بعض طرق التقدير لنماذج البيانات الإطارية المكانية*

عهود شلبى**

يحظى تحليل النماذج المكانية (Spatial Models) التى تنطوى على اعتماد مكانى (Spatial Dependence) باهتمام كبير من قبل الباحثين فى العلوم المختلفة، نظرًا لإمكانية استخدام أساليب الاقتصاد القياسى المكانى فى كثير من المجالات التطبيقية، مثل دراسات تحليل الطلب، والاقتصاد الدولى، واقتصاديات العمل، والاقتصاد الزراعى والبيئى، والبنية التحتية... إلخ. حيث من المفترض أن المفردات التى تقع فى أماكن متقاربة تكون أكثر ارتباطًا من تلك البعيدة عن بعضها البعض. ومن المحتمل جدًا أن يؤدى تجاهل وجود الاعتماد المكانى فى البيانات إلى تقديرات متحيزة (Biased) أو غير كفء (Inefficient) إذا استخدمنا طرق التقدير التقليدية. فعند وجود الاعتماد المكانى فى البيانات، قد يكون هذا مصدرًا إضافيًا للتباين. وكما نعلم، يمكن أن يؤدى تجاهل مصدر التباين إلى تقديرات متحيزة، كما أن التقديرات التقليدية للنماذج المكانية لم تعد ذات كفاءة بسبب التغيرات فى مصفوفات التباين المقارب. لذلك، كان لابد من تطوير طرق تقدير بديلة تأخذ فى الاعتبار الاعتماد المكانى للحصول على نتائج أكثر دقة.

---

* **Shalaby**, O.A. (2021). Some Estimation Methods of Spatial Panel Data Models (Ma**ster Dissertation,**Faculty of Graduate Studies for Statistical Research, Cairo University).
ملخص رسالة ماجستير فى الإحصاء.

** باحث، مدرس مساعد، قسم بحوث التعليم والقوى العاملة، المركز القومى للبحوث الاجتماعية والجنائية.

ومن هنا ظهرت أهمية الاقتصاد القياسى المكانى كفرع من فروع علم الاقتصاد القياسى الذى يتعامل مع تأثيرات التفاعل (Interaction Effects) بين الوحدات المكانية (Spatial Unites) مثل المدن أو الأحياء أو الدول، إلخ. وهذه التفاعلات إما أن تكون بين وحدات المتغير التابع (y) أو خاصة بوحدات المتغيرات المستقلة (X) أو بين وحدات حد الخطأ (u)، ويتم تمثيل بنية التفاعلات بين كل زوج من الوحدات المكانية من خلال ما يسمى بمصفوفة الأوزان المكانية (Spatial Weights Matrix).

فى الآونة الأخيرة، أدرك الباحثون أهمية إدخال هذا النهج إلى نماذج البيانات الإطارية (Panel Data) للاستفادة من المزايا التى توفرها هذه النماذج. والذي يرجع إلى كونها تأخذ فى الحسبان أثر التغير فى الزمن وأثر الاختلاف بين وحدات المقطع العرضى (Cross-Section Unites) على حد سواء، حيث تزداد أهمية البيانات الإطارية عندما يتم أخذ البعد المكانى بعين الاعتبار.

وعلى الرغم من تخصيص قدر معقول من الدراسات والأدبيات التى تختص بدراسة تقنيات الاقتصاد القياسى المكانى فى السنوات الأخيرة، إلا أن هذه الرسالة تضم عددًا من التطورات النظرية الحديثة فى هذا المجال. ولهذا الغرض تم التركيز على مناقشة طرق التقدير لثلاثة من نماذج البيانات الإطارية المكانية Spatial Panel Data (SPD) والتى تعانى من بعض مشاكل الاقتصاد القياسى، ألا وهى؛ نموذج التباطئ المكانى Spatial Lag Model (SLM) نموذج الخطأ المكانى Spatial Error Model (SEM)، ونموذج الانحدار الذاتى المركب المكانى Spatial Autoregressive Combined model (SAC). ففى الحالة الأولى؛ يجب التعامل مع مشكلة الارتباط الداخلى (Endogeneity) للحد الخاص بالتباطئ المكانى، أما فى الحالة الثانية؛ يجب أن تؤخذ طبيعة مصفوفة تباين الخطأ (Non-Spherical Nature) بعين الاعتبار.

أهداف الرسالة

نقوم من خلال هذه الرسالة بمراجعة وإعادة تنظيم الأدبيات المتعلقة بنماذج SPD، من حيث مواصفات النماذج (Models Specifications) وطرق تقديرها واختبارات التوصيف (Specification Tests) الخاصة بها. ونظرًا لأن إجراءات تقدير نماذج SPD التى تمت تغطيتها فى الأدبيات قليلة إلى حد ما. لذلك، يتم التركيز على الطرق الأكثر استخدامًا لتقدير تلك النماذج، والمتمثلة فى مقدرات دالة الإمكان الأعظم Maximum Likelihood (ML) ومقدرات العزوم المعممة (Generalized Moments) فى ظل وجود التأثيرات الثابتة (Fixed Effects) والتأثيرات العشوائية (Random Effects) للوحدات المكانية.

من ناحية أخرى، نقوم بتصميم دراسة محاكاة مونت كارلو لتقييم المخاطر التي ينطوى عليها تجاهل الاعتماد المكانى فى البيانات الإطارية، من خلال مقارنة أداء اثنين من المقدرات: مقدر الإمكان الأعظم المكانى (Spatial ML)، والمقدر غير المكانى(Non-Spatial Ordinary Least Squares Within-Group) عبر مستويين من التحليل؛ مستوى معلمات النموذج والذى تم دراسته من حيث التحيز وجذر مجموع مربعات الأخطاء (Root Mean Square Errors)، ومستوى النموذج والذى تم دراسته من حيث معايير جودة توفيق النموذج (Goodness of Fit Criteria)، فى ظل سيناريوهات مختلفة لعدد الوحدات المكانية (N) وعدد الفترات الزمنية (T) ودرجة الاعتماد المكانى لنموذجى SLM و SEM، باستخدام ثلاث مصفوفات مختلفة للأوزان المكانية هى؛ مصفوفة المسافة العكسية (Inverse Distance Matrix)، مصفوفة التحول الجوسى (Gaussian Transformation Matrix)، ومصفوفة المسافة الأسية العكسية (Inverse Exponential Distance Matrix).

بعد ذلك، نقدم إطارًا عامًا لكيفية اختيار النموذج الأنسب من بين مجموعة نماذج مقترحة بالتطبيق على بيانات الدخل الشخصى للفرد فى الولايات المتحدة

الأمريكية خلال الفترة من ٢٠٠٩ إلى ٢٠١٩، والمتمثلة فى ثلاثة أبعاد رئيسة هى: التحصيل العلمى، وحجم الاقتصاد، ونوع القوى العاملة، وكل بعد يشمل مجموعة من المتغيرات.

ويمكننا تلخيص أهداف الرسالة فى النقاط التالية:

١- مراجعة نماذج البيانات الإطارية المكانية وغير المكانية المقدمة فى الأدبيات ومناقشة طرق التقدير واختبارات المواصفات الخاصة بها.

٢- تقديم شرح مبسط لكيفية تفسير النتائج التى تم الحصول عليها من تحليل البيانات باستخدام نماذج SPD، حيث نولى اهتمامًا لتقديرات التأثيرات المباشرة والتأثيرات غير المباشرة للمتغيرات المستقلة فى هذه النماذج.

٣- مقارنة أداء المقدرات المكانية وغير المكانية لنموذجى SLM و SEM فى ظل وجود التأثيرات الثابتة للوحدات المكانية، من خلال دراسة محاكاة فى ظل سيناريوهات مختلفة.

٤- دراسة مدى تأثير هياكل مصفوفة الأوزان المكانية المستخدمة على جودة النموذج وأداء المقدرات المكانية من خلال دراسة محاكاة.

٥- استخدام نماذج SPD لتحليل محددات الدخل الشخصى بالولايات المتحدة الأمريكية، وتوفير إطار عام يوضح كيفية اختيار النموذج الأنسب من بين مجموعة من النماذج المقترحة.

فصول الرسالة

تم تنظيم هذه الرسالة فى ستة فصول على النحو التالى:

الفصل الأول: نماذج البيانات الإطارية وبعض طرق التقدير الخاصة بها Panel Data Models and Some Estimation Methods: عبارة عن مقدمة عامة للبيانات الإطارية. حيث يتم تناول ثلاثة نماذج للبيانات الإطارية: نموذج الانحدار المجمع (Pooled Regression Model)، ونموذج

التأثيرات الثابتة، ونموذج التأثيرات العشوائية. ومناقشة افتراضات (Assumptions) كل نموذج وطرق التقدير الخاصة به. وأخيرًا، يتم تقديم بعض اختبارات التوصيف المقترحة في الأدبيات لاختيار النموذج الأنسب للبيانات.

الفصل الثانى: نماذج البيانات الإطارية المكانية Spatial Panel Data Models**:** يقدم هذا الفصل مراجعة متعمقة ومفصلة لنماذج SPD، والتى تركز على تعريف تأثيرات التفاعل المكانى كعناصر تبرر وجود الاقتصاد القياسى المكانى كنظام مميز. ثم يتم بعد ذلك عرض طرق بناء مصفوفة الأوزان المكانية كأداة قياسية تسمح بنمذجة التفاعلات المكانية. كما يسلط هذا الفصل الضوء على صعوبات اختيار مصفوفة الأوزان المكانية المثلى. وأخيرًا، يتم تقديم مراجعة للأدبيات النظرية والتطبيقية التى تناولت نماذج SPD.

الفصل الثالث: بعض طرق التقدير لنماذج البيانات الإطارية المكانية Some Estimation Methods of Spatial Panel Data Models: نعرض من خلال هذا الفصل طرق التقدير المقدمة فى الأدبيات لنماذج SPD التى تتضمن تأثيرات التفاعل المكانى بين وحدات المتغير التابع (Spatially Lagged Dependent Variables) و/ أو بين حد الخطأ (Spatially Correlated Error Terms) فى ظل وجود التأثيرات الثابتة والتأثيرات العشوائية للوحدات المكانية. هذا بالإضافة إلى تقديم مجموعة من اختبارات التوصيف التى تم تطويرها للتمييز بين النماذج المكانية المختلفة. وفى القسم الأخير من هذا الفصل، نولى اهتمامًا لتقديرات التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للمتغيرات المستقلة لجميع نماذج SPD.

الفصل الرابع: دراسة محاكاة مونت كارلو Monte Carlo Simulation Study: فى بداية هذا الفصل نستعرض بإيجاز الأدبيات الخاصة بدراسات المحاكاة لنماذج SPD. ثم نجرى بعد ذلك دراسة محاكاة مونت كارلو للمقارنة بين أداء المقدرات المكانية وغير المكانية لاثنين من نماذج SPD، هما؛ SLM و SEM مع وجود التأثيرات الثابتة فى ظل سيناريوهات مختلفة لـ N و T ودرجة الاعتماد المكانى فى البيانات باستخدام ثلاث مصفوفات للأوزان المكانية، هذا بالإضافة إلى التحقق من مدى تأثير مصفوفة الأوزان المكانية المستخدمة على أداء المقدرات وجودة توفيق النموذج.

الفصل الخامس: تطبيق على بيانات الدخل الشخصى للفرد بالولايات المتحدة الأمريكية Application to Personal Income in U.S. States: يوضح هذا الفصل كيفية تحديد النموذج الأنسب من بين مجموعة نماذج مقترحة من خلال التطبيق على بيانات حقيقية، باستخدام البيانات السنوية للدخل الشخصى للفرد فى الولايات المتحدة الأمريكية خلال الفترة من ٢٠٠٩ إلى ٢٠١٩. وقد تم تطبيق ثلاثة من نماذج SPD هى SLM و SEM و SAC اعتمادًا على ثلاث مصفوفات للأوزان المكانية، هذا بالإضافة إلى تطبيق النماذج الإطارية غير المكانية فى ظل وجود التأثيرات الثابتة والتأثيرات العشوائية.

الفصل السادس: الخاتمة والدراسات المستقبلية Conclusion and Future Work: نقدم فى هذا الفصل بعض الاستنتاجات التى قد تم التوصل إليها من خلال دراسة المحاكاة والدراسة التطبيقية، كما نقدم بعض المقترحات للأعمال المستقبلية والتى يمكن أن تكون مجالًا واعدًا للبحث.

نتائج الرسالة

يمكن تلخيص أهم استنتاجاتنا فى شقين – اعتمادًا على نتائج دراسة المحاكاة والدراسة التطبيقية– على النحو التالى:

أولًا: نتائج مستخلصة من دراسة المحاكاة

١- على مستوى معلمات النموذج

جاءت نتائج كل من النموذجين SLM وSEM متشابهة إلى حد ما، حيث تبين لنا أن:

- المقدر غير المكانى يعطينا تقديرات متحيزة وغير كفء لمعلمات المتغيرات المستقلة، خاصة إذا كانت درجة الاعتماد المكانى فى البيانات كبيرة.
- أما على مستوى المقارنة بين تأثير مصفوفات الأوزان المكانية فى أداء المقدرات المكانية، فقد جاءت النتائج الخاصة بالمعلمات المكانية فى صالح مصفوفة المسافة الأسية العكسية مقارنة بالمصفوفات الأخرى، حيث تعطى أقل تحيزًا وأعلى كفاءة فى معظم الحالات.

٢- على مستوى جودة النموذج

- تزداد جودة توفيق النماذج المكانية SLM وSEM دائمًا وبشكل كبير عن نظائرها غير المكانية فى حالة وجود درجة كبيرة من الاعتماد المكانى فى البيانات؛ حيث تكون قيم معايير جودة توفيق النموذج(Akaike Information Criterion (AIC) و Bayesian Information Criterion (BIC) للنماذج المكانية أقل بكثير من تلك الناتجة عن النماذج غير المكانية.
- أما على مستوى المقارنة بين تأثير مصفوفات الأوزان المكانية الثلاثة على جودة توفيق نموذج SLM، جاءت النتائج مناصفة لصالح كل من مصفوفة المسافة العكسية ومصفوفة التحول الجوسى. بينما سجلت مصفوفة المسافة الأسية العكسية قيم أعلى للـ AIC و BIC فى جميع الحالات. أما بالنسبة لنموذج SEM؛ نجد أن

نتائج الـ AIC وBIC جاءت فى صالح مصفوفة المسافة العكسية مقارنة بالمصفوفات الأخرى فى معظم الحالات.

ثانياً: نتائج مستخلصة من الدراسة التطبيقية

١- يتضح من النتائج أن نموذج SLM هو النموذج الأنسب لدراسة محددات الدخل الشخصى بالولايات المتحدة الأمريكية.

٢- لم يلاحظ وجود فروق جوهرية بين المصفوفات الثلاثة المستخدمة للأوزان المكانية من حيث الاستنتاجات النهائية التى تم استخلاصها من اختبارات التوصيف، وعدد المتغيرات المعنوية، ومستويات معنوياتها. ومع ذلك، يمكن القول إن الفروق بين المصفوفات الثلاثة تتمثل فى القيم الناتجة عن كل إجراء فى التحليل وليس فى الاستنتاجات النهائية.

٣- جاءت نتائج جودة توفيق النموذج فى صالح مصفوفة المسافة العكسية مقارنة بالمصفوفات الأخرى.