

## اختبار دقة نماذج الارتفاعات الرقمية في دراسة منخفضات الإذابة بهضبة المعازة الجيرية بالصحراء الشرقية في مصر

هاجر محمود زكي محمود (\*)

### الملخص

تهدف الدراسة الحالية لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية في قياس ابعاد منخفضات الإذابة والخروج بمؤشرات تساعد في فهم طبيعة ونشأة المنخفضات داخل الصخور الجيرية في هضبة المعازة؛ حيث لوحظ من خلال المرئيات الفضائية والصور الجوية انتشار منخفضات الإذابة على مساحات واسعة داخل هضبة المعازة، وتقدم الدراسة الحالية طرق ايسط في استخراج هذه البيانات عن طريق نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM). وبذلك تسهل نظم المعلومات الجغرافية على الباحثين الحصول على البيانات من خلال نموذج ارتفاعات مجاني متاح من خلال الشبكة العنكبوتية، وهي بذلك توفر الوقت والجهد عن الطرق التقليدية في القياس مثل القياس الميداني. وقد قدمت الدراسة الحالية طرق للمقارنة بين نماذج الارتفاعات الرقمية المختلفة، للخروج بأدق نموذج يمكن الاعتماد عليه كبديل للقياسات الميدانية. وقد ناقشت الدراسة الحالية عدد من المؤشرات الخاصة بمنخفضات الإذابة، وقد تم تقسيم هذه المؤشرات لعدد من المجموعات أهمها: المؤشرات الخطية، المؤشرات المساحية، والمؤشرات السطحية، ومؤشرات الارتفاع، ومؤشرات الأبعاد، بالإضافة الي العلاقات الارتباطية بين كل مؤشر بالمؤشرات الأخرى. وتم تناو في النهاية بعض الاشكال المرتبطة بمنخفضات الإذابة من عقد صخرية وتربة حمراء وغيرها.

**كلمات مفتاحية:** كارست، دولين، نظم المعلومات الجغرافية، نموذج ارتفاعات رقمي.

(\*) هذا البحث مستل من رسالة الماجستير الخاصة بالباحثة، وهي بعنوان: [جيومورفولوجية الكهوف والكارست بهضبة المعازة الجيرية من جبل طارف جنوباً إلى وادي الأحيوة شمالاً]، وتحت إشراف: أ.د. محمود أحمد حجاب - كلية الآداب - جامعة سوهاج & أ.د. أشرف أبو الفتوح مصطفى - كلية الآداب - جامعة السويس

## المقدمة

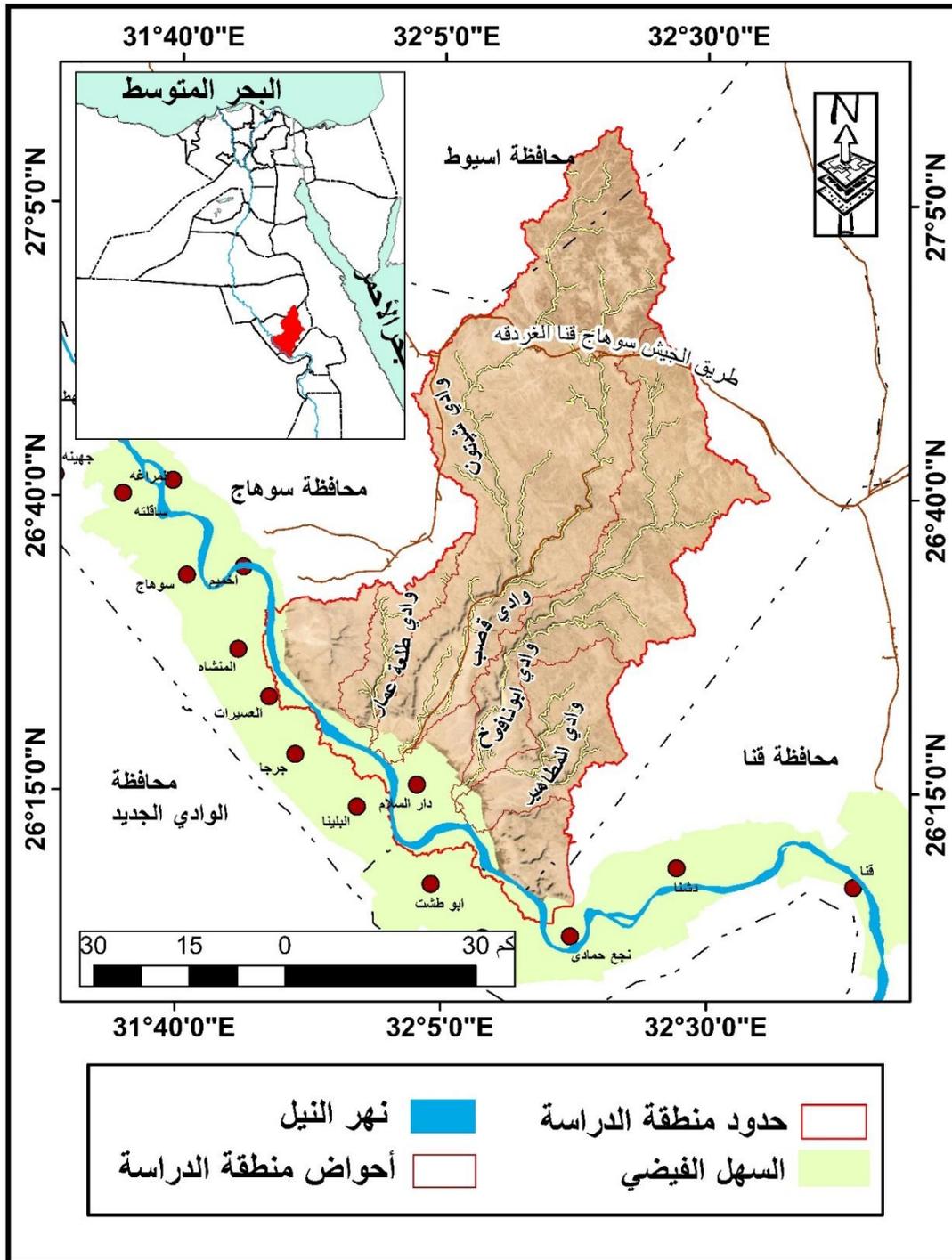
أحدثت الإنجازات السريعة في تكنولوجيا الكمبيوتر ثورة في الطريقة التي نتواصل بها ونتائج اعمالنا، وبشكل خاص نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وعلى الرغم من استخدام تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في تطبيقات الجغرافية الطبيعية منذ عقود من الزمن، إلا أن استخدامها في دراسات الكارست يعتبر حديث نسبياً. يعتبر (GIS) مجال يجمع بين المعلومات الجغرافية والتقنيات المتعددة التخصصات التي تزيد من كفاءة وفعالية إدارة موارد الأراضي، حيث عرفته شركة ESRI بأنه نظام لإدارة وتحليل وعرض المعرفة الجغرافية باستخدام سلسلة من مجموعات المعلومات، مثل الخرائط والكرات الأرضية ومجموعات.

تعد منخفضات الإذابة من أهم الظواهر التي تميز أقاليم الكارست؛ حيث انها دليل على المراحل التي مرت بها الهضبة الجيرية خلال عملية الاذابة الكارستية، وهي مختلفة في أحجامها وأشكالها - كما سيتضح فيما بعد - ولكن السمة الرئيسة المشتركة والواجب توافرها هي الانخفاض عن المستوى المحيط بها لهذا فهي من الظواهر السالبة. وتهتم الدراسة الحالية بتعريف منخفضات الإذابة وطرق استخراج البيانات المورفومترية الخاصة بها عن طريق نظم المعلومات الجغرافية، لتوفير الوقت والجهد، وطرق الإستفادة من هذه البيانات في تحديد المؤشرات المختلفة التي تساعد على فهم طرق نشأة وتطور هذه المنخفضات.

وقد جذبت دراسة منخفضات الإذابة نظر عدد كبير من الباحثين؛ حيث أشار أشرف أبو الفتوح (٢٠٠٧) إلى ارتباط بعض بالوعات الإذابة والمنخفضات بقمم التلال في كروين. وقسم إبراهيم سيد (٢٠١٠) الظاهرة إلى جزأين: بالوعات الإذابة sinkholes وذكر أنها منتشرة في جميع أنحاء الهضبة الوسطى في صحراء مصر الغربية على التلال وعلى سطح الهضبة وداخل المنخفضات، والجزء الثاني وهو منخفضات الإذابة doline وهي كبيرة في حجمها، والتي تنتشر فقط على سطح الهضبة، وهي التي تهتم بها الدراسة الحالية. وذكر جهاد أكرم (٢٠١٤) وجود منخفضات الإذابة على سطح الهضبة الجيرية المحيطة بمنخفض البحرية من خلال اعتماده على عدد من الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية والفضائية وخرائط الكنتور مختلفة الفواصل، وتبين وجود عدد من منخفضات الإذابة المنفردة والملتحمة ومنخفضات نقر الديك cockpit. كما ميزت وفاء خلف (٢٠١٤) عددًا من منخفضات الإذابة والهبوط ومنخفضات ابتلاع المجاري في منطقة مطروح معتمدة على الخرائط الطبوغرافية ١:٢٥٠٠٠ والمرئيات الفضائية للتعرف عليها. أيضاً من الدراسات التي تناولت المنخفضات دراسة حسام جمعة (٢٠١٩) والذي عدّ منطقة منخفض الفيوم ومنخفض القطارة عبارة عن نواتج لعملية الإذابة الكارستية، وصنفها ضمن الدولينات ذات الحجم العملاق.

## أولاً: منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة جغرافياً شرقي محافظة سوهاج في الهضبة المسماة بهضبة المعازة الجيرية، وتشمل أحواض أودية السلطان سعد، القوصة، البلايش، المطاهير، أبونافوخ، قصب، طلعة عمار، الأحايوة، يحدها من الشمال خط تقسيم المياه مع وادي النزيزة ووادي أبو جلبانة الواقعين خارج منطقة الدراسة، ويحدها من الشرق خط تقسيم المياه مع وادي قنا، ويمتد حدها الغربي مع الهوامش الشرقية للسهل الفيضي لوادي النيل في محافظة سوهاج، تتخذ منطقة الدراسة شكل المثلث، قاعدته في الجنوب الغربي ورأسه في الشمال الشرقي، ويبلغ أقصى طول نحو ١١٨.٤ كم، وأقصى عرض لها ٦٠.٧ كم، وبذلك تبلغ جملة مساحة المنطقة حوالي ٤٢٥١.٦٣ كم<sup>٢</sup>، وتمتد فلكياً بين دائرتي عرض  $27^{\circ}12'0.27''N$  و  $26^{\circ}14'30.04''N$  وخطي طول  $32^{\circ}$  و  $32^{\circ}23'0.54''E$  و  $1'39.40''E$  (شكل ١). وتنحدر هضبة المعازة بشكل عام في منطقة الدراسة نحو الغرب باتجاه وادي النيل.



شكل (١) خريطة توضح منطقة الدراسة

### ثانياً: أهداف الدراسة

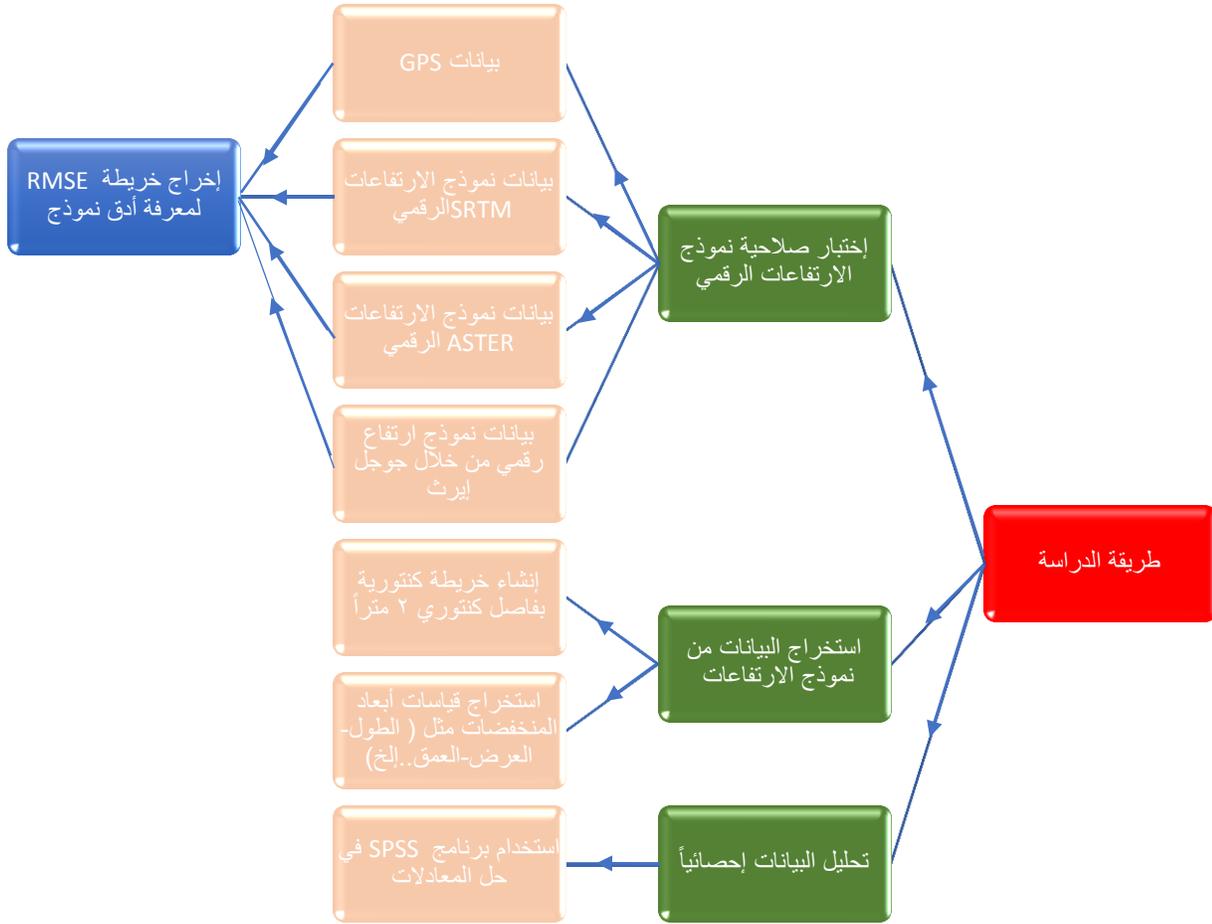
- عمل مقارنة بين نماذج الارتفاعات المختلفة، وتحديد الفروق البينية وأيهم أدق.
- إخراج خريطة RMSE، لتحديد أقل نموذج رقمي يحتوي على أخطاء مكانية للتعامل به.
- استخراج بيانات رقمية لمنخفضات الإذابة ذات دقة عالية.
- عمل تحليل مورفمري لمنخفضات الإذابة، والتعرف على العلاقات بين المؤشرات المورفومترية المختلفة.
- التعرف على الخصائص المورفومترية لمنخفضات الإذابة.

### ثالثاً: طريقة الدراسة

تعد دراسة الخصائص المورفومترية والمورفولوجية للمنخفضات ذات أهمية كبيرة في التعرف على بعض الخصائص الشكلية، بالإضافة إلى طبيعة العمليات المؤثرة في نشأة المنخفضات، ومن هنا تأتي أهمية دراسة خصائص المنخفضات، وتم تقسيم طرق دراسة المنخفضات إلى ثلاث أجزاء وهي عملية إعداد نموذج الارتفاعات الرقمية، وعملية استخراج القياسات، وعملية التحليل الإحصائي كما يلي:

#### أ: إعداد نموذج الارتفاعات الرقمي

تهدف الدراسة الحالية إلى دراسة الخصائص المورفومترية لمنخفضات الإذابة بمنطقة الدراسة من خلال البيانات المستخرجة من نموذج الارتفاعات الرقمية، ولكي يتم إستخلاص البيانات من النموذج يجب عمل بعض الخطوات للتأكد من أن النموذج صالح للاستخدام (شكل ٢)، وعليه يجب إتباع التالي:



شكل (٢) نموذج يوضح خطوات دراسة منخفضات الإذابة من خلال نماذج الارتفاعات الرقمية

١- تم تحميل نموذج الارتفاعات الرقمية من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية <https://earthexplorer.usgs.gov>، ويتيح هذا الموقع بيانات ارتفاعات رقمية لجميع نقاط سطح الأرض بدقة ٣٠ متر من خلال نوعين من الأقمار الصناعية ، الاول ASTER GDEM وهو يعطي نموذج رقمي تصل دقته الي ٣٠ متر للخلية الواحدة، والنموذج الثاني من نماذج الارتفاعات الرقمية المجانية هو نموذج SRTM وتصل دقته المكانية لحوالي ٩٠ متر للخلية الواحدة. يكمن الاختلاف في كلا النموذجين في نوع البيانات وطريقة عرض ومعالجة البيانات ، ولاختيار النموذج الأنسب للعمل يجب تحديد نوع البيانات المطلوب استخراجها من النموذج لتحديد أفضلها ، وتختلف نماذج الارتفاعات الرقمية فيما بينها في سنة الإنتاج والدقة الافقية والدقة الرأسية، وتعد الدقة

الرأسية العنصر الأكثر أهمية في الدراسة الحالية؛ حيث أن الدقة الرأسية هي الأساس عند قياس الارتفاعات ، وفي حالة الدراسة الحالية فأنها مهمة لمعرفة أعماق المنخفضات والتي منها سيتم أخراج خريطة RMSE، بالإضافة إلى أخراج معامل النشأة RH/D.

٢- تعتبر قيم المناسيب المعبرة عن الدقة الرأسية هي العامل الأساسي الذي سوف يتم على أساسه الحكم إذا ما كانت القياسات صحيحة أم لا، وبناء عليه تم أخذ عينة حقلية مكونة ١٢٦٣ نقطة منسوب باستخدام جهاز GPS ( بدقة أقل من 10 متر)، (شكل ٣)، وتم مقارنتها مع بيانات كلا من نموذج الارتفاعات الرقمي SRTM و ASTER ونموذج ارتفاعات رقمي تم إنشائه من برنامج Google Earth Pro ، وكان المرجع الأساسي لهذه البيانات هو البيانات التي تم رصدها بجهاز GPS.

٣- إخراج خريطة RMSE ( وهي الناتج النهائي لعملية تقييم دقة البيانات المكانية، فهي الفارق بين قيم X المفترضة وقيم X الحقيقية مقسوم على الفاصل الرأسية، وفي هذه الحالة فإن X تمثل بيانات الارتفاعات الرقمية من الوسائل المختلفة)، (جدول ١). وتكمن فكرة خرائط RMSE في الانحراف المعياري الأقل لقيمة الخطأ المسموح بها والتي يتم حسابها من المعادلة التالية:

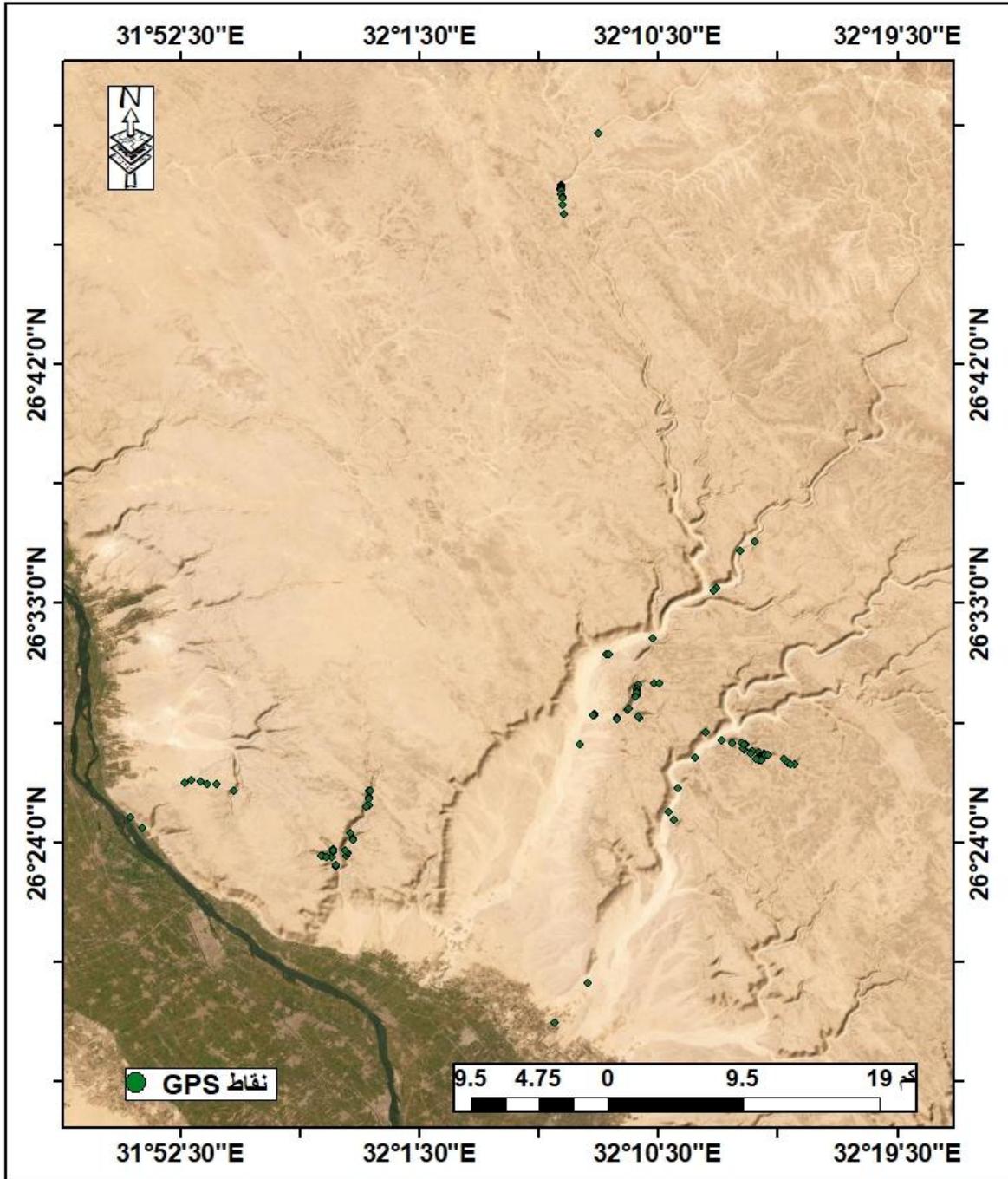
$$\text{قيمة الخطأ المسموح بها} = \frac{\text{الفاصل الكنتوري}}{2} \quad (\text{Rousan, 1998})$$

## جدول (١) نقاط GPS والفارق بينها وبين نقاط المناسيب لكل من نموذج الارتفاعات الرقمي

### SRTM و ASTER

الفارق بين gps و srtm	الفارق بين gps و aster	y	x	النقطة	الفارق بين gps و srtm	الفارق بين gps و aster	y	x	النقطة
6.48	6.52	26.47989300	32.13441800	26	3.08	14.08	26.47874600	32.16209600	1
6.41	6.59	26.47989300	32.13441600	27	6.07	4.07	26.48271000	32.15548500	2
6.18	6.82	26.47988800	32.13441100	28	2.18	9.82	26.48343500	32.15606300	3
6.04	6.96	26.47989000	32.13441200	29	5.54	1.46	26.49192000	32.16088100	4
4.57	7.43	26.47985200	32.13434400	30	4.76	5.76	26.49251800	32.16103600	5
4.57	7.43	26.47985100	32.13434200	31	4.69	5.69	26.49302700	32.16129300	6
4.58	7.42	26.47985100	32.13434100	32	2.53	17.47	26.49970000	32.17561700	7
8.22	.78	26.45658200	32.23761000	33	8.71	14.71	26.49657100	32.16139700	8
11.05	18.05	26.45458900	32.24110300	34	10.55	7.55	26.49612400	32.16155900	9
11.15	18.15	26.45458700	32.24110300	35	9.22	18.22	26.49465900	32.16150900	10
16.58	39.58	26.45431600	32.24239400	36	1.64	3.64	26.49406400	32.16134900	11
15.68	14.68	26.45164400	32.25429900	37	1.24	9.76	26.49089800	32.16036900	12
3.43	2.43	26.45085600	32.25530100	38	1.79	17.79	26.47779300	32.14905800	13
15.16	14.16	26.45071700	32.25543300	39	5.71	9.29	26.48037600	32.13478500	14
5.65	5.65	26.44973600	32.25666300	40	5.77	9.23	26.48032100	32.13475200	15
5.88	9.88	26.44907700	32.25831900	41	5.74	9.26	26.48025500	32.13469200	16
15.79	12.79	26.45182000	32.25342900	42	6.46	3.54	26.48013500	32.13460000	17
.36	8.36	26.45307900	32.19778700	43	6.53	6.47	26.48009500	32.13457700	18
8.15	31.15	26.43347400	32.18684300	44	6.53	6.47	26.48005600	32.13454400	19
8.79	1.79	26.41874100	32.18155200	45	6.74	6.26	26.47998500	32.13449400	20
1.11	16.89	26.41356900	32.18476800	46	6.74	6.26	26.47998100	32.13449200	21
1.59	12.41	26.31170500	32.13056200	47	6.83	6.17	26.47996400	32.13448300	22
.14	26.86	26.46400500	32.21512200	48	6.86	6.14	26.47995100	32.13446700	23
2.05	10.05	26.45240900	32.23775400	49	7.03	5.97	26.47993900	32.13445200	24
10	14.00	26.45121400	32.23789900	50	6.98	6.02	26.47989600	32.13442400	25

٤- بعد التأكد من البيانات ومقارنتها ببعضها وجد أن بيانات الارتفاعات الرقمية التي ينتجها برنامج Google Earth Pro هي الأقل دقة؛ حيث وصل الخطأ في البيانات  $\pm 4$  متراً (عن قيم GPS،  $\pm 14$  متراً عن الحقيقة) في بعض نقاط المناسيب، يأتي بعده في الترتيب بيانات نموذج الارتفاعات الرقمي Aster والذي بلغت نسبة الخطأ فيه  $\pm 1$  متراً (عن قيم GPS،  $\pm 10$  متراً عن الحقيقة)، أما بالنسبة لنموذج الارتفاعات الرقمي SRTM فهو الأكثر دقة حيث بلغت نسبة الخطأ فيه  $\pm 0.3$  متراً (عن قيم GPS،  $\pm 10.30$  متراً عن الحقيقة).



شكل (٣) خريطة توضح نقاط GPS المستخدمة في عملية الرفع

## ب: استخراج القياسات

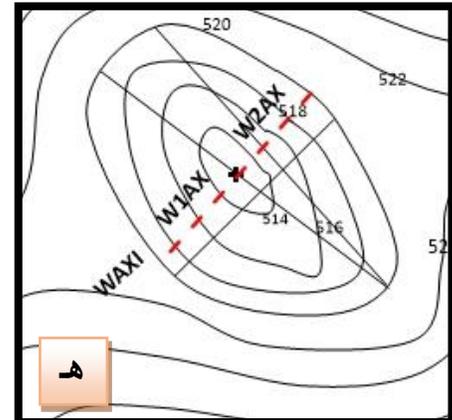
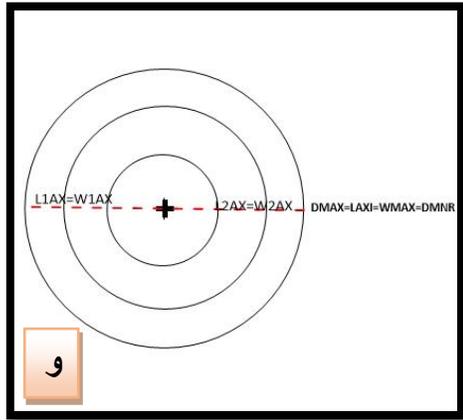
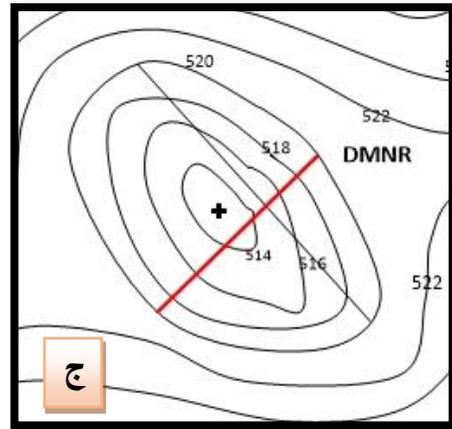
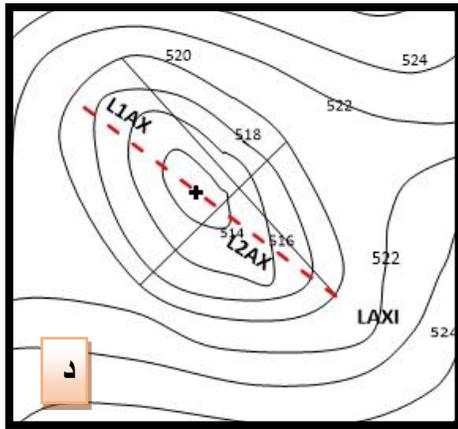
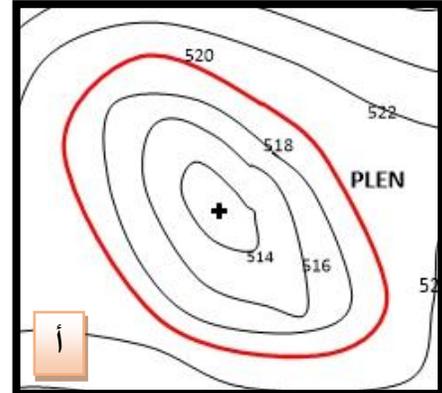
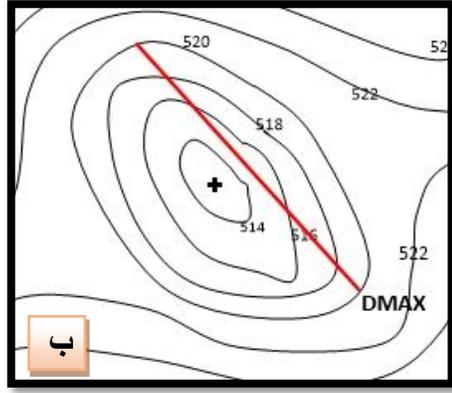
اعتمدت عملية استخراج القياسات على عدد من البرامج وهي: حزمة برامج Arcgis10.3 وبرنامج Global Mapper22.0، وبرنامج Surfer16. وبدأت عملية القياس باستخدام نموذج ارتفاعات رقمي 30 مترًا، وتم عمل الخطوات الآتية:

- عمل مناطق تجمع المياه Catchment Area بقيمة تجميع (قيمة تحسس) 400 con من نموذج الارتفاعات الرقمي، باستخدام حزمة برامج Arc Map10.3، من خلال أداة Raster Calculator من تبويب Math Algebra من قائمة Hydrology من قائمة Spatial Analyst Tools.
- عمل خرائط كنتورية لمناطق التجميع بفواصل كنتوري 2 متر من برنامج Surfer.16، والبحث عن المنخفضات يدويًا واستخراج 120 منخفضًا.
- استخراج محيط كل منخفض، وهو أول خط كنتور مغلق تبدأ فيه القيمة بالانخفاض، واعتباره هو المحيط أو حد الدولين Doline Rim (شكل 4/أ).
- استخراج القطر الأكبر (DMAX) عن طريق الخط الواصل بين ابعدين نقطتين على محيط الدولين، (شكل 4/ب).
- استخراج القطر الأصغر (DMNR) عن طريق اخذ الخط الواصل بين ابعدين نقطتين بشرط أن يكون عمودياً على القطر الأكبر، (شكل 4/ج)، وللتأكد من أن الخط عمودي يتم استخدام أداة Perpendicular.
- أما بالنسبة لمؤشر المحور الطولي، طول الحوض (LAXI) فهو أطول خط واصل بين ابعدين نقطتين على المحيط ويمر بأعمق نقطة (شكل 4/د) أما بالنسبة للمنخفضات الإسطوانية والدائرية التي تتماثل جوانبها فإن مؤشر المحور الطولي تتساوى قيمه مع مؤشر القطر الأكبر تتساوى مع قيم مؤشر القطر الأصغر، (شكل 4/و).
- ويتم استخراج مؤشر نصف المحور الأكبر للطول (LIAX) من خلال حساب نصف محور الطول الأكبر ويبدأ عند أخفض نقطة للدولين في اتجاه المحيط، (شكل 4/د).
- أما مؤشر نصف المحور الأصغر للطول (L2AX) وهو النصف الاخر من محور الطول، ويكون اقصر في الطول (شكل 4/د)، وفي حالة المنخفضات المستديرة يكون المحورين متساويين في الطول، (شكل 4/و).
- يستخرج مؤشر المحور العرضي (WAXI) من خلال استخراج الخط الواصل بين ابعدين نقطتين، ويشترط ان يكون عمودي على مؤشر الطول، بالإضافة إلى مرورة بأعمق نقطة في الدولين، (شكل 4/ه).
- مؤشر المحور العرضي الأقصى (WMAX) هو اقصى عرض عمودي على محور الطول ولا يشترط مروره بأعمق نقطة، وفي كثير من الأحيان يتطابق اقصى محور عرض مع محور العرض، (شكل 4/و).

- مؤشر نصف المحور الأكبر للعرض (W1AX) ، هو النصف الأكبر من المحور العرضي ويتم قياسه من اخفض نقطة على المحور العرضي تجاه المحيط (شكل ٤/هـ).
- مؤشر نصف المحور الأصغر للعرض (W2AX) وهو النصف الأصغر من المحور العرضي ، ويتم قياسه كسابقه،(شكل ٤/هـ).
- يتم استخراج المساحة من خلال تحويل المنخفضات من Line إلى Polygon عن طريق أداة Convert Feature To Polygon من نافذة Arc Tool Box، باستخدام حزمة برامج Arc Map10.3.
- استخدام أداة 3D Analyst واستخراج أخفض نقطة من المنخفض عن طريق عمل Profile لها من أداة Profile Graph، باستخدام حزمة برامج Arc Map10.3.

### ج: العمل الإحصائي

- يتم في هذا الجزء حساب المعاملات باستخدام البرامج الإحصائية، وتم الاعتماد على برنامج SPSS لاستكمال الخطوات السابقة واستخراج المدلولات الإحصائية، وتم الآتي:
- تم إدخال البيانات في شكل جداول إلى البرنامج، واستخراج المتوسط والانحراف المعياري وأكبر وأصغر القيم ومجموع قيم كل معامل.
  - عمل تقسيم فنوي للمعاملات المختلفة باستخدام أداة Visual Binning من قائمة Transform.
  - استخراج الارتباط بين المعاملات المختلفة باستخدام أداة Correlate من قائمة Analyze.
  - القيام بعمل أشكال بيانية مثل الأعمدة البيانية ونقاط التشتت من خلال قائمة Graph.



شكل (٤) يوضح طرق استخراج المؤشرات المختلفة للدولينات، يوضح (أ) كيفية استخراج المحيط، و (ب) توضح كيفية استخراج القطر الأكبر، و (ج) توضح كيفية استخراج القطر الأصغر، و (د) توضح كيفية استخراج أقصى طول والذي من خلاله يتم استخراج محور الطول ١ ومحور الطول ٢، و (هـ) توضح استخراج محور العرض، والذي يتم من خلاله استخراج محور عرض ١ ومحور عرض ٢، و (و) توضح الدولينات الدائرية والتي يتساوى فيها جميع المحاور.

#### رابعاً: الخصائص المورفومترية لبعض المنخفضات في منطقة الدراسة

أمكن من خلال دراسة الخريطة التوزيعية ونموذج الارتفاعات الرقمية عمل خريطة كنتورية بفاصل ٢ متر، ومن خلال الخريطة الكنتورية المنتجة أمكن حساب الخصائص المورفومترية لعينة من المنخفضات بلغ عددها ١٢٠ منخفض إذابة، ولحساب المؤشرات المورفومترية وتحديد المنخفضات على الخرائط تم تحديد الخط الحدي للمنخفض من خلال التغير الملحوظ في الانحدار (Bondesan et.all;1993) وتم اعتبار هذا الحد هو حدود كل منخفض، وتم تطبيق المؤشرات عليه ودراستها كما يلي:

#### أ: مؤشر المساحة لمنخفضات الإذابة ADOL

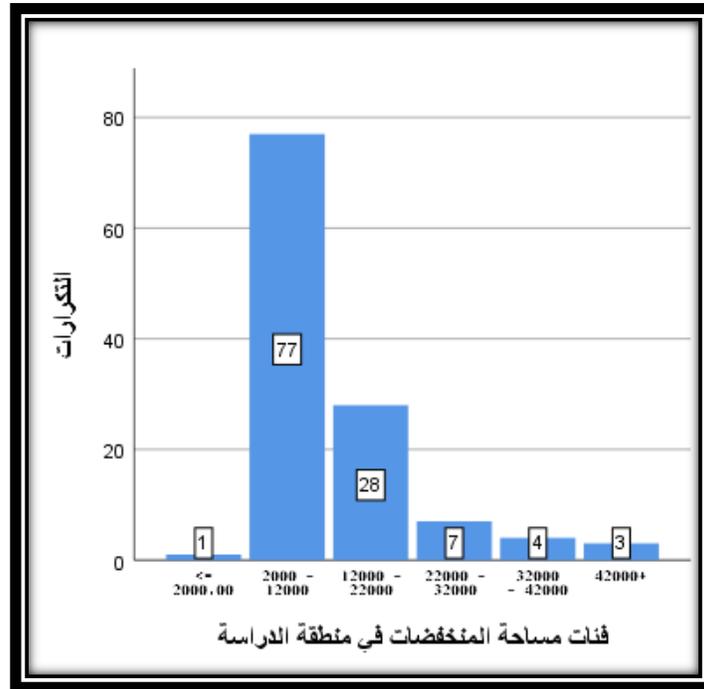
يعتمد هذا المؤشر على قياس مساحة المنخفضات، ومن تحليل بيانات الجدول (٢) يتضح أن جملة مساحات المنخفضات حوالي ١,٥٥٠,٧٠٤، بمتوسط مساحات بلغ ١٢٩٢٢ م<sup>٢</sup>، بقيم تراوحت ما بين ١٧٢٤ م<sup>٢</sup> - ٥٧٢٤٣ م<sup>٢</sup> وانحراف معياري بلغ ٩١١٦.٨ م<sup>٢</sup>، وهي قيمة مرتفعة جداً تشير إلى مدى التباين الكبير في مساحات المنخفضات، وهو أمر متوقع في ظل اختلاف نوع الصخر ونظامه في منطقة الدراسة وتباين كميات المطر التي سقطت وتسقط على أجزاء سطح المنطقة.

تم عمل تقسيم فئوي للمنخفضات على حسب المساحة بلغ ٦ فئات، تبلغ طول الفئة الواحدة ١٠٠٠٠ م<sup>٢</sup>، وبدراسة الشكل (٤) يتبين أن المنخفضات التي يتراوح مساحتها ما بين ٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> - ١٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> هي التي تشغل المساحة الأكبر من المنخفض بعدد بلغ ٧٧ منخفضاً، ونسبة بلغت نحو ٦٤.١٦% من إجمالي عدد منخفضات الإذابة، تليها المنخفضات التي تتراوح مساحتها ما بين ١٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> - ٢٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> بعدد بلغ ٢٨ منخفضاً ونسبة حوالي ٢٣.٣% من إجمالي عدد المنخفضات العينة، تليها المنخفضات التي تتراوح مساحتها ٢٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> - ٣٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> بعدد بلغ ٧ منخفضات بنسبة بلغت ٥.٨% من إجمالي منخفضات العينة، وفي المرتبة الرابعة المنخفضات التي تتراوح مساحتها ٣٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> - ٤٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> بعدد ٤ منخفضات بنسبة بلغت ٣.٣%، وفي المرتبة الخامسة المنخفضات التي تزيد مساحتها عن ٤٢٠٠٠ م<sup>٢</sup> وهي عدد ٣ منخفضات فقط بنسبة بلغت ٢.٥%، والمرتبة الأخيرة تضم منخفضاً واحداً فقط بنسبة ١.٢ .

جدول (٢) الخصائص الاحصائية للمعاملات المورفومترية المختلفة لمنخفضات الإذابة

النشأة	الإستطالة	التماثل	التعرج	نسب العرض	العرض	نسب الطول	الطول	المحيط	المساحة	
٠.٠٣	١.٥	٣.٠٦	١.١٩	١.٥٩	١٠٧.٥	١.٩	١٦٣.٥	٤٦٨.٦	١٢٩٢٢	المتوسط
٠.٠١	٠.٥	٢.٠٧	٠.٢٦	٠.٧٩	٣٨.٤	٠.٩	٧٢.٣	٢٤٤.٩	٩١١٦.٨	الانحراف المعياري
٠.٠١	١	١.٠٢	١.٠٢	١	٥١	١	٨٠	٢٢٨	١٧٢٤	اقل قيمة
٠.٠٨	٣.٨٣	١١.٤٥	٣.٣٥	٧.٢٧	٣١٢	٥.٩	٥٨٤	١٤٩٠	٥٧٢٤٣	اعلى قيمة

المصدر: من عمل الطالبة اعتماداً على بيانات ملحق (١)، (٢)، (٣)، (٤).



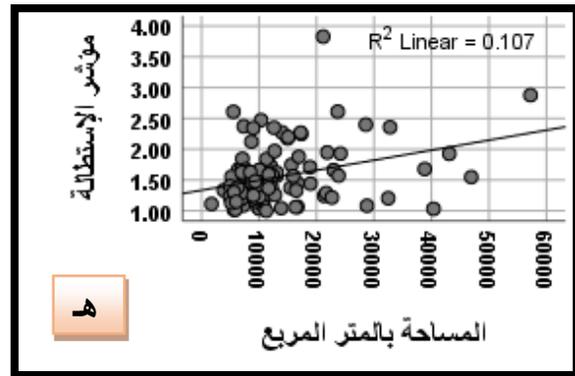
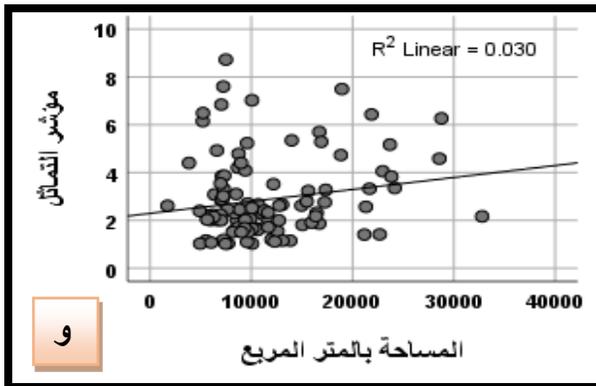
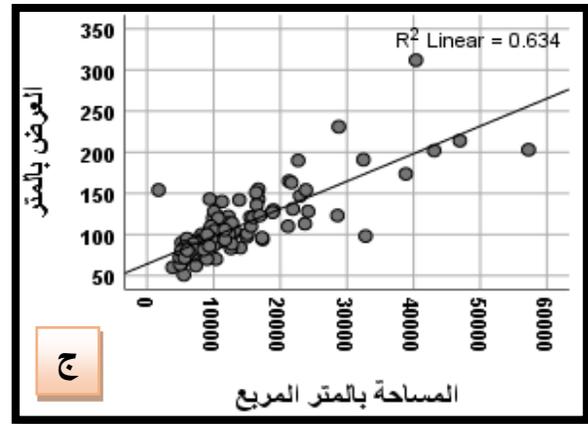
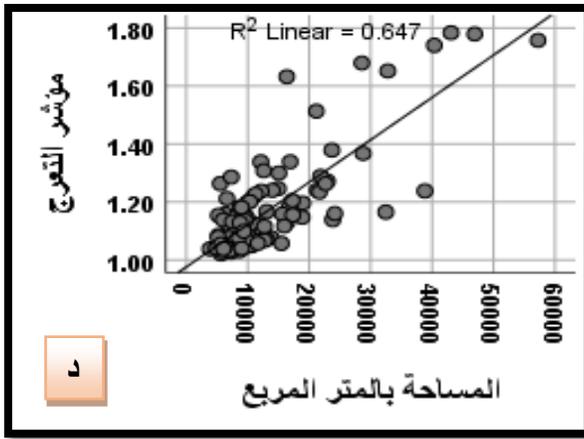
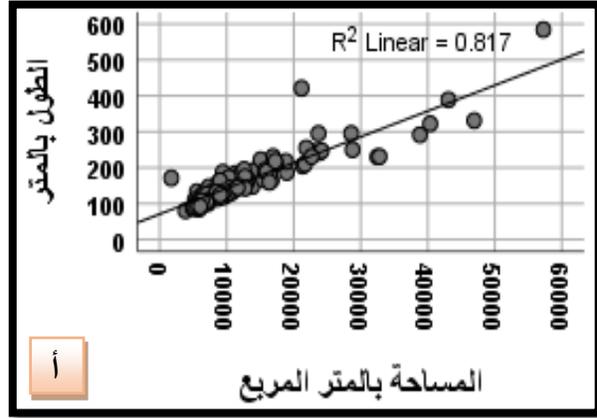
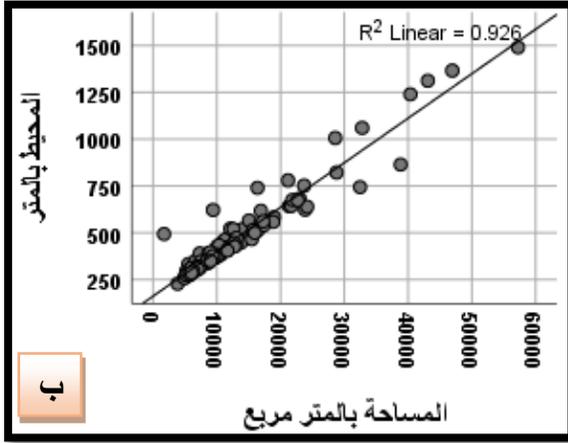
شكل (٥) فئات أعداد المنخفضات بناء على المساحة (بالمتر المربع)

يوضح الجدول (٣) والشكل (٦) العلاقات بين كلٍّ من المساحة والخصائص الأخرى للمنخفضات، حيث نجد أن العلاقة بين المساحة والطول علاقة طردية قوية حيث بلغت ٠.٩٠. وهي علاقة معنوية (شكل ٥/أ)، وقد يكون السبب في العلاقة الطردية الخصائص الليثولوجية للحجر الجيري، وكثرة وجود الشقوق والفواصل فيه والانكسارات؛ مما يعمل على زيادة الطول وبالتالي المساحة، أما بالنسبة لعلاقة المساحة والمحيط فبلغت ٠.٩٦٣. وهي علاقة طردية قوية (شكل ٥/ب)، وقد يرجع السبب إلى أن زيادة المحيط يعنى زيادة المنطقة التي تجمع فيها المياه، أو ما يعرف catchment area وبالتالي تزيد كمية المطر، وتزيد أبعاد المنخفض، وبالتالي تزيد المساحة. أما بالنسبة لعلاقة المساحة بكلٍّ من العرض ومؤشر التعرج ومؤشر الاستطالة، فكانت علاقة طردية أعلى من المتوسطة، حيث بلغت علاقة المساحة بالعرض ٠.٦٩٧ (شكل ٥/ج)، وبلغت علاقة المساحة بمؤشر التعرج ٠.٨٠٤. وهي علاقة طردية قوية (شكل ٥/د)، وقد يرجع السبب إلى كثرة الشقوق في الحجر الجيري مما يصعب مهمة انتظام حواف المنخفضات، وبلغت علاقة المساحة بمؤشر الاستطالة ٠.٣٢٦. وهي علاقة طردية متوسطة (شكل ٥/هـ). وكانت علاقة المساحة بمؤشر التماثل هي الأضعف حيث بلغت ٠.١٧٥ (شكل ٥/و).

جدول (٣) معامل الارتباط بين أبعاد منخفضات الإذابة ومؤشراتها

مؤشر الاستطالة	مؤشر التماثل	مؤشر التعرج	المحيط	العرض	الطول	المساحة	
**٠.٣٢٦	٠.١٧٥	**٠.٨٠٤	**٠.٩٦٣	**٠.٦٩٧	**٠.٩٠٤	١	المساحة
**٠.٥٨٨	*٠.١٩٢	**٠.٥٢٠	**٠.٩١٨	**٠.٦٣٩	١		الطول
٠.١٢١-	٠.٠٨٩	**٠.٤٥٤	**٠.٧٠٤	١			العرض
**٠.٣٧١	*٠.٢٠٩	**٠.٥٨٦	١				المحيط
**٠.٥٤١	**٠.٣٤٨	١					مؤشر التعرج
٠.١٧٣	١						مؤشر التماثل
١							مؤشر الاستطالة

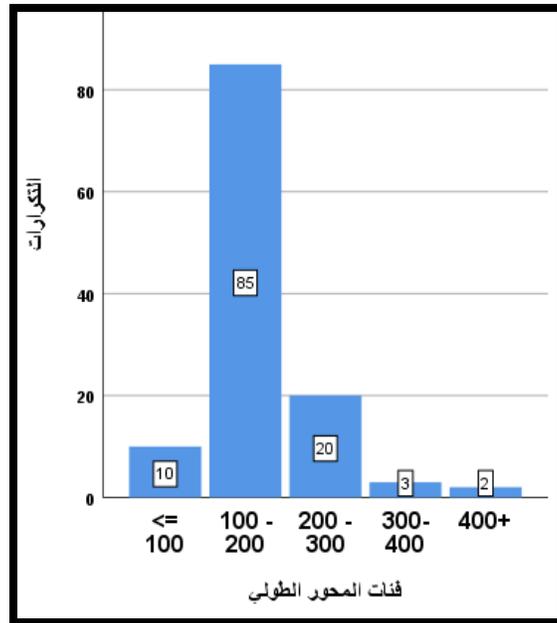
المصدر: من عمل الطالبة اعتماداً على بيانات ملحق (١-٢).



شكل (٦) معامل الارتباط بين مؤشر مساحة المنخفضات والمؤشرات الأخرى.

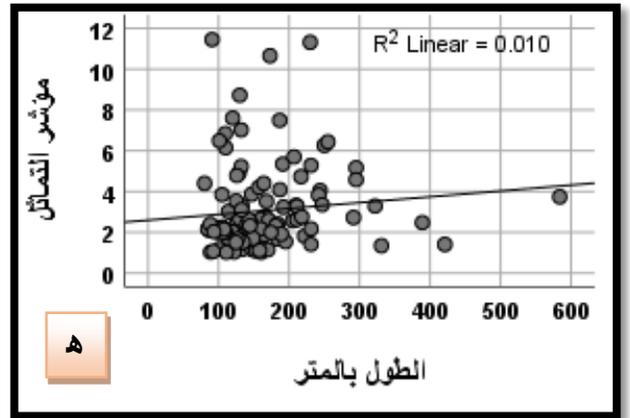
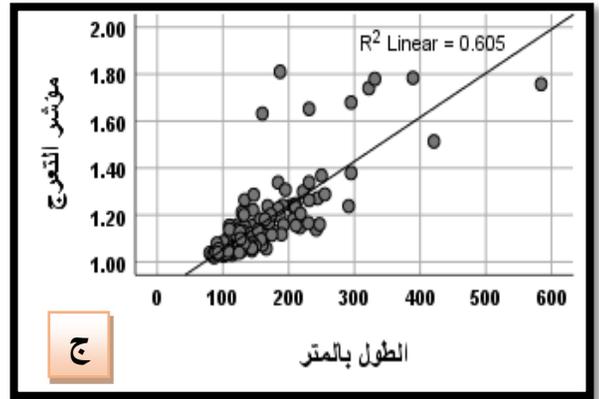
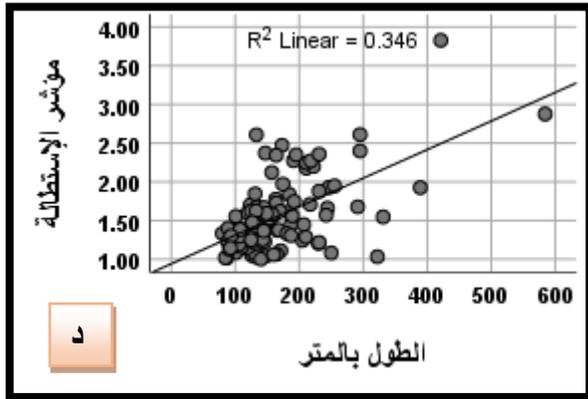
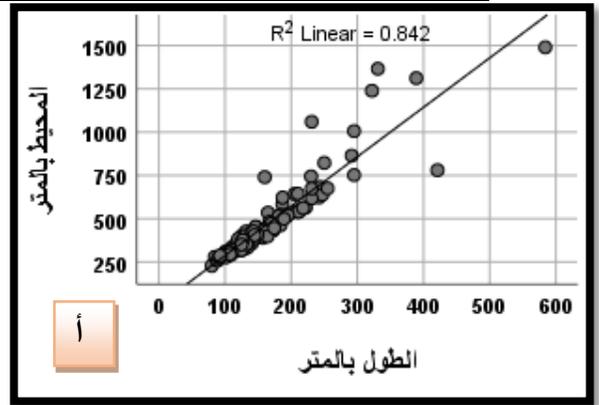
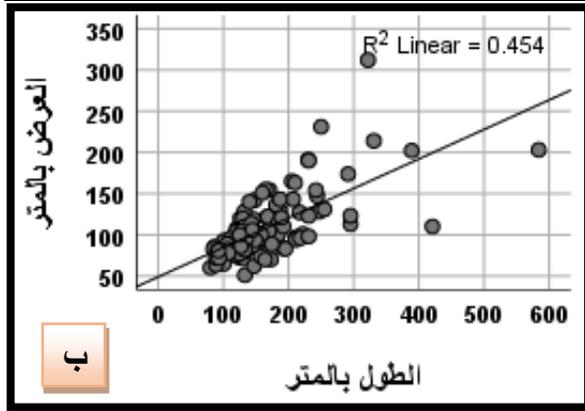
### ب: مؤشر الطول للمنخفضات

يشير هذا المقياس إلى أطول محور للمنخفض ماراً بأعمق نقطة، ومن خلال دراسة أطوال منخفضات الإذابة (جدول ٢) تبين أن مجموع أطوال المنخفضات بلغ نحو ١٩.٦٢٤ ألف متراً، وتراوحت الأطوال بين ٨٠ م و ٥٨٤ م ، كما يبلغ متوسطها ١٦٣.٥ متراً ، وبلغت قيم إنحراف الأطوال عن المتوسط نحو ٧٢ ، وقد تم تقسيم أطوال المنخفضات إلى خمس فئات متساوية تراوحت طول الفئة ١٠٠ متراً، ويتضح من الشكل (٧) ارتفاع أعداد المنخفضات في الفئات الثلاث الأولى حيث إن الفئة أقل من ١٠٠ بلغ عدد المنخفضات بها ١٠ منخفضات ، والفئة (١٠٠-٢٠٠م) بلغ عدد المنخفضات فيها ٨٥ منخفضاً، تليها الفئة (٢٠٠-٣٠٠م) بعدد ٢٠ منخفضاً، كما يلاحظ انخفاض أعداد المنخفضات في آخر فئتين حيث إن الفئة (٣٠٠-٤٠٠م) بلغ عدد المنخفضات بها ٣ منخفضات، والفئة (أكثر من ٤٠٠م) بلغ عدد المنخفضات بها ٢ منخفضين، وهي الفئات التي يزيد فيها قياس المحور الطولي. وربما يمكن إرجاع سبب انخفاض قيم أطوال المنخفضات لتوقف عمليات الإذابة بعد الفترة المطيرة الأخيرة، وأن كمية مياه الأمطار الساقطة لا تساعد على استمرار عملية الإذابة في المنخفضات بشكل قوى، وبالتالي فإن أطوال المنخفضات دليل على مرحلة الإذابة التي تمر بها المنخفضات.



شكل (٧) فئات أطوال المحور الطولي RLEN لمنخفضات الإذابة بمنطقة الدراسة

اختبار دقة نماذج الارتفاعات الرقمية في دراسة منخفضات الاذابة بهضبة المعازة الجيرية بالصحراء الشرقية في مصر

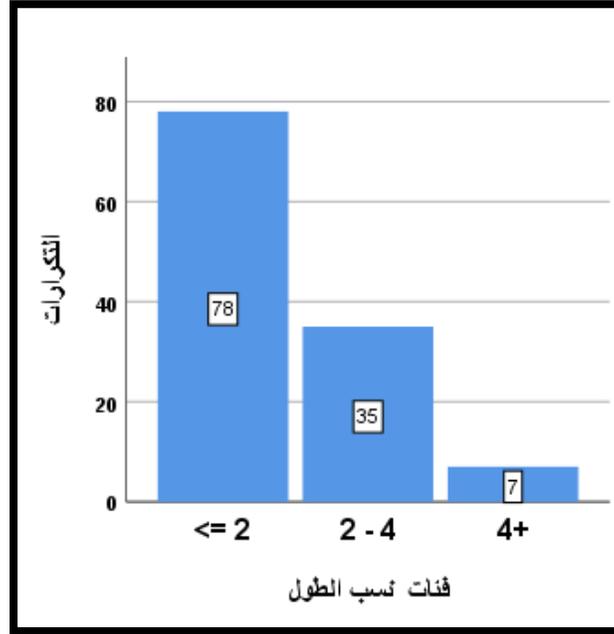


شكل (٨) معامل الارتباط بين مؤشر طول المنخفضات والمؤشرات الأخرى.

ويتضح من تحليل وقراءة الجدول (٣) والشكل (٨) أن علاقة الطول بالخصائص الأخرى للمنخفضات متنوعة، فكانت علاقة الطول بالمحيط علاقة طردية قوية بلغت ٠.٩١٨ ، (شكل ٨/أ) وهذا يرجع إلى أن زيادة المحيط تؤثر بشكل كبير في أطوال المنخفضات من خلال كمية المطر، بينما جاءت علاقة الطول بالعرض ومؤشر الاستطالة كعلاقة طردية متوسطة، حيث بلغت علاقة الطول بالعرض ٠.٦٣٩ ، (شكل ٨/ب) وجاءت علاقة الطول بمؤشر التعرج طردية متوسطة بلغت ٠.٥٢٠ ، (شكل ٨/ج) وبلغت علاقة الطول بمؤشر الاستطالة ٠.٥٨٨ ، (شكل ٨/د) ويمكن أن نفسر هنا علاقة وأهمية الطول في زيادة كل من المؤشرات السابقة خاصة مؤشر التعرج، والذي إذا زادت قيمة الطول فيزيد معه تعرج الحدود الخارجية للمنخفض، أيضًا مؤشر الاستطالة ذو صلة مباشرة فمع زيادة المحور الطولي (مؤشر الطول) تزيد استطالة المنخفض معه. وكانت علاقة الطول بمؤشر التماثل هي الأضعف حيث بلغت ٠.١٩٢ ، (شكل ٨/هـ).

#### ج: مؤشر نسب الطول RLEN

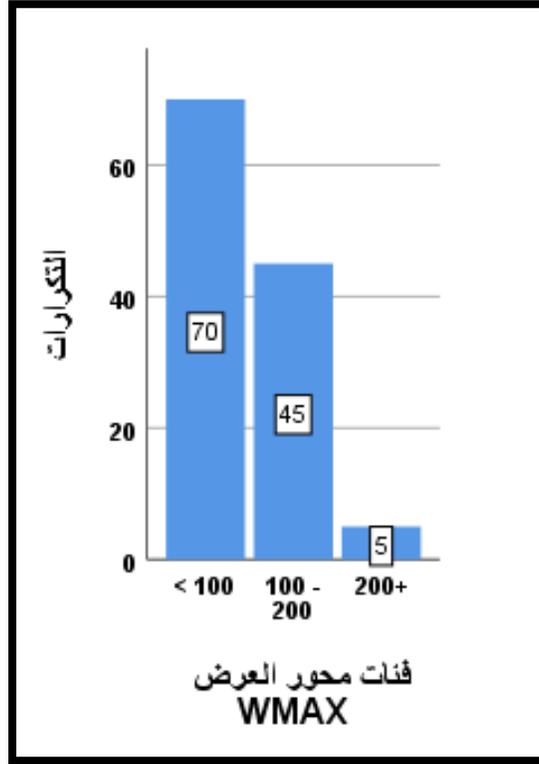
يتم فيه حساب نسب محاور الطول ويتم حسابه من خلال قسمة نصف المحور الأكبر للطول (L1AX) على نصف المحور الأصغر للطول (L2AX). وهو يعطينا فكرة عن معدلات الإذابة على طول محور الطول، فإذا كانت النتيجة أكبر من ١ فيدل ذلك على زيادة الإذابة في المحور L1AX عن L2AX ، وعليه كلما اقتربنا من ١ فيدل على تماثل المحور الطولي وتساوى معدلات الإذابة على كلا جانبي محور الطول، واقترب المنخفض من الشكل الأمثل. من بيانات جدول (٢) يتضح أن متوسط مؤشر نسبة الطول بلغ حوالى ١.٩ وانحراف معيارى للقيم عن المتوسط بمقدار ٠.٩ وتراوح قيم المؤشر بين ١ - ٥.٩٢ ، ، وتم تقسيم نسب أطوال المنخفضات إلى ٣ فئات، طول كل فئة ٢، وبالنظر إلى الشكل (٩) يتضح أن معظم نسب أطوال المنخفضات المنطقه تقع في الفئة الأولى التي تقل فيها القيم عن ٢ ، وبلغ عدد المنخفضات بها ٧٨ منخفض بنسبة بلغت ٦٥% من اجمالي منخفضات العينة، ويأتي في المركز الثاني المنخفضات التي تقع في الفئة بين (٢-٤) بعدد بلغ ٣٥ منخفض ونسبة وصلت الى ٢٩.٢% ، وفي المرتبة الاخيرة المنخفضات التي تقع في الفئة (أكبر من ٤) بعدد منخفضات وصل الى ٧ نخفضات بنسبة بلغت نحو ٥.٨%.



شكل (٩) فئات نسب طول منخفضات الإذابة بمنطقة الدراسة.

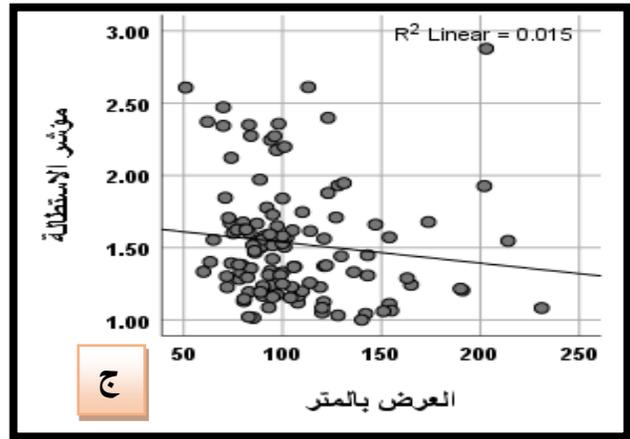
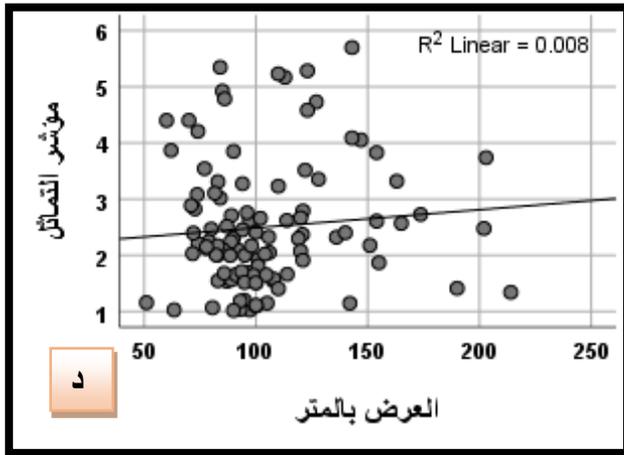
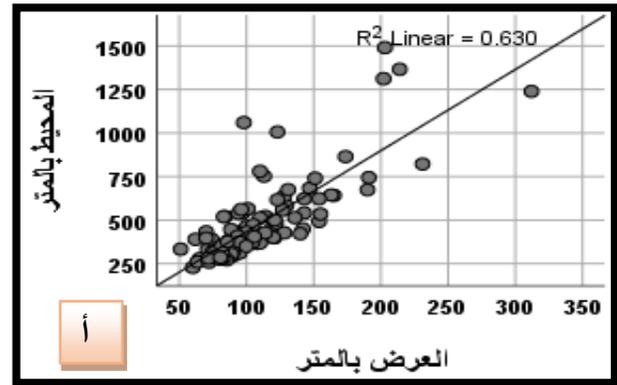
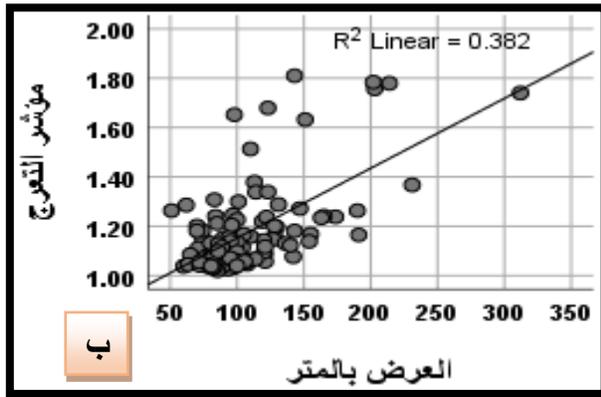
#### د: مؤشر عرض المنخفضات

يشير مؤشر عرض المنخفضات إلى أكبر خط يمر بأخفض نقطة في المنخفض، ويكون عمودياً على محور الطول، يتضح من خلال جدول (٢) الخاص بخصائص منخفضات الإذابة أن متوسط عرض المنخفضات بلغ ١٠٧.٥ متراً، بمدى تراوح ما بين (٥١-٣١٢ متر)، وانحراف معياري بلغ ٣٨.٤، وقد تم تقسيم قياسات عرض المنخفضات إلى ٣ فئات يبلغ طول كل فئة ١٠٠ متر، ومن الشكل (١٠) يتضح أن الفئة المنوالية هي الفئة الأولى، والتي يقل فيها عرض المنخفضات عن ١٠٠ متر، حيث بلغ عدد المنخفضات بها ٧٠ منخفضاً بنسبة تصل إلى ٥٨.٣% من عدد منخفضات الإذابة بالمنطقة، وتأتي في المرتبة الأخيرة المنخفضات التي يزيد عرضها عن ٢٠٠ متر بعدد ٥ منخفضات، ونسبة وصلت إلى ٤.٢.



شكل (١٠) فئات عرض المنخفضات بمنطقة الدراسة

يتبين من تحليل الجدول (٣) والشكل (١١) أن العلاقة بين العرض والمؤشرات الأخرى متنوعة. فبلغت علاقة العرض بالمحيط  $0.704$  وهي علاقة طردية قوية، (شكل ١١/أ)، ومن الملاحظ أن الأبعاد المورفومترية لها علاقة طردية بشكل عام مع المحيط والمساحة، فكلما زادت حدود المنخفض زادت أبعادها، وكانت أيضاً العلاقة بين العرض ومؤشر التعرج علاقة طردية متوسطة بلغت  $0.454$  (شكل ١١/ب)،، بينما جاءت علاقة العرض بمؤشر الاستطالة علاقة عكسية بلغت  $-0.121$  وليس لها دالة إحصائية، (شكل ١١/ج)، وجاءت علاقة العرض بمؤشر التماثل ضعيفة حيث بلغت  $0.089$ ، (شكل ١١/د).

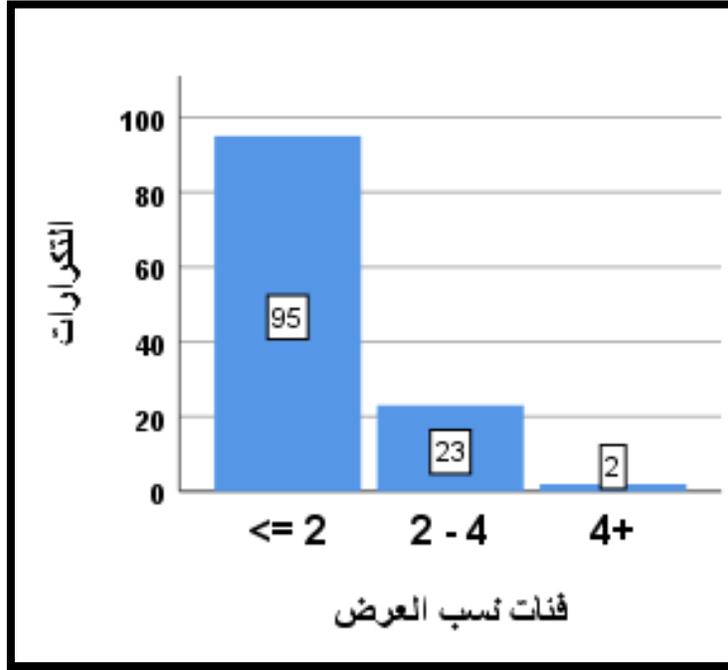


شكل (١١) معامل الارتباط بين مؤشر عرض المنخفضات والمؤشرات الأخرى

#### هـ: مؤشر نسب العرض RWID

يتم من خلال مؤشر نسب العرض حساب نسب محاور العرض، ويتم حسابه من خلال قسمة نصف المحور الأكبر للعرض (W1AX) على نصف المحور الأصغر للطول (W2AX). وهو يؤدي نفس عمل مؤشر الطول، حيث يعطينا فكرة عن معدلات الإذابة على طول محور العرض، فإذا كانت النتيجة أكبر من ١ فيدل على زيادة الإذابة في المحور W1AX عن W2AX، وعليه كلما اقتربنا من ١ فيدل على تماثل المحور العرضي وتساوي معدلات الإذابة على كلا جانبي المحور، واقترب المنخفض من الشكل الأمثل. ومن تحليل بيانات جدول (٢) يتبين أن المتوسط لمعامل العرض بلغ ١.٦ بقيم تتراوح ما بين ١ - ٧.٢٧ بمؤشر انحراف

معياري بلغ ٠.٨ . ، وقد تم تقسيم فئات معامل نسب العرض إلى ٣ فئات متساوية ، ويتضح من تحليل الشكل (١٢) أن الفئة المنوالية هي الفئة الأولى (أقل من ٢) هي الأكثر انتشارًا، حيث بلغ عدد المنخفضات بها ٩٥ منخفضًا بنسبة ٧٩.٢% ، وهذا يدل على قرب أغلب منخفضات العينة من درجة التماثل في العرض، بينما بلغ عدد المنخفضات في الفئة الثانية والتي تتراوح ما بين (٢-٤) ، ٢٣ منخفض بنسبة بلغت نحو ١٩.٢% ، وبلغ عدد منخفضات الفئة الاخير ، والتي تزيد فيها القيم عن ٤ ، منخفضين بنسبة ١.٦% .

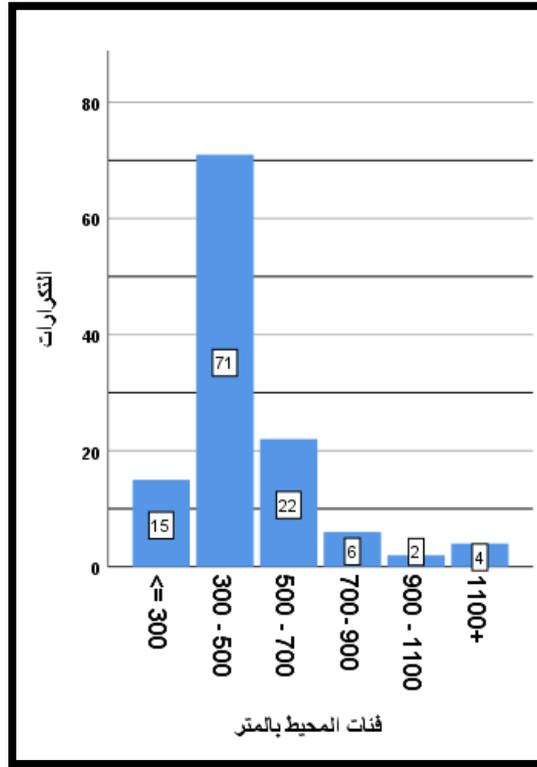


شكل (١٢) فئات نسب عرض منخفضات الإذابة.

#### و: محيط منخفضات الإذابة PLEN

يقيس هذا المؤشر الخط الذي يحيط المنخفض، ومن خلال دراسة خصائص محيط المنخفضات والمبينة في جدول (٢) يتضح أن متوسط أطوال المحيط بلغ ٤٦٨.٦ متراً، وتراوح أطوال المحيط للمنخفضات بين ٢٢٨ متراً - ١٤٩٠ متراً، (شكل ١٣) كما بلغ مجموع أطوال محيطات المنخفضات ٥٦,٢٣٠.٦ متر، وكان الانحراف المعياري لقيم المحيط عن المتوسط ٢٢٤.٩، وقد تم تقسيم أطوال محيط المنخفضات إلى ٦ فئات متساوية يبلغ طول الفئة ٢٠٠ متراً ؛ حيث وصل عدد منخفضات الفئة الأولى، والتي يبلغ طول محيطها (أقل من ٣٠٠ متر، ١٥ منخفضًا بنسبة مئوية بلغت ١٢.٥، وبلغت الفئة الثانية ، والتي يتراوح طول محيطها

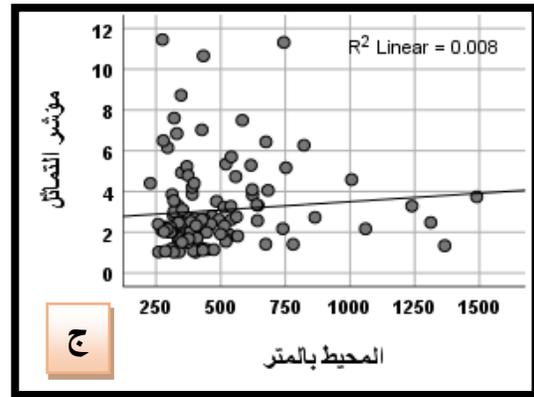
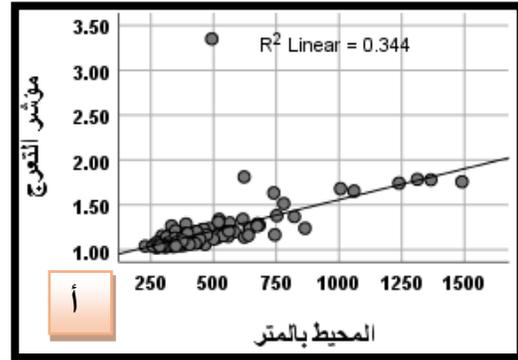
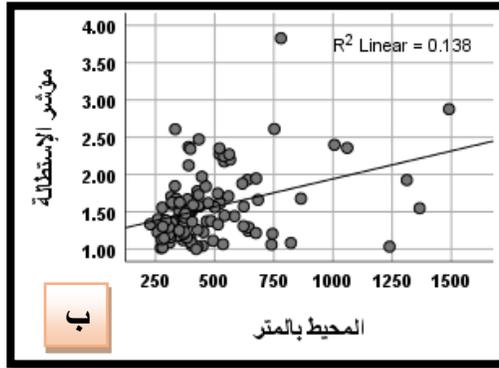
(٣٠٠-٥٠٠ متر) ٧١ منخفض بنسبة ٥٩.٢%، وهي الفئة المنوالية، أما بالنسبة للفئة الثالثة، والتي يتراوح طول محيط منخفضاتها بين (٥٠٠-٧٠٠ متراً)، بلغت ٢٢ منخفضاً بنسبة ١٨.٣%، وبلغت الفئة الرابعة ٦ منخفضات بنسبة ٥%، والفئة الخامسة وصل عدد المنخفضات بها منخفضين بنسبة ١.٧%، بينما بلغ عدد منخفضات الفئة السادسة ٤ منخفضات بنسبة ٣.٣%.



شكل (١٣) فئات محيط المنخفضات بمنطقة الدراسة .

بدراسة الجدول (٣) والشكل (١٤) يتضح تنوع علاقة المحيط بالمؤشرات الأخرى، حيث إن علاقة المحيط بمؤشر التعرج علاقة طردية موجبة بلغت ٠.٥٨٦، (شكل ١٤/أ)، فكلما زادت قيم المحيط زاد عدم انتظام أشكال حدود المنخفضات، وقد يرجع هذا أيضاً لبعض العوامل التي من شأنها تشويه الشكل الخارجي للمنخفضات؛ مثل ترسب المواد على جانب أكثر من الآخر، وبالتالي هذا يسبب عدم انتظام عملية الإذابة على جوانب المنخفض، أما بالنسبة لعلاقة المحيط بمؤشر الاستطالة فبلغت ٠.٣٧١ وهي علاقة طردية أقل

من القوة، (شكل ١٤/ب)، وبلغت علاقة المحيط بمؤشر التماثل ٠.٢٠٩ وهي علاقة طردية متوسطة، (شكل ١٤/ج).

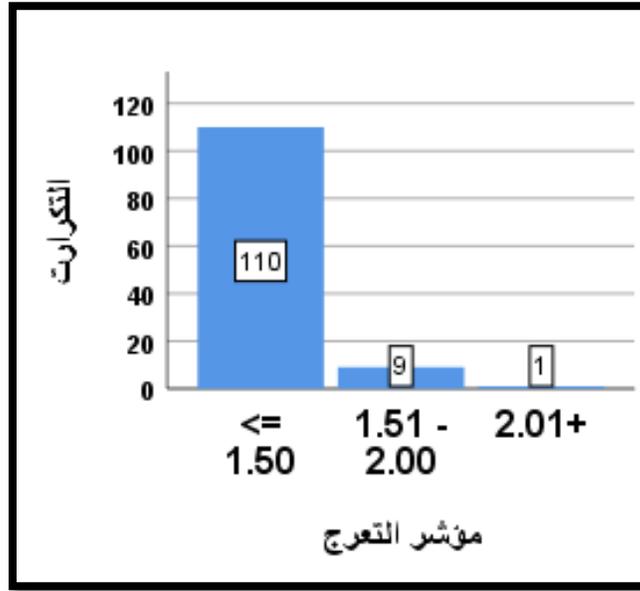


شكل (١٤) معامل الارتباط بين مؤشر محيط المنخفضات والمؤشرات الأخرى.

#### ز: مؤشر التعرج sinuosity index

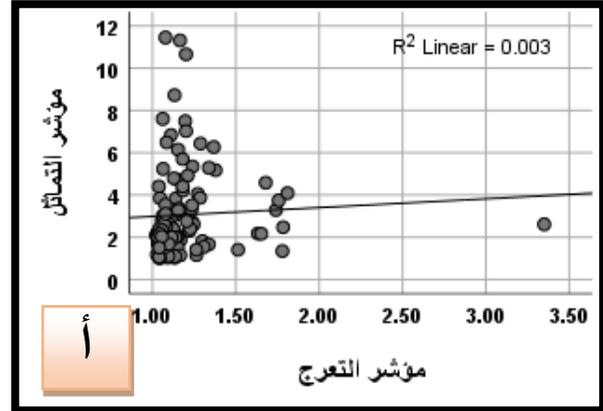
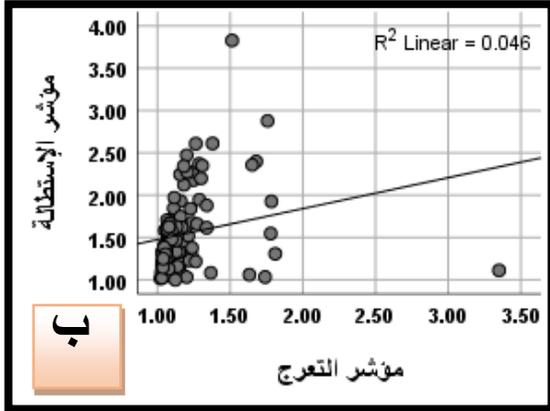
يوضح مؤشر التعرج عدم انتظام الحدود الخارجية واستطالة الدولين. يعبر هذا المؤشر، والذي دائماً ما تكون قيمته أكبر من ١ صحيح، عن النسبة بين محيط الدولين ومحيط الدائرة المساوية في مساحتها لمساحة الدولين، ويعاب على هذا المؤشر أنه في حالة الدولينات الإهليجية الشكل لا يكون الدولين غير منتظم، ولكن مع ذلك فإنه يظهر بقيم أكبر من الـ ١ الصحيح. بلغ متوسط القيم لمؤشر التعرج ١.١، وتراوحت قيم المؤشر بين ١.٠٢ - ٣.٣٥ وانحراف معياري للقيم عن المتوسط بلغ ٠.٢٦، (جدول ٢)، وتم تقسيم المؤشر هنا إلى ٣

فئات، (شكل ١٥) الفئة الأولى دولينات منتظمة الشكل وتتراوح قيمها بين (أقل من ١.٥) وهي الفئة الأكثر تكرارًا؛ حيث بلغ عدد المنخفضات فيها ١١٠ منخفضًا بنسبة بلغت ٩١.٧ %، وبلغت منخفضات الفئة الثانية نحو ٩ منخفضات بنسبة وصلت ٧.٥ %، وهي دولينات قريبة من الشكل المنتظم ، بينما لم يشغل الفئة الثالثة سوى منخفض واحد بنسبة ١.٢ % ، وهي دولينات غير منتظمة الشكل.



شكل (١٥) فئات مؤشر تعرج المنخفضات بمنطقة الدراسة

من الجدول (٣) والشكل (١٦) يتضح أن علاقة الارتباط بين مؤشر التعرج ومؤشر التماثل ٠.٣٤٨ ، (شكل ١٦/أ) وهي علاقة طردية ضعيفة، بينما بلغت علاقة مؤشر التعرج بمؤشر الاستطالة ٠.٥٤١ ، (شكل ١٦/ب)، وهي علاقة طردية متوسطة، فكلما زاد التعرج زادت الاستطالة.



شكل (١٦) معامل الارتباط بين مؤشر تعرج المنخفضات والمؤشرات الأخرى.

#### ح: مؤشر التماثل (PSIM) Product of symmetry

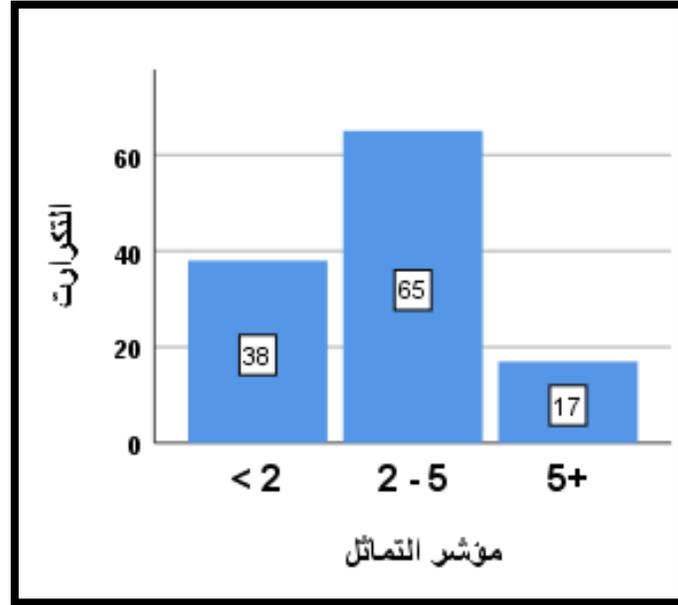
يحدد هذا المؤشر تماثل الشكل الداخلي للدولين ونقطة تجميع المياه، إذا ما كانت نقطة تجمع المياه في منتصف الدولين فإن قيمته تكون مساوية للواحد الصحيح  $PSIM=1$ ، وإذا حدث غير ذلك فإن قيمته تبدأ في الزيادة. ويتم حسابه من خلال ضرب مؤشر نسبة الطول في مؤشر نسبة العرض، وبلغ متوسط مؤشر التماثل الداخلي للمنخفضات في المنطقة حوالي ٣.٠٦ بمؤشر انحراف معياري للقيم عن المتوسط بحوالي ٢.٠٧، (جدول ٢) وبشكل عام تراوحت قيم المؤشر ما بين ١.٠٢ - ١١.٤٥. ويتم حساب مؤشر التماثل من المعادلة التالية:

$$PSIM=RLEN * RWID$$

(A.Bondesan et.all;1993)

وقد تم تقسيم القيم إلى ٣ فئات، بلغ عدد المنخفضات في الفئة الأولى ٣٨ منخفضاً بنسبة ٣١.٧%، وهي منخفضات متماثلة المركز، بينما بلغت منخفضات الفئة الثانية، والتي تتراوح بين (٢-٥)، ٦٥ منخفضاً بنسبة ٥٤.٢%، وهي منخفضات قريبة داخليا من التماثل المركزي، والفئة الثالثة بلغ عدد المنخفضات بها ١٧ منخفض بنسبة ١٤.١%، وهي المنخفضات البعيدة كلياً عن شكل التماثل الداخلي.

ومن الشكل (١٧) يتضح أن الفئة الثانية هي الفئة المنوالية بعدد ٦٥ منخفضاً، ويمكن إرجاع ذلك إلى المرحلة التي تمر بها أراضي الكارست بالمنطقة ، بالإضافة إلى قلة سقوط الأمطار، والتي من شأنها أن تحد من تطور الدولينات .



شكل (١٧) فئات مؤشر التماثل.

#### ت: مؤشر الاستطالة $RL/W$ Elongation Ratio

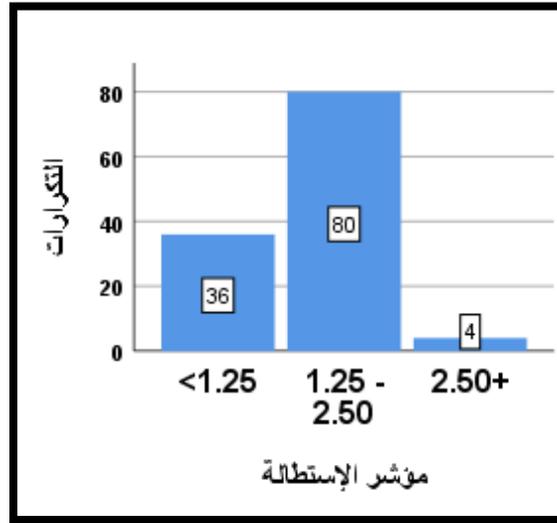
يعبر هذا المؤشر عن شكل سطح الدولين، فهو يعطينا بياناً عن تماثل شكل حدود سطح المنخفض (المحيط)، وبالتالي يُعد مقياس شكل خارجي، حيث أنه كلما أقتربت القيم من الصفر دل على تماثل الشكل وكلما أبتعدت القيم عن الصفر بالموجب دل على زيادة إستطالة الشكل. بلغ متوسط مؤشر الاستطالة ١.٥ وتراوحت قيمة ما بين ١ - ٣.٨٣ بانحراف معيارى للقيم حوالى ٠.٥ ومن الشكل (١٨) يتضح أن أغلب المنخفضات يغلب عليها التماثل في شكلها، ويمكن ربط هذا بصغر حجم المنخفضات بشكل عام في المنطقة، فهي لم تتطور بشكل كبير. وقد تم تقسيم فئات مؤشر الإستطالة الى ٣ فئات طول الفئة ١.٢٥، وجاءت الفئة الثانية (١.٢٥-٢.٥٠) في المرتبة الأولى من حيث عدد الدولينات بواقع ٨٠ منخفض إذابة بنسبة ٦٦.٧ %، وتليها الفئة الولى بعدد ٣٦ منخفضاً بنسبة بلغت ٣٠ %، وفي المرتبة الأخيرة الفئة الثالثة بعدد ٤ دولينات ونسبة بلغت ٣.٣ %، ويتم حساب مؤشر الاستطالة من المعادلة التالية:

$$\frac{LAXI}{WMAX}$$

(A.Bondesan et.all;1993)

LAXI = المحور الطولي، أى طول الحوض.

WMAX = الخط الواصل بين أبعد نقطتين وعمودى على الخط الطولى ويمر بأعمق نقطة للمنخفض.



شكل (١٨) فئات مؤشر الاستطالة.

ى: مؤشر النشأة RH/D

يسمى بمؤشر الشكل الداخلي ويساعد هذا المؤشر في فهم أصل نشأة المنخفضات: على سبيل المثال، حقول منخفضة الإذابة دائماً ما تعطى قيم RH/D متماثلة؛ على عكس حقول دولينات الانهيار، فإن قيم RH / D تعرض توزيعاً متباعد القيم، ويرجع هذا بالأساس للعوامل المتحكمة في نشأة المنخفضات حيث أثر العمليات المختلفة من إذابة وانهيار وتسريب يعمل على تغيير الشكل الداخلي بقيم معينة وهذه القيم لها دلالتها في النشأة كما سبق الذكر، ومن دراسة جدول(٢) يبلغ المتوسط ٠.٠٣ والانحراف المعياري ٠.٠١، وبلغ المدى للقيم بين (٠.٠١ - ٠.٠٨).

ويتم حساب مؤشر النشأة من المعادلة التالية:

$$\frac{HMAX}{DAVE}$$

(A.Bondesan et.all;1993)

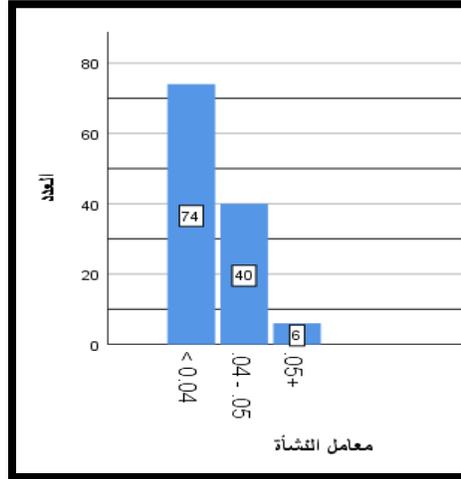
HMAX = أعمق نقطة في المنخفض.

DAVE = متوسط مجموع محور الطول والعرض.

وبناءً على ما سبق ذكره فإنه كلما زاد عدد القيم المتقاربة في الناتج اتضح أنها منخفضات إذابة، وعلى العكس لو كانت منخفضات انهيارية، وقد تم تقسيم مؤشر النشأة إلى ٣ فئات، بلغ عدد الدولينات في الفئة الأولى، والتي قيمها (أقل من ٠.٠٤)، ٧٤ منخفضاً بنسبة بلغت ٦١.٧% وهذه الفئة تعد الفئة المنولية، وهي المنخفضات التي ينتمي أصلها ونشأتها إلى عملية الإذابة فقط، بينما بلغ عدد دولينات الفئة الثانية ٤٠ منخفضاً بنسبة وصلت ٣٣.٣%، وهي المنخفضات التي يشترك مع عملية الإذابة عمليات أخرى مثل الهبوط والانهيار، إلا أن ا

لتأثير الأكبر يكون لعملية الإذابة، وبلغ عدد دولينات الفئة الثالثة التي تزيد قيمها عن ٠.٠٥، حوالي ٦ منخفضات، وهي الفئة التي تكون فيها منخفضات الإذابة ذات أصل مركب ما بين عمليات الهبوط والإذابة والانهيار.

ويتضح من الشكل (١٩) يتضح وقوع معظم قيم العينة في الفئة الأولى والثانية بعدد منخفضات ١١٤ من أصل ١٢٠ منخفضاً، حيث يتضح قرب معظم القيم من بعضها البعض، وهذا يدل على أن المنخفضات في المنطقة أصل نشأتها عملية الإذابة، كما سبق الذكر.



شكل (١٩) فئات مؤشر النشأة للمنخفضات في منطقة الدراسة.

#### خامساً: بعض الأشكال المرتبطة بالمنخفضات الإذابة الأشكال الإرسابية:

- **العقد الصوانية:** العقد الصوانية (البطيخ المسخوط) عبارة عن كتل صلبة ومضغوطة تتكون من ترسيب المواد اللاحمة داخل الفراغات بين الجسيمات، وتوجد في الصخور الرسوبية أو الترية، وعادة ما تكون محلية النشأة لأنها تحدث في العديد من الأحجار الجيرية. غالباً ما تكون التكتلات بيضاوية الشكل أو كروية الشكل، على الرغم من حدوث أشكال غير منتظمة أيضاً. وكلمة "concretion" مشتقة من الكلمة اللاتينية concretio " (فعل) الضغط، والتكثيف، والتجميد، والتوحيد"، وهي نفسها من كلمة con التي تعني "معاً"، وتعني "النمو". تتشكل العقد داخل الطبقات الرسوبية التي تم ترسيبها بالفعل في وقت مبكر من تاريخ دفن الرواسب، قبل أن تتصلب بقية الرواسب في الصخور.

ويتراوح شكل ظاهرة البطيخ المسخوط في منطقة الدراسة فيما بين الدائري والبيضاوي، وأحياناً تأخذ أشكال منبعدة وطولية وقد تكون متلاحمة فتظهر أشكالاً غير معروفة. ويتركز توزيع البطيخ المسخوط في منطقة الدراسة في الجانب الشمالي الغربي لوادي قصب؛ حيث تظهر في حقول كثيرة وتظهر حقول البطيخ المسخوط في ثلاثه أشكال، وهي حقول البطيخ المسخوط غير المتأثرة بعمليات التجوية، (شكل ٢٠)، ثم

حقول البطيخ التي يوجد بها شقوق (شكل ٢١)، وحقول البطيخ المفتت والتي تعرضت لعوامل التجوية الحرارية، (شكل ٢٢)، والتي فيها يحدث ارتفاع لدرجات الحرارة نهاراً وانخفاضها ليلاً أي ارتفاع المدى الحرارى والذي على إثره يحدث تسخين للطبقات السطحية للعقد الصوانية، ويحدث انفصال للأجزاء السطحية أو تكسر الكتل كلها بشكل كامل، فتفتت في شكل قطع مختلفة الأحجام (شكل ٢٣).



شكل (٢١) يوضح عقد بطيخ تعرضت للانفصال بفعل التجوية

شكل (٢٠) يوضح حقول بطيخ مسخوط لم تتعرض للتجوية



شكل (٢٣) يوضح منخفض إذابة مصحوب بكتل مفتتة من البطيخ المسخوط

شكل (٢٢) يوضح حقول البطيخ المسخوط المتأثرة بالتجوية

- **الكالسيت:** يُعد الشكل المعدني الأكثر شيوعًا واستقرارًا من كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  تحت عوامل الحرارة والضغط والضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون. كما أنه المكون السائد لجميع الأحجار الجيرية، ويسبب ذوبانه وإعادة ترسيبه عن طريق المياه الطبيعية في درجات الحرارة العادية، فهو أيضًا المعدن المهيمن في رواسب الكهوف الكيمائية بما في ذلك الهوابط والصواعد (EPA, 2002).

يأخذ الكالسيت اللون الأبيض أو عديم اللون عندما يكون نقيًا بدون شوائب ولكن هذه حالات قليلة والأغلب أن به شوائب ناجمة عن ترسيب بعض المعادن الأخرى المختلطة به، وغالبًا ما يتحول إلى الأصفر والبني، عن طريق الشوائب المضمنة مثل أكاسيد الحديد، وقد يسمح نموه غير المنقطع في أحواض الترسيب بتشكيل بلورات حجمها كبير، وتأخذ بلورات الكالسيت شكل الهرم والمعين. يجب أن يصبح الماء شديد التشبع لتطويع كتل كبيرة من البلورات، ومع ذلك يجب أن يكون خاليًا بشكل كافٍ من الشوائب للسماح لبلورات الكالسيت الفردية بالتطور دون انقطاع.

عندما يصل محلول الإذابة لحالة التشبع، ويبدأ في تفرغ ثاني أكسيد الكربون يحدث ترسيب لكربونات الكالسيوم في صورة بلورات الكالسيت.

ينتشر الكالسيت في المنخفضات على شكل جيوب (شكل ٢٤)، حيث رصدت الدراسة الحالية عددًا من جيوب الكالسيت على الهضبة حول طريق البحر الأحمر، وفي منطقة أولاد الشيخ، كما يتأثر ترسيب الكالسيت بالظروف البنيوية للصخر، وظروف الترسيب، والوقت الكافي لنمو البلورات، والمعادن والشوائب المصاحبة لعملية الترسيب تؤثر في لون وشفافية الكالسيت.



شكل (٢٤) يوضح منخفض رقم ٢ أعلى سطح الهضبة، وجيوب الكالسيت المترسبة بداخله

#### - التربة الحمراء:

أستخدم التعبير "terra rossa" لأول مرة بواسطة Tučan عام 1912 . وحسب القاموس الجيولوجي فإنها تربة حمراء تطورت نتيجة لإذابة الصخور الكربونية، وترسبت كبقاوى إذابة ناتجة من هذه العملية. وحسب قاموس المصطلحات الكارستية ٢٠٠٢ فإنه قدم تعريفين للتيرا روزا:

١- التربة ذات اللون البني المحمر، والتي تغطي الحجر الجيري؛ قد تظهر على انها بقايا عملية الإذابة في بعض المناطق.

٢- بقايا غير قابلة للذوبان ذات لون بني محمر، تُترك خلفها عند تجوية صخور الكربونات وتنتشر في أقاليم مناخ البحر المتوسط والمناطق المشابهة.

ومن أفضل التعريفات التي قدمت في هذا الصدد: " التيرا روزا عبارة عن حجر طيني أحمر اللون يصل في سمكه إلى عدة أمتار، وقد يغطي مناطق تصل إلى عدة كيلو مترات، وترتبط بالصخور الكربونية الكارستية (Merino & Banerjee,2008,P.62)."

ويمكن الخلاص إلى أنها " مادة طينية ضاربة إلى الحمرة، توجد على العديد من الأسطح الكارستية، دائماً ماتنتشر في الفواصل والشقوق التي تعرضت لعملية الإذابة وقد تم قبولها منذ فترة طويلة كسمة أساسية مميزة للأراضي الكارستية".

تظهر رواسب التربة الحمراء باللون مختلفة تتراوح ما بين الأحمر القرمزي والأحمر الفاتح، والبنّي المحمر، وقد تتباين درجة اللون في المناطق المتجاورة، ويرجع أختلاف الألوان في التربة الحمراء الي نوع المعادن الموجودة بها، وقد أوضحت إيمان عفيفي (٢٠٢٢) أن سبب أختلاف اللون يرجع لوجود أكاسيد الحديد والماغنسيوم في التربة الحمراء، الأمر الذي يجعل هناك تباين في اللون الأحمر؛ حيث الأحمر الفاتح يدل على قلة عناصر الحديد والماغنسيوم، أما اللون الأحمر القرمزي والبنّي المحمر، فيرجع إلى ارتفاع تلك العناصر في التربة.

تختلف درجة صلابة التربة الحمراء في مختلف مناطق الدراسة، ويرجع السبب، إلى وجود مادة لاحمة تتمثل في المواد الكلسية التي ترسبها المياه داخل التربة الحمراء، والتي تعمل على تلاحم مكوناتها وزيادة صلابتها، على العكس يعزى تفكك أجزاء من التربة الحمراء وظهورها بمظهر هش بسبب أنخفاض المادة اللاحمة، وزيادة حبيبات الرمل داخل التربة من جهة أخرى ومفتتات الحجر الجيري والمواد المنقولة الأخرى ( إيمان عفيفي، ٢٠٢٢).

## سادسا: المناقشة والإستنتاجات

تتسم نماذج الارتفاعات الرقمية بالاختلاف فيما بينها في الدقة الرأسية، وعليه تم التوصل إلى ان نماذج الارتفاعات الرقمية الناتجة من بيانات Google Earth Pro هي الأقل دقة حيث وصلت نسبة الخطأ فيها  $\pm 6$  متر عن قيم الارتفاعات الحقيقية، بينما بلغت الدقة المكانية للقيم التي تنتج من نموذج الارتفاع الرقمي SRTM نحو  $2.30$  متر عن الحقيقة وهي تعتبر الأكثر دقة بين البيانات المجانية المتاحة.

تتميز هضبة المعازة الجيرية بانتشار عدد كبير من المنخفضات والتي لم يتم دراستها من قبل، فكان لابد من دراستها وإيضاح هذا الكم الهائل من المنخفضات، وكان لابد من وضع اساس لدراسة مثل هذا النوع من المنخفضات على سطح الهضبة خاصة في ظل غياب الخرائط التفصيلية.

تعد منخفضات الإذابة من أهم الظاهرات والسمات المميزة لأراضى الكارست، ولذلك وجب علينا دراستها من خلال تعريفها، وتوضيح الفرق بين منخفضات الإذابة والبالوعات، بالإضافة إلى عرض التعريفات المتعارف عليها.

نشأت هذه المنخفضات أثر التعرية الكارستية لصخور الحجر الجيري أعلى الهضبة والتي لم تكون وليدة الفترات المناخية الحالية، إنما هي متبقية من الأزمنة الجيولوجية المطيرة؛ حيث أن المناخ الحالي لايساعد في نشأة المنخفضات، ولكن قد يعدل عليها؛ حيث أن المناخ الحالي يتسم بالجفاف معظم شهور السنة باستثناء فصل الشتاء الذي يحدث فيه الأمطار التي تحدث أحيانا في شكل سيول، حيث تملأ هذه السيول المنخفضات بالمياه في شكل برك مياه ضحلة يتخلف عنها بعض الرواسب بعد جفافها.

أوضحت الدراسة عدد كبير من المؤشرات والتي لم يتم تناولها من قبل داخل أقاليم الكارست المصرية، حيث أعتمدت على استخراج أبعاد المنخفضات من خلال الإستعانة بتقنية نظم المعلومات الجغرافية التي لم تستخدم إلا في العقود القليلة الماضية في الدراسات الكارستية، وكان لابد الإستفادة منها في توضيح طرق استخراج ابعاد المنخفضات فهي توفر الجهد والوقت بالمقارنة بالوسائل التقليدية من راسات ميدانية وخرائط طبوغرافية(يحتمل عدم دقتها).

وضوح الخصائص المورفومترية لعدد من المنخفضات بلغ  $120$  منخفضاً، وقياس المؤشرات المختلفه بناءً على دراسة (Bondesan et.all;1993) والتي توضح كيفية دراسة منخفضات الإذابة بشكل إحصائي،

واستخراج قياسات المنخفضات باستخدام برامج الحاسب من خلال عدد من الخطوات ، بالإضافة إلى دراسة معامل الارتباط بين بعض هذه المؤشرات .

أظهرت نتائج مؤشر Rh/D ان المنخفضات الموجودة على سطح الهضبة هي من نوع منخفضات الإذابة حيث ان نتائج هذا المؤشر جميعها متقاربة جدا في النتائج وهي صفة تميز منخفضات الإذابة عن غيرها من المنخفضات الأخرى.

يرتبط بهذه المنخفضات بعض الأشكال الكارستية الأخرى مثل البالوعات المدفونة، وبعض مخلفات عملية الإذابة مثل التربة الحمراء، وعقد الصوان ، كما يرتبط بها القشور الصلبة الناتجة أيضا عن عملية الإذابة، وبعض اشكال الترسيب الأخرى مثل الكالسييت،

#### المراجع:

- ١- إبراهيم سيد صابر بكري (٢٠١٠) :الظواهر الكارستية في الهضبة الوسطى بصحراء مصر الغربية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية البنات للآداب والعلوم والتربية، جامعة عين شمس.
- ٢- أشرف أبو الفتوح مصطفى (٢٠٠٧) جيومورفولوجية اشكال الكارست في منخفض الفرارة، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
- ٣- إيمان عفيفي(٢٠٢٢): جيومورفولوجية الكارست في هضبة المعازة من وادي الأحايوة جنوباً حتى وادي أبو شيخ شمالاً، الصحراء الشرقية، مصر، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة أسيوط.
- ٤- جهاد أكرم الحجازي(٢٠١٤) : أشكال الكارست على حواف منخفض البحرية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
- ٥- حسام جمعة (٢٠١٩) "جيومورفولوجية أشكال الكارست على حواف منخفض الفيوم وقاعه" بالصحراء الغربية في مصر، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة بني سويف.

٦- وفاء خلف فهيم (٢٠١٤): ظاهرات الكارست في منطقة مطروح- دراسة جيومورفولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة بنها.

٧- حسام جمعة (٢٠١٩) "جيومورفولوجية أشكال الكارست على حواف منخفض الفيوم وقاعه" بالصحراء الغربية في مصر، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة بني سويف.

### المراجع الأجنبية:

- 1- AL-Rousan,N.,M.,(1998): SYSTEM CALIBRATION, GEOMETRIC ACCURACY TESTING AND VALIDATION OF DEM AND ORTHOIMAGE DATA EXTRACTED FROM SPOT STEREO-PAIRS USING COMMERCIALY AVAILABLE IMAGE PROCESSING SYSTEMS, Unpublished M. Sc.Thesis, University of Glasgow.
- 2- Bondesan, A., et.al (1993): MORPHOMETRIC ANALYSIS OF DOLINES,INTERNATIONAL JOURNAL OF SPELEOLOGY ,VOL.21
- 3- EPA (2002) A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology, environmental protection agency, office of research and development, digital version, www.Epa.Gov/ncea
- 4- Merino, E., and Banerjee A.,(2008) Terra Rossa Genesis, Implications for Karst, and Eolian Dust: A Geodynamic Thread, Jour. Of Geol., Vol.116,pp.62-75.