الإحصاء المكاني

ترجمة بتصرف
أ.د. مضر خليل عمر

يقوم مجال الإحصاء المكاني على افتراض أن الوحدات الجغرافية المرجعية القريبة مرتبطة بطريقة ما . ويحتاج مجتمع نظم المعلومات الجغرافية بشكل متزايد إلى الا فادة من أعمال الإحصائي المكاني للمساعدة في فهم البيانات المكانية . ومن رواد باحثي الإحصاء المكاني الحاليين أولئك الذين سعوا إلى وصف التوزيعات المكانية ، وطبيعة التفاعلات المكانية ، وتعقيدات الارتباط المكاني . وتشمل أساليب الإحصاء المكاني المستخدمة حاليًا ، والتي ما يزال البحث مستمرًا فيها ، الارتباط المكاني، وتحليل الأنماط ، والمقياس والتقسيم ، والإحصاء الجغرافي ، والتصنيف ، والمعاينة المكانية ، والاقتصاد القياسي المكاني . وفي سياق الزمان والمكان ، يُعد المقياس ، والأوزان المكانية ، والحدود المكانية من أصعب المشكلات التي تتطلب المزيد من البحث . ويرحب العاملون في نظم المعلومات الجغرافية بحزم شاملة من أساليب الإحصاء المكاني المدمجة في برامجهم.

مقدمة

من الشائع أن يقتصر اهتمام الإحصائيين على وصف البيانات ، بما في ذلك التحليل الاستكشافي ، والاستقراء ، أي تطوير تعميمات حول مجتمع إحصائي محدد بناءً على عينة مأخوذة منه . لطالما اهتم الباحثون المتخصصون في الخرائط بوصف البيانات والاستقراء ، وعادةً ما يبحثون في أدبيات الإحصاء عن أفكار حول كيفية استخلاص أكبر قدر ممكن من المعلومات من البيانات الجغرافية المرجعية . غالبًا ما يتجه البحث نحو القياسات الحيوية ، وعلم النفس القياسي ، والجيولوجيا ، والاقتصاد القياسي، والإحصاء . يمكن عزو مجال صغير نسبيًا من الأبحاث الأصلية التي تتداخل مع هذه المجالات إلى عمل الإحصائيين المكانيين ، الذين يتميزون باهتمامهم بالبيانات الجغرافية المرجعية أو المكانية .

في السنوات الأخيرة، حفز تطوير نظم المعلومات الجغرافية بعضًا من هذا العمل . في هذا الفصل، نناقش تحليل البيانات المكانية مع التركيز بشكل خاص على استخدامات وتطبيقات الإحصاء المكاني في بيئة نظم المعلومات الجغرافية . يمكن عد الإحصاء المكاني مجالًا بحثيًا متميزًا . تستند النظرية الإحصائية التقليدية في نماذجها على افتراض استقلال الملاحظات . على الرغم من أن المنطق السليم يُخبرنا أن استقلال الملاحظات في معظم المواقف الواقعية هو الاستثناء وليس القاعدة ، إلا أن الاستقلال ما يزال معيارًا مناسبًا لتحديد الظواهر غير المستقلة ذات الدلالة الإحصائية . **يستند مجال الإحصاء المكاني إلى عدم استقلال الملاحظات ؛ أي أن البحث يستند إلى افتراض أن الوحدات المجاورة مرتبطة بطريقة ما** (توبلر، 1979). أحيانًا يكون هذا الارتباط ناتجًا عن تأثير الانتشار المكاني ، مثل العلاقة الاقتصادية الواضحة بين المدينة والضاحية . وأحيانًا يكون الارتباط ناتجًا عن تأثير تناقص المسافة ؛ أي أنه كلما زادت المسافة من ملاحظة معينة ، قلت درجة الارتباط بين الملاحظات . ومن الأمثلة على ذلك تأثير الزلزال ؛ إذ يتضاءل تأثيره مع ازدياد المسافة عن مركز الزلزال. تُعدّ الإحصاءات ، بشكل عام ، والإحصاءات المكانية مع تركيزها على الموقع ، الركيزة الأساسية التي تربط الكثير من جهودنا البحثية . وفي سعينا لتحقيق درجة عالية من اليقين ، نلجأ إلى الإحصاءات . ومع نضوج مجتمع نظم المعلومات الجغرافية ، سيزداد اعتماده عليها . يعتمد هذا الفصل على عمل الإحصائي للمساعدة في إيجاد معنى في البيانات المكانية وفي تطوير وظائف نظم المعلومات الجغرافية .

يتناول هذا الفصل بإيجاز وانتقائية ، في القسم 2، مساهمات الباحثين المتخصصين في الخرائط في مجال الإحصاء المكاني قبل ظهور نظم المعلومات الجغرافية . وفي القسم 3 ، تُقدَّم ملخصات موجزة للأدوات التحليلية الإحصائية التي يستخدمها محللو البيانات المكانية . ويُفرَّق بين عمل **الإحصائيين المكانيين**

(الإحصائيين ، والبيولوجيين، وعلماء الاقتصاد القياسي، وعلماء الغلاف الجوي / المحيطات، والجغرافيين الذين يسعون إلى تحديد المعلمات الإحصائية للمتغيرات الموزعة مكانيًا) وعمل **الإحصائيين الجغرافيين** (الإحصائيين ، والجيولوجيين، ومهندسي التعدين الذين يحللون بياناتهم على نطاقات متعددة من حيث الاتجاه المكاني والارتباط.(ويحتوي كل قسم فرعي على أمثلة ومراجع رئيسية للبحوث الحالية . أخيرًا، في القسم 4، يتم استعراض بعض المشكلات والتحديات التي تواجه الباحثين في مجال الإحصاء المكاني ، مع إلقاء نظرة على طبيعة العمل الإحصائي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

2استخدامات الإحصاء المكاني قبل نظم المعلومات الجغرافية

يتمتع علم الجغرافيا بتاريخ طويل في تطوير أجهزة رسم الخرائط الذكية التي تتيح رؤى ثاقبة للبيانات المكانية . فمنذ أنماط السكك الحديدية السداسية التي وضعها لالان (1863) إلى تحويلات الخرائط التي أجراها توبلر (1963)، تزخر الأدبيات التي سبقت نظم المعلومات الجغرافية بأفكار مثيرة للاهتمام مصممة لتمكين البيانات المكانية من "التعبير عن نفسها" . وقد دفعت الرغبة في جعل الخرائط جزءًا مفيدًا من التحليل كتّاب الجغرافيا قبل عصر الحاسوب إلى محاولة إيجاد طرق لتصوير التوزيعات المكانية للبيانات بطرق مبتكرة. لم يكن الانتقال من التصويرات المثيرة للاهتمام على الخرائط إلى الاختبارات الإحصائية على دلالتها بالنسبة لبعض الافتراضات حول معنى الخرائط ، سوى خطوة قصيرة . لدينا الآن حواسيب قوية وبرامج متطورة ترشدنا نحو إنتاج خرائط جديدة وغير مألوفة.

في الوقت نفسه ، تم تطوير أدوات إحصائية جديدة وإن كان بوتيرة أبطأ للإجابة عن أسئلة تتعلق بالأنماط المرسومة على الخرائط . إدراكًا لأهمية المنظور المكاني في المعرفة ، يسعى المحللون إلى إيجاد طرق أفضل لعرض البيانات على الخرائط واختبار الفرضيات بناءً على شكل أو بنية نمط متوقعة . يمكن عد أربعة محاور مقدمات لما أصبح يُعرف بالتحليل الإحصائي الحديث للبيانات المكانية.

2.1**التحليل الإحصائي للتوزيعات المكانية**

على الرغم من أن جذور عمله تعود إلى القرن التاسع عشر، كان نيفت (1966)، الذي عمل تحت إشراف وارنتز، أول من وضع نظامًا شاملًا ومتسقًا رياضيًا لوصف التوزيعات المكانية . بالاستناد إلى أعمال كاري (1858)، ومندليف (1906)، ونظريات الموقع مثل ثونين (1826)، وفيبر (1909)، وكريستالر (1935)، ولوسش (1954) – وأفكار الفيزيائيين الاجتماعيين - ولا سيما أفكار ستيوارت (1950) ووارنتز ونيفت (1960) - وصف نيفت العزوم الإحصائية للتوزيعات المساحية . أما بالنسبة لتوزيعات النقاط ، فقد وضع مقاييس إحصائية للتواء والتفرطح لمتوسط الموقع (مراكز مختلفة)، والتشتت المكاني ، والأسطح . بالإضافة إلى ذلك ، تناول إحدى المهام الصعبة التي ما تزال مطروحة بقوة على جدول أعمال باحثي الإحصاء المكاني المعاصرين : وهي : وضع مقاييس صالحة للارتباط الإحصائي للمتغيرات المكانية.

2.2 **التفاعل المكاني**

لا يوجد موضوع أهم بالنسبة للمحلل المكاني الذي يتعامل مع القضايا البشرية من دراسة تفاعل الأنشطة في مكان ما مع تلك الموجودة في مكان آخر . للبحث في هذا المجال تاريخ طويل ومتميز، يعود إلى كاري (1858)، ورافينشتاين (1885)، وريلي (1929)، وزيبف (1949)، وستيوارت ووارنتز (1958). وكانت الصيغة النيوتونية الشهيرة، m1m2 /d2 ، حيث m1 و m2 هما مقياسا الكتلة في الموقعين 1 و 2، و d هي المسافة التي تفصل بين الكتلتين في هذين الموقعين ، بمثابة حجر الأساس . وقد استُخدم هذا القانون الفيزيائي ، بعد تعديله من قبل منظري الفضاء ، بشكل مفيد للغاية لدراسة وتوقع مجموعة واسعة من التفاعلات

المكانية البشرية ، مثل حركات النقل ، وانتشار المعلومات ، وإمكانات النمو الاقتصادي . تشكل الشروحات الحديثة للنظرية وإجراءات التقدير الإحصائي جزءًا كبيرًا من أدبيات النقل والتسويق الحديثة (بيركين وآخرون، الفصل 51؛ جاتريل وسينيور، الفصل 66). ويجب تسليط الضوء على عمل ويلسون (1967) بكونه محاولة حديثة نسبيًا لاستنباط نظرية تفاعل مكاني عملية. بدلًا من الاعتماد على تشبيهات العلوم الفيزيائية ، وضع ويلسون قوانين احتمالية تصف حركة الإنسان المحتملة . واليوم ، يُعدّ أحد الاستخدامات المهمة لنظم المعلومات الجغرافية هو السماح بمعالجة البيانات بحيث يمكن معايرة وتقييم المعايير التي تصف الحركة.

2.3 الارتباط المكاني

قبل ستينيات القرن العشرين ، لم يكن قد ظهر سوى عدد قليل من الدراسات في الجغرافيا حول ربما أكثر الأسئلة المكانية تحديًا : كيف يمكن تفسير الارتباط في المتغيرات الموزعة مكانيًا بطريقة موضوعية؟ وقد انبثقت الأفكار الأساسية المتعلقة بقياس واختبار الارتباط الذاتي المكاني في الجغرافيا على يد روبنسون (1956) وتوماس (1960) ، اللذين لاحظا الصعوبات في التعامل مع الوحدات التابعة غير المتساوية في الحجم . ومن خلال عملهما وعمل آخرين ، تمت معالجة مشكلة الوحدة المساحية القابلة للتعديل ، وتقييم البواقي المكانية من الانحدار.

وفي هذه الفترة، طور الإحصائيان موران (1948) وجيري (1954) مقاييسهما للارتباط الذاتي المكاني . استنادًا إلى أعمال موران (1948) وكريشنا آير (1949) ، تناول داسي 1965 مسألة الارتباط المحتمل بين الوحدات المكانية المتجاورة . أدت إحصاءات العدّ المشترك هذه إلى أعمال كليف وأورد، اللذين فتحت دراستهما "الارتباط الذاتي المكاني) "1973 (الباب لعصر جديد في التحليل المكاني. في القسم 3، نوضح العلاقة بين أعمال كليف وأورد و المناهج الحديثة للتحليل الإحصائي المكاني.

2.4 فرضيات حول أنماط الاستيطان

تركز جزء كبير من الحماس في قسم الجغرافيا بجامعة واشنطن خلال أواخر الخمسينيات وأوائل الستينيات على فهم واختبار نظريات الجغرافي الاقتصادي ، والتر كريستالر، والاقتصادي ، أوغست لوش . من منظور الإحصاء المكاني ، يُذكر عمل دايسي (1963)، الذي استلهم من علماء البيئة النباتية مثل كلارك وإيفانز (1954) ، واختبر نظريات التوزيع الإحصائي المختلفة باستخدام مجموعات من البيانات الجغرافية المرجعية التي مثّلت مواقع المدن في نظام استيطاني . ومن هذا العمل، تطورت "صناعة" أنماط النقاط التي برزت فيها أعمال كينغ (1962)، وجيتيس (1964)، وهارفي (1966)، وكلارك (1969)، وروغرز (1969) .

3. الإحصاء المكاني في الاستخدام الحالي

تعتمد أنواع الأساليب الإحصائية الشائعة اليوم على طبيعة المشكلات قيد الدراسة وتوافر أجهزة الحاسوب . يُذكر هنا سبعة مجالات بحثية تحظى باهتمام خاص . يُوصَف كلٌّ منها من حيث أنواع المشاكل التي يتم حلها ، وصياغتها العامة (إن لم تُناقَش بالتفصيل في موضع آخر من هذا الكتاب)، و فائدتها لمجتمع محللي نظم المعلومات الجغرافية . بالإضافة إلى ذلك ، تُشار إلى مواضيع البحث الحالية مع المراجع الرئيسية . مجالات بحثية مثل الشبكات العصبية المكانية ، والمجموعات الضبابية المكانية ، و التقسية المحاكاة ، ما تزال قيد التطوير وقد ناقشها فيشر (الفصل 19).

3.1 الارتباط المكاني

مكّنت دراسة كليف-أورد الباحثين من تقييم درجة التبعية المكانية إحصائيًا في بياناتهم ، ومن خلال ذلك ، البحث عن متغيرات إضافية أو أكثر ملاءمة ، و تجنب العديد من المخاطر الناجمة عن البيانات المرتبطة ذاتيًا . تحتوي العديد من نظم المعلومات الجغرافية على إجراءات كليف-أورد التي تسمح بحساب الارتباط الذاتي المكاني . ينبع جزء كبير من الاهتمام الحالي بالتحليل المكاني مباشرةً من دراسة كليف-أورد المنشورة عام 1973، ومن مناقشة المؤلفين اللاحقة (1981) الأكثر شمولاً . وقد سلطت هذه الدراسات الضوء على مشكلة سوء تحديد النموذج بسبب الارتباط الذاتي ، وأوضحت إحصائيًا كيفية اختبار بواقي تحليل الانحدار للكشف عن العشوائية المكانية . كما شرحت طبيعة مصفوفة الأوزان المكانية ، وقدمت إجراءات خطوة بخطوة لتطبيق الاختبارات الإحصائية على مؤشري موران I وجيري c ، وهما من أهم إحصائيات الارتباط الذاتي .

يُعدّ إيجاد درجة الارتباط المكاني (الارتباط الذاتي) بين البيانات التي تمثل مواقع ذات صلة أمرًا أساسيًا للتحليل الإحصائي للاعتمادية وعدم التجانس في الأنماط المكانية . يُعدّ إيجاد درجة الارتباط المكاني (الارتباط الذاتي) بين البيانات التي تمثل مواقع ذات صلة أمرًا أساسيًا للتحليل الإحصائي للاعتمادية وعدم التجانس في الأنماط المكانية . مثل معامل ارتباط بيرسون يعتمد إحصاء موران على التغاير بين المواقع المرتبطة المحددة ، بينما يأخذ إحصاء جيري في الحسبان الاختلافات العددية بين المواقع المرتبطة . تُعدّ هذه الاختبارات مفيدة بشكل خاص على البواقي المُسقطة من تحليل الانحدار الخطي البسيط بطريقة المربعات الصغرى العادية.

يشير الارتباط الذاتي المكاني ذو الدلالة الإحصائية إلى أن نموذج الانحدار غير مُحدد بشكل صحيح وأنه يجب إدخال متغير واحد أو أكثر جديد في نموذج الانحدار . أظهر كل من مانتل (1967)، وهوبيرت (1979)، وجيتيس) 1991 (أن الإحصاءات من هذا النوع هي حالات خاصة من صيغة عامة ، غاما ، تُعرَّف بمصفوفة تُمثل الارتباطات المكانية المحتملة مصفوفة الأوزان المكانية بين جميع النقاط ، مضروبة في مصفوفة تُمثل ارتباطًا غير مكاني محددًا بين النقاط . قد يكون الارتباط غير المكاني ارتباطًا اقتصاديًا أو اجتماعيًا أو غير ذلك . عندما تتشابه عناصر هذه المصفوفات ، ينتج ارتباط ذاتي إيجابي عالٍ . تصف دالة غاما الارتباط المكاني بناءً على التغايرات (إحصائية موران، (I، أو الطرح) إحصائية جيري، c)، أو الجمع (إحصائية G لجيتيس وأورد، 1992) . هذه الإحصائيات شاملة، باعتبار أن جميع القياسات بين المواقع تُؤخذ في الحسبان في آن واحد.

قدم أسبينال (الفصل 69) أمثلة في مجال حفظ المظاهر الطبيعية . عندما تكون مصفوفة الأوزان المكانية متجهًا عموديًا ، تصبح دالة غاما محلية ؛ أي يُبحث عن الارتباط بين نقطة واحدة وجميع النقاط الأخرى .(Ii, ci, Gi) شهدت الأبحاث المتعلقة بالإحصاءات المحلية نشاطًا ملحوظًا مؤخرًا ، نظرًا لسهولة تطبيقها في تحليلات النواة ضمن نظم المعلومات الجغرافية ، حيث تكون مجموعات البيانات كبيرة (أنسلين، 1995؛ جيتيس وأورد، 1992؛ أورد وجيتيس، 1995). وقد استُخدمت الإحصاءات المحلية لتصنيف البيانات المستشعرة عن بُعد (جيتيس، 1994)، ولإظهار العلاقات بين معدلات الجريمة في الأحياء (أنسلين، 1993) وميول الدول للصراع (أولوفلين وأنسلين، 1991).

ومن بين المواضيع البحثية الحالية في هذا المجال: تحديد التداخل المكاني أو الارتباط الذاتي المزعج (أنسلين وغريفيث، 1988؛ أنسلين، 1990أ؛ أنسلين وري، 1991). • خصائص بنية مصفوفات الوزن المكاني)غريفيث 1988؛ أنسلين 1986؛ بوتس و كاناروغلو 1988)؛ مشكلات عدم التجانس في القياسات المحلية للارتباط المكاني (باو وهنري 1996)؛ حديد التوزيع الدقيق لإحصاءات الارتباط الذاتي المكاني (تيفيلسدورف

و بوتس 1994)؛ بدائل لمنهج كليف-أورد (كيليجيان وروبنسون 1995)؛ الارتباط المكاني متعدد المتغيرات (وارتنبرغ 1985).

3.2 تحليل الأنماط

كان تحليل أنماط النقاط شائعًا في الستينيات ، وهو يعتمد على عملية بواسون المتجانسة مكانيًا (ينظر أيضًا فيشر، الفصل 19). كان من الشائع رؤية باحث يعمل على طاولة إضاءة ، يقوم بإجراء قياسات من نقاط مرقمة إلى أقرب جار لكل نقطة . أما الآن ، وبفضل استخدام البيانات الجغرافية المرجعية الرقمية ، أصبح بإمكاننا بسهولة إجراء قياسات من جميع النقاط إلى جميع النقاط الأخرى . بالإضافة إلى ذلك ، تُعد قياسات القطع المستقيمة ، والمسافات بين تقاطعات الخطوط ، والمساحات ، وخصائص المناطق مثل طول المحيط ، والمناطق المجاورة ، وما إلى ذلك ، أساسية في معظم نظم المعلومات الجغرافية . وقد نشأ تحليل الأنماط في العلوم المكانية من تقليد اختبار الفرضيات ، وليس من أدبيات التعرف على الأنماط الواسعة . ما يزال العمل على تحليل أقرب جار مستمرًا حتى اليوم ، ولكن تم تعديل عمل كلارك وإيفانز (1954) من أجل الحياد ، وذلك لمراعاة طول محيطات مناطق الدراسة (دونلي1978 والمسافة إلى حدود منطقة الدراسة وتحليل أقرب جار مُحسَّن: ديجل 1979؛ بوتس وجيتيس 1988) .

في السنوات الأخيرة ، استعاد تحليل أنماط النقاط أهميته كمجال للدراسة نتيجة لقدرة الحواسيب على معالجة أعداد كبيرة من الكائنات . وتستند المناهج الإحصائية عادةً إلى فرضيات العشوائية المكانية الكاملة ، أي يُفترض أن النمط النظري يُمثل : (أ) كائنات تقع بشكل مستقل عن بعضها البعض؛ و(ب) منطقة دراسة حيث يكون لكل موقع فرصة متساوية في استقبال كائن . يختبر محلل الأنماط الفرضيات المتعلقة بالخصائص المكانية لأنماط النقاط والخطوط والمساحات . تمثل هذه الأشكال الهندسية كل شيء، بدءًا من مواقع الأفراد المصابين بأمراض معدية وصولًا إلى شكل تدفقات البازلت المتصلبة (بوتس وجيتيس، 1988) . ويرتبط بتحليل الأنماط الاهتمام المستمر الذي يبديه علماء البيئة بدراسة توزيع النباتات والحيوانات . ومن المثير للدهشة أن علماء البيئة النباتية لم يدركوا إلا في السنوات الأخيرة أن نمطًا معينًا من النباتات ، بسبب الترابط بين الملاحظات القريبة ، قد لا يمثل عينة مناسبة لاختبار النماذج (فرانكلين، 1995). ويمكن الاطلاع على مجموعة من المراجع الأساسية في هذا المجال في بوتفين وترافيس (1993). لعلّ أهم التطورات في السنوات الأخيرة هي تطبيقات تحليل دالة K لدراسة أنماط النقاط ، واستخدام مضلعات فورونوي لدراسة التبليط المكاني (بوتس، الفصل 36؛ أوكابي وآخرون، 1992). إضافةً إلى ذلك ، تُعدّ دراسة الفراكتلات مجالًا واعدًا لتحليل الأنماط (باتي ولونغلي، 1994) .

3.2.1 الفكرة الكامنة وراء استخدام تحليل دالة K

دالة K هي نسبة مجموع جميع أزواج النقاط ضمن مسافة محددة مسبقًا ، d ، من جميع النقاط إلى مجموع جميع أزواج النقاط بغض النظر عن المسافة . يتم تعديل الدالة لمراعاة المسافات الأقرب إلى حدود منطقة الدراسة من d. دالة K الأصلية بواسطة تم تعديل نموذج ريبلي (1977) بواسطة بيساج (1977) لمراعاة ضرورة تثبيت التباين ، وقام جيتيس (1984) بتعميم الصيغة لتشمل ترجيح النقاط ، بحيث أصبح مجموع أزواج النقاط مجموع مضاعفات الأوزان المرتبطة بكل عنصر من عناصر زوج النقاط . وقد بذل ديجل (1983) جهودًا كبيرة لاستغلال هذه الصيغة لإظهار العديد من السمات الجديدة للأنماط . فعلى سبيل المثال، لا يمكن فقط إظهار الفرق بسهولة بين نمط موجود ونمط عشوائي بل يمكن أيضًا تطوير توقعات نظرية لأنماط أخرى غير عشوائية .

بالإضافة إلى ذلك ، يمكن دراسة الأنماط المقسمة إلى أنواع نقاط مختلفة (الأنماط المميزة) بسهولة . لأغراض الاختبار، يتم عادةً إنشاء غلاف للنتائج المحتملة في ظل فرضية ، على سبيل المثال ، العشوائية عن طريق محاكاة مونت كارلو. باستخدام محاكاة مونت كارلو ، تهيمن دراسات التوزيع المكاني للغطاء النباتي على الأدبيات التجريبية لتحليل دالة K (ديجل، 1983)، ولكن هذه الطريقة استُخدمت لدراسة توزيع السكان البشريين (جيتيس، 1983) وتوزيع الأمراض (موريسون وآخرون، 1996). وقد أظهر جاتريل وآخرون (1996) مؤخرًا أن دالة K يمكن استخدامها كمؤشر للتكتل الزمني المكاني ؛ أي أنه يتم في آنٍ واحد إيجاد أزواج من النقاط تفصل بينها وحدات زمنية ومسافات مكانية محددة . ويُعد هذا النهج مفيدًا بشكل خاص لتحديد تكتل الأمراض بمرور الوقت .

3.2.2 **تطبيقات ناجحة على الظواهر المكانية**

من بين المواضيع ذات الاهتمام الحالي في تحليل الأنماط:

- تطوير واختبار نماذج الأنماط الزمنية المكانية (غريفيث، 1996؛ جاتريل وآخرون، 1996؛ جاكيز، 1995)؛ جاكيز، 1995)؛
- البحث عن جيوب القيم المتطرفة في مجموعات البيانات الكبيرة (أورد وجيتيس 1995؛ هاسليت وآخرون 1991)؛ تطوير نماذج أنماط تعتمد على الفروق، والفروق المطلقة، وأوجه التشابه بين الملاحظات المتقاربة (جيتيس وأورد 1996).

3.3 **المقياس والتقسيم** (مشكلة الوحدة المساحية القابلة للتعديل)

تجلّت مشكلة تأثيرات المقياس بوضوح خاص من خلال نتائج دراسة أوبنشاو وتايلور (1979) لسلوك التصويت في ولاية أيوا . فقد أظهرا أن مستوى التجميع المكاني و ترتيب الوحدات المكانية (التقسيم) له تأثير ملحوظ على ارتباط المتغيرات . حدد فوثرينغهام وونغ (1991) مدى التحيز المكاني في تحليل الانحدار متعدد المتغيرات ، وأجرى فوثرينغهام وآخرون (1995) بحثًا مشابهًا في سياق مشكلة الوسيط .p أما المعالجة الأكثر شمولًا حتى الآن فهي معالجة أربيا(1989) ، الذي حدد العلاقة بين مستويات الارتباط الذاتي وتجميع الوحدات المكانية . وتُظهر دراسة حديثة أجراها هولت وآخرون (1996) مشكلة المقياس أنها مشكلة اختيار منطقة . وتشمل بعض المواضيع التي يجري تناولها ما يلي:

- تحيزات التجميع المكاني (أوكابي وتاغاشيرا1996 ؛ توبلر 1989)؛
- علاقة الارتباط الذاتي المكاني باختلافات المقياس (أربيا وآخرون 1996)؛
- تأثير التقسيمات المختلفة للمناطق على نتائج أنواع التحليلات المختلفة (أوبنشو، 1996؛ غرين وفلورديو، 1996)؛
- تحديد تأثيرات المقياس باستخدام تحليل العوامل المحورية الرئيسية (هانت وبوتس، 1996)؛
- تأثيرات المقياس على معلمات النماذج المكانية (أمرهين ورينولدز، 1996؛ ريغلي وآخرون، 1996) .

وقد طوّر أوبنشو وألفانيدس هذا الموضوع (الفصل 18).

3.4 **الإحصاء الجغرافي**

يلعب التباين المكاني (أو شبه التباين المكاني) (كريسي، 1991) دورًا مفيدًا كدالة تصف التبعية المكانية لمتغير إقليمي (مرجعي جغرافيًا) ويُستخدم مصطلح "الاستقرار الجوهري "للدلالة على الزيادة الطبيعية في التباين بين ملاحظات متغير إقليمي مع ازدياد المسافة من كل ملاحظة . التباين النصفي مقياس للتباين مع ازدياد المسافة من جميع النقاط أو المناطق (الكتل) - يصل في النهاية إلى قيمة تساوي التباين

لمجموعة البيانات بأكملها بغض النظر عن المسافة . من الواضح أنه عند مسافة صفر من نقطة ما ، يكون التباين النصفي صفرًا أيضًا ، لكن التباين النصفي يزداد حتى يصبح مساويًا للتباين عند مسافة تُسمى المدى وقيمة تباين نصفي تُسمى العتبة .

الدالة التي تصف التباين النصفي عادةً ما تكون كروية ، أو أسية، أو غاوسية . يُعدّ المخطط التبايني أساسيًا لتقنية كريغينغ ، وهي تقنية لتقدير قيمة متغير إقليمي من القيم المجاورة مع مراعاة التبعية الموضحة في المخطط التبايني . هناك أنواع عديدة من تقنية كريغينغ ، كل منها مصمم لإعطاء أعلى مستوى ممكن من الثقة في تقدير متغير في مواقع غير البيانات . إذا لم يكن هناك تحيز في المخطط التبايني ، وتم استيفاء جميع الافتراضات المطلوبة ، فإن القيم المُحسوبة باستخدام طريقة كريج ، على عكس سطح الاتجاه ، أو الشبكة المثلثية غير المنتظمة(TIN) ، أو غيرها من أجهزة التقدير، ستكون هي الأمثل .

لقد تطورت كمية كبيرة من المؤلفات في مجال الإحصاء الجيولوجي . ويُفصّل كتاب كريسي (1991) المرجع الأساسي العديد من الحالات التي أثبت فيها النهج الإحصائي الجيولوجي جدواه . وتشمل هذه الحالات دراسات حول توتر الماء في التربة ، وإنتاجية القمح ، وترسب الأحماض ، ومتلازمة موت الرضع المفاجئ . ويناقش أسبينال (الفصل 69) وويلسون (الفصل 70) تطبيقات هذا النهج في مجالي الحفاظ على المظاهر الطبيعية والزراعة ، على التوالي. وقد أُدخلت الآن تقنية التباين المكاني في العديد من نظم المعلومات الجغرافية ، وتتوفر برامج يمكن ربطها بهذه النظم للمساعدة في إنشاء التباينات المكانية وتطبيق عملية التنبؤ المكاني (GS+ 1995 ؛GEO-EAS 1988 ؛ S+SpatialStats 1996). وتتزايد المؤلفات الجغرافية حول التطبيقات العملية بسرعة . ومن بين الأعمال ذات الأهمية الخاصة عمل أوليفر ووبستر (1990) .

3.5التصنيف

يزداد الاهتمام بهذه المشكلة أو يتناقص تبعًا للتحديات التي يطرحها الموضوع ونوع البيانات المستخدمة . وكجزء من أي تحليل للصور لبيانات الاستشعار عن بُعد ، تُعد خوارزميات التجميع ضرورية . وقد طُوّرت مخططات تصنيف مُشرفة وغير مُشرفة تسمح بتحديد قيم البكسل ضمن فئة معينة ، على سبيل المثال ، الغطاء الأرضي . وقد تم تكييف مخططات التحليل الطيفي ، وشجرة الانحدار، والارتباط الذاتي ، والشبكة العصبية ، والمنطق الضبابي للتعامل مع مشاكل التجميع . وتشمل المواضيع التي يجري العمل عليها الاتي :

- تقييم مصنفات الأنماط العصبية (فيشر، الفصل 19؛ فيشر وآخرون، 1997)؛
- درجة الإشراف المطلوبة لإيجاد مجموعات ذات دلالة إحصائية (جونغ وهاوارث، 1990)؛
- تأثيرات الدقة والحساسية على مختلف مخططات التصنيف (مارسو وآخرون، 1994)؛
- دمج البيانات غير المستشعرة عن بُعد في خوارزميات شجرة القرار (مايكلسن وآخرون، 1996)؛
- تطبيق إجراءات التصنيف على نتائج فك تشابك الأطياف (ميرتس وآخرون، 1995)؛
- إجراءات التصنيف المطبقة على البيانات فائقة الطيف والبيانات ذات الدقة المكانية العالية (بارنسلي، الفصل 32؛ بارنسلي وبار، 1996).

3.6قضايا المعاينة

كما تؤثر عملية اختيار هيئة المحلفين على نتيجة المحاكمة ، كذلك يؤثر مخطط المعاينة على نتائج البحث . **وتُعد المعاينة المكانية مشكلة صعبة بشكل خاص،** لأن الفكرة (على عكس العديد من عمليات اختيار هيئة المحلفين) هي اختيار عينة غير متحيزة ، ولكن إيجاد ملاحظات مستقلة أمر مستحيل . يتطلب أخذ العينات المكانية أن يُدرك الباحث درجة الترابط في البيانات . غالبًا ما تكون الأسطح التي تُؤخذ منها العينات معقدة

وذات أشكال غير منتظمة ، مما يُشكل تحديات صعبة في التحليل الإحصائي . لسنوات عديدة ، بُذلت جهود كبيرة لفهم البيانات من عينات صغيرة . يكمن التحدي الآن في فهم مجموعات البيانات الكبيرة (فيشر، الفصل 19؛ أوبنشاو وألفانيدس، الفصل 18)، وإحدى وسائل القيام بذلك هي أخذ عينات منها . تشمل الأبحاث في هذا المجال ما الاتي:

•خطوط المسح والقطع الدائرية المتغيرة ، بما في ذلك أخذ العينات باستخدام النواة (كوانغ 1992)؛ أخذ العينات الشبكية (فولكنبيري وجاروي 1991)؛ أخذ العينات العنقودية والمنهجية (تومسون 1992)؛ حجم العينة المكانية (ريبلي 1981؛ جودتشايلد و جوبال 1989؛ هاينينغ 1990)؛

• أخذ العينات العنقودية التكيفية الشريطية والطبقية (تومسون، 1992)؛ أخذ عينات البيانات غير المتجانسة (غريفيث وآخرون، 1994).

3.7الاقتصاد القياسي المكاني

يمكن تتبع الأعمال الأساسية في هذا المجال إلى بيلينك (1967؛ ينظر أيضًا بيلينك وكلاسن .(1979 وقد جعل أنسلين الاقتصاد القياسي المكاني في متناول جمهور واسع من خلال كتابه (1988) وبرنامجه (الفصل 17؛ 1992). بالإضافة إلى ذلك ، ساهمت كتب هاينينغ (1990)، وغريفيث (1988)، وأبتون و فينغلتون (1985) في توسيع نطاق جاذبية هذه الأساليب في الجغرافيا . وكما يقول أنسلين ، فإن النهج "مدفوع بالنموذج" ؛ أي أن التركيز ينصب على تقدير معلمات الانحدار، وتحديد النموذج واختبار وجود التأثيرات المكانية. تُشكل نماذج الانحدار النهج الرئيسي لدراسة الظواهر الاقتصادية والاجتماعية والتي لا تُلبي الافتراضات المطلوبة لنموذج الانحدار الخطي الأساسي إلا لا تُلبي احتياجات نماذج الانحدار المكاني ، التي يجب أن تأخذ في الحسبان التبعية المكانية و/أو عدم التجانس المكاني في الحسبان . تحدث التبعية المكانية عندما تكون هناك علاقة بين مشاهدات متغير واحد أو أكثر في نقطة مكانية واحدة مع تلك الموجودة في نقطة مكانية أخرى، بينما ينتج عدم التجانس المكاني عن بيانات غير متجانسة - على سبيل المثال، توزيع السكان حسب المناطق التي تختلف بشكل كبير من حيث الحجم والشكل.

تم تطوير عدد من نماذج الانحدار الذاتي المكاني التي تتضمن مصفوفة وزن مكانية واحدة أو أكثر تصف العديد من التأثيرات المكانية تتضمن النماذج إما معامل ارتباط ذاتي عشوائي عام واحد ، أو سلسلة من معاملات الارتباط الذاتي ، معامل لكل متغير مستقل مشروط بتأثيرات مكانية (التبعية أو عدم التجانس) ، أو حد خطأ معامل ارتباط ذاتي ، أو مزيج من هذه المعاملات . قد تكون إجراءات تقدير المعاملات معقدة . يتمثل النهج المعتاد في استخدام الإحصاءات التشخيصية لاختبار التبعية و/أو عدم تجانس التباين بين المتغيرات الموزونة مكانيًا أو حد الخطأ . لحسن الحظ ، فإن برنامج SpaceStat ، المصمم لاستكشاف واختبار نماذج الانحدار الذاتي المكانية ، سهل الاستخدام بما يكفي للسماح بتطوير نماذج الانحدار الذاتي النهائية، ينظر أنسلين، الفصل 17، لمناقشة عامة بالإضافة إلى ذلك ، تم ربط الحزمة بشكل صريح بالعديد من أنظمة المعلومات الجغرافية ، بما في ذلك ArcView (1995) و Idrisi(إيستمان 1993) .

تم اتباع عدة مناهج أخرى لـتحديد تأثيرات العوامل المكانية في بيئة نموذج الانحدار. صُممت طريقة التوسيع لكاسيتي (1972) لزيادة عدد المتغيرات في نموذج الانحدار لمراعاة المتغيرات المكانية الثانوية ، ولكن المؤثرة ، مثل إحداثيات س، ص للمتغيرات المرجعية الجغرافية . يستخدم هذا المنهج معاملات متغيرات التوسيع كمؤشرات للتأثيرات المكانية . وفي تطور آخر، يقترح جيتيس (1990، 1995) تحويل النموذج المرتبط ذاتيًا مكانيًا إلى نموذج لا يتضمن ارتباطًا ذاتيًا مكانيًا . من خلال تصفية الارتباط الذاتي المكاني ، يمكن تقدير نموذج المربعات الصغرى العادية وتقييمه باستخدام معامل التحديد .(R^2) باستخدام إحصائية جيتيس-أورد المذكورة سابقًا، يتم تحويل المتغيرات لتصبح خالية نسبيًا من تأثيرات التبعية . تُعاد إدخال

المكونات المكانية المُفلترة في معادلة الانحدار كمتغيرات مكانية منفصلة .يمكن تقسيم قائمة مواضيع البحث الحديثة ، والتي يمكن العثور على العديد منها في المجلد الذي حرره أنسلين وفلوراكس (1995)، إلى قسمين: النمذجة المكانية والتقدير.

مواضيع النمذجة المكانية هي:

- مناهج قوية لاختبار النماذج المكانية (أنسلين 1990ب)؛
- تأثيرات سوء التحديد في النماذج المكانية (فلوراكس وري 1995؛ هيبل 1996)؛
- مشاكل البيانات في النمذجة الاقتصادية القياسية المكانية (هاينينغ 1995)؛
- النموذج الخطي العام ونماذج الانحدار الذاتي المكانية (غريفيث 1995)؛
- نماذج الخليط متعدد العمليات (المكان والزمان) (ليساج 1995)؛
- النموذج الخطي العام ونماذج الانحدار الذاتي المكانية (غريفيث 1995)؛
- الترشيح التكيفي وترشيح التبعية للنماذج المكانية (فوستر وغور، 1986؛ جيتيس، 1995).

يُعدّ تقدير المعلمات موضوعًا محوريًا في تطوير النماذج . بالنسبة للنماذج التي تحتوي على معلمات أو متغيرات مكانية ، ظهرت عدة مشكلات . تُعد متانة المعلمات واتساقها وموثوقيتها دالةً للتوزيعات النظرية الأساسية . تم التشكيك في افتراض التوزيع الطبيعي التقاربي في بعض الحالات ، وفي حالات أخرى ، يجب أن تكون أحجام العينات كبيرة قبل تطبيق افتراضات التوزيع الطبيعي . تم تقديم مناهج بايزية لإدخال المزيد من المعلومات في تقدير المعلمات.

تُعدّ إجراءات الاحتمال الأقصى أساسية لتقدير النماذج المكانية ، ولكن تم اقتراح فحص البيانات و الترشيح كطرق لتبسيط التقدير . تشمل الأبحاث الحالية ما الاتي :

- تقدير معاملات الانحدار في المعادلات الانحدارية المكانية المُنشأة مكانيًا (فلوراكس و فولمر 1992؛ كيليجيان وروبنسون 1993)؛
- تقدير نماذج بروبيت المكانية-الزمانية (مكميلين 1992)؛
- تقدير نماذج لوجيت مع التبعية المكانية (دوبين 1995)؛
- عدم استقرار المعاملات المكانية (كاسيتي وبون 1995)؛
- خصائص العينات الصغيرة لاختبارات التبعية المكانية) أنسيلين وفلوراكس 1995أ.(

4المشكلات والتحديات والتوجهات المستقبلية

يكمن جوهر علم المكان في التقنيات الإحصائية والرياضية التي تسمح بإجراء استنتاجات تأكيدية حول العلاقة بين المتغيرات في سياق مكاني . انصبّ التركيز في السنوات الأخيرة على تطوير طرق أكثر وأفضل لوصف البيانات (ينظر أنسلين، الفصل 17). وقد أتاحت حركة تحليل البيانات الاستكشافية للباحثين مجموعة واسعة من الطرق السريعة لعرض البيانات . وقد أُنجز جزء كبير من هذا العمل استجابةً لـ مجموعات البيانات الكبيرة والمفصلة التي أصبحت متاحة. في الوقت نفسه ، لم يُقدّم سوى عدد قليل نسبيًا من الأساليب الجديدة التي تسمح بتأكيد الفرضيات ، وهو ما يُعدّ متأخرًا جدًا في سباق فهم الظواهر المكانية (أنسلين وجيتيس 1992) . وتعيق مجموعة من العوائق عملَ واضعي النماذج وغيرهم ممن يسعون إلى التحقق من افتراضاتهم . ينشأ العديد من هذه العقبات من بيانات معيبة.

تشمل المشكلات رداءة جودة البيانات ، وعدم كفاية تغطيتها ، وعدم توافق مجموعات البيانات ، وعدم ملاءمة البيانات ، وعدم القدرة على التعامل مع مجموعات البيانات الكبيرة (ينظر المساهمات في القسم 1(ب)

من هذا الكتاب). بينما يتمثل الهدف الرئيسي للتحليل الإحصائي المكاني في المساعدة في تفسير البيانات ، إلا أنه لا يمكنه تحسين البيانات المعيبة (جودتشايلد 1992). بالإضافة إلى ذلك ، هناك ما لا يقل عن ثلاث عقبات أخرى تقف في طريق التحليل التأكيدي؛ وهي موضحة أدناه.

4.1 المقياس

على الرغم من كثرة ما كُتب عن طبيعة مشكلة المقياس ، إلا أن هناك القليل من الاقتراحات المفيدة للتعامل معها . ربما يكون الحل الأكثر شيوعًا هو محاولة حل مشكلة المقياس على عدد من المقاييس على أمل أن تسمح درجة معينة من المتانة للعملية بتعميم النتائج على عدد من المقاييس المكانية . لفهم هذه المسألة ، يلزم إجراء المزيد من البحوث حول طبيعة معلمات التوزيع عند تجميع البيانات . ويقدم ويبيل وداتون (الفصل 10) مراجعة أوسع لقضايا المقياس.

4.2 تأثيرات الأوزان المكانية

يُعد تحديد ووصف الارتباط المكاني هدفًا للعديد من البحوث . وتمثل الثباتية الجوهرية للمخطط التباييني نظرية مستمدة تجريبيًا للتأثيرات المكانية . وهو في جوهره مصفوفة الأوزان المكانية للنماذج الانحدارية الذاتية وإحصاءات الارتباط المكاني . وبالتالي ، فإن مصفوفة الأوزان المكانية هي تجسيد لفهمنا للارتباط المكاني. غالبًا ما يتم اختيار مصفوفة الأوزان المكانية المتجاورة لمجرد عدم افتراض أي فهم إضافي للمسافة أو التفاعل أو الارتباط . يمكن الافادة من إحصاءات الارتباط المكاني ، مثل I و c و G ، كمؤشرات على مدى ملاءمة مصفوفات الأوزان المكاني ة. لفهم قضايا مثل التبعية والتأثير المتبادل ، والتعميم بين المقاييس العالمية والمحلية ، وتجانس البيانات وعدم تجانسها ، يجب ربط البنى الرياضية المناسبة - مثل المتجهات الذاتية - بشكل وبنية بياناتنا . بالإضافة إلى ذلك ، يجب ربط أنواع المتغيرات - الاقتصادية والاجتماعية والفيزيائية - بهندسة تمثيلها المكاني.

4.3 تأثيرات الحدود

ترتبط بمجالي المشكلة المذكورين أعلاه مسألة تأثيرات الحدود . في الدراسات المكانية ، يؤثر تحديد الحدود بشكل كبير على النتائج . على الرغم من اشتقاق العديد من توزيعات الاحتمالية المقتطعة ، إلا أنها لم تُستخدم بفعالية لمراعاة شروط الحدود المكانية . يأخذ عدد من الإجراءات الإحصائية ، مثل تحليل الجوار الأقرب المُحسَّن وتحليل دالةK ، في الحسبان تأثير الحدود ، لكن علماء المكان لم يدرسوا تأثيرات الحدود بشكل منهجي بعد . تأخذ المناهج العشوائية للنمذجة في الحسبان الشروط الحدية غير المنفذة والعاكسة وغيرها ، لكن هذا العمل لم يدخل بعد في صلب علم المكان . لا تُمثل المشكلات المذكورة أعلاه سوى نصف التحدي على الأكثر . يتزايد دور البُعد الزمني في النماذج الثابتة سابقًا للعمليات المكانية البشرية والفيزيائية . عادةً ما يأتي الفهم الأعمق من دراسة الاختلافات في المكان والزمان . يُعد إدخال هذين البُعدين الأساسيين في إطار نمذجة يُمكن من خلاله تقدير المعلمات تحديًا كبيرًا.

5 نظم المعلومات الجغرافية والإحصاء المكاني

فيما يتعلق بنظم المعلومات الجغرافية ، يُوضح هذا المجلد مدى ملاءمة هذه الأنظمة لاستكشاف البيانات المكانية ومعالجتها . في البداية ، كانت المساهمات في نظم المعلومات الجغرافية على شكل أوامر سمحت بتصحيح التناقضات بين عدد من التغطيات (المتغيرات المكانية) لنفس المنطقة الجغرافية . وقد تم التركيز بشكل كبير على نموذج البيانات الأساسي ، أي البيانات النقطية أو المتجهة. وكان الهدف الرئيسي هو ربط مجموعات البيانات المرجعية الجغرافية ، سواء كانت في شكل بكسل أو مضلع مكاني ، بحيث يمكن

رسم خرائط لمختلف تركيبات المتغيرات . ومع ازدياد التعقيد ، تم تطوير وظائف سمحت باستخلاص بيانات جديدة من التغطيات المختلفة ، وللتنقل ذهابًا وإيابًا بين نماذج البيانات.

ومع ذلك ، في معظم الأحيان ، تُرك اختبار الفرضيات باستخدام المنهجية الإحصائية للحزم الإحصائية غير التابعة لنظم المعلومات الجغرافية . وكان كافيًا تطوير التقنية والوظائف التي تسمح بمعالجة البيانات . وبطبيعة الحال ، تم تطوير وظائف تحليلية استكشافية . لقد أُحرز تقدم كبير في هذا الصدد ، لا سيما من منظور الملخصات البيانية لتوزيعات البيانات ، إلى جانب مقاييس التلخيص البسيطة ، مثل المتوسطات والانحرافات المعيارية . وقد باتت الحاجة إلى تحليلات أكثر تطورًا ، التي عبّر عنها العديد من الأكاديميين ، تحظى الآن باهتمام متزايد في أدبيات نظم المعلومات الجغرافية. (لونغلي وباتي 1996أ). بدأ المحللون الآن بالافادة من خصائص معالجة البيانات والتلاعب بها في نظم المعلومات الجغرافية للمساعدة في إنشاء واختبار النماذج باستخدام المنهجية الإحصائية. وقد طُوِّر عدد من الحزم التي تُمكِّن الباحثين من التفاعل مع مجموعات البيانات المُنسَّقة بنظام نظم المعلومات الجغرافية. ومن هذه الحزم S+Gislink :الذي يربط S+SpatialStats مع(1996) ARC/INFO ، و SpaceStatالذي يربط مع ArcView (أنسلين 1997)، وبرنامج Bailey and Gatrell Interactive Spatial Data Analysis (1995)، و Regard(هاسليت وآخرون 1990). ويمكن تكييف حزم أخرى، مثل+GS ، مع متطلبات نظم المعلومات الجغرافية.

وقد أدى تأثير هذه التقنية الجديدة على التحليل الإحصائي المكاني إلى توسيع نطاق عملية اختبار الفرضيات (جيتيس 1993) . حتى الآن ، كانت عملية اختبار الفرضيات مباشرة ، مع فرص محدودة لإعادة صياغة الفرضيات أثناء عملية الاختبار . أما الآن، فقد أصبح النهج أكثر مرونة . فقد تمت إضافة خطوة إلى النهج التقليدي للاستقصاء الموجه بالفرضيات ، وتم توسيع معظم الخطوات لتشمل المزيد من الفرص لتقييم البيانات من وجهات نظر مختلفة . تتيح الخطوة المضافة ، وهي معالجة البيانات ، للباحثين فرصًا لاستخدام عينات أكبر، وعرض البيانات عبر سلسلة من مقاييس الخرائط ، والتمتع عمومًا بوضع أقوى لإجراء الاختبارات الإحصائية عن طريق المحاكاة ، وتحليلات الحساسية ، وأساليب إعادة التوزيع . لاحظ ، مع ذلك، أن كلًا من هذه المناهج يلتزم بشكل عام بما يسميه جودتشايلد ولونجلي (الفصل 40) تصميم المشروع الخطي.

أدى النشاط المكثف في السنوات الأخيرة إلى نشر عدد من المجلدات المحررة و أعداد خاصة من المجلات العلمية التي تقدم أمثلة على المواضيع المختلفة المصممة لدمج التحليل الإحصائي المكاني مع نظم المعلومات الجغرافية . ومن بين هذه الكتب كتب حررها فوثرينغهام وروغرسون(1994) ، وفرانك وكامباري (1993)، وفيشر ونيكامب (1993)، وفيشر وآخرون (1996)، ولونغلي وباتي (1996ب)، وفيشر وجيتيس (1997). ونظرًا للاهتمام الذي حظي به هذا الموضوع ، فإنه في السنوات القادمة قد نتوقع ظهور حزمة إحصائية متكاملة ، بمعنى برنامج SPSS ، مدمجة مع أكثر نظم المعلومات الجغرافية شمولًا.

الشكل 1. النهج التقليدي ونهج نظم المعلومات الجغرافية لتحليل الإحصاءات المكانية