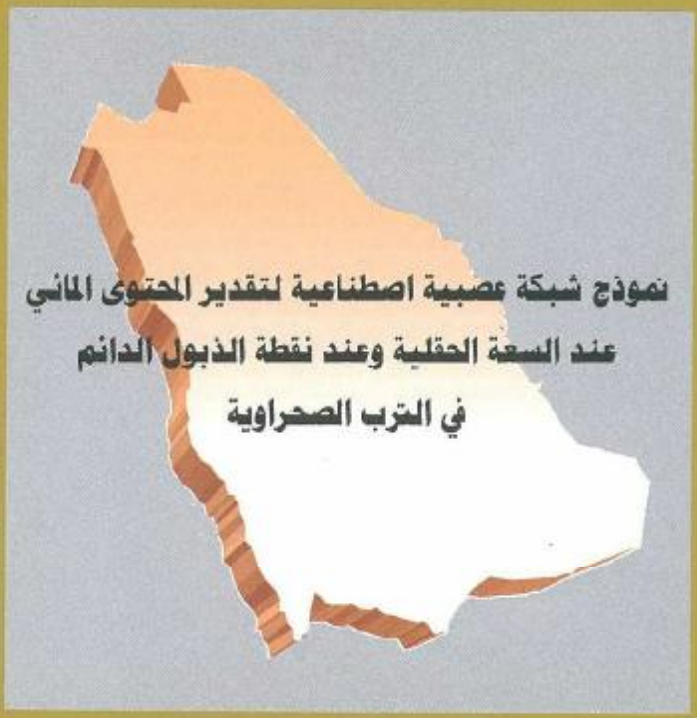
بحوث جغرافية

سلسلة محكمة دورية تصدرها الجمعية الجغرافية السعودية

٨٢



نموذج شبكة عصبية اصطناعية لتقدير المحتوى المائي عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم في الترب الصحراوية

د. ناصر بن عبد العزيز السعران

جامعة الملك سعود الرياض المملكة العربية السعود

١٤٢٨هـ ٢٠٠٧م

بحوث جغرافية

سلسلة محكمة دورية تصدرها الجمعية الجغرافية السعودية

٨٢

نموذج شبكة عصبية اصطناعية لتقدير المحتوى المائي عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم في الترب الصحراوية

د. ناصر بن عبد العزيز السعران

جامعة الملك سعود الرياض المملكة العربية السعودية

١٤٢٨هـ ٢٠٠٧م

ISSN 1018-1423
Key title =Buhut Gugrafiyya

مجلس إدارة الجمعية الجغرافية السعودية

أ.د. محمد شوقي بن إبراهيم مكي	رئيس مجلس الإدارة.
د. محمد بن صالح الربدي	نائب رئيس مجلس الإدارة.
د. عبد الله بن حمد الصليع	أمين السر.
د. محمد بن عبد الله الفاضل	أمين المال.
د. محمد بن عبد الحميد مشخص	رئيس وحدة البحوث والدراسات
د. عنبرة بنت خميس بلال	محررة النشرة الجغرافية
أ.د. علي بن محمد شيبان العريشي	عضو مجلس الإدارة.
د. معراج بن نواب مرزا	عضو مجلس الإدارة.
أ. محمد بن أحمد الراشد	عضو مجلس الإدارة.

ح الجمعية الجغرافية السعودية، 1428هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
السعران، ناصر بن عبد العزيز
نموذج شبكة عصبية اصطناعية لتقدير المحتوى المائي عند السنعة الحقلية..../ناصر بن عبد العزيز السعران -الرياض، 1428هـ
58 ص؛ 17×24سم-(سلسلة بحوث جغرافية؛82)
ردمك: 978-9960-9725-9-6
1- البيئة الصحراوية 2- التربة- تحليل أ. الجغرافيا- ب. السلسلة
ديوي 631.47 1428/6272
رقم الإيداع: 1428/6272
ردمك: 978-9960-9725-9-6

قواعد النشر في سلسلة بحوث جغرافية

1- يراعى في البحوث التي تتولى سلسلة بحوث جغرافية، نشرها ، الأصالة العلمية وصحة الإخراج العلمي وسلامة اللغة .

2- يشترط في البحث المقدم للسلسلة ألا يكون قد سبق نشره من قبل.

3- ترسل البحوث باسم رئيس هيئة التحرير.

4- تقدم جميع الأصول في هيئة رقمية مطبوعة على نظام MS WORD بيئات النوافذ (Windows) على ورق بحجم A4، ويترك فراع ونصف بين كل سطر وآخر بخط Al-Hotham للمتن وبالخط Monotype Koufi للعناوين، وبنط 16 أبيض للمتن وبنط 12 أبيض للهوامش (بنط أسود للآيات القرآنية والأحاديث الشريفة). ويكون الحد الأعلى للبحث [75] صفحة، والحد الأدنى [15] صفحة.

5- يرسل أصل البحث مع صورتين وملخص في حدود (250) كلمة بالغتين العربية والإنجليزية.

6- يراعى أن تقدم الأشكال مرسومة بالحبر الصيني على ورق (كلك) مقاس 13×18سم وترفق أصول الأشكال بالبحث، أو أن تقدم في هيئة رقمية تقرأ بالحاسب الآلي، ويشترط أن يكون الشكل تام الوضوح، وأصل وليس صورة.

7- ترسل البحوث الصالحة للنشر والمختارة من قبل هيئة التحرير إلى محكمين اثنين- على الأقل- في مجال التخصص من داخل أو خارج المملكة قبل نشرها في السلسلة.

8- تقوم هيئة تحرير السلسلة بإبلاغ أصحاب البحوث بتاريخ تسلم بحوثهم. وكذلك إبلاغهم بالقرار النهائي المتعلق بقبول البحث للنشر من عدمه مع إعادة البحوث غير المقبولة إلى أصحابها.

9- يمنح كل باحث أو الباحث الرئيسي لمجموعة الباحثين المشتركين في البحث خمساً وعشرين نسخة من البحث المنشور .

10- تطبق قواعد الإشارة إلى المصادر باستخدام نظام (اسم / تاريخ)، ويقتضي هذا النظام الإشارة إلى مصدر المعلومة في المتن بين قوسين باسم المؤلف متبوعاً بالتاريخ ورقم الصفحة. وإذا تكرر المؤلف في مرجعين مختلفين ولكن لهما التاريخ نفسه يميز أحدهما بإضافة حرف إلى سنة المرجع. أما في قائمة المراجع فيستوجب ذلك ترتيبها هجائياً حسب نوعية المصدر كالتالي :

أ- الكتـــــب: يذكر اسم العائلة للمؤلف (المؤلف الأول إذا كان للمرجع أكثر من مؤلف واحد) متبوعاً بالأسماء الأولى، ثم سنة النشر بين قوسين، ثم عنوان الكتاب، فرقم الطبعة -إن وجد- ثم الناشر، وأخيراً مدينة النشر. ويفصل بين كل معلومة وأخرى فاصلة مقلوبة.

ب- الدوريـــــات: يذكر اسم عائلة المؤلف متبوعاً بالأسماء الأولى، ثم سنة النشر بين قوسين، ثم عنوان المقالة، ثم عنوان الدورية، ثم رقم المجلد، ثم رقم العدد، ثم أرقام صفحات المقال، (ص ص 5- 15).

ج- الكتب المحررة: يذكر اسم عائلة المؤلف متبوعاً بالأسماء الأولى، ثم سنة النشر بين قوسين، ثم عنوان الفصل، ثم يكتب (فيin) تحتها خط، ثم اسم عائلة المحرر متبوعاً بالأسماء الأولى، وكذلك بالنسبة للمحررين المشاركين، ثم (محرر .ed أو محررين .eds) ثم عنوان الكتاب، ثم رقم المجلد، فرقم الطبعة، وأخيراً الناشر، فمدينة النشر.

د- الرسائل غير المنشورة: يذكر اسم عائلة المؤلف متبوعاً بالأسماء الأولى، ثم سنة الحصول على الدرجة بين قوسين، ثم عنوان الرسالة، ثم يحدد نوع الرسالة (ماجستير/دكتوراه)، ثم اسم الجامعة والمدينة التي تقع فيها.

11- تستخدم الهوامش فقط عند الضرورة القصوى وتخصص للملاحظات والتطبيقات ذات القيمة في توضيح النص.

تعريف بالباحث: د. ناصر بن عبد العزيز السعران، أستاذ مشارك، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود. بريد الكتروني: alsaaran@ksu.edu.sa ، الموقع على الانترنت: http://faculty.ksu.edu.sa/alsaaran

الملخص

تعد سعة ماء التربة المتاح للنبات من أهم محددات مدى صلاحية التربة للزراعة، وينبني عليها حساب عمق الري المطلوب وجدولة مواعيد الري. ويتطلب حساب سعة ماء التربة المتاح للنبات معرفة المحتوى المائي في التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم. إلا أن عمليات قياس هاتين الخاصيتين، سواء في الحقل أو في المختبر، مضنية ومكلفة مادياً مما حدى بالمختصين في هيدروليكية التربة إلى تطوير نماذج رياضية لتقدير هاتين الخاصيتين كدالة في الخصائص الفيزيائية للتربة الأسهل قياساً والأقل تكلفة. ونظراً لعدم توفر نماذج رياضية معايرة وموثقة لتقدير هاتين الخاصيتين للترب الصحراوية في المملكة العربية السعودية، فقد تم في هذه الدراسة تطوير ومعايرة واختبار نموذجاً رياضياً لتقدير هاتين الخاصيتين للترب الصحراوية في المملكة العربية السعودية كدالة في الكثافة الظاهرية والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية ذات القدرة العالية على نمذجة علاقات معقدة للغاية واستخلاص أكبر قدر ممكن من المعلومات المتوفرة في المتغيرات المستقلة دون الحاجة للمعرفة المسبقة بنوع العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة. كما قرنت تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية مع تقنية أخذ العينات بالإستبدال لإنتاج تقديرات لعدم التأكد من مخرجات النموذج.

وقد جمع لهذا الغرض ١٤٥ عينة تربة من الأقاليم الفزيوغرافية الرئيسة في المملكة العربية السعودية وتحليلها في المختبر لتحديد الكثافة الظاهرية والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة والمحتوى المائي في التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة

الذبول الدائم لهذه العينات باستخدام الطرق القياسية. ولغرض التحقق من الثقة بالنموذج فقد قسمت العينات بطريقة عشوائية إلى قاعدة بيانات معدة لمعايرة النموذج مكونة من ١٠٠ عينة و قاعدة بيانات أخرى مستقلة مكونة من ٤٥ عينة لقياس مدى الوثوق بتقديرات النموذج. ولتقييم الأداء التجريبي للنموذج فقد قيست الانضباطية والثقة بالنموذج كمياً، بمعامل التحديد ومتوسط الخطاء والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطاء بين القيم المقدرة والقيم المقاسة.

ودلت إحصاءات قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم على تباين ضئيل للقيم المقدرة ومستوى عالي من التأكد. أما القيم العالية لمعاملات التحديد والقيم المتدنية لمتوسط الخطاء والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطاء فقد دلت على إنضباطية وثقة عالية بالنموذج.

١- مقدمة:

تعتمد صلاحية التربة للزراعة على مقدرة التربة على الإحتفاض بالماء بين حبيباتها بصورة يمكن للنبات أن يمتصها، وهو مايعرف بمصطلح سعة الماء المتاح available water capacity (Bouma, 1989; Sys et al., 1991). فسعة الماء المتاح في التربة يعتمد عليها تحديد عمق الري المطلوب required irrigation depth وجدولة مواعيد الري (Hansen et al., 1980; Pachepsky et al., 2006). وتُعرّف سعة الماء المتاح في التربة بالفارق بين المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة volumetric soil moisture content عند السعة الحقلية field capacity والمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم permanent wilting point (Cassel and Nielsen, 1986):

$$AWC = \theta_{FC} - \theta_{PWP} \quad (١)$$

حيث أن:

AWC = سعة الماء المتاح (سم^٣/سم^٣)،

θ_{FC} = المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية (سم^٣/سم^٣)،

θ_{PWP} = المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم (سم^٣/سم^٣).

ويعرف المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية بأنه المحتوى الرطوبي الحجمي المحتفظ به في التربة بعد تصريف الماء الزائد بفعل الجاذبية الأرضية (ماء الجاذبية) وتدني معدل حركة الماء إلى الأسفل في التربة بشكل كبير، وعادة مايكون ذلك بعد يومين أو ثلاثة من الري أو سقوط المطر (Cassel and

(Nielsen, 1986; Hansen et al., 1980). وكمياً يُعرف المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية بأنه المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عندما يكون جهد ماء التربة soil water potential نحو - ٣٣ جول/كجم وهو ما يعادل - ٣/١ بار أو - ٣٣٣سم (Cassel and Nielsen, 1986; Hansen et al., 1980). أما المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم فيعرف بأنه المحتوى الرطوبي الحجمي المحتفظ به في التربة الذي يتم عنده ذبول النبات بحيث لم يعد يستطيع النبات استرجاع وضعه السابق عندما يوضع في هواء مشبع ببخار الماء لمدة ١٢ ساعة (Hansen et al., 1980; Cassel and Nielsen, 1986)، وعادة تؤخذ بأنها المحتوى الرطوبي الحجمي المحتفظ به في التربة عندما يكون جهد ماء التربة نحو - ١٥٠٠ جول/كجم وهو ما يعادل - ١٥ بار أو - ١٥٠٠٠سم (Hansen et al., 1980; Cassel and Nielsen, 1986).

ومع أن هناك العديد من الأساليب الحقلية والمعملية لقياس المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم (Cassel and Nielsen, 1986)، إلا أن عملية القياس مضنية ومكلفة مادياً وتتطلب ساعات عمل طويلة (van Alphen et al., 2001; Schaap et al., 2001; Wösten et al., 2001; Minasny and McBratney, 2002a; Rajkai et al., 2004; Børgesen and Schaap, 2005; Merdun et al., 2006; Pachepsky et al., 2006). وعندما يؤخذ في الحسبان التباين المكاني الكبير لهاتين الخاصيتين والذي يحتم أخذ المزيد من القياسات للحصول على تمثيل واقعي للظروف الحقلية، فإن تكلفة القياس تتعاظم بشكل يجعلها غير مجدية اقتصادياً (Nielsen et al., 1973; Schaap et al., 2001; Minasny and McBratney, 2002a; Merdun et al., 2006; Pachepsky et al., 2006). لذلك لجاء المختصون في هيدرولوكية

التربة إلى تطوير نماذج رياضية لتقدير المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم، وغيرهما من الخصائص الهيدرولوكية للتربة، كدالة في الخصائص الفيزيائية للتربة الأسهل قياساً والأقل تكلفة مثل التوزيع الحجمي لحبيبات التربة particle-size distribution والكثافة الظاهرية bulk density مثل النماذج التي قدمها Clapp and Hornberger, (1978) و Ghosh, 1980 و Arya and Paris (1981) و Rawls and Brakensiek, (1882) و Cassel et al., (1983) و Cosby et al., (1984) و Haverkamp and Parlange, (1986) و Russo, (1988) و Rawls et al., (1991) و Nandagiri and Prasad, (1997) و Arya et al., (1999) و Rawls et al., (1992) و Hwang and Powers, (2003) و Børgesen and Schaap, (2005) و Ungaro et al., (2005).

وتعرف هذه النماذج في أدبيات التخصص باللغة الانجليزية بمصطلح pedotransfer functions (PTF) منذ أن استخدمه بوما Bouma (1989) لأول مرة وعرفه على أنه النموذج الذي يحول البيانات المتوفرة لدينا إلى البيانات التي نحتاجها.

وتصنف نماذج تقدير الخصائص الهيدرولوكية للتربة إلى نماذج لتقدير الخاصية عند قيم محددة وتعرف بمصطلح point pedotransfer functions، ونماذج لتقدير المعاملات parameter pedotransfer functions. فالنوع الأول يقوم بالتقدير المباشر لخاصية معينة مثل المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند جهد مائي محدد مثل السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم كنماذج Gupta and Larson, (1979) و Baumer and Brasher, (1982) و Rawls et al., (1982) و Saxton et al., (1986) و Vereecken et al., (1989) و Rawls et al., (2001) و Givi et al., (2004) و Børgesen and

Schaap, (2005) و Merdun et al., (2006) ، أو المحتوى الرطوبي للتربة عند التشبع بالماء saturated moisture content مثل نماذج Wösten et al., (1999) و Rajkai et al., (2004) و Merdun et al., (2006) ، أوالتوصيل الهيدروليكي للتربة المشبعة saturated hydraulic conductivity مثل نماذج Jaynes, and Tyler, (1984) و Campbell, (1985) و Puckett et al., (1985) و Jabro, (1992) و Wösten et al., (1999) و Schaap et al., (2001) و Merdun et al., (2006) ، أوالتوصيل الهيدروليكي للتربة غير المشبعة saturated hydraulic conductivity عند جهد ماتري matric potential معين مثل نماذج Vereecken et al., (1990) و Stolte et al., (1994) و Vereecken, (1995) و Jarvis et al., (2002).

أما النوع الثاني من نماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية فتقدر معاملات المعادلات ذات الطابع المغلق closed-form equations التي تصف :

أ. منحنى الإحتفاظ برطوبة التربة soil-water retention curve الذي يمثل قيم المحتوى الرطوبي للتربة عند القيم المختلفة للجهد الماتري، مثل معادلة Brooks and Corey (1964) ومعادلة Campbell (1974) ومعادلة van Genuchten (1980) مثل نماذج Wösten and van Genuchten, (1988) و Vereecken et al., (1989) و Schaap and Bouten, (1996) و Schaap et al., 1998 و Tomasella and Hodnett, (1998) و Minasny et al., (1999) و Wösten et al., (1999) و Schaap et al., (2001) و Rajkai et al., (2004) و Børgesen and Schaap, (2005) و Merdun et al., (2006).

ب. منحنى التوصيل الهيدروليكي للتربة غير المشبعة unsaturated conductivity curves الذي يمثل قيم التوصيل الهيدروليكي للتربة غير المشبعة عند القيم المختلفة للتشبع الفعال effective saturation ، مثل معادلة Gardner (1958) و معادلة Mualem-van Genuchten كنماذج Schaap et al., (1998) و Wösten et al., (1999) و Schaap et al., (2001) و van Alphen et al., (2002).

وقد ساعد على تطوير العديد من نماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة توفر العديد من قواعد البيانات الضخمة للخصائص الفيزيائية والهيدروليكية للتربة مثل قاعدة البيانات UNSODA 1.0 (Leij et al., 1996) و UNSODA 2.0 (Nemes et al., 2001) لترب أمريكا الشمالية وأوربا، وقاعدة البيانات HYPRES (Wösten et al., 1999) لترب أوربا، وقاعدة البيانات IGBP-DIS (Tempel, et al., 1996) للترب على مستوى العالم، وقاعدة البيانات US National Soil Characterization (Soil Survey Staff, 1997) لترب الولايات المتحدة الأمريكية. ومع أن العديد من نماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة موثقة بشكل جيد ومتوفرة على شكل برامج حاسوبية مثل SOILPROB (Environmental Systems and Technologies, 1990) و MUUF (Baumer et al., 1994) و Rossetta (Schaap et al. 2001) و NeuroTheta (Minasny and McBratney 2003) و SOILPAR 2.00 (Acutis and Donatelli, 2003)، إلا أن الطبيعة التجريبية empirical لهذه النماذج تجعل أدائها متباين بشكل كبير ويعتمد بشكل أساسي على مدى تشابه خصائص الترب التي استخدمت لتطوير النموذج مع خصائص التربة التي يطبق عليها النموذج بغرض

التقدير (Hutson and Cass, 1987; Schaap and Leij, 1998; Mayr and Jarvis, 1999; Young et al., 1999; Cornelis et al., 2001; Wagner et al., 2001; Wösten et al., 2001; Hodnett and Tomasella, 2002; Givi et al., 2004; Bouma, 2006; Pachepsky et al., 2006; Mermoud and Xu, 2006). لذلك نجد أن الباحثين لا يستخدمون هذه النماذج خارج النطاق الجغرافي للترب التي أستخدمت لتطوير النموذج إلا بعد اختبار أدائها التجريبي على التربة التي يراد أن يطبق عليها النموذج بغرض التقدير، مثل Bastet et al., (1997) في فرنسا، و Wagner et al., (1998) و Wagner et al., (2001) في المانيا، و Young et al., (1999) في الأقاليم شبه الصحراوية بأفريقيا، و Tomasella et al., (2000) في البرازيل، و Rawls et al., (2001) في جنوبي الولايات المتحدة، و Ungaro and Calzolari, (2001) في شمالي ايطاليا، و Wösten et al., (2001) في ولاية اوكلاهوما بالولايات المتحدة، و van Alphen et al., (2001) في هولندا، و Givi et al., (2004) في ايران، و Børgesen and Schaap, (2005) في الدنمارك، و Walczak et al., (2006) في اسبانيا. أما عندما تكون خصائص التربة التي يراد أن يطبق عليها النموذج بغرض التقدير مختلفة بشكل كبير عن خصائص الترب التي استخدمت لتطوير النموذج، فإنه لا بد من تطوير ومعايرة واختبار نموذج جديد للترب قيد الدراسة (van den Berg et al., 1997; Minasny et al., 1999; Young et al., 1999; Hodnett and Tomasella 2002; Mugabe 2004). وحيث أن نماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة الموثقة بشكل جيد قد طورت باستخدام قواعد بيانات لترب أقاليم رطبة في امريكا الشمالية وأوربا واستراليا، فإن أداء هذه النماذج لتقدير الخصائص الهيدروليكية للترب الجافة يكون متدنياً، وذلك راجع للإختلاف الكبير بين خصائص التربة في الأقاليم الرطبة والأقاليم الجافة، فعلى سبيل المثال

نجد أن ترب الأقاليم المعتدلة تكون في الغالب ذات بناء structure جيد ومحتواها من المادة العضوية ومعادن الطين clay minerals مرتفع، بينما تكون الترب الصحراوية ضعيفة أو معدومة البناء ولا تحتوي إلا على نزر يسير من المادة العضوية ومعادن الطين، وجميع هذه الخصائص تؤثر بشكل مباشر وكبير على الخصائص الهيدروليكية للتربة.

٢- أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى:

أ- تطوير ومعايرة نموذج شبكة عصبية اصطناعية لتقدير المحتوى المائي عند السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم للترب الصحراوية بناء على قيم مقاسة للخصائص الفيزيائية والهيدروليكية لترب مختلفة الأنواع من جميع الأقاليم الفيزيوغرافية الرئيسة في المملكة العربية السعودية،

ب- قرن تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية مع تقنية أخذ العينات بالاستبدال bootstrab لتعطي تقدير لمستوى عدم التأكد في تقديرات النموذج،

ج- إختبار الأداء التجريبي للنموذج المطور بتطبيقه على بيانات مستقلة (قيم مقاسة للخصائص الفيزيائية والهيدروليكية لترب مختلفة الأنواع من جميع الأقاليم الفيزيوغرافية الرئيسه في المملكة العربية السعودية غير التي استخدمت في معايرة النموذج)، وذلك للتأكد من مدى الثقة بالنموذج،

د- تقديم تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية للقاريء العربي بشكل مفصل، خاصة وأن هذه التقنية قد أكتسبت زخماً كبيراً في الدراسات الهيدرولوجية خلال السنوات الأخيرة نظراً لما تتمتع به هذه التقنية من خصائص جذابة مقارنة بالتقنيات الكلاسيكية.

٣- منهج وأساليب البحث:

٣-١ العمل الميداني:

لقد تم أخذ ١٤٥ عينة تربة من جميع الأقاليم الفيزوغرافية الرئيسة في المملكة العربية السعودية وفقاً لبرنامج معد مسبقاً، بالإستعانة بخرائط التربة (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦) والأقاليم الفيزوغرافية الرئيسية في المملكة العربية السعودية، يتضمن مايلي:

أ- تغطية الأسطح الجيومورفولوجية السائدة في كل إقليم قدر الإمكان (الحماد و المراوح الفيضية و سهول الفيض والشرفات النهرية والكثبان الرملية والدكاك والسبخات والروضات والخباري).

ب- تغطية انواع الترب السائدة على مستوى المجموعات العظمى great groups حسب النظام الأمريكي لتصنيف الترب soil taxonomy في كل إقليم قدر الإمكان (توري فلوفنتس torrifluvents، توري سامنتس torripsmments، توري أورثنتس torriorhents، كالسي أورثيدز calciorthids، جبسي أورثيدزgypsiorthids ، سال أورثيدز salorthids)

ج- توزيع جغرافي جيد لمواقع العينات داخل كل إقليم.

٣-٣ التحاليل المخبرية:

لقد تم قياس الكثافة الظاهرية للتربة الجافة بطريقة كلود clod method (Blake and Hartge, 1986)، وتحديد التوزيع الحجمي لناعم حبيبات التربة (حبيبات التربة المعدنية التي يقل قطرها المكافئ عن مليمترين)، بعد التخلص من المادة العضوية وغسل الأملاح والمواد اللاحمة وتفريق الحبيبات، بطريقة الهيدرومتر hydrometer ذو مقياس بيوكس Bouyoucos من نوع ASTM 152H وإستخدام قانون ستوكس Stocke's Law (Gee and Bauder, 1986). وحدد المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم بواسطة نظام الإستخلاص بصحون الضغط pressure plate extractor system (Klute, 1986) وذلك عند ضغط قدره ١/٣ بار للسعة الحقلية و ١٥ بار لنقطة الذبول الدائم. وقد قيست كل خاصية ثلاث مرات ومن ثم أخذ المتوسط الحسابي للثلاث قيم المقاسة.

٣-٤ النموذج الرياضي:

هناك أنواع متعددة من نماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة، التي كلفة قياسها عالية، كدالة في خصائص التربة الأخرى، المتوفرة قياساتها مسبقاً أو التي يمكن قياسها بسهولة، وتشمل:

أ- نماذج فئوية class PTF وهي عبارة عن جداول لمتوسط قيم الخصائص الهيدروليكية للتربة بناء على فئة قوام التربة كالنماذج التي طورها Carsel and Parrish, (1988)، و Wösten et al., (1995)، و Schaap et al., (2001)، و Minasny and McBratney, (2002b)، و Børgesen and Schaap, (2005).

ب- نماذج الأنحدار المتعدد multiple regression الخطية وغير الخطية كالنماذج التي طورها Gupta and Larson, (1979)، و Rawls et al., (1982)، و Rawls and Brakensiek, (1985)، و Saxton et al., (1986)، و Vereecken et al., (1989)، و Baumer, (1992)، و Jabro, (1992)، و Baumer et al., (1994)، و Minasny et al., (1999)، و Wösten et al., (1999)، و Jarvis et al., (2002)، و Rajkai et al., (2004)، و Mugabe (2004)، و Merdun et al., (2006)، و Walczak et al., (2006).

ج- نماذج الشبكات العصبية الإصطناعية artificial neural networks كالنماذج التي طورها Pachepsky et al., (1996)، و Schaap and Bouten, (1996)، و Tamari et al., (1996)، و Schaap et al., (1998)، و Koekkoek and Bootlink, (1999)، و Minasny et al., (1999)، و Pachepsky et al., (1999)، و Schaap et al., (2001)، و Minasny and McBratney, (2002b, c)، و Børgesen and Schaap, (2005)، و Merdun et al., (2006).

وقد كانت نماذج الأنحدار المتعدد لتقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة خطية في بادئ الأمر، إلا أنها تحولت تدريجياً إلى غير خطية للتحسين من أدائها (Wösten et al., 2001). ومع أن نماذج الأنحدار المتعدد تتمتع بالمميزات التالية :

أ- يمكن استخدام اسلوب الانحدار التدرجي المتعدد stepwise regression حيث ينتقي البرنامج الاحصائي بشكل آلي المتغيرات المستقلة التي

لها تأثير ذا دلالة احصائية على المتغير التابع، وذلك من بين عدد كبير من المتغيرات المستقلة المتوفرة،

ب- يمكن كتابة النموذج بعد المعايرة على شكل معادلة بسيطة، خطية أو غير خطية، يسهل كتابتها وتداولها،

ج- يمكن ان يستعان بالخلفية عن العلاقات الفيزيائية بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع لتحديد نوع العلاقة الرياضية مما يجعل النموذج يميل للطابع الفزيائي physically based أكثر من التجريبي empirical وبالتالي يزيد من إمكانية تحسين أداء النموذج عندما يطبق على ترب أخرى غير الترب التي استخدمت خصائصها في معايرة النموذج،

إلا أن نماذج الانحدار المتعدد تتطلب المعرفة المسبقة بنوع العلاقة الرياضية functional form بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع، وحيث أن تحديد نوع العلاقة الرياضية بين المتغيرات المستقلة (الخصائص الفيزيائية للتربة) والمتغيرات التابعة (الخصائص الهيدروليكية للتربة) غالباً ماتكون مجهولة، فإن ذلك يحد كثيراً من جاذبية نماذج الانحدار المتعدد لتقدير الخصائص الهيدروليكية لتربة (Wösten et al., 2001).

وللتغلب على مشكلة المعرفة المسبقة بنوع العلاقة الرياضية بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع ومشكلة العلاقة الخطية المتعددة بين المتغيرات المستقلة multicolinearity في نماذج الانحدار المتعدد، لجأ Pachepsky et al. (1996) و Schaap and Bouten, (1996) إلى تقنية نماذج الشبكات العصبية الإصطناعية

المستعارة من العلوم البيولوجية والتي تحاكي عمل عقل الإنسان، حيث تتألف هذه النماذج من خلايا عصبية neurons للمدخلات input وخلايا عصبية مخفية hidden وخلايا عصبية للمخرجات output تكون مترابطة مع بعضها البعض. فنماذج الشبكات العصبية الإصطناعية تتمتع بالميزات التالية (Minasny and McBratney, 2002b ، ASCE 2000a, b ، Schaap and Leij, 1998 ، Børgesen and Schaap, 2005 ، Jain et al., 2004 ، Schaap et al., 2001):

أ امكانية نمذجة علاقات معقدة للغاية دون الحاجة للمعرفة المسبقة بنوع العلاقة الرياضية بين المتغيرات المستقلة والمتغيرات المعتمدة.

ب استخلاص أكبر قدر ممكن من المعلومات من البيانات المتوفرة عن طرق استنتاج واستعمال العلاقات المثلى optimal التي تربط بين المتغيرات المستقلة والمتغيرات المعتمدة من خلال عملية معايرة متكررة iterative.

ج قدرتها العالية على معالجة البيانات المشوشة robust.

د تقدير أكثر من متغير بنموذج واحد فقط..

ه امكانية قرنها مع تقنية الـ Bootstrab لإعطاء تقديرات عدم التأكد uncertainty estimates لقيم الخصائص الهيدروليكية المقدرة.

ونظراً لما يتمتع به أسلوب الشبكات العصبية الإصطناعية مقارنة بالأساليب الأخرى، ولشيوع استخدامه في السنوات الأخيرة بشكل كبير، فقد تم استخدامه في هذه الدراسة.

الشبكة العصبية الاصطناعية المطبقة في هذه الدراسة تتكون من طبقة layer مدخلات وطبقة مخفية وطبقة مخرجات. وتتكون طبقة المخرجات من خليتين عصبتين أحدهما للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية والأخرى للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم. كما تتكون طبقة المدخلات من أربع خلايا عصبية بواقع خلية عصبية لكل خاصية فيزيائية للتربة مدرجة كمتغير مستقل وهي نسبة الرمل (من ٢مم إلى٠,٠٥مم) ونسبة الغرين (من ٠,٠٥مم إلى ٢ ميكرومتر) ونسبة الطين (أقل من ٢ ميكرومتر) والكثافة الظاهرية (سم^{٣}/سم^{٣}). أما عدد الخلايا العصبية في الطبقة المخفية فيتحكم في مدى تعقيد النموذج، فكلما زاد عدد الخلايا العصبية في الطبقة المخفية كلما زاد تعقيد النموذج، الأمر الذي قد يؤدي إلى إحكام زائد overfitting للنموذج. فمع أن الإحكام الزائد للنموذج يعطي توافقاً أكثر بين القيم المقاسة والمقدرة بالنسبة للبيانات المستخدمة لمعايرة النموذج calibration data، إلا أنه يجعل أداء النموذج متواضعاً عندما يطبق على بيانات مستقلة (Børgesen and Schapp, 2005). وقد استخدم في الدراسة الحالية ست خلايا عصبية في الطبقة المخفية تأسياً بالنماذج الحديثة المماثلة (Schapp and Bouten 1996; Schapp and Leij 1998; Børgesen and Schapp 2005).

٣,٣,١- معايرة النموذج:

تتم المعايرة في هذا النوع من نماذج الشبكات العصبية الإصطناعية طبقاً للخطوات التالية :

أ حساب متجهة vector المدخلات الموزونة z ، بضرب مصفوفة matrix الأوزان **W** في متجهة vector المدخلات **x** (Schaap and Leij, 1998; Minasny and McBratney, 2002b, c Børgesen and Schapp, 2005):

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ . \\ . \\ . \\ . \\ z_{n_h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & . & . & . & w_{1,(n_x+1)} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ w_{n_h,1} & . & . & . & w_{n_h,(n_x+1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ . \\ . \\ x_{n_x} \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (٢)$$

حيث أن:

n_h = عدد الخلايا العصبية في الطبقة المخفية ،

n_x = عدد المتغيرات المستقلة ،

والرقم ١ في آخر صف من المتجهة x وضع لأخذ التحيز bias في الحسبان (Schaap and Leij, 1998; Minasny and McBratney, 2002b, c).

ب تمرير كل عنصر في المتجهة z من خلال دالة تنشيط سيجمويدية sigmoidal (مماس زائدي المقطع hyperbolic tangent) للحصول على المتجهة **h** (Minasny and McBratney, 2002b, c; Schaap and Leij, 1998):

$$h_j = 1 - \frac{2}{1+\exp(2z_j)}. \qquad (٣)$$

ج حساب متجهة المخرجات y بضرب مصفوفة الأوزان U في المتجهة h (Minasny and McBratney, 2002b, c; Schaap and Leij, 1998):

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & \cdots & u_{1,(n_h+1)} \\ u_{2,1} & \cdots & u_{2,(n_h+1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ h_{n_h} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (٤)$$

حيث أن الرقم ١ في آخر صف من المتجهة h وضع لأخذ التحيز في الحسبان (Schaap and Leij, 1998; Minasny and McBratney, 2002b, c).

د- إيجاد معاملات الأوزان في المصفوفتين W وU بطريقة معايرة متكررة تخفض إلى الحد الأدنى minimize الدالة الهدفية objective function التالية (Børgesen and Schapp, 2005; Minasny and McBratney, 2002b, c):

$$O(\mathbf{W},\mathbf{U}) = \sum_{i=1}^{N_s}\left(\theta_i - \hat{\theta}_i\right)^2 \quad (٥)$$

حيث أن:

N_s = عدد العينات المستخدمة في المعايرة،

θ_i = المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^3/سم^3) المقاس عند السعة الحقلية أوعند نقطة الذبول الدائم للحالة i،

$\hat{\theta}_i$ = المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^3/سم^3) المقدر عند السعة الحقلية أوعند نقطة الذبول الدائم للحالة i.

وللحيلولة دون الإحكام الزائد خلال عملية معايرة النموذج فقد وضع الحد الأعلى لتكرار حساب معاملات الأوزان في المصفوفتين W وU ١٠٠ مرة (Børgesen and Schapp, 2005; Minasny and McBratney, 2002b, c).

ولغرض التحقق من الأداء التجريبي للنموذج فقد قسمت العينات بطريقة عشوائية (برنامج إيجاد أرقام عشوائية) إلى قاعدة بيانات معدة لمعايرة النموذج مكونة من ١٠٠ عينة و قاعدة بيانات أخرى معدة لتقييم الأداء التجريبي للنموذج مكونة من ٤٥ عينة. وقد تم قرن أسلوب الشبكات العصبية الاصطناعية بتقنية إيجاد عدة قواعد بيانات ثانوية datasubset من قاعدة البيانات الأصلية المعدة لمعايرة النموذج عن طريق أخذ عينات بالاستبدال sampling with replacement من قاعدة البيانات الأصلية bootstrap وذلك لإعطاء تقديرات عدم التأكد uncertainty estimates لقيم الخصائص الهيدروليكية المقدرة والتأكد من تخفيض تحيز النموذج نحو البيانات الضوضائية noise والاصطناعية artifacts إلى الحد الأدنى (Børgesen and Schapp, 2005; Minasny and McBratney, 2002b,c; Schaap and Leij, 1998; Schaap et al., 2001). فإذا كان عدد الحالات في قاعدة البيانات الأصلية N فإن كل قاعدة بيانات ثانوية ستحتوي على $1-[(N-1)/N]^N$ من عدد الحالات في قاعدة البيانات الأصلية (Børgesen and Schapp, 2005). وقد استخدم في هذه الدراسة ٥٠ قاعدة بيانات ثانوية (50 bootstraps) بحيث تتم معايرة نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية بناء على كل واحدة منها، ومن ثم تكون القيمة المقدرة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية أوعند نقطة الذبول الدائم هي قيمة

المتوسط الحسابي للخمسين تقدير، ويكون الإنحراف المعياري للخمسين قيمة هو مقدار عدم التأكد (Børgesen and Schapp, 2005; Minasny and McBratney, 2002b; Schaap and Leij, 1998; Schaap et al., 2001).

٣,٣,٣ تقييم الأداء التجريبي:

يتم تقييم الأداء التجريبي لنماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة بناء على مدى التطابق بين القيم المقاسة والقيم المقدرة بالنموذج، ويطلق على الأداء التجريبي للنموذج مصطلح الإنضباطية accuracy عندما يطبق النموذج على قاعدة البيانات المستخدمة في عملية معايرة النموذج، بينما يطلق على الأداء التجريبي للنموذج مصطلح الثقة reliability عندما يطبق النموذج على بيانات مستقلة غير مستخدمة في عملية معايرة النموذج (Wösten et al., 2001). فالنموذج المثالي يعطي قيم مقدرة مطابقة تماماً للقيم المقاسة، وبالتالي تكون النقاط في الرسم البياني للقيم المقدرة مقابل القيم المقاسة على خط مستقيم يتقاطع مع المحور الصادي عند الصفر وتكون قيمة إنحداره واحداً صحيحاً. و مع أنه يمكن أن يقاس مدى التطابق بين القيم المقاسة والقيم المقدرة بالنموذج كمياً بعدة أنواع من المعاملات statistics، إلا أن أكثر المعاملات استخداماً في القياس الكمي للأداء التجريبي لنماذج تقدير الخصائص الهيدروليكية للتربة هي:

أ- متوسط الخطاء (Rawls et al., 2001; Ungaro and Calzolari, 2001; van Alphen et al., 2001; Rajkai et al., 2004; Merdun et al., 2006):

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{N_s}\left(\hat{\theta}_i - \theta_i\right)}{N_s} \qquad (٦)$$

ويعد متوسط الخطاء مقياس لاتجاه ومقدار تحيز bias النموذج ، فالقيم الموجبة تدل على أن هناك نزعة للنموذج للمبالغة overestimation في تقديراته ، أما القيم السالبة فتدل على أن هناك نزعة للنموذج للتقليل underestimation في تقديراته.

ب- الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ(Schaap and Leij, 1998; Schaap et al., 1998; Mayr and Jarvis, 1999; Minasny et al., 1999;Schaap et al., 2001; Rawls et al., 2001; Ungaro and Calzolari, 2001; van Alphen et al., 2001; Børgesen and Schaap, 2005; Merdun et al., 2006; Nemes et al., 2006):

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_s}\left(\theta_i - \hat{\theta}_i\right)^2}{N_s}} \qquad (٧)$$

ج- معامل التحديد coefficient of determination (Rawls et al., 2001; Wösten et al., 2001; Merdun et al., 2006):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_s}\left(\theta_i - \hat{\theta}_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N_s}\left(\theta_i - \bar{\theta}\right)^2} \qquad (٨)$$

حيث أن :

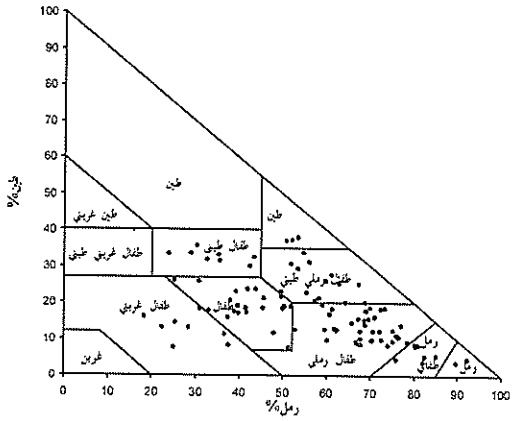
$\bar{\theta}$ = المتوسط الحسابي للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^3/سم^3) عند السعة الحقلية أوعند نقطة الذبول الدائم.

وتستخدم نفس المعاملات لتقييم مستوى إنضباطية النموذج ومدى الثقة به على حد سواء (Schaap et al., 1998; Wagner et al., 1998; Minasny et al., 1999; Schaap et al., 2001; Wösten et al., 2001; Rajkai et al., 2004; Børgesen and Schaap, 2005).

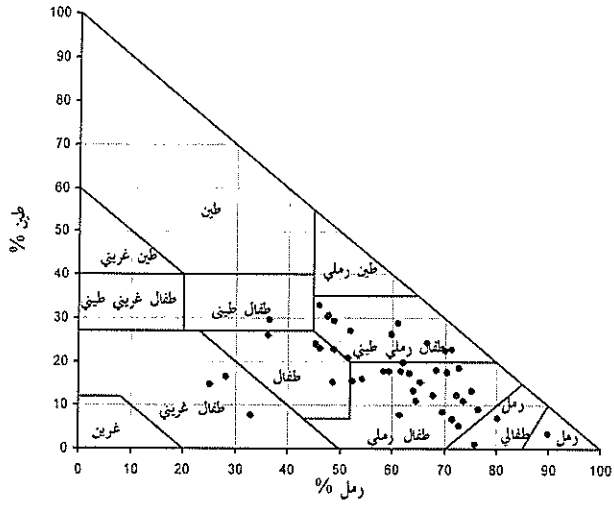
٤- النتائج والمناقشة:

٤,١- قوام التربة:

قوام الترب في قاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج وقاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من الأداء التجريبي للنموذج موضح في الشكلين (١) و (٢)، على التوالي، وذلك حسب تصنيف خدمات المحافظة على التربة التابعة لوزارة الزراعة بالولايات المتحدة United States Department of Agriculture-Soil Conservation Services (USDA-SCS). ويتضح من الشكلين أنه ليس هناك تباين يذكر في قوام الترب بين قاعدتي البيانات، وأن غالبية الترب في كلتا القاعدتين ذات قوام خشن حيث تسود فئة الترب الطفال الرملي sandy loam، وتنعدم فئات الترب الطينة clay والطينة الغرينية silty clay والطفال الطيني الغريني silty clay loamوالغرينية silt.



الشكل رقم (١): قوام الترب في قاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج حسب تصنيف خدمات المحافظة على التربة التابعة لوزارة الزراعة بالولايات المتحدة (USDA-SCS).



الشكل رقم (٢): قوام الترب في قاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من الأداء التجريبي للنموذج حسب تصنيف خدمات المحافظة على التربة التابعة لوزارة الزراعة بالولايات المتحدة (USDA-SCS).

٤,٣- الخصائص الهيدروليكية للتربة:

تراوحت قيم المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس عند السعة الحقلية من ٠,١٢ إلى ٠,٢٦١ (سم^٣/سم^٣) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء ٠,١٨٣ و ٠,٠٣١ و ٠,٢٩ ، على التوالي، لقاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج. أما المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات فقد تراوحت قيمه من ٠,٠٤٣ إلى ٠,١٣٦ (سم^٣/سم^٣) وبلغ المتوسط الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء لقيمه ٠,٠٨ و ٠,٠٢٣ و ٠,٤٧٢ ، على التوالي.

كما تراوحت قيم المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس عند السعة الحقلية لقاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من أداء النموذج من ٠,١١٨ إلى ٠,٢٣٢ (سم^{٣}/سم^{٣}) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء ٠,١٧٥ و ٠,٠٢٨ و ٠,٣١٨ ، على التوالي. أما المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات فقد تراوحت قيمه من ٠,٠٣ إلى ٠,١٢٦ (سم^{٣}/سم^{٣}) وبلغ المتوسط الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء لقيمه ٠,٠٧٦ و ٠,٠٢١ و ٠,٣ ، على التوالي. ويتضح من الاحصاءات السابقة أن هناك تشابه كبير بين قاعدتي البيانات بالنسبة للقيم والتوزيع الاحصائي لها.

٤,٣- معايرة النموذج PTF training :

حيث أن نموذج الشبكة العصبية لا يمكن كتابته على صيغة معادلة بسيطة ، فقد أعطيت الخمسين نموج المعايرة على شكل مصفوفتين للأوزان لكل نموذج ، أي مصفوفة الأوزان W و مصفوفة الأوزان U وذلك في الملحق رقم (١). وكما هو موضح سابقاً ، تكون القيمة المقدرة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية أوعند نقطة الذبول الدائم هي قيمة المتوسط الحسابي للخمسين تقدير ، ويكون الإنحراف المعياري للخمسين قيمة هو مقدار عدم التأكد. ويمكن الحصول على مصفوفات الأوزان مجاناً من موقع الباحث على شبكة الإنترنت : http://faculty.ksu.edu.sa/alsaaran

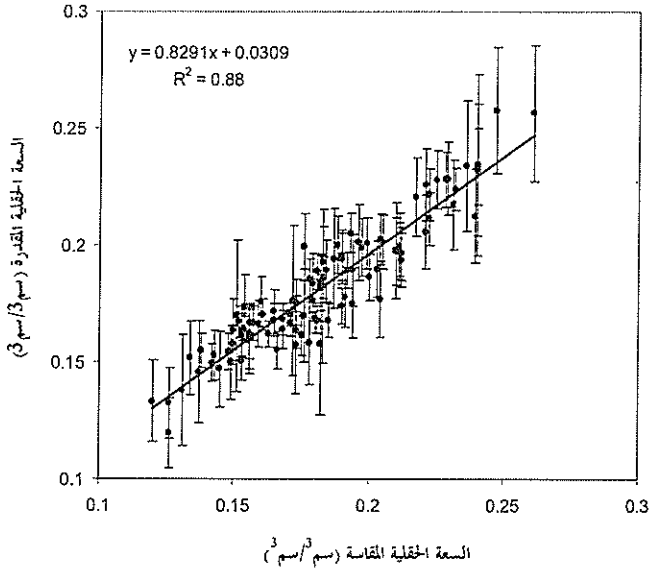
٤,٤- انضباطية النموذج PTF accuracy :

تراوحت القيم المقدرة بالنموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية من ٠,١٢ إلى ٠,٢٦ (سم^٣/سم^٣) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء ٠,١٨٢ و ٠,٠٢٧ و ٠,٥٢ ، على التوالي، لقاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج. أما القيم المقدرة بالنموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات فقد تراوحت قيمه من ٠,٠٤٣٥ إلى ٠,١٣٣ (سم^٣/سم^٣) وبلغ المتوسط الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء لقيمه ٠,٠٧٩ و ٠,٠٢٢ و ٠,٥ ، على التوالي.

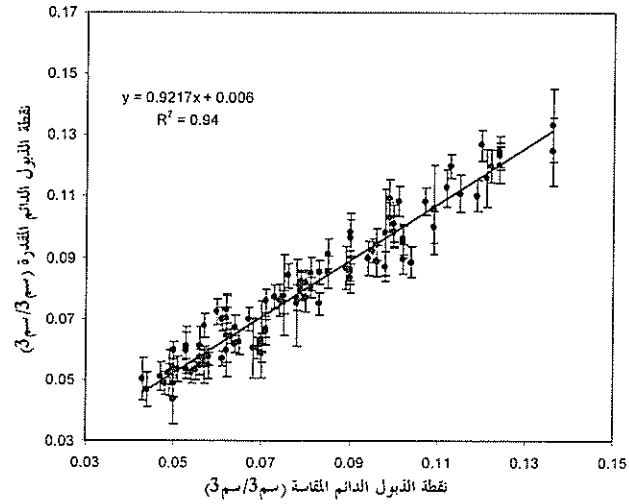
كذلك تراوحت قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية المتحصل عليها بتقنية أخذ العينات بالاستبدال (bootstrap) لقاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج من ٠,٠٠٥ إلى ٠,٠٣٩ (سم^٣/سم^٣) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ٠,٠١٤ و ٠,٠٠٧ ، على التوالي. كما تراوحت قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات من ٠,٠٠٢ إلى ٠,٠١٥ (سم^٣/سم^٣) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ٠,٠٠٥ و ٠,٠٠٣ ، على التوالي. وتدل هذه الاحصاءات على قيم متواضعة لمستوى عدم التأكد وتباين ضئيل للقيم المقدرة، أي أن مستوى التأكد لتقديرات النموذج عالي.

يوضح توقيع القيم المقدرة بالنموذج مقابل القيم المقاسة بالإضافة إلى قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج على الرسم البياني للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة

(سم^{٣}/سم^{٣}) عند السعة الحقلية (الشكل رقم ٣) وعند نقطة الذبول الدائم (الشكل رقم ٤) لقاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج الصورة العامة لمدى انضباطية النموذج. أما كمياً، فقد بلغ معامل التحديد ٠,٨٨ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^{٣}/سم^{٣}) عند السعة الحقلية و ٠,٩٤ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^{٣}/سم^{٣}) عند نقطة الذبول الدائم مما يدل على توافق كبير للقيم المقدرة مع القيم المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم. كما بلغت قيمة متوسط الخطاء ٠,٠٠٠٣٨ سم^{٣}/سم^{٣} للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و ٠,٠٠٠١٢ سم^{٣}/سم^{٣} للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم. وهاتين القيمتين متواضعتين جداً إذ لا تشكلان سوى ٠,٢٪ و ٠,١٥٪ من متوسط قيم المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم، على التوالي، مما يدل على أن النموذج ليس متحيزاً bias، أي أنه ليس لدى النموذج نزعة واضحة للمبالغة overestimation أو التقليل underestimation في تقديراته. أما قيمتا الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم فقد بلغتا ٠,٠١٠٨ و ٠,٠٠٥٧ سم^{٣}/سم^{٣}، على التوالي. ومع أن هذا الإحصاء يعطي وزناً أكثر للقيم المتطرفة (الحالات التي يكون فيها الخطأ أكبر)، إلا أن كلا القيمتين للجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ متواضعتين مما يدل على إنضباطية عالية للنموذج.



الشكل رقم (٣): القيم المقدرة مقابل المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية (النقاط) موقعاً عليها مدى عدم التأكد (أعمدة) وخط الانحدار لقاعدة البيانات المستخدمة للمعايرة.



الشكل رقم (٤): القيم المقدرة مقابل المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم (النقاط) موقعاً عليها مدى عدم التأكد (أعمدة) وخط الإنحدار لقاعدة البيانات المستخدمة للمعايرة.

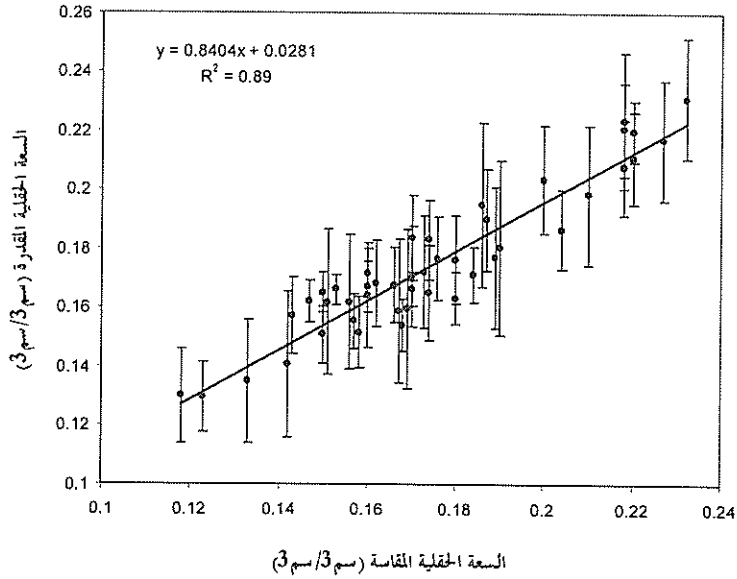
٤,٥- الثقة بالنموذج PTF reliability

تراوحت القيم المقدرة بالنموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية لقاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من أداء النموذج من ٠,١٢٩ إلى ٠,٢٣١ (سم^3/سم^3) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء ٠,١٧٥ و ٠,٠٢٥ و ٠,٥٢٣ ، على التوالي. أما القيم المقدرة بالنموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات فقد تراوحت قيمه من ٠,٠٣٦ إلى ٠,١١٧ (سم^3/سم^3) وبلغ المتوسط الحسابي والإنحراف المعياري ومعامل الإلتواء لقيمه ٠,٠٧٨ و ٠,٠٢٠١ و ٠,١٥٧ ، على التوالي. وتعد قيم هذه المعاملات مشابهة إلى حد كبير لقيم المعاملات نفسها للقيم المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم، مما يدل على تشابه كبير في التوزيع الإحصائي للقيم المقاسة والقيم المقدرة بالنموذج لكلتا الخاصيتين.

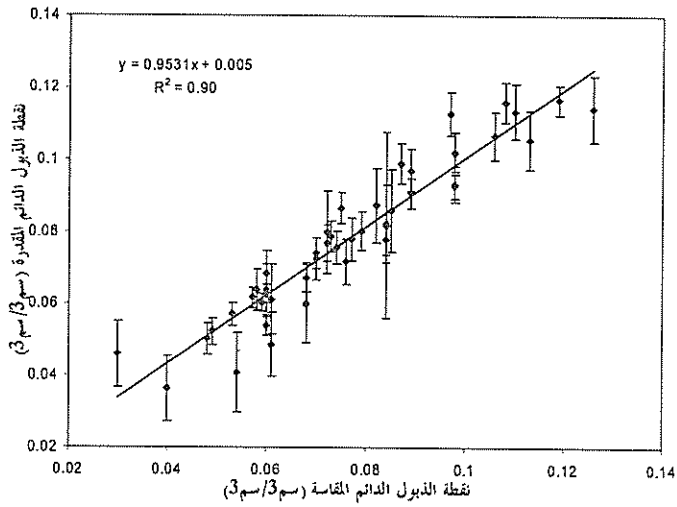
وقد تراوحت قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية لقاعدة البيانات المستقلة المستخدمة لفحص مستوى الثقة بالنموذج من ٠,٠٠٥ إلى ٠,٠٢٩ (سم^3/سم^3) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ٠,٠٥٦ و ٠,٠٠٦ ، على التوالي. كما تراوحت قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات من ٠,٠٠٢ إلى ٠,٠٢٦ (سم^3/سم^3) وبلغ متوسطها الحسابي والإنحراف المعياري ٠,٠٠٧ و ٠,٠٠٤ ، على التوالي. وتدل القيم

المتواضعة لهذه الاحصاءات على تباين ضئيل للقيم المقدرة، أي أن مستوى التأكد لتقديرات النموذج عالي.

يوضح الشكل رقم (٥) والشكل رقم (٦) الموقع عليهما القيم المقدرة بالنموذج مقابل القيم المقاسة بالاضافة إلى قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^{٣}/سم^{٣}) عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم، على التوالي، الصورة العامة لمدى الثقة بالنموذج. فقد بلغ معامل التحديد ٠,٨٩ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^{٣}/سم^{٣}) عند السعة الحقلية و ٠,٩٠ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^{٣}/سم^{٣}) عند نقطة الذبول الدائم مما يدل على توافق كبير للقيم المقدرة مع القيم المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم. كما تدل القيمتان المتواضعتان لمتوسط الخطأ البالغتان ٠,٠٠٠٢ و ٠,٠٠١٤ (سم^{٣}/سم^{٣}) للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم، على التوالي، اللتان لا تشكلان سوى ٠,١١٪ و ١,٨٤٪ من متوسط قيم المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم، على التوالي، أن النموذج ليس متحيزاً في تقديراته. أما قيمتا الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم فقد بلغتا ٠,٠٠٩ و ٠,٠٠٧ سم^{٣}/سم^{٣}، على التوالي. وتدل القيم العالية لمعاملي التحديد و القيم المتواضعة لمتوسط الخطأ و الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطاء للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم على الثقة العالية بالنموذج.



الشكل رقم (٥): القيم المقدرة مقابل المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية (النقاط) موقعاً عليها مدى عدم التأكد (أعمدة) وخط الإنحدار لقاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من أداء النموذج.



الشكل رقم (٦): القيم المقدرة مقابل المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم (النقاط) موقعاً عليها مدى عدم التأكد (أعمدة) وخط الإنحدار لقاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من أداء النموذج.

٥- الخاتمة:

تتطلب الإدارة الجيدة للزراعة المروية والتنمية المستدامة لموارد المياه والتربة في المناطق الصحراوية تحديد سعة ماء التربة المتاح للنبات التي هي عبارة عن الفارق بين المحتوى المائي في التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم. و لأن عمليات قياس المحتوى المائي في التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم، سواء في الحقل أو في المختبر، مضنية ومكلفة مادياً، يلجأ المختصين في هيدروليكية التربة إلى تطوير نماذج رياضية لتقدير هاتين الخاصيتين كدالة في الخصائص الفيزيائية للتربة الأسهل قياساً والأقل تكلفة. ونظراً لعدم توفر نماذج رياضية معايرة وموثقة لتقدير هاتين الخاصيتين للترب الصحراوية في المملكة العربية السعودية، فقد تم في هذه الدراسة تطوير ومعايرة واختبار نموذجاً رياضياً لتقدير هاتين الخاصيتين للترب الصحراوية في المملكة العربية السعودية كدالة في الكثافة الظاهرية والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية ذات القدرة العالية على نمذجة علاقات معقدة للغاية واستخلاص أكبر قدر ممكن من المعلومات المتوفرة في المتغيرات المستقلة دون الحاجة للمعرفة المسبقة بنوع العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة. كما قرنت تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية مع تقنية أخذ العينات بالإستبدال لإنتاج تقديرات لعدم التأكد من مخرجات النموذج. وقد تمت معايرة واختبار النموذج المطور في هذه الدراسة بإستخدام ١٤٥ عينة تربة أخذت من الأقاليم الفزيوغرافية الرئيسة في المملكة العربية السعودية وحللت في المختبر لتحديد الكثافة الظاهرية والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة والمحتوى المائي في التربة عند

السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم حيث قسمت العينات بطريقة عشوائية إلى قاعدة بيانات معدة لمعايرة النموذج مكونة من ١٠٠ عينة و قاعدة بيانات أخرى مستقلة مكونة من ٤٥ عينة لقياس مدى الوثوق بتقديرات النموذج. ولتقييم الأداء التجريبي للنموذج فقد قيست الانضباطية والثقة بالنموذج كمياً، بمعامل التحديد ومتوسط الخطأ والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين القيم المقدرة والقيم المقاسة.

وقد دلت النتائج على أن نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية المطور والمعاير في هذه الدراسة لتقدير المحتوى المائي في التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم للترب الصحراوية في المملكة العربية السعودية كدالة في الكثافة الظاهرية والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة يتمتع بما يلي:

أ مستوى عالي من التأكد في تقديرات النموذج حيث تراوحت قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية المتحصل عليها بتقنية أخذ العينات بالاستبدال (bootstrap) لقاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج من ٠,٠٠٥ إلى ٠,٠٣٩ (سم^٣/سم^٣) وبمتوسط حسابي قدره ٠,٠١٤ (سم^٣/سم^٣). كما تراوحت قيم عدم التأكد في تقديرات النموذج للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم لنفس قاعدة البيانات من ٠,٠٠٢ إلى ٠,٠١٥ (سم^٣/سم^٣) وبمتوسط حسابي قدره ٠,٠٠٥ (سم^٣/سم^٣).

ب مستوى عالي من الإنضباطية كما تدل عليه القيم العالية لمعاملات التحديد والقيم المتواضعة لمتوسط الخطأ والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين

القيم المقدرة بالنموذج والقيم المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم في قاعدة البيانات المستخدمة لمعايرة النموذج. فمعاملي التحديد البالغين ٠,٨٨ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^٣/سم^٣) عند السعة الحقلية و ٠,٩٤ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^٣/سم^٣) عند نقطة الذبول الدائم يدلان على توافق كبير للقيم المقدرة مع القيم المقاسة. أما قيمتا متوسط الخطاء البالغتين ٠,٠٠٠٣٨ سم^٣/سم^٣ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و ٠,٠٠٠١٢ سم^٣/سم^٣ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند نقطة الذبول الدائم واللتان لا تشكلان سوى ٠,٢٪ و ٠,١٥٪ من متوسط قيم المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم، على التوالي، فتدلان على أن النموذج ليس متحيزاً bias. كذلك بلغت قيمتي الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم ٠,٠١٠٨ و ٠,٠٠٥٧ سم^٣/سم^٣، على التوالي، وهو مايدل على دقة عالية.

ج مستوى عالي من الثقة بالنموذج كما تدل عليه القيم العالية لمعاملات التحديد والقيم المتواضعة لمتوسط الخطأ والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين القيم المقدرة بالنموذج والقيم المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم في قاعدة البيانات المستخدمة للتحقق من أداء النموذج. فقد بلغ معامل التحديد ٠,٨٩ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^٣/سم^٣) عند السعة الحقلية و ٠,٩٠ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة (سم^٣/سم^٣) عند نقطة الذبول الدائم. كما بلغت قيمتا متوسط الخطأ

٠,٠٠٠٢ و ٠,٠٠١٤ (سم^{٣}/سم^{٣}) للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم، على التوالي. أما قيمتا الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية و عند نقطة الذبول الدائم فقد بلغتا ٠,٠٠٩ و ٠,٠٠٧ سم^{٣}/سم^{٣}، على التوالي.

وبناء على المستوى العالي لكل من التأكد و الإنضباطية والثقة للنموذج، فإن هذه الدراسة توصي باستخدام هذا النموذج لتقدير المحتوى المائي في التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم للترب الصحراوية في المملكة العربية السعودية لتحقيق إدارة جيدة للزراعة المروية وتنمية مستدامة لموارد المياه والتربة بأقل تكلفة.

المراجع

أولاً: المراجع العربية:

- وزارة الزراعة والمياه، (١٩٨٦ م)، **الخريطة العامة للتربة**، وزارة الزراعة والمياه، الرياض.

ثانياً: المراجع غير العربية:

- Acutis, M. and M. Donatelli, (2003), "SOILPAR 2.00: Software to Estimate Soil Hydrological Parameters and Functions", **European Journal of Agronomy**, 18, pp. 373-377.
- American Society of Civil Engineers, (2000a), Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, "Artificial Neural Networks in Hydrology, I: Preliminary Concepts", **J. Hydrologic Eng.** 5, pp. 115-123.
- American Society of Civil Engineers, (2000b), Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, "Artificial Neural Networks in Hydrology, II: Hydrological Applications", **J. Hydrologic Eng.** 5, pp. 124-137.
- Arya, L. M., and J. F. Paris, (1981), "A Physicoempirical Model to Predict the Soil Moisture Characteristics from Particle-Size Distribution and Bulk Density Data", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 45 (6), pp. 1023-1030.
- Arya, L. M., F. J. Leij, P.J. Shouse, and M. Th. van Genuchten, (1999), "Relationship Between the Hydraulic Conductivity Function and the Particle-Size Distribution", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 63, pp. 1063-1070.
- Bastet, G., A. Bruand, M. Voltz, M. Bruand, P. Quétin, (1997), "Performance of Available Pedotransfer Functions for Predicting the Water Retention Properties of French Soils", **Proc. Int. Workshop on the Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media**, University of California, Riverside, CA.
- Baumer, G. W., (1992), "Predicting Unsaturated Hydraulic Parameters", In: Leij, F.J., Lund, L.J. (Eds.), **Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils**, University of California Press. Riverside, pp. 341-355.

- Baumer, G. W. and B. R. Brasher, (1982), "Prediction of Water Contents at Selected Suctions", **Paper No. 82-2590**, American Society of Agricultural Engineering, St Joseph, MI.
- Baumer, G. W., P. Kenyon, J. Bettis., (1994), **MUUF v2.14 User's Manual**, USDA Natural Resources Conservation Service, Lincoln, Nebraska.
- Blake, G. R., K. H. Hartge, (1986), "Bulk Density", *In*: Klute, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, second Edition, Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Børgesen, C. D. and M. G. Schaap, (2005), "Point and Parameter Pedotransfer Functions for Water Retention Predictions for Danish Soils", **Geoderma**, 127, pp. 154-167.
- Bouma, J., (1989), "Using Soil Survey Data for Quantitative Land Evaluation", **Advances in Soil Science**, 9, pp. 177-213.
- Bouma, J., (2006), "Hydropedology as a Powerful Tool for Environmental Policy Research, **Geoderma**, 131, pp. 275-286.
- Brooks, R.H., Corey, A.T., (1964), **Hydraulic Properties of Porous Media**, Colorado State University, Hydrological paper No. 3, p. 27.
- Campbell, G.S., (1974), "A simple Method for Determining Unsaturated Conductivity from Moisture Retention Data", **Soil Sci.**, 117, 311- 314.
- Campbell, G.S., (1985), **Soil Physics with BASIC: Transport Models for Soil_ Plant System**, Elsevier, Amsterdam, p. 150.
- Carsel, R.F. and R.S. Parrish, (1988), "Developing Joint Probability Distributions of Soil Water Retention Characteristics", **Water Resour. Res.**, 20, 682-690.
- Cassel, D. K., D. R. Nielsen, (1986), "Field Capacity and Available Water Capacity", *In*: Klute, A. (ed.), **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, second Edition, Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Cassel, D. K., L. F. Ratliff and J. T. Ritchie, (1983), "Models for Estimating In-Situ Potential Extractable Water Using Soil Physical and Chemical Properties", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47 (4), pp. 764-769.
- Clapp, R. B. and G. M. Hornberger, (1978), "Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties", **Water Resour. Res.**, 14 (4), pp. 601-604.
- Cornelis, W. M., J. Ronsyn, M. V. Meirvenne, and R. Hartmann, (2001), "Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting the Soil Moisture Retention Curve", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 65, pp. 638-648.

- Cosby B.J., G.M. Hornberger, R.B. Clapp, and T.R. Ginn. (1984), "A Statistical Exploration of the Relationships of Soil Moisture Characteristics to the Physical Properties of Soils", **Water Resour. Res.**, 20, PP. 682-690.
- Environmental System and Technologies, (1990), **SOILPROP, A Program to Estimate Unsaturated Soil Hydraulic Properties from Particle Size Distribution, User's Guide**. Blacksburg, VA, USA, p. 13.
- Gardner, W. R., (1958), "Some Steady State Solutions of the Unsaturated Moisture Flow Equations with Application to Evaporation from a Water Table", **Soil Sci.**, 85, pp. 228-232.
- Gee, G.W., J. W. Bauder, (1986), "Particle-Size Analysis", *In*: Klute, A. (ed.), **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, second Edition. Monograph 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Ghosh, R. K., (1980), "Estimation of Soil-Moisture Characteristics from Mechanical Properties", **Soil Sci.**, 130 (2), pp. 60-63.
- Givi, J., S.O. Prasher and R.M. Patel, (2004), "Evaluation of Pedotransfer Functions in Predicting the Soil Water Contents at Field Capacity and Wilting Point", **Agricultural Water Management**, 70, pp. 83-96.
- Gupta, S. C. and W. E. Larson, (1979), "Estimating Soil-Water Retention Characteristics from Particle Size Distribution, Organic Mater Percent, and Bulk Density", **Water Resour. Res.**, 15 (6), pp. 1633-1635.
- Hansen, V.E., O.W. Israelsen, G.E. Stringham, (1980), **Irrigation Principles and Practices**, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Haverkamp, R. and J. Y. Parlange, (1986), "Predicting the Water Retention Curve from Particle Size Distribution, 1: Sandy Soils Without Organic Matter", **Soil Sci.**, 142 (6), pp. 325-339.
- Hodnett, M.G., J. Tomasella, (2002), "Marked Differences Between van Genuchten Soil Water-Retention Parameters for Temperate and Tropical Soils: A New Water-Retention Pedo-Transfer Functions Developed for Tropical Soils", **Geoderma**, 108, pp. 155-180.
- Hutson, J.L., Cass, A., (1987), "A Retentivity Function for Use in Soil Water Simulation Models", **J. Soil Sci.** 38, 105_ 113.
- Hwang, S. I. and S. E. Powers, (2003), "Using Particle-Size Distribution Models to Estimate Soil Hydraulic Properties", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 67, pp. 1103-1112.

- Jabro, J. D., (1992), "Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity of Soils from Particle Size Distribution and Bulk Density Data", **American Society of Agricultural Engineers**, 35 (2), pp. 557-560.
- Jain, S. K., V. P. Singh and M. Th. van Genuchten, (2004), "Analysis of Soil Water Retention Data Using Artificial Neural Networks", **J. Hydrologic Eng.** 9, pp. 415-420.
- Jaynes, D.B., Tyler, E.J., (1984), "Using Soil Physical Properties to Estimate Hydraulic Conductivity", **Soil Sci.** 138, 298-305.
- Jarvis, N. J., L. Zavattaro, K. Rajkai, W. D. Reynolds, P. -A. Olsen, M. McGechan, M. Mecke, B. Mohanty, P. B. Leeds-Harrison and D. Jacques, (2002), "Indirect Estimation of Near-Saturated Hydraulic Conductivity from Readily Available Soil Information", **Geoderma**, 108, pp. 1-17.
- Kern, J.S. (1995), "Evaluation of Soil Water Retention Models Based on Basic Soil Physical Properties", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 59:1134-1141.
- Klute, A., (1986), "Water Retention: Laboratory Methods", *In*: Klute, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, second Edition. Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Koekkokoek, E. and H. Bootlink, (1999), "Neural Network Models to Predict Soil Water Retention", **Eur. J. Soil Sci.**, 50, pp. 489-495.
- Leij, F.J., W.J. Alves, M. van Genuchten, J.R. Williams, (1996), **Unsaturated Soil Hydraulic Database, UNSODA 1.0 User's Manual**, Report EPA/600/R96/095, US Environmental Protection Agency, Ada, OK, 103 p.
- Mayr, T. and N. J. Jarvis, (1999), "Pedotransfer Functions to Estimate Soil Water Retention Parameters for a Modified Brooks–Corey Type Model", **Geoderma**, 91, pp. 1-9.
- Merdun, H., Ö. Çinar, 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 & Tillage Research**, 90, pp. 108-116.
- Mermoud, A., D. Xu, (2006), "Comparative Analysis of Three Methods to Generate Soil Hydraulic Functions", **Soil and Tillage Research**, 87, pp. 89-100.
- Minasny, B. and A. B. McBratney, (2002a), "The Efficiency of Various Approaches to Obtaining Estimates of Soil Hydraulic Properties". **Geoderma**, 107, pp. 55-70.

- Minasny, B. and A. B. McBratney, (2002b), "The Neuro-M Method for Fitting Neural Network Parametric Pedotransfer Functions", **Soil Sci. Soc. Am. J.** 66, pp. 352-361.
- Minasny, B. and A. B. McBratney, (2002c), **Neuroman, Neural Networks Package for Fitting Parametric Pedotransfer Functions**, Australian Center for Precision Agriculture, The University of Sydney.
- Minasny, B. and A. B. McBratney, (2003), **NeurTheta, Pedotransfer Functions for Predicting Soil Hydraulic Properties for Australian Soil**, Australian Center for Precision Agriculture, The University of Sydney.
- Minasny, B., A. B., McBratney and K. L. Bristow, (1999), "Comparison of Different Approaches to the Development of Pedotransfer Functions for Water-Retention Curves", **Geoderma**, 93, pp. 225-253.
- Mugabe, F. T., (2004), "Pedotransfer Functions for Predicting Three Points on the Moisture Characteristic Curve of a Zimbabwean Soil", **Asian Journal of Plant Sciences**, 3, pp. 679-682.
- Nandagiri, L. and R. Prasad, (1997), "Relative Performances of Textural Models in Estimating Soil Moisture Characteristic", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 123 (3), pp. 211-214.
- Nielsen, D.R., J.W. Biggar, K.T. Erh. (1973), "Spatial Variability of Field Measured Soil Water Properties", **Hilgardia**, 42, pp. 215-259.
- Nemes, A., M. G. Schaap, F.J. Leij, J.H.M. Wösten, (2001) "Description of the Unsaturated Soil Hydraulic Database", UNSODA Version 2.0, **Journal of Hydrology**, 251, pp. 151-162.
- Nemes, A., W. J. Rawls, (2006), "Evaluation of Different Representation of the Particle-Size Distribution to Predict Soil Water Retention", **Geoderma**, 132, pp. 47-58.
- Pachepsky, Y. A., W.J. Rawls and H.S. Lin, (2006), "Hydropedology and Pedotransfer Functions", **Geoderma**, 131, pp. 308-316.
- Pachepsky, Y., W. Rawls, D. Gimenéz and J. P. C. Watt, (1998), "Use of Soil Penetration Resistance and Group Method of Data Handling to Improve Soil Water Retention Estimates", **Soil and Tillage Research**, 49, pp. 117-126.
- Pachepsky, Ya.A., D. Timlin, and G. Varallyay. (1996), "Artificial Neural Networks to Estimate Soil Water Retention from Easily Measurable Data", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 60, pp.727-733.

- Puckett, W. J., J. H. Dane and B. F. Hajek, (1985), "Physical and Mineralogical Data to Determine Soil Hydraulic Properties", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 49, pp. 831-836.
- Rajkai, K., S. Kabos and M.Th. van Genuchten, (2004), "Estimating the Water Retention Curve from Soil Properties: Comparison of Linear, Nonlinear and Concomitant Variable Methods", **Soil and Tillage Research**, 79(2), pp. 145-152.
- Rawls, W. J. and D. L. Brakensiek, (1982), "Estimating Soil-Water Retention from Soil Properties", **J. Irrig. Drain. Div.**, 108 (2), pp. 166-171.
- Rawls, W. J., T. J. Gish and D. L. Brakensiek, (1991), "Estimating Soil-Water Retention from Soil Physical Properties and Characteristics", **Adv. Soil Sci.**, 16, pp. 213-234.
- Rawls, W.J, D.L. Brakensiek, K.E. Saxton, (1982), "Estimation of Soil Water Properties", **Trans. ASAE**, 25, pp. 1316-1320.
- Rawls, W.J. and D.L. Brakensiek, (1985), "Prediction of Soil Water Properties for Hydrologic Modeling", pp. 293-299, *In* Jones, E.B. and T.J. Ward (ed.), **Watershed Management in the Eighties**, Proc. Irrig. Drain. div., ASCE, Denver, CO. April 30 - May 1.
- Rawls, W.J., L.R. Ahuja and D.L. Brakensiek, (1992), "Estimating soil Hydraulic Properties from Soils Data", *In* M. Th. van Genuchten, M.Th., F.J. Leij, and L.J. Lund (ed.), **Indirect methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils**, Proc. Int Worksh. Riverside, CA. Oct 11-13. 1989. University of California, Riverside, CA, pp, 329-340
- Rawls, W.J., Y. Pachepsky, M.H. Shen, (2001), "Testing Soil Water Retention with the MUUF Pedotransfer Model Using Data from the Southern United States", **Journal of Hydrology**, 251, pp. 177-185.
- Russo, D., (1988), "Determining Soil Hydraulic Properties by Parameter Estimation: On the Selection of a Model for the Hydraulic Properties", **Water Resour. Res.**, 24 (3), 453-459.
- Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger, and R. I. Papendick, (1986), "Estimating Generalized Soil-Water Characteristics from Texture", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 50 (4), 1031-1036.
- Schaap, M. G. and F. J. Leij, (1998), "Using Neural Networks to Predict Soil Water Retention and Soil Hydraulic Conductivity", **Soil and Tillage Research**, 47, pp. 37-42.
- Schaap, M.G. and W. Bouten. (1996), "Modeling Water Retention Curves of Sandy Soils Using Neural Networks", **Water Resour. Res.**, 32, pp. 3033-3040.

- Schaap, M.G., Leij F.J. and van Genuchten M.Th, (1998), "Neural Network Analysis for Hierarchical Prediction of Soil Water Retention and Saturated Hydraulic Conductivity", **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62, pp. 847-855.
- Schaap, M.G., Leij F.J. and van Genuchten M.Th., (2001), ROSETTA: A Computer Program for Estimating Soil Hydraulic Parameters with Hierarchical Pedotransfer Functions", **Journal of Hydrology**, 251, pp. 163-176.
- Soil Survey Staff, (1997), **National Characterization Data**, Soil Survey Laboratory, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE.
- Stolte, J., J.I. Freyer, W., et al, (1994), "Comparison of Six Methods to Determine Unsaturated Soil Hydraulic Conductivity", **Soil Sci Soc. Am. J.**, 58, pp. 1596-1603.
- Sys, C., E. Van Ranst, J. Debaveye, (1991), **Land Evaluation, Part I**, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium.
- Tamari, S., J.H.M. Wösten, and J.C. Ruiz-Suárez, (1996), "Testing an Artificial Neural Network for Predicting Soil Hydraulic Conductivity", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 60:1732-1741.
- Tomasella, J., M.G. Hodnett, (1998), "Estimating Soil Water Retention Characteristics from Limited Data in Brazilian Amazonia", **Soil Sci.**, 163, pp. 190-202.
- Tomasella, J., M.G. Hodnett, L. Rossato, (2000), "Pedo-Transfer Functions for the Estimation of Soil Water Retention in Brazilian Soils", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64, pp. 327-338.
- Tempel P., N.H. Batjes and V.W.P. van Engelen, (1996), **IGBP-DIS Soil Data Set for Pedotransfer Function Development**, Working paper and Preprint 96/05, International Soil Reference and information Centre (ISRIC), Wageningen.
- Ungaro, F. and C. Calzolari, (2001), "Using Existing Soil Databases for Estimating Retention Properties for Soils of the Pianura Padano–Veneta Region of North Italy", **Geoderma**, 99, pp. 99-121.
- Ungaro, F., C. Calzolari and E. Busoni, (2005), "Development of Pedotransfer Functions Using a Group Method of Data Handling for the Soil of the Pianura Padano–Veneta Region of North Italy: Water Retention Properties", **Geoderma**, 124, pp. 293-317.
- van Alphen, B. J., H. W. G. Booltink and J. Bouma, (2001), "Combining Pedotransfer Functions with Physical Measurements to

Improve the Estimation of Soil Hydraulic Properties", **Geoderma**, 103, pp. 133-147.

- van den Berg, M., E. Klamt, L. P., et al, (1997), "Pedotransfer Functions for the Estimation of Moisture Retention Characteristics of Ferralsols and Related Soils", **Geoderma**, 78, pp. 161-180.
- van Genuchten, M. Th., (1980), "A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils", **Soil Sci. Am. J.**, 44, pp. 892-898.
- Vereecken, H., (1995), "Estimating the Unsaturated Hydraulic Conductivity from Theoretical Models Using Simple Soil Properties", **Geoderma**, 65, pp. 81-92.
- Vereecken, H., J. Maes, and J. Feyen. (1990), "Estimating Unsaturated Hydraulic Conductivity from Easily Measured Soil Properties", **Soil Sci.**, 149, pp. 1-12.
- Vereecken, H., J. Mase, J. Feyen and P. Darius, (1989), "Estimating the Soil Moisture Retention Characteristics from Texture, Bulk Density and Carbon Content", **Soil Science**, 148 (6), pp. 389-403.
- Wagner, B.,V. R. Tarnawski, G. Wessolek and R. Plagge, (1998), "Suitability of Models for the Estimation of Soil Hydraulic Parameters", **Geoderma**, 86, pp. 229-239.
- Wagner, B.,V. R. Tarnawski, et al, (2001), "Evaluation of Pedo-Transfer Functions for Unsaturated Soil Hydraulic Conductivity Using an Independent Data Set", **Geoderma**, 102, pp. 275-297.
- Walczak, R.T., F., Moreno, C. Stawinski, et al, (2006), "Modeling of Soil Water Retention Curve Using Soil Solid Phase Parameters", **Journal of Hydrology**, 329, pp. 527-533.
- Wösten J.H.M., P.A. Finke and M.J.W. Jansen, (1995), "Comparison of Class and Continuous Pedotransfer Functions to Generate Soil Hydraulic Characteristics", **Geoderma**, 66, pp. 227-237.
- Wösten, J. H. and M. Van Genuchten, (1988), "Using Texture and other Soil Properties to Predict the Unsaturated Soil Hydraulic Properties", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 52, pp.1762-1770.
- Wösten, J. H. M. , Ya. A. Pachepsky and W. J. Rawls, (2001), "Pedotransfer Functions: Bridging the Gap Between Available Basic Soil Data and Missing Soil Hydraulic Characteristics", **Journal of Hydrology**, 251, pp. 123-150.
- Wösten, J. H. M., A. Lilly, A. Nemes and C. Le Bas, (1999), "Development and Use of a Database of Hydraulic Properties of European Soils", **Geoderma**, 90, pp. 169-185.

- Young, M. D. B., Gowing, J. W., et al, (1999), "Assessment and Development of Pedotransfer Functions for Semi-Arid Sub-Saharan Africa", **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, 24, pp. 845-849.

الملحق رقم (١)

مصفوفتا الأوزان W و U لنماذج الشبكات العصبية الاصطناعية

Bootstrab # 1

$$W = \begin{vmatrix} -0.1414 & -0.1745 & -0.4362 & -0.0446 & -0.2324 \\ 128.9163 & -83.8076 & 29.2814 & -113.5536 & 24.9817 \\ -1.7064 & 4.3961 & 1.2549 & 1.4442 & 0.2481 \\ -34.8070 & -37.2866 & 87.2884 & 2.7550 & -8.3813 \\ 3.1244 & -7.3228 & -0.4325 & -3.7892 & 0.6065 \\ -1.9665 & -0.7955 & 6.2955 & -16.1826 & 0.5496 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -2.5613 & -0.1560 & -4.9550 & -0.0458 & -2.0987 & 0.3556 & 2.1976 \\ -2.7094 & -0.0453 & -0.7564 & 0.0839 & -0.2515 & 0.0970 & -0.4027 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 2

$$W = \begin{vmatrix} -18.8030 & -125.5377 & 20.0329 & 31.7853 & -3.7823 \\ 181.9242 & -203.1879 & -41.3348 & -16.7680 & 13.6988 \\ -4.0996 & 1.7318 & 2.3455 & -6.4350 & -0.0391 \\ 4.2934 & 0.6863 & 28.2149 & -22.4433 & 4.3252 \\ -0.7130 & 1.4095 & -0.5689 & 2.7792 & -0.0114 \\ 0.2109 & 0.1493 & 0.3325 & 0.2424 & -0.0150 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.1640 & -0.1172 & 0.3134 & 0.1415 & -0.0299 & 1.6479 & -0.2065 \\ -0.0280 & -0.0832 & 0.1821 & 0.1331 & -0.3684 & 3.3821 & -0.6420 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 3

$$W = \begin{vmatrix} -0.5932 & -0.7195 & 0.8120 & 0.0579 & -0.5417 \\ 3.6485 & -130.2569 & 49.9122 & -4.6253 & 3.3688 \\ 1.9915 & 2.4169 & -1.2228 & 0.0792 & 0.7676 \\ -23.1004 & -1.5698 & 38.0475 & 100.2507 & -9.2224 \\ -38.7069 & -6.8019 & 23.6858 & 26.5429 & -5.9761 \\ -0.7675 & 0.2827 & -0.0163 & -2.4323 & -0.5472 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.6812 & -0.1285 & 0.4480 & 0.2311 & 0.0829 & 1.5188 & 1.6175 \\ 1.5891 & -0.0903 & 2.5913 & 0.0360 & 0.0958 & 0.5135 & -0.6279 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 4

$$W = \begin{vmatrix} -1.6041 & 1.5723 & 0.8791 & 0.9754 & -0.3925 \\ -28.8848 & -42.1043 & 45.6227 & 215.6338 & -16.8882 \\ -1.9188 & -1.5243 & 5.0093 & 0.0796 & -0.8542 \\ -1.7347 & 1.9393 & 1.1636 & 0.9709 & -0.4298 \\ 11.6687 & 1.8517 & -21.5191 & 52.7178 & -0.9258 \end{vmatrix}$$

12.5247	-7.6970	74.8765	-46.6401	4.6912	

$$U = \begin{vmatrix} 2.6368 & 0.1570 & -0.0368 & -2.2799 & -0.4817 & 0.2166 & 0.7170 \\ 1.2487 & 0.0637 & 0.2737 & -1.1448 & -0.1449 & 0.0452 & 0.6484 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 5

$$W = \begin{vmatrix} -0.4804 & 1.3897 & -3.7473 & 1.5670 & 0.0059 \\ 0.4596 & -1.3765 & 3.3222 & -0.8998 & -0.2352 \\ 77.5121 & -9.2431 & -16.5192 & -71.4571 & 12.9117 \\ -1.0063 & 1.1071 & -4.3472 & 2.2611 & 0.1927 \\ -5.3040 & 7.7805 & -3.9612 & -13.1154 & 2.1563 \\ 0.1268 & 0.7738 & -0.1023 & -0.2199 & 0.7491 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 12.3696 & 7.6611 & -0.1454 & -5.6549 & 0.3472 & 4.0966 & -2.8242 \\ 0.8541 & 1.3669 & -0.1337 & -0.0166 & 0.0585 & 2.2064 & -1.2697 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 6

$$W = \begin{vmatrix} 1.1491 & 0.2003 & -1.2519 & -0.2830 & -0.2688 \\ 62.1513 & 25.4571 & -40.1547 & -52.2349 & 11.8764 \\ -0.9522 & -2.5382 & 5.1072 & 0.3974 & -0.4204 \\ 1.5062 & -0.0004 & -0.7678 & -0.1198 & -0.3733 \\ -34.9041 & -0.6542 & 21.1847 & 185.3403 & -4.0363 \\ -4.4455 & 2.9699 & 4.1135 & -18.6364 & 0.2097 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 2.1234 & -0.1577 & 0.3719 & -1.6693 & 0.2136 & 0.2804 & 1.0454 \\ 1.0410 & -0.0859 & 0.3318 & -1.0072 & 0.0039 & 0.0397 & 0.7468 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 7

$$W = \begin{vmatrix} -0.9989 & -0.9778 & 2.8866 & -0.5693 & -0.1894 \\ -10.2916 & 3.7625 & -0.0895 & 4.2904 & -0.7832 \\ 2.3179 & 0.6608 & 7.5831 & -7.7953 & 1.1578 \\ -0.0146 & -0.1174 & 1.4980 & -0.7825 & -0.1464 \\ -13.7761 & 4.8787 & -0.9666 & 2.6622 & 0.7001 \\ -12.2067 & 2.4146 & 17.0406 & -31.5326 & 2.5936 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.7290 & 0.7158 & 0.3359 & -1.5578 & -0.5564 & 0.2873 & 0.6896 \\ 0.7340 & 0.4064 & 0.1319 & -0.8283 & -0.3160 & 0.0565 & 0.6157 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 8

$$W = \begin{vmatrix} 1.0896 & 0.3112 & 0.2360 & -10.2225 & -0.2572 \\ -1.6849 & -1.4855 & -0.3122 & 18.9341 & -0.0176 \end{vmatrix}$$

-3.4167	2.0610	0.9206	0.8617	-0.2861
-0.7708	0.0144	1.7025	0.2114	-0.4103
-0.4253	-2.2198	2.6273	0.1024	-0.1129
-201.1689	52.1617	97.2425	-247.5609	37.5261

$$U = \begin{vmatrix} -2.1151 & -1.4749 & 0.5851 & -1.0751 & 0.6682 & 0.1590 & 0.2046 \\ -0.2413 & -0.2415 & 0.1757 & 0.0439 & 0.2706 & -0.0082 & 0.5109 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 9

$$W = \begin{vmatrix} 2.5653 & 0.7862 & 7.9304 & -0.2280 & -5.3138 \\ -2.9630 & 10.7180 & 1.5064 & -2.1962 & 0.2610 \\ -2.4569 & 11.2658 & 1.6469 & -2.0790 & -0.3889 \\ -44.0406 & -8.8059 & 64.2518 & -139.3459 & 17.1126 \\ 2.0836 & -3.9538 & -3.2042 & 4.6563 & -5.1439 \\ -8.3168 & 0.4814 & 1.4688 & 5.7569 & -1.0592 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.1464 & -17.9802 & 17.6780 & 0.2449 & -39.7111 & 0.1770 & -38.6331 \\ 0.2481 & -5.1437 & 5.0524 & 0.0684 & -12.8314 & 0.1162 & -12.1308 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 10

$$W = \begin{vmatrix} -0.9871 & 0.8521 & -1.7259 & 0.3771 & -0.0103 \\ 48.9934 & -121.5418 & -34.7372 & 9.1542 & 10.2975 \\ 5.2605 & -3.7669 & -1.8889 & -0.8109 & 0.6815 \\ -3.3478 & 6.6595 & 7.3285 & -26.9629 & 2.5397 \\ 1.0898 & -1.0532 & 1.6678 & -0.6774 & 0.3499 \\ -3.6233 & 2.8856 & 3.3428 & -10.9025 & 0.3359 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.9028 & 0.0877 & -0.2270 & -0.2361 & -0.6918 & 0.4058 & 0.6709 \\ -3.1284 & -0.0167 & -0.1258 & 0.0159 & -2.7065 & 0.0621 & 0.4594 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 11

$$W = \begin{vmatrix} 27.0664 & 0.3136 & -12.5445 & 41.8767 & -3.5595 \\ 2.6180 & -0.5612 & -1.2274 & -0.9129 & 0.4022 \\ -2.3207 & 0.4650 & -9.7376 & 6.4184 & -1.9819 \\ -0.2023 & -1.2926 & 0.6904 & 1.5532 & 0.3747 \\ 0.3054 & 1.1880 & -0.7495 & -1.0579 & -0.6266 \\ 3.2996 & 0.0373 & -1.0860 & 5.1405 & -0.0114 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 1.2054 & -0.2957 & -2.6238 & 2.7102 & 3.0486 & -4.8605 & 1.8901 \\ 0.1450 & -0.2925 & -1.3891 & -0.6731 & -1.3419 & -0.7267 & -0.6524 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 12

$$W = \begin{vmatrix} 48.5546 & 18.0721 & -8.3250 & -36.9983 & 10.1007 \\ 0.1669 & 0.0748 & -0.9237 & 0.3061 & -0.1158 \end{vmatrix}$$

-0.0283	0.0736	1.4661	-1.1001	-0.1951
-1.2360	-0.4120	1.4879	1.5671	-0.1513
7.9127	-134.4588	23.5792	16.4893	2.0892
-2.4983	1.0361	3.0457	-2.7441	-0.3701

$$U = \begin{vmatrix} 0.4837 & -13.1099 & -6.7959 & -1.8942 & -0.2136 & 0.7507 & -2.7337 \\ 0.1615 & -6.8788 & -3.1627 & -0.7963 & -0.1124 & 0.2181 & -1.2683 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 13

$$W = \begin{vmatrix} -2.1760 & 0.5131 & 1.0391 & -0.3266 & 0.1322 \\ 2.1340 & -0.3848 & -1.1075 & 0.1226 & -0.0501 \\ 1.3438 & 1.6993 & -2.7870 & -0.7547 & 0.1447 \\ -345.0718 & 209.5937 & 66.8524 & 421.7935 & -52.8414 \\ 6.1884 & -3.3600 & -5.6057 & 20.5603 & -0.6157 \\ 0.8644 & -1.3675 & 3.6367 & -6.3694 & 0.2698 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 2.3802 & 2.1849 & -0.3405 & -0.1186 & -0.2289 & -0.2107 & 0.6705 \\ -0.5165 & -0.7687 & -0.2429 & -0.0508 & -0.0192 & 0.0526 & 0.6181 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 14

$$W = \begin{vmatrix} -1.2655 & 1.1479 & -1.3390 & -1.0636 & 0.0855 \\ 1.8387 & -1.2151 & -1.0187 & 0.0288 & 0.2625 \\ 0.8396 & 0.5157 & -1.2796 & -0.0308 & -0.2166 \\ -1.2910 & 0.7110 & 1.2379 & -0.0013 & -0.2750 \\ -3.2054 & 2.7319 & 0.5671 & -0.0855 & -0.6183 \\ 1.5205 & -5.3299 & 46.7194 & -62.0177 & 5.9088 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 1.6492 & -9.7547 & -5.3361 & -12.3281 & -1.4702 & -0.1342 & 1.4404 \\ 0.3914 & -2.5184 & -2.0875 & -3.3104 & -0.3368 & -0.0754 & 0.6168 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 15

$$W = \begin{vmatrix} 0.0949 & -3.8106 & -9.8997 & -5.5082 & 8.2238 \\ -5.9536 & -48.5836 & 128.5937 & 52.9005 & -10.6806 \\ 9.5890 & 7.0768 & 9.5846 & 6.4578 & 4.9649 \\ 6.4321 & 4.5246 & -1.8470 & -4.9032 & 3.5357 \\ 1.8680 & -2.9098 & 2.4877 & -0.6379 & -0.1438 \\ -2.0585 & 1.7197 & 0.0548 & 0.6264 & -0.1905 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.2447 & 0.1957 & -4.1755 & 9.2945 & 0.7878 & 1.1890 & -4.7822 \\ 0.0159 & 0.0869 & -0.7127 & 1.5182 & 0.6373 & 0.7724 & -0.4800 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 16

$$W = \begin{vmatrix} 14.8010 & -12.6270 & -4.4684 & -94.9105 & 5.7547 \end{vmatrix}$$

125.9847	-40.8631	-58.1802	205.8041	-36.9614
113.1016	205.8113	-531.1885	154.4677	-1.3726
-8.2373	-16.8060	39.7974	63.9285	-4.8895
-22.1251	931.5232	-565.8894	429.9726	-112.9270
1.7923	1.0768	-2.3720	-0.3265	0.1595

$$U = \begin{vmatrix} 5.4245 & -0.1631 & 0.1276 & 5.5528 & 0.1296 & -0.4443 & 0.4914 \\ 2.7095 & -0.0331 & 0.0078 & 2.7125 & 0.1106 & -0.4562 & 0.5330 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 17

$$W = \begin{vmatrix} 0.5003 & 1.9167 & -2.7653 & -2.5907 & 0.4848 \\ 0.3843 & -0.4848 & 2.7689 & -2.2587 & -0.0426 \\ 0.5193 & -0.2599 & 2.2634 & -1.3297 & -0.3084 \\ -11.3917 & 122.7009 & -138.3625 & -27.1689 & 8.7279 \\ 1.4460 & 0.4475 & 0.9403 & -1.1038 & 0.6217 \\ -1.5922 & 1.4228 & 0.7884 & -0.9139 & -0.0893 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.4440 & -2.9747 & 3.6680 & -0.1608 & 1.9891 & 0.6140 & -1.5176 \\ 0.0623 & -1.0971 & 1.9124 & -0.0300 & -1.5892 & 0.1476 & 1.6272 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 18

$$W = \begin{vmatrix} 0.8458 & -0.9320 & 0.0647 & 1.9706 & 0.0893 \\ -0.0622 & -1.2919 & 1.5404 & 0.9398 & 0.0570 \\ 0.9702 & -1.0450 & -0.3863 & 2.5040 & 0.2914 \\ 0.1298 & -4.4557 & 3.4772 & -0.0488 & -0.4377 \\ -0.9035 & 1.7609 & -1.1865 & -0.7238 & 0.4305 \\ -0.2243 & -4.1714 & 2.7793 & 0.0550 & 0.0689 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 10.2455 & -1.3629 & -7.8531 & -7.8407 & 2.9419 & 9.8032 & 0.5931 \\ 2.1598 & 0.3447 & -1.6009 & -3.6277 & 1.4848 & 4.5815 & 0.3923 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 19

$$W = \begin{vmatrix} -4.9465 & -16.1646 & 2.1683 & 6.2217 & -1.6727 \\ 15.5386 & -88.2395 & 65.5076 & -6.2686 & 0.4456 \\ 7.0753 & -3.9742 & -5.4178 & 25.6979 & -1.1273 \\ 2.6064 & 11.5616 & -10.5106 & 4.4558 & 0.5373 \\ -1.6390 & -0.3709 & 1.8047 & 0.1554 & -0.3702 \\ 2.3659 & 5.0629 & -10.2543 & 2.7851 & -0.0201 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.5874 & 0.1063 & -0.3269 & 0.1802 & 0.6668 & 0.1733 & 0.2650 \\ -0.0170 & 0.0365 & -0.0084 & 0.1015 & 0.4131 & -0.0758 & 0.5546 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 20

$$W = \begin{vmatrix} 4.0780 & -7.6706 & -10.0350 & 13.1513 & -0.5466 \\ -2.9084 & 0.1371 & -58.4287 & 33.8810 & -4.2439 \\ -13.4413 & -8.5992 & 24.7219 & 1.1792 & -2.3164 \\ -1.1899 & 0.1075 & 0.5260 & -1.5578 & -0.4496 \\ -0.1933 & 0.1196 & -0.5441 & -0.7005 & -0.3639 \\ -211.9013 & 114.8930 & 48.8776 & 51.7466 & -15.3484 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.1631 & -0.1657 & -0.0183 & 1.5087 & -1.0683 & 0.1653 & 0.8507 \\ 0.0082 & -0.0858 & 0.1412 & 0.7228 & -1.0770 & 0.0249 & 0.2612 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 21

$$W = \begin{vmatrix} -19.0614 & -33.4996 & 85.3591 & 93.1436 & -5.6094 \\ 0.0707 & -2.2976 & 3.4341 & 4.1430 & -0.7419 \\ 10.8100 & -23.1795 & -14.4076 & 1.5259 & 4.2067 \\ -2.4645 & -8.5820 & -41.8752 & 26.5994 & -1.7215 \\ 0.9047 & 0.5113 & -1.8638 & -0.2314 & 0.4244 \\ 24.9452 & 33.9159 & -8.3431 & -19.1659 & 2.3961 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.3926 & -0.3667 & 0.1126 & -0.1073 & -0.5753 & 0.3437 & 0.0987 \\ 0.0055 & -0.0358 & 0.0346 & -0.0719 & -0.5870 & 0.1115 & 0.4216 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 22

$$W = \begin{vmatrix} -12.5457 & -0.0106 & -30.6572 & 32.6648 & 11.6520 \\ 1.6279 & -44.5000 & 60.1325 & -10.0742 & 3.5082 \\ 431.5301 & -265.6653 & -34.7084 & -593.8875 & 45.2119 \\ -3.3836 & -2.7935 & 2.2205 & 0.7546 & 1.6728 \\ -0.6723 & -0.0954 & 4.7930 & -5.4515 & -1.3511 \\ -2.8766 & -0.2036 & -0.0321 & 0.2205 & 1.8514 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.3768 & 0.1705 & 0.0846 & -0.1102 & 0.5005 & 0.5151 & 0.5072 \\ 0.0630 & 0.0783 & 0.0324 & 0.2414 & 0.0641 & 0.2194 & 0.4580 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 23

$$W = \begin{vmatrix} -1803.5829 & -1479.3581 & -967.0184 & 1.6923 & 2124.0150 \\ -700.9266 & -578.5934 & -376.4005 & -0.6752 & 827.8950 \\ 204.0843 & 175.4684 & 112.9517 & 3.0201 & -248.0782 \\ -1817.1558 & -1322.0369 & -864.4064 & 253.4625 & 2015.7788 \end{vmatrix}$$

-304.6302	-252.8922	-166.4182	7.9903	361.4072
41.9121	44.9153	11.5006	-18.0636	-27.3094

$$U = \begin{vmatrix} -0.1702 & 0.1264 & 0.2861 & 0.2084 & -0.3392 & 0.2876 & 0.3646 \\ -0.0866 & -0.2474 & 0.1241 & -0.0060 & -0.1408 & 0.0357 & 0.5465 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 24

$$W = \begin{vmatrix} -13.7652 & -9.9585 & -15.7769 & 11.9835 & 9.6493 \\ 1.1841 & 0.8420 & -4.0159 & -1.1923 & 1.5624 \\ -11.1393 & 8.2227 & -10.9485 & 4.3718 & 9.5609 \\ 7.2313 & 2.4413 & 2.3070 & 1.3177 & -4.6692 \\ 59.8049 & 48.5851 & -76.7435 & -425.2157 & 27.6371 \\ -5.2174 & -3.8802 & 0.3120 & 11.9563 & 2.5727 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.1701 & -0.2692 & 0.2633 & -0.2100 & -0.4849 & -0.4153 & 0.2374 \\ -0.1120 & -0.3955 & 0.1628 & -0.1231 & 0.0459 & -0.0104 & 0.4561 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 25

$$W = \begin{vmatrix} 2.6575 & -7.4259 & -1.5312 & 0.4569 & 2.7842 \\ 227.3571 & -219.8795 & -418.7774 & -118.3578 & 79.7976 \\ -0.3736 & -0.2372 & 2.7250 & -0.0648 & -0.8133 \\ -199.3209 & 34.9584 & 153.4949 & -232.2666 & 24.5870 \\ 1.4591 & -5.8967 & 6.9324 & -0.5591 & -0.9374 \\ -0.6864 & 19.7251 & -38.9747 & 24.6618 & -4.5877 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.2560 & 0.0791 & 0.0080 & 0.1839 & 0.2787 & 0.1208 & 0.7056 \\ -0.0662 & 0.0824 & 0.4910 & -0.0105 & 0.0433 & 0.0556 & 0.5051 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 26

$$W = \begin{vmatrix} -46.9406 & 78.0835 & -3.5684 & 169.0439 & -21.3503 \\ -10.7143 & 3.9031 & 11.5323 & -40.8765 & 1.8546 \\ 3.3368 & -1.7367 & -1.3245 & -0.9390 & 0.5432 \\ -26.8009 & 4.3444 & -9.1929 & -5.6895 & 1.1258 \\ 0.0450 & -2.5433 & 3.9860 & -0.2975 & -0.5172 \\ -0.2357 & -3.2002 & 3.7911 & -0.3928 & 0.0834 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.1674 & 0.2458 & -0.4609 & -0.9259 & -3.5790 & 3.5824 & -0.3169 \\ 0.0009 & 0.0254 & -0.2124 & -0.0416 & 0.1668 & 0.0753 & 0.5072 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 27

$$W = \begin{vmatrix} 0.5048 & 1.5532 & -0.7753 & -1.0494 & 0.3053 \\ -4.7491 & 0.3166 & 1.8866 & 3.5395 & -1.1655 \\ 0.0185 & -1.2565 & -1.8736 & -0.8043 & 0.1732 \\ -0.2476 & 1.3298 & -2.6600 & 0.2333 & 0.3231 \\ -0.5992 & -1.8981 & 1.0384 & 1.3913 & -0.4765 \\ -0.7753 & 1.0554 & 1.9825 & 1.7922 & -0.1284 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 10.1886 & 0.2737 & 9.0053 & -0.8731 & 7.9201 & 4.6076 & 3.9743 \\ 2.3145 & 0.2228 & 1.1107 & -0.5370 & 1.6615 & 0.6664 & 0.6956 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 28

$$W = \begin{vmatrix} 2.3073 & 3.0234 & -8.0581 & -9.3794 & 1.3358 \\ 0.4642 & 1.0239 & -6.8563 & 4.7683 & 0.0002 \\ -0.5207 & 0.2869 & -1.8774 & 0.3659 & -0.4748 \\ 2.9960 & 3.6589 & -10.1972 & -11.6280 & 1.4709 \\ 14.5713 & -26.2610 & -7.2798 & -3.4738 & 3.8671 \\ 1.2280 & -0.8004 & -1.1008 & 0.3964 & 0.2750 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 1.8424 & 0.3024 & -2.0656 & -1.8359 & 0.1318 & -0.7334 & -1.1731 \\ -0.2711 & 0.2249 & -2.6791 & 0.3317 & 0.0143 & -0.5402 & -1.6435 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 29

$$W = \begin{vmatrix} -0.4003 & 1.3832 & -0.0294 & -5.8762 & 0.4193 \\ 9.4171 & -1.3441 & -4.4673 & -6.7153 & 4.9516 \\ -11.0952 & 3.9510 & 3.2725 & -13.7067 & 0.7902 \\ 48.9714 & -54.0185 & -11.6448 & -2.3997 & 3.1168 \\ 2.9205 & -3.1739 & 7.1876 & -4.9357 & 0.5904 \\ -46.3548 & -34.1670 & 114.6393 & 3.1257 & -15.1051 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.4481 & -0.0651 & 0.6076 & -0.2237 & 0.2104 & -0.0611 & 0.5932 \\ -0.4092 & -0.1147 & 0.4314 & -0.0770 & 0.1235 & 0.1262 & 0.5718 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 30

$$W = \begin{vmatrix} -1.3678 & 1.3474 & 2.8879 & -2.4080 & -0.0935 \\ -0.2780 & -0.3653 & 2.1613 & -0.5282 & -0.2529 \\ 101.1617 & -218.8169 & 26.5881 & -130.6122 & 31.1780 \\ -0.0866 & 3.9818 & -4.4932 & 1.0976 & -0.1509 \end{vmatrix}$$

1.9337	-0.9085	-2.1482	1.7468	-0.4251
2.4588	-2.9618	15.4388	-6.3299	0.6557

$$U = \begin{vmatrix} -2.9025 & -1.5019 & -0.0739 & -0.6132 & -3.8182 & 0.6241 & 0.1636 \\ -1.6720 & 0.3936 & 0.0660 & -0.0935 & -1.8075 & -0.0241 & 0.4941 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 31

$$W = \begin{vmatrix} 8.7667 & 0.9746 & -3.3030 & 6.6178 & -3.5276 \\ 1.2022 & 1.4568 & -0.1861 & -0.8187 & -0.6242 \\ 0.8859 & 0.7791 & -1.8421 & -0.5902 & 0.4883 \\ -28.2908 & -24.1535 & 13.4212 & -15.4422 & 36.1292 \\ 171.9369 & 226.4718 & -134.2019 & 33.5808 & -14.6642 \\ -53.1737 & 96.4021 & 44.0173 & -41.2918 & -16.7630 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.3561 & -1.6784 & 0.9730 & 0.2584 & 0.2219 & 0.2466 & 0.4654 \\ -0.0704 & -0.0740 & -0.3591 & 0.1014 & 0.0916 & 0.0539 & 0.4285 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 32

$$W = \begin{vmatrix} -15.8294 & -28.5387 & 69.7497 & 109.1151 & -10.3224 \\ -3.8458 & 0.6873 & 1.7526 & 1.6097 & -0.4040 \\ 0.6953 & 1.8262 & -2.8401 & 0.3100 & -0.1007 \\ -5.6183 & 1.2632 & 1.9592 & 2.6679 & -0.3689 \\ 3.2017 & 2.2548 & 8.9456 & -42.9703 & -0.3161 \\ 13.1186 & 0.1922 & -4.6758 & -0.8951 & -0.0280 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.4569 & -1.6764 & -0.2032 & 1.4367 & 0.3137 & -0.3566 & 0.4654 \\ 0.0828 & -0.3476 & -0.3068 & 0.4098 & 0.0933 & -0.1130 & 0.5649 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 33

$$W = \begin{vmatrix} -38.4440 & -43.6465 & 101.1028 & -6.7620 & -6.9482 \\ -1.1693 & 1.7104 & -2.4436 & 1.9367 & -0.0828 \\ 0.6270 & -1.4858 & -2.7510 & 4.7891 & -0.0793 \\ -0.0546 & -0.9145 & -2.6296 & 3.4919 & 0.4468 \\ 5.1735 & -2.7815 & -0.6979 & -3.1874 & 0.9411 \\ -0.4990 & -0.0309 & -3.0505 & 3.3400 & 0.3905 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.0342 & -0.8079 & 2.0613 & -5.0711 & -0.2598 & 3.2256 & 0.5978 \end{vmatrix}$$

0.1461	-0.3871	0.6222	-1.5626	-0.2112	1.0460	0.5675

Bootstrab # 34

$$W = \begin{vmatrix} 4.0660 & -0.0849 & -3.4798 & -2.2354 & 1.7367 \\ -140.3229 & -174.6087 & 387.6383 & 919.4808 & -75.8941 \\ -4.5783 & 1.4422 & 1.0296 & -8.9126 & 1.2237 \\ 0.2944 & 1.1170 & -4.7816 & 0.3991 & 1.5439 \\ -89.5326 & -110.2526 & 23.9914 & 99.4988 & -31.7600 \\ 11.7910 & -42.1421 & 26.6690 & -13.7221 & -4.6624 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.1702 & 0.1565 & 0.4203 & -0.0607 & -0.1501 & -0.0979 & 0.5706 \\ -0.1650 & 0.0191 & 0.0653 & -0.2423 & -0.0725 & -0.0247 & 0.5409 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 35

$$W = \begin{vmatrix} -13.2720 & -12.5798 & 34.9175 & 72.6459 & -5.3021 \\ 0.3604 & -0.1428 & 0.6037 & -0.6871 & 0.0179 \\ 0.3523 & -0.5370 & 1.7689 & -1.3285 & -0.1063 \\ -1.1140 & -0.8237 & -1.2634 & 1.8835 & 0.3815 \\ 0.6904 & 0.0834 & -0.9916 & 0.6414 & 0.1641 \\ -1.0444 & 0.5626 & 0.2204 & 0.1227 & -0.1756 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.2867 & 18.8604 & -3.2931 & 3.7765 & 3.6601 & 5.7402 & -0.3548 \\ 0.0624 & 3.6748 & 0.5482 & 1.2673 & 1.8039 & 2.1086 & 0.2780 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 36

$$W = \begin{vmatrix} 2.5260 & 0.2636 & -1.0709 & -3.2419 & 1.2093 \\ 398.9538 & 346.9173 & -1088.5702 & 200.3799 & 59.9483 \\ 0.7615 & -3.5768 & -1.2065 & 15.5336 & -0.8997 \\ 7.7357 & 4.5351 & 8.5910 & -8.6963 & -8.6281 \\ 4.7222 & 6.0006 & -3.2855 & 7.3426 & -9.7839 \\ -1.2986 & 2.9715 & 1.0680 & -14.4015 & 1.3057 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.3820 & 0.1031 & 8.3453 & 0.0474 & -0.3106 & 8.7228 & 0.6968 \\ -0.3174 & -0.0372 & 2.3159 & 0.1565 & -0.1815 & 2.3324 & 0.5815 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 37

$$W = \begin{vmatrix} -0.1571 & -0.3104 & 2.0984 & -1.2835 & -0.1154 \\ -79.0000 & 186.9073 & 246.6820 & -88.0638 & -11.4978 \\ 3.2046 & -13.0578 & 8.7395 & -9.1223 & 1.1313 \\ -0.7124 & -0.9061 & 2.1205 & -1.7979 & 0.6768 \\ -0.4552 & -0.0415 & -0.7695 & -1.0501 & -0.0556 \\ 4.0315 & -73.5929 & 57.7728 & 30.1872 & -5.6233 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 5.6430 & -0.1034 & -0.1737 & -4.5724 & 2.7275 & 0.1357 & 2.4832 \\ 3.4635 & -0.0526 & -0.0450 & -2.6438 & 0.0942 & 0.0014 & 0.4902 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 38

$$W = \begin{vmatrix} 5.1420 & -5.5811 & -1.9462 & 2.2457 & 0.1466 \\ -7.1701 & -6.0484 & 8.9859 & -2.6659 & 3.7499 \\ 0.5635 & -2.3664 & -2.8687 & 12.5745 & 0.1295 \\ -0.8309 & 26.6839 & -30.6108 & 2.3631 & -0.1538 \\ -48.2546 & -19.8690 & 33.4827 & 40.4517 & -10.6559 \\ -2.5140 & 2.7202 & 3.9033 & -16.5590 & 0.3414 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.2716 & -0.1593 & 1.0580 & -0.1208 & 0.1251 & 1.2088 & 0.7231 \\ -0.1256 & 0.0749 & 0.5849 & -0.0748 & 0.1284 & 0.5388 & 0.5455 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 39

$$W = \begin{vmatrix} -2.2530 & 0.6247 & -19.7567 & 14.6314 & -3.5540 \\ -1.1494 & 0.9553 & 1.3448 & -3.3173 & -0.4518 \\ 1.7626 & 1.1835 & -2.5689 & -1.2334 & 0.5999 \\ -2.3710 & -1.6715 & 2.4868 & 1.6757 & -0.3468 \\ 9.8014 & -6.5360 & -44.5602 & -25.1172 & 4.7560 \\ -23.4791 & 211.6601 & -42.2626 & -10.3680 & -5.0429 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.2380 & 0.5639 & 1.8170 & 1.9245 & -0.2489 & 0.1179 & 0.5189 \\ -0.1191 & 0.1383 & -0.4397 & -0.0725 & -0.0195 & 0.0689 & 0.4805 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 40

$$W = \begin{vmatrix} -208.3102 & -127.4167 & -272.3781 & 198.8244 & 138.8939 \\ -33.0457 & -18.9997 & -27.8522 & 3.0878 & 38.3105 \\ -19.8170 & -15.0705 & -13.5851 & 1.0677 & 23.7109 \\ 373.9202 & 310.9914 & 204.1188 & 2.1147 & -445.9438 \\ 4250.0506 & -1901.1229 & -7840.3327 & 5930.9373 & 2270.8882 \end{vmatrix}$$

791.2190	712.6596	-623.3878	1527.7690	-515.2789	

$$U = \begin{vmatrix} -0.1923 & -0.2326 & 0.6585 & 0.3417 & -0.2206 & -0.2019 & 0.7221 \\ -0.0758 & -0.0962 & 0.0780 & 0.3052 & -0.0647 & -0.0833 & 0.6206 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 41

$$W = \begin{vmatrix} 2.1300 & 7.2506 & -37.0183 & 18.4028 & -7.6331 \\ 0.8477 & -0.0103 & -1.1236 & 0.8670 & 0.1174 \\ -0.4261 & 1.3086 & 1.0550 & -2.6909 & 0.3151 \\ -130.9235 & 36.2342 & 68.7185 & 87.6001 & -33.9349 \\ 0.5170 & 0.0781 & -1.3201 & 0.3568 & 0.3907 \\ -24.6357 & -93.7699 & 52.4778 & -1.7118 & -0.3610 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.8979 & -2.7365 & -0.7408 & 0.1479 & 1.7890 & -0.0978 & 0.0750 \\ -0.2767 & 0.3515 & -0.0954 & 0.0468 & -1.0578 & -0.1046 & 0.2244 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 42

$$W = \begin{vmatrix} -2.2896 & -0.2857 & 4.6690 & -3.9215 & -0.6868 \\ 39.4687 & -1.9096 & -5.0804 & 30.3692 & -1.0066 \\ 1.0235 & 0.3917 & -0.8683 & -0.8832 & 0.5391 \\ 3.9112 & 4.7487 & -1.8311 & 1.1938 & 0.0442 \\ -1.0461 & -0.1763 & -0.1043 & -2.5402 & -1.2637 \\ 0.6611 & -2.2465 & 7.6080 & -8.6483 & 0.1054 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} 0.4993 & 6.8096 & -0.2960 & 2.4203 & 13.1103 & -0.3304 & 4.5710 \\ 0.1779 & -1.6062 & -0.5132 & 6.0866 & -4.4083 & 0.0675 & -8.0373 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 43

$$W = \begin{vmatrix} 21.3750 & 5.4711 & -0.7088 & 10.5553 & -12.0068 \\ -0.1490 & -1.6052 & 2.0981 & -0.5684 & 0.5440 \\ 131.9287 & -245.5781 & -90.4849 & 13.9202 & 68.1169 \\ 21.0448 & 14.9080 & 17.9887 & -7.7301 & 11.1671 \\ 0.9962 & -1.3250 & 1.5210 & -1.5958 & 1.0682 \\ 23.9422 & -44.7755 & -9.1618 & 58.7738 & -11.8148 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.2423 & 0.0523 & -0.2041 & 0.9977 & 0.0220 & 0.1095 & -0.3437 \\ -0.0551 & 0.7162 & -0.0704 & 0.3502 & -0.4877 & -0.0161 & 0.2550 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 44

$$W = \begin{vmatrix} -2.0074 & 1.6364 & 3.2875 & -8.1728 & 0.7104 \\ 2.3895 & -1.3584 & -2.9388 & 7.1672 & -0.7197 \\ 2.6191 & -0.1502 & 30.1445 & -19.8159 & 3.4005 \\ -43.4116 & -57.8181 & 9.2599 & 46.9357 & -11.8984 \\ -28.3995 & -28.5645 & 34.2666 & -28.2462 & 5.0610 \\ -2.6246 & -1.5936 & 2.9290 & 1.3635 & -0.4792 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -1.9697 & -2.2584 & 0.1409 & -0.9347 & -0.1254 & 0.2280 & -0.3869 \\ -0.3195 & -0.4423 & 0.1014 & -0.5914 & -0.0518 & 0.3549 & -0.0217 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 45

$$W = \begin{vmatrix} -11.3757 & -12.8859 & 32.4485 & -3.3404 & -2.2618 \\ -3.5865 & -0.2968 & 2.3498 & 0.5959 & -0.3987 \\ -14.6711 & 77.2348 & -13.4826 & 15.0324 & -5.5322 \\ 52.9116 & -15.7937 & -65.9578 & 201.6713 & -8.9895 \\ -0.6992 & -0.1945 & -1.7948 & -0.3069 & 0.0772 \\ 3.2082 & -2.2354 & 1.0733 & 6.0182 & 0.4612 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.0832 & 0.2656 & 1.7848 & -0.1733 & -1.5177 & -1.2462 & -1.1366 \\ 0.0716 & 0.2127 & 0.3362 & -0.0592 & -0.7440 & -0.0814 & -0.2521 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 46

$$W = \begin{vmatrix} 191.6706 & -58.5061 & 21.1694 & -188.2991 & 32.2293 \\ 6.1763 & -216.8738 & -18.5034 & 334.3187 & -35.5965 \\ -0.2093 & -1.5115 & 2.7566 & -0.5632 & 0.0658 \\ 4.8927 & 6.6756 & -3.2308 & -1.3638 & 1.4277 \\ -2.0965 & 0.7861 & 1.9145 & -1.5329 & -0.3915 \\ -1.6903 & -0.4250 & -1.1158 & 0.7889 & -0.0326 \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} -0.0967 & 0.1430 & -0.0155 & 1.4421 & 0.4938 & -0.7381 & -1.3060 \\ -0.0536 & -0.0022 & 0.4423 & 0.2201 & 0.1079 & 0.7729 & 0.8999 \end{vmatrix}$$

Bootstrab # 47

$$W = \begin{vmatrix} -15.7468 & -19.5732 & 4.0299 & 17.5452 & -5.0155 \\ -2.2088 & -0.6791 & 2.0562 & 0.9766 & -0.5001 \\ -1.6179 & -0.3886 & 2.1745 & 0.4292 & -0.4992 \\ 11.5008 & 12.6268 & -29.7130 & -69.0442 & 4.8387 \end{vmatrix}$$

2.1417	9.7174	-11.1622	3.7160	-3.9977
0.4008	-1.3040	-0.1341	3.8942	0.0545

U =

-0.2489	1.7494	-1.5715	-0.4534	-0.1217	-0.6814	0.5252
-0.0631	0.4729	-0.1092	-0.0882	-0.0992	-0.1654	0.5503

Bootstrab # 48

W =

1.2185	0.7870	-0.8342	-0.8879	0.1758
-0.6352	-1.5910	0.9930	-1.6457	-0.5890
1.4320	0.8572	-1.1215	-0.8419	0.1578
2.2696	5.5286	-5.6059	5.7837	-0.2713
-3.0535	-0.6675	0.3135	-5.4049	0.2248
0.6296	-12.1000	17.6010	-3.4171	-0.0084

U =

5.8744	-9.7897	-5.3068	-0.9110	5.3551	0.2042	-2.9044
2.4708	-1.3436	-2.6654	0.0192	1.8157	0.0684	1.0350

Bootstrab # 49

W =

-20.2981	-63.6747	28.0109	48.1506	-4.7962
-11.7681	11.3529	7.5511	-2.4545	-1.2104
-23.0680	3.6091	17.3336	-28.5379	3.7838
1.1700	0.5870	-1.5125	-0.5030	0.2129
1.5190	-6.1456	15.3794	-17.1049	1.4194
2.8249	-6.4430	7.5868	-2.5300	-0.1857

U =

-0.0180	0.2357	0.1786	-0.0340	-0.2152	0.1722	0.4721
-0.0834	0.0349	0.0351	-0.5370	-0.0434	0.0886	0.5023

Bootstrab # 50

W =

-6.1900	-8.8050	1.9929	6.9612	-2.0826
-3.6884	0.4021	1.1308	2.7818	-0.8921
-0.2198	2.1817	-4.0890	1.5319	-0.4417
0.0161	2.8234	-0.7548	-14.1345	0.0690
-11.6962	-24.4350	57.9712	-15.2511	-1.6183
-1.1904	2.5522	-0.4635	-15.2126	0.8504

U =

-0.2785	0.3507	-0.3577	-4.6980	-0.1187	4.7222	0.1595
-0.0900	0.2835	-0.2220	-1.0775	0.0375	1.0606	0.3885

عزيـــــــزي

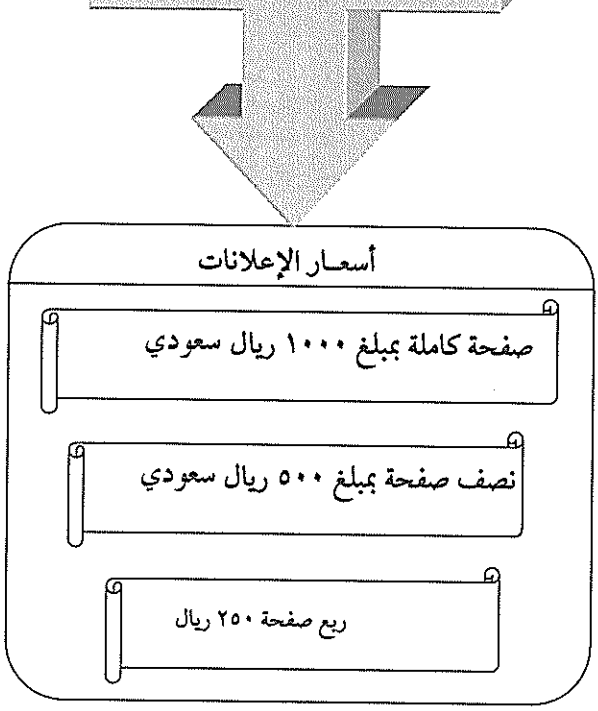
الباحث وصاحب العمل والمؤسسة

تتيح لك الجمعية الجغرافية السعودية

فرصة التعريف بإنتاجك العلمي

وأجهزتك ومؤسستك وبرامجك التي

يمكن أن تخدم الجغرافيين والجغرافيا .



آخر إصدارات سلسلة بحوث جغرافية

٥٠- العلاقة بين كميات الأمطار وارتفاع الماء الجوفي في حوض وادي نجران بالمملكة العربية السعودية.	د. محمد بن عبد الله محمد الصالح.
٥١- الصناعات الصغيرة في المملكة العربية السعودية.	د. عبد الله بن حمد الصليع.
٥٢- أوجه التشابه والاختلاف وآفاق التكامل التقني والمنهجي بين المساحة التصويرية والاستشعار عن بعد.	د. ظافر بن علي القرني.
٥٣- الخصائص المورفومترية لحوضي وادي عرکان ووادي بيش بالمملكة العربية السعودية: دراسة تطبيقية مقارنة.	د. محمد بن فضيل بوروبه.
٥٤- التباين الإقليمي لتطور الصناعات الغذائية في المملكة العربية السعودية (١٣٧٣-١٤١٧هـ): تحليل جغرافي	د. عبد العزيز بن إبراهيم الحوشة.
٥٥- التوزيع الجغرافي للخدمات الصحية بمنطقة مكة المكرمة.	د. رمزي بن أحمد الزهراني.
٥٦- التركيب المحصولي الأمثل وأهميته على التوطن الزراعي بمنطقة مكة المكرمة.	د. عبد المحسن بن راجح الشريف.
٥٧- محاكاة أثر تراكم أخطاء الخرائط الطبوغرافية بمقياس ١: ٥٠,٠٠٠ على التحليل في نظم المعلومات الجغرافية.	د. علي بن معاضه الغامدي.
٥٨- نظم المعلومات الجغرافية والتفصيل الموضوعي لخرائط المتغيرات الإيكولوجية الزراعية والرعوية في المملكة العربية السعودية.	د. بدر الدين بن طه عثمان.
٥٩- أهمية شبكات الطرق في التنمية السياحية لشاطئ العقير بالمنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية.	د. نجاح بنت مقبل القرعاوي.
٦٠- معايير التنمية الاقتصادية في المملكة العربية السعودية: دراسة جغرافية مقارنة	د. فريال بنت محمد الفاجوي.
٦١- دراسة تحليلية لصور الرادار الروسي (ألماز) المأخوذة لمدينة الرياض	أ.د. عبد الله بن الصادق علي
٦٢- مساهمة الإناث السعوديات في قوة العمل	د. حورية بنت صالح الدوسري
٦٣- الرياح السائدة المصاحبة للأمطار على منطقة أبها في المملكة العربية السعودية	أ.د جهاد بن محمد قربة
٦٤- أثر الجفاف على توزيع الغطاء النباتي في حوض قرى العرضة (أحد روافد وادي الطوقي) منطقة الرياض	د.عساف بن علي الحواس
٦٥- فاعلية مؤشرات عدم الاستقرار الجوي الرياضية المعمول بها في وسط المملكة العربية السعودية	د. فهد بن عبد الله الكليبي
٦٦- البطالة في المملكة العربية السعودية : أبعادها المكانية وملامحها الديموغرافية والاجتماعية	أ.د. محمد بن مفرح القحطاني
٦٧- آراء السياح في منطقة عسير تجاه استخدام الخرائط السياحية : دراسة استطلاعية في محافظتي أبها والنماص	د. محمد بن عوض العمري
٦٨- استخدام المواقف المتعددة الأدوار في وسط مدينة الرياض	د. عامر بن ناصر المطير
٦٩- النظرة الجغرافية في تخطيط المدينة الصحراوية	د. عبد الله بن سعد الخالدي
٧٠- أهم خصائص رحلتي العمل والتعليم لمنسوبي جامعة الملك سعود بمدينة الرياض	د. صالح بن عبد العزيز الفوزان
٧١- استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج	د. فرحان بن حسين الجعيدي
٧٢- مستوى المحافظة على نظافة خزانات المياه المنزلية في مدينة الرياض وأثر خصائص السكان فيها	د. نوره بنت عبد العزيز آل الشيخ
٧٣- تقدير الصبيب اليومي الأقصى للسيول بحوض وادي الكبير الرمال (التل الشرقي الجزائري) .	د. محمد بن فضيل بوروبه
٧٤- التحليل الجغرافي المقارن للمخطط التوجيهي الأول لمدينة الرياض (مخطط دوكسيادس).	د. عبد الله بن سعد الخالدي
٧٥- التوافق المكاني بين الإستراحات والجامعات السمو العمراني في مدن القصيم	د. مساعد بن عبد الرحمن الحجيدب
٧٦- جيمورفوجية ساحل العقير وإمكانية تنميته سياحياً بين رأس القُرَيّة شمالاً ونخشم أم حويض جنوباً (شرق السعودية)	د. عاطف بن محمد عبد الحميد
٧٧- تقدير الاحتياجات المائية الشهرية للمحصول المرحمي في الأحساء	د. ناصر بن عبدالعزيز السعران
٧٨- المواقع الصناعية في مدينة الدمام بالمنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية	د. شريفة بنت معيض القحطاني
٧٩- التصنيفات العالمية للطرق البرية وتطبيقاتها في المملكة العربية السعودية	د. سعد بن ناصر الحسين
٨٠-درجة حرارة أيام التدفئة والتبريد عند عتبات حرارية متباينة في المنطقة الشرقية	د. بدرية بنت محمد عمر حبيب
٨١- توظيف تكاملي لتقنيات الاستشعر من بعد ونظم المعلومات الجغرافية	د. عساف بن علي الحواس

أسعار البيع:

سعر النسخة الواحدة للأعضاء : ١٥ ريالاً سعودياً.
سعر النسخة الواحدة للمؤسسات : ٢٠ ريالاً سعودياً .
تضاف إلى هذه الأسعار أجرة البريد .

Price Listing Per Copy :
Individuals: 15 S.R.
Institutions: 20 S.R.
Handing & Mailing Charges are Added on the Above Listting

عزيزي عضو الجمعية الجغرافية السعودية

هل غيرت عنوانك؟ فضلاً أملأ الاستمارة المرفقة وأرسلها على عنوان الجمعية

الاسم.....

العنوان: .....

ص ب: ..... المدينة والرمز

البريدي: .....

البلد: .....

الاتصالات الهاتفية:

عمل: ..... منزل: .....

جوال: ..... بيجر: .....

بريد إليكتروني: .....

ترسل على العنوان التالي:

الجمعية الجغرافية السعودية

ص ب ٢٤٥٦ الرياض ١١٤٥١

المملكة العربية السعودية

هاتف: ٤٦٧٨٧٩٨ ١ ٩٦٦ + فاكس: ٤٦٧٧٧٣٢ ١ ٩٦٦+

بريد إليكتروني: sgs@ksu.edu.sa

كما يمكنكم زيارة موقع الجمعية على الإنترنت على العنوان التالي:

www.saudigs.org

An Artificial Neural Network Pedotransfer Function for Field Capacity and Permanent Welting Point of Arid Soils

Nasser A. Alsaaran
Department of Geography
King Saud University
Riyadh, Saudi Arabia
E-mail: alsaaran@ksu.edu.sa

Abstract

An artificial neural network (ANN) pedotransfer function (PTF) for estimating volumetric soil water contents at field capacity (FC) and permanent welting point (PWP) of arid soils from easily obtained bulk density and particle-size distribution data was developed and its validity was tested using data from arid Saudi Arabia. The PTF was calibrated using 145 samples and its validity was tested using an independent dataset consisting of 45 samples. The sampling scheme was designed to cover soils at the great group level from the main physiographic regions of Saudi Arabia. The ANN technique was combined with the bootstrab technique to generate uncertainty estimates. Experimental performance of the PTF on the training data (accuracy) and the independent data (reliability) was evaluated quantitatively using mean error (ME, cm^3 cm^{-3}), root mean squared error (RMSE, cm^3 cm^{-3}) and coefficient of determination (R^2).Values of ME, RMSE and R^2 for the training dataset are 0.0004, 0.01 and 0.88, respectively, for FC and 0.0001, 0.0057 and 0.90, respectively, for PWP. For the validation dataset, the values of ME, RMSE and R^2 are 0.0002, 0.009 and 0.89, respectively, for FC and 0.014, 0.007 and 0.90, respectively, for PWP. Such experimental performance indicates that the PTF is both accurate and reliable when applied to arid soils.

ISSN 1018-1423
Key title =Buhut Gugrafiyya

Administrative Board of the Saudi Geographical Society

Mohammed S. Makki	Prof.	Chairman.
Mohammed S. Al-Rebdi	Assoc. Prof	Vice-Chairman.
Abdulah H. Al-Solai	Assoc. Prof.	Secretary General.
Mohammed A. Al-Fadhel	Assoc. Prof.	Treasurer.
Mohammed A. Meshkhes	Assoc. Prof.	Head of Research and Studies Unit
Anbara kh. Belal	Assis. Prof.	Editor of Geographical Newsletter
Ali M. Alareshi	Prof.	Member.
Meraj N. Mirza	Assis. Prof.	Member
Mohammed A. Al-Rashed	Mr.	Member.

RESEARCH PAPERS IN GEOGRAPHY

PERIODICAL REFEREED PAPERS PUBLISHED BY SAUDI GEOGRAPHICAL SOCIETY

82

An Artificial Neural Network Pedotransfer Function for Field Capacity and Permanent Welting Point of Arid Soils

Dr. Nasser A. Alsaaran

King Saud University - Riyadh
Kingdom of Saudi Arabia
1428 A.H. - 2007 A.D.