

## النمذجة الهيدرولوجية ثنائية الأبعاد للجريان السيلي ، حوض وادي الجمال، البحر الأحمر، مصر ، باستخدام تطبيقات الجيوماتكس

إعداد

أ.د/ مني عبد الرحمن عيس الكيالبي

أستاذ الجغرافيا الطبيعية كلية الآداب - جامعة حلوان

د/صبي عبد الحميد عبد الجواد

محلل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن البُعد - الشركة السعودية

للكهرباء، المملكة العربية السعودية

Doi: 10.12816/jasg.2020.67951

قبول النشر: ١٨ / ١٢ / ٢٠١٩

استلام البحث: ١٥ / ١١ / ٢٠١٩

### المستخلص:

يعتبر الجريان السيلي Flash Flood واحدة من أكثر الأخطار الجيومورفولوجية التي تهدد مناطق التنمية البشرية في العالم أجمع بما تتسبب فيه من خسائر مادية وبشرية تصل الي مستوي الكارثة حيث يتصف الجريان السيلي بفجائيته وتدفعاته المائية التي تحمل رواسب وكتل صخرية تدمر ما يعترض طريقها من منشآت تنموية اضافة لصعوبة التنبؤ بحدوثها ونقص محطات الرصد الجوية والاعتماد على محطات أرصاد قريبة من المنطقة المستهدفة بالدراسة. وحيث تتوافر التقنيات الحديثة والبيانات الرقمية وأجهزة تحديد المواقع الأرضية GPS فيما يعرف بتقنية "الجيوماتكس" والتي يمكن توظيفها بما يخدم توجهات الدولة التنموية لتنمية جنوب شرق جمهورية مصر العربية ومثلت حلايب وشلاتين بشكل عام وحوض وادي الجمال بشكل خاص، ونظراً لما تمثله المياه من مورد أساسي للتنمية فسوف تقدم هذه الدراسة البحثية عرضاً لإمكانات حوض وادي الجمال الهيدرولوجية وتحديداً دقيقاً للمناطق المهددة بالجريان السيلي والمناطق المناسبة للتنمية الآمنة. تتعرض المنطقة للجريان السيلي علي فترات زمنية متباعدة وغير متساوية مما يشكل خطورة بالغة علي السكان والمناطق التنموية الساحلية وتلك الموجودة في داخل حوض التصريف من مناطق صناعية تتمثل في المناجم والمحاجر وعليه فإن سكان هذه المنطقة يتناسون الخطر ويتعايشون مع وضع مؤقت ينتهي دائماً مع حلول كارثة

الجريان السيلي ، وعليه ستقدم هذه الدراسة نتائج النمذجة الهيدرولوجية لحوض تصريف وادي الجمال ومقترحات تطويرية لاستغلال الموارد المائية بشكل أفضل والتي تمت عبر تطبيق الجيوماتكس في تحليل صور الأقمار الصناعية والخرائط الرقمية ونماذج الارتفاعات الرقمية لدرء خطر الجريان السيلي وتحويله لمورد تنموي.

**الكلمات المفتاحية:** الهيدرولوجيا، النمذجة، الجريان السيلي، الجيوماتكس، نظم المعلومات الجغرافية.

### Abstract:

Wadi El-Gamal Basin is one of the largest dry drainage basins on the Red Sea coast of the Arab Republic of Egypt. Due to the development trends in the south east of the (ARE) Arab Republic of Egypt and the Halaib & Shalatin Triangle. This study will present the results of the morphometric and hydrological characteristics of the drainage basin and development proposals for the region through the application of two-dimensional modeling of solar flow using geomatics and GIS based on digital data and images. Industrial satellites and digital elevations.

**Key Words:** hydrology, modeling, flow, geomatics, GIS.

### المقدمة:

تُعد النمذجة أحد أهم الاتجاهات الحديثة في تطبيقات الجيوماتكس بشكل عام والجيومورفولوجيا التطبيقية بشكل خاص ، حيث تعتبر تجريد الواقع يرتكز علي جمع معلومات تخدم هدف الدراسة البحثية وقد تم استخدام البيانات الرقمية ونماذج الارتفاعات الرقمية وصور الأقمار الصناعية في تحليلها ، وتهدف اعمال النمذجة الهيدرولوجية ثنائية الأبعاد الي تحديد اكثر دقة للمناطق المهددة بخطر الجريان السيلي وتصنيفها الي فئات وفقاً لدرجة الخطورة ومدى تأثيرها علي المنشآت البشرية والمرافق والبنية التحتية التي تعترض مسار الجريان السيلي.

يتأثر ساحل البحر الأحمر بالعديد من الأخطار الطبيعية ، أشدها خطورة الجريان السيلي الذي يؤثر على الطريق الساحلي الوحيد الرابط بين المدن الواقعة عليه، ويتميز الجريان السيلي بهذه المنطقة بوجود قمة عالية وحادة للجريان وهي بذات الوقت محملة بكميات من الرواسب والكتل مختلفة الأشكال والأحجام.

ويهدف هذا البحث الي تطبيق النمذجة الهيدرولوجية والتي منها مجموعة المعادلات الخاصة بها والتي تعد أحد الأساليب المستخدمة لتحديد المناطق المهددة بخطر الجريان السيلي ومع دمجها بتقنيات الجيوماتكس والتي تتكون من ثلاث تقنيات تحليلية متميزة وهي نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن البعد (RS) مرتبطة بنظم تحديد المواقع العالمية (GPS) بحيث يمكن الخروج بمخرجات عالية الدقة تساعد على تحديد المناطق المهددة بخطر الجريان السيلي بشكل أكثر وضوحاً. كما تتيح تقنية الجيوماتكس من استنباط الخصائص الخاصة بأحواض التصريف ومعالجتها كميأ لمحاكاة جريان مياه الأمطار وتحديد أكثر المناطق خطورة وتصنيفها الي فئات وفقاً لدرجة الخطورة.

وقد اتاحت تقنيات الجيوماتكس الفرصة نحو تحليل البيانات المكانية بأسلوب عملي مميز عبر العمل على العديد من الطبقات ذات الخصائص المختلفة والتي تعبر عن الوضع الراهن للمنطقة لدعم اتخاذ القرار التنموي وتحديد المناطق وتصنيفاتها وفقاً لدرجات الخطورة وتحديد اي منها يقف عائقاً أمام عمليات التنمية المستدامة، ومعرفة المقومات الطبيعية بالمنطقة بما يدعم خطط وعمليات التنمية، وسوف يسعى هذا البحث إلى إثبات ذلك من خلال دراسة هيدرولوجية الجريان السيلي وتحديد المناطق المهددة به لدعم اتخاذ القرار.

#### أهمية البحث:

تُعد نمذجة الجريان السيلي وهيدرولوجيته من الدراسات المتخصصة التي تعود بالنفع علي جهات عديدة، لما تقدمه من تطبيقات عملية تدعم اتخاذ القرارات التنموية علي كافة المستويات التخطيطية سواء كانت استراتيجية او تفصيلية، وخلال الفترة الأخيرة تزايد الاهتمام بعمليات النمذجة الهيدرولوجية للجريان السيلي بسبب خطط التنمية البشرية المستمرة وتعيديها علي مسارات ومصبات الأودية في المناطق الجافة بشكل خاص ، اضافة إلى عدم وجود دراسة هيدرولوجية متخصصة باستخدام التقنيات الحديثة لحوض وادي الجمال ، وقد اعتمد في اعداد هذه الدراسة علي برمجيات WMS (\*) المتخصصة في الدراسات الهيدرولوجية الدقيقة.

#### الدراسات السابقة:

- دراسة (مني عبدالرحمن الكيالي و صبحي عبد الحميد ، ٢٠١٩): بعنوان: أخطار السيول باستخدام النمذجة المكانية، حوض وادي غدير، البحر الأحمر، مصر: حيث تناول بالدراسة خطر الجريان السيلي في حوض وادي غدير وقد اعتمد في اعداد الدراسة علي تطبيق نموذج Creager's Formula في حساب

\* WMS : هو برنامج متخصص في الدراسات الهيدرولوجية وكذلك اجراء النماذج الهيدروليكية لمحاكاة الجريان السيلي في أحواض التصريف.

وتقدير حجم الجريان السيلي واستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في بناء قاعدة بيانات جغرافية تتضمن نتائج المؤشرات المورفومترية والهيدرولوجية وحوض التصريف لوادي الجمال إضافة الي إعداد خريطة رقمية محدد عليها المواقع المهدة بخطر الجريان السيلي بمنطقة الدراسة ودرجاتها وانتهت الدراسة بوضع مجموعة من المقترحات والتوصيات التي يمكن من خلالها درء خطر الجريان السيلي بالمنطقة كنموذج تطبيقي واستخدام ذلك عند التخطيط لأي مشروعات مستقبلية بالمنطقة.

- دراسة (أشرف أحمد علي عبدالكريم ، ٢٠١٨) : بعنوان : أثر التغيرات المناخية والتوسعات العمرانية على زيادة مخاطر السيول : قرية حجازة – محافظة قنا- نموذج باستخدام النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية ( WMS & HEC-RAS) ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد GIS & RS: حيث تناول في دراسته ثلاثة محاور أساسية لإيضاح أثر التغيرات المناخية والتوسعات العمرانية غير المخططة على زيادة خطر الجريان السيلي عبر تحديد كلاً من مؤشر مخاطر الفيضان FHI وحساب منحى هيدروغراف السيول إضافة إلى حساب مدى تكرار العاصفة المطرية IDF – Curve وذلك لأحواض تصريف منطقة دراسته.
- دراسة : (حسام محمد جاب الله ، ٢٠١٨) : وتناول في دراسته التحليل المورفومتري لحوض وادي عباد مع دراسة تفصيلية لروافد الحوض وربط النتائج بالجريان السيلي كما تناول الميزانية الهيدرولوجية لروافد وادي عباد للوصول الي قيم صافي الجريان ومعدل التغذية الجوفية
- دراسة (محمد فضيل بورية ، ٢٠٠٢) : بعنوان : (الخصائص المورفومترية لحوضي وادي عركان ووادي يخرف رافدي وادي بيش بالمملكة العربية السعودية) ، وقام في دراسته التطبيقية بتحليل ومقارنة الخصائص المورفومترية لهذين الحوضين لإيضاح التطور الديناميكي وتم الاسترشاد ببعض المؤشرات المورفومترية من أجل تحديد تأثيرات التطور الجيومورفولوجي على طبيعة وسرعة استجابة الحوضين الهيدروغرافية لمياه الأمطار، كما أبرزت دراسته عدة اختلافات مكانية لنظم الجريان المائي السطحي ومراحل التعرية الحالية ومدى قدرة كل حوض على تحويل مياه الأمطار المتساقطة إلى جريان سطحي يمكن تعظيم الاستفادة منه.
- دراسة (Surman , 1994): والتي جاءت بعنوان ( Estimation of Flood Peak using remote Sensing Techniques; Case study: Wadi Itwad, Southwestern Saudi Arabia ) : وقد أظهر في دراسته مدى إمكانية تقدير

ذروة الجريان السيلي باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن البُعد بحيث ساهمت دراسته في إعطاء صورة واضحة مقارنة للواقع فيما يخص قيم التدفق السيلي لأودية مربا وضلع وعتود والتي تم حسابها باستخدام طريقة (Rational Method، Technical Release-55 (TR-55) والتي تم الاعتماد فيها على صور القمر الصناعي الأمريكي Landsat TM والملتقطة عام ١٩٩١م وقد تراوحت كمية الجريان السيلي المتوقع ما بين ٧.١م<sup>٣</sup>/ ثانية لفترة رجوع ٥٠ سنة و ٠.٢٢م<sup>٣</sup>/ ثانية لفترة رجوع ١٠٠ سنة لوادي عتود.

• دراسة (Surman , 1993): والتي جاءت بعنوان (Application of the TR-55 Model to Storms in Arid Climate Case Study: Upper Tabbalah, The Kingdom of Saudi Arabia) وقد أظهر في دراسته مدى إمكانية تقدير ذروة الجريان السيلي باستخدام طريقة (Rational Method، 55 (TR-55) في حوض وادي تباله بحيث بلغت قيم التدفق المائي للجريان ٧.٧م<sup>٣</sup>/ثانية.

• دراسة (Bokhari , 1992): بعنوان (The Drainage System Around Saudi Arabia, as viewed from Satellite Data) وقد اعتمد فيها على صور القمر الصناعي الأمريكي Landsat TM والملتقطة عام ١٩٩١م وأظهر من خلالها مدى إمكانية التعرف على الوضع الهيدرولوجي لشبكات التصريف بأودية المدينة المنورة الممتدة على المرئية الفضائية.

#### أهداف البحث:

- توجيه نظر متخذ القرار نحو أهمية توظيف الجيوماتكس في الدراسات التطبيقية لخدمة المجتمع المحلي وتنميته عبر استغلال موارده المائية المتاحة.
- بناء قاعدة بيانات مكانية تتضمن مخرجات تحليل الخرائط وصور الأقمار الصناعية وقادرة على احتواء نتائج المؤشرات المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وشبكة وادي الجمال بحيث يمكن تناولها وعرض مخرجاتها المعلوماتية بشكل مناسب وبمسط.
- استخدام الأساليب الفنية الحديثة في إجراء التحليلات المكانية عبر تقنيات الجيوماتكس وبرمجياتها وتحليلاتها المتقدمة ومعالجة نماذج الارتفاعات الرقمية DEM ورسم شبكات التصريف ودرجات الانحدار وزوايا الميول.
- التعرف على الخصائص الطبيعية المؤثرة على الجريان السيلي بمنطقة الدراسة.

- تطبيق المؤشرات الهيدرولوجية لتقدير حجم التدفق السيلي بحوض وادي الجمال.
- تصميم منحنيات كثافة الأمطار IDF Curves لتحديد معدلات المطر المتوقعة.
- تحديد كمية المطر المتساقطة وحجم الجريان المتوقع على منطقة الدراسة.
- اعداد خريطة محددة عليها المناطق المهددة بأخطار الجريان السيلي بمنطقة الدراسة ودرجاتها عبر تطبيق التحليل المكاني Hexagon لتحديد المناطق المهددة بخطر الجريان السيلي تقدم لمتخذى القرار.
- تحليل البيانات الهيدرولوجية احصائياً وتطبيق المعادلات الرياضية والمسح الحقلية واجهزة GPS لتدقيق النتائج التي تم التوصل اليها.
- وضع مجموعة من المقترحات لمعالجة أخطار الجريان السيلي التي تهدد منطقة الدراسة لخدمة أغراض التنمية العمرانية المستقبلية الأمانة.

#### منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة علي منهجية التحليل المكاني عبر استخدام الأساليب والبرامج الرياضية الحديثة مثل برنامج WMS والتي تم الاعتماد عليها بشكل أساسي في تحليل صور الأقمار الصناعية متوسطة وعالية الدقة إضافة لنموذج الارتفاعات الرقمي والخرائط الطبوغرافية والجيولوجية، كذلك إجراء القياسات وتطبيق المؤشرات المورفومترية والنماذج المكانية والهيدرولوجية الموضحة بجدول (1) لتحديد المناطق المهددة بالجريان السيلي كذلك إجراء القياسات الخاصة بالمؤشرات الهيدرولوجية للجريان السيلي بحوض وادي الجمال عبر الأساليب والبرمجيات التي توفرها تقنيات الجيوماتكس سواء كانت ثنائية الأبعاد أو ثلاثية الأبعاد مثل برنامج ARC/GIS إضافة لبرمجيات Erdas Imagine المتخصصة في معالجة وتحليل صور الأقمار الصناعية وانتهاء ببرنامج برمجيات WMS المتخصصة في الدراسات الهيدرولوجية بما يتضمنه من مؤشرات عديدة لحساب الجريان السيلي وذروته بالاعتماد علي شبكة التصريف ونطاق حوض التصريف. كذلك سوف يُتبع في البحث الأسلوب العلمي الذي يتفق مع طبيعة البيانات المتوفرة كميًا وكيفية توظيف تقنيات الجيوماتكس في اعمال النمذجة الهيدرولوجية للجريان السيلي بالمنطقة عبر مراحل متتالية من الأعمال التحليلية التي يتطلبها العمل من تحليل للخرائط ونماذج الارتفاعات الرقمية وصور الأقمار الصناعية وعمليات التحويل الرقمي وما يتبعها من اجراءات تحليلية.

جدول (1): المعادلات المورفو-هيدرولوجية المطبقة في البحث

المؤشر	الرمز	معادلة/أسلوب القياس	المرجع
مساحة حوض التصريف/كم <sup>2</sup>	A (Km <sup>2</sup> )	ArcGIS	ArcGIS
طول المجرى الرئيسي (كم)	L <sub>b</sub>	ArcGIS	ArcGIS
أقصى ارتفاع / متر	H <sub>Max</sub> (m)	ArcGIS	ArcGIS

ArcGIS		$H_{Min}^{(m)}$	أدنى ارتفاع / متر
$D^{(m)}/(HMax^{(m)} - H Min^{(m)})$		$I^{(m/m)}$	الانحدار الطبوغرافي لحوض التصريف المائي
ArcGIS		$D^{(m)}$	طول حوض التصريف/ متر
ArcGIS		$L_{ca}$	المسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله /كم
Gatimel & Pons, 2000	$5.66 \sqrt{\frac{L_b (km)}{I (m/m)}}$	$T_c^{(hr)}$	زمن التركيز لحوض التصريف /ساعة
Raghunath H, M. 2006	$Ct (L_b-L_{ca})^{0.3}$	$T_p^{(hr)}$	فترة استجابة حوض التصريف لتساقط الأمطار/ساعة
Réménieras G. 1972	$(T_p^{(HR)} / 5.5)$	$T_r^{(hr)}$	الفترة الزمنية المثالية لتساقط الأمطار/ساعة
عبد الرحمن ومارديني، ٢٠٠٣	$3+(T_p^{HR}/8)$	$T_b^{Day}$	حساب المدة الزمنية للسيل/يوم
محمد سعيد البارودي ، ٢٠١٢	$T_p^{(HR)} * 4$	$T_b^{(hr)}$	فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار /ساعة
Raghunath,1991	$(1/3) T_b^{(HR)}$	$T_m^{(hr)}$	حساب المدة الزمنية الارتفاع التدريجي لتدفق السيل/ساعة
Raghunath,1991	$(2/3T_b^{(HR)})$	$T_d^{(hr)}$	حساب المدة الزمنية للتخفيض التدريجي لتدفق السيل/ساعة
محمد سعيد البارودي، ٢٠١٢	$(1/Tr^{(HR)})$	$I (Cm/hr)$	حساب تركيز المطر المناسب لتدفق الذروة /سم/ساعة
Dubreuil ,1974	$(Q_p^{(m3/s)} / (A^{(km2)}))$	$Q_p^{(m3/s/km2)}$	حساب قيمة تدفق الذروة النوعي لحوض التصريف /متر <sup>3</sup> /ثانية
PNUD -OPE, 1987	$Q_p^{(m3/s)} \{T_m^{(sec)} 10^{-6}\}$	$AL^{(hm)3/(10^{-6} m3)}$	حساب حجم السيل في الحوض المائي ويقدر (مليون م <sup>3</sup> )
Raghunath , 2006	$Q_p^{(m3/s/km2)} \{ (T_m^{(sec)} * 10^{-3}) \}$	$E (mm)$	حساب عمق الجريان السطحي المناسب لذروة التدفق /ملم
Parde , 1960	$\frac{Q_p (m^3/s)}{\sqrt{A (km^2)}}$	$A$	حساب قوة السيل في الحوض المائي
Sorman , 1994 , P.175	$1.32C(0.386A) \text{Exp}(0.936A^{-0.048})$	$Q_p^{(m3/s)}$	تقديرات تدفق الجريان السيلي م <sup>3</sup> /ثانية
			٥٠
			١٠٠
			٢٠٠

### مصادر البيانات:

- ١- هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية:
- البيانات الرقمية للقمر الصناعي Sentinel-2، عام ٢٠١٩م، بدقة ١٠ متر.
- نموذج الارتفاعات الرقمي DEM بدقة ١٠م.
- ٢- الخرائط الجيولوجية مقياس ١: ٢٥٠,٠٠٠، لوحة برنيس، هيئة المساحة الجيولوجية، عام ٢٠٠٠م.
- ٣- الهيئة المصرية العامة للمساحة، الخرائط الطبوغرافية مقياس ٥٠,٠٠٠، المشروع الفنلندي، عام ١٩٩٧م.
- ٤- الهيئة المصرية العامة للأرصاد الجوية البيانات المناخية، بيانات المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لعناصر المناخ بمحطة رأس بناس (١٩٦٩-٢٠١٨م).

البرمجيات المستخدمة:

تم معالجة كافة البيانات الرقمية عبر برمجيات جيوماتكس متخصصة (Global Mapper، WMS، Erdas Imagine، ArcGIS) بهدف معالجة وتحليل البيانات المكانية وطبقات قاعدة البيانات الجغرافية للحصول على مخرجات تعزز التنمية المستدامة والأمنة من خلال تقدير كمية الجريان السيلي المتوقعة من خلال المؤشرات الهيدرولوجية مع الاستعانة بالتقنيات المكانية لإعداد المخرجات الرقمية بشكل مناسب وواضح.

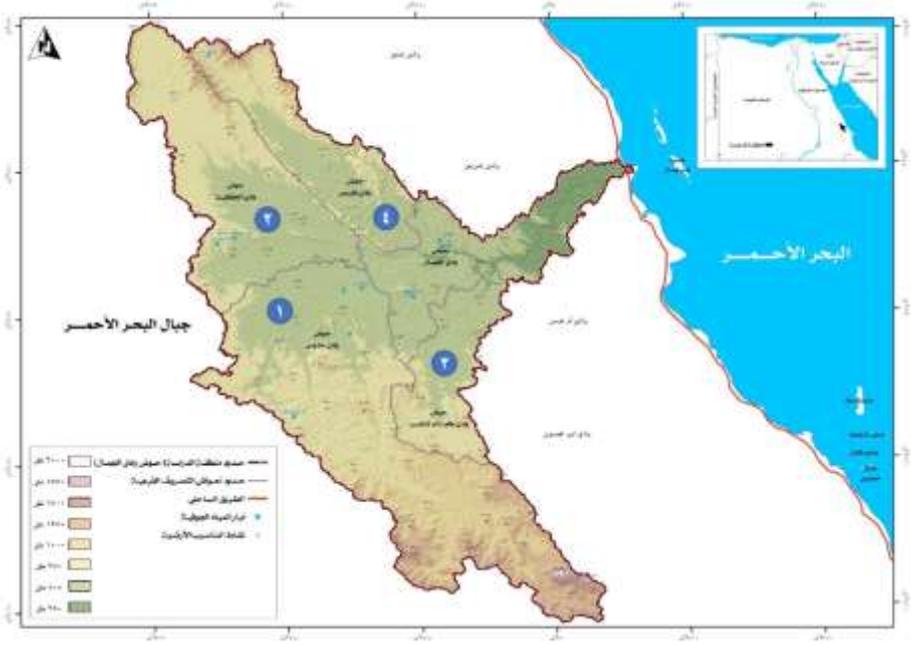
#### عناصر البحث:

- المقدمة.
- المناقشة.
- النتائج.
- الاستنتاجات.
- المصادر والمراجع.

#### المناقشة:

#### الموقع الفلكي والجغرافي :

يقع حوض وادي الجمال في جنوب الصحراء الشرقية لجمهورية مصر العربية ويصب بشكل مباشر في البحر الأحمر شرقاً، ويقع فلكياً بين دائرتي عرض  $06^{\circ} 09' 24''$  و  $05^{\circ} 49' 24''$  شمالاً وخطي طول  $12^{\circ} 28' 34''$  و  $26^{\circ} 05' 35''$  شرقاً، يحده من الشمال كلاً من وادي عريعر ووادي غدير ويحده من الجنوب كلاً من وادي ام عيس، أبو غصون، ومن الغرب خط تقسيم المياه حيث تتحدر منابعه العليا من جبال البحر الاحمر وروافد الأودية التي تصب في نهر النيل غرباً، والحد الشرقي هو البحر الأحمر شكل (1).



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخرائط الطبوغرافية مقياس ١/٥٠.٠٠٠ وصوره القمر الصناعي Sentinel-2 بدقة وضوح ١٠ متر.

#### شكل رقم (١) الموقع والخصائص العامة لمنطقة الدراسة.

يصل أقصى طول له نحو ١٣٦.٥ كم بينما بلغ متوسط عرضه ١٣.٩ كم ويشغل مساحة بلغت ١٩٥٦ كم<sup>٢</sup>، وهو ينقسم الي أربعة أحواض ثانوية تشكل في مجموعها حوض وادي الجمال هي أحواض كل من وادي: "الحقافيت وطلعة أم تناضب وحلوس ونقبص"، ويتشكل الحوض من المجرى الرئيسي والعديد من الروافد التي تنحدر من الشمال الغربي، والجنوب الشرقي، والجنوب والتي تبدو في معظمها على هيئة أنماط شجرية متوازية، ويمكن الوصول اليه من خلال الطريق الساحلي مرسى علم/أبو غصون حيث يقع وادي الجمال الي الجنوب من مدينة مرسى علم بنحو ٥٠ كم تقريباً\*).

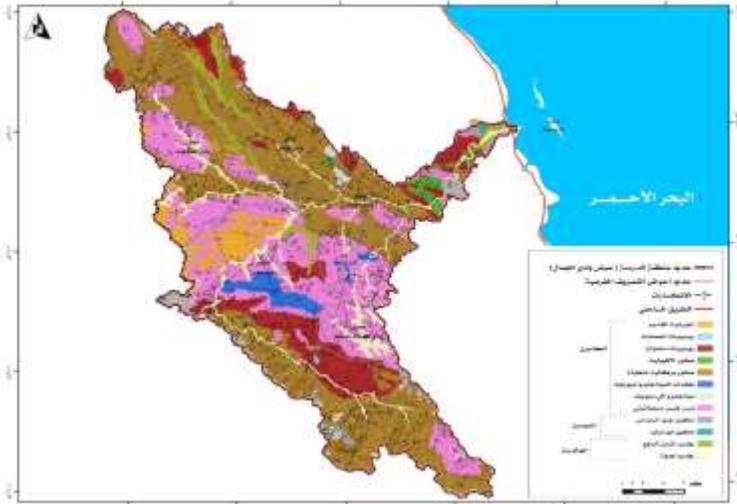
#### جيولوجية المنطقة:

تؤثر طبيعة المنطقة الجيولوجية ونوعية الصخور والرواسب ومدي كثافة التراكيب بالمنطقة بشكل كبير علي وضع مياه الأمطار المتساقطة في كافة أنحاء

\* تم اجراء كافة القياسات والأبعاد علي برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وبالاعتماد علي خرائط الأساس الطبوغرافية مقياس ٥٠.٠٠٠ بعد تصحيحها مكانياً.

الحوض، كما تؤثر طبيعة الصخور علي درجة شدة الجريان السيلي وفق نوعية الرواسب والصخور ومدى انتشار التراكيب السطحية . وبشكل عام تنحدر روافد حوض وادي الجمال من جبال البحر الأحمر غرباً والتي تعتبر من أهم الظواهر التضاريسية علي طول ساحل البحر الاحمر حيث تعود صخورها للزمن الأركي كالجرانيت والبازلت والصخور المنحولة مثل النيس والشست وكلاهما يتميز بالصلابة الشديدة ومقاومته العالية للتعرية المائية ، كما تغطي بطون الأودية والروافد الصخور الرسوبية والرواسب التي تنتمي للزمن الرابع.

تعتبر دراسة التكوينات الجيولوجية وتوزيعها الجغرافي من أهم الركائز الأساسية في تفسير الظواهر الجيومورفولوجية، حيث تُعد أساساً لا غنى عنه في أية دراسة جيومورفولوجية، حيث تهدف إلى تتبع التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة، وكذلك البنية ممثلة في الصدوع والطيات ومدى تأثيرها على سطح المنطقة ومورفولوجيتها، وتأتي أهمية دراسة التكوينات الجيولوجية إلى ارتباطها الوثيق بالطبقات الحاملة للمياه الجوفية ومدى توقف قدرة الصخور على النفاذية بناءً على حجم الفراغات المسامية والشقوق التي تحتويها، حيث تؤثر درجة النفاذية على الجريان السطحي للمياه ويمكن من خلالها تصنيف تكوينات الحوض الصخرية إلى نفاذية عالية ومتوسطة وضعيفة.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة الجيولوجية مقياس 1/250,000، هيئة المساحة الجيولوجية المصرية.  
شكل رقم (٢) بنية ونوع صخور منطقة الدراسة

ومن خلال قراءة وتفسير الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة شكل (٢) وتحليل التوزيع الجغرافي للتكوينات الجيولوجية بحوض وادي الجمال يتضح لنا أن صخور القاعدة تمثل النسبة الأغلب والتي تبلغ ٩١.٢%، بينما شغلت الصخور الرسوبية نسبة ٨.٨% منها وقد تكونت هذه الصخور بسبب تقدم البحر على اليابس في عصور جيولوجية مختلفة حيث يتراوح عمرها ما بين الميوسين والهولوسين، ممثلة بذلك وحدة الترسيب الرئيسية بمنطقة الدراسة، حيث يتم عليها ترسيب وتراكم نتاج عمليات التعرية والتجوية بنوعيهما. وقد أنتجت عمليات الحت والتعرية للصخور خلال العصر الحديث كميات هائلة من الرواسب والمفتتات الصخرية مختلفة الأشكال والأحجام والتي تم نقلها بشكل جزئي وتدرجي من جبال البحر الأحمر غرب منطقة الدراسة إضافة لبعض الرواسب التي تغطي المجرى الرئيسي لوادي الجمال ممثلة في الرمال والحصى ورواسب الأودية الناتجة عن عمليات الحت والتعرية.

#### الخصائص التضاريسية:

تتأثر هيدرولوجية الجريان السيلي في حوض وادي الجمال بالخصائص التضاريسية حيث تتحكم في اتجاه الجريان السيلي وسرعته وكمية المياه المتدفقة لما له من تأثير كبير على زمن التركيز وزمن الاستجابة لحوض التصريف مما يؤثر بشكل قوي على تحول مياه المطر المتساقطة الي جريان سيلي. ومن خلال قراءة وتحليل نموذج الارتفاعات الرقمي بدقة ١٠ متر يمكن لنا ملاحظة أن منطقة الدراسة يتدرج الارتفاع بها من ٩٧٦ متراً جنوب شرق المنطقة إلى ١٢ متراً شرقاً على ساحل البحر الأحمر، وتشغل التضاريس التي يقل ارتفاعها عن ٥٠٠م فوق سطح البحر نسبة بلغت ٦٦.٧% من تضاريس الحوض ، بينما تبلغ نسبة التضاريس التي تزيد عن ٥٠٠م حوالي ٣٣.٢% من مساحة منطقة الدراسة شكل رقم (٣/أ) ، كما يتضح ايضاً أن المنطقة تتنوع فيها التضاريس ما بين جبال في الشمال والجنوب وتلال في الوسط وسهول في الشرق و تؤثر انحدارات سطوح الحوض علي الجريان، فكلما قل الانحدار بطء الجريان ومن ثم زيادة في الفاقد من بالتبخر والتسرب، وذلك لأن مياه الأمطار تأخذ وقتاً طويلاً حتى تبدأ في الجريان، بينما كلما زاد الانحدار ساعد ذلك علي زيادة سرعة الجريان المائي ومن ثم قلة الفاقد من التسرب والتبخر. وقد أيد ذلك نتائج قيمة الوعورة حيث أن ارتفاع قيمة الوعورة يرجع إلى عدة أسباب أهمها ارتفاع الجبال التي تتبع منها روافد هذه الأودية، وأيضا زيادة أعداد المجاري بها، وارتفاع الكثافة التصريفية بها بالنسبة إلى مساحتها وقد بلغت قيمة الوعورة نسبة قدرها ٦.٨ كم/كم<sup>٢</sup>.



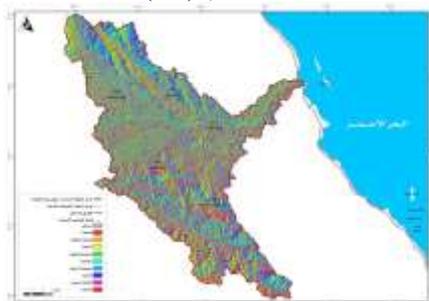
شكل رقم (ب/٣)



شكل رقم (أ/٣)



شكل (د/٣)



شكل رقم (ج/٣)

المصدر: اعتمادًا على نموذج الارتفاعات الرقمي، بدقة ١٠ متر.

شكل رقم (٣) الخصائص التضاريسية لمنطقة الدراسة

يلاحظ من شكل (ب/٣) أن نسبة المنحدرات الشديدة التي تتجاوز درجة انحدارها أكثر من ٣٠° تبلغ نسبتها ٢٩.٥% تقريبًا من إجمالي مساحة المنطقة، كما تتواجد في المناطق بعض من الجروف التي تصل زوايا انحدارها ما يزيد عن ٦٠° تقريبًا، وقد كان لعامل الانحدار الشديد دوره الفعال في الاندفاع السريع لما تحمله الأودية العليا أو المنابع من رواسب وصخور متفاوتة الأحجام نحو بطون الأودية الأمر الذي ينتج عنه عددٌ من المراوح الفيضية ومخاريط الرواسب الخشنة وذلك يتضح عند مصب الوادي.

وقد تم استخلاص الكثير من البيانات بصورة آلية مثل تحديد مناطق ميول واتجاهات الانحدار لسطح الحوض بمنطقة الدراسة Aspect، Slope وتحديد مواقع السفوح الرأسية والجروف المنحدرة من خلال تحديد معدلات التقوس لسطح منطقة الدراسة. ومن دراسة الشكل رقم (ج/٣) يلاحظ أن سطح المنطقة ينحدر نحو الجنوب الغربي والشمال الشرقي بنسبة تراوحت بين ١٤% و ١٤.٣% من مساحة منطقة

الدراسة تليها المناطق ذات الإنحدارات الجنوبية والشرقية بنسب متقاربة بلغت ١٢.٥%.

كما يلاحظ من شكل (٣/د) أن العناصر المحدبة تستحوذ على نسبة كبيرة من أشكال سطح الأرض في منطقة الدراسة حيث بلغت نسبتها ٥٧.١% في حين بلغت العناصر المقعرة نسبة ٣٩.١% في حين كانت العناصر المستقيمة تشغل مساحة ضئيلة جداً بنسبة بلغت ٣.٨% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

#### الأمطار وخصائصها:

إن تطبيق اعمال النمذجة باستخدام النموذج الأمريكي SCS يعتبر عنصراً مهم في التحليلات المكانية للجريان السيلي لتحديد حجم الجريان السيلي بأحواض التصريف المائي السطحي، وخاصة بالمناطق التي لا تتوفر بها محطات رصد مثل أحواض ساحل البحر الأحمر، ويلزم لتطبيق هذا النموذج تحديد بعض المعاملات الهيدرولوجية مثل:

- زمن التركيز للحوض المائي  $T_C$ .
- مدة العاصفة المطرية  $D$ .
- فترة استجابة الحوض المائي  $L$ .
- زمن وصول التدفق للذروة  $T_p$ .
- زمن الأساس للسيل  $T_b$ .
- زمن انخفاض السيل  $T_r$ .
- سرعة الجريان  $V$ .
- تقدير تدفق الذروة  $Q_p$ .
- كمية المطر المتساقط في يوم واحد.

يعتبر المطر من أهم عناصر المناخ في تحديد مدي خطورة الجريان السيلي بسبب العواصف المطيرة الفجائية غير المنتظمة والتي تكون أمطارها عادة ذات تركيز شديد ولكنها لا تدوم سوى فترة وجيزة (الحسيني، ١٩٨٧، ص: ١١). هذا التركيز الشديد للمطر خلال فترات زمنية محدودة وقصيرة يزيد من فاعلية المطر لتغطية الفاقد بالتبخر والتسرب ويحدث جريان لكمية المطر المتبقية بشكل سطحي تراكمي يحدث على أثره سيول جارفة، كما يزيد المطر بشكل عام من عيوب في الطرق من حيث التشققات باتجاهاتها المتعددة الطولية والعرضية اضافة لزيادة الحفر وما يتبع ذلك من تسربها الي الطبقات السفلية الأكثر مسامية اضافة لتآكل جوانب الطرق.

ويقع حوض وادي الجمال في منطقة ذات مناخ Hyper-arid بحسب خريطة المناخ لمنطقة البحر الأحمر (Plaziat, 1989) حيث يعد من أكبر أحواض

أودية البحر الأحمر السبعة المعروفة التي تجرى شرقاً للبحر، حيث وصلت رتبته إلى السابعة، وتأثر الحوض بالحركات التكتونية والتغيرات الجيولوجية وتعددت صخوره السطحية، مما كان له تأثيراً واضحاً على رسوبيات المروحة الفيضية.

تتعرض المنطقة خلال فصل الشتاء لحدوث رخات من الأمطار تصل كثافتها لحوالي ٦٤ ملم/سنة، الأمر الذي يؤدي إلى حدوث أمطار رعدية في بعض الأودية الجافة، والعواصف الممطرة التي تؤدي لحدوث سيول بالمنطقة نوعان هما: العواصف الانقلابية والعواصف الإعصارية والأمطار الناتجة عن العواصف الانقلابية تحدث في ظروف عدم الاستقرار المناخي والتي تقع غالبيتها في فصل الشتاء والقليل في فصل الصيف وتتميز هذه العواصف بغزارة أمطارها وقصر مدتها وشكلها غير المنتظم حيث تختلف أيضاً كمية الأمطار المتساقطة عليها في كل مرة.

يعتبر أكثر الشهور تسجيلاً لكميات المطر هو شهر نوفمبر بمعظم المحطات حيث يبلغ معدله ٢.٥ مم في القصير و ١٣.١ مم في رأس بناس، كما يتضح أيضاً أن شهور المطر علي ساحل البحر الأحمر تختلف من منطقة لأخرى فهي أكتوبر ونوفمبر بالقصير، ونوفمبر ومايو برأس بناس (سالم، ٢٠٠٣، ص ٣١٧). ويرجع تركيز سقوط المطر في شهر نوفمبر في معظم أجزاء الصحراء الشرقية بمصر إلى قوة تأثير المنخفض السوداني في أواخر الصيف وخلال الشتاء، مما يؤدي إلى سقوط الأمطار الرعدية، ويزيد من كميتها ارتفاع التضاريس وامتداد السلاسل الجبلية.

وقد شهد الطريق الساحلي مرسى علم/ شلاتين العديد من السيول المدمرة خلال الفترة الأخيرة ومن تتبع الجريان السيلي في المنطقة اتضح أن أخطرها قد حدثت في الفترة ما بين ١٩٦٩م و ١٩٨٠م وأعوام ١٩٩٠م و ١٩٩٤م و ٢٠١٢م و ٢٠١٥م، حيث سجلت العديد من الخسائر وفق سجلات هيئة المساحة الجيولوجية منها توقف العديد من المناجم والمحاجر بالمنطقة وبلغ أقصى كمية مطر سقطت في محطة مرسى علم ٦٤ ملم وذلك في ٢٤ نوفمبر ١٩٦٩م، تسببت كمية التساقط المطري هذه في توقف العمل بالمناجم والمحاجر وكذلك أدت إلى تدمير بعض أجزاء الطريق الساحلي الرئيسي إضافة لتدمير العديد من المنازل والتجمعات السكنية البسيطة وتشريد السكان. وخلال الخمسين عاماً الأخيرة حدث العديد من السيول التي هددت ولا تزال تهدد البنية التحتية والتجمعات العمرانية علي ساحل البحر الأحمر يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- سيول ٢٤ نوفمبر ١٩٦٩م: بلغت كمية المطر المتساقطة ٦٤ملم وكان ارتفاع منسوب المياه بالوادي ٤ أمتار وأثرت على مدينة القصير واستمر جريان المياه بالوادي ٣ أيام متواصلة، (محبوب، ١٩٧٩، ص: ٢٦٨).

- سيول ١٥-٢٠ أكتوبر ١٩٧٩م: وبلغت كمية المطر المتساقطة ٤٨ ملم وتسببت في تلفيات بالغة في الطريق الساحلي وتدمير لمناجم الفوسفات وجرف كميات كبيرة منها اضافة لحدوث وفيات لعدد ٢٣ شخصاً، (داوود، ٢٠٠٣، ص ٣٥).
- سيول ٢١ أكتوبر ١٩٨٧م: كان لها تأثير قوي وشديد على مدينة السويس وسببت تلفيات شديدة في الطريق الساحلي السويس الغردقة عند الكيلو ٢٥.
- سيول ٢٠-٢٤ أكتوبر ١٩٩٠م: بلغت كمية المطر المتساقطة ٦٠ ملم حسب قراءات محطة أرصاد رأس بناس ونتج عنها اغلاق الطريق الساحلي بشكل كامل ودمار في بعض أجزائه خاصة في المسافة ما بين مرسي علم وشلاتين وأدت إلى تدمير بعض المنازل الواقعة في مسار السيل عند مصب كل من وادي الجمال وعلم ووادي عوجة.
- سيول مارس وأغسطس ١٩٩١م: استمر فيها التساقط المطري ٧ ساعات واثرت بشكل واضح وقوي على مدينة مرسي علم ودمرت المنازل التي تعترض مسار الوادي.
- سيول ١-٢ نوفمبر ١٩٩٤م: بلغت كمية التساقط المطري ٤٨ ملم وأدت إلى حدوث سيول مدمرة اكتسحت كافة المنشآت البشرية التي تعترض مسار جريان السيلي للوادي وخاصة الجزء ما بين سفاجا والقصير واستمرت لمدة ٧٥ دقيقة وتكررت مرة أخرى مساء ذات اليوم وقطعت الطريق الساحلي ودمرت العديد من أجزائه وتسببت في وفاه وتشريد ٤٠٠ أسرة وتدمير العديد من المنازل بلغ عددها ٥١٩١ منزلاً إضافة الي السيارات والممتلكات العامة.
- سيول ١٧-١٩ أكتوبر ١٩٩٦م: تساقطت الأمطار بشكل كبير لمدة ٨ ساعات وبلغت كمية المطر المتساقط ٣٠.١ ملم وبلغت سرعة الجريان السيلي ٨٠ كم/ساعة وأدت الي تهدم ٥٠٠ منزل وتشريد ٢٠٠٠ أسرة واتلاف المرافق والبنية التحتية الكهربائية في المنطقة بإجمالي عدد ٢٤ برجاً كهربائياً وإغلاق مطار الغردقة لمدة يوم كامل. (سالم، ٢٠٠٣، ص ٣٠).
- سيول ١٨ أكتوبر ١٩٩٧م: بلغ اجمالي المطر المتساقط ٢٠ ملم وأدي لتدمير بعض أجزاء الطريق الساحلي وحدث تلفيات بالعديد من القرى السياحية الساحلية وكانت الخسائر البشرية محدودة.
- سيول ١٦-١٨ أكتوبر ٢٠٠٠م: بلغ اجمالي كمية المطر المتساقطة ١٠.٣ ملم وأدت الي حدوث جريان سيلي محدود دمر بعض اجزاء الطريق الساحلي وتلفيات محدودة ببعض القرى السياحية ولكن الخسائر كانت كبيرة فيما بعد مدينة القصير ووصولاً للحدود المصرية السودانية.

- سيول ٢٠٠٢م: بلغت كمية الأمطار المتساقطة ٤٣ ملم وأثرت بشكل متوسط على مدينة حلايب (العصفوري، ٢٠٠٢، ص٣٦).
- سيول ٢٠١٢م: حيث تعرضت جمهورية مصر العربية بشكل عام إلى تساقط مطري شديد مصحوب ببرق ورعد أدى إلى إغلاق العديد من الطرق الحيوية كما هو موضح بصور (٣) و (٤) حيث بدأ الأمر بهطول مطري وسيول في المنطقة بين الكيلو ٧٠ والكيلو ١٠٠ طريق مرسى علم مما تسبب في تلفيات كبيرة بالطريق وحدث تشققات ضخمة فيه واستمر التساقط المطري ٣ ساعات متواصلة.
- سيول فبراير ٢٠١٥م: حيث تعرضت سواحل البحر الأحمر وسيناء الي تساقط مطري شديد أدى إلى حدوث تلفيات عامة ومتعددة في شبكة الطرق وبعض القرى السياحية (Abdelfattah , 2015 , P.487)



صورة (٢) الرواسب والكتل الصخرية الناتجة عن الجريان السيلي طريق مرسى علم/سفاجا



صورة (١) آثار النحت الناتج عن الجريان السيلي أسفل طريق مرسى علم/سفاجا



صورة (٣) تحطم الطريق الساحلي في بعض أجزاءه، طريق مرسي علم/سفاجا  
 صورة (٤) تحطم الطريق الساحلي في بعض أجزاءه، طريق مرسي علم/سفاجا  
**الخصائص المورفومترية لحوض وادي الجمال:**

من خلال تحليل نموذج الارتفاعات الرقمية والخرائط الطبوغرافية تم استخراج البيانات المورفومترية الموضحة بجدول رقم (٢):

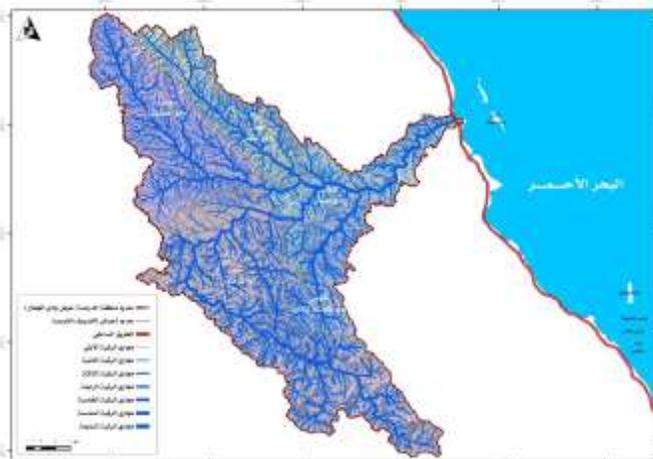
جدول (٢) الخصائص المورفومترية لحوض وادي الجمال

القيمة	المؤشرات المورفومترية	القيمة	المؤشرات المورفومترية
٣.٤٤	كثافة التصريف	١٩٥٦	المساحة (كم <sup>٢</sup> )
٩.١٣	تكرار المجاري المائية	١٣٦.٥	الطول (كم)
٥	معامل التفرع	١٣.٩	متوسط العرض (كم)
١٩٧٦	تضاريس الحوض	٢٥٨.٤	المحيط (كم)
٠.٥٥	التضاريس النسبية	٠.٣٧	معامل الاستطالة
٦.٧٩	درجة الوعورة	٠.١٩	معامل الاستدارة
٤٩.٨٣	النسيج الطبوغرافي	٠.١٠	معامل الشكل
٦٧٢٤.٧	أطوال المجاري المائية (كم)	١٧٨٥٩	أعداد المجاري المائية

المصدر : نتائج التحليل المورفومتري وتحليل قاعدة البيانات المورفومترية.

### الطبيعة الهيدرولوجية لحوض وادي الجمال:

يُعد حوض وادي الجمال من أهم الأودية المنحدرة نحو البحر الأحمر بل يعتبر الوادي الرئيسي لمصب جميع الأودية والشعاب والروافد الثانوية المغذي لحوض وادي الجمال التصريفي نظراً لكبر مساحته التجميعية حيث بلغ إجمالي مساحته (١٩٥٦) كم<sup>٢</sup> مما يمثل خطراً واضحاً علي كامل المنطقة في حال عدم السماح للجريان السيلبي بالمرور أو اعتراض مساره من قبل اي تعديات بأي شكل من أشكال التنمية البشرية سواء في المصب أو أحد روافده المغذية له. كما تتميز شبكة التصريف المائي السطحي بمنطقة الدراسة بترابطها واختلاف انماط تصريفها حيث لم يقتصر تشكيل وادي الجمال خصوصاً من بدايته وصولاً للمصب فقط بل ساهم الجريان في هذه الروافد على تشكيل جيومورفولوجية الأودية بشكل عام. حيث يعتبر حوض وادي الجمال من أهم الأودية المنحدرة نحو البحر الأحمر ويتضمن حوض وادي الجمال من شبكة كثيفة من الروافد حيث بلغت الرتبة السابعة للمجري الرئيسي وبلغ إجمالي عدد الروافد ١٦١٦٤ رافداً بإجمالي طول بلغ ٦٧٢٤ كم<sup>(٥)</sup> موزعة على أربعة أحواض ثانوية كبرى تتفاوت في مساحتها وأبعادها كما هو موضح بشكل (٤).



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة الطبوغرافية مقياس ١/٥٠.٠٠٠، الهيئة العامة للمساحة المصرية ونموذج الارتفاعات الرقمي بدقة ١٠ متر.

شكل رقم (٤) شبكة وأحواض التصريف الثانوية بحوض وادي الجمال

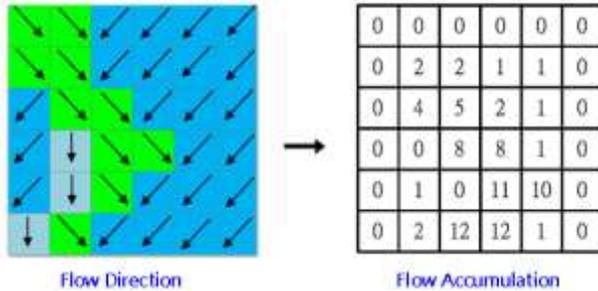
\* تم اجراء كافة القياسات والأبعاد علي برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وبالاعتماد علي خرائط الأساس الطبوغرافية مقياس ٥٠.٠٠٠ بعد تصحيحها مكانياً.

**منهجية التحليل المكاني لخصائص حوض التصريف الهيدرولوجية:**

يعتمد التحليل الهيدرولوجي علي عنصر اساسي وهو نموذج الارتفاعات الرقمي DEM لاستخلاص خصائص حوض التصريف الهيدرولوجية ويتم في البداية فحصه هل هو به عيوب فنيه او خلايا ذات قيم شاذه يتم معالجتها فيما يعرف فنياً باسم Sinks ومن افضل المعالجات الفنية لهذه القيم الشاذة احد الخوارزميات التي تعتمد علي مقارنة الخلية المعيبة بما يجاورها من قيم مشابهة ، وتعتبر من أهم الخطوات الفنية اللازمة لتصحيح أخطاء نموذج الارتفاعات الرقمي وبعد الانتهاء منها يكون النموذج جاهزاً لإجراء العمليات التحليلية المتتابة للوصول لخصائص الحوض الهيدرولوجية. كما يعتمد العمل الفني في خطوته التالية على معرفة اتجاه الجريان الافتراضي وفق طبيعة سطح الأرض او بما يعرف بعملية Flow Direction كما هو موضح بشكل (٥)

32 (2 <sup>5</sup> )	64 (2 <sup>6</sup> )	128 (2 <sup>7</sup> )
16 (2 <sup>4</sup> )		1 (2 <sup>0</sup> )
8 (2 <sup>3</sup> )	4 (2 <sup>2</sup> )	2 (2 <sup>1</sup> )

شكل رقم (٥) اتجاهات الجريان الافتراضية وفق طبيعة سطح الأرض يتم بعد ذلك في خطوة تالية الحصول على حساب تراكم الجريان عبر خطوة تقنية يطلق عليها اسم Flow Accumulation وتوضح كمية التراكمات للمياه في كل خليه وفق ما يجاورها من خلايا تعتبر مصدراً للمياه ويعتمد فيها خطوة تقنية على ناتج عملية Flow Direction كما هو موضح بشكل (٦).



شكل رقم (٦) وضع تراكم الجريان الافتراضية وفق طبيعة اتجاه الجريان على سطح الأرض

ويتم بعد ذلك تحديد روافد الحوض المغذية له او ما يعرف باسم Stream Definition لتأتي بعد ذلك خطوة من أهم الخطوات الفنية الأخيرة وهي تحديد أحواض التصريف تمهيداً لحساب كميات المطر المتساقط في كل حوض من الأحواض سواء الأساسية أو الفرعية من خلال الاعتماد على كل من DEM و Flow Direction.

كما تم استخدام نموذج HEC-1 الهيدرولوجي ضمن نماذج برنامج WMS لحساب الهيدروجراف الخاص بحوض وادي الجمال وتقدير حساب كميات مياه السيول ومعدلات تدفقها بالاعتماد على طريقة SCS Unit Hydrograph وقد تم تحليل وتقدير إرتفاع كمية مياه الأمطار خلال فترات الرجوع المختلفة (٥، ١٠، ٢٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) وتحديد منحنيات التكرار IDF-Curve لمحطة أرصاد رأس بناس بالاعتماد على برنامج مساعد وهو Hyfran.

#### المعاملات الهيدرولوجية لحوض وادي الجمال:

تم الاعتماد في استخراج المعاملات الهيدرولوجية على برمجيات WMS وهو خاص بأعمال النمذجة الهيدرولوجية للجريان السيلي ويعتبر أبرزها عالمياً في هذا المجال حيث يوفر وقتاً كبيراً يصل لـ ٦٥% من الوقت المستغرق في إجراء الحسابات الرياضية اليدوية وبدقة عالية واخراج نتائجها بشكل أكثر وضوحاً عبر برنامج ARCGIS 10.7 لدعم متخذي القرار بشكل أكثر دقة وأماناً (Hogan,1,2015). وإضافة المخرجات ونتائج المعاملات الهيدرولوجية الي نموذج قاعدة البيانات الجغرافية UDM لحوض وشبكة التصريف المائي السطحي لحوض وادي الجمال وبعد اشتقاق بعض المعلومات المورفومترية السابق الإشارة إليها في جدول (١) تم العمل على المؤشرات الهيدرولوجية الاعتماد على نموذج SCS حيث أنه يقدم إمكانية تقدير لذروة الجريان السيلي Discharge Peak على مستوى حوض وادي الجمال ، ومن مميزات هذا النموذج أنه يمكن من خلاله تقدير ذروة الجريان السيلي لفترات رجوع مختلفة ، كما أنه قد تم حساب المعاملات الهيدرولوجية لتدفق الجريان السيلي الأقصى والمتوسط كما هو موضح بجدول (٣) بالاعتماد على:

١. **زمن التركيز TC:** حيث تم الاعتماد على نموذج (Gatimel & Pons, 2000) والذي تنص معادلته على:

$$T_c (\text{hr}) = 5.66 \sqrt{\frac{L_b (\text{km})}{I (\text{m/m})}}$$

حيث إن:

$T_c(\text{hr})$  = زمن تركيز حوض التصريف / الساعة.

$L_b(\text{Km})$  = طول المجرى الرئيسي / كم

$I(m/m) =$  الانحدار الطبوغرافي لحوض التصريف المائي ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$I^{(m/m)} = D^{(m)} / (H_{Max}^{(m)} - H_{Min}^{(m)})$$

حيث أن:

$$D^{(m)} = \text{طول حوض التصريف / متر}$$

$$H_{Max}^{(m)} = \text{أقصى ارتفاع / متر}$$

$$H_{Min}^{(m)} = \text{أدنى ارتفاع / متر}$$

وبناءً على تطبيق المعادلات السابقة أمكن تحديد زمن تركيز حوض تصريف وادي الجمال بمعدل ٤.٨ ساعات وهذا الوقت يعكس بشكل واضح مدى قدرة حوض وادي الجمال على تجميع مياه الأمطار وتحويلها لجريان مائي سطحي.

### ٢. فترة استجابة حوض التصريف لتساقط الأمطار (ساعة) **Lag Time**:

ويقصد بها الفترة الزمنية الفاصلة بين ذروة تساقط الأمطار وذروة تدفق الجريان السيلبي ويمكن حسابه من خلال تطبيق معادلة (Raghuath. 2006) والتي تنص على:

$$T_p^{hr} = Ct (L_b - L_{ca})^{0.3}$$

حيث أن:

$$T_p^{hr} = \text{فترة استجابة الحوض المائي للتساقط المطري (ساعة).}$$

$$L_b = \text{طول المجرى الرئيسي (كم).}$$

$$L_{ca} = \text{المسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله (كم).}$$

$Ct =$  معامل تدفق الذروة أو معامل التباطؤ وهو خاص بطبيعة الحوض وانحداره وتتراوح قيمته بين (٠.٢ - ٢.٢).

وبناءً على نتائج تطبيق هذا المؤشر اتضح أن زمن استجابة حوض التصريف للتساقط المطري بالساعة بلغت ٤.٧ دقيقة وهي أدنى فترة زمنية يمكن أن تسقط فيها الأمطار ويبدأ بعدها الجريان السطحي بينما كانت أقصى فترة زمنية بلغت ٢١.٣ ساعة تقريباً ويبدأ بعدها مباشرة الجريان السطحي مع مراعاة أنه كلما زادت قيمة  $CT$  زاد زمن استجابة الحوض للوصول لذروة التدفق المائي لأن هذه الزيادة تعني قلة في انحدار سطح الحوض بينما قلة قيمتها تعني عكس ذلك.

### ٣. فترة الزمن القياسية لتمثيل ذروة تساقط الأمطار: ويمكن حسابه من خلال

تطبيق معادلة (Révéniéras. 1972) والتي تنص على:

$$Tr^{(hr)} = (Tp^{(hr)} / 5.5)$$

حيث أن:

$$Tr^{(hr)} = \text{فترة الزمن القياسية لتمثيل ذروة تساقط الأمطار (ساعة).}$$

$$Tp^{(hr)} = \text{فترة استجابة الحوض المائي للتساقط المطري (ساعة).}$$

5.5 = قيمة ثابتة في المعادلة.

جدير بالذكر أن هذه المعادلة يتم استخدامها إذا كانت فترة التساقط المطري  $Tr$  (hr) لا تتجاوز زمن التركيز الحوضي  $T_c$  (hr) وذلك ينطبق فعلياً على حوض وادي الجمال محل الدراسة التطبيقية، وبناءً على تطبيق المعادلة اتضح أن الفترة الزمنية القياسية لتمثيل ذروة تساقط الأمطار بلغت ٨٦ دقيقة، كما يلاحظ أنه كلما زادت قيمة  $Tr/Hr$  زاد زمن استجابة الحوض، وكلما زادت قيمة زمن استجابة الحوض زادت قيمة  $Ct$  أو زمن التباطؤ.

٤. حساب المدة الزمنية للسيل/ يوم: ويمكن حسابها من خلال تطبيق معادلة (عبد الرحمن ومارديني، ٢٠٠٣) والتي تنص على:

$$Tb^{Day} = 3 + (Tp^{(hr)} / 8)$$

حيث أن  $Tp^{(hr)}$  تعبر عن فترة استجابة حوض التصريف لتساقط الأمطار/ ساعة.

ويلاحظ من تطبيق المعادلة السابقة أن كلما زادت قيمة  $TP$  أو زمن الاستجابة زادت قيمة الأساس للسيل  $Tb$  وعليه فإنه كلما زادت قيمة  $Ct$  معامل التباطؤ زادت قيمة زمن الأساس للسيل ووفقاً لنتائج المعادلة بلغت قيمة زمن الأساس لحوض وادي الجمال ٣.٥ يوم.

٥. فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعة): حيث تم تطبيق معادلة (البارودي، ٢٠١٢) والتي تنص على:

$$Tb^{Hr} = Tp^{(hr)} * 4$$

حيث أن:

$$Tb^{(hr)} = \text{فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعة)}.$$

٤ = قيمة ثابتة في المعادلة.

ومن خلال تطبيق المعادلة اتضح أن زمن أساس السيل بلغت مدته ١٨.٨ ساعة مع العلم أنه كلما زادت قيمة الـ  $Tp$  زادت فترة استجابة الحوض المائي للتساقط المطري.

٦. حساب المدة الزمنية للارتفاع التدريجي لتدفق السيل/ ساعة: ويمكن حسابها من خلال تطبيق معادلة (Raghunath, 1991) والتي تنص على:

$$Tm^{(hr)} = (1/3) Tb^{(hr)}$$

حيث تعتبر  $Tb^{(hr)}$  فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعة). من خلال نتائج تطبيق المعادلة يمكن لنا ملاحظة أنه كلما زادت قيمة  $CT$  زادت فترة الارتفاع التدريجي للوصول لذروة التدفق السيلي وحيث أن  $Tm$  محسوبة على أساس القاعدة الزمنية التي لا تقل عن ٢٨ ساعة (يوم و ٤ ساعات تقريباً) فقد أثر

ذلك بشكل قوي على القيم العليا والدنيا لزمان الارتفاع التدريجي والتي بلغت ٦.٢ ساعة.

٧. حساب المدة الزمنية للانخفاض التدريجي لتدفق السيل/ ساعة ويقصد بها الفترة الزمنية التي يستغرقها السيل لرجوع مستويات المياه لوضعها الطبيعي ويمكن حسابها من خلال تطبيق المعادلة (Raghunath, 1991) التالية:

$$T_d^{(hr)} = (2/3)T_b^{(hr)}$$

حيث تعتبر  $T_b^{(hr)}$  فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعة). من خلال تطبيق المعادلة السابقة تبين قصر المدة الزمنية للانخفاض التدريجي لتدفق الجريان السيلفي في حوض وادي الجمال والذي بلغت قيمته ١٢.٥ ساعة تقريباً، ومن ذلك يمكن لنا استنتاج أنه كلما زادت قيمة CT زادت قيمة  $T_d^{(hr)}$  كذلك كان من الواضح أن قيمة CT تتناسب طردياً مع كافة المدد الزمنية المحسوبة في المعادلات الهيدرولوجية.

٨. حساب تركيز المطر المناسب لتدفق الذروة سم/ ساعة: حيث تم تطبيق معادلة (البارودي، ٢٠١٢) والتي تنص على:

$$I^{(Cm/Hr)} = (1/T_r^{(hr)})$$

حيث إن:

$$I^{(Cm/hr)} = \text{مقدار تركيز كثافة الأمطار في زمن محدد (سم/ ساعة).}$$

$$T_r^{(hr)} = \text{الفترة الزمنية القياسية لهطول الأمطار (ساعة).}$$

١ = قيمة ثابتة في المعادلة.

ومن خلال تطبيق المعادلة اتضح أن كمية الأمطار الضرورية واللازمة لحدوث جريان سطحي بلغت ١.١٧ سم/ساعة.

٩. حساب قيمة تدفق الذروة النوعي لحوض التصريف متر<sup>٣</sup>/ثانية ويمكن

حسابه عبر تطبيق معادلة (Dubreuil, 1974) والتي تنص على:

$$Q_p^{(m^3/s/km^2)} = (Q_p^{(m^3/s)} / A^{(km^2)})$$

حيث إن:

$$Q_p^{(m^3/s)} = \text{قيمة تدفق ذروة السيل (متر<sup>٣</sup>/ثانية).}$$

$$A^{(km^2)} = \text{مساحة حوض التصريف (كم<sup>٢</sup>).}$$

من خلال تطبيق المعادلة السابقة على حوض تصريف وادي الجمال وبناءً على النتائج الموضحة بجدول (٣) يمكن لنا ملاحظة أن قيمة تدفق الذروة النوعي لحوض تصريف وادي الجمال بلغ بقيم ٢٧.٩ و ٥٥.٨ و ٩٣.١ م<sup>٣</sup>/ثانية لكل كيلومتر مربع خلال فترات الرجوع ٥٠ و ١٠٠ و ٢٠٠ عام على التوالي.

١٠. حساب حجم السيل في الحوض المائي ويقدر (مليون م<sup>٣</sup>/ثانية) ويتم حسابها

من معادلة (PNUD - OPE, 1987) التي تنص على:

$$AL^{(Hm)^3} (10^{-6}m^3) = QP^{(m^3/s)} \{Tm^{(sec)} 10^{-6}\}$$

حيث إن:

$$AL^{(Hm)^3} (10^{-6}m^3)n = \text{حجم التدفق للسيل على مستوى الحوض المائي (مليون متر}^3\text{)}$$

$$QP^{(m^3/s)} = \text{التدفق الأقصى للسيل (متر}^3\text{/ثانية) وفق حسابات نموذج Creager's formula.}$$

$$Tm^{(hr)} = Tm^{(sec)} 10^{-6} = \text{فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل/ ساعة.}$$

من خلال تطبيق المعادلة السابقة على حوض تصريف وادي الجمال وبناءً على النتائج الموضحة بجدول (٣) يمكن لنا ملاحظة أن هناك تناسباً في قيم التدفق السيلي حيث بلغ أقصاه بقيم بلغت ١٧٥.٢ و ٣٥٠.٤ و ٥٨٤ مليون م<sup>٣</sup> خلال فترات الرجوع ٥٠ و ١٠٠ و ٢٠٠ عام على التوالي.

**١١. حساب ارتفاع مياه الجريان السطحي المناسب لذروة التدفق** ويتم حسابه من

خلال تطبيق معادلة (Raghunath , 2006) التي تنص على:

$$E^{(mm)} = Qp^{(m^3/s/Km^2)} \{ (Tm^{(sec)} * 10^{-3}) \}$$

حيث إن:

$$E^{(mm)} = \text{عمق أو سمك الجريان السطحي (ملم)}$$

$$Tm^{(sec)} = \text{فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل (ثانية)}$$

ومن خلال تطبيق المعادلة اتضح لنا أن ارتفاع مياه الجريان السطحي في حوض وادي الجمال بلغت خلال فترات الرجوع ٥٠ و ١٠٠ و ٢٠٠ عام تقريباً ١٨ ملم و ٣٥ ملم و ٥٨ ملم على التوالي.

**١٢. حساب قوة السيل في الحوض المائي** ويتم حسابه من معادلة ( Parde ,

1960) التي تنص على:

$$A = \frac{Q_p (m^3/s)}{\sqrt{A (km^2)}}$$

حيث إن:

$$Qp^{(m^3/s)} = \text{تصريف ذروة السيل (م}^3\text{/ثانية).}$$

$$A^{(Km^2)} = \text{مساحة حوض التصريف (كم}^2\text{).}$$

$$A = \text{معامل قوة السيل.}$$

من خلال نتائج التحليل الموضحة بجدول (٤) يمكن لنا ملاحظة أن قوة الجريان السيلي في حوض وادي الجمال تناسبت عكسياً مع فترات الرجوع بعد ٥٠ و ١٠٠ و ٢٠٠ عام حيث بلغت ١٢٣٥.٢ و ٢٤٧٠.٥ و ٤١١٧.٥ م<sup>٣</sup>/ثانية.

**جدول (٣): نتائج تحليل المعادلات المورفو-هيدرولوجية المطبقة في البحث**

القيمة	الرمز	المؤشر
--------	-------	--------

١٩٥٦	$A^{(Km^2)}$	مساحة حوض التصريف/كم <sup>٢</sup> .
٥٠.٧	$L_b$	طول المجرى الرئيسي (كم).
١٩٧٦	$H_{Max}^{(m)}$	أقصى ارتفاع / متر.
١٢	$H_{Min}^{(m)}$	أدنى ارتفاع / متر.
٦٩.٥	$I^{(m/m)}$	الانحدار الطبوغرافي لحوض التصريف المائي.
١٣٦٥٠٠	$D^{(m)}$	طول حوض التصريف/ متر.
٣٨.١	$L_{ca}$	المسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله/كم.
٣.٥	$T_c^{(hr)}$	المدة الزمنية لمتوسط زمن التركيز لحوض التصريف /ساعة.
٤.٧	$T_p^{(hr)}$	المدة الزمنية لاستجابة حوض التصريف لتساقط الأمطار/ساعة.
١.٣	$T_r^{(hr)}$	المدة الزمنية المثالية لتساقط الأمطار/ساعة.
٣.٦	$T_b^{Day}$	المدة الزمنية لبدء حدوث السيل/يوم.
١٨.٨	$T_b^{(hr)}$	المدة الزمنية لاستجابة الحوض المائي لهطول الأمطار /ساعة.
٦.٣	$T_m^{(hr)}$	المدة الزمنية اللازمة لارتفاع التدرجي لتدفق السيل/ساعة.
١٢.٥	$T_d^{(hr)}$	المدة الزمنية اللازمة لانخفاض التدرجي لتدفق السيل/ساعة.
١.٢	$I^{(Cm/hr)}$	كم تركيز المطر المناسب لتدفق الذروة /سم/ساعة.

المصدر : نتائج تحليل المعادلات المورفو-هيدرولوجية المطبقة في البحث.

كما ان نموذج Creager's formula أنسب النماذج لتقدير تدفق الجريان السيلي ويتميز بأنه يمكن من خلاله تقدير الجريان السيلي خلال فترات رجوع مختلفة . ويمكن تقدير تدفق الذروة للجريان السيلي من خلال معادلة ( , 1994 Sorman , P.175 ) والتي تنص على:

$$QP = 1.32C(0.386A) \text{Exp}(0.936A^{-0.048})$$

حيث إن:

$Qp$  = تدفق الذروة للجريان السيلي م<sup>٣</sup>/ثانية.

$A$  = مساحة حوض التصريف كم<sup>٢</sup>.

$C$  = معيار ثابت قيمته ٣٠ في حال فترة الرجوع بعد ٥٠ سنة وقيمته ٦٠ في حال فترة الرجوع بعد ١٠٠ سنة وقيمته ١٠٠ في حال فترة الرجوع بعد ٢٠٠ سنة.

وبناءً على تطبيق المعادلة على حوض وادي الجمال بلغ متوسط تدفق ذروة الجريان السيلي ٢٧.٩ ألف م<sup>٣</sup>/ثانية لفترة رجوع ٥٠ سنة ومتوسط تدفق ذروة الجريان السيلي ٥٥.٨ ألف م<sup>٣</sup>/ثانية لفترة رجوع ١٠٠ سنة ومتوسط تدفق ذروة الجريان السيلي ٩٣.١ ألف م<sup>٣</sup>/ثانية لفترة رجوع ٢٠٠ سنة.

جدول (٤) التقديرات التقريبية لتدفق الجريان السيلي وعودته بعد ٥٠ ، ١٠٠ ،

٢٠٠ عام

القيم الناتجة	الرمز	المعامل
---------------	-------	---------

٢٠٠	١٠٠	٥٠		
٩٣.١٠	٥٥.٨٦	٢٧.٩٣	Qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	قيمة تدفق الذروة النوعي لحوض التصريف متر <sup>٣</sup> /ثانية
٥٨٤.٠٢	٣٥٠.٤١	١٧٥.٢ ١	AL <sup>(Hm)<sup>3</sup>(10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>)</sup>	حجم السيل في الحوض المائي ويقدر (مليون م <sup>٣</sup> )
٠.٥٨	٠.٣٥	٠.١٨	E (mm)	عمق الجريان السطحي المناسب لذروة التدفق /ملم
٤١١٧.٥ ٩	٢٤٧٠.٥ ٥	١٢٣٥. ٢٨	A	قوة السيل في الحوض المائي
١٨٢١٠ ٧.١٦	١٠٩٢٦ ٤.٣٠	٥٤٦٣٢ .١٥	QP <sup>(m<sup>3</sup>/s)</sup>	تقديرات تدفق الجريان السيلي ألف م <sup>٣</sup> /ثانية

المصدر : نتائج تحليل المعادلات المورفو-هيدرولوجية المطبقة في البحث.

#### التحليل التكراري للأمطار اليومية القصوى:

تم إجراء التحليل الإحصائي لأقصى قيم للأمطار اليومية المتاحة من أرصاد رأس بناس وذلك باستخدام التوزيعات الإحصائية المختلفة واختبارها للحصول على قيمة المطر عند الأزمنة التكرارية المختلفة. هذا وقد تم استخدام برنامج التحليل الإحصائي Hyfran Plus وتطبيق التوزيعات الإحصائية التالية والموضحة بجدول (٣) والأشكال (أ، ب، ج، د):

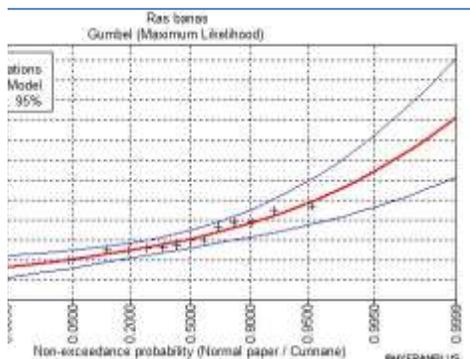
- GEV (Maximum Likelihood)
- Gumbel (Maximum Likelihood)
- Exponential (Maximum Likelihood)
- Pearson Type 3 (Maximum Likelihood)

جدول (٥) التوزيع الاحصائي للأمطار المقاسة بمحطة أرصاد رأس بناس

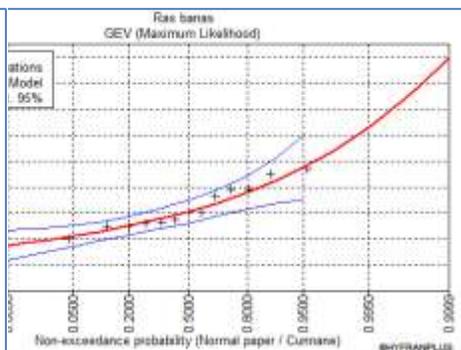
عمق المطر التصميمي (مم) للأزمنة التكرارية المختلفة										التوزيع الاحصائي
٢٠٠	١٠٠	٧٥	٥٠	٢٥	٢٠	١٠	٥	٣	٢	
٩٦.١	٨٦.٨	٨٢.٩	٧٧.٥	٦٨.١	٦٥.١	٥٥.٧	٤٥.٩	٣٨.١	٣١.٢	GEV (Maximum Likelihood)
٩٨.٩	٨٩.٣	٨٥.٣	٧٩.٧	٧٠.٠	٦٦.٩	٥٧.٠	٤٦.٧	٣٨.٥	٣١.٢	Gumbel (Maximum Likelihood)
١٤٥	١٢٧	١٢٠	١٠٩	٩١.٤	٨٥.٧	٦٧.٨	٤٩.٩	٣٦.٧	٢٦.٢	Exponential (Maximum Likelihood)
٩٦.٤	٨٧.٧	٨٤.٠	٧٨.٨	٦٩.٧	٦٦.٧	٥٧.٠	٤٦.٦	٣٨.٥	٣٠.٨	Pearson type 3 (Maximum Likelihood)

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات محطة الأرصاد الجوية برأس بناس  
الفترة الزمنية ١٩٦٩ - ٢٠١٨ م

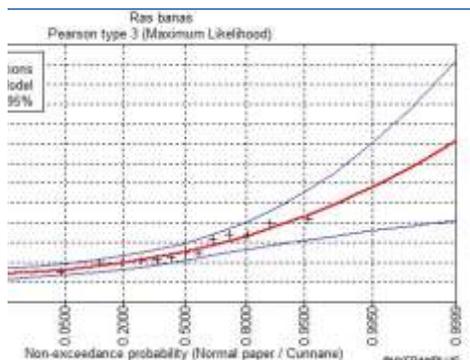
يوضح جدول (٥) يبين كميات الأمطار اليومية القصوى المحتمل سقوطها خلال يوم واحد محسوبة كأعلى قيمة للمطر اليومي من التوزيعات الاحصائية المحتملة في محطة رأس بناس وذلك للأزمنة التكرارية المختلفة. ومن ثم سوف يتم استخدام قيم الأمطار المحسوبة عند محطة أرصاد رأس بناس لحساب هيدروجراف مياه السيول في الأودية المؤثرة على منطقة الدراسة. جدير بالذكر أن القيم المتوقعة للأمطار عند الأزمنة التكرارية الصغيرة التي تتراوح عودتها من ٢ إلى ٥ عام تعبر عن مدى إتاحة الموارد المائية السطحية لأغراض التنمية المستدامة وخاصة فيما يتعلق بتوافر مياه الشرب وما تحدثه من إستقرار اجتماعي. أما الأزمنة التكرارية العالية والتي تتراوح عودتها من ٢٥ إلى ٢٠٠ عام فتعبر من السيول عالية الشدة والتي قد تؤثر سلباً على المنشآت القائمة داخل مجاري السيول.



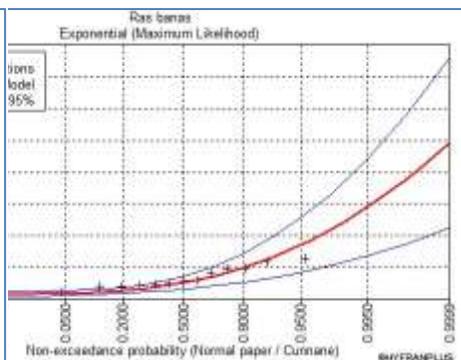
شكل (ب/٧) سمك كمية المطر المتساقط  
بمحطة رأس بناس وفق طريقة  
Gumbel



شكل (أ/٧) سمك كمية المطر المتساقط  
بمحطة أرصاد رأس بناس وفق طريقة  
GEV



شكل (د/٧) سمك كمية المطر المتساقط  
بمحطة أرصاد رأس بناس وفق طريقة  
Pearson type 3



شكل (ج/٧) سمك كمية المطر المتساقط  
بمحطة أرصاد رأس بناس وفق طريقة  
Exponential

### تصميم منحنيات كثافة الأمطار IDF Curves:

- نظراً لعدم توافر بيانات لشدة الأمطار أو ما يسمى بالكثافة المطرية عند محطات قياس الأمطار المحيطة بمنطقة الدراسة، لذا تم اشتقاق IDF Curves باستخدام بيانات الأمطار اليومية وذلك باتباع الخطوات التالية:
- إجراء التحليل الإحصائي لسلسلة بيانات أقصى مطر يومي وتقدير كميات الأمطار اليومية القصوى للتوزيعات الإحصائية المختلفة كما تم سابقاً،

- اختيار أعلى قيمة للأمطار اليومية من التوزيعات السابقة عند الأزمنة التكرارية المختلفة (٢ - ٣ - ٥ - ١٠ - ٢٠ - ٢٥ - ٥٠ - ٧٥ - ١٠٠ - ٢٠٠ عاماً).
- حساب قيمة الأمطار للمدد الزمنية ١٠، ٢٠، ٣٠ دقيقة و ١، ٢، ٣، ٦، ١٢ و ٢٤ ساعة كنسبة من قيمة المطر اليومية السابق حسابها للأزمنة التكرارية المختلفة باستخدام Bell's Ratios والمبينة في الجدول رقم (٥).
- حساب كثافة الأمطار عند الأزمنة التكرارية المختلفة وذلك للمدد الزمنية ٥، ١٠، ٢٠، ٣٠ دقيقة و ١، ٢، ٣، ٦، ١٢ و ٢٤ ساعة.
- إنشاء منحنيات الشدة - المدة- التكرار وهي تمثل العلاقة بين كثافة الأمطار للمدد الزمنية المختلفة عند الأزمنة التكرارية المختلفة.

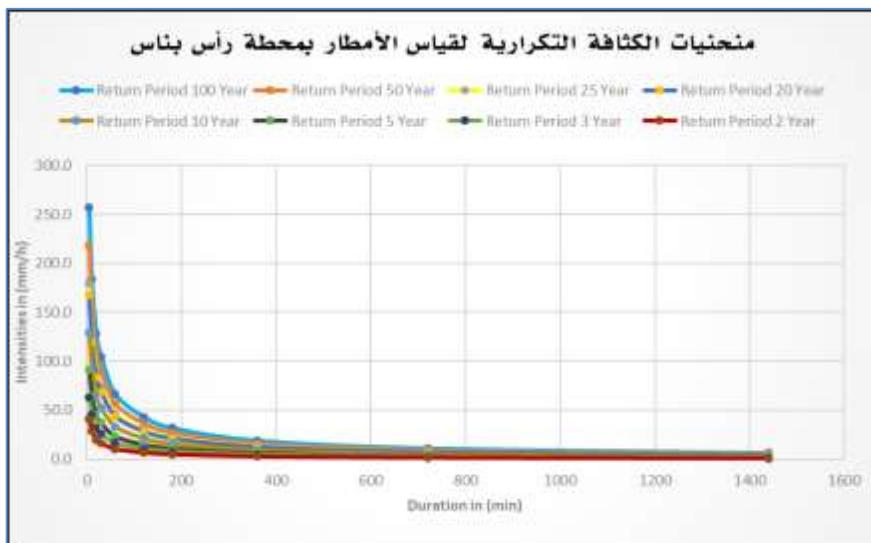
**جدول رقم (٦) النسبة المئوية لقيمة الأمطار عند المدد الزمنية المختلفة (Bell's Ratios)**

مدة العاصفة بالدفاتق	٥	١٠	٢٠	٣٠	٦٠	١٢٠	١٨٠	٣٦٠	٧٢٠	١٤٤٠
Bell's ratios	٠.١٣	٠.٢٧	٠.٢٨١	٠.٣٥٤	٠.٤٦٥	٠.٥٥٧	٠.٦٦٨	٠.٧٥٩	٠.٨٨٣	١.٠

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات محطة الأرصاد الجوية برأس بناس وتطبيق طريقة Bell's.

**تقديرات احتمالات تدفق الجريان السيلي IDf curve بحوض وادي الجمال:**

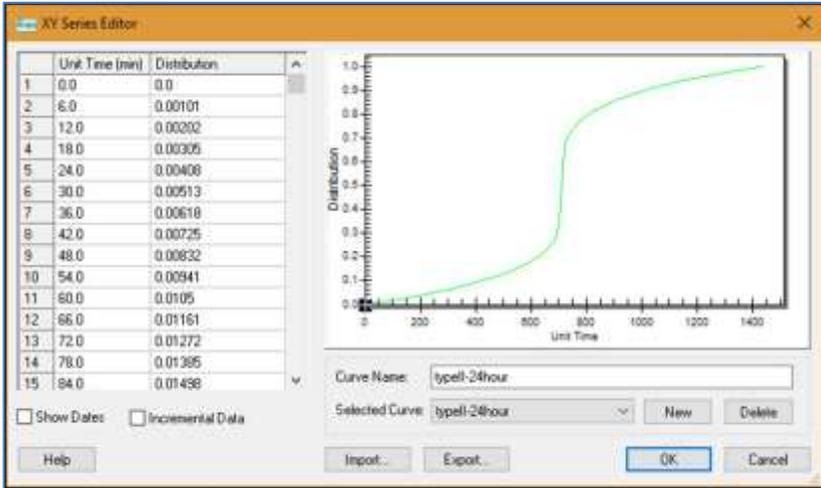
تقوم خصائص سطح منطقة الدراسة الجيولوجية والمناخية والتضاريسية بدور كبير في مدى سرعة تحول كمية التساقط المطري إلى مياه جارية مسببة جرياناً سيلياً وارتفاع منسوب المياه الجارية إضافة لنمط انتشار الجريان السيلي وامتدادها في أنحاء الحوض وتركزها في مناطق الثقل الحوضي مع العلم أن الفائض المائي هو المؤدي لحدوث جريان سيلي، وحيث تتسم منطقة الدراسة في خصائصها المطرية مثل خصائص المناطق الجافة من حيث عدم الانتظام في التساقط من الناحيتين الزمنية والمكانية وتساقطها على شكل رخات قصيرة مركزة وسريعة، فإنه من خلال الرجوع للسجل التاريخي لكميات التساقط المطري والتي سببت جرياناً سيلياً على ساحل البحر الأحمر خلال الفترة ما بين ١٩٦٩م وحتى ٢٠١٩م خلال فترة تصل لـ ٥٠ سنة تم تحديد ارتفاع الماء خلال فترات زمنية وهي (٥٠، ١٠٠، ٢٠٠ سنة).



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات محطة الأرصاد الجوية برأس بناس شكل رقم (٦) وضع تراكم الجريان الافتراضية وفق طبيعة اتجاه الجريان على سطح الأرض  
**العاصفة التصميمية:**

تعتمد أغلب الدراسات الهيدرولوجية على افتراض العاصفة التصميمية واستخدام التحليل الاحصائي للأمطار الساقطة على محطات الأرصاد المحيطة بمنطقة الدراسة، وبناء عليها تم تحديد قيمة أقصى عمق لكمية المياه الناتجة عن المطر اليوم للفترة التكرارية المختلفة لكل حوض تصريف. وحتى يمكننا حساب قيمة التصريف القصوى المحتمل حدوثها نتيجة سقوط الأمطار على حوض التصريف بشكل عام والأودية المؤثرة على الحوض ومنطقة الدراسة ككل.

ومن خلالها يتم توزيع هذا العمق بافتراض مدة العاصفة وتحديد منحنى توزيع عمق المطر اليومي خلال مدة العاصفة التصميمية. هذا وقد تم استخدام توزيع العاصفة التصميمية والمعروف عالمياً بطريقة Soil Conservation Service أو المعروف اختصاراً بطريقة SCS حيث يتم افتراض مدة العاصفة ٢٤ ساعة. وسيتم اختيار توزيع SCS - TYPE II للأمطار حيث أنها الأنسب للمناطق الجافة وشبه الجافة. ويفترض هذا التوزيع أن حوالي ٦٠% من عمق المطر اليومي يسقط في أقل من ساعتين والباقي يتم توزيعه على باقي اليوم كما هو موضح في الشكل رقم (٦).



المصدر: قراءات محطات الأرصاد الجوية خلال الفترة من ١٩٦٩ حتى ٢٠١٥م بالاعتماد على برنامج HyfranPlus. شكل رقم (٦) وضع تراكم الجريان الافتراضية وفق طبيعة اتجاه الجريان على سطح الأرض  
**فترة الرجوع لأشد عاصفة مطرية:**

تم من خلال تحليل بيانات السيول والتساقط المطري خلال فترة زمنية من عام ١٩٦٩م حتى ٢٠١٥م كما هو موضح بجدول (٦)، أمكن الحصول على فترة الرجوع لأشد عاصفة مطرية حيث أن متوسط عدد السنوات التي من الممكن أن تتكرر عندها العاصفة المطرية بذات القوة أو أشد منها ويمكن حسابها عبر طريقة Well Bull كواحدة من الطرق المتعارف عليها لذلك.

الجدول رقم (٧) كميات الأمطار اليومية القصوى المسجلة في محطة رأس بناس.

سنة الحدوث	كمية المطر القصوى المتساقطة (ملم)
١٩٦٩	٦٤
١٩٧٩	٤٨
١٩٨٧	٣٠
١٩٩٠	٦٠
١٩٩١	٢٣
١٩٩٤	٤٨
١٩٩٦	٣٠.١
١٩٩٧	٢٠
٢٠٠٠	١٠.٣

٤٣	٢٠٠٢
٢٢.٣	٢٠١٠
٢٥	٢٠١٢
٢٠	٢٠١٥

المصدر: قراءات محطة رأس بناس خلال الفترة من ١٩٦٩ حتى ٢٠١٥ م وبناء على جدول (٧) تم تحليل العواصف المطرية لتحديد قيمة أقصى كمية مطر سقطت في يوم واحد على مدينة رأس بناس لفترات تكرارية قياسية متفاوتة يمكن تلخيصها في الخطوات التالية:

١- ترتيب سمك المطر المتساقط والمسجلة في الفترات الزمنية السابقة ترتيباً تنازلياً.

٢- حساب الفترة التكرارية لكل سمك مطري عبر استخدام المعادلة التالية التي تنص على أن:  $Tr = (N/m)$ .

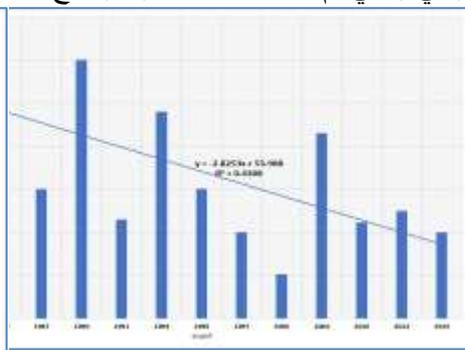
حيث أن:  $Tr$  = الفترة التكرارية،  $N$  = العدد الكلي لسنوات رصد مياه الأمطار،  $m$  = ترتيب أعماق المطر اليومي ترتيباً تنازلياً

ووفق ما سبق وإشارة لجدول (٧) يلاحظ أنه قد تم تقدير أكبر عاصفة مطرية عام ١٩٦٩م وقدرت بنحو ٦٤ ملم وهي منذ ٥٠ عاماً تقريباً ومعنى هذا أنها قد تُعاود التكرار عام ٢٠٢١م، كما أنه قد تم تمثيل العلاقة بين الفترة التكرارية وأقصى عمق مطر يومي وقد تم تمثيل العلاقة بين الفترة التكرارية وأقصى عمق مطري يومي والتي تم صياغتها كما هو موضح بشكل (٧).



المصدر: قراءات محطات الأرصاد الجوية خلال الفترة من ١٩٦٩ حتى ٢٠١٥ م

شكل (٨) أقصى كمية مطر محتملة وفترة الرجوع بالسنوات في محطة



المصدر: قراءات محطات الأرصاد الجوية خلال الفترة من ١٩٦٩ حتى ٢٠١٥ م

شكل (٧) كمية التساقط المطري السنوي في محطة رأس بناس خلال الفترة من

(١٩٦٩ - ٢٠١٥م) أرساد رأس بناس

وعبر تحليل البيانات المطرية احصائياً تم الوصول لشكل (٨) والذي يعبر عن أقصى كمية مطرية وفق طريقة Gumbel على النحو التالي:

- $Y_{25} = 70 \text{ mm}$
- $Y_{50} = 79.7 \text{ mm}$
- $Y_{75} = 85.3 \text{ mm}$
- $Y_{100} = 89.3 \text{ mm}$

#### النتائج:

#### المناطق المهددة بخطر الجريان السيلي:

من خلال تحليل العلاقات التبادلية والمكانية بين الخرائط والطبقات الرقمية وصور الأقمار الصناعية تم ملاحظة ان أغلب الأنشطة على الطريق الساحلي تتمحور حول (قري سياحية، شبكة طرق خدمية، مناطق تعدينية) شكل (٩) كما يلاحظ من خلاله أن شبكة الطرق داخل مجرى الوادي تتوافق مكانياً مع مسارات الوادي الرئيسي وذلك يعتبر مصدر خطر كبير على مسار الطريق ورواده من العاملين في المناجم الموجودة في نطاق الوادي إضافة إلى تعرضها بشكل مستمر حال هطول الأمطار إلى أعمال تدميرية بفعل الماء الجاري والرواسب التي يحملها معه.

من خلال توظيف نظم المعلومات الجغرافية في تحليل التطابق بين طبقات قاعدة البيانات الجغرافية المختلفة ومن خلال التحليل المكاني بين المواقع التي تعتبر مصدرًا لخطر الجريان السيلي ومواقع الأنشطة البشرية والبنية التحتية اتضح أن هناك بعض المواقع المهددة بخطر الجريان السيلي بلغ إجمالي عددها ١٣٣ موقعًا اختلفت درجة خطورتها ما بين شديدة الخطورة جدًا وشديدة الخطورة ومتوسطة الخطورة كما هو موضح بشكل (١٠).



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برمجيات ArcGIS.  
 شكل رقم (٩) الأنشطة البشرية المهددة بخطر الجريان السيلي بحوض وادي الجمال.  
 يلاحظ من شكل (١٠) ان المناطق ذات الخطورة الشديدة جاءت في الترتيب الأول بإجمالي عدد مواقع بلغ ٧٨ موقعاً ونسبة ٥٨.٦% يليها المواقع متوسطة الخطورة والتي بلغ إجمالي عددها ٣٠ موقعاً فقط بنسبة بلغت ٢٢.٥%، بينما بلغ عدد المواقع ذات الخطورة الشديدة جداً ٢٥ موقعاً بنسبة ١٨.٧% من إجمالي عدد المواقع المهددة بخطر الجريان السيلي وقد انحصرت مناطق تواجدها عند مصب الوادي بشكل أساسي وبعض المواقع التي يتقاطع فيها الطريق مع مسار الوادي إضافة لبعض المواقع التي توجد به مناطق استخراج الخامات المعدنية والتحجير في بطن الوادي.



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برمجيات ArcGIS.

شكل رقم (١٠) المواقع المهددة بالأخطار الجيومورفولوجية بمنطقة الدراسة وعبر برمجيات الجيوماتكس تم تصميم نموذج رقمي لكل المتغيرات المورفولوجية لحوض وادي الجمال وشبكة تصريفه لإدراجها في نظام بنوي تحليلي تكاملي للخروج بمجموعة من المخرجات التي تعبر عن المواقع المهددة بخطر الجريان السيلي بشكل عام والمناطق المقترحة للأعمال الإنشائية لدرء هذه الأخطار وتمهيدا لأعمال التخطيط التنموي للمنطقة سواء كانت سدود لدرء الأخطار او لتزويد خزان المياه الجوفي او معابر للمياه او اعمال التكبسية المقترحة، كما هو موضح بشكل (١١)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برمجيات ArcGIS.  
شكل رقم (١١) المواقع المهددة بخطر الجريان السيلي ودرجات الخطورة بمنطقة الدراسة

#### الاستنتاجات:

#### التوصيات والمقترحات:

- استخدام تقنيات الجيوماتكس في الدراسات الهيدرولوجية لما لها من تأثير قوي في دقة المخرجات للنظام واعتمادها على مدخلات دقيقة.
- اسهمت البرمجيات الهيدرولوجية المتخصصة في تحديد العواصف المطرية المحتملة وفترة العودة التكرارية وكميات الجريان المتوقعة.
- يؤثر على درجة خطورة الجريان السيلي عدد من المؤثرات بشكل كبير وهي: سرعة الجريان، كمية المطر المتساقط، استعمالات الأراضي.

- استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحديد دراسة أنسب المواقع بشكل مفصل لإقامة سدود لشحن خزانات المياه الجوفية أو احتجاز المياه بقدر يتناسب مع كم المياه مع أخذ البُعد المستقبلي في الاعتبار.
- إقامة سدود بهدف تخزين المياه ومنع اندفاعها والسماح لها بالتخلل عبر الصخور والتكوينات والشقوق والفواصل لتزويد خزان الماء الجوفي غير العميق بالمياه.
- إقامة سدود بهدف تقليل سرعة جريان المياه وهي نوعين ركامية وتقام على روافد الأودية الرئيسية والثانوية بينما الأخرى السدود البنائية التبادلية غير الكاملة وتلك لا يزيد ارتفاعها وعرضها عن ١ متر ويبدأ من إحدى حواف الوادي ولكنه لا يصل للجانب الآخر.
- إعادة دراسة البرابح وعبارات المياه في مواقع تقاطعات الطرق مع شبكة التصريف المائي السطحي وذلك بشكل متناسب مع مخرجات الدراسة الهيدرولوجية من حيث كميات المياه المتوقع تدفقها في حوض التصريف مع مراعاة ألا تزيد سرعة المياه عن ٣متر/ثانية حتى يتم تجنب النحر المصاحب لسرعة الجريان العالية.
- تكسيه مجري الوادي الرئيسي وحول جوانب الطريق الساحلي في الجزء المتعارض مع مسار الوادي الرئيسي بالتكسيات الحجرية الصلبة والمدعمة بالخرسانة لتقليل فعل المياه الهادم حول حواف الطريق وتفاذي تآكل وانجراف جسم الطريق وذلك في مسافة بينية قبل وبعد العبارة تبلغ ٥٠٠ متر على الأقل لضمان مرور المياه بانسيابية
- الاهتمام بمداخل ومخارج عبارات المياه وعمل صيانة دورية لها بشكل مستمر لتجنب حالات النحر حولها بفعل تدفقات المياه، وتنظيفها بشكل دوري لعدم تراكم الكتل الصخرية والرواسب.
- خفض منسوب الطريق في المناطق التي يمر فيها في مسار الوادي الرئيسي ومسار الجريان السيلي.

## المراجع العربية والأجنبية:

- ١- البارودي ، محمد سعيد (٢٠١٢): تقدير أحجام السيول وأخطارها عند المجرى الأدنى لوادي عرنة جنوب شرق مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، سلسلة بحوث جغرافية جامعة أم القرى العدد ٤٨ ص: ٥٧.
- ٢- الحسيني ، السيد السيد (١٩٨٧): موارد المياه في شبة جزيرة سيناء، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا والجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.
- ٣- الكيالي ، مني عبد الرحمن يس و عبد الجواد ، صبحي عبد الحميد ، (٢٠١٩): أخطار السيول باستخدام النمذجة المكانية، حوض وادي غددير، البحر الأحمر، مصر، المؤتمر الجغرافي الدولي الثاني، مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، كلية الآداب - جامعة المنوفية.
- ٤- بورية ، محمد فضيل (٢٠٠٢): الخصائص المورفومترية لحوض وادي عركان ووادي يخرف رافدي وادي بيش بالمملكة العربية السعودية: دراسة تطبيقية مقارنة، سلسلة بحوث جغرافية جامعة الملك سعود، الرياض، العدد ٥٠.
- ٥- جاب الله ، حسام محمد (٢٠١٨) : التقييم الهيدرولوجي لحوض وادي عباد جنوب صحراء مصر الشرقية ، دراسة في جغرافية المياه ، باستخدام الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية ، رسالة دكتوراه "غير منشورة" ، كلية البنات للآداب والعلوم التربوية ، جامعة عين شمس
- ٦- صالح ، أحمد سالم (١٩٩٩ب): "السيول في الصحاري نظرياً وعملياً" ، دار الكتاب الحديث، القاهرة، ٢٢٨ص.
- ٧- عبد الرحمن ، عبد الرحمن، و مارديني ، جاك (٢٠٠٣): علم حركة المياه "الهيدرولوجيا" مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، منشورات جامعة حلب، كلية الهندسة المدنية.
- 8- ABDEL-FATTAH , M. Sameh KANTOUSH, and Tetsuya SUMI (2015): Integrated Management of Flash Flood in Wadi System of Egypt: Disaster Prevention and Water Harvesting , Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 58 B.
- 9- Bokhari, A.Y. and M.Z.A. Khan, (1992): Deterministic modeling of Al-Madina Al-Munwarah Groundwater quality using lumped parameter approach. J. KAU Earth Sci., 5: 89-107

- 10- Dureuil, P., (1974) : "Initiation a l'analysehydrologique", Masson & Cie et ORSTOM Editeurs, Paris, ISBN : 2-225, Vol.40, pp.140-
- 11- Gatimel.A& Pons. A., (2000): Etude Hydrologique Du Bassin Versant Du Saleix, Science de l'eau et de l'environnement.Parde , 1960
- 12- PNUD-OPE., (1987): RessourcesEnEau Dans Les Pays De l'Afrique Du Nord, Projet RAB/80/011, Guide Maghrébin Pour l'exécution Des Etudes Et Des Travaux De RetenuesCollinaires, OPU, AlgerRaghunath , 2006
- 13- Raghunath H, M. (2006): Hydrology: principles analysis and design ;Revisal Second Edition Limited, . New Delhi: P. 150
- 14- Raghunath, H.M., (1991): Hydrology: Principles, Analysis and Design. Wiley Eastern Limited, New DelhiRaghunath,1991
- 15- Rémeniéras, G., (1972): Hydrologie De l'Ingénieur, Eyrolles, 3ème Edition, Paris
- 16- Surman. Ali U. (1994): Estimation of Flood Peak using remote Sensing Techniques; Case study: Wadi Itwad, Southwestern Saudi Arabia, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci., Vol. 5, pp 161-177.