# تقدير الناقلية الكهربائية في العجينة المشبعة ($EC_e$) من الـ $EC_{1:5}$ لترب من سورية باستعمال الشبكات العصبونية الصنعية والتحليل متعدد المتحولات

# Estimation of Electrical Conductivities from $EC_{1:5}$ Using the Artificial Neural Network Method and Multi Variants Regression Curves Analyses

Received 2 June 2011 / Accepted 28 November 2011

م. إلهام طعمة[1] و د. عمران الشهابي[2]

(1): المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد).
(2): قسم علوم التربة -جامعة دمشق - كلية الزراعة - سورية.

## المُلخَّص

تم في هذا البحث تقدير قيمة الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة للتربة ($EC_e$) اعتماداً على الناقلية الكهربائية $EC_{1:5}$ لمستخلص 1 / 5 (ماء/تربة)، وأيضاً التحليل الميكانيكي (قوام التربة) لترب من مناطق مختلفة من سورية. بلغ عدد العينات المأخوذة نحو 253 عينة، تمّ تحليلها في مخابر المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) لإيجاد كل من $EC_{1:5}$، $EC_e$ والتحليل الميكانيكي. تم من خلال الدراسة الإحصائية استنتاج عدة معادلات باستعمال طريقة التحليل متعدد المتحولات (Multi Variants Regression Curves) (MVRC) سواء للعينات مجتمعة، أو بعد تقسيمها تبعاً لقيمة $EC_{1:5}$ أو نسبة الطين، وذلك لتحسين معاملات الارتباط. وتمّ أيضاً تحليل النتائج باستعمال طريقة الشبكات العصبونية الصنعية (ANN). عند مقارنة قيم $EC_e$ التي تمّ الحصول عليها من طرائق التحليل الإحصائي المختلفة والنتائج التي تمّ الحصول عليها في المخبر. تبين أنّ هناك تفاوتاً في قيم معاملات الارتباط، بالنسبة لطريقة التحليل متعدد المتحولات، بين القيم الحقيقية والمستنتجة وذلك تبعاً لطريقة تقسيم العينات، أما طريقة الشبكات العصبونية الصنعية فقد أظهرت قدرة كبيرة على استنتاج قيمة $EC_e$ لمجموع العينات دون الحاجة إلى تقسيمها.

**الكلمات المفتاحية:** الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$)، الناقلية الكهربائية لمستخلص 1:5 ($EC_{1:5}$)، التحليل الميكانيكي (قوام التربة)، التحليل متعدد المتحولات، الشبكات العصبونية الصنعية.

## Abstract

This research was carried out to estimate the electrical conductivity of soil extract ($EC_e$) of saturated paste from the EC of a 1 to 5 soil/water suspension ($EC_{1:5}$) and an estimate of soil texture. Number of the soil samples was 253 samples, represent different areas in Syria. These samples were analyzed in the lab of the Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (ACSAD). Many equations were concluded

©2013 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, All rights reserved - ISSN 2305- 5243.

through Multi Variants Regression Curves analyses (MVRC) for the whole samples or after dividing them according to $EC_{1:5}$ result or the clay rate in order to improve the correlation coefficient. All the results were analyzed through Artificial Neural Network method (ANN). After the comparison between the ($EC_e$) results of the different statistical analysis methods and the lab results, there was a difference between the correlation coefficients resulted from the MVRC method according to the way of the samples division, while the ANN method showed a great ability in concluding the $EC_e$ results for all samples without dividing them.

**Keywords:** Electrical Conductivity of saturated paste ($EC_e$), Electrical conductivity of 1 to 5 soil/water suspension ($EC_{1:5}$), Particle size analysis (Soil texture), Multi Variants Regression Curves (MVRC), Artificial Neural Network (ANN).

## المقدمة

يدل قياس الناقلية الكهربائية (EC) لمحلول أو مستخلص التربة على تركيز إجمالي الأملاح الذائبة فيه، وهو يعكس درجة ملوحة التربة وتقاس بالميكروموز.سم$^{-1}$ ($\mu mohs.cm^{-1}$) أو ميكروسيمنس.سم$^{-1}$ ($\mu S.cm^{-1}$)، وتُعد الملوحة مؤشراً مهماً في الدراسات التي تجرى على التربة لما لها من تأثير ضار في نمو النباتات وتطورها خلال مختلف مراحل نموها.

إنَ الطريقة المفضلة لتقدير ملوحة التربة هي قياس الناقلية الكهربائية في مستخلص التشبع لدلالتها على الظروف الحقلية، ففي مختلف أنواع قوام التربة تكون كمية الماء الموجودة في عجينة التشبع تساوي تقريباً ضعف رطوبة التربة عند السعة الحقلية، وأربعة أضعاف كمية ماء التربة عند نقطة الذبول (Wilting point)، لهذا يمكن استعمال الناقلية الكهربائية ($EC_e$) لتقدير درجة ملوحة التربة في الحقل (Slavich و Petterson، 1990)، علماً أنَ هذه النسبة ترتبط بشكل مباشر بقوام التربة (Richards، 1954). إضافةً إلى أنَ معظم جداول تحمل الأنواع النباتية المختلفة للملوحة، وجداول التوصيات السمادية وأنواع الأسمدة المقترحة مبنية على أساس الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة (Richards، 1954).

تفضل مخابر تحليل التربة تقدير $EC_{1:5}$ لأنها سهلة ولا تحتاج إلى خبرة كبيرة (يمكن أن يصل عدد العينات المحللة أسبوعياً إلى 300 عينة)، لأنَ كمية الماء المضافة تكون محسوبةً بدقة، كذلك تكون كمية الراشح كافية لإجراء التحاليل اللازمة كافةً، في حين يستهلك تقدير $EC_e$ وقتاً كبيراً حيث لا يمكن تحليل أكثر من 60 عينة أسبوعياً، ويعود ذلك إلى صعوبة تحضير العينات والعجينة المشبعة التي تتطلب خبرةً عاليةً عند إضافة الكمية المناسبة من الماء، وكذلك فترة التحريك، كما أن كمية الراشح ترتبط بقوام التربة، وعادةً ما تكون قليلة في الترب الطينية، لذلك برزت الحاجة إلى إجراء دراسات تربط بين الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) و $EC_{1:5}$ لتسهيل العمل واختصار الزمن.

أُجريت دراسات عدة للحصول على قيمة $EC_e$ مباشرة من $EC_{1:5}$، أخذ بعضها بعين الاعتبار تأثير القوام والمحتوى الرطوبي للعجينة المشبعة (Shaw، 1988؛ Slavich و Petterson، 1993)، ولم يتعرض بعضها الآخر لتأثير القوام في معاملات التحويل (Talsma، 1968).

تم في هذا البحث إجراء دراسة إحصائية على 253 عينة تربة مأخوذة من مناطق مختلفة من سورية، تم تحليلها في مخابر المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد)، حيث أُخذت قياسات $EC_e$، و $EC_{1:5}$ والتحليل الميكانيكي (قوام التربة) بهدف إيجاد علاقات رياضية تربط بينها. واستُعملت في هذه الدراسة طريقة إحصائية حديثة وفعّالة تدعى الشبكات العصبونية الصنعية (ANN) إضافةً إلى الطرائق التقليدية (MVRC) ومن ثم مقارنة نتائج الطرائق المختلفة.

## مواد البحث وطرائقه

أُخذت 253 عينة تربة من محطات أكساد البحثية المنتشرة في أنحاء مختلفة من سورية (إزرع وجلين في محافظة درعا، والمريعية في محافظة دير الزور)، من أعماق مختلفة (0-15، و 15-30 و 30-45 سم)، ثم جففت هوائياً وطُحنت، ونخلت على قطر 2 مم لإجراء التحاليل المختلفة ثم أُجري التحليل الميكانيكي باستعمال الهيدروميتر (Bouyoucos، 1962).

- طريقة تحضير مستخلص 1:5 في التربة: يُوزن 10 غ تربة جافة هوائياً (عند درجة حرارة 105 م°) ثمَ توضع العينة في دورق مخروطي سعة 250 مل ويضاف إليها 50 مل ماءً مقطراً، وترج العينة لمدة نصف ساعة، ثمَ ترشح العينة باستخدام ورق الترشيح (Rhoades، 1982).
- طريقة تحضير مستخلص العجينة المشبعة في التربة: يُوضع قرابة 100 غ تربة في جفنة سعة 250 مل، ويضاف إلى العينة الترابية الماء المقطر مع مراعاة التحريك المستمر بقضيب زجاجي، ثمَ تترك العجينة إلى

اليوم التالي، ويؤخذ مستخلص العجينة بوساطة أقماع بوخنر موضوعة على مخاريط ذات فتحات جانبية موصولة بمضخة تفريغ.

تمت معايرة جهاز قياس الناقلية الكهربائية (EC) قبل استعماله باستخدام ثلاثة محاليل قياسية من محلول كلوريد البوتاسيوم (KCl) 147، و 413 و 12880 ميكروموز.سم$^{-1}$، ثم أخذت قراءات الـ $EC_e$، و $EC_{1.5}$ المصححة على درجة 25 م° (Rhoades، 1982).

عُولجت البيانات التي تمّ الحصول عليها من العينات المدروسة كافةً إحصائياً باستعمال برنامج SPSS للحصول على منحنيات مقاربة (Regression Curves) تربط بين $EC_e$ وكل من $EC_{1.5}$ ومحتوى التربة من الرمل والسلت والطين، ولتحسين معاملات الارتباط قُسمت العينات المدروسة، قبل معالجتها إحصائياً، إلى مجموعاتٍ حسب قيمة $EC_{1.5}$ وأحياناً أخرى حسب نسبة الطين في عينة التربة.

تم أولاً إيجاد علاقة مباشرة بين $EC_e$ و $EC_{1.5}$ من خلال المعادلة الآتية:

$$EC_e = a\, EC_{1.5} + b \qquad (1)$$

ثم تمّ إيجاد معادلة أخرى تربط بين $EC_e$ وكل من محتوى التربة من الرمل والسلت والطين من خلال إيجاد علاقة خطية متعددة المتحولات على الشكل الآتي:

$$EC_e = f\, EC_{1.5} + a\, Sand(\%) + b\, Clay(\%) + c \qquad (2)$$

حيث: $f$، a، b، c ثوابت يتم استنتاجها من التحليل الإحصائي.

ولتحسين أداء الإنموذجين السابقين تمّ تحليل النتائج على عدة مراحل:

1 - العينات كافةً وعددها 253 عينةً.

2 - تقسيم العينات إلى قسمين حسب قيم $EC_{1.5}$ ($EC_{1.5}<1$، $EC_{1.5}\geq 1$)، فكان عدد العينات 231 و 22 عينةً على التوالي.

3 - فصل العينات إلى مجموعات حسب محتواها من الطين.

$Clay(\%) < 30$، $30 \leq Clay(\%) < 40$، $40 \leq Clay(\%) < 50$

$50 \leq Clay(\%) < 60$، $60 \leq Clay(\%) < 70$، $70 \leq Clay(\%)$

حُسبت لكل حالة من الحالات السابقة ثوابت المعادلات (1 و 2) ومن ثمّ استُعملت لحساب قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$). وقُورنت القيم المحسوبة مع القيم المقاسة في المخبر، وحُسبت معاملات الارتباط لتقويم أي من الحالات تعطي التمثيل الأفضل لقيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$).

وتم في هذا البحث تحليل كامل العينات باستعمال طريقة الشبكات العصبونية الصنعية، وقُورنت النتائج التي تمّ الحصول عليها مع القيم المقاسة في المخبر لتقويم فعالية الطريقة في استنتاج قيم $EC_e$ انطلاقاً من قيم $EC_{1.5}$ والتحليل الميكانيكي.

## النتائج والمناقشة

بينت نتائج التحليل الميكانيكي توزع قوام التربة للعينات المختبرة على الشكل الآتي: 117 طيني، و 118 طين لومي، و 4 لومي.

تم في الحالة الأولى أخذ العينات مجتمعةً وتحليلها لإيجاد المعادلة التي تعبر عن العلاقة بين الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) و $EC_{1.5}$ فكانت على الشكل الآتي:

$$EC_e = 3.242EC_{1.5} + 0.638 \qquad (3)$$

$$R^2 = 0.667$$

يُعد معامل الارتباط صغيراً نسبياً وتحتاج المعادلة إلى تحسين.

بما أن قوام التربة يؤدي دوراً أساسياً في تحديد قيمة الناقلية الكهربائية للتربة، ولاسيما للعجينة المشبعة، فقد كان التوجه الأول في تحسين المعادلة 3 بإدخال نسبة الرمل والسلت والطين ضمن المعادلة، بما أن هذه النسب مرتبطة بالمعادلة الآتية:

$$Sand\,(\%) + Silt\,(\%) + Clay\,(\%) = 100 \qquad (4)$$

فيكفي إدخال نسبة الرمل (Sand) والطين (Clay)، فتكون المعادلة المستنتجة على النحو الآتي:

$$EC_e = 3.16EC_{1.5} - 0.051\,Sand(\%) - 0.043\,Clay(\%) + 3.959 \qquad (5)$$

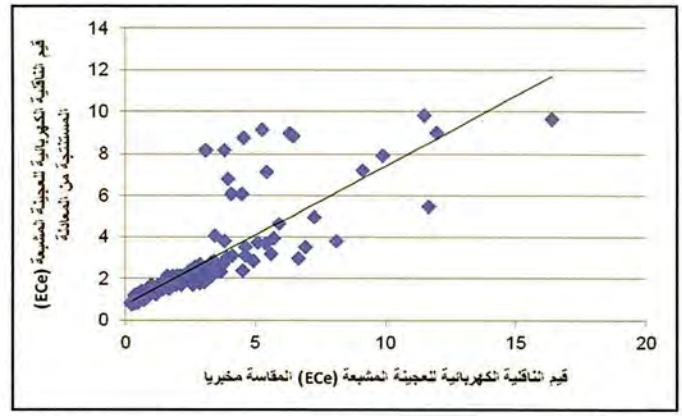
$$R^2 = 0.692$$

يُلاحظ أنّ التغير في قيمة معامل الارتباط كان طفيفاً عند إدخال نسبة الرمل والطين ($R^2=0.692$) في المعادلة 5 بالمقارنة مع قيمته في حال عدم إدخال النسب ($R^2=0.667$). كما يلاحظ من مقارنة القيم المستنتجة من المعادلتين 3 و5 والقيم الفعلية المقاسة أنه لا يوجد أية فروقات في أداء كلتا المعادلتين (الشكلان 1 و 2).

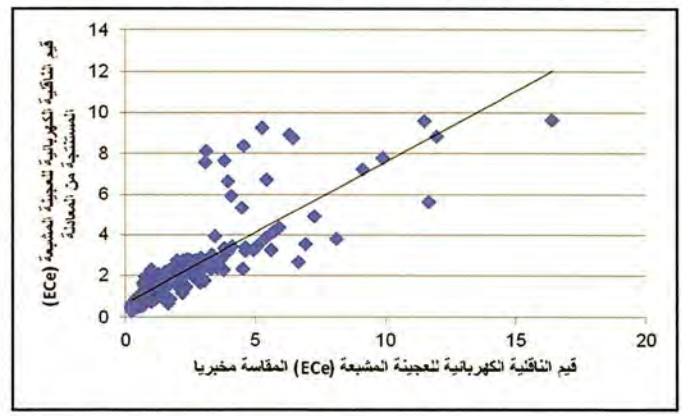
يلاحظ من الشكلين 1 و 2 أن هناك ارتباطاً قوياً بين قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) المستنتجة والمقاسة للعينات ذات قيم الـ $EC_e$ أقل من 5 ($dS.m^{-1}$) وهذا يقابل قيم $EC_{1.5}$ أقل من الواحد، ما دعا إلى تقسيم العينات إلى مجموعتين حسب قيم $EC_{1.5}$

$$EC_{1.5} < 1\ ،\ EC_{1.5} \geq 1$$

وتحليل كل مجموعة على حدة بالطريقتين السابقتين، دون أو مع إدخال نسب الرمل والطين في المعادلة، فكانت النتائج على الشكل الآتي:




الشكل 1. مقارنة بين قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) المستنتجة من المعادلة 3 والمقاسة مخبرياً ( $dS.m^{-1}$).




الشكل 2. مقارنة بين قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) المستنتجة من المعادلة 5 والمقاسة مخبرياً ( $dS.m^{-1}$ ).

* الحالة الأولى : $EC_{1:5}<1$

$$EC_e = 6.154\,EC_{1:5} + 0.367 \qquad (6)$$

$$R^2 = 0.865$$

$$EC_e = 6.022\,EC_{1:5} + 0.01\,Sand(\%) - 0.002\,Clay(\%) - 0.253 \qquad (7)$$

$$R^2 = 0.864$$

يُلاحظ من المعادلتين السابقتين أنّ قيمة معامل الارتباط للمعادلتين 6 و7 قد ازدادت بشكلٍ ملحوظ عن قيمتها في حال أُخذت مجموعة عينات التربة مجتمعةً (المعادلتين 3 و 5) كما هو موضح في الشكل 3. ويلاحظ أيضاً أنّ إدخال نسبة الرمل والطين في المعادلة عند أخذ العينات ذات الـ $EC_{1:5}<1$ لم يؤثر نهائياً في معامل الارتباط.

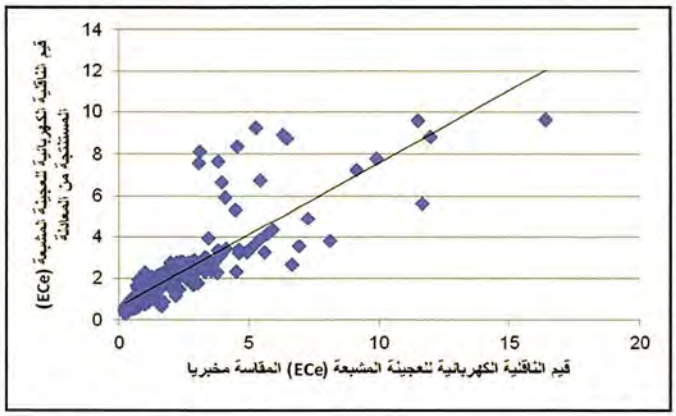
* الحالة الثانية: $EC_{1:5} \geq 1$

$$EC_e = 2.031\,EC_{1:5} + 2.642 \qquad (8)$$

$$R^2 = 0.105$$

$$EC_e = 2.031\,EC_{1:5} - 0.458\,Sand(\%) - 0.078\,Clay(\%) + 19.549 \qquad (9)$$

$$R^2 = 0.606$$




الشكل 3. مقارنة بين قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) المستنتجة من المعادلة 6 والمقاسة مخبرياً ($dS.m^{-1}$)، للعينات ذات الـ $EC_{1:5}<1$.

لوحظ في هذه الحالة أنّ معامل الارتباط ($R^2=0.105$) كان صغيراً جداً في المعادلة 8 التي تربط بين $EC_e$ و $EC_{1:5}$ بشكلٍ مباشر دون الأخذ بعين الاعتبار نسبة الرمل والطين، أما عندما أدخلت نسبة الرمل والطين في المعادلة، فقد وجد أنّ هناك زيادةً كبيرةً في قيمة معامل الارتباط (المعادلة 9).

كان التوجه الثالث في تحليل النتائج فصل العينات إلى مجموعات حسب نسبة الطين في التربة، حيث قُسمت العينة الكلية إلى عدة مجموعات تتراوح نسبة الطين فيها من 20 % إلى 70 %. واقتصر التحليل على إيجاد علاقة مباشرة بين الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) و $EC_{1:5}$ لأن نسبة الرمل والطين أُخذت بعين الاعتبار بشكلٍ غير مباشر من خلال تقسيم العينات إلى مجموعات حسب نسبة الطين. ولُخصت النتائج في الجدول 1.

الجدول 1. قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) اعتماداً على $EC_{1:5}$ وحسب محتوى التربة من الطين.

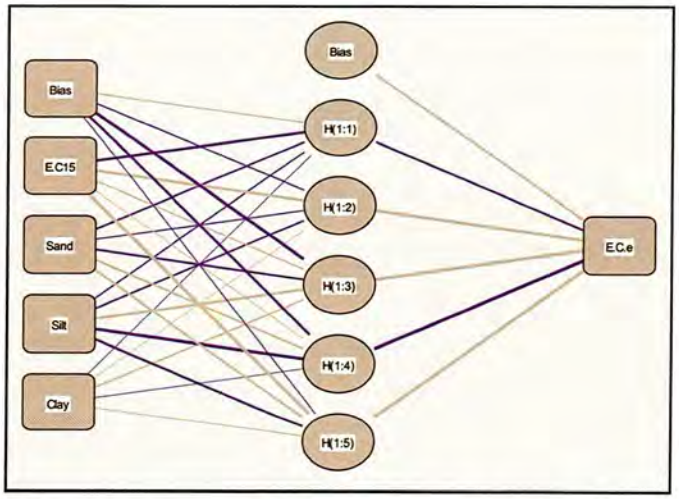
| رقم المعادلة | معامل الارتباط | المعادلة | نسبة الطين (Clay) |
|---|---|---|---|
| (10) | $R^2 = 0.498$ | $EC_e = 1.439\,EC_{1:5} + 1.908$ | $Clay(\%) < 30$ |
| (11) | $R^2 = 0.476$ | $EC_e = 2.178\,EC_{1:5} + 1.336$ | $30 \leq Clay(\%) < 40$ |
| (12) | $R^2 = 0.720$ | $EC_e = 3.519\,EC_{1:5} + 0.847$ | $40 \leq Clay(\%) < 50$ |
| (13) | $R^2 = 0.722$ | $EC_e = 4.195\,EC_{1:5} + 0.002$ | $50 \leq Clay(\%) < 60$ |
| (14) | $R^2 = 0.886$ | $EC_e = 5.092\,EC_{1:5} - 0.190$ | $60 \leq Clay(\%) < 70$ |
| (15) | $R^2 = 0.937$ | $EC_e = 3.721\,EC_{1:5} + 0.067$ | $70 \leq Clay(\%)$ |

يلاحظ من المعادلات السابقة أنّ فصل العينات حسب المحتوى من الطين يعطي نتائج جيدة للعينات ذات المحتوى المرتفع منه $Clay(\%) \geq 40$ أما العينات ذات المحتوى المنخفض من الطين فكان معامل الارتباط بين قيم $EC_e$ المقاسة والمستنتجة ضعيفاً.

وكخطوةٍ أخيرة، حُللت العينات باستعمال التحليل متعدد الطبقات (ANNs، Multilayer perceptron) المتضمنة في برنامج

SPSS كأحد أدوات التحليل الإحصائي.

حيث تمّ اختيار أربعة مدخلات، قيمة الناقلية الكهربائية للمستخلص 1:5 ($EC_{1:5}$)، ومحتوى التربة من الرمل والسلت والطين (%)، أما المخرج الوحيد فهو قيمة الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$). تمّ اختبار أشكال متعددة من بنية الشبكة تتراوح بين طبقة مخفية واحدة وطبقتين (Hidden layer)، كما تمّ تغيير عدد العناصر في كل طبقة من عنصرين إلى 50 عنصراً، فوجد أن أفضل أداء للأنموذج كان عند طبقة واحدة تتضمن خمسة عناصر، كما هو موضح في الشكل 4، وأن أية زيادة في عدد الطبقات المخفية أو عناصرها لن يُحسّن أداء الأنموذج بشكل معنوي.

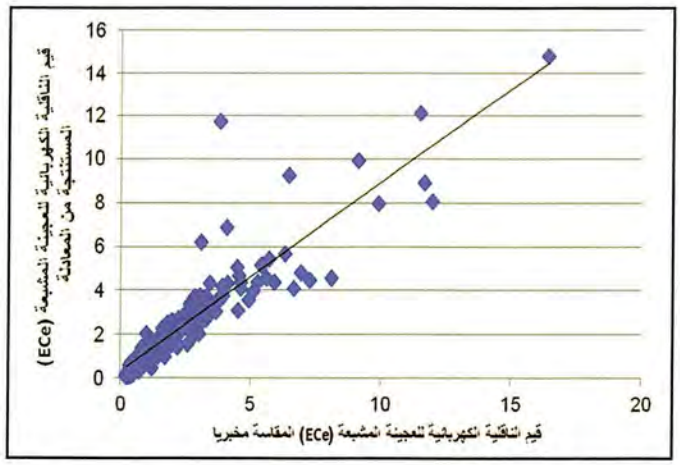



الشكل 4. بنية الشبكة العصبونية الاصطناعية المستعملة في تحليل العلاقة بين قيمة الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) وكل من قيمة الناقلية الكهربائية للمستخلص 1:5 ($EC_{1:5}$) ومحتوى التربة من الرمل والسلت والطين، باستعمال طريقة الشبكة متعددة الطبقات (Multilayer perceptron).

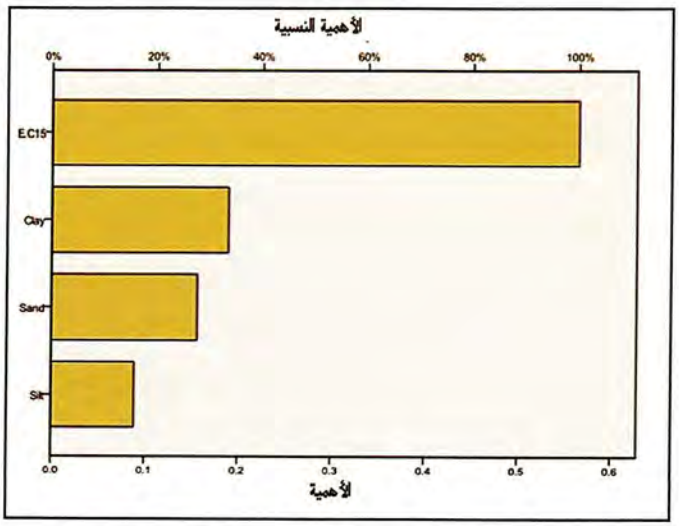
تبين من مقارنة القيم المستنتجة باستعمال الأنموذج السابق والقيم المقاسة أنّ معامل الارتباط ($R^2$) بلغ (0.883) (الشكل 5)، وتُعد هذه النتيجة أفضل من النتيجة التي تمّ الحصول عليها من المعادلة 3 التي تمّ فيها تحليل العينة كاملة دون أخذ التحليل الميكانيكي بعين الاعتبار، كذلك أفضل من تلك التي تمّ الحصول عليها عند أخذ التحليل الميكانيكي بعين الاعتبار (المعادلة 5) حيث بلغت قيم معامل الارتباط 0.667 و 0.692 على التوالي.

أما درجة أهمية كل معامل من المدخلات فإنّ برنامج SPSS يقوم بتحليله وإعطاء درجة حساسية الأنموذج لهذا المعامل كما هو موضح في الشكل 6، حيث لوحظ أنّ الأهمية بالدرجة الأولى كانت لقيمة $EC_{1:5}$، في حين كانت الأهمية النسبية أقل لنسبة الطين والرمل والسلت، والتي تراوحت بين 18 و 38 % من أهمية $EC_{1:5}$. وتنسجم هذه النتيجة تماماً مع المعادلتين 3 و 5 حيث أن إدخال نسب الطين والرمل والسلت في استنتاج قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) يُحسّن من معامل الارتباط بشكلٍ طفيف بالمقارنة مع عدم أخذها بعين الاعتبار.

تم في هذه الدراسة أيضاً بناء أنموذج باستعمال الشبكات العصبونية للعينات ذات قيم الناقلية الكهربائية للمستخلص الأقل من 1 فبلغ معامل الارتباط 0.867، وهي تساوي تقريباً معامل الارتباط في المعادلتين 6 و 7 الخاصتين بمجموعة العينات ($EC_{1:5}$ <1) نفسها. أما العينات المتبقية ($EC_{1:5}$ ≥1) فكان معامل الارتباط مساوياً 0.658 باستعمال الشبكة العصبونية، في حين بلغ 0.606 في طريقة التحليل متعدد المتحولات (المعادلة 9).

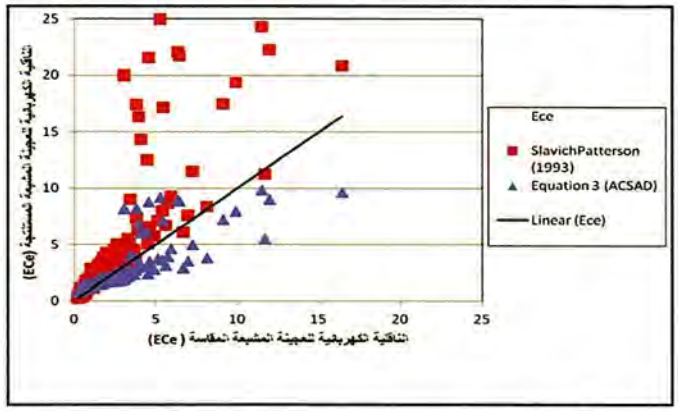



الشكل 5. مقارنة بين قيم الناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة ($EC_e$) المستنتجة باستعمال الشبكة العصبونية والمقاسة مخبرياً لجميع العينات ($dS.m^{-1}$).




الشكل 6. تحليل أهمية كل من $EC_{1:5}$ ونسبة الطين والرمل والسلت في استنتاج قيمة $EC_e$ باستعمال الشبكة العصبونية.

هناك ندرة في الدراسات التي أجريت على ترب من سورية، وبالتالي لتقويم أهمية هذه الدراسة تم مقارنة قيم $EC_e$ المستنتجة من المعادلة 3 مع القيم المستنتجة من معادلات موجودة في الدراسات المرجعية (Slavich و Petterson، 1993 )، ويتبين من الشكل 7 أن النتائج التي تم الحصول عليها باستعمال المعادلة 3 أفضل بكثير من تلك التي تمّ الحصول عليها من الدراسة المرجعية.




الشكل 7. مقارنة بين القيم المستنتجة للناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة، $EC_e$ ($dS.m^{-1}$) باستخدام المعادلة 3 وتلك المستنتجة من دراسة Slavich و Petterson (1993).

الاستنتاجات:

- تبين من خلال تحليل 253 عينة تربة، مأخوذة من مناطق مختلفة من سورية وجود ارتباط وثيق بين قيمة الناقلية الكهربائية لمستخلص التربة بنسبة 1:5 ($EC_{1:5}$) و قيمتها للعجينة المشبعة ($EC_e$)، وإن إدخال التحليل الميكانيكي في استنتاج المعادلة التي تربط بين $EC_{1:5}$ و ECe يُحسّن أحياناً من أداء هذه المعادلة، ولاسيما عندما كانت ($EC_{1:5} \geq 1$) أما في باقي الحالات فكانت التغيرات طفيفة في قيم هذا العامل، وبدا هذا الارتباط جلياً عند تحليل النتائج باستعمال الشبكات العصبونية.

- أظهرت طريقة النمذجة باستعمال الشبكات العصبونية كفاءةً أفضل بالمقارنة مع التحليل متعدد المتحولات، وذلك عند تحليل النتائج على مجموعة العينات كاملةً قبل تقسيمها. أما عند تقسيمها إلى مجموعات حسب قيم $EC_{1:5}$ فكان أداء الشبكات العصبونية مماثلاً للتحليل متعدد المتحولات لمجموعة العينات ($EC_{1:5} < 1$)، أما مجموعة عينات التربة ذات الناقلية الكهربائية ($EC_{1:5} \geq 1$) فكان أداء الشبكة العصبونية أكثر فاعلية من التحليل متعدد المتحولات.

- إنّ قيم $EC_e$ المستنتجة من الدراسة الإحصائية في هذا البحث بالاعتماد على قيم $EC_{1:5}$ أظهرت كفاءةً أفضل من القيم التي تمّ الحصول عليها بالاعتماد على دراسات مرجعية سابقة، وإن النماذج السابقة يمكن تحديثها عند توافر بيانات أو معاملات جديدة، وهذا ما يحث على إجراء المزيد من الدراسات من هذا النوع.

## المراجع


**B**ouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. Agron. J. 53: 464- 465.

**R**hoades, J. D. 1982. USA Methods of soil analyses, Part2, Chemical and microbiological properties-Agronomy monograph, No.9 (2nd Edition).

Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dep. Agric. Handb., No. 60.

**S**haw, R. J. 1988. Soil salinity and sodicity. In 'Understanding soils and soil data'. (Eds. I. F. Fergus.) (Australian Society of Soil Science Incorporated, Queensland Branch: Brisbane, Australia.) : 109- 134.

Slavich, P. G., and G. H. Petterson. 1990. Estimating solution extract salinity from paste electrical conductivity. An evaluation of procedures. Aust. J. Soil. Res. 28: 517 -522 .

Slavich P. G. and G.H. Petterson. 1993. Estimating the Electrical Conductivity of Saturated Paste Extracts from 1 : 5 Soil : Water Suspensions and Texture. Aust. J. Soil Res., 31: 73- 81

**T**alsma, T. 1968. Soil Salinity part 111. In 'Environmental Studies of the Coleambally Irrigation Area and Surrounding Districts'. Bulletin No. 2, Land Use Series Water Conservation and Irrigation Commission, NSW : 35- 48.