الفصل الثالث

الجبر الخرائطي
MAP ALGEBRA

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- تحديد وتنفيذ منهجيات ترميزية ملاءمة للبيانات النقطية والخطّيّة والمساحية والسطحية عند جميع مستويات قياس البيانات الجغرافيّة.

٢- توضيح الفارق بين منهجيتي الترميز الخلوي المنتظم وغير المنتظم ومناقشة مزايا وعيوب كل منهما.

٣- إنشاء جداول صفات للنموذج الخلوي الموسع للبيانات الخطّيّة والنقطية والمساحية والسطحية عند جميع مستويات قياس البيانات الجغرافيّة.

٤- تحليل وقياس الخطأ المكاني لموضوع واحد الناجم عن منهجيّة واحدة أو أكثر من منهجيات ترميز البيانات الخلويّة.

٥- وصف وتوضيح أساليب التعامل مع ترميز الكيانات النقطية المتعددة وصفاتها المرتبطه بها عندما تظهر الأهداف المتعددة داخل الحدود الجغرافيّة للخلية الواحدة من الشبكة.

٦- شرح أوجه التشابه والاختلاف بين الجبر الخرائطي وجبر المصفوفه.

٧- حصر وتحديد قائمة بالمعاملات (Operators) الأساسية المتاحة في الجبر الخرائطي وتقديم وصف موجز لكل منها، بما في ذلك اقتراحات حول ما يمكن أن تُستخدم له.

٨- حصر وتحديد قائمة لكل الوظائف (Functions) في الجبر الخرائطي، وتقديم وصف مقتضب لأهدافها، واقتراح كيف يمكن للواحد أن يوظفها، باختصار.

٩- حصر وتحديد قائمة لكل عمليات سير التحكم الأساسية المتاحة في الجبر الخرائطي، وشرح سبب أهمية عمليات سير التحكم، وكيفيّة تأثيرها على أتمتة عمليات ووظائف النمذجه.

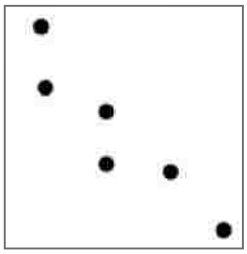
١٠- شرح عمليات التكرار أو المعاودة والدور الذي يمكن أن تلعبه في تطوير النماذج الخرائطيّة.

تصوير أبعاد المكان من صفر إلى بعدين بخلايا الشبكة

تعلمنا في الفصل الثاني بعض التقسيمات المكانية التي تستخدم في التجزئة الكمية للحيز الجغرافي إلى وحدات منفصلة أو شبكات. وتعلمنا، أيضاً، بعض الطرائق الأساسية لنمذجة البيانات الموضوعيّة المتعددة داخل الحاسوب. لقد قصدت تجنب مناقشة لمستويات قياس البيانات الآن حتى نضم تقسيماتنا ونماذج بياناتنا الخلويّة وحساباتنا الرياضيّة ضمن الإطار المركزي للنمذجة الخرائطيّة – الجبر الخرائطي (Tomlin and Berry, 1979). يتعيّن علينا قبل أن نتمكن من مناقشة الجبر الخرائطي (Map Algebra) بشكل فعال أن نستعرض مفاهيم المقاييس الاسمية والترتيبية والفاصلية والنسبية للبيانات الجغرافيّة على النحو المبين في معظم الكتب التمهيدية في نظم المعلومات الجغرافيّة، لكن بتركيز واضح على التقسيم الخلوي للحيز الجغرافي. سنبدأ بأبعاد المكان من البعد صفر إلى البعد الثاني؛ لأن معظم التغطيات داخل نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي ليست سطوح إحصائية. بالإضافة إلى ذلك، سوف نناقش تحويل البيانات المكانية التقليديّة (غير الرقميّة) إلى تقسيم خلوي أوّلي لكي يكون لدينا إدراك بما ننمذجه بالضبط، وعند أي مستوى من القياس، وأيّ أخطاء موقعية محتملة يجب معالجتها عندما نبني نماذجنا.

سوف يُعرّف المكان الثنائي البعد، هنا، على أنه أي بيانات جغرافيّة متعلقة بالسطح غير الإحصائي، وسيتضمن الأنواع الثلاثة الرئيسة للبيانات الخرائطية التي رأيناها في الفصل الثاني – ألا وهي النقاط والخطوط والمساحات. يمثّل كل هدف من هذه الأهداف ظواهر على الأرض، والتي شُخصت من قِبل مراقب ثم جُرّدت (عُمِّمت) بدرجة معينة مكانياً وعددياً. فتمثّل الظواهر النقطية مثل أعمدة الكهرباء فعلياً نقاطاً في الواقع، ومن ثمّ لا تحتل حيزاً مساحياً كبيراً على أرض الواقع. وبهذا، فإن موقعها المطلق يُعتبر، عادةً، في مكان ما داخل الخلية المعطاة من خلايا الشبكة، أما صحة الموقع فيحددها مباشرة حجم الخلية. وكما ذكرنا للتو، فإن عمود الطاقة يُحدّد فقط كجزء واحد من البيانات الاسمية؛ لأنه ببساطة له اسم يرتبط بالموقع. وفي ظل هذه الظروف، فإن عمود الطاقة غالباً ما يُسجَّل في شكل قيمة رقميّة (عدد صحيح، في الغالب)، والتي تشير فقط إلى وجوده في مكان ما داخل الخلية. ولكي نرمز ذلك، نقوم باختيار مسبق لعدد يمثّل الخلية الشبكية ونشير لموقعه باستخدام منهجيّة "وجود أو غياب" في الترميز الخلوي (DeMers, 2000a) (الشكل رقم ٣,١). وتستخدم هذه الطريقة، عادةً، بعض القيم غير الصفرية التي تشير إلى وجود الهدف، وأصفار لإظهار غيابه. ويمكن في هذه الحالة، إذا أردنا أن نستخدم النموذج الخلوي الموسع أن نبيّن، أيضاً، أي صفات إضافية، سواء كانت عددية أو فئوية، باعتبارها جزءاً من نظام إدارة

قواعد البيانات المرتبط بها، (الجدول رقم ٣,١). وقد تشمل هذه الصفات حجم العمود ونوعه (خشب، أو معدن، ... إلخ)، وآخر مرة تم فحصه.



1	0	0	0
1	1	0	0
0	1	1	0
0	0	0	1

الشكل رقم (٣,١). طريقة الترميز "وجود أو غياب". تعد هذه الطريقة لترميز البيانات الخلويّة أفضل طريقة تُطبق على البيانات النقطية، على الرغم من أنها لا تقتصر على النقاط. يُرمز للخلية الشبكية بـ (١) إذا كان الهدف موجوداً في مكان ما داخل الخلية، وصفر (٠) إذا لم يكن موجوداً.

الجدول رقم (٣,١). النموذج الخلوي الموسّع.

القيمة	العدد	الحجم	النوع	تاريخ الفحص
١	٣	١٨ بوصة	أخشاب	٩٧/١/٢٠
٢	٢	٢٢ بوصة	معدن	٩٩/٩/١٩
٣	١	٢٤ بوصة	معدن	٩٩/٩/٣٠

١	٠	٠	٠
٢	٢	٠	٠
٠	٣	١	٠
٠	٠	٠	١

يسهل التعامل مع "وجود أو غياب" الظواهر في النموذج الخلوي الموسّع؛ حيث يسمح بإدراج صفات إضافية. وفي هذه الحالة، فإننا ننظر إلى أعمدة الطاقة على أن كل منها مختلف في الحجم و النوع وتاريخ الفحص.

دعونا نفترض بالمقابل أننا لا نرغب في ترميز أعمدة الطاقة على أنها فئة واحدة، بل فئات متعددة. فعلى سبيل المثال، قد نرغب في إنشاء موضوع تحت مسمى أعمدة الطاقة بحيث نصنفها بشكل صريح، على سبيل المثال، حسب عدد العوارض: "مع عارضة واحدة"، و "مع عارضتين"، و "مع أربع عوارض"، أو أن كل فئة للعمود يمكن ترميزها باعتبارها موضوعاً مستقلاً. وبهذه الطريقة، فإن الموضوع الأصلي يتضمن فئة للبيانات الاسميّة محدّدة سلفاً، ثم لكل فئة، ما زلنا نملك القدرة على عزل وتخزين واسترجاع بيانات الصفات الإضافية في شكل جداول في امتداد قاعدة البيانات لكل نوع من الأنواع المحدّدة للعمود. لهذه الطريقة بعض المزايا من خلال تبسيط البيانات وتتيح سهولة البحث مثلاً عن كل الأعمدة ذات العوارض المفردة والتي لم تتم زيارتها للصيانة منذ أكثر من ستة أشهر. وإذا لم يكن لنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بك ارتباطاً مباشراً مع نظام لإدارة قواعد البيانات، فإنه ربما من الحكمة أن تنتج مواضيع متعددة بدلاً من أن تحدّد مسبقاً كل فئة. وبهذه الطريقة، فإن خلايا الشبكة

نفسها ستحتوي على معلومات أكثر بسبب هذه الفئات، ممّا يقلل الحاجة إلى نظام لإدارة قاعدة البيانات يحتوي على مثل هذا الامتداد أو التوسّع.

يمكن للأهداف النقطية، بالطبع، أن تُرمّز، أيضاً، على أساس الفئات الترتيبية، والفاصلية، والنسبية. وكما رأينا سابقاً، يمكننا ترميز كل عمود إما مجرد عمود فقط، مع فئاته الترتيبية والفاصلية والنسبية مخزنّة في شكل صفات في قاعدة بيانات موسعة، وإما أن نُرمّزها بشكل صريح على شكل أعداد في قواعد البيانات الخلويّة البسيطة. وكما حدث من قبل، يمكن ترميزها باستخدام منهجيّة "وجود أو غياب". لاحظ من خلال بعض الأمثلة التي يظهرها الجدول رقم (٣,٢) الاختلافات بين النموذج الخلوي البسيط والنموذج الموسع.

لقد رأينا أن هناك العديد من الخيارات فيما يتعلق بكيفيّة اختيار وترميز هذه الظواهر النقطية. إن استراتيجية الترميز المنتظم التي استخدمناها كانت طريقة "وجود أو غياب"، بيد أننا لا نقتصر على هذه الطريقة لهذه الأهداف النقطية. ورغم أن الطرائق الثلاث المنظمّة الأخرى – مركز الخلية المتوسط ونسبة الحدوث أو الظهور المئوية، والنوع السائد (DeMers, 2000a)، ليس لها فائدة خاصة للأهداف النقطية – إلا أن ثمة طريقة ترميز خلوية غير منظمّة يمكن استخدامها. ويُعرف هذا المنهج بطريقة "النوع الأكثر أهمية" (موظفو معهد بحوث النظم البيئيه، ١٩٩٤ — ESRI)، والتي تتيح للمستخدم أن يعزل بانتقائية أنواع الأهداف التي ستُدرج، في حين تُحذف الأنواع الأخرى. ويمكن أن يمثّل ذلك عن طريق اختيار وترميز سوى تلك الأعمدة التي هي في حاجة إلى الفحص في الموضوع المعطى. وبطبيعة الحال، فإن أيّ بيانات موضوعيّة إضافية يمكن إدراجها في جداول داخل النموذج الخلوي الموسّع. تعطي طريقة "النوع الأكثر أهمية" المستخدم تحكماً كبيراً بما هو مهم في البيانات الموضوعية قبل أن تبدأ النمذجه.

الجدول رقم (٣,٢). الموضوع: أعمدة كهرباء.

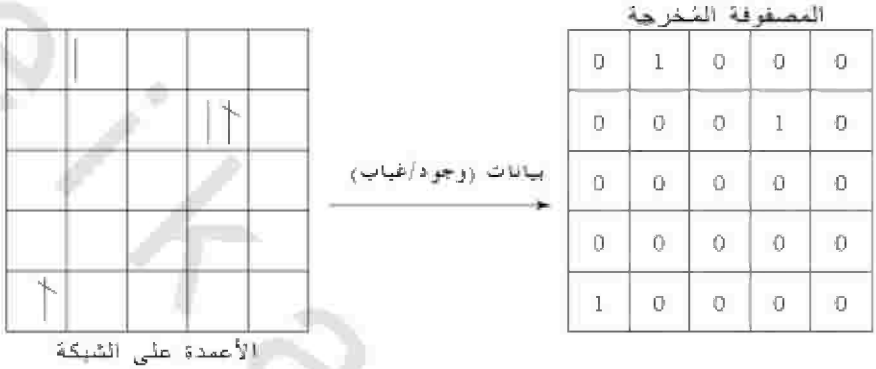
القيمة	العدد	الحجم	النوع	تاريخ الفحص	العوارض
١	٣	١٨ بوصة	أخشاب	٩٧/١/٢٠	٠
٢	٢	٢٢ بوصة	معدن	٩٩/٩/١٩	١
٣	١	٢٤ بوصة	معدن	٩٩/٩/٣٠	٢

١	٠	٠	٠
٢	٢	٠	٠
٠	٣	١	٠
٠	٠	٠	١

توسيع طريقة الترميز "وجود أو غياب" مع البيانات المجدولة لتشمل توصيفات متعددة.

وكما رأينا، فإن الهدف النقطي ليس له بعد مكاني حقيقي، غير أن الخلية الشبكية تملك هذا البعد. وهذا يخلق بعض المشكلات المحتملة للحالات التي يظهر فيها هدفان أو أكثر من الأهداف النقطية داخل نفس النطاق الجغرافي للخلية الواحدة. فعلى سبيل المثال، قد يكون لدينا اثنين أو ثلاثة من أعمدة الطاقة التي قد تظهر داخل

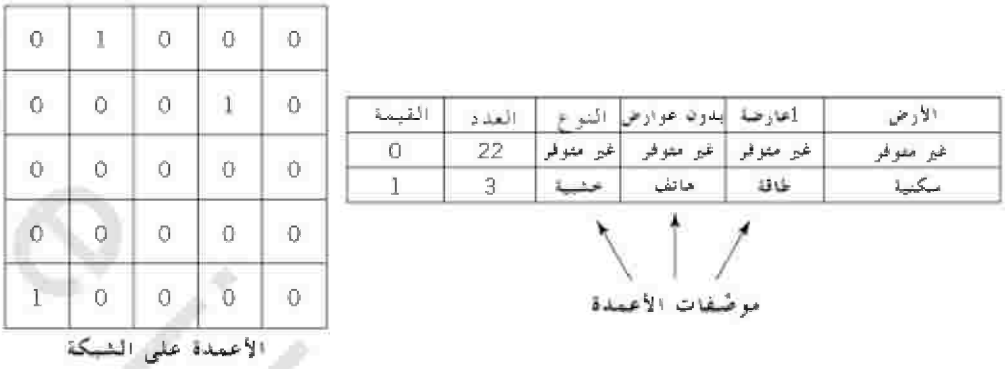
نطاق الخلية الواحدة (الشكل رقم ٣,٢). فإذا وضعت قيمة واحدة لكل عمود ولديك ثلاثة أعمدة داخل الخلية، فإنك سوف تقتصر على ترميز واحد منها مع النموذج الخلوي البسيط، لهذا فإن تبسيط موضوعك (طبقتك) بهذه الطريقة يساعدك على التخلص من هذه المشكلة؛ إذ تستطيع أن تعزل الأعمدة حسب نوعها، لكن بافتراض أن كل واحد من الأعمدة الثلاثة قابل للعزل. وهناك بديل آخر وهو أن تختار حجماً أصغر للخلية بحيث يمكن أن يظهر كل عمود داخل الخلية الواحدة.



الشكل رقم (٣,٢). مشكلة واحدة للترميز بطريقة "وجود أو غياب". كثيرا ما يكون هناك حالات فيها هدفان أو أكثر ضمن خلية شبكية واحدة، لكن بدون استخدام النموذج الخلوي الموسّع، لا يمكن ملاحظه ذلك.

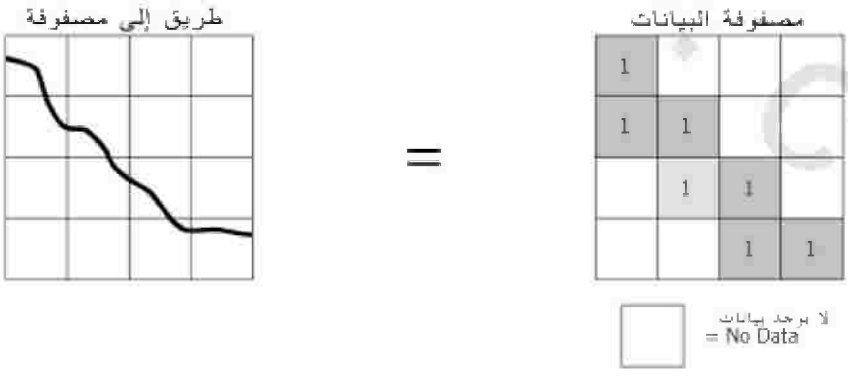
وهناك منهج آخر وهو أن تُرمّز كل خلية على هذا النحو: إما إنها ذات أعمدة، وإما ليس لها أعمدة، ثم تُستخدم القيم العددية لتوضيح عدد الأعمدة التي احتوتها كل خلية شبكية. إلا أن هذا النهج يحد من فائدة النموذج الخلوي الموسّع؛ لأنه قد يكون لديك أكثر من نوع واحد أو فئة من العمود عند كل خلية شبكية. يوفر النموذج الخلوي الموسّع منهجيّة مشابهة أخيرة، وذلك بأن كل خلية يمكن أن تُرمّز حسب وجود أو غياب أعمدة الهاتف ومن ثم يمكن لنظام إدارة قواعد البيانات أن يحتوي على معلومات محدّدة عن عدد الأعمدة التي كانت هناك. وكما هو الحال مع الطريقة السابقة، فإن هذه المنهجيّة تحد من إضافة المعلومات الوصفيّة. ولأن نظم إدارة قواعد البيانات عادةً ما تفترض أن هناك قيمة واحدة لكل خلية (حسب الصيغة المعيارية الأولى First Normal Form–) (DeMers, 2000a)، فإنك ستكون مقيَّداً بإدخال صفات عمود واحد فقط في كل مرة. ويمكن تجنب هذا من خلال تجاهل الصيغة المعيارية الأولى، وإدراج أعمدة (Columns) مستقلة في الجدول لكل من الأعمدة الثلاثة (الشكل رقم ٣,٣). غير أن ذلك سيجعل الاستعلام من قاعدة البيانات أكثر صعوبة ويقلل من فائدة قاعدة بياناتك. ستجد في المثال في الشكل رقم (٣,٣)، أن عليك البحث عن قيمة (١) للإشارة إلى أن هناك عمود للبدء به ثم مواصلة البحث، أيضاً، عن رموز الأعمدة الأخرى. هذه المشكلة مشروحة بوضوح في قاعدة البيانات الخاصة بجزيرة جبل الصحراء

(Mount Desert Island) في ولاية مين (Maine) المستخدمة في تمارين في نظم المعلومات الجغرافيّة (Exercises in GIS) لديميرس (DeMers, 2000b).



الشكل رقم (٣,٣). تجاهل الصيغة المعيارية الأولى. بالرغم من أن وضع رموز منفصلة للأهداف قد يسمح لنا بتخزينها – إلا أن ذلك كثيراً ما يخلق مشكلات عند محاولة استرجاعها.

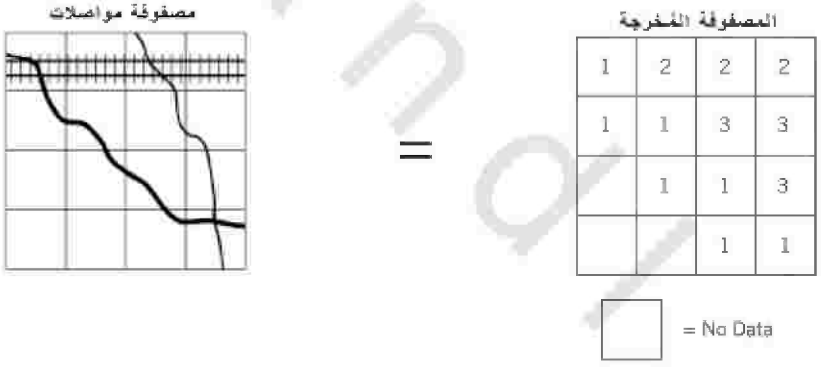
تشترك الظواهر الخطّيّة في نفس مستويات قياس البيانات الجغرافيّة (الاسميّة، والترتيبية، والفاصلية، والنسبية)، وكذلك في خيارات الترميز ذاتها. ولأن البيانات الخطّيّة لها بعد مكاني واحدا فقط، الطول، فإن تراكيب البيانات الخلويّة تعمم الموضع المكاني لهذه الظواهر (الشكل رقم ٣,٤). وبهذه الطريقة، فإن طريقاً معيناً أو مساراً ما يبلغ عرضه (١٥) متراً، على سبيل المثال، يمكن أن يحدث في مكان ما داخل خلية شبكية قد يكون قطرها (١٠٠) متراً. وهذا يثير من جديد الحاجة إلى توخي الحذر عند اختيار حجم الخلية الشبكية لترميز البيانات الخطّيّة.



الشكل رقم (٣,٤). تعميم الخطوط في النموذج الخلوي. يؤدي استخدام الخلايا الشبكية للظواهر الخطّيّة إلى مشكلة خطأ الصحة الموضعية؛ بسبب حجم الخلية الشبكية في المجال الجغرافي.

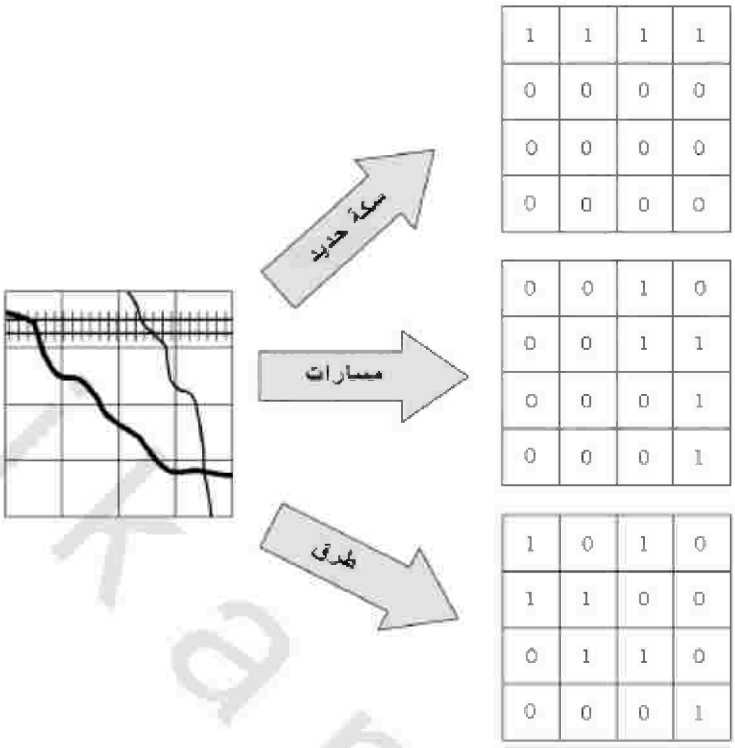
إن اختيار خطة ترميز خلوي مناسب للبيانات الخطّيّة يفرز بدرجة كبيرة نفس مجموعة المشكلات التي حدثت مع البيانات النقطية. ولأن البيانات الخطّيّة عادةً ما تحتل جزءاً صغيراً جداً من خلايا الشبكة، فإن استخدام طرائق الترميز الخلوي المتمثّلة في نسبة الحدوث، والنوع السائد أو المهيمن، ومركز الخلية المتوسط، يصبح هنا غير مناسب. بقي لدينا طريقة "وجود أو غياب" وطريقة "النوع الأكثر أهمية".

وكما هو الحال مع أمثلة البيانات النقطية، فطريقة "وجود أو غياب" سوف تستخدم، في أغلب الأحيان، عندما تكون الفئات محفوظة في شكل منطقي بولياني (Boolean)، (على سبيل المثال: إما يوجد طرق وإما لا يوجد). ولكي نشمل فئات أو أصناف أكثر من البيانات الخطّيّة، يمكننا استخدام طريقة "النوع الأكثر أهمية". وأيا كانت الطريقة التي نختارها، فإننا لا نزال معرضين لخطر ظهور أكثر من ظاهرة خطّيّة واحدة ضمن حدود خلية واحدة. ولأنه، في الواقع، عادةً ما تتقاطع الطرق، والسكك الحديدية، فإن احتمالية حدوث هذه المشكلة تظل أكبر بكثير ممّا قد يحدث للبيانات النقطية. إن الاختيار الحذر لفئات البيانات الخلويّة يتيح لنا في الغالب تجنب هذه المشكلة (الشكل رقم ٣,٥). بالطبع، ما يزال لدينا نفس الخيارات –كما بيّنته البيانات النقطية مع المشكلة هذه نفسها.



الشكل رقم (٣,٥). طريقة النوع الأكثر أهمية للترميز الخلوي. من خلال اتخاذ قرارات حول ما هي الأهداف الأكثر أهمية قبل الترميز الخلوي، فإنك تتخلص من مشكلة وجود هدفين متداخلين أو أكثر في نفس الخلية الشبكية.

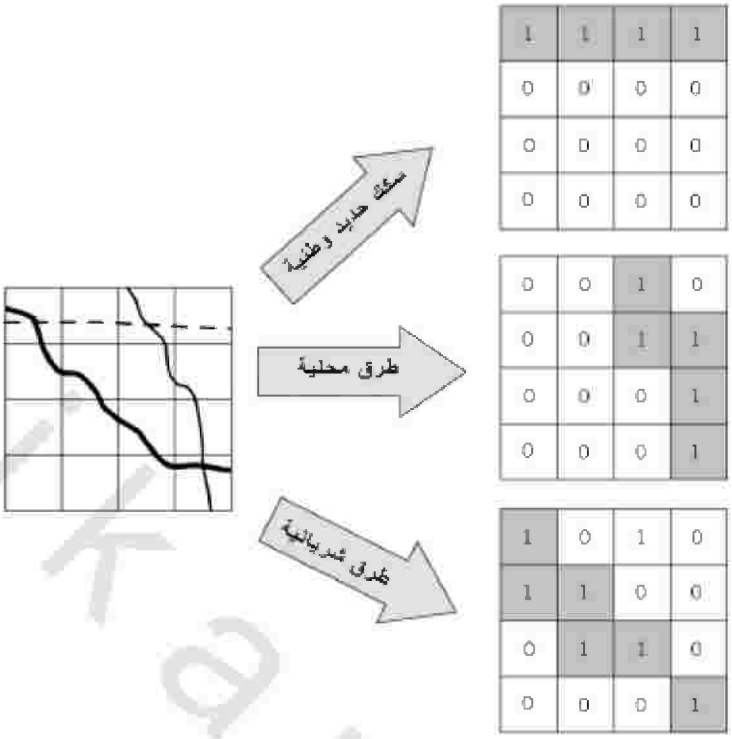
يمكن أن تكون البيانات الخطّيّة فئويّة، مثل الطرق أو المسارات أو السكك الحديدية، ويُرمّز كل منها، عادةً، ضمن موضوع معين (الشكل رقم ٣,٦)، ومن المرجح أنها ستُدرج في موضوع يسمى المواصلات. وبهذه الطريقة، فإن كل فئة يمكن إدراجها ضمن موضوع واحد، وبذلك ستكون وسيلة محكمة نسبياً لتخزين هذه الفئات. يمكن أن تكون البيانات الخطّيّة، أيضاً، ترتيبية (مثل: طرق سريعة مفردة، أو مزدوجة، أو متعددة المسارات)، أو فاصلية، أو نسبية (مثل: مبنيّة على أساس تدفق حركة المرور أو العرض المقاس).



الشكل رقم (٣,٦). يمكنك أن تشمل في الخلية الواحدة أكثر من نوع من البيانات الفئوية من خلال فصل المواضيع بدلاً من إبقائها مجتمعة. لاحظ، على سبيل المثال، كيف أن الخلية العلوية اليسرى يمكن أن تحتوى الآن على كل من الطرق والسكك الحديدية.

يمكن أن تُسجل أي من هذه الفئات في شكل موضوع مستقل، أو أنها يمكن أن تكون ضمن موضوع واحد (الطرق، على سبيل المثال)، تماماً كما في حالة الفئات الاسميّة (الشكل رقم ٣,٧). بالنسبة للنموذج الخلوي الموسع، لدينا، أيضاً، فرصة لتخزين بيانات وصفيّة إضافية عند الضرورة سواء كانت اسمية، أو ترتيبية، أو فاصلية، أو نسبية.

يمكننا – كما هو الحال مع البيانات النقطية – أن نرمّز الطرق باعتبارها فئةً واحدة، طرق، ثم نضيف أيّ صفات إضافية، مثل تقارير حوادث المرور وحالة الطريق، إلى جداولنا. وفي هذه الحالة، فإذا كان لدينا – كما في حالة تعدد النقاط في داخل الخلية الواحدة – عدة أنواع من الطرق تمر بخلية واحدة، فإننا نتعرض لخطر عدم التمكن من ترميز كل البيانات الوصفيّة دون تجاوز "الصيغة المعيارية الأولى" (الشكل رقم ٣,٨).

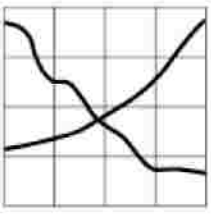


1	1	1	1
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

0	0	1	0
0	0	1	1
0	0	0	1
0	0	0	1

1	0	1	0
1	1	0	0
0	1	1	0
0	0	0	1

الشكل رقم (٣,٧). ترميز البيانات الترتيبية. لاحظ كيف أن الفئات الترتيبية المختلفة من الطريق يمكن أن تمثّل أيضاً بمواضيع منفصلة. بدلاً من ذلك، يمكن إدراجها في شكل بيانات مجدولة ضمن موضوع واحد باستخدام نموذج البيانات الخلوي الموسع.



1	0	0	2
1	1	2	2
2	3	3	0
0	0	1	1

الإنشاء	الوصف	النوع	العدد	القيمة
3/20/97	1، مسارات	طريق سريع	5	1
9/17/99	2، مسارات	طريق	4	2
غير متوفر	غير متوفر	طريق/طريق سريع	2	3

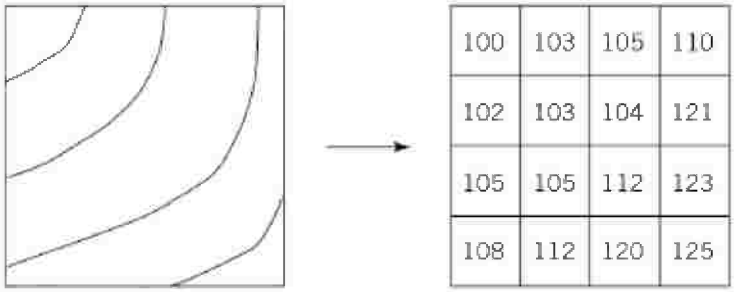
الشكل رقم (٣,٨). نموذج البيانات الخلويّة الموسّع. يصبح إدراج صفات البيانات الخطّيّة أسهل بكثير عند استخدام الجداول ضمن نموذج البيانات الخلويّة الموسع. هنا، نرى مثالاً لبيانات خطّيّة ذات درجات ترتيبية مع توصيفات إضافية.

تصوير الحيز المكاني ثلاثيّ البعد بالخلايا الشبكية

تعد السطوح الإحصائيّة غالباً جزءاً أساسياً من قواعد البيانات الخلويّة، خاصة متى ما كان الغرض، على سبيل المثال وليس الحصر، نمذجة السطح التضاريسي. فالسطوح الإحصائيّة – بحكم تعريفها – لا تشمل البيانات الاسميّة أو الترتيبية؛ ذلك بسبب أن معظم بياناتها ذات مستوى نسبي، هذا بالرغم من أن درجات الحرارة (سواء كانت فهرنهايت أو مؤية) تعد أمثلة تقليدية لبيانات السطح ذات المقياس الفاصلي. ويمكن أن تشمل السطوح، أيضاً، بيانات مثل تلك الخاصة بالتسلسل الزمني، والجذب بين الأهداف (مثل: بيانات نموذج الجاذبية أو القوى)، وبيانات الضغط الجوي، والتساقط. وفي كل حالة، تتطلب السطوح الإحصائيّة أن تكون البيانات إما مستمرة، وإما يُفترض أن تكون كذلك، وذلك على أقل تقدير، ومن ثمّ تضم عدداً لا حصر له من النقاط. وهذا يتطلب أن تُؤخذ عينة للسطح الإحصائي وتُرمّز في أيّ تقسيم حاسوبي، سواء كان خطياً أو خلوياً. أما ما يتعلق بالترميز الخلوي للبيانات السطحية، فإن الطريقة مختلفة نوعاً ما عن الطرائق التقليديّة الخمس التي سبق أن تحدثنا عنها. فبدلاً من ذلك، فإننا نسجل قيمة فريدة (مميزة) لكل خلية شبكية. لكن القرار الرئيس الذي يجب اتخاذه هو أن نحدد داخل الخلية الواحدة مكان القيمة المرُمّزة بالضبط. ويكون الخيار، في معظم الحالات، بين المركز المتوسط للخيلة أو أحد أركان الخلية الأربعة. وبالرغم من أن هذا القرار ستكون له آثاره على النمذجة – إلا أن المهم هو أن يتم ذلك باتساق مع كل بياناتك.

لا تحتوي البيانات السطحية، في معظم الحالات، على صفات سوى قيمة (Z) التي تمثّل قيمة الخلية الناتجة من عمليّة أخذ العينة أو عمليّة الاشتقاق (الإدراج البيني). لقد كانت البرامج السابقة لنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة البسيطة تسجل قيمة صحيحة (كاملة) واحدة لكل خلية شبكية (الشكل رقم ٣,٩)، في حين أن الأحدث من النماذج الخلويّة البسيطة والموسّعة عادة ما تسجل قيما نسبية للخلايا. وحتى في حالة النماذج الخلويّة الموسّعة، لا تُدرج البيانات الوصفيّة الإضافية، عادة، في الجداول الإضافية. وكما رأينا في الفصل الثاني (الشكل رقم ٢,٥)، فإن القيم المسجلة فقط هي قيم الإحداثيات (X, Y, Z).

في الحقيقة، كثيراً ما يُطلق على السطوح الإحصائيّة بسطوح ذات بعدين ونصف (2,5 D)، بدلاً من ثلاثية البعد (3D)؛ ذلك أنها لا تسمح بنمذجة العمق بشكل صريح. لقد بيّن سكوت (١٩٩٧م) أن الجبر الخرائطي ونماذج البيانات الخلويّة يمكن أن توسّع لتشمل بوضوح البيانات والمعلومات الحجمية. ورغم أن نماذج البيانات هذه تعد حالياً نماذج تجريبيّة نوعاً ما، فمن المرجح أنها ستصبح قيد التشغيل في المستقبل القريب. أما ما يتعلق بهذا الكتاب، فإننا سنتخلى عن هذا التوسّع في السطح الإحصائي ونموذج البيانات الخلوي حتى يمكننا التركيز على نماذج البيانات والبرامج المتاحة بسهولة. غير أنه من المهم أن نعترف بهذا الابتكار للقدرات النمذجية المستقبلية، خاصة مع ظهور نظم المعلومات الجغرافيّة هدفية التوجيه الجديدة (Object-Oriented GISs).



الشكل رقم (٣,٩). تمثيل النموذج الخلوي البسيط لسطوح الارتفاع. لاحظ ترجمة خطوط الكنتور (يسار) إلى قيم خلوية منفردة (يمين).

التفكير حول رياضيات الخرائط

كما لاحظنا سابقاً، فالتصوّر الأكثر مرونةً وأناقةً لتغطيات أو مواضيع نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ما هو إلا نوعاً من سلاسل القيم العددية مرتبة في شكل صفوف وأعمدة، كما هو الحال في حزمة التحليل الخرائطي (MAP). يمكننا وبشكل أكثر تحديداً، وبناءً على هذا النموذج، أن ننظر إلى كل موضوع خلوي على أنه مصفوفة صفات ثنائية البعد، كل واحدة منها مُمثلة ببعض القيم الحسابيّة أو الرياضيّة (أو قيم، في حالة نموذج حزمة التحليل الخرائطي الموسّع)، والذي تكون فيه مواقعها على الأرض مُرمّزة ضمنياً على أساس موضع الصف والعمود في المصفوفة. وعلاوة على ذلك، ولأجل أن يكون لذلك فائدة في النمذجة، يجب أن يتوافق كل موقع خلية لكل موضوع إضافي توافقاً تاماً مع العمود والصف النظيرين له في المواضيع الأخرى.

يعد الإدراك الحدسي والأساسي لهذا البناء ضرورياً جدا للنمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي، إذ تعتمد عليه جميع المعامِلات والوظائف وإجراءات التحكم بسير وتدفق العمليات والمنهجيات أو التقنيات المتكررة اللازمة لإنشاء وتقديم النماذج. هذا بمثابة فهم رقعة الشطرنج، ومربعاتها الحمراء مقابل السوداء، والقواعد التي تفرضها تلك البنية. وستنتقل، قريباً جداً، إلى عمليات ووظائف نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّ على أساس التركيب أو البناء الذي يقوم عليه. ولمواصلة التشبيه بالشطرنج، هذا يعادل فهم تحركات قطع الشطرنج الفردية والقواعد، والقدرات، وحدود كل قطعة، إذ أنك لن تبدأ لعب الشطرنج دون فهم كل من لوحة اللعبة والقطع. وبالمثل، فإننا سوف نتعلم المزيد مما يشبه ذلك في نظم المعلومات الجغرافيّة. ومثلما هو الحال بالضبط مع الشطرنج، فإننا سوف نمضي قدما في النهاية إلى الإستراتيجية، وأشكال الحركة، والمخالفات، والدفوع، وذلك لنصبح أولاً متمكنين ثم متقنين، وربما منجزين، ومن خلال الكثير من الخبرة، نكون في النهاية خبراء نمذجة.

مقارنة واختلاف مع المصفوفة الجبريّة

يمكن تصور الجبر الخرائطي على أنه القواعد والإجراءات التنفيذية التي تستخدم في إطار نموذج البيانات الخلويّة لحزمة التحليل الخرائطي (MAP) والقدرات التي يقدمها لنا. وكما رأينا سابقاً، يقوم الجبر الخرائطي على نموذج البيانات الأساسي لحزمة التحليل الخرائطي، خاصة مفهوم المصفوفة الثنائية البعد لكل موضوع. ففي الرياضيات، تسمح المصفوفة هذه بمجموعة من الإجراءات الحسابيّة أو الرياضيّة تُسمى بالمصفوفة الجبريّة لتُطبق على عمليات الاتحاد والمقارنة والمعالجة لأعداد المصفوفة. يمكننا، إذن، أن نضيف المصفوفات العددية، من خلال أخذ كل قيمة عددية عند كل موقع لكل مصفوفة وإضافتها إلى القيمة المناظرة لها. انظر، على سبيل المثال، إلى معادلة المصفوفة الجبريّة التالية:

$$\begin{bmatrix}5&4&1\\2&1&2\\4&2&1\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}3&2&1\\1&4&5\\2&7&3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}8&6&2\\3&5&7\\6&9&4\end{bmatrix}$$

انظر كيف أن العدد في أعلى اليسار (٥) في المصفوفة الأولى تمت إضافته مع العدد (٣) في أعلى اليسار من المصفوفة الثانية للوصول إلى العدد (٨) في أعلى اليسار من المصفوفة المُخرجة (أقصى اليمين)، وكذا الحال مع بقية الأعداد الثمانية في المصفوفات. ولنقم الآن بتغيير طفيف للمصفوفات لإنتاج التالي:

5	4	1
2	1	2
4	2	1

+

3	2	1
1	4	5
2	7	3

=

8	6	2
3	5	7
6	9	4

لاحظ كيف أن للمصفوفات الآن خلايا شبكية تحيط بها. هذا يدل على أن المصفوفات في جمْع المصفوفة متماثلة فعليا مع الخلايا الشبكية المستخدمة في الجبر الخرائطي، وأن عمليّة إضافة المصفوفات مطابقة لعمليّة الجمع في الجبر الخرائطي. كما يمكن، أيضاً، استعراضها بأحد أساليب العرض المعروفة للخرائط الخلويّة (الشكل رقم ٣,١٠).

ومثلما أن لعمليّة جمع المصفوفات نظير مماثل لها تماماً في الجبر الخرائطي، فكذلك عمليّة طرح المصفوفات، حيث يتم طرح الأعداد عند كل موقع خلية في المصفوفة الأولى من الموقع المقابل لها في المصفوفة الأخرى للحصول على القيم الناتجة. ونفس الفكرة مرة أخرى تترجم مباشرة إلى الجبر الخرائطي؛ ذلك إن كل خلية شبكية في موضوع واحد تُطرح من الخلية المقابلة لها في الموضوع الآخر. وإذا كنت قد درست جبر

المصفوفات، فإنك تدرك إن هذا التوافق الموقعي "واحد لواحد" لا ينطبق على تلك الوظائف مثل الضرب، والقسمة، والجذور، والقوى. وهذا هو الجزء الذي يتشارك فيه كل من الجبر الخرائطي وجبر المصفوفات. ففي الجبر الخرائطي، يتم الحفاظ على الانتقال الموقعي "واحد مقابل واحد". وهكذا، فبضرب خرائط موضوعيّة بسيطة مكونة من (٤ × ٤) خلايا داخل الجبر الخرائطي، فإننا نحافظ على نفس القواعد التي طبقناها على جمع المصفوفة وطرحها (الشكل رقم ٣,١١). يعد الإبقاء على هذه القاعدة الأساسية البسيطة ضرورياً؛ ذلك لأنه، وبخلاف ما هو موجود في المصفوفات الرياضيّة، ترتبط كل مواضع الخلايا الشبكية في الطبقات الخلويّة مباشرةً بمواضعها في المجال أو المكان الجغرافي. ونتيجة تطبيق هذه القاعدة الأساسية على ساحة جبرنا الخرائطي (نموذج بياناتنا المشابه لحزمة التحليل الخرائطي– ماب) هو إن قيم خلايانا الشبكية يمكن أن تُعدل إلا أن مواقعها لا تُنقل أو تُحرك. لهذا، فجميع المعامِلات، والوظائف الأساسية، ومراقبة سير العمليات، وعمليات التكرار أو المعاودة للجبر الخرائطي وتوسيعاته، كلها تعتمد على هذه القاعدة. وبالإضافة إلى ذلك، تعد هذه المعرفة ضرورية لأولئك الذين يستخدمون تقنيات الأوامر البرمجية لتحسين وتعديل نموذج البيانات الأساسي وواجهته الخاصة بالمستخدم. سوف نناقش هذا الموضوع لاحقاً، أما الآن، فسندرس بعض هذه العمليات الأساسية المتاحة داخل رزم البرامج التي تستخدم شكلاً من أشكال الجبر الخرائطي. تذكر وأنت تمر خلال الأقسام اللاحقة، أن كل نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تتعامل مع استخدام الجبر الخرائطي بطرائق مختلفة. حاول أن تضع المفاهيم بدلاً من الأوامر في صدارة ذهنك خلال تعلمك كيفية عمل الجبر الخرائطي.

5	4	0
2	1	2
4	2	1

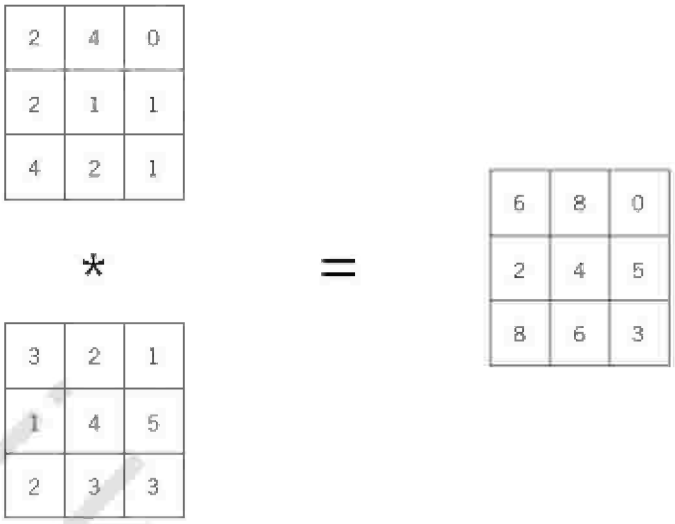
+

3	2	1
1	4	5
2	7	3

=

8	6	2
3	5	7
6	9	4

الشكل رقم (٣,١٠). جمع الخرائط. تماثل عمليّة جمع الخرائط عمليّة جمع المصفوفات تماماً، إذ تُضاف كل خلية شبكية إلى الخلية المقابلة لها في المواضيع الخلويّة المنفصلة.



الشكل رقم (٣,١١). الضرب الخرائطي. خلافاً لضرب المصفوفة، يُحدّد موقع كل خلية بشكل صريح في الضرب الخرائطي، وتستمر عمليّة ضرب خريطتين بعضهما ببعض بواسطة ضرب كل خلية بالخلية المشاركة لها في المكان.

مدخل إلى المعالجات بالجبر الخرائطي

يعد الجبر الخرائطي، بالرغم من تركيبه البسيط، أو ربما بسببه، لغةً نمذجيةً محكمةً جداً. يُستخدم بعض أشكاله في العديد من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المشهورة، مثل: GRASS؛ و ERDAS-GIS MOD؛ و ArcView Spatial Analyst؛ و ArcInfo GRID. فبعضها يسمح بتكديس مباشر للمواضيع بحيث يمكن تنفيذ حسابات المقارَنة في الجبر الخرائطي مباشرة من موضوع إلى آخر، في حين أن البرامج الأخرى تقوم بمحاكاة هذه العمليّة مع استخدام شكل من أشكال الآلة الحسابيّة للجبر الخرائطي، والنتيجة، في معظمها، هي نفسها.

ربما أنك قد أدركت الفكرة في قسمنا السابق، وهي أن الجبر الخرائطي ما هو إلا مجرد نسخة معدلة من جبر المصفوفات. وبالرغم من أن هذا في حد ذاته، يعد في الواقع إنجازاً كبيراً في معالجة الخريطة الخلويّة – إلا أنه أبعد ما يكون عن الإنجاز الكافي. إن الجبر الخرائطي هو في الحقيقة لغة نمذجية كاملة، فقد تنامى بسرعة ليصبح المعيار القياسي في الصناعة؛ حيث يسمح بالتحكم في البرنامج، وتطوير الأوامر البرمجية، وبرمجة التكرار، وكذلك السماح بالمعالجات الرياضيّة لقيم المواضيع الخلويّة. في الحقيقة، حتى عمليات تحليل قيم المواضيع الخلويّة ومعالجتها لا تقتصر على الرياضيات، بل تشمل، أيضاً، مجموعة واسعة من التعابير المنطقية (Logical Expressions) التي يمكن استخدامها لمقارنة القيم الموضوعيّة ضمن مواضيع منفردة وبين المواضيع المتعددة. وهكذا، فمن خلال الجمع بين المعامِلات الرياضيّة والمنطقيّة البسيطة والوظائف الأكثر تعقيداً، وباستخدام التحكم والتكرار، نستطيع أن ننشئ

نماذج معقدة على أساس الاستراتيجيات التي تلائم احتياجاتنا الخاصة من البيانات والنمذجة. وقبل أن نبدأ هذه النمذجة المعقدة، سوف ننظر أولاً في أنواع العمليات المتاحة لنا.

المعامِلات

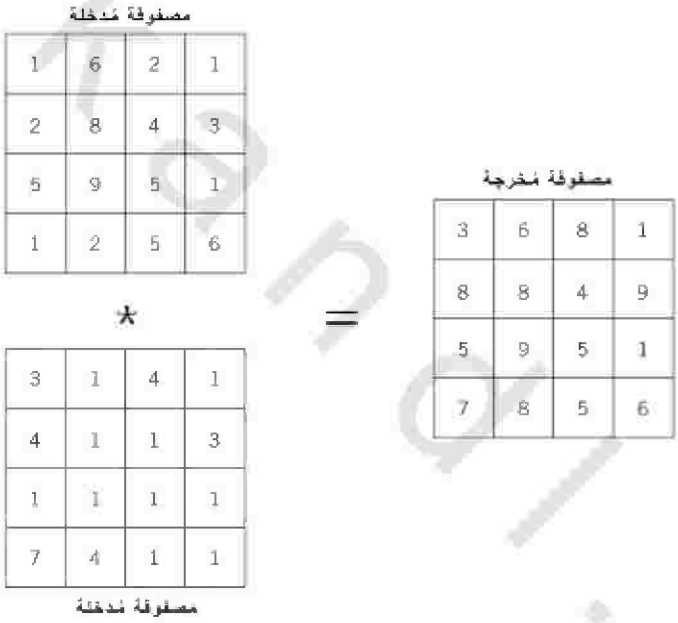
إن أكثر الخصائص الوظيفيّة الأساسية لحزم نظم المعلومات الجغرافيّة المبنيّة على لغة الجبر الخرائطي النمذجية هي نفس العمليات التي نقوم بها في معظم مجالات النمذجة الأخرى. وكما قلت سابقاً، فإن هذه المجموعة من الخصائص، المسماة بالمعامِلات (Operators)، يمكن تقسيمها إلى عدة مجموعات – حسابية (Arithmetic)، وعلائقية (Relational)، وبِتّيّة (Bitwise)، وبوليانية (Boolean)، واندماجية (Combinatorial)، ومنطقيّة (Logical)، وتراكميّة (Accumulative)، والتخصيص (Assignment). وتشمل هذه المعامِلات – مثلما قد تتوقع – الوظائف الأساسية المرتبطة غالباً بلغات ترجمة المعادلات الحاسوبية، مثل ترجمة المعادلات في لغة فورتران (FORTRAN). يبيّن الجدول رقم (٣,٣) مجموعات المعامِلات المتوفرة والمشهورة.

الجدول رقم (٣,٣). مجموعات المعامِلات.

مجموعة المعامِلات	المعامِل	المعامِل	المعامِل	المعامِل	المعامِل	المعامِل
الحسابيّة	+	-	*	/	mod	...
العلائقية	>	<	==	>=		...
البِتّيّة	>>	<<				...
البوليانية	&&	|	!			...
الاندماجية	And	or				...
المنطقيّة	In	diff				...
التراكمية	+=	*=	-=			...
التخصيص	=					...

المعامِلات الحسابيّة: هناك خيارات كثيرة – كما ترى – في معاجلة قيم الخلايا الشبكية. تشمل الوظائف الحسابيّة عمليات الجمع، والطرح، والضرب، والقسمة، ومعامِل أو مُعاير باقي القسمة (Modulus) (أعداد صحيحة أو كاملة فقط)، وكلها مطلوبة في بناء النماذج الرياضيّة داخل نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي. ستعمل معظم هذه المعامِلات على الأعداد الصحيحة بنفس الكفاءة على الأعداد الكسرية. كما أن نتائج العمليات تعتمد على أنواع البيانات المستخدمة في العمليات، فعلى سبيل المثال، إذا استخدمت الأعداد الصحيحة فقط، فإن النتائج ستكون أعدادا صحيحة. وإذا استخدمت الأعداد الكسرية في أي من العمليات – خذ على سبيل المثال، ضرب قيم كسرية

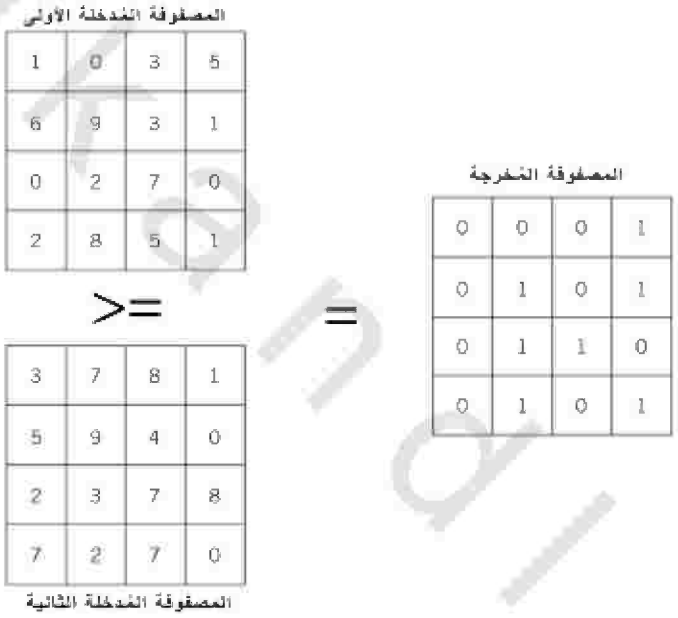
بقيم صحيحة أو كسرية – فستكون القيم الناتجة كسرية. غير أن المعامِل الحسابي الوحيد الذي يُقيَّد بنوع البيانات، هو معامِل باقي القسمة (MOD)، الذي يرجِّع قيماً صحيحة دائماً. فإذا طُبق هذا الحساب المعامِلي على أعداد كسرية، فإن أيّ باقٍ في العدد سوف يُبتر وستُحول النتيجة إلى عدد صحيح. وبغض النظر عن أيّ معامِل حسابي تستخدم، فإذا كانت هناك خلايا بدون قيم (بافتراض أن نظامك يسمح بالقيم المفقودة أو بالقيم التي تشير صراحةً بعدم وجود قيم NoData)، فإن النتيجة ستكون دائماً "لا يوجد بيانات". ضع في اعتبارك أن في معظم نظم المعلومات الجغرافيّة، لا يعني بالضرورة وجود الصفر في الخلية أنه لا توجد بيانات أو أن البيانات مفقودة. ففي معظم الأحيان، تكون فئة البيانات غير الموجودة (NoData) ضمن الخلايا المجدولة في نموذج البيانات الخلوي الموسّع. يوضح الشكل رقم (٣,١٢) الشكل المعتاد لاستخدام المعامِل الحسابي على أساس ضرب موضوعين بعضهما ببعض.



الشكل رقم (٣,١٢). مثال على ضرب مصفوفة خرائطية ذات أبعاد ٤ x ٤، يبيّن كيف أن مصفوفتين مُدخلتين تم ضربهما بعضهما ببعض للحصول على النتيجة النهائيّة. يماثل هذا عمليا المثال في الشكل رقم (٣,١١)، لكنه يوضح هنا أن كل مجموعة من القيم تمثّل الخريطة في شكل مصفوفة من القيم.

المعامِلات العلائقية: إن المعامِلات العلائقية هي تلك الأنواع من المعامِلات التي تتوقع أن تجدها، عادةً، ضمن نظم إدارة قواعد البيانات لاستخدامها مع الجداول. ويمكن القول باختصار، أن هذه المعامِلات تقوم بتقييم شرط أو حالة (Condition)، فإذا كان الشرط غير صحيح (False) فإن الناتج يُخصَّص له قيمة صفر (٠)، وإذا كان

الشرط صحيحا (True) فيُخصَّص واحد (١) للمخرج أو الناتج. وكما هو الحال مع المعامِلات الحسابيّة، فإذا كانت الحالة أو الشرط "لا يوجد بيانات" (No-data)، فإن عمليّة التقييم تنتج، أيضاً، "لا يوجد بيانات". أما الحالات الشرطية التي تُقيَّم فتشمل: أكبر من؛ وأقل من؛ وأكبر من أو يساوي، وغيرها كثير. تشتغل المعامِلات العلائقية على أعداد صحيحة وكسرية، وتتطلب وجود قيمتين مُدخلتين للمقارنة، على الأقل. يبيّن الشكل رقم (٣,١٣) استخدام المعامِل العلائقي أكبر من أو يساوي (=>) حيث يقارن القيم العددية للمصفوفة المُدخلة لتحديد أيّ قيمها الخلويّة أكبر من أو مساوية للقيم في المصفوفة الثانية. لاحظ كيف أن الخلايا التي لا يوجد لها بيانات أنتجت بعد التقييم خلايا من نفس النوع (لا يوجد بيانات).

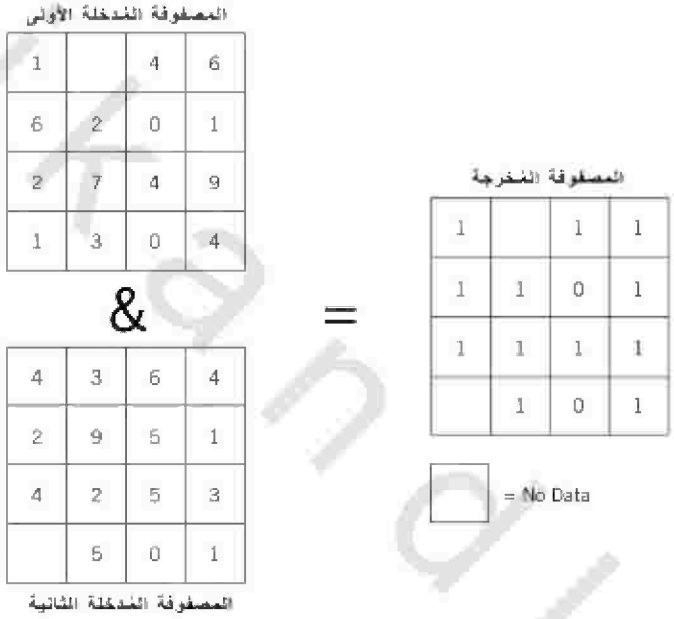


الشكل رقم (٣,١٣). المعامِل العلائقي. نلاحظ أن قيم الخلايا في المصفوفة الأولى قورنت بتلك في المصفوفة المُدخلة الثانية، فعندما تكون القيم في المصفوفة الأولى أكبر من أو مساوية للقيم في المصفوفة الثانية يتم تسجيل قيمة (١) في المصفوفة المُخرجة، في حين تُسجل قيمة (٠) عندما لا يتحقق الشرط.

المعامِلات البوليانية: توظف المعامِلات البوليانية المنطق البولياني (صحيح أو غير صحيح) وتقيّم الشروط – كما رأينا ذلك مع المعامِلات العلائقية. تنتج هذه المعامِلات قيمة واحد (١) عند تحقيق الشرط، وصفر (٠) إذا لم يتحقق الشرط، وتعمل على الشبكات والقيم العددية النسبية (Scalars)[1] والأرقام (Numerals) أو المزج

(١) عدد أو رقم من اختيار المستخدم حسب الهدف أو التحليل المطلوب (المترجم).

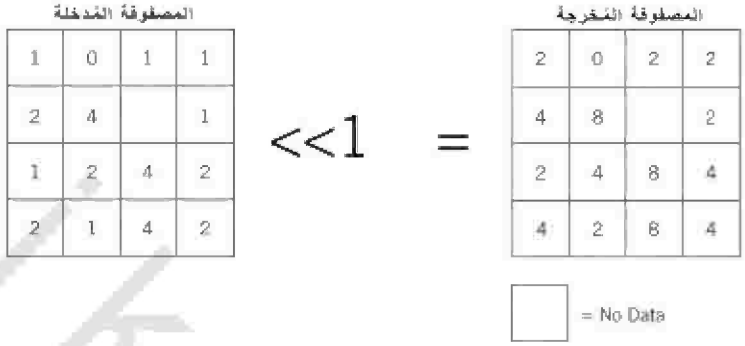
بينها، وتتطلب وجود قيمتين مُدخلتين، على الأقل. أما قيم "لا يوجد بيانات" فتبقى كما هي بعد التقييم؛ قيم من نفس النوع "لا يوجد بيانات". يبيّن الشكل رقم (٣,١٤) معامِل علائقي نموذجي باستخدام وظيفة (&) (التي تعني "و" and)، والمعروفة، أيضاً، بالتقاطع أو التداخل (Intersection). يوضح الشكل كيف أن الخلايا الشبكية التي تحمل قيماً في كلا الموضوعين أصبحت تحمل كلها قيمة واحد (١)، في حين خُصِّصت قيمة صفر للخلايا التي ليس لها قيم في الموضوعين أو في أحدهما. لاحظ، أيضاً، الخلايا التي لا يوجد لها بيانات (خلية واحدة فقط).



الشكل رقم (٣,١٤). المعامِلات البوليانية. تقارن هذه المعامِلات قيم المصفوفتين المُدخلتين لتقييم وجود أو غياب القيم في مجموعتي الخلايا الشبكية. عندما توجد قيم غير صفرية في كلا المصفوفتين تُسجل قيمة (١). وإذا احتوت خلية واحدة مقابلة أو أكثر على قيمة الصفر (٠) في أي من المصفوفتين، تُرجَع قيمة صفر. أخيراً، عندما لا يوجد بيانات (NoData) في أي من المصفوفتين، يرجِع البرنامج نفس القيم؛ "لا يوجد بيانات" (NoData).

المعامِلات البِتّية: تقوم المعامِلات البِتّية في حسابتاها على التمثيل الثنائي (Binary) لمجموعة واحدة مدخلة من قيم المصفوفة، وتعمل على القيم الكاملة (غير الكسرية) فقط. وإذا اُستخدمت الأعداد الكسرية على أنها مُدخلات، فإنها ستُبتر أولا قبل أن تُقيّم؛ ممّا يعني أن القيم الناتجة تكون أعداداً كاملة دائماً. وكما هو الحال مع المعامِلات البوليانية والعلائقية، فإن نتائج استعمال القيم من نوع "لا يوجد بيانات" سوف ينتج نفس هذا النوع من

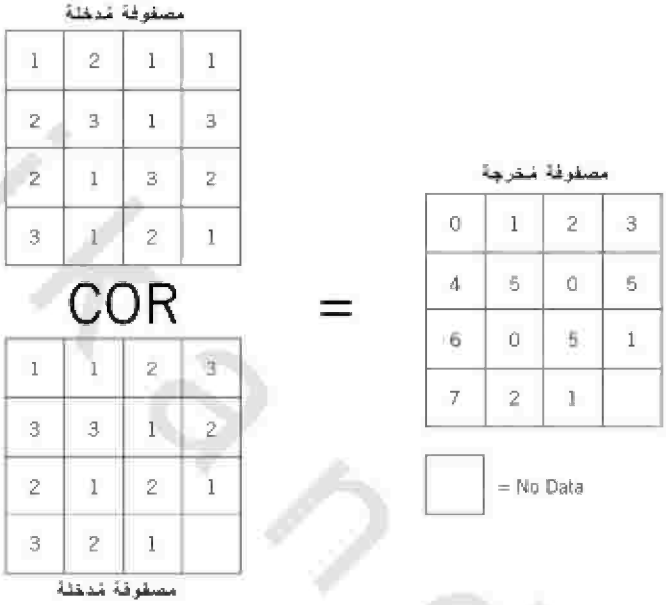
هذه القيم. يوضح الشكل رقم (٣,١٥) استخدام المعامِل البتّي ١<<، والذي يعني أن كل القيم غير الصفرية ستُحوّل إلى نظيراتها الثنائية. ومثل ما قد تتوقع، فالأعداد في المصفوفة المُدخلة التي تساوي (١) ستُحوّل إلى (٢) في المصفوفة المُخرجة، كما أن (٢) ستُحوّل إلى (٤)، و(٤) إلى (٨)، وهلمّ جرّاً.



الشكل رقم (٣,١٥). المعامِلات البتية. مقارنة بين خلايا الشبكة لقيمة (١). تُحوّل قيم (١) إلى مكافئها البتّي (٢)، وقيم (٢) تتحول إلى (٤)، وهكذا.

المعامِلات الاندماجية: تشترك المعامِلات الاندماجية كثيراً مع المعامِلات البوليانية، غير أنها تخصص قيما محدّدة على نتائج تقييم موضوعين أو أكثر من المواضيع أو المصفوفات. ويعد هذا تعميما للعامل البولياني، الذي يُقيم الشرط الصحيح بقيمة (١) والشرط غير الصحيح بقيمة صفر (٠). وفي حالة المعامِل الاندماجي، إذا أصبحت كلا القيمتين المُدخلتين (أو كل القيم) بعد التقييم قيما صحيحة (غير صفرية)، فإن مواقع الخلايا على الشبكة الناتجة يُخصَّص لها قيمة عددية معينة، وذلك لحفظ الطابع الفريد للدمج. فمقارنة (١) مع (٢)، على سبيل المثال، سينتج منها قيمة مُخرجة مختلفة عما تنتجه مقارنة (١) مع (٣). هذه الأرقام غير متماثلة، أيضاً، فمقارنة (١) في المصفوفة الأولى مع (٣) في الثانية لن يعود بنفس القيمة الناتجة كما لو كان العكس؛ (٣) في المصفوفة الأولى مقارنةً مع (١) في المصفوفة الثانية. وتسمح بعض البرامج القديمة (مثل، OSU-MAP) للمستخدم بتحديد القيم الناتجة أثناء إجراء المقارنات. ولضمان المحافظة على أن تكون النتائج فريدة من تحليل المُدخلات والمُخرجات غير المتماثلة، تكون القيم المخصصة كما في بعض البرامج، مثل ArcGrid، مبنيّة على أساس الترتيب الذي تجري عليه عمليّة التقييم. لهذا، إذا كانت المقارنة، على سبيل المثال، لـ (١) في المصفوفة الأولى مع (٤) في المصفوفة الثانية حدثت قبل أيّ مقارنة لـ (٤) في المصفوفة الأولى مع (١) في المصفوفة الثانية، فسوف يُخصص للمقارنة الأولى (الترتيب الأول) قيمة أقل مما يخرج من المقارنة الثانية. يقدم الجدول رقم (٣,٤) مثالاً لكيفيّة

تحقيق ذلك. لاحظ أنه إذا رُتبت مجموعات القيم (مثلاً، ١ مقارنةً مع ٤) في زوج واحد من الخلايا الشبكية ثم صودفت هذه المجموعة مرة أخرى بنفس الترتيب، فإنه سيتم تخصيص نفس القيمة. وبهذه الطريقة، فكل اندماجات الخلايا المتماثلة في الترتيب ستحظى بنفس القيمة الناتجة. يبيّن الشكل رقم (٣,١٦) مثالاً بسيطاً لتطبيق المعامِلات الاندماجية.



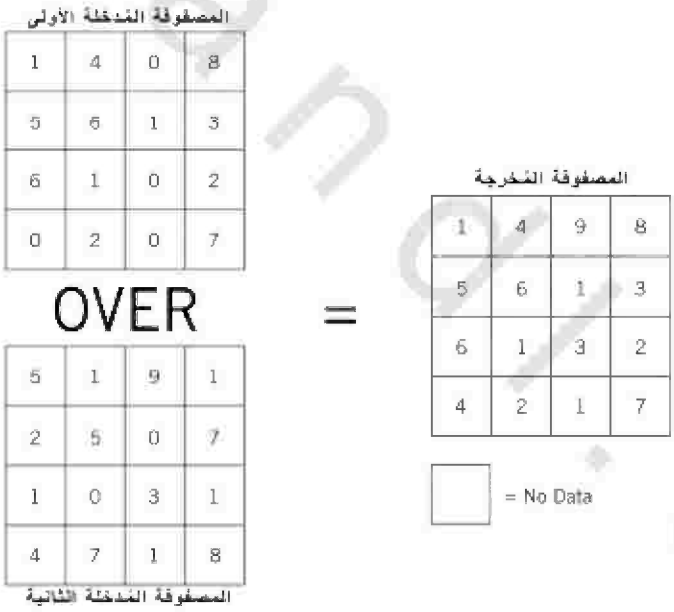
الشكل رقم (٣,١٦). المعامِلات الاندماجية. يُخصص للقيم المقابلة لكل خلية شبكية قيم فريدة لتمثيل الطابع الفريد للاندماجات.

الجدول رقم (٣,٤). المعامِلات الاندماجية.

المصفوفة الأولى	المصفوفة الثانية	النتيجة
١	١	٠
٢	١	١
١	٢	٢
١	٣	٣
٢	٣	٤
٣	٢	٥
٢	٢	٦
٣	٣	٧

يستطيع منمذج نظم المعلومات الجغرافيّة بالمعامِلات الاندماجية أن يقرر أيّ القيم التي يمكن تطبيقها لكل عمليّة دمج (أو مقارنة) للخلايا الشبكية. يعد كل زوج من المقارنة مقارنةً لا تماثلية ؛ أي أن مقارنة (١) مع (٢) ليس كمقارنة (٢) مع (١).

المعامِلات المنطقيّة : بالإضافة إلى ما رأيناه سابقاً في المعامِلات البوليانية ، هناك بعض المعامِلات الإضافية التي تستخدم المنطق الذي تقوم عليه المجموعات (Sets). يوجد بشكل عام ثلاثة معامِلات منطقيّة إضافية على أساس المنطق ، وتشمل : فرق أو اختلاف المجموعة (DIFF)– كما يمكن ترجمتها ، أيضاً : معرفة الاختلاف ؛ والمشمولة أو الواردة في (IN) ؛ وفوق أو على OVER. كل معامِل من هذه المعامِلات يقارن ، عادةً ، القيم على أساس أزواج من المصفوفات. فيقارن معامِل DIFF مصفوفتين مُدخلتين لتحديد مقدار الاختلاف أو التشابه بين قيمهما. ورغم أن هذا لا يمكن تعميمه – إلا أن معظم البرامج تُبقي على قيمة المصفوفة الأولى المُدخلة إذا اختلفت عن نظيرتها في المصفوفة الثانية. وإذا تشابهتا (القيمتان) في المصفوفتين ، يرجِّع البرنامج قيمة صفر (٠). وبعبارة أخرى ، كل الأعداد غير الصفرية الناتجة تشير إلى أنه حدث بعض التغيير ، ربما تغيير من وقت لآخر.

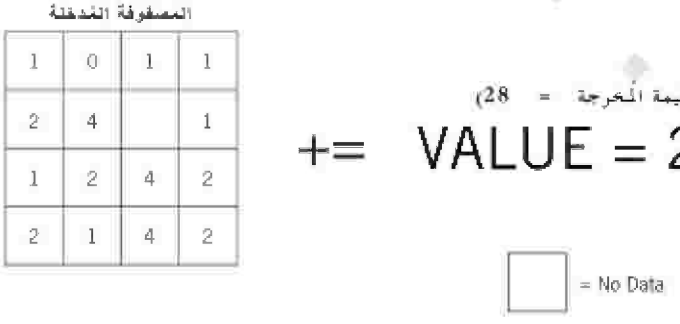


الشكل رقم (٣,١٧). المعامِلات المنطقيّة. يعيد معامِل OVER القيمة من المصفوفة الأولى المُدخلة بشرط ألا تكون صفراً، وإذا وُجد الصفر في المصفوفة الأولى تُرجّع القيمة (غير الصفرية) من المصفوفة الثانية.

يشبه المعامِل IN المعامِل DIFF في أنه يقبل ويقارن مُدخلين ، لكن لا يلزم أن يكونا خرائط شبكية. وفي معظم الحالات ، يكون المُدخل الأول عبارة عن تعبير (غالباً ، قائمة أرقام أو شبكة خلوية) ويكون المُدخل الثاني مجموعة

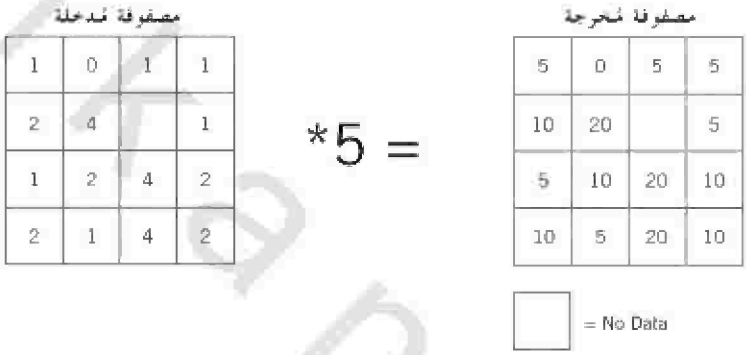
من الأرقام. تكمن الفكرة في أن تختار مسبقاً مجموعة الأرقام التي على أساسها تتم عمليّة مقارنة القيم في مصفوفتك الشبكية. فإذا أردت، على سبيل المثال، أن تعزل عدة (لنقل خمسة) استخدامات أرضية مُرمّزة بخمس قيم كاملة منفردة، وأردت، أيضاً، أن تستثني كل ما بقي من القيم (يسمى ذلك أحياناً قِناعاً Mask في مجال الاستشعار عن بعد)، فإن هذه الطريقة مفيدة جداً. يُبقي الناتج أو المُخرَج على كل القيم من المُدخل الأول والتي هي مشمولة، أيضاً، في المُدخل أو المجموعة الثانية، أما تلك التي لا توجد في المُدخل الثاني فتصبح صفراً في المُخرج. يبحث عامل OVER – والذي يقبل، أيضاً، مُدخلين – عن الأصفار. فجميع القيم غير الصفرية من المصفوفة الأولى المُدخلة تُرجّع أو تعود في المُخرج، وإذا اُكتشف الصفر، سيرجّع البرنامج القيمة المُدخلة الثانية في المُخرج. تشبه هذه العمليّة عمليّة IN – إلا أن كلا المُدخلين مصفوفتان. يبيّن الشكل رقم (٣,١٧) مثالا لعمليّة OVER.

المعامِلات التراكمية: إن المعامِلات التراكمية مصممة للحركة عبر خريطة خلوية، خاصةً لتحليل السطح التراكمي من خلال عمليات القراءة الرقمية الضوئية –أو ما يعرف بالمسح (Scanning)– المتنوعة. تُستخدم شبكة واحدة كمُدخل ويُخصص لها نتيجة تراكمية في شكل عدد واحد (مفرد). فإذا كنت، على سبيل المثال، ستستخدم معامِل =+، فإن النظام يبدأ في زاوية من الشبكة (يستخدم برنامج GRID الخلية العلوية اليسرى في المصفوفة)، ثم ينتقل إلى الخلية الأولى إلى اليمين منها مباشرة ويضيف قيمة تلك الخلية إلى قيمة الخلية الأولى (خلية الزاوية)، ويستمر المسح (القراءة) إلى الخلية التالية ويضيف قيمتها إلى مجموع قيمتي الخليتين الأوليين. وهكذا، تستمر العمليّة بهذه الطريقة حتى تنفد خلايا الشبكة. وكما رأينا مع المعامِلات الأخرى، يتم تجاهل الخلايا التي لا يوجد لها بيانات (no-data)؛ وفي هذه الحالة، فإنها لا تستخدم على الإطلاق في حسابات التراكم. ويوضح الشكل رقم (٣,١٨) مثالاً على العامل التراكمي (=+).



الشكل رقم (٣,١٨). المعامِل التراكمي. تُضاف قيم جميع خلايا الشبكة للوصول إلى قيمة عددية مفردة. نجد في هذه الحالة، أن كل قيم الخلايا المُضافة تساوي ٢٨.

معامِلات التخصيص: إن آخر مجموعة المعامِلات هي معامِلات التخصيص. تخزِّن هذه المعامِلات نتائج التعابير (Expressions) في مُخرج (عادةً، مصفوفة خلايا شبكية). كل ما يقوم به هذا المعامِل ببساطة هو تخصيص قيمة واحدة لجميع خلايا الشبكة المُدخلة. يمكن أن يشمل ذلك، أيضاً، التعابير الرياضيّة الأكثر تعقيداً والمعامِلات الحسابيّة. فعلى سبيل المثال، يمكن إنشاء مصفوفة مُخرجة من خلال ضرب موضوع واحد بآخر، أو ضرب مصفوفة شبكية بقيمة واحدة، مثل ضرب مصفوفة مُدخلة بقيمة (٥). هذه الحالة الأخيرة موضحة في الشكل رقم (٣,١٩). وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام القيم المجدولة في النموذج الخلوي الموسع لمعالجة القيم الخلويّة في شبكة منفصلة.



الشكل رقم (٣,١٩). معامِل التخصيص. تسمح هذه المعامِلات للمستخدم بتخصيص قيم حسب طبيعة المُخرج الذي تريده. وفي هذه الحالة، يضرب المعامِل كل قيمة خلية في المصفوفة المُدخلة بـ (٥).

الوظائف

تعد الوظائف (Functions) من العمليات ذات الرتبة العليا في نظم المعلومات الجغرافيّة والمبنيّة من المعامِلات الأساسية التي استعرضناها للتو، والمصممة لتوفير وسيلة لتطبيق النموذج. إن الوظائف مُقسمة إلى مجموعات: المحليّة (Local)؛ والتركزيّة – أو محورية– (Focal)؛ والكتليّة (Block)؛ والنطاقيّة (Zonal)؛ والشموليّة (Global)؛ والأنواع الخاصة. سنتطرق، في الفصل التالي، إلى الوظائف عن قرب أكثر؛ ومع ذلك، سوف نقدم، هنا، بعض المفاهيم الأساسية والتعاريف التي تشكل اللبنات الأساسية المهمة للغة الجبر الخرائطي النمذجية.

إن الوظائف المحليّة، ويُطلق عليها، أيضاً، الوظائف ذات الخلية الواحدة، مُصممة لتعمل على أساس خلية بخلية. وبعبارة أخرى، يحدث العمل على النحو التالي: تُعالج كل خلية شبكية في أول مصفوفة إما بواسطة تعبير معين (أمر برمجي)، وإما بواسطة خلية شبكية في مصفوفة أخرى تقابل موقع الخلية الأولى في المصفوفة الأولى. كما

أن الوظائف التركزيّة، أو ما يُعرف بوظائف الجوار، تشخّص أو تعيد تصنيف خلية مختارة على أساس خصائص جوار خلوي محدّد سلفاً.

تماثل الوظائف الكتليّة، أو وظائف المساحة، الوظائف التركزيّة في أنها تقوم بتقييم مجموعات من خلايا الشبكة لتنفيذ عمليّة إعادة تخصيص لقيمها. وفي هذه الحالة، فإنها تُخصص النتائج، على أي حال، لكامل الكتل الخلوية، ولمجموعات الخلايا التي لا تتداخل مع بعضها.

تستخدم الوظائف النطاقيّة، أو وظائف الإقليم أو المنطقة، مناطق (نطاقات) مُحدّدة سلفا من تغطية (طبقة) أخرى لتقييم وإعادة تصنيف خلية مستهدفة معينة. تمثّل المناطق فعليا مساحات جغرافيّة، سواء كانت متجاورة، أو مجزأة، أو مخلخلة، والتي عادةً ما تُحدّد بالتجانس الداخلي لصفاتها.

أما الوظائف الشموليّة – وكما يوحي الاسم وخلافا لما سبقها من أنواع الوظائف – تعمل على كامل المصفوفة الشبكية كلها دفعة واحدة. وترتبط هذه الأنواع من الوظائف، في أغلب الأحيان، بالتحليل الهندسي الإقليدي، وتحليل المسافة والمسار الأقصر، وتحليل الرؤية.

وفيما عدا هذه الوظائف، فهناك بعد مجموعة وظائف خاصة أكثر تعقيداً، في الغالب مجموعة تكاملية محددَّة من الوظائف البسيطة؛ بمعنى تعمل في تكامل حسب اختيار أو هدف معينين. وتُستخدم هذه الوظائف المتخصصة أساسا في التحليل الهندسي المعقد، ونمذجة وتحديد الخصائص المائية، وتحديد خصائص السطح وتحليله.

ليس كل برامج نظم المعلومات الجغرافيّة تحتوي على جميع هذه الأنواع من الوظائف، ولكن تتضمن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الإحترافية إمكانات لبناء الأوامر البرمجية لتنفيذ هذه القدرات. ولعلك قد أدركت، فإن وجود نموذج للبيانات مشابه لبرنامج ماب (MAP) يعد أمراً مفيداً، إن لم يكن أساسياً، لتنفيذ أمثل للنموذج. وقبل أن يتم مثل هذا التنفيذ، فإنه من الضروري أن تكون قادراً على إصدار الأوامر التي تتحكم في تدفق أو سير العمليات، وهذا ما سوف نراه في الجزء التالي.

التحكم بسير العمليات

تعد مراقبة أو التحكم بسير العمليات جزءا لا يتجزأ من الجبر الخرائطي. وهو يوفر الوظائف الأساسية مثل التشغيل والتوقف، وتوفير مجموعة من الأساليب المتّبعة التي يمكن أن تتضافر لإنشاء إطار أوامر برمجية يستطيع المستخدم من خلاله التفاعل مع برنامج نظم المعلومات الجغرافيّة. وبالرغم من أن تملن وبيري (١٩٧٩م) طوراً صيغة مبكرة لهذا الإطار لحزمة التحليل الخرائطي (برنامج ماب) الأصلية – إلا أن هذه الصيغة قد عُدّلت بدرجة أكبر أو أقل لكل صيغ نموذج البيانات الأصلي هذا. وعليه، فإن طبيعة إطار ضبط سير العمليات وتركيبه يختلفان من حزمة إلى حزمة. سنعتمد نفس الصيغة أو الهيئة التي استخدمها تملن (١٩٩٠م).

وسواء كان برنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك يستعمل واجهة مستخدم تفاعليّة (GUI)، أو أنه يعمل حسب أوامر برمجية صارمة، فإن العمليّة تبقى أساساً هي نفسها؛ ذلك أن كل من الأوامر وبنية أو تركيب اللغة مُتضمَّنة في الواجهة التفاعليّة. ويتكون الشكل الأساس لمراقبة سير العمليات من مرحلتين متميزتين، لكنهما عنصران مرتبطان – جمل الإسناد التصريحية والبرامج – بحيث يعملان مع العمليات والوظائف التي رأيناها مسبقاً. وهذان العنصران هما مرتبطان في لغة هجينة تحاكي العناصر وتركيب كل من الجبر والإنجليزية. يوجد، أيضاً، بعض النسخ غير الإنجليزية لهذه اللغة الخاصة بالتحكم بسير العمليات.

جمل الإسناد: إن جمل الإسناد التصريحية (Statements) هي تمثيل لغوي للعمليات. إذ توفر جملة الإسناد هيكلاً إعلانياً أو تصريحياً للأوامر، حيث يربط بين المعامِلات، والوظائف، وأوامر البرمجة في تطور منطقي. فمثل معظم لغات الحاسب التصريحية (Declarative)، فإن ترتيب العمليات يعد أمراً حيوياً لسلامة أداء النموذج. والواقع أن بعض نظم المعلومات الجغرافيّة تستخدم مجموعة من إجراءات التحكم بسير العمليات تشبه تلك اللغات مثل فورتران (FORTRAN) أو نسخ من سي (C) أو بيسك (BASIC). سوف أصف الشكل النمطي (لسهولة استعماله) للغة التي تشبه كثيراً الجملة الانجليزية التصريحية. ونظراً إلى مرونتها، بوصفها تركيبا مشابه للغة الطبيعية (المألوفة)، فإن هذه المنهجيّة للتحكم بسير العمليات يمكن أن تمتد لإيجاد خوارزميات بلغات أوامر في نظم المعلومات الجغرافيّة ذات مستوى أعلى. وتشمل جمل الإسناد التصريحية المستخدمة في منهجيّة التحكم بسير العمليات تسلسلاً مُرتباً من الحروف والأرقام والرموز (لتمثيل المعامِلات)، والمساحات الفارغة. وكما هو الحال مع جملة اللغة الطبيعية التصريحية، فالتسلسل يشكل تصريحاً إعلانياً يشير إلى الموضوعات (Subjects) قيد النظر، ومعدِّلات (مقيدات) المواضيع، والأهداف التي ستعمل المواضيع عليها. انظر في الجملة التصريحية التالية:

TotalCostMap = LocalSum of FirstCost and SecondCost and ThirdCost
(خريطة كامل التكلفة = المجموع المحلي للتكلفة الأولى والتكلفة الثانية والتكلفة الثالثة)

يبدأ هذا التصريح بالموضوع – هذا هو اسم الخرائط المُخرجة في معظم نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة – وفي هذه الحالة، فإن الموضوع هو: TotalCostMap؛ فهو الخريطة الموضوعيّة، أو أي مُخرج آخر سينتج من تنفيذ العمليات على الجزء الأيمن لعلامة التساوي (في النص الإنجليزي). تمتلك الجمل التصريحية، أيضاً، القدرة على تقبل المعدِّلات التي تقابل حروف الجر، والصفات، والظروف، والأسماء، وحروف العطف، وحتى علامات الترقيم التي تضيف أهمية، أو تغيّر معنى الجملة. فتعد علامة التساوي في التصريح أعلاه مُقيِّداً؛ لأنها تؤدي وظيفة الفعل على الموضوع. وتشمل المُقيِّدات الأخرى حرف الجر "لـ" وحرف العطف "و". تعطي هذه الحروف الجملة التصريحية المعنى المطلوب، وتعزّزه، وتربط بين المصطلحات الأخرى فيها تماماً كما لو كانوا في جملة طبيعية.

تـوفر الأهـداف الأخـرى علـى يمـين الجملـة التـصريحية (LocalSum، و FirstCost، و SecondCost، وThirdCost) العناصر، والأعمال (Actions) على تلك العناصر التي تنتج مع بعضها المُخرج (الموضوع). وفي هذه الحالة، يعد مصطلح LocalSum وظيفة (وظيفة محلية، في الحقيقة)، وتعمل على كل خلية في شبكة التكلفة ولكل مصفوفة من المصفوفات المنفصلة الثلاث وذلك من خلال جمع هذه الخلايا بعضها مع بعض. يمكن أن تكون الأهداف في معظم البرامج الخلويّة المبنيّة على أسس الجبر الخرائطي أسماء الخرائط نفسها (كما في الحالة المذكورة أعلاه) ، أو أسماء، أو ظروف، أو أرقام. كما يمكن، أيضا، أن تُستعمل الرموز الخاصة (Special codes) التي تمثّل القيم الخاصة، مثل مجموعة النفي (-0)، وأعلى قيمة (++)، وأدنى قيمة (– –). كما يمكن أن تُستخدم للإشارة إلى الجزء المفقود من سلسلة عددية، مثل (١، ٢، ... ٨، ٩، ١٠)، التي تشير إلى أن سلسلة القيم (٣، ٤، ٥، ٦، ٧) هي جزء من السلسلة الحسابيّة. وفي بعض الحالات، تكون القيم الفعليّة لهذه الأجزاء في تصريح جبري خرائطي إما غير معروفة، وإما أنها ستُقيَّم ومن ثم تُنشئ خلال التقييم. تُسمى هذه الأجزاء بالمتغيرات (Variables)، وتشبه المتغيرات في لغة البرمجة التقليديّة، وتُوضح هذه المتغيرات في التطبيق التقليدي للجبر الخرائطي بحروف كبيرة. وعليه، يمكن أن يبدو التصريح مثل هذا:

NewMap = LocalSum of FIRSTMAP and SECONDMAP and THIRDMAP and FOURTHMAP

(الخريطة الجديدة = المجموع المحلي للتكلفة الأولى والتكلفة الثانية والتكلفة الثالثة والتكلفة الرابعة)

وبهذا الشكل فإن الأهداف FIRSTMAP، و SECONDMAP، و THIRDMAP، و FOURTHMAP توحي بطبيعة القيم التي سوف تحل محل المتغيرات العامة أثناء التقييم. هذا التصريح المعمم يسمح بتطوير وتنفيذ خوارزميات مرنة بغض النظر عما ستكون عليه القيم الفعليّة. ولإضافة المزيد من المرونة للبيئة البرمجية، فإن الجبر الخرائطي يسمح، أيضاً، بإدراج أجزاء اختيارية للتصريح. وقد يكون هذا مطلوباً إذا عرفنا – كما في التصريح السابق – إن وجود ما لا يقل عن خريطتين يعد أمراً ضرورياً في عمليّة LocalSum، بينما تكون بقية الخرائط اختيارية ولا تحتاج إلى تقييم إلا إذا كانت موجودة فقط. يستخدم التصريح المُقيَّد، عادةً، الأقواس لتحديد أيّ من الأجزاء يكون اختيارياً. لذلك يمكن إعادة كتابة التصريح السابق ليبدو كالتالي:

NewMap = LocalSum of FIRSTMAP and SECONDMAP [and THIRDMAP and FOURTHMAP]

إن فحوى جملة الإسناد التصريحية أعلاه يشير إلى أن هناك أربع خرائط محتملة تحتاج إلى تقييم، بيد أن المطلوب منها فقط هما الخريطتان الأوليان. لكن، ماذا لو أنك لا تعلم بالضبط عدد الخرائط التي ستدرج في عمليّة LocalSum؟ لحسن الحظ، فإن الجبر الخرائطي لا يزال يسمح بهذا وبمرونة أكثر من خلال إضافة عبارة "الخ" (.etc)،

التي تدل على أن أجزاء التصريح المُتضمنة داخل الأقواس يمكن أن تستمر. وبدلاً من إدراج المتغيرات THIRDMAP و FOURTHMAP بشكل واضح في الأقواس، فإننا نستخدم متغير أكثر عمومية مثل NEXTMAP. وعليه، يمكن أن تُعاد كتابة التصريح، الآن، هكذا:

NewMap = LocalSum of FIRSTMAP and SECONDMAP [and NEXTMAP] etc.

هذا يدل على أنه يمكن إدراج أيّ عدد من الخرائط بعد أول اثنتين منها في الحسابات، بالإضافة إلى إلزامية الأوليين. وكما لاحظت من التصريحات أعلاه، فلقد استمرينا في استخدام مصطلح LocalSum. ومن مناقشتنا الأولية للوظائف، يجب أن تدرك بأن هذا يمثّل عضواً في مجموعة الوظائف التي أطلقنا عليها وظائف محلية (الوظائف التي تتعامل مع الخلية الواحدة). إن أي وظيفة، بغض النظر عن أي مجموعة تنتمي لها، يمكن إدراجها في تصريحاتنا لاستحداث إجراءات من شأنها أن تقيِّم خرائطنا الشبكية. سنتطرق في الفصل التالي بشكل موسّع إلى الخيارات الوظيفيه المتاحة في حزم نظم المعلومات الجغرافيّة القائمة على الجبر الخرائطي. ولكن، قبل ذلك، نحتاج أن نفحص باختصار البرامج، والمُعاودَة (التكرار).

البرامج: يُسمى التمثيل الكتابي الترميزي لطريقة إجرائية في الجبر الخرائطي بالبرنامج. وبالرغم من أن هذا يبدو وكأنه الشيء نفسه للتصريح – إلا أنه غير ذلك. فالبرنامج، بالأحرى، عبارة عن تسلسل مرتَّب للتصريحات، حيث يُوضع كل تصريح على سطر مستقل وتهدف جماعيةً إلى أداء مجموعة واسعة من الأنشطة أو المهام المترابطة. عليك أن تلاحظ أني استخدم مصطلح "تسلسل مرتَّب"، وهذا يدل – كما في أي لغة برمجة – على أن الترتيب الذي سوف تظهر فيه التصريحات يشير، في معظم الأحيان، إلى الترتيب الذي ستتم فيه المعالجة. إن البرنامج هو تحديد كتابي ترميزي لنموذج نظام المعلومات الجغرافيّة، فيبيّن أي الخرائط التي ستدرج، وما هي المعامِلات التي ستُطبق تحديدا لكل خلية أو مجموعة خلايا شبكية، وما هي الخرائط الوسيطة (البينيّة) التي ستُنتج، وكيف تُعالج بعد ذلك. عليك أن تلاحظ، أيضاً، أني ذكرت أن ترتيب التصريحات يشير غالباً إلى ترتيب عمليّة المعالجة. قد يعني هذا أن البرنامج خطي تماماً، وأن كل خطوة تابعة مباشرة من الخطوة السابقة التي نُفذت من قبل، وهذا من شأنه أن يحصر برامجنا في أداء مهام بسيطة جدا. إننا بحاجة إلى إضافة سمة واحدة للغة جبرنا الخرائطي لتوفر لنا المزيد من المرونة للنمذجة في الحالات المعقدة.

المعاودَة

إن الجبر الخرائطي، لحسن الحظ، لغة متينة تسمح لمنمذج أو مبرمج نظم المعلومات الجغرافيّة تنويع الترتيب الذي تظهر فيه التصريحات. هناك خطوات يمكن تجاوزها في ظل ظروف محدّدة، فإذا نتج، على سبيل المثال، من

تقييم تصريح معطى قيماً لا تحقق عتبة حدية (عليا) معينة لنموذجنا (مثل، القيمة النهائيّة الإجمالية لانجراف التربة الناتجة من عملية تقييم للمواقع السكنية)، فقد نتمكن من التخلص من الإجراءات التي بالمقابل يمكن أن تُستخدم لإضافة موارد مالية لجعل التنمية قابلة للاستثمار اقتصادياً. وقد نحتاج، أيضاً، إلى إدراج بعض العمليات في ظل ظروف معينة. في الحقيقة، يمكننا إعادة كتابة برنامجنا الخاص بتطوير المواقع السكنية على النحو الذي نفترض، في الغالب، أنه لن تظهر هناك حاجة إلى مُدخلات مالية إضافية، وإذا تجاوزت التعرية حداً معيناً، فيمكننا – عندئذ – أن نطلب من البرنامج أن يشمل التصريحات والإجراءات اللازمة لتنفيذ الموارد المالية الإضافية، وهذا عكس الحالة الأولى تماماً. إن هاتين الحالتين هما أقرب إلى التصريح البرمجي الشرطي من نوع "إذا كان ذلك فآخر" (if-then-else) المتاح تقريبا في جميع لغات البرمجة الحديثة.

ستكون هناك، أيضاً، حالات مألوفة تتطلب تكراراً لبعض الإجراءات والتصريحات للوصول إلى النتيجة النهائيّة. هذا هو الحال غالباً عندما تتطلب الإجراءات الإحصائيّة أو العددية خطوات أو مراحل متعددة لتقييمها النهائي. قد يكون المثال التقليدي، في حالة الجبر الخرائطي، نموذجاً فيه العديد من الخطوات التي يتعيّن معالجتها، حيث إن كل خطوة متعاقبة يجب تنفيذها، يلي ذلك تخزين للخريطة الوسيطة المنتجة ثم تُسترجع – بعد ذلك – للخطوة القادمة. إن الطريقة التقليديّة في لغة الحاسوب هي أن يكون هناك تركيباً لعمل حلقة التكرار (do loop) والذي يقضي بأن تستمر العمليات حتى الوصول إلى نقطة وقوف محدّدة مسبقاً، أو حتى استنفاذ مجموعة البيانات.

أخيراً، ينبغي عليك أن تنظر إلى الجبر الخرائطي على أنها لغة مكانيّة متكاملة ذات مستوى عالٍ؛ إذ تشمل عناصر أساسية (المعاملات)، وعناصر أكثر تعقيداً (الوظائف)، وهيكلاً أو تركيباً رسمياً (تصريحات)، ومع كل ما يلزم من السمات التي تسمح ببرمجة النماذج المعقدة المطلوب تطويرها وتنفيذها. ولكي تبرع في النمذجة الخلويّة في نظام المعلومات الجغرافيّة، لا بد أن تكون ملماً بتركيب الجبر الخرائطي الذي يستخدمه البرنامج الخاص بك، وبقواعد تشغيله، وبمكونات كل نسخة (برامجية) منه، وبطريقة تنفيذه أو التعديل عليه. سنتطرق في الفصل التالي لبعض الوظائف الأكثر قوة المتاحة داخل لغة الجبر الخرائطي. لا تنس مقارنة هذه مع تلك المتاحة في برنامجك قبل أن تبدأ في النمذجة. وستفضي المعرفة الدقيقة للقدرات النمذجية لبرنامجك إلى تحسين الكفاءة العملية، وإثارة أفكار كثيرة، واقتراح قدرات لم تُنفذ بعد، ومن ثم تأخذك إلى أبعد من عمود وظائف نظام المعلومات الجغرافيّة؛ إلى المجال المثير والمربح في تطوير التطبيقات.

مراجعة الفصل

يمكن تصور وتمثيل النقطة، والخط، والمساحة، وبيانات صفات السطح الإحصائيّة حسب مقاييس البيانات الجغرفية الاسميّة أو الترتيبية أو الفاصلية أو النسبية. وتوفر طرائق القياس هذه فرصاً وقيوداً لكيفيّة تخزينها سواء

داخل النماذج الخلويّة البسيطة أو المُوسَّعة. كما تساهم كل من الأبعاد المكانيّة، ومستويات القياس المُستخدمة، واحتمال التداخل بين مواقع الأهداف في تحديد الطريقة الأكثر ملاءمة من طرائق الإدخال الخلويّة الخمس (أربع منظَّمة وواحدة غير منظَّمة). أما البيانات السطحية الإحصائيّة فعموماً لا تملك قيم صفات إضافية مرتبطة بها، كما أنها، أيضاً، أشهر البيانات تمثيلاً بالقيم الكسرية بدلاً من الأعداد الكاملة.

يماثل التقسيم الخلوي شكل المصفوفة التي لا تختلف عن تلك التي قد يجدها المرء في جبر المصفوفات. وفي إطار هذا التركيب، فقد اعتمدت أحدث نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة لغة نمذجة في شكل آخر من أشكال الجبر الخرائطي. ويعد الجبر الخرائطي نسخة قياسية (منهجيّة) ومبسطة لجبر المصفوفات الذي يحتفظ بالدقة الموقعية لكل خلية داخل المصفوفة. كما يتجاوز الجبر الخرائطي الإجراءات الرياضيّة ليشمل، أيضاً، مجموعة واسعة من الإجراءات العلائقية، والمنطقيّة، والاندماجية، والتراكمية، وإجراءات التخصيص. وتُسمى هذه كلها بالمعامِلات، والتي يمكن دمجها مع إجراءات ذات مستويات عليا تُسمى الوظائف، ضمن تركيب مماثل للغة الطبيعية يُطلق عليه التصريحات (جمل الإسناد التصريحية)، وذلك للسماح بتحكم برامجي لبناء برامج تُستخدم لتطوير نموذج نظام معلومات جغرافيّة ونشره. ويسمح الجبر الخرائطي، أيضاً، بالتحكم في سير العمليات من خلال خطوات تسلسلية مرتّبة لتصريحات الجبر الخرائطي؛ تُسمى برامج. يفرض هذا التسلسل المرتّب إطارا يتم على أساسه اختيار الخرائط والعمل عليها حسب أيّ ترتيب من أجل تحقيق نتائج النموذج المرجوة. كما يشمل هذا، أيضاً، مرونة برمجية إضافية عن طريق استخدام التصريحات التي تسمح بتجاوز بعض الإجراءات، أو تضمينها، أو تكرارها متى ما كان ذلك ضرورياً. كما توفر هذه المرونة الجبر الخرائطي نفس القوة والمرونة المرتبطة، في أغلب الأحيان، بلغات البرمجة الحاسوبية النموذجية.

مواضيع المناقشة

١- ما آثار الأبعاد المكانيّة للأهداف على اختيار خطة الترميز الخلوي المناسب؟

٢- ما هو الترميز الخلوي غير المُنظم، وما أنواع المعايير التي يمكن أن تستخدمها في اختيار وتنفيذ هذا الترميز؟

٣- ناقش، باستخدام مجموعة من المواضيع الخرائطيّة، سواء كانت حقيقية أو مفترضة، أيّ المواضيع التي يمكن أن تكون ملاءمة للاستخدام في النموذج الخلوي الموسّع، وقدِّم بعض الأمثلة الملموسة على ذلك.

٤- كيف تؤثر طريقة الترميز الخلوي المختارة على الصحة المكانيّة للكيانات (الأهداف) النقطية والخطّيّة والمساحية؟

٥- ناقش الأثر الذي تحدثه الأهداف النقطية، والخطّيّة، والمساحية إذا ظهرت داخل المنطقة التي تحتلها خلية شبكية واحدة. وصف بعض الحالات التي يحتمل أن يحدث فيها مثل هذا، واشرح بعض الحلول لهذه المشكلة.

٦- كيف تختلف الرياضيات في كل من الجبر الخرائطي وجبر المصفوفات؟ لماذا الرياضيات في الجبر الخرائطي مختلفة؟ ألم يكن بإمكاننا فقط أن نضيف بعضاً من تركيب الجبر الخرائطي إلى رياضيات جبر المصفوفات؟

٧- قدِّم قائمةً ووصفاً بسيطاً في جملة واحدة لكل من أنواع الوظائف الأساسية.

٨- صِف بعض الأنواع المختلفة من المعامِلات والوظائف، وقدِّم أمثلة عن كيفيّة عملها ضمن تركيب جملة الإسناد التصريحية في الجبر الخرائطي.

٩- قدِّم أمثلةً على التصريحات التي توضح الجوانب المختلفة للتحكم بسير العمليات. ثم اجعل تصريحاتك تشمل المتغيرات، والأهداف، والمقيدات، وأجزاء التصريح الأخرى. وعند الانتهاء من ذلك، علِّم أجزاء التصريحات، مثلما توضِّح جملة في درس لغة إنجليزية برسوم تخطيطية.

أنشطة تعليمية

١- تعلمنا في هذا الفصل خمس طرائق مختلفة لترميز البيانات الخلويّة. أنشئ نظاماً للترميز يشير كل رمز فيه إلى واحدة من هذه الطرائق. على سبيل المثال، يمكن أن يرمز PA إلى وجود أو غياب (الظاهرة)، و DT إلى النوع السائد، ... إلخ. الآن، أنشئ جدولاً يبيّن أبعاد الكيانات الجغرافيّة على المحور الرأسي وأساليب الترميز على المحور الأفقي. ضع في كل خلية علامة (X) لطريقة الترميز التي يمكن استخدامها لكل بعد من أبعاد البيانات المختلفة.

٢- قدِّم خمسة أمثلة على كيفيّة استخدام طريقة النوع الأكثر أهمية في ترميز الخلية الشبكية للبيانات الخلويّة. بيِّن بشكل دقيق كيف صنعت قراراتك - على أيّ أساس حدّدت النوع الأكثر أهمية.

٣- أنشئ أو انسخ أمثلةً حقيقية من الواقع من قواعد بيانات متوفرة لنظم المعلومات الجغرافيّة لتضعها في جداول قواعد بيانات موسَّعة، وذلك لأنواع البيانات التالية:

أ) مثال على استخدام الأرض (مضلعات).

ب) مثال على بنية تحتية خطّيّة (خطوط الكهرباء، وشبكات الشوارع، والطرق السريعة، ... إلخ).

ج) أمثلة نقطية (الحياة البرية، والمخازن، والآبار وغيرها).

٤- استعن بنسخة من كتاب في الجبر الخطي (جبر المصفوفات) وبيِّن من خلال أمثلة على ضرب المصفوفات، وقسمتها، والجذر التربيعي لها، وتربيعها. استخدم أعدادا حقيقية لحل هذه العمليات. الآن، قدِّم أمثلة توضيحية لنفس العمليات لكن باستخدام الجبر الخرائطي. ومرة أخرى، استخدم أعدادا حقيقية لحل هذه العمليات بالجبر الخرائطي. صِف النتائج وذلك لتوضيح الفروق بين الاثنين.

٥- بناءً على المواد التمهيدية التي قُدمت لك في هذا الفصل، قدِّم أمثلةً بسيطةً على جمل الإسناد التصريحية بالجبر الخرائطي تشتمل على المعامِلات والوظائف لاشتقاق الخرائط المُخرجة التالية. يُقصد من عناوين هذه الخرائط المُخرجة أن تكون وصفاً للمنهجيّة التي تريد أن تتبعها، لكن تذكّر أن هذه الاسماء ما هي إلا اسماء وصفيّة. قد تختلف نتائجك تبعاً لكيفيّة تفسيرك لمعنى الخريطة المُخرجة:

a. BiggestMap = خريطة الأكبر

b. SmallestMap =خريطة الأصغر

c. AverageMap =خريطة المتوسط

d. DifferenceMap =خريطة الفرق

e. TimeChangeMap =خريطة التغير الزمني

٦- انتج برنامجاً بسيطاً للجبر الخرائطي افتراضياً (خوارزمية، لأنك لا تستخدم بيانات حقيقية بعد) بحيث يضم ثلاثة تصريحات على الأقل من تلك التصريحات التي قدمتها في السؤال الخامس أعلاه، وأيّ تصريحات أخرى ترغب في استخدامها. صف ماذا يفعله البرنامج وماذا يريد مُخرَجه أن يبيّن. وكتحدياً إضافياً، حاول إضافة تصريح واحد على الأقل من تصريحات التحكم بسير العمليات الذي يتيح التكرار أو التقييد، وليشمل ذلك، أيضاً، استخدام متغير.

obeikandi.com