

استعمال بعض الدوال اللبية المقترحة في تقدير أنموذج انحدار الخطأ المكاني
شبه ألمعلمي (SPSAR) بطريقة المقدر الخطي الموضوعي

أ. د. سجي محمد حسين
كلية الإدارة والاقتصاد / جامعة بغداد

أ. م. د. احمد عبد علي عكار
كلية الإدارة والاقتصاد / جامعة المستنصرية

تاريخ استلام البحث: 2022/07/22

تاريخ قبول البحوث: 2022/08/10

نشر البحث في العدد عشرون: ايلول / سبتمبر 2023

رمز التصنيف ديوي / النسخة الالكترونية (Online): 2522-64X/512.9

رمز التصنيف ديوي / النسخة الورقية (Print): 2519-948X/512.9

استعمال بعض الدوال اللبية المقترحة في تقدير أنموذج انحدار الخطأ المكاني شبه المعلمي (SPSAR) بطريقة المقدر الخطي الموضوعي

أ.م. د. احمد عبد علي عكار أ.د. سجي محمد حسين
كلية الإدارة والاقتصاد / جامعة المستنصرية كلية الإدارة والاقتصاد / جامعة بغداد

المستخلص

في هذا البحث تم استعمال طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) اللامعلمية وطريقة الدالة اللبية المقترحة الأولى (SUG1) والثانية (SUG2) اللامعلمية للبيانات المعتمدة مكانيا والتي من ضمنها إيجاد معلمة التمهيد (h) وفقا لمعيار العبور الشرعي (CV) لتقدير أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR)، كذلك تم استعمال طريقة الإمكان الأعظم لتقدير معلمة الاعتماد المكاني (ρ) في انموذج (SPSAR).

ومن خلال إجراء تجربة المحاكاة لثلاث حجوم عينات وثلاث مستويات مختلفة للتباين ولثلاث دوال ولثلاث قيم لمعلمة الاعتماد المكاني (ρ) وبتكرار 1000 مرة تم استعمال طرائق التقدير أعلاه لأنموذج (SPSAR) مستعملا مصفوفة التجاورات المكانية المعدلة في ظل معيار تجاور Queen وبمقارنة هذه الطرائق بمعيار متوسط الخطأ النسبي المطلق (MAPE) تبين أن أفضل طريقة في تقدير أنموذج SPSAR فهي طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) للدالة المقترحة الاولى (SUG1).

الكلمات الافتتاحية/ أنموذج (SPSAR) - المقدر الخطي الموضوعي - مصفوفة التجاورات المكانية - معيار تجاور Queen.

1- المقدمة

ظهر في السنوات الأخيرة اهتمام كبير من قبل الباحثين لموضوع تحليل البيانات المعتمدة مكانيا والخاصة في نماذج القياس الاقتصادي المكاني التي تعد إحدى أنواع النماذج القياسية، إذ إن هذه النماذج تهتم بدراسة التأثيرات المكانية بين مشاهدات الوحدات للظواهر المدروسة، كالظواهر الاقتصادية والزراعية والتجارية والخدمية والصحية وغيرها من الظواهر الأخرى وهذا ما يميز هذه النماذج عن النماذج القياسية التقليدية التي أهملت وبشكل كبير الاعتماد المكاني بين مشاهدات بيانات العينة في النقاط المختلفة من المكان وان هذه النماذج تهتم على الاعتمادية ما بين المشاهدات عند فترة زمنية معينة لذا فإن التأثيرات المكانية هي السبب الأساسي في وجود القياس الاقتصادي المكاني (Spatial Econometrics)، إذ أن الفرق هو الاعتماد المكاني للمشاهدات، وفي حالة عدم الأخذ بنظر الاعتبار الاعتماد المكاني فإن ذلك سوف يخالف فرضيات القياس الاقتصادي التقليدي الذي يؤدي إلى مقدرات متحيزة وغير متسقة أي غير كفؤة، لذا فإن التأثيرات المكانية لها تأثير واضح على أنموذج القياس الاقتصادي

وهو ما يسمى بالقياس الاقتصادي المكاني الذي يمثل الطريقة العلمية لتحليل السلاسل المكانية الاقتصادية.^[10] تم في هذا البحث استعمال أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR) الذي تم تقديره من خلال استعمال بعض طرائق التقدير شبه المعلمية، وان هذا الأنموذج يصف العلاقة بين متغير الاستجابة (المعتمد) والمتغيرات التوضيحية في ظل معيار التجاور المكاني Queen لمصفوفة التجاورات المكانية.^[7]

2- هدف البحث

إن الهدف من هذا البحث هو تقدير أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي Semi-Parametric Spatial Auto Regressive (SPSAR) والذي يعاني من مشكلة الاعتماد المكاني باستعمال عدة طرائق للتقدير، والمقارنة بين طرائق التقدير بالاعتماد على أسلوب المحاكاة من خلال معيار (MAPE).

3- أنموذج الدراسة

ان دراسة أنموذج الانحدار الذاتي المكاني شبه المعلمي هو لتوضيح تأثير المتغيرات التوضيحية على المتغير التابع في ظل وجود التأثيرات المكانية للمواقع المتجاورة لكل موقع من مواقع الدراسة، إذ يمكن دمج الاعتماد المكاني في أنموذج الانحدار الخطي العام من خلال تضمين متغير تابع متأخر مكانياً كأحد المتغيرات التوضيحية (WY) ويسمى هذا الأنموذج بأنموذج التأخر المكاني (Spatial Lag Model)، وهو مشابه بأنموذج السلاسل الزمنية فيما عدا أن ال (Lag) سيكون في مؤثر المكان وليس الزمان.^[1,2] فإذا كان لدينا أنموذج الانحدار الذاتي المكاني شبه المعلمي (SPSAR) العام والمبين كما في الصيغة الآتية:^[1]

$$Y = \rho WY + m(X) + u \quad \dots (1)$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

حيث أن: Y : يمثل متجه المتغير المعتمد ذات بعد $n \times 1$ ، ρ : يمثل معلمة الاعتماد المكاني، λ : تمثل معلمة الخطأ المكاني، W : تمثل مصفوفة التجاور المكاني وهي ثابتة ومحددة مسبقاً ذات بعد $n \times n$ ، X : تمثل مصفوفة $n \times k$ من المتغيرات التفسيرية، $m(X)$: هي تمثل دالة التمهيد الغير معروفة، u : تمثل الاخطاء المرتبطة مكانياً، ε : يمثل حد الخطأ وهو متجه عشوائي ذات بعد $n \times 1$ والذي يتوزع توزيع طبيعي بمتوسط صفر وتباين $\sigma^2 I$.

ومن خلال الأنموذج في الصيغة (1) تم اشتقاق أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR) والذي يعتبر أنموذج خاص بفرض قيد معين.^[2,3]، أي عندما يكون القيد $\lambda = 0$ يصبح الأنموذج في (1) أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي وصيغته كما يلي:^[7]

$$Y = \rho WY + m(X) + \varepsilon \quad \dots (2)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

وأن حد الخطأ يتوزع توزيع طبيعي بمتوسط صفر وتباين $\sigma^2 I_n$
 I : تمثل مصفوفة الوحدة $(n \times n)$.

ρ : تمثل معلمة الاعتماد المكاني وقيمتها تكون بين $-1 < \rho < 1$ وفي حالة إذا كانت قيمة ρ صفر فإن هذا يدل على انه لا يوجد اعتماد مكاني وهنا يدل على أن ρ تقيس قوة الاعتماد المكاني في عينة المشاهدات.^[10] W : مصفوفة الأوزان المكانية.

4- الاعتماد المكاني Spatial Dependence

عند تحليل البيانات المقطعية غالباً ما يواجه الباحثون مشكلة الاعتماد المكاني عبر وحدات المشاهدات المكانية المنظمة^[7]، ويمكن إن يعرف الاعتماد المكاني بان مشاهدات بيانات العينة عند الموقع (i) تعتمد على المشاهدات الأخرى في الموقع (j) عندما $i \neq j$ والصيغة تبين ذلك:-

$$Y_i = f(Y_j) \quad , i = 1, \dots, n, i \neq j \quad \dots (3)$$

من الممكن أن يكون الاعتماد على عدة مشاهدات وان يأخذ المؤشر (i) أي قيمة من $1, \dots, n$ وان بيانات العينة التي شوهدت في نقطة واحدة في الفضاء هي تعتمد على القيم التي شوهدت في مواقع أخرى^[8].

حيث أن قوة الاعتماد المكاني بين مشاهدات الوحدات المكانية تتناقص كلما كانت طول المسافة بعيدة. وبصورة عامة أن إحدى المشاكل الرئيسية في هذه الحالات ينبع من وجود الاعتماد المكاني، والاعتماد المكاني هو وجود علاقة دالية بين ما يحدث عند نقطة واحدة في الفضاء وما يحدث في أماكن أخرى^[3]، وهناك سبب شائع يؤدي إلى ذلك وهو نتيجة أخطاء القياس للمشاهدات المرتبطة بالوحدات المكانية المتجاورة والذي يؤدي إلى الاعتماد المكاني، وهذا يحدث عندما الحدود الإدارية للمقاطعات والولايات ومساحات التعداد وما إلى ذلك لا تعكس دقة الطبيعة الأساسية التي تولد بيانات العينة. وكمثال نعتبر حالة معدلات البطالة ومقاييس قوة العمل، لان العاملون متنقلون ويمكنهم عبور خطوط المقاطعات أو الولايات للعثور على عمل في المناطق المجاورة أو معدلات البطالة التي تقاس على أساس المكان الذي يعيش فيه الناس ويمكن أن يظهر فيه الاعتماد المكاني.^[9]

وأن معظم الأمثلة التجريبية في العلوم الإقليمية التطبيقية يتم الحصول على بيانات للمشاهدات لها والتي يتم ترتيبها في الفضاء أو في المكان والزمان. وفي هذه الحالة يمكن وصف المشاهدات بموقعها المطلق باستعمال نظام الإحداثيات أو موقعها النسبي مستندا إلى مقياس المسافة، وبمعنى أكثر عمومية يتم تنظيم البيانات من قبل وحدات مكانية للمشاهدات وبمعنى اعم يمكن النظر في أي حالة تكون فيها البيانات مهياً وفقاً لمقياس الموقع أو المسافة في أي حيز، حيث أن الوحدات المكانية القريبة مع بعضها تكون قوة الارتباط المكاني عالية وهنا تكون قوة التأثير المكاني عالية أيضاً بينما كل ما تبتعد هذه الوحدات المكانية عن بعضها فان قوة الارتباط المكاني تقل وهذا يؤدي إلى تناقص قوة التأثير المكاني وهذا مؤشر إلى أن القياس الاقتصادي يعتمد على التأثير المكاني وتدرج المسافة والموقع، ويمكن تقديره للمناطق الصغيرة

باستعمال بيانات عن عدد من المقاطعات المتجاورة من اجل التخفيف من ندرة السلاسل الزمنية [3].

5- مصفوفة التجاور المكاني : Spatial Contiguity Matrix

أن القياسات الطبيعية للاعتمادية المكانية أو الارتباط الذاتي المكاني تعتمد على فكرة التجاور الثنائي بين الوحدات المكانية، فإذا كانت هناك وحدتان مكانيتان لهما حدود مشتركة ذات طول غير صفري فأنها تعتبر متلاصقة وتخصص لها قيمة (1)، أما إذا كانت الوحدتان المكانيتان ليس لهما حدود مشتركة فأنها تعتبر غير متلاصقة وتخصص لها قيمة (0) ومن هذا المنطلق يمكن إيجاد مصفوفة التجاور المكاني والتي تعرف بمصفوفة الوزن المكاني ذات البعد $n \times n$ وهي تكون مربعة، موجبة، متماثلة وغير عشوائية ويرمز لها بالرمز W وعناصرها تمثل W_{ij} في الموقع z_i, z_j أي يتم تعيين قيمها لكل زوج من المواقع المتجاورة وغير المتجاورة من خلال هذه القواعد المحددة التي تحدد العلاقات المكانية بين المواقع، كذلك نلاحظ أن عناصر القطر الرئيسي للمصفوفة W تكون أصفار والسبب في ذلك لأن الخلية لا تجاور نفسها، ومن خلال الصيغة (5) يتم تحديد قيم عناصر مصفوفة الأوزان المكانية W وكالاتي: [3]

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i \text{ and } j \text{ are contiguous} \\ 0 & \text{if } i \text{ and } j \text{ are not contiguous} \end{cases} \dots (4)$$

ولبناء مصفوفة التجاور المكانية المعتمدة على الحدود المشتركة تم الاعتماد على معيار تجاور كوين (Queen Contiguity Criterion)، حيث في هذا المعيار يكون التجاور عندما الخليتان المتجاورتان تشتركان في جانب مشترك وكذلك تشتركان في نقطة قمة الرأس المشترك والشكل (1) في أدناه يوضح ذلك :- [13]

A	B	C
D	E	F
G	H	I

شكل (1) تجاور معيار Queen

الشكل (1) يبين الحدود المشتركة وقمة الرأس المشتركة أي التجاور بين الخلية E وجميع الخلايا الأخرى A ، B ، C ، D ، F ، G ، H ، I. ومن خلال الشكل والشرح أعلاه يمكن إيجاد مصفوفة أوزان التجاور المكانية (W) وكما يلي :-

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

من خلال مصفوفة التجاور الثنائية المكانية من الممكن إيجاد مصفوفة التجاور المكانية المعدلة والتي يرمز لها بالرمز W^{Adj} والتي تعتبر امتداد لها بعد إيجاد الإجراءات لها من خلال الصيغة الآتية: [3]

$$W_{ij}^{Adj} = \begin{cases} \frac{W_{ij}}{\sum W_{ij}} & \text{if } i \text{ Contiguity } j \\ 0 & \text{if otherwise} \end{cases} \quad \dots (6)$$

حسب معيار تجاور Queen فيرمز لمصفوفة التجاور المكانية المعدلة بـ W_Q^{Adj} ويكون مجموع كل صف في هذه المصفوفة المعدلة يساوي واحد أي $\sum_{j=1}^n W_{ij} = 1$ وان قيمة كل عنصر في المصفوفة المعدلة هو كما في الصيغة (6). [1,3]

6- الدوال اللبية المستعملة: Kernel Functions used

إن مفهوم الأسلوب البسيط لتمثيل سلسلة الوزن $\{W_{hi(x)}\}_{i=1}^n$ هو لوصف شكل دالة الوزن $W_{hi(x)}$ من خلال دالة الكثافة مع معلمة القياس التي تعدل حجم وشكل الأوزان بالقرب من النقطة x ، ومن المعروف أن طرائق التقدير هي تعتمد على أساليب التمهيد اللامعلمي وان هذا التمهيد هو توفيق المنحنيات والذي يعمل على إيجاد أفضل منحني ممهد مطابق مع منحني المتغير المعتمد (Y) ومن أساليب توفيق المنحنيات هو أسلوب دالة كيرنل والتي تعرف بأنها دالة وزن حقيقية متماثلة تستعمل في تمهيد بيانات المتغير (Y)، أي تستعمل في تقدير دالة التمهيد المجهولة. [8] ومن بين هذه الدوال الشائعة الاستعمال والتي يرمز لها بالرمز $K(u)$ هي دالة Gaussian اللبية، أو دالة Tricube اللبية.

وان هذه الدوال يطلق عليها بدوال الكثافة الاحتمالية وذلك كون قيمة تكاملها مساوي إلى الواحد الصحيح والتي تستعمل في المقدار الخطي الموضوعي (LLE) الذي يقدر دالة الانحدار ومن الجدير بالذكر أن الدالة اللبية تحدد كيفية مساهمة المشاهدات لكيرنل الخطي الموضوعي عنده النقطة x_0 المعرفة بأنها أي مشاهدة من المشاهدات x_1, \dots, x_n . [9]

وعند استعمال الدالة الكاوسية اللبية يتم تحديد مساهمة النقاط من خلال المسافة x_1 عند النقطة x_0 ، وهذا يدل على أن المسافة الأصغر ($x_1 - x_0$) هي المساهمة الأكبر وهذا بسبب أن الدالة الكاوسية اللبية هي تكون على شكل جرس أي (ناقوس) [13].

أما عند استعمال الدالة (Tricube) اللبية فهي تتبع نفس سلوك الدالة (Gaussian) اللبية وان هذه الدالة سميت بدالة (Tricube) اللبية لأنها ناتجة من اشتقاق متوسط مربعات الخطأ المتكامل (MISE) وهذه الدالة تسمى بالدالة المثلى عندما تقلل (MISE) وكذلك كونها تتمتع ببعض الخصائص المثلى^[8].

وهنا فان أفضل دالة في الدوال اللبية هي التي تقلل متوسط مربعات الخطأ المتكامل (MISE). ومن المعروف أن الدالة اللبية تمتلك عدة شروط ومن هذه الشروط هي:-^[7]

- 1- أن تكون دالة ذات قيم حقيقية وغير سالبة وتمتلك الاستمرارية أي $0 < K(u) < \infty$
- 2- أن تكون دالة كثافة احتمالية أي قيمة تكامل الدالة مساوي إلى الواحد الصحيح وكالاتي:-

$$\int K(u)du = 1$$

- 3- أن تكون دالة متماثلة أي

$$K(u) = K(-u)$$

- 4- أن تكون الدالة لها متوسط مساوي إلى الصفر أي أن قيمة العزم الأول $(\mu_1(k))$ يكون كالاتي:

$$E(u) = \mu_1(k) = \int uK(u)du = 0$$

- 5- أن تكون الدالة تمتلك تباين معلوم أي أن قيمة العزم الثاني $\mu_2(k)$ تكون محددة وكالاتي :

$$E(u^2) = \mu_2(k) = \int u^2K(u)du = \sigma_k^2 < \infty$$

7- طريقة المقدر الخطي الموضوعي لتقدير دالة التمهيد $m(x)$:- Local Linear Estimator (LLE)

تم استعمال طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) لتقدير دالة التمهيد $m(x)$ في أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR)، والذي يعد إحدى أنواع مميزات اللبية المتعددة الحدود الموضوعية (Local Polynomial Kernel) (LPK) وبذلك فان الطريقة الخطية الموضوعية مبينة على تقليل معادلة المربعات الصغرى الموزونة المعرفة بالصيغة الآتية:-^[11]

$$\min_{\{a,b\}} (Y - R_X)' K(x)(Y - R_X) \quad \dots (20)$$

وبذلك نحصل على الصيغة النهائية إلى التقدير $\bar{m}(x)$ وكالاتي:-^[13]

$$\bar{m}(x) = \acute{e} (R'_X K_X R_X)^{-1} R'_X K_{XY} \quad \dots (21)$$

حيث أن:

$$\acute{e} = (1,0)$$

0 : يمثل متجه من الاصفار أي طول d والتي تمثل عدد المتغيرات المستقلة X ، 1_n : يمثل متجه من الواحدات أي طول n والتي تمثل عدد مشاهدات العينة.

$$1'_n = (1, \dots, 1)$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & X_1 - x \\ \vdots & \vdots \\ 1 & X_n - x \end{bmatrix}$$

$$K_x = \text{diag}(K_h(X_1 - x)K_h(X_2 - x) \dots K_h(X_n - x))$$

$$K_h(X_i - x) = h^{-1}K(h^{-1}(X_i - x)).$$

حيث أن : $K_h(X_i - x)$: تمثل أداة تمهيد اللبي وهي دالة وزن، X : تمثل نقطة مرشحة تأخذ قيم المشاهدات X_1, X_2, \dots, X_n

h : تمثل عرض الحزمة، $\hat{m}(x)$: هو الممهد الخطي الموضوعي (LLE) الذي يمثل المعدل الموزون إلى الاستجابات، حيث تم استعمال دالة Gaussian Kernel لهذا المقدر.^[12]

8- الدوال اللبية المقترحة :- The Proposed Kernel Functions

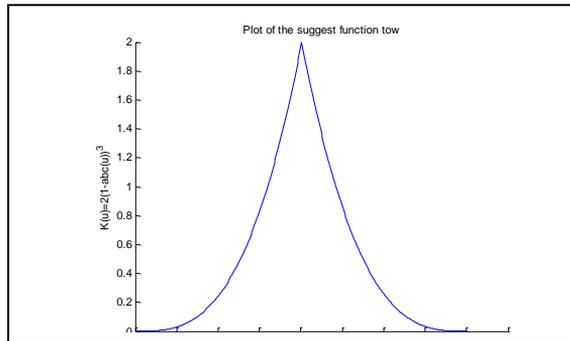
من خلال استعمال طريقة المقدر الخطي الموضوعي لتقدير $m(x)$ لأنموذج (SPSAR) تم استعمال دالة لبية ل Tricube والتي تعرف بأنها دالة وزن حقيقية متماثلة تستعمل في تمهيد بيانات المتغير (Y) ، أي تستعمل في تقدير دالة التمهيد المجهولة وتعتبر من أساليب توفيق المنحنيات.^[8]

وعند استعمال الدالة (Tricube) اللبية فهي تتبع نفس سلوك الدالة (Gaussian) اللبية ومن المعروف أن الدالة اللبية تستعمل لوضع أوزان للمشاهدات القريبة والمجاورة لنقطة التوفيق وبالاعتماد على طريقتي المقدر الخطي الموضوعي ، ومن هذا المنطلق تم اقتراح دالتين وبالشروط والمواصفات المذكورة في أعلاه وهذه الدالتين المقترحة مبينة كما في الصيغتين (22) و(23) وكالاتي :-

1- الدالة المقترحة الأولى (SUG1) وكما يأتي :

$$K(u) = 2(1 - |u|^1)^3 \quad \dots (22)$$

كما تظهر هذه الدالة في الشكل (2) أدناه :

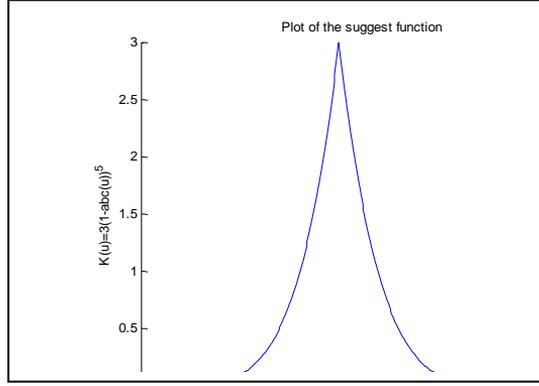


الشكل (2) يوضح الدالة المقترحة الأولى (SUG1)

2- الدالة المقترحة الثانية (SUG2) وكما يأتي :

$$K(u) = 3(1 - |u|^1)^5 \quad \dots (23)$$

كما تظهر هذه الدالة في الشكل (3) أدناه :



الشكل (3) يوضح الدالة المقترحة الثانية (SUG2)

9- معيار العبور الشرعي لاختيار معلمة التمهيد للطرائق اللامعلمية

تم استعمال معيار العبور الشرعي (CV) لاختيار قيمة معلمة التمهيد (h) وهو من أفضل المعايير وان صيغته تكتب على النحو الآتي :

$$CV(h) = n^{-1} \sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{g}(X_i; h)]^2 \quad \dots (22)$$

حيث أن :

$\hat{g}(X_i; h)$: تمثل مقدر دالة الانحدار اللامعلمي للملاحظات المكانية ولكن بإهمال النقطة (X_i, Y_i) .

إذ إن القيمة المثلى لمعالم التمهيد \hat{h}_{CV} هي القيم التي تجعل معيار العبور الشرعي $CV(h)$ اقل ما يمكن ضمن مدى قيم (h) على التوالي ^[11]. ($h > 0$)

10- معيار المقارنة بين طرائق التقدير

تم استعمال معيار متوسط الخطأ النسبي المطلق (Mean Absolute Parentage Error) للوصول للمقدر الأكفأ، والذي يقيس مدى اقتراب أو ابتعاد القيمة المقدرة من القيم الحقيقية ويرمز له (MAPE).

وصيغته الرياضية كالآتي :-^[2]

$$MAPE(\hat{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right| \quad \dots (23) \quad i=1, \dots, n$$

حيث أن Y : يمثل القيمة الحقيقية، \hat{Y} : يمثل القيمة المقدرة، n : يمثل عدد المشاهدات المستعملة لكل تجربة.

11- تنفيذ تجارب المحاكاة

من خلال استعمال البرنامج الإحصائي (Matlab 2014) تم تنفيذ تجارب المحاكاة لأنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR) والتي تضمنت عدة خطوات وكالاتي :-
 أولاً- تم تكرار التجربة 1000 مرة بعد تحديد ثلاث حجوم عينات مختلفة $n = 25, 75, 150$ مع افتراض ثلاث قيم لمعلمة الاعتماد المكاني (ρ) والمتمثلة بالمستويات $\rho = (0.2, 0.5, 0.8)$
 ثانياً- توليد المتغيرات المتمثلة بحد الخطأ العشوائي والمتغير التوضيحي (X, ε) والتي تتوزع كالاتي:

$$X \sim U(0,1)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad , \quad \sigma = 0.1, 0.2, 0.5$$

ثالثاً- توليد مصفوفة الأوزان المكانية المعدلة حسب معياري Queen والمتمثلة W_Q^{Adj}
 رابعاً- تم استعمال عدة انواع من الدوال الرياضية والتي تمثل دوال التمهيدي لأنموذج (SPSAR) مع الأخذ بنظر الاعتبار طبيعة البيانات المتعلقة بالبعد المكاني، وهذه الدوال هي كالاتي :-

1- الدالة غير الخطية بوجود حد ثابت وصيغتها هي كالاتي:

$$m(X_1) = 2 + \sin(1.5X)$$

2- الدالة الغير خطية وصيغتها هي كالاتي:

$$m(X_2) = \sin(2X) + 2e^{-2X^2}$$

3- الدالة الغير خطية وصيغتها هي كالاتي:

$$m(X_3) = X + 2e^{-16X^2}$$

خامساً- بعد توليد المتغير التوضيحي X ومتغير حد الخطأ ε ومصفوفة W_Q^{Adj} وتحديد قيم المعلمة (ρ) يتم تعويضها في صيغ النماذج وذلك للحصول على المتغير المعتمد Y .
 سادساً- استعمال المتغيرات والمعالم والدوال المولدة في تقدير أنموذج (SPSAR) باستعمال طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) ومن ثم المقارنة باستعمال معيار (MAPE).
 سابعاً- المقارنة لمعيار (MAPE) في الصيغة (23) وكما يلي :
 1- طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) باستعمال الدالة اللبية (Gaussian).
 2- طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) باستعمال الدالة اللبية المقترحة الأولى (SUG1) والمبينة في الصيغة (22).
 3- طريقة المقدر الخطي الموضوعي (LLE) باستعمال الدالة اللبية المقترحة الثانية (SUG2) والمبينة في الصيغة (23).

12- نتائج تجارب المحاكاة

نستعرض نتائج تجارب المحاكاة التي استعملت للمقارنة بين طرائق التقدير شبه المعلمية المستعملة والمقترحة والتي تضم ثلاث دوال لأنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR) في ظل معيار تجاور Queen، ومن هنا تتم عملية المقارنة بين طرائق التقدير وفقا لمعيار متوسط الخطأ النسبي المطلق (MAPE) وعند ثلاث حجوم عينات مختلفة وثلاث مستويات مختلفة للانحراف المعياري وكذلك أيضا ثلاث قيم مختلفة لمعلمة الاعتماد المكاني ρ وفي ظل مصفوفة الأوزان المكانية المعدلة لمعيار تجاور Queen تتم عملية المقارنة بين

طرائق التقدير شبه المعلمية من خلال الجداول التي تبدأ من الجدول (1) الى الجدول (9) والمبينة وكما يلي :-

جدول (1) يبين المعدل لقيم معيار (MAPE) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية (SPSAR) لدالة التمهيد $m(X_1)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار Queen وعندما $\sigma_1=0.1$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	1.0019604	0.9358426	0.9441845
	SUG1	0.9591308	0.9742827	0.9402497
	SUG2	0.9818545	0.9495375	0.9548788
n=75	GAU.	0.9421484	0.9332745	0.9448314
	SUG1	0.9558837	0.9322211	0.9425780
	SUG2	0.9684845	0.9292995	0.9357240
n=150	GAU.	0.9644682	0.9450309	0.9599572
	SUG1	0.9584151	0.9503111	0.9667003
	SUG2	0.9646236	0.9717755	0.9730457

جدول (2) يبين المعدل لقيم معيار (MAPE) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية (SPSAR) لدالة التمهيد $m(X_1)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار Queen وعندما $\sigma_2=0.2$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9189044	0.9389276	0.9440363
	SUG1	0.9160624	0.9832004	0.9510599
	SUG2	0.9300253	0.9940329	0.9794610
n=75	GAU.	0.9612840	0.9497026	0.9440842
	SUG1	0.9403894	0.9467130	0.9442580
	SUG2	0.9513163	0.9665651	0.9430636
n=150	GAU.	0.9407617	0.9569880	0.9416098
	SUG1	0.9332898	0.9424193	0.9449306
	SUG2	0.9682661	0.9629684	0.9611886

جدول (3) يبين المعدل لقيم معيار (MAPE) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية (SPSAR) لدالة التمهيد $m(X_1)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار Queen وعندما $\sigma_3=0.5$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9825199	0.9325263	0.9447048
	SUG1	0.9924439	0.9346845	0.9402968
	SUG2	0.9954574	0.9367775	0.9536870
n=75	GAU.	0.9325625	0.9361010	0.9443131
	SUG1	0.9317022	0.9411386	0.9420627
	SUG2	0.9997395	0.9480260	0.9419094
n=150	GAU.	0.9337419	0.9440186	0.9437267
	SUG1	0.9246483	0.9338438	0.9463552
	SUG2	0.9258507	0.9594230	0.9615530

جدول (4) يبين المعدل لقيم معيار ($MAPE$) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية ($SPSAR$) لدالة التمهيد ($m(X_2)$) ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار $Queen$ وعندما $\sigma_1=0.1$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9650911	0.9738978	0.9482854
	SUG1	0.9455658	0.9856022	0.9401338
	SUG2	0.9570465	0.9914668	0.9433732
n=75	GAU.	0.9463638	0.9510159	0.9406557
	SUG1	0.9434389	0.9589359	0.9311371
	SUG2	0.972822	0.9651387	0.9487385
n=150	GAU.	0.9845714	0.9527249	0.9417404
	SUG1	0.9482585	0.9496051	0.9343521
	SUG2	0.9851369	0.9515677	0.9326603

جدول (5) يبين المعدل لقيم معيار ($MAPE$) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية ($SPSAR$) لدالة التمهيد ($m(X_2)$) ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار $Queen$ وعندما $\sigma_2=0.2$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9200243	0.9518559	0.9643507
	SUG1	0.9491439	0.9515009	0.9765820
	SUG2	0.9517712	0.9720018	0.9473780
n=75	GAU.	0.9804460	0.9532338	0.9435295
	SUG1	0.9016942	0.9495943	0.9445576
	SUG2	1.0023952	0.9738125	0.9521426
n=150	GAU.	0.9659084	0.9463953	0.9501485
	SUG1	0.9632820	0.9427624	0.9478221
	SUG2	0.9844753	0.9646159	0.9409620

جدول (6) يبين المعدل لقيم معيار ($MAPE$) لجميع حجومات العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية ($SPSAR$) لدالة التمهيد $m(X_2)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار $Queen$ وعندما $\sigma_3=0.5$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9578828	0.9313945	0.9447199
	SUG1	0.9768569	0.9273403	0.9464791
	SUG2	0.9848987	0.9478936	0.9504187
n=75	GAU.	0.9382055	0.9328980	0.9439104
	SUG1	0.9408636	0.9333282	0.9410293
	SUG2	0.9483576	0.9419422	0.9408271
n=150	GAU.	0.9504661	0.9526187	0.9555181
	SUG1	0.9497944	0.9580625	0.9568371
	SUG2	1.0068754	0.9622352	0.9660613

جدول (7) يبين المعدل لقيم معيار ($MAPE$) لجميع حجومات العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية ($SPSAR$) لدالة التمهيد $m(X_3)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار $Queen$ وعندما $\sigma_1=0.1$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	1.0115852	0.9344060	0.9467672
	SUG1	0.9744224	0.9342907	0.9634862
	SUG2	0.9960896	0.9529372	0.9866006
n=75	GAU.	0.9739702	0.9391624	0.9398646
	SUG1	0.9807412	0.9340158	0.9645601
	SUG2	0.9781726	0.9330691	0.9835643
n=150	GAU.	0.9838235	0.9379267	0.9507534
	SUG1	0.9781304	0.9349326	0.9439154
	SUG2	0.9515703	0.9396968	0.9466336

جدول (8) يبين المعدل لقيم معيار ($MAPE$) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية ($SPSAR$) لدالة التمهيد $m(X_3)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار $Queen$ وعندما $\sigma_2=0.2$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9949382	0.9440823	0.9504683
	SUG1	0.9894347	0.9492315	0.9561646
	SUG2	0.9727047	0.9593779	0.9575222
n=75	GAU.	0.9805359	0.9633272	0.9441745
	SUG1	0.9565617	0.9559245	0.9434276
	SUG2	0.9834909	0.9608562	0.9444264
n=150	GAU.	0.9808154	0.9473389	0.9433870
	SUG1	0.9419268	0.9480019	0.9399092
	SUG2	0.9424613	0.9449528	0.9384572

جدول (9) يبين المعدل لقيم معيار ($MAPE$) لجميع حجوم العينات ولكافة طرائق التقدير شبه المعلمية ($SPSAR$) لدالة التمهيد $m(X_3)$ ومصفوفة الأوزان المكانية المعدلة باستعمال معيار $Queen$ وعندما $\sigma_3=0.5$

حجم العينة	طريقة التقدير LLE	معلمة الاعتماد المكاني		
		ρ_1	ρ_2	ρ_3
n=25	GAU.	0.9340939	0.9627669	0.9425762
	SUG1	0.9405995	0.9881473	0.9438691
	SUG2	0.9454052	0.9758492	0.9363122
n=75	GAU.	0.9868468	0.9408479	0.9431357
	SUG1	0.9839688	0.9325202	0.9425861
	SUG2	1.0019072	0.9309648	0.9444639
n=150	GAU.	0.9798425	0.9661562	0.9438547
	SUG1	0.9655303	0.9647765	0.9428784
	SUG2	0.9618458	0.9601078	0.9419561

ومن الجدول (10)، الذي يمثل ملخص للجداول (1) إلى (9) والذي يتضمن تكرار ظهور القيمة الأصغر لمعيار $(MAPE)$ وعدد التكرار والنسب لكل طرائق التقدير يتضح بان طريقة المقدر الخطي الموضوعي باستعمال الدالة اللبية المقترحة الأولى $(SUG1K)$ هي من أفضل الطرائق ويكون تسلسلها الأول من بين طرائق التقدير لأنموذج التأخر المكاني شبه المعلمي $(SPSAR)$ ، إذ كان تكرار أفضليتها 38 مرة من مجموع 81 حالة تكرار ونسبة مقدارها 46.91% أي تمتلك أعلى نسبة، في ظل مصفوفة الأوزان المكانية المعدلة لمعيار تجاور $Queen$ ، تليها طريقة المقدر الخطي الموضوعي باستعمال الدالة اللبية $(LLEK)$ ونسبة مقدارها 33.33%، أما بعدها فتليها طريقة المقدر الخطي الموضوعي باستعمال الدالة اللبية المقترحة الثانية $(SUGK2)$ ونسبة مقدارها 19.75%.

جدول (10) يوضح تسلسل نسبة وعدد مرات تكرار أفضلية الطرائق المستعملة والمقترحة لأنموذج $SPSAR$ في ظل مصفوفة الأوزان المكانية المعدلة لمعيار تجاور $Queen$

ت	طريقة التقدير LLE	الأنموذج الأول	الأنموذج الثاني	الأنموذج الثالث	عدد التكرار	مقدار النسبة %
1	SUG1	13	15	10	38	46.91
2	GAU.	11	9	7	27	33.33
3	SUG2	3	3	10	16	19.75
	Σ	27	27	27	81	100

13- الاستنتاجات

بعد إجراء وصف وتنفيذ تجارب المحاكاة على أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي $(SPSAR)$ في ظل معيار تجاور $Queen$ نستنتج وبالاتماد على معيار متوسط الخطأ النسبي المطلق $(MAPE)$ نستنتج عند مقارنة طريقة التقدير شبه المعلمية المستعملة في

تقدير أنموذج انحدار التأخر المكاني شبه المعلمي (SPSAR) حسب مصفوفة التجاورات المكانية المعدلة في ظل معيار تجاور *Queen* أن أفضل دالة تم استعمالها لطريقة المقدم الخطي الموضوعي باستعمال الدالة اللبية المقترحة الاولى (*SUG1*) إذ أظهر استعمالها تقدما بشكل كامل كونها حققت اقل قيمة لمعيار (*MAPE*) وبنسبة مقدارها 46.91% في حالة جميع حجوم العينات ومستويات الانحراف المعياري وقيم معلمة الاعتماد المكاني □ المفترضة.

14- التوصيات

بناء على الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من خلال تجارب المحاكاة، يمكن أدرج أهم التوصيات وكالاتي :-

- 1- محاولة تطبيق الطرائق التي تعالج مشاكل الاعتماد المكاني على بيانات حقيقية لان هذه المشاكل لها قاعدة عريضة على ارض الواقع.
- 2- استعمال طرائق أخرى لحساب المسافات بين مواقع المشاهدات مثل طريقة قياس *Minkowski*.

المصادر

1. Anselin, L. and Bera, A. K. (1998); Spatial Dependence in Linear Regression Model With An Introduction to Spatial Econometrics; In: Ullah A, Giles DEA (eds) Handbook of applied economic statistics. Marcel Dekker, New York, pp (237-289).
2. Anselin, L. (2001). "Spatial econometrics. A companion to theoretical econometrics", 310-330.
3. Basile, R., & Gress, B. (2005). "Semi-parametric spatial auto-covariance models of regional growth behaviour in Europe". *Region et developpement*, 21, 93-118.
4. Gerolimetto, M., & Magrini, S. (2009). "Nonparametric regression with spatially dependent data". Department of Economics WP, 20- 2009.
5. Härdle, W. (1990). Applied nonparametric regression (No. 19). Cambridge university press.
6. Ibrahim, W. S., Majeed, G. H., & Hussain, W. J. (2021). Comparison and Estimation of a Spatial Autoregressive (SaR) Model for Cancer in Baghdad Regions. *Int. J. Agricult. Stat. Sci.* Vol, 17(1), 1921-1927.
7. Ibrahim, W. S., & Mousa N. S. (2022). Estimation of the general spatial regression model (SAC) by the maximum likelihood method. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 13(1), 2947-2957.
8. LeSage, J. P. (1999). "The theory and practice of spatial econometrics". University of Toledo. Toledo, Ohio4.

9. Li, Q., & Racine, J. S. (2007). "Nonparametric econometrics: theory and practice". Princeton University Press.
10. Martins-Filho, C., & Yao, F. (2009). "Nonparametric regression estimation with general parametric error covariance. Journal of Multivariate Analysis", 100(3), 309-333.
11. Mauricio S. (2017). "Introduction to Spatial Econometric". Universidad Católica del Norte.
12. Ruppert, D., Wand, M.P., and, Carrol, R.J., 2003. "Semi parametric regression. Cambridge series in statistical and probabilistic mathematics". Cambridge University Press.
13. Wu, H., & Zhang, J. T. (2006). "Nonparametric regression methods for longitudinal data analysis: mixed-effects modeling approaches" (Vol. 515). John Wiley & Sons.

