مجلة جامعة الملك سعود، م٨، العلوم الزراعية (١)، ص ص ٩٥ ـ ١٠٨ الرياض (١٤١٦هـ/ ١٩٩٦م)

التغيرات المكانية لبعض الخواص الطبيعية للتربة
١ ـ التلازم وشبه التباين المشترك

عبدرب الرسول موسى العمران، وجيه علي المصطفى، ومرسي مصطفى مرسي

قسم علوم التربة، كلية الزراعة، جامعة الملك سعود

(قُدم للنشر في ١٤١٤/١٢/٢٥هـ؛ وقبل للنشر في ١٤١٥/٨/٦هـ)

ملخص البحث. صممت هذه التجربة لدراسة الاختلافات المكانية لبعض الخواص الفيزيائية للترب الجيرية في محطة الأبحاث والتجارب الزراعية ـ جامعة الملك سعود ـ بديراب. وقد تم استخدام الطرق والنظريات الجيو إحصائية لتحليل هذه الاختلافات المكانية لكل من معدل التسرب المائي في التربة، قوام التربة، الكثافة الظاهرية والنسبة الكلية لكربونات الكالسيوم في قطاع طوله ٥٠٠م حيث أخذت العينات والقياسات على مسافة ٥م من كل عينة بمجموعة ١٠٠عينة.

لقد تم حساب كل من التلازم المشترك Autocorrelation وخاصيتي Cross-correlation وكذلك نتائج التحليل وشبه التباين المشترك Cross-Semivariance لجميع البيانات التي أخذت. ولقد أوضحت النتائج أن هناك ارتباطًا مكانيًا معنويًا لجميع الخواص المقاسة كذلك أظهرت النتائج أنه يمكن الاستفادة من الطرق الجيوإحصائية في تحديد معنوية الارتباط المكاني لهذه الخواص وتم تحديد مسافة الارتباط لجميع الخواص المقاسة حيث قدرت هذه المسافة لمعدل التسرب في التربة بـ٣٠م باستخدام التلازم المشترك و٥٠م باستخدام التباين المشترك في حين كانت المسافة للكثافة الظاهرية ٢٠م ولنسبة الرمل ٣٠م. توضح هذه النتائج كلها أن هناك اختلافات في خواص التربة على امتداد القاطع ذي الطول ٥٠٠م وأنه يجب الأخذ في الاعتبار تلك الاختلافات في الحصول على أفضل النتائج لإدارة الحقل حيث يجب ألا تزيد المسافة بين العينات والقياسات عن ٥٠م على امتداد الحقل في تلك المنطقة من المزرعة.

المقدمـــة

من أهـداف دراسـة الخـواص الـطبيعية والكيميائية للتربـة تحديد مواصفات هذه الترب وخـواصهـا حتى يمكن الاستفادة بها في إدارة الأراضي وخدمتها، وبالتالي الحصول على الانتاجية العالية منها. ولقد استخدمت الطرق الإحصائية التقليدية Classical statistics في

مجال علم التربة والمحاصيل لدراسة مدى استجابة الترب والمحاصيل للخواص الطبيعية والكيميائية، ولكن هذه الطرق الإحصائية لم تأخذ في الاعتبار التغيرات المكانية لخواص التربة حيث تختلف التربة في خواصها (القوام والبناء والخواص الطبيعية والكيميائية) نتيجة للتغيرات في مكونات التربة الأساسية مع التغير في المكان، ولقد استخدم كل من Biggar & Nielsen [١]، Warrick *et al.* [٢] و Sharma *et al.* [٣] الإحصاء التقليدي الذي يعتمد على التوزيع العشوائي للبيانات في كثير من دراسات التربة والمحاصيل حيث اعتمدت هذه التحليلات الإحصائية في تلك الدراسات على أن البيانات تكون غير مرتبطة مع بعضها البعض مهما كان موقعها من الحقل. وفي نهاية السبعينات بدأت الأبحاث والدراسات تأخذ في الاعتبار التغيرات المكانية وقد اصطلح على تسميتها بعلم الجيو إحصائي Geostatistics **حيث تم استخدامه في البداية في مناجم التعدين بجنوب أفريقيا، ولقد تم تطبيقه في مجال** الأراضي والمحاصيل في البداية على الخواص الطبيعية للترب [٤]. كذلك وجد أن تحديد التغيرات المكانية للخواص الطبيعية والكيميائية للتربة ودراستها مهمة جدًّا في تحديد الكفاءة العالية لعمليات الري والاستخدام الأمثل للأسمدة في المواقع المختلفة من الأراضي الزراعية وهذه التغيرات قد تزداد أيضًا نتيجة لعمليات الخدمة في الأراضي ونتيجة لأنواع **المحاصيل و العمليات الزراعية الأخرى**.

تعتمد الطرق الجيو إحصائية في تحليل البيانات على نظرية المجموعات الوقتية حيث تم استخدامها في علم الأرصاد الجوية والجيولوجية والتعدين وأخيرًا في مجال علم التربة **[٥-٩]**. **ولقد قام العديد من الباحثين لتحليل الخواص الطبيعية المختلفة للترب** بالطرق الجيو إحصائية. ومن الدراسات التي أجريت على نسبة الرمل بامتداد الحقل دراسة Campbell [١٠] حيث وجد أن كمية الرمل في تربة معينة لا تختلف في حدود مسافة تتراوح من ٣٠-٤٠م فقط، كذلك وجد Gajem *et al* [١١] أنه باستخدام ٩٠٠عينة في قاطع طوله ١٨٠م وأن نسبة الطين والرمل تكون مرتبطة مع العينات المجاورة لها أما Vauclin *et al* [١٢] فقد وجدوا في بحثهم عن التغيرات المكانية للخواص الطبيعية للترب، أن **وحدات التوزيع الحجمي لحبيبات التربة كانت مرتبطة ببعضها البعض في حدود ٤٠م وبعد** هذه المسافة فإن العينات تختلف عن بعضها البعض وفي دراسة عن معدل التسرب المائي **للتربة في مساحة قدرها ٨٠٠٠م٢ وجد أن معدل التسرب لا يختلف بين المناطق التي يتم فيها** القياس في مسافة لا تزيد على ٢٠م وبالتالي فإنه يلزم قياس معدل التسرب كل ٢٠م على

امتداد قاطع التربة [١٣] في حين وجد كثير من الباحثين في دراستهم للتغيرات المكانية لمعدلات التسرب في التربة في المناطق المختلفة أن مسافة معدلات التسرب المائي كانت مرتبطة مع بعضها البعض في حدود ٢٠-٥٠م. [١٤-١٨].

أهداف الدراسة

١ - معرفة التغيرات المكانية للصفات الطبيعية للتربة باستخدام الطرق الجيو إحصائية **حتى يمكن الاستفادة من هذه التغيرات في إدارة الحقل**.

٢ - تفسير هذه الاختلافات الموجودة في الحقل باستخدام الطرق الجيو إحصائية (التلازم والتباين المشترك).

التجربة والبيانات

لقد صممت التجربة في الجزء الشمالي الغربي من مزرعة ديراب وقدرت إجمالي المساحة بـ١٩ هكتارًا وهذا الجزء من المزرعة غير مزروع، وتنتشر فيه بعض النباتات **الطبيعية والحشائش المتفرقة**. **تم أخذ بيانات كل من معدل التسرب والقوام والكثافة** الظاهرية ونسبة كربونات الكالسيوم لتطبيق المعادلات الجيو إحصائية على هذه البيانات. **أخذت بيانات قاطع واحد يمتد من الجنوب إلى الشمال كل ٥م بطول ٥٠٠م**. **ويمتاز هذا** القاطع في الحقل بأن الجزء الجنوبي منه يسود فيه نسبة الحصى والرمل وتقل هذه النسبة كلما اتجهنا شمالاً.

تم قياس معدل التسرب لمائة موقع على امتداد الحقل وذلك باستخدام الأسطوانة المزدوجة كما وردت في دراسات [١٩، ٢٠] والتي تتكون من أسطوانتين إحداهما داخلية والأخرى خارجية أقطارها ٢٣، ٧٥سم على التوالي بالإضافة إلى خزان ماء مرتبط **بالأسطوانة الداخلية**. **ولقد تم إدخال الأسطوانتين إلى عمق ٥سم داخل التربة بدقة**. تم تقدير معدل التسرب للتربة حيث سجل الزمن اللازم لتسرب عمق ١سم من الماء وتم تكرار **ذلك حتى الوصول إلى قيمة ثابتة لمعدل التسرب**. **وتم كذلك تقدير الكثافة الظاهرية** للمواقع السابقة نفسها باستخدام أسطوانة التربة لعمق (صفر- ١٥سم). ومن ثم أخذت **عينات سطحية (صفر- ١٥سم) من جميع المواقع لتحديد القوام ونسبة كربونات الكالسيوم** بالطرق التقليدية [٢٠] حيث تم تقدير القوام بطريقة الهيدروميتر ولتقدير كربونات

الكالسيوم استخدم جهاز الكالسيمتر Calcimeter وقد أجرى التحليل لهذه القياسات على الحبيبات التي تقل أقطارها عن ٢مم.

النظريـــات

١ ـ التـــلازم Autocorrelation

يمكن وصف نقطتين متجاورتين في معادلة نصف التباين المشترك كما جاء في [٥، ٨، ٢١، ٢٢] بالتالي:

$$C(h) = 1/(n-h)\sum_{i=1}^{n-h}[Z(x_i)-m][Z(x_i+h)-m] \qquad (1)$$

حيث:

C(h) = التباين المشترك

$Z(x_i)$ = قيمة إحدى الخواص (معدل التسرب المائي) عند النقطة (x_i)

$Z(x_i + h)$ = قيمة الخاصية نفسها (معدل التسرب المائي) عند النقطة $(x_i + h)$

h = المسافة بين نقطتين

n = عدد أزواج البيانات «المشاهدات»

m = متوسط جميع أعداد «المشاهدات»

من هذه البيانات يمكن حساب التباين C(o) [٥]، وحاصل قسمة التباين المشترك والتباين C(h)/ C(o) يسمى التلازم المشترك وهذه القيمة تقع بين -١، +١ ولتطبيق هذه **المعادلة لابد من الافتراض أن التباين والمتوسط الحسابي للبيانات المأخوذة (معدل التسرب** على امتداد الحقل) ثابتة.

ورسم العلاقة بين التلازم المشترك والمسافة تسمى Autocorrelogram وهذه القيم تحدد مدى العلاقة بين البيانات المقاسة على امتداد قاطع التربة.

٢ ـ التلازم المشترك لخاصيتين Cross - Correlation

يتم تحليل البيانـات لخاصيتين متوافقتين على امتداد القاطع مثل (معدل التسرب والكثافة الظاهرية للترب) ويُستفاد من العلاقة في معرفة قيم إحدى الخواص نتيجة لقياس خاصية أخرى مرتبطة معها. ويتم حساب ذلك بالمعادلة التالية:

$$r_{uv}(h) = Co(var)[u(x),\ v(x+h)] / \sqrt{var\ u(x)\ \ var\ v(x+h)} \qquad (2)$$

حيـــث :

$r_{uv}(h)$ = معامل التلازم المشترك لخاصيتين [الكثافة الظاهرية (u) ومعدل التسرب (v)]

v,u = قيمة الكثافة الظاهرية عند النقطة x وقيمة معدل التسرب عند النقطة h

٣ ـ شبـــه التبايـــن Semivariance

تختلف هذه العـلاقـة عن سابقتها حيث تأخذ في الاعتبار الاختلاف بين نقطتين متجاورتين بالإضافة إلى التباين بينهما ويعبر عن علاقة شبه التباين بالمعادلة التالية :

$$\Pi(h) = 1/2n(h)\sum_{i=1}^{n(h)}[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \qquad (3)$$

حيث :

$\prod(h)$ = شبه التباين

n = عد أزواج البيانات «المشاهدات»

وتسمى العلاقة بين شبه التباين والمسافة بالتباين Semivarigram ويشترط في حساب قيم شبه التباين اعتبار المتوسط الحسابي للعينات المقاسة ثابتًا. ولقد تم تطبيق معادلات مختلفة لوصف هذه العلاقة كما جاء في [٧، ٢٣] ومن أكثر النماذج المستخدمة في مجال علوم التربة النموذج الكروي Spherical model حيث يوصف بالآتي :

$$\Pi(h) = Co + C_1[1.5/a) - 0.5Ch/a)^3] \qquad (4)$$

حيـــث :

Co = ثابت التوزيع العشوائي Nugget effect

C_1 = ثابت التغيرات المكانية Sill

a = المدى الذي تتحقق فيه العلاقة Range

٤ ـ شبه التباين المشترك Cross - Semivariance

تتشابه هذه العلاقة مع العلاقة السابقة إلا أنه يؤخذ في الاعتبار خاصيتان في آن واحد على امتداد الحقل مثل معدل التسرب والكثافة الظاهرية . وتوصف هذه العلاقة بالتالي :

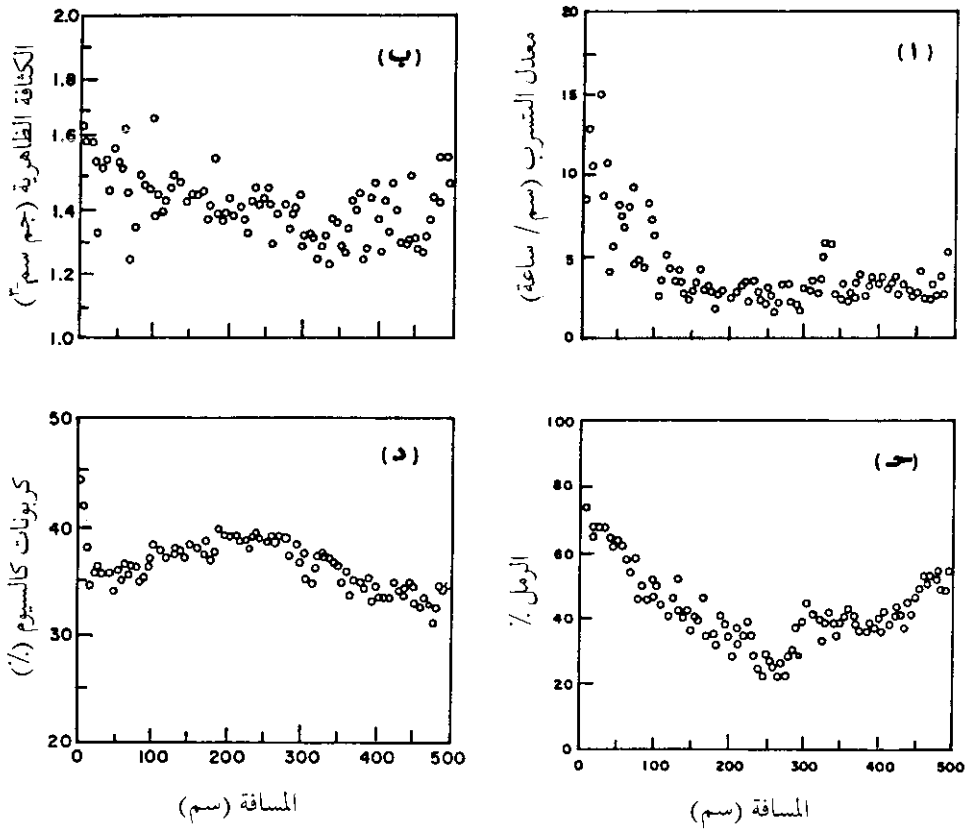
$$\Pi_c(h) = 1/2n(h)\sum_{i=1}^{n(h)}[Z(x_i) - Z(x_i + h)][H(x_i) - H(x_i + h)] \qquad (5)$$

حيث :

$H(x_i), Z(x_i)$ = قيم خاصيتين في التربة [معدل التسرب المائي (Z) ، والكثافة الظاهرية (H)]

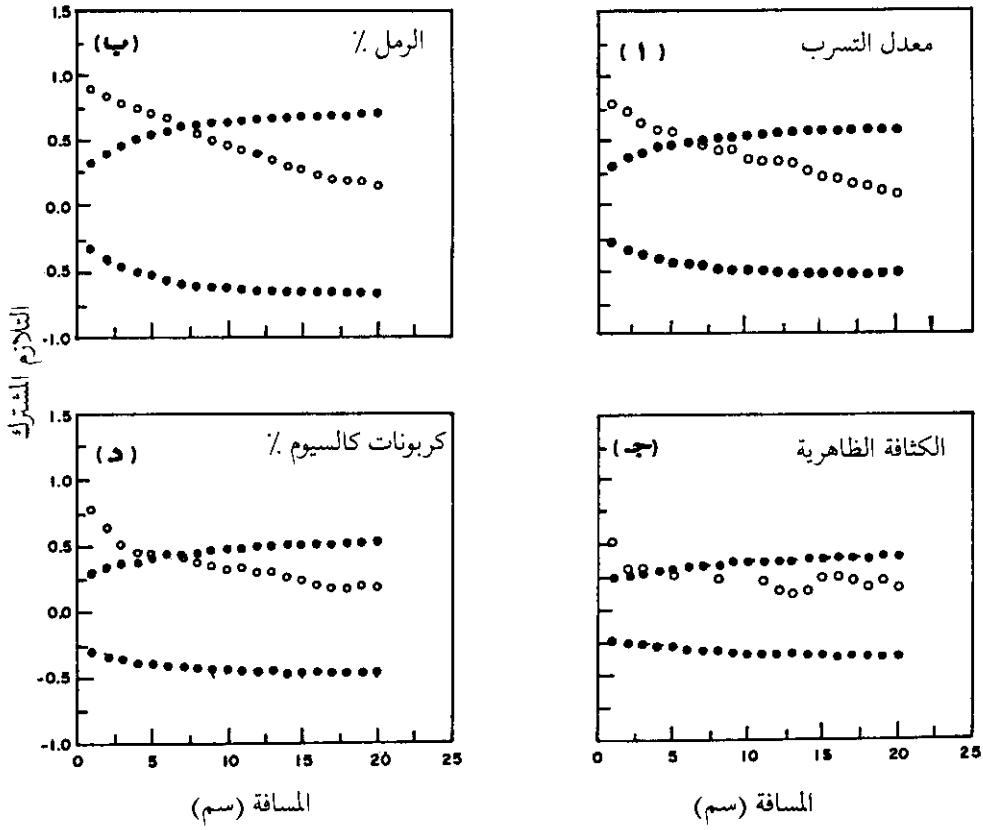
النتائـــج والمناقشـــة

يمثل الشكل رقم ١ أ ـ د التوزيع المكاني للخواص المقاسة في الدراسة على امتداد القاطع وهو معدل التسرب للتربة، الكثافة الظاهرية، نسبة الرمل ونسبة كربونات الكالسيوم على التوالي . يتضح من الأشكال أن معدل التسرب عالٍ (٤ ـ ١٥سم/ ساعة) في المنطقة الجنوبية من الحقل (صفر ـ ١٥٠م) ثم تخفض بعد ذلك حتى تتراوح بين ٢ ـ ٦سم/ الساعة حتى نهاية القاطع وبالتالي يمكن ملاحظة هذه التغيرات في قيم معدلات التسرب على امتداد القاطع . أما الكثافة الظاهرية في الشكل رقم ١ ـ ب فهي متغيرة بطول قاطع التربة وتظهر أعلى قيمة لها في الجزء الجنوبي من الحقل ثم تنخفض في منتصف القاطع وتزداد مرة أخرى في نهاية القاطع على بعد ٥٠٠م . ويتناسب التغير في الكثافة الظاهرية مع التغير في نسبة الرمل الموجودة في العينات كما هو ملاحظ في الشكل رقم ١ ـ جـ وتظهر القيمة المرتفعة لنسبة الرمل في الجهة الجنوبية من قاطع التربة وتنخفض في منتصف القاطع (٢٠٠ ـ ٣٠٠م) وبعدها ترتفع تدريجيًا حتى تصل إلى حوالي ٥٥٪ . يوضح الشكل رقم ١ ـ د التغيرات المكانية لنسب كربونات الكالسيوم في الحقل حيث أظهرت النتائج أن هذه التغيرات تكون منخفضة مقارنة بالخواص الأخرى إلا أن النتائج أظهرت بوضوح ارتفاع هذه القيم في منتصف القاطع . يوضح الشكل رقم ٢ أ ـ د نتائج قيمة التلازم المشترك حيث توضح الدوائر المفتوحة القيم المحسوبة حسب المعادلة رقم (٣) والدوائر المغلقة تمثل اختبار المعنوية لهذه النتائج عند ٩٥٪ . توضح النتائج أن القيم المحسوبة التي تقع خارج المنطقة المحصورة في



شكل رقم ١ . الاختلافات المكانية المقاسة لمعدل التسرب (أ) والكثافة الظاهرية (ب) ونسبة الرمل (جـ) ونسبة كربونات الكالسيوم (د) .

٩٥٪ فهي تعطي دلالة واضحة على معنوية هذه القيم المحسوبه وبالتالي يمكن الحصول على مسافة التلازم المشترك وهي المسافة التي تقع ضمنها اختلافات بين البيانات المأخوذة في حين يمثل شكل رقم ٢ ـ أ التلازم المشترك لمعدل التسرب حيث يلاحظ من الشكل أن قيمة التلازم المشترك تصبح معنوية عند مسافة (٦ـ٣٠م) ويعطي ذلك دلالة على أن قيم معدلات التسرب في حدود مسافة قدرها ٣٠م من القاطع مرتبطة مع بعضها البعض وبالتالي فإن المسافة بين قياسات معدل التسرب يجب ألا تتجاوز ٣٠م وهذا يتمشى مع ما ذكره Vieira *et al* [١٣] حيث وجدوا أن هذه المسافة تتراوح بين ٣٠ـ٥٠م في ترب مختلفة .



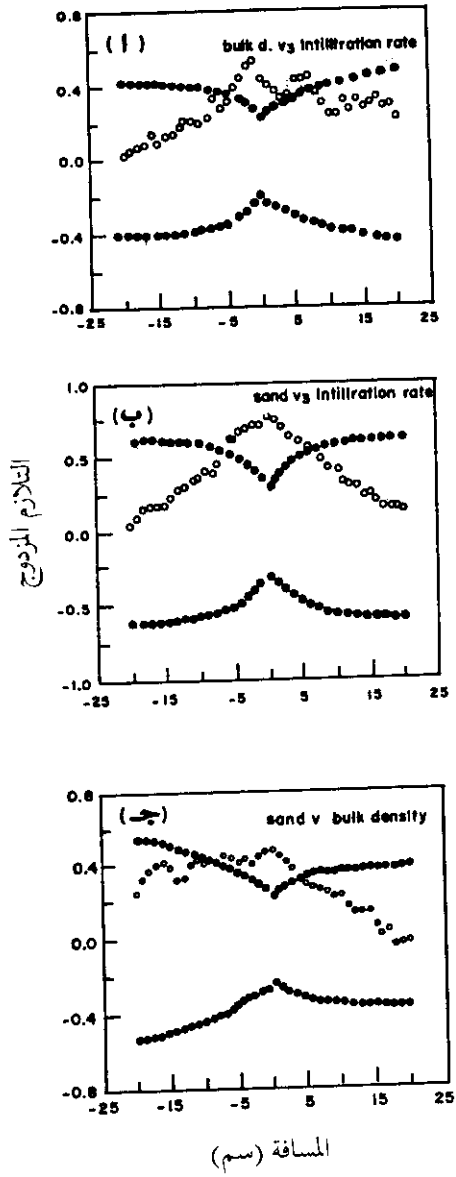
شكل رقم ٢ . قيم التلازم المشترك Autocorrelation المحسوبة لكل من معدل التسرب (أ)، نسبة الرمل (ب)، الكثافة الظاهرية (جـ) وكربونات الكالسيوم (د) . الدوائر المفتوحة تمثل هذه القيم والدوائر المغلقة حدود الثقة عند ٩٥٪ لهذه القيم .

يوضح الشكل رقم ٢ ـ ب قيم التلازم المشترك لنسبة الرمل في قاطع التربة حيث يتضح من الشكل أن طول التلازم المشترك حوالي ٧وحدات وهي تعادل ٣٥م وهذا يعني أن قيم نسبة الرمل في قاطع التربة مرتبطة ببعضها البعض حيث يمكن تمثيلها بعينات على امتداد ٣٥م وأنه يجب مراعاة أخذ العينات على مسافة لا تزيد على ٣٥م حتى لا يكون هناك اختلافات في وصف خصائص التربة ومعرفتها على امتداد قاطع التربة ؛ وقد وجد Campbell [١٠] أن كمية الرمل في التربة لا تختلف عن بعضها البعض في مدى يتراوح بين ٣٠ـ٤٠م وأن هناك اختلافات في نسبة الرمل كل ٤٠م على امتداد قاطع التربة .

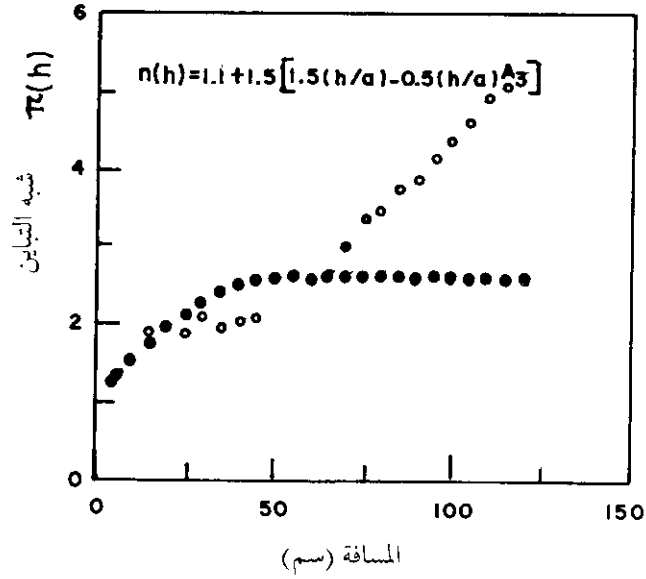
يمثل الشكل رقم ٢ ـ جـ قيم التلازم المشترك للكثافة الظاهرية حيث يتضح من الشكل أن قيمة التلازم المشترك لا تتجاوز ٢٠م ويرجع قصر هذه المسافة إلى نتيجة التغيرات الكبيرة بين العينات في الكثافة الظاهرية على امتداد القاطع والتي تظهر بوضوح في الشكل رقم ١ ـ ب. ومع ذلك فإنه يمكن تحديد المسافة بين العينات التي يجب أن تؤخذ على امتداد قاطع التربة. أما الشكل رقم ٢ ـ د فيوضح قيم التلازم المشترك لكربونات الكالسيوم في التربة. ويبين الشكل أن طول مسافة التلازم حوالي ٢٥م وهي قريبة جدًّا للكثافة الظاهرية؛ ويمكن أن نلخص أهمية حساب علاقة التلازم المشترك في تحديد المسافات بين العينات التي يجب أن تقاس على امتداد القاطع حتى يتسنى لنا وضع رؤية أفضل لإدارة الحقل ومعرفة مناطق الاختلافات في خواص التربة المختلفة.

يوضح الشكل رقم ٣ ـ أ ـ جـ قيم التلازم المشترك المزدوج Cross correlation لخاصيتين مختلفتين على امتداد القاطع. فالشكل رقم ٣ـ أ يبين العلاقة بين معدل التسرب والكثافة الظاهرية حيث يتضح من الشكل أن العلاقة موجبة حيث يزداد معدل التسرب بزيادة الكثافة الظاهرية على امتداد القاطع. كما أن الشكل يبين طول مسافة قيمة التلازم المشترك لمعدل التسرب بـ٣٠م في حين أن طول هذه المسافة للكثافة الظاهرية ٢٠م عند ٩٥٪ من حدود الثقة. وقد أوضح Greminger *et al* [٢٤]، Samra & Singh [٢٥] أهمية هذه العلاقة بين قيم المحتوى الرطوبي ونسبة الرمل في قاطع التربة حيث وجدوا الاختلافات تقع على بعد ١٠م.

يوضح الشكل رقم ٣ ـ ب، جـ) العلاقة بين نسبة الرمل ومعدل التسرب ونسبة الرمل والكثافة الظاهرية ويظهر من الأشكال السابقة أن قيم التلازم المشترك لهذه الخواص موجبة ومرتبطة مع بعضها البعض وترجع أهمية حساب قيم التلازم المشترك المزدوج لخاصيتين كما بينت في دراسة Nielsen *et al* [٢٦] في تقدير المسافة بين العينات وعددها. كذلك تقدير عدد البيانات لإحدى الخواص (معدل التسرب) من معرفة المسافة بين العينات لخاصية أخرى (الكثافة الظاهرية) وعادة يستفاد من ذلك في تقدير عدد العينات المطلوبة لخاصية تتطلب الجهد والمال من خاصية أخرى لا تتطلب كثيرًا من الجهد في تقديرها؛ ومثالاً على ذلك تقدير عدد العينات لمعدل التسرب بالاستفادة من عينات الكثافة الظاهرية.



شكل رقم ٣. قيم التلازم المزدوج Cross correlation المحسوبة لكل من الكثافة الظاهرية ومعدل التسرب (أ)، ونسبة الرمل ومعدل التسرب (ب)، والكثافة الظاهرية ونسبة الرمل (جـ). الدوائر المفتوحة تمثل هذه القيم والدوائر المغلقة حدود الثقة عند ٩٥٪ لهذه القيم.



شكل رقم ٤ . علاقة شبه التباين ومسافة معدلات التسرب (الدوائر المفتوحة) وعلاقة شبه التباين ومسافة معدلات التسرب المحسوبة باستخدام المعادلة الموضحة على الشكل (الدوائر المغلقة).

التبايـــن المشتـــرك

يوضح الشكل رقم ٤ قيم التباين المشترك المحسوبة (الدوائر المفتوحة) من معادلة رقم (٣) وقيم التباين المشترك التي تصف هذه القيم (الدوائر المغلقة) حيث تم استخدام المعادلة رقم (٤) في حساب تلك القيم ـ كما ذكرنا في نظرية شبه التباين المشترك حيث تستخدم الاختلافات بين البيانات في حساب تلك القيم ويتضح من الشكل أنه يمكن وصف هذه الاختلافات بالنموذج أو المعادلة المرفقة بالشكل والتي تعطي مقداره مسافة طولها ٥٠م ويدل ذلك على أن العينات في قطاع التربة يجب أن تؤخذ على مسافة لا تزيد على ٥٠م حتى يمكن حصر الاختلافات بين معدلات التسرب وقد أوضح Vieira *et at* [١٣] عند استخدامهم لمعادلات التباين المشترك على بيانات معدلات التسرب في حقل جامعة كاليفورنيا أن مدى الارتباط يقارب ٥٠م وبالتالي فإن المسافة بين العينات يجب ألا تزيد على ٥٠م.

ويمكن أن نستخلص من هذه البيانات والمعادلات المستخدمة أنه يمكن الاستفادة من الـطرق الجيو إحصائية في تحديد العينات المطلوبة والمسافات بينها في تقويم الأراضي

وبالتالي الوصول إلى إدارة أفضل للحقول الزراعية. ويمكن التأكد من ذلك بالنظر إلى بعض المزارع التي تستخدم الري المحوري حيث يلاحظ وجود تغيرات في معدلات المحصول من منطقة إلى أخرى في الحقل نفسه؛ وقد يكون ذلك مرتبط بخصائص التربة على امتداد الحقل حيث تزداد نسبة الطين في منطقة ويقل معدل التسرب وبالتالي يزداد التملح في حين لا يظهر ذلك في منطقة مجاورة لها بالحقل نفسه. وبذلك يمكن القول إنه يمكن الاستفادة من هذه النظريات في معرفة خصائص هذه الأراضي وتحديد المواقع ذات الخواص المتباينة في الحقل حتى يتسنى إدارتها بصورة أفضل وبالتالي زيادة الإنتاجية والحفاظ على التربة من التدهور المستمر.

المراجـــع

[١] Biggar, J.W. and Nielsen, D.R. "Spatial Variability of the Leaching Characteristics of Field Soil." *Water Resour. Res.* 12, No.1, (1976), 78-84.

[٢] Warrick, A.W.; Mullen, G.J.; and Nielsen, D.R. "Prediction of Soil Water Flux Based upon Field Measured Soil Water Properties." *Soil Sci. Soc. Am. J,* 41, No.1, (1977), 14-19.

[٣] Sharma, M.L.; Gander, G.A.; and Hunt, C.G. "Spatial Variability of Infiltration in a Watershed." *J. Hydro.*, 45, (1980), 101-122.

[٤] Nielsen, D.R.; Biggar, J.W.; and Erh, K.T. "Spatial Variability of Field Measured Soil Water Properties." *Hilgardia,* 42 No. 7 (1973), 215-260.

[٥] Davis, J.C. *Statistics and Data Analysis in Geology.* New York: John Wiley & Sons, Inc., 1973.

[٦] Journel, A.G. and Huijbergts, C.J. *Mining Geostatistics.* London: Academic Press, 1978.

[٧] Webster, R. "Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field." *Advance Soil Science,* 3, (1985), 1-70.

[٨] Ahuja, L. R. and Nielsen, D.R. "Field Soil Water Relations. In: *Irrigation of Agricultural Crops.* Madison, WI: Agronomy Monograph, ASA, 30, Madison WI, 1990.

[٩] Warrick, A.W. and Neilsen, D.R. Spatial Variability of Soil Physical Properties in the Field. In: D. Hillel (Ed.) *Application of Soil Physics.* N.Y.: Academic Press, 1980.

[١٠] Campbell, J.B. "Spatial Variation of Sand Content and pH within Single Continuous Delineation of Two Soil Maping Units." *Soil Sci. Soc. Am.* J., 42, No. 2 (1978), 460-464.

[١١] Gajem, Y.M.; Warrick, A.W.; and Meyers. D.E. "Spatial Dependence of Physical Properties of Typic Torrifluvent Soil." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, No.4 (1981), 709-715.

Vauclin, M; Vieira; S.R.; Vachaud, G.; and Nielsen. D.R. "The Use of Cokriging with Limited Field Soil Observations." *Soil sci. Soc. Am. J.* 47, No.2 (1983), 175-184. [١٢]

Vieira, S.R.; Nielsen, D.R.; and Biggar. J.W. "Spatial Variability of Field-Measured Infiltration Rate." *Soil Sci. Soc. Am. J.*45, No.6 (1981), 1040-1048. [١٣]

Sharma, M.L; Barron, R.J.W.; and De Boer, E.S. Spatial Structure and Variability of Infiltration Parameters. In: *Advances in Infiltration Proc. Nat. Conf. Advances in Infiltration.* Chicago: ASAE Pub., 1983. [١٤]

Sisson, J.B. and Wierenga. P.J. "Spatial Variability of Steady State Infiltration Rates as Stochastic Process." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, No.3. (1981), 699-704. [١٥]

Anderson, S.H. and Cassel. D.K. "Statistical and Autoregressive Analysis of Soil Physical Properties of Portsmouth Sand Loam." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, No.6. (1986), 1096-1104. [١٦]

Ben-Hur M.; Shainberg, I; and Morin. J. "Variabiltiy of Infiltration in a Field with Surface-Sealed Soil." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, No.6. (1987), 1299-1302. [١٧]

Trangmar, B.B.; Yost, R.S.; and Uehara. G. "Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties." *Advances in Agron.*, 38, (1985), 45-94. [١٨]

Elbassir, O. "Spatial Variability of Soil Properties of some Calcareous Soils." *M.Sc. Thesis, King Saud University,* Riyadh, Saudi Arabia., (1989). [١٩]

Black, C.A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part* 2. Agronomy No.9, Madison, Wis: ASA.1965. [٢٠]

Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. *An Introduction to Applied Geostatistics.* New York: Oxford University Press, 1989. [٢١]

Maller, R.A. and Sharma, M.L. "An Analysis of Areal Infiltration Considering Spatial Variability. *J. Hydro,* 52, (1981), 25-37. [٢٢]

Warrick, A.; Meyers, D.E.; and Nielsen, D.R. Geostatistical Methods to soil Science. In: A. Klute (Ed). *Methods of Soil Analysis* Part I, 2nd (ed). Agronomy No. 9, (1986), 53-82. [٢٣]

Greminger, P.J.; Sud, Y.K.; and Nielsen, D.R. "Spatial Variability of Field Measured Soil Water Characteristics." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, No. 5, (1985), 1075-1082. [٢٤]

Samra, J.S. and Singh, V.P. "Spatial Dependence of Soil Reclamation". *Soil Technology,* 3 (1990), 153-165. [٢٥]

Nielsen, D.R.; Tilloston, P.M.; and Vieira, S.R. "Analyzing Field-Measured Soil-Water Properties." *Agric. Water Management* 6, (1983), 93-109. [٢٦]

Spatial Variability of Some Soil Physical Properties I. Autocorrelation, Variogram, Cross-Correlation and Cross-Variogram

A.M. Al-Omran, W.A. Al-Mustafa and M.M. Mursi
Soil Science Department, College of Agriculture, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

(Received 25/12/1414; accepted for publication 6/8/1415)

Abstract. A field experiment was designed to investigate the spatial variability of some soil physical properties of calcareous soils at the Agricultural Research and Experimental Station, King Saud University at Deirab. Geostatistical techniques were introduced to estimate the spatial variability. One transect was sampled from south to north every 5m for 500m long. Measurements were made for infiltration rate, bulk density, texture and $CaCO_3$%.

Autocorrelation, cross-correlation, variogram, and cross-variogram were calculated for the data. The results indicated that there was significant spatial correlation for all parameters measured and analyzed, and the geostatistical techniques were useful to estimate the correlation length for those parameters. For the infiltration rate the correlation length was 30m, while the range for the infiltration rate using variogram was 50m. The same calculation was done for bulk density, sand % and $CaCO_3$%. The results suggested that for future research in that field one should consider the spatial differences along the field for different properties of the soils, and distance between each observation should not exceed 50m along the transect.