

نمذجة خرائط أمطار العراق باستخدام تقنيات التحليل الإحصائي المكاني في نظم المعلومات الجغرافية GIS

ا.د علي عبد عباس العزاوي

كلية التربية للعلوم الانسانية اجامعة كركوك

aaliazawi@yahoo.com

المخلص

يعد التباين المكاني للأمطار صفة ملازمة لمناخ العراق، حيث تزداد الامطار الهائلة فوق سفوح الجبال الواقعة شمال وشمال شرق العراق، وتتناقص الكمية بالابتعاد عن الجبال، ويتميز نظام المطر بعدم الانتظام، وتتراوح كمياتها بين (50-1000) ملم وقد ترتفع أحيانا الى (1200) ملم. ففي المناطق الجبلية تصل الامطار الى (400-1000) ملم وفي السهوب من (200-400) ملم وفي الصحاري الشمالية (200) ملم وتنخفض الى أقل من (50) ملم في الصحراء الجنوبية الغربية. اما بالنسبة للتباين المكاني فيتضح ارتفاع كميات الامطار في المنطقة الشمالية وانخفاضها في المنطقة الوسطى والجنوبية بسبب ارتفاع التضاريس في المنطقة الشمالية الذي يعد عامل محفز على سقوط الامطار بنسبة اكبر من المنطقة الوسطى والجنوبية لانبساط اراضيها.

تهدف الدراسة إلى التنبؤ بخريطة المعدلات السنوية للأمطار بمقارنة طرائق الاستيفاء المكاني **Inverse Distance** (Ordinary kriging), **(Weighted)**, **(Radial Basis Functions)** باستخدام البيانات المتوفرة في 19 محطة مناخية في العراق، وتوصلت الدراسة بعد التحقق من صدق نتائج **(Cross - Validation)** الى أفضل نتيجة لرسم خرائط الامطار باستخدام النموذج الكروي **(Spherical-Kriging)**، وبقية اقل للجذر التربيعي لمتوسط الخطأ **(RMSE=79.52)**، ومتوسط الخطأ المطلق **(MAE=1.1)**، مما يشير إلى أن استخدام المعايير الإحصائية يحسن دقة الاستيفاء وتعطي قيما قريبة من القيم الحقيقية بنسبة خطأ لا تتجاوز 10%، والتي يمكن بواسطتها التنبؤ بخريطة المعدلات السنوية للأمطار المنطقة في الأماكن التي لا يوجد فيها محطات مناخية. في منطقة الدراسة.

المفاتيح : **Kriging , IDW , RBF**, الاستيفاء المكاني, معدلات الامطار السنوية, التحليل الاحصائي المكاني

يتميز علم الجغرافيا المعاصر بتجاوز الوضع الحالي للظاهرة الجغرافية لينتقل إلى التنبؤ بالمستقبل باستخدام النمذجة والمحاكاة، Models & simulation للواقع لرسم الصورة المستقبلية باستخدام أدوات التحليل الإحصائي المكاني Spatial Statistics Tools في نظم المعلومات الجغرافية (GIS) التي تعد الوسيلة المثلى في التعامل مع قواعد البيانات الجغرافية GDB وعمليات التحليل المكاني للظواهر الجغرافية، والربط بينها بقوانين لكشف العلاقات والارتباطات المتبادلة وصولاً إلى بناء نموذج مكاني (Spatial Models) للظواهر الجغرافية، لدراسة ظاهرة هيدرولوجية أو مناخية متغيرة حسب الزمان والمكان، ولصعوبة إجراء قياسات لكامل المنطقة المدروسة، بسبب كلفة العمل مادياً وزمنياً فالأسلوب العلمي في هذه الحالة يعتمد على أخذ عينات متفرقة من المنطقة، ثم التنبؤ بالاعتماد عليها بالنقاط المجهولة التي لم تؤخذ منها عينات، وهذه العمليات الرياضية تسمى بالاستيفاء المكاني Spatial Interpolation وتستند هذه العملية على قياس قيم المتغيرات في نقاط المحطات المناخية من أجل التنبؤ بقيم نفس المتغيرات في باقي نقاط الموقع باستخدام نماذج رياضية حاسوبية توفرها برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، GIS، ولعل أهم ماتقدمه التقنيات الإحصائية المكانية Geostatistical Techniques هو إمكانية التحقق من النتائج التي نتوصل إليها حيث تزويدنا بمؤشرات لتحديد احتمال صحة النتائج وفق درجة ثقة إحصائية. وهناك العديد من الدراسات التي استخدمت نماذج الاستيفاء المكاني لإنتاج خرائط التوقعات المكانية لمعدلات الأمطار السنوية. على سبيل المثال دراسة (Wu Hao, Xu) (2014, Caio Cezar Guedes Correa)⁽¹⁾، ودراسة (J. M. Miras-Avalos) (2007)⁽²⁾، دراسة (Chang)⁽³⁾، تم اختيار طرائق Kriging و (IDW)- Inverse Distance Weighted و (RBF)-Radial Basis Functions للمقارنة واختيار الأفضل لنمذجة التوزيع المكاني لأمطار العراق حسب المعدلات السنوية لـ (19) محطة مناخية موزعة على مساحة العراق، واستخدمت القيمة الأقل لـ RSS وبناء عليه وجد أن النموذج الكروي Spherical هو النموذج الأفضل لرسم خارطة التنبؤ المكاني لأمطار العراق بناءً على دقة صدق البيانات cross-validation وقيمة أقل للجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (RMSE=79.52) ومتوسط الخطأ المطلق (MAE=1.1-)، ونسبة خطأ لا تتجاوز 10%.

مشكلة البحث:

تؤكد مشكلة البحث على ضعف الطرق التقليدية في تحديد المناطق المطرية في البيئات المختلفة باستخدام بيانات الامطار على خلاف تقنيات الاحصائية المكانية ذات القدرة على محاكاة الواقع رياضيا ومكانية ترسيم حدود الاختلافات المكانية للامطار باستخدام الاستيفاء المكاني Spatial Models و Interpolation وصولا الى كشف الامكانات البيئية واعتمادها في عمليات التنمية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث بشكل رئيسي الى إبراز التباين المكاني لخصائص معدلات الامطار السنوية في العراق من خلال محاكاة الواقع باستخدام نماذج الاستيفاء المكاني Spatial nterpolation Models في تقنيات التحليل الجيوإحصائي Geostatistical Analysis .

الموقع والمساحة:

يقع العراق في شمال شرق الوطن العربي الى الجنوب الغربي من قارة آسيا ممتدا من دائرتي عرض 29-37 شمالا ومن خطي طول 38-48 شرقا , هذا الموقع يجعل مناخ العراق انتقالي بين مناخ الصحراء ومناخ البحر المتوسط وهو مناخ قاري يتصف بالجفاف وارتفاع درجات الحرارة صيفا وانخفاضها مع قلة الامطار شتاءا, يحد العراق من الشمال تركيا ومن الجنوب الخليج العربي والكويت والسعودية ومن الغرب الاردن والمساحة تبلغ (435052 كم² , مع مساحة المياه الاقليمية 924 كم²).



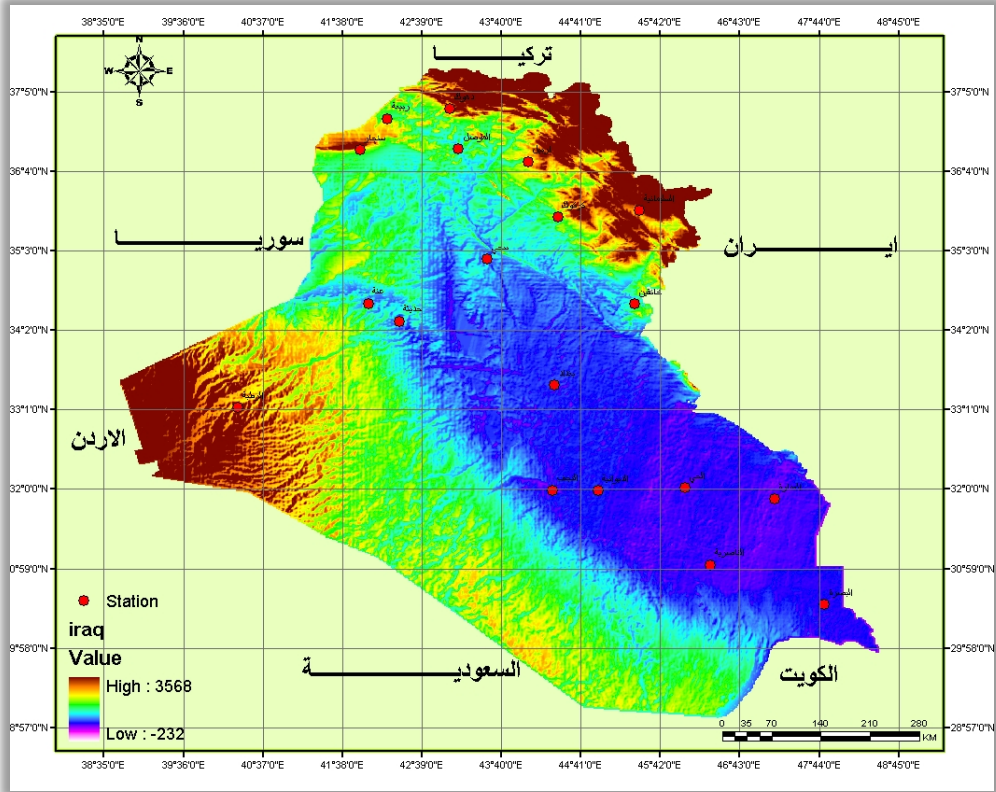
شكل (1) خارطة العراق الادارية

ت	المحطة	الموقع الفلكي		الارتفاع عن مستوى سطح الحرام المستوي	معدل الامطار المستوي
		دائرة العرض	قوس الطول		
1	السليمانية	35.32	45.27	843	724.9
2	دهوك	36.52	43.00	276	524.8
3	اربيل	36.09	44.00	420	441.0
4	الموصل	36.19	43.09	223	370.3
5	ربيعه	36.47	42.06	382	364.4
6	سنجار	36.19	41.50	550	377.2
7	كركوك	35.28	44.24	331	376.6
8	خانقين	34.29	45.23	175	312.1
9	بيجي	34.54	43.32	115	159.4
10	الرطبة	33.03	40.17	630	124.0
11	عنة	34.22	41.57	138	147.6
12	حديفة	34.08	42.21	108	137.3
13	بغداد المطار	33.18	44.24	31	127.4
14	النجف	31.57	44.19	53	104.6
15	الديوانية	31.57	44.57	20	109.4
16	الحي	32.08	46.02	17	146.5
17	الناصرية	31.01	46.14	5	126.3
18	العصارة	31.50	47.10	9	180.4
19	البصرة	30.31	47.47	2	148.0

جدول (1) قاعدة بيانات المحطات المناخية

طرائق البحث ومواده:

تساعد ادوات التحليل الإحصائي المكاني Geostatistical Analysis في نظم المعلومات الجغرافية على كشف التباينات المكانية Spatial Variance، للظواهر الجغرافية، والذي يعد من المقاييس الهامة المطبقة في الدراسات الجغرافية لأنه يظهر درجة التفاوت والاختلاف في توزيع الظاهرة المدروسة في الوحدة المكانية⁽⁴⁾، يتناول رسم خارطة التنبؤ المكاني لتوزيع معدلات الامطار السنوية في العراق ورسم حدود الاقاليم المناخية لظمان ادارة الموارد الطبيعية بشكل افضل واستثمارها وفق امكانياتها . باستخدام خرائط الاستيفاء المكاني Maps Spatial Interpolation، التي تعتمد على أخذ البيانات المتوفرة في مواقع المحطات المناخية، ثم التنبؤ بالبيانات المطلوبة في المناطق التي لا توجد فيها أية قياسات باستخدام نماذج رياضية حاسوبية، اخذت مجموعة بيانات معدلات امطار السنوية للفترة 1970 - 2013 من محطات الارصاد الجوية في محافظات العراق شكل(2). وتم ادخال قاعدة البيانات المكانية والوصفية في برنامج ArcGIS V.10.3 ثم تم استكشاف البيانات Exploratory spatial data analysis للتحقق من الخصائص الإحصائية، وتحديد ملاءمة البيانات لتوليد السطح الاحصائي ام لا. ثم اجراء عمليات التحليل الاحصائي المكاني، باستخدام تقنية (Geostatistica) في برنامج ArcGIS 10.3، بمقارنة طرق (Kriging) مع طريقتي (IDW) و (RBF) من اجل التنبؤ الاحصائي المكاني لخارطة الامطار السنوية وبتقريب ملائم (Fitted) لعدة نماذج من (Semivariograms) للطرائق الثلاثة، وتم اختيار النموذج النهائي باعتماد نتائج منحني التصديق، او (التحقق المتبادل)(cross-validation) لاختبار مدى صلاحية النموذج المختار ومقياس جذر مربع الخطا التربيعي⁽⁵⁾ RMSE root Mean Square erre، و متوسط الخطا المطلق MAE mean absolute error. التي تعطي التمثيل الافضل لرسم خارطة الامطار لمنطقة الدراسة، وبشكل مقارب للواقع. باستخدام احدى تقنيات الاستكمال، ذات الاستخدام الواسع في دراسة المتغيرات المناخية والهيدرولوجية في السنوات الأخيرة⁽⁶⁾.



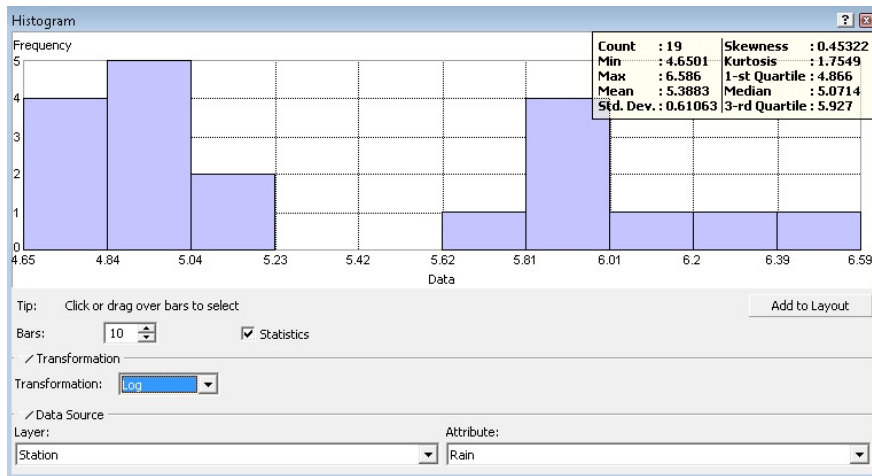
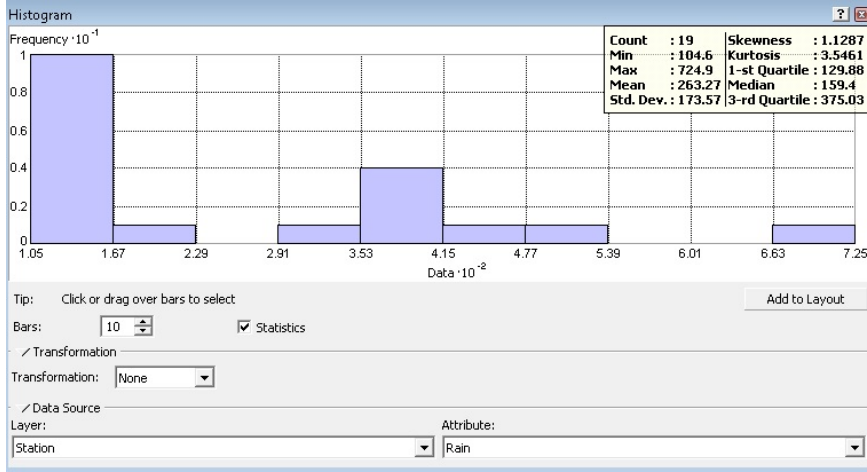
شكل (2) مواقع المحطات المناخية في العراق

النتائج والمناقشة

أولاً: استكشاف وتحليل البيانات :

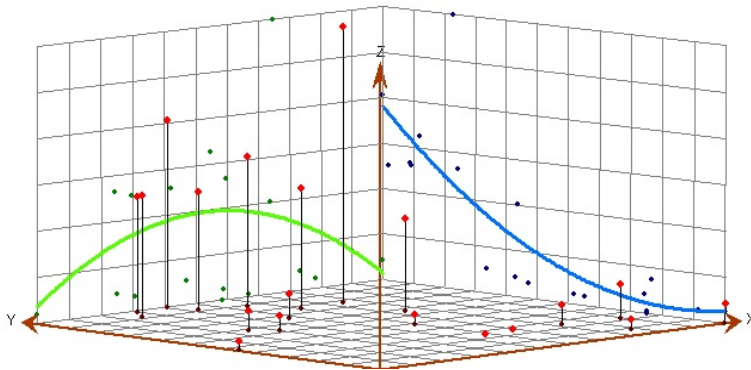
من أجل تنفيذ خارطة الاستيفاء المكاني باستخدام تقنيات التحليل الإحصائي المكاني Geostatistical Analysis Technical تم إجراء تحليل الهيكل المكاني للبيانات فقد صممت برمجيات GIS لدعم مجموعة من التحليلات الجغرافية لدراسة واستكشاف البيانات لتطوير واختبار النماذج المكانية الذي تعطي نتائج أفضل إذا كانت البيانات موزعة بشكل طبيعي

Normal Distribution, حيث تتوفر في ملحق محل الإحصاء المكاني أدوات لمعرفة طبيعة توزيع البيانات مثل المدرج التكراري Histogram، إذ يمكن بواسطته اختبار توزيع البيانات بالملاحظة المباشرة، وباستعراض المؤشرات الإحصائية، وعموماً فإن الصفات المهمة للتوزيع لها القيمة المركزية، إذ يجب تقارب الوسط الحسابي والوسيط ليأخذ التوزيع شكلاً طبيعياً (Normal Distribution)⁽⁷⁾. عندما تكون البيانات ذات توزيع تكراري طبيعي بمنوال واحد يكون عليه من الضروري التحقق من الوضع الطبيعي للبيانات قبل تنفيذ النمذجة المكانية. لاستخدام الاختبار المناسب. في الشكل (3) ويلاحظ أن البيانات لا تتبع التوزيع الطبيعي، وتم تحويلها لوغاريتمياً شكل (4) ليصبح ذات توزيع طبيعي بعد تقارب قيمتي الوسط الحسابي Mean (5.3) و الوسيط Median (5.1) وان قيمة الالتواء (0.51) قريبة من (الصفر). وبدلالة الانحراف المعياري Standard Davison يلاحظ من الجدول (2) انخفاض قيمته عن المعدل (1.40) مما يدل على تماثل قيم الحرارة في توزيعها وانتشارها. بالنسبة لمعامل الالتواء يلاحظ ان شكل التوزيع من حيث درجة الالتواء يعطي انطباعاً على انحراف التوزيع نحو اليمين بدلالة قيمة معامل الالتواء الموجبة (0.45). وان شكل بيانات الحرارة وفق معامل التفرطح Kurtosis هي أكثر استواءاً، وتقل قيمته عن (3). والشكل (5) يوضح هيكل البيانات والقيم المتطرفة لمعدلات الامطار واتجاهاتها، حيث يوضح الخط الأزرق انخفاض قيم معدلات الامطار بالاتجاه من الشمال الى الجنوب ووجود تحدد بالاتجاه بين الشرق والغرب لتدل على ارتفاع قيم معدلات الامطار وسط العراق أكثر من الجانبين كما هو في الشكل باللون الأخضر. اما شكل (6) فيوضح العرض الثلاثي الابعاد 3D للبيانات .

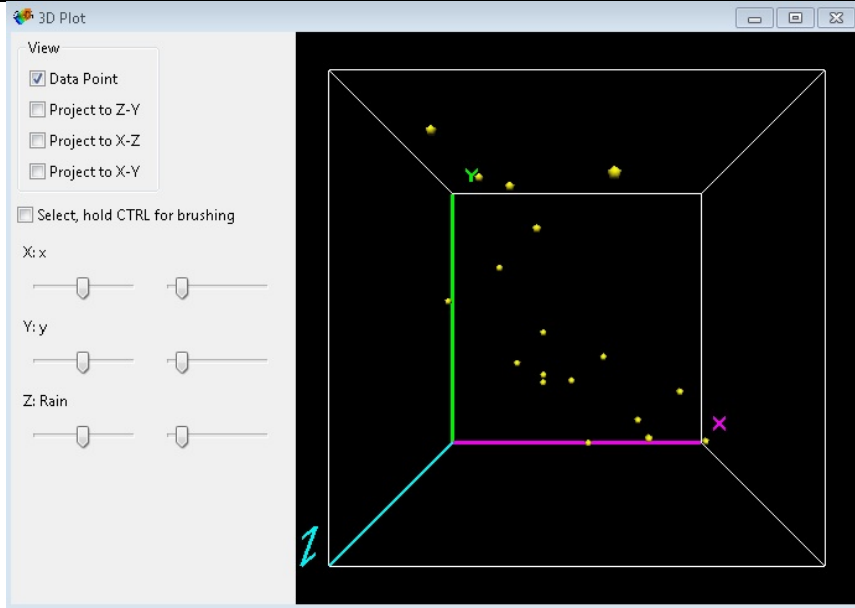


شكل (4) المدرج التكراري للبيانات بعد التوزيع اللوغارتمي Loq

log	none	Normalizing	الجدولة
19	19	Number of sample	عدد النقاط المقاسة
4.6501	104.6	Min	القيمة الدنيا
6.586	724.9	Max	القيمة العظمى
5.388	263.27	Mean	المتوسط
5.0714	159.4	Median	الوسيط
0.6106	173.57	Std.Dev	الانحراف المعياري
0.4532	1.1287	Skewness	الانثناء
1.7549	3.5461	Kurtosis	التقلطح



شكل (5) الهيكل المكاني لنمط توزيع بيانات الامطار



شكل (6) العرض الثلاثي الابعاد 3D لبيانات الامطار

الارتباط الذاتي المكاني (8):

coefficients (Moran Index) Spatial Autocorrelation

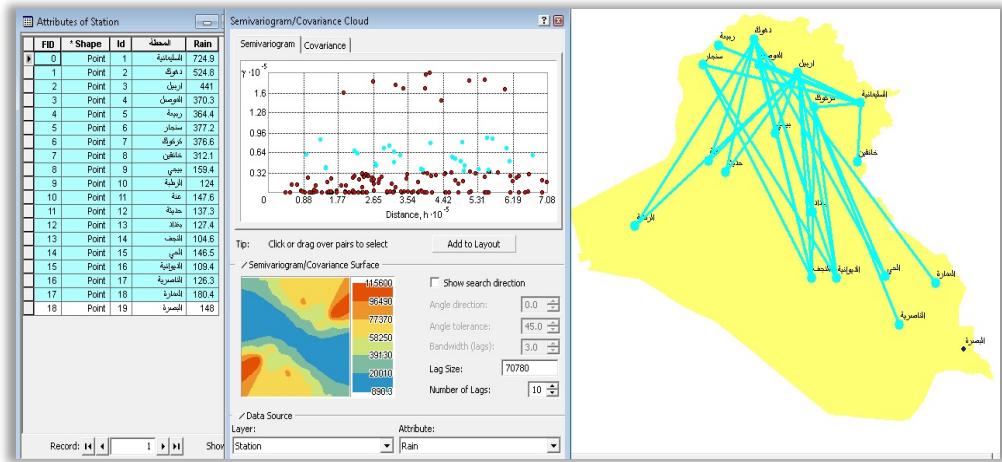
يستخدم خبراء الاحصاء الارتباط الذاتي المكاني **coefficients Spatial Autocorrelation**

في عمليات كشف وقياس تشابه الظواهر المتجاورة والتي تعتمد على المقارنة بين القيمة المتعلقة بكل معلم مع القيمة المتوسطة للبنية والتي تسمى القيمة الاحصائية (Moran Index). وفي هذه الطريقة اذا كان الفرق بين المعالم المتجاورة اصغر من الفرق بين كافة المعالم فالقيم المتجاورة متشابهة متجمعة. عادة ماترتبط متغيرات الظواهر الجغرافية بقيم المتغيرات المتجاورة مكانيا، فعندما تتأثر وترتبط قيم احد المتغيرات في موقع ما مع قيم نفس التغير في موقع مجاور فان ذلك يظهر

ارتباطا ذاتيا بين المتغيرين⁽⁹⁾, ويشار اليه في بعض الاحيان بتاثير التجاور (Neighborhood effect) او التماس (Contiguity)⁽¹⁰⁾.

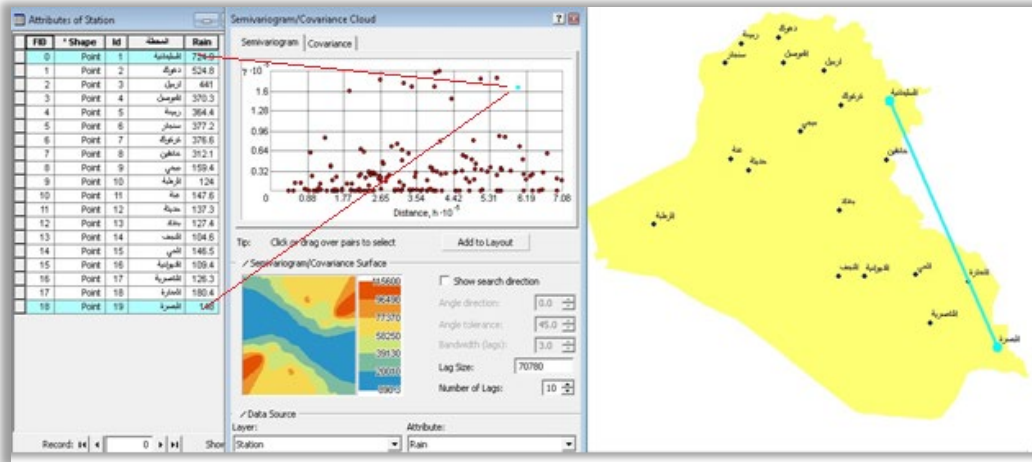
ويعد دليل موران (Moran Index) احد المقاييس المهمة في الكشف عن مدى الارتباط الذاتي المكاني بين عناصر الظاهرة المدروسة ويقيم نمط الهيكل المكاني لها شكل (7) هل هو نمط مشتت ام منتظم ام هو عشوائي, وان كل من الدرجة المعيارية (Z) والدرجة الاحتمالية (P) تقييم اهمية ذلك. وتتراوح قيمة الدليل بين (-1) و (+1) فإذا كانت قيمة الدليل قريبة من (+1) فان ذلك يدل على النمط المتجمع, اما اذا اقتربت قيمته من (-1) فان ذلك يدل على النمط العشوائي ويتباين نمط التوزيع بين التجمع والانتظام والعشوائية حسب قيمة الدليل. ان الاطار العام لاختبار الفرضيات يعد اداة جيدة للحكم على طبيعة ونمط التوزيع المكاني للظاهرة الجغرافية. خصوصا وان نتائج المقاييس المستخدمة ضمن برنامج (ArcGIS 9.3) تعتمد اعتمادا كلياً على مبادئ اختبار الفرضيات, فالامر يقضي اولا تحديد الفرضية المبدئية (فرضية العدم) او الفرضية الصفرية, والتي تنص على عدم وجود نمط معين من التوزيع, وان النمط المتوقع هو نمط عشوائي ناتج بفعل الصدفة او الحظ. وبغية اتخاذ القرار بشأن قبول او رفض الفرضية السابقة. في حالة استخدام المعامل فان النظرية الصفرية تقر انه لا يوجد تجمع او تكتل مكاني لقيم الظواهر الجغرافية⁽¹¹⁾. لكن عندما تكون قيمة (P) صغيرة, وان القيمة المطلقة ل (Z) هي كبيرة جدا الى حد انها تقع خارج مستوى الثقة المطلوبة, فان النظرية الصفرية ترفض. واذا كانت قيمة المعامل اكثر من (صفر) فان مجموعة الظواهر تظهر بشكل متجمع واذا كانت القيمة اقل من (صفر) فان مجموعة الظواهر تظهر بشكل متباعد. يعتبر عرض البيانات الجغرافية على الخريطة او عرض القيم المرتبطة بها احدى طرق كشف النماذج المكانية, الذي تشكل الخصائص المرتبطة بالظواهر. ويعتمد قياس النماذج المكانية لقيم الخصائص المرتبطة بالظواهر على ان الظواهر القريبة من بعضها مكانياً تتشابه في قيم الخاصية المدروسة. وتنسب هذه الفكرة للجغرافي توبلر (Waldo Tobler)⁽¹²⁾. والفكرة الاساسية هي ان المناطق المتقاربة متشابهة. والقيم المتجاورة متشابهة, لتمثيل الظروف المحيطة. وعندما تتشابه قيم الظواهر المتجاورة بشكل اكبر من القيم المتباعدة نقول ان هناك ارتباط ذاتي مكاني متبادل موجب, شكل (7) يوضح تشابه المواقع المتجاورة في معدلات

الامطار السنوية في علاقة (ارتباط موجبة). ويتم الكشف عن وجود العلاقة الارتباطية باستخدام اداة Semivariogram, وان كل نقطة في الشكل تمثل زوج من النقاط كما في الشكل (8) .

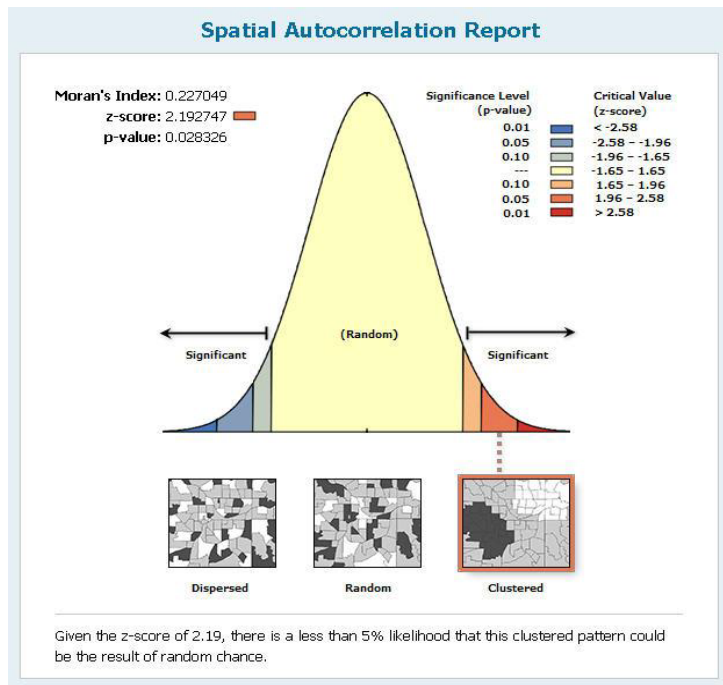


شكل (7) الهيكل المكاني والارتباط الذاتي المكاني لبيانات الامطار

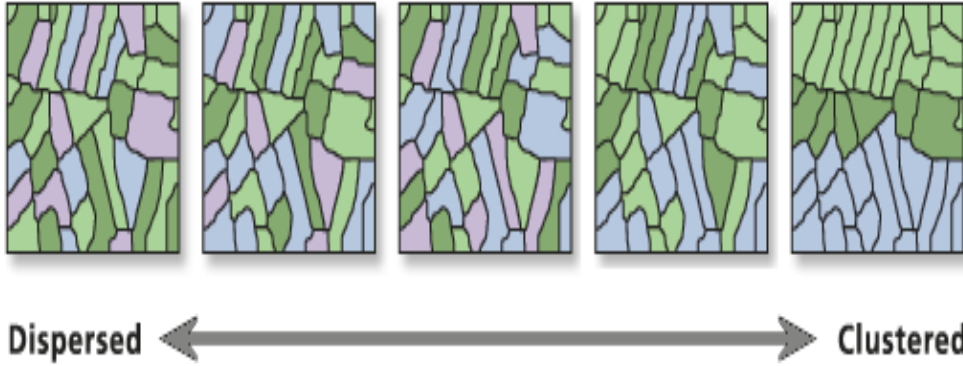
اما اذا اختلفت قيم الظواهر المتجاورة نقول بان هناك (ارتباط ذاتي مكاني متبادل سالب), أي عدم وجود ارتباط ذاتي مكاني. وبالنسبة للظواهر الجغرافية يعتبر الارتباط الذاتي المكاني هو الحالة الاكثر شيوعا⁽¹³⁾ . ان كل نقطة في الشكل تمثل زوج من المحطات المناخية كما موضح في الشكل (8) وتمثل حالة من التطرف في قيم معدلات الامطار لتجمع بين قيمتين متناقضتين الاولى محطة السليمانية والثانية البصرة ويمثل (ارتباط مكاني سالب).



شكل (8) الارتباط الذاتي المكاني السالب لبيانات الامطار



شكل (9) التقرير الاحصائي لتطبيق النموذج



شكل (10) نمط التوزيع المكاني لنموذج الارتباط الذاتي المكاني

1- الأساس الرياضي للنموذج:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2}$$

قيمة (+) = تجمع (علاقة مكانية موجبة)

قيمة (-) = تباعد (علاقة مكانية سالبة)

قيمة (0) = عشوائي

2- اختبار الدلالة الاحصائية:

يستخدم قيمة (Z) لمعرفة فيما اذا كانت قيمة معامل الارتباط الذاتي المكاني (Moran I) ذات دلالة احصائية تعبر عن درجة ثقة معينة حيث يتم قياس احتمال التشابه بين المعالم ومجاورتها والتي

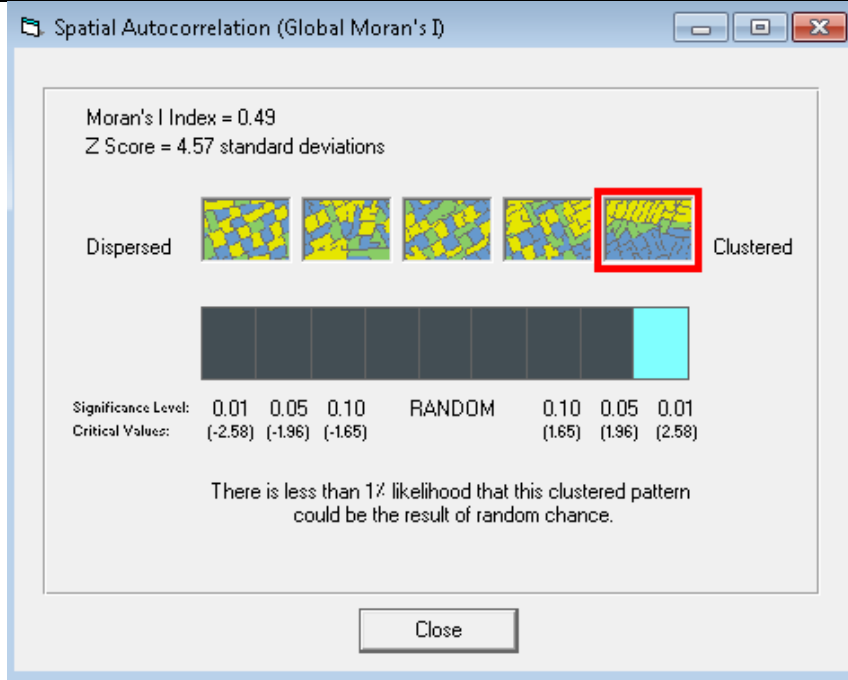
لا تنتج مصادفة وتحسب قيمة (Z) التي تدل على احتمال الخطأ في رفض فرضية العدم. وتدل قيمة (Z) المرتفعة الموجبة على تشابه القيم المتجاوزة سواء كانت مرتفعة او منخفضة. اما القيم السالبة فتدل على قيمة مرتفعة محاطة بالقيم المنخفضة او بالعكس (14).

$$z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

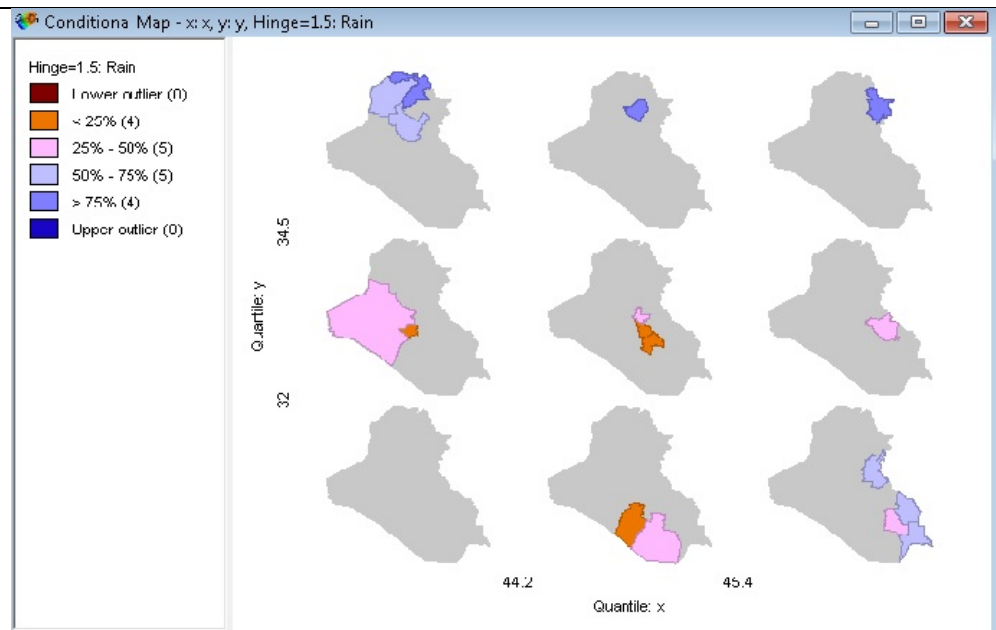
Z+: تدل قيمة Z+ الموجبة على تشابه القيم المتجاوزة سواء كانت مرتفعة او منخفضة.

Z-: تدل قيمة Z- السالبة على قيمة مرتفعة محاطة بقيم منخفضة. الشكل (11) يوضح التحليل الاحصائي للارتباط الذاتي المكاني لمحطات منطقة الدراسة حيث الارتباط المتكامل وقيم متشابه بدليل القيمة المرتفعة للدليل (Z=4.57) وما يؤكد ذلك شكل الـ Semivariogram, السابق الذكر.

لأن البيانات من المناطق القريبة من بعضهم البعض وتميل إلى أن تكون أكثر تشابه وارتباط من تلك التي على حد سواء من المناطق البعيدة،



شكل (11) النتيجة الاحصائية للارتباط الذاتي المكاني لبيانات الامطار



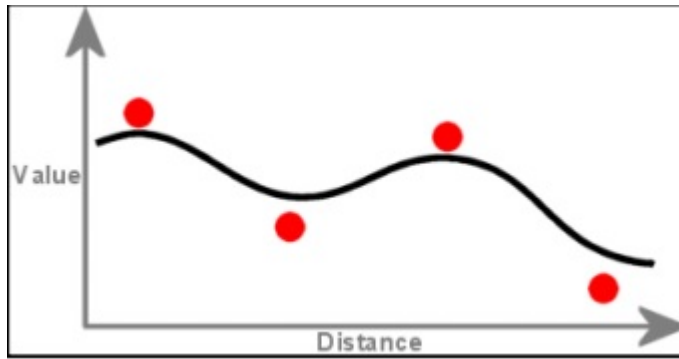
شكل (12) خرائط الامطار بالنسب المئوية

طرائق الاستيفاء المكاني داخل بيئة برنامج Arc GIS 10.3:

ضمن برامج الـ GIS ، حيث تقوم هذه البرامج بتطبيق عمليات رياضية لتحديد التوزيع المكاني للظواهر الجغرافية اعتباراً من مجموعة من القيم المقاسة ، تدعى هذه العملية بالاستيفاء أو الاشتقاق (Interpolation) وتقوم هذه العملية بتوقع القيم في نقاط مجهولة و التي لم يتم قياس قيمها اعتماداً على النقاط المعروفة القيم والتي تم قياسها من الواقع ، تطلق على الصورة الناتجة من الحساب خارطة تنبؤية، يوجد عدة طرق للاشتقاق نذكر منها:

1- نموذج مقلوب المسافة الموزونة: "IDW Inverse distance weighted" : تستخدم طريقة مقلوب المسافة الموزونة IDW لتوليد السطح المعبر عن ظاهرة ما انطلاقاً من القيم المقاسة عند عدد من النقاط المنتمية لهذا السطح، من ثم يتم توليد شبكة من النقاط وتحسب قيم الظاهرة عند هذه النقاط وفق معادلة رياضية خاصة. يعتمد حساب قيمة الظاهرة عند نقطة من نقاط الشبكة على أساس إعطاء وزن لتأثير النقاط المقاسة بشكل يتناسب عكسياً مع بعدها عن النقطة المعتمدة (15) .

شكل (13) هذا الأسلوب له ارتباط وثيق بالمسافة حيث إن القيم تتناقص مع المسافة بمعنى إن القيم المتنبئة لن تتجاوز قيم العينات المعلومة فالنتبؤ سوف يكون محصورا بين القيم المعلومة تعتمد هذه الطريقة بكفاءة عالية على الترابط المكاني حيث تعتمد هذه الطريقة على الاستقادة من البيانات المقيسة في نقاط محددة في المنطقة, من أجل حساب بيانات مطلوبة في نقاط لا تتوفر فيها أية قياسات⁽¹⁶⁾, حيث تؤثر بيانات كل نقطة معلومة بشكل أكبر كلما كانت قريبة من النقطة التي لا تتوفر فيها قياسات ويقل تأثيرها كلما ابتعدت عنها⁽¹⁷⁾, أي كل نقطة معلومة يكون لها وزن معين يدخل في الحساب⁽¹⁸⁾.



شكل (13) يوضح مرور خط التنبؤ أسفل النقاط

معادلة نموذج مقلوب المسافة الموزونة IDW:

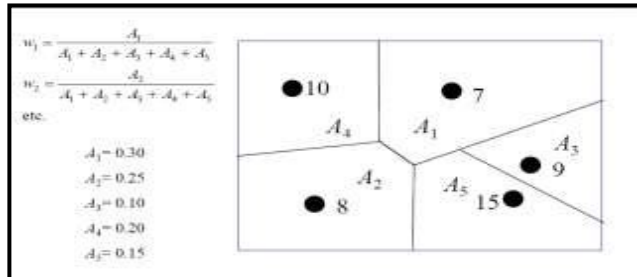
$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z(x_i)$$

حيث ان : $Z(X_0)$ قيمة البارومتر المدروس في الموقع غير المقاس

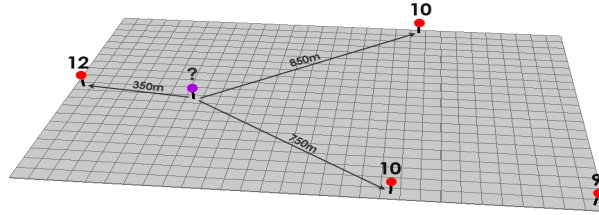
$Z(X_i)$ قيمة البارومتر المدروس في المنطقة المدروسة

W_i الوزن الخاص بكل موقع في المنطقة المدروسة

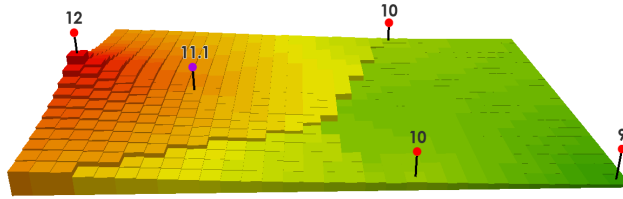
تتلخص فكرة الوزن في إعطاء وزن خاص للنقطة عند حساب المركز المتوسط حيث إن الأوزان لا تعتمد فقط على المسافة الفاصلة بين النقاط و إنما على التوزيع المكاني لهذه النقاط والذي يعتمد بدوره على ما يسمى الارتباط الذاتي بين النقاط Autocorrelation. وبحسب الوزن كما في الشكل (14) وشكل (15) حيث ان : W_i هي الوزن الخاص بكل موقع في المنطقة المدروسة بحيث يكون $\sum_{i=0}^n w_i = 1$ أي مجموع الأوزان لكل النقاط يساوي الواحد.



شكل (14) طريقة حساب وزن النقطة

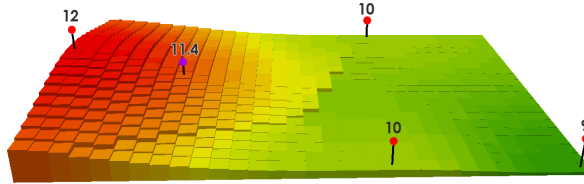


شكل (15) المسافة الفاصلة بين النقاط



شكل (16) قيمة الخلية وفق القوة **power of 1** تساوي

$$((12/350) + (10/750) + (10/850)) / ((1/350) + (1/750) + (1/850)) = 11.1$$



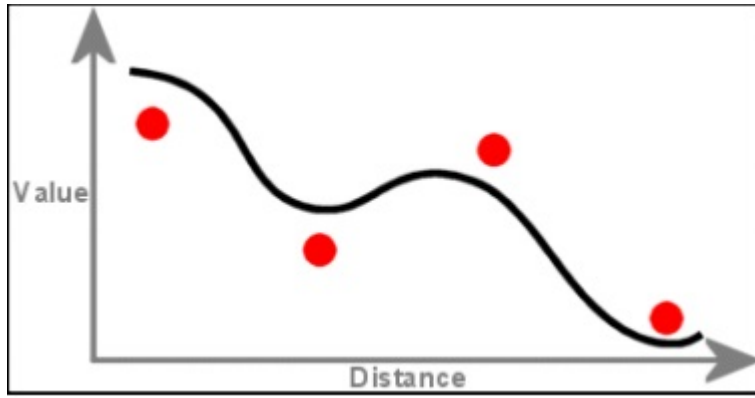
شكل (17) قيمة الخلية وفق القوة **power of 2** تساوي

$$= ((12/350^2) + (10/750^2) + (10/850^2)) / ((1/350^2) + (1/750^2) + (1/850^2)) = 11.4$$

ثانياً: نموذج كريجنج البسيط (SK) Simple kriging.

يعد نموذج **kriging** من أكثر الأساليب تعقيداً وأقواها ويطبق طرق إحصائية متطورة ويحتاج دراية ومعرفة بالإحصاء المكاني geostatistical لأن البيانات لا بد أن تخضع لفحص إحصائي قبل تطبيقها، فهو يعتمد على المسافة والعلاقة بين القيم المعلومة في تنبؤ القيم المجهولة، ومن الممكن في تنبؤ القيم أن تتجاوز القيم المعلومة أو تقل عنها لكن لا تمر عليها من الظواهر ويعد

افضل اجراء للاستيفاء الخطي غير المتحيز⁽¹⁹⁾, وهي طريقة مقارنة, تعطي أفضل تنبؤ بالقيم المجهولة لتابع عشوائي. تستخدم هذه الطريقة النماذج الإحصائية التي تشمل الارتباط الذاتي في اكتشاف العلاقات المكانية بين نقاط العينة وذلك عن طريق استخدام دوال التغير, وتستخدم المتوسط الحسابي في عملية التخمين ولكن بشكل أكثر تعقيدا حيث ان كل النقاط تدخل في حساب المتوسط بشكل شبكي, كل طريقة من هذه الطرق تستخدم أسلوب مختلف في تقدير قيم الخلايا المنتجة من مجموعة النقاط المختارة, عملية اختيار أي طريقة تعتمد على نوع البيانات التي نقوم بإنشاء السطح منها, كذلك توزيع النقاط والظواهر التي تجري عليها الدراسة⁽²⁰⁾.



شكل (18) وضع مرور خط التنبؤ من أعلى وأسفل النقاط في أسلوب Kriging

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

حيث ان :

$Z(s_i)$ القيمة المقاسة عند الموقع i

λ_i : الوزن غير المعروف للقيمة المقاسة عند الموقع i

s_0 : موقع التنبؤ

3- نموذج دوال القاعدة الشعاعية (RBF) Radial Basis Functions:

تعد تقنية الدالة الشعاعية (RBF) احدى تقنيات الاستيفاء المكاني المضبوطة, والسطح المشتق يمر عبر كل قيمة للنماذج المقاسة (21). وهي مشابهة لنموذج (IDW) عدا كونها تخمن القيم التي تقع فوق الحد الاقصى والقيم تحت الحد الادنى, ان (RBF) تستخدم واحدة من الوظائف الاساسية الخمسة لمعالجة قيمة العينة المقاسة, وبالتالي انشاء سطح الاستيفاء المكاني. ان كل وظيفة اساسية لها شكل مختلف وتنتج سطح استيفائي مختلف (22), ان تقنية (RBF) حالة خاصة من طرق الاستيفاء, وهي مشابهة من الناحية النظرية لتركيب غشاء المطاط من خلال قيم النماذج المقاسة مع التقليل من الانحناء الكلي للسطح (23), ان الوظيفة الاساسية التي يتم اختيارها هي التي تحدد كيفية قيام الغشاء المطاطي بالتعديل بين القيم (24).

$$A(f) + \sum_{i=1}^n w_i^2 [f(x_i) - y(x_i)]^2$$

حيث ان :

$$Y(X_i) = Z(X_i) + \sum (X_i)$$

مصدر الخطأ العشوائي

Z : القيمة المقاسة للمواصفات عند النقطة X_i

A(F): تمثيل نعومة دالة F والمصطلح الثاني تمثيل القرب للبين الاول

Accuracy لمقارنة طرائق الاستيفاء المكاني (25):

تستخدم المقاييس الإحصائية لاختيار أفضل طرائق الاستيفاء دقة و تقييم أداء النموذج، ضمن اجراءات صدق النتائج (Cross-Validation) لمقارنة القيم المرصودة والقيم المتوقعة والنموذج الذي يعطي تقديرات دقيقة هي وفق المعايير التالية :

1- متوسط الخطأ المتوقع Mean error ومتوسط الخطأ المقاس Mean standardized يجب أن تكون قريباً من الصفر (يستعمل لمعرفة صلاحية النموذج).

2- الجذر التربيعي لمتوسط الأخطاء Root-mean-square error ومعدل الأخطاء المعيارية Average standard error يجب أن يكون صغيراً بقدر الإمكان لتحديد اقتراب القيم المتوقع من القيم المقاسة (هذه المقاييس مهمة عندما تقارن نماذج).

3- الجذر التربيعي القياسي لمتوسط الأخطاء Root-mean-square standard error يجب أن يكون قريباً من الواحد⁽²⁶⁾.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (O_i - E_i)^2}{j}}$$

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^j (|O_i - E_i|)}{J}$$

$$APE = \frac{\sum_{i=1}^j (|O_i - E_i|)}{O_i} \times 100$$

حيث ان:

O_i = القيمة المقاسة للموقع او نقطة ا

E_i = القيمة المتوقعة انفس الموقع

J = عدد المشاهدات

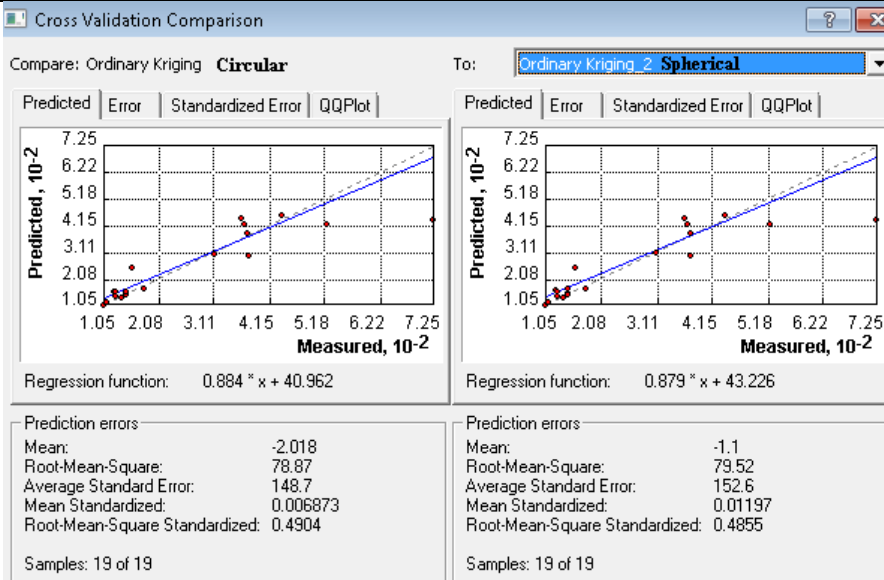
مقارنة طرق الاستيفاء المكاني: Comparison of Different Interpolation Methods

للمقارنة بين طرائق الاستيفاء المكاني وفرت برمجيات ArcGIS 10.3 مجموعة ادوات احصائية مكانية Spatial Statistical Tools تسمى استخدام اختبار صدق النتائج (Cross-Validation) (27) لاختبار دقة عمليات الاستيفاء المكاني والحكم احصائيا على افضل طريقة لانتاج خارطة التنبؤ المكاني ,كون خرائط الاستيفاء المكاني لبيانات الظواهر الجغرافية المستمرة تنتج نوع من التعميم الخرائطي مقارنة بين الواقع الحقيقي والقيم المتوقعة, وينتج عن هذا التعميم نوع من درجات الخطا احصائيا,في عدم التطابق بين الواقع ونموذج تمثيل الظاهرة, يفترض ان يعطي النموذج تقديرات دقيقة بان تكون قيمة متوسط الخطا المتوقع (Mean Prediction Error) (MAE) والخطا المقاس (Mean Standardized) (MSE) ومتوسط الخطا النسبي (Mean relative error) (MRE) قريبة من الصفر, والجذر التربيعي لمتوسط الأخطاء (Root-mean-square error) (RMSE) ومعدل الأخطاء المعيارية (Average standard error) (ASE) يجب أن يكون صغيراً بقدر الإمكان (هذه المقاييس مهمة عندما تقارن النماذج) ,. والجذر التربيعي القياسي لمتوسط الأخطاء-Root-mean-square standard error (RMSSE) يجب أن يكون قريباً من (واحد).ولكشف الاختلافات بين القيم المتوقعة (Predicted Data) والقيم المقاسة (measuring Data) فيكون من خلال مدى اقتراب قيمة متوسط الخطا المعياري ASE Average Standard Error مع قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخطا RMSE .فاذا تقاربت القيم تكون الاختلافات بسيطة ,والجدول (3) يوضح القيم الاحصائية لطرائق الاستيفاء المكاني , وبناءا على القيمة الاصغر للمقاييس الاحصائية . ومن نتيجة المقارنة الاحصائية بين طرائق (Kriging – spherical model) مع طريقة (IDW) وطريقة (RBF) الاشكال (19, 20, 21, 22, 23) والتحقق من صحة النتائج باستخدام (Cross-Validation) ان طريقة (Kriging – spherical model) شكل (24) هو الاسلوب الافضل لتمثيل خارطة التنبؤ المكاني لمعدلات الامطار السنوية في العراق كونها تمتلك اقل تقدير خطأ والانحراف عن القيم الاصلية

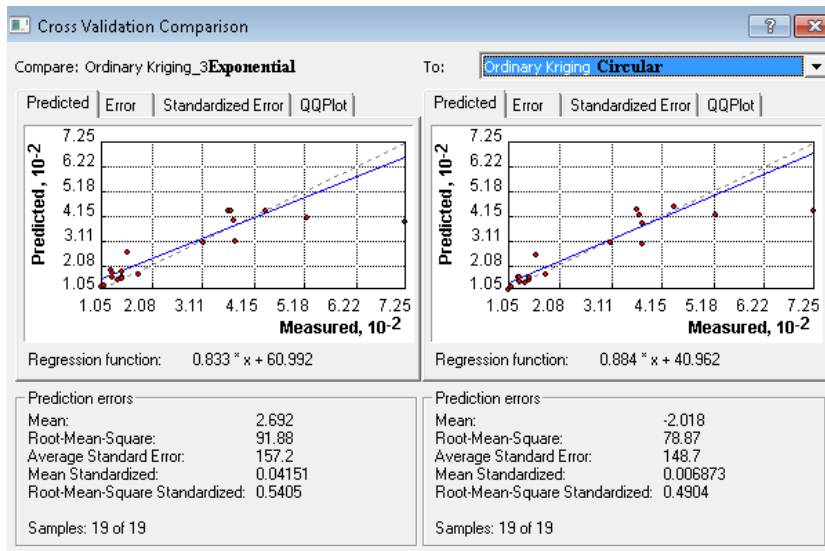
منخفضة جدا, كما موضح في الجدول (3) وهذه العملية هي الخطوة الاولى للحصول على جودة مكانية توقعات حقيقية لخارطة لامطار وتوزيعها المكاني على مساحة المنطقة. حيث تشير قيم متوسط الخطأ المتوقع (Mean Prediction Error) (MAE) الى اكثر انخفاض بلغت (-1.1) والخطأ المقاس (Mean Standardized Error) (MSE) بلغت (0.01) ومتوسط الخطأ النسبي (Mean relative error) (MRE) الى انخفاض واضح بلغت (0.02) ويلاحظ من الشكل (23) زيادة معدلات الامطار السنوية في الاجزاء الشمالية والشمالية الشرقية من العراق، حيث بلغت أقصاها (724.9) ملم المسجلة في محطة السلیمانانية الواقعة شمال شرق العراق، وأدناها (104.6) ملم في النجف الواقعة في الاجزاء الجنوبية الغربية من العراق .

جدول (3) حسابات دقة نتائج Cross-Validation للنماذج المستخدمة

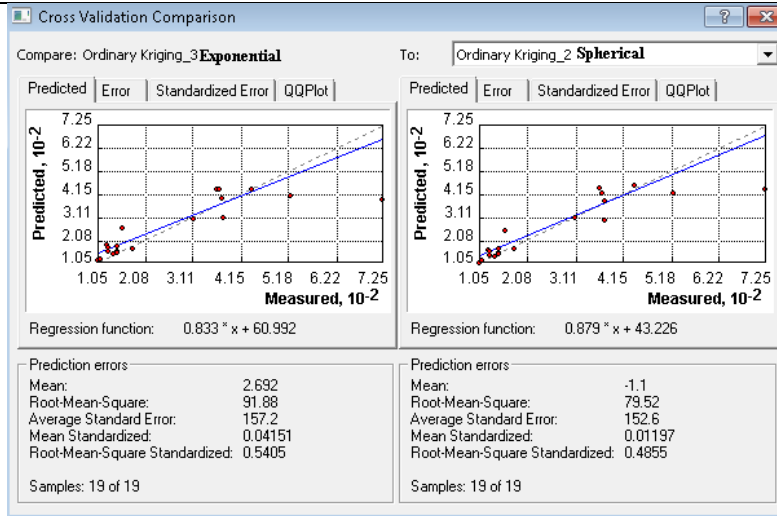
RBF	IDW	Kriging			النموذج Models
		Exponential	Spherical	Circular	
-3.3	1.956	2.692	-1.10	-2.018	متوسط الخطأ المتوقع MAE
-	-	0.05	0.02	0.04	متوسط الخطأ النسبي MRE
-	-	0.0415	0.01	0.0068	الخطأ المقاس MSE
82.19	109.6	91.88	79.52	78.87	الجذر التربيعي لمتوسط الأخطاء RMSE
-	-	0.5405	0.48	0.4904	الجذر التربيعي القياسي لمتوسط الأخطاء RMSS



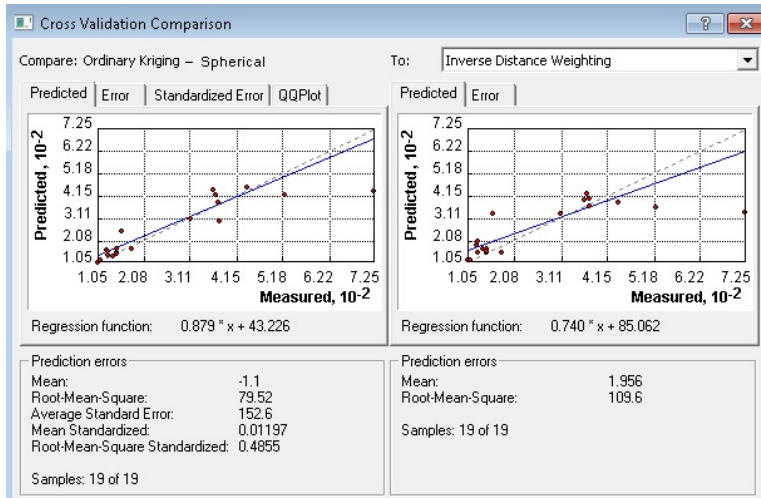
شكل (19) مقارنة بين طريقتي Circular و Spherical



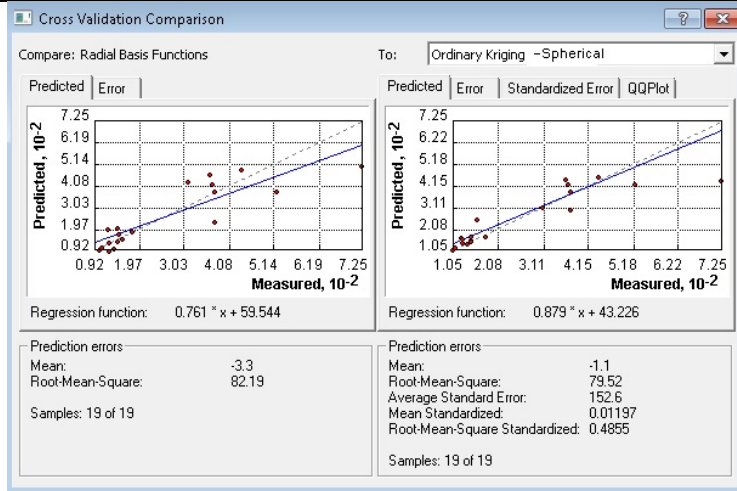
شكل (20) مقارنة بين طريقتي Exponential و Circular



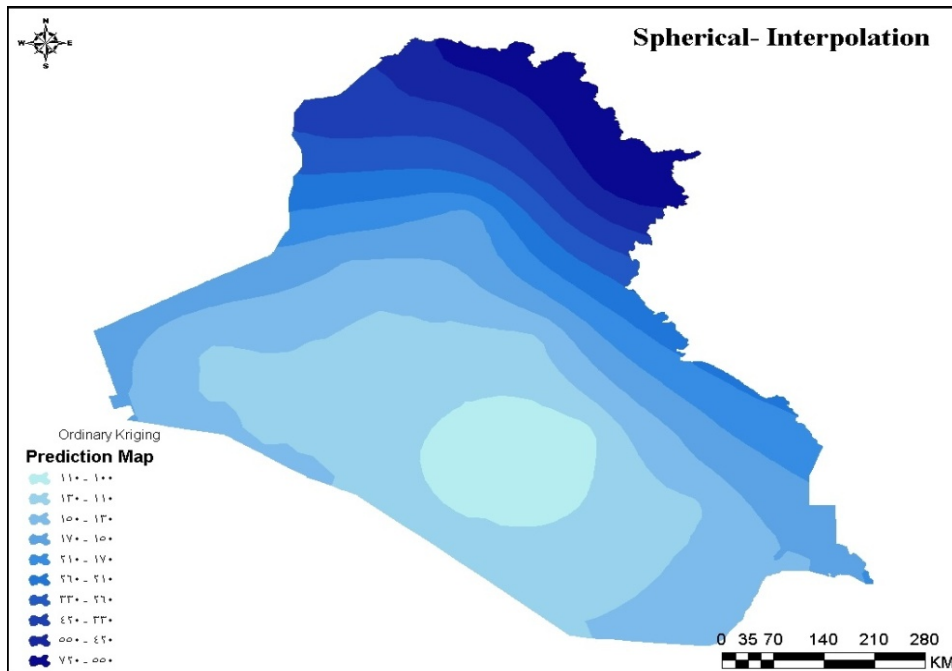
شكل (21) مقارنة بين طريقتي Exponential و Spherical



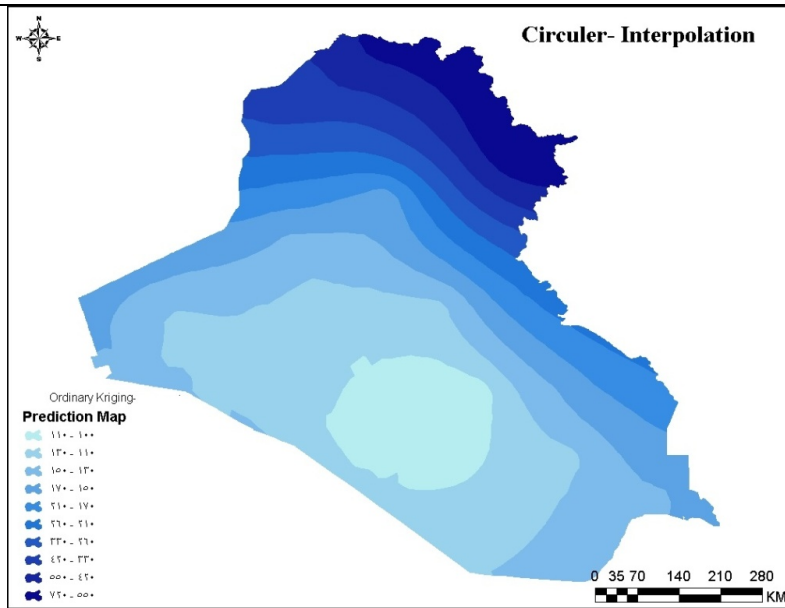
شكل (22) مقارنة بين طريقتي IDW و Spherical



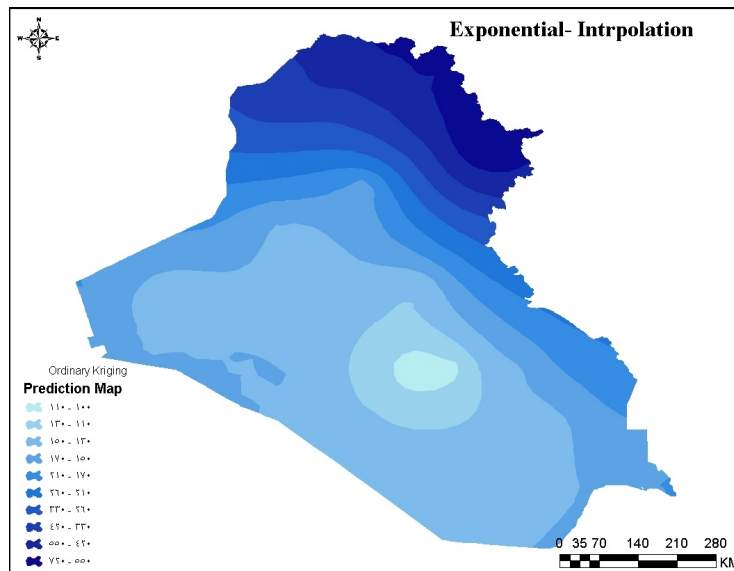
شكل (23) مقارنة بين طريقتي Spherical و RBF



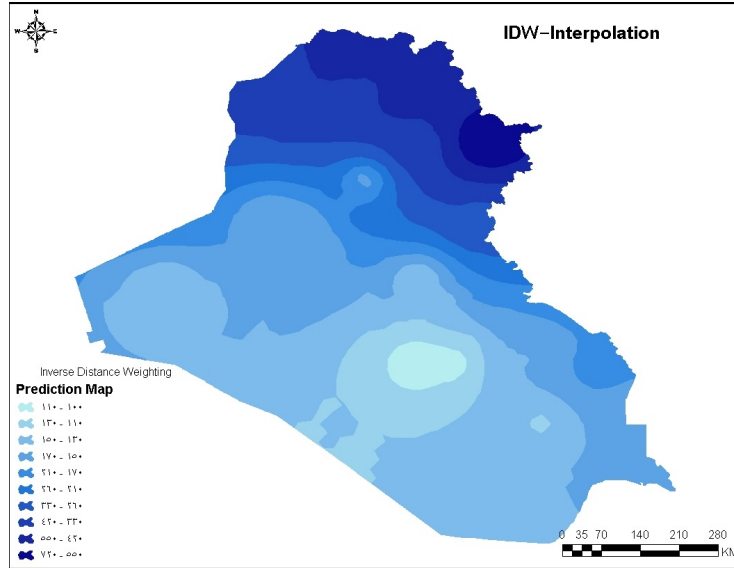
شكل (24) الاستيفاء المكاني لمعدلات الامطار السنوية وفق النموذج الكروي Spherical-Kriging



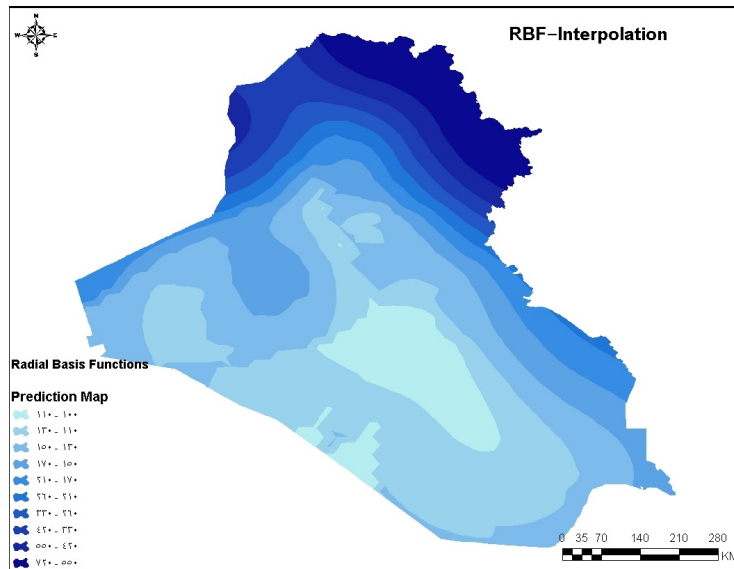
شكل (25) الاستيفاء المكاني لمعدلات الامطار السنوية وفق النموذج الكروي Circular-Kriging



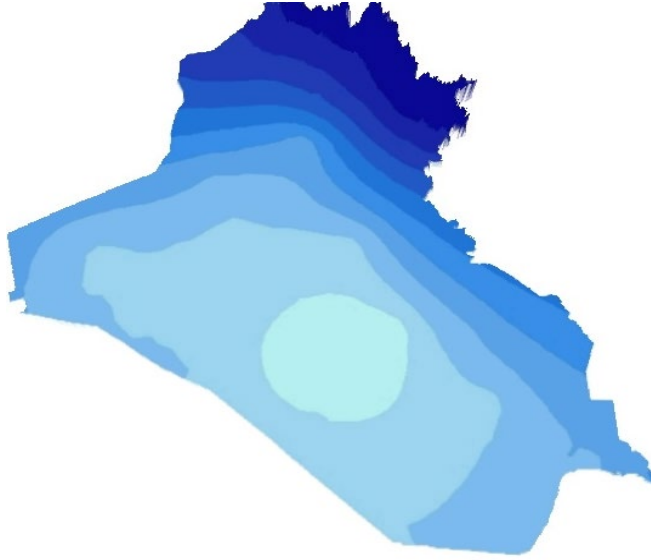
شكل (26) الاستيفاء المكاني لمعدلات الامطار السنوية وفق النموذج الكروي Exponential-Kriging



شكل (27) الاستيفاء المكاني لمعدلات الامطار السنوية وفق نموذج (IDW) Inverse Distance Weighting



شكل (28) الاستيفاء المكاني لمعدلات الامطار السنوية وفق نموذج RBF) Radial Basis Functions



شكل (29) الاستيفاء المكاني و لمعدلات الامطار السنوية فق النموذج الكروي Spherical-Kriging ثلاثي الابعاد 3D

الاستنتاجات:

- 1- اظهر التحليل الاحصائي لاستكشاف بيانات معدلات الامطار السنوية بانها غير موزعة بشكل طبيعي مما تطلب تحويلا لوغارتميا ليتوافق مع التوزيع الطبيعي.
- 2- وجود اتجاهين رئيسيين للبيانات الاول زيادة معدلات الامطار باتجاه جنوبي شمالي وشمالي شرقي، والثاني غربي شرقي لتوزيع الامطار في العراق.
- 3- كفاءة استخدام تقنيات التحليل الاحصائي المكاني في انتاج خرائط الاستيفاء المكاني لتحليل وتوزيع معدلات الامطار السنوية وتباينها المكاني في المناطق التي لا تتوفر فيها محطات للارصاد الجوي.
- 4- اختيار نموذج الاستيفاء المكاني الكروي Spherical-Kriging لانها اعطت التوزيع الاقرب لمعدلات الامطار السنوية للواقع بنسبة لا تقل عن 20% . بعد استخدام اختبار صدق النتائج (Cross-Validation) والحصول على اقل تقدير خطأ وانحراف عن القيم الاصلية .
- 5- انشاء قاعدة بيانات مكانية ووصفية لمحطات الارصاد الجوية لضمان انتاج خرائط رقمية مثالية.

المصادر:

- 1- Caio Cezar Guedes Correa., "Spatial Interpolation of Annual Rainfall in the State Mato Grosso Do Sul (Brazil) Using Different Transitive Theoretical Mathematical Models". International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.2014.
- 2- J. M. Mir'as-Avalos., "Mapping monthly rainfall data in Galicia (NW Spain) using inverse distances and geostatistical methods". Adv. Geosci., www.adv-geosci.net/10/51/2007.
- 3- Wu Hao, Xu Chang., " Comparison of Spatial Interpolation Methods for Precipitation in Ningxia, China". International Journal of Science and Research (IJSR), India Online ISSN: 2319-7064. Volume 2 Issue 8, August 2013.www.ijsr.net.
- 4- جريفت تيلور، الجغرافيا في القرن العشرين - دراسة لتقدمها وأساليبها وأهدافها واتجاهاتها، ترجمة: محمد السيد غلاب ومحمد مرسي أبو الليل، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1987.

- 5- Samue . I D.Stearns, Digital Signal Processing With Examples in . Matlab",CRC . Press, 2003.
- 6- Nasser A. Alsaaran, Experimental performance of spatial interpolators for ground water salinity. Internet (http://ajse.kfupm.edu.sa/articles/301A_01P.pdf) p7.
- 7- - هرمز ، أمير حنا ،الإحصاء الرياضي ، مديرية دار الكتب والنشر ، جامعة الموصل ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي،1990
- 8- 18-Longly,P.A.,Goodchild,M.F., Maguire,D.J., &Rhind,D.W.,(2001).“ *Geographic Information Systems and Science*.Chichester,,. England: John Wiley & Sons.
- 9-GayRobinson,Methods&techniques in human geography,john wiley&Sons,Chichester,England,1998,pp.270-274.
- 10- سميح احمد عودة ،اساسيات نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها في رؤية جغرافية،دار المسيرة للنشر والتوزيع،ط1،عمان،2005،ص109.
- 11- Ord, J. K. and Getis, A. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, Vol. 27, 1995,pp 286-306.
- 12- يمان سنكري ،التحليل الاحصائي للبيانات المكانية ، دار شعاع للنشر ، دمشق ،2000،ص123.
- 13- Cliff, Andrew D.; Ord, J. Keith: *Spatial Autocorrelation*. Pion, London, 1973, p. 178
- 14- G. Du, S. Zhang, and Y. Zhang, “Analyzing spatial auto-correlation of population distribution: A case of Shenyang city,” *Geographical Research*,vol. 26(2), 2007, pp. 383-390.
- 15- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N. (2001).*Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Redlands, ESRI, pp. 300.
- 16-Collins, J.R., Fred, C., (1995). A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA
- 17-Gundogdu, K.S. and Guney, I., (2007). Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging. *J Earth Sys Sci* 116 (1): pp. 49-55.
- 18- Uyan, M. and Cay, T. (2010). Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. Paper presented at the 3rd international conference on cartography and GIS. Nessebar, Bulgaria.
- 19- Poshtmasari, H.K., Sarvestani, Z.T., Kamkar, B., Shataei, S. and Sadeghi, S., (2012). Comparison of interpolation methods for estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (north of Iran). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. pp.157-167.



20- Webster, R. and Oliver, M., (2001). Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester

21-Schloeder C A, N E Zimmerman & M J Jacobs, 2001. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. Soil Science Society of America Journal, 65: 470-479

22- Poshtmasari, H.K., Sarvestani, Z.T., Kamkar, B., Shataei, S. and Sadeghi, S., (2012). Comparison of interpolation methods for estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (north of Iran). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. pp.157-167.

23- Webster, R. and Oliver, M., (2001). Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester

24 [http://earthscience.se/gisbox/index.php?title=Introduction to ESRI Geostatistical Analysis Using Interpolation Tools](http://earthscience.se/gisbox/index.php?title=Introduction_to_ESRI_Geostatistical_Analysis_Using_Interpolation_Tools)

25- Wu Hao, and Xu Chang, " Comparison of Spatial Interpolation Methods for Precipitation in Ningxia, China " International Journal of Science and Research (IJSR), India Online ISSN: 2319-7064. **Volume 2 Issue 8, August 2013** www.ijsr.net

26- M. G. Tewolde., Comparison of Different Interpolation Techniques to Map Temperature in the Southern Region of Eritrea., 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2010 Guimarães, Portugal.

27- Smith, M.J.de., Goodchild, M.F., & Goodchild, M.F. (2007). " *Geospatial Analysis A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools* ", (Second Edition). United State: Winchelsea Press.