

## استنتاج نموذج رقمي لتقدير القيم المفقودة للهطولات المطرية في منطقة الرياض

صالح بن عبدالله الحسون، حسن محمد بيلاني  
قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الملك سعود  
ص.ب. ٨٠٠، الرياض ١١٤٢١، المملكة العربية السعودية  
البريد الإلكتروني [shassoun@ksu.edu.sa](mailto:shassoun@ksu.edu.sa)

(قدم للنشر في ١/٥/٢٠١١، وقبل للنشر في ١٢/١٠/٢٠١١)

الكلمات الافتتاحية: قيم الهطولات المطرية، المفقودة، تقدير كمية الأمطار، النموذج الارتفاعي الرقمي. ملخص البحث. تعتبر دراسة دقة النماذج الرقمية من الدراسات الإحصائية المهمة في نمذجة الظواهر المنتشرة جغرافياً، حيث يمكننا، اعتماداً على تلك المعلومة، معرفة جودة النموذج الرقمي في تمثيل هذه الظاهرة أو تلك. كما أن هناك خصوصية في دراسة نموذج توزع الهطولات المطرية، وهي أن العينة التي يبنى عليها النموذج محدودة العدد والتوزيع، والمقصود بذلك محطات القياس، بينما في النماذج التضاريسية الرقمية يمكن التحكم بكثافة نقاط العينة وتوزعها من خلال العمليات المساحية.

في هذا البحث تم استنتاج نماذج رقمية مثل، تؤدي إلى أدق تمثيل ممكن لظاهرة انتشار مقدار الهطولات المطرية وتقدير القيم المفقودة منها في منطقة الرياض لما لطبيعة المنطقة من خصوصية تضاريسية. فمن المعلوم إمكانية تعطل أجهزة قياس الهطول المطري، وكذلك صعوبة أو استحالة وضع محطات قياس للهطول المطري في أجزاء عديدة في المملكة، وبالتالي تأتي أهمية النماذج الرقمية في تقدير القيم المفقودة للهطولات المطرية، أو القيم في مناطق لا تحوي محطات قياس أصلاً. إلا أن دقة هذا التقدير تعتمد على دقة النموذج الرقمي في التمثيل الفعلي لظاهرة الهطول المطري، وهذا ما يتطلب إجراء دراسة تحليلية إحصائية للبحث عن النموذج الأمثل الذي يؤمن الحدود المسموحة في تقدير قيم الهطول المطري.

من خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى الطرق المناسبة لتشكيل النماذج الرقمية (DEM (Digital Elevation Models، التي تصلح لتقدير القيم المفقودة للهطول المطري في بعض محطات منطقة الرياض، بنسبة خطأ لا تتجاوز ١٠٪، وهي القيمة المسموح بها في المراجع المختصة. أما المحطات الأخرى فيمكن تقدير القيم المفقودة بها بواسطة نماذج رقمية أخرى مع ضرورة إضافة قيمة تصحيحية خاصة بكل محطة.

## (١) مقدمة

عن الخريطة المستوية التي تستخدم مفهوم منحنيات التسوية (خطوط الكونتور) للتعبير عن البعد الثالث، وهذا ما أهله ليكون مورداً مهماً للمعلومات في كثير من التطبيقات التي تعتمد على التضاريس الطبيعية لسطح الأرض.

وفي معظم هذه التطبيقات تستخدم غالباً النماذج التضاريسية الرقمية ذات البنية الشبكية المنتظمة DEM، ويعود السبب إلى الشكل المنتظم للشبكة المؤلفة من مجموعة مربعات حيث يكتفى بتخزين الإحداثيات المستوية لإحدى زوايا الشبكة، واتجاه أحد أضلاع الشبكة، وطول ضلع مربع من الشبكة، وهذا ما يسمح بحساب الإحداثيات المستوية لأي نقطة من نقاط الشبكة بعمليات حسابية بسيطة. وقد استخدم الباحثان (Wisuwat T. N. Sriwongsitanon, 2009) النموذج DEM بالتزامن مع نماذج رقمية أخرى تعتمد على التوزيع المساحي للأمطار؛ وذلك لتحليل بيانات الأمطار في حوض نهر (بينج) بشمال تايلند، وتقدير كميات السيول والجريان السطحي.

أما الارتفاعات في البنية الشبكية المنتظمة فيتم تخزينها بمتجه تعطي مركباته ارتفاعات ذروات مربعات الشبكة المختلفة، وهذا يتطلب حجم تخزين أقل من شبكة البنية (TIN)، وبالتالي فإن عمليات البحث والتداول لبياناتها تكون أسهل وأسرع. كما أن الشكل المنتظم للبنية الشبكية يتيح البحث والمعالجة بشكل سريع في كل ما يتعلق بنمذجة التضاريس أو السطوح بشكل عام، وبذا يمكن استخدامها في مجالات مختلفة. إن بناء نماذج رقمية اعتماداً على عينة مقيسة لمنطقة ما، يمكن أن يتم بطرق رياضية عديدة (Childs, 2001)

تعتبر النماذج التضاريسية الرقمية من الأساليب الحديثة والمهمة في تمثيل سطح الأرض الطبيعية، كونها تتميز بسرعة وسهولة استثمارها في مجالات متعددة، مثل نظام المعلومات الجغرافي GIS وتطبيقات الهندسة المدنية. وازداد استخدامها

كمنتجات رقمية متممة للخرائط الرقمية، حيث تتيح هذه النماذج سهولة حل وتحليل معظم المسائل الهندسية المعتمدة على تمثيل السطوح (الظواهر المنتشرة مساحياً) ومنها مسألة توزيع الهطول المطري، والتي كانت تعالج بطرق تقليدية مثل طريقة النسبة الاعتيادية (Normal ratio) وطريقة الانحدار (Regression), (Campbell, 1998).

يعرف النموذج التضاريسي الرقمي DTM (Digital Terrain Model) بأنه تمثيل عددي لكل نقطة من سطح الأرض بالإحداثيات المستوية (x,y) وبقيمتها الارتفاعية (h)، مخزنة وفق هيكلية رياضية ذات بنية معلومة. وبحسب علاقات الربط بين عناصر المعطيات يمكن التمييز بين عدة بنى للنماذج التضاريسية الرقمية، منها البنية الشبكية المنتظمة المعروفة بالنموذج الارتفاعي الرقمي DEM (Digital Elevation Model)، وبنية شبكة التثليث غير المنتظمة (Triangulated Irregular Network) TIN، وهما البنيتان الأكثر تطبيقاً.

إن الميزة الرئيسة للنمذجة التضاريسية الرقمية هي المرونة والتكيف مع المسائل المطروحة والمراد حلها باستخدام هذه النمذجة، وبالتالي يتصف النموذج التضاريسي الرقمي بالديناميكية كونه يعبر عددياً عن طبيعة أي سطح بالفراغ ثلاثي الأبعاد، بشكل يختلف

- (DEM) Digital Elevation Model - النموذج المنسوبي الرقمي.
- (DHM) Digital Height Model - النموذج الارتفاعي الرقمي.
- (DGM) Digital Ground Model - النموذج الأرضي الرقمي.
- (DSM) Digital Surface Model - النموذج السطحي الرقمي.

وتتشكل هذه النماذج من بنى رقمية أساسية ممثلة للمستويات. وأهم البنى الرقمية الأكثر انتشاراً وتطبيقاً: (١، ١، ٢) البنية الشبكية المثلثية غير المنتظمة - Triangulated Irregular Network (TIN)

تتألف بنية شبكة التثليث غير المنتظمة من عناصر موشورية متلاصقة، حيث إن قواعد هذه المواشير عبارة عن مثلثات مستوية، وأطرافها (ارتفاعات المواشير) تمثل قيم الظاهرة المدروسة في العينة المأخوذة. وعند اللجوء إلى هذه البنية تكون معطيات النماذج الارتفاعية العددية هي المواقع المستوية (x,y) والارتفاعية (z) لنقاط العينة. يتم تعيين النموذج وفق هذه البنية بتعيين إحداثيات النقاط المميزة لسطح الأرض (في هذه الدراسة فإن النقاط محددة مسبقاً وهي محطات قياس الهطول المطري)، ويتم وصل هذه النقاط العشوائية بشبكة من المثلثات غير المتقاطعة يتم تشكيلها وفق قاعدة دولونوي (SURFER 10,2011) والتي تنص على عدم وضع نقطة ضمن الدائرة المارة برؤوس أي مثلث، وتكون المثلثات متساوية الأضلاع قدر الإمكان، وتكون دقة القيم الارتفاعية المحسوبة بالتوسط من هذه النقاط أكبر كما هو مبين بالشكل رقم (١-أ).

تؤدي في الحالة العامة إلى نماذج مختلفة من حيث الدقة. إلا أن المعايير الواضحة لدقة هذه الطرق غير موجودة في المراجع العلمية المختصة. ومع ذلك فقد استخدم تلك النماذج الرقمية كثيراً من الباحثين، انظر على سبيل المثال (Jung-Woo K., Y. A. Pachepsky, 2010)، وكذلك (Alan Mair and Ali Fares, 2011)، لتحليل بيانات الأمطار في مناطق مختلفة وللحصول على قيم الهطولات المطرية المفقودة في تلك البيانات.

في هذه الورقة تم استنتاج نموذج رقمي يعطي أفضل تمثيل ممكن لسطح ظاهرة الهطول المطري، وبالتالي يمكن استخدامه في تقدير قيم الهطولات المطرية المفقودة في محطات قياس الأمطار التي يحدث في سجلاتها فقدان بعض قيم الهطولات المطرية.

## (٢) مفاهيم عامة عن النماذج الرقمية DEM

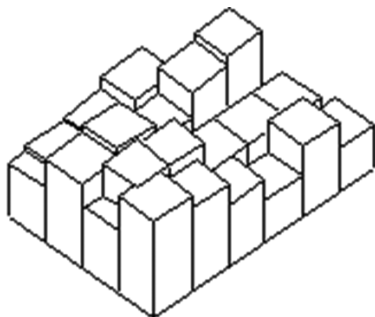
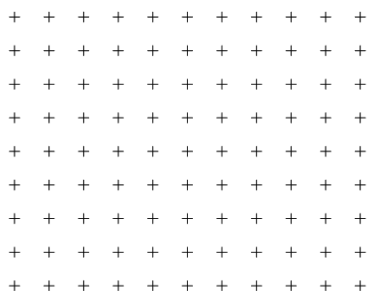
### (١، ٢) البنى الأساسية للنماذج الرقمية

يعبر عن تمثيل ظاهرة ما بنموذج رياضي من خلال عينة محدودة من النقاط موزعة في الفضاء الثلاثي الأبعاد (X,Y,Z)، بحيث تعرف هذه النقاط بمجموعة سطحاً تضاريسياً يمكن من خلاله استنتاج الإحداثيات الثلاثية التقريبية للنقاط المجهولة، وذلك وفق طرق رياضية عديدة. ويشترط في النموذج الرقمي مراعاة تمثيل السطح بدقة كافية للتطبيقات التي أعد النموذج من أجلها.

تستخدم المراجع المختصة عدة مصطلحات للإشارة للنموذج التضاريسي الرقمي منها:

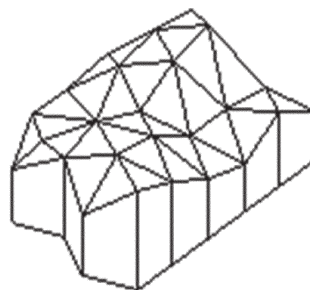
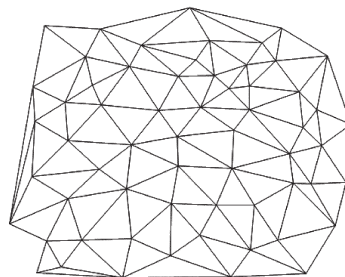
- (DTM) Digital Terrain Model - النموذج التضاريسي الرقمي.

الأحيان، دون زيادة في كثافة نقاط الشبكة للوصول إلى الدقة المطلوبة. انظر الشكل رقم (١-ب)



الشكل رقم (١-ب). البنية الشبكية.

من هنا يتبين لنا أن طول ضلع المربع من الشبكة يتعلق بتباين قيم الظاهرة، فيمكن اعتماد أضلاع كبيرة في المناطق ذات الميول الخفيفة (تباين قليل في القيم)، لكن المناطق الوعرة (تباين كبير في القيم) تتطلب تأسيس مربعات ذات أطوال أضلاع صغيرة، بغية الوصول إلى بنية مقبولة للنماذج العددية، لتمثيل انتشار ظاهرة ما. إن التعامل مع هذه البنية ومعالجتها وإجراء الحسابات عليها بواسطة الحاسب هو المفضل، نظراً لسهولة إدخال البيانات حيث تختزل من الإحداثيات في جملة ثلاثية الأبعاد إلى القيم الارتفاعية فقط ممثلة بمصفوفة الارتفاعات ذات التباعد الثابت على



الشكل رقم (١-أ). بنية TIN.

### (٢, ١, ٢) البنية الشبكية المنتظمة Rectangular Grid

إن البنية الشبكية المنتظمة هي بنية مصفوفية مؤلفة من مجموعة من المربعات تشكل شبكة، وطول ضلع هذه المربعات محدد، ويتم قياس ارتفاعات رؤوس هذه المربعات (قيمة الظاهرة المدروسة) بإحدى طرق المسح المعروفة. ويلاحظ أن معطيات النموذج الارتفاعي العددي في هذه الطريقة تعكس إحدى البنى التخزينية في الحاسوب، أي أنه يمكن تخزين ارتفاعات نقاط الشبكة كمصفوفة، نسميها مصفوفة الارتفاعات (مصفوفة قيم الظاهرة) (elevation matrix)، حيث أرقام أسطرها وأرقام أعمدها معرفة بالمواقع المستوية لرؤوس المربعات، لذلك فإن تداول مصفوفة الارتفاعات ونمذجة خوارزمياتها سيكون سهلاً. إلا أنه لا يمكن بشكل جيد تطبيق النموذج الارتفاعي العددي ذي البنية الشبكية مع سطح انتشار الظاهرة، المعقد في غالب

- تشكيل نماذج رقمية باتباع الطرق الرياضية المعروفة.
- دراسة كل نموذج على حده، من خلال تغيير قيم الخطوة فيه، وحساب المؤشرات الإحصائية للدقة، ويتم اختيار الخطوة الأفضل في كل نموذج. وفي حال تساوي أو تقارب الدقة من أجل خطوات متجاورة، يتم اختيار الخطوة الأكبر، التي تعطي أقل عدد من النقاط، وبالتالي حجم تخزين حاسوبي أقل. ونستطيع بذلك الحصول على الخطوة المثلى للشبكة المنتظمة، التي تؤمن بدورها جودة النموذج في تمثيل الواقع، والوصول للمعلومات واستثمارها بكفاءة جيدة.
- اختبار دقة النماذج الناتجة من عدة طرق رياضية، اعتماداً على مطابقة قيم النموذج مع نقاط العينة الأساسية والتي تمثل محطات قياس الهطولات، من أجل اختيار الطريقة الأفضل بناءً على القيم العظمى والانحراف المعياري للفروقات بين النموذج والواقع.
- إجراء دراسة تجريبية على الطرق الرياضية لاشتقاق نماذج رقمية بالخطوة المثلى للشبكة المنتظمة التي تم التوصل إليها (كامل، ٢٠٠٣)، وذلك بحذف تدريجي للبيانات (والتي تمثلها المحطات)، واختبار دقة النموذج الناتج بعد تشكيله من النقاط المتبقية بدون معطيات المحطة المحذوفة، حيث ستكون النقاط المحذوفة هي نقاط الضبط للاختيار التالي.

#### (٢, ٣) مراحل التنفيذ

#### (١, ٢, ٣) اختيار المنطقة

تم اختيار منطقة الرياض بسبب توفر عدد مقبول من المحطات وسهولة الوصول لهذه المحطات من أجل تدقيق

المحورين  $X, Y$ . كما أن هذه البنية تعتبر أكثر انسجاماً مع البيانات المختلفة المصادر في نظم المعلومات الجغرافية GIS (Maguire, 1995).

#### (٢, ٢) طرق اشتقاق النموذج الرقمي ذي البنية الشبكية المنتظمة من عينة نقاط موزعة عشوائياً

هناك طرق عديدة لاشتقاق النموذج الرقمي ذي البنية الشبكية المنتظمة من عينة نقاط موزعة عشوائياً، وتعتبر الطرق الآتية هي الأكثر استخداماً (SURFER 10, 2011):

- التوسط المركب إحصائياً Kriging.
- المتوسطة الموزونة باعتبار قوى المسافة Inverse distance to power، باستخدام القوى ٢ و ٣.
- التثليث Triangulation with Linear Interpolation.
- الانحناء الأصغر Minimum curvature.
- الجار الأقرب Nearest Neighbor.
- الجار الطبيعي Natural Neighbor.
- طريقة شيبارد المعدلة Modified Shepard's.

إن خصائص هذه الطرق والتوصيات حول حالات استخدامها مذكورة في المراجع المختصة كما في (SURFER 10, 2011) إلا أن تلك التوصيات لا يمكن تعميمها، فهناك خصوصية لبعض المسائل كما في حالة هذا البحث باعتبار أن عدد نقاط المسح (المحطات) محدودة من جهة، وغير متجانسة التوزيع من جهة أخرى، وهذا ما تفرضه ظروف المكان في منطقة الرياض.

#### (٣) إجراءات البحث

#### (١, ٣) المخطط النظري

- اختيار منطقة في المملكة ذات طبيعة تضاريسية متجانسة، يتوفر فيها عدد كافٍ من محطات قياس الأمطار (العينة).

بصدد البحث عنه سيكون قياسياً من أجل استخدامه في تقدير قيم الهطولات المفقودة فيما بعد، فنستخدم في إيجاده قيم معدل الهطول المطري في شهر إبريل، وعلى مدى السنوات التي تتوافر لدينا فيها بيانات عن الهطول، وذلك باعتبار أن هذا الشهر يتميز بتوافر قيم الهطولات المطرية في هذه المنطقة.

في كل تجربة يتم تشكيل الملف الشبكي (Grid file) بأبعاد متغيرة لخلايا الشبكة. مجال هذا التغير يرتبط بطبيعة توزيع المحطات. ففي حالة محطات منطقة الرياض تتوزع المحطات بمجال ٣٧٠ كلم باتجاه شرق-غرب و ٦٥٠ كلم باتجاه شمال-جنوب. ونلاحظ من الشكل رقم (٣) أن أقصى مسافة بين محطتين متجاورتين يصل تقريباً إلى ١٨٠ كلم باتجاه شمال-جنوب وهو بين محطتي SU001 و SU102. بينما أصغر قيمة تصل إلى حوالي ٥, ٠ كلم؛ لذلك فعند إجراء التجارب بتغيير أبعاد خلايا الملف الشبكي (Grid file) لا معنى لاختيار قيمة أكبر من ١٨٠ كلم، كما أنه من الضروري اختبار القيم الأصغر من ٥, ٠ كلم ومن ناحية أخرى هناك معيار آخر لعدد التجارب. فإذا بدأنا بخطوة ١ كلم لأبعاد الشبكة، فليس بالضرورة تكرار التجربة وصولاً لخطوة ١٨٠ كلم، حيث من الممكن أن قيمة الفروقات (أو الرواسب Residuals) عند خطوة معينة تصبح أكبر من القيم المسموحة في تقدير الهطولات المطرية. عندها يتم التوقف عن متابعة التجارب. ونشير هنا إلى أن الرواسب هي الفروقات بين القيم الحقيقية للهطولات المطرية في المحطات (المعطيات) والقيم المحسوبة لهذه الهطولات في نفس النقاط بواسطة النموذج (Grid file). وعموماً سنتحصر التجارب بين قيمتي ١ كلم و ٢٠ كلم للخطوة، إلا إذا أظهرت إحدى الحالات توسيع هذا المجال.

الإحداثيات. وقامت وزارة المياه والكهرباء مشكورة بتزويدنا بمعلومات عن ٣٣ محطة في منطقة الرياض من حيث الحالة الفنية لها والموقع الجغرافي مقاساً بخطي الطول والعرض وإحصائيات الهطول فيها. وباعتبار أن برمجيات النماذج الرقمية DEM تعتمد على الإحداثيات التربيعية، وبهدف جعل نتيجة هذه الدراسة منسجمة مع تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التي يعتمد معظمها على نظام إحداثيات ميركاتور العالمي UTM، وهو نظام إسقاط الخرائط الطبوغرافية ذات المقياس الكبير الواسع الانتشار في دول العالم ومنها المملكة. فقد تم حساب إحداثيات هذه المحطات في النظام المذكور. الجدول رقم (١) يبين إحداثيات ٣١ محطة في نظام UTM، حيث تم استبعاد محطتي مرات (R117) والباط (R118) لعدم كفاية الإحصائيات فيها (معطيات أقل من ٢٠ سنة) حيث تشير بعض المراجع (NOAA Atlas14, 2011) أن الفترة الزمنية للسجلات التي يمكن استخدامها لتحليل بيانات الأمطار تتراوح بين ٢٠-١٠٠ سنة وبمتوسط ٤٤ سنة، وهو المعمول به في كثير من التطبيقات الهيدرولوجية (Jung-Woo, Y. A. Pachepsky) وأن الاكتفاء بمدة ٢٠ سنة فقط هو أدنى الكمال؛ ولذا فقد تم في هذه الدراسة استخدام فترات زمنية أطول من ٢٠ سنة حيث إن البيانات لتلك الفترات متوفرة.

كما أن الأشكال أرقام (٢) و (٣) تبين توزيع هذه المحطات.

### (٢, ٣) تشكيل النماذج الرقمية

تم تشكيل النماذج الرقمية DEMs بناءً على الإحداثيات التربيعية المحسوبة بنظام UTM في البند السابق، باستخدام معطيات الهطول المطري في هذه المحطات. ولكن باعتبار أن النموذج الأمثل الذي نحن

- في كافة المحطات. هذا المؤشر قد يفيد في مسائل أخرى غير موضوع تقدير القياسات المفقودة، مثل خرائط الهطول المطري في المنطقة.
- ويبين الشكل رقم (٤) خطوط تدرج (الكونتور) لمعدّل الهطول المطري في منطقة الرياض (الشكل رقم ٣) وموضح عليه مواقع المحطات.
- في كل تجربة تم إيجاد العلاقة بين:
- خطوة الملف الشبكي وأكبر قيمة للفروقات (أو الرواسب Residuals). هذه القيمة سيعبر عنها برقم نسبي هو (الفرق/ القيمة الحقيقية) مما يعطي معياراً واضحاً للتقييم.
  - خطوة الملف الشبكي (Grid file step) وقيمة الانحراف المعياري Standard Deviation للفروقات

الجدول رقم (١). إحدائيات المحطات المختلفة حسب نظام ميركاتور العالمي UTM.

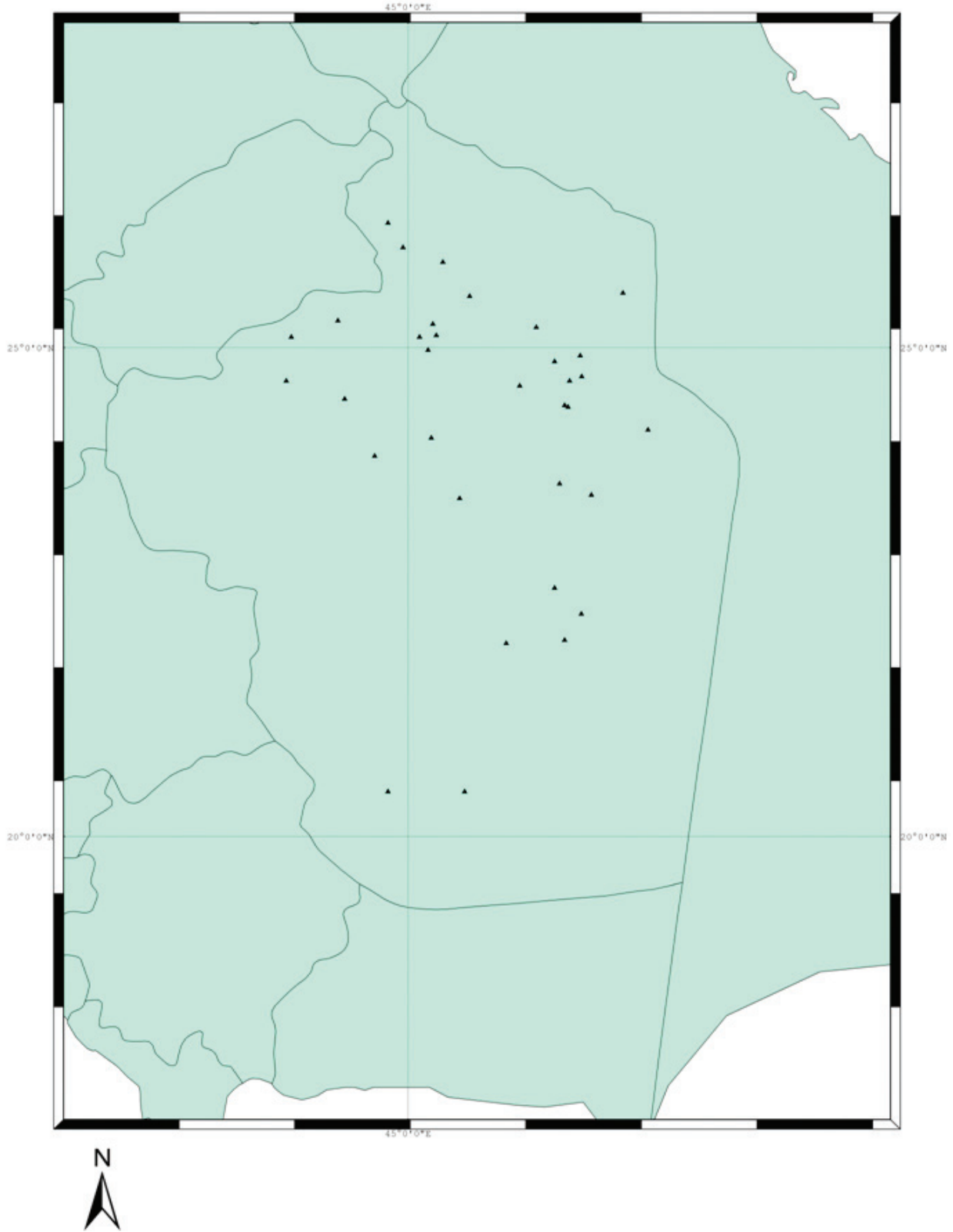
رقم المحطة	اسم المحطة	الموقع حسب نظام ميركاتور العالمي UTM		عدد السنوات المتوفرة فيها البيانات	معدّل الهطول المطري في شهر إبريل (مليمتراً)
		Y	X		
D103	عروى	2643229.868	465868.6184	41	22.9
D110	نفي	2778411.737	382173.2512	40	18.1
D112	القرين	2728620.865	376686.1402	46	18.2
D113	القويعية	2663507.491	523518.3099	46	19.7
D114	الرين	2595309.687	552567.7058	40	32.3
D118	فيضة السر	2796542.862	429321.9746	37	17.7
R101	المجمعة	2862849.424	534863.3196	45	23.8
R102	سدوس	2763154.056	519985.5355	43	19.6
R103	حريملاء	2789593.616	629085.1253	45	19.7
R104	الحريق	2612641.925	654534.0844	40	21.2
R106	الجبيلة	2751018.349	647976.9616	43	20.2
R112	ضرماء	2722997.897	612839.033	41	10.8
R113	اثيشيه	2779778.904	528361.4244	43	14.8
R115	حوطة بني تميم	2600099.837	687013.3878	44	14.8
SU101	البديع	2435531.636	661515.0264	43	9.9
SU102	الهدار	2431339.205	601320.1612	43	16.7
SU103	و. الدواسر الخماسين	2263164.794	478940.4095	43	8.9
HU103	رماح	2829483.93	715791.3372	42	17.2
R105	سد وادي حنيفة	2729038.683	663395.8268	41	25.6
40438	القاعدة الجوية بالرياض	2734117.981	675647.5868	25	23

تابع الجدول رقم (١).

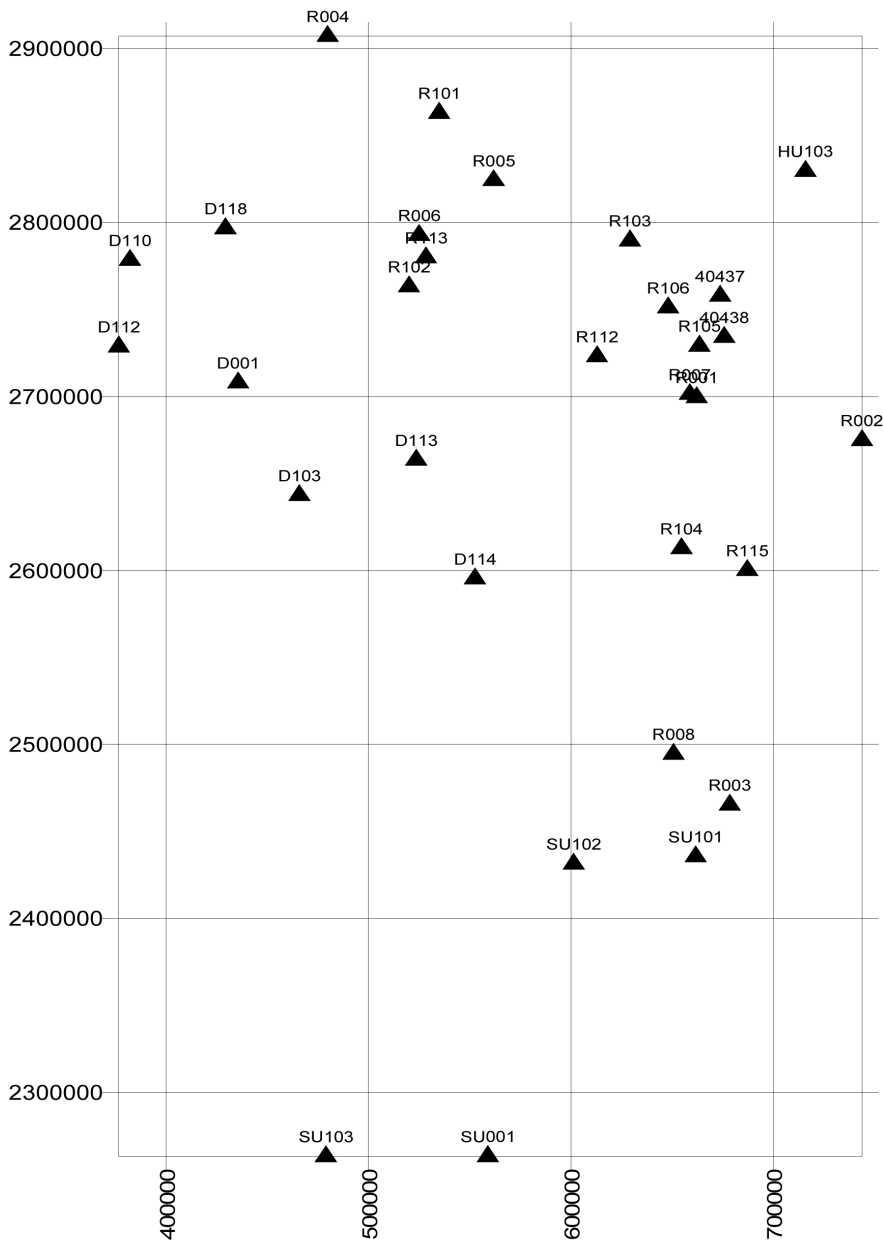
عدد السنوات المتوفرة فيها البيانات	معدّل الهطول المطري في شهر إبريل (مليمتراً)	الموقع حسب نظام ميركاتور العالمي UTM		اسم المحطة	رقم المحطة
		Y	X		
21	28.2	2757781	673662.3979	مطار الملك خالد	40437
33	16	2707922.82	435622.3118	الدوامي	D001
45	17.3	2699484.985	662051.5244	الرياض	R001
40	8.3	2674805.922	743649.0787	الخرج	R002
41	4.6	2465244.504	678385.4763	الأفلاج	R003
39	20.3	2907116.96	479831.8584	الزلفي	R004
41	22.6	2824186.912	561759.7082	حوطة سدير	R005
38	17.1	2792691.255	524977.2484	شقراء	R006
34	16.5	2701292.203	658649.8577	ديراب	R007
26	3.4	2494478.646	650617.8147	الغيل	R008
44	6.7	2263254.262	558902.8148	السليل	SU001



الشكل رقم (٢). خريطة المملكة ويظهر في وسطها منطقة الرياض.

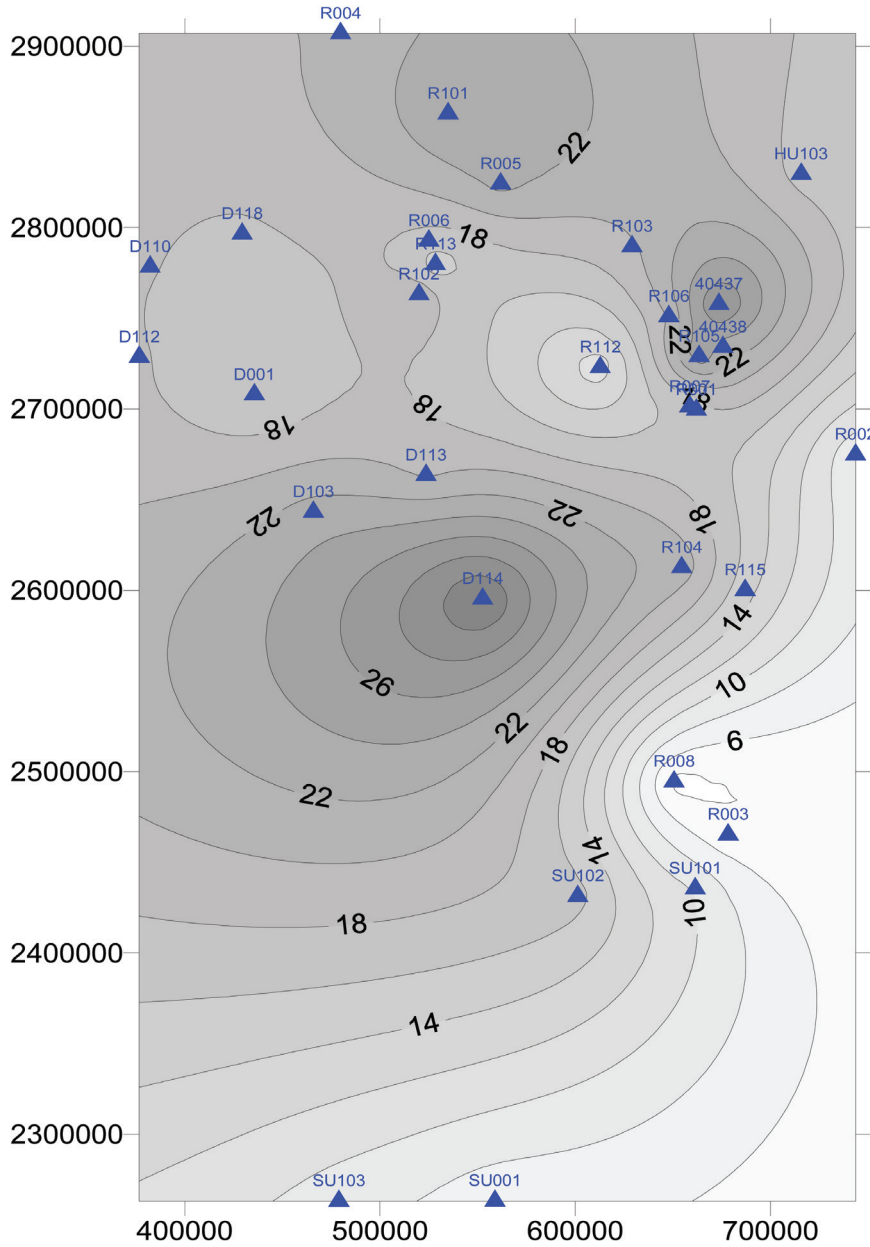


الشكل رقم (٢ب). توزيع محطات رصد الهطول المطري في منطقة الرياض (مقياس 1/7500000).



**Stations distribution**

الشكل رقم (٣). توزيع محطات رصد الهطول المطري في منطقة الرياض ضمن شبكة إحداثيات UTM.



الشكل رقم (٤). خطوط التدرج (الكونتور) لمعدل الهطول المطري (بالملم) في منطقة الرياض، ومواقع المحطات.

## (٤) نتائج البحث

إن خلاصة عملية النمذجة لأي سطح هي تشكيل واستنتاج نموذج DEM ذي البنية الشبكية المنتظمة. وبالتالي فإن اختبار دقة هذا النموذج، والذي تم استنتاجه، يشكل المنهجية الأساسية لهذا البحث.

١- أولى خطوات اختبار دقة النموذج DEM هي علاقة خطوة شبكة النموذج (Grid File Step) بالرواسب (الفروقات بين البيانات الأساسية للمحطات والقيم المقدرة بواسطة النموذج). في هذه المرحلة تم تشكيل نماذج من الطرق المذكورة في البند (٢, ٢)، وفي كل نموذج تم تغيير قيمة الخطوة تدريجياً، كما تم الحصول على النتائج المبينة بالشكلين رقمي (٥ و ٦) (علماً أن المقياس الأفقي في المخططات البيانية متغير). ويتضح من هذين الشكلين، أنه في كافة الطرق تتناسب دقة النموذج عكساً مع قيمة الخطوة وبمعدل تناسب يختلف من طريقة لأخرى. فبالنسبة للقيمة النسبية للرواسب، وباعتبار أن الفروقات المسموحة في تقدير القيم المفقودة للهطولات يجب ألا يتجاوز نسبة ١٠٪ ويلاحظ أن بعض الطرق تسمح بتشكيل شبكة نموذج بخطوة تصل إلى (١٥ كم)، وهذا ما يجعلها الأفضل لتشكيل النموذج. وعموماً يلاحظ أن اختيار خطوة (١ كم) للشبكة يجعل من كافة الطرق السابقة مقبولة من حيث الدقة.

كما أن الشكل رقم (٧) يبين تمثيلاً ثلاثي الأبعاد للنموذج DEM بتباعد (١ كم) وموضح عليه مواقع المحطات.

٢- الخطوة التالية في اختبار دقة النموذج DEM تتمثل في افتراض فقد معطيات محطة ما، وإعادة تشكيل النموذج بالمعطيات الباقية، ومن ثم تقدير

القيمة المفقودة بواسطة هذا النموذج. في هذه الحالة سيكون معيار الدقة هو الفرق بين القيمة الأصلية لمعطيات المحطة، والتي يفترض أنها صحيحة، والقيمة الناتجة من النموذج. هذه التجربة تم تكرارها باستخدام جميع الطرق المذكورة في البند (٢, ٢) وبالخطوة الأفضل للشبكة (١ كم) بحسب النتائج في الخطوة السابقة.

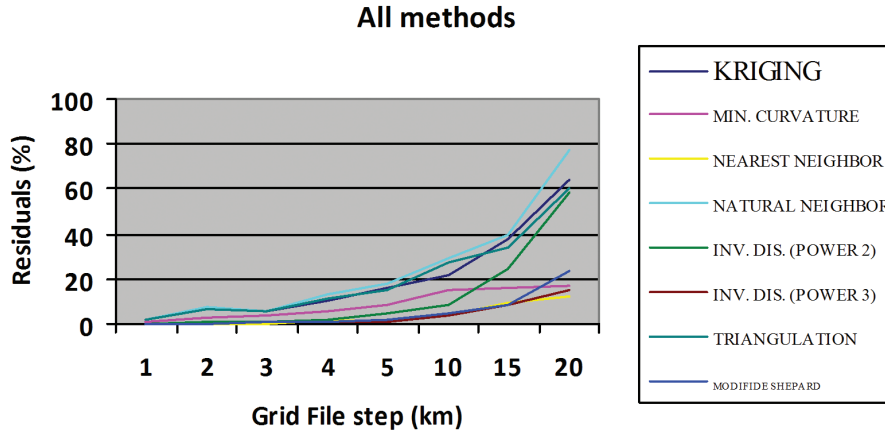
٣- الأشكال أرقام (٨-١٥) تبين القيمة النسبية للفروقات (Residuals) المذكورة أعلاه في كل محطة وبكافة الطرق. من هذه الأشكال يمكن مباشرة استنتاج الطرق المناسبة في كل محطة بحيث لا يتجاوز الفرق المقدار النسبي ١٠٪.

٤- باعتبار النتائج في الخطوة السابقة، وعندما تكون قيمة الهطول في أي محطة أكبر أو أصغر من جميع القيم في المحطات المجاورة لها مباشرة، أي أنها تقع وسط خطوط كونتور مغلقة (انظر الشكل رقم ٤)، فإن تقدير قيمة الهطول فيها، في حال عدم توافره، سيؤدي إلى نتائج غير صحيحة في أي طريقة على الإطلاق، وهذا ما يظهر في نتائج النقاط R008 و R114 و R112 و 40437 و R113 و D001. فعلى سبيل المثال، الشكل رقم (١٦) يوضح أثر حذف معطيات المحطة R112 على تشكيل النموذج بطريقة Kriging.

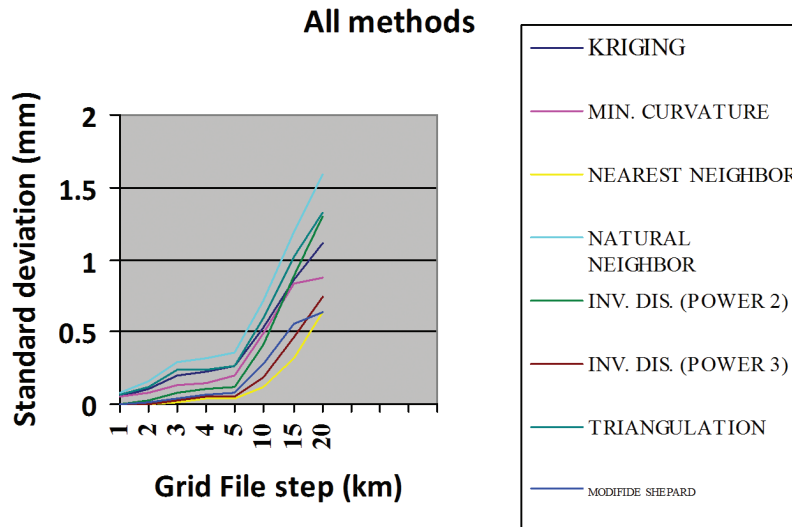
٥- عندما تكون قيمة الهطول في أي محطة غير متجانسة مع جوارها من حيث تدرج القيم، بمعنى أنها تؤثر على تشكيل خطوط التدرج (الكونتور) بظهور انعطافات مميزة (الشكل رقم ١٦)، فإن تقدير قيمة الهطول فيها، في حال عدم توافره، سيؤدي أيضاً إلى نتائج غير صحيحة، وهذا ما يظهر في نتائج النقاط R104 و R102 و SU102 و HU103 و R002 و SU001.

٧- يلاحظ أنه لا توجد أي طريقة تؤدي إلى تشكيل نموذج مطابق تماماً للقيم الأصلية (العينة)، وبالتالي لا يمكن أن تكون قيمة الرواسب مساوية للصفر بأي حال. ولكن ما يظهر من الأشكال أرقام (٨-١٥) بظهور قيم معدومة عند بعض المحطات في بعض الطرق إنما يدل على عدم إمكانية حساب الرواسب عند تلك النقطة بسبب موقعها على أطراف النموذج، أي أن النموذج المشكل لا يمتد إلى موقع النقطة المحذوفة.

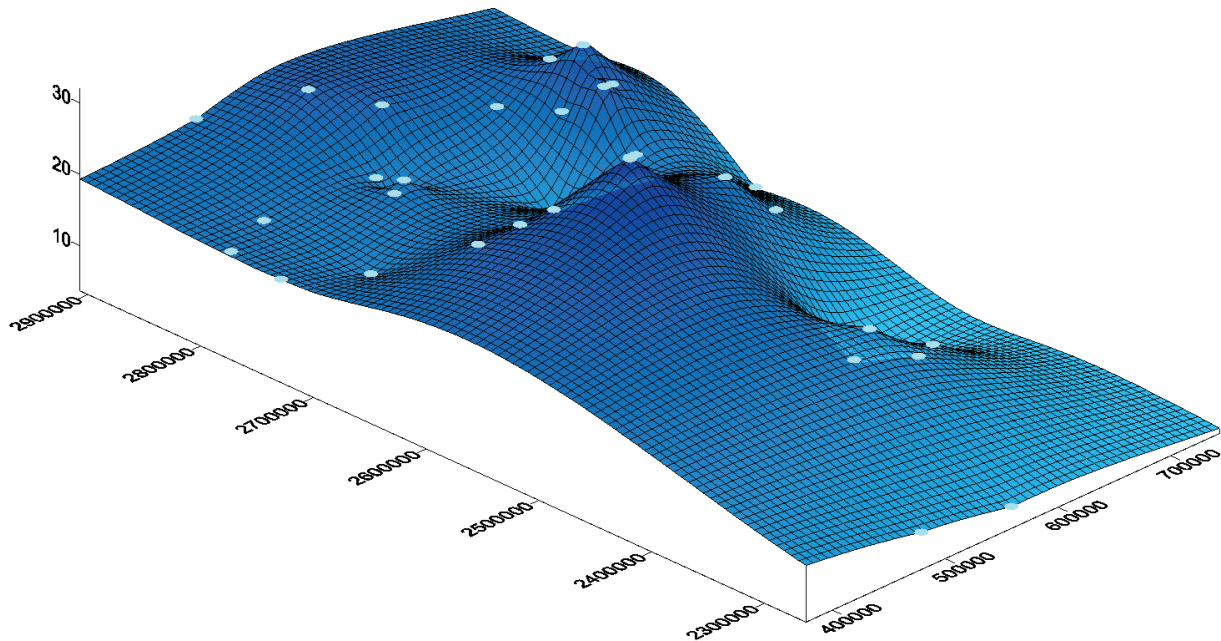
٦- الجدولان رقما (٣ و ٤) يلخصان هذه النتائج ببيان الطرق المناسبة لتقدير القيم المفقودة للهبطول المطري في محطات منطقة الرياض. الجدول رقم (٣) يبين الطرق المناسبة في حال تقدير القيمة بخطأ لا يتجاوز ١٠٪ من قيمة المعدل في المحطات المذكورة فقط. أما الجدول رقم (٤) فيبين الطرق المناسبة لتقدير القيم المفقودة في المحطات الأخرى غير تلك المذكورة في الجدول رقم (٣)، بخطأ نسبي موضح بجانب كل محطة.



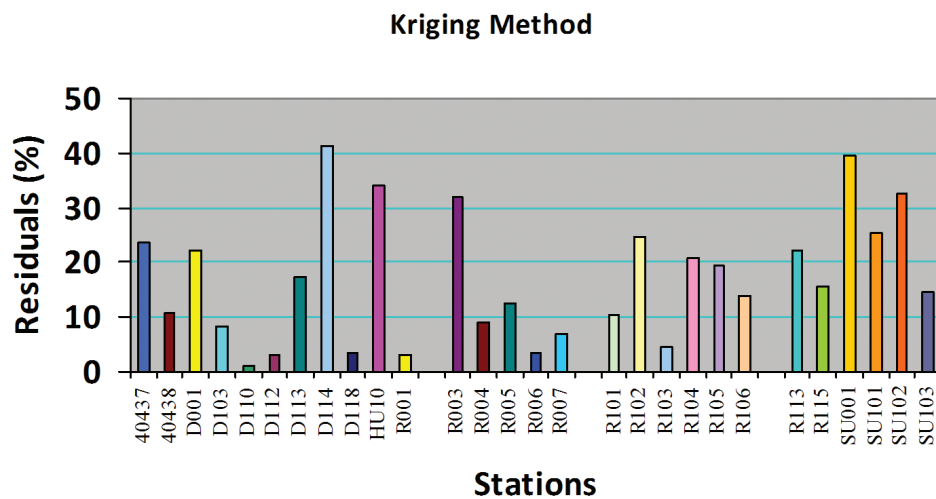
الشكل رقم (٥). مخطط بياني يوضح العلاقة بين خطوة شبكة والقيمة النسبية العظمى للرواسب في كافة الطرق.



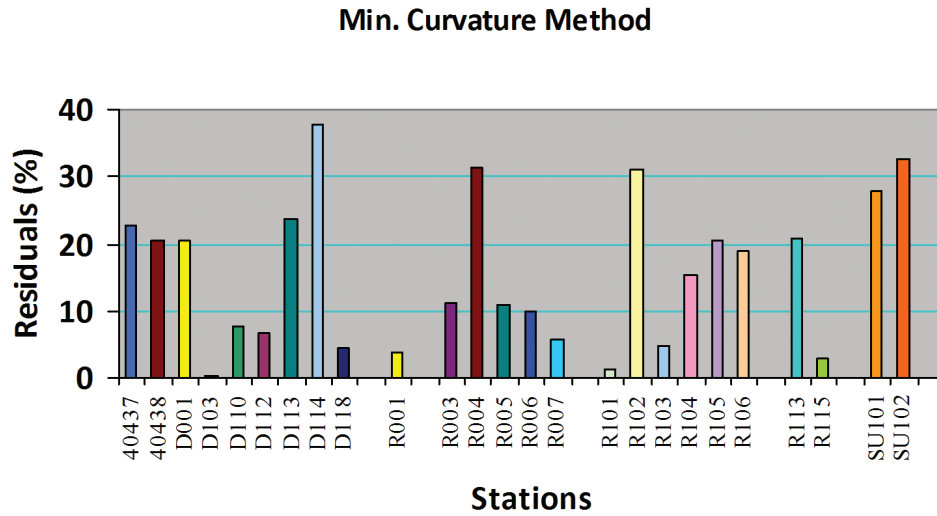
الشكل رقم (٦). مخطط بياني يوضح العلاقة بين خطوة شبكة النموذج والانحراف المعياري للرواسب في كافة الطرق.



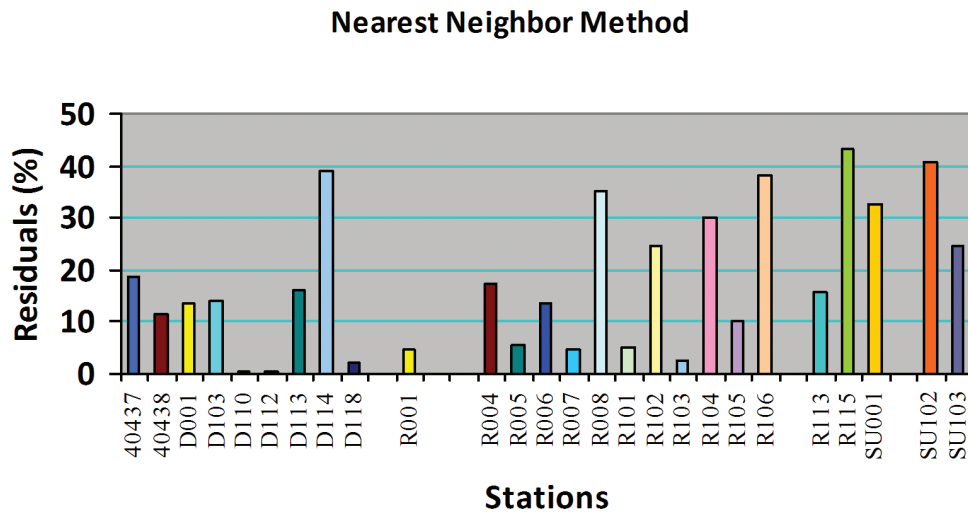
الشكل رقم (٧). تمثيل ثلاثي الأبعاد للنموذج DEM لسطح الهطولات المطرية مع مواقع المحطات ضمن نظام إحداثيات أفقية UTM، وقيمة ارتفاعية تعبر عن قيم معدّل الهطول (بالملم) في منطقة الرياض.



الشكل رقم (٨). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Kriging بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد الفروقات فيها عن ٥٠٪.

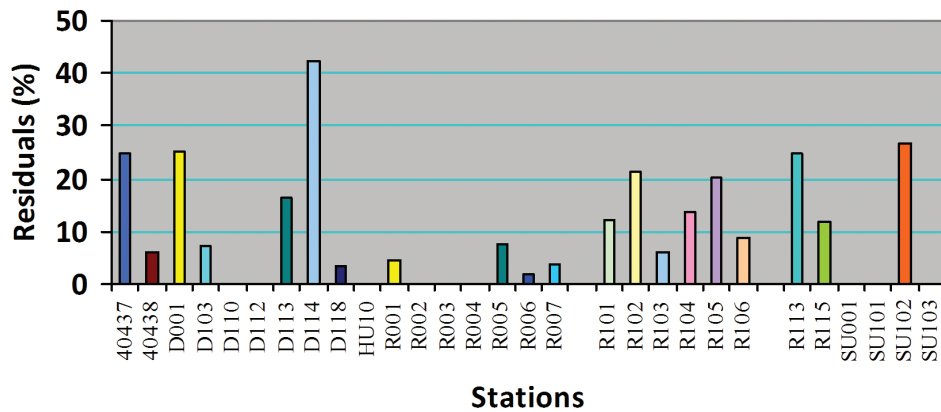


الشكل رقم (٩). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Min. Curvature بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.



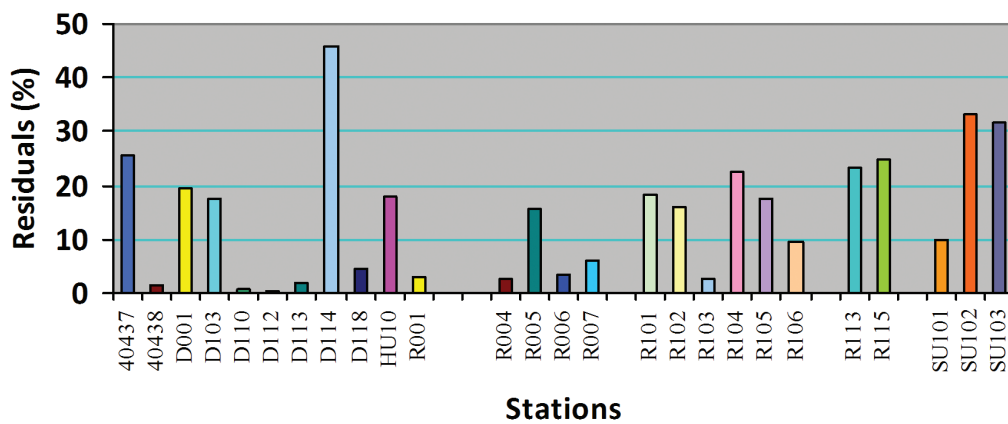
الشكل رقم (١٠). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Nearest Neighbor بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.

### Natural Neighbor Method



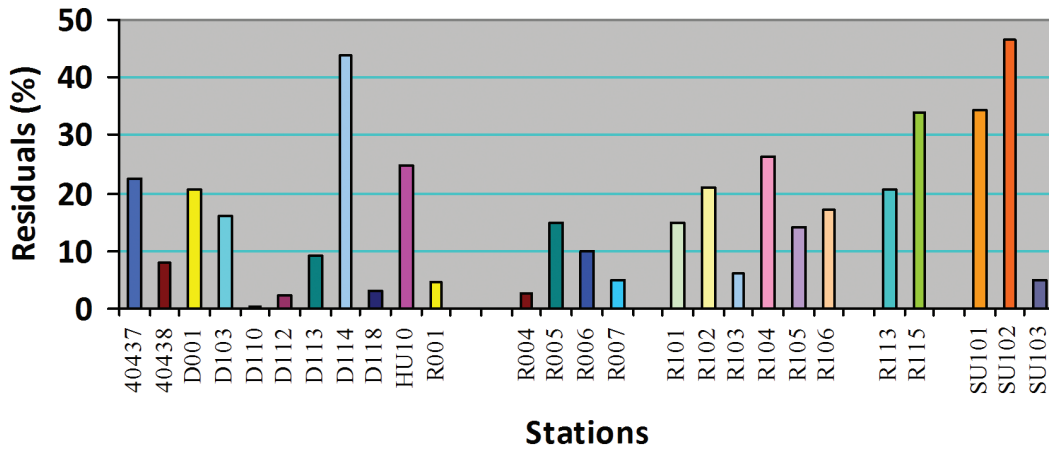
الشكل رقم (١١). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Natural Neighbor بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.

### Inv. Dis. Power(2) Method



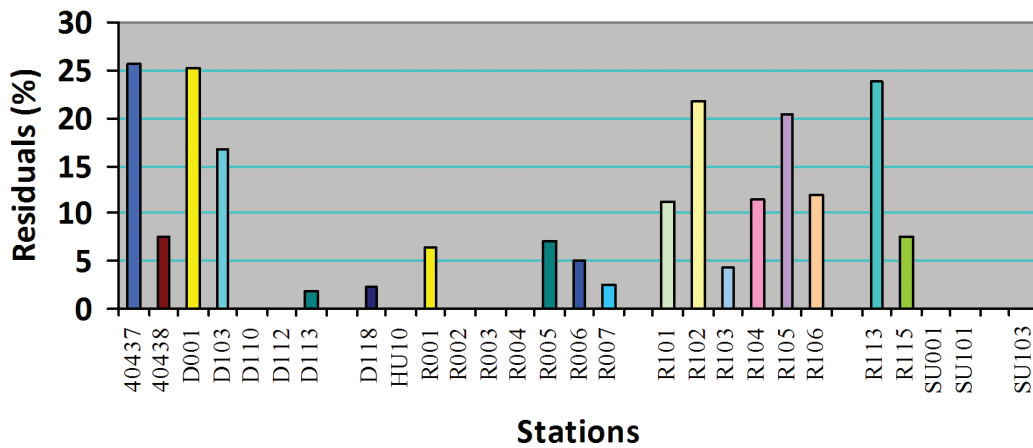
الشكل رقم (١٢). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Inv. Dis. Power (2) بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.

### Inv. Dis. Power(3) Method



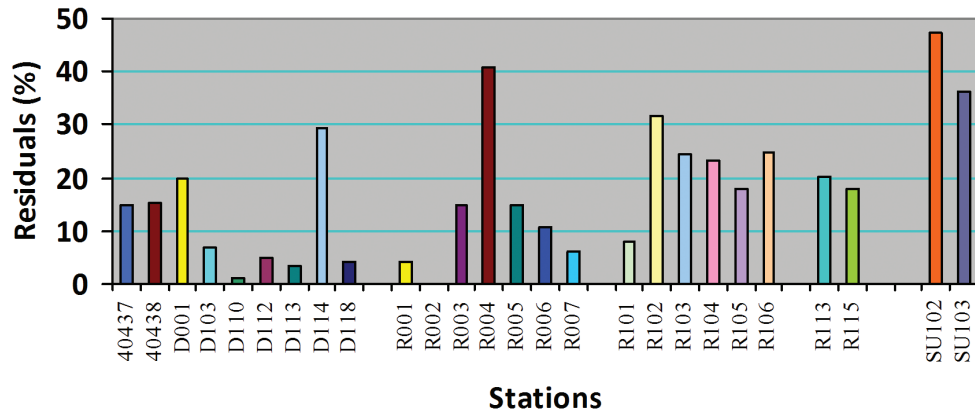
الشكل رقم (١٣). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Inv. Dis. Power (3) بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.

### Triangulation Method



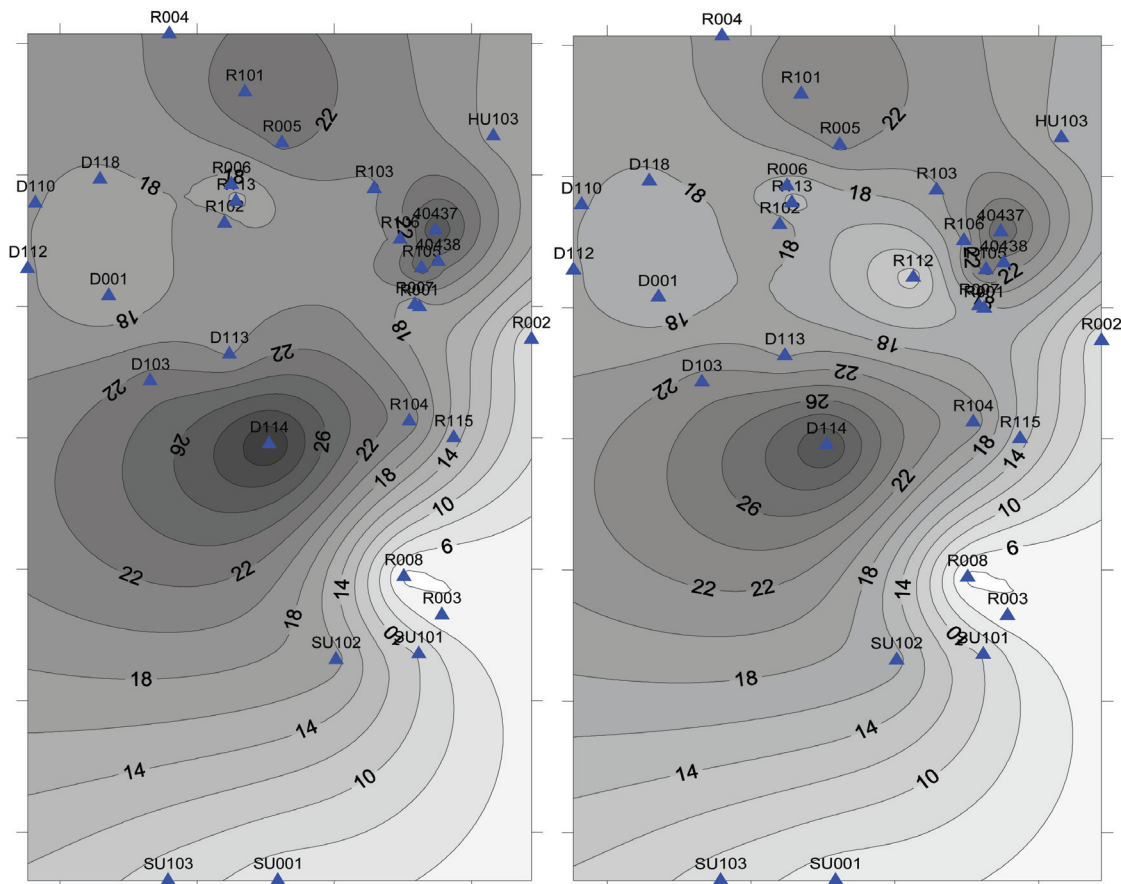
الشكل رقم (١٤). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Triangulation بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.

## Shepard Method



## Stations

الشكل رقم (١٥). دقة تقدير قيمة الهطول في كافة المحطات باستخدام النموذج المشكل من طريقة Shepard بعد حذف المحطات ذات القيم الشاذة التي تزيد عن ٥٠٪.



الشكل رقم (١٦). مقارنة بين نموذجي DEM قبل وبعد حذف معطيات المحطة R112.

الجدول رقم (٣). الطرق المناسبة لتشكيل نموذج رقمي DEM لتقدير الهطول المطري بخطأ لا يتجاوز ١٠٪ في المحطات المختلفة في منطقة الرياض وبخطوة Grid File step قدرها ١ / كم.

Methods (الطرق المستخدمة)								اسم المحطة	رقم المحطة
Modified Shepard'	Natural Neighbor	Nearest Neighbor	Minimum curvature	Triangulation with Linear Interpolation	Inverse distance to power (3)	Inverse distance to power (2)	Kriging		
√	√		√				√	عروى	D103
√		√	√		√	√	√	نفي	D110
√		√	√		√	√	√	القرين	D112
√				√	√	√		القويعية	D113
√	√	√	√	√	√	√	√	فيضة السر	D118
√		√	√					المجمعة	R101
	√	√	√	√	√	√	√	حريملاء	R103
	√						√	الجبيلة	R106
			√	√				حوطة بني تميم	R115
							√	البديع	SU101
					√			وادي الدواسر الخماسين	SU103
		√						سد وادي حنيفة	R105
	√			√	√	√		القاعدة الجوية بالرياض	40438
√	√	√	√	√	√	√	√	الرياض	R001
					√	√	√	الزلفي	R004
	√	√		√				حوطة سدير	R005
	√		√	√	√	√	√	شقراء	R006
√	√	√	√	√	√	√	√	ديراب	R007

الجدول رقم (٤). الطرق المناسبة لتشكيل نموذج رقمي DEM لتقدير الهطول المطري بخطأ نسبي مبین بالنسبة لكل طريقة في المحطات المختلفة، حيث إشارة القيم هي من الفرق (القيمة المقدرة بالنموذج - القيمة الأصلية).

Methods (الطرق المستخدمة)									
Modified Shepard	Natural Neighbor	Nearest Neighbor	Minimum curvature	Triangulation with Linear Interpolation	Inverse distance to power (3)	Inverse distance to power (2)	Kriging	اسم المحطة	رقم المحطة
-29%								الرين	D114
						-16%		سدوس	R102
				-12%				الحريق	R104
+58%								ضرماء	R112
		+16%						اثبيشه	R113
	-27%							الهدار	SU102
						+18%		رماح	HU103
-15%								مطار الملك خالد	40437
		+14%						الدوامي	D001
			+70%					الخرج	R002
			+11%					الأفلاج	R003
		+35%						الغيل	R008
		+33%						السليل	SU001

الجدول رقم (٥). أفضل الطرق المناسبة لتشكيل نموذج رقمي DEM لتقدير الهطول المطري بخطأ نسبي أقل من ١٠٪ في المحطات المختلفة في منطقة الرياض وبخطوة Grid File step قدرها ١ / كم.

رقم المحطة	اسم المحطة	Method (الطريقة المثلى)
D110	نفي	Inverse distance to power (2)
D112	القرين	
D113	القويعية	
D118	فيضة السر	
R103	حريملاء	
R106	الجبيلة	
SU101	البديع	
40438	القاعدة الجوية بالرياض	
R001	الرياض	
R004	الزلفي	
R006	شقراء	Minimum curvature
R007	ديراب	
D103	عروى	
R101	المجمعة	Nearest Neighbor
R115	حوطة بني تميم	
R105	سد وادي حنيفة	Inverse distance to power (3)
R005	حوطة سدير	
SU103	وادي الدواسر الخناسين	

الجدول رقم (٦). أفضل الطرق المناسبة لتشكيل نموذج رقمي DEM لتقدير الهطول المطري في المحطات المختلفة مع إضافة التصحيحات بجانب كل منها.

رقم المحطة	اسم المحطة	التصحيحات	Method (الطريقة المثل)
R113	ايشيه	-٪.16	Nearest Neighbor
D001	الدوادمي	-٪.14	
R008	الغيل	-٪.35	
SU001	السليل	-٪.33	
R002	الخرج	-٪.70	Minimum curvature
R003	الأفلاج	-٪.11	
40437	مطار الملك خالد	+٪.15	Modified Shepard
D114	الرين	+٪.29	
R112	ضرماء	-٪.58	
R102	سدوس	+٪.16	Inverse distance to power (2)
HU103	رماح	-٪.18	
R104	الحريق	+٪.12	Triangulation with Linear Interpolation
SU102	الهدار	+٪.27	Natural Neighbor

### (٥) توصيات البحث

2) تعتبر أفضل هذه الطرق، لأنه يمكن تطبيقها على ١٢ محطة. وهذه الأفضلية ليست مطلقة، بل هي في هذا التشكيل من المحطات فقط.

٢- من خلال تحليل النتائج في الجدول رقم (٤)، وبهدف تعميم كل طريقة على أكبر عدد ممكن من المحطات، يمكن تلخيص الجدول رقم (٤) بالجدول رقم (٦) الذي يوضح اقتراح استخدام الطريقة الرياضية المبينة، مع ضرورة إضافة القيمة التصحيحية النسبية المبينة بجانب كل محطة، إلى القيمة الناتجة من النموذج الرقمي DEM المتشكل من هذه الطريقة.

٣- إن المنهجية المستخدمة في هذا البحث لتقدير القيم المفقودة للهطول المطري قد دجت مفهومي

١- من خلال تحليل النتائج في الجدول رقم (٣)، وبهدف تعميم كل طريقة على أكبر عدد ممكن من المحطات، وعلى مناطق المملكة الأخرى، يمكن تلخيص الجدول رقم (٣) بالجدول رقم (٥) الذي يوضح اقتراح استخدام الطرق الرياضية المبينة لتشكيل النموذج الرقمي DEM لتقدير قيم الهطولات المطرية المفقودة في كل محطة من المحطات المبينة. من هذا الجدول يتضح أن هناك أربع طرق يمكن استخدامها لتشكيل النموذج الرقمي لتقدير القيم المفقودة في المحطات بحيث لا يتجاوز الخطأ في هذا التقدير عن نسبة ١٠٪ من قيمة المعدل. كما يتضح أن طريقة (Inverse Distance to pow-

**Campbell, John**, “ *Map Use & Analysis. USA*”, McGraw-Hill. (1998).

**Coulibaly, P. and N. D. Evora**, ” Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records”, *Journal of Hydrology*, Vol. 341, issues (1-2), July (2007).

**Cowperrwait, Paul S.**, ” A spatial-temporal point process model of rainfall Thames Catchment UK” , *Journal of hydrology*, Vol. 330, issues (3-4), Nov. (2006).

**Jung-Woo K. and Y. A. Pachepsky**, “Reconstructing missing daily precipitation data using regression trees and artificial neural networks for SWAT streamflow simulation”, *Journal of Hydrology*, Vol. 394, issues (3-4), (2010), Pp:305-314.

**Maguire, David J.**, “ Geographical information systems: principles and applications”, *Longman Sc. & Tech.*, Vol. 2., New York, Oct.(1991).

**NOAA Atlas 14**, “Precipitation-Frequency Atlas of the United States”, Volume 4 ,Version (3), U.S. Department of Commerce , NWS, Silver Spring, Maryland, (2009), revised (2011).

**SURFER 10**,” Surface Mapping System, Version 10.1.561”, *Golden Software Inc*, Colorado, USA, Mar. (2011).

**Teegavarapu, R. S. V. and V. Chandramouli**, ” Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records”, *Journal of Hydrology*, Vol. 312, issues (1-4), Oct.(2005).

**Wisuwat T. and N. Sriwongsitanon**, « Areal rainfall estimation using spatial interpolation Techniques “, *Science Asia Journal*, Vol. 35 (2009) : Pp : 268–275.

الزمن والمكان (Temporal & Spatial)، وذلك لسببين. الأول: هو أن تشكيل DEM اعتمد على توزيع المحطات مكانياً (X,Y). والثاني: هو أن البعد الثالث للنموذج (Z) اعتمد على معدّل الهطول على مدى سنوات عديدة تتراوح في المجال (٢٠ - ٤٦) سنة، وهي قيمة تعتبر كافية إحصائياً.

٤- يمكن تطبيق هذه التوصيات باستخدام أي برنامج حاسوبي لتشكيل النماذج التضاريسية الرقمية علماً أنه في هذا البحث تم استخدام برنامج Surfer المعروف بملاءمته لمثل هذه التطبيقات (SURFER 10 2011).

شكر وتقدير

يتقدم الباحثان بالشكر والتقدير إلى «مركز البحوث» بكلية الهندسة بجامعة الملك سعود على دعمه هذا البحث.

## المراجع

أولاً: المراجع العربية

كامل، عبدالله. «دراسة دقة تحديث الخرائط والمخططات المساحية في سورية اعتماداً على الصور الفضائية والجوية المقومة بنموذج تضاريسي رقمي»، أطروحة ماجستير، منشورات جامعة حلب، (٢٠٠٣).

ثانياً: المراجع الأجنبية

**Alan Mair and Ali Fares**, ” Comparison of Rainfall Interpolation Methods in a Mountainous Region of a Tropical Island “, *Journal of Hydrologic Eng.*, ASCE, Vol. 16, issue(4), (2011), Pp. 371-385.

## Derivation of Digital Rainfall Model to Estimate Missing Rainfall Data in Riyadh Region

**Saleh A. Alhassoun and Hassan M. Bilani**

*Faculty of Civil Engineering, King Saud University*

*P.O.Box 800 Riyadh 11421*

*Email: shassoun@ksu.edu.sa*

(Received 1/5/2011; Accepted for publication 12/10/2011)

**Keywords:** missing rainfall data, rainfall estimation, DEM

**Abstract.** The accuracy of digital rainfall models is considered an important stochastic issue in modeling, where it can be useful to determine the ability of such models to help in simulating any phenomenon such as hydrological modeling. One aspect in hydrology is the analysis of rainfall data as «missing rainfall data», where some rainfall data is missed from records or when there is no rainfall station. The accuracy of estimation of such data depends on how the digital rainfall model accurately represents the precipitation event. Accordingly, this study is performed to derive a digital rainfall model which can be used to find missing rainfall data. Study area is chosen to be in Riyadh area of KSA.

This research aims to obtain rules and specifications that are used to determine the accuracy of digital rainfall models, and to choose the most suitable model, that gives more practical results in hydrological projects and in GIS. The model has been applied in Riyadh region, KSA then it can be generalized to other areas. It was found that: Inverse distance to power 2, Minimum curvature, Nearest neighbor, and Inverse distance to power 3 methods, are suitable to form DEMs (Digital Elevation Models). These methods were used to estimate missing rainfall data in some stations, with an accepted tolerance of residuals not more than 10%.