

Developing a Software Tool to Calculate and Classify the Roughness of the Earth's Surface Using MATLAB

Dr. Wael I. Dayoub *
Dr. Fadi EZ. chaaban **
Kinan M. Dali***

(Received 23 / 7 / 2023. Accepted 2 / 10 / 2023)

□ ABSTRACT □

This article reviews the general concept of the roughness of the topographic surface, as there are many scientific concepts that dealt with this term, but most of them agree that it is the amount of difference in heights from the average height. Great in hydrological and geological studies, such as determining the abundance of flow, in addition to giving an image of the geological layers. This research dealt with how to digitally express ruggedness in a suitable software environment, namely MATLAB, within a study area extending from Salah al-Din Castle in the west to the Slenfeh region in the east. It depends on the average inclinations, bearing in mind that both coefficients produce a chart that expresses the varying degrees of ruggedness within four different levels (level, moderately rugged, very rugged, and very rugged). 4.4% for the third level, and 0.73% for the fourth level, compared to the average propensity coefficient, which gave 55.68% for the first level, 26.45% for the second level, 17.48% for the third level, and 0.39% for the fourth level. This research will help the engineers to classify the areas in order to identify the difficulties that the surveyors may face in that area.

Keywords: topographic roughness index, mean of slope, digital elevation model, matlab.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. waelibrahimdayoub@tishreen.edu.sy

** Associate Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Fadi.chaaban@tishreen.edu.sy

*** Postgraduate Student (Master), Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. kinan.m.t.dali@gmail.com

تطوير أداة برمجية لحساب وتصنيف وعورة سطح الأرض باستخدام MATLAB

د. وائل ابراهيم ديوب *

د. فادي عز الدين شعبان **

كنان محمد دالي ***

(تاريخ الإيداع 23 / 7 / 2023. قَبْلُ للنشر في 2 / 10 / 2023)

□ ملخص □

يستعرض هذا البحث المفهوم العام لوعورة السطح الطبوغرافي، حيث تعددت المفاهيم العلمية التي تناولت هذا المصطلح ولكن أغلبها أجمع على أنها مقدار تفاوت الفرق في الارتفاعات عن الارتفاع الوسطي، يعتبر هذا المفهوم مهم في العديد من التحليلات المكانية التي تُعنى باختيار المكان الأمثل، كما أن له دور كبير في الدراسات الهيدرولوجية والجيولوجية كتحديد غزارة التدفق، إضافة لكونه يعطي صورة عن توضع الطبقات الجيولوجية. تناول هذا البحث كيفية التعبير الرقمي عن الوعورة في بيئة برمجية مناسبة ألا وهي الماتلاب، ضمن منطقة دراسة ممتدة من قلعة صلاح الدين غرباً حتى منطقة صلنفة شرقاً وتم استخدام كل من معامل الوعورة الطبوغرافي، والذي يعتمد على فروق الارتفاعات عن القيمة الوسطية للارتفاعات، أما المعامل الثاني فهو يعتمد على وسطي الميول، علماً أن كلا المعاملين ينتجان مخطط يعبر عن تفاوت درجات الوعورة ضمن أربع مستويات متباينة (مستوي، متوسط الوعورة، شديد الوعورة، وعرة جداً)، حيث أعطى معامل الوعورة الطبوغرافي للمستوي الأول نسبة 83.33% ونسبة 11.56% للمستوي الثاني ونسبة 4.4% للمستوي الثالث، ونسبة 0.73% للمستوي الرابع، مقارنةً مع معامل متوسط الميول الذي أعطى نسبة 55.68% للمستوي الأول، ونسبة 26.45% للمستوي الثاني ونسبة 17.48% للمستوي الثالث ونسبة 0.39% للمستوي الرابع.

هذا البحث سيساعد المهندسين في إمكانية تصنيف المناطق بغية تحديد الصعوبات التي يمكن أن تواجه المساحين لتلك المنطقة.

الكلمات المفتاحية: معامل الوعورة الطبوغرافي، متوسط الميول، تصنيف وعورة سطح الأرض، نموذج الارتفاع الرقمي، ماتلاب.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ ، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

waelibrahimdayoub@tishreen.edu.sy

** أستاذ مساعد، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Fadi.chaaban@tishreen.edu.sy

***طالب دراسات عليا، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

kinan.m.t.dali@gmail.com

مقدمة:

يعد التعريف الأساسي للوعورة هو درجة الميلان بين السطح الحقيقي والجيويدي في الاتجاه الشاقولي، ففي حال كانت الانحرافات كبيرة، كان السطح خشناً (وعراً)، أما في حال كون الانحرافات صغيرة، كان السطح مستوياً، كما يُستخدم مصطلح وعورة السطح كتعبير عن تباين ارتفاع سطح طبوغرافي بمقياس معين، حيث أن وعورة السطح متغير مهم في البحث الجيومورفولوجي والنمذجة الهيدرولوجية (تحديد اتجاه التدفق، والمساحات التجميعية للأحواض الساكنة) [1]، وتستخدم على نطاق واسع في علوم الأرض والكواكب، كما أن وعورة السطح مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بجيولوجيا المنطقة المدروسة على سبيل المثال، يمكن أن يوفر الحساب الكمي للخشونة في منطقة الصدمة الزلزالية معلومات قيمة لفهم التعرية الجوية والمائية [2].

تقدم نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) الطريقة الأكثر شيوعاً لاستخراج المعلومات الطبوغرافية وتمكن من نمذجة المعلومات الخاصة بالأسطح، حيث يلعب DEM أداة مهمة لتحليل تمثيلات التضاريس، وبالتالي يعتبر الأداة المثالية للقيام بقياسات كمية للخشونة. يتكون نموذج الارتفاعات الرقمي من مصفوفة خلايا، التي تخزن بداخلها قيم الارتفاعات المقابلة لمساحة البيكسل الواقعية، ومن هنا نجد أن ارتفاعات المنطقة المدروسة تمثل العنصر الأهم في الحساب الكمي للوعورة [2][3].

تم استخدام MATLAB في بحثنا هذا، حيث يعتبر الماتلاب مهماً للعديد من التطبيقات في الفيزياء العامة والرياضيات والبصريات والإلكترونيات والكيمياء وعلم الأحياء والطب والذكاء الاصطناعي، يعتبر MATLAB منصة برمجة مصممة خصيصاً للمهندسين والعلماء، لتحليل وتصميم الأنظمة والمنتجات التي تغير عالمنا، كما أنه لغة قائمة على التعامل مع المصفوفة التي تعتبر الأساس الرقمي لنماذج الارتفاعات الرقمية، وعلى هذا الأساس تم اختيار هذا البرنامج الذي يعتبر منصة مزودة بأدوات مهمتها معالجة المصفوفات. هناك العديد من معاملات الوعورة المستخدمة في الأبحاث العملية، والتي غالباً ما يكون اختيارها صعباً في التطبيقات، كما أن الدقة في هذا النوع من الحسابات مرتبطة مع دقة التمييز المكانية لنموذج الارتفاعات الرقمي.

أهمية البحث وأهدافه:

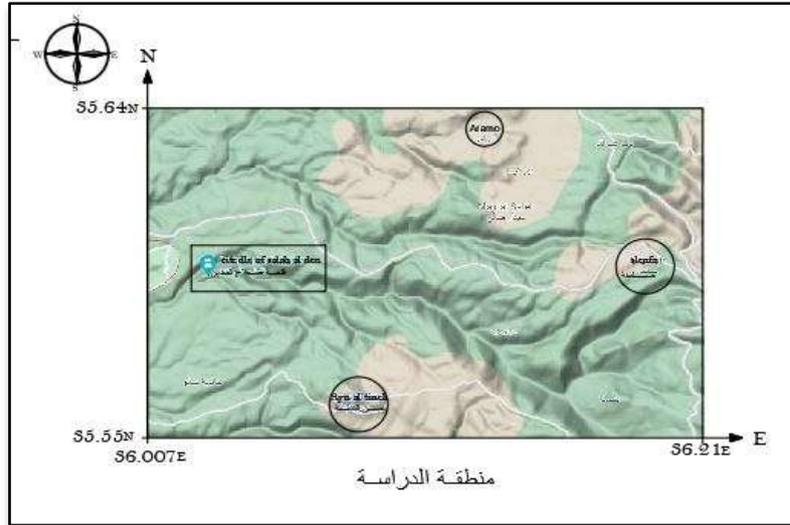
تأتي أهمية الوعورة كونها تؤثر على جاذبية وحركة المياه في الأحواض الساكنة، وبالتالي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في النماذج مثل مسار الجريان السطحي، وتوزيع رطوبة التربة وعمق منسوب المياه الجوفية [3] كما تعد الوعورة مؤشر مهم في علم الأرض لوصف تعقيد أو تقلب سطح التضاريس على نطاق معين، يتم استخدامها على نطاق واسع للعديد من التطبيقات مثل تحليل التضاريس الرقمية ومحاكاة عمليات سطح الأرض وتصنيفات التضاريس [7] وبناءً على هذا يهدف البحث إلى:

- (1) تقديم أداة برمجية وظيفتها الأساسية حساب خشونة (وعورة) سطح الأرض ضمن دقات تمييز مكانية معينة لنموذج الارتفاع الرقمي.
- (2) تصنيف وعورة التضاريس بناءً على المعاملات المحسوبة سابقاً، ضمن نفس دقات تمييز المكانية لنموذج الارتفاع الرقمي.

طرائق البحث ومواده:

1- منطقة الدراسة:

منطقة صلنفة وقلعة صلاح الدين وعين التينة ومحيطها الممتدة على خطوط العرض من 35.55 درجة شمالاً إلى 35.64 درجة شمالاً، والممتد على خطوط الطول من 36.0076 درجة شرقاً إلى 36.2145 درجة شرقاً والموضحة في الشكل (1).



الشكل (1)، منطقة الدراسة

2- البيانات المستخدمة

تم استخدام نموذج ارتفاع رقمي لمنطقة الدراسة مأخوذ من موقع 30-METER SRTM ELEVATION DATA بدقة تمييز مكانية 30m، ضمن المرجع المكاني WGS 1984 كما هو مبين بالشكل (2)، علماً أن الموقع المذكور سابقاً يعتمد على البيانات التي يلتقطها القمر الصناعي Shuttle Radar Topography Mission، تم الحصول على نموذج الارتفاعات الرقمي الخاص بمنطقة اللاذقية وريفها (N35E036) بتاريخ 2019/9/4. في الفقرات التالية نستعرض المعاملات التي تم الاعتماد عليها في التعبير الكمي عن الوعورة:

3- معامل وعورة التضاريس (TRI(Terrain Ruggedness Index))

ان المعامل TRI قد تم تطويره بواسطة Riley لتمثيل مقدار فرق الارتفاع بين البكسلات لثمانية بكسلات من بكسلات النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM)، تحسب العملية بشكل أساسي الفرق في قيم الارتفاع بين البيكسل المركزي و البكسلات الثمانية المحيطة بها مباشرة، تقوم هذه الخوارزمية بتربيع كل من قيم فرق الارتفاع الثمانية لجعلها جميعاً موجبة، لذلك يتم حساب TRI بأخذ الجذر التربيعي لهذا المتوسط، وهو يتوافق مع متوسط تغيير الارتفاع بين أي نقطة في خلية شبكية والمنطقة المحيطة بها، يعطى TRI بالعلاقة التالية [4][5]:

$$TRI = \sqrt{\frac{\sum (Z_1 - Z_0)^2}{N}} \quad \text{معادلة (1).....}$$

حيث:

Z₁: قيمة الارتفاع المحيط بالبيكسل المركزي (m).

Z0: قيمة الارتفاع في البيكسل المركزي (m).

N: عدد الخلايا المحيط بالخلية المركزية وهو 8.

يقترح مؤلفو (TRI) تصنيف القيم التي تم الحصول عليها من نموذج رقمي للارتفاعات من الجدول التالي:
الجدول (1)، يوضح التصنيف حسب معامل الوعورة الطبوغرافي:

التصنيف	TRI(m)
مستوي	(0-10)
متوسط الوعورة	(10.1-14.5)
وعر	(14.6-20.1)
شديد الوعورة	(20.2-119.6)

4-متوسط الميول (means of slope)

يعد الميل المشتق الأول للارتفاع معدل تغير الارتفاع على المسافة، التي تكون في اتجاهين الميل باتجاه x والميل في الاتجاه y (المشتقات الجزئية ل z فيما يتعلق بالاتجاهين x و y). يتم حساب الميل على شبكة DEM، باستخدام نافذة متحركة 3 × 3 لاشتقاق تفاضل محدود. في هذه الدراسة، تم استخدام الفروق المحدودة من الدرجة الثانية. تُستخدم خوارزمية الجار الأقرب لحساب الميل الخوارزمية موصوفة أدناه بالمعادلة [6][7][8]:

$$\text{slope} = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} \quad \text{معادلة (2).....}$$

حيث:

dz: هو الفرق في قيمة الارتفاع.

dx: هي المسافة في الاتجاه x .

dy: هي المسافة في الاتجاه y .

بعد حساب مصفوفة الميول، يتم تحويل الميول للقيمة المطلقة، لأن المعامل يعتمد على قيمة الميل وليس اتجاهه، تمرير نافذة نافذة متحركة 3 × 3 لحساب متوسط الميول الواقعة تحت النافذة السابقة.

$$\text{mean of slope} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{slope}}{n} \quad \text{معادلة (3).....}$$

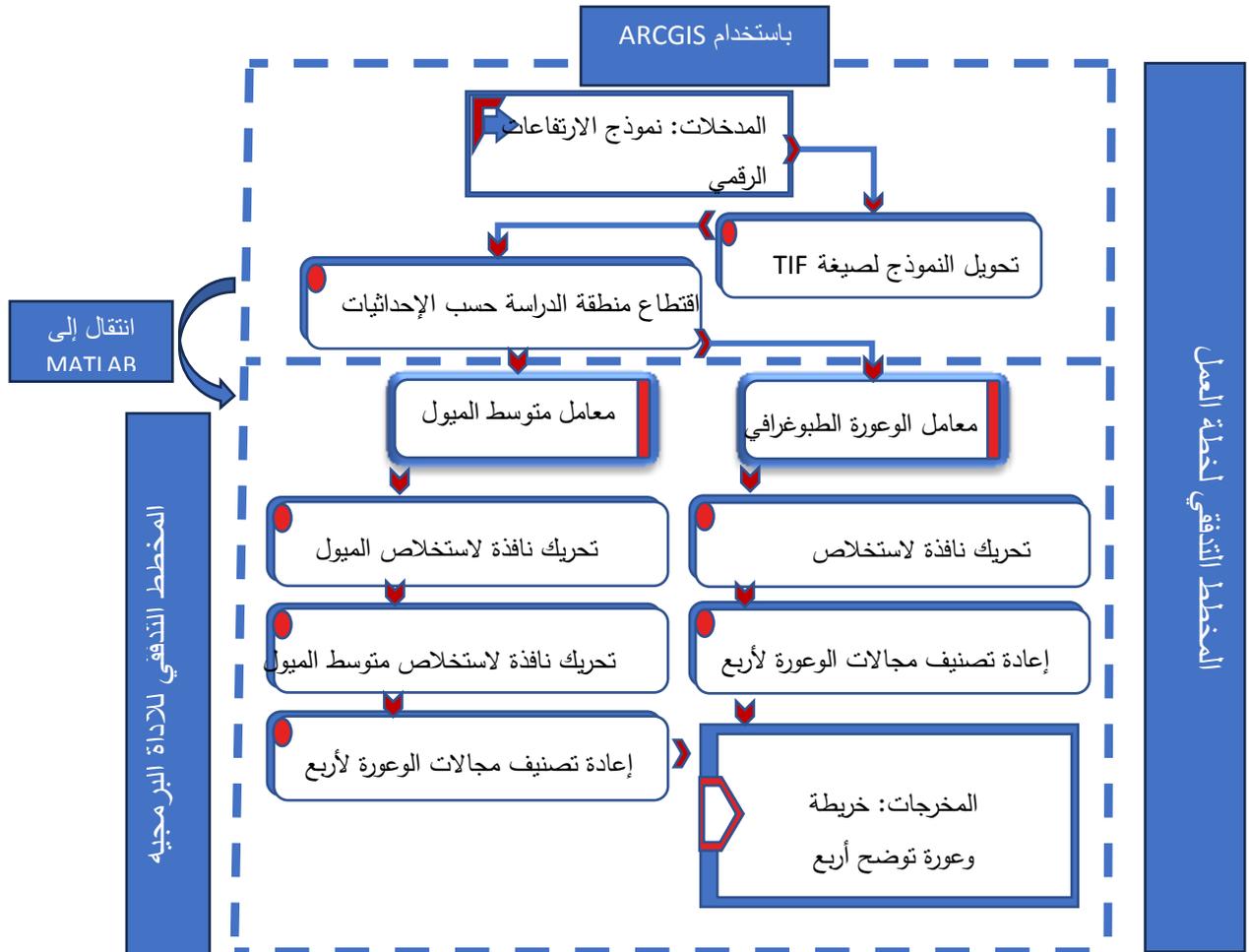
تم تقسيم الوعورة حسب المعامل السابق كالآتي:

الجدول (2)، يوضح التصنيف حسب معامل متوسط الميول:

التصنيف	Mean of slope(degree)
مستوي	(0-3.4)
متوسط الوعورة	(3.4-5.93)
وعر	(5.93-14.74)
شديد الوعورة	(14.74-30)

5-المخطط النهجي للبرنامج في بيئة ماتلاب

يوضح الشكل (2) المخطط النهجي للبرمجية التي غرضها تحقيق أهداف البحث من حيث استخلاص معاملات الوعورة و من ثم تصنيفها ضمن أربع مجالات.

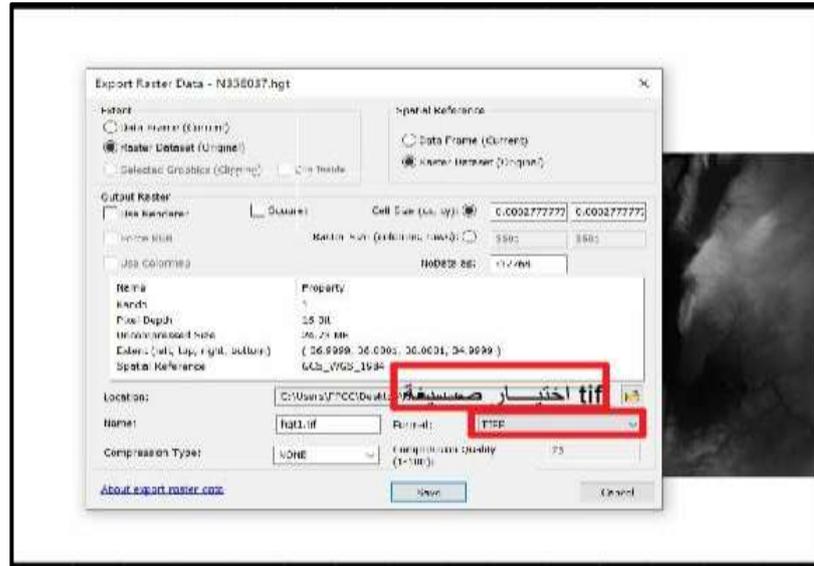


الشكل (2)، المخطط التدفقي للبرنامج

النتائج والمناقشة:

1- تحضير البيانات

تعد الخطوة الأولى المشتركة في كلا المعاملين إدخال نموذج الارتفاع الرقمي لكامل منطقة اللاذقية وريفها، تلي هذه العملية تحويل صيغة نموذج الارتفاعات الرقمي لصيغة Tif باستخدام برنامج ARCGIS 10.3 الموضح في الشكل (3).

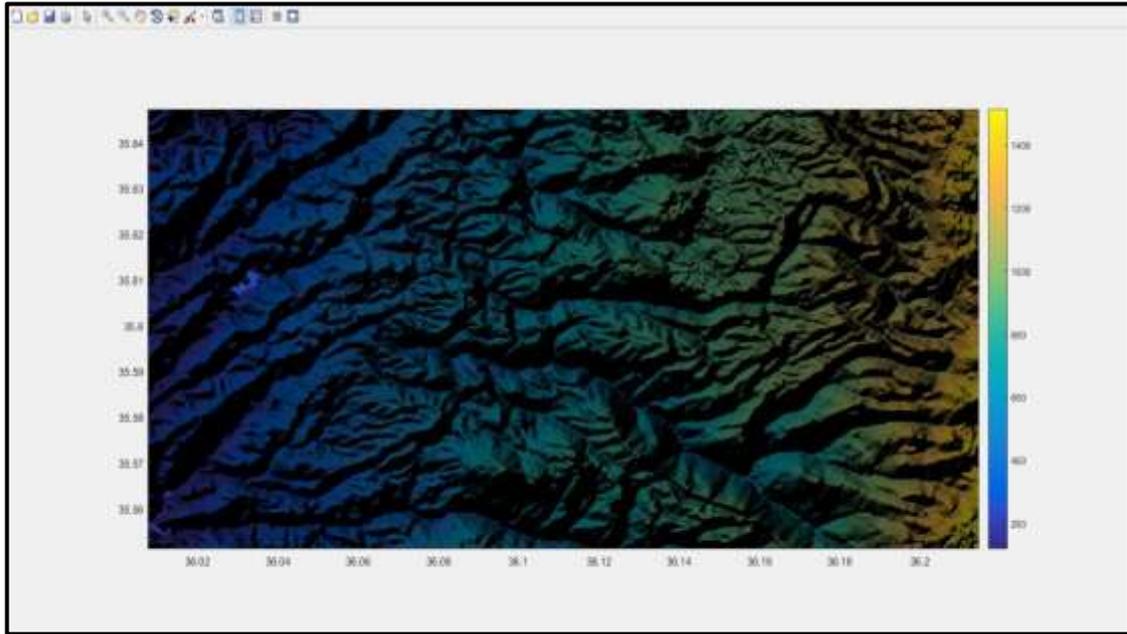


الشكل (3)، تحويل النموذج لصيغة TIF

بعد التحويل لصيغة Tif يصبح النموذج جاهز للإدخال ببيئة الماتلاب، بعد الإدخال تجري اقتطاع لمنطقة الدراسة حسب الإحداثيات الجغرافية المذكورة في الفقرة (3-2)، حيث يقوم باقتصاصها وتحويلها إلى مصفوفة رقمية ذات الأبعاد [346,745]، تخزن ضمن كل بيكسل فيها قيمة ارتفاع البيكسل، حيث يظهر الشكل (4) جزء من مصفوفة الارتفاعات، كما يبين الشكل (5) نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة حيث تراوحت ارتفاعات المنطقة (200-1516).m

dem.Z													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	243	249	250	252	254	255	255	257	259	261	260	261	263
2	246	249	250	252	254	255	256	257	258	258	257	258	260
3	244	247	249	252	253	254	255	255	254	252	251	255	258
4	244	245	247	250	252	253	253	252	249	245	248	254	258
5	244	245	246	248	249	249	248	246	243	242	247	253	259
6	241	241	240	243	243	243	241	239	238	240	248	256	262
7	236	234	234	234	234	234	234	234	238	245	253	259	263
8	230	229	229	228	228	229	231	238	245	251	257	260	262
9	224	224	224	224	226	230	236	243	250	255	257	258	259
10	219	220	222	225	230	237	243	248	251	254	256	256	255
11	218	219	222	228	235	242	247	250	251	252	252	252	249
12	219	222	228	234	238	243	246	248	248	248	245	243	244
13	224	229	234	238	239	241	243	242	241	236	233	235	240
14	228	231	234	234	235	236	235	234	229	226	226	230	239
15	226	226	225	226	227	226	225	223	222	221	223	229	238
16	219	216	217	217	216	215	215	216	217	220	226	232	239

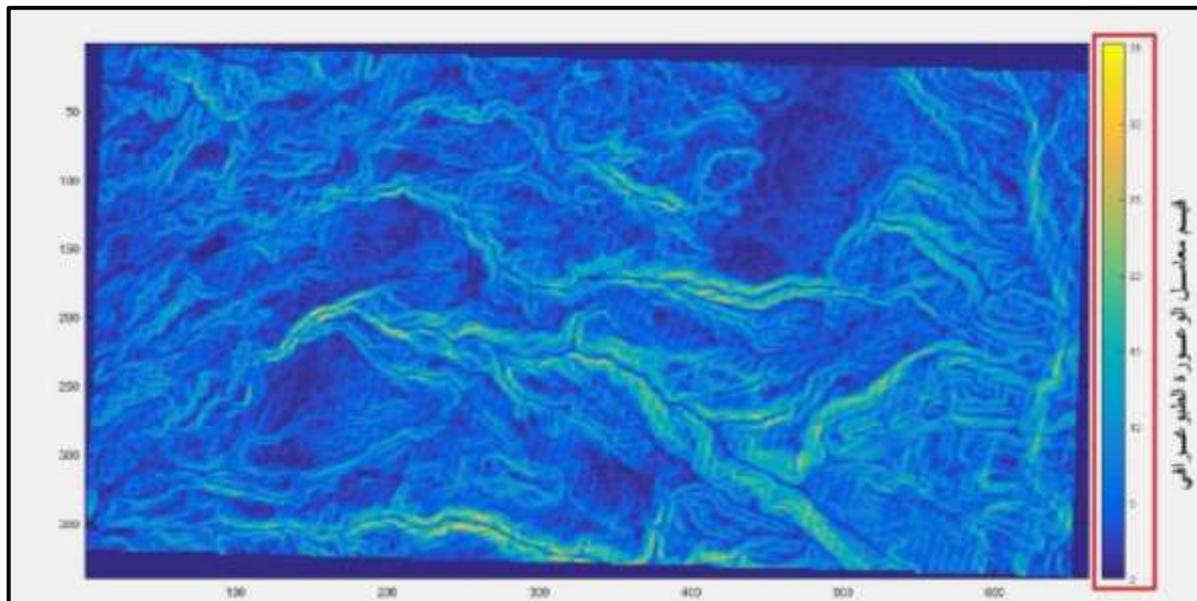
الشكل (4)، يمثل جزء من مصفوفة الارتفاعات



الشكل (5)، نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة ضمن بيئة ماتلاب

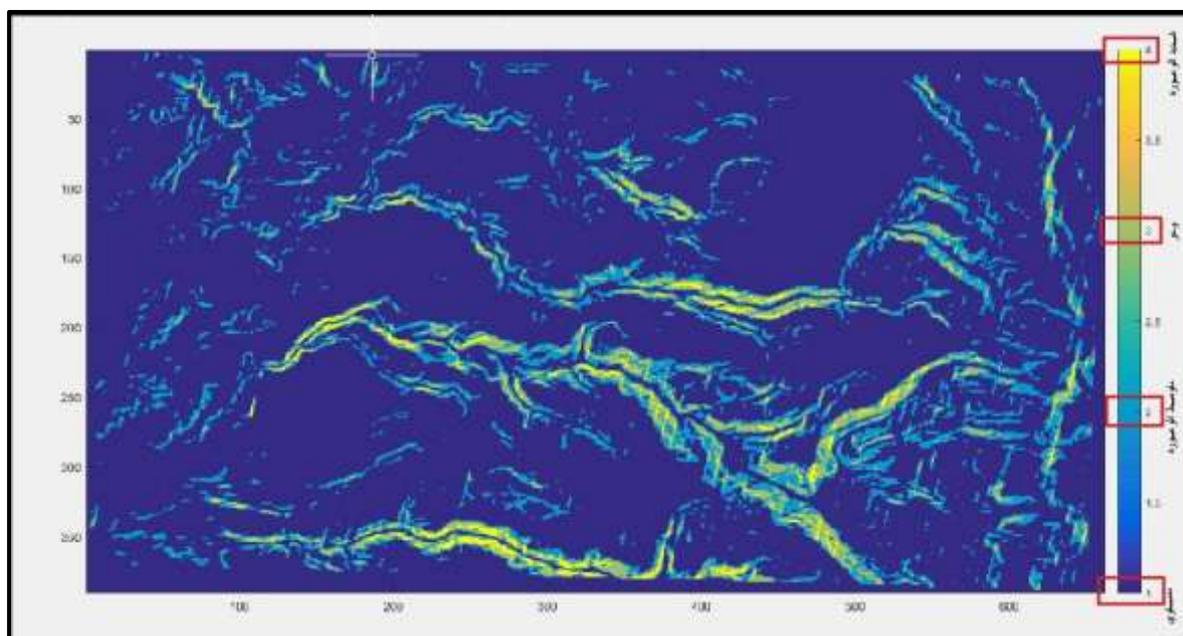
2- تطبيق خوارزمية معامل الوعورة الطبوغرافي

(1) بالانتقال إلى الخطوة الأولى من خوارزمية معامل الوعورة الطبوغرافي، يمرر البرنامج في بيئة ماتلاب نافذة متحركة عدد خلاياها 3×3 لتطبيق المعادلة (1)، وبالتالي يتم استخراج معامل الوعورة الطبوغرافي TRI، في منطقة الدراسة تراوح معامل الوعورة بين $m(35-0)$ كما هو موضح بالشكل (6).



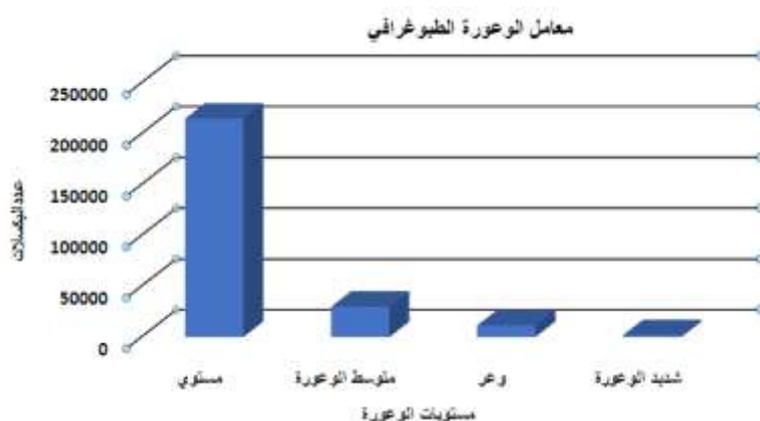
الشكل (6)، قيم معامل الوعورة الطبوغرافي

(2) بعد استخراج معامل الوعورة الطبوغرافي، أصبحت المنطقة جاهزة للتصنيف وفقاً للجدول (1)، حيث يوضح الشكل (7)، مستويات الوعورة الأربعة ضمن تدرج لوني.



الشكل (7)، تصنيف معامل الوعورة الطبوغرافي

(3) وفقاً للشكل (8)، تبين أن عدد بكسلات المستوى الأول 214755، وعدد بكسلات المستوى الثاني متوسط الوعورة 29799، وعدد بكسلات المستوى الثالث الوعر 11347، وعدد بكسلات المستوى الرابع شديد الوعورة 1869 كما هو موضح بالجدول (3) مع النسبة التي يمثلها كل مستوى وفقاً لعدد بكسلاته، حيث تبين أن نسبة بكسلات المستوى الأول 83.31% ونسبة بكسلات المستوى الثاني 11.56% ونسبة بكسلات المستوى الثالث 4.40% ونسبة بكسلات المستوى الرابع 0.73% .

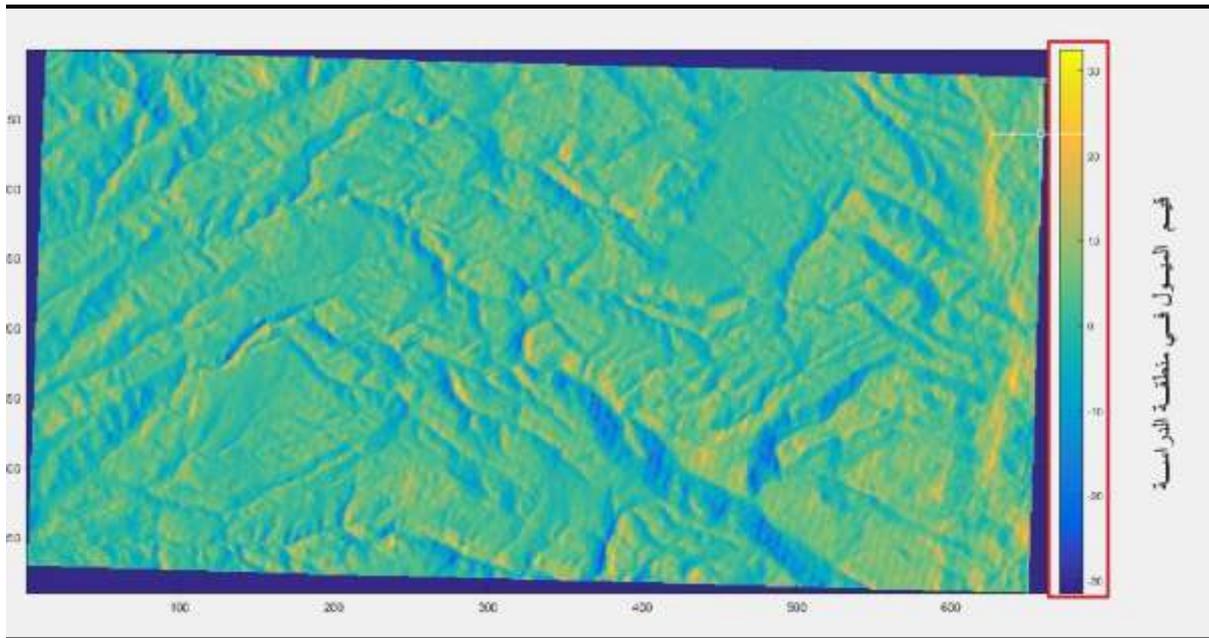


الشكل (8)، مخطط يبين مستويات الوعورة مع عدد البكسلات لكل مستوى

الجدول (3)، عدد البيكسلات مع نسبها بمنطقة الدراسة		
مستوى الوعورة	عدد البيكسلات	نسبة كل مستوى وفقاً لعدد بيكسلاته
مستوي	214755	83.31%
متوسط الوعورة	29799	11.56%
وعر	11347	4.40%
شديد الوعورة	1869	0.73%
مجموع البيكسلات	257770	100%

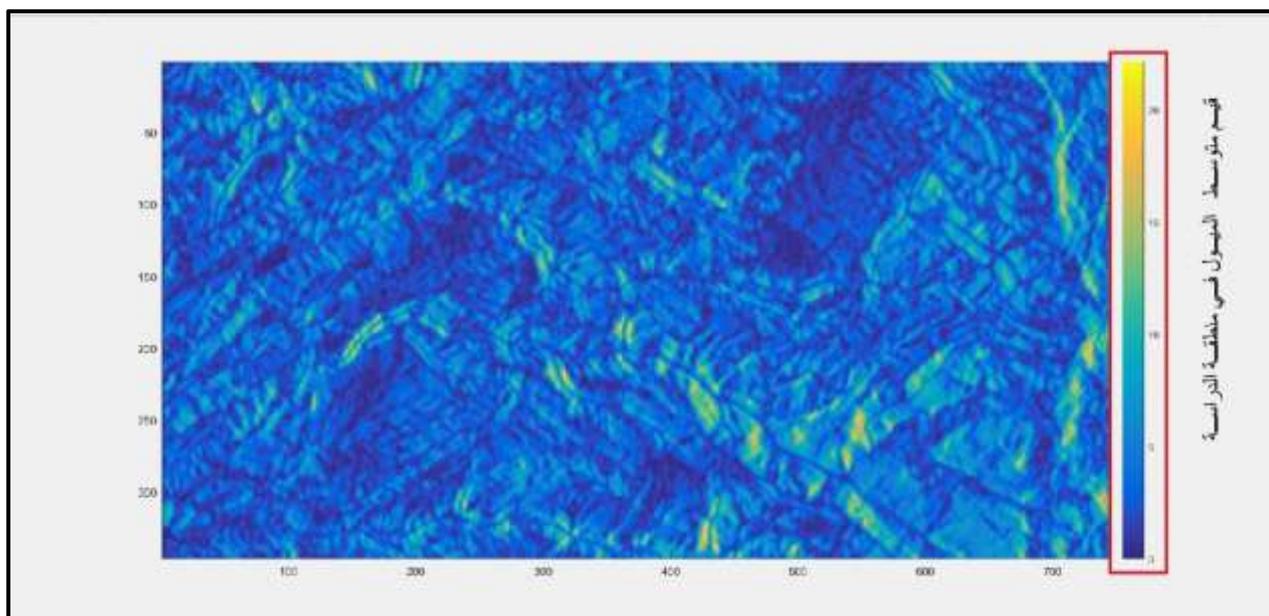
3-تطبيق خوارزمية معامل متوسط الميول

(1) بالانتقال إلى الخطوة الأولى من خوارزمية معامل متوسط الميول، يمرر البرنامج المعد في بيئة ماتلاب نافذة متحركة عدد خلاياها $3*3$ لتطبيق المعادلة (2)، وبالتالي يتم استخلاص ميول منطقة الدراسة من نموذج الارتفاعات الرقمية، في منطقة الدراسة تراوح معامل الوعورة بين (0-35) درجة كما هو موضح بالشكل (9).



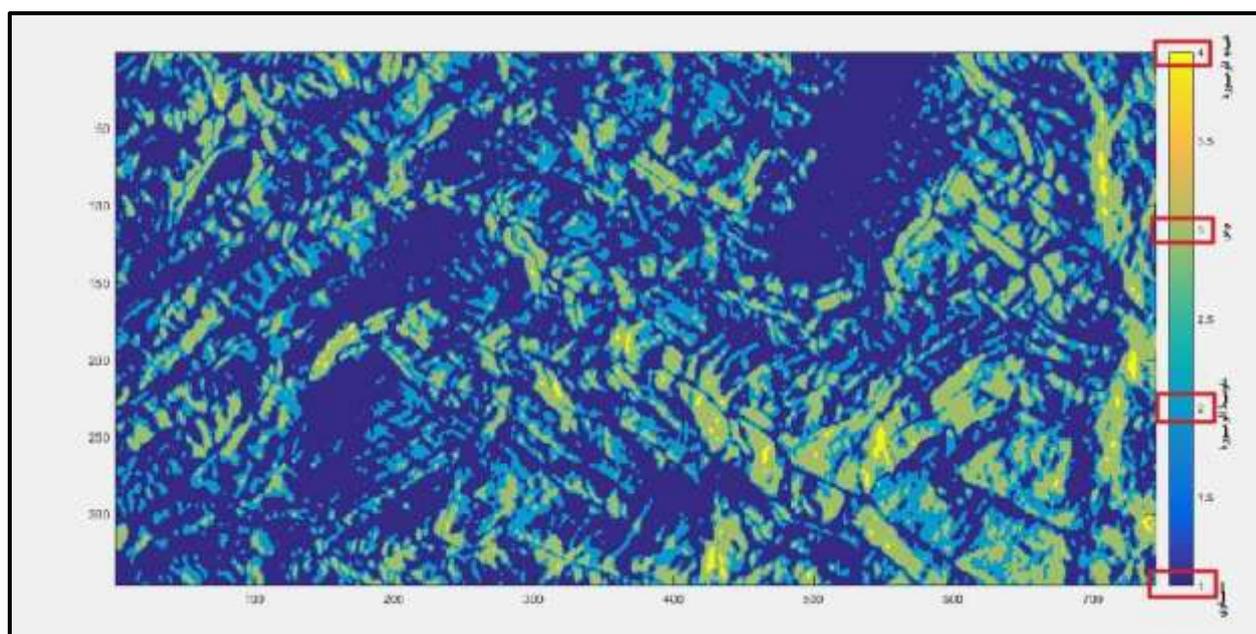
الشكل (9)، مخطط يبين قيم الميول في منطقة الدراسة

(2) بعد الحصول على الميول وتحويلها للقيمة المطلقة، يمرر ماتلاب نافذة متحركة $3*3$ لتطبيق المعادلة (3)، بهذه الخطوة نكون أوجدنا معامل متوسط الميول في منطقة الدراسة كما هو موضح بالشكل (10) حيث تراوحت قيمه من (0-25) درجة.



الشكل (10)، مخطط يبين قيم متوسط الميول في منطقة الدراسة

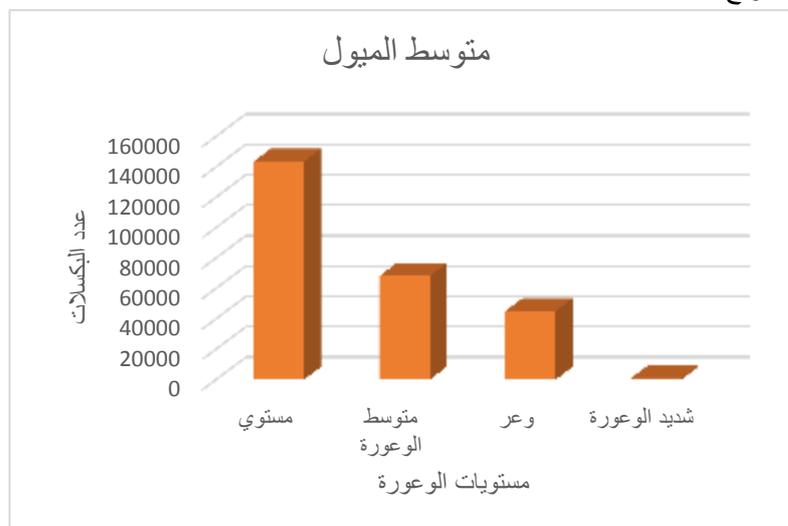
(3) بعد استخراج معامل متوسط الميول، أصبحت المنطقة جاهزة للتصنيف وفقاً للجدول (1)، حيث يوضح الشكل (11)، مستويات الوعرة الأربعة ضمن تدرج لوني.



الشكل (11)، مخطط يبين تصنيف مستويات الوعرة الأربعة

(4) وفقاً للشكل (12)، تبين أن عدد بكسلات المستوي الأول 143524، وعدد بكسلات المستوي الثاني متوسط الوعرة 68177، وعدد بكسلات المستوي الثالث الوعر 45064، وعدد بكسلات المستوي الرابع شديد الوعرة 1005 كما هو موضح بالجدول (3) مع النسبة التي يمثلها كل مستوي وفقاً لعدد بكسلاته، حيث تبين أن نسبة بكسلات

المستوي الأول 55.68% وبكسلات المستوى الثاني 26.45% ونسبة بكسلات المستوى الثالث 17.48% ونسبة بكسلات المستوى الرابع 0.39%.



الشكل (12)، مخطط يبين مستويات الوعرة مع عدد البكسلات لكل مستوى

الجدول (4)، عدد البكسلات مع نسبها بمنطقة الدراسة

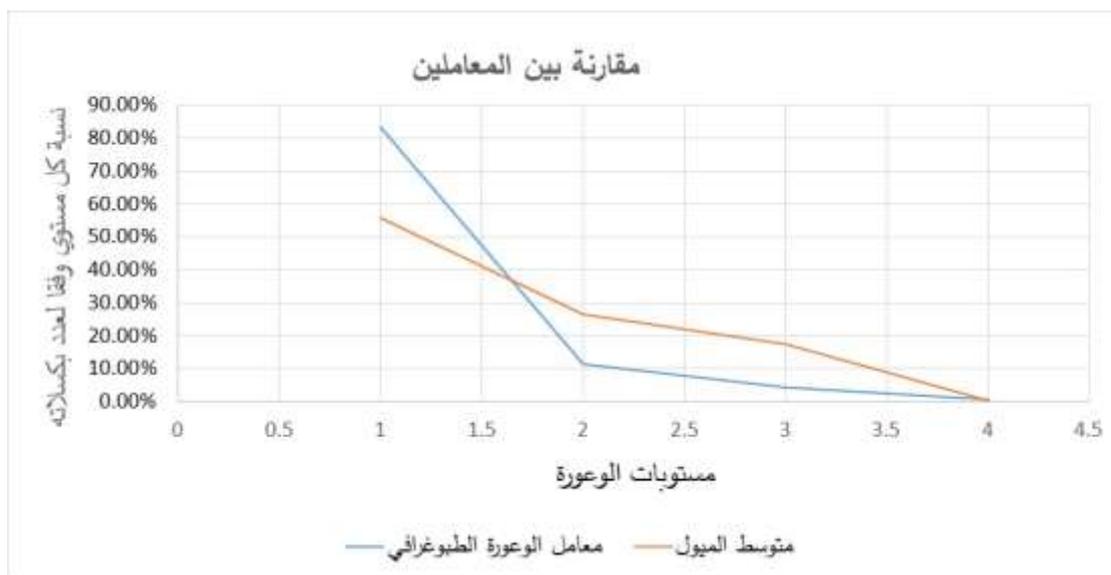
مستوى الوعرة	عدد البكسلات	نسبة مستوى وفقاً لعدد بكسلاته
مستوي	143524	55.68%
متوسط الوعرة	68177	26.45%
وعر	45064	17.48%
شديد الوعرة	1005	0.39%
مجموع البكسلات	257770	%100

4-تطبيق الانحدار الخطي على المعاملين السابقين

لإجراء المقارنة بين المعاملين السابقين نعتمد على معامل بيرسون للارتباط الخطي الموضح في المعادلة (4)، بين منحنىي نسب البكسلات لكل مستوى من مستويات الوعرة، ومستويات الوعرة الموضحة في الشكل (13).

$$rp = \frac{n * \sum x * y - \sum x * \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)} * \sqrt{(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad \text{معادلة (4)}$$

N: عدد المتغيرات. X: المتغير الأول وفي حالتنا هنا مستويات الوعرة. Y: نسب البكسلات لكل مستوى.



الشكل (13)، مخطط يبين مقارنة مستويات الوعرة مع عدد البكسلات بالنسبة لكلا المعاملين

عند تطبيق معامل برسون للارتباط الخطي على معامل الوعرة الطبوغرافي وجدنا أن قيمة الارتباط عند تطبيق المعادلة (4) هي -0.84 كما هو موضح بالجدول (5).

الجدول (5)، آلية حساب معامل برسون للارتباط الخطي لمعامل وعورة التضاريس

مستوي الوعرة (المتغير الأول X)	نسب البكسلات (المتغير الثاني Y)	$x*y$	X^2	Y^2
1	%83.31	0.8331	1	0.69405561
2	%11.56	0.2312	4	0.01336336
3	%4.4	0.132	9	0.001936
4	%0.73	0.0292	16	0.00005329
10	%100	1.2255	30	0.70940826

عند تطبيق معامل برسون للارتباط الخطي على معامل متوسط الميول وجدنا أن قيمة الارتباط عند تطبيق المعادلة (4) هي -0.97 كما هو موضح بالجدول (6).

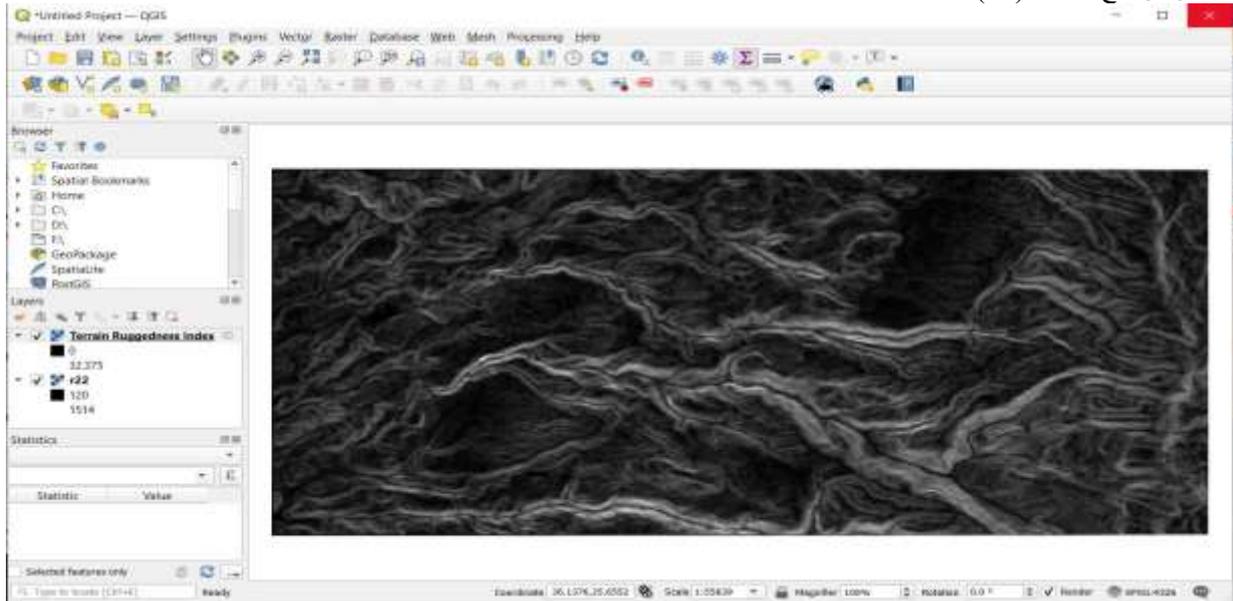
الجدول (6)، آلية حساب معامل برسون للارتباط الخطي لمعامل متوسط الميول

مستوي الوعرة (المتغير الأول X)	نسب البكسلات (المتغير الثاني Y)	$x*y$	X^2	Y^2
1	55.68%	0.5568	1	0.310026
2	26.45%	0.529	4	0.06996
3	17.48%	0.5244	9	0.030555
4	0.39%	0.0156	16	1.52E-05
10	%100	1.6258	30	0.410557

بالمقارنة بين المعاملين السابقين استناداً إلى الجدولين (5) (6)، نجد أن معامل متوسط الميول ذو انحدار خطي أفضل أي القفزات بين المستويات تدريجية ولا يملك أي تحيز لأي من المستويات السابقة، على عكس معامل الوعرة الطبوغرافية المتحيز للمستويين الأول والأخير (المستوي وشديد الوعرة) مقارنة مع المستويات الوسطية. وبالتالي نجد أن معامل الوعرة الطبوغرافي يعطي تمثيلاً أفضل للمستويين (المستوي، شديد الوعرة)، بينما معامل متوسط الميول يعطي تمثيلاً أفضل للمناطق متوسطة الوعرة، والوعرة.

5- مقارنة بين معامل الوعرة الطبوغرافي المستخرج من MATLAB ومعامل الوعرة الطبوغرافي المستخدم في QGIS

بالمقارنة بين معامل الوعرة الطبوغرافي المستخدم في برنامجنا MATLAB مع معامل الوعرة الطبوغرافي المأخوذ في QGIS كما هو موضح بالشكل (14).



الشكل (14) يوضح معامل الوعرة الطبوغرافي المستخلص من QGIS

الجدول (7)، يوضح المقارنة بين البرنامجين السابقين من حيث عدد البكسلات ونسبها.

مستوى الوعرة	عدد البكسلات		نسب البكسلات	
	معامل الوعرة الطبوغرافي MATLAB	معامل الوعرة الطبوغرافي QIS	معامل الوعرة الطبوغرافي MATLAB	معامل الوعرة الطبوغرافي QIS
مستوي	214755	219104.5	83.31%	85.00%
متوسط الوعرة	29799	26550.31	11.56%	10.30%
وعر	11347	10826.34	4.40%	4.20%
شديد الوعرة	1869	1288.85	0.73%	0.50%
المجموع	257770	257770	100.00%	100.00%

يبين الجدول (7)، الفروقات في عدد البكسلات بين البرنامجين حيث حقق المستوي الأول نسبة 85% في QIS بينما حقق matlab بنسبة 83% وهو أكبر فرق بالنسبة لجميع مستويات الوعرة.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال البحث يمكن استنتاج ما يلي:

- 1- نسب المساحات التي يغطيها مستوي الوعورة الأول (83.31% بالنسبة لمعامل الوعورة الطبوغرافي و55.68% بالنسبة لمعامل متوسط الميول)، ونسب المساحات التي مستوي الوعورة الثاني (11.56% بالنسبة لمعامل الوعورة الطبوغرافي و26.45% بالنسبة لمعامل متوسط الميول)، ونسب المساحات التي مستوي الوعورة الثالث (4.4% بالنسبة لمعامل الوعورة الطبوغرافي و17.48% بالنسبة لمعامل متوسط الميول)، ونسب المساحات التي مستوي الوعورة الرابع (0.73% بالنسبة لمعامل الوعورة الطبوغرافي و0.39% بالنسبة لمعامل متوسط الميول).
- 2- قيمة الانحدار الخطي لمعامل الوعورة الطبوغرافي 0.84 ويعطي تمثيلاً أفضل للمستويين الأول والرابع (المستوي وشديد الوعورة).
- 3- قيمة الانحدار الخطي لمعامل متوسط الميول 0.94 ويعطي تمثيلاً أفضل للمستويين الثاني والثالث (متوسط الوعورة والوعر).
- 4- المقارنة لمعامل الوعورة الطبوغرافي بين MATLAB و QIS أظهرت تقارب كبير في النتائج حيث كان أكبر فرق وعورة 1.7% بالنسبة لمستوي الوعورة الأول، وأقل فرق وعورة 0.1% بالنسبة لمستوي الوعورة الثالث (وعر). كما يوصي البحث بما يلي:
 - 1- البحث عن معاملات وعورة أخرى وتصنيفها ومن ثم مقارنتها.
 - 2- تطوير واجهات برمجية تخاطبية (Gui) في بيئة الماتلاب.
 - 5- إجراء تحقيق حقلي من خلال رفع طبوغرافي وقياس حقلي للميول.
 - 6- ربط البرنامج المعد في بيئة الماتلاب ببيئة ARCGIS بحيث يمكن الاستفادة من إمكانيات برنامج ARCGIS في عمليات التحليل وإخراج النتائج.
 - 7- دراسة تأثير التحويل من صيغة DEM إلى صيغ أخرى على نوعية النموذج الرقمي للارتفاعات.

References:

- [1].Grohman C, Smith M, Ricoomimi C. Surface Roughness of Topography: A Multi-Scale Analysis of Landform Elements in Midland Valley Scotland. Proceedings of Geomorphometry[internet].2009[citedin5jan2009];2(6),1-10.Available from: <https://10.1109/TGRS.2010.2053546>
- [2].Tian I, Wang L, Koike K.Spatial statistics of surface roughness change derived from multi-scale digital elevation models. Procedia Environmental Science[internet]. 2011[cited 15 sep 2011]; 7(5): 252-257.Available from: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.07.044>
- [3].Mukherjee S, Garg R, Bhardwaj A. Evaluation of topographic index in relation to terrain roughness and DEM grid spacing.Journal of Earth System Science[internet]. 2013[cited13 june 2013];122(2):869–886.Available from: <https://10.1007/s12040-013-0292-0>
- [4].Miguel M, Serguei L, Miguel T, Rolando Q ,Gaston G. Automatic Geomorphometric Analysis for Digital Elevation Models.International Conference on Knowledge-Based and

- Intelligent Information and Engineering Systems.Springer[internet]. 2005[cited14 September 2005], 3684(9): 374–381.Available from: https://doi.org/10.1007/11554028_52
- [5]. Riely S, Deglori S, Elliot R. A terrain roughness index that quantifies topographic heterogeneity.international journal of science[internet].1999[cited in December 1999]:5(3):23-27.Available from: <https://doi.org/10.1155/2021/3311912>
- [6]. Torres M, Moreno M, Menchaca R, and Levachkine S. Making Spatial Analysis with a Distributed Geographical Information System. International Conference on Databases and Applications[internet].[cited in August 2004];406-409.Available from:];406-409.Available from: [10.1007/978-3-540-30078-6_68](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30078-6_68)
- [7]. Wu J, Yang Q, Li Y. Partitioning of Terrain Features Based on Roughness. Remot sensing[internet]. 2018[cited in5 December 2018]; 10(12),1985-2006.Available from: <https://doi.org/10.3390/rs10121985>
- [8]. Fan L,2023. Comparisons of five indices for estimating local terrain surface roughness using LiDAR point clouds.29th International Conference on Geoinformatics[internet] ,2022[cited in 2 December 2022];1-6.Available from: <https://doi.org/10.1109/Geoinformatics57846.2022.9963877>
- [9]. Bretar F, Arab-Sedze M, Champion J, Pierrot M, An advanced photogrammetric method to measure surface roughness: Application to volcanic terrains in the Piton de la Fournaise, Reunion Island. Remot sensing[internet]. 2013[cited in august 2013];135(12):1-11.Available from:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.026>