2	820	S5
0.7100	760.41	1071	S6
0.8100	1290.33	1593	S7
0.8100	1911.6	2360	S8
0.8100	2673	3300	S9
0.8100	3134.7	3870	S10
0.8100	4220.1	5210	S11
0.8100	5256.9	6490	S12

تشير النتائج المبينة في الجدولين (5) و (6) إلى أن قيم معامل التحويل تراوحت بين 0.62 - 0.86 عند الحساب بالطريق الوزنية، وبين 0.71 - 0.81 عند الحساب باستخدام الجهاز.

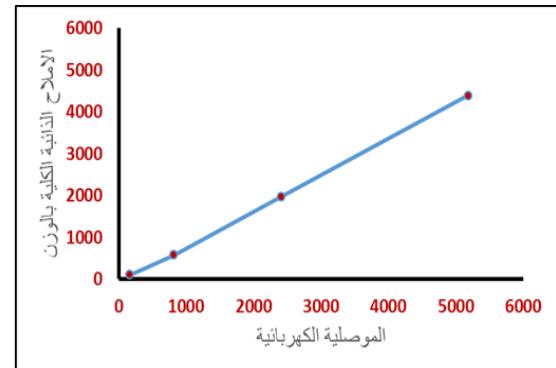
الجدول (4). قيم معامل بيرسون للعلاقة بين TDS و EC (جهاز)

المؤشر	القيمة
بيرسون المحسوبة	0.9998
بيرسون المحدولة	0.576
الفرق	0.4238

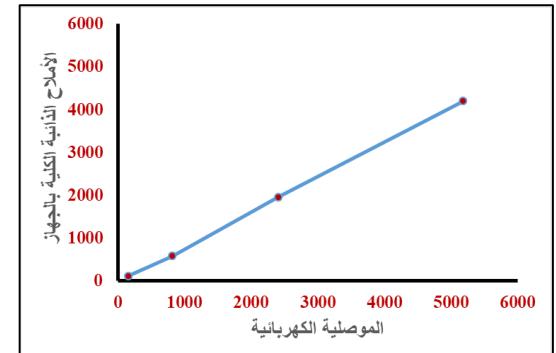
تشير هذه النتائج إلى أن قيم معامل بيرسون المحسوبة (0.9997 و 0.9998) قوية جداً من الواحد الصحيح، وأكبر بكثير من القيمة المحدولة (0.576). وعليه، يتم رفض الفرضية الصفرية (H₀) وقبول الفرضية البديلة (H₁), مما يدل على وجود ارتباط طردي قوي وذو دلالة إحصائية بين TDS و EC سواء قيس الأخير بالطريق الوزنية أو بواسطة الجهاز.

التحليل البياني (TDS مقابل EC)

لإيضاح العلاقة بين الموصولة الكهربائية (EC) والماد الصلب الذائبة الكلية (TDS)، تم تعميل النتائج بيانياً حيث تشير النتائج البيانية إلى أن العلاقة في كلا الحالتين خطية تقريرياً، حيث تزداد قيم TDS تدريجياً مع ارتفاع EC . ويؤكد ذلك النتائج الإحصائية السابقة (معامل بيرسون) التي أظهرت ارتباطاً قوياً وذو دلالة إحصائية بين المتغيرين. هذا الاتساق يعكس الدقة العالية للطرق الوزنية في تحديد TDS ويفك الفرضية الأساسية بأن الموصولة الكهربائية مؤشر موثوق لتركيز الأملال ضمن النطاق التجاري (Clesceri et al, 1998).



شكل (1). العلاقة البيانية بين كمية الأملال الذائبة الكلية المقاسة بالطرق الوزنية وقيمة الموصولة الكهربائية.



شكل (2). العلاقة البيانية بين كمية الأملال الذائبة الكلية المقاسة بالجهاز وقيمة الموصولة الكهربائية.

- Balasubramanian, S., Pugalenth, V., Anuradha, K., & Chakradhar, S. (1999). Characterization of tannery effluents and the correlation between TDS, BOD and COD. *J Environmental Sciences Health, A.* 34(2), 461–478.
<https://doi.org/10.1080/10934529909376847>
- Brika, B., Dévora-Isiordia, G.E., & Alturki, E. (2022). Chemical composition of selected brands of bottled water commercialized in Tripoli, Libya. *Environmental Sciences Proceedings*, 21 (1), 48.
- Carlson, G. (2005). Total dissolved solids from conductivity. *Technical Note 14. In-Situ Inc.; 2005. Available from: https://in-situ.com*
- Characteristics of Natural Water. 3rd ed. U.S. Geological Survey, Alexandria, VA. 263 pp.
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., & Eaton, A.D. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Maryland: United Book Press.
- Hem, J.D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical
- Hubert, E., & Wolkersdorfer, C. (2015). Establishing a conversion factor between electrical conductivity and total dissolved solids in South African mine waters. *Water SA.* 41(4): 490–500;
<https://doi.org/10.4314/wsa.v41i4.08>
- McNeil, V.H., & Cox, M.E. (2000). Relationship between conductivity and analyzed composition in a large set of natural surface-water samples, Queensland, Australia. *Environ Geol.* 39(12): 1325–1333.
<https://doi.org/10.1007/s002549900033>
- Pawlowski, R. (2008). Calculating the conductivity of natural waters. *Limnol Oceanogr Methods.* 6(9): 489–501. <https://doi.org/10.4319/lom.2008.6.4.489>
- Visconti, F., De Paz, J.M., Zapata, R.D., Sánchez, J. (2004). Development of an equation to relate electrical conductivity to soil and water salinity in a Mediterranean agricultural environment. *Australian Journal of Soil Research.* 42(4): 381–388.
<https://doi.org/10.1071/SR03155>
- Visconti, F., De Paz, JM., Rubio, JL. (2010). An empirical equation to calculate soil solution electrical conductivity at 25 °C from major ion concentrations. *European Journal of Soil Science.* 61(6): 980–993.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01284.x>
- Walton, N.R.G. (1989). Electrical conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship? *Desalination.* 72(3): 275–292.
[https://doi.org/10.1016/0011-9164\(89\)80012-8](https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)80012-8)
- World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking Water Quality, 4th ed.; World Health Organization; Geneva, Switzerland, 2006; Available online; http://www.who.int/water_sanitation_health

هذه القيم تتوافق بشكل عام مع النطاقات الموثقة في كثيارات التشغيل (1.1–0.54). ومع ذلك، لوحظ أن التراكيز العالية ($\leq 1000 \text{ ملغم/لتر}$) أظهرت تبايناً أكبر عن القيم المرجعية، مقارنة بالتراكيز المنخفضة التي كانت أكثر فرقاً ودقة. ويعزى ذلك إلى أن العديد من أجهزة قياس الموصولة الكهربائية تطبق افتراضياً قيمة ثابتة لمعامل التحويل مقدارها نحو (0.71) (Carlson, 2005). بعض النظر عن نوع الأملاح أو مدى التراكيز، الأمر الذي قد يحدّ من دقة النتائج عند المستويات المرتفعة.

مقارنة بين نتائج الطريقة الوزنية ونتائج الجهاز

أظهرت المقارنة بين نتائج الطريقة الوزنية ونتائج الجهاز وجود تقارب كبير بين الطريقتين في التراكيز المنخفضة ($\geq 500 \text{ ملغم/لتر}$ ، حيث كانت قيم TDS متطابقة تقريباً. أما في التراكيز العالية ($\leq 1000 \text{ ملغم/لتر}$) فقد ظهرت فروقات نسبية واضحة، إذ بدأ النتائج الوزنية أكثر دقة مقارنة بالنتائج المحسوبة بواسطة الجهاز. يمكن تفسير هذا الاختلاف بأن أحجم قياس الموصولة الكهربائية تستعمل معاملات تحويل ثابتة أو مبرمجة مسبقاً، بينما تعتمد الطريقة الوزنية على قياس مباشر للمواد الصلبة الذائبة الفعلية. وعلىه، فإن الطريقة الوزنية تقل المراجع الأدق خصوصاً عند التعامل مع تراكيز مرتفعة من الأملاح الذائية، في حين أن استخدام الجهاز يكون مناسباً أكثر في التراكيز المنخفضة والمتوسطة لكونه أسرع ويعطي نتائج قريبة جداً من نتائج الطرق الوزنية.

الخلاصة

أظهرت النتائج أن العلاقة بين الموصولة الكهربائية (EC) والمواد الصلبة الذائية الكلية (TDS) علاقة طردية خطية قوية، وهو ما أكدته كل من التحليل الوزني وقياسات الجهاز، مدعوماً بقيم معاملات ارتباط بيرسون المرتفعة (≈ 0.999). كما تبين أن معاملات التحويل (f) المحسوبة تقع عموماً ضمن النطاقات المرجعية المنشورة وهي (1.1–0.54). إلا أن الاختلاف يبرز عند التراكيز العالية ($\leq 500 \text{ ملغم/لتر}$ ، حيث أظهرت الطريقة الوزنية دقة أكبر مقارنة بالجهاز، بينما كان الأداء متقارباً في التراكيز المنخفضة والمتوسطة.

بناءً على ذلك، يوصى بما يلي:

- الاعتماد على الطريقة الوزنية كمراجع أساسى لحساب (TDS) عند التراكيز العالية.
- استخدام الجهاز لقياس (TDS) في التراكيز المنخفضة والمتوسطة، حيث تكون نتائجه مقبولة وذات كفاءة.
- إجراء دراسات مستقبلية لتطوير معاملات تحويل أكثر دقة تغطي مختلف مجالات التراكيز، بما في ذلك المياه الطبيعية ومياه الشرب والمياه الجوفية.
- توسيع نطاق البحث ليشمل أنواعاً مختلفة من الأملاح، إذ قد تختلف معاملات

المراجع:

- American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th ed.; APHA: 2017 American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Washington, DC, USA, 2017; Available online: <http://www.aphabookstore.org>
- Baird, R.B., Eaton, A.D., & Rice, E.W. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 rd ed. Washington, DC: American Public Health Association; 2017.

الملاحق

الجدول ب. ملخص دمج للجدولين (2 و 6) يوضح قيم الموصولة الكهربائية والأملال الذائية الكلية بالجهاز وفقاً لتركيز معينة.

معامل التحويل	كمية الأملال الذائية بالجهاز (ملي غرام/لتر)	الموصولة عند 24 درجة منوية (ميكروسيمنز/سم)	حدود التركيز (ملي غرام/لتر)	رقم العينة
0.71	118.4	166.76	0–400	M1
0.71	584.8	823.66	400–1000	M2
0.81	1958.31	2417.66	1000–3000	M3
0.81	4203.9	5190	3000–6000	M4

لتغادي التكرار وتقدم صورة مركبة للنتائج، تم إعداد جدولين هما (أ و ب) ملخصين يدمجان البيانات الواردة في الجداول الأصلية، وذلك من خلال حساب المتوسط الحسابي لكل ثلاث قيم متتالية ومتقاربة في قيمتها، حيث وضعت في مجموعات وأعطيت الرموز (M1, M2, M3, M4)، ومن تم حساب معامل التحويل لكل مجموعة على حده، هذان الجدولان يعكسان أوجه التشابه والاختلاف في قيم معامل التحويل ويقدمان مقارنة أكثر وضوحاً بين التراكيز المختلفة.

الجدول أ. ملخص دمج للجدولين (1 و 5) يوضح العلاقة بين الموصولة الكهربائية والأملال الذائية الكلية بالطريقة الوزنية وفقاً لتركيز معينة.

معامل التحويل	كمية الأملال الذائية بالطريقة الوزنية (ملي غرام/لتر)	الموصولة عند 24 درجة منوية (ميكروسيمنز/سم)	حدود التركيز (ملي غرام/لتر)	رقم العينة
0.64	106.33	166.76	0–400	M1
0.71	582	823.66	400–1000	M2
0.81	1976.66	2417.66	1000–3000	M3
0.85	4402.66	5190	3000–6000	M4