اختيار النموذج الرياضي المناسب لبناء نماذج التضاريس الرقمية اعتماداً على معيار رقمي لتصنيف طبيعة التضاريس

الدكتور المهندس سامي مقدسي

قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

الدكتور المهندس محمد علي سمونة

قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

الملخص

تعتبر خطوط التدرج عنصراً معلوماتياً هاماً يضيف إلى الخارطة بعداً إضافياً قابلاً للقياس. كما أنها تعتبر من أسهل طرق إسقاط المعلومات استقراءً على الخرائط. ولعل الأكثر شيوعاً واستخداماً من خطوط التدرج هي خطوط التسوية، التي بواسطتها يمكن تمثيل سطح الأرض الطبيعية. ودقة هذا التمثيل تعتمد على دقة اشتقاق هذه الخطوط. إن الأسلوب التقليدي في اشتقاق هذه الخطوط يعتمد مبدأ الميل المنتظم بين النقاط المتجاورة بحيث يمكن إمرار منحنيات التسوية بين نقاط العينة بالتوسط الداخلي. ولكن مع ظهور وانتشار استخدام الخرائط الرقمية تم إطلاق مفهوم النماذج الرقمية للتضاريس، وتتيح هذه النماذج أتمتة معظم المسائل الهندسية المعتمدة على التضاريس ومنها مسألة رسم خطوط التسوية. في هذا البحث تم أولاً اقتراح معيار لوصف وعورة التضاريس. وثانياً تمت دراسة ملائمة الطرق الرياضية لطبيعة التضاريس من أجل إنشاء نماذج تضاريس رقمية مثلى تؤدي إلى أدق تمثيل ممكن لخطوط التسوية اعتماداً على المعيار المقترح.

كلمات مفتاحية: خطوط التدرج، خطوط التسوية، الدقة، وعورة التضاريس

1- المقدمة:

تعتبر خطوط التدرج عنصراً معلوماتياً هاماً يضيف إلى الخارطة بعداً إضافياً قابلاً للقياس. كما أنها تعتبر من أسهل طرق إسقاط المعلومات استقراءً على الخرائط.

تعرّف خطوط التدرج بأنها خطوط اعتبارية ضمن الخارطة تمر من نقاط لها مواصفات كمية ثابتة. بعبارة أخرى خط التردج هو المحل الهندسي لقيمة محددة لظاهرة مستمرة في الفضاء الثنائي ($u = const.$) والتي يمكن تعريفها تحليلياً بالشكل:

$$\frac{\partial u(x,y)}{\partial y}dy + \frac{\partial u(x,y)}{\partial x}dx = 0$$

حيث الظاهرة u يمكن أن تمثل أي ظاهرة مستمرة ووحيدة التمثيل في الفضاء الثنائي مثل الضغط الجوي والانحراف المغناطيسي والهطول المطري والارتفاع عن سطح البحر. ولعل المثال الأخير هو الأكثر شيوعاً واستخداماً، إذ بواسطة خطوط التسوية (خطوط التدرج المعبرة عن الارتفاع عن سطح البحر) يمكن تمثيل سطح الأرض الطبيعية من وديان ومنحدرات وسهول وتلال وغير ذلك. ودقة هذا التمثيل تعتمد على دقة اشتقاق هذه الخطوط، وبالتالي تعتبر عاملاً هاماً مؤثراً على دقة التخطيط لمعظم المشاريع الهندسية.

إن الأسلوب التقليدي في اشتقاق هذه الخطوط يعتمد مبدأ الميل المنتظم بين النقاط المتجاورة من مجموعة نقاط ارتفاعيه تغطي المنطقة بكثافة محددة وتدعى بالعينة. وباعتماد مبدأ الميل المنتظم يمكن إمرار منحنيات التسوية بين نقاط العينة بالتوسط الداخلي.

ولكن مع ظهور وانتشار استخدام الخرائط الرقمية في الربع الأخير من القرن الماضي تم إطلاق مفهوم النماذج الرقمية للتضاريس وازداد استخدامها

كمنتجات رقمية متممة للخرائط الرقمية. وتتيح هذه النماذج أتمتة معظم المسائل الهندسية المعتمدة على التضاريس ومنها مسألة رسم خطوط التسوية.

وقد تميزت طرق الرسم الآلي لخطوط التسوية اعتماداً على نماذج التضاريس الرقمية عن الطرق التقليدية بالدقة والسرعة والوفر في الجهد والكلفة. بيد أن بناء نماذج التضاريس الرقمية اعتماداً على عينة ارتفاعيه لمنطقة ما يمكن أن يتم بطرق رياضية عديدة (David,1991) تؤدي في الحالة العامة إلى نماذج مختلفة من حيث الدقة. وعموماً لا أفضلية لطريقة على أخرى بالمطلق لأن ذلك يتعلق بطبيعة تضاريس المنطقة، إلا أن المعايير الواضحة لهذه العلاقة غير موجودة في المراجع العلمية المختصة.

في هذا البحث تمت دراسة ملائمة الطرق الرياضية لطبيعة التضاريس من أجل إنشاء نماذج تضاريس رقمية مثلى تؤدي إلى أدق تمثيل ممكن لخطوط التسوية اعتماداً على معيار لوصف وعورة التضاريس تم اقتراحه في سياق البحث.

2- أهمية البحث

تأتي أهمية هذا البحث من أهمية دراسة المشاريع الهندسية اعتماداً على نماذج تضاريسية رقمية تماشيا مع التطور في مجال استخدام المعلوماتية، ومع تطبيقات أنظمة المعلومات الجغرافية التي تعتمد على أساس جغرافي وتضاريسي رقمي.

3- أهداف البحث:

1. وضع أسس ومعايير رقمية لتصنيف طبيعة التضاريس، بحيث يمكن الاعتماد على هذه المعايير لاختيار الطرق الرياضية المناسبة لإنشاء نماذج التضاريس الرقمية.

2. تحديد الطريقة الرياضية الأفضل لتشكيل النموذج الرقمي للتضاريس بالنسبة لكل حالة من حالات تصنيف طبيعة التضاريس.
3. الحكم على دقة تمثيل التضاريس وفق خطوط التسوية المشتقة من النمـــاذج الرقمية للتضاريس.
4. مقارنة مختلف الطرق الرياضية لإنشاء نماذج التضاريس الرقمية من حيث تأثيرها على شكل خطوط التسوية الناتجة عنها من نواحي أخرى كـــالتعميم والنعومة وضياع التفاصيل.
5. وضع توصيات حول اعتماد قيم الوسطاء في الطـــرق الرياضـــية لإنشـــاء النماذج الرقمية للتضاريس للوصول إلى أفضل النتائج.

4- حدود البحث:

- اعتماد كثافة النقاط الممسوحة كمؤشر على وعورة التضاريس، وستصنف نماذج التضاريس على أساس معيار للوعورة تم اقتراحه في سياق البحث إلى: السهلة – الوعرة – شديدة الوعورة.
- إنشاء النموذج التضاريسي الرقمي من النمط الشبكي المنتظم باعتبار معيار الوعورة وملاءمة إحدى الطرق الرياضية الآتية:
  - طريقة التوسط المركب إحصائياً Kriging
  - المتوسطة الموزونة باعتبار قوى المسافة Inverse distance to power
  - طريقة تثليث Daluny

هذه الطرق تعتبر الأكثر استخداماً والأقل تعميماً للسطوح.

5- فروض البحث:

1. وجود علاقة بين كثافة نقاط العينة ووعورة التضاريس، انطلاقاً من اعتبار أن المسّاح المحترف يقوم بتكثيف نقاط المسح في المناطق الوعرة لتحقيـــق

تمثيـــل صـــحيح للتضـــاريس، أي أن العينـــة تكـــون دومـــاً معبـــرة (Representative) وفق المصطلحات الإحصائية.

2. إن طريقة تثليث Daluny تناسب المناطق الوعرة بشكل خاص نظـراً لأن معدّل تغيّر الميل كبير، وهذا قد لا يلحظ في الطرق الرياضية الأخرى التي تدخل نقاط بعيدة في عملية التوسط.
3. وجود علاقة بين وعورة التضاريس وقوة المسافة في حساب الـوزن لـدى اتباع طريقة المتوسطة الموزونة بسبب اعتبار التأثير الأكبر للنقاط القريبة.
4. يمكن أن يؤدي إدخال معيار وعورة التضـاريس فـي اختبـار النمـوذج الإحصائي المستخدم في طريقة Kriging إلى نتائج أفضل نظراً لمرونة هذه الطريقة.
5. إن خطوة الشبكة في النموذج الرقمي الناتج تتبع لوعورة المنطقـة ضـمن حدود معينة، يصبح بعدها من غير المجدي تكثيف الشبكة.

6- توصيف وعورة التضاريس:

قبل البدء بتوصيف وتعريف وعورة التضاريس واقتراح المعايير تم تقسيم سطح الأرض بحسب ميول السطح إلى التقسيمات التالية (David,1991):

1. **المنطقة السهلة:** وهي المنطقة التي يمكن تعميم سطحها بمسـتو أفقـي أو مائل دون وجود فروق ارتفاعات نسبية بين النقاط المتجاورة فيها.
2. **المنطقة الوعرة:** وهي المنطقة التي يمكن تعميم سطحها بمسـتو أفقـي أو مائل مع وجود فروق ارتفاعات نسبية ومتجانسة بين النقاط المتجاورة فيها.
3. **المنطقة الشديدة الوعورة:** وهي المنطقة ذات فروق الارتفاعـات الكبيـرة بين نقاطها مثل المناطق الجبلية.

يمكن تعريف وعورة التضاريس بأنها معدل تغير ميل الناظم على السطح عند الانتقال من نقطة إلى أخرى. يميز عادة في المسح الارتفاعي بين المناطق السهلة والمناطق الوعرة، ويلحظ ذلك في دفاتر الشروط الخاصة بالمسح. فمثلاً وزارة الإسكان والمرافق تصنف وعورة المنطقة في نوعين: الدرجة الأولى والدرجة الثانية، وذلك حسب قيمة الميل الوسطي للمنطقة، دون أن توضح حتى كيفية حساب الميل الوسطي. ولكن الميل الوسطي لا يمكن أن يعبر عن درجة وعورة التضاريس. فهناك مناطق منبسطة (بدون ميل) ولكنها وعرة. كما أن هناك مناطق شديدة الميل ولكنها غير وعرة كالمنحدرات.

6-1 المعيار المقترح (معيار الكثافة)

إن معيار الكثافة يمكن استقراؤه من واقع المسح. فعملياً المسح الارتفاعي السليم يلحظ كافة النقاط المميزة في التضاريس وهي نقاط تغيّر الميل، أي نقاط تغيّر ميل الناظم. وبالتالي حسب تعريف الوعورة المذكور أعلاه ستكون كثافة نقاط المسح أكبر في المناطق الوعرة وإن كانت ذات ميل وسطي ضعيف. كما ستكون الكثافة قليلة في المناطق السهلة وإن كانت ذات ميل شديد. بالإضافة إلى ذلك، صعوبة الرؤية في المناطق الوعرة لمسافات طويلة تفرض تكثيف النقاط.

من هنا نلاحظ أن معيار كثافة نقاط المسح يمكن أن يصف درجة وعورة المنطقة وصفاً صحيحاً. لذلك سنقترح الآن معياراً كمياً لتحديد درجة وعورة المنطقة الممسوحة. ولكن المعيار الكمي يجب أن يصف نماذج محددة من التضاريس. فإذا اعتبرنا أن أصناف الوعورة هي ثلاثة: السهلة (غير الوعرة) – الوعرة – شديدة الوعورة، فيجب الحصول على ثلاثة مؤشرات من معيار الكثافة المقترح لتعبر بدورها عن الأصناف المذكورة من التضاريس. وللوصول إلى ذلك يمكن الانطلاق من الاعتبارات العملية التالية:

- في المنطق السهلة أو القليلة الوعورة لا يحتاج المسّاح لقياس نقاط إضافية، بل يكتفي بتحقيق شرط تباعد النقاط في المخطـــط وهـــو 2.5 cm ، أي أن النقطة الواحدة تغطي مساحة $S_1=\pi\frac{D^2}{4}$

حيث:

$$D=\frac{2.5cm}{100}M$$

M – مقياس المخطط.

وبالتالي كثافة النقاط الممسوحة في المنطقة ستكون

$$K_1=\frac{1}{S_1}$$

- لنعتبر الآن أن كثافة المسح الفعلية في منطقة أخرى هي

$$K_2=\frac{n}{S_2}$$

حيث:

n – عدد النقاط الممسوحة في المنطقة

S – مساحة المنطقة بالمتر المربع

- نحسب النسبة $c=\frac{K_2}{K_1}$ ونلاحظ مايلي:

– كلما اقتربت c من الواحد دل ذلك على اقتراب عدد النقاط من الحد الأدنى، أي أن المنطقة سهلة.

– إذا كانت c<1 دل ذلك على أن العينة ضعيفة التمثيل، أي أن البيانات لا تســـمح بتمثيل صحيح للتضاريس.

- بزيادة c عن الواحد، تبدأ وعورة التضاريس. فلو كانت c=2 فهـذا يعنـي أن المساح قد اضطر لمسح ضعف الحد الأدنى من النقاط بسبب الوعورة.
- بالإضافة لمعيار الكثافة المذكور أعلاه، سنفترض أن تباين تشتت ارتفاعات النقاط الممسوحة حول قيمة وسطية لها يمكن أن يحمل مؤشراً على سرعة تبدل الميل في المنطقة وبالتالي على وعورتها(2002 , جزماتي، مقدسي). فإذا اعتبرنا عينة مؤلفة من n نقطة معلومة الارتفاع، يمكننا أولاً حساب الارتفاع الوسطي من العلاقة:

$$\bar{h}=\frac{\sum h_i}{n}$$

ومن ثم يحسب الانحراف المعياري:

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum(h_i-\bar{h})^2}{n-1}}$$

- لوضع معيار رقمي يدل على درجة الوعورة قمنا بمسح ثلاث مناطق معروفة (سهلة – وعرة – شديدة الوعورة) حيث ربطنا درجة وعورة كل منها بكثافة نقاط المسح فيها وبالانحراف المعياري للارتفاعات. الجدول (1) يبين نتائج هذه الدراسة.

رقم المنطقة	التصنيف	المساحة (هكتار)	عدد النقاط	الكثافة (نقطة/هكتار)	c	الانحراف المعياري للارتفاع الوسطي	الميل الوسطي %	الانحراف المعياري للميل الوسطي
1	سهلة	12.9	242	18.5	0.9	2.14	1.6	1.5
2	وعرة	12.9	318	24.5	1.22	1.71	0.8	0.6
3	شديدة الوعورة	11.8	457	38	1.9	18.97	15.5	11.2

نلاحظ من الجدول أعلاه:

- أن هناك علاقة فعلاً بين كثافة نقاط المسح ووعورة المنطقة، فإذا اعتبرنا أن هناك مجالاً في قيم c يحدد المنطقة السهلة وهو بحدود 10% ± فهذا يعني:

➢ عندما تكون قيمة c في المجال 1.1 – 0.9 فإن المنطقة يمكن تصنيفها بالسهلة.

➢ عندما تكون قيمة c دون المقدار 0.9 فهذا يعني أن العينة غير ممثلة و لا يمكن اعتماد نقاط المسح لإنشاء نوذج تضاريسي رقمي.

➢ إذا اعتبرنا أن كثافة نقاط المسح في المناطق شديدة الوعورة (الجبلية) تبدأ من ضعف الحد الأدنى (المناطق السهلية)، وباعتبار الحد المذكور أعلاه، فإن المناطق شديدة الوعورة تبدأ من قيمة للمؤشر c قدرها 1.9.

➢ بالنتيجة ستكون المناطق الوعرة هي التي تنحصر فيها قيمة c في المجال المتبقي وهو 1.9 – 1.1.

➢ بالنسبة لمؤشر الارتفاع الوسطي والانحراف المعياري له فإنه لا يصلح كمعيار لتوصيف التضاريس.

➢ كما أن مؤشر الميل الوسطي والإنحراف المعياري له أيضاً لا يصلح للتعبير عن طبيعة وعورة التضاريس.

7- تشكيل النموذج الرقمي الشبكي:

هناك بعض طرق المسح تعطي ارتفاعات نقاط موزعة بشكل منتظم وفق شبكة مربعات أو مستطيلات وخاصة في بعض الطرق الآلية والمؤتمتة والفوتوغرامترية. إلا أن الحالة العامة هي توفر مجموعة محدودة من النقاط موزعة بشكل غير منتظم كونها نتيجة لأعمال مسح النقاط المميزة من سطح الأرض، أي أنها تعتبر عينة ممثلة (representative) منتقاة وغير عشوائية. وبالتالي يمكن استخدام هذه العينة لحساب ارتفاعات النقاط الأخرى بطرق الاستيفاء الداخلي

المعروفة. لذلك لا يمكن الوصول إلى نموذج تضاريسي رقمي صحيح ما لم تكن العينة ممثلة.

إن مسألة تشكيل نموذج تضاريسي رقمي هي في الواقع حساب ارتفاعات نقاط موزعة بشكل منتظم اعتماداً على ارتفاعات مجموعة أخرى من النقاط موزعة بشكل غير منتظم باستخدام إحدى طرق الاستيفاء الداخلي، وبالتالي يمكن الحصول على عدة نماذج متباينه في دقتها طبقاً لطريقة الاستيفاء المستخدمة(John,2001). من هنا تأتي أهمية اختيار طريقة الاستيفاء الأنسب لطبيعة التضاريس.

8- إجراءات البحث:

- القيام بمسح تفصيلي لثلاث مناطق مختلفة تضاريسياً (سهلة، وعرة، شديدة الوعورة) وتصنيفها على أساس المعيار المقترح أعلاه (النتائج في الملحق 1).
- تشكيل نموذج تضاريسي رقمي لكل من العينات المذكورة أعلاه وباتباع الطرق المذكورة في الفقرة 4 (النتائج في الملحق 2).
- حساب الرواسب في كافة النماذج الناتجة ومن ثم استنتاج القيم الدنيا والعظمى والانحراف المعياري (النتائج في الملحق 3).
- اقتراح استخدام الطريقة الأمثل لكل نموذج من التضاريس.

9- النتائج:

1. أعطت طريقة Kriging نتائج متقاربة بالنسبة للمنطقتين السهلة والوعرة، بينما في المنطقة شديدة الوعورة ظهر نوع من الشذوذ في قيم الانحراف المعياري لدى نقصان التباعدات. أما في طريقة (Daluny) Triangulation فقد ظهر ثبات نسبي في قيم الانحراف المعياري بالنسبة لكافة الطرق، بالإضافة إلى أن دقة النموذج المولّد بهذه الطريقة لم تتأثر كثيراً بتغيير تباعد الشبكة وهذا متوقع بسبب اعتماد هذه الطريقة على المبدأ الخطي للتوسط.

2. في طريقة المتوسطة الموزونة ظهرت علاقة بين وعورة التضاريس وقـوة المسافة في حساب الوزن. ففي حالة الأراضي السهلة والوعرة أعطت القوى 2 و 3 و 4 نتائج متقاربة، بينما في حالة التضاريس شديدة الوعـورة فـإن زيادة القوة أدت إلى نتائج أفضل.
3. إن تكثيف الشبكة في كافة الطرق ومن أجل كافة المناطق التضاريسية يؤدي إلى زيادة الدقة ضمن علاقة طردية حتى حد معين في تباعد الشبكة هو 1m يصبح بعدها من غير المجدي إنقاص التباعد لأن الدقة تثبت ويزيـد حجـم الملفات المتداولة.

10- التوصيات:

1. اعتماد المعيار الرقمي المقترح لتصنيف التضاريس من حيث الوعورة.
2. عدم استخدام طريقة kriging في المناطق شديدة الوعورة.
3. في حال استخدام طريقة المتوسطة الموزونة يوصـي باعتمـاد القـوة الرابعة للمسافة في حساب الوزن للمناطق شديدة الوعورة.
4. اعتماد تباعد للشبكة يتناسب مع الوعورة على أن لا يقل عن 1m.

المراجع

1- **جزماتي** د.سامح; **مقدسي** د.سامي; 2000 - **أنظمة المعلومات الجغرافية GIS**- دار الشرق العربي، بيروت.

2- **David** J Maguire; 1991 – **Geographical information systems , principles and applications**, NewYork

3- **John** Childs; 2001– **Extracting DEMs from Topographic Maps**, Geocommunity.