الفصل الرابع

توصيف العمليات الوظيفيّة
CHARACTERIZING THE FUNCTIONAL OPERATIONS

أهداف تعليميّة

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

١- تعريف وتقديم أمثلة بيانية للعمليات المحليّة بنظم المعلومات الجغرافيّة استناداً إلى معادلات رياضيّة ومنطقيّة متنوعة، وأن يكون قادراً على تقييم هذه الأمثلة البسيطة.

٢- استخدام المتوفر من برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، وتنفيذ الأمثلة التي حليتها يدوياً كذلك.

٣- شرح ما تعنيه عبارة "النظر من عين الدودة" (worm's-eye view) عندما تُطبق على العمليات المحليّة.

٤- تعريف العمليات التركزيّة وتفسير الفرق بينها وبين العمليات المحليّة.

٥- تعريف، وتقديم أمثلة بالرسوم البيانية لحل وظائف تركزيّة يدوياً وباستخدام برنامجك الخاص بنظام المعلومات الجغرافيّة لحل هذه الأمثلة نفسها.

٦- تعريف، وتقديم أمثلة بالرسوم البيانية لحل وظائف كتليّة ونطاقيّة وتركزيّة يدوياً، وباستخدام برنامجك الخاص بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة.

٧- تنفيذ وظائف تخصصية هندسية متعددة المتغير وهيدرولوجية وتقييم السطوح يدوياً باستخدام عينة من مجموعات البيانات وباستخدام برنامج لنظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة.

٨- وضع معادلات ووظائف داخل جمل الإسناد التصريحية للجبر الخرائطي لإنشاء خوارزميات معقدة وتنفيذ الخوارزميات باستخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الخاص بك.

٩- فحص نماذج منفذّة (نفذتها أنت أو الآخرين) وتفكيكها إلى الأجزاء التي كُوّنت منها هذه النماذج.

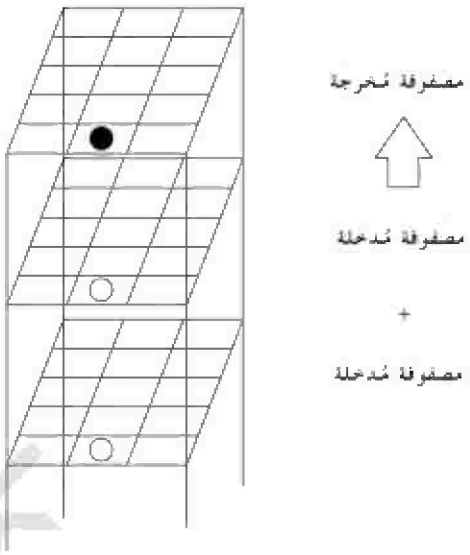
استعراض الوظيفة

لعلك تتذكر، أن الوظائف (Functions) تعد عمليات ذات رتبة عليا أكثر من عناصرها الأولية التي عرّفناها من قبل على أنها معامِلات (Operators)، لكنها أقل تعقيداً سواء في جملها التصريحية أو في برامجها. وقد رأينا أن الوظائف تأتي في مجموعة متنوعة من الفئات، وكل منها يعمل في مجموعة فريدة من الطرائق. وتُعد الوظائف أهم المفاهيم الفردية التي تحتاج إلى أن تكون فعّالة مما يؤهل نظام المعلومات الجغرافيّة لأن يكون نظاماً مُنمذِجاً. ورغم أن التصريحات – أو جمل الإسناد البرمجية – والبرامج تؤثر، في الغالب، على ضبط النموذج – إلا أن الوظائف تحدّد ما يستطيع نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة القيام به داخل التركيبات التي تفرضها التصريحات والبرامج. كما أن كل حزمة من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تختلف، وتحتوي على وظائف فريدة ومتساوية في العدد والطابع. ستوفر المناقشه التالية إطاراً للفهم واعطاء فكرة عامة للقدرات الوظيفيّة التي قد تتوقع توفرها ضمن حزمة متقدمة من نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة التي تنفذ شكلاً ما من أشكال الجبر الخرائطي.

الوظائف المحليّة

تعمل الوظائف المحليّة على مستوى محلي جداً (على أساس الخلية). ونعني بالمستوى المحلي أن التركيز يكون على كل خلية شبكية، أيا كانت درجة الوضوح المكاني التي اخترتها لترميزها. وبهذه الطريقة، فإذا كانت خليتك الشبكية (١٠٠) متراً على الجانب، فإن الوظيفة المحليّة تعمل على حيز مكاني قدره (١٠٠ x ١٠٠) متر. من ناحية أخرى، إذا كان لديك خلايا شبكية ذات درجة وضوح (١٠٠٠٠) متر على الجانب، فإن حجم المنطقة المحليّة المعمول عليها سيكون (١٠٠٠٠ x ١٠٠٠٠) متراً. ومثل ما قد تتوقع، يعتمد أثر حسابات الوظائف المحليّة بشكل كبير تقريباً على درجة الوضوح هذه. وأيّا كانت درجة وضوحك المكاني، يمكن النظر إلى الوظيفة المحليّة على أنها تعطيك ما سمّاه توملن "بالنظر من عين دودة أرضية (ضيقة)" (worm's-eye view). ما يعنيه هذا، هو أنه إذا كنت على مستوى الأرض، مثل أي دودة كانت، فإن نظرتك للعالم ستكون مقصورة على مسافة قصيرة جداً من موقعك المطلق، أو أن نظرتك لموضوع نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة – حسب وجهة نظرنا هنا – مقتصرة على خليتك الشبكية المباشرة.

معظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة ليست مقصورة على طبقة أو موضوع واحد، ولذلك فإن علينا أن نوسع فكرتنا للنظرة من عين دودة بحيث تتشارك (تتطابق) الخلايا الشبكية رأسياً. وهكذا، فإن دودتنا تكون قادرة على البحث في البيانات مباشرة نحو الأعلى والأدنى من موقعها المحدّد. تبدأ الوظائف المحليّة – عندئذ – العمل عند مواقع الخلايا الشبكية المحليّة على موضوع واحد ويتم معالجتها إما بمعامِلات منفردة، وإما بمطابقة الخلايا الشبكية مع مواضيع أخرى (الشكل رقم ٤,١). لاحظ من الشكل رقم (٤,١) أنك تبدأ بكل خلية مستهدفة على حدة وتعالجها من خلال المعامِلات المتوفرة للحصول على إجابة خاصة بموقع تلك الخلية نفسه.



الشكل رقم (٤,١). الوظيفة المحليّة. الوظائف المحليّة هي وظائف تقوم على خلية تلو الأخرى والتي تقارن كل خلية من مصفوفه واحدة مع الخلية المناظرة لها في المصفوفة الثانية وجميع المصفوفات المتعاقبة.

بالرغم من أن الوظائف المحليّة تبدو بسيطة – إلا أنها ذات إمكانات متينة وتطبيق شائع جداً للمهام النمذجية. وتعد، في الحقيقة، من بين أكثر الوظائف شيوعاً المطبقة في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. دعونا نلقي نظرة على بعض الخيارات المتاحة للتحليل بالوظائف المحليّة. تذكّر أن كل من معامِلات الجبر الخرائطي يمكن تطبيقها في ظل ظروف محدّدة، لذا سنبحث في الوظائف المحليّة من خلال المعامِلات التي قد تستخدمها ونبيّن نتائجها.

يمكن ضم المعامِلات الممكنة الأكثر تطبيقاً للوظائف المحليّة في ست فئات:

١– حسابية مُثلّثيّة

- جيب الزاوية (sin)، جيب تمام الزاوية (cos)، ...

٢– أسّيّة ولوغاريثمية

- أسّيّ : exp ، exp^{10}، ...
- لوغاريثمي : log، log^{10}، ...
- قوة : الجذر التربيعي (sqrt)، pow، ...

٣ – إعادة تصنيف

- إعادة تصنيف : reclass (إعادة ترقيم)، ...

٤ – اختيار

• الاختيار : اختر select ، اختر دائرة selectcircle ، ...

• الشرط : شرط con ، اختبر test ، التقط pick ، ...

٥ – إحصائية

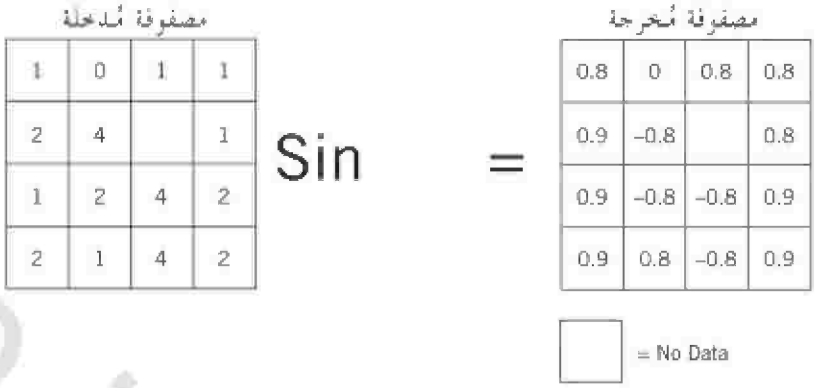
• إحصائية : الأقل (min) ، المتوسط (mean) ، الأغلبيّة (majority) ، ...

٦ – أخرى

• حسابية : إرجاع القيمة المطلقة abc ، إرجاع العدد الصحيح الأعلى ceil ، إرجاع قيمة كسرية عشوائية rand ، ...

قد يكون من الصعب أن نتصور في البداية المجال الذي تُستخدم لأجله أيّ وظيفة من الوظائف المحليّة العديدة. فقد تسأل نفسك : ما الذي يمكن أن أحققه من استخدام وظائف القوة (power) ، وجيوب تمام الزاوية (cosines) ، واللوغاريثمات ، وهلمّ جرّاً ، للنمذجة؟ إن استخدام هذه الوظائف منفردة قد لا يكون مفيداً عملياً ، لكن إذا تذكرت أن النموذج الذي يتكون من وظيفة محلية واحدة ليس فقط أمراً مستبعداً بل إنه نادراً ما يكون مفيداً جداً ، فإنك تتوقع – عندئذ – أن هذه الوظائف ما هي إلا عناصر لنماذج أكبر ، في الغالب. ويمكن أن تأخذ هذه النماذج شكل معادلة المنحدر ، على سبيل المثال ، وفي هذه الحالة ، تُستخدم وظيفة القوة بحيث تصبح محتويات كل خلية شبكية جزءاً من تلك المعادلة. هذا سوف يسمح لك بتنفيذ الانحدار على سلسلة من المواضيع في وقت واحد. ستكون بعض المواضيع مؤلفة من ثوابت ، وبعضها من قيم محسوبة ، وأخرى من المتغيرات التي ستتغير قيمها بالمُدخلات الأخرى. ستبيّن لك المناقشة التالية تركيب هذه الوظائف ومنهجيّتها ، لكنها لن توفر جميع الحالات الممكنة التي تكون فيها كل وظيفة جزءاً مكملاً لنموذج أكبر. وهذا قد يتطلب عدداً لا حصر له تقريباً من الحالات المحتملة. سوف أترك الأمر لك لتتصور كيف يمكن استخدام هذه الوظائف وغيرها. وفي وقت لاحق من الكتاب ، سأقدم بعض الأمثلة للنماذج التي قد تساعدك في عملك الخاص بك.

بعد أن صنّفنا الوظائف المحليّة في ست مجموعات ثم في فئاتها الأصغر ، نبدأ فحصنا للوظائف المحليّة الحسابيّة المُثلّثيّة (Trigonometric). تنفّذ هذه الوظائف حسابات مُثلّثية على خلايا الخرائط الخلويّة ، أو أرقام ، أو قيم عددية (نسبية) (Scalars). وعندما تُطبّق على الخرائط الخلويّة ، فإنها يمكن أن تعمل على خلية شبكية واحدة ، أو على مجموعات من الخلايا ، أو على جميع الخلايا الشبكية للخريطة (الشكل رقم ٤,٢). ومثلما تتوقع ، فالناتج من هذه الوظائف سيكون قيما كسرية. ولهذا السبب ، فإن نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة التي لا تدعم رياضيات الكسور لها طريقتان في العمل مع الوظائف الحسابيّة المُثلّثيّة ؛ فإما أنها سوف تبتر القيم المُخرجة ، وإما أنها لن تنفّذ هذه الوظائف.



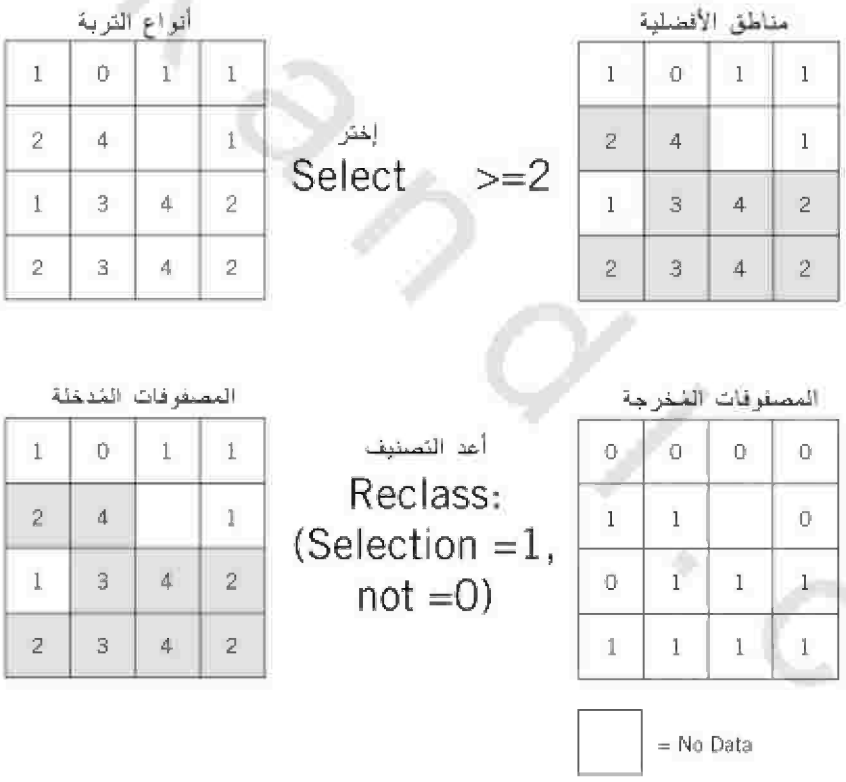
الشكل رقم (٤,٢). الوظيفة الحسابيّة المُثلّثيّة. هنا، تم تطبيق جيب الزاوية (Sin) على كل خلية في الشبكة (المصفوفة المُدخلة).

إن الوظائف الأُسّيّة واللوغاريثمية متماثلة تقريباً في العمليّة مع الوظائف الحسابيّة المُثلّثيّة – غير أنها تنفّذ حسابات أُسّيّة ولوغاريثمية، في حين تتطلب وظيفة القوة مُدخلا يصف قيمة القوة (مثل، تربيعي أو تكعيبي). ينبغي أن تشمل هذه الوظائف جميع القوى والجذور واللوغاريثمات (بما فيها اللوغاريثمات الطبيعية).

ولعل أكثر مجموعات الوظائف المحليّة استخداماً، مجموعة إعادة التصنيف. فهي تقدم مجموعة واسعة من الخيارات لأنها تحت تحكم المستخدم تماماً، إذ أن عمليات إعادة التصنيف تتيح للمستخدمين اختيار إما خلايا فردية، وإما مجموعات من الخلايا بحيث تعيد تصنيف فئاتها. سنبحث كيف تُستخدم وظيفة الاختيار بالاقتران مع وظيفة إعادة التصنيف لعمل ذلك. وإذا كنت قد اشتغلت على برمجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة، تذكّر أنك قد تستخدم شكلاً من أشكال إعادة التصنيف وحذف خطوط وذلك لضم فئات اسمية فرعيّة مثل الإسكان، والتجارة والصناعة مع بعضها لتصبح فئة أكبر مثل منطقة عمرانية أو مبنيّة. وربما أنك أردت، أيضاً، أن تعيد تصنيف الفئات الاسميّة للغطاء الأرضي أو التربة بناءً على قدرتها أو توفرها النسبي في دعم استخدامات أرضية مختارة (الشكل رقم ٤,٣). وبهذه الطريقة، أنت تقوم بتحويل قيم الخلايا الشبكية من مستوى قياس البيانات الاسمي الأصلي إلى قياس ترتيبي رتبي. هذا يشير، أيضاً، إلى القدرة على استخدام وظيفة إعادة التصنيف لوزن كل خلية على حدة والشبكه بأكملها. يمكن أن تجري نفس العمليّة في بيئة خلوية من خلال إعادة تخصيص الخلايا في نموذج البيانات الخلويّة البسيط أو إنشاء قيم جديدة في جدول مُحدّث في نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الموسّع.

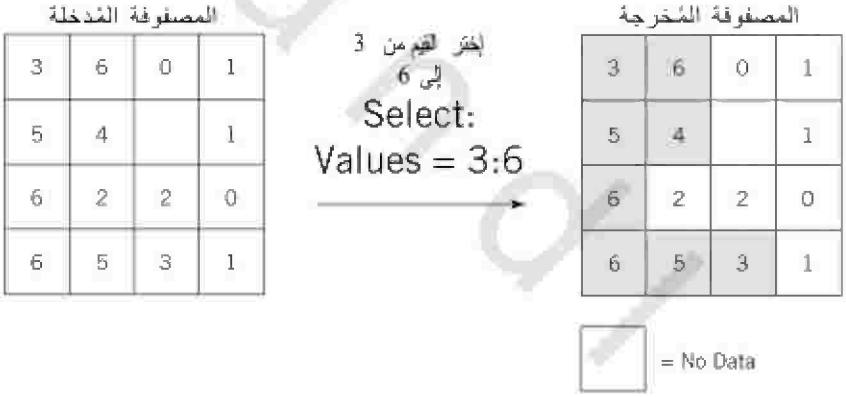
إن المثال الثاني أعلاه لاستخدام وظيفة إعادة التصنيف يبيّن كيف أن لها القدرة على السماح بتغيير مستوى قياس البيانات الجغرافيّة لبعض أو جميع الشبكات (المواضيع) في قاعدة البيانات. وقد يبدو هذا في الظاهر عملاً آمناً نسبياً، لكن قد يكون له آثار بالغة على صحة النماذج المستمدة من تطبيق هذه الوظيفة. وقد تكون هذه الآثار إيجابية

أو سلبية، وذلك حسب الكيفيّة التي تغيرت على أساسها مستويات القياس وكيفيّة استخدام الشبكات أو القيم المُعايرة. فعلى سبيل المثال، إذا كنت ستحوّل بيانات نوع التربة (بيانات اسمية أو فئوية) إلى أوزان لقدرات الأرض (Land capability) (فاصلية أو نسبية) بحيث يمكن مقارنتها رياضياً مع بيانات فاصلية أو نسبية؛ أي إعادة تصنيف أنواع استخدام الأراضي الموجودة إلى أوزان الأفضلية أو الملاءمة الأرضية (Land suitability)، فإن النتائج ستكون عديمة الفائدة. إن من الأخطاء المتكررة والخطرة جداً، استخدام الوظائف المحليّة لمقارنة بيانات خلوية اسمية مع بيانات ترتيبية أو فاصلية، أو نسبية. فمن الممكن، على سبيل المثال، في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ضرب قيم خلايا الغطاء الأرضي (قيم رمزية تمثّل فئات) بقيم كمية ذات مستوى نسبي، مثل قيم الارتفاع، على سبيل المثال. قد تبدو النتيجة غالباً مقنعة بصرياً، لكن ليس للقيم أي معنى. وباختصار، فإن كثرة استخدام الوظائف المحليّة وقوتها يجب أن يشير إلى أنه من الضروري توخي الحذر الشديد عند تطبيقها.



الشكل رقم (٤,٣). وظيفة إعادة التصنيف المحليّة. يوضح هذا المثال كيف قورنت قيم نوع التربة (أعلى يسار) مع قيم مناطق الأفضلية (الملاءمة) من المصفوفة الثانية (أعلى يمين). هنا، يُقارن كل زوج من القيم من كلتا المصفوفتين، فإذا كانت القيمتين أكبر من أو تساوي (٢)، فيتم – عندئذ – إرجاع قيمة (١). في حين تُعاد قيمة (٠) إذا لم يكن هذا هو الحال (الشرط)؛ أما فئة عدم وجود بيانات فترجع عندما تكون البيانات غير متاحة للمقارنة.

ولأجل أن تكون وظائف إعادة التصنيف فعالة تماما فإنه يجب أن يكون لها قدرة على عزل أكثر من خلية شبكية واحدة، وفي معظم الأحوال، مجموعة فرعيّة من الشبكة بأكملها. تسمح وظيفة الاختيار بعمليات التحديد، والعزل، والمعالجات اللاحقة باستخدام وظائف أخرى، وذلك لمجموعة فرعيّة من شبكة كاملة في الغالب. ويمكن أن يُنفّذ الاختيار على صفات الخلايا الشبكية، حيث يمكنك، على سبيل المثال، أن تعزل كل القيم المتماثلة (مثل، جميع القيم التي تساوي ٦)، أو جميع القيم التي يمكن أن تكون ضمن حد معين (مثل، كل القيم بين ٣ و ٦ [الشكل رقم ٤,٤])، أو كل القيم التي تتشارك في نفس التوصيف (مثل، كل خلايا الشبكة المصنفة "ذرة"). إن عمليّة البحث هذه المبنيّة على الصفات تجري إما على قيم الخلايا الشبكية نفسها في حالة استخدام نموذج البيانات الخلوي البسيط، وإما على البيانات المجدولة في نموذج البيانات الخلوي الموسَّع. وحسب طبيعة برنامجك، فاختيار الخلايا الشبكية من خلال الصفات قد يحتاج إلى تدخل بشري لتنفيذ الاختيارات أو قد يتضمن شكلاً من أشكال وظائف الاختبار التي تبحث تلقائياً في الخلايا الشبكية أو في جداول الصفات ثم تقارن ما تجده مع مجموعة من المعايير. وكلما كان النظام أكثر آلية، كان تنفيذ النمذجة أسهل.



الشكل رقم (٤,٤). إعادة تصنيف مجموعة فرعيّة بالوظيفة المحليّة. يظهر هذا المثال كيف أن كل القيم بين (٣) و(٦) تم اختيارهـا لإعـادة التصنيف (المظللة)، في حين أن البقية لم تُقيّم

ثمة نهج آخر للاختيار وهو اختيار خلايا الشبكة على أساس معلوماتها الموضعية الفردية أو الجماعية. فيمكنك، على سبيل المثال، اختيار كل خلايا أركان الشبكة، أو الخلية المركزية، أو أقصى عمود نحو الجهة اليسرى من أعمدة الشبكة الخلوية، أو الصف الأعلى لخلايا الشبكة، وهذه فقط أمثلة بسيطة تماماً. كما قد تشمل الأنواع الأخرى من وظائف الاختيار وظائف عزل الأشكال الهندسية الأخرى، مثل المربعات (الشكل رقم ٤,٥) والدوائر. ويتطلب اختيار تلك الأشكال الهندسية بأن تسمح وظائف الاختيار، أيضاً، بإدخال تقنيات أو طرائق لتحديد أين تقع الخلايا

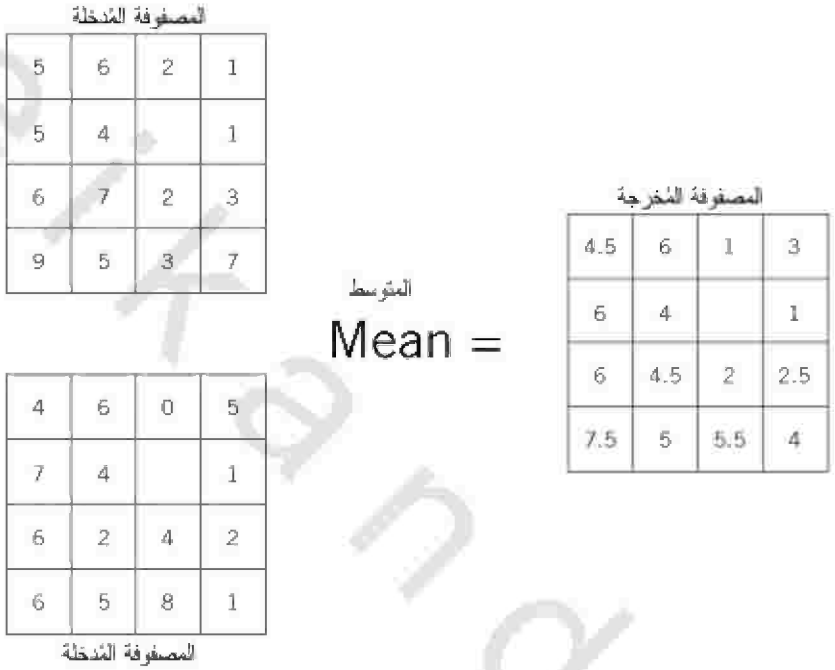
الشبكية بالضبط في الحيز المكاني الهندسي. وتوفر عمليات البحث البرامجية عن طريق الرسوم البيانية بعض الأمثلة الإضافية على كيفيّة اختيار الظواهر (في هذه الحالة، الظواهر الخطّيّة). فقد تكون على دراية بهذه المصطلحات، مثل: مرتبط بـ (connected to)؛ وداخل ضمن (within)؛ وفي الداخل (inside)؛ وفي الخارج (outside)؛ وما شابهها. ويمكن استخدام نفس هذه الأنواع من التصريحات، أيضاً، لاختيار مجموعات من الخلايا من الشبكة. كما ينبغي، أيضاً، أن يكون هناك طريقة ما لربط الاختيارات التي تقوم على الصفة والتي تقوم على الموقع.

الشكل رقم (٤,٥). الوظيفة الخليّة الموضعية لإعادة التصنيف. هذه طريقة أخرى للتحديد أي خلايا الشبكة المطلوب إعادة تصنيف لها وذلك من خلال تحديد موضع الخلايا التي سيجري فحصها. في هذه الحالة، يتم توجيه البرنامج إلى الذهاب إلى مركز المصفوفة واختيار مصفوفة بأبعاد ٢ × ٢ خلية. هناك العديد من الأساليب الأخرى للاختيار متاحة أيضاً.

إن الوظائف الإحصائيّة المحليّة مصممة أساساً للمقارنة بين شبكتين مُدخلتين أو أكثر. فقد ترغب، على سبيل المثال، أن تُرجع القيمة الأدنى أو القيمة الأعلى، أو المتوسط، أو قيمة الأقليّة، أو قيمة الأكثريّة أو الأغلبيّة لكل موقع من مواقع الخلايا الشبكية. وأكثر من مجرد مقارنة شبكة واحدة مع أخرى، يمكنك، أيضاً، إجراء مقارنات مع الثوابت أو غيرها من القيم العددية. أما المُخرج من الوظائف المحليّة الإحصائيّة فعادةً ما يكون شبكة (الشكل رقم ٤,٦).

يأتي تحت المجموعة النهائيّة من الوظائف المحليّة "أخرى" نوعاً رئيسياً من الوظائف وهي الوظائف الحسابيّة، التي تقوم، إلى حد كبير، على معاملات حسابية. ومن بين أكثر هذه الوظائف المحليّة شيوعا تلك الوظائف التي تسمح بإعادة تخصيص القيم الكسرية للخلايا إلى أعداد صحيحة، أو العكس، وتلك التي تستخرج القيم المطلقة لقيم الخلايا العددية، وتلك التي تسمح بتخصيص أعداد عشوائية للخلايا الشبكية. لقد شهدنا بالفعل أهمية القدرة على معالجة قياسات البيانات الجغرافيّة، لأجل أن تتوافق مستويات القياس بين الشبكة الواحدة والأخرى. وينطبق الأمر نفسه على رياضيات الأعداد الصحيحة مقابل الكسرية، خاصةً في حالة استخدام قواعد البيانات الكبيرة في النمذجة؛ لأن رياضيات الأعداد الكسرية قد تبطئ النموذج كثيراً إلى الدرجة التي يكون عندها غير فعال. وبالإضافة إلى ذلك، فإن القدرة على تغيير أرقام سالبة إلى قيم مطلقة تعد مفيدة جداً إذا كانت شبكاتك تهدف إلى

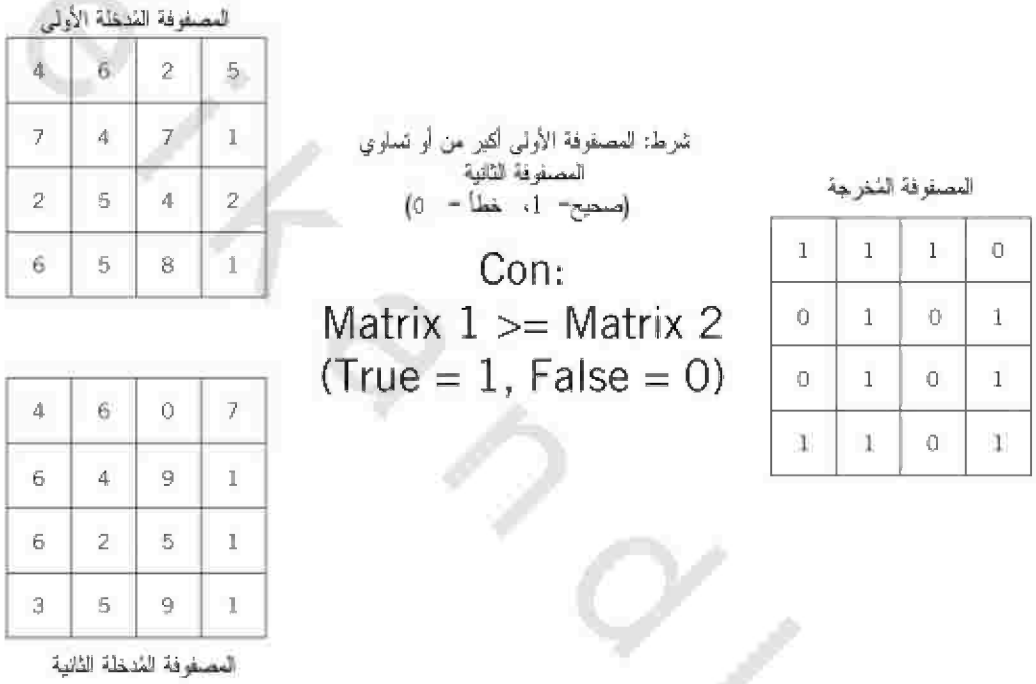
إيضاح مقدار أو كمية معينة من الصفات وليس بالضرورة الاتجاه (Direction). وتعد عمليّة استخراج العدد العشوائي عمليّة أساسية لبعض عمليات النمذجة، لاسيما تلك التي تحاول أن تتنبأ بالأحداث المقبلة، كما في حالة استخدام نموذج مونت كارلو لمحاكاة النمو الحضري (Meaille and Wald, 1990)، وانتشار الحريق (Liu, 1998)، أو غيرها من عمليات الانتشار (Mattikalli, 1995; Miyamoto and Sasaki, 1997; Park, 1996; Portugali, et al., 1994).



الشكل رقم (٤,٦). الوظيفة المحليّة الإحصائيّة. كثير من التقنيات الإحصائيّة تسمح بمقارنة مجموعات من الخلايا المسجلة مكانياً مع بعضها (Co-registered). هنا، تم تطبيق المتوسط الحسابي على مصفوفتين مُدخلتين.

لعل من أهم العمليات المحليّة في هذه المجموعة هي تلك الوظيفة التي تسمح بتقييم الأوضاع أو الشروط في شبكة ما. وفي برنامج GRID – ضمن حزمة برامج معهد بحوث النظم البيئيّة (ESRI)– يوجد هذا التصريح الشرطي: CON بشكل واضح في مجموعة الوظائف. فهو شرط يستطيع أن يربط شبكات متعددة ويقارن الشروط لهذه الشبكات خلية بخلية. يمكن تطبيق أمر CON على شروط متعددة دفعة واحدة، لكن يجب أن يكون لكل تعبير أو قيمة القدرة على تخصيص (إسناد) قيم للخلايا الشبكية. أما نتائج تقييم الشروط فعادةً ما تكون تعبيراً حقيقياً، والذي يكون قيمة عددية محدّدة مسبقاً للشروط التي تحققت (الشكل رقم ٤,٧). ويمكن، أيضاً، إسناد تعبير زائف (غير صحيح) ضمن الوظيفة بحيث يمكن إسناد قيم مخرجة معينة للشرط إذا صُودف. وفي حالة GRID، إذا لم يتم

تخصيص قيمة للشرط الزائف (غير الصحيح)، فإن ذلك ينتج منه تخصيصاً بإسم "لا يوجد بيانات" (No-Data) لتلك الخلايا. هناك شيء واحد يجب أن نأخذه في الاعتبار مع الأمر: CON، وهو أنه يسمح بإنشاء شبكة مُخرجة واحدة فقط. يشتمل برنامج GRID على تصريح الشرط "إذا" (IF) في لغته الجبريّة الخرائطيّة والتي تسمح بتركيب تقييمات شرطية تستطيع أن تنتج مُخرجات شبكية عديدة. وكلاهما مفيدان جداً في حالة تطوير النماذج المعقدة التي تتطلب تقييماً للشروط. سوف نعود لكل من الوظيفة الشرطية وتصريح "إذا" فيما بعد في هذا الكتاب.

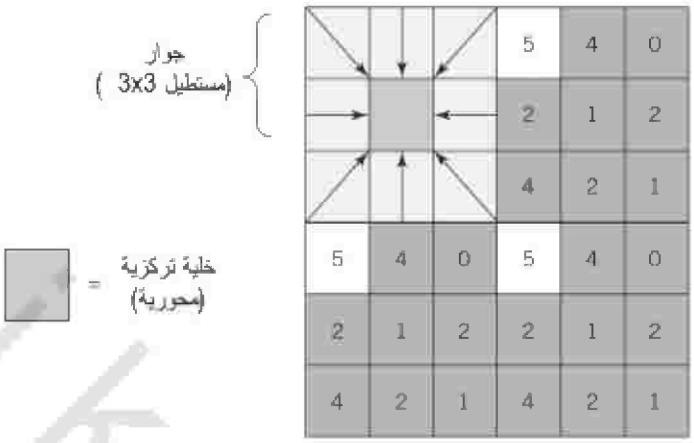


الشكل رقم (٤,٧). الوظيفة المحليّة الشرطية. تتيح المقارنة بين مصفوفتين للمستخدم إجابات مرجّعة حقيقية (١) أو غير صحيحة (٠) كمؤشرات للشرط قيد المقارنة. في هذه الحالة، الشرط الذي يجري فحصه هو: هل المصفوفة المُدخلة الأولى أكبر من أو تساوي الثانية.

الوظائف التركزيّة

بخلاف الوظائف المحليّة، تتجاوز الوظائف التركزيّة (المحوريّة) النظر من عين الدودة لتقييم قيم خلايا الشبكة في مواضيع خرائطنا الخلويّة، مع العلم أنها تشترك مع الوظائف المحليّة في تقييم الخلايا الفردية في الشبكة. تحسب الوظائف التركزيّة الخريطة أو الشبكة المُخرجة من خلال تخصيص قيم الخلايا المُخرجة على أساس وظيفة ما للخلايا المُدخلة لجوار محدّد حول موقع معين أو خلية شبكية في الخلايا المُدخلة. وبعبارة أخرى، نحن نبدأ، الآن، من عند

خلية شبكية واحدة، وننظر في خلاياها المجاورة، ونحلّل مضمون تلك الجوارات لاشتقاق القيمة التي سوف نخصصها لخليتنا المُخرجة (الشكل رقم ٤,٨).



الشكل رقم (٤,٨). الوظيفة التركزيّة. تفحص في الوظائف التركزيّة الخلية المستهدفة وخلاياها المجاورة وترجع قيمة مبنيّة على تقييم هذه الخلايا.

توفر الوظائف التركزيّة أو وظائف الجوار مجموعة واسعة من الجوارات الممكنة التي يبدأ منها التحليل. ومن بعض الأشكال النمطية لهذه الجوارات: المستطيلات؛ والدوائر؛ والحلقات الدائرية (Annuluses)؛ والقطع أو الفِلق الدائرية (Wedges). يمكن، أيضاً، اختيار هذه الأشكال حسب الحجم. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون الجوار في شكل مضلع (مربع في الغالب) خلوي بحدود (٣ × ٣) خلايا، أو (٦ × ٣) خلايا، أو دائرة بنصف قطر طوله (٦) خلايا، أو فِلقة دائرية بنصف قطر (٩) خلايا، وهلمّ جرّاً. ويعتمد وضع مكان هذه الأشكال، إلى حد كبير، على الخلايا المستهدفة داخل الجوار المختار. ففي حالة الحلقة الدائرية، فإن الخلية المستهدفة توضع في وسط الحلقة، ولا تستند النتائج على صفات الخلية المستهدفة على الإطلاق؛ لأنها ليست جزءاً من الجوار (في وسط الحلقة) (الشكل رقم ٤,٩).

إن المهنيين في مجال الاستشعار عن بعد مألوفةٌ لديهم المرشّحات المنخفضة والعالية (Low-pass, High-pass filters). وهذه المرشحات أو الفلاتر ما هي إلا نوافذ متحركة (جوارات خلوية). فالمرشحات المتحركة تعتبر نوعاً من الوظيفة التركزيّة؛ ذلك أنه يتم أولا إنشاء نافذة ثم تُخصص قيمها المُخرجة، تخصيص واحد كل مرة، وهكذا حتى تمتليء كامل الشبكة المُخرجة. وكما هو الحال مع المرشّحات في حزم نظم الاستشعار عن بعد، فإن الوظائف التركزيّة المتحركة تسمح بإدخال قيما أو أوزاناً نواتية داخل الجوار. وعادة ما يتم تخزين الأوزان في شكل ملف مستقل ليُدرج في تصريح الوظيفة المحليّة. يمكن أن تكون الأوزان موحّدة، أو متماثلة، أو غير متماثلة – كما هو الحال في المرشّحات المتحركة. فقد ترغب، على سبيل المثال، أن تخصص أوزاناً أعلى للخلايا الشبكية القريبة من

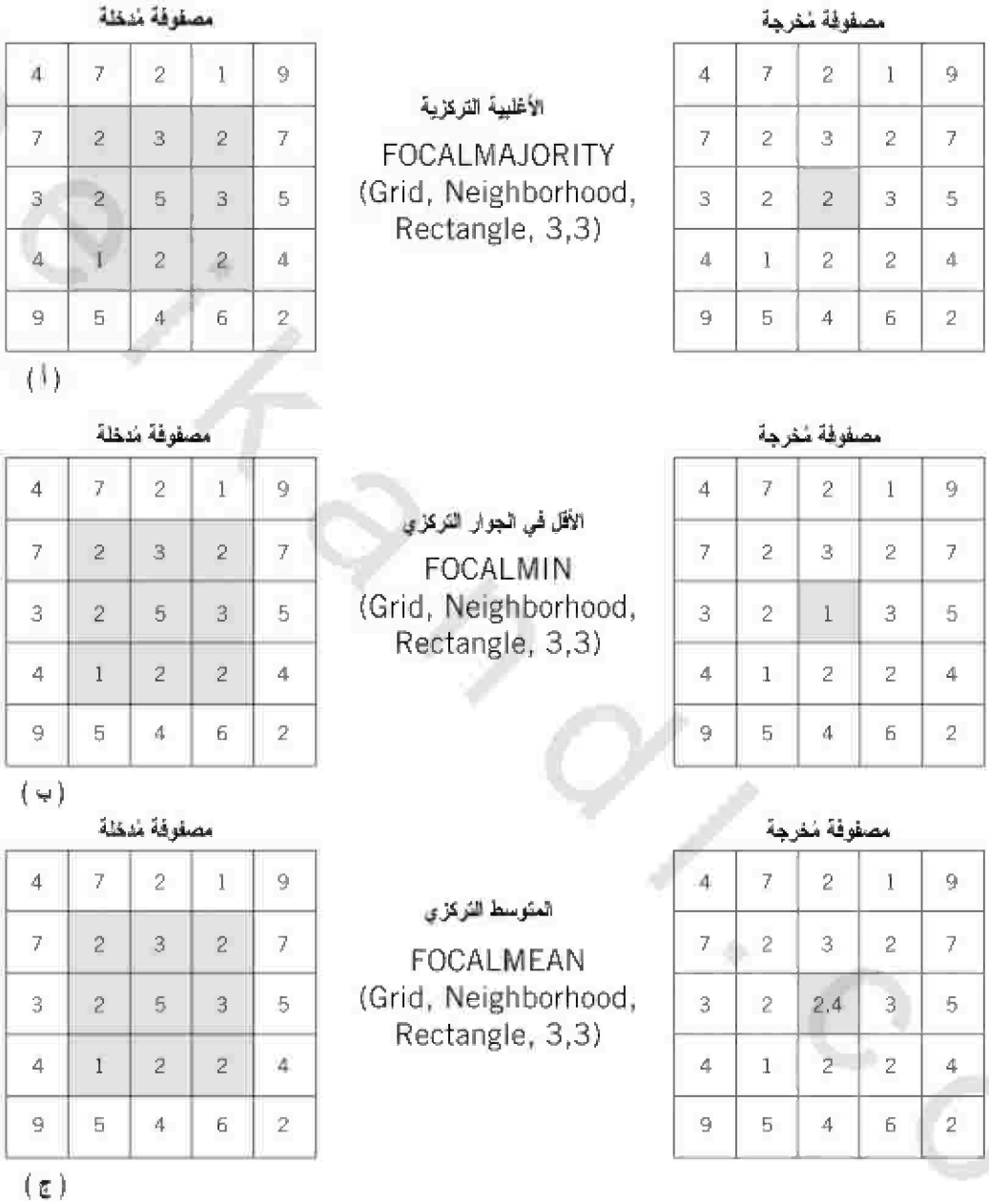
الخلية المستهدفة، وأوزاناً أقل كلما ابتعدت كثيراً عن هذه الخلية. وبهذه الطريقة، يمكنك أن تحاكي وظيفة ترجيح (وزنة) المسافة لخلايا الشبكة لينتج عن ذلك أثراً وزنياً للمسافة في مُخرجك.

الشكل رقم (٤,٩). الجوار الدائري الحِلقي. في هذا الجوار الحِلقي (شكل الدونات) تقيّم الخلايا ضمن الحلقة لكن ليس الخلية المستهدفة نفسها.

هناك خيارات عديدة تتجاوز القدرة على تغيير حجم، وشكل، وأوزان الوظائف التركزيّة، وذلك في مجال معالجة محتويات الجوارات المختارة لتقييم الخلايا المستهدفة. وفي الواقع، إن معظم البرمجيات التي تستخدم لغة الجبر الخرائطي سوف تسمح لك بتعديل طريقة تجهيز خلايا الجوار ومعالجتها حتى تلائم احتياجاتك الخاصة. تشمل الأشكال العامة للوظيفة التركزيّة تلك الطرائق مثل: المجموع (Sum)؛ الأغلبيّة التركزيّة (Focal majority)؛ والحد الأدنى (Minimum)؛ والحد الأقصى (Maximum)؛ والمعدل أو المتوسط (Mean)؛ والوسيط (Median)؛ والمدى (Range)؛ والانحراف المعياري (Standard deviation)؛ والتنوع أو الاختلاف (Variety or Diversity)؛ والتدفق (Flow). دعنا نقوم بدراسة عدد قليل فقط منها بحيث تبدأ بفهم كيفيّة عملها.

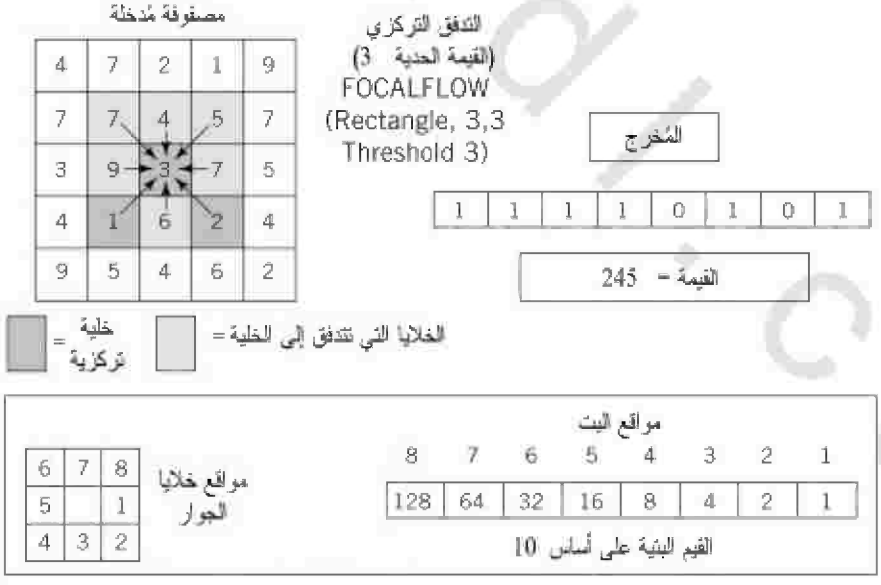
تقيّم الوظيفة التركزيّة جميع خلايا الشبكة في جوار شبكي مُدخل لتحديد أغلبية القيم المُتضمنة داخل الجوار لينتج ذلك قيمة للخلية المستهدفة المتشاركة في نفس المكان في المصفوفة المُخرجة. وعليه، فإذا اخترت جواراً مربعاً في حدود (٣ × ٣) خلايا مرتكزاً على الخلية المركزية في تلك المصفوفة، وكانت غالبية قيم الخلايا (٢)، فستكون النتيجة أن العدد (٢) سوف يوضع في الخلية المستهدفة للشبكة المُخرجة (الشكل رقم ٤,١٠ أ). كما يمكن أن نطبق في نفس الشبكة وظيفة الحد الأدنى التي من شأنها أن تنتج قيمة (١) لتُحال إلى الشبكة المُخرجة (الشكل رقم ٤,١٠ ب). أو أننا يمكن أن نأخذ متوسط القيم التسع (أي، focalmean) لإرجاع قيمة المتوسط إلى موقع الخلية في الشبكة المُخرجة (الشكل رقم ٤,١٠ ج). أما المثال النهائي فهو لتقييم التنوع أو الاختلاف في الفئات داخل الجوار، وفي هذه الحالة سوف تحدّد الوظيفة عدد أنواع القيم المختلفة في الشبكة الخلويّة ثم تُرجع الوظيفة تلك القيمة العددية للخلية المستهدفة في الشبكة المُخرجة. وكما ترى، هناك العديد من الطرائق التي يمكن استخدامها بهذه الوظائف لوصف قيم الخلايا الشبكية في كل جوار. فيمكن استخدام هذه الطرائق لتحديد، مثلاً، الحد الأدنى لتكاليف المنازل في

جوار معين، أو قيمة الأرض الكلية في الجوار، أو متوسط عدد الجرائم في جوار معين في سنة معينة، أو تنوع المظهر الطبيعي لأنواع الغطاء الأرضي في بقعة معينة (جوار معين).



الشكل رقم (٤،١٠). الوظائف التركزيّة. يمكن أن تحتوي العمليات التركزيّة عدداً واسعاً من المقيِّمات. نرى، هنا، كيف يمكن أن ننظـــر إلى مجموعة من الخلايا بأبعاد ٣ x ٣ لتقيّمها حسب (أ) قيمة الأغلبيّة، و(ب) أدنى قيمة، و(ج) قيمة المتوسط. تُرجَّع النتيجة إلى الخلية المركزية.

هناك تطبيق واحد إضافي ومفيد للغاية للوظائف التركزيّة له علاقة بالتدفق أو التشتت عبر أو من خلال الجوارات. فلك أن تتخيل حركة بذور النبات التي تنقلها الرياح خلال سياج؛ أو حركة الحيوانات عبر قطعة من الأرض؛ أو تدفق المياه؛ أو حتى حركة الأفكار (مفهوم غالباً ما يشار إليه بتفشي الابتكار)، والحرائق، والاضطرابات الطبيعية؛ أو العديد من العناصر الأخرى عبر وخلال الجوارات التي تختلف عن المناطق المحيطة بها. كما تسمح لك بعض النظم الخلويّة بتنفيذ وظائف حركية تركزيّة عبر الجوارات، أو يمكن أن تنشئ عمليّة التدفق أو الحركة الخاصة بك لكل جوار. لقد صُممت هذه الوظيفة في برنامج GRID تحديداً لاستخدام جوار مباشر مكون من (٣ × ٣) خلايا، وتحديد أيّ الخلايا المجاورة تتدفق إلى الخلية المستهدفة (المركزية). وكما قد تتوقع، يُفترض في التدفقات أنها تتحرك من الأرقام العليا إلى الأرقام الدنيا. هناك فرق إضافي واحد رئيس بين عمليّة التدفق التركزيّة وغيرها من العمليات التركزيّة الإحصائيّة، وهو أن الناتج عبارة عن نمط من الخلايا الشبكية (مرة أخرى، ٣ × ٣) والذي يبيّن (٨) خلايا شبكية وهي الخلايا المحيطة بالخلية المستهدفة التي تكون قيمها أعلى من الخلية المستهدفة نفسها (الشكل رقم ٤,١١). أما المُخرج من هذه العمليّة فهو خريطة بِتّيّة (Bit map) تحتوي على معلومات عن موقع الخلية ذات منتج صفري (٠) أو واحد (١) تبيّن اتجاه تدفق تلك الخلية نحو الهدف. عندما يتم تقييم جميع خلايا الشبكة بشكل نهائي، فإن العدد البِتّيّ يُحوّل إلى الأساس العشري (Base 10)، ثم يُخرج. وبهذا تكون المعاملات البِتّيّة، هنا، مفيدة في استخدام الناتج من هذه الوظيفة ضمن وظائف أخرى وجعل العمليّة ذات معنى.



الشكل رقم (٤,١١). التدفق التركزي. هنا، تم تقييم مضلع (مربع) بأبعاد ٣ x ٣ خلايا بناءً على خليته المستهدفة لتحديد ما يتدفق من خلايا الجوار إليها. في هذا المثال، تتدفق الخلايا المشار إليها بالأسهم نحو الخلية المركزية (المحورية).

الوظائف النطاقيّة

تتشابه الوظائف النطاقيّة أو الإقليميّة (Zonal functions) مع الوظائف التركزيّة بشكل كبير، خاصة وأن كل منها قائم على فكرة توصيف خصائص الجوار (Martin, 1996). وكما هو الحال مع الوظائف التركزيّة، فالوظائف النطاقيّة تنشئ شبكات مُخرجة استناداً إلى الخلايا المستهدفة داخل الجوارات التي تُسمى نطاقات (Zones) (الشكل رقم ٤,١٢). ورغم أن الوظائف النطاقيّة تعمل، أيضاً، على فكرة الجوار – إلا أن تعريف الجوار (نطاق) يقتصر، عادةً، على ما هو معرف في الجغرافيا بالأقاليم. وتُعرّف الأقاليم (النطاقات) في قرينة نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة بأنها مجموعات من الخلايا الشبكية التي تشترك في نفس القيم. يمكن أن تكون الأقاليم أو النطاقات متجاورة (جميع الخلايا مرتبطة)، أو مجزأة (الخلايا غير متصلة)، أو أقاليم متخلخلة أو مثقوبة (أقاليم ذات فجوات). ونجد في الوظائف النطاقيّة أن النطاقات عادةً ما تكون محدّدة مسبقاً في شبكة مستقلة، ليشير ذلك إلى أنه يُشترط، عادةً، وجود شبكتين مُدخلتين – الأولى لتحديد النطاقات والثانية التي سوف تعمل عليها الوظائف الإحصائيّة (الشكل رقم ٤,١٢). ولكي نحافظ على اتساق المصطلحات مع تلك في الجبر الخرائطي، ولكي نذكّر أنفسنا بأن نطاقات الخلايا الشبكية تختلف في تعريفها عن الجوارات التي عُرّفت من خلال الوظائف التركزيّة، فإننا سوف نواصل الإشارة إليها، هنا، بالنطاقات.

الشكل رقم (٤,١٢). الوظائف النطاقيّة. تقيّم الوظائف النطاقيّة تلك الخلايا التي تقع ضمن النطاق (أو الإقليم)، سواء كان النطاق متجاوراً، أو مجزءاً أو مثقوباً (ذو فجوات). يتم إرجاع النتائج ليس إلى الخلية المستهدفة، وإنما إلى كامل خلايا النطاق.

ومثلما نفعل مع الوظائف التركزيّة، نستطيع أن نقيِّم الجوار (الإقليم أو النطاق) في الخلايا الشبكية مع المعامِلات العامة أو الإحصائيّة التالية: الحد الأدنى؛ والحد الأعلى؛ والأغلبيّة؛ والمتوسط؛ والوسيط؛ والانحراف المعياري؛ والتنوع؛ والمدى؛ والمجموع؛ وغيرها كثير. وهناك، أيضاً، مجموعة من المعامِلات (Operands) الهندسية التي تستطيع أن تنتج قياسات هندسية للنطاق في الشبكة، مثل المساحة، والمحيط، وحتى السُّمك (أثخن نقطة داخل كل منطقة) (الشكل رقم ٤,١٣). كما تقدم الوظائف النطاقيّة، سواء كانت إحصائية أو هندسية، قيما إما في شكل شبكات مُخرجة حيث تكون القيمة في كل الخلايا الشبكية في كل نطاق متماثلة، وإما في شكل بيانات مجدولة مُخرجة في النموذج الخلوي الموسّع. وعندما يكون الناتج أو المُخرج شبكة خلوية، فإن كل وظيفة اُستخدمت في التقييم تقترن مع نوع واحد من المؤشرات الإحصائيّة، أو قيم الظاهرة، وتُسند النتيجة إلى كل خلية في الشبكة المُخرجة. وفي النموذج الخلوي الموسّع، يُخزَّن كل نوع من البيانات الناتجة في شكل بند (عنصر) مستقل في قاعدة البيانات.

النطاق	حجم الخلية	عدد الخلايا	المساحة
2	10 m^2	9	900 m
4	10 m^2	2	200 m
7	10 m^2	5	500 m

الشكل رقم (٤,١٣). مساحة النطاق. أحد أنواع الوظيفة النطاقيّة يقوم بتحديد المساحة لكل الخلايا الشبكية المحصورة ضمن النطاق. يتم – بعدئذ – إرجاع المساحة الكلية لكل خلية داخل النطاق.

توفِّر الوظائف الهندسية بعض المعلومات المفيدة جداً لإجراء تحليلات روتينية إضافية للشكل –مثلما قد يصادف المرء في البيئة الطبيعية والعلوم ذات الصلة (McGarigal and Marks, 1994). فمساحة النطاق ومحيطه (حدوده) واضحان، إذ تُحسب مساحة النطاق من خلال عد خلايا الشبكة وضرب ذلك بمساحة كل خلية. ومن

المهم أن تتذكر أن حساب مساحة النطاق يعمل على النطاقات، وليس على مجموعات معزولة من الخلايا. وعليه، فإذا كان نطاقك إقليماً مجزءاً، وليكن، ثلاثة أجزاء، فإن المساحة سوف تكون المساحة الإجمالية لجميع الأجزاء الثلاثة. أما وظيفة حساب محيط النطاق فتجمع أطوال الجوانب الداخلية والخارجية للخلايا التي تشكّل النطاق. وكما هو الحال مع مساحة النطاق، فإن محيط النطاق يعد وظيفة – دالة – حسابية لجميع شظايا أو أجزاء النطاق المجزئ وللمحيط الإجمالي في كل الفجوات (الثقوب). وفي كلا الحسابين للمساحة وللمحيط، إذا كنت بحاجة إلى عزل الأجزاء الفردية فإنك لابد أن تعزل أولًا كل واحد منها على حدة، من خلال عمليات إعادة التخصيص، أو إعادة التصنيف، أو الاختيار، بحيث يكون كل جزء نطاقاً أو إقليماً مستقلاً بذاته.

الوظائف الكتليّة

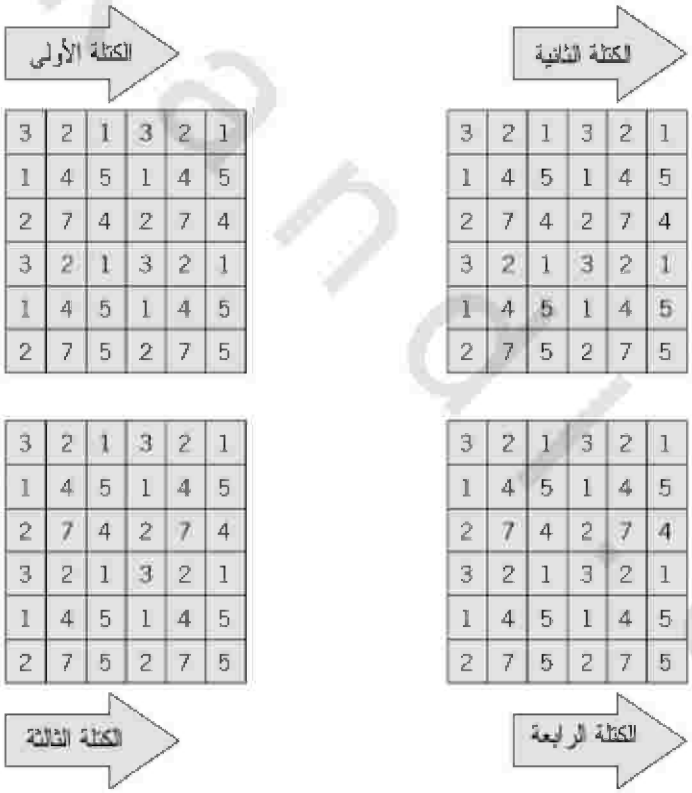
إن الوظائف الكتليّة (Block functions) هي في الأساس نسخ معدلة من الوظائف التركزيّة. فهي تستخدم شكلاً من أشكال النوافذ المتحركة، عادةً مستطيل[1]، لا تختلف عن النوافذ أو المرشّحات المستخدمة في الوظائف التركزيّة. أما الاختلافات فتكمن في الكيفيّة التي تُخزن بها القيم وكيف تتحرك أو تتنقل النافذة. ففي حالة الوظائف الكتليّة، يتم تقييم جميع القيم في الكتلة، ثم تُسند القيمة الناتجة لجميع الخلايا المناظرة لها في الشبكة المُخرجة، ثم تنتقل الكتلة بعد إنجاز ذلك بأكملها إلى منطقة جديدة لم تُجرَ عليها حسابات بعد (الشكل رقم ٤,١٤). تشمل العمليات الكتليّة التقليديّة عادةً – كما في العمليات التركزيّة – كل أو بعض ممّا يلي: الحد الأدنى؛ والحد الأعلى؛ والأغلبيّة؛ والمتوسط؛ والوسيط؛ والانحراف المعياري؛ والتنوع؛ والمدى؛ والمجموع؛ وغيرها. يبيّن الشكل رقم (٤,١٥) نتائج أربع وظائف كتليّة: الحد الأدنى؛ والمتوسط؛ والتنوع؛ والمجموع. إن الشيء المهم ملاحظته في هذه الأشكال التوضيحية هو أن النتائج يتم تخزينها في شكل شبكة كاملة بنفس الحجم، والشكل، والموقع، مثلما أُدخلت. وبعد تنفيذ ذلك، تنتقل الكتلة إلى موقع جديد تماماً؛ أي خلايا لم يجر العمل عليها بعد في الكتلة السابقة. وبعبارة أخرى، في كل مرة يتم تقييم الشبكة، فإنها تصبح فريدة أو جديدة تماماً. انظر كيف يختلف هذا، على سبيل المثال، عن الوظائف التركزيّة.

الوظائف الشموليّة

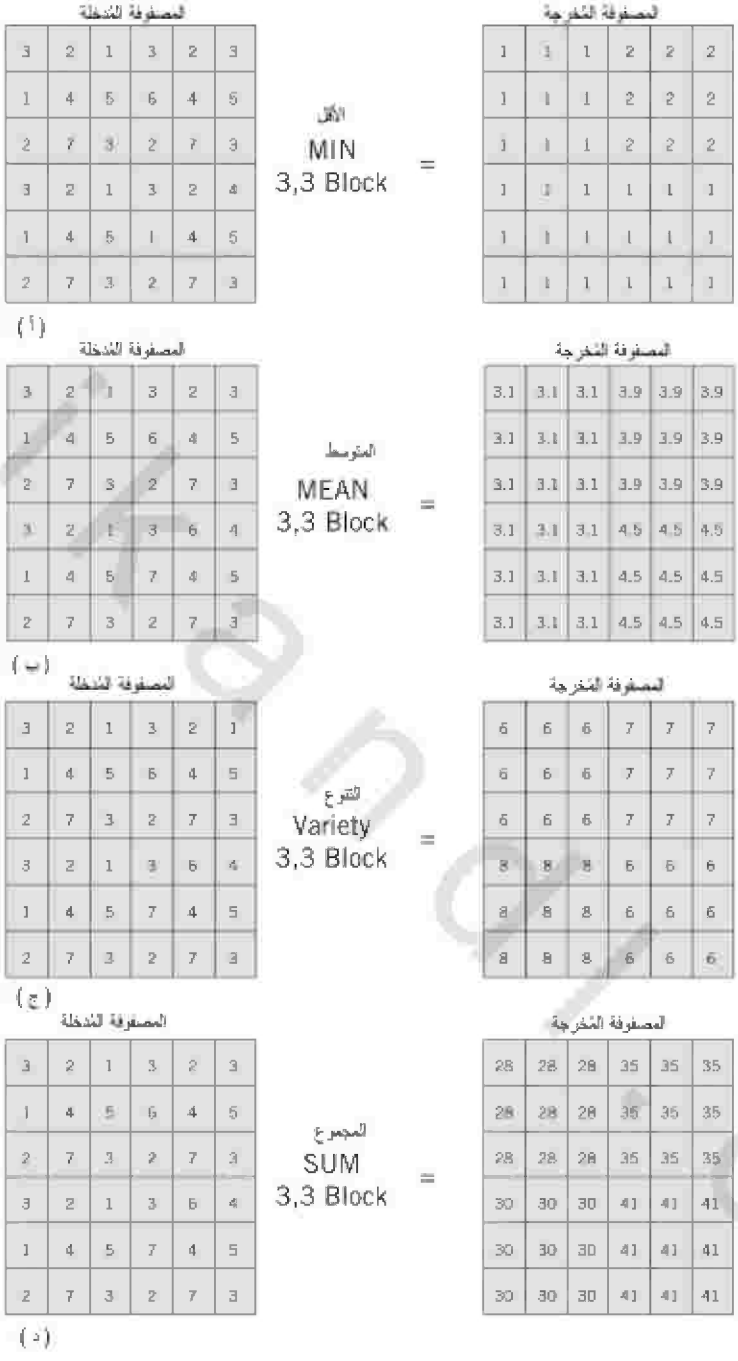
لقد رأينا كيف يمكننا أن نعمل على أساس خلية بخلية (الوظائف المحليّة)؛ ثم رأينا كيف يمكننا أن نوسّع نظرتنا لشبكتنا باستخدام الجوارات (مع الوظائف التركزيّة)، والأقاليم المتجاورة، والمجزأة، والأقاليم ذات

(١) الترجمة الحرفية للكلمة التي أوردها المؤلف هي مستطيل، لكن المقصود هو مضلع مكون من أربعة أضلاع كل زاوية فيه عبارة عن ٩٠ درجة، لكننا نشاهد أن الجوار مكون من عدد فردي للخلايا مثل ٥x٥ أو ٣ x ٣، فيصبح الشكل مربع عدداً لكن حجم الخلية قد يجعله مستطيلاً لأن أبعاد الخلية قد تكون مختلفة. (المترجم)

الفجوات (مع الوظائف النطاقيّة)، ومجموعات الخلايا الشبكية المستطيلة الفريدة (مع الوظائف الكتليّة). والآن ننتقل إلى ما هو حقا نظرة الطائر (أو النظر من عين طائر محلّق) (bird's-eye view) من خلال النظر في شبكتنا كلها دفعة واحدة باستخدام الوظائف الشموليّة (Global functions). تشمل التقييمات الناتجة من العمليات الشموليّة عمليات الهندسة الإقليديّة البسيطة، بالإضافة إلى قياسات المسافة الوظيفيّة (التكلفة)، ومجموعة كبيرة أخرى، والتي تولّد منتجاً يمكن أن يكون، لكن ليس بالضرورة، وظيفةً لجميع الخلايا في الشبكة بأكملها. ولأن الناتج من العمليات الشموليّة قد يكون مرتبطاً وظيفياً بكل خلية في شبكة واحدة أو أكثر من الشبكات في أي وقت، فإنه من الضروري أن يكون للبرامج قدرة للوصول إلى هذه الخلايا جميعها. وخلافاً لغيرها من الوظائف التي شهدناها، فإن مجموعات الوظائف الشموليّة غالباً ما تختلف اختلافاً جذرياً عن بعضها. ويمكننا أن نقسمها إلى ما يلي:



الشكل رقم (٤,١٤). الوظائف الكتليّة. بخلاف الوظائف النطاقيّة، تعمل الوظائف الكتليّة على كتل محدّدة المعالم كل على حدة في كل مرة، ثم تنتقل إلى كتلة أخرى فريدة (مختلفة). تعد مثل هذه الوظائف ذات النوافذ المتحركة طرائق شائعة في خوارزميات الترشيح في برنامج الاستشعار عن بعد.

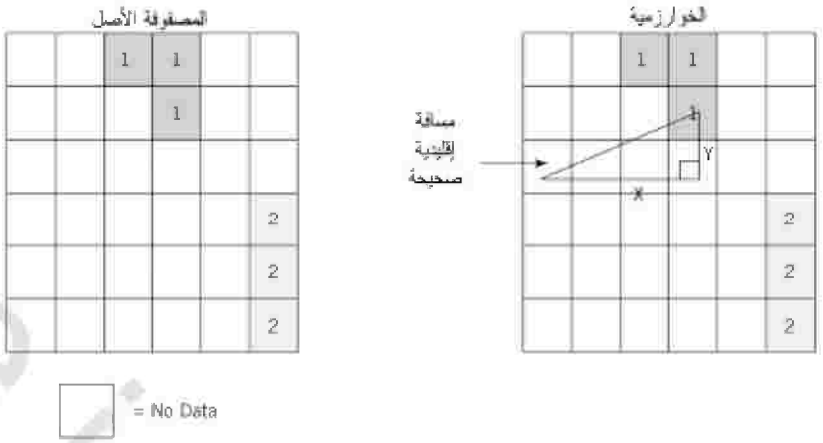


الشكل رقم (٤,١٥). عينة من الوظائف الكتليّة. هناك أربعة أنواع لاستخدام الوظيفة الكتليّة لتقييم كتل خلوية بأبعاد ٤ x ٤ خلية. القيم المرجّعة هي (أ) القيمة الأدنى، و(ب) المتوسط، و(ج) التنوع (عدد القيم المختلفة)، و(د) مجموع كل الخلايا التسع في كل كتلة.

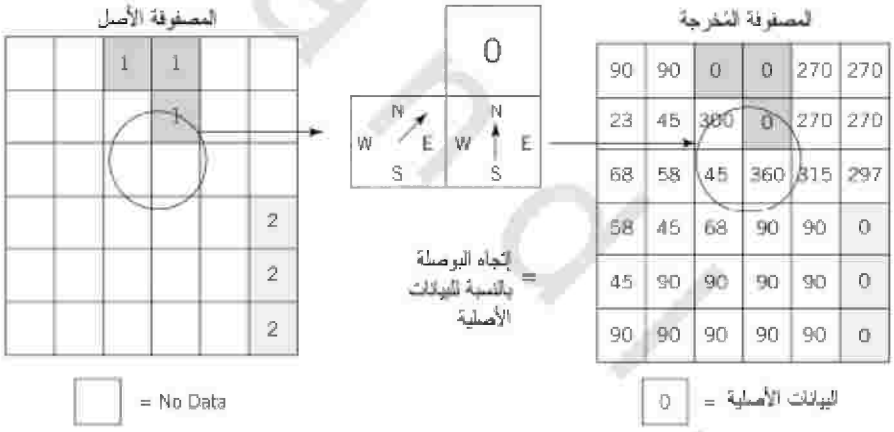
- **وظائف المسافة الإقليديّة الشموليّة.**
- **وظائف معكوس المسافة المرجّحة (الموزونة) الشموليّة.**
- **وظائف السطح الشموليّة.**
- **وظائف المياه الشموليّة.**
- **وظائف المياه الجوفية الشموليّة.**
- **الوظائف الشموليّة متعددة المتغيّر.**

وظائف المسافة الإقليديّة: صُمّمت وظائف المسافة الإقليديّة (Euclidean Distance Functions) لحساب قياسات المسافة من خلية مصدرية (Source) أو مجموعة (جوار) خلايا مصدرية. فهي تحسب كل من المسافة (المسافة الإقليديّة EucDistance) والاتجاه الإقليدي (EucDirection) من المصدر (سواء كان خلية شبكية فردية أو مجموعة من الخلايا الشبكية) إلى خلاياه المجاورة الأقرب. بالإضافة إلى ذلك، فإن وظيفة التخصيص المكاني الإقليدي (EucAllocation) تعزل كل الخلايا الشبكية التي تم تخصيصها (إسنادها) لخلية أو جوار مصدري على حدة، على أساس أيّها الأقرب إلى المصدر. وتُحسب المسافة الإقليديّة من مركز المصدر إلى كل خلايا الشبكة المحيطة. تستخدم بعض أبسط حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة مسافة الخلية، في حين تستخدم الحزم البرامجية الأكثر تقدماً مسافة الخلية القصوى (بناءً على درجة وضوح الخلية)، ثم تستخدم نظرية فيثاغورس لحساب وتر الزاوية للمثلث القائم الزاوية (الشكل رقم ٤,١٦). وفي الحالة الأخيرة، إذا كانت المسافة الأقصر أقل من مسافة قصوى محدّدة، فإن القيمة تُسند إلى الخلية الشبكية الناتجة. أيضاً، إذا كان برنامجك يستخدم نظرية فيثاغورس، فإن قيمة المسافة تكون عدداً كسرياً. لكن هناك حالات غالباً ما تكون فيها الخلية المصدريّة على مسافة متساوية من هدفين أو أكثر، فتُسند القيمة، في هذه الحالة، إلى الخلية الأولى التي صادفها البحث. ولهذا السبب، يجب عليك أن تدرك طريقة برنامجك في البحث عن المسافة والاتجاه، ففي برنامج GRID لحزمة برامج اسري (ESRI)، على سبيل المثال، يكون البحث على أساس صفا بصف، إبتداءً من الجزء العلوي من يسار الشبكة.

يستطيع القياس الاتجاهي الإقليدي، وذلك حسب برنامجك، أن يقوم بإسناد أرقام رمزية لتمثيل الاتجاهات الأصلية (الأربعة) من الخلايا المصدريّة، بالإضافة إلى قيم إضافية للاتجاهات غير الأصلية (أو الفرعيّة). فعلى سبيل المثال، يمكنك أن تستخدم نظاما باتجاه عقرب الساعة حيث يكون لديك صفر (٠) لتمثيل إما (٠°) أو (٣٦٠°)، وإما (١) يمثّل (٤٥°)، وهلمّ جرّاً. أو بإمكانك إسناد اتجاهات البوصلة الفعليّة في الخلايا المُخرجة، باستخدام بوصلة لـ (٣٦٠) درجة (الشكل رقم ٤,١٧). وفي هذا المثال، سيُستخدم رقم (٣٦٠°) لتمثيل الشمال، وبهذا يتم حفظ قيمة الصفر (٠) للخلايا المصدريّة. هذه ليست سوى بضعة أمثلة من النظم أو الطرائق التي يمكن أن تُطبّق.

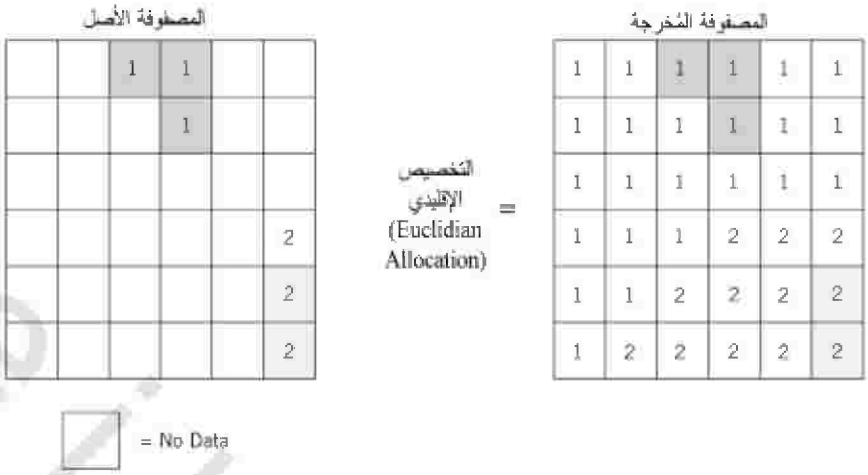


الشكل رقم (٤,١٦). استخدام نظرية فيثاغورس لتقييم مسافة طول القطر. تُستخدم هذه النظريّة متى ما كانت مسافات خلايا الشبكة تُحسب على المنحنى القطري وذلك لضمان الصحة.



الشكل رقم (٤,١٧). طريقة الترميز الاتجاهي. هذه طريقة واحدة لترميز الاتجاهات داخل الشبكة الخلويّة في نظام المعلومات الجغرافيّة. نرى، هنا، أن اتجاهات البوصلة (٣٦٠ °) تم استخدامها.

تنتج وظيفة التخصيص المكاني الإقليدي (EucAllocation) شبكة مُخرجة تسجل (Record) لجميع مواقع الخلايا الشبكية هوية المصدر الأقرب، سواء كان خليةً أو جواراً. ولتسجيل التخصيص، فإن القيم الشبكية لكل خلية مصدرية أو جوار مصدري تُسجل للخلايا المُخصصة. وعليه، فإذا كان لديك مصدري جوار ورُقّماً بـ (١) و(٢)، فإن الخلايا التي خُصّصت على أنها الأقرب لخلية المصدر (١) سوف يُسند لها قيمة (١)، وقيمة (٢) للخلايا الأقرب للجوار المصدري (٢) (الشكل رقم ٤,١٨).



الشكل رقم (٤,١٨). التخصيص المكاني الإقليدي. تسجل هذه الوظيفة موقع الخلية الأقرب لمجموعة من الخلايا غير المُخصَّصة. يسجل المُخرج العدد الذي تم تخصيصه مسبقاً لقيم الخلايا الأقرب.

وظائف المسافة الموزونة: تقوم وظائف المسافة الموزونة (Weighted Distance Functions) على مفهوم مسافة تكلفة السفر (أو الانتقال) المتراكمة من كل خلية إلى الخلايا المصدريّة. تستطيع المسافة ذات التكلفة المتراكمة أن تتضمن، أيضاً، فكرة وجود سطح الاحتكاك (Friction surface)، ومن ثم إنتاج خلايا مُخرجة تقترب كثيراً من فكرة المسافة الوظيفيّة بدلاً من الإقليديّة. إن تكاليف الانتقال (المسافة الوظيفيّة) يمكن أن تستند إلى الوقت الذي يستغرقه الانتقال، أو قد تكون مرتبطة مع حسابات نقدية (مثل، تكلفة سيارة الأجرة أو تكلفة الغاز)، أو أنها يمكن أن تستند إلى وظيفة ما للتفاقم (التراكم) أو التفضيل. ولتنفيذ هذه الحسابات، فإن البرنامج يتطلب شبكتين مُدخلتين: شبكة مصدر، وأخرى تمثّل سطحا للتكلفة أو الاحتكاك أو شبكة معاوقة. يمكن أن تحتوي شبكة المصدر خلية واحدة، أو خلايا متعددة، أو مجموعات مفردة أو متعددة من الخلايا. وبسبب الطريقة التي من خلالها يتم حساب المسافة، يقيِّم البرنامج فقط الخلايا التي تحمل قيما صفرية (٠) (الخلايا البداية)، أو أكبر للخلايا اللاحقة. وإذا كنت ترغب في تجنب تقييم خلايا معينة مختارة، فإنها يجب ألاّ تتضمن أي بيانات (NoData).

تستطيع برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تنفيذ عمليّة المسافة المرتبطة بالتكلفة من خلال طرائق مختلفة. وكل هذه الطرائق تضم وظيفة جمعية (Additive) للمسافة الإقليديّة فتربطها بقيم الاحتكاك أو المعاوقة لإنتاج قيم احتكاك أو معاوقة نهائية – يُطلق عليها أحياناً بسطح التكلفة. فإذا انتقلت من خلية إلى خلية على طول اتجاه أفقي أو رأسي، فإنك ستضيف تكلفة كل خلية شبكية وتقسّم ذلك على (٢) على أساس المعادلة التالية:

$$a1 = \frac{cost1 + cost2}{2}$$

حيث إن *a1* هو التكلفة لكل زوج تكلفة، و *cost1* يمثّل التكلفة المخصصة للخلية الشبكية الأولى، و *cost ٢* التكلفة المُخصصة للخلية الثانية المُصادَفة. يمكن تعميم هذا – بعدئذ – بسهولة للحركة من الخلية الثانية إلى الثالثة من خلال تبديل قيم التكلفة هكذا:

$$a1 = \frac{cost2 + cost3}{2}$$

حيث إن القيمة الجديدة (*cost3*) تكون القيمة المُخصصة للخلية الثالثة. وفي هذه الحالة (حالة الاتجاهين الأفقي والرأسي)، تُحسب مسافة التكلفة المتراكمة ببساطة من خلال إضافة كل من قيم الربط (*a1, a2...*) لتحقيق المعادلة التالية:

$$accumulated\ cost = a1 + a2$$

وبطبيعة الحال، فالحركة في الشبكة لا تقتصر على الاتجاهات الأفقية والرأسية. أما الحركة القُطرية تتطلب مسافة انتقال أكبر من طول خلية واحدة، استناداً إلى نظرية فيثاغورس لحساب طول وتر الزاوية القائمة، وتنتج مُضاعِفاً قدره (١,٤١٤٢١٦) – الجذر التربيعي لـ ٢ – عندما يكون طول الخلية (١,٠) على الجانب. وعليه، فإن الحركة القطرية بين الخلية الأولى والخلية الثانية ستكون كالتالي:

$$a1 = 1.414216\ \frac{cost1 + cost2}{2}$$

وعندما تُحسب التكلفة المتراكمة للحركة القطرية من خلية (١) إلى خلية (٢) ثم إلى خلية (٣)، فإنها تستخدم المعادلة التالية:

$$accumulated\ cost = a1 + 1.414216\ \frac{cost2 + cost3}{2}$$

وهي تبدو، بعد أن بُسّطت، متطابقة مع المعادلة للحركتين الأفقية والرأسية. أما الفرق الوحيد في هذه الحالة فهو في الحساب الأولي لمسافات الربط (أي، *a1*، و *a2*، و *a3*، ... إلخ).

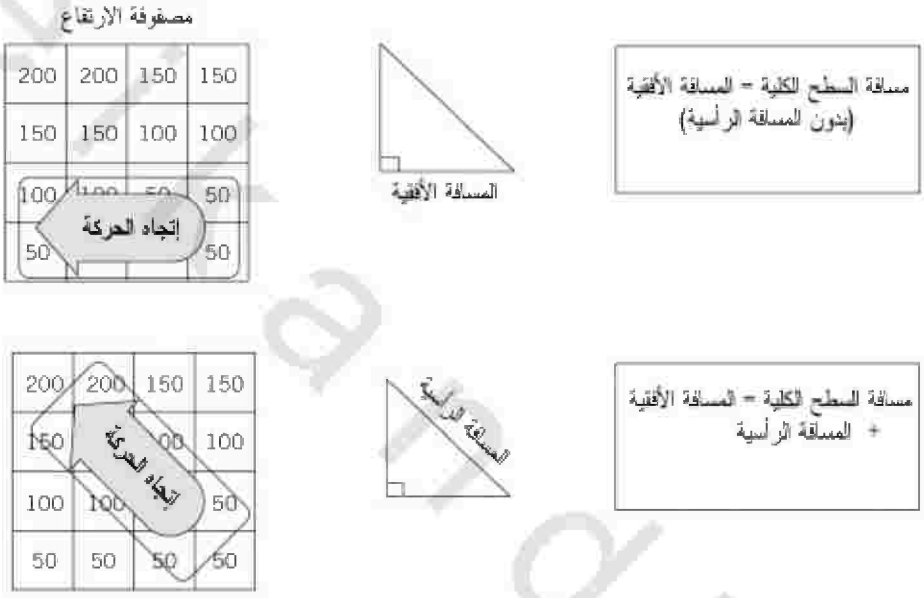
إن عمليّة مسافات التكلفة المتراكمة هي في مجملها عمليّة تكراريّة تبدأ عند الخلايا المصدريّة، ثم تختار أقل خلية تكلفة في الشبكة ثم تُراكِم القيم للشبكة المُخرجة بالطريقة التالية. أولاً، يتم اختيار الخلايا المصدريّة ويُسند لها قيمة (٠)، لتبيّن أنه لم يطرأ أي تراكم بعد عند هذه الخلايا. بعد ذلك، ينشّط البرنامج جميع الخلايا المجاورة للخلايا المصدريّة، وبحسب قيم تكاليفها على أساس المعادلات السابقة، ثم يختار من هذه الخلايا تلك التي سوف تُرسل (أو تسند) إلى الشبكة المُخرجة، كما يجب أن تبين هذه الخلايا (المسندة) المسار (الأقل تكلفة) التالي – مسار آخر – نحو المصدر.

وبمجرد أن يختار البرنامج الخلية المُخرجة (الأقل تكلفة)، يقوم بإضافتها إلى قائمة خلايا التكلفة المتراكمة، ثم يبحث في خلاياها المجاورة ليحدّد أيّها تكون قادرة على الوصول إلى المصدر. لكن لا تشمل القائمة إلا الخلايا التي لها هذه القدرة فقط. وكما رأينا من قبل، فإن تكلفة التنقل تُحسب باستخدام المعادلات أعلاه. وتستمر العمليّة عن طريق اختيار أدنى تكلفة، وتوسيع نطاق الجوار حول الخلايا المختارة، واحتساب تكاليف جديدة وإضافتها إلى القائمة النشطة. ثم تستمر العمليّة حتى يصادف البرنامج حافة الشبكة، أو حدود النافذة (نافذة البحث)، أو الحد الأقصى للمسافة (مختارة مسبقا من قبل المستخدم).

يمكن أن ينتج من خلال تعديل في وظيفة مسافة التكلفة وظيفةٌ تُسمى غالبا بوظيفة الصرف (Drain) أو المسار (Route)، وتُستخدم غالباً بالاشتراك مع وظائف التكلفة، ووظائف المسافات الإقليديّة والهيدرولوجية (المائية)، وغيرها من وظائف نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الخاصة بنمذجة عمليات التشتت والحركة. وتذهب وظيفة مسافة المسار إلى أبعد من مجرد حساب التكلفة المتراكمة فوق السطح وذلك من خلال التعويض عن مسافة السطح الفعليّة التي قُطعت، بدلاً من النظرة المستوية للسطح، كما أنها تشتمل على العناصر (العوامل) الأفقية والرأسية التي تؤثر على الحركة من مكان إلى آخر. هذه الوظيفة هي المستخدمة في نمذجة التشتت وتدفق الحركة وكذلك تحديد المسار الأقل تكلفة (وظيفة ترتبط كثيراً بقدرات النمذجة الشبكية في نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة).

ومن الأمثلة المألوفة على تأثير عنصر واحد من هذه العناصر، أثر الارتفاع على استهلاك الوقود لسيارة تنتقل من نقطة (أ) إلى نقطة (ب). فالمسافة الإجمالية المقطوعة، التي سنطلق عليها مسافة السطح، ومن ثمّ كمية الوقود المستخدمة هما وظيفتا المسافة المستوية (الأفقية) بين نقطة الانطلاق ومقصدها، والمسافة الرأسية. إن إضافة المسافة الرأسية بين النقطتين تزيد في المسافة السطحية الإجمالية التي قُطعت ممّا ينتج منه استهلاكاً أكبر للوقود. ولتبسيط هذا، يمكن توظيف نظرية فيثاغورس لإظهار الزيادة في السفر أو الانتقال على أساس الاختلافات في الارتفاع بين النقطة (أ) والنقطة (ب) (الشكل رقم ٤,١٩). فإذا كانت المسافة المستوية بين الموقعين، على سبيل المثال، (٢٥) ميلاً، وتستهلك السيارة جالوناً واحداً من الوقود لكل (٢٥) ميلاً على السطوح المستوية، فإن الرحلة سوف تكلّف (١) جالون تقريباً من الوقود. ولكن، إذا كان هناك فارقاً في الارتفاع قدره (٣) أميال بين نقطتين،

فسنستخدم نظرية فيثاغورس للحصول على المسافة السطحية الكلية (أحياناً تُسمى بسجل مسافة الطريق)، وسنرى – عندئذ – أن قيمة المسافة السطحية زادت إلى ما يقرب من (٢٥,١٨) ميلاً؛ مما يعني أننا سوف نستهلك حوالي (٠,١٨) جالوناً إضافياً من الوقود. وبطبيعة الحال، هذا يفترض ثلاثة أشياء – أن الطرق سلسة تماماً، وأنه لا توجد ريح، وأنه لا يوجد أيّ أثر ناتجاً عن قوة من قوى التجاذب – وهي فرضيات لا يمكن اعتمادها إذا كانت حساباتنا ستكون ممثلة للواقع على أقل تقدير.



الشكل رقم (٤,١٩). المسافة الوظيفيّة. المسافة ليست أفقية فقط. عادةً ما يكون للعناصر الإضافية تأثير على المسافة الحقيقية التي قُطعت. في هذا المثال، أضفنا عنصراً (عامل) رأسياً ناتجاً من التغيرات في الارتفاع.

قد لا تبدو وعورة السطح عنصراً أو مكوِّناً رئيساً لمسافة الطريق، لكنك قد تحتاج إلى التفكير في أثر الطرق الحصوية مقابل الطرق السريعة، أو الطرق السريعة الجديدة مقابل طرقات سريعة مملوءة بالحفر، على السرعة التي تشعر عندها بالراحة أثناء القيادة. لكن في المسافات الطويلة، فإنه حتى عوامل وعورة سطح الطريق الثانوية يمكن أن يكون لها تأثير مضاعف على استهلاك وقود السيارة. فعامل الاحتكاك – كما شاهدنا في وظيفتنا الخاصة بمسافة التكلفة – يمكن إضافته للتعويض عن خصائص الطريق الخطرة هذه بحيث يمكن إدراجها في تقييمنا لمسافة الطريق.

يعد افتراضنا الثاني المتعلق بظروف الرياح أحد مجموعة من العوامل التي يُطلق عليها بالعوامل الأفقية التي تؤثّر في تكلفة السفر أو الانتقال. إذ يدرك السائقون أن الرياح القادمة من الخلف (الريح الخلفية) سوف تدفع المركبة

في الغالب إلى الأمام (الشكل رقم ٤,٢٠ أ)، مع الحد من استهلاك الوقود، في حين أن الرياح التي تتحرك نحو السيارة (الريح الأمامية) سوف تزيد من استهلاك وقود المركبة (الشكل رقم ٤,٢٠ ب). أما الريح المعترضة أو المتعامدة، التي تصل من زوايا مختلفة، فلها عناصر إيجابية وسلبية، حيث إن المتَّجَه (Vector) الناتج هو مزيج من سرعة واتجاه السيارة، وسرعة واتجاه الريح (الشكل رقم ٤,٢٠ ج).

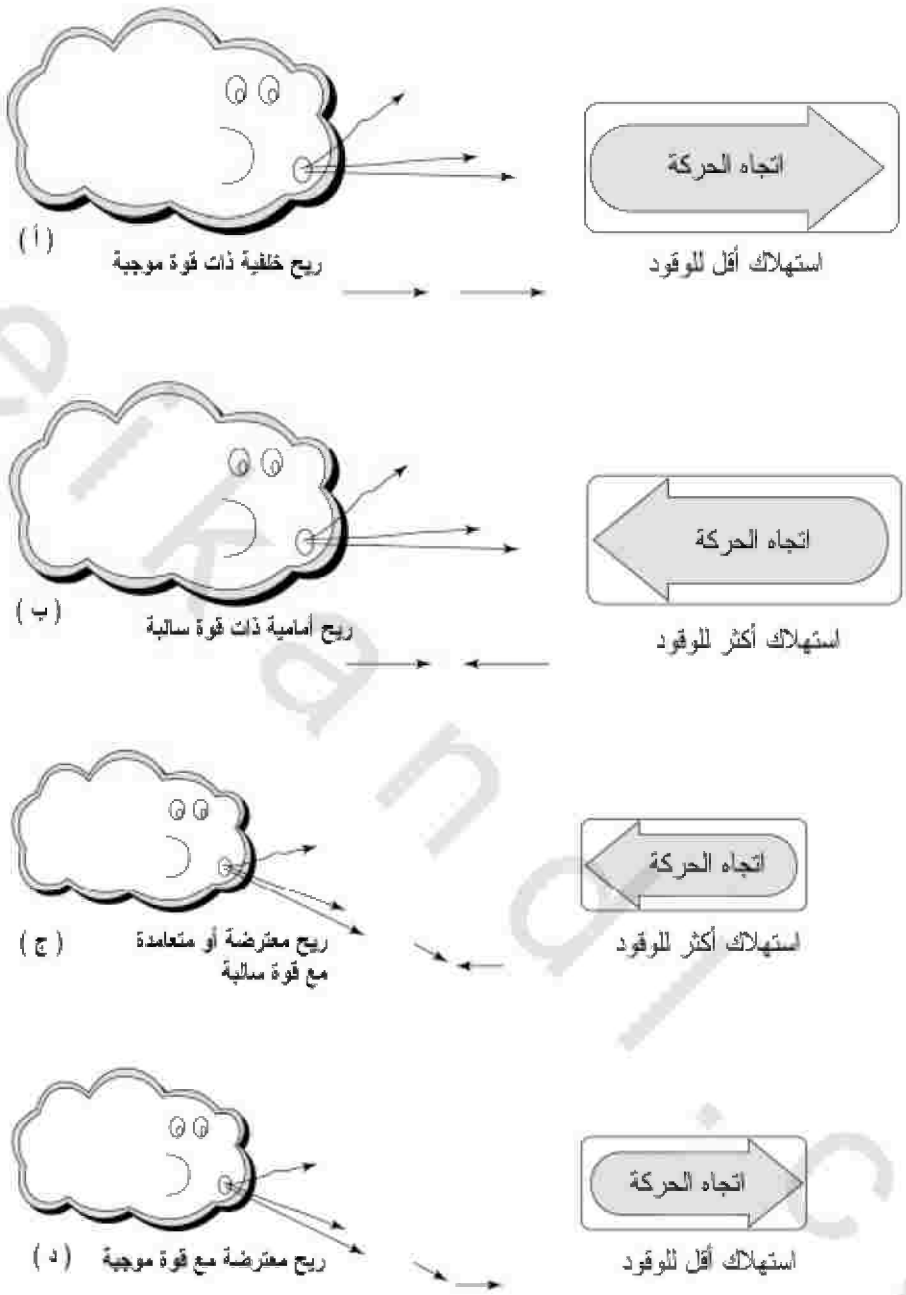
إن أثر الارتفاع والجاذبية على استهلاك الوقود هو عامل رأسي يؤثر على وقود المركبة بطريقة واحدة من طريقتين مختلفتين، وذلك حسب اتجاه المركبة إن كان صعوداً أو نزولاً، وبطبيعة الحال، حسب انحدار التل المرتبط بالاتجاه الرأسي للانتقال. ومثلما تتوقع، فإذا اتجهت نحو الأسفل، فإن استهلاك الوقود سيتناقص على أساس الانحدار، في حين إذا اتجهت للأعلى، فإن استهلاك الوقود سوف يتزايد، ومرة أخرى يعتمد ذلك على الانحدار.

يُتوقع أن يسمح نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الذي يعمل بكامل وظائفه بإدراج كل هذه العوامل عند تقييم مسافة المسار، سواء كان يقوم بنمذجة مصدر للتشتت أو الانتشار، أو نمذجة هدف متحرك مثل المركبة. يمكن أن تكون هناك معادله بسيطة واحدة من اجل دمج هذه العوامل وهي على النحو التالي:

$$fuel\ used = SD \bullet F \bullet HF \bullet VF$$

حيث إن ***SD*** مجموع مسافة المنحدر، و ***F*** عامل الاحتكاك، و ***HF*** العامل الأفقي (في حالتنا، مقاومة الرياح)، و ***VF*** العامل الرأسي المتعلق بالحركة إلى أعلى أو أسفل المنحدر. سوف يتعيّن تقييم كل من هذه العوامل كمياً، أو يمكن أن يكون ذلك قبل إدراجها في المعادلة. فعلى سبيل المثال، يجب أن يتم تقييم العامل الرأسي أولاً لتحديد الانحدار (متوسط الانحدار بين النقطتين (أ) و(ب)، في أبسط الحالات). بالإضافة إلى ذلك، سيتحتم علينا أن نبيّن بطريقة معينة اتجاه سير المركبة بالنسبة للمنحدر، سواء صعوداً أو هبوطاً.

حتى استهلاك الوقود البسيط هذا في المركبات لديه بعض التفاصيل المزعجة التي تجعل النموذج أكثر تعقيداً مما سردناه آنفاً. فعدد قليل مما استعرضته يستند على مدى التغير في كل عامل من العوامل. فمن المستبعد، على سبيل المثال، أن كل من سطح الطريق، واتجاه الرياح وسرعتها، والمسافة السطحية، والانحدار، ستكون كلها موحدة على طول كامل المسافة بين النقطتين (أ) و(ب). فإذا كان مثالنا الخاص بالحركة سيُبنى ليس على المركبات فقط بل على ظواهر بيولوجية (حيوية)، أو على ظواهر محسوسة مثل الإنسكابات الكيميائية أو الحرائق، فإن العديد من قواعدنا إما أنها ستكون مختلفة جذرياً، وإما أنها قد تكون غير مهمة أصلاً. فعلى سبيل المثال، نجد أن المنحدر الذي يأخذ شكلاً عمودياً تقريباً والذي قد غُطي بنباتات جافة تعمل كوقود فمن المرجح أنه يزيد الحركة، بدلاً من إبطائها.



الشكل رقم (٤,٢٠). عوامل تكلفة التنقل الأفقية. تعد مقاومة الرياح مثالاً متميزاً على كيف يمكن أن تؤثر العوامل الأفقية على المسافة الوظيفيّة. في هذا المثال، نرى في (أ) أن الرياح الخلفية تخفض استهلاك الوقود (مقياسنا للمسافة الوظيفيّة)، وفي (ب) تزيد الرياح الأمامية (المضادة في الاتجاه) استهلاك الوقود، وفي (ج) يكون للرياح المعترضة أو المتعامدة تأثيراً أساسه عنصراً لقوة والاتجاه.

وفي هذا المثال نفسه، فإن سطحاً وعراً مؤلفاً من شجيرات جافة، على سبيل المثال، سيكون صعباً جداً للعديد من المركبات، لكنه سيجعل من حركة النار أو الحريق سريعة جداً. وهناك مثال آخر يبيّن كيف أن العنصر الرأسي قد لا يتصل حتى بالانحدار الطوبوغرافي نفسه. ففي بعض الحركات، مثل تلك الخاصة بالغازات الخطرة الناتجة من الانسكابات أو الرماد البركاني الغني بالكبريت، نجد أن الانحدار قد يكون في الواقع وظيفة الاختلافات في الضغط الجوي الناجم عن فرق التسخين والتبريد، أكثر منه وظيفةً للآثار الطوبوغرافية. أو قد يؤثر الرفع الجبلي على قيم الضغط الجوي هذه، ومن ثمّ يزيد من تعقيد نموذجك.

وكما ترى، إذن، فإن نمذجة مسافة الطريق أو السير – وكما هو الحال مع مسافة التكلفة – تعد عمليّة فريدة للظواهر قيد النمذجة، وللعوامل البيئيّة التي تؤثر عليها. فنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي القادر على أداء هذه الوظائف الشموليّة ينبغي أن يوفر بيئة مرنة يمكن من خلالها التحكم في هذه العوامل. سوف تُنفذ النمذجه الفعليّة في أغلب الأحيان كعمليّة تكراريّة أو معاودة، مطابقةً تقريبا لتلك التي ذُكرت لمسافة التكلفة لكن مع إدراج بعض أو كل العوامل التي وردت آنفاً. وبدلاً من أن نكرر هذا، يهمني أن ألقي نظرة سريعة على الأقل على فكرة تغطيات أو طبقات الاحتكاك المستخدمة في العديد من الوظائف الشموليّة، خصوصاً تلك التي استعرضناها سابقاً.

تبدو فكرة قيم الاحتكاك نظرياً بسيطة للغاية: فالاحتكاك أو المعاوقة العالية يعني أن قيم الاحتاك عالية. إلا أنه وكما رأينا في سطوح التكلفة ومسافات التكلفة، هناك أشكال عديدة للتكلفة والعديد من أشكال الاحتكاك التي يمكن تطبيقها. كما تؤثر عمليّة تخصيص قيم الاحتكاك تأثراً عميقاً على طبيعة النماذج التي تستخدمها، وحقيقتها، ومقبوليتها. فقبل أن تخصّص قيم الاحتكاك، تأكد من تحديد مستوى قياس البيانات الجغرافيّة الذي تحتاج أن تستخدمه (ترتيبي، أو فاصلي، أو نسبي). هذا يتطلب أن تعرف طبيعة قيمة الاحتكاك (ما التمثيل الذي تعنيه؟)، وهل يمكن قياسها، أو أنه تم قياسها من قبل، وما هي الكيفيّة التي يُراد من خلالها أن تتفاعل هذه القيم مع أيّ معاملات، أو وضائف، أو إجراءات أخرى، أثناء تنفيذ عمليّة النمذجة. فعلى سبيل المثال، إذا لم يكن لديك قيم احتكاك فعليّة متاحة من خلال القياس الفعلي، فقد تستخدم شكلاً من أشكال القيم الترتيبية المصنفة. وفي الأشكال النمطية المألوفة للتصنيف الترتيبي نجد أن القيم يمكن أن تتراوح بين (٠) (لا يوجد احتكاك) إلى (١٠) (أقصى قدر من الاحتكاك). هذا يجعل من عمليّة تخصيص قيم الاحتكاك عمليّة بسيطة نسبياً. ومع ذلك، فإنها تفرز ثلاث مشكلات رئيسة. أولاً، يعد اشتقاق التصنيف الترتيبي، في كثير من الأحيان، عمليّة عشوائية إلى حد ما. كما أن هناك القليل من الأبحاث التي أُجريت حول هذا الموضوع، وما تم إنجازه (روبنسون ١٩٩٠م) لم يكن مصاغاً في شكل موضوعي متفقاً عليه في نظم المعلومات الجغرافيّة. ثانياً، لا يمكن مقارنة القيم الترتيبية إلا داخل طيف القيم التي هي مستمدة منه؛ كأن تُقارن درجات مستويات منهج حساب التفاضل والتكامل (مثل: AB, CB) مع بعضها، وليس مع الدرجات المستخدمة في تحديد المستوى في اللغة الانجليزية مثلا (أي، A، B، ...). وأخيراً، وتبعاً

للقصور الثاني، فإن أي معالجة رياضيّة للتراتيب – مثلما يحدث في عمليّة ضرب الطبقات بعضها ببعض في الجبر الخرائطي – فإنه من المرجح أن ينتج ذلك نتائج عددية غير صحيحة. وللأسف، فإن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة غير حساسة لمستويات قياس البيانات الجغرافيّة، حتى أنها تسمح بأن يُستخدم التمثيل العددي للفئات الاسميّة داخل المعادلات الرياضيّة. وباختصار، كن حذراً من المصدر، ومستوى القياس، والاستخدام عند عمل قيم سطح الاحتكاك.

وظائف السطح: لن تكون أي من العمليات الشموليّة كاملة إذا لم تشمل معالجة الظواهر السطحية. يمكن أن تكون البيانات الإحصائيّة السطحية ممثلة في شكل أعداد كاملة (Integer)، بحيث تمثّل كل خلية قيمةً واحدة عددية كاملة، مثل بيانات الارتفاع، أو بيانات كسرية، حيث تمثّل كل خلية بقيمة كسرية (Floating point value). تُعتبر هذه القيم، في معظم الحالات، قيما نقطية كما أنها، أيضاً، في أغلب الأحيان تُخزَّن على أنها النقطة الوسطى لكل خلية بالشبكة. ومن بين الاستخدامات الأكثر شيوعاً لهذه البيانات النقطية تلك المتعلقة بإنشاء سطوح وصفيّة التي تتيح التنبؤ بقيم جديدة وإنشاء مُخرج شبكي سطحي الاشتقاق.

تشمل الخوارزميات المتعلقة باستخراج السطح عموماً طريقة اشتقاق معكوس المسافة المرجحة أو الموزونة (IDW)، والكريغنغ (Kriging)، وإسبلاين (Spline)، ونمذجة اتجاه السطح العام (Trend surface modeling)، وكلها تتنبأ بقيم مُخرجة تستند إلى عينة من بيانات نقطية سطحية. عليك أن تلاحظ أن هذا لا يشمل الاشتقاق الخطي؛ ذلك أنه من غير المحتمل أن ينتج سطحاً صحيحاً. أما أيّ من الطرائق المتبقية سوف تُستخدم، فهو راجع لنوع السطح الذي تحاول أن تنتجه، ونوع السطح الذي تحاول أن تنمذج، وتوزيع نقاط العينة. إن تفاصيل هذه الأساليب متاحة في مراجع أخرى (DeMers, 2000a)، لكنه من المفيد – من منظور النمذجة – أن تفحص شيئاً من الخصائص المتقدمة لهذه الطرائق ومجالات تطبيقها العامة.

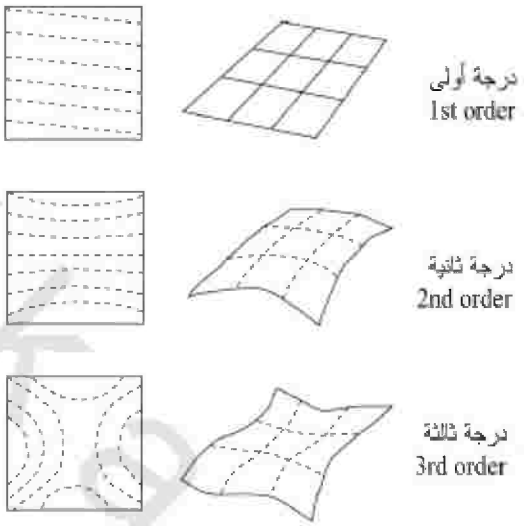
تفحص طريقة الاشتقاق بمعكوس المسافة الموزونة المسافةَ الخطّيّة بين نقاط العينة، وتوزن قيمة الإدراج على أساس معكوس هذه المسافة. والفكرة هي أن تلك القيم التي هي أقرب لبعضها من المحتمل أن تكون أكثر ارتباطاً مكانياً، وعليه ينبغي أن توفر أكثر القيم تمثيلاً للسطح من تلك التي على مسافة أبعد. عادةً ما يفترض اختيار هذه الطريقة، أن المتغير المكاني – مثل، السطح الطبوغرافي – هو في الحقيقة متغير ذو ارتباط مكاني (Spatially autocorrelated). وهناك العديد من الخيارات المتاحة لوزن معكوس المسافة، حسب البرنامج الذي تستخدمه، وهي تشمل الانتقال من التحكم أو التأثير المحلي إلى الشمولي عن طريق تعديل وظيفة القوة (Power). فتنتج قيم القوة الأكبر نفوذاً متدنياً للنقاط المحيطة، وسيكون السطح – عندئذ – أقل سلاسة. هذه الطريقة مفيدة متى ما كنت تبحث عن تفصيل (مكاني) أكبر. كما يوجد خيارات أخرى، وتشمل: ضبط أعداد نقاط التحكم لعمليّة الاشتقاق؛ ومواقعها؛ وطرائق اختيارها (Hodgson and Gaile, 1999; Philip and Watson, 1982; Watson and Philip, 1985).

تقوم طريقة الكريغنغ على فكرة نظرية المتغير المؤَقلَم (Regionalized variable)، التي تفترض أن التغير المكاني للقيم الإحصائيّة في السطح يكون متجانساً إحصائياً من البداية إلى النهائيّة. تستخدم كل طريقة من طرائق الكريغنغ وظيفة رياضيّة لنمذجة التنوعات أو الاختلافات المكانيّة في قيم (Z) داخل عينة من النقاط. ويُستخدم رسم بياني يُطلق عليه منحنى التباين النصفي (Semivariogram) وذلك لتسجيل وتقييم العلاقة بين المسافة بين النقاط والاختلاف في قيم (Z). هناك أشكال كثيرة للكريغنغ، لكن يمكن ضمها بشكل عام في مجموعات تحت مسمى نماذج، وتشمل: النماذج الكروية؛ والدائرية؛ والأُسّيّة؛ والغاوسيّة (Gaussian)؛ والخطّيّة. وإذا كان هناك افتراضاً بأن الاختلاف المكاني في بيانات السطح الإحصائي يحتوي على بعض الاتجاهات المحليّة (Local trends)، أو عنصر تركيبي (Structural component)، فيمكن – عندئذ – استخدام مجموعة عامة من طرائق الكريغنغ تُسمى بالكريغنغ العام (Universal Kriging). وتفترض هذه الطرائق العامة بأن هناك ثلاثة عناصر تعمل في وقت واحد – عنصر تركيبي (نزعة أو ميل باتجاه معين Drift) الذي يمثّل الشكل العام للسطح، وعنصر عشوائي، لكنه مرتبط مكانياً (مثل، وعورة سطح)، وتشويش عشوائي (Random noise). وبمجرد أخذ العنصر التركيبي في الاعتبار في الكريغنغ العام، فإن الاختلاف أو التنوع المتبقي ما هو إلا مجرد وظيفة للمسافة، كما هو الحال مع الكريغنغ العادي (Ordinary Kriging).

يستخدم تحليل سطح الاتجاه العام (Trend surface) معادلة الانحدار متعددة الحدود لتُكيّف سطحاً من التربيعات الصغرى (Least-squares) على نقاط العينة. والغرض من سطح الاتجاه هو إظهار التغيرات العامة في سطح قيم (Z) بدلاً من التنبؤ بالقيم الفعليّة من مكان إلى آخر. وكلما زاد تعقيد تعدد الحدود، زاد تعقيد السطح المنتج من نموذج سطح الاتجاه. وعليه، فإن تعدد الحدود من الدرجة الأولى ينتج سطحاً مُكيَّفاً من التربيعات الصغرى ملائماً لمستوى يمر بنقاط العينة (الشكل رقم ٤,٢١). أما الحدود من الدرجة الثانية، والثالثة، والأكثر تعقيداً، فتنتج سطحاً مكيفاً أكثر تعقيداً (الشكل رقم ٤,٢١). في الحقيقة، إن معادلات ما بعد الدرجة الثالثة تفضي إلى انتفاء الغرض من سطح الاتجاه، وتصبح من شدة تعقيدها عديمة الفائدة في التنبؤ بالاتجاهات العامة. ولأن سطوح الاتجاه تعد أكثر تعميماً من السطوح المنتجة بالأساليب الأخرى، ولأن هدفها الرئيس هو استخراج أفضل تكييف أو تمثيل لكامل السطح، فإنه من النادر أن تمر سطوح الاتجاه بقيم العينة الفعليّة.

يُعرَّف الانحدار (Slope) على أنه مقدار الارتفاع (البعد الرأسي) على مسافة معينة (البعد الأفقي). وسواء كان حساب الانحدار بالدرجات أو نسبة مؤية (الارتفاع / المسافة الأفقية x ١٠٠)، فإن الناتج هو مجموعة من القيم الشبكية التي يمكن استخدامها لمثل تلك العمليات التي تساعدنا في وظائفنا المتعلقة بمسافة التكلفة ومسارها. أما واجهة (أو اتجاهية) الانحدار (Aspect)، فهي ظاهرة ترتبط أساساً بالانحدار، فهي ببساطة تحدّد اتجاه الانحدار من خلال تحديد اتجاه المنحدر (Downslope direction) لمعدل الحد الأقصى للتغير (Maximum rate of change) في قيم

الخلايا الشبكية من كل خلية فردية إلى خلاياها المجاورة. يمكن أن تكون القيم الناتجة في شكل اتجاهات البوصلة، أو شكلاً من أشكال القيم الترميزية المُدمجة (Compact) تمثّل اتجاهات البوصلة. وغالباً ما يقترن استخدام الانحدار مع استخدام واجهة الانحدار عند النمذجة.



الشكل رقم (٤,٢١). سطوح الاتجاه العام. كلما كانت المعادلة متعددة الحدود أكثر تعقيداً في تحديد الاتجاه العام في السطح الإحصائي كان سطح الاتجاه نفسه أكثر تعقيداً. نرى، هنا، التغير في درجات تعدد الحدود من الدرجة الأولى إلى الثانية وإلى الثالثة، وأثر ذلك على شكل سطح الاتجاه العام المُخرج.

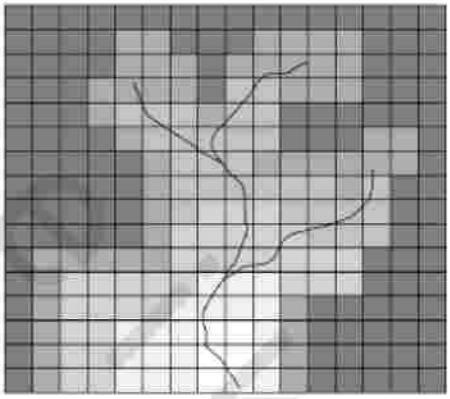
يعد تظليل الارتفاع (Hill shading)، والذي يسمى أحياناً بتحليل تظليل الارتفاع، طريقةً لحساب كمية الإضاءة الشمسية لسطح طبيعي مثل السطح الطوبوغرافي أو المباني. يُنظر إلى هذا التحليل عموماً على أنه ببساطة مجرد أداة استعراض (Visualization)، وهو بالتأكيد مفيد في هذا الصدد، لأنه يعزز المظهر البصري للسطح. كما أنه يبيّن المناطق التي قد تُظلل في العادة أو تكون أقل تعرضاً للاستكشاف المرئي (أو للرؤية البصرية). ومثلما قد تتوقع، فإن الخوارزميات المستخدمة لحساب الانحدار وواجهة الانحدار تستخدم لحساب مؤشر للعلاقة بين الانحدار وواجهته والذي بدوره يمكن استخدامه في إنتاج خرائط تضاريس مظللة. ولأغراض التحليل، فإن خوارزميات التظليل المتوفرة في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المتقدمة تسمح بتحليل طول وقت الشمس وحدّتها في مكان معين. ستكون هذه القيم مفيدة للغاية إذا كنت، على سبيل المثال، تريد أن تحلل البيانات الخاصة بك لاختيار مواقع مناسبة لوضع الألواح الشمسية لتوليد الكهرباء.

الوظائف الهيدرولوجية (المائية) الشموليّة: بالرغم من أننا رأينا كيف يمكن بناء السطوح ومعالجتها – إلا أن هناك بعض القدرات الوظيفيّة التي تعد فريدة نسبياً عندما يتعلق الأمر بنمذجة المياه على سطح الأرض، حيث يكمن اهتمامنا الرئيس في حركة المياه السطحية عبر السطح الطوبوغرافي، معًا مع حركات الحطام، والملوثات، والمواد البيولوجية. هذه الأنواع من الوظائف مفيدة للهيدرولوجيين، والمخططين، والمهتمين بيئة المظهر الطبيعي، ومجموعة كبيرة أخرى من المهتمين بهذه الحركات، سواء من أجل الأعمال التنظيرية أو التطبيقية منها. ويمكن أن يشمل ذلك على سبيل المثال، تقييم الفياضانات المحتملة وآثارها، وتقييم أحمال (كميات) التلوث من مصادر نقطية محدّدة أو غير نقطية (Non-point source) إلى الجداول المائية، والتنبؤ بتأثيرات المشاريع الإنشائية العملاقة، مثل السدود، على خصائص التدفق للجداول أو المجاري المائية. إن أحد المحدّدات الأساسية في تدفق المياه على السطح هو شكل التضاريس، وهذا يمكن نمذجته، في معظم الأحيان، باستخدام نماذج الارتفاع الرقميّة (DEMs) لتوفير هذه المعلومات. وتسمح لنا هذه الوظائف ببناء نماذج حدود حوض التصريف (خطوط تقسم المياه) (Watersheds) وشبكات المجاري المائية (Stream Networks)، وجميعها مصممة بحيث تظهر من أين ستبدأ المياه وأين ستصل.

لقد استخدمت في الجملة السابقة مصطلحي حدود حوض التصريف (Watersheds) والشبكات (Networks)، وكلا المصطلحين يحدّدان معاً نظام التصريف (Drainage System). فهذان العنصران هما، إذن، المنطقة أو المساحة التي ستتحرك عليها المياه، وشبكة المياه التي من خلالها ستنتقل المياه، على التوالي. فحوض التصريف (Drainage basin) أو حدود حوض التصريف (Watershed) هو العنصر الأول – أي المساحة أو المنطقة التي تتدفق عليها المياه إلى أكثر القنوات المائية تركزاً. أما المصطلحات الأخرى التي غالباً ما تطبق على هذا، فهي المستجمعات (Catchments)، والمنطقة المساهِمة (Contributing Area)؛ جنباً إلى جنب مع حوض التصريف (Drainage basin) وحدود حوض التصريف (Watershed)، وتُحدّد على أنها المساحة الإجمالية التي تسمح للمياه بالتدفق إلى المخرج أو نقطة المصب (Outlet or pour point). وتُعرّف نقطة المصب هذه بأنها أدنى نقطة على طول حوض التصريف. من المهم أن نتذكر هذا بحيث نكون قادرين على نمذجته بشكل فعال. كما أنه من المهم، أيضاً، أن نتذكر أن المناطق التي تقسّم القنوات المائية، وخطوط أو حدود تقسيم المياه، هي بالضرورة أعلى ارتفاعاً من الجداول أو المجاري المائية (الشكل رقم ٤,٢٢). وعندما ننمذج التدفقات داخل حوض تصريف المياه، علينا أن نتذكر أن الماء سوف يتحرك، في كثير من الأحيان، على شكل تدفق سطحي فوق الأرض (Overland) حتى يتوجه داخل شبكة المجاري المائية.

يمكن تشبيه الشبكة بشجرة يكون جذعها أدنى نقطة (المصب أو المخرج، في مثالنا). هناك أنواع عديدة من أشكال تفرّع الشبكات المائية، لكل واحدة منها آثار فريدة على خصائص التدفق. أقترح عليك الإطلاع على مرجع أساسي في الجغرافيا الطبيعية، أو مرجع في الجيومورفولوجيا الفيضية، لمعرفة المزيد من التفاصيل. سوف نستخدم في مثالنا التوضيحي نوعاً مألوفاً يسمى النمط الشجيري؛ لأنه يتفق بشكل أوثق مع تشبيهنا الشجري هنا. ففروع

الشجرة (القنوات أو المجاري المائية) تتقاطع أو ترتبط مع بعضها عند عقد أو مفاصل. أما الوصلات الخارجية فهي تلك التي لا تحتوي على روافد إضافية، في حين يستمر تفرّع الوصلات الداخلية (الشكل رقم ٤,٢٣).



مجاري مائية	
ارتفاع/قدم	0 – 50
ارتفاع/قدم	51 – 100
ارتفاع/قدم	101 – 150
ارتفاع/قدم	151 – 200
ارتفاع/قدم	201 – 250
ارتفاع/قدم	251 – 300

الشكل رقم (٤,٢٢). التمثيل الخلوي لحوض تصريف مجرى مائي. لاحظ كيف أن قيم المجرى أقل من قيم خطوط تقسيم المياه بين روافد المجرى.

الشكل رقم (٤,٢٣). شبكة المجاري الشجيرية. تتصل روافد المجرى (وصلات) ببعضها بواسطة عقد. الروافد أو الوصلات الخارجية ليس لها روافد إضافية.

إن لخصائص شبكة المجاري المائية وحوض التصريف المصاحب آثاراً محدّدة على حركة المياه. وإذا تتذكر من مناقشتنا السابقة للانحدار وواجهة الانحدار في وظائف السطح الشموليّة، نجد أنه من السهل نقل تلك الأفكار الأساسية إلى النمذجة الهيدرولوجية السطحية. فواجهة الانحدار، التي عُرّفت بأنها الزاوية الناتجة من أقصى معدل للتغير في الارتفاع من كل خلية إلى الخلايا المجاورة لها مباشرة (اتجاه الانحدار)، هي التي تحدّد اتجاه التدفق. في حين أن الانحدار، والمُعرّف بأنه أقصى معدل للتغير في الارتفاع من كل خلية إلى الخلايا المجاورة لها، سوف يحدّد، بدرجة كبيرة، سرعة وطاقة المياه المتدفقه نحو الأسفل. ينتج من الانحدارات الشديدة قوة أو طاقة تدفق أكبر، وقدرة أعلى للمجاري في التعرية أو الحت ونقل أحمال الرواسب.

ولأن الانحدارات ليست متماثلة، سواء على طول اتجاه التدفق أو عبره، فإنا بحاجة إلى دراسة أثر هذا التغير في الانحدار على الأنشطة النمذجية المحتملة. يتغير التقوس الجانبي (Profile curvature)، وهو التقوس أو التغير الذي يطرأ على الانحدار مع الاتجاه، من شكل مقعر إلى محدب. يسفر عن الجوانب المقعرة للانحدار، الموضحة من خلال الانحدار المنخفض على طول جزء من المجرى، خفضاً في سرعة المجرى، وانخفاضاً مصاحباً في الطاقة أو قوة الجريان، وهذا بدوره يؤدي إلى الحد من قدرة المجرى على نقل حمولة مواد الترسيب. وعلى هذا النحو، فإن الجوانب المقعرة ينتج منها إما تآكلاً أو حتاً منخفضاً (قليلاً)، وإما زيادة ترسيب، وإما كليهما. إن المهام النمذجية التي تتطلب، على سبيل المثال، تحديد المناطق التي يزيد فيها الإرساب نتيجةً للمجاري المرتبط جريانها بالسدود سوف تستخدم هذا المبدأ الأساسي. وعلى العكس من ذلك، فإن الجوانب المحدبة، المتسمة بشدة الانحدار محلياً، ينتج منها مجاري سريعة وقوية، وهذا بدوره يسبب تعرية (تآكل) وتقطيع تحاتي.

يُطلق على تقوس السطح المتعامد على اتجاه الانحدار بالتقوس الأفقي[٢] (Planform curvature)، وهذا يشير إلى المكان الذي يكون فيه جانب حوض التصريف أو المقطع الجانبي (Cross-section) محدباً أو مقعراً. تُظهِر مقاطع المجاري الجانبية المقعرة عبر حوض التصريف تقارباً (تلاقٍ) في التدفق أو توجيهاً للتدفق. ينتج عن هذا، عادةً، تخديداً وتخندقاً، ممّا يؤدي في نهاية المطاف إلى تكوين أو نشوء الوادي. في حين تشير المقاطع الجانبية المحدبة عبر الحوض إلى حافات، وما يتصل بذلك من تدفق متباين التوزيع، حيث يكون التدفق موجه للأجزاء المقعرة (نحو الأسفل) من الحوض.

عادةً ما تستخدم بيانات نموذج الارتفاع الرقمي، وإن لم يكن ذلك دائماً، لنمذجة هيدرولوجية السطح؛ ذلك بسبب كلا من توفرها وكونها عموماً عند المقياس الذي عنده تكون مثل هذه النمذجة أكثر صلة وأهمية. تُعد نماذج الارتفاع الرقمي، مثلما وصفت في مكان آخر (DeMers, 2000a)، شبكة مُنشئة من عينة أو تمثيل خلوي لسطوح طبوغرافيّة متصلة لأجزاء من الكرة الأرضية. ورغم أن العديد يقبلون بالتمثيل الحقيقي للظواهر الطبوغرافيّة باستخدام هذه النماذج بشيء من الثقة – إلا أن هناك أمور ينبغي عليك أن تأخذها في الاعتبار قبل بدء النمذجة بهذه البيانات.

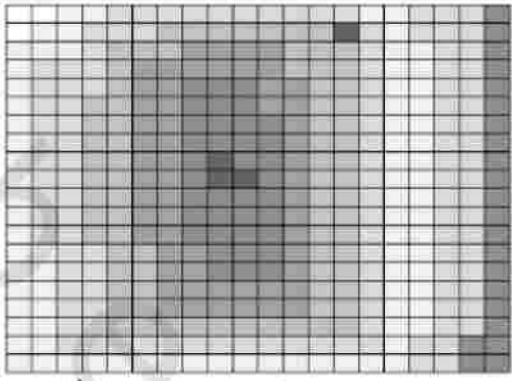
---

(٢) التغير في الانحدار مع المسافة في الاتجاه الأفقي. (المترجم)

أولاً، سوف يكون لدرجة الوضوح المكاني (Resolution) للنموذج أثراً كبيراً على درجة الوضوح الناتجة في انشطتك النمذجية. كما أنه، أيضاً، ليس بالضرورة صحيحاً أنه إذا كانت بيانات نموذج الارتفاع الرقمي ذات درجة وضوح أدق فإنك ستحصل بالتأكيد على صحة مكانيّة أعلى. كما أن البيانات ذات درجة وضوح أدق هي، أيضاً، أكثر حساسية لأنواع الخطأ الأخرى التي تسلل إلى البيانات أثناء إنشائها. هناك ثلاثة من أنواع الخطأ هذه، وتشمل: النتوءات أو الذُّرَى (Peaks)؛ والحفر (Pits)؛ والأخطاء المنتظمة. تتمثّل الذُّرَى في تلك القيم أو النتوءات غير المُفسَّرة والتي لا علاقة لها بظواهر السطح الفعليّة التي يُراد من نموذج الارتفاع الرقمي أن يمثّلها (الشكل رقم ٤,٢٤ أ). أما الحفر، أو الأحواض المنخفضة (Sinks)، فهي عكس الذُّرَى؛ ذلك أنها عبارة عن قيم منخفضة لا تفسير لها وليس لها علاقة بظروف السطح (الشكل رقم ٤,٢٤ ب). بعض الذُّرَى والحفر، بطبيعة الحال، هي تمثيلات صحيحة لملامح أو ظواهر سطح الأرض، لهذا من المهم أن تعرف منطقة دراستك قبل بدء العمل مع هذه البيانات. بعض هذه الأخطاء صغيرة ويمكن تصحيحها داخلياً، في حين أن البعض الآخر قد يتطلب أن تُعاد البيانات وتُبنى من جديد من قبل موفر البيانات. أما الأخطاء المنتظمة فغالباً ما تكون أسهل في الكشف؛ إذ أنها كثيراً ما تتميز بتحول مفاجئ في قيم الارتفاع بمجرد النظر إليها عبر الخريطة (تُسمى أحياناً بالتشريط – striping) (الشكل رقم ٤,٢٤ ج). وتكون هذه الأنواع من الأخطاء، في الغالب، نتيجة إزاحة أو قصور مرده أجهزة الإدخال، وهي أكثر وضوحاً مع البيانات العددية الكاملة (Integer) داخل المناطق المنبسطة، ومن ثم فإن إدراجها في قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة غير مقبول. ينبغي إعادة هذه البيانات لموفر البيانات للتصحيح أو إعادة إنشائها.

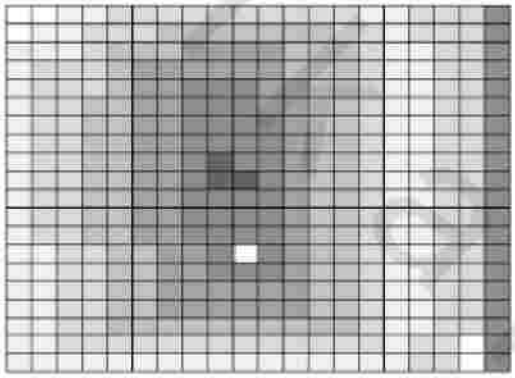
الآن وبعد أن أطّلعنا على مجموعة نموذجية من البيانات – أي نموذج الارتفاع الرقمي – وقد أصبح لدينا فهما للخصائص الأساسية لعمليات تصريف المياه السطحي، يمكننا أن نبدأ باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة لنمذجة خصائص السطح. ولأن المكونات التركيبية لأحواض التصريف المائي هي في المقام الأول وظيفة كلا من الانحدار وواجهة الانحدار، فإن تحديد اتجاه المنحدر الأكثر شدة هو مهمتنا الأساسية. يمكن أن نحدّد حدود الحوض، وشبكة المجاري، ومصبات المجاري متى ما عرفنا اتجاه التدفق (Flow direction) الخارج من كل خلية.

هناك عدة خطوات لاستخدام الوظائف الأساسية في نظام معلومات جغرافيّة خلوي نموذجي لتحديد أحواض تصريف المياه، وتقدير تراكم التدفق، ونمذجة طول التدفق داخل حوض التصريف. بدءاً بنموذج الارتفاع الرقمي الأساسي، نقوم أولا بتقييم الانحدار وواجهته لتحديد اتجاه تدفق الخلايا في شبكتنا. ثم نحدّد الأحواض أو الحفر المنخفضة (Sinks)، إن وجدت. فإذا وُجدت هذه الحفر، لا بد من ملئها حتى لا تتدخل في عمليّة نمذجة التدفق الإجمالية فتعيقها. يمكن تنفيذ عمليّة الملء هذه باستخدام طرائق تسوية متوسطية (Averaging) مثل تلك المستخدمة في إزالة القيم النقطية الناقصة في الاستشعار عن بعد (Jensen, 2000). ومن أبسط الطرائق المتبعة في ذلك هو ببساطة اختيار الارتفاع الأدنى على طول حدود مستجمع أو حوض تصريف المياه. ولعلك تتذكر بأننا سمّينا هذا بنقطة المصب.



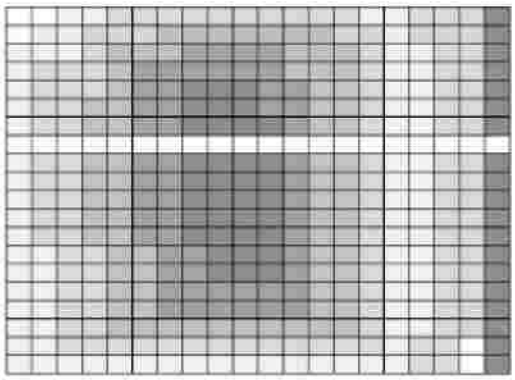
(أ)

	0
	1 – 100
	101 – 200
	201 – 300
	301 – 400
	401 – 500
	> 501



(ب)

	0
	1 – 100
	101 – 200
	201 – 300
	301 – 400
	401 – 500
	> 501



(ج)

	0
	1 – 100
	101 – 200
	201 – 300
	301 – 400
	401 – 500
	> 501

الشكل رقم (٤,٢٤). أخطاء نموذج الارتفاع الرقمي (DEM). تظهر عدد من الأخطاء في نماذج الارتفاع الرقمي والتي على المنمذج أن يكون على دراية بها. تشمل هذه الأخطاء (أ) قيم عالية غير متوقعة، تسمى ذُرى (Peaks)؛ و(ب) قيم منخفضة غير متوقعة تسمى حفر (Pits)؛ و(ج) أخطاء منتظمة مثل التشريط (Striping)، حيث يكون هناك خطوط كاملة من البيانات إما مفقودة، وإما أنه من الواضح أنها غير صحيحة.

بعد ملء الحفر، لدينا ثلاثة أنواع أساسية من الوظائف التي يمكن تطبيقها على شبكتنا. إن التدفق المتراكم هو شكل من أشكال الوزن التراكمي لجميع خلايا الشبكة المتدفقة إلى كل خلية من خلايا المنحدر (Downslope) في الشبكة. تحدّد وظائف حوض تصريف المياه المنطقة المساهمة (الحوض) للتدفق الإجمالي. وأخيراً، تقيّم وظائف شبكة المجاري عدد الخلايا ورتب المجاري وذلك لكل شبكة المجاري المائية. سنقوم بدراسة اتجاه التدفق (Flow direction)، وتراكم التدفق (Flow accummulation)، وحوض تصريف المياه، ووظائف الشبكة المائية كل على انفراد.

يعد اتجاه التدفق عامل رئيس للكثير من وظائف السطح الهيدرولوجية المتبقية. يستلزم هذا حساب اتجاه التدفق لكل خلية في الشبكة بأكملها. وباستخدام سطح معين (غالباً ما يكون نموذج بيانات رقمي) في شكل شبكة مدخلة، فإن البرنامج يخرج شبكة تبيّن اتجاه التدفق الخارج من كل خلية. يقوم البرنامج إبتداءً من عند كل خلية شبكية بالبحث في الخلايا الشبكية الثماني المحيطة ويقيّم اتجاه المنحدر الأقصى (Maximum drop)، وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$Maximum\ drop = \frac{\Delta z}{d}$$

حيث إن Δz التغير في القيمة الرأسية و d المسافة. وكما هو الحال في وظائف التدفق السابقة، عادةً ما تقاس المسافة بين مراكز كل خلايا الشبكة. تكون المسافة بين خليتين متعامدتين ١؛ وبين خليتين متقاطرتين تكون المسافة (١,٤١٤٢١٦). فإذا كان المنحدر الرأسي، داخل الخلايا الثماني المجاورة مباشرة، بنفس المقدار أو مطابقاً لجميع الخلايا، فإن البرنامج يقوم بتوسيع الجوار حتى يجد الانحدار الأشد. وما أن يوجد هذا المنحدر، يتم ترميز اتجاه تدفق الخلية تبعا لمنشأه أو أصله بأي قيمة يستخدمها برنامجك ليبيّن هذا الاتجاه. على سبيل المثال، يمكنك استخدام طريقة ترميز مثل تلك المستخدمة في برنامج GRID من إسري ESRI (الشكل رقم ٤,٢٥).

إذا توفرت الشروط التالية أثناء تقييم اتجاه التدفق فإنها تدل على وجود الحفر أو المناطق المنخفضة التي ليس لها اتجاه للتدفق:

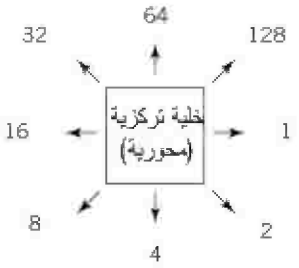
١- إذا كانت جميع الخلايا المجاورة أعلى من الخلية قيد المعالجة.

٢- إذا وُجِد خليتان تتدفق كل منهما إلى الأخرى.

٣- إذا كان للخلية نفس التغير في قيمة z في اتجاهات متعددة.

وفي جميع هذه الشروط، فإن قيمة الخلية في شبكة اتجاه التدفق المُخرجة كثيراً ما تُحسب على أنها مجموع تلك الاتجاهات. فعلى سبيل المثال، وباستخدام مخطط أو طريقة الترميز المُبيّنة في الشكل رقم (٤,٢٥)، إذا كان التغير في

قيمة Z هو نفسه لكل من اليمين (رمز الاتجاه هنا = ١) والأسفل (الترميز = ٤)، فإن اتجاه التدفق النتائج يصبح (١ + ٤)، أو قيمة نهائيّة تساوي (٥). إن أكثر الطرائق شيوعاً في التخلص من الحفر يكون من خلال ملء كل واحدة منها بأقل قيمة خلوية تقع على حدود حوض تصريف المياه. بعض البرامج لديها خوارزميات محدّدة للقيام بذلك، لذا تَحقّق من دليل المستخدم في برنامجك لتحديد إمكانية توفرها.



الشكل رقم (٤,٢٥). طريقة ترميز الاتجاه في نظام ESRI. يستخدم برنامج GRID المقدم من معهد بحوث النظم البيئيّة ESRI طريقة لترميز الاتجاه لعملياته الشموليّة، حيث تبدأ الطريقة باتجاه حركة عقرب الساعة إبتداءً بقيمة (١) لتشير إلى الشرق. لاحظ أن القيم تتضاعف مع حركتك باتجاه عقرب الساعة. هذا يساعد في جعل عمليّة فصل المُتجه الاتجاهي أكثر سهولة من الطريقة البسيطة (٠ إلى ٨).

ومرة أخرى، وكما هو الحال مع خوارزميات التراكم الأخرى، فلقد رأينا أن تراكم التدفق هو الوزن المتراكم لكل الخلايا التي تتدفق إلى كل خلية تالية في المنحدر في الشبكة المُخرجة. كما يمكن تطبيق الأوزان على خلايا الشبكة بحيث تمثّل مُدخَلاً إضافياً محلياً للتساقط (أمطار)، أو أي عامل آخر يسهم في تراكم التدفق داخل حوض التصريف. وإذا لم يكن هناك عمليّة إسناد لمثل هذه الأوزان، فيمكن – عندئذ – إسناد قيمة (١) إلى كل خلية بالشبكة، وسيكون التراكم النهائي عبارة عن عدد الخلايا التي تتدفق إلى كل خلية متعاقبة.

انظر إلى الشكل رقم (٤,٢٦) لمثالين بيانيّين لنموذج تراكم التدفق، مرة غير موزون (أ) ومرة موزون (ب). وسواء كان النموذج موزونا أو غير موزون، فإن المناطق الأكثر تدفقاً يمكن استخدامها بسهولة لتحديد القنوات أو المجاري المائية (الشكل رقم ٤,٢٧). تعني مناطق التدفق التي تحتوي على قيمة صفر، بطبيعة الحال، أنه لا يوجد تجميع للمياه، والتي من شأنها أن تدل على وجود حافات. ويمكن أن تُستخدم منهجيّة تراكم التدفق، أيضاً، لنمذجة كمية الهطول أو التساقط التي تقع على خلايا أعالي المنحدرات في حوض التصريف، أو لتمثيل كمية الأمطار التي قد تتدفق من خلية إلى خلية. تتجاهل هذه الاستخدامات، بطبيعة الحال، تسرب المياه، وصدّها (بالاعتراض)، والبخر والنتح.

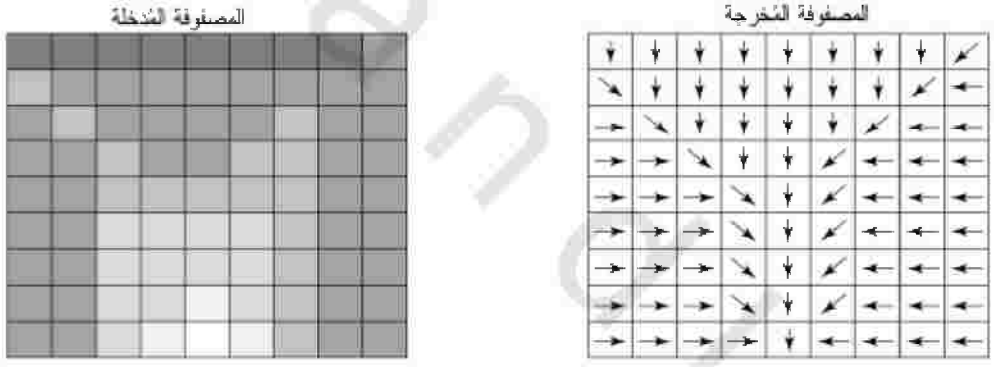
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	3	0
0	3	1	1	1	1	5	1	0
0	1	5	1	1	7	1	1	0
0	1	1	7	9	1	1	1	0
0	1	1	1	16	1	1	1	0
0	1	1	1	18	1	1	1	0
0	1	1	1	20	1	1	1	0
0	1	1	1	24	1	1	1	0

(أ)

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	2	2	2	2	2	6	0
0	6	2	2	2	2	10	2	0
0	2	10	2	2	14	2	2	0
0	2	2	14	18	2	2	2	0
0	2	2	2	32	2	2	2	0
0	2	2	2	36	2	2	2	0
0	2	2	2	40	2	2	2	0
0	2	2	2	48	2	2	2	0

(ب)

الشكل رقم (٤,٢٦). وظيفة التدفق المتراكم الشموليّة. هناك طريقتان لإجراء التدفق المتراكم: (أ) غير الموزونة و(ب) الموزونة. تسمح الطرائق التي توزن التدفق بإضافة مدخلاً للتساقط المحلي.



الشكل رقم (٤,٢٧). التدفق المتراكم. هذا مثال بياني لاتجاه التدفق الناتج من حساب التدفق المتراكم. تجعلان هاتين الطريقتين (الموزونة وغير الموزونة) عمليّة عزل أنماط أحواض تصريف المجاري المائية عمليّة سهلة نسبيا.

من الممكن – وكما ذُكر سابقاً – أن نأخذ بتعاريفنا التي تبيّن ما هو حوض تصريف المياه ثم نستخدم القدرات النمذجية بنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بنا لنحدّد هذا الحوض على شبكتنا الخلويّة. وتعد عمليّة رسم حدود أحواض التصريف خطوة ضرورية لجميع نمذجة السطح الهيدرولوجية تقريباً. كما يمكن جمع هذه الحدود، على سبيل المثال، مع متغيرات التربة و معلومات الغطاء الأرضي لتطوير نماذج لفقدان الرواسب أو ذروة الفيضان على مستوى الحوض بأكمله. لقد تداول الباحثون هذا المفهوم منذ فترة (انظر على سبيل المثال، Band, 1989a-c, 1993) لكنه الآن أكثر رسوخاً في العديد من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. نستخدم

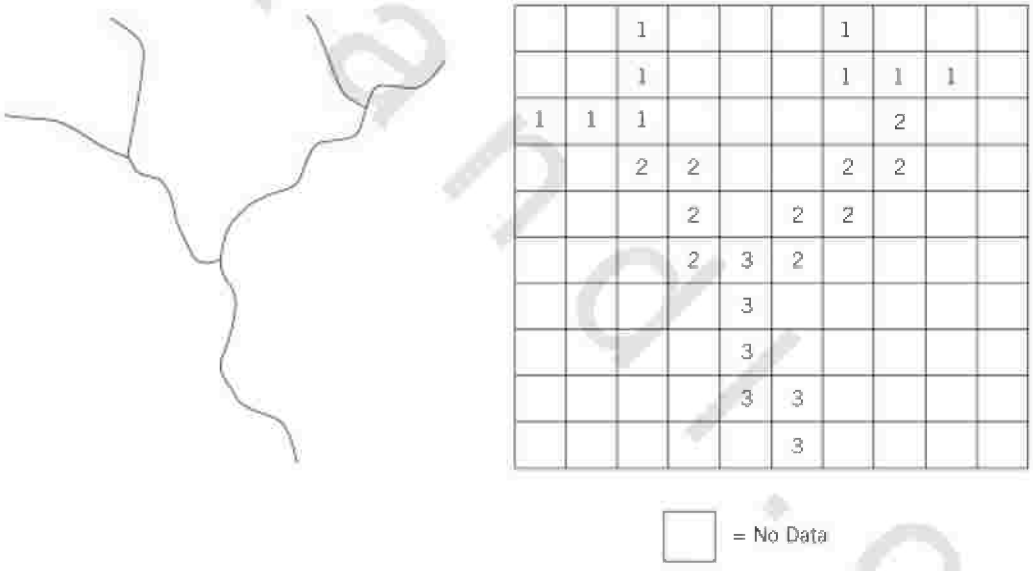
لاتجاه التدفق شبكة كأحد المُدخلات الرئيسة لتحديد المنطقة المساهمة (Contributing area). كما إننا نحتاج إلى أدنى نقطة في كل حوض تصريف مياه داخل الشبكة. لعلك تتذكر بأننا أطلقنا على هذه النقاط بنقاط المصب، وينبغي أن يكون لها القدرة في اختيارها بشكل تفاعلي. ومن خلال جعل طبقة تراكم التدفق طبقة مرجعية أو خلفية، فإنها يمكن أن تُستخدم بفعالية لتشير إلى المواقع المحتملة لنقاط المصب، وسوف يضمن هذا، أيضاً، اختيار نقاط المصب لأجزاء المجاري الرئيسة بدلاً من الروافد الثانوية. كما سينتج من اختيار الروافد الثانوية تحديداً لحدود حوض تصريف المياه، والذي غالباً ما يكون أصغر بكثير مما هو عليه في الواقع.

وبالإضافة إلى الخصائص المساحية لحوض التصريف نفسه، ينبغي، أيضاً، أن يكون لدينا القدرة ليس فقط على تحديد مواقع قنوات المجاري باستخدام تراكم التدفق – كما شاهدنا ذلك أعلاه – لكن، أيضاً، القدرة على تحديد خصائص شبكة المجاري نفسها (Jenson and Domingue, 1988; Mark, 1988; Tarboton et al., 1991). ولعل أكبر الطرائق فاعليّةً في عمل ذلك، استخدام قيمة مدى أو عتبة حدية (Thresholding limit) بسيطة داخل معادلة جبرية خرائطية بحيث إنه متى ما كان للمجاري عدد معين من الخلايا تُظهر التدفق إليها – ولنقل، ١٠٠ خلية – فإن ذلك سوف يكون مؤشراً على وجود المجاري ضمن شبكة، ومن ثم يُخصص لها قيمة مُخرجة تساوي (١)، في حين أن جميع الخلايا المتبقية سيُخصص لها قيمة تساوي (٠). إضافة إلى ذلك، تسمح لنا هذه التحديدات بتشخيص عناصر شبكة المجاري، وإسناد معرِّفات ترميزية فريدة (ID) لها، وتسمح، أيضاً، بإخراج النتائج النهائيّة على شكل طبقة (تغطية) خطّيّة في نظام المعلومات الجغرافيّة.

وتعد طريقة ترتيب المجاري من بين المنهجيات الأكثر شيوعاً لتحديد خصائص شبكات المجاري، والتي تضع أو تصنف المجاري في رتب معينة في الشبكة. فترتيب المجاري هو وسيلة لإسناد قيم عددية للمجاري على أساس مواضعها في الشبكة، ويتم ذلك عن طريق تحديد عدد الروافد المتفرعة من كل مجرى رئيس. كما يمكن استنتاج معلومات، في كثير من الأحيان، من هذه التراتيب. فعلى سبيل المثال، تميل مجاري الرتب الدنيا في الغالب إلى أن يهيمن عليها تدفق سطحي وتدفق أقل تركيزاً باتجاه المنابع. في الحقيقة، تستحوذ مجاري الرتبة الأولى (تلك التي ليس لها روافد) تقريباً على معظم التدفق السطحي الذي ليس له تدفق مركّز في أعالي هذه المجاري (باتجاه المنابع). وكنتيجة مباشرة لهذه الحالة، فإنه من الأرجح أن تكون هذه المجاري عرضة للتلوث متعدد المصدر، مثلما قد يتوقع المرء من التدفق السطحي للمواد الكيميائية الزراعية. قد تستفيد هذه المجاري من النطاقات الضفّيّة للمجاري أكثر من القنوات أو المجاري ذات الرتبة الأعلى (معهد بحوث النظم البيئيّة، ١٩٩٤ ESRI–).

هناك عدة طرائق لترتيب المجاري، كل منها يرتب المجاري المتفرعة بطريقة مختلفة. وتعد طريقة إسترالر(Strahler, 1957) وطريقة شريف (Shreve, 1966) أكثر الطرائق شهرة في هذا المجال، بل إن معظم الطرائق الأخرى لترتيب المجاري مشتقة من هاتين الطريقتين. وكل من هذين النوعين من طرائق ترتيب المجاري يبدأ بإسناد

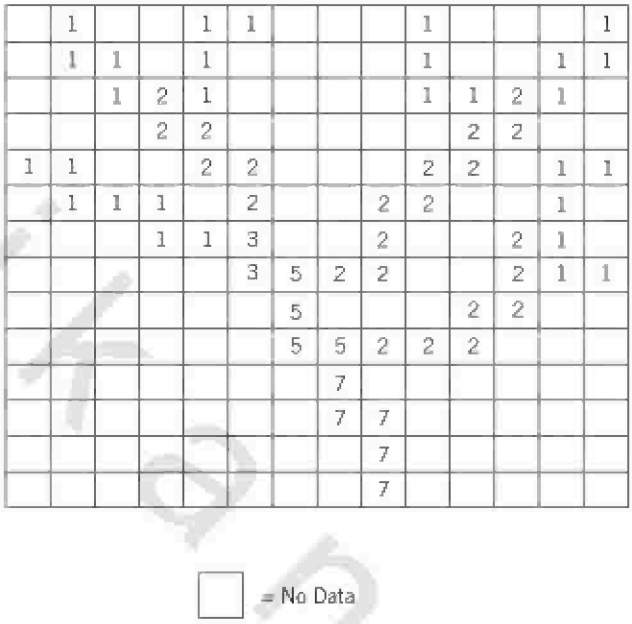
منزلة أو رتبة قدرها (١) لجميع الروابط أو الوصلات الخارجية. وبعباره أخرى، تُعتبر هذه الوصلات مجاري من الرتبة الأولى، ويُخصّص لها قيمة (١)، كرمز مُعرِّف (ID). تزيد طريقة ستراللر، وهي ربما الطريقة المستخدمة الأكثر شيوعاً، رتبة المجرى متى ما عُثر على أي وصلة أو رابط أثناء البحث. على سبيل المثال، ينتج من تقاطع مجريين من الرتبة الأولى (مجريان بدون روافد) وصلةً من الرتبة الثانية (يُخصص لها قيمة ٢ كرمز تعريفي) وينتج تقاطع مجريين من الرتبة الثانية وصلةً من الرتبة الثالثة (يُخصص لها قيمة ٣)؛ يستمر هذا حتى يتحدّد جذع المجرى في شكل وصلة نهائيّة (الشكل رقم ٤,٢٨). لكن تتمثّل مشكلة هذه الطريقة بشكل رئيس في أن الرتب تتزايد فقط عند تقاطعات أو تلاقي الرتب المتماثلة. فعلى سبيل المثال، لا ينتج من تقاطع مجاري الرتب الأولى مع مجاري الرتب الثانية مجاري أو وصلات من الرتب الثالثة، إذ بدلاً من ذلك، تُبقي هذه الطريقة على الرتبة الأعلى للوصلة التي أخذت أعلى رتبة. وكنتيجة لذلك، فإن طريقة إستراللر لا تأخذ في الاعتبار دائماً جميع الوصلات الموجودة في شبكة التصريف، كما أنها، أيضاً، حساسة جدا لإضافة الوصلات أو إلغائها في الشبكة.



الشكل رقم (٤,٢٨). طريقة إستراللر لحساب نسبة التفرع في نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي.

تأخذ الطريقة البديلة (طريقة شريف) في الاعتبار جميع الوصلات في الشبكة. وتخصص هذه الطريقة –كما هو الحال في طريقة إستراللر– الرتبة الأولى للوصلات الخارجية. لكن، وخلافاً لطريقة إستراللر، تلحق هذه الطريقة الوصلات بعضها ببعض بشكل جمعي. فعلى سبيل المثال، ينتج من تقاطع مجريين من الرتبة الأولى مجرىً من الرتبة الثانية (١ + ١)، وتقاطع الأولى والثانية ينتج مجرىً من الرتبة الثالثة (١ + ٢)، وينتج من تقاطع الرتبة الثانية مع

الثالثة مجرىً من الرتبة الخامسة (٢ + ٣) (الشكل رقم ٤,٢٩). ستلاحظ من فحص الشكل رقم (٤,٢٩) أن أعلى عدد وصل إلى (٧)، وهذا هو عدد الوصلات العليا تجاه منابع المجاري – أي أنه عدد المجاري التي ترتبط بمجذع المجرى. ولهذا السبب، فإن الأعداد المرتبطة بطريقة شريف تُسمى بمقادير (Magnitudes)، بدلاً من أعداد ترتيبية.



الشكل رقم (٤,٢٩). طريقة شريف لحساب نسبة التفرع في نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي.

وظائف المياه الجوفية الشموليّة: لعل من بين أعقد القدرات النمذجية في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، تلك المتصلة بنمذجة التشتت (Dispersion) والتأفّق – الانتقال الأفقي– (Advection). توفر بعض البرامج مجموعة من الخوارزميات خاصة بهذه القدرات. وبدلاً من الخوض في مناقشة مطولة لجميع المعادلات، والفروق الدقيقة، والتفاصيل الدقيقة لوظائف المياه الجوفية، سأقدم مدخلاً بسيطاً جداً واقترح بعض المراجع المتعلقة بها. هناك مناقشة كاملة لنمذجة التأفّق والتشتت متوفرة في مرجع توكس (Tauxe, 1994). وتستخدم هذه المنهجيّة ثلاثة عناصر أساسية. الأول، التدفق الإنفاذي – المسامي– (Darcian flow)، ويقوم على سرعة تدفق المياه الجوفية واتجاهها الناجمين عن القابلية المسامية، وعلى درجة الميل أو معدل الانحدار (Gradient) (التغيير الرأسي لكل وحدة طول في اتجاه تدفق في طبقة مياه جوفية موحدة الخواص)، وعلى خصائص التوصيل الهيدرولوجية للتكوينات الجيولوجية. هذا، بالطبع، تبسيط. أما النتيجة النهائيّة لحسابات هذا النوع من التدفق فهي شبكة معروفة باسم حقل أو مجال قوة التدفق. أما العنصر الثاني فيقوم بنمذجة مسار الحركة من خلال هذا الحقل من نقطة مصدر معينة. ويأخذ هذا،

عادةً، مُخرجاً في شكل نموذج تنبؤي على أساس التنبؤ المستقبلي لمواقع جسيمات افتراضية ضمن السائل (المياه). إن العمليّة، هنا، مبنيّة على الاشتقاق من خلايا الجوار الأقرب وتشبه الإجراءات الموجودة في مرجع كونيكاو وبريديهوفت (Konikow and Bredehoeft, 1978). وأخيراً، العنصر الثالث ويقوم على مفهوم متعلق بالتشتت الغاوسي (Gaussian dispersion) ويتصل أساساً بحركة المواد المتحللة داخل السوائل الناقلة. وهذا المفهوم يستند إلى آليتين متزامنتين؛ الانتقال الأفقي (التأفق)، وتشتت القوى المائية. إن تشتت القوى المائية هو عمليّة مزج المواد القابلة للذوبان (العنصر المذاب) مع المذيّبات (السوائل الناقلة) داخل مساحات المسام الموجودة في طبقة المياه الجوفية. أما الانتقال الأفقي فهو النقل السلبي (غير النشط) للعنصر المذاب داخل السائل. إن الفرضية في عنصر التشتت الغاوسي في النموذج هي أن تركيز المواد في السائل يكون تركيزاً متماثلاً في جميع أنحاء العمق.

الوظائف الشموليّة متعددة المتغير: هذه الوظائف ليست وظائف بالمعنى الحقيقي للوظائف؛ بل هي مجموعة فرعيّة من التقنيات الإحصائيّة تهدف إلى استكشاف العلاقات المعقدة بين كثير من المتغيرات المُدخلة، وبخاصة العلاقات التي يصعب ملاحظتها بسهولة. يمكن أن تكون هذه الوظائف الإحصائيّة طرائق وصفيّة بسيطة مثل المضلع التكراري ورسم مخطط التبعثر[٣] (Scattergram)، وتركيب المرئية أو الخريطة، وغير ذلك من طرائق عرض البيانات. أو أنها يمكن أن تكون طرائق إحصائية تنبّؤيّة واستنتاجية مثل الانحدار، وتحليل التكتل، وطرائق التصنيف المُراقب وغير المُراقب، وتحليل المكونات الرئيسة. تتراوح قدرات هذه الوظائف الإحصائيّة، حسب نظامك الخلوي المستخدم، من البرامج الحاسوبية المجهزة مسبقاً لهذا الغرض، إلى المزيد من الإجراءات الأولية التي على أساسها يمكن تركيب إجراءات إحصائية أكثر تقدماً، وإلى البرامج ذات القدرات المحدودة نسبياً لهذه العمليات (متعددة المتغير) لكنها في نفس الوقت يمكن ربطها مع حزم برامجية إحصائية. سوف نبحث في تحليل المتغيرات المتعددة بتفصيل أكثر في وقت لاحق؛ لكني سوف أقدم أولاً مناقشة وجيزة لتوضيح القدرات النمذجية الممكنة، وبيان السياق الذي توجد فيه مثل هذه النمذجة.

نحتاج أولاً إلى دراسة الفرق بين طرائق أو تقنيات نظم المعلومات الجغرافيّة أحادية المتغير ومتعددة المتغير. يمكن أن تكون الطريقة أحادية المتغير عبارة عن تحديد المناطق – مثلما رأينا في الوظائف النطاقيّة، فيمكن، على سبيل المثال، أن تُطبق هذه الطريقة لتحديد جميع خلايا الشبكة التي تشترك في قيمة واحدة (مرة أخرى، وظيفية نطاقيّة)، مثل: جميع خلايا الشبكة المشتركة في مدى معين من قيم الارتفاع (أو الانحدار)، بحيث يمكن أن تبيّن لنا هذه المنطقة، على سبيل المثال، أين يمكن زراعة محاصيل معينة بشكل فعال. وفي المقابل، قد تضم طريقة متعددة المتغير واجهة الانحدار ليس لعزل المناطق التي لها قيمة انحدار ذات فائدة خاصة فقط بل، أيضاً، المناطق التي يمكن أن تكون مواجهة للشمس لغرض نمو أحسن للنباتات. وقد تشمل، أيضاً، المسافات من الطرق، ومتغيرات التربة،

(٣) رسم بياني مكون من محورين يبين العلاقة بين قيم متغيرين بنشر أو تجميع نقاط تكون إحداثياتها أزواج القيم المقابلة لحالات محددة مختلفة. (المترجم)

وتقسيمات الأراضي، ومجموعة كبيرة من المتغيرات الأخرى. إحدى المنهجيات المتبعة لمثل هذا النموذج متعدد المتغيرات قد تكون من خلال عمل سلسلة من الإجراءات لعزل كل العوامل الهامة، ثم تنفيذ بعض عمليات المطابقة. وقد تتمثّل الطريقة الإحصائيّة الأكثر تقنيةً في هذا المجال في تنفيذ تحليل التكتل (Cluster Analysis) الذي له القدرة الفعالة في الجمع بين جميع العوامل بطريقة إحصائية على نحو يمكن التحقق منه. وستكون النتيجة عبارة عن نموذج يبيّن أفضل المواقع لمحاصيل معينة. هذه الأمثلة وغيرها تدل على قوة الوظائف متعددة المتغير داخل نظام المعلومات الجغرافيّة.

هنا، بعض الأمثلة التي تبيّن كيف يمكن استخدام الوظائف متعددة المتغير لاستكشاف العلاقات المكانيّة فيما بين الشبكات، وتوقع الظروف المستقبلية المحتملة، وإجراء تراصف طبقي تضاريسي (تقسيم مظاهر السطح)، وحتى إجراء تحليلات للسلاسل الزمنية. فلنفترض، على سبيل المثال، أن لديك عينة كبيرة من البيانات لعدد من الطيور الداخلية الموجودة ضمن مساحة متفرقة لغابة مطرية – لنقل، مساحة لغابة مطرية ذات رقع كبيرة محدّدة المعالم. يمكن استخدام نموذج الانحدار الخطي، في هذه الحالة، ليبيّن العدد المحتمل من الأنواع – الأجناس – الداخلية في جميع أحجام رقع الغابة المطرية ضمن الشبكة. ويمكن، بطبيعة الحال، تطبيق النماذج غير الخطّيّة، ونماذج الانحدار المتعدد، أيضاً، في الحالات المعقدة.

وثمة شكل آخر من النمذجة التنبّؤيّة يقوم على وجود أو غياب البيانات[٤]، يسمى نموذج الانحدار اللوجستي (Logistic regression model)، والذي أثبت فائدته في تحليل المواقع الفعليّة للسناجب (Pereira and Duckstein, 1993)، وذلك عن طريق مقارنة هذه المواقع مع الخصائص البيئيّة. إن هذا الأسلوب يتطلب أن تكون على علم بالظروف البيئيّة عند عينة من المواقع التي يوجد فيها حيوان معين، أو نبات، أو حتى جانٍ. ويتطلب ذلك، أيضاً، أن يكون لديك بالمثل مجموعة من المواقع التي شملتها العينة حيث لا يوجد فيها المخلوق أو الكائن. تستطيع بهذه المواقع، أن تتوقع احتمالية العثور على كل واحد منها على أساس المستوى الذي تحققت عنده الظروف أو الشروط البيئيّة.

ولعل أمثلة الاستشعار عن بعد تعد الأكثر شيوعاً في توضيح فكرة استخدام تحليل المتغيرات المتعددة للتصنيف. يتطلب التصنيف المُراقب، مثلاً، من المستخدم أن يختار مجموعة من القيم المعروفة، ولنقل للغطاء الأرضي، بوصفها قيم ملاحظة أو مرصودة من خلال بيانات الاستشعار عن بعد متعددة النطاقات. بعد اختيار عدد من خلايا الشبكة (بكسلات، في الاستشعار عن بعد) التي من المعروف أنها تمثّل قيم الانعكاس لخصائص أنواع الغطاء الأرضي مثل المياه، والمحاصيل البقلية، والغابات، والمناطق الحضريّة، يمكننا – بعدئذ – أن نقارن إحصائياً قيم الانعكاس هذه بالبكسلات غير المصنفة في المرئية. وبهذه الطريقة، يمكنك أن تصنف ما تبقّى من المرئية، ممّا ينتج منه خريطة (في شكل صورة، في هذه الحالة) للغطاء الأرضي.

---

(٤) موجود (١) غير موجود (٠). (المترجم)

كما أن طرائق أو تقنيات التصنيف غير المُراقب، تُطبّق في أغلب الأحيان (ولكن ليس حصراً) على بيانات الاستشعار عن بعد، كما يمكن أن تُطبّق، أيضاً، في بيئة متعددة المتغيرات. ومن خلال مقارنة العلاقات، على سبيل المثال، بين الانحدار، وواجهة الانحدار، والسطوع الشمسي، والمقطع الجانبي، ومتغيرات أخرى، يمكننا استخدام خوارزميات التكتل لوضع البيانات التي عادةً ما تكون متفرقة في مجموعات منطقيّة أو تصنيفات. وهذا كثيراً ما يتم من خلال اختيار قيم بَذرية بشكل عشوائي، قبل معرفة ما تمثّله، في محاولة للتوصل إلى مجموعات مماثلة من تراكيب الخلايا الشبكية. يماثل هذا العمل الإحصائي عمليّة التفسير اللاحقة للصور الجوية – فكرة إنشاء فئات متشابهة في درجة اللون، والنسيج، وهلمّ جرّاً، ثم وصفها فيما بعد.

ما بعد الجبر الخرائطي

على الرغم من أننا رأينا أن الجبر الخرائطي يتمتع بقدرة عظيمة – إلا أن هناك أربعة دروس إضافية أريد أن أتركك معها. الأول، وهو أنه – وكما هو الحال تماما مع أي لغة (حاسوبية أو غير ذلك) – فإن معرفة كل الكلمات، وما تعنيه، وطريقة بناء الجملة لا تصنع وحدها منمذجاً جيداً. سوف توفر العديد من الكتب في البرمجة الحاسوبية بلغة فيجول بيسك، وسي ++، أو أي لغة أخرى، قائمةً من الأوامر الجاهزة، بالإضافة إلى كيفيّة وضعها مع بعضها. ومع ذلك، فمعرفة فقط كل الكلمات في القاموس، ومعانيها، وتراكيبها، لا يعني أنك ستكون قادراً على العمل من ذلك أفضل الروايات مبيعاً، وكذا الحال في البرمجة الحاسوبية، فلن يعني ذلك أنك ستكون قادراً على تصميم برامج حاسوبية مفيدة، خصوصاً المعقدة منها. وبطبيعة الحال، ينطبق الشيء ذاته على اللغات ذات المستوى الأعلى مثل الجبر الخرائطي.

والدرس الثاني هو أنه، ومثلما هو الحال في اللغة العادية، من بين أفضل السبل لتعلّم الجبر الخرائطي هو من خلال الأمثلة. سوف ندرس، فيما بعد في هذا الكتاب، بعض الدراسات المنشورة المتعلقة بنماذج نظم المعلومات الجغرافيّة التي أنشأها الآخرون. سنقوم بدراسة ما قدمه المؤلفون من المنهجيات، والتصميمات، والنجاحات والإخفاقات، وفي بعض الحالات، سننظر حتى في أجزاء من تراكيبهم الجبريّة الخرائطيّة. هذا سوف يبيّن لك كيف قام الآخرون بالنمذجة ضمن بيئات مختلفة. ومن المأمول أن بعض هذه النماذج ستكون مماثلة لما سوف أو تريد أن تقوم به.

أما الدرس الثالث فهو أن للغة الجبر الخرائطي قدرة على التوسّع أو الزيادة، مثل جميع اللغات الأخرى. ومع التحرك نحو نظم المعلومات الجغرافيّة هدفية التوجيه (OOGISs)، سوف تصبح هذه القدرة أكثر وضوحاً. إن معظم برامجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة حاليا لديها لغاتها البرمجية الخاصة بها، (بعضها مثل الجبر الخرائطي، وأخرى غير ذلك)، وبعض هذه البرامج أنشأت مجموعة من الوحدات هدفية التوجيه (مثل، MapObjects) التي سوف تزيد من مجموعة أدواتك، والتي أيضاً تسمح بأن يتمتع برنامجك بقدرة أكبر وأسرع في التوسع والتطور، سواء لتبسيط واجهته التفاعلية الخاصة بالمستخدم، أو عملياته، أو اقتطاع مجموعة فرعيّة من

حزمة البرنامج لتلبية احتياجات معينة من الاستخدام أقل وأكثر تحديداً، بدلاً من القدرات الضخمة لهذه النظم التي تفوق في الواقع الحاجة عند تنفيذ مهمة معنية.

وأخيراً، الدرس الرابع وهو كما جاء في الفصل الأول، حيث يمكن تقسيم النماذج المعقدة في نظم المعلومات الجغرافيّة، في كثير من الأحوال، إلى أجزاء أصغر يمكن التحكم فيها. هذا هو موضوع فصولنا القليلة القادمة. سنبدأ بدراسة أساسيات النمذجة ومصطلحاتها، ثم نمضي إلى تصور النموذج، وصياغته، وتخطيطه، وتنفيذه، وأخيراً التحقق من صلاحيته. تقوم هذه الخطوات كليا على فكرة تقسيم أو تجزئة النموذج الأكبر إلى الأجزاء المنطقيّة التي يتكون منها.

مراجعة الفصل

تجمع الوظائف بين المعاملات الأولية ضمن الجبر الخرائطي لحل مجموعة واسعة من المشكلات المختلفة وتُصنّف على أساس قدراتها الوظيفيّة. فتوفر الوظائف المحليّة نظرة محدودة "النظر من عين دودة أرضية" (worm's-eye view)، إذ تعمل على أساس خلية تلو الأخرى. يسمح هذا بعمليات إعادة التصنيف والمعالجات الرياضيّة للخلايا الفردية، فإما خلية واحدة كل مرة، وإما جماعياً داخل الشبكة بأكملها. وتستخدم معظم الوظائف التركزيّة المعاملات المتاحة داخل جوارات الخلايا الشبكية. كما يمكن أن تكون الجوارات إما مجموعات نوافذ ساكنة، وإما جوالة (متحركة) من الخلايا المتجاورة. ويمكن اختيار هذه الجوارات من ضمن طائفة واسعة من الأشكال التي يمكن تحديدها من المستطيلات والمثلثات إلى الدوائر، والفِلق الدائرية والحلقات الدائرية. هذا التنوع في الأشكال يسمح بتوصيف الخلايا الفردية المُخرجة أو مجموعات الخلايا على أساس الخصائص الوصفيّة، أو توزيع الخصائص الموجودة في الجوارات. في حين تستخدم الوظائف النطاقيّة الكثير من نفس المعاملات، وأشكال الجوار، ومعايير التقييم مثل الوظائف التركزيّة، لكنها توفر مرونة أكثر في توصيف الخلايا المُخرجة على أساس مفهوم الإقليم. وهذه الأقاليم يمكن أن تكون خلايا متجاورة، أو مجموعات من الخلايا المتخلخلة (ذات فجوات)، أو تكتلات خلوية غير متصلة تشترك كلها في نفس الخصائص. كما تتشابه الوظائف الكتليّة مع وظائف النوافذ التركزيّة المتحركة، مع الفارق في أنه بعد كل تقييم، تنتقل النافذة إلى مجموعة فريدة من الخلايا قبل أن يستمر التقييم الإضافي.

أما الوظائف الشموليّة، وخلافا لجميع أنواع الوظائف السابقة، تعمل على كامل الشبكة دفعة واحدة. يمكن تجميع هذه الوظائف القوية في الفئات التالية: وظائف تحديد المسافة الإقليدية والموزونة؛ ووظائف توصيف (تشخيص) السطح وتحليله؛ ووظائف هيدرولوجية، ووظائف المياه الجوفية، والوظائف متعددة المتغير. وتسمح الوظائف الشموليّة بالحركة خلال بعض خلايا الشبكة أو جميعها داخل خريطة واحدة أو أكثر. وتُستخدم هذه الوظائف في أغلب الأحيان عندما تتطلب الحركة، والتشتت، والتحليل الحجمي والسطحي، والتقييم المتعدد المعايير مقارنةً لكل من الأحوال الرأسية والأفقية للخلية.

تتطلب النمذجة بالقدرات الوظيفيّة للجبر الخرائطي إدراك واستخدام أربعة مبادئ أساسية. أولاً، إن المعرفة العميقة بالقدرات الوظيفيّة لبرنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك وطريقة تنفيذه للجبر الخرائطي ضرورية لبناء أي نموذج ناجح. ثانياً، من بين أسرع وأنجع السبل لمعرفة كيف تطبق هذه الوظائف في مجالك المعرفي الخاص هو دراسة الأمثلة الناجحة التي تم تنفيذها بهذه الوظائف. ثالثاً، الجبر الخرائطي شأنه شأن جميع اللغات الحاسوبية، له القدرة على النمو أو التوسّع من خلال تطويره بالقدرات الخوارزمية الإضافية، مُصممة بلغات البرمجة التقليديّة والهدفية الموجَّهة، ليتجاوز البرنامج بذلك قدراته المحدودة الموجودة. أخيراً، ورغم أن نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة قد تبدو، في كثير من الأحيان، مستحيلة نتيجةً لدرجة تعقيدها – إلا أنه يمكن تقسيمها إلى أجزاء ثانوية في شكل وحدات بسيطة نسبياً، بحيث يمكن بناء كل وحدة أو جزء بشكل مستقل عن النموذج العام الكامل، ثم ربطها مع بعضها للتطبيق أو التنفيذ النهائي للنموذج.

مواضيع المناقشة

١– اشرح المشكلات المحتملة المرتبطة بإعادة التصنيفات للبيانات الشبكية عندما تغير النتيجة المقياس الجغرافي لقياس البيانات. ضمّن في مناقشتك المشكلات المرتبطة بمقارنات وظيفية محلية لمجموعة واحدة من البيانات الشبكية مع أخرى.

٢– صِف وقدِّم مثالاً بسيطاً لكل نوع من الأنواع الأساسية الستة للوظائف المحليّة (هندسية، وأسّيّة ولوغاريثمية، وإعادة التصنيف، والاختيار، والإحصائيّة، والحسابيّة). اقترح كيف يمكن استخدام كل منها في النموذج. على سبيل المثال، كيف يمكن استخدام طريقة استخراج العدد العشوائي داخل الوظائف المحليّة؟

٣– افترض أن لديك شبكة تبيّن أعماق كتلة ركاز (خام) تحت الأرض في شكل قيم أعماق فردية مسجلة لكل خلية شبكية، وشبكة أخرى تبيّن قاع هذه الكتلة. اشرح كيف يمكن أن تصيغ معادلة بسيطة باستخدام الوظائف المحليّة فقط التي من شأنها أن تسمح لك بتحديد أفضل مكاناً للحفر عن هذا الركاز. ما المعلومات الأخرى التي قد تحتاجها؟

٤– إن من الطرائق المألوفة في عرض واجهة الانحدار في شبكة خلوية هو استخدام عدد يتراوح، على سبيل المثال، من (٠) إلى (٣٥٩)، حيث يمكن أن يشير (٠) إلى أن الخلية موجهة للشمال. تناول في مناقشة بعض الطرائق البديلة في ترميز واجهة الانحدار. ما هي مزايا وسلبيات الطرائق المُدمجة (Compact) مقارنةً بطريقة (٣٦٠°). اشرح الطريقتين الأساسيتين (غير المُدمجتين) المستخدمة في تمثيل الانحدار. كيف يمكن استخدام الوظائف المحليّة في عزل المناطق التي لها انحدار أكثر من (٣٠°) وتقع إما في الجنوب، وإما في الجنوب الشرقي؟

٥– هناك من يقول أن الانحدار وواجهة الانحدار لا يمكن فصل بعضهما عن بعض. اشرح هذه العبارة.

٦- قدِّم بعض الأمثلة الملموسة لكيفيّة استخدام الوظائف المحليّة. اجعل أمثلتك تشتمل على تلك الوظائف الأساسية، مثل إعادة التصنيف ومطابقة الخرائط.

٧- ما الفرق بين طريقتي الاختيار القائمة على الصفات والقائمة على الموقع؟

٨- ما الفرق الأساسي بين الوظائف المحليّة والوظائف التركزيّة، وبين الوظائف التركزيّة والنطاقيّة؟

٩- يعتمد الجوار في العمليات التركزيّة إلى حد كبير على موضع الخلية المستهدفة. صِف واشرح كيف توجَّه الخلية المستهدفة طريقة وضع الجوارات التي على شكل مربعات، ودوائر، وفِلق دائرية، وحلقات دائرية.

١٠- صِف الوظائف الكتليّة. ما أوجه الشبه والاختلاف بينها وبين الوظائف التركزيّة؟

١١- هناك العديد من الأشكال الاختيارية المتوفرة في الوظائف التركزيّة والنطاقيّة لتحديد الجوارات. قدِّم بعض الأمثلة للحالات التي قد تختار لها تلك الأشكال مثل الفِلق الدائرية، والدوائر، والحلقات الدائرية. تلميح: فكِّر في أشكال الأهداف التي تصادفها دائما على المظهر الطبيعي للأرض.

١٢- اشرح كيف تُستخدم تلك الوظائف التركزيّة مثل الأغلبيّة، والتنوع، والحد الأدنى، لتوصيف خصائص الجوارات ثم استعمالها في إنشاء خلية شبكية مُخرجة.

١٣- اشرح كيف يمكن استخدام الوظائف الشموليّة لاستخراج سطح يبيّن الصعوبة النسبيه لحركة صيادين بدائيين عبر التضاريس. اقترح بديلين إضافيين على الأقل بحيث يمكن من خلالهما تطبيق وظيفة المسافة.

١٤- ما الفرق بين مسافة التكلفة ومسافة الطريق أو المسار؟ ما هي المسافة السطحية؟ وكيف تختلف عن المسافة الأفقية المستوية؟ قدِّم بعض الأمثلة للعوامل الرأسية والأفقية التي قد تعقِّد نماذج مسافة المسار.

١٥- ما أوجه الشبه والاختلاف بين طريقتي إسترالر وشريف في ترتيب المجاري المائية؟

١٦- اقترح أنواعاً من الوظائف التي يمكن أن تُستخدم في تحليل التحزّم أو النطاقات (Buffering)، وتحليل الرؤية، وأثر السياج الواقي على التعرية.

١٧- ما الفرق بين تحليل نظم المعلومات الجغرافيّة أحادي المتغير ومتعدد المتغير؟

أنشطة تعليمية

١- بالنظر إلى قيم الشبكة الخلويّة التالية، نفّذ عدداً من الوظائف المحليّة (واحدة على الأقل من كل الأنواع الأساسية الستة). هنا، شبكتان مقدمتان (أدناه) للوظائف يتطلبان مقارنات (أي، عمليات مطابقة). ولهاتين الشبكتين، قم بتخصيص صفات لكل عمليّة تريد أن تنفذها. ومتى ما كان ذلك ممكنا، اشرح ماذا تعني العمليّة من حيث التغييرات التي تحدث للصفات.

3	3	1	4	8	1	0	0	0	0
3	2	0	5	6	4	3	0	0	0
3	4	2	2	9	3	3	3	0	0
0	1	1	0	2	5	4	3	3	0
7	1	1	1	2	8	1	3	0	0
0	1	1	1	1	2	1	1	1	0
7	7	1	1	1	1	2	1	1	1
6	1	1	1	1	2	1	1	1	0
1	1	1	1	2	1	1	0	0	0
1	1	1	1	2	1	0	0	0	0

الشبكة الأولى

3	3	2	4	8	1	0	0	0	0
3	2	0	5	6	4	3	0	0	0
3	4	2	2	9	3	3	3	0	0
0	0	0	0	2	5	4	3	3	0
7	0	1	0	2	8	0	3	0	0
0	0	0	1	0	2	0	0	0	0
3	7	0	1	1	0	2	1	0	0
7	1	1	1	1	2	1	0	0	0
1	1	1	1	2	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1	0	0	0	0

الشبكة الثانية

٢- باستخدام إحدى الشبكتين من السؤال الأول، اختر خلية مستهدفة وجواراً للوظائف التركزيّة لكل من الأشكال التالية: مربع، دائرة، (تقريبية، بالطبع)، فِلقة دائرية، حلقة دائرية. وضّح كيف تبدو هذه الأشكال وأين تكون الخلايا المستهدفة.

٣- نفّذ لكل شكل من هذه الأشكال، العمليات الوظيفيّة التركزيّة التالية: الحد الأعلى، والمتوسط، والتنوع.

٤- حدّد ثلاثة نطاقات (أقاليم) مختلفة من إحدى الشبكتين في السؤال الأول. اجعلها تشمل نطاقاً متجاوراً، ونطاقاً ذا فجوات، ونطاقا مجزءاً.

٥- باستخدام كلتة جوار ذات (٥ × ٥) خلايا، نفّذ وظيفية كتليّة للحد الأعلى على الشبكتين في السؤال الأول.

٦- مرة أخرى، وذلك باستخدام الشبكة الأولى من السؤال الأول، افترض أن الأرقام الموجودة تمثّل مجموعة رموز تمثّل الاتجاه، حيث يمثّل (٠) الشمال، و(١) للشمال الشرقي، و(٢) للشرق، وهلمّ جرّا. وتمثّل الشبكة الثانية الانحدار، حيث يمثّل (٠) منطقة منبسطة، و(١) يمثّل (١٠°)، و(٢) يمثّل (٢٠°)، وهلمّ جرّاً. الآن اعزل جميع المناطق التي تواجه الشمال، والشمال الشرقي، والشرق والتي يكون فيها الانحدار أكبر من (١٠°). ما نوع هذه الوظيفة؟

٧- افترض أن الشبكة الأولى تمثّل الغطاء الأرضي. هنا، يمثّل العدد (٠) المناطق العشبية المهجورة، و(١) الحقول البور، و(٢) الطرق، و(٣) محاصيل الخضروات، و(٤) المناطق السكنية منخفضة الكثافة، و(٥) المناطق السكنية عالية الكثافة، و(٦) الأراضي التجارية، و(٧) الأراضي الصناعية، و(٨) مراكز التسوّق، و(٩) المناطق الخدمية والمصرفية. استخدم هذه الفئات الاسميّة لتحديد شبكة جديدة مُخرجة تبيّن قيم احتكاك محتملة للحركة عبر الشبكة.

٨- بناءً على سطح الاحتكاك الذي انتجته من السؤال السابع، قم بعمل سطح للتكلفة المتراكمة على أساس التفاعل بين شبكة الغطاء الأرضي وسطح الاحتكاك.

٩- من خلال العمل مع الشبكات التي انتجتها في السؤال الثامن، اقترح كيف يمكن إجراء حساب لمسافة تكلفة. ضمّن ذلك، أيضاً، شرحاً لكيفية إدراج العوامل الرأسية والأفقية، أيضاً، في هذا الحساب.

١٠- أنشئ شبكة ارتفاع خاصة بك استناداً على فكرة نموذج الارتفاع الرقمي. بيّن كيف يمكن أن تقوم بعمليّة معالجة لقيم شبكتك لتحديد المجاري المائية أو أحواض تصريف المياه، أو كليهما.

obeikandl.com