

تقييم طرق توليد خرائط تدرج الميل الأعظمي واتجاهه بالاعتماد على بيانات النموذج الارتفاعي الرقمي DEM

الملخص

تعتبر قيمة الميل الأعظمي (طول شعاع الميل) Slope واتجاهه (سمت شعاع الميل) Aspect من الثوابت الأساسية التي يمكن تقديرها انطلاقاً من النماذج الإرتفاعية للرقمية DEM، وإن بناء خرائط تدرج الميل الأعظمي وخرائط اتجاه الميل ذات الأهمية في الكثير من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافي البيئية والمدنية والزراعية، وإن العديد من الخوارزميات المستخدمة لحساب الميول تتبنى طرائق متباينة، والتي تؤدي إلى تقديرات متباينة فيما يتعلق بالعديد من الظواهر البيئية والخصائص الطبوغرافية الرئيسية والثانوية التي تعتمد على قيم الميول الأعظمية واتجاهاتها، ومن هذا المنطلق تكمن أهمية هذا البحث بإيجاد الطريقة المثلى أو الفضلى لحساب الميل الأعظمي واتجاهه وبالتالي توليد صحيح لخرائط تدرج الميل الأعظمي وخرائط اتجاه الميل انطلاقاً من النماذج الإرتفاعية للرقمية DEM.

حيث وجد من خلال الدراسة أن هناك أثر واضح لوعورة التضاريس Roughness والدقة التمييزية الأفقية Resolution على دقة نتائج طرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه، وأن الطريقة S-linear من أفضل الطرق المعتمدة لحساب الميل الأعظمي واتجاهه.

الكلمات المفتاحية: الميل الأعظمي واتجاهه، الوعورة، الدقة التمييزية الأفقية، نموذج ارتفاعي رقمي

١. مقدمة:

إن ظهور الحاسب الآلي أحدث ثورة في علوم الاتصالات عامة والعلوم الهندسية خاصة مما أدى إلى تراجع الطرق التقريبية في الحساب والتي سعى الباحثون قديماً لإيجادها وتطويرها، حيث تكفل الحاسب الآلي بالحسابات الدقيقة المضمنة والتي سيكون لها نتائج دقيقة بالقدر الكافي لتقترب من الواقع مع توفر الهائل بالجهد والوقت.

ففي مجال المساحة تراجع العمل بالمخططات الورقية عموماً ليحل مكانها النماذج الرقمية الممتدة لسطح الأرض في الفضاء الثلاثي الأبعاد والتي أمكن استثمارها في العديد من التطبيقات الهندسية والمساحية المختلفة كبناء خرائط تدرج الميل الأعظمي وخرائط اتجاه الميل والتي تستخدم في العديد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية

ونذكر منها: تحليل الرؤية المتبادلة - تحليل الجريان السطحي للمياه - تحليل خواص التربة المائية - تقييم الأراضي تحديد شبكات التصريف - تحديد الأحواض الساكنة - تصنيف المناطق وفق تعرضها لخطر الحريق. تنتج خرائط تدرج الميل واتجاهه من تطبيق طرائق رياضية مختلفة على البيانات الإرتقاعية لمنطقة ما والتي تعتبر أساس مكاني وجغرافي للخريطة وتعتبر نتاج هذه الطرق كطبقة عرضية للخريطة حيث يوصف هذا النمط من الخرائط بالخرائط العرضية الكمية ذات التدرج اللوني التي تستخدم للتعبير عن ظاهرة محددة.

٢. هدف البحث:

إجراء دراسة رياضية تحليلية لطرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه ودراسة أثر تباين وعورة التضاريس على هذه الطرق، بالإضافة لأثر تغير التباعدات الأفقية Resolution، والبحث عن الطريقة المثلى أو الفضلى لحساب الميل الأعظمي واتجاهه وبالتالي توليد صحيح لخرائط تدرج الميل الأعظمي وخرائط اتجاه الميل انطلاقاً من النماذج الإرتقاعية الرقمية DEM.

٣. طريقة البحث:

تكمن صعوبة هذا البحث بإيجاد قيم مرجعية للمقارنة لذلك تم بناء سطح رياضي في الفضاء الثلاثي الأبعاد معرفت بمعادلة رياضية محددة يمكن اشتقاقها عند أي نقطة من نقاط السطح لمعرفة قيمة ميل السطح عندها واتجاهه واعتبارهما قيم حقيقية نستخدمهما كقيم مرجعية للمقارنة. حيث تم اتخاذ المعادلة التالية معادلة مرجعية في هذا البحث وهي تمثل معادلة سطح رياضي بالفضاء الثلاثي الأبعاد

$$Z = (X^2 + Y^2) * \sin(a * \text{atan}(X/Y)) / (b * 10^5) \dots\dots\dots (1)$$

إن (a, b) معاملين يغيران من شكل السطح وتعرجاته، حيث نستطيع بناء أسطح مختلفة الوعورة تساعدنا بدراسة أثر معامل الوعورة المتمثل بمعدل تغير الميل على طرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه، حيث تمّ تمييز أربع حالات متباينة للوعورة (سهلة، منخفضة الوعورة، متوسطة الوعورة، شديدة الوعورة) للدراسة. وكذلك تمّ حساب قيم الميل الأعظمي واتجاهه بالطرق الثمانية اعتماداً على بيانات نموذج ارتفاعي رقمي DEM ناتج عن إلباس السطح الرياضي للمعادلة بشبكة (X,Y) ذات قفزات متباعدة Resolution (٤٠٠, ٢٠٠, ١٠٠, ٥٠, ٢٥) م ومعرفه القيمة الإرتفاعية Z عند كل نقطة من الشبكة احداثياتها المستوية (x, y)، ومن ثم إجراء مقارنة بين الطرق الثمانية وذلك بحساب قيم الخطأ المتوسط التربيع لقيم الميل الأعظمي واتجاهه المحسوبة.

٤. طرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه:

يستند تصميم تلك الطرائق على عمليات تحليل الجوار في شبكة النماذج الإرتفاعية الرقمية DEM، حيث تتم الحسابات من أجل كافة الخلايا بشكل متتابع، وذلك باعتبار كل خلية من خلايا الجوار هي خلية مركزية في نافذة ماتريسية متنقلة تحوي عدداً من خلايا الجوار، حيث تعتمد الخلية المركزية على قيم خلايا التي تجاورها مكانياً ضمن الشبكة الإرتفاعية المنتظمة DEM، بالإضافة إلى الطرق التي تعتمد على مبدأ إلباس الخلية المركزية وما يجاورها من الخلايا بسطح رياضي محلي.

يحسب الميل Slope والاتجاه Aspect في نقطة محددة من سطح $Z = f(x, y)$ وذلك باشتقاقه وفق

المحور X والمحور Y وفق الاتجاهين على الترتيب (W-E) و (N-S)، حيث تعطى قيم الميل كنسبة مئوية بالعلاقة:

$$\text{Slope}\% = \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$S_x = \text{tg}\theta_x \quad S_y = \text{tg}\theta_y$$

ويعطى الميل أيضاً بالدرجات كزاوية انحدار مع الأفق وفقاً للعلاقة التالية:

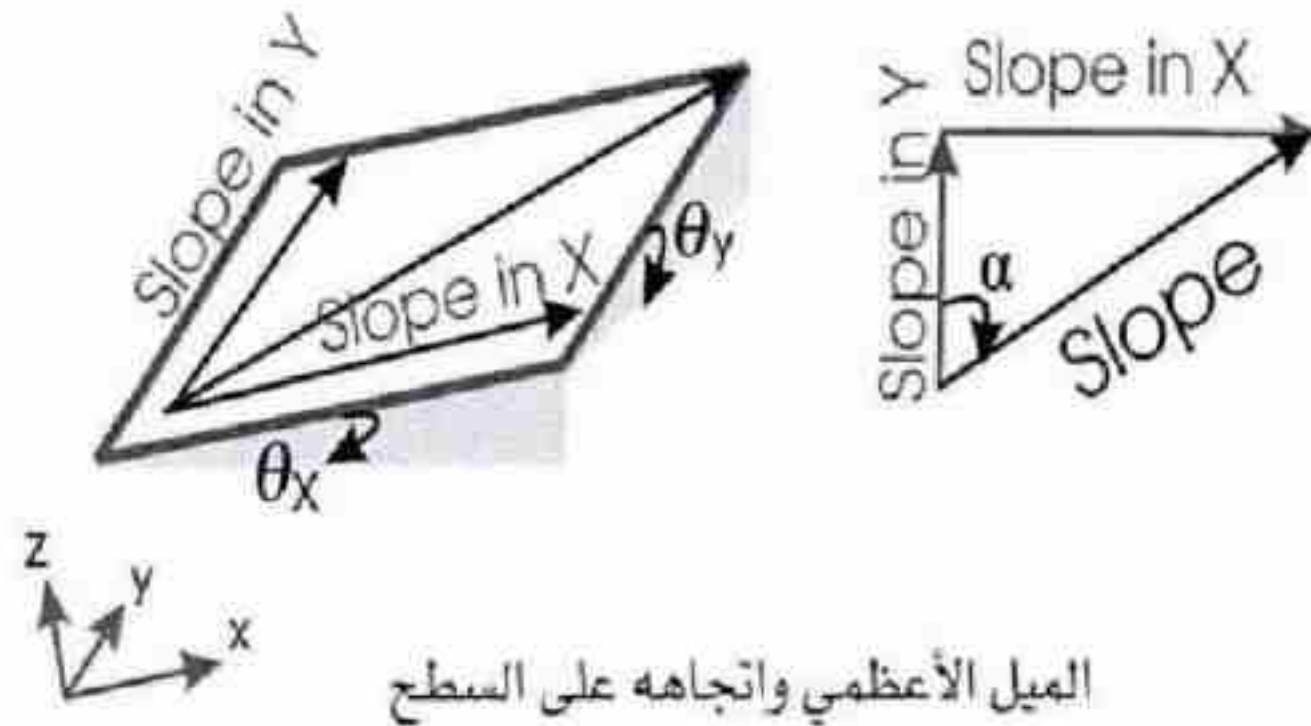
$$\text{Slope}(\text{degree}) = \arctan(\text{slope}\%) \frac{180}{\pi}$$

أما الاتجاه فيعطى بالعلاقة التالية:

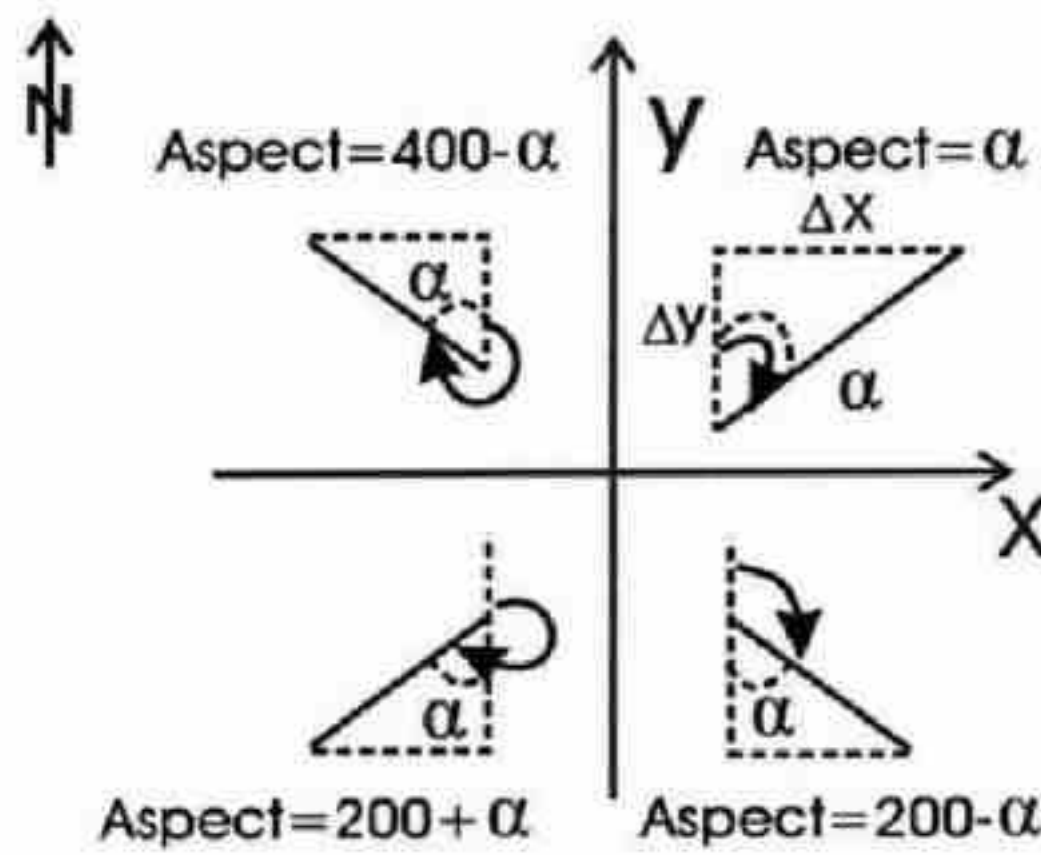
$$\text{Aspect} = a = \arctan\left\{\frac{\delta f / \delta x}{\delta f / \delta y}\right\} \dots \dots \dots (2)$$

تعتبر المعادلتين (1) و (2) المعادلتين الأوليتين لجميع طرق حساب الميل والاتجاه ومفتاح هذه الطرق حساب القيمتين $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$ حيث يتم إرجاع الاتجاه إلى الشمال الاعتباري وبحسب كسمت موجه وفق للشكل

التالي:



الميل الأعظمي واتجاهه على السطح



شكل رقم (١) يبين كيفية حساب الميل الأعظمي والاتجاه كسمت موجه

تقسم طرق حساب الميل الأعظمي والاتجاه إلى مجموعتين أساسيتين:

١.٤. المجموعة الأولى لطرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه:

في هذه المجموعة يتم تمرير نافذة ماتريسية بأبعاد (٣*٣) على جميع خلايا النموذج الإرتفاعي الرقمي DEM حيث يحسب الميل والاتجاه للخلية المركزية دون اعتبار لقيمتها الإرتفاعية وذلك وفق الطرق التالية:

- ❖ الطريقة الأولى 2FD (التفاضل المحدود ثنائي الترتيب)
- ❖ الطريقة الثانية 3FD (التفاضل المحدود ثلاثي الترتيب)
- ❖ الطريقة الثالثة 3FDWRS (التفاضل المحدود الثلاثي الترتيب والموزون بمقلوب مربع المسافة)
- ❖ الطريقة الرابعة 3FDWRD (التفاضل المحدود الثلاثي الترتيب والموزون بمقلوب المسافة)
- ❖ الطريقة الخامسة FFD (التفاضل المحدود الإطاري)

٢.٤. المجموعة الثانية لطرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه:

طرق الإلباس بسطح معادلته كثير حدود حيث يتم إلباس أو تقريب النافذة الماتريسية (٣*٣) بسطح رياضي ومن ثم بحسب مشتقي معادلة السطح $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}$ بالنسبة للمحورين X,Y ومنهما تقدر قيم الميل والاتجاه.

❖ الطريقة السابعة S-Linear:

تعتمد هذه الطريقة على معادلة سطح رياضي من الدرجة الأولى Linear بثلاث مجاهيل

$$Z_1 = a_0 + a_1x + a_2y$$

❖ الطريقة السابعة S-Quadratic:

تعتمد هذه الطريقة على معادلة سطح رياضي من الدرجة الثانية Quadratic بست مجاهيل

$$Z_2 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy$$

حيث يوجد في كل نافذة ماتريسية (٣*٣) تسع نقاط تحسب منها قيم مجاهيل السطح الرياضي وبالتالي هناك قيم فائضة لذلك تعتمد نظرية التربيعات الصغرى لحساب مجاهيل معادلة السطح.

❖ الطريقة الثامنة S-Cubic:

تستند هذه الطريقة على معادلة مشتقة من معادلة سطح رياضي من الدرجة الثالثة

$$Z_2 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + a_6xy^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2$$

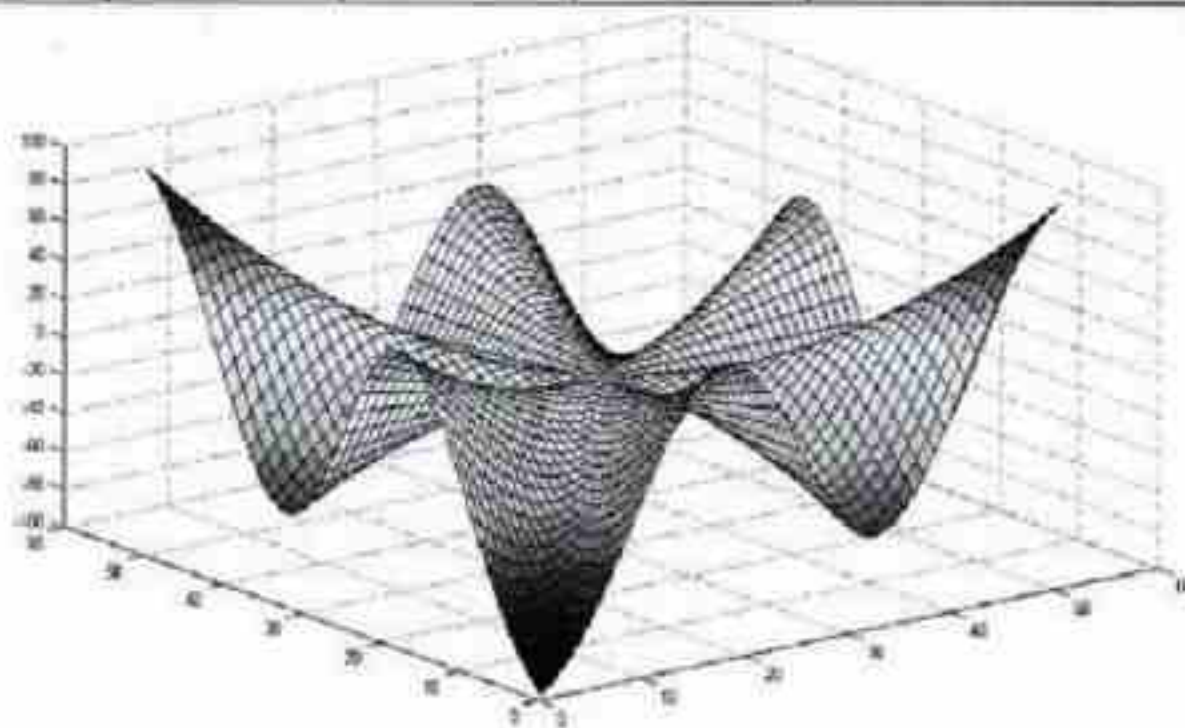
حيث تحسب قيم المجاهيل باستخدام أحد الطرق الرياضية (التربيعات الصغرى).

٥. دراسة وتحليل نتائج حساب الميل الأعظمي واتجاهه:

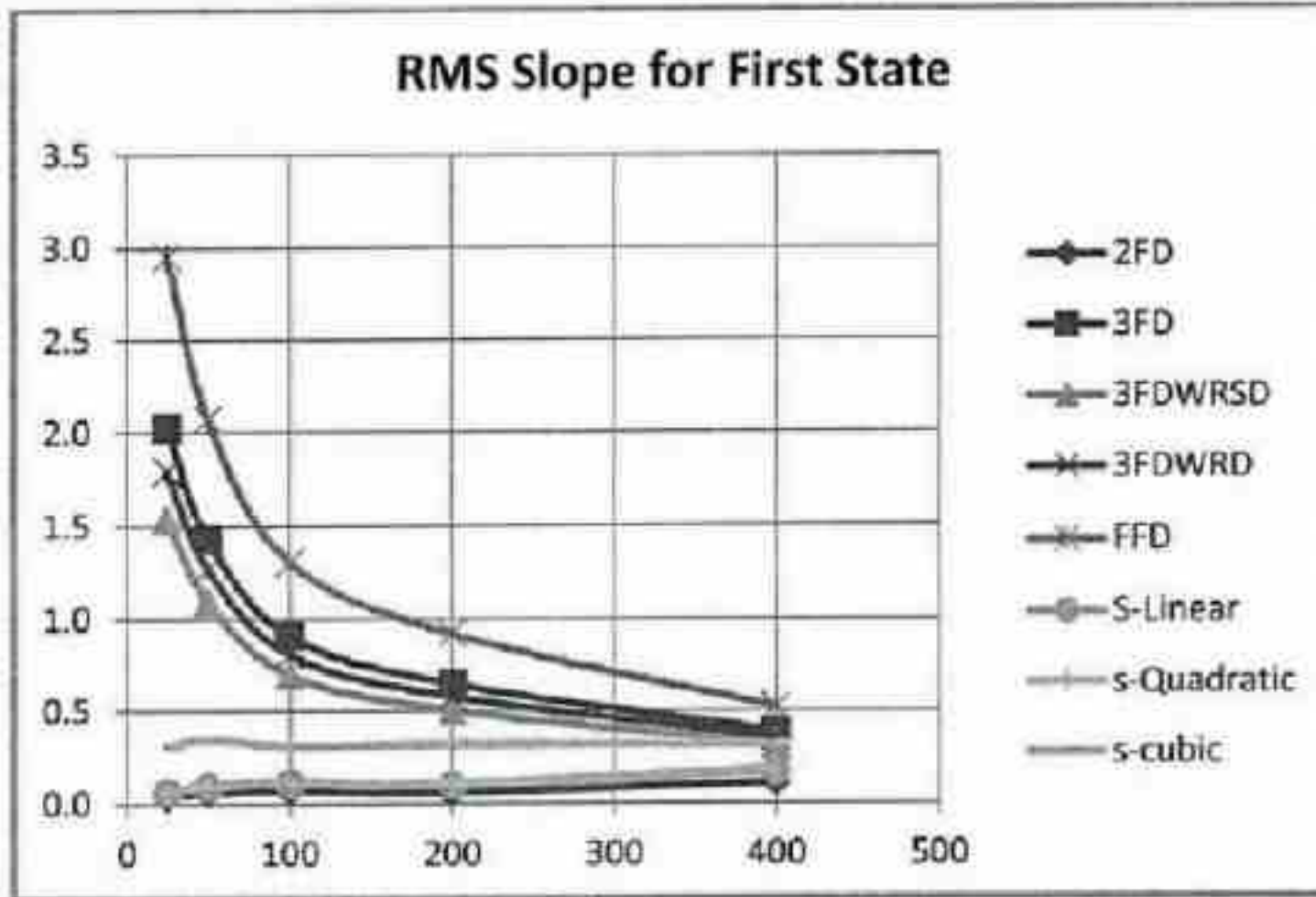
١.٥. الحالة الأولى (سهلة):

جدول رقم (١) يحوي بيانات النموذج الارتفاعي المولد من سطح رياضي يمثل للحالة الأولى (سهلة)

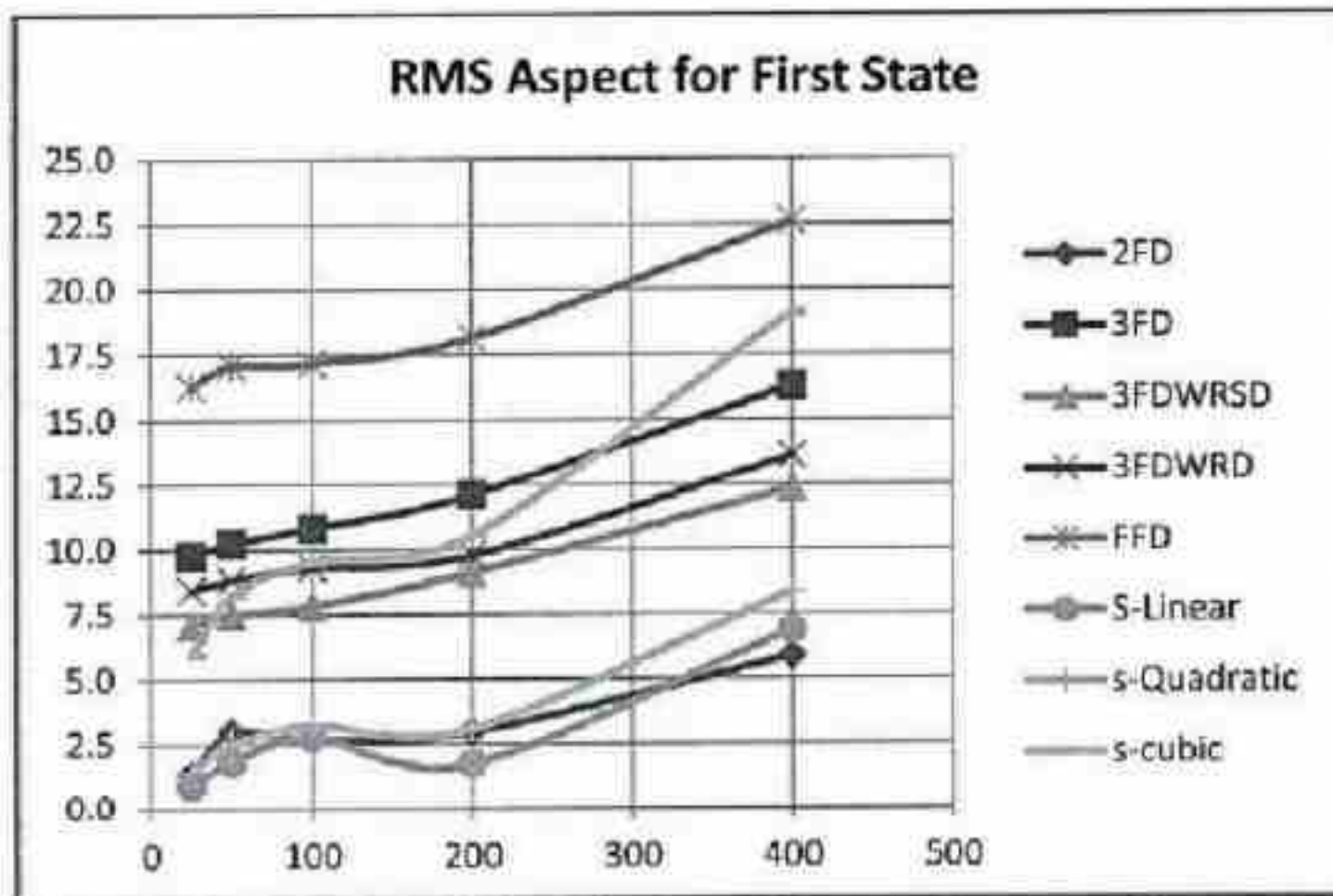
التباعد الأفقي Resolution	25	50	100	200	400
محددات الوعورة (a, b) لمعادلة السطح	10,1.2	8,1	6,0.8	4,0.8	4,0.4
معدل تغير الميل	3.62	1.76	0.70	0.25	0.08



شكل رقم (٢) يظهر نموذج ارتفاعي مولد من سطح رياضي يمثل الحالة الأولى (سهلة) بتباعد ٥٠ م



شكل رقم (٣) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للميل المحسوب بالطرق الثمانية لنموذج ارتفاع رياضي يمثل الحالة الأولى وفق التباعدات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

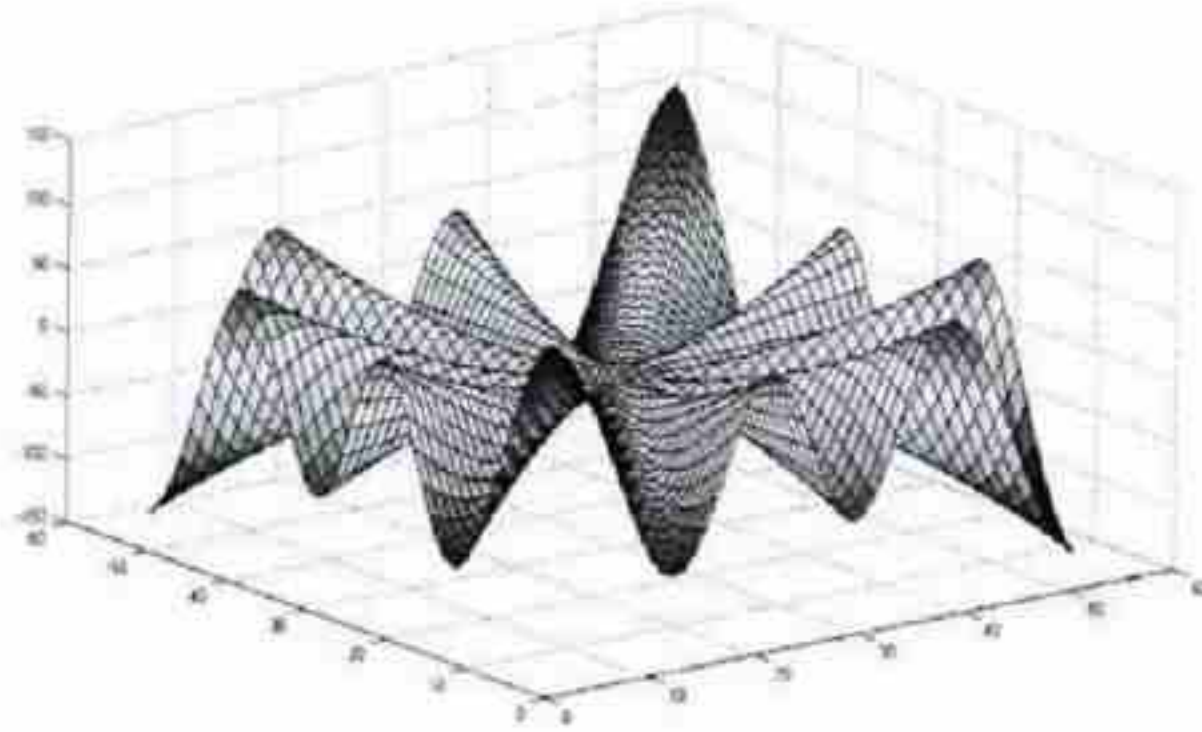


شكل رقم (٤) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للميل المحسوب بالطرق الثمانية لنموذج ارتفاع رياضي يمثل الحالة الأولى وفق التباعدات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

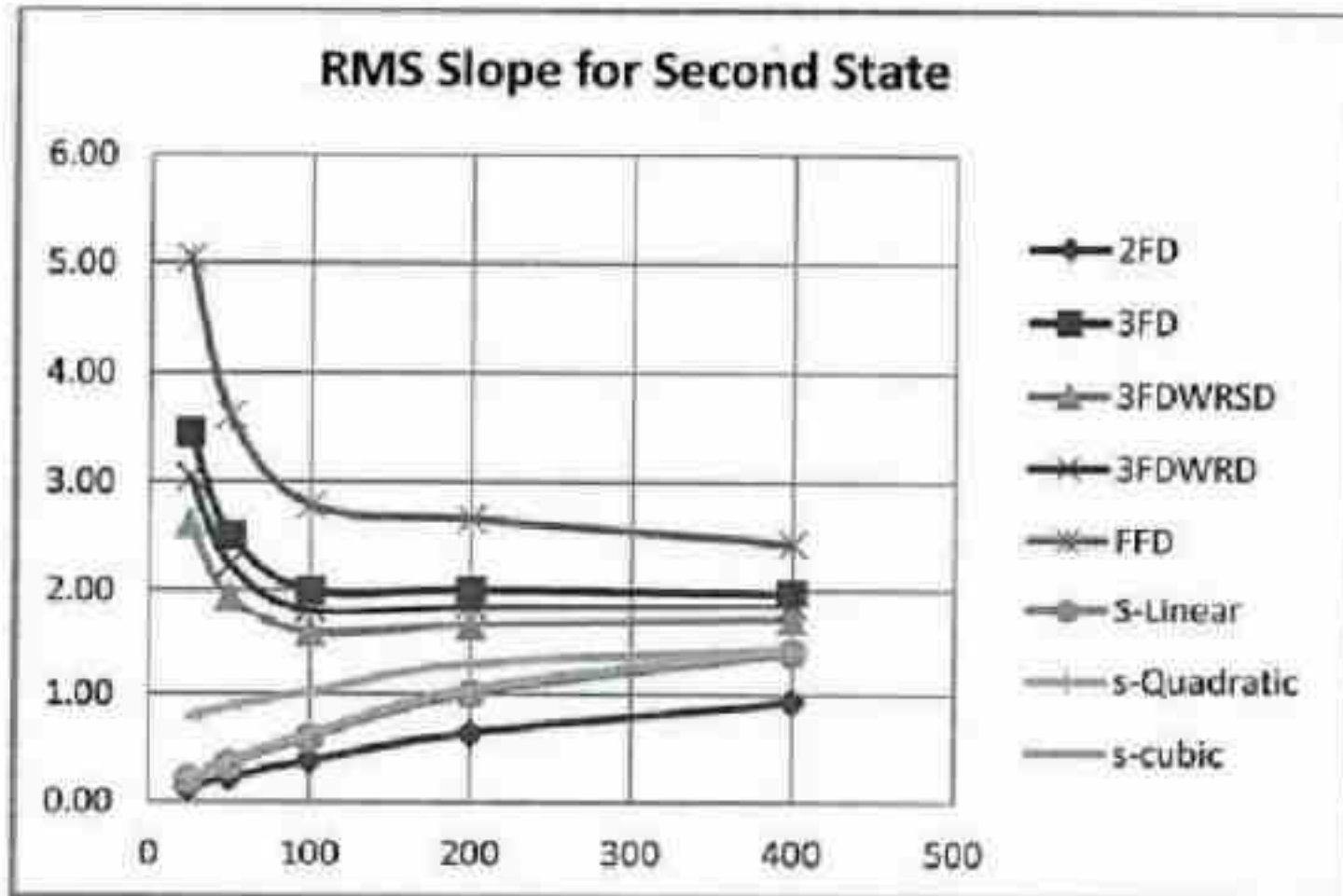
٢.٥. الحالة الثانية (منخفضة الوعورة):

جدول رقم (٢) يحوي بيانات النموذج الارتفاعي المولد من سطح رياضي يمثل للحالة الثانية (منخفضة الوعورة)

التباعد الأفقي Resolution	25	50	100	200	400
محددات الوعورة (a, b) لمعادلة السطح	14.1.6	12.1.2	10.1	8.1	6.1
معدل تغير الميل	9.16	4.67	2.31	1.08	0.39

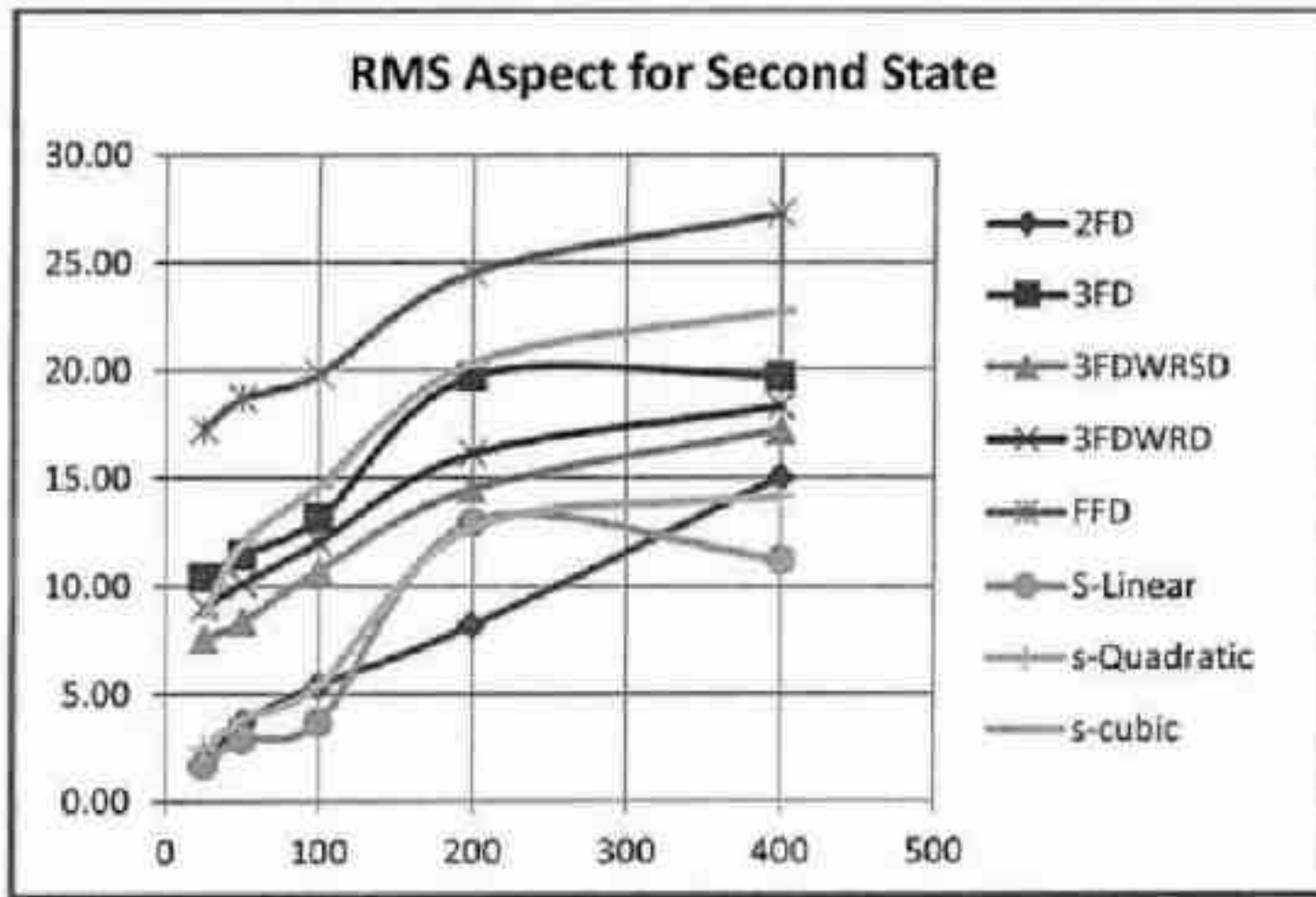


شكل رقم (٥) يظهر نموذج ارتفاعي مولد من سطح رياضي يمثل المنطقة الثانية (منخفضة الوعورة) بتباعد ١٠٠ م



شكل رقم (٦) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للميل المحسوب بالطرق التمانية لنموذج ارتفاعي رياضي يمثل الحالة الثانية وفق

التباعدات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

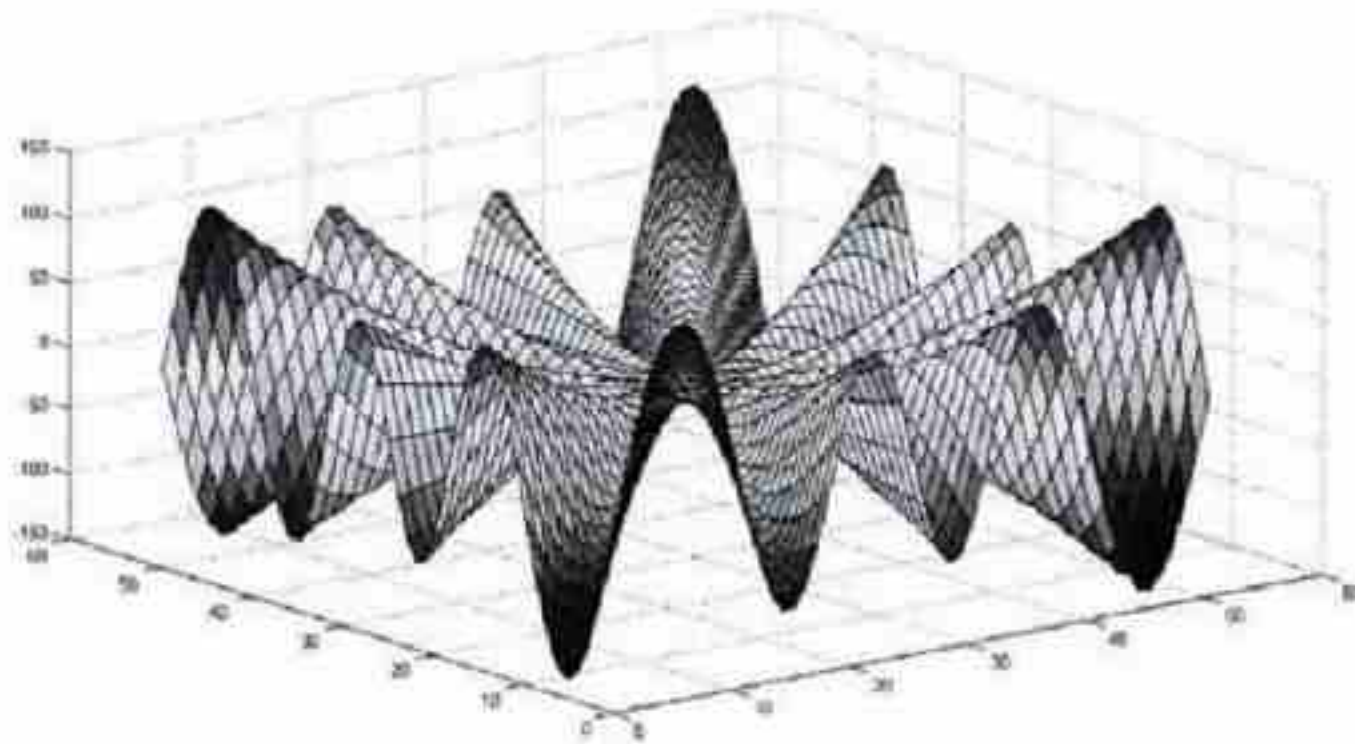


شكل رقم (٧) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للاتجاه المحسوب بالطرق الثمانية لنموذج ارتفاعي رياضي يمثل الحالة الثانية وفق التباينات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

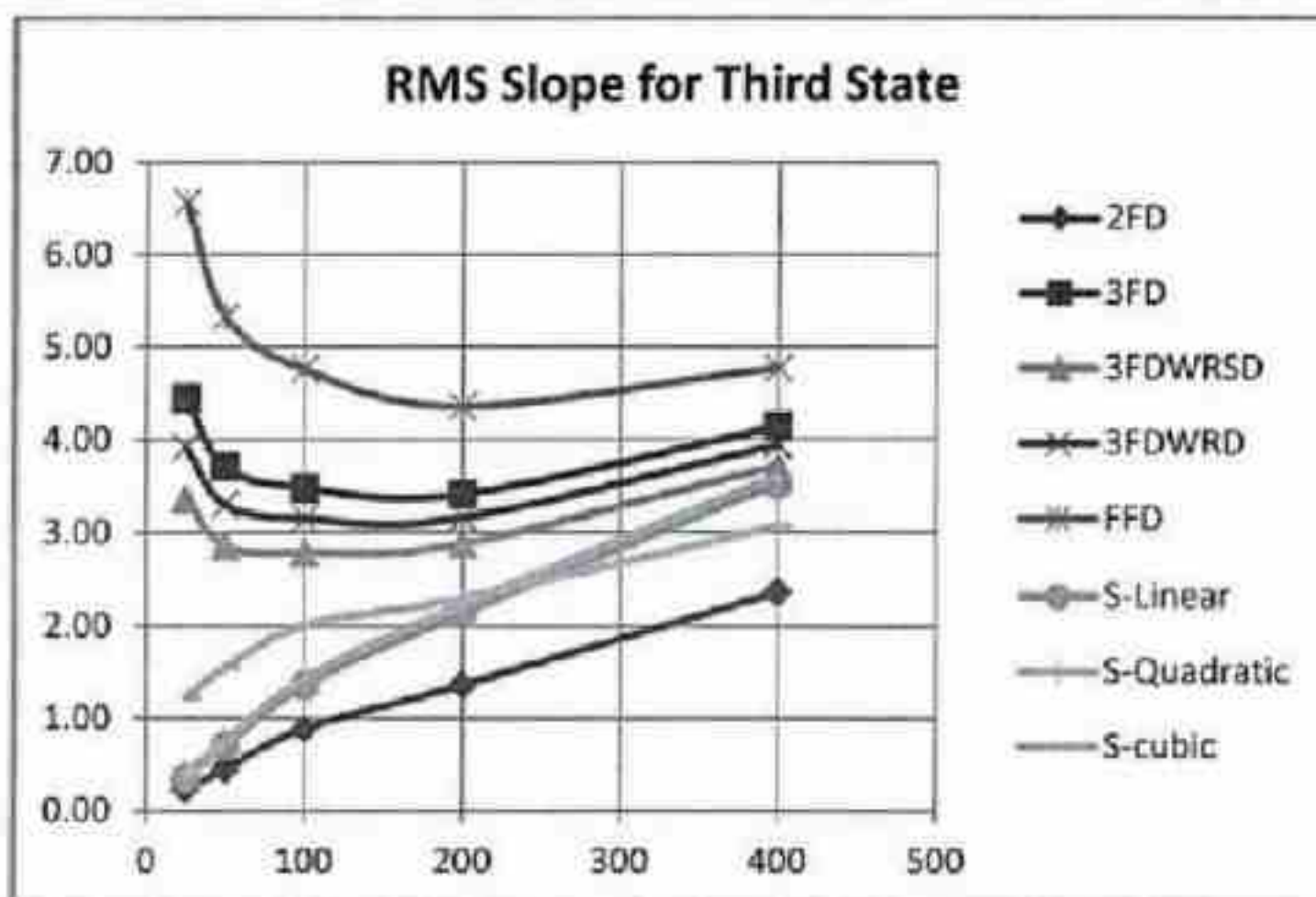
٣.٥. الحالة الثالثة (متوسطة الوعورة):

جدول رقم (٣) يحتوي بيانات النموذج الارتفاعي المولد من سطح رياضي الممثل للمنطقة الثالثة (متوسطة الوعورة)

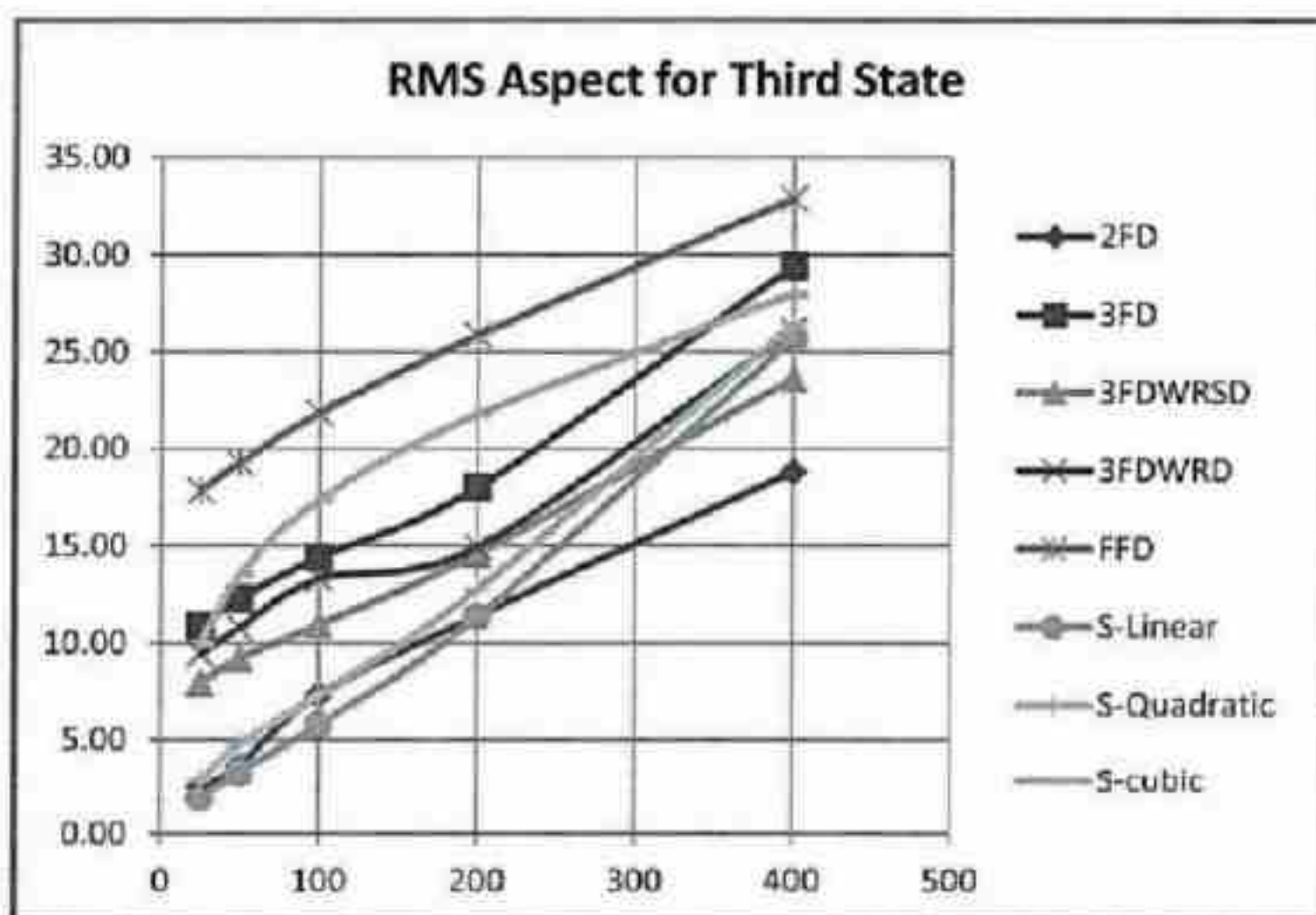
التباين الأفقي Resolution	25	50	100	200	400
محددات الوعورة (a, b) لمعادلة السطح	16,2	14,1.6	12,1.4	10,1.2	8,1.2
معدل تغير الميل	13.86	7.97	4.21	1.76	0.64



شكل رقم (٨) يظهر نموذج ارتفاعي مولد من سطح رياضي يمثل الحالة الثالثة (متوسطة الوعورة) بتباين ١٠٠



شكل رقم (٩) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للميل المحسوب بالطرق الثمانية لتمودج ارتفاعي رياضي يمثل الحالة الثالثة وفق التباعدات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

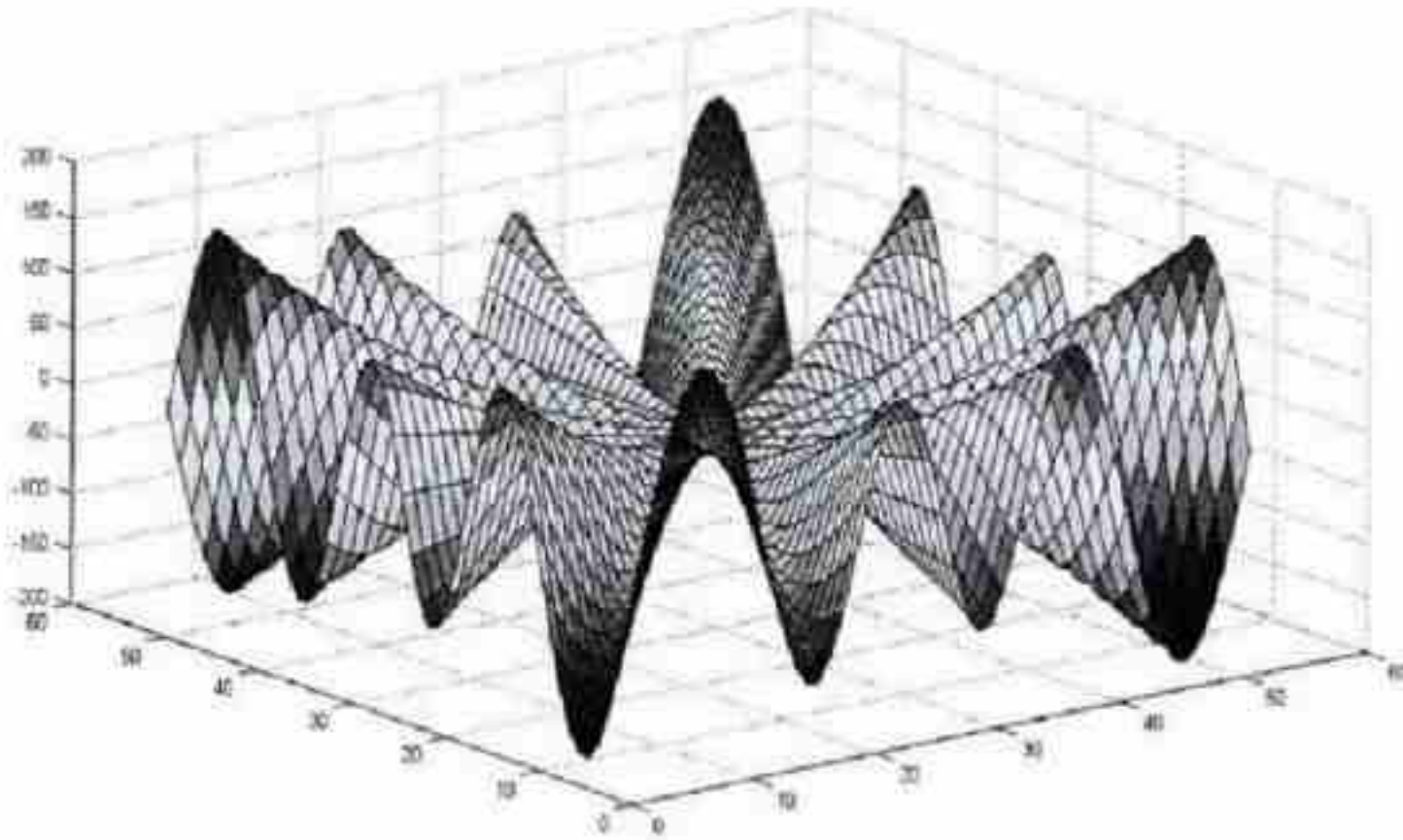


شكل رقم (١٠) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للاجاء المحسوب بالطرق الثمانية لتمودج ارتفاعي رياضي يمثل الحالة الثالثة وفق التباعدات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

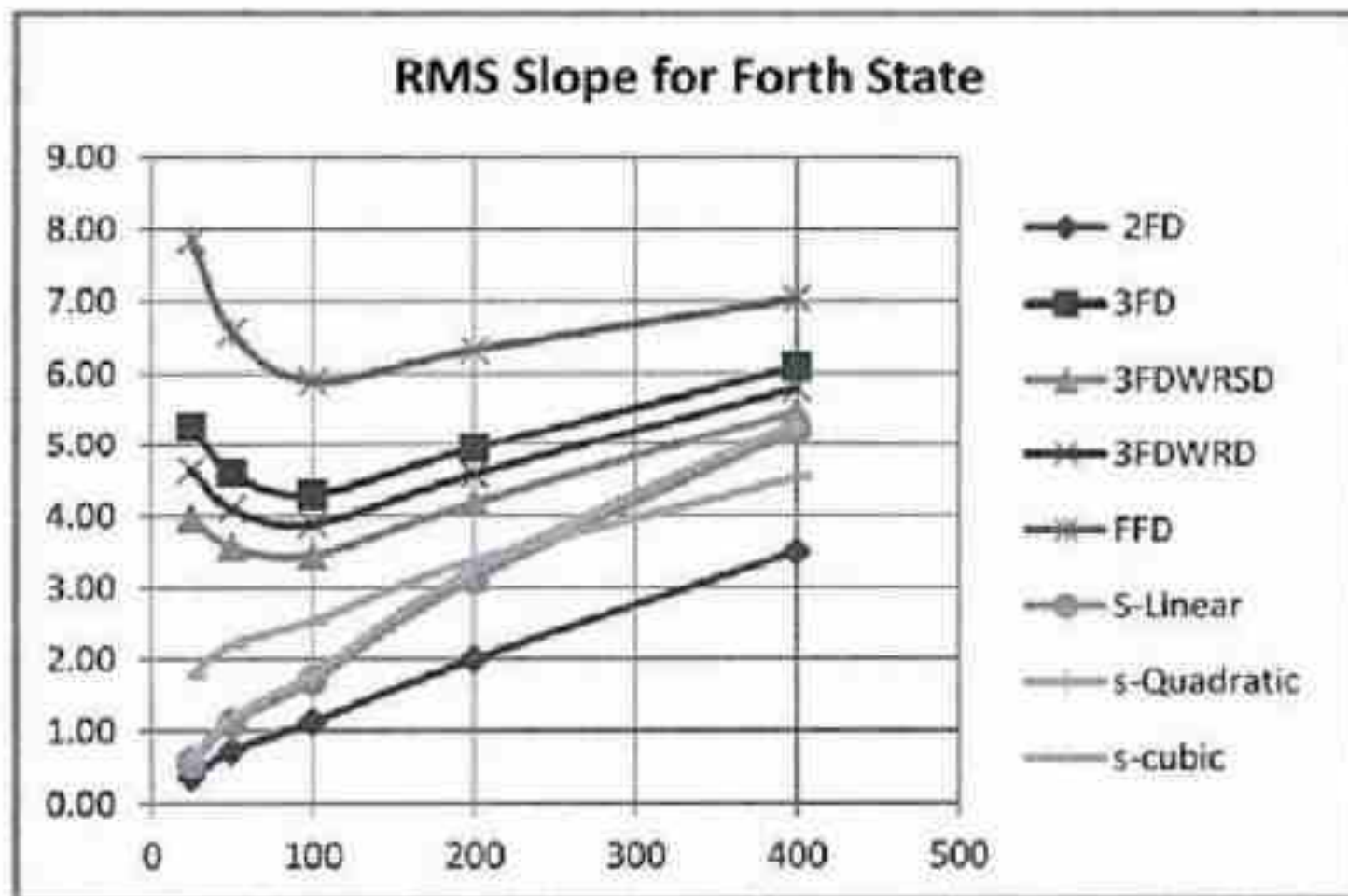
٤.٥ . الحالة الرابعة (شديدة الوعورة):

جدول رقم (٤) يحوي بيانات النموذج الارتقاعي المولد من سطح رياضي يمثل للحالة الرابعة (شديدة الوعورة)

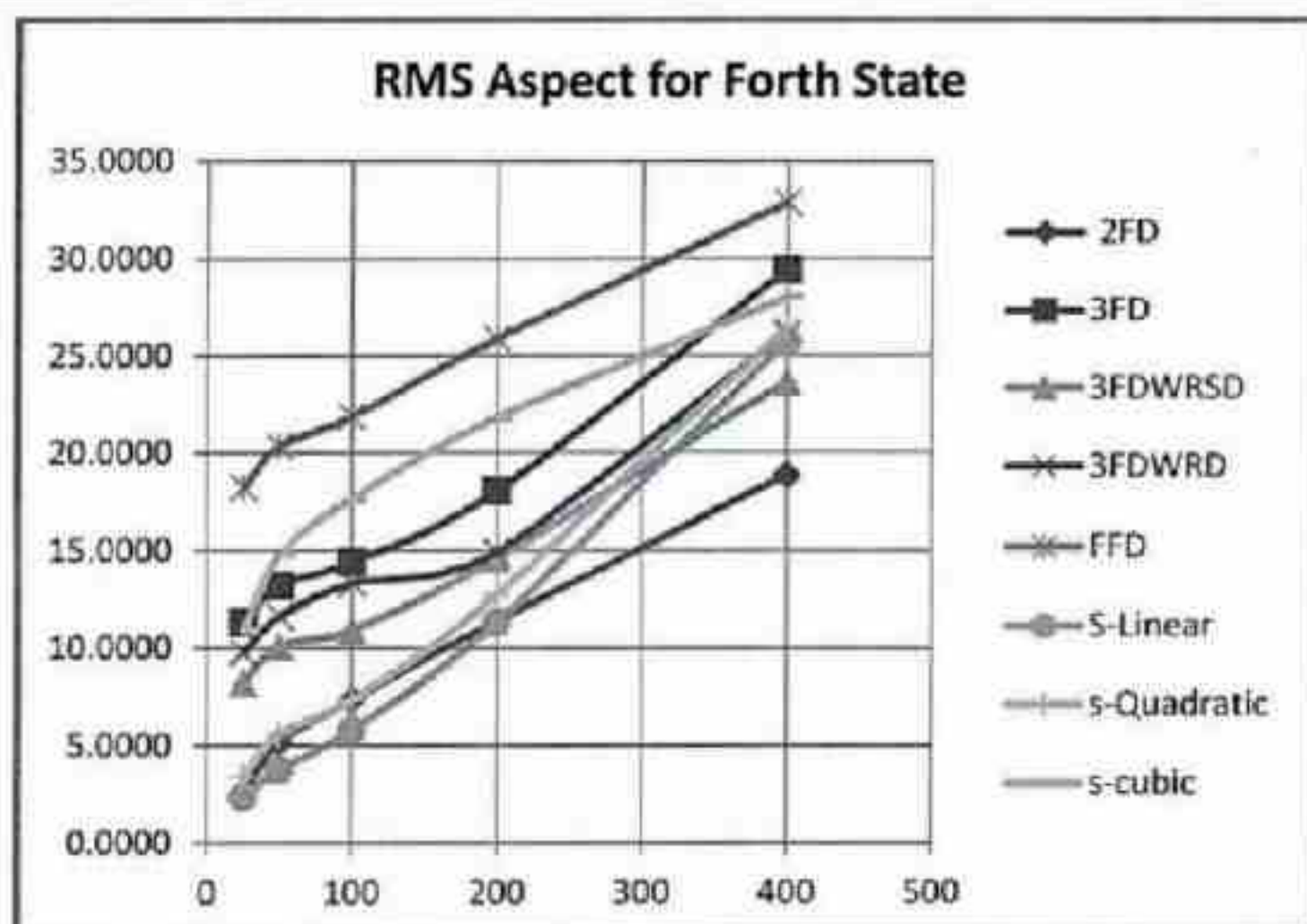
التباعد الأفقي Resolution	25	50	100	200	400
محددات الوعورة (a, b) لمعادلة السطح	18.2.4	16.1.8	12.1.8	10.1.8	8.1.8
معدل تغير الميل	19.18	10.80	5.23	2.55	0.94



شكل رقم (١١) يظهر نموذج ارتفاعي مولد من سطح رياضي يمثل الحالة الرابعة (شديدة الوعورة) بتباعد ١٠٠



شكل رقم (١٢) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للميل المحسوب بالطرق الثمانية لنموذج ارتفاعي رياضي يمثل المنطقة الثالثة وفق التباعدات (٤٠٠، ٢٠٠، ١٠٠، ٥٠، ٢٥) م



شكل رقم (١٣) يظهر مخطط بياني لقيم الخطأ المتوسط التربيع RMS للاتجاه المحسوب بالطرق الثمانية لنموذج ارتفاعي رياضي يمثل الحالة الرابعة وفق التباعدات (٢٥، ٥٠، ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠) م

٦. مناقشة النتائج:

١- نلاحظ أن المنهجية المتبعة في المقارنة تدعم طرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه التي تعتمد على فكرة الباس سطح الأرض الطبيعية ضمن النافذة الماتريسية (٣*٣) بسطح معرف بمعادلة رياضية ومن ثم اشتقاقها وفق المحور X والمحور Y للحصول على قيم الميل الأعظمي والاتجاه، أي تدعم الطرق الثلاثة (S-Cubic & S-Quadratic & S-Linear)، وكما أنها تدعم الطريقة 2FD كونها تعتمد في مبادئها على القيم الارتفاعية لخلايا المحورين (X,Y) فقط لحساب قيم الميل الأعظمي والاتجاه وتجاهل بقية القيم الارتفاعية لخلايا النافذة الماتريسية (٣*٣).

٢- نلاحظ نتائج متباينة وسلبية للطريقة S-Cubic مع زيادة وعورة المنطقة والتباعد الأفقي والذي يفسر بصعوبة الباس سطح الأرض الطبيعية ضمن نافذة ماتريسية (٣*٣) بسطح رياضي معرف بمعادلة مشتقة من معادلة سطح رياضي من الدرجة الثالثة وما يرافقها من صعوبة حساب بارومترياتها التسعة ومدى دقة حسابها، بالإضافة للوقت الكبير التي تستغرقه العمليات الحسابية مقارنة ببقية الطرق.

٣- نلاحظ نتائج سلبية للطريقة (FFD) فمبادئها يختلف عن مبادئ بقية الطرق، حيث تعتمد على قيم الخلايا المحيطة للنافذة الماتريسية التي تقع على المحورين الثانويين دون اعتبار لقيمة الخلية المركزية وأهمية المحاور الرئيسية للنافذة الماتريسية.

٤- نلاحظ إمكانية وضع الطرق الثلاثة (3FDWRSD & 3FD & 3FDWRD) في زمرة واحدة، فقد أعطت نتائج متقاربة ومتوافقة في جميع التباعدات ومختلف حالات الوعورة من أجل حساب الميل الأعظمي

واتجاهه معاً، فهي تعتمد مبدأ واحد، ونقطة ضعفها أنها تتجاوز قيمة الخلية المركزية للنافذة المانتريسية على أهميتها، وقد سجلت الطريقة 3FDWRSD نتائج أفضل من الطريقتين (3FD & 3FDWRD).

٥- نلاحظ تشابه وتقارب الطريقتين (S-Linear & S-Quadratic) وتوافق نتائجهما من أجل جميع التباعدات ومختلف حالات الوعورة، مع أفضلية للطريقة S-Linear على الطريقة S-Quadratic وأفضليتها على بقية الطرق.

٦- نلاحظ ظهور أثر اختلاف التباعدات (Resolution) على حساب الاتجاه، حيث تتناقص دقة حساب الاتجاه (تزداد قيمة الخطأ المتوسط التربيع) تدريجياً مع ازدياد التباعد، ولا أثر واضح على حساب الميل.

٧- نلاحظ ظهور أثر اختلاف الوعورة على حساب الميل حيث تتباين نتائج الطرق وتختلف كلما زادت الوعورة حيث تزداد وتتباين قيم الخطأ المتوسط التربيع، ويتجلى أثر الوعورة على حساب الاتجاه بازدياد قيمة الأخطاء بالنسبة لجميع الطرق وبشكل متوافق.

٧. التوصيات والمقترحات:

- اعتماد الطريقة S-Linear كأحد أهم وأفضل طرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه، واعتمادها في البرامج الهندسية ذات الصلة في عملية توليد خرائط تدرج الميل الأعظمي واتجاهه.
- دراسة أعمق لطرق حساب الميل الأعظمي واتجاهه على بيانات حقيقية لتضاريس الأرض الطبيعية، والبحث عن قيم حقيقية للميل والاتجاه واعتمادها قيم مرجعية للمقارنة.

٨. المراجع:

١.٨. المراجع العربية:

- ١- جزماتي سامح، ١٩٩٣ - الإحصاء والأخطاء (١، ٢). منشورات جامعة حلب.
- ٢- جزماتي سامح، مقدسي سامي، ٢٠٠٠ - أنظمة المعلومات الجغرافية GIS. دار الشرق العربي، بيروت.
- ٣- خلف حسين الدليمي - الجيومورفولوجيا التطبيقية. الأهلية للنشر والتوزيع، عمان.
- ٤- كامل عبد الله، ٢٠١٠ - دراسة المعايير النوعية للنماذج التضاريسية الرقمية وطرائق ملاءمتها للنمذجة الهيدروغرافية في نظم المعلومات الجغرافية. أطروحة دكتوراه، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب.

٢.٨. المراجع الأجنبية:

- 5- Chu T.H., Tsai T.H., 1995 - **Comparison of accuracy and algorithms of slope and aspect measures from DEM.**
- 6- Li Z., Zhu Q., 2000 - **Digital Elevation Models.** Wuhan Science and Technology University of Surveying and Mapping Press, Wuhan, China (in Chinese).
- 7- Unwin D., 1981- **Introductory Spatial Analysis.** Methuen, London and New York.
- 8- Zhilin L., Qing Z., and Chris G., 2005- **Digital terrain modeling: principles and methodology.** Boca Raton London New York Washington, D.C.
- 9- Zevenbergen L.W., Thorne C.R., 1987 - **Quantitative analysis of land surface topography.** Earth Surface Processes and Landforms.
- 10- Zhou Q., Liu X., 2003- **The accuracy assessment on algorithms that derive slope and aspect from DEM.**

Abstract

The value of the Slope (length beam slope) and Aspect (azimuth beam slope) is the fundamental constants that can be estimated from the Digital Elevation Models DEM, indeed building slope and Aspect maps is an importance in many applications of geographic information systems environmental, civil and agricultural, whereas many of the algorithms used to calculate the Slope adopt several methods, that lead to varying estimates with respect to many of the environmental phenomena and topographic features major and minor, which depends on the values of Slope and Aspect, and this premise lies the importance of this research to find the best way to calculate the slope and thus generate true for Slope and Aspect maps from Digital Elevation Models DEM.

It was found through the study that there is a clear impact to the rough terrain and precision discriminatory Horizontal (Resolution) on the accuracy of the results of methods of calculating the Slope and Aspect, and that the S-linear way of the best methods adopted to calculate the Slope and Aspect.

Key word: Slope, Aspect, Roughness, Resolution and Digital Elevation Model