

سلسلة محكمة دورية تصدرها الجمعية الجغرافية السعودية

86



تقييم أداء أساليب التقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في تربة منطقة الخرج

أ.د. ناصر بن عبد العزيز السعران

()

● هيئة التحرير ●

. . .
. . .
. . .
. . .
. . .

● الهيئة الاستشارية ●

. . .
. . .
. . .
. . .
. . .

● المراسلات ●

: :
sgs@ksu.edu.sa :

.

بحوث جغرافية

سلسلة محكمة دورية تصدرها الجمعية الجغرافية السعودية

86

تقييم أداء أساليب التقدير البيني المكاني لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج

أ.د. ناصر بن عبد العزيز السعيران

جامعة الملك سعود الرياض المملكة العربية السعودية

1430هـ - 2009م

ISSN 1018-1423
Key title =Buhut Gugrafiyya

● مجلس إدارة الجمعية الجغرافية السعودية ●

.	..
.	.
.	.
.	.
.	.
.	.
.	..
.	.
.	.

● الجمعية الجغرافية السعودية، ١٤٣٨ هـ ● ح

السعران، ناصر عبد العزيز تقديم أداء أساليب التقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج.../ناصر عبد العزيز السعران - الرياض، ١٤٣٠ هـ ٤٨ ص؛ ١٧ × ٢٤ سم- (سلسلة بحوث جغرافية؛) ردمك: - - - - ١- المياه الجوفية -الخرج (السعودية) أ.العنوان - ب. السلسلة / / : ردمك: - - - -

قواعد النشر في سلسلة بحوث جغرافية

- ١- يراعى في البحوث التي تتولى سلسلة بحوث جغرافية، نشرها ، الأصالة العلمية وصحة الإخراج العلمي وسلامة اللغة .
- ٢- يشترط في البحث المقدم للسلسلة ألا يكون قد سبق نشره من قبل.
- ٣- ترسل البحوث باسم رئيس هيئة التحرير.
- ٤- 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 -AI Hotham للمتن وبالخط Monotype Koufi للعناوين، وبنط ١٦ أبيض للمتن وبنط ١٢ أبيض للهوامش (بنط أسود للآيات القرآنية والأحاديث الشريفة). ويكون الحد الأعلى للبحث [٧٥]صفحة، والحد الأدنى [١٥] صفحة.
- ٥- يرسل أصل البحث مع صورتين وملخص في حدود (٢٥٠) كلمة بالعتين العربية والإنجليزية.
- ٦- يراعى أن تقدم الأشكال مرسومة بالحبر الصيني على ورق (كلك) مقاس ١٣×١٨ سم وترفق أصول الأشكال بالبحث، أو أن تقدم في هيئة رقمية تقرأ بالحاسب الآلي، ويشترط أن يكون الشكل تام الوضوح، وأصل وليس صورة.
- ٧- 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.
- ٨- تقوم هيئة تحرير السلسلة بإبلاغ أصحاب البحوث بتاريخ تسلّم بحوثهم. وكذلك إبلاغهم بالقرار النهائي المتعلق بقبول البحث للنشر من عدمه مع إعادة البحوث غير المقبولة إلى أصحابها.
- ٩- يمنح كل باحث أو الباحث الرئيسي لمجموعة الباحثين المشتركين في البحث خمساً وعشرين نسخة من البحث المنشور .
- ١٠- 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- الكتب: 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- الدوريات: 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 ٥ - ١٥).
- ج- الكتب المحررة: يذكر اسم عائلة المؤلف متبوعاً بالأسماء الأولى، ثم سنة النشر بين قوسين، ثم عنوان الفصل، ثم يكتب (في in) 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.
- ١١- تستخدم الهوامش فقط عند الضرورة القصوى وتخصص للملاحظات والتطبيقات ذات القيمة في توضيح النص.

تعريف بالباحث: أ.د. ناصر بن عبد العزيز السعران، أستاذ دكتور، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.
البريد الإلكتروني: alsaaran@ksu.edu.sa

المخلص

تتحكم سعة الماء المتاح للنبات في كل من عمق الري المطلوب والفترة الزمنية الفاصلة بين عمليات الري، لذلك تعد خرائط التوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح من الركائز الأساسية للزراعة المحكمة والتنمية المستدامة لموارد المياه والتربة في المناطق الصحراوية. ولأن القياس المباشر لسعة الماء المتاح صعب ومكلف فإن عملية بناء خرائط التوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح تقتصر عادة على عينة من القيم المقاسة تستخدم مع أساليب التقدير البيئي المناسبة لتقدير سعة الماء المتاح في المواقع التي لا يتوفر فيها قياسات. وحيث أن أساليب التقدير البيئي المكاني تعطي نتائج متباينة وأن الأسلوب الأمثل لا يمكن معرفته مسبقاً، فقد هدفت هذه الدراسة إلى استخدام تقنية الاستحكام المتبادل لتقييم أداء العديد من الأساليب التحديدية والجيوإحصائية لتقدير سعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج - أكبر وأهم منطقة زراعية في منطقة الرياض الإدارية - ومن ثم بناء خريطة التوزيع الجغرافي ونموذج رقمي لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج باستخدام تقديرات أفضل هذه الأساليب أداءً. وبنيت عملية التقييم على تقنية الاستحكام المتبادل وحُسب مستوى التحيز و الدقة بمتوسط الخطأ والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين القيم المقاسة والقيم المقدرة، على التوالي.

وقد بينت نتائج الاستحكام المتبادل أن: (أ) جميع الأساليب باستثناء مضع ثيسن مهدت البيانات وكان مستوى تمهيد البيانات الأعلى لمقلوب المسافة ثم مقلوب مربع المسافة ثم مقلوب مكعب المسافة ثم الكرجنج البسيط ثم الكرجنج الاعتيادي ثم الكرجنج العالمي المستخدم لمتعددة الحدود من الدرجة الثانية

لنمذجة النزعة ؛ (ب) الأساليب الجيوإحصائية أفضل من الأساليب التحديدية من حيث الدقة والتحيز ؛ (ج) جميع أساليب الكرجنج تتمتع بنفس الدقة ؛ (د) الكرجنج العالمي هو أقل أساليب الكرجنج تحيزاً. ونظراً لأن الكرجنج العالمي هو أكثر الأساليب دقة وأقلها تحيزاً وتمهيداً للبيانات فقد استخدمت تقديراته لبناء خرائط التوزيع الجغرافي ونماذج رقمية عالية الوضوح لكل من سعة الماء المتاح في التربة والخطأ في تقديرها لمنطقة الخرج لتشكيل مكونات رئيسة لقاعدة البيانات المكانية لنظم المعلومات الجغرافية لتحقيق زراعة محكمة وتنمية مستدامة لموارد المياه والتربة في هذه المنطقة الحيوية.

مقدمة:

تعتمد الزراعة المحكّمة (precision agriculture) والتنمية المستدامة لمصادر المياه والتربة في المناطق الصحراوية بشكل أساسي على تحديد التوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في التربة (available soil water capacity) لأن الأخيرة تحد عمق الري المطلوب (required irrigation depth) والفترة الزمنية الفاصلة بين عمليات الري (irrigation interval) (Hansen et al., 1980; Kravcenko, 2003; Morgan, et al., 2003; Pachepsky et al., 2006). وتُعرّف سعة الماء المتاح في التربة بالفارق بين المحتوى الحجمي لرتوبة التربة volumetric soil moisture content عند السعة الحقلية (field capacity) والمحتوى الحجمي لرتوبة التربة عند نقطة الذبول الدائم (permanent wilting point) (Cassel and Nielsen, 1986):

$$AWC = \theta_{FC} - \theta_{PWP} \quad (1)$$

حيث أن:

AWC = سعة الماء المتاح في التربة للنبات (سم³/سم³)،

θ_{FC} = المحتوى الحجمي لرتوبة التربة عند السعة الحقلية (سم³/سم³)،

θ_{PWP} = المحتوى الحجمي لرتوبة التربة عند نقطة الذبول الدائم (سم³/سم³).

فعمق الري المطلوب ماهو إلا تكامل سعة الماء المتاح بعمق منطقة جذور النبات مطروح منه ثابت مضروب في عمق منطقة جذور النبات ومضاف إليه متطلب الغسيل (leaching requirement):

$$RID_{ikj} = \int_0^{DRZ_{ik}} AWC dz - c_{ik} DRZ_{ik} + LR_{ikj} \quad (2)$$

حيث أن:

RID_{ikj} = عمق الري المطلوب (مم) للمحصول i في مرحلة النمو k والمروي بماء من النوعية j ،

Z = العمق من سطح التربة (مم)،

DRZ_{ik} = عمق منطقة جذور النبات (مم) للمحصول i في مرحلة النمو k ،

LR_{ikj} = متطلب الغسيل (مم) للتربة المزروعة بالمحصول i في مرحلة النمو k والمروي بماء من النوعية j ،

c_{ik} = ثابت (سم³/سم³) خاص بالمحصول i في مرحلة النمو k ويحسب كما يلي:

$$c_{ik} = \theta_{ik} - \theta_{PWP} \quad (3)$$

حيث أن:

θ_{ik} = المحتوى الحجمي لرتوبة التربة (سم³/سم³) الذي تبدأ عنده إنتاجية المحصول i في مرحلة النمو k بالانخفاض.

ومتطلب الغسيل هو عمق الري الزائد عن استهلاك النبات والمطلوب لغسل الأملاح من منطقة جذور النبات، ويعتمد على نوع المحصول ومرحلة نموه ونوعية مياه الري (Rhoades, et al., 1992). أما الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليات الري فمماهي إلا الفترة الزمنية التي تستغرقها عملية استنزاف سعة الماء المتاح من منطقة جذور النبات بواسطة التبخر والنتح (evapotranspiration) وبالتالي تعتمد على سعة الماء المتاح وعمق جذور النبات ومعدل التبخر والنتح:

$$H_{ik} = \frac{\int_0^{DRZ_{ik}} AWC dz - c_{ik} DRZ_{ik}}{ET_{ik}} \quad (4)$$

حيث أن :

II_{ik} = الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليات ري المحصول i في مرحلة النمو k (يوم)،

ET_{ik} = معدل التبخررتح من الحقل المزروع بالمحصول i في مرحلة النمو k (مم/يوم).

فعندما تُسقى المحاصيل بأكثر من عمق الري المطلوب أو تكون الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليات الري الفعلي أقصر من المطلوب يكون هناك هدر للماء والطاقة وغسل للمواد الغذائية من منطقة جذور النبات وتلويث للمياه الجوفية بالأملح والمخصبات والمبيدات (Rhoades, et al., 1992). في المقابل، عندما تُسقى المحاصيل بأقل من عمق الري المطلوب أو تكون الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليات الري الفعلي أطول من المطلوب، تتراجع إنتاجية المحاصيل وتتملح التربة (Rhoades, et al., 1992).

وتحديد التوزيع الجغرافي لأي متغير ذو استمرارية جغرافية أو بناء خريطة خطوط التساوي للمتغير يتطلب توفر قيم مقاسه أو مقدرة للمتغير في شبكة دقيقة ومنتظمة تغطي كامل منطقة الدراسة. ومع أن القياس المباشر لقيم المتغير يعطي نتائج أفضل، إلا أن القياس المباشر للخصائص الهيدرولوجية (hydraulic) للتربة صعب ومكلف ويتطلب الكثير من الجهد والوقت (Minasny and McBratney, 2002; Schaap et al., 2004) ويزيد من ذلك كون خصائص التربة تتمتع بتفاوت مكاني كبير يحتم الحصول على قياسات كثيرة للحصول على تمثيل معقول للظاهرة في الحقل مما يرفع التكلفة والجهد المبذولين في القياس المباشر إلى

مستويات غير مجدية اقتصادياً (Schaap et al., 2001; Minasny and McBratney, 2002). لذلك لجأ الباحثون ومهندسي الري إلى التقدير البيئي المكاني (Spatial interpolation) لخصائص التربة عند بناء خرائط خطوط التساوي الموضحة للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في التربة (Orfanus and Mikulec, 2005; Selle, et al., 2006) والسعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم (Ersahin and Brohi, 2006). والمحتوى الرطوبي (Bárdossy and Lehmann, 1998; Glenna and Carr, 2003; Snepvangers, et al., 2003; Feng, et al., 2005; Jost, et al., 2004). وعمق التربة (Hengl, Bourennane, et al., 2000; Hengl, et al., 2004; Herbst, et al., 2006; Emery, 2006; López-Granados, et al., 2005; Robinson, and Metternicht, 2006). والمحتوى العضوي (McGrath and Zhang, 2003; Mueller and Pierce, 2003; Hengl, et al., 2004; Zhang and McGrath, 2004; López-Granados, et al., 2005; Robinson, and Metternicht, 2006; Simbahan, et al., 2006; Zhang, et al., 2007). وتركيز العناصر الثقيلة (Robinson, and Metternicht, 2006). والتوصيل الهيدروليكي (Juliá, et al., 2004). ونسبة النيتروجين (Baxter and Oliver, 2005; Zhang, et al., 2007). ونسبة الطين (Odeh and McBratney, 2000; Triantafilis, et al., 2001). والبوتاسيوم (Bekele, et al., 2003; Zhang, et al., 2007). والاحتفاظ بالماء (Voltz and Goulard, water retention curve parameters).

1994; Sinowski et al., 1997; Pachepsky, et al., 2001; Herbst, et al., 2006).

ولأن أساليب التقدير البيئي المكاني المختلفة تعطي تقديرات متفاوتة وبالتالي خرائط متباينة للتوزيع الجغرافي للظاهرة تحت الدراسة ، فإنه لا بد من تقييم أداء الأساليب المختلفة للتقدير البيئي المكاني ومن ثم استخدام تقديرات أفضل الأساليب لبناء خريطة التوزيع الجغرافي للظاهرة قيد الدراسة (Voltz and Webster, 1990; Gotway, et al., 1996; Kravchenko and Bullock, 1999; Bishop and McBratney, 2001; Schloeder, et al., 2001; Herbst, et al., 2006; Robinson and Metternicht, 2006; Selle, et al., 2006; Simbahan, et al., 2006).

٣- أهداف الدراسة:

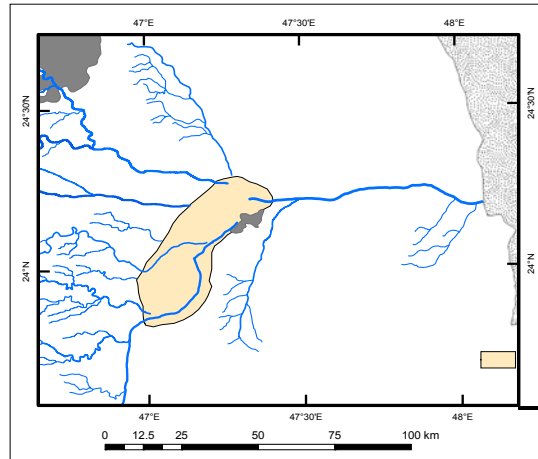
تهدف هذه الدراسة إلى:

- أ. تقييم الأداء النسبي لعدد من الأساليب التحديدية (deterministic) والجيواحصائية (geostatistical) للتقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج.
- ب. تحديد أسلوب التقدير البيئي المكاني الأكثر دقة (accuracy) والأقل تحيزاً (bias) في تقديراته لسعة الماء المتاح في ترب المنطقة.
- ج. بناء خريطة رقمية ونموذج رقمي (digital model) للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في التربة بمنطقة الخرج باستخدام القيم المقدرة بالأسلوب الأكثر دقة والأقل تحيزاً ليشكلا دعامة أساسية للزراعة المحكمة والتنمية المستدامة لمصادر المياه والتربة في المنطقة.

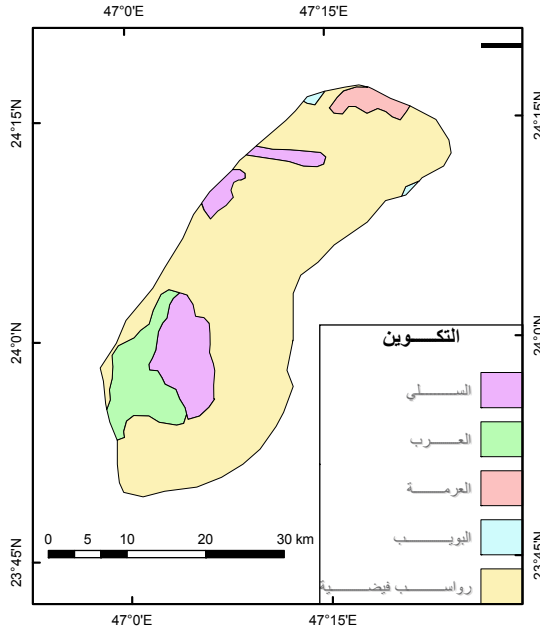
٣- منطقة الدراسة:

تمثل منطقة الخرج أهم المناطق الزراعية في منطقة الرياض الإدارية، وتقع نحو ٨٠ كيلومتراً إلى الجنوب الغربي من مدينة الرياض في سهل فيضي (alluvial plain) واسع تلتقي فيه العديد من الأودية الرئيسة المنحدرة من جبال طويق (وادي حنيفة ووادي الحخير ووادي نساح ووادي ماوان ووادي العين ووادي السوط) لتشكل وادي السهباء القديم (الشكل رقم ١). وتغطي منطقة الدراسة الأراضي ذات الكثافة الزراعية في السهل الفيضي وأجزاء من منكشفات تكوين السلي وتكوين العرب وتكوين العرمة وتكوين البويب في منطقة الخرج (الشكل رقم ٢)، وتمتد من ملتقى وادي ماوان بوادي السوط في الجنوب الغربي على ارتفاع يبلغ نحو ٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر إلى أعالي وادي السهباء في الشمال الشرقي على ارتفاع يبلغ نحو ٤٢٥ متر فوق مستوى سطح البحر، بمساحة تبلغ ١٠٣٩ كيلومتراً مربعاً.

الشكل رقم ١: موقع منطقة الدراسة



الشكل رقم ٢: منكشفات التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة



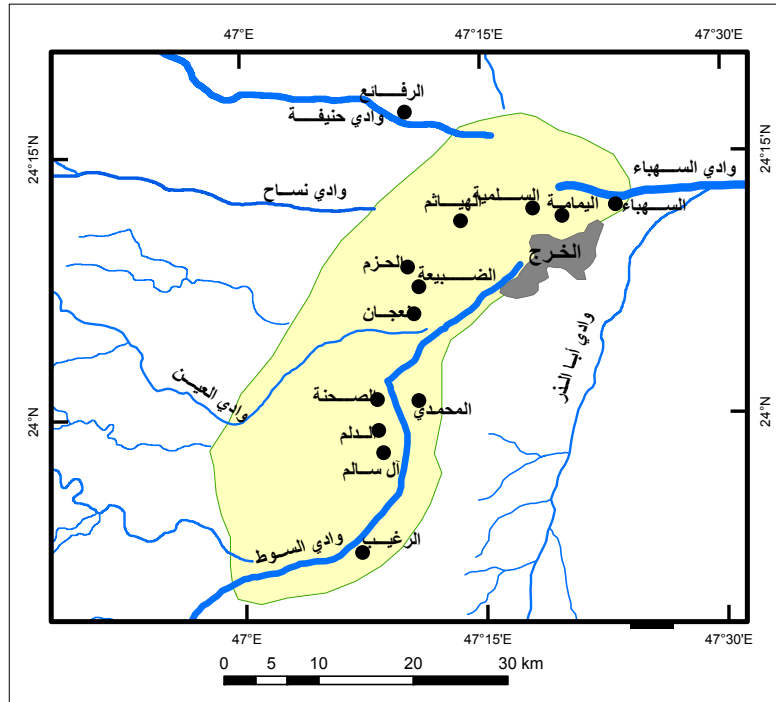
ودلت نتائج التحليل المساحي بنظم المعلومات الجغرافية للتوزيع الجغرافي لنوع السطح في منطقة الدراسة (الجدول رقم ١) أن الرواسب الفيضية تغطي مساحه تبلغ ٨١٧ كم^٢ وهو ما يشكل ٧٨٪ من مساحة منطقة الدراسة. أما منكشفات تكوين السلي وتكوين العرب وتكوين العرمة وتكوين بويب فتغطي ما يشكل ١١٪، ٨.٧٪، ٢٪، ٠.٣٪، على التوالي، من مساحة منطقة الدراسة. ويعد مناخ المنطقة جاف جداً (hyper-arid) بحيث لا يتجاوز معدل الأمطار السنوية ٨٠ مم (M.W., 2001) بينما يفوق معدل التبخر نتح السنوي أكثر من ٢٦٠٠ مم (Alsaaran, 1999) مما يحتم اعتماد الإنتاج الزراعي على الري بشكل تام. وتحتضن منطقة الدراسة العديد من المدن والقرى أهمها السيح (الخرج)

والدلم والهيثام واليمامة والسلمية والسهباء وفرزان ونعجان والعيون والحزم والصحنة وزميقة والرغيب والسالم (الشكل رقم ٣). وتغطي أجزاءً من السطح في منطقة الدراسة طبقة من الرمال تتراوح في سمكها من مجرد فرشاة رقيقة إلى عروق من الكثبان الرملية، مثل عرق الضاحي. وتصنف الترب في منطقة الدراسة على مستوى المجموعات العظمى حسب التصنيف الأمريكي U.S. Soil (Taxonomy) على أنها كالسي أورثيدز (calciorthids) وتوري سامنتز (torripsamments) وتوري أورثنتز (torriorthents) وتوري فلوفنتز (torrifluvents) (MAW, 1986) وتوزيعها الجغرافي موضح في الشكل رقم (٤). ودلت نتائج التحليل المساحي بنظم المعلومات الجغرافية للتوزيع الجغرافي لنوع التربة في منطقة الدراسة (الجدول رقم ٢) أن أغلب التربة من نوع الكالسي أورثيدز حيث تغطي مساحه تبلغ ٧٢٨.٤ كم^٢ وهو ما يشكل ٧٠.٥٪ من مساحة منطقة الدراسة. يليها من حيث المساحة الترب المصنفة على أنها كالسي أورثايدز - توري أورثنتز ثم كالسي أورثايدز - توري سامنتس ثم توري سامنتس ثم كالسي أورثايدز - توري سامنتس ثم بروزات صخرية - توري سامنتس والتي تغطي ١٤.١٪، ٥.٣٪، ٤.٤٪، ٣.٥٪، ٢.٢٪، على التوالي، من مساحة منطقة الدراسة.

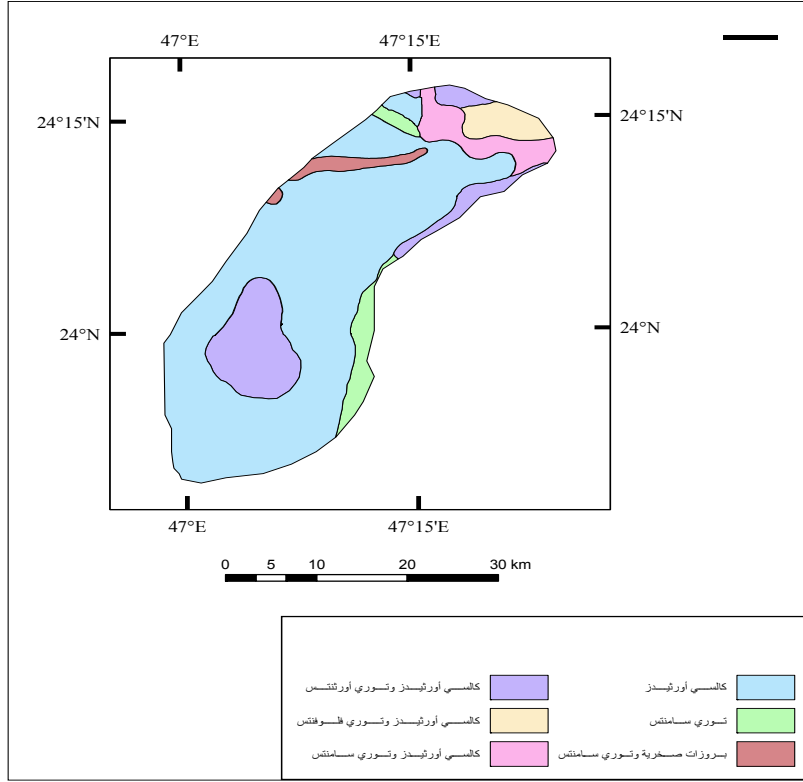
الجدول رقم ١ : مساحات منكشفات التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

النسبة من منطقة الدراسة (%)	المساحة (كم ^٢)	التكوين
١٠.٧	١١١.٧	تكوين السلي
٨.٤	٨٧.٦	تكوين العرب
٢.٢	٢٢.٤	تكوين العرمة
٠.٣	٣.٣	تكوين البويب
٧٨.٤	٧١٦.٧	رواسب فيضية

الشكل رقم ٣ : المدن والقرى في منطقة الدراسة



الشكل رقم ٤ : أنواع التربة في منطقة الدراسة



الجدول رقم ٢ : مساحات أنواع التربة في منطقة الدراسة

نوع التربة	المساحة (كم ^٢)	النسبة من منطقة الدراسة (%)
كالسي أورثايدز	٧٢٨.٤	٧٠.٥
كالسي أورثايدز- توري أورثنتز	١٤٣.٥	١٤.١
كالسي أورثايدز- توري سامنتس	٥٤.٥	٥.٣
توري سامنتس	٤٦.٠	٤.٤
كالسي أورثايدز- توري سامنتس	٣٥.٩	٣.٥
بروزات صخرية- توري سامنتس	٢٢.٣	٢.٢

ويسود في ترب منطقة الدراسة القوام الخشن وبشكل خاص القوام اللومي والرملية اللومي والرملية (SOGREAH, 1968). ويبلغ متوسط ملوحة مستخلص مشبع التربة لعينات مأخوذة بشكل عشوائي من منطقة الدراسة عام ١٩٩٩م نحو ٥ مليسيمنز/سم (السعران، ٢٠٠٠).

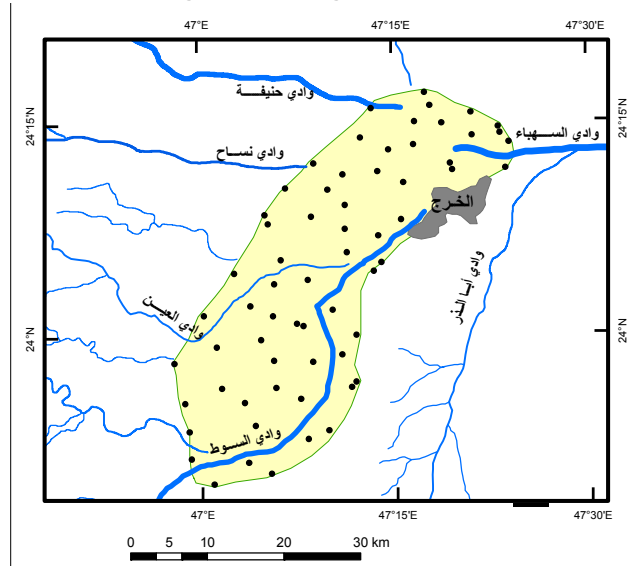
يعتمد الإنتاج الزراعي في منطقة الدراسة بشكل تام على الري بالمياه الجوفية المستمدة بشكل أساسي من تكويني العرب والسلي (Powers et al., 1966; Bazuhair, 1986). وتكوين العرب في منطقة الخرج يتشكل من طبقات متبادلة من الحجر الجيري (limestone) والأنهيدرايت (anhydrite) يبلغ سمكها نحو ١٠٠ متر و ترجع للعصر الجوراسي العلوي (Powers et al., 1966). ويتمتع تكوين العرب في منطقة الخرج بمسامية ثانوية مما يجعله خزان مياه جوفي مهماً محلياً (Edgell, 1990, 1997). أما تكوين السلي فيرجع للعصر الجوراسي الأعلى والكريتاسي الأسفل ويتكون بشكل أساسي من حجر جيري طباشيري (chalky) أفانتي (aphanitic) ذو تطبق كتلي (massively bedded) مع بعض الطبقات من الحجر الجيري الكالكرينيتي (calcarenitic) والكاركيت (calcarenite) (Powers et al., 1966). وتعد المياه الجوفية في منطقة الدراسة مالحة نوعاً (moderately saline) حسب نظام تصنيف منظمة الأغذية العالمية (السعران، ٢٠٠٥م).

٤- منهج البحث وأساليبه:

٤-١ العمل الميداني:

لقد أُخذت ٦٤ عينة تربة لهذا الغرض بالطريقة العشوائية لتضمن توزيع جغرافي جيد لمواقع أخذ العينات في منطقة الدراسة (الشكل رقم ٥) وتكون البيانات مناسبة للتحليل الجيوإحصائي. وقد

الشكل رقم ٥: التوزيع الجغرافي لمواقع العينات



حددت مواقع أخذ العينات بنظام التوقيع المكاني global positioning system (GPS) العالمي الدقة لتدخل لاحقاً في نظام المعلومات الجغرافية GIS. أما عينات التربة فقد أخذت بواسطة بريمة حفر التربة (auger) من

السطح وحتى عمق ٥٠ سم، ومن ثم وضعت في أكياس بلاستيكية مرقمة لنقلها للمختبر.

٤-٢ التحليل المخبري:

حُدِّد المحتوى الحجمي لرطوبة التربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم في المختبر بواسطة نظام الاستخلاص بصحون الضغط *pressure soil* (Klute, 1986) *plate extractor system* وذلك عند جهد ماء تربة (*water potential* قدره - ٣٣ جول/كجم (- ٣/١ بار أو - ٣٣٣ سم) للسعة الحقلية و - ١٥٠٠ جول/كجم (- ١٥ بار أو - ١٥٠٠٠ سم) لنقطة الذبول الدائم (Hansen et al., 1980; Cassel and Nielsen, 1986). وقد قيست كل خاصية ثلاث مرات وأخذ المتوسط الحسابي للثلاث قيم المقاسة، ومن ثم حسبت سعة الماء المتاح في التربة باستخدام المعادلة رقم (١).

٤-٣ أساليب التقدير البيئي المكاني:

هذا المدخل يستعرض بشكل مختصر أساليب التقدير البيئي المكاني المستخدمة في هذه الدراسة، وعلى الراغبين في المزيد من التفصيل والخلفية النظرية والإشتقاق الرياضي للمعادلات مراجعة الكتب الكلاسيكية في هذا الموضوع مثل (Isaaks and Journel and Huijbregts (1978) و Webster and Oliver, (1989) و Goovaerts (1997) و Srivastava (2001). أما مراجعات استخدام أساليب التقدير البيئي المكاني في علوم التربة فهي متوفرة من قبل الرواد في هذا المجال مثل Goovaerts (1999) و (2001) و Kyriakidis and Journel, (1999) و McBratney, et al.,

McBratney, et al., و Heuvelink and Webster, (2001) و (2000) (2003). وقد اقتصررت هذه الدراسة على استخدام أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية والجيوإحصائية أحادية المتغير (univariate) ذات الشبوع الكبير في مجال هيدرولوجية التربة.

ولأن إحداثيات مواقع أخذ العينات في الحقل محددة بنظام التوقيع المكاني المستخدم لنظام الإحداثيات الجغرافية (geographic coordinate system) فقد حولت الإحداثيات الجغرافية إلى نظام الإحداثيات المسقط (projected coordinate system) المناسب (Ain el Abd_1970_ UTM_ zone 38 N) لحساب المسافات الإقليدية (Euclidian) بين مواقع أخذ العينات من جهة وبين مواقع أخذ العينات والمواقع المراد تقدير سعة الماء المتاح فيها من جهة أخرى. وقد استخدم برنامج (ESRI, ArcGIS 9.1) (2005) في عملية الإسقاط.

٤-٣-١ الأساليب التحديدية:

أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية تقدر المتغير المستمر Z في الموقع ذو متجهة الإحداثيات u ، $Z(u)$ ، باستخدام القيم المقاسة للمتغير Z في المواقع المجاورة u_α ، $Z(u_\alpha)$'s، والمسافات الإقليدية الفاصلة بين u و u_α . وأساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية لا تأخذ في الحسبان كل من الارتباط المكاني للمتغير والمواقع النسبية للعينات. وأكثر أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية استخداماً في علوم التربة هي مطلق ثيسن (Thiessen polygon (TP) (Goovaerts, 2000) وموزون مقلوب المسافة

Goovaerts, 2000; Mueller et al. Inverse distance weighting (IDW) al., 2004; Kravchenko, 2003; Schloeder et al., 2001; Robinson (and Metternicht, 2006

٤-٣-١-١ مضمع ثيسن:

يعد مضمع ثيسن أبسط أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية بحيث يأخذ المتغير في الموقع المراد التقدير فيه $Z(u)$ قيمة المتغير في أقرب موقع مقاس فيه المتغير $z(u_{\alpha})$:

$$(٥) \quad z_T(u) = z(u_{\alpha}) \text{ with } |u - u_{\alpha}| < |u - u_{\alpha'}| \quad \forall \alpha \neq \alpha'$$

فالقيمة المقدرة $z_T(u)$ تبقى ثابتة مادامت u في حدود مضمع تأثير u_{α} ، لذلك يعرف هذا الأسلوب كذلك باسم مضمع التأثير polygon of influence.

٤-٣-١-٢ موزون مقلوب المسافة:

يصنف موزون مقلوب المسافة من أساليب التقدير البيئي المكاني المطابقة exact spatial interpolator بحيث تتطابق القيم المقدرة في مواقع العينات مع القيم المقاسة. وهذا الأسلوب يقدر قيمة $z(u)$ كموزون قيم $z(u_{\alpha})$ داخل الجوار المعطى $W(u)$ ، وتكون الأوزان متناسبة تناسباً عكسياً مع المسافات الإقليدية الفاصلة بين مواقع العينات في الجوار $W(u)$ والموقع المراد تقدير سعة الماء المتاح فيه مرفوعة إلى الأس p :

$$(٦) \quad z_I(u) = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u)} \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u) z(u_{\alpha})$$

$$\text{with } \lambda_{\alpha}(u) = \frac{1}{|u - u_{\alpha}|^p}, \quad \forall u \in W(u)$$

حيث أن :

$n(\mathbf{u}) =$ عدد القيم المقاسة لـ $z(\mathbf{u}_\alpha)$ في الجوار $W(\mathbf{u})$ المستخدم لتقدير $z(\mathbf{u})$. وكلما اقتربت قيمة الأس p من الصفر كلما تقاربت قيم الأوزان بغض النظر عن المسافة وبالتالي اقتربت القيمة المقدرة من المتوسط الحسابي لقيم $z(\mathbf{u}_\alpha)$ في الجوار $W(\mathbf{u})$. على العكس من ذلك، كلما زادت قيمة الأس p كلما تباينت قيم الأوزان واقتربت القيمة المقدرة من القيمة المقدرة بمضلع ثيسن مع اقتراب قيمة الأس p من اللانهاية (Isaaks and Srivastava, 1989). وعادة يعطى الأس p القيم ١ أو ٢ أو ٣ ويسمى أسلوب التقدير البيئي المكاني الناتج بموزون مقلوب المسافة (ID) inverse distance وموزون مقلوب مربع المسافة inverse squared distance (ISD) وموزون مقلوب مكعب المسافة inverse cubed distance (ICD)، على التوالي. وتمشياً مع هذا التقليد، ستقتصر هذه الدراسة على استخدام ID و ISD و ICD ضمن هذه الفئة من أساليب التقدير البيئي المكاني.

٤-٣-٢ الأساليب الجيوإحصائية:

أساليب التقدير البيئي المكاني الجيوإحصائية مبنية على نظرية المتغير الإقليمي (theory of regionalized variable) بحيث يعتبر التباين المكاني في قيمة المتغير Z كتحقيق (realization) لدالة عشوائية (random function) معطاة بنموذج إحصائي (stochastic). وتعطي الأساليب الجيوإحصائية إحصاءات وصفية لمدى الاستمرارية المكانية (spatial continuity) للمتغير إلى جانب التقديرات البيئية المكانية بأساليب تُعرف بالكرجنج (kriging). وخلافاً لأساليب التقدير البيئي

المكاني التحديدية التي تعتمد كلياً على المسافة الإقليدية، يستخدم الكرجنج المسافة البنائية (structural distance) الخاصة بالمتغير قيد الدراسة في منطقة الدراسة. أما الميزة الأخرى للأساليب الجيوإحصائية فهي مقدرتها على إعطاء تقديرات لعدم التأكد uncertainty للقيم المقدرة في المواقع التي لا تتوفر فيها قياس (Goovaerts, 1999).

٤-٣-١-٢-١ الاستمرارية المكانية:

تقاس الاستمرارية المكانية للمتغير الأحادي بنصف الفارايوغرام (semivariogram) أو التباين المتبادل حول المتوسط (covariance) أو سجل الارتباط (correlogram) أو نصف سجل التباين حول الوسيط (semimadogram)، وعادة يستخدم التباين المتبادل حول المتوسط في عملية التقدير البيئي لأنه يعطي نظام كرجنج (kriging system) أكثر استقراراً stable (Deutsch and Journel, 1998) وأكثر مقاومة للقيم الشاذة erratic (Isaaks and Srivastava 1989) لأخذه في الحسابان متوسطات المراحل (lag means). فعندما تتوفر قيم $z(\mathbf{u}_\alpha)$ لكامل منطقة الدراسة A فإن التباين المتبادل حول المتوسط التجريبي (experimental)، والذي يقيس متوسط الاختلاف بين قيم Z التي تفصل بينها متجهة المسافة \mathbf{h} يكون معطى بالمعادلة التالية:

$$(v) \quad C(\mathbf{h}) = \frac{1}{N(\mathbf{h})} \sum_{\alpha=1}^{N(\mathbf{h})} z(\mathbf{u})z(\mathbf{u} + \mathbf{h}) - m_{-\mathbf{h}}m_{+\mathbf{h}}, \quad \forall \mathbf{u}, \mathbf{u} + \mathbf{h} \in$$

حيث أن:

$$C(\mathbf{h}) = \text{التباين المتبادل حول المتوسط التجريبي،}$$

$$N(\mathbf{h}) = \text{عدد أجواز المواقع في مرحلة مسافة معينة واتجاه معين،}$$

m_{-h} = متوسط قيم الذيل ،

m_{+h} = متوسط قيم الرأس .

ويحسب متوسط قيم الذيل و متوسط قيم الرأس بالمعادلتين التاليتين ، على التوالي :

$$(٨) \quad m_{-h} = \frac{1}{N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} z(\mathbf{u} - \mathbf{h})$$

$$(٩) \quad m_{+h} = \frac{1}{N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} z(\mathbf{u} + \mathbf{h})$$

وبعد حساب التباين المتبادل حول المتوسط التجريبي لجميع مراحل المسافة والاتجاه يتم إحكام (fitting) نموذج نظري (theoretical) للتباين المتبادل حول المتوسط على القيم التجريبية. ويجب أن يكون النموذج النظري للتباين المتبادل حول المتوسط نموذج موجب محدد (positive definite) لكي يضمن وجود حل فريد لنظام الكرجنج (Deutsch and Journel, 1998). ومن ثم يستخدم النموذج النظري المحكم للتباين المتبادل حول المتوسط لحساب قيم التباين المتبادل حول المتوسط للمسافات المختلفة التي تفصل بين الموقع المراد تقدير المتغير فيها والمواقع المتوفرة لها قياسات وللمسافات التي تفصل بين المواقع المتوفرة لها قياسات والتي يشترط توفرها لحل نظام الكرجنج.

٤-٣-٢ الكرجنج:

يعد الكرجنج البسيط (SK) simple kriging والكرجنج الاعتيادي ordinary kriging (OK) والكرجنج العالمي (UK) universal kriging أكثر أنواع الكرجنج استخداماً في الدراسات الهيدرولوجية (Goovaerts, 1999) وبناءً عليه ستقتصر

هذه الدراسة على استقصاء هذه الأساليب الثلاثة ضمن هذه الفئة. وجميع أنواع الكرجنج عبارة عن توسع في الانحدار الخطي المعمم (generalized) المعطى بالمعادلة التالية (Deutsch and Journal, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(10) \quad Z^*(\mathbf{u}) - m(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) [Z(\mathbf{u}_{\alpha}) - m(\mathbf{u}_{\alpha})]$$

حيث أن:

$$\lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) = \text{الوزن المعطى لـ } z(\mathbf{u}_{\alpha})$$

$m(\mathbf{u})$ = جزء النزعة (trend component) الممثل للقيمة المتوقعة (expected value)

$Z(\mathbf{u})$ (value) لـ $Z(\mathbf{u})$ والمعتمدة على الموقع:

$$(11) \quad m(\mathbf{u}) = E\{Z(\mathbf{u})\}$$

٤-٣-٢-١ الكرجنج البسيط:

يتعامل الكرجنج البسيط مع $m(\mathbf{u})$ على أنها معروفة وثابتة في كامل منطقة

الدراسة A:

$$(12) \quad m(\mathbf{u}) = m, \text{ known } \forall \mathbf{u} \in A$$

مما يختزل معادلة الكرجنج البسيط إلى (Deutsch and Journal, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(13) \quad Z_{SK}^*(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}^{SK}(\mathbf{u}) Z(\mathbf{u}_{\alpha}) + \left[1 - \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) \right] m$$

حيث أن:

$$Z_{SK}^*(\mathbf{u}) = \text{تقدير الكرجنج البسيط للمتغير } Z \text{ في الموقع } \mathbf{u}.$$

$\lambda_{\alpha}^{SK}(\mathbf{u})$ = أوزان الكرجنج البسيط الناتجة من حل النظام المكون من $n(\mathbf{u})$ معادلة خطية (Deutsch and Journal, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(14) \quad \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{SK}(\mathbf{u}) C(\mathbf{u}_{\beta} - \mathbf{u}_{\alpha}) = C(\mathbf{u} - \mathbf{u}_{\alpha}), \quad \forall \alpha=1, \dots, n$$

وبالتالي يكون تباين الكرجنج البسيط معطى بالمعادلة التالية (Deutsch and Journal, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(15) \quad \sigma_{SK}^2 = C(0) - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) C(\mathbf{u} - \mathbf{u}_{\alpha}) \geq 0$$

حيث أن:

$$\sigma_{SK}^2 = \text{القيمة المقدرة لتباين الكرجنج البسيط.}$$

٤-٣-٢-٢ الكرجنج الاعتيادي:

يقدم الكرجنج الاعتيادي أبسط الطرق لنمذجة جزئية النزعة $m(\mathbf{u})$ بحيث يأخذ في الحسبان التغيرات المحلية للمتوسط عن طريق قصر حقل ثباتية stationarity المتوسط على الجوار المحلي $W(\mathbf{u})$:

$$(16) \quad m(\mathbf{u}') = \text{constant but unknown} \quad \forall \mathbf{u} \in W(\mathbf{u})$$

حيث أن:

$$m(\mathbf{u}') = \text{القيمة المقدرة لجزئية النزعة } m(\mathbf{u}) \text{ في الجوار المحلي } W(\mathbf{u}).$$

وبهذا يكون الكرجنج الاعتيادي معطى بالمعادلة التالية (Deutsch and Journal, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(17) \quad Z_{OK}^*(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u}) Z(\mathbf{u}_{\alpha})$$

حيث أن:

$$Z_{OK}^*(\mathbf{u}) = \text{تقدير الكرجنج الاعتيادي للمتغير } Z \text{ في الموقع } \mathbf{u}.$$

$\lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u})$ = أوزان الكرجنج الاعتيادي الناتجة من حل النظام المكون من $n(\mathbf{u})+1$ معادلة خطية (Deutsch and Journel, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(18) \quad \begin{cases} \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{OK}(\mathbf{u}) C(\mathbf{u}_{\beta} - \mathbf{u}_{\alpha}) + \mu(\mathbf{u}) = C(\mathbf{u} - \mathbf{u}_{\alpha}), & \forall \alpha=1, \dots, n \\ \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{OK}(\mathbf{u}) = 1 \end{cases}$$

حيث أن:

$\mu(\mathbf{u})$ = معامل لاجرانج Lagrange المقرون بتقييد مجموع الأوزان ليكون واحداً صحيحاً unity.

وعليه يكون تباين الكرجنج الاعتيادي معطى بالمعادلة التالية (Deutsch and Journel, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(19) \quad \sigma_{OK}^2 = C(0) - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) C(\mathbf{u} - \mathbf{u}_{\alpha} + \mu) \geq 0$$

حيث أن:

σ_{OK}^2 = القيمة المقدرة لتباين الكرجنج الاعتيادي.

ويعد الكرجنج الاعتيادي أكثر أنواع الكرجنج استخداماً لأن نظامه (المعادلة رقم 18) فائق التحمل extremely robust.

٤-٣-٢-٣ الكرجنج العالمي:

عندما تكون فرضية ثبات المتوسط غير مقبولة، فإنه لا بد من أخذ النزعة في الحسبان، لذلك يفترض الكرجنج العالمي أن $m(\mathbf{u})$ ليس ثابتاً لكنه يتغير بسلاسة في حدود الجوار المحلي مشكلاً نزعة محلية. لذا يقسم الكرجنج العالمي المتغير $Z(\mathbf{u})$ إلى نزعة $m(\mathbf{u})$ ومتخلف $R(\mathbf{u})$ residual:

$$(٢٠) \quad Z(\mathbf{u}) = m(\mathbf{u}) + R(\mathbf{u})$$

ومن ثم نمذج النزعة $m(\mathbf{u})$ في حدود كل جوار محلي كمجمع موزون لدالات functions معروفة الصيغة $f_l(\mathbf{u})$ ومجهولة المعاملات coefficients (Meul and van Meirvenne, 2003):

$$(٢١) \quad m(\mathbf{u}) = \sum_{l=0}^L a_l f_l(\mathbf{u}_\alpha).$$

حيث أن:

a_l = معاملات مجهولة يتم تقديرها من البيانات المتوفرة لمنطقة الدراسة.

وبهذا يكون الكرجنج العالمي معطى بالمعادلة التالية (Deutsch and Journel, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(٢٢) \quad Z_{UK}^*(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_\alpha^{UK}(\mathbf{u}) Z(\mathbf{u}_\alpha)$$

حيث أن:

$Z_{UK}^*(\mathbf{u})$ = تقدير الكرجنج العالمي للمتغير Z في الموقع \mathbf{u} .

$\lambda_\alpha^{UK}(\mathbf{u})$ = أوزان الكرجنج العالمي الناتجة من حل النظام المكون من $n(\mathbf{u})+1+k$

معادلة خطية (Deutsch and Journel, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(٢٣) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta^{UK}(\mathbf{u}) C_R(\mathbf{u}_\beta - \mathbf{u}_\alpha) + \sum_{k=0}^K \mu_k(\mathbf{u}) f_k(\mathbf{u}_\alpha) = C_R(\mathbf{u} - \mathbf{u}_\alpha), \quad \forall \alpha=1, \dots, n \\ \sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta^{UK}(\mathbf{u}) f_k(\mathbf{u}_\beta) = f_k(\mathbf{u}), \quad \forall k = 0, \dots, K \end{array} \right.$$

حيث أن:

$\mu_k(\mathbf{u})$ = معاملات لاجرانج Lagrange المقترنة بالقيود البالغ عددها $k+1$ على

مجموع الأوزان،

C_R = التباين المتبادل حول المتوسط للمتغير بعد طرح النزعة $m(\mathbf{u})$ منه ، أي التباين المتبادل حول المتوسط للمتخلف $R(\mathbf{u})$.

وعليه يكون تباين الكرجنج العالمي معطى بالمعادلة التالية (Deutsch and Journal, 1998; Goovaerts, 1999):

$$(٢٤) \quad \sigma_{UK}^2 = C_R(0) + \sum_{k=0}^K \mu_k(\mathbf{u}) f_k(\mathbf{u}_\alpha) - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(\mathbf{u}) C_R(\mathbf{u} - \mathbf{u}_\alpha) \geq 0$$

حيث أن :

$$\sigma_{UK}^2 = \text{القيمة المقدرة لتباين الكرجنج العالمي.}$$

ويمكن نمذجة النزعة $m(\mathbf{u})$ بنماذج بارامترية parametric أو نماذج غير بارامترية nonparametric حيث تتعامل النماذج البارامترية مع النزعة $m(\mathbf{u})$ على مقياس عالمي global لكامل منطقة الدراسة A بينما تحدد النماذج الغير بارامترية النزعة $m(\mathbf{u})$ في أجزاء محلية من A . وحيث أن النماذج الغير بارامترية معروفة بأنها تجعل التباين حول المتوسط لـ $R(\mathbf{u})$ متحيز biased بشكل كبير، فإنها لا تستخدم لأغراض التقدير البيئي المكاني.

ويمكن أن تكون النماذج البارامترية خطية أو غير خطية، إلا أن النماذج الخطية مفضلة على غير الخطية لأنها مريحة لأغراض التقدير البيئي المكاني. وستستخدم معادلة متعددة الحدود العالمية global polynomial من الدرجة الأولى والثانية والثالثة لنمذجة النزعة $m(\mathbf{u})$ في هذه الدراسة لأنها الأكثر استخداماً من بين النماذج الخطية. و متعددة الحدود العالمية من الدرجة order الأولى والثانية والثالثة معطاة بالمعادلات التالية، على التوالي :

$$(٢٥) \quad m(\mathbf{u}) = a_1 + a_2x + a_3y$$

$$(٢٦) \quad m(\mathbf{u}) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6xy + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9x^2y^2$$

$$(٢٧) \quad m(\mathbf{u}) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6xy + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9x^2y^2 + a_{10}x^3 + a_{11}y^3 + a_{12}xy^3 + a_{13}x^2y^3 + a_{14}x^3y + a_{15}x^3y^2 + a_{16}x^3y^3$$

حيث أن :

x = الإحداثية المستوية على المحور السيني ،

y = الإحداثية المستوية على المحور الصادي.

وسيكون اختيار رتبة متعددة الحدود المستخدمة لنمذجة النزعة $m(\mathbf{u})$ مبنياً على

نتيجة الاستحكام المتبادل cross-validation.

٤-٣-٣ الاستحكام المتبادل:

يقيم الأداء التجريبي النسبي لأساليب التقدير البيئي المكاني باستخدام تقنية الاستحكام المتبادل بحيث تحذف أحد الملاحظات (observation) مؤقتاً كل مرة من قاعدة البيانات وتقدر قيمتها باستخدام البيانات المتبقية وأسلوب التقدير البيئي المكاني تحت الفحص ليصبح لدينا لكل موقع عينة قيمة مقاسة وقيمة مقدرة (Isaaks and Srivastava, 1989). ويستخدم متوسط الخطأ (mean error) بين القيم المقاسة والقيم المقدرة لقياس اتجاه ومقدار تحيز (bias) الأسلوب بينما يستخدم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (root mean squared error) بين القيم المقاسة والقيم المقدرة لقياس دقة (accuracy) الأسلوب. و متوسط الخطأ و الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين القيم المقاسة والقيم المقدرة معطى بالمعادلتين التاليتين ، على التوالي :

$$(28) \quad ME = \frac{\sum_{\alpha}^n (z'(\mathbf{u}_{\alpha}) - z(\mathbf{u}_{\alpha}))}{n},$$

$$(29) \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{\alpha}^n (z'(\mathbf{u}_{\alpha}) - z(\mathbf{u}_{\alpha}))^2}{n}},$$

حيث أن:

ME = متوسط الخطأ بين القيم المقاسة والقيم المقدرة،

$RMSE$ = الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ بين القيم المقاسة والقيم المقدرة،

$z'(\mathbf{u}_{\alpha})$ = القيم المقدرة لـ $z(\mathbf{u}_{\alpha})$ ،

n = حجم العينة.

٥ النتائج والمناقشة:

٥-١ الإحصاءات الوصفية وتحليل التوزيع الإحصائي:

تراوحت القيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة من ٠,٠٧ إلى ٠,١٣٤ سم^٣/سم^٣ بمتوسط وانحراف معياري بلغا ٠,١٠٣ و ٠,٠١٨ سم^٣/سم^٣، على التوالي، مما يشير إلى مدى ومتوسط وتباين محدودة نسبياً وهي الخصائص التي غالباً ماتتمتع بها الترب الصحراوية خشنة القوام ذات المحتوى المتدني من المادة العضوية ومعادن الطين. أما معامل التواء فقد بلغ ٠,٠٧٤ سم^٣/سم^٣ مما يدل على التواء موجب بسيط للتوزيع الإحصائي للقيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة، أي أن التوزيع الإحصائي يميل للتمتع بذيل طويل من القيم العالية نسبياً.

وحيث أن أساليب الكرجنج حساسة بشكل كبير لانحراف التوزيع الإحصائي عن التوزيع الطبيعي (normal distribution) فإنه لا بد من إخضاع التوزيع الإحصائي للقيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة لامتحان غير بارامتري (nonparametric test) لقياس طبيعية (normality) التوزيع الإحصائي قبل تطبيق هذه الأساليب. وقد بلغت قيمة امتحان كولموغروف - سميرنوف Kolmogorov-Smirnov (K-S) الغير بارامتري للقيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة ٠,١٠٤ وهي أقل من القيمة الحرجة (critical value) البالغة ٠,١٦٧ عند مستوى الدلالة (significance level) ٩٥٪ مما يدل على أن القيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة تتمتع بتوزيع إحصائي طبيعي وبالتالي إمكانية تطبيق أساليب الكرجنج عليها دون أي تحويل (transformation) للقيم.

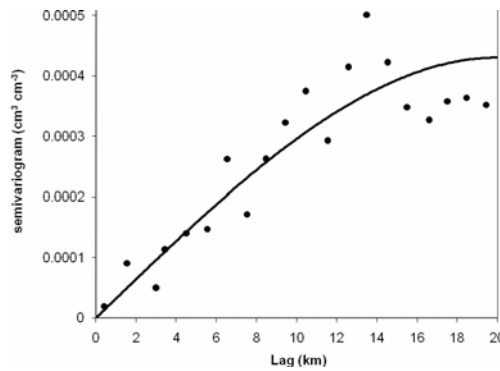
٢-٥ تحليل الاستمرارية المكانية:

لقد حسبت أنصاف الفاريوغرامات للاتجاهات الأربعة الرئيسة على البوصلة والتي تشمل شرق - غرب (صفر درجة) وشمال شرق - جنوب غرب (٤٥ درجة) وشمال - جنوب (٩٠ درجة) وشمال غرب - جنوب شرق (١٣٥ درجة) إلا أنها لم تفلح في إظهار عدم توحد (anisotropy) لا للمتغير الأصلي $Z(u)$ ولا لمتخلف المتغير الأصلي $R(u)$ ، لذلك استخدم التحليل الفاريوغرافي ذو الاتجاه الشامل (omnidirectional) لكل من المتغير الأصلي ومتخلفه في هذه الدراسة. وتوضح نقاط التبعر في الشكل رقم (٦) والشكل رقم (٧) أنصاف الفاريوغرامات التجريبية شاملة الاتجاه مقابل فترة المسافة h للمتغير

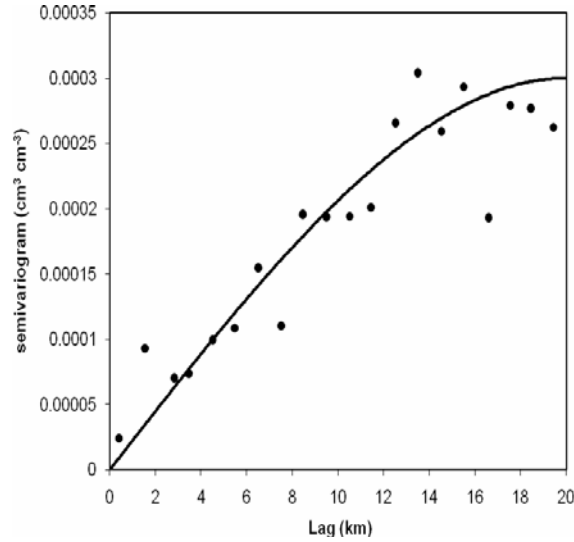
الأصلي ومتخلفة، على التوالي. ويتضح من الشكلين أن ليس هناك تأثيرات للخطأ (nugget effect) (التباين عندما تكون المسافة الفاصلة تساوي صفراً) وأن هناك نمط خطي عند القيم الصغيرة للمسافة الفاصلة بالقرب من نقطة الأصل إلا أن هذا النمط يميل إلى الاستواء مع تزايد قيم المسافة الفاصلة في كلا الحالتين. ويقدم النموذج النظري الدائري (spherical) أفضل أحكام لقيم أنصاف الفاريوغرامات التجريبية لكل من المتغير الأصلي ومتخلفة. ويبلغ مدى (range) (المسافة الفاصلة التي تصبح عندها قيم سعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة مستقلة مكانياً عن بعضها البعض) النموذج الدائري ٢٠ كم لكل من المتغير الأصلي ومتخلفة. أما قيم السقف sill (ظهر منحنى دالة نصف الفاريوغرام) فتبلغ ٠,٠٠٠٤٣ و ٠,٠٠٠٠٣ سم^٣/سم^٣ للمتغير الأصلي ومتخلفة، على التوالي. وبهذا يكون نموذج تقدير نصف الفاريوغرام للمتغير الأصلي ومتخلفة معطى بالمعادلتين التاليتين، على التوالي:

الشكل رقم ٦: أنصاف الفاريوغرامات التجريبية شاملة الاتجاه (نقاط)

والنموذج النظري الدائري (خط) لسعة الماء المتاح



الشكل رقم ٧: أنصاف الفاريوغرامات التجريبية شاملة الاتجاه (نقاط) والنموذج النظري الدائري (خط) لمتخلف سعة الماء المتاح



$$(٣٠) \quad \gamma(h) = \begin{cases} 0.00043 \left[1.5 \frac{h}{20} - 0.5 \left(\frac{h}{20} \right)^3 \right], & \text{if } h \leq 20 \\ 0.00043, & \text{if } h \geq 20 \end{cases}$$

$$(٣١) \quad \gamma(h) = \begin{cases} 0.0003 \left[1.5 \frac{h}{20} - 0.5 \left(\frac{h}{20} \right)^3 \right], & \text{if } h \leq 20 \\ 0.0003, & \text{if } h \geq 20 \end{cases}$$

٥-٣ الاستحكام المتبادل:

تدل نتائج الاستحكام المتبادل أن أفضل نموذج لنمذجة النزعة في قيم سعة الماء المتاح في تربة منطقة الخرج هي متعددة الحدود من الدرجة الثانية (المعادلة

رقم ٢٦) وأن أفضل إستراتيجية بحث في منطقة الجوار هي الإستراتيجية التي تتكون من أربع ربعيات (quadrant) بنصف قطر يبلغ ٢٠ كم وعلى الأقل عنتان في كل ربعية وعلى الأكثر خمس عينات في كل ربعية. ويوضح الجدول رقم (٣) نتائج الاستحكام المتبادل للأساليب التحديدية والجيوإحصائية للتقدير البيئي المكاني المستقصاة في هذه الدراسة. فجميع أساليب التقدير البيئي المكاني المستقصاة في هذه الدراسة ماعدا مضلع ثيسن تمهد (smooth) البيانات كما هو واضح من انخفاض قيم الانحراف المعياري للقيم المقدرة مقارنة بنظيراتها للقيم المقاسة، وارتفاع القيم الدنيا للقيم المقدرة مقارنة بنظيراتها للقيم المقاسة، وانخفاض القيم العليا للقيم المقدرة مقارنة بنظيراتها للقيم المقاسة. وتمهد البيانات بأساليب الكرجنج وموزون مقلوب المسافة ناتج من كونها تنطوي على توليف القيم $z(\mathbf{u}_\alpha)$ الواقعة في الجوار $W(\mathbf{u})$ في عملية تقدير قيمة $z(\mathbf{u})$. ويعطي موزون مقلوب المسافة أكبر قدر من تمهيد البيانات يليه موزون مقلوب مربع المسافة ثم موزون مقلوب مكعب المسافة ثم الكرجنج البسيط ثم الكرجنج الاعتيادي ثم الكرجنج العالمي. ومع أن قدر معين من تمهيد البيانات (تسوية السطح) قد يكون مطلوب في بعض الحالات للتخلص من الضوضاء (noise) وإظهار النزعة الإقليمية (regional trends) بشكل أوضح، إلا أن التمهيد الكبير للبيانات ليس مقبولاً لإنتاج خرائط خطوط التساوي (التوزيع الجغرافي) والنماذج الرقمية (digital models) للظواهر المختلفة.

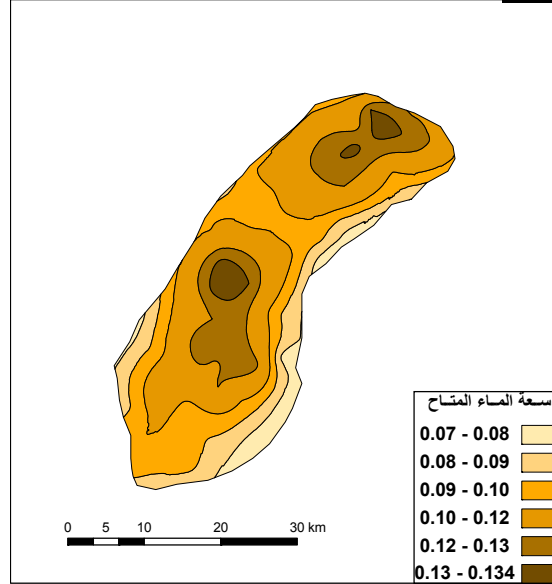
الجدول رقم ٣: نتائج الاستحكام المتبادل لأساليب التقدير البيئي المكاني المستخدمة في تقدير سعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة

الأسلوب	القيم المقدرة (سم ^٣ /سم ^٢)				القيم المقدرة مقابل القيم المقاسة	
	أقل قيمة	أعلى قيمة	المتوسط	الانحراف المعياري	متوسط الخطأ	الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ
مضلع ثيسن	0.07	0.134	0.1036	0.018	0.000578	0.0131
مقلوب المسافة	0.086	0.122	0.1042	0.009	0.001214	0.01336
مقلوب مربع المسافة	0.076	0.126	0.104	0.012	0.001035	0.01165
مقلوب مكعب المسافة	0.073	0.128	0.104	0.014	0.000989	0.01094
الكرجنج البسيط	0.072	0.129	0.103	0.015	0.00045	0.00910
الكرجنج الاعتيادي	0.073	0.129	0.1036	0.015	0.00059	0.00922
الكرجنج العالمي	0.069	0.131	0.103	0.017	0.000415	0.00954

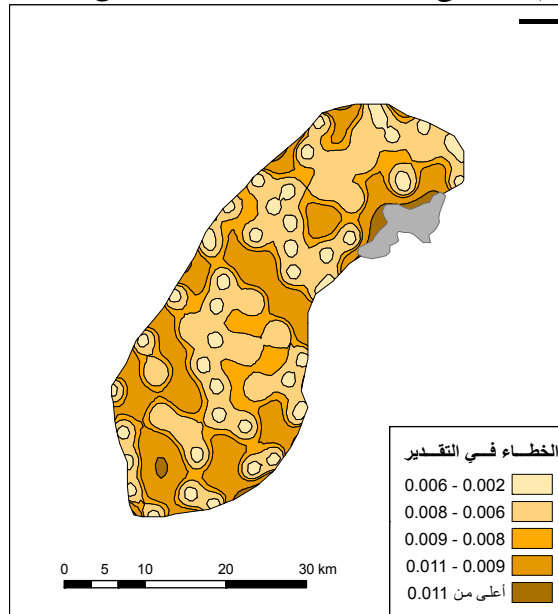
وقد كان أداء الأساليب الجوى إحصائية أفضل من أداء أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية لكونها أقل تحيزاً وأكثر دقة. وجميع أساليب الكرجنج الثلاثة متساوية الدقة بواقع ٠,٠٠٩ سم^٣/سم^٢ لقيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ، وهو ما يمثل أقل من ٩٪ من متوسط القيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة. إلا أن هناك تفاوت بالنسبة لمستوى التحيز بين أساليب الكرجنج، فقد كان الكرجنج البسيط أكثرها تحيزاً والكرجنج العالمي أقلها تحيزاً. ففي حين بلغ متوسط الخطأ للكرجنج البسيط ٠,٠٠٠٦ سم^٣/سم^٢، لم يتجاوز متوسط الخطأ للكرجنج العالمي ٠,٠٠٠٤ سم^٣/سم^٢ أو ما يعادل ٤٪ من متوسط القيم المقاسة لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة.

وحيث أن تقديرات الكرجنج العالمي هي الأقل تحيزاً والأكثر دقة والأقل تمهيداً للبيانات، فقد اختير الكرجنج العالمي كأفضل أسلوب للتقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة واستخدمت تقديراته في بناء خريطة رقمية للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج (الشكل رقم ٨، متوفره على هيئة رقمية من الباحث بواسطة البريد الإلكتروني alsaaran@ksu.edu.sa)، و بناء خريطة رقمية للتوزيع الجغرافي للخطأ في تقدير سعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج (الشكل رقم ٩)، وإنتاج نموذج رقمي عالي الوضوح (١٠م×١٠م) لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة (متوفر من الباحث بواسطة البريد الإلكتروني المذكور أعلاه). ويتضح من الخريطة في الشكل رقم (٨) أن هناك نمط واضح للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج بحيث تزداد سعة الماء المتاح في المناطق الوسطى من السهل الفيضي خاصة في المنطقة الواقعة عند نهاية وادي حنيفة وأعالي وادي السهباء إلى الشمال من بلدة اليمامة، وفي المنطقة الواقعة حول مجرى وادي العين إلى الشمال الغربي من بلدة الصحنة. أما حواف منطقة الدراسة حيث تكثر الرواسب الريحية فتتخفف فيها سعة الماء المتاح كما هو الحال في عرق الضاحي إلى الشرق من مدينة الدلم. وقد دلت نتائج التحليل المساحي بنظم المعلومات الجغرافية للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح المقدرة بالكرجنج العالمي في منطقة الدراسة (الجدول رقم ٤) على أن الترب التي تزيد فيها سعة الماء المتاح عن ٠.١ سم^٣/سم^٣ تغطي مامساحته ٥٨٤ كم^٢ وهو ما يشكل أكثر من ٥٦٪ من مساحة منطقة الدراسة.

الشكل رقم ٨: التوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في منطقة الدراسة



الشكل رقم ٩: التوزيع الجغرافي للخطأ في تقدير سعة الماء المتاح في منطقة الدراسة



كما يتضح من خريطة خطوط التساوي في الشكل رقم (٩) أن ليس هناك نمط مكاني لقيم خطأ الكرجنج العالمي في تقدير سعة الماء المتاح مما يزيد من الثقة بالقيم المقدرة. ودلت نتائج التحليل المساحي بنظم المعلومات الجغرافية للتوزيع الجغرافي للخطأ في تقدير الكرجنج العالمي لسعة الماء المتاح في منطقة الدراسة (الجدول رقم ٥) أن الخطأ في تقدير الكرجنج العالمي لسعة الماء المتاح لا يتجاوز 0.009 سم^٣/سم^٢ في أكثر من ٧٠٪ من مساحة منطقة الدراسة.

الجدول رقم ٤ : مساحات فئات سعة الماء المتاح المقدرة بالكرجنج العالمي في منطقة الدراسة

سعة الماء المتاح (سم ^٣ /سم ^٢)	المساحة (كم ^٢)	النسبة من منطقة الدراسة (%)
٠.٠٧ - ٠.٠٨	٥٧.٦	٥.٥
٠.٠٨ - ٠.٠٩	١٣١.٥	١٢.٦
٠.٠٩ - ٠.١٠	٢٦٦.٣	٢٥.٦
٠.١٠ - ٠.١٢	٣٨٣.٤	٣٦.٩
٠.١٢ - ٠.١٣	١٦٧.٥	١٦.٢
٠.١٣ - ٠.١٣٤	٣٣.١	٣.٢

الجدول رقم ٥ : مساحات فئات الخطأ في تقدير سعة الماء المتاح

بالكرجنج العالمي في منطقة الدراسة

الخطأ في التقدير	المساحة (كم ^٢)	النسبة من منطقة الدراسة (%)
٠.٠٠٢ - ٠.٠٠٦	٩٨.٠	٩.٥
٠.٠٠٦ - ٠.٠٠٨	٤١٦.٤	٤٠.١
٠.٠٠٨ - ٠.٠٠٩	٢١٥.٩	٢٠.٨
٠.٠٠٩ - ٠.١١	٢٧٧.٠	٢٦.٧
أعلى من ٠.١١	٢٨.٩	٢.٨

٦ - الخاتمة:

نظراً لاعتماد الزراعة المحكّمة والتنمية المستدامة لموارد المياه والتربة في المناطق الصحراوية على تحديد التوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في التربة للنبات التي تتحكم في عمق الري المطلوب وجدولته الزمنية، ونظراً لما لمنطقة الخرج من أهمية زراعية في المملكة العربية السعودية، فقد هدفت هذه الدراسة لتقييم الأداء النسبي لعدد من الأساليب التحديدية والجيوإحصائية للتقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في الترب الصحراوية بمنطقة الخرج للتعرف على أسلوب التقدير البيئي المكاني الأكثر دقة والأقل تحيزاً في تقديراته ومن ثم استخدامه لبناء خريطة رقمية ونموذج رقمي للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في التربة بمنطقة الخرج بحيث يسهل استخدامها في نظم المعلومات الجغرافية لإدارة الري وموارد المياه والتربة في منطقة الخرج التي تعد أهم وأكبر المناطق الزراعية في منطقة الرياض الإدارية. ولتحقيق هذه الأهداف تم:

١. جمع ٦٤ عينة تربة من الأراضي الزراعية بمنطقة الخرج بواسطة بريمة حفر التربة من السطح وحتى عمق ٥٠ سم، وروعي أن يضمن نظام أخذ العينات التغطية الشاملة والتوزيع الجغرافي الجيد.
٢. تحديد مواقع أخذ العينات بنظام التوقيع المكاني لاستخدام ذلك في عمليات التقدير البيئي المكاني.
٣. قياس المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم في المختبر بواسطة نظام الاستخلاص بصحون الضغط ثلاث مرات

- لكل عينة ومن ثم حساب المتوسط واستخدامه في تحديد سعة الماء المتاح في التربة كالفرق بين القيمتين.
٤. استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتحويل الإحداثيات الجغرافية المأخوذة بنظام التوقيع المكاني إلى نظام الإحداثيات المسقط المناسب لحساب المسافات الإقليدية بين مواقع أخذ العينات من جهة وبين مواقع أخذ العينات والمواقع المراد تقدير سعة الماء المتاح فيها من جهة أخرى اللازمة لعمليات التقدير البيئي المكاني.
٥. تحليل الاستمرارية المكانية لسعة الماء المتاح وتحديد ومعايرة النموذج الفاريوغرامي النظري الذي يقدم أفضل أحكام لقيم أنصاف الفاريوغرامات التجريبية لاستخدامه في أساليب الكرجنج.
٦. تحديد أفضل نموذج لنمذجة النزعة في قيم سعة الماء المتاح في ترب منطقة الدراسة لاستخدامه في الكرجنج العالمي.
٧. تحديد أفضل استراتيجية بحث في منطقة الجوار لاستخدامها في عمليات البحث عن المواقع التي تستخدم في التقدير البيئي المكاني بالأساليب المختلفة.
٨. استخدام تقنية الاستحكام المتبادل لحساب مدى دقة وتحييز كل واحد من أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية (مضلع تيشن وموزون مقلوب المسافة و موزون مقلوب مربع المسافة وموزون مقلوب مكعب المسافة) والجيوإحصائية (الكرجنج البسيط والكرجنج الاعتيادي والكرجنج العالمي).
٩. تحديد أسلوب التقدير البيئي المكاني الأعلى دقة والأقل تحيزاً.

١٠. استخدام أسلوب التقدير البيئي المكاني الأعلى دقة والأقل تحيزاً لبناء خريطة رقمية ونموذج رقمي للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في التربة.

وقد دلت نتائج تحليل الاستمرارية المكانية على أن النموذج الفارويوغرافي النظري الذي يقدم أفضل أحكام لقيم أنصاف الفارويوغرامات التجريبية هو النموذج النظري الدائري بمدى يبلغ ٢٠ كم وسقف يبلغ ٠,٠٠٠٤٣ و ٠,٠٠٠٣ سم^٣/سم^٣ للمتغير الأصلي ومتخلفه، على التوالي. كما دلت نتائج الاستحكام المتبادل على أن:

- ١- أفضل إستراتيجية بحث في منطقة الجوار هي الإستراتيجية التي تتكون من أربع ربعايات بنصف قطر يبلغ ٢٠ كم وعلى الأقل عينتان في كل ربعية وعلى الأكثر خمس عينات في كل ربعية.
- ٢- أفضل نموذج لنمذجة النزعة في قيم سعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج هي متعددة الحدود العالمية من الدرجة الثانية.
- ٣- جميع أساليب التقدير البيئي المكاني المستقصاة في هذه الدراسة ماعدا مضلع ثيسن تمهد البيانات.
- ٤- موزون مقلوب المسافة يعطي أكبر قدر من تمهيد البيانات يليه موزون مقلوب مربع المسافة ثم موزون مقلوب مكعب المسافة ثم الكرجنج البسيط ثم الكرجنج الاعتيادي ثم الكرجنج العالمي.
- ٥- الأساليب الجواحصائية أقل تحيزاً وأكثر دقة من أساليب التقدير البيئي المكاني التحديدية.
- ٦- جميع أساليب الكرجنج الثلاثة متساوية الدقة.

٧- هناك تفاوت في مستوى التحيز بين أساليب الكرجنج فقد كان الكرجنج البسيط أكثرها تحيزاً والكرجنج العالمي أقلها تحيزاً.

٨- الكرجنج العالمي هو أفضل أسلوب للتقدير البيئي المكاني لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج لكون تقديراته هي الأقل انحيازاً والأكثر دقة والأقل تمهيداً للبيانات.

إلى ذلك استخدمت تقديرات الكرجنج العالمي لبناء خريطة التوزيع الجغرافي ونموذج رقمي لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج يتمتعان بمصدقية عالية ليشكلا مكونين رئيسين لقاعدة البيانات المكانية لنظم المعلومات الجغرافية لتحقيق زراعة محكمة وتنمية مستدامة لموارد المياه والتربة في منطقة الخرج. وقد أوضحت خريطة التوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح أن هناك نمط واضح للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح في ترب منطقة الخرج بحيث:

١. تزداد سعة الماء المتاح في المناطق الوسطى من السهل الفيضي خاصة في المنطقة الواقعة عند نهاية وادي حنيفة وأعالي وادي السهباء إلى الشمال من بلدة اليمامة، والمنطقة الواقعة حول مجرى وادي العين إلى الشمال الغربي من بلدة الصحنة،

٢. تنخفض سعة الماء المتاح في حواف منطقة الدراسة حيث تكثر الرواسب الريحية خاصة في الكثبان الرملية لعرق الضاحي إلى الشرق من مدينة الدلم. كما دلت نتائج التحليل المساحي بنظم المعلومات الجغرافية للتوزيع الجغرافي لسعة الماء المتاح المقدرة بالكرجنج العالمي في منطقة الدراسة على أن الترب التي تزيد فيها سعة الماء المتاح عن ٠.١ سم^٣/سم^٣ تغطي مامساحته ٥٨٤ كم^٢ وهو

ما يشكل أكثر من ٥٦٪ من مساحة منطقة الدراسة. وتبين من خريطة خطوط التساوي لخطأ الكرجنج العالمي في تقدير سعة الماء المتاح أن ليس هناك نمط مكاني مما يزيد من الثقة بالقيم المقدرة بهذا الأسلوب. كما بينت نتائج التحليل المساحي بنظم المعلومات الجغرافية للتوزيع الجغرافي للخطأ في تقدير الكرجنج العالمي لسعة الماء المتاح في منطقة الدراسة أن الخطأ في تقدير الكرجنج العالمي لسعة الماء المتاح لا يتجاوز ٠,٠٠٩ سم^٣/سم^٢ في أكثر من ٧٠٪ من مساحة منطقة الدراسة.

المراجع

المراجع العربية:

- السعران، ناصر عبد العزيز (٢٠٠٠م)، تقييم ملحية وصودية التربة في منطقة الدلم بوسط المملكة العربية السعودية وأثرها على إنتاجية المحاصيل الزراعية، مركز بحوث كلية الآداب - جامعة الملك سعود، العدد ٧٩.
- السعران، ناصر عبد العزيز (٢٠٠٥م)، أنموذج رياضي لتقدير نسبة إدمصاص الصوديوم في المياه الجوفية بمنطقة الخرج، مركز بحوث كلية الآداب - جامعة الملك سعود، العدد ١٠٦.

المراجع غير العربية:

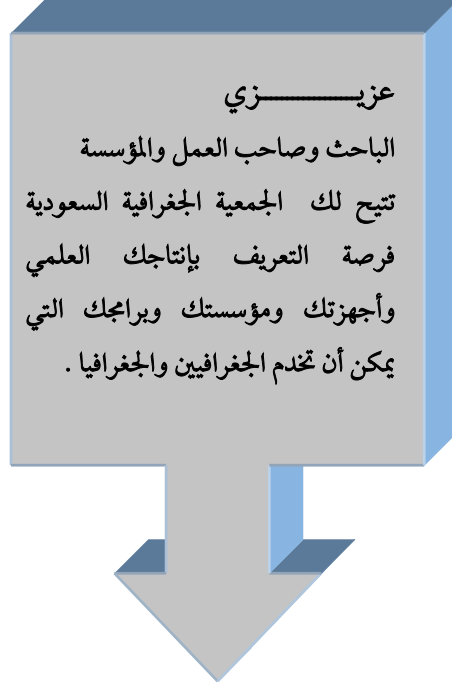
- Alsaaran, N. A., (1999), "Spatial and Temporal Variability of Potential Evapotranspiration in Saudi Arabia", **Journal of the Gulf and Arabian Peninsula Studies**, 92, pp. 227-245.
- Bárdossy, A. and Lehmann, W., (1998), "Spatial Distribution of Soil Moisture in a Small Catchment, Part 1: Geostatistical Analysis", **Journal of Hydrology**, 206, pp. 1-15.
- Baxter, S.J., Oliver, M.A., (2005), "The Spatial Prediction of Soil Mineral N and Potentially Available N Using Elevation", **Geoderma**, 128, PP. 325-339.
- Bazuhair, A.S., (1986), **Comparative Hydrological Study of Al-Kharj and Al-Yamanyah Areas of Saudi Arabia**, Ph.D. thesis, University College, London.
- Bekele, A., Downer, R.G., Wolcott, M.C., Hudnall, W.H., Moore, S.H., (2003), "Comparative Evaluation of Spatial Prediction Methods in a Field Experiment for Mapping Soil Potassium", **Soil Sci.**, 168, pp. 15-28.
- Bishop, T. F. A. and McBratney, A. B., (2001), "A Comparison of Prediction Methods for the Creation of Field-Extent Soil Property Maps", **Geoderma**, 103, pp. 149-160.
- Bourennane, H., King, D., Couturier, A., (2000), "Comparison of Kriging with External Drift and Simple Linear Regression for Predicting Soil Horizon Thickness with Different Sample Densities", **Geoderma**, 97, pp. 255-271.

- Carre', F., McBratney, A. B., (2005), "Digital Terrain Mapping", **Geoderma**, 128, pp. 340–353.
- 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
- Cattle, A.J., McBratney, A.B., Minasny, B., (2002), "Kriging Methods Evaluation for Assessing the Spatial Distribution of Urban Soil Lead Contamination", **J. Environ. Qual.**, 319, pp. 1576–1588.
- Deutsch, C. and Journel A., (1998), **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**, Oxford University Press, New York, pp.369
- Edgell, H.S., (1990), "Geological Framework of Saudi Arabia Groundwater Resources", **Journal of King Abdulaziz University, Earth Sciences**, 3, pp. 267-286
- Edgell, H.S., (1997), "Aquifers of Saudi Arabia and their Geological Framework", **The Arabian Journal of Science and Engineering**, 22, pp. 3-31.
- Emery, X., (2006), "Ordinary Multigaussian Kriging for Mapping Conditional Probabilities of Soil Properties", **Geoderma**, 132, pp. 75–88.
- Ersahin, S., Brohi, A. R., (2006), "Spatial Variation of Soil Water Content in Topsoil and Subsoil of a Typic Ustifluvent", **Agricultural Water Management**, 83, pp. 79 – 86.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.), (2005), **ArcGIS 9.1**, Redlands, CA.
- Feng, Q., Liu, Y. and Mikami, M., (2004), "Geostatistical Analysis of Soil Moisture Variability in Grassland", **Journal of Arid Environments**, 58, pp. 357-372
- Glenn, N. F. and Carr, J. R., (2003), "The Use of Geostatistics in Relating Soil Moisture to RADARSAT-1 SAR Data Obtained Over the Great Basin, Nevada, USA", **Computers & Geosciences**, 29, pp. 577–586.
- Golden Software, I., (2002), **Surfer, Version 8.02**. Golden Software, Inc., Golden, CO, USA. Goovaerts, P., (2000), "Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall", **J. Hydrol.** 228, pp. 113-129
- Goovaerts, P., (1997), **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**, Oxford Univ. Press, New York, 512 pp.
- Goovaerts, P., (1999), "Geostatistics in Soil Science: State-of-the-Art and Perspectives", **Geoderma**, 89, pp. 1-45.
- Gotway, C.A., Ferguson, R.B., Hergert, G.W., Peterson, T.A., (1996), "Comparison of Kriging and Inverse-Distance Methods for Mapping Soil Parameters", **Am. J. Soil Sci.** 60, pp. 1237–1247.

- Hengl, T., Heuvelink, G. B. M. and Stein, A., (2004), "A Generic Framework for Spatial Prediction of Soil Variables Based on Regression-Kriging", **Geoderma**, 120, pp. 75-93.
- Herbst, M., Diekkrüger, B., Vereecken, H., (2006), "Geostatistical Co-Regionalization of Soil Hydraulic Properties in a Micro-Scale Catchment Using Terrain Attributes", **Geoderma**, 132, pp. 206– 221.
- Heuvelink, G.B.M., Webster, R., (2001), "Modeling Soil Variation: Past, Present, and Future", **Geoderma**, 100, pp. 269– 301.
- Hooker, P.J., Nathanail, C.P., (2006), "Risk-Based Characterization of Lead in Urban Soils", **Chemical Geology**, 226, pp. 340– 351
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., (1989), **An Introduction to Applied Geostatistics**, Oxford University Press, New York.
- Jost, G., Heuvelink, G.B.M. and Papritz, A., (2005), "Analysing the Space– Time Distribution of Soil Water Storage of a Forest Ecosystem Using Spatio-Temporal Kriging", **Geoderma**, 128, pp. 258-273.
- Journel, A.G. and Huijbregts, C.J., (1978), **Mining Geostatistics**, Academic Press, New York, 600 pp
- 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
- Kravchenko, A.N., (2003), "Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 67, pp. 1564-1571
- Kravchenko, A.N., Bullock, D.G., (1999), "A Comparative Study of Interpolation Methods for Mapping Soil Properties", **J. Agronomy**, 91, pp. 393–400
- Kyriakidis, P.C., Journel, A.G., (1999), "Geostatistical Space– Time Models: A Review", **Mathematical Geology**, 31, pp. 651–684
- Laslett, G.M., McBratney, A.B., Pahl, P.J., Hutchinson, M.F., (1987), "Comparison of Several Spatial Prediction Methods for Soil Ph", **J. Soil Sci.** 38, pp. 325–341
- Julià, M. F., Estrela Monreal, T., Sánchez del Corral Jiménez, A., García Meléndez, E., (2004), "Constructing a Saturated Hydraulic Conductivity Map of Spain Using Pedotransfer Functions and Spatial Prediction", **Geoderma**, 123, pp. 257-277.
- MAW (Ministry of Agriculture and Water), (1986), **Soil General Map**, MAW, Riyadh. McBratney, A. B., Odeh, I. O. A., Bishop, T.F. A., Dunbar, M.S. and Shatar, T.M., (2000), "An Overview of Pedometric Techniques for Use in Soil Survey", **Geoderma**, 97, pp. 293-327.
- McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L., Minasny, B., (2003), "On Digital Soil Mapping", **Geoderma**, 117, pp. 3– 52.

- McGrath, D. and Zhang, C., (2003), "Spatial Distribution of Soil Organic Carbon Concentrations in Grassland of Ireland", **Applied Geochemistry**, 18, pp. 1629-1639
- Meul, M. and Van Meirvenne, M., (2003), "Kriging Soil Texture Under Different Types of Nonstationarity", **Geoderma**, 112, pp. 217-233.
- Minasny, B. and A. B. McBratney, (2002a), "The Efficiency of Various Approaches to Obtaining Estimates of Soil Hydraulic Properties", **Geoderma**, 107, pp. 55-70.
- Morgan, C.L., Norman, J.M. and Lowery, B., (2003), "Estimating Plant-Available Water Across a Field with an Inverse Yield Model", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 67, pp. 620-629.
- Mueller, T.G., Pierce, F.J., (2003), "Soil Carbon Maps: Enhancing Spatial Estimates with Simple Terrain Attributes at Multiple Scales", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 67, pp. 258– 267.
- M.W. (Ministry of Water), (2001), **Monthly Rainfall Data in the Kingdom of Saudi Arabia for the Period 1985-2000**, Ministry of Water, Riyadh.
- López-Granados, F. L., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J.M., García-Torres, L., (2005), "Using Geostatistical and Remote Sensing Approaches for Mapping Soil Properties", **Europ. J. Agronomy**, 23, pp. 279–289.
- Odeh, I.O.A., McBratney, A.B., (2000), "Using AVHRR Images for Spatial Prediction of Clay Content in the Lower Namoi Valley of Eastern Australia", **Geoderma**, 97, pp. 237–254.
- Orfanus, T. and Mikulec, V., (2005), "Regionalization of Potential Water Storage Capacity of Agricultural Landscape – A Quantification of Soil Accumulation Function", **Geophysical Research Abstracts**, 7, pp. 1119.
- Powers, R.W., Ramirez, L.F., Redmond, C.D., Elberg, E.L., (1966), **Geology of the Arabian Peninsula: Sedimentary Geology of Saudi Arabia**, Geological Survey Professional Paper 560-D.
- Rhodes, J.D, Kandiah, A., Mashali, A.M., (1992), **The Use of Saline Waters for Crop Production**, FAO Irrigation Drainage Paper 48, Rome.
- Robinson, T.P., and Metternicht, G., (2006), "Testing the Performance of Spatial Interpolation Techniques for Mapping Soil Properties", **Computers and Electronics in Agriculture**, 50, pp. 97-108.
- Schaap, M.G., Nemes, A. and van Genuchten, M. Th., (2004), "Comparison of Models for Indirect Estimation of Water Retention and Available Water in Surface Soils", **Vodase Zone Journal**, 3, pp. 1455-1463.
- Schloeder, C.A., Zimmerman, N.E., Jacops, M.J., (2001), "Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 65, pp. 470-479.

- Selle, B., Morgen, R. and Huwe, B., (2006), "Regionalizing the Available Water, Capacity from Readily Available Data", **Geoderma**, 132, pp. 391-405.
- Simbahan G. C., Dobermann, A., Goovaerts, P., Ping, J., Haddix, M. L., (2006), "Fine-Resolution Mapping of Soil Organic Carbon Based on Multivariate Secondary Data", **Geoderma**, 132, pp. 471-489.
- Sinowski, W., Scheinost, A.C., Auerswald, K., (1997), "Regionalization of Soil Water Retention Curves in a Highly Variable Soilscape: II. Comparison of Regionalization Procedures Using a Pedotransfer Function", **Geoderma**, 78, pp. 147-159.
- Snepvangers, J. J. J. C., Heuvelink, G. B. M. and Huisman, J. A., (2003), "Soil Water Content Interpolation Using Spatio-Temporal Kriging with External Drift", **Geoderma**, 112, pp. 253-271.
- SOGREA, (1968), **Water and Agricultural Development Studies, Area V, Al Kharj Ministry of Finance Farm, Feasibility Report**, Ministry of Agriculture and Water, Riyadh.
- Triantafilis, J., Huckel, A.I., Odeh, I.O.A., (2001), "Comparison of Statistical Prediction Methods for Estimating Field-Scale Clay Content Using Different Combinations of Ancillary Variables", **Soil Sci.**, 166, pp. 415-427.
- Xu, S., Tao, S., (2004), "Coregionalization Analysis of Heavy Metals in the Surface Soil of Inner Mongolia", **The Science of the Total Environment**, 320, pp. 73-87.
- Voltz, M., Goulard, M., (1994), "Spatial Interpolation of Soil Moisture Retention Curves", **Geoderma**, 62, pp. 109-123.
- Voltz, M., Webster, R., (1990), "A Comparison of Kriging, Cubic Splines and Classification for Predicting Soil Properties from Sample Information", **Journal of Soil Science**, 41, pp. 473-490.
- Webster, R. and Oliver, M.A., (2000), **Geostatistics for Environmental Scientists**, Wiley, Chichester, 271 pp.
- Zhang, C., McGrath, D., (2004), "Geostatistical and GIS Analyses on Soil Organic Carbon Concentrations in Grassland of Southeastern Ireland from Two Different Periods", **Geoderma**, 119, pp. 261-275.
- Zhang, X.Y., Sui, Y., Zhang, X.D., Meng, K., Herbert, S.J., (2007), "Spatial Variability of Nutrient Properties in Black Soil of Northeast China", **Pedosphere**, 17, pp. 19-29.
- Zhao, Y.F., Shi, X.Z., Huang, B., Yu, D.S., Wang, H.J., Sun, W.X., Öboern, I., Blombäck, K., (2007), "Spatial Distribution of Heavy Metals in Agricultural Soils of an Industry-Based Peri-Urban Area in Wuxi, China", **Pedosphere**, 17, pp. 44-51.



أسعار الإعلانات
صفحة كاملة بمبلغ ١٠٠٠ ريال سعودي
نصف صفحة بمبلغ ٥٠٠ ريال سعودي
ربع صفحة ٢٥٠ ريال سعودي

آخر إصدارات سلسلة بحوث جغرافية

- ٦٠- معايير التنمية الاقتصادية في المملكة العربية السعودية : دراسة جغرافية مقارنة
٦١- دراسة تحليلية لصور الرادار الروسي (ألماز) المأخوذة لمدينة الرياض
٦٢- مساهمة الإناث السعوديات في قوة العمل
٦٣- الرياح السائدة المصاحبة للأمطار على منطقة أبها في المملكة العربية السعودية
٦٤- أثر الجفاف على توزيع الغطاء النباتي في حوض قرى العرضة (أحد روافد وادي الطوقي) منطقة الرياض
٦٥- فاعلية مؤشرات عدم الاستقرار الجوي الرياضية المعمول بها في وسط المملكة العربية السعودية
٦٦- البطالة في المملكة العربية السعودية : أبعادها المكانية وملاحظاتها الديموغرافية والاجتماعية
٦٧- آراء السياح في منطقة عسير تجاه استخدام الخرائط السياحية :
دراسة استطلاعية في محافظتي أبها والتمام
٦٨- استخدام المواقف المتعددة الأدوار في وسط مدينة الرياض
٦٩- النظرة الجغرافية في تخطيط المدينة الصحراوية
٧٠- أهم خصائص رحلتي العمل والتعليم لمسوبي جامعة الملك سعود بمدينة الرياض
٧١- استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج
٧٢- مستوى المحافظة على نظافة خزانات المياه المنزلية في مدينة الرياض وأثر خصائص السكان فيها
٧٣- تقدير الصيب اليومي الأقصى للسيول بمحوض وادي الكبير الرمال (التل الشرقي الجزائري) .
٧٤- التحليل الجغرافي المقارن للمخطط التوجيهي الأول لمدينة الرياض (مخطط دو كسيادس).
٧٥- التوافق المكاني بين الإستراتيجيات واتجاهات النمو العمراني في مدن القصيم
٧٦- جيمورفوجية ساحل العقير وإمكانية تنميته سياحياً بين رأس القرية شمالاً
وخشم أم حويص جنوباً (شرق السعودية)
٧٧- تقدير الاحتياجات المائية الشهرية للمحصول المرجعي في الأحساء
٧٨- المواقع الصناعية في مدينة الدمام بالمنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية
٧٩- التصنيفات العالمية للطرق البرية وتطبيقاتها في المملكة العربية السعودية
٨٠- درجة حرارة أيام للتدفئة والتبريد عند عتبات حرارية متباينة في المنطقة الشرقية
٨١- توظيف تكاملي لتقنيات الإستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية
٨٢- نموذج شبكة عصبية اصطناعية لتقدير المحتوى المائي عند السعة الحقلية
وعند نقطة الذبول الدائم في الترب الصحراوية.
٨٣- إمكانية تطبيق نظام النقل الترددي بالمحافلات على حجاج الداخل
٨٤- الخصائص الهيدرومورفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة
على أودية عليّة-الخرج
٨٥- التوطن المكاني للتركيب المحصولي في ظل محدودية الموارد المائية في المملكة
- د. فريال بنت محمد الهاجري.
أ.د. عبد الله بن الصادق علي
د. حورية بنت صالح الدوسري
أ.د. جهاد بن محمد قرية
د.عساف بن علي الحواس
د. فهد بن عبد الله الكلبي
أ.د. محمد بن مفرح القحطاني
د. محمد بن عوض العمري
د. عامر بن ناصر المطير
د. عبد الله بن سعد الخالدي
د. صالح بن عبد العزيز الفوزان
د. فرحان بن حسين الجعيد
د. نوره بنت عبد العزيز آل الشيخ
د. محمد بن فضيل بورويه
د. عبد الله بن سعد الخالدي
د. مساعد بن عبد الرحمن الخجيد
د. عاطف بن معتمد عبد الحميد
د. ناصر بن عبدالعزيز السعران
د. شريفة بنت معيض القحطاني
د. سعد بن ناصر الحسين
د. بدرية بنت محمد عمر حبيب
د. عساف بن علي الحواس
د. ناصر بن عبد العزيز السعران
د. عبد الله بن صالح الرقية
د. فرحان بن حسين الجعيد
أ.د. عبد المحسن بن راجح الشريف

Price Listing Per Copy :

Indivuals; 15 S.R.

Institutions; 20 S.R.

Handing & Mailing Charges are Added on the Above Listing

أسعار البيع :

سعر النسخة الواحدة للأعضاء : ١٥ ريالاً سعودية.

سعر النسخة الواحدة للمؤسسات : ٢٠ ريالاً سعودياً .

تضاف إلى هذه الأسعار أجرة البريد .

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 إلكتروني:
<p>ترسل على العنوان التالي:</p> <p>الجمعية الجغرافية السعودية</p> <p>ص ب ٢٤٥٦ الرياض ١١٤٥١</p> <p>المملكة العربية السعودية</p> <p>هاتف: +٩٦٦ ١ ٤٦٧٨٧٩٨ فاكس: +٩٦٦ ١ ٤٦٧٧٧٣٢</p> <p>بريد إلكتروني: sgs@ksu.edu.sa</p> <p>كما يمكنكم زيارة موقع الجمعية على الإنترنت على العنوان التالي:</p> <p>www.saudigs.org</p>

Evaluation of Spatial Interpolators for Mapping Available Soil Water Capacity in Kharj Area

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

Abstract:

Available soil water capacity (AWC) determines both irrigation depth and frequency, therefore, accurate mapping of its spatial distribution is essential for precision agriculture and sustainable management of soil and water resources in irrigated arid lands. Since direct measurement of AWC is often difficult, expensive and time-consuming, its mapping is usually based on spatially interpolated values. Since the quality of maps and digital models obtained by spatial interpolation is partly determined by the method used, the relative experimental performance of several univariate deterministic and geostatistical spatial interpolators were evaluated to delineate the most accurate and least bias interpolator for AWC in Kharj area. Evaluation of the relative experimental performance of the different interpolators was based on the cross-validation technique and the bias and accuracy were quantified by mean error and root mean squared error statistics, respectively.

Cross-validation results show that: (i) all interpolators except Thiessen polygon performed surface smoothing in the following order from highest to lowest: inverse distance, inverse squared distance, inverse cubed distance, simple kriging, ordinary kriging, universal kriging (*UK*) with a second order global polynomial detrending model; (ii) the geostatistical interpolators outperformed the deterministic interpolators in terms of bias and accuracy; (iii) kriging procedures have similar accuracy; (iv) *UK* is the least biased kriging estimator. Based on the level of surface smoothing, bias, and accuracy, *UK* provided the best estimates of AWC and, therefore, *UK*

was used to construct high resolution maps and digital models for *AWC* and its estimation variance in Kharj area. These maps and digital models should constitute a major building block of the geodatabase required for geographic information system based precision agriculture and sustainable management of soil and water resources in this vital agricultural area.

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

REFEREED PERIODICAL PUBLISHED BY SAUDI GEOGRAPHICAL SOCIETY

86

Evaluation of Spatial Interpolators for Mapping Available Soil Capacity in Kharj Area

Dr. Nasser A. Alsaaran

Saudi Geographical Society (S.G.S.)

● Editorial Board ●

Editor-in-Chief: Mohammed A. Al-Saleh (Ph.D.).
Editorial Board: Abdulla A. Al-Taher (Ph.D.).
Mohammed S. Al-Rebdi (Ph.D.).
Mohammed A. Meshkhes (Ph.D.).
Saad N. Alhussein (Ph.D.).

● Advisory Board ●

Nasser. A. Al-Saleh, Ph.D., Professor	Umm Al-Qura University.
Amal Yusof A. Al-Sabah, Ph.D., Professor	University of Kuwait.
Hassan A. Saleh, Ph.D., Professor	The University of Jordan.
Mohammed A. Al-Gabbani Ph.D., Professor	King Saud University.
Abdullah N. Al-Welaie, Ph.D., Professor	Imam Mohammed Bin Saud Islamic Univ.

● Correspondence Address ●

All Research Papers and Editorial Correspondence Should be sent to
The Editor-in-Chief, Dept. of Geography
College of Arts, King Saud University
P.O.Box 2456 Riyadh 11451
Kingdom of Saudi Arabia
Tel: 4678798 Fax: 4677732
E-Mail: sgs@ksu.edu.sa

All Views Expressed by Contributors to the RESEARCH PAPERS IN
GEOGRAPHY do not Necessarily Reflect the Position of the Editorial Board or
the Saudi Geographical Society



REFEREED PERIODICAL PUBLISHED BY SAUDI GEOGRAPHICAL SOCIETY

86



Evaluation of Spatial Interpolators for Mapping Available Soil Capacity in Kharj Area

Dr. Nasser A. Alsaaran