استنباط نماذج رياضية لتقدير ملوحة مستخلص العجينة المشبعة من مستخلصات التربة المائية (1:1 ،1:2.5، 1:5 و1:10) لبعض الترب الليبية

د. جمال محمد فرنانة[1]
كلية الزراعة، جامعة طرابلس[1]
j.fernana@uot.edu.ly
orcid.org/0009-0001-4345-6695

د. عبدالحكيم محمد المبروك كشيم[2]
كلية الزراعة، جامعة طرابلس[2]
a.ksheem@uot.edu.ly
orcid.org/0000-0002-3486-4064

المستخلص:

ملوحة التربة من أهم العوامل التي تؤثر على انتاجية المحاصيل الزراعية. ويتم تقديرها بقياس درجة التوصيل الكهربي من العجينة المشبعة (ECe)، وهي الطريقة المعتمدة كمعيار قياسي دولي. الا انها تتطلب جهد ووقت. لذا تستخدم قيم التوصيل الكهربي للمستخلصات المائية (EC) بشكل شائع كبديل لتقييم ملوحة التربة، نظرًا لسهولة هذه الطريقة، وهذا يتطلب تحويل قيم الملوحة من المستخلصات المائية (EC) الى مستخلص العجينة المشبعة (ECe). لذا هدفت هذه الدراسة لربط العلاقة بين ECe و قيم EC المقدرة من المستخلصات المائية 1:1، 1:2.5، 1:5، 1:10 لعينات تربة جمعت من ثمان مناطق مختلفة من غرب ليبيا قوامها بين الطمي رملي إلى الطمي. أظهرت النتائج وجود علاقة خطية قوية (R^2 =0.94-.97) بين قيم ECe ، وقيم $EC_{1:2.5}$، $EC_{1:1}$ ، $EC_{1:10}$، $EC_{1:5}$. كما سجلت نفس العلاقة القوية (R^2=0.99) لتركيز ايوني الصوديوم والكلور المقدر في مستخلص العجينة المشبعة والمستخلصات المائية. كما بينت نتائج التحقق من صحة النماذج المشتقة في هذه الدراسة على أن قيم التوصيل الكهربي لمستخلص EC1:1 هو الافضل لتوقع قيم ECe، حيث حقق أقل قيم جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE)، ثم يليه المستخلصات EC1:2.5 , EC1:5 على التوالي.

الكلمات الدالة: ملوحة التربة، التوصيل الكهربي، مستخلص العجينة المشبعة، المستخلصات المائية.

Abstract

Soil salinity is one of the most important factors affecting agricultural productivity. Electrical conductivity of the saturated paste extract (ECe) is considered as the accepted internationally standard method. This method is labor-intensive and time-consuming. Thus, reliable monitoring of soil salinity based on a less laborious method than the soil saturated paste (SP) extract methodology is required. The electrical conductivity (EC) of soil-water extracts is commonly used as an alternative method to measure EC. However, this approach requires to convert into equivalent of saturated paste extract salinity (ECe) values. Hence, this study aimed to establish relationships between ECe and EC values measured in soil-water extracts at ratios of 1:1, 1:2.5, 1:5, and 1:10. Soil samples were collected from eight locations in western Libya, representing a range of soil textures from sandy loam to silty clay loam. The results revealed strong linear relationships between ECe and the EC values of the different soil-water extracts, with coefficients of determination (R^2) ranging from 0.94 to 0.97. Similarly, highly significant relationships ($R^2 = 0.99$) were observed between the concentrations of sodium and chloride ions measured in the saturated paste extract and those measured in the soil-water extracts. Validation of the developed models demonstrated that the electrical conductivity of the 1:1 soil-water extract (EC1:1) provided the most accurate prediction of ECe values, yielding the lowest root mean square error (RMSE). This was followed by the 1:2.5 and 1:5 extracts, respectively.

Keywords: Soil salinity, electrical conductivity, saturated paste extract, soil-water extracts

المقدمة

تعتبر الملوحة من أهم المعايير التي تؤخذ بعين الاعتبار لتحديد مدى ملائمة الترب لنمو المحاصيل الزراعية وانتاجيتها (Demo et al., 2025). وتعد مشكلة الملوحة من أكثر المشاكل الزراعية انتشارا في العالم وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة (Fadl et al., 2023). فوفقاً للتقارير الصادرة من منظمة

الأغذية والزراعة (FAO, 2021a) أن المساحة العالمية للتربة المتأثرة بالأملاح تقدر بحوالي 424 مليون هكتار من التربة السطحية (0-30 سم)، وحوالي 833 مليون هكتار من التربة التحت سطحية (30-100 سم). ولتفادي هذه المشكلة أو الحد من خطورتها تدعوا الحاجة لتتبع التغير في تركيز الاملاح في الاراضي الزراعية من خلال اجراء التحاليل الدورية لتقدير ملوحة التربة.

يعتمد تقييم ملوحة التربة وتقدير تركيز الأيونات بمحلولها على قياس درجة التوصيل الكهربي (EC) (Aboukila & Norton, 2017)، ومنها تم اعتماد مستخلص عجينة التربة المشبعة كمعيار قياسي دولي لتقدير ملوحة التربة وذلك بقياس درجة التوصيل الكهربي التشبعي (ECe) (Rhoades et al., 1999)، لكونه المؤشر الأكثر دقة وملاءمة لتقييم استجابة المحاصيل للملوحة ويعكس الظروف الحقلية الفعلية ومحتوى الرطوبة الذي تتعامل معها جذور النباتات. الا ان هذه الطريقة تواجه تحديات عملية، فهي صعبة التطبيق ومكلفة وتستهلك وقتاً طويلاً خاصة عند أخذ عينات متكررة لغرض تتبع الملوحة خلال موسم النمو أو عند متابعتها في مناطق واسعة ومتعددة من الحقل، كما انها تتطلب خبرة فنية عالية لضبط نسبة التشبع بدقة (Kargas et al., 2022b).

وكبديل عن ذلك، أشارت عدة دراسات إلى امكانية قياس درجة التوصيل الكهربائي للتربة (EC) باستخدام مستخلصات مائية مختلفة (تربة : ماء) بنسب ثابتة ومحددة، مثل مستخلصات 1:1، 1:2، 1:2.5، 1:5 والتي يمكن تطبيقها بسهولة في المعامل والمختبرات الحقلية (He et al., 2013; Hogg & Henry, 1984; Khorsandi & Yazdi, 2011; Rukadi et al., 2025; USDA, 1954). فعلى سبيل المثال، في دول كأستراليا والصين وآسيا الوسطى يستخدم مستخلص التربة 1:5 ، بينما تعتمد الولايات المتحدة وكندا على مستخلص التربة 1:1 لتقدير ملوحة التربة (He et al., 2013; Shirokova et al., 2000; Wang et al., 2011).

فبالرغم من مزايا استخدام المستخلصات المائية في كونها تتطلب جهدًا أقل، وسهلة التطبيق، الا أن فائدتها تبرز عندما يكون الهدف هو تقييم التغيرات النسبية بدلًا عن المحتوى المطلق للمواد المذابة وذلك لأنها أقل ارتباطًا بظروف التربة الطبيعية (McKENZIE et al., 1983; Rhoades, 1996) ، حيث تكون قيم

التوصيل الكهربي وتركيز الأيونات لمستخلصات العجينة المشبعة أعلى منها في مستخلصات التربة المائية المختلفة نتيجةً لتأثير التخفيف (Sonmez et al., 2008; Spiteri & Sacco, 2024). أما أكثر عيوب استخدام مستخلصات التربة المائية هو تأثير حجم الماء الزائد على ذوبانية الأملاح شحيحة الذوبان، مثل الجبس (كبريتات الكالسيوم) أو الكلس (كربونات الكالسيوم) (Rhoades et al., 1999). أي انه في حالة التربة الجبسية، يؤدي التخفيف إلى خفض تركيز معظم الأيونات، بينما تظل أيونات الكالسيوم (Ca^{+2}) والكبريتات (SO_4^{-2}) مستقرة نسبياً أو تزداد ذوبانيتها نتيجة لزيادة المذيب. وهذا يعني أن التخفيف في التربة التي تحتوي على الجبس أو الكلس يؤدي إلى تغيرات جوهرية في تركيز الأيونات الكلي ونسبها مقارنة بالتربة العادية، مما يعقد عملية التحويل المباشر.

نظراً لسهولة تطبيق واستخدام كلا من مستخلص التربة1:1 و 1:5 في الأبحاث والتحاليل الروتينية ، فقد تم اشتقاق وتطُوير العديد من العلاقات النظرية لتحويل نتائج هذه الطرق إلى مكافئات استخلاص العجينة المشبعة يمكن من خلالها الحصول على نتائج اكثر دقة (Aboukila & Norton, 2017; Klaustermeier et al., 2016). ورغم تسجيل علاقات خطية قوية بين (ECe) و ($EC_{1:1}$) أو ($EC_{1:5}$)، إلا أن معاملات هذه العلاقات (Conversion Coefficients) ليست قيماً عالمية موحدة، بل تتباين بشكل كبير حسب خصائص التربة المحلية. وفي هذا السياق، أكد (Spiteri & Sacco, 2024) أن نماذج التحويل من (EC) المستخلصات المائية إلى (ECe) هي نماذج "خاصة بنوع التربة" (Soil-specific) ولا يمكن تعميمها بشكل مطلق دون دراسة مسبقة لخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية. إن نطاق هذا التباين والأسباب الكامنة وراءه لا تزال تتطلب مزيداً من التوضيح والبحث العلمي الدقيق. وهنا نستعرض بعض النماذج الرياضية المستنبطة سابقا كدالة بين مستخلص العجينة المشبعة والمستخلصات المائية (الجدول 1)، $ECe = f(EC_{1:1})$, $ECe = f(EC_{1:2.5})$ and $ECe = f(EC_{1:5})$ ، كلا حسب المرجع المرفق.

جدول (1).بعض النماذج الرياضية المشتقة في بحوث سابقة

المرجع	النموذج الرياضي
USDA (1954)	**$ECe = 3\ (EC_{1:1})$**
Ozcan et al (2006)	**$ECe=1.93\ (EC_{1:1}) - 0.57$** **$ECe=3.3\ (EC_{1:2.5}) - 0.2$** **$ECe=5.97\ (EC_{1:5}) – 1.17$**
Zhang et al (2005)	**$ECe=1.79\ (EC_{1:1}) + 1.46$**
Hong and Henry (1984)	**$ECe=1.56\ (EC_{1:1}) – 0.06$**
Aboukila (2017).	**$ECe=3.73\ (EC_{1:2.5}) + 0.78$** **$ECe=7.46\ (EC_{1:5}) + 0.43$**
Sonmez et al (2008)	**$ECe=3.34\ (EC_{1:2.5}) + 0.17$** **$ECe=8.22\ (EC_{1:5}) - 0.43$**

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة بالنظر إلى الخصوصية الجغرافية للترب الليبية، حيث تفتقر المكتبة العلمية المحلية إلى دراسات مرجعية حديثة وشاملة تربط بين طرق قياس الملوحة المختلفة في ظل تنوع القوام السائد. ونظراً للحاجة الماسة لدى مراكز البحوث الزراعية والمزارعين في ليبيا إلى وسائل تقييم سريعة وغير مكلفة لمراقبة ملوحة التربة، كان من الضروري العمل على تطوير معاملات تحويل محلية دقيقة تتجاوز عيوب المعاملات العالمية التي قد لا تراعي الخصائص الكيميائية الفريدة للترب الليبية، خاصة فيما يتعلق بالمحتوى الأيوني والأملاح شحيحة الذوبان التي قد تؤدي إلى تقديرات مضللة عند التخفيف. لذا، فإن هذه الدراسة لا تسعى فقط لتسهيل العمل المختبري، بل لتقديم أداة إحصائية ومختبرية تضمن لحد كبير دقة اتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة الري واستصلاح الأراضي بناءً على قوام التربة وتركيبها الكيميائي الفعلي. لذا يهدف هذا البحث بشكل رئيسي إلى اشتقاق وتقييم نماذج رياضية تربط بين تحليل ملوحة التربة والايونات الذائبة من المستخلصات المائية مع مستخلص العجينة المشبعة لبعض انواع الترب بغرب ليبيا.

المواد وطرائق البحث (Materials and Methods)

جمع وتجهيز عينات التربة (Soil Sampling and Preparation)

جُمعت عينات التربة من ثمان مناطق مختلفة من غرب ليبيا من العمق السطحي (0-30 سم). ولضمان تمثيل خصائص الموقع، جُمعت عدة عينات مفردة (Sub-samples) لدمجها وتكوين عينات مركبة (Composite Samples) حيث كان مجموع العينات المركبة المختبرة احدى عشر عينة، في حين جمعت ثمان عينات اخرى لغرض تقييم اداء النموذج الرياضي . جففت العينات هوائيا (Air-drying) عند درجة حرارة الغرفة ثم طُحنت ونُخلت باستخدام غربال قطره 2 مم. ثم قدر قوامها والذي شمل القوام الطمي، طمي رملي، طمي سلتي، طمي طيني رملي، طمي طيني؛ وذلك بواسطة عملية التحليل الميكانيكي باستخدام الهيدروميتر.

تحضير مستخلصات التربة المائية (Preparation of Soil Extracts)

تم تحضير مستخلص العجينة المشبعة وأربع مستخلصات مائية من كل عينة تربة وفقاً للتالي:

مستخلص العجينة المشبعة (Saturated Paste (sp) Extract) تم تحضيرها باستخدام الطريقة المقترحة من (Richards, 1954). حيث وزنت 500 جم من التربة الجافة في كأس زجاجي سعة 1000 مل، مع إضافة الماء المقطر تدريجياً والتحريك المستمر حتى الوصول إلى حالة التشبع الفيزيائي (Saturation point)، ثم تركت العينة لفترة حتى وصلت لحالة التوازن، بعد ذلك رشحت العينات بواسطة مضخة تفريغ وعبر ورق ترشيح رقم 42.

المستخلصات المائية المستهدفة في هذه الدراسة شملت مستخلصات (1:1)، (1:2.5)، (1:5) و (1:10). حيث حضر المستخلص (1:1) بخلط 50 جم من التربة مع 50 مل من الماء المقطر. في حين تم خلط 50 جم من التربة مع 125 مل من الماء المقطر لتحضير المستخلص (1:2.5)، أما المستخلصات (1:5)، (1:10) فجهزت بخلط عينتي تربة وزنهما 50 جم مع 250، 500 مل من الماء المقطر على التوالي. ثم رجت المستخلصات المخففة على الرجاج لمدة

30 دقيقة، ورشحت باستخدام كلا من ورق الترشيح وجهاز الطرد المركزي، للحصول على عينات جاهزة للتحليل.

القياسات والتحاليل الكيميائية (Chemical Analyses)

أُجريت التحاليل الكيميائية للمستخلصات المائية وفقاً للطرق القياسية المتبعة. حيث تم تقدير التوصيل الكهربي (EC) باستخدام جهاز مقياس التوصيل الكهربي (EC-meter)، كما قُدّر الرقم الهيدروجيني (pH) باستخدام جهاز (pH-meter). في حين تم تقدير الصوديوم الذائب (Na^+) باستخدام جهاز قياس الطيف اللهب (Flame Photometer) . (0.01 N). أما الكلوريد (Cl^-) تم تقديره بطريقة "موهر" (Mohr's method) بالمعايرة مع نترات الفضة.

التحليل الإحصائي وتقييم النماذج الرياضية (Statistical Analysis and Model Validation)

للتحقق من صحة وكفاءة النماذج الرياضية المستنبطة في هذا البحث، تم استخدام ثمان عينات مستقلة عن تلك المستخدمة في هذه الدراسة لاشتقاق نماذج الانحدار الخطي. بينما استخدم متوسط ثمانية عشر عينة من العينات الكلية من المستخلصات المائية التي استخدمت في اشتقاق النماذج الرياضية وتقييمها، وذلك لغرض مقارنة قيم التوصيل الكهربي المشبع (Predicted ECe) المتوقعة من النماذج المشتقة في هذه الدراسة وتلك التي اشتقها باحثون اخرون وعلاقتها بمتوسط القيمة الفعلية المقاسة للتوصيل الكهربي التشبعي (Measured ECe).

تحليل البيانات تمت باستخدام حزمة البرامج الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS, 23). حيث شمل التحليل الإحصائي للبيانات المتعلقة بدرجة التوصيل الكهربي EC وكل بيانات تركيز الايونات الذائبة المدرجة في هذا البحث. ولاختبار الفروقات الاحصائية المحتملة بين النماذج الواردة بالدراسات السابقة والنماذج الرياضية لهذه الدراسة تم استخدام تحليل التباين أحادي الاتجاه (ANOVA). بينما لتقييم العلاقة الخطية المحتملة بين مستخلص العجينة المشبعة ECe (sp) والمستخلصات المائية المدروسة $EC_{1:1}$, $EC_{1:2.5}$, $EC_{1:5}$, $EC_{1:10}$) تم تطبيق تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لاستنباط معادلات التحويل الرياضية، حيث كان $EC_{1:1}$, $EC_{1:2.5}$

، $EC_{1:5}$, $EC_{1:10}$ هو المتغير التابع (x) وECe هو المتغير المســتقل (y).. كما تم تقييم دقة النماذج المســـتنبطة من خلال معامل التحديد (R^2) . أما لتقييم أداء النماذج الرياضـــية.اســـتُخدم جذر متوســـط مربع الخطأ (Root Mean Square Error) (RMSE).

النتائج والمناقشة

درجة التوصـــيل الكهربي وتركيز بعض الايونات الذائبة للعجينة المشـــبعة والمستخلصات المائية

البيانات الواردة بالجدول (2) تعرض بعض البيانات الاحصـــائية لنتائج تحليل درجة التوصيل الكهربي (EC) لعينات المستخلصات المائية ومستخلص العجينة المشـــبعة (ECe). حيث تراوحت قيم ECe بين 0.84، 30.25 ($dS\ m^{-1}$)، في حين ســـجلت قيم 0.23، 14.61 ($dS\ m^{-1}$) للمســـتخلص 1:1، وبين 0.14، 6.45 ($dS\ m^{-1}$) للمســتخلص 1:2.5، أما مســتخلصــات 1:5 ،1:10 اعطيا قيم مابين0.095، 5.68 و0.069، 1.8($dS\ m^{-1}$) على التوالي. وهذه النتائج توضح المدى الواسع لمستويات الملوحة المختبرة في هذه الدراسة.

عند مقارنة قيم ECe مع قيم كلا من $EC_{1:10}$, $EC_{1:5}$, $EC_{1:2.5}$, $EC_{1:1}$ نلاحظ أن متوسط قيم التوصيل الكهربي لمستخلصات العجينة المشبعة أعلى بحوالي 2.44 ضعف من متوسط التوصيل الكهربي لمستخلص 1:1، وبنحو 4.7 أضعاف من متوسط التوصيل الكهربي للمستخلص 1:25، في حين أنه أعلى من مستخلص 1:5 بمقدار 6.9 اضعاف و بحوالي 15 ضعف من مستخلص (1:10). هذه النتائج تتوافق مع نتائج عدة باحثين أفادو أن قيم درجة التوصيل الكهربي لمستخلصات العجينة المشبعة (ECe) تكون أعلى منها عند المستخلصات المائية نتيجة لعملية التخفيف (Aboukila & Norton, 2017; He et al., 2013; Kargas et al., 2018a; Ouzemou et al., 2025; Zhang et al., 2005). اشار كل من (Kargas et al., 2018a; Sonmez et al., 2008) أن قيم EC1:1 تكون مخففة بمقدار الضعف تقريبًا عند مقارنتها مع قيم ECe، كما أن هذه النتائج تتقارب مع نتائج عدة باحثين الذين أفادوا بأن متوسط قيم ECe كانت أعلى بنحو أربعة وثمانية

أضعاف من متوسط EC1:2.5 وEC1:5 على التوالي (Aboukila & Abdelaty, 2017; Rukadi et al., 2025; Zhang et al., 2005).

كما هو متوقع، تشير بيانات متوسط تركيز الايونات الذائبة (الصوديوم والكلور) في مستخلصات التربة المختلفة (جدول 3) تشابها في معدلاتها مع نتائج تحليل درجة التوصيل الكهربي. وبحسب نوع الأيون، كان متوسط تركيز أيون الصوديوم في مستخلص العجينة المشبعة أعلى بمقدار 2 الى 5، 8.8، 15 مرة، مقارنة بتركيزها في مستخلصات 1:1، 1:2.5، 1:5، 1:10 على التوالي. بينما كان متوسط تركيز ايون الكلور في مستخلصات التربة المائية 1:1، 1:2.5، 1:5، 1:10 على التوالي، أقل بمقدار 2.3، 5.4، 10.6، 20 مرة، عنه عند مستخلص العجينة المشبعة.

جدول (2) بعض البيانات الاحصائية لنتائج تحليل درجة التوصيل الكهربي (EC) لعينات المستخلصات المائية ومستخلص العجينة المشبعة (ECe sp)

	ECe (sp)	EC 1:1	EC1:2.5 (dS m-1)	EC 1:5	EC 1:10
المتوسط (Mean)	7.68	3.15	1.62	1.12	**0.52**
الحد الادنى (Minimum)	0.84	0.23	0.14	0.09	**0.07**
الحد الأعلى (Maximum)	30.25	14.61	6.45	5.68	**1.8**
الانحراف المعياري (St. Dev)	8.57	4.13	1.92	1.65	**0.55**

جدول (3). بيانات متوسط قيم درجة تفاعل التربة (pH) وتركيز أيوني الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl^-) في مستخلص العجينة المشبعة ومستخلصات التربة المختلفة

	Cl (meq L^{-1})	Na (meq L^{-1})	pH
مستخلص العجينة المشبعة (SP)	67.82	33.01	**7.8**
مستخلص (1:1)	29.6	17.34	**7.8**
مستخلص (1:2.5)	12.5	6.38	**7.96**
مستخلص (1:5)	6.4	3.76	**8.1**
مستخلص (1:10)	3.42	2.212	**8.16**

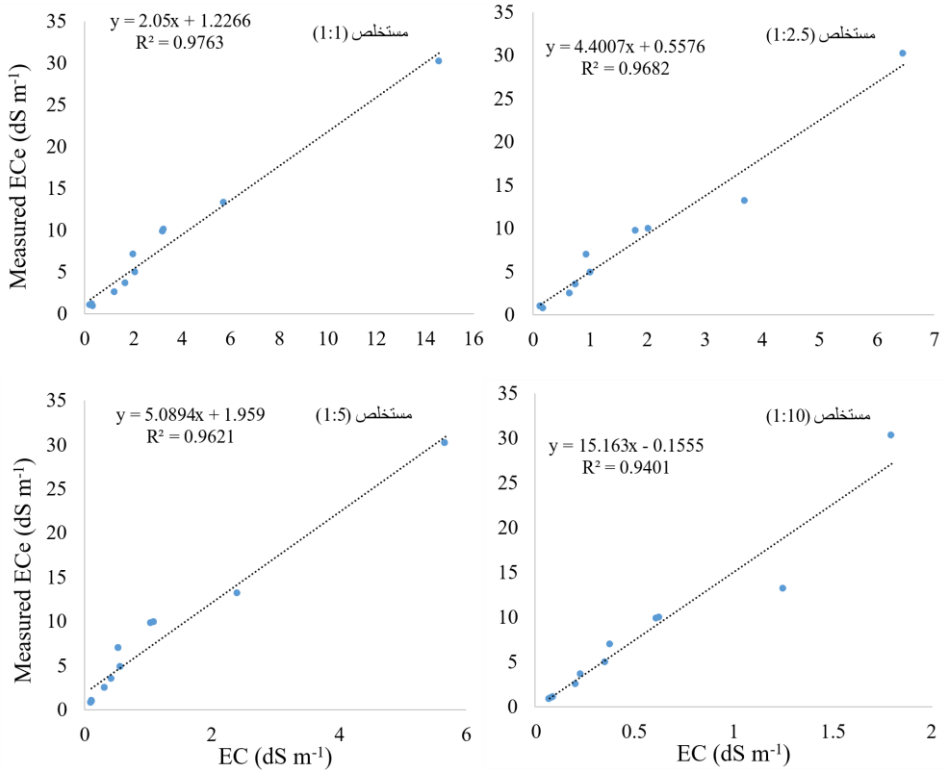
العلاقة بين التوصيل الكهربي وتركيز بعض الايونات الذائبة للعجينة المشبعة (ECe) والمستخلصات المائية المختلفة

الشكل (1) يعرض نتائج درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة (ECe) ودرجة التوصيل الكهربي للمستخلصات المائية المختلفة. أوضحت هذه النتائج العلاقة الوثيقة بين درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة وباقي المستخلصات المائية (R^2 =0.94-.97)، وهذه النتائج تتوافق مع نتائج باحثين آخرين حيث اكدوا أن هناك ارتباط قوي بين درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة مع باقي المستخلصات المائية الاخرى (Aboukila & Abdelaty, 2017; Hogg & Henry, 1984; Ozcan et al., 2006; Sonmez et al., 2008; Zhang et al., 2005). كما بينت هذه النتائج مدى تأثير نسب الاستخلاص المختلفة على كلا من ميل خط الانحدار ونقطة تقاطعه مع المحور الرأسي. حيث بزيادة معدل التخفيف للمستخلصات من 1:1 الى مستخلص 1:10 ازدادت قيم ميل معادلة الانحدار لدرجة التوصيل الكهربي، مع ملاحظة أن تأثير الميل أكبر من تأثير نقطة التقاطع. هذه النتائج تدل على أن زيادة الماء المضاف لعينة التربة يؤدي الى تخفيف قيم الملوحة، وهذا يتوافق مع ما أشار اليه (Sonmez et al., 2008)، حيث اعتبروا أن ميل معدل الانحدار يمثل نسبة التخفيف. الجدير بالذكر، أن قيم الميل 2.05، 4.4، 5.08 المسجلة من المستخلصات 1:1، 1:2.5، 1:5 على التوالي، تتوافق مع قيم الميل المستنبطة من بعض الباحثين (جدول1). فعلى سبيل

المثال الميل 2.05 لمستخلص 1:1 يتقارب مع 1.99 الذي ذكره Ozcan et al (2006)، ويتشابه ايضا مع 1.79 الذي سجله Zhang et al (2005). في حين أن الميل 4.4 للمستخلص 1:2.5 يتقارب مع القيمة 3.73 للميل الذي اشتقه E. Aboukila. (2017). اما قيمة الميل 5.08 للمستخلص 1:5 ، تتشابه ايضا مع 5.97 للميل الذي ذكره Ozcan (2006). وبالرغم تقارب كبير بين النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة مع عدة باحثين، الا ان هذه النتائج لا تتوافق مع بعض الباحثين الآخرين (جدول 1). وهذا الاختلاف يرجع لعدة أسباب منها على سبيل المثال نوع التربة (قوام التربة) وكمية ونوعية الاملاح، بالاضافة الى محتوى الترب من كربونات الكالسيوم والجبس (Aboukila & Abdelaty, 2017; Husson et al., 2018; Ismayilov et al., 2021; Kargas et al., 2022a).

كما أوضحت النتائج الواردة بالجدول (4) العلاقة الوثيقة بين تركيز ايوني الصوديوم والكلوريد من مستخلص العجينة المشبعة وباقي المستخلصات المائية (R^2=0.99). حيث يمكن استنتاج مدى تأثير نسب الاستخلاص المختلفة على كلا من ميل خط الانحدار الذي يمثل معامل التخفيف. فبزيادة معدل التخفيف للمستخلصات من 1:1 الى مستخلص 1:10 ازدادت قيم ميل معادلة الانحدار، هذه النتائج تتوافق مع تلك النتائج التي عرضها (Kargas et al., 2018b).

الشكل (1) يبين العلاقة بين درجة التوصيل الكهربي لمستخلص العجينة المشبعة والمستخلصات المائية 1:1، 1:2.5، 1:5، 1:10 .



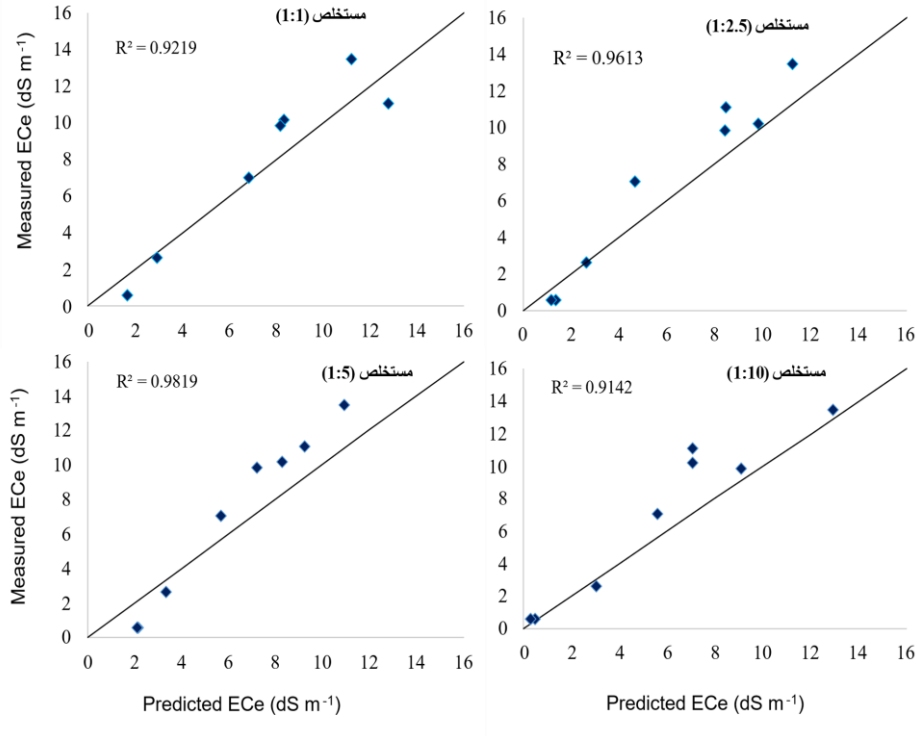
جدول (4).معادلات الانحدار الخطي ومعامل التحديد للعلاقة بين تركيز أيوني الصوديوم والكلوريد المقاسة من مستخلص العجينة المشبعة والمستخلصات المائية المختلفة

الايون	معادلة الانحدار الخطي (Regression Equation)	معامل التحديد (R^2)
مستخلص (1:1)		
Na^+	$[Na^+ sp] = 1.8405 (1:1) + 1.0922$	**0.99**
Cl^-	$[Cl^- sp] = 2.201 (1:1) + 2.6693$	**0.99**
مستخلص (1:2.5)		
Na^+	$[Na^+ sp] = 5.0022 (1:2.5) + 1.0997$	**0.99**
Cl^-	$[Cl^- sp] = 5.3196 (1:2.5) + 1.3674$	**0.99**
مستخلص (1:5)		
Na^+	$[Na^+ sp] = 8.8007 (1:.5) - 0.0768$	**0.99**
Cl^-	$[Cl^- sp] = 10.376 (1:.5) + 1.4166$	
مستخلص (1:10)		
Na^+	$[Na^+ sp] = 15.59 (1:.10) - 1.4721$	**0.99**
Cl^-	$[Cl^- sp] = 20.028 (1:.10) - 0.6749$	**0.99**

تقييم النماذج المشتقة لحساب درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة من المستخلصات المائية

أوضحت النتائج المعروضة بالشكل (2) أن القيم المقاسة والمتوقعة متقاربة عن الخط الافتراضي 1:1 مع تسجيل قيم عالية لمعامل التحديد (R^2= 0.91-0.98). كما أكدت البيانات الواردة بالجدول (5) هذه العلاقة الوثيقة بين تلك القيم. حيث تراوحت قيم جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE) بين 1.43-2.11 و هذا يشير إلى أن القيم المتوقعة لدرجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة ECe متطابقة لحد كبير مع القيم المقاسة.

الشكل (2).العلاقة بين درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة المقاسة ودرجة (ECe) التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة المحسوبة من النماذج الرياضية المشتقة للمستخلصات المائية



جدول (5). نتائج التحليل الاحصائي لبيانات درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة المقاسة (ECe) مع درجة التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة المتوقعة حسب النماذج المشتقة بهذه الدراسة

معادلة الانحدار Regression Equation		معامل التحديد R^2	الانحراف المعياري Standard division	RMSE
$EC_{(1:1)}$	$ECe = 2.05EC_{(1:1)} + 1.2266$	0.92	1.5	**1.43**
$EC_{(1:2.5)}$	$ECe = 4.4007EC_{(1:2.5)} + 0.5576$	0.89	1.87	**2.11**
$EC_{(1:5)}$	$ECe = 5.0894EC_{(1:5)} + 1.959$	0.98	1.78	**1.84**
$EC_{(1:10)}$	$ECe = 15.163EC_{(1:10)} - 0.1555$	0.91	1.55	**1.92**

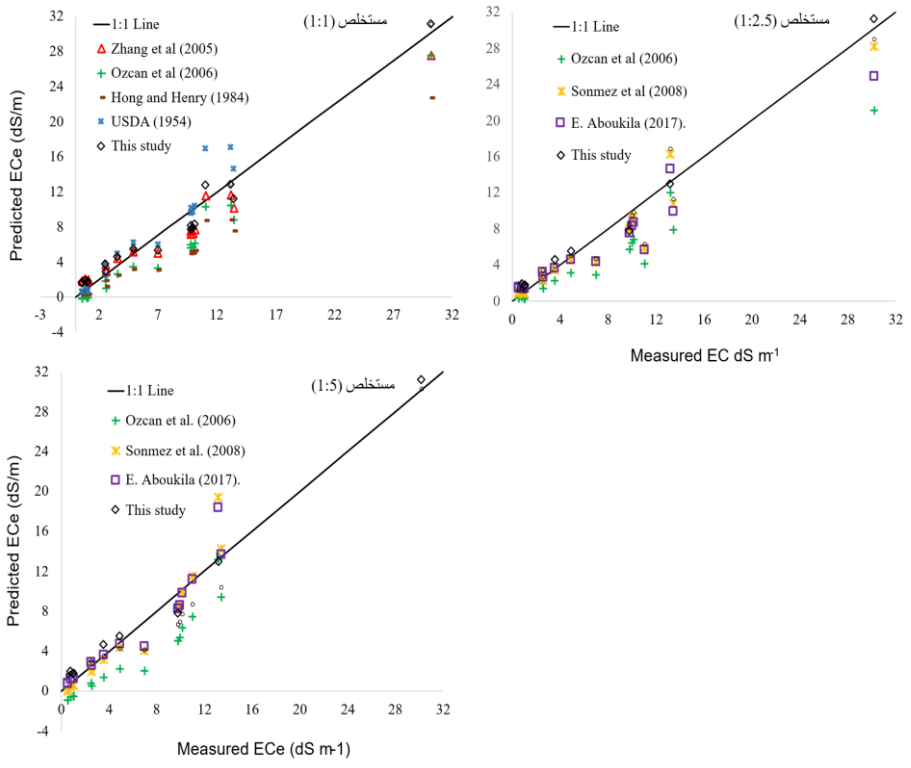
بالاستعانة بالشكل (3) الذي يعرض العلاقة بين قيم ECe المقاسة من العجينة المشبعة وتلك القيم المتوقعة من تطبيق معادلات الانحدار للمستخلصات المائية لهذه الدراسة وتلك التي استخدمت في بعض البحوث الاخرى، نلاحظ أن هناك تباين بين قيم ECe المقاسة والمتوقعة. وهذا التوافق والاختلاف قد يرجع سببه كما ذكر سابقا لاختلاف بعض الخصائص الطبيعية والكيميائية للتربة (USDA, 1954).

النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة لمتوسط قيم ECe المتوقعة، كانت 7.3، 6.88، 6.98 $dS\ m^{-1}$ من تطبيق نماذج المستخلصات المائية $EC_{1:1}$, $EC_{1:2.5}$ ، $EC_{1:5}$ على التوالي (جدول 6). هذه القيم لم تسجل فروقات معنوية احصائيا مقارنة مع متوسط الملوحة المقاسة للعجينة المشبعة (ECe sp) والتي كانت 7.33 $dS\ m^{-1}$. كما رصدت قيماً عالية لمعامل التحديد(R^2=0.96) وقيما منخفضة لجذر متوسط الخطأ (RMSE) والتي تعكس مدى الارتباط العالي بين متوسط القيمة المتوقعة والمقاسة.

نتائج متوسط قيم التوصيل الكهربي المتوقعة من استخدام معادلات الانحدار لبحوث سابقة ومقارنتها بمتوسط قيمة التوصيل الكهربي المشبع المقاس معروضة ايضا بالجدول (6). فعلى سبيل المثال، قيم ECe المتوقعة باستخدام معادلة الانحدار $EC_{1:1}$ المشتقة من (USDA, 1954) كانت 8.89 $dS\ m^{-1}$ وهذه القيمة تختلف معنوياً احصائياً ($P>0.05$) عند قيمة التوصيل الكهربي المقاسة فعليا من مستخلص العجينة المشبعة (ECe sp). وقد يعزى ذلك لاختلاف نوع التربة.

المعادلات الرياضية المقدمة من Aboukila (2017) أعطت متوسط قيم ECe المتوقعة 6.33، 7.99 للنماذج EC1:2.5، EC1:5 على التوالي. حيث كان هناك فرق معنوي احصائياً ($P>0.05$) بين القيمة المقاسة والمتوقعة من النموذج الرياضي للمستخلص EC1:2.5 ، في حين لاتوجد فروقات معنوية احصائيا ($P>0.05$) للنموذج $EC_{1:5}$. هذه النتائج تدل على محدودية استخدام النماذج المعدة من قبل باحثين آخرين لترب تختلف كليا أو جزئيا عن ترب المدروسة في هذا البحث.

الشكل (3).العلاقة بين التوصيل الكهربي المقاس من العجينة المشبعة(ECe sp) وقيمة ECe المتوقعة من استخدام معادلات الانحدار المشتقة في هذه الدراسة ومن باحثين اَخرين



جدول (6) مقارنة معادلات الانحدار الخطي لمستخلصات التربة المائية لمجموعة من الباحثين السابقين ونتائج هذه الدراسة

المرجع	النموذج الرياضي	المقاسة ECe dS m^{-1}	المتوقعة ECe dS m^{-1}	معامل التحديد R^2	جذر متوسط مربع الخطأ RMSE
USDA (1954)	ECe = 3 ($EC_{1:1}$)	7.38	8.89*	0.96	**3.66**
Ozcan et al (2006)	ECe=1.93 ($EC_{1:1}$) - 0.57	7.38	5.15*	0.96	**2.67**
	ECe=3.3 ($EC_{1:2.5}$) - 0.2	7.38	4.62*	0.94	**3.72**
	ECe=5.97 ($EC_{1:5}$) – 1.17	7.38	4.88*	0.94	**3.13**
Zhang et al (2005)	ECe=1.79 ($EC_{1:1}$) + 1.46	7.38	6.77	0.96	**1.80**
Hong and Henry (1984)	ECe=1.56 ($EC_{1:1}$) – 0.06	7.38	4.56*	0.96	**3.59**
Aboukila (2017).	ECe=3.73 ($EC_{1:2.5}$) + 0.78	7.38	6.23*	0.94	**2.35**
	ECe=7.46 ($EC_{1:5}$) + 0.43	7.38	7.99	0.94	**3.32**
Sonmez et al (2008)	ECe=3.34 ($EC_{1:2.5}$) + 0.17	7.38	6.51*	0.94	**1.91**
	ECe=8.22 ($EC_{1:5}$) - 0.43	7.38	8.00	0.94	**1.41**
This study	ECe=2.05 ($EC_{1:1}$) +1.26	7.38	7.3	0.96	**1.37**
		7.38	6.88	0.96	**1.72**
	ECe=4.40 ($EC_{1:2.5}$) +0.557 ECe=5.0894 ($EC_{1:5}$) +1.95	7.38	6.79	0.96	**1.91**

*هناك اختلاف معنوي احصائيا مقارنة بقيمة ECe المقاسة

الخلاصة

بينت هذه الدراسة العلاقة القوية (R^2=0.94-.97) بين قيم التوصيل الكهربي المقاسة من مستخلص العجينة المشبعة (ECe sp) والقيم المقدرة من المستخلصات المائية $EC_{1:10}$, $EC_{1:5}$, $EC_{1:2.5}$, $EC_{1:1}$ ، كما سجلت ايضاً العلاقة نفسها لقيم تركيز ايوني الصوديوم والكلوريد لجميع مستويات الاستخلاص المدروسة. هذه النتائج تعزز إمكانية تحقيق دقة عالية في التنبؤ بقيم التوصيل الكهربي للعجينة المشبعة (ECe) باستخدام قيم التوصيل الكهربي (EC) التي يسهل قياسها في مستخلصات التربة المائية $EC_{1:10}$, $EC_{1:5}$, $EC_{1:2.5}$, $EC_{1:1}$ باستخدام النماذج الرياضية المستحدثة في هذه الدراسة. وبناءً على نتائج التحقق من صحة النماذج المشتقة في هذا البحث وفي ظل الظروف التجريبية لهذه الدراسة، تُعد قيم التوصيل الكهربائي لمستخلص EC1:1 للتحويل إلى ECe مؤشراً أفضل، حيث حقق أقل قيم جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE)، ثم يليه المستخلصات EC1:2.5, EC1:5، في حين لم يرد استخدام المستخلص EC1:10 في الدراسات الاخرى. والجذير بالذكر، أن هناك حاجة إلى مزيد من الدراسات لغرض تحسين دقة تنبؤات النماذج الرياضية باستخدام المستخلصات المائية للتربة مع إضافة المزيد من البيانات لعينات التربة من مناطق أخرى مختلفة في البلاد.

قائمة المراجع

1. Aboukila, E. & Abdelaty, E. (2017) 'Assessment of saturated soil paste salinity from 1: 2.5 and 1: 5 soil-water extracts for coarse textured soils', Alexandria Science Exchange Journal, 38(October-December), pp. 722–732.
2. Aboukila, E.F. & Norton, J.B. (2017) 'Estimation of saturated soil paste salinity from soil-water extracts', Soil Science, 182(3), pp. 107–113.
3. Demo, A.H., Gemeda, M.K., Abdo, D.R., Guluma, T.N. & Adugna, D.B. (2025) 'Impact of soil salinity, sodicity, and irrigation water salinity on crop production and coping mechanism in areas of

dryland farming', Agrosystems, Geosciences & Environment, 8(1), p. e70072.

4. Fadl, M.E., Jalhoum, M.E., AbdelRahman, M.A., Ali, E.A., Zahra, W.R., Abuzaid, A.S., Fiorentino, C., D'Antonio, P., Belal, A.A. & Scopa, A. (2023) 'Soil salinity assessing and mapping using several statistical and distribution techniques in arid and semi-arid ecosystems, Egypt', Agronomy, 13(2), p. 583.
5. FAO, 2021a. Global Map of Salt Affected Soils Version 1.0. https://www.fao.org/soils-po rtal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/. Accessed December 2021.
6. He, Y., DeSutter, T., Hopkins, D., Jia, X. & Wysocki, D.A. (2013) 'Predicting ECe of the saturated paste extract from value of EC1:5', Canadian Journal of Soil Science, 93(5), pp. 585–594.
7. Hogg, T.J. & Henry, J.L. (1984) 'Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils', Canadian Journal of Soil Science, 64(4), pp. 699–704.
8. Husson, O., Brunet, A., Babre, D., Charpentier, H., Durand, M. & Sarthou, J.-P. (2018) 'Conservation agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH and EC) of four soil types in France', Soil and Tillage Research, 176pp. 57–68.
9. Ismayilov, A.I., Mamedov, A.I., Fujimaki, H., Tsunekawa, A. & Levy, G.J. (2021) 'Soil salinity type effects on the relationship between the electrical conductivity and salt content for 1: 5 soil-to-water extract', Sustainability, 13(6), p. 3395.
10. Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., Massas, I. & Kerkides, P. (2018a) 'Soil salinity assessment using saturated paste and mass soil: water 1: 1 and 1: 5 ratios extracts', Water, 10(11), p. 1589.

11. Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., Massas, I. & Kerkides, P. (2018b) 'Soil salinity assessment using saturated paste and mass soil: water 1: 1 and 1: 5 ratios extracts', Water, 10(11), p. 1589.
12. Kargas, G., Londra, P. & Sotirakoglou, K. (2022a) 'The effect of soil texture on the conversion factor of 1: 5 soil/water extract electrical conductivity (EC 1: 5) to soil saturated paste extract electrical conductivity (ECe)', Water, 14(4), p. 642.
13. Kargas, G., Londra, P. & Sotirakoglou, K. (2022b) 'The Effect of Soil Texture on the Conversion Factor of 1:5 Soil/Water Extract Electrical Conductivity (EC1:5) to Soil Saturated Paste Extract Electrical Conductivity (ECe)', Water, 14(4), p. 642.
14. Khorsandi, F. & Yazdi, F.A. (2011) 'Estimation of Saturated Paste Extracts' Electrical Conductivity from 1:5 Soil/Water Suspension and Gypsum', Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42(3), pp. 315–321.
15. Klaustermeier, A., Tomlinson, H., Daigh, A.L.M., Limb, R., DeSutter, T. & Sedivec, K. (2016) 'Comparison of soil-to-water suspension ratios for determining electrical conductivity of oil-production-water-contaminated soils' Francis Zvomuya (ed.), Canadian Journal of Soil Science, 96(2), pp. 233–243.
16. McKENZIE, R.C., Sprout, C.H. & Clark, N.F. (1983) 'THE RELATIONSHIP OF THE YIELD OF IRRIGATED BARLEY TO SOIL SALINITY AS MEASURED BY SEVERAL METHODS', Canadian Journal of Soil Science, 63(3), pp. 519–528.
17. Ouzemou, J.-E., Laamrani, A., El Battay, A. & Whalen, J.K. (2025) 'Predicting Soil Salinity Based on Soil/Water Extracts in a Semi-Arid Region of Morocco', Soil Systems, 9(1), p. 3.
18. Ozcan, H., Ekinci, H., Yigini, Y. & Yuksel, O. (2006) 'Comparison of four soil salinity extraction methods', In Proceedings of 18th

International Soil Meeting of" Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology, pp. 697–703.

19. Rhoades, J.D. (1996) 'Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids', in D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (eds) SSSA Book Series. 1st edition [Online]. Wiley. pp. 417–435.
20. Rhoades, J.D., Chanduvi, F. & Lesch, S.M. (1999) Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Vol. 57. Food & Agriculture Org.
21. Richards, L.A. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. 60. US Government Printing Office.
22. Rukadi, K., Phontusang, P. & Sriprachote, A. (2025) 'Soil ECe Prediction from Different EC Water Ratios and Sample Sizes in Salt-affected Soils.', EnvironmentAsia, 18. ,(2)
23. Shirokova, Y., Forkutsa, I. & Sharafutdinova, N. (2000) 'Use of Electrical Conductivity Instead of Soluble Salts for Soil Salinity Monitoring in Central Asia', Irrigation and Drainage Systems, 14(3), pp. 199–206.
24. Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen, F. & Citak, S. (2008) 'Assessment of different soil to water ratios (1: 1, 1: 2.5, 1: 5) in soil salinity studies', Geoderma, 144(1–2), pp. 361–369.
25. Spiteri, K. & Sacco, A.T. (2024) 'Estimating the electrical conductivity of a saturated soil paste extract (ECe) from 1:1(EC1:1), 1:2(EC1:2) and 1:5(EC1:5) soil:water suspension ratios, in calcareous soils from the Mediterranean Islands of Malta', Communications in Soil Science and Plant Analysis, 55(9), pp. 1302–1312.
26. USDA (1954) Diagnoses and improvement of saline and alkali soils. Agric. Hand Book NO. 60. USSL, Riverside, CA, USA.

27. Wang, Y., Wang, Z.X., Lian, X.J., Xiao, H., Wang, L.Y. & He, H.D. (2011) 'Measurement of soil electrical conductivity and relationship between soluble salt content and electrical conductivity in Tianjin coastal area', Tianjin Agric. Sci, 17pp. 18–21.

28. Zhang, H., Schroder, J.L., Pittman, J.J., Wang, J.J. & Payton, M.E. (2005) 'Soil Salinity Using Saturated Paste and 1:1 Soil to Water Extracts', Soil Science Society of America Journal, 69(4), pp. 1146–1151.