



تقدير بعض خصائص التربة المائية لمنطقة سهل الجفارة باستخدام تقنيات الشبكات العصبية الاصطناعية

محمد ميلاد دليوم¹، أحمد إبراهيم خماج²، يونس ضو الزليط²، يوسف محمد الغزيلي³

1- المركز الليبي للإستشعار عن بعد وعلوم الفضاء

2- قسم التربة والمياه- كلية الزراعة- جامعة طرابلس

3- قسم الجغرافيا- كلية الآداب - جامعة غريان

المستخلص

يعتبر التقدير المباشر لبعض خصائص التربة مكلف ويستغرق وقتاً طويلاً. وبالتالي، فإنه بالإمكان تقدير تلك الخصائص باستخدام بعض خصائص التربة المتاحة بسهولة عبر تقنية (Pedotransfer functions). في هذه الدراسة تم تطوير عدد من نماذج (Pedotransfer functions) عبر استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية، وذلك لتقدير بعض خواص التربة المائية من بعض خواص التربة الطبيعية، والتي يمكن إيجادها بسهولة لمنطقة سهل الجفارة. تم تجميع بيانات لعينات تربة مختلفة من عدة مواقع في منطقة سهل الجفارة وارادة في دراسات وتقارير ومشاريع أنجزت خلال فترات سابقة. استخدمت تلك البيانات لأجل تطوير نماذج لتقدير كل من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم والتوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي. تم تقسيم البيانات المجمعة إلى مجموعتين. خصصت المجموعة الأولى لعملية التدريب والمعايرة الداخلية. فيما استعملت بيانات المجموعة الثانية في اختبار نماذج الشبكات العصبية التي تم تطويرها، باستعمال بيانات لم يتم استخدامها في بناء تلك النماذج. وتم استخدمت معايير إحصائية لتقييم مدى دقة النماذج المطورة التي اشتملت على كل من متوسط الخطأ المطلق والجزر التربيعي لمتوسط الخطأ ومعامل ناش سات- كليف ومعامل التحديد وميل خط الانحدار البسيط الذي يصف العلاقة بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها للخواص التي تم دراستها. أوضحت النتائج أن نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية المطورة في هذه الدراسة لتقدير كل من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي كانت دقيقة في مرحلي التدريب والاختبار. توصي الدراسة باستخدام نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية المطورة محلياً لتقدير كل من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي لترب مناطق سهل الجفارة.

الكلمات الدالة: السعة الحقلية، نقطة الذبول الدائم، معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي، الشبكات العصبية الاصطناعية.

المقدمة

المراد تحديدها بمعرفة بعض الخواص الأخرى المعلومة للتربة. تعتبر تقنية ((Pedotransfer functions, (PTFs) أحد الأساليب المتبعة للتنبؤ بخواص التربة الطبيعية التي تتميز بالدقة العالية في التقدير مع قلة المدخلات التي تحتاجها، حيث أنها تنقل وتحول البيانات المتوفرة عن التربة مثل التوزيع الحجمي

لاحظ العديد من الباحثين وجود ارتباط كبير بين خواص التربة الطبيعية المختلفة، فلقد أوضح (Hillel, 1980) إنه بالإمكان تصنيف القيم التقديرية للخواص الطبيعية للتربة بالاعتماد على تصنيف قوام التربة، بحيث يمكن التكهّن ببعض الخواص

*للاتصال: محمد ميلاد دليوم، المركز الليبي للإستشعار عن بعد وعلوم الفضاء.

هاتف: +218913022669. البريد الإلكتروني: address:mm.aldrhopy@gmail.com

أجيزت بتاريخ: 2017/10/01

استلمت بتاريخ: 2017/7/25

تكون أكثر دقة. تمثل تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية من أهم التقنيات الحديثة التي تتمتع بالمرونة العالية والقدرة على التعامل مع البيانات المدخلة مقارنة بتقنيات تحليل الانحدار. تعتبر الشبكات العصبية الاصطناعية من أحدث الطرائق في استنباط العلاقات بين المتغيرات المختلفة عند عدم توفر علاقات تجريبية واضحة بين هذه المتغيرات (Ekhmaj, 2010). تتميز نماذج (PTFs) المطورة من تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية عن تلك المطورة من تقنية تحليل الانحدار (الخطي والانحدار غير الخطي) التقليدية كونها لا تتطلب صيغة محددة مسبقاً (Tabatabaei *et al.*, 2008). كما أوضح Merdun, (2006) أن الفائدة من استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية مقارنة بتحليل الانحدار الخطي، تكمن في عدم وجود نموذج محدد مسبقاً للشبكات العصبية الاصطناعية، مما يعطي حرية في اعتماد النموذج المناسب لوصف البيانات المدخلة. أما في حالة تحليل الانحدار فإن سلوك البيانات المدخلة يخضع لنموذج محدد. أشار (and Minasny, 2002) إلى أن طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية لا تحتاج افتراض نموذج محدد قبل إجراء التحليل. كما أوضح كل من (Ekhmaj, 2010) و (Jain, 2006) أن الشبكات العصبية الاصطناعية يمكن استخدامها بنجاح في تنبؤ بمعدلات الرش، ولاحظنا أن الشبكات العصبية الاصطناعية تعمل بشكل ممتاز حتى في حالة وجود عجز في البيانات المدخلة. استخدم (2006) (Najafi, كل من تقني الشبكات العصبية الاصطناعية وتحليل الانحدار، ولاحظنا أن الشبكات العصبية الاصطناعية كانت لها القدرة على تقدير الكثافة الظاهرية بالاعتماد على التوزيع الحجبي للحبيبات بدقة تفوق تقنية تحليل الانحدار. كما قام (Sarmadian and Mehrjardi, 2008) بنمذجة بعض خصائص الترب باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وتحليل الانحدار المتعدد في مقاطعة جورجيا في شمال إيران، وقد شملت خواص التربة المدروسة كل من السعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity والسعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم، وقد أظهرت النتائج أن نموذج الشبكات العصبية الاصطناعية باستخدام مدخلين في الطبقة الخفية

لحبيبات التربة، الكثافة الظاهرية والمسامية إلى بيانات تقديرية لخواص التربة الطبيعية الأخرى. استخدمت تقنيات (PTFs) للتنبؤ بالخصائص المائية للتربة، ومن أمثلتها تلك التي تستخدم للتنبؤ بالمحتوى الرطوبي للتربة عند قيم محددة للشد، حيث استخدمت من قبل كل من (Minasny, 1999; Larson, 1982; Gupta, 1979; Rawls, 1982) لتقدير المحتوى الرطوبي الحجبي في حدود 10-، 33 كيلوباسكال الموافق للسعة الحقلية و 1500- كيلوباسكال المقابلة لنقطة الذبول الدائم. كما يقدم نموذج (Merdun, 2006) مثلاً آخر على هذا النوع من الدوال، والذي اعتمد في اشتقاقه على استخدام النسب المئوية لكل من الرمل والصلت كمدخلات في نموذج رياضي من الدرجة الثانية، وذلك لتقدير المحتوى الرطوبي عند حدود شد لا تتجاوز 330 سم مما يمكن من تقدير المحتويات الرطوبية عند قيم محددة للشد. وبالرغم من أن هذا النموذج كان دقيقاً في حدود قيم الشد السابقة، إلا إنه لا يتطرق إلى قيم الشد العالية التي تصل إلى 15 باراً.

إن من أهم الدراسات وأكثرها شمولية حول (PTFs) ما قام به (Saxton *et al.*, 1986)، حيث تم استنباط معادلات تجريبية أسية من خلال تقنية تحليل الانحدار غير الخطي لأعداد كبيرة من البيانات التجريبية التي تتضمن كل من النسبة المئوية للرمل والصلت والطين وتقدير معالم هذه المعادلات لترب مختلفة بالولايات المتحدة الأمريكية. كما قام (Saxton and Rawls, 2006) بتطوير تلك المعادلات عبر إدخال بيانات العديد من الترب حول العالم، وتم برمجتها بحيث يمكن استخدامها من الحصول على قيم نقطية للمنحنى الرطوبي المميز للترب المختلفة.

وعلى الرغم من النتائج المرضية التي قد يتم الحصول عليها من النماذج السابقة، إلا أنها تظل دقيقة في حدود الترب المستنبطة منها تلك النماذج، وكذلك في حدود المحتويات الرطوبية التي تم استنباط العلاقات عندها، وقد تكون نتائج تقديراتها مختلفة في حال محاولة التنبؤ بالعلاقات لترب مختلفة عن تلك المستخدمة في الاستنباط. مما يستلزم البحث عن طرق بديلة

تقدير بعض خصائص التربة لمنطقة سهل الجفارة.....

الخواص هامة، ومن الواجب معرفتها من أجل التخطيط الجيد لإدارة التربة والنشاطات الزراعية المختلفة، ولتصميم وبرمجة عمليات الري بطريقة ناجحة وسليمة.

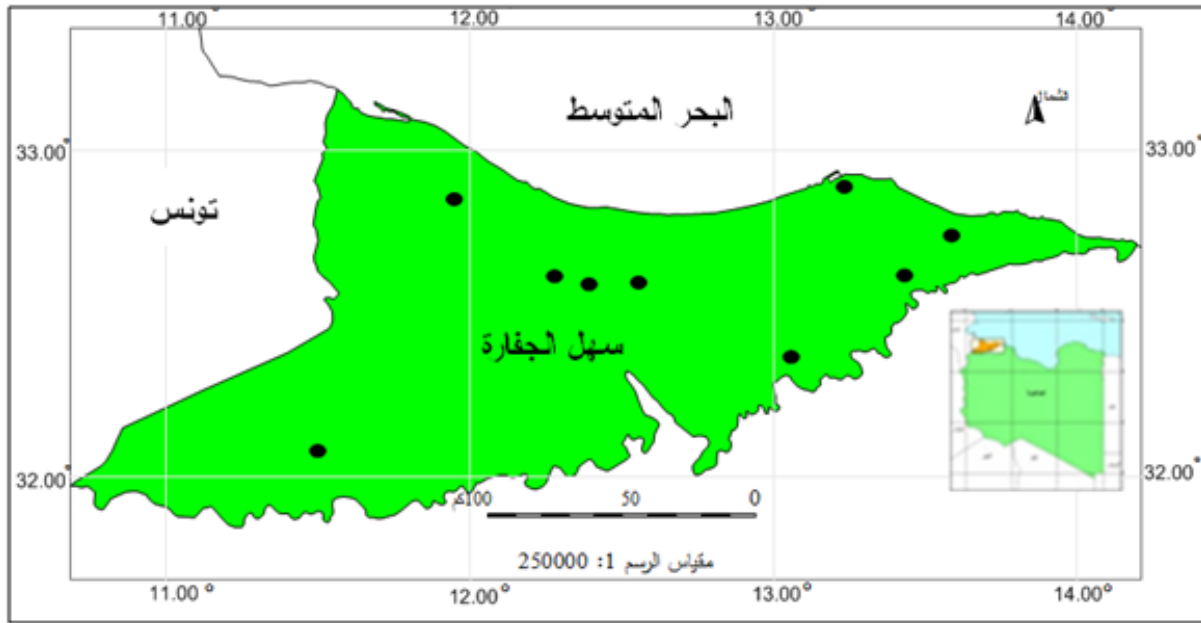
مواد وطرائق البحث

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في نطاق سهل الجفارة والواقع شمال غرب ليبيا شكل (1). حيث يعتبر سهل الجفارة من أهم المناطق الحيوية في ليبيا؛ إذ تتركز فيه كثافة سكانية عالية. كما تقارب المساحات المروية بالمنطقة حوالي نصف المساحات المروية في ليبيا (خماج والمحضي، 2015). تتصف تربة منطقة الدراسة عموماً بأنها ذات قوام رملي وحديثة التكوين. بالإضافة إلى إنها عديمة البناء، فإنها منخفضة الخصوبة ودريئة الاحتفاظ بالماء (بن محمود، 1995).

كانت أفضل أداء في التنبؤ بخواص التربة المدروسة مقارنة بالنماذج المستنبطة باستخدام تقنية تحليل الانحدار. أوضحت الدراسات الحديثة التي قام بها كل من (Lakzian *et al.*, 2010) و2011 (Keshavarzi *et al.*) أن استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية لتحديد السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم كانت أكثر دقة من تقنية تحليل الانحدار المتعدد. أشقت (Mohanty *et al.*, 2015) نموذجاً للشبكات العصبية الاصطناعية لتقدير السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم من بيانات متوفرة عن الرمل والسلت والطين والكثافة الظاهرية لعدد كبير من الترب في الهند، حيث وجدوا أن تقديرات الشبكات العصبية الاصطناعية كانت جيدة في مرحلة الاختبار، وأشاروا إلى إنه بالإمكان الاعتماد على تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية في تقدير السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم لهذه الترب.

تهدف هذه الدراسة إلى تقدير بعض خواص التربة المائية باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية. تشمل تلك الخواص كل من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي. تعتبر هذه

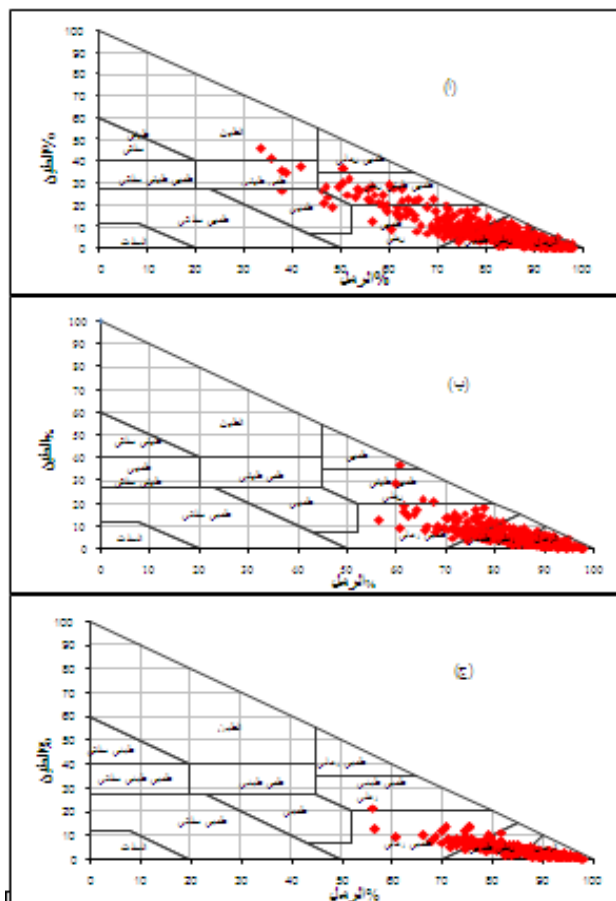


شكل 1. مواقع قاعدة بيانات الدراسة العينات في منطقة الدراسة.

مصادر البيانات وفرزها وتصنيفها

جمعت بيانات لبعض خواص التربة الطبيعية التي تم تقديرها لعينات تربة أخذت من منطقة الدراسة من أعماق مختلفة لقطاعات تربة ممثلة من دراسات سابقة أجريت في منطقة الدراسة، والتي قامت بها بعض الهيئات والمراكز البحثية بالإضافة إلى عدد من الدراسات الأكاديمية حول ترب المنطقة. تشمل هذه الدراسات كل من دراسة هيدرولوجت لمنطقة وادي الحي (1974) ودراسة هيدرولوجت لمنطقة القره بولي (1974)، والدراسة الفنية حول حصر وتصنيف الترب للمناطق الشمالية الغربية لليبيا (2007)، وكذلك بعض دراسات والمشاريع الزراعية عن منطقة سهل الجفارة لجهاز استثمار مياه منظومة جبل الحساونة الجفارة للنهر الصناعي والتي اشتملت دراسات التربة التفصيلية لمواقع أبو عائشة (1991)، ودراسات التربة التفصيلية لمواقع أبو شيبة (1991)، ودراسات التربة التفصيلية لمواقع وادي الأثل (1991)، دراسات التربة التفصيلية لمواقع رأس حمد (1991)، بالإضافة إلى الدراسة شبه التفصيلية لتربة محطة أبحاث جامعة طرابلس- كلية الزراعة (2007). يوضح الجدول (1) اسم الدراسة والجهة التي قامت بها، وسنة إجرائها، ومساحة منطقة الدراسة، وعدد العينات والخصائص التي تم قياسها. روعي تجانس التمثيل المكاني للبيانات بحيث تشمل كافة منطقة الدراسة، وأيضا تغطية مدى واسع من قوامات التربة السائدة في المنطقة، ويوضح شكل (2) تصنيف قوام الترب لعينات التربة مصدر البيانات.

شملت البيانات المجموعة عدد 802 عينة تربة ممثلة استخدمت للحصول على النماذج المستخدمة لتقدير المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية، ونقطة الذبول



شكل 2. نوعية قوام الترب (أ) السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم، (ب) التوصيل الهيدروليكي التشبعي، (ج) الماء الهيجروسكوبي.

الدائم والتي تمثل المجموعة الأولى في تقديرات السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم. تم استخدام بيانات لعدد 466 عينة تربة ممثلة من البيانات المجموعة للحصول على النماذج المستخدمة لتقدير معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي، كما استخدمت هذه البيانات -أيضا- في تقديرات السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم عند استخدام معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي كأحد المدخلات، وهي ما تمثل المجموعة الثانية في تقديرات السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم، وفيما يتعلق بتقدير الماء الهيجروسكوبي، فلقد استخدمت بيانات 289 عينة تربة في تطوير نماذج تقديرية لهذه الخاصية.

جدول 1. اسم الدراسة والجهة التي قامت بها وسنة إجرائها ومساحة منطقة الدراسة وعدد العينات والخصائص التي تم قياسها.

رم	عنوان الدراسة	جهة الدراسة	سنة الدراسة	مساحة منطقة الدراسة (هكتار)	الخصائص المدروسة وعدد البيانات
1	دراسة بئر الغنم	جهاز استثمار مياه منظومة مياه المساونة- الجفارة للنهر الصناعي	1991	90	السعة الحقلية (27) نقطة الذبول الدائم (27)
2	مزرعة كلية الزراعة	قسم التربة والمياه. كلية الزراعة. جامعة طرابلس	2007	72	السعة الحقلية (9) نقطة الذبول الدائم (9)
3	مشروع الجوش الزراعي	جهاز استثمار مياه منظومة مياه المساونة- الجفارة للنهر الصناعي.	1991	120	لسعة الحقلية (6) نقطة الذبول الدائم (6) التوصيل الهيدروليكي (3)
4	دراسة القره بولي	شركة هيدروبروجكت.	1974	1500	السعة الحقلية (74) نقطة الذبول الدائم (74)
5	دراسة وادي الاثل	جهاز استثمار مياه منظومة مياه المساونة- الجفارة للنهر الصناعي.	1991	150	السعة الحقلية (50) نقطة الذبول الدائم (50)
6	مشروع ابوعائشة	جهاز استثمار مياه منظومة مياه المساونة- الجفارة للنهر الصناعي.	1991	9000	السعة الحقلية (11) ، نقطة الذبول الدائم (11) التوصيل الهيدروليكي التشبعي (10)
7	مشروع ابوشيبية	جهاز استثمار مياه منظومة مياه المساونة- الجفارة للنهر الصناعي.	1991	240	السعة الحقلية (12) نقطة الذبول الدائم (12) التوصيل الهيدروليكي التشبعي (6)
8	دراسة الحدود الشمالية الغربية من ليبيا	الهيئة العامة للمياه	2007	12423	السعة الحقلية(31) نقطة الذبول الدائم (31) التوصيل الهيدروليكي التشبعي (13)
9	دراسة وادي الحي	شركة هيدروبروجكت.	1974	12000	السعة الحقلية(582) نقطة الذبول الدائم (582) التوصيل الهيدروليكي التشبعي (348) الماء الهيجروسكوبي (289)

والتي تضمنت 30% من البيانات الكلية، فلقد استخدمت لغرض تقييم واختبار النماذج المستنبطة من تقنية الشبكات العصبية والمتحصل عليها من مرحلة تدريب الشبكات العصبية الاصطناعية، وتجدر الملاحظة هنا بأنه قد حجت البيانات المستعملة في هذه المرحلة تماماً عن تلك المستخدمة في مرحلة التدريب.

يوضح الجدول (2) بعض الخصائص الإحصائية للبيانات المستخدمة في الدراسة. قسمت بيانات الخواص الطبيعية للتربة المجمععة إلى مجموعتين رئيسيتين وبنسب محددة. استخدمت المجموعة الأولى والتي تتضمن 70% من البيانات الكلية في مرحلة تدريب الشبكات العصبية الاصطناعية. للحصول على النموذج النهائي للشبكات العصبية الاصطناعية. أما مجموعة البيانات الثانية

جدول 2. بعض الخصائص الإحصائية للبيانات المستخدمة في تقدير كل من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي.

الماء الهيجروسكوبي %	التوصيل الهيدروليكي التشبعي (سم/ثانية)	نقطة الذبول الدائم %	السعة الحقلية %	المسامية %	الكثافة الظاهرية (جم/سم ³)	الطين %	السلت %	الرمل %	الخاصية الإحصائية
السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم المجموعة الأولى "عدد البيانات 802"									
----	----	8.6	23.0	40.5	1.6	10.4	5.9	83.8	المتوسط
----	----	27.1	42.5	54.7	1.8	35.5	45.6	97.9	القيمة العظمى
----	----	1.0	1.4	31.3	1.2	0.3	0.2	33.5	القيمة الصغرى
----	----	2.8	6.3	2.4	0.1	4.4	4.0	7.5	الإنحراف المعياري
السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي المجموعة الثانية "عدد البيانات 466"									
----	0.005	9.0	23.6	40.4	1.6	10.7	4.9	84.4	المتوسط
----	0.076	22.7	38.2	49.1	1.8	31.0	36.5	97.8	القيمة العظمى
----	0.001	1.0	2.1	31.3	1.4	0.3	0.2	56.5	القيمة الصغرى
----	0.004	2.5	5.2	2.2	0.1	3.9	2.6	5.8	الإنحراف المعياري
الماء الهيجروسكوبي المجموعة الثالثة "عدد البيانات 289"									
1.5	0.003	9.0	24.6	40.7	1.6	11.4	4.2	84.4	المتوسط
3.5	0.069	18.2	38.7	51.7	1.7	31.0	21.6	97.9	القيمة العظمى
0.5	0.001	2.7	14.4	36.0	1.4	1.8	0.3	56.0	القيمة الصغرى
0.5	0.004	3.0	5.4	2.4	0.1	4.9	2.7	7.1	الإنحراف المعياري

حيث أن: w_i الأوزان الرابطة بين شبكة المدخلات، x_i عقدة المدخلات، f دالة التفعيل للشبكة، Z قيمة المخرجات من الشبكة.

تتكون طبقة المخرجات من دوال عكسية تعمل على تقييم المخرجات وحساب الاختلافات بين النتائج والمدخلات بطريقة تسمح بإعادة عملية التقدير من جديد من أجل تحسين تقدير المتغيرات التابعة في النموذج، وتعد شبكة الانتشار العكسي (Backpropagation) من الطرق الواسعة الاستخدام لقبليتها على خزن المعلومات في الارتباطات التي تمثل أوزان الشبكة، والوصول إلى نسبة أقل خطأ ممكن (Farrokhzad *et al*, 2010).

تم استخدام أحد الأدوات الملحقة ببرنامج Matlab الإصدار 287.0.4.7 (Artificial Neural Network) (Demuth and Beale, 1998). لبناء النماذج المختلفة من الشبكات العصبية الاصطناعية المستخدمة في هذه الدراسة. تم اختيار عدد من المتغيرات المستقلة المتمثلة في بعض الخواص الطبيعية للتربة التي تم تجميعها لتمثيل المدخلات في الشبكات العصبية الاصطناعية. بحيث تمت هذه الخطوة خلال عدة محاولات، ففي كل محاولة يتم اختيار المتغيرات المستقلة، بحيث تزداد هذه المتغيرات في كل محاولة. تضمنت الخواص المختارة كل من قوام التربة المتمثل في التوزيع الحجمي لحبيبات التربة كنسبة مئوية (الرمل والصلت والطين) والكثافة الظاهرية والمسامية، ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والمحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم بالإضافة إلى الماء الهيجروسكوبي. فمثلاً عند تطوير نماذج تقدير السعة الحقلية تم إجراء المحاولة الأولى باستخدام قوام التربة والمسامية ونقطة الذبول الدائم، ثم في المحاولة الثانية استخدم قوام التربة والكثافة الظاهرية ونقطة الذبول الدائم، وهكذا إلى أن يتم الحصول على أفضل تقدير للسعة الحقلية وفقاً لنوع المدخلات المقترحة. تشكلت الشبكات العصبية الاصطناعية التي تم استخدامها في الدراسة من ثلاث طبقات وهي: طبقة المدخلات (Input

تطوير نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية:

تتكون بنية الشبكة العصبية الاصطناعية من عدد من الطبقات، تقوم كل طبقة بمهمة محددة قبل انتقال البيانات المعالجة إلى الطبقة الأخرى، وأهم هذه الطبقات هي طبقة المدخلات وطبقة المعالجة وطبقة المخرجات، وتتكون طبقة المدخلات (input layer) من مجموعة من الخلايا أو الوحدات تسمى بالعصبونات (neurons) والمثلة بالمتغيرات المستقلة بحيث توزع وترتبط تلك الخلايا أو الوحدات بعضها ببعض بواسطة الأوزان (weights)، تعد تلك الأوزان العامل الأساسي لتحديد نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية المستخدمة، وذلك عبر الطبقة المخفية (hidden layer) التي تحتوي بدورها على مجموعة من الوحدات تزيد من قدرة الشبكة على معالجة البيانات، وتمكن من إيجاد الحل الأمثل، وبالتالي تحسين أداء نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية، وتتكون الطبقة المخفية من مجموعة من الدوال التنشيطية، وهي عبارة عن معادلات رياضية بالإمكان استخدامها في تمثيل الطبقة المخفية، وتشمل تلك المعادلات على ثلاث دوال أساسية وهي الدالة الخطية linear function ويمكن كتابتها على النحو التالي:

$$\phi(z) = z \quad (1)$$

والدالة اللوجستية logistic function هي دالة غير خطية ومستمرة ذات مخرجات تتراوح قيمها محصورة بين (0-1)، ويمكن كتابتها على النحو التالي:

$$\phi(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (2)$$

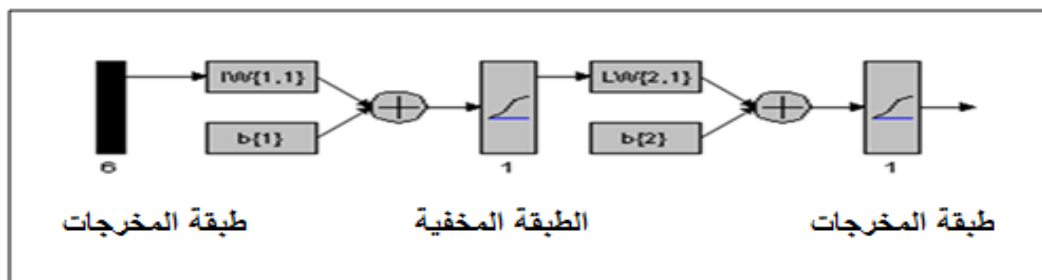
ودالة الظل الزائدية hyperbolic function هي دالة غير خطية يمكن كتابتها كما يلي:

$$\phi(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}} \quad (3)$$

حيث تمثل Z دالة في كل من المدخلات وأوزانها حيث تمثل رياضياً:

$$z = f(\sum_1^n w_i x_i) \quad (4)$$

(Layer)، والطبقة المخفية (Hidden Layer)، وطبقة المخرجات (Output Layer). يوضح الشكل (3) مثال لبنية شبكة عصبية اصطناعية بها ستة مدخلات وطبقة واحدة مخفية وطبقة واحدة للمخرجات.



شكل 3. مثال لشبكة عصبية اصطناعية من نوع (1:1:6) باستخدام

Neural Network Matlab Toolbox Artificial

الشبكة العصبية الاصطناعية (Farrokhzad et al, 2010). من خلال ملاحظة معايير تقييم النماذج المستنبطة وتقييم تأثير كل متغير على دقة النموذج، تم استبعاد المتغيرات التي لم تحدث تحسناً معنوي للنموذج، وذلك وفقاً لمعايير أداء الشبكات العصبية الاصطناعية التي اشتملت على مربع الخطأ عند مرحلة التدريب (Traning SSE)، وعدد المحاولات (Epochs)، وعدد المعلمات الفعالة (Effective Number of Parameter)، ومربع الأوزان عند مرحلة الاختبار (Test, Squared Weights).

تقييم كفاءة أداء النماذج: تم تقييم واختبار ومقارنة أداء ودقة النماذج المتحصل عليها من استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في المرحلتين (مرحلة التدريب ومرحلة الاختبار) باستخدام عدد من المعايير الإحصائية، وشملت هذه المعايير كل من متوسط الخطأ المطلق (MAE) المعادلة (5) والجذر التربيعي لمربع الخطأ (RMSE) المعادلة (6)، معامل ناش - ساتكليف (C²) المعادلة (7). تم استخدام تقنية تحليل الانحدار الخطي البسيط بافتراض أن الجزء المقطوع

تتكون طبقة المدخلات من مجموعة من الخلايا تمثل المتغيرات المستقلة في النموذج، على سبيل المثال النسبة المئوية للرمل والصلت والطين والمسامية والكثافة الظاهرية، بحيث تم توزيع وربط هذه المتغيرات ببعضها البعض بواسطة الأوزان (weights). تعد هذه الأوزان العامل الأساسي لتحديد نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية المستخدم، وذلك عبر الطبقة المخفية والتي تحتوي بدورها على مجموعة من الوحدات تزيد من قدرة الشبكة على معالجة البيانات المدخلة، وتمكن من إيجاد الحل الأمثل وتحسين أداء نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية المستخدم في هذه الدراسة. كما تم استخدام الدالة اللوجستية (Logistic function)، المعادلة (2)، غير الخطية والمستمرة التي يتراوح نطاقها ما بين (0-1) في تمثيل الطبقة المخفية شكل (3)، وذلك ملائمتها للقيم الحقيقية للخواص المراد دراستها. تم معالجة مخرجات دالة التنشيط (الدالة اللوجستية) في مرحلة التدريب باستخدام أسلوب الارتداد العكسي بالاعتماد على شبكة الانتشار العكسي (Backpropagation)، وذلك مرونتها العالية في تدريب

من المحور الصادي يساوي صفر لتقدير ميل العلاقة بين القيم المحسوبة بواسطة النموذج المختبر والقيم التجريبية، المعادلة (11). كما تم استخدام معامل التحديد (Determination Coefficient)، ويرمز له اختصاراً بالرمز R^2 ، الناتج من تحليل انحدار المعادلة (11) لتقييم أداء النماذج المختلفة. تمثل القيم المثالية لكل من (MAE) و (RMSE) الصفر حيث تتساوي فيه القيم الفعلية مع القيم المتنبأ بها، ويعبر عن وحدات كل من (MAE) و (RMSE)، بوحدات الخاصية المراد تقديرها.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (9)$$

حيث تمثل \bar{O} متوسط القيم الفعلية \bar{P} متوسط القيم المتنبأ بها.

تحليل الحساسية:

من الاعتقاد السائد أن نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية تعامل كصندوق أسود (Black box)، حيث أنها تجد الحلول والنتائج بدون شرح تلك الحلول أو طريقة الوصول إليها (برايس، 2000). إلا إنه من المفيد معرفة أن البيانات المستخدمة في تطوير نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية تحوي معلومات حول العمليات الفيزيائية التي تقوم بنمذجتها. وبالتالي بالإمكان تفسير نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية بأنها تمثل العمليات الفيزيائية التي تصفها عبر إجراء تحاليل مثل حساسية المدخلات مع المخرجات. لا توجد طريقة محددة مقبولة لاستخلاص أهمية قيم الأوزان في النموذج التدريبي للشبكات العصبية (Jain et al, 2008). في هذه الدراسة، تم إجراء تحليل الحساسية على نماذج الشبكات العصبية التي تم اختيارها وذلك لفهم أفضل للأهمية النسبية لتأثير كل مدخل على الخاصية المدروسة. استعملت طريقة (Garson et al, 1991)، والتي تكمن في ملاحظة التأثيرات التي تبديها المدخلات المختلفة على الخاصية المدروسة عبر تعديل أوزان المتغيرات بين طبقة الإدخال والطبقة المخفية وفقاً لتأثيراتها الإيجابية (positive effect) والمثبطة (inhibitive effect) وذلك وفقاً للمعادلة (10).

من المحور الصادي يساوي صفر لتقدير ميل العلاقة بين القيم المحسوبة بواسطة النموذج المختبر والقيم التجريبية، المعادلة (11). كما تم استخدام معامل التحديد (Determination Coefficient)، ويرمز له اختصاراً بالرمز R^2 ، الناتج من تحليل انحدار المعادلة (11) لتقييم أداء النماذج المختلفة. تمثل القيم المثالية لكل من (MAE) و (RMSE) الصفر حيث تتساوي فيه القيم الفعلية مع القيم المتنبأ بها، ويعبر عن وحدات كل من (MAE) و (RMSE)، بوحدات الخاصية المراد تقديرها.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} (P_i - O_i)^2} \quad (6)$$

حيث تمثل P_i القيم المتنبأ بها، و O_i القيم الفعلية للخاصية المراد تقديرها.

تدل قيمة معامل ناش- ساتكليف (C^2) التي تتساوي فيها الواحد أن النموذج له قدرة عالية على التنبؤ.

$$C^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{o}_i)^2} \quad (7)$$

حيث تمثل \bar{O} متوسط القيم الفعلية للخاصية المدروسة.

إن انحراف القيم المتنبأ بها بواسطة كل نموذج على حدة عن القيم التجريبية التي تم الحصول عليها من تقنيتي الشبكات العصبية الاصطناعية وتحليل الانحدار المتعدد، من الممكن كتابتها وفقاً لصيغة معادلة الانحدار الخطي كما يلي:

$$P_{predicted} = \alpha O_{measured} \quad (8)$$

حيث تمثل $P_{predicted}$ القيم المتنبأ بها سواء باستخدام نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية، كما تمثل $O_{measured}$ ، والتي تمثل القيم التجريبية أو المقاسة، أما α فإنها تمثل قيمة ميل العلاقة الخطية بين كل من

لأفضل النتائج التي تم الحصول عليها بعد إجراء العديد من المحاولات. ومن الملاحظ اختلاف أنواع الشبكات العصبية الاصطناعية الناتجة من عملية التحليل، حيث تراوحت من الأبسط (1:4:4) إلى الأكثر تعقيداً بنوع (1:10:7)، وهذا الاختلاف في نوع الشبكة العصبية الاصطناعية راجع بالأساس إلى تباين كفاءة معايير أداء النماذج المتحصل عليها. ففي المجموعة الثانية والتي يدخل فيها معامل التوصيل الهيدروليكي كأحد المدخلات، يلاحظ أن تأثير معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي في تقدير السعة الحقلية كان ضعيفاً، وقد يرجع السبب إلى أن قيم معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي لها ارتباط أكبر مع درجة اتصال المسام الكبيرة مع بعضها البعض وليس مع المسامية الكلية، إلا إن معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي يرتبط بدرجة كبيرة مع المسامية الفعالة والتي تمثل الفارق بين المسامية الكلية والرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية (Ahuja et al., 1984; 1989). توضح النماذج المستنبطة وقيم المعايير الإحصائية الناتجة أن هناك تأثيراً كبيراً لقيم نقطة الذبول الدائم في تحسين أداء النماذج المطورة، وهو ما يبدو واضحاً في قيم المعايير الإحصائية للنماذج (15) و (16) و (17) من الجدول (3)، وهو ما يعتبر منطقياً، خصوصاً إذا ما نظر إلى خصائص المنحنى الرطوبي المميز وعلاقته مع قوام التربة. كما يعزز هذا الاعتقاد تحسن أداء النماذج التي تم استخدام الماء الهيجروسكوبي كمتغير مستقل فيها، حيث كان أداء كامل المجموعة الثالثة مرتفعاً مقارنة بالمجموعتين الأولى والثانية. وتجدر الملاحظة هنا إلى إن استخدام قوام التربة كمدخلات فقط لم يقدم نتائج مرضية مقارنة بالنتائج الأخرى. بعد ما تم تطوير النماذج المختلفة لتقدير السعة الحقلية وفقاً لمجموعاتها المشار إليها سابقاً (في مرحلة التدريب)، تم اختبار تلك النماذج باستخدام

$$P_{ij} = w_{ij} \times w_{jk} \quad (10)$$

حيث تمثل p_{ij} التأثيرات الإيجابية أو المثبطة للأوزان في طبقة الإدخال والمدخلات، وتمثل w_{ij} أوزان المتغيرات بين طبقة المدخلات والطبقة المخفية. أما w_{jk} فإنها تمثل أوزان المتغيرات بين الطبقة المخفية وطبقة المخرجات. ويتم تحديد التأثير الكلي لكامل المدخلات المرتبطة بالطبقة المخفية باستخدام المعادلة التالية:

$$S_j = \sum_{i=1}^l P_{ij} \quad (11)$$

وبالتالي، تتم معايرة P_{ij} لكل متغير من المدخلات، باستخدام التأثير الكلي على كامل طبقة المدخلات (S_j) على النحو التالي:

$$P'_{ij} = \frac{P_{ij}}{S_j} \quad (12)$$

حيث تمثل P'_{ij} التأثيرات الإيجابية أو السلبية المعيارية للأوزان في طبقتي المدخلات والمخرجات. يتم حساب المساهمة الفردية لكل مدخل (S_i) باستخدام الجمع الجبري للمساهمة المعيارية لكل مدخل في كامل الطبقة المخفية، وذلك على النحو التالي:

$$S_i = \sum_{j=1}^m P'_{ij} \quad (13)$$

إن تقدير الأهمية النسبية لكل متغير في طبقة المدخلات لحساب الخاصية المدروسة (R_i) يتم حسابها وفقاً للمعادلة التالية:

$$RI_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^l S_i} \times 100 \quad (14)$$

حيث يعبر عن الأهمية النسبية لكل متغير في طبقة المدخلات لحساب الخاصية المدروسة (RI_i) كنسبة مئوية (%).

النتائج والمناقشة

يوضح الجدول (3) النماذج المستنبطة ومعايير التقييم المستخدمة لهذه النماذج خلال مرحلة التدريب، حيث تم اختيار المعادلات الموجودة ضمن كل مجموعة وفقاً

جدول 3. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة التدريب لتقدير السعة الحقلية (%).

المعادلة	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	α	MAE (%)	RMSE (%)	C^2
المجموعة الأولى							
15	الرمل - السلت - الطين - المسامية - نقطة الذبول الدائم	01:05:05	0.75	0.98	2.32	3.41	0.80
16	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - نقطة الذبول الدائم	01:10:05	0.79	0.98	2.19	3.18	0.82
17	الرمل - السلت - الطين - نقطة الذبول الدائم	01:06:04	0.67	0.977	2.68	3.80	0.75
18	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية	01:06:04	0.55	0.96	2.88	4.31	0.68
المجموعة الثانية							
19	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - المسامية - نقطة الذبول الدائم - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:10:07	0.79	0.98	1.81	2.5	0.83
20	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - المسامية - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:06:06	0.73	0.98	1.99	2.76	0.79
21	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:10:05	0.7	0.98	2.1	2.90	0.77
22	الرمل - السلت - الطين - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:04:04	0.52	0.97	2.59	3.45	0.67

الأهمية النسبية للمدخلات المختلفة لتقدير السعة الحقلية. ويلاحظ من خلال الجدول (5) أن الطين يستحوذ على النسبة الأعلى من الأهمية عند تقدير السعة الحقلية باستخدام نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية 15، 17، 18 و 19.

وعلى الرغم من انخفاض معايير الأداء لنماذج الشبكات العصبية عند تقدير السعة الحقلية بإدخال معامل التوصيل الهيدروليكي التشبيعي، إلا إن أهميته النسبية مرتفعة مقارنة بقوام التربة والكثافة الظاهرية وذلك من خلال النماذج 21 و 22. تكمن العلاقة الواضحة بين معامل التوصيل الهيدروليكي التشبيعي والسعة الحقلية

البيانات المستقطعة من البيانات الكلية والتي لم تستخدم في مرحلة تكوين النماذج "مرحلة التدريب". حيث كانت جميع النماذج المستنبطة عند مستويات متفاوتة في الكفاءة، في حين كان أسوأ هذه النماذج أداء هو النموذج (18). كانت معايير التقييم لهذا النموذج هي $RMSE$ ، MAE ، C^2 ، α ، R^2 تساوي 0.47 (%، 5.08 (%، 3.47، 0.98، 0.41، على التوالي، وذلك على النحو الموضح في الجدول (4). كما تؤكد النتائج في هذه المرحلة ما تم التوصل إليه سابقاً من إن معامل التوصيل الهيدروليكي التشبيعي قد يستخدم كأحد المدخلات في تقدير قيم السعة الحقلية للتربة. يوضح الجدول (5)

جدول 4. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة الاختبار لتقدير السعة الحقلية (%).

المعادلة	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	α	MAE (%)	RMSE (%)	χ^2
المجموعة الأولى							
15	الرمل - السلت - الطين - المسامية - نقطة الذبول الدائم	01:05:05	0.75	0.98	2.44	3.49	0.74
16	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - نقطة الذبول الدائم	01:10:05	0.72	0.98	2.49	3.62	0.73
17	الرمل - السلت - الطين - نقطة الذبول الدائم	01:06:04	0.62	0.96	2.96	4.24	0.63
18	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية	01:06:04	0.41	0.98	3.47	5.08	0.47
المجموعة الثانية							
19	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - المسامية - التوصيل الهيدروليكي - نقطة الذبول الدائم	01:10:07	0.86	0.98	1.68	2.14	0.87
20	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - المسامية - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:06:06	0.72	0.99	2.03	2.89	0.78
21	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:10:05	0.7	0.97	2.16	2.99	0.77
22	الرمل - السلت - الطين - التوصيل الهيدروليكي التشبيعي	01:04:04	0.65	0.99	2.13	3.04	0.97

المستنبطة لتقدير نقطة الذبول الدائم في مرحلة التدريب، والتي تم تقسيمها إلى مجموعتين. اشتملت المجموعة الأولى على أربع نماذج تختلف عن بعضها باختلاف المدخلات، وقد تم اختيار النماذج الموجودة ضمن كل مجموعة وفقاً لأفضل النتائج التي تم الحصول عليها بعد إجراء العديد من المحاولات، وذلك من خلال معايير الأداء والكفاءة للشبكات العصبية الاصطناعية أثناء مرحلة التدريب. تؤكد النتائج في مرحلة الاختبار جدول (7) ما تم التوصل إليه في مرحلة التدريب، حيث أوضحت مرحلة الاختبار تفاوتاً في مدى تحسن بقية النماذج. وباستثناء النموذج (24) الذي لم يحقق معايير أداء مقبولة في مرحلة التدريب، أظهرت نتائج مؤشرات تقييم الأداء أن نماذج المجموعة الأولى والثانية هي الأفضل.

من خلال تعريف المسامية الفعالة والتي تعرف على أنها المسامية الكلية مطروحاً منها المحتوى الرطوبي الحجمي عند السعة الحقلية (Ahuja *et al*, 1984). فلقد أظهر (Ahuja *et al*, 1984, 1989) أن هناك علاقة قوية بين المسامية الفعالة ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبيعي وذلك من خلال معادلة Kozeny-Carman والتي يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$K_{sat} = Bn_e^m \quad (23)$$

حيث تمثل K_{sat} معامل التوصيل الهيدروليكي التشبيعي (سم²/ثانية)، n_e تمثل المسامية الفعالة، بينما B و m ثوابت. تم استنباط نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لتقدير نقطة الذبول الدائم في كلا المرحلتين (مرحلتي التدريب والاختبار). يوضح الجدول (6) النماذج

تقدير بعض خصائص التربة لمنطقة سهل الجفارة.....

جدول 5. الأهمية النسبية (%) للمدخلات المختلفة لحساب السعة الحقلية (سم³/سم³).

رقم معادلة النموذج	الرمل (%)	السلت (%)	الطين (%)	الكثافة الظاهرية (جم/سم ³)	المسامية (%)	معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي (سم/ثانية)	نقطة الذبول الدائم (سم ³ /سم ³)
15	15.8	18.3	30.0	----	21.4	----	14.5
16	18.1	19.8	19.7	22.0	----	----	20.4
17	23.7	21.7	27.5	----	----	----	27.0
18	24.1	17.2	37.2	27.4	----	----	----
19	13.7	14.0	14.9	14.5	14.1	14.7	14.0
20	17.1	16.2	16.9	16.6	17.1	----	16.2
21	19.4	17.2	19.2	19.5	----	24.6	----
22	24.4	21.7	22.1	----	----	31.8	----

جدول 6. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة التدريب لتقدير نقطة الذبول الدائم (%).

رقم معادلة النموذج	ANNs مدخلات نموذج	نوع الشبكة	R ²	α	MAE (%)	RMSE (%)	ح ²
المجموعة الأولى							
24	الرمل-السلت-الطين-الكثافة الظاهرية	01:06:04	0.41	0.97	1.55	2.21	0.61
25	الرمل-السلت-الطين-الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية	01:10:05	0.59	0.95	1.35	1.94	0.7
26	الرمل-السلت-الطين-السعة الحقلية	01:20:04	0.6	0.95	1.35	1.92	0.71
المجموعة الثانية							
27	الرمل-السلت-الطين-المسامية-التوصيل الهيدروليكي التشبعي - السعة الحقلية	01:06:06	0.58	0.96	1.28	1.67	00.7
28	الرمل-السلت-الطين-المسامية-التوصيل الهيدروليكي التشبعي	01:06:05	0.5	0.96	1.33	1.79	0.66
29	الرمل-السلت-الطين-الكثافة الظاهرية - التوصيل الهيدروليكي التشبعي	01:05:05	0.38	0.95	1.42	1.92	0.61

المحتوى الرطوبي عند نقطة الذبول الدائم، ولم يكن يظهر تحسناً للنماذج المستنبطة. أظهرت نتائج تحليل الحساسية للمتغيرات الداخلة في حساب نقطة الذبول الدائم كما هو موضح بالجدول (8)، الأهمية النسبية المرتفعة لكل من التوزيع الحجبي لحبيبات التربة

مما يشير إلى إن استخدام قوام التربة مع الكثافة الظاهرية فقط كمدخلات لا يعطي نتائج يمكن الوثوق فيها لتقدير نقطة الذبول الدائم. وبالنظر إلى النماذج المستنبطة يمكن ملاحظة أن استخدام معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي لم يحقق نتائج جيدة في تقدير

التشبعي (سم/ثانية) على أربع معادلات تختلف عن بعضها باختلاف المدخلات جدول (9)، حيث تراوحت معايير الأداء لهذه النماذج لكل من MAE ، $RMSE$ ، C^2 ، R^2 ما بين (0.001- 0.002 سم / ثانية)) و (0.002 - 0.005 سم / ثانية)) و (0.94-0.63) و (0.95- 0.71) و (0.94- 0.57)، على التوالي.

والكثافة الظاهرية والسعة الحقلية. كما يشكل معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي أهمية نسبية مرتفعة تتراوح من 18.4% و 21.2% عند استخدامه كأحد المتغيرات الداخلة في حساب نقطة الذبول الدائم، إلا إن نسبة مساهمته تظل منخفضة إذا ما قورنت بمكونات التربة مجتمعة. اشتملت النماذج المختارة المستخدمة في استنباط نماذج تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي

جدول 7. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة الاختبار لتقدير نقطة الذبول الدائم (%).

رقم معادلة النموذج	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	A	MAE (%)	$RMSE$ (%)	C^2
المجموعة الأولى							
24	الرمل -السلت -الطين -الكثافة الظاهرية	01:06:04	0.31	0.96	1.83	2.59	0.55
25	الرمل -السلت -الطين -الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية	01:10:05	0.67	0.98	1.3	1.93	0.75
26	الرمل -السلت -الطين -السعة الحقلية	01:20:04	0.65	0.98	1.32	2.00	0.73
المجموعة الثانية							
27	الرمل - السلتي - الطين - المسامية - التوصيل الهيدروليكي التشبعي - السعة الحقلية	01:06:06	0.69	0.949	2.59	3.41	0.27-
28	الرمل -السلت -الطين -المسامية -التوصيل الهيدروليكي التشبعي	01:06:05	0.56	0.96	1.43	1.86	0.70
29	الرمل -السلت - الطين -الكثافة الظاهرية - التوصيل الهيدروليكي التشبعي	01:05:05	0.54	0.93	1.39	1.30	0.68

جدول 8. الأهمية النسبية (%) للمدخلات المختلفة لحساب نقطة الذبول الدائم (سم³/سم³).

رقم معادلة النموذج	الرمل (%)	السلت (%)	الطين (%)	الكثافة الظاهرية (جم/سم ³)	المسامية (%)	السعة الحقلية (سم ³ /سم ³)	معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي (سم/ثانية)
24	23.3	24.2	27.6	24.8	----	----	----
25	20.4	18.2	17.9	20.6	----	22.9	----
26	22.7	24.7	26.1	----	----	26.5	----
27	16.8	14.9	14.7	----	19.9	15.3	18.4
28	20.0	21.3	20.5	----	18.5	----	19.7
29	22.5	17.8	17.8	20.7	----	----	21.2

تقدير بعض خصائص التربة لمنطقة سهل الجفارة.....

أقل كفاءة من جميع النماذج الأخرى، حيث استخدم فيه نسبة الرمل والسلت والطين (القوام فقط) كمتغيرات مستقلة، مما يشير إلى أنه لا يمكن الاعتماد على القوام فقط من أجل الحصول على نماذج تقديرية موثوق بها. كما تجدر الملاحظة هنا أنه تم استبعاد النماذج التي يدخل الماء الهيجروسكوبي في مدخلاتها، لانخفاض مؤشرات الأداء لها أثناء مرحلتي التدريب والاختبار مما يشير إلى عدم أهمية الماء الهيجروسكوبي كأحد المدخلات التي يمكن استخدامها في تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي التثبيعي.

يتضح من خلال النتائج المعروضة في جدول (9) أن مدخلات النموذج (33) (التي تحتوي مدخلاتها على كل من النسبة المئوية للرمل والسلت والطين والمسامية) والنموذج (34) (التي تحتوي مدخلاتها على كل من النسبة المئوية للرمل والسلت والطين والكثافة الظاهرية والسعة الحقلية) كانت هي الأفضل حسب معايير الأداء الناتجة. وعلى الرغم من أن أداء المعادلة (32) (التي تحتوي مدخلاتها على كل من النسبة المئوية للرمل والطين والمسامية والسعة الحقلية) كان جيداً، إلا أنها تظل أقل كفاءة من النموذجين (33) و (34)، والتي أضيف لها الكثافة الظاهرية، كما كان النموذج (35)

جدول 9. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة التدريب لتقدير التوصيل الهيدروليكي التثبيعي (سم/ ثانية).

رقم معادلة النموذج	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	α	MAE (سم/ثانية)	RMSE (سم/ثانية)	C^2
32	الرمل - الطين - المسامية - السعة الحقلية	01:04:04	0.88	0.91	0.002	0.003	0.88
33	الرمل - السلط - الطين - المسامية	01:06:04	0.94	0.95	0.001	0.002	0.94
34	الرمل - السلط - الطين - الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية	01:06:05	0.94	0.95	0.001	0.002	0.94
35	الرمل - السلط - الطين	01:10:03	0.57	0.71	0.001	0.005	0.63

ثانية) ، (0.006 و 0.005 (سم/ ثانية)) ، (0.036 و 0.1) ، (1.36 و 1.06) ، (0.7 و 0.44)، على التوالي. يرجع السبب في تدني كفاءة أداء المعادلة (32) إلى عدم فعالية تأثير الكثافة الظاهرية للتنبؤ بمعامل التوصيل الهيدروليكي التثبيعي؛ حيث أنها ساهمت عند إدخالها كعامل إلى ترددي قيم معايير الأداء، وذلك على النحو الذي يمكن ملاحظته عند المقارنة مع قيم معايير الأداء للمعادلة (30). كما يمكن أن يعزى انخفاض قيم معايير الأداء للمعادلة (33) إلى قلة عدد المدخلات المستخدمة. يتضح من خلال الجدول (11) الأهمية النسبية المرتفعة للرمل مقارنة بمكونات التربة الأخرى، عند استخدامه كأحد المدخلات حساب معامل التوصيل الهيدروليكي

يوضح الجدول (10) النتائج المتحصل عليها لمعايير الأداء لمرحلة الاختبار لتقدير التوصيل الهيدروليكي التثبيعي (سم/ ثانية). على الرغم من أن النموذجين (32) و (33) كانا جيدين في تقديراتهما، إلا أن النتائج تظهر تدني تلك المعايير للنموذج (34) والذي ساهم فيها السعة الحقلية كأحد المدخلات مع الكثافة الظاهرية والتوزيع النسبي لحبيبات التربة والنموذج (35) والذي كان فيه التوزيع النسبي لحبيبات التربة المدخل الوحيد للنموذج. فلقد كانت قيم مؤشرات الأداء متردية وغير مقبولة، حيث كانت قيم كل من $RMSE$ ، MAE ، C^2 ، α ، R^2 لكلا النموذجين (34) و (35) تساوي 0.002 و 0.002 (سم/

جدول 10. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة الاختبار لتقدير التوصيل الهيدروليكي التشبعي (سم/ ثانية).

رقم معادلة النموذج	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	A	MAE (سم/ ثانية)	$RMSE$ (سم/ ثانية)	C^2
30	الرمل - الطين - المسامية - السعة الحقلية	01:04:04	0.71	0.86	0.002	0.003	0.65
31	الرمل - السلت - الطين - المسامية	01:06:04	0.78	1.1	0.002	0.003	0.65
32	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية	01:06:05	0.70	1.36	0.002	0.006	0.036
33	الرمل - السلت - الطين	01:10:03	0.44	1.06	0.002	0.005	0.1-

جدول (11) الأهمية النسبية (%) للمدخلات المختلفة لحساب معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي (مم/الساعة).

رقم معادلة النموذج	الرمل (%)	السلت (%)	الطين (%)	الكثافة الظاهرية (جم/سم ³)	المسامية (%)	السعة الحقلية (سم ³ /سم ³)
30	25.1		23.6		22.6	28.7
31	26.6	30.8	23.0		19.6	
32	21.2	19.0	20.7	18.5		20.6
33	34.1	35.7	30.2			

جدول 12. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة التدريب لتقدير الماء الهيجروسكوبي.

رقم معادلة النموذج	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	α	MAE	$RMSE$	C^2
34	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية - نقطة الذبول الدائم	01:03:06	0.95	0.99	0.11	0.15	0.91
35	الرمل - السلت - الطين - المسامية - السعة الحقلية - نقطة الذبول الدائم	01:20:06	0.93	0.99	0.099	0.13	0.93
36	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية	01:04:05	0.89	0.98	0.12	0.16	0.9
37	الرمل - السلت - الطين - الكثافة الظاهرية	01:06:04	0.89	0.98	0.12	0.16	0.9

دلالة واضحة على التوزيع الحجمي للمسام والذي يرتبط بدوره مع معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي. فلقد أشار (Ahuja et al, 1984 1989) إلى أن معامل التوصيل

التشبعي، حيث تراوحت النسبة المئوية لأهميته النسبية بين 21.2% و 34.1%. كما يلاحظ أيضا من الجدول (11) ارتفاع الأهمية النسبية للسعة الحقلية، والتي تعطي

تقدير بعض خصائص التربة لمنطقة سهل الجفارة.....

والكثافة الظاهرية والسعة الحقلية، ويلهم النموذج الرابع (37) بمدخلات أقل وهي النسبة المئوية للرمل والسلت والطين والكثافة الظاهرية. وعموماً فإن النماذج المطورة كانت جيدة ويمكن استخدامها في تقدير الماء الهيجروسكوبي بدقة لا تتفاوت بشكل كبير عنها في مرحلة التدريب. تؤكد نتائج مرحلة الاختبار جدول (13) ما تم التوصل إليه في مرحلة التدريب والتكوين من صلاحية النماذج المطورة لتقدير الماء الهيجروسكوبي، بحيث كانت قيم معايير الأداء جيدة بشكل عام، بقيم تراوحت لكل من MAE ، $RMSE$ ، C^2 ، α ، R^2 ما بين (0.1-0.14) و(0.18-0.20) و(0.85-0.87) و(0.99-1.01) و(0.825-0.85)، على التوالي. إلا إنه وعند المقارنة مع نتائج معايير الأداء في مرحلة التدريب يلاحظ الانخفاض البسيط لأداء تلك المعايير في هذه المرحلة، وبالرغم من ذلك بالإمكان اعتبار أن النماذج المستنبطة صالحة لتقدير الماء الهيجروسكوبي.

جدول 13. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة الاختبار لتقدير الماء الهيجروسكوبي.

رقم معادلة النموذج	المدخلات	نوع الشبكة	R^2	α	MAE	$RMSE$	C^2
34	الرمل - السلط - الطين - الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية - نقطة الذبول الدائم	01:03:06	0.85	1.00	0.1	0.20	0.86
35	الرمل - السلط - الطين - المسامية - السعة الحقلية - نقطة الذبول الدائم	01:20:06	0.84	0.99	0.14	0.18	0.87
36	الرمل - السلط - الطين - الكثافة الظاهرية - السعة الحقلية	01:04:05	0.83	1.01	0.14	0.20	0.85
37	الرمل - السلط - الطين - الكثافة الظاهرية	01:06:04	0.825	1.01	0.14	0.20	0.85

كل من دراسات (Tuller and Or, 2005) و (Petersen *et al.*, 1996) و (Banin and Ameil, 1970) و (Resurreccion 2011) إلى وجود علاقة قوية بين محتوى التربة من الطين والماء الهيجروسكوبي. إن ارتفاع المساحة السطحية النوعية للطين تؤدي إلى زيادة خطية في الماء الهيجروسكوبي (Banin and Ameil, 1970) و

الهيدروليكي التشبعي يرتبط بشدة مع المسامية الفعالة، والتي ترتبط مع المحتوى الرطوبي في التربة عند السعة الحقلية. يوضح جدول (12) النماذج الأربعة المختارة لتقدير الماء الهيجروسكوبي خلال مرحلة التدريب، حيث تراوحت نتائج معايير الأداء لهذه النماذج لكل من MAE ، $RMSE$ ، C^2 ، α ، R^2 ما بين (0.099 - 0.12 (%)) و(0.13 - 0.16 (%)) و(0.9 - 0.93) و(0.98 - 0.99) و(0.89 - 0.95)، على التوالي. ويتضح من خلال النتائج المتحصل عليها أن جميع النماذج كانت ذات أداء جيد إلا أن أفضلها كانت للنماذج التي تحتوي على عدد أكبر من المدخلات، وهي: النموذج الأول (34) الذي يحتوي مدخلاته على كل من النسبة المئوية للرمل والطين والكثافة الظاهرية والسعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم، والنموذج الثاني (35) ومدخلاته هي النسبة المئوية للرمل والسلت والطين والمسامية والسعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم، و النموذج الثالث (36) ومدخلاته كل من النسبة المئوية للرمل والسلت والطين

جدول 13. نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية لمرحلة الاختبار لتقدير الماء الهيجروسكوبي.

يوضح الجدول (14) الأهمية النسبية (%) للمدخلات المختلفة المستخدمة في تقدير الماء الهيجروسكوبي (سم³/سم³). تتضح الأهمية النسبية المرتفعة للطين مقارنة بالرمل في جميع النماذج المتحصل عليها، وهو ما يعطي دلالة واضحة على ارتباط وثيق بين الماء الهيجروسكوبي ومحتوى التربة من الطين. فلقد أشارت

للمحتوى الرطوبي في التربة عند السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ضمن أهم المتغيرات التي تدخل في تقدير الماء الهيجروسكوبي.

(Dirksen and Dasberg, 1993). كما يلاحظ من خلال الجدول (14) ارتفاع الأهمية النسبية لكل من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم في تقدير الماء الهيجروسكوبي مما يفسر إمكانية اعتبار التوزيع الحجمي

جدول 14. الأهمية النسبية (%) للمدخلات المختلفة لحساب الماء الهيجروسكوبي (سم³/سم³).

رقم معادلة النموذج	الرمل (%)	السلت (%)	الطين (%)	الكثافة الظاهرية (جم/سم ³)	المسامية (%)	السعة الحقلية (سم ³ /سم ³)	نقطة الذبول الدائم (سم ³ /سم ³)
36	14.5	16.9	18.6	15.6	---	18.2	16.2
37	16.3	15.7	16.5	---	16.3	16.8	18.4
38	18.8	18.3	20.2	23.5	---	19.2	---
39	21.4	23.8	25.4	29.0	---	---	---

الاستنتاج

تعتبر (pedotransfer functions) أحد الطرائق غير المباشرة المستخدمة في تقدير الخواص المائية للتربة صعبة القياس، وذلك لقدرتها على ربط العلاقة بين الخواص الطبيعية المختلفة للتربة بعضها ببعض. في هذه الدراسة تم الاعتماد على تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية كأحد تقنيات (pedotransfer functions) في بناء نماذج شبكات عصبية اصطناعية قادرة على التكهّن بالخواص الطبيعية للتربة مثل: السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي. وقد بينت نتائج تقييم النماذج المتحصل عليها أنها ذات كفاءة عالية في تقدير السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي والماء الهيجروسكوبي لأي تربة تقع في نطاق الخواص الطبيعية للتربة التي استخدمت في هذه الدراسة. وبذلك توصي هذه الدراسة بتبني النماذج المطورة فيها ليتم استخدامها محلياً.

المراجع

1. التقرير النهائي لدراسة هيدرولوجية. 1974. دراسة التربة التفصيلية القره بوللي. مجلس التنمية الزراعية. ليبيا.
2. التقرير النهائي لدراسة هيدرولوجية. 1974. دراسة التربة التفصيلية لوادي العي. مجلس التنمية الزراعية. ليبيا.
3. الدراسة الفنية حول حصر وتصنيف الأراضي للمناطق الشمالية الغربية الليبية. 2007. جهاز استثمار مياه النهر الصناعي.
4. الدراسة شبه التفصيلية لتربة محطة التجارب والأبحاث بجامعة طرابلس - كلية الزراعة. 2007. قسم التربة والمياه. كلية الزراعة. جامعة طرابلس. دراسة غير منشورة.
5. برايس، عباس. 2000. تطبيقات الشبكات العصبية الاصطناعية في الهندسة الإنشائية: نظرة عامة. مجلة جامعة الملك سعود. العدد 1 المجلد 12: 1-18.

- land management. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 699-702.
16. Banin, A. and Amiel, A. 1970. A correlative study of the chemical and physical properties of a group of natural soils of Israel. Geoderma 3, 180–198.
17. Demuth, H. and Beale, M. 1998. Neural network toolbox for use with MATLAB. The Math Works Inc. Natick. Mass, 422 pp.
18. Dirksen, C. and Dasberg, S. 1993. Improved Calibration of Time Domain Reflectometry. Soil Water Content Measurements. Soil Science Society of America Journal. Vol. 57: 660-667.
19. Ekhmaj, A.I. 2010. Predicting soil infiltration rate using artificial neural network. 2010. International conference on environmental engineering and application, Singapore, pp 117-121.
20. Farrokhzad, F.; Choobbasti, A. J.; and Barari, A. 2010. Artificial Neural Network Model for Prediction of Liquefaction Potential in Soil Deposits. International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 4. May 24-29-2010. San Diego. California. USA.
21. Garson, G.D. 1991. Interpreting neural network connection weights. Artif. Intel. Expert 6, 47–51.
22. Gupta, S.C and Larson, W.E. 1979. Estimating soil water characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resour. Res. 15,1633–1635.
6. بن محمود، خالد رمضان. 1995. التربة الليبية (تكوينها - تصنيفها - خواصها - إمكاناتها الزراعية) الهيئة القومية للبحث العلمي الطبعة الأولى.
7. خمّاج، أحمد إبراهيم و المحظي جمعة. 2015. مؤشرات استهلاك المياه لبعض المحاصيل في شمال غرب ليبيا. المجلة الليبية للعلوم الزراعية مجلد 20 عدد 1 - 2 ص ص (84- 95).
8. دراسات التربة التفصيلية لموقع أبو عائشة. 1991. جهاز استثمار مياه منظومة مياه الحساونة - الجفارة للنهر الصناعي.
9. دراسات التربة التفصيلية لمواقع أبو عائشة. 1991. جهاز استثمار مياه منظومة مياه الحساونة - الجفارة للنهر الصناعي.
10. دراسات التربة التفصيلية لمواقع أبو شيبة. 1991. جهاز استثمار مياه منظومة مياه الحساونة - الجفارة للنهر الصناعي.
11. دراسات التربة التفصيلية لمواقع وادي الأثل. 1991. جهاز استثمار مياه منظومة مياه الحساونة - الجفارة للنهر الصناعي.
12. دراسات التربة التفصيلية لمواقع رأس حمد. 1991. جهاز استثمار مياه منظومة مياه الحساونة - الجفارة للنهر الصناعي.
13. رشاد، ندوي خزل و زكي، عزة حازم. 2010. استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في تحليل الانحدار الخطي المتعدد تنمية الرافدين العدد 99 مجلد 32: ص ص (1-33)
14. Ahuja, L.R., Cassel, D.K.; Bruce, R.R. and Barnes, B.B. 1989. Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity data. Soil Sci. 148, 404-411.
15. Ahuja, L.R., Naney, J.W.; Green, R.E. and Nielsen, D.R. 1984. Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of

30. Minasny, B; McBratney, A.B and Bristow, K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma* 93,225-253.
31. Mohanty, M., Nishant, K.S., Painuli, D.K., Bandyopadhyay, K.K., Hati, K.M., Reddy, K.S., Chaudhary, R.S. 2015. Modelling soil water contents at field capacity and permanent wilting point using artificial neural network for indian soils. *Natl. Acad. Sci. Lett.* 38 (5), 373–377.
32. Petersen, L.W.; Moldrup, P.; Jacobsen, O.H. and Dolston D. 1996. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. *Soil Science* 161, 9–21.
33. Rawls, W.J and Brakensiek, D.L. 1982. Estimating soil water retention from soil properties. *J. Am. Soc. Civ. Eng. Irrig. Drain Div.* 108, 166-171.
34. Resurreccion, A.C.; Moldrup, P.; Tuller, M.; Ferre T.P.A; Kawamoto K.; Komatsu, T. and de Jonge, L. W. 2011. Relationship between specific surface area and the dry end of the water retention curve for soils with varying clay and organic carbon contents. *Water Resources Research* 47, W06522.
35. Sarmadian, F. and Mehrjardi, T. R. 2008. Modeling of some soil properties using artificial neural network and multivariate regression in gorgan province, north of Iran. *Global Journal of Environmental Research* 2: 30-35, 2008.
23. Hillel, D. 1980. *Fundamental of Soil physics.* Academic Press INC. New Work, pp 230.
24. Jain, A. and Kumar, A. 2006. An evaluation of artificial neural network technique for the determination of infiltration model parameters. *Applied Soft Computing*, 6: 272-282.
25. Jain, S. K.; Nayak, P. C. and Sudheer, K. P. 2008. Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation. *Hydrol. Process.* 22, 2225–2234.
26. Keshavarzi A, Sarmadian F, Labbafi R and Ahmadi A. 2011. Developing pedotransfer functions for estimating field capacity and permanent wilting point using fuzzy table lookup scheme. *Comput Inf Sci* 4(1):130–141.
27. Lakzian, A; Bannayan M. and Gorbanzadeh N. 2010. Comparison of pattern recognition, artificial neural network and pedotransfer functions for estimation of soil water parameters. *Not Sci Biol* 2(3):114–120.
28. Merdun.H., O. Cnar, R. Meral and M. Apan. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Till.Res.*, Vol. 90, pp 108-116.
29. Minasny, B and McBratney, A.B. 2002. The neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 352-362.

38. Tabatabaei, F.; Krause, M.; Fletcher, A. and Beck, R.: High- resolution Radio Continuum Survey of M 33: III. Magnetic Fields, *Astron. Astrophys.*, 490, 1005–1017, 2008.
39. Tuller, M. and Or, D. 2005. Water films and scaling of soil characteristic curves at low water contents. *Water Resour. Res.*, 41, W09403, doi:10.1029/2005WR004142.
36. Saxton, K.E; Rawls, W; Romberger, J. S and Papendick, R. I. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Trans. ASAE* 50:1031–1035.
37. Saxton, K. E. and Rawls, W. J. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1569 – 1578.



Estimation of Some Soil Hydraulic Characteristics of Jefara Plain Using Artificial Neural Networks

Mohamed Milad dulayoum¹, Ahmed Ibrahim Ekhmaj², Younes Daw Ezlit² and
Yousef Mohamed Elgzeli³

1- Libyan Center for Remote Sensing and Space Science, Tripoli, Libya

2- Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Libya

3- Department of Geography, Faculty of Art, University of Garian, Libya

Abstract.

Direct estimations of some soil properties are costly and time-consuming. Therefore, they can be estimated using some readily available soil characteristics through pedotransfer functions technique. In this study, a number of pedotransfer functions were developed by artificial neural networks to estimate some of the soil hydraulic characteristics from some physical soil properties, which can be easily obtained in the Jefara plain. Data were collected for different soil samples from several sites in Jefara plain area. These data were extracted from many studies, reports and projects during the previous periods and have been used to develop the models for estimating field capacity, permanent wilting point, saturated hydraulic conductivity and hygroscopic water. The collected data were divided into two groups. The first group included training and internal calibration. The second group of data which was not used in developing neural network models was used to test and evaluate these models. Many statistical parameters were used to assess the accuracy of the developed models. They included the mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), (RMSE %) and Nash and Sutcliffe Efficiency (NSE). The linear regression equation relating predicted data with measured data with intercept equals zero and determination coefficient (R^2) were also used for evaluation purpose. According to the statistical parameters of the evaluation criteria, the results revealed that the developed artificial neural networks models for estimating field capacity, permanent wilting point, saturated hydraulic conductivity and hygroscopic water provided reliable and high performance. However, the study strongly recommends using the developed models for estimating the field capacity, permanent wilting point, soil saturated hydraulic conductivity and hygroscopic water for Jefara Plain soil

Keywords: Filed Capacity, Permanent Wilting Point, Hydraulic conductivity, Artificial Neural Networks.

*Corresponding Author: Mohamed M. dulayoum. Libyan C. for Remote Sensing and Space Science, Tripoli, Libya. .

Phone: +218913022669.

Email: address:mm.aldrhopy@gmail.com

Received: 25/7/2017

Accepted: 01/10/2017