

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

عبد الله أبوظهير¹ 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- owisabdo@yahoo.com
2- bashirforlibya@gmail.com

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

الملخص

تحتوي المياه على مواد مذابة يشار إليها عادة بالمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) أو الأملاح الذائبة الكلية، وتختلف كميتها باختلاف مصدر المياه وموقعها. يمكن تقدير المواد الصلبة الذائبة الكلية (ملغم/لتر) من قياسات التوصيل الكهربائي (EC) عند 25 °م (مللي سيمنز/سم) من خلال تطبيق معامل التحويل (f)، والذي يتراوح عادةً بين (0.54) و (1.1) وفق ما تذكره كتيبات التشغيل المصاحبة للأجهزة. إلا أنه قد لوحظ في العديد من الدراسات المنشورة محلياً عدم الالتزام بما تذكره كتيبات التشغيل وتسجيل قراءات للموصلية الكهربائية والأملاح الذائبة الكلية يكون معامل التحويل بينهما (0.45) مثلاً وهذا غير مقبول من الناحية العلمية. تهدف هذه الدراسة إلى قياس كمية المواد الصلبة الذائبة الكلية باستخدام الطريقتين الوزنية والكهربائية لعدد (12) عينة من المحاليل المائية المحضرة في المختبر بتركيزات مختلفة، ومن ثم حساب معامل التحويل للتحقق من مدى توافقه مع القيم المذكورة في كتيبات التشغيل. ولتحقيق ذلك، تم تحضير محاليل لمزيج من الأملاح بتركيزات (100، 1000، 10000 ملغم/لتر)، ثم جرى تخفيفها بنسب محددة، وقيست الموصلية الكهربائية لها بواسطة جهاز القياس، بينما حددت الأملاح الذائبة الكلية بالطريقة الوزنية. أظهرت النتائج أن معامل التحويل المحسوب يتطابق مع القيم المذكورة في كتيبات التشغيل عند التراكيز المنخفضة، بينما يختلف عنها عند التراكيز العالية. وبناءً عليه، يوصي الباحثان باستخدام الطريقة الوزنية لتحديد كمية الأملاح الذائبة في عدد من العينات ذات التراكيز المرتفعة (≤ 500 ملغم/لتر)، ومن ثم حساب معامل التحويل وتوظيفه لبقية العينات المشابهة.

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 note 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 الذائبة للعينات الأولية وزنيًا وإرجاع هذه النتائج مقابل التوصيل الكهربائي المحدد للعينات من شأنه تحديد الارتباط. بناءً على ما سبق، تستند قياسات المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) عادةً إلى قياسات الموصلية الكهربائية (EC)، باستخدام عوامل التحويل (f) المستمدة من اللوائح أو الإرشادات في كتيب التشغيل. تخفف هذه الورقة إلى قياس كمية الأملاح الذائبة الكلية بالطرق الوزنية ومن خلال قياس الموصلية الكهربائية لعدد من المحاليل المائية المخضرة في المعمل بتركيز مختلفة ومن ثم 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 بتركيز 100 ملغم/لتر من الأملاح الذائبة الكلية (TDS). ولتحقيق هذا التركيز، وُزنت وأضيفت بدقة الكميات الآتية من الأملاح الكيميائية: 0.032 غ من كلوريد الكالسيوم (CaCl_2)، 0.012 غ من بيكربونات البوتاسيوم (KHCO_3)، 0.028 غ من بيكربونات الصوديوم (NaHCO_3)، و 0.023 غ من كبريتات المغنيسيوم (MgSO_4). ثم مزجت هذه الكميات في دورق زجاجي معايير بسعة 1 لتر باستخدام الماء المقطر، حيث أن اختيار الأملاح بالنسب المذكورة يهدف إلى محاكاة التركيب الأيوني النموذجي الشائع في مصادر مياه الشرب (WHO, 2017).

قياس الأملاح الذائبة الكلية بالطريقة الوزنية

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

قياس الموصلية الكهربائية وحساب الأملاح الذائبة للجهاز

في الخطوة الثانية، قيسَت الموصلية الكهربائية (EC) للمحلول باستخدام جهاز قياس موصلية إلكتروني مزود بخاصية تصحيح درجة الحرارة نوع (HACH HQ 40 D). واستنادًا إلى معامل التحويل (f) الموصى به من قبل الشركة المصنعة والمبين في كتيب الإرشادات، جرى حساب قيمة الأملاح الذائبة الكلية (TDS) المقابلة لقراءات الموصلية.

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

بعد الانتهاء من المرحلة الأولى، جرى تحضير محلول بتركيز 1000 ملغم/لتر من TDS باستخدام نفس الأملاح المذكورة سابقًا ولكن بكميات مضاعفة بما يتناسب مع التركيز المستهدف. بلغت كميات الأملاح: 0.32 غرام CaCl_2 ، 0.12 غرام KHCO_3 ، و 0.28 غرام NaHCO_3 ، و 0.23 غرام MgSO_4 ، ثم خلطت في لتر واحد من الماء المقطر. بعد التحضير، قيسَت كمية الأملاح الذائبة الكلية باستخدام الطريقتين الوزنية وجهاز قياس الموصلية، وقورنت النتائج المتحصل عليها بالطريقتين (Baird, 2017). وفي المرحلة التالية، تم تحضير محلول عالي التركيز بتركيز 10000 ملغم/لتر، وذلك بإضافة

تُعد المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) من الخصائص المهمة في توصيف المياه الطبيعية، وتعد بالتأكيد أحد أهم المعايير لجودة مياه الشرب خاصة بالنسبة للمستهلكين (Brika et al., 2022)، وتُعرَّف بأنها التركيز الكلي للمواد العضوية وغير العضوية في المحلول المائي، والتي قد تكون في شكل أيوني (McNeil et al., 2000). تشكل أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبيكربونات والكلوريدات والكبريتات غالبية المكونات غير العضوية للمواد الصلبة الذائبة (Hubert et al., 2015)، بينما تقدر المكونات العضوية للمواد الصلبة الذائبة الكلية من خلال الاحتياج الأكسجيني الحيوي (BOD) واحتياج الأكسجين الكيميائي (COD) (Balasubramanian et al., 1999). هناك طريقتان رئيسيتان لقياس إجمالي المواد الصلبة الذائبة: الطريقة الوزنية، وطريقة قياس الموصلية. الطريقة الأولى هي الأكثر دقة، ولكنها تستغرق وقتًا طويلًا لأنه يجب تبخير كل الماء، حتى الجفاف، عادة عند (180) درجة مئوية في ظل ظروف معملية صارمة ثم يتم قياس كتلة المتبقيات (APHA). (2017) الطريقة الثانية وهي طريقة قياس الموصلية ليست دقيقة مثل الطريقة الوزنية إلا أنها تعتبر الطريقة الأكثر ملاءمة وسرعة وانتشارًا 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 بتركيز المواد المتأينة 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 الموصلية الكهربائية على درجة الحرارة، أي إذا ارتفعت درجة الحرارة، تزداد الموصلية أيضًا لأن الأيونات في المحلول تتحرك بشكل أسرع. للحصول على قياسات مستقلة عن درجة الحرارة، تم تقديم مفهوم درجة الحرارة المرجعية. يسمح ذلك بمقارنة نتائج الموصلية التي تم الحصول عليها عند درجات حرارة مختلفة. وبالتالي، يمكن لمقياس الموصلية قياس الموصلية الفعلية ودرجة الحرارة ثم استخدام دالة ارتباط درجة الحرارة لتحويل القيمة المقاسة تلقائيًا إلى درجة حرارة مرجعية 20 أو 25 درجة مئوية. إذا كانت هناك حاجة إلى دقة عالية جدًا، يمكن وضع العينة في منظم حرارة، ثم يتم معايرة الجهاز عند نفس درجة الحرارة المستخدمة للقياس تمامًا. تحتوي معظم أجهزة قياس الموصلية الكهربائية الحديثة على مستشعر درجة حرارة مدمج يمكن استخدامه لتصحيح درجة الحرارة وكذلك لقياس درجة الحرارة. يمكن لأجهزة القياس الأكثر تطورًا قياس وعرض الموصلية والمقاومة والملوحة وكمية المواد الصلبة الذائبة الكلية والتركيز. ومع ذلك، فإن جميعها تقيس الموصلية ودرجة الحرارة فقط ثم تحسب القيمة الفيزيائية للقياسات الأخرى وفقًا لحسابات معينة عند نفس درجة الحرارة (Visconti et al, 2016).

غالبًا ما يتم وصف العلاقة بين المواد الصلبة الذائبة والموصلية في الأدبيات من خلال المعادلة التالية:

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

حيث f هو عامل التحويل و Kt هي الموصلية عند درجة حرارة محددة T (عادة 25 درجة مئوية) يتراوح عامل التحويل بين 0.5 و 0.9 لمعظم أنواع المياه (Walton, 1989).

تعتمد العلاقة بين المواد الصلبة الذائبة والموصلية الكهربائية على نوع وطبيعة الكاتيونات والأيونات المذابة في الماء، كما إن العلاقة بينهما ليست خطية مباشرة حيث أن الحركة التوصيلية للأنواع الأيونية متغيرة (Baird et al., 2017).

إن الارتباط بين المواد الصلبة الذائبة والموصلية الكهربائية في المعادلة (1) هو ارتباط تقريبي 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 والتركيز الكلي

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

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

العلاقة بين EC و TDS بالجهاز

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

الجدول (2). العلاقة بين كمية الأملاح الذائبة الكلية (TDS) المقاسة بالجهاز وقيم الموصلية الكهربائية (EC) عند 24°C

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

تشير هذه النتائج إلى أن قيم TDS المحسوبة بواسطة الجهاز تزداد طرديًا مع قيم EC، وهو ما يتفق مع المبدأ الأساسي للجهاز في ربط الموصلية بتركيز الأملاح الذائبة.

التحليل الإحصائي للعلاقة بين EC و TDS

لتقييم قوة العلاقة بين الموصلية الكهربائية (EC) والمواد الصلبة الذائبة 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 (EC و TDS):
معامل الارتباط = 0

الفرضية البديلة: (H_1) توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين (EC و TDS):
معامل الارتباط $\neq 0$

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

| المؤشر | القيمة |
|-----------------|--------|
| بيرسون المحسوبة | 0.9997 |
| بيرسون الجدولة | 0.576 |
| الفرق | 0.4237 |

كميات أكبر من نفس الأملاح: 3.2 غرام CaCl_2 ، 1.2 غرام KHCO_3 ، 2.8 غرام NaHCO_3 ، و 2.3 غرام MgSO_4 إلى لتر واحد من الماء المقطر. ومن هذا المحلول المركز جرى تحضير سلسلة من المحاليل المخففة:

- محلول بتركيز 3000 ملغم/لتر، قيست فيه كمية الأملاح الذائبة الكلية بالطريقتين.
- محلول آخر بتركيز 6000 ملغم/لتر، أجريت له نفس القياسات.

كان الهدف من هذه المرحلة هو التحقق من مدى ثبات أو تغير معامل التحويل (f) عند الانتقال من التراكيز المتوسطة إلى التراكيز العالية. وتجدر الإشارة إلى أن كتيب تشغيل جهاز قياس الموصلية الكهربائية يورد قيمة واحدة لمعامل التحويل صالحة لمجال واسع من التراكيز (1000–10000 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) المثبتة ضمن خيارات (Microsoft Excel) في دراسة نطاق العلاقة الخطية بين الموصلية الكهربائية والأملاح الذائبة الكلية لجميع القراءات المتحصل عليها. بناءً على ذلك، سيتم في القسم التالي عرض النتائج المتحصل عليها من جميع التحاليل والقياسات، متبوعةً بمناقشة مفصلة لتفسير هذه النتائج في ضوء أهداف البحث.

النتائج والمناقشة:

يُعرض في هذا القسم تحليل النتائج المستخلصة من التجارب العملية التي أُجريت لقياس العلاقة بين الموصلية الكهربائية (EC) وكمية الأملاح الذائبة الكلية (TDS) في المحاليل المائية. تم تقسيم النتائج وفق المحاور التالية:

العلاقة بين EC و TDS بالطريقة الوزنية

يعرض هذا الجزء نتائج قياسات المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) بالطريقة الوزنية ومقارنتها مع قيم الموصلية الكهربائية (EC) المقاسة عند درجة حرارة 24°C. يوضح الجدول (1) هذه العلاقة عبر العينات المختلفة ضمن نطاقات تركيز محددة، مما يتيح تقييم التغيرات في قيم TDS مع ازدياد EC.

الجدول (1). العلاقة بين كمية الأملاح الذائبة الكلية (TDS) المقاسة بالطريقة الوزنية وقيم الموصلية الكهربائية (EC) عند 24°C.

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

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) و جدول (6) كالتالي:

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

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

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

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

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

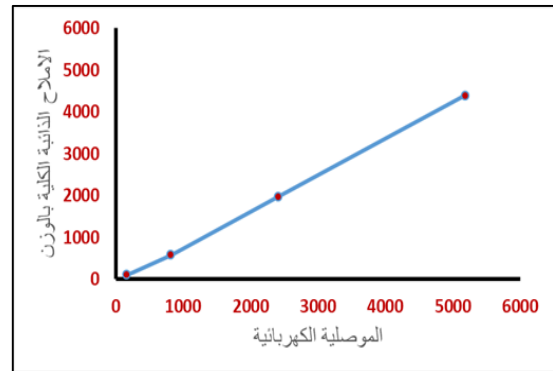
الجدول (4): قيم معامل بيرسون للعلاقة بين EC و TDS (جهاز)

| المؤشر | القيمة |
|-----------------|--------|
| بيرسون المحسوبة | 0.9998 |
| بيرسون المجدولة | 0.576 |
| الفرق | 0.4238 |

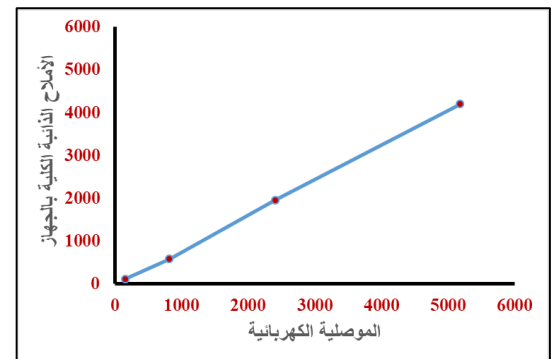
تشير هذه النتائج إلى أن قيم معامل بيرسون المحسوبة (0.9998 و 0.9997) قريبة جدًا من الواحد الصحيح، وأكبر بكثير من القيمة المجدولة (0.576). وعليه، يتم رفض الفرضية الصفرية (H_0) وقبول الفرضية البديلة (H_1)، مما يدل على وجود ارتباط طردي قوي وذو دلالة إحصائية بين EC و TDS سواء قيس الأخير بالطريقة الوزنية أو بواسطة الجهاز.

التحليل البياني (EC مقابل TDS)

لإيضاح العلاقة بين الموصلية الكهربائية (EC) والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، تم تمثيل النتائج بيانيًا حيث تشير النتائج البيانية إلى أن العلاقة في كلا الحالتين خطية تقريبًا، حيث تزداد قيم TDS تدريجيًا مع ارتفاع EC. ويؤكد ذلك النتائج الإحصائية السابقة (معامل بيرسون) التي أظهرت ارتباطًا قويًا ودالًا إحصائيًا بين المتغيرين. هذا الاتساق يعكس الدقة العالية للطرق الوزنية في تحديد TDS ويؤكد الفرضية الأساسية بأن الموصلية الكهربائية مؤشر موثوق لتركيز الأملاح ضمن النطاق التجريبي (Clesceri et al, 1998).



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



شكل (2). العلاقة البيانية بين كمية الأملاح الذائبة الكلية المقاسة بالجهاز وقيمة الموصلية 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>
- Pawlowicz, R. (2008). Calculating the conductivity of natural waters. *Limnol Oceanogr Methods*. 6(9): 489–501. <https://doi.org/10.4319/lom.2008.6.489>
- 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, J.M., Rubio, J.L. (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 كتيبات التشغيل (0.54–1.1). ومع ذلك، لوحظ أن التراكيز العالية (≤ 1000 ملغم/لتر) أظهرت تبايناً أكبر عن القيم المرجعية، مقارنة بالتراكيز المنخفضة التي كانت أكثر قرباً ودقة. ويُعزى ذلك إلى أن العديد من أجهزة قياس الموصلية الكهربائية تُطبق افتراضياً قيمة ثابتة لمعامل التحويل مقدارها نحو (0.71) (Carlson, 2005). بغض النظر عن نوع الأملاح أو مدى التركيز، الأمر الذي قد يحد 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 (≥ 500 ملغم/لتر)، حيث كانت قيم TDS متطابقة تقريباً. أما في التراكيز العالية (≤ 1000 ملغم/لتر) فقد ظهرت فروقات نسبية واضحة، إذ بدت النتائج الوزنية أكثر دقة مقارنة بالنتائج المحسوبة بواسطة الجهاز. ويمكن تفسير هذا الاختلاف بأن أجهزة قياس الموصلية الكهربائية تستخدم معاملات تحويل ثابتة أو مبرمجة مسبقاً، بينما تعتمد الطريقة الوزنية على قياس مباشر للمواد الصلبة الذائبة الفعلية. وعليه، فإن الطريقة الوزنية تظل المرجع الأدق خصوصاً عند التعامل مع تراكيز مرتفعة من الأملاح الذائبة، 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 الموصلية الكهربائية (EC) والمواد الصلبة الذائبة 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 عمومًا ضمن النطاقات المرجعية المنشورة وهي (0.54–1.1). إلا أن الاختلاف برز عند التراكيز العالية (≤ 500 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 كمرجع أساسي 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 التركيز، 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 الموصلية الكهربائية والأملاح الذائبة الكلية بالجهاز وفقاً لتراكيز معينة.

| رقم العينة | حدود التركيز (ملي غرام/لتر) | الموصلية عند 24 درجة مئوية (ميكروسيمنز/سم) | كمية الأملاح الذائبة بالجهاز (ملي غرام/لتر) | معامل التحويل |
|------------|-----------------------------|--|---|---------------|
| M1 | 0-400 | 166.76 | 118.4 | 0.71 |
| M2 | 400-1000 | 823.66 | 584.8 | 0.71 |
| M3 | 1000-3000 | 2417.66 | 1958.31 | 0.81 |
| M4 | 3000-6000 | 5190 | 4203.9 | 0.81 |

لتفادي التكرار وتقديم صورة مركزة 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 حدة، 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 الموصلية الكهربائية والأملاح الذائبة الكلية بالطريقة الوزنية وفقاً لتراكيز معينة.

| رقم العينة | حدود التركيز (ملي غرام/لتر) | الموصلية عند 24 درجة مئوية (ميكروسيمنز/سم) | كمية الأملاح الذائبة بالطريقة الوزنية (ملي غرام/لتر) | معامل التحويل |
|------------|-----------------------------|--|--|---------------|
| M1 | 0-400 | 166.76 | 106.33 | 0.64 |
| M2 | 400-1000 | 823.66 | 582 | 0.71 |
| M3 | 1000-3000 | 2417.66 | 1976.66 | 0.81 |
| M4 | 3000-6000 | 5190 | 4402.66 | 0.85 |