

النمذجة الهيدرولوجية ثنائية الأبعاد لخطر الجريان السيلي على سطح
المروحة الفيضية لوادي سدر بجنوب سيناء

هدير إبراهيم محمد عبدالقادر

المعيدة بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب - جامعة السويس

الملخص:

تعد السيول إحدى المشكلات الطبيعية التي تعاني منها جنوب سيناء؛ وذلك يرجع إلى طبيعتها الجبلية التي فرضت على أغلب سكانها التركيز في مناطق المراوح الفيضية؛ حيث يتركز على سطح مروحة وادي سدر 39% من إجمالي سكان مركز رأس سدر، وهو ما يعادل 6% من إجمالي سكان جنوب سيناء، وهي بذلك تحتل المرتبة الثانية من حيث عدد سكان المحافظة بعد مدينة الطور؛ لذا هدف البحث إلى محاكاة الجريان السطحي الذي نتج عن أمطار يوم 30 نوفمبر 2016 البالغ حجمها (73.55 مللم)، وأمطار يوم 1 ديسمبر 2016 البالغ حجمها (58.18 مللم) على سطح المروحة؛ وذلك لتقييم مدى خطورة الجريان السيلبي، وذلك بالاعتماد على مجموعة من البرامج تمثلت في: WMS, HEC-HMS, HEC-RAS. وقد خلص البحث إلى أنه في حالة هبوب العاصفة الأولى (73.55 مللم) بلغ حجم الجريان السيلبي الناتج عنها 19.12 ألف م³، وبلغت أقصى كمية تصريف 5.7 ألف م³/ث، وتم الوصول إليها خلال 12 ساعة. في حين بلغ حجم الجريان السيلبي الناتج عن العاصفة الثانية (58.18 مللم) 12.9 ألف م³، وبلغت أقصى كمية تصريف 3.8 ألف م³/ث، وتم الوصول إليها خلال 12 ساعة أيضًا. وتبين من خلال دراسة تأثير العاصفتين المطريتين أن مساحة المناطق المتأثرة بخطر الجريان السطحي بمروحة وادي سدر قد تراوحت ما بين (23% - 37%)، وقد جاءت أغلب هذه المساحات مناطق عمرانية وأراضي زراعية مستصلحة وطرقًا، وهو ما يعني ضرورة أخذ التدابير اللازمة للحد من خطورة الجريان السطحي بمروحة وادي سدر.

الكلمات المفتاحية: جنوب سيناء - المراوح الفيضية - وادي رأس سدر - السيول

- الجريان السيلي - النمذجة الهيدرولوجية ثنائية الأبعاد - نموذج HEC-HMS
- نموذج HEC-RAS.

Abstract:

Floods are a natural problem affecting South Sinai due to its mountainous nature, which has led most of its inhabitants to concentrate in areas of alluvial fans. Specifically, 39% of the total population of the Ras Sedr center, equivalent to 6% of the total population of South Sinai, are concentrated on the surface of the Wadi Sedr fan, making it the second most populous area in the governorate after the city of Al-Tur. This research aims to simulate the surface runoff resulting from the rainfall on November 30, 2016 (73.55 mm) and December 1, 2016 (58.18 mm) on the fan surface to assess the risk of flash floods. This simulation relied on several programs, including WMS, HEC-HMS, and HEC-RAS. The research concluded that during the first storm (73.55 mm), the resulting surface runoff volume was 19.12 thousand m³, with a maximum discharge of 5.7 thousand m³/s reached within 12 hours. The second storm (58.18 mm) resulted in a surface runoff volume of 12.9 thousand m³, with a maximum discharge of 3.8 thousand m³/s, also reached within 12 hours. The study of the impact

of the two rainstorms revealed that the areas affected by the surface runoff hazard on the Wadi Sedr fan ranged between 23% and 37%, covering mostly urban areas, reclaimed agricultural lands, and roads. This indicates the necessity of taking appropriate measures to mitigate the risk of surface runoff on the Wadi Sedr fan.

Keywords: South Sinai, Alluvial fans, Wadi Ras Sidr, Floods, Runoff, 2D hydrological modeling, HEC–HMS Model, HEC–RAS Model.

المقدمة

تُعد الكوارث الطبيعية إحدى أخطر المشاكل التي تواجه البلدان الصناعية والنامية على حد سواء على مر العصور، فالكوارث الطبيعية مسؤولة عن 40% من الخسائر الاجتماعية والاقتصادية في جميع أنحاء العالم (Osman, S.A., 2023, P2). وتعد السيول من بين أكثر الكوارث الطبيعية انتشارًا وتدميرًا في جميع أنحاء العالم، ولاسيما في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تغطي ما يقرب من ثلث مساحة اليابس في العالم (Prama et al, 2020, P1,2). وقد شهدت مصر العديد من السيول التي نتجت عنها خسائر في الأرواح وأضرار جسيمة في البنية التحتية والمباني، خاصة في جنوب سيناء التي تتعرض للسيول بشكل متكرر، مثل سيل 26 ديسمبر 1980 الذي استمر لمدة يومين، وأدى إلى عزل عدة قرى وغرق عدة مزارع وتشريد ألف مواطن وتدمير 20 منزلًا وقطع الطرق، وسيل 16 أكتوبر 1987 الذي أدى إلى جرف السيارات وطمر بعضها بالرواسب، وسيل 4 يناير 1988 الذي تسبب في وفاة ستة أشخاص، وسيل 20 أكتوبر 1990 الذي استمر لمدة أربعة أيام، وسيل 2 نوفمبر 1994 الذي أدى إلى تدمير أجزاء من الطرق والأراضي المزروعة في بعض الأودية وكذلك تدمير بعض المنشآت والمباني، وسيل 17 نوفمبر 1996 (السطيحة، 2018، ص 108: 111). وقد أثر سيل 17 يناير 2010 على مدينتي العريش ورأس سدر (Gabr, S., El Bastawesy, M., 2015, P138). وسيل أكتوبر 2016 الذي تسبب في العديد من القتلى والجرحى والأضرار التي لحقت بالطرق والمباني بوادي دهب (El-Rawy et al, 2022, p2).

وتتسم أماكن المراوح الفيضية بأنها بيئات جذب للسكان في الأراضي الجافة لاسيما المناطق الجبلية كما في جنوب سيناء؛ ويرجع ذلك لاستواء السطح وخصوبة التربة وغناها النسبي بالمياه الجوفية والنبات الطبيعي، إلا أنها معرضة في الوقت ذاته لخطر السيول التي تتدفق من واديهما الرئيسي. وتعد عملية التنبؤ بمسارات السيول وسلوكها على سطح المراوح أمرًا صعبًا بالمقارنة بالتنبؤ بمسار السيول في الأودية ذات المجاري المحددة؛ وذلك لأن المجاري التي تجري فيها المياه على سطح المروحة قد تهجرها المياه وتكوّن مجاري جديدة، أي أن مسار السيل على سطح المروحة قد لا يكون هو نفسه في سيل لاحق، مما يجعل المناطق التي كانت محمية في الماضي معرضة للخطر في سيل أحدث، وبناء عليه ليس من المناسب استخدام موقع مسارات التدفق السابقة في التنبؤ بالمخاطر المستقبلية على أسطح المراوح الفيضية.

في هذا السياق، تهتم الدراسة الحالية بتقييم مدى خطورة الجريان السيلي على سطح المروحة الفيضية لوادي سدر في جنوب سيناء، والجدير بالذكر أن سطح مروحة وادي سدر يتسم بوجود تركيز سكاني كبير مقارنة بباقي مدن محافظة جنوب سيناء؛ حيث تشغل مدينة رأس سدر وحدها المرتبة الثانية من حيث عدد سكان المحافظة بعد مدينة طور سيناء، وذلك وفقًا لتعداد 2017 للجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، بالإضافة إلى تنوع استخدامات الأرض عليها، فضلًا عن تأثرها بالسيول من وقت لآخر.

وتهدف الدراسة الحالية إلى تقييم مدى خطورة السيول على سطح المروحة الفيضية لوادي سدر من خلال تطبيق النمذجة الهيدرولوجية بإنشاء نموذج ثنائي

الأبعاد لمحاكاة الجريان السطحي على المروحة، وتحديد المناطق الأكثر تضرراً، ووضع مقترحات لمواجهة هذا الخطر.

لهذا يشمل البحث الحالي العناصر الآتية:

- موقع منطقة الدراسة.
- طريقة الدراسة.
- تطبيق النموذج الهيدرولوجي.
- تحليل نتائج النموذج الهيدرولوجي.
- تحليل درجات خطورة السيول على سطح مروحة وادي سدر.

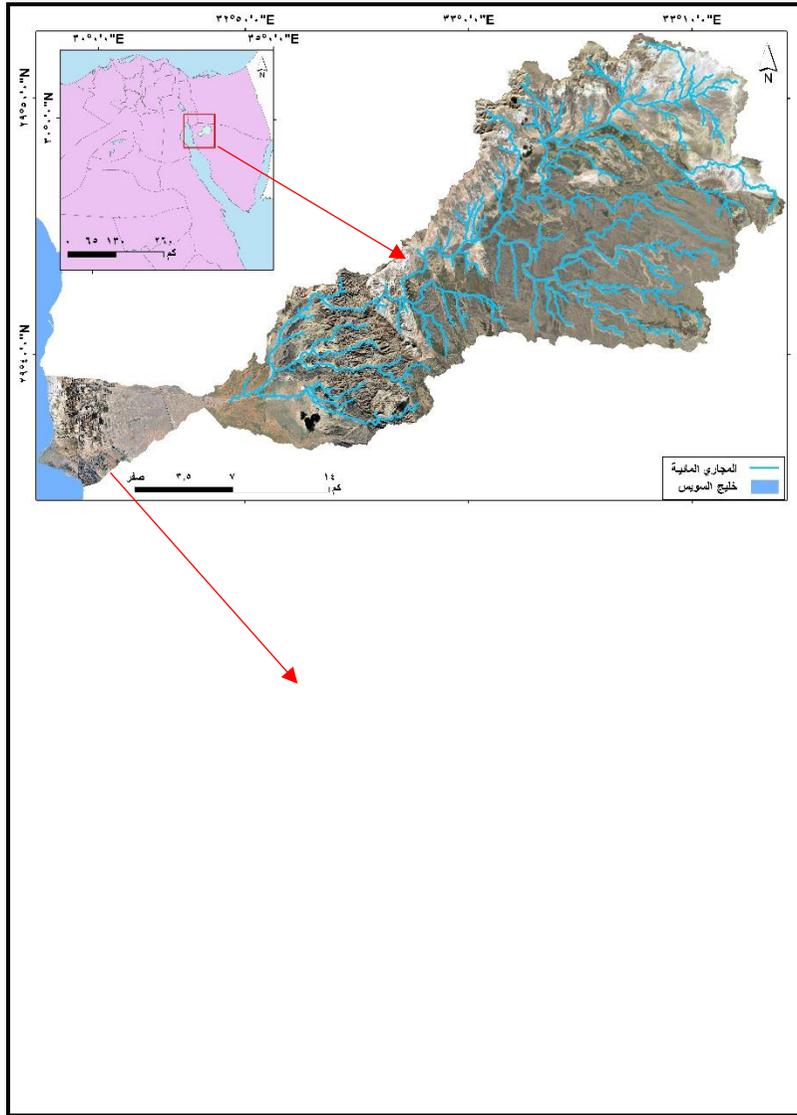
أولاً- موقع منطقة الدراسة

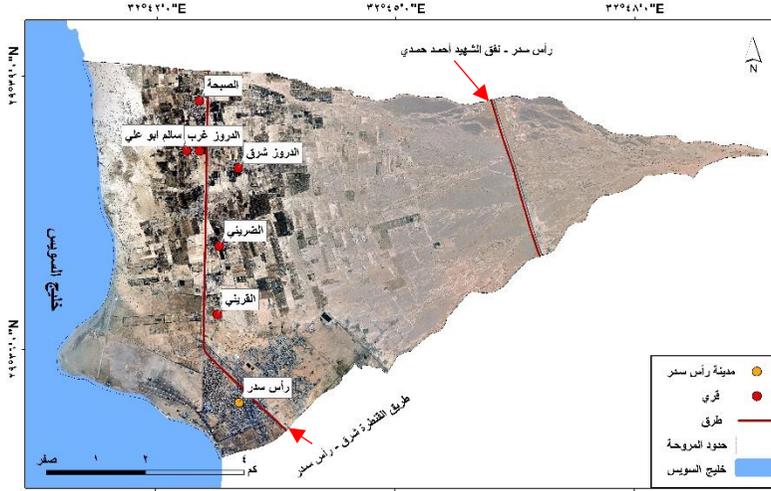
تقع مروحة رأس سدر في الجزء الشمالي الغربي من محافظة جنوب سيناء بين دائرتي عرض $29^{\circ} 34' 49.246''$ و $29^{\circ} 39' 10.449''$ ، وبين خطي طول $32^{\circ} 40' 47.206''$ و $32^{\circ} 49' 40.13''$ ، وتبلغ مساحتها نحو 59.4 كم²، ويبلغ أقصى طول لها نحو 15.03 كم، وأقصى عرض 8.4 كم (شكل 1).

وقد وقع الاختيار على مروحة وادي رأس سدر للدراسة دون غيرها من المراوح الموجودة في جنوب سيناء؛ نظراً لكبر حجمها واتساع رقعة استخدامات الأرض التي تباينت ما بين الاستخدام الزراعي والعمراني والسياحي، كما تشغل مدينة رأس سدر الطرف الجنوبي الغربي من المروحة وهي تعد ثاني أكثر المدن سكاناً في محافظة جنوب سيناء؛ إذ يبلغ عدد سكانها 6321 نسمة، وهو ما يمثل نحو 39% من إجمالي سكان مركز رأس سدر، ونحو 6% من إجمالي سكان المحافظة، وذلك وفقاً لتعداد 2017 للجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء.

ثانيًا - طريقة الدراسة

لتحقيق هدف الدراسة وهو تقييم مدى خطورة السيول على سطح المروحة الفيضية لوادي سدر باستخدام النمذجة الهيدرولوجية، تمّ تطبيق نموذج ثنائي الأبعاد لمحاكاة الجريان السطحي على المروحة ورسم خريطة درجات خطورة السيول،





المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على مرئية ARC Imagery.

شكل (1) موقع منطقة الدراسة

ووضع مقترحات مواجهة هذا الخطر؛ لهذا تنوعت مصادر البيانات بين المصادر الآتية:

الدراسة الميدانية: أجريت الدراسة الميدانية يوم 6 مارس 2024؛ بهدف التعرف على الاستخدام الحالي للأرض على سطح المروحة، وحصر وسائل الحماية الحالية من خطر السيول على سطح مروحة وادي سدر.

نماذج الارتفاعات الرقمية: اعتمدت الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي من بيانات الماسح الراداري الطبوغرافي SRTM بدقة 30 مترًا، الملتقط بتاريخ 6 أغسطس 2022، ومصدره موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS؛ وذلك بغرض استخراج شبكة التصريف بالاستعانة ببرنامج نظام نمذجة الأحواض

المائة WMS، بالإضافة إلى الاعتماد عليه لاستخدامه في بناء النموذج الهيدروليكي ثنائي الأبعاد باستخدام برنامج HEC-HMS.

الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية: استعانت الدراسة بالخرائط الطبوغرافية مقياس (50000/1) إصدار هيئة المساحة العسكرية وعددها 4 لوحات، وهي: (جبل سن بشر - جبل سمار - جبل الزرافة - جبل الراحة)؛ وذلك للتأكد من صحة النتائج المستخرجة من برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية WMS، بالإضافة إلى الخرائط الجيولوجية مقياس (250000/1) من هيئة المساحة الجيولوجية وهي لوحة واحدة (لوحة رقم 3)؛ وذلك لتحديد الوحدات الهيدرولوجية للتربة، وذلك تمهيداً لاستخراج قيمة المنحنى الرقمي.

صور لاندسات: استخدمت الدراسة صورة القمر الصناعي الأمريكي Landsat 9 من النوع OLI التي تم التقاطها في 6 أغسطس 2022، ومصدرها موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS، وذلك بعد زيادة دقة الوضوح الأرضي إلى 15 متراً؛ بهدف استخدامها لتحديد استخدامات الأرض في الحوض واستخراج قيمة المنحنى الرقمي.

بيانات الأمطار: اعتمدت الدراسة على البيانات اليومية للأمطار خلال الفترة ما بين عامي 2014 - 2023، التي تتيحها قاعدة البيانات التي أطلقتها وكالة ناسا الدولية لعلوم الفضاء كأحد مشروعاتها، والتي يرمز لها بقاعدة بيانات POWER اختصاراً لـ Prediction of Worldwide Energy Recourses المتاحة على موقعها على الرابط الآتي:

[/https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer)

وتمّ استخدام عدد من البرامج في تحليل البيانات هي برامج: ARC GIS, WMS, HEC-HMS, HEC-RAS.

وقد استخدمت مصادر البيانات السابقة لتنفيذ الخطوات الآتية:

١- استخراج الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية للحوض

اعتمدت الدراسة على برنامج WMS 10؛ وذلك لاستخراج الحوض وشبكة التصريف من خلال الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي، وذلك تمهيداً لاستخراج الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية للحوض التي تتمثل في مدخلات النموذج الهيدرولوجي، وتم ذلك من خلال سلسلة الخطوات الآتية:

أ- تحديد شبكة التصريف وذلك عن طريق:

Drainage Module  → Dem → Compute Flow direction/Accumulation

ب- اختيار نقطة المصب:

Drainage Module  → Create outlet point tool 

ج- استخراج حوض التصريف وإظهار المعاملات المورفومترية:

Drainage Module  → Dem → Stream Arc
Compute ← Basin Polygons ← Define Basin Basin Data

د- استخراج الخصائص الهيدرولوجية اللازمة لبناء النموذج الهيدرولوجي:

تمثلت تلك الخصائص في معاملين هما المنحنى الرقمي وزمن التأخر، وقد تم في البداية اشتقاق قيمة المنحنى الرقمي، وتطلب ذلك عددًا من

المدخلات تمثلت في تحديد الوحدات الهيدرولوجية للتربة، وتم ذلك بالاستعانة بالخريطة الجيولوجية، بالإضافة إلى تحديد استخدامات الأرض داخل الحوض، فضلاً عن الاستعانة بصورة القمر الصناعي. أما عن زمن التأخر فيقدم النموذج الهيدرولوجي (WMS) قائمة عريضة من الطرق الرياضية لحساب زمن التأخر باعتباره من المعاملات المورفولوجية المهمة لحساب هيدروجراف السيول (عبد الكريم، 2019). وقد تم الاعتماد على طريقة SCS method لحساب زمن التأخر؛ وذلك لأنها تأخذ بعين الاعتبار نوع التربة والغطاء الأرضي، وتحديد مقدار الفواقد الذي يحدث في كل نوع منها قبل تولد الجريان السيلي؛ مما يجعلها أفضل الطرق لحساب زمن التأخر (خطاب، سليم، 2021).

$$T_{LAG} = L^{0.8} \frac{(S+1)^{0.7}}{1900\sqrt{y}}$$

حيث إن T_{LAG} = زمن التأخير (ساعة)، L = أطول مسار للمياه (قدم)، Sr = أقصى جهد لרטوبة التربة (Maximum retention) ويحسب من معامل المنحنى، Y = الميل العام للحوض (نسبة %) (عواودة، 2021، ص 246).

٢- النموذج الهيدرولوجي

اعتمدت الدراسة على النموذج الهيدرولوجي ذي النظام الهندسي (HEC-HMS) لحساب منحنى هيدروجراف السيول لحوض سدر، وتقدير حساب كميات مياه السيول ومعدلات تدفقها اعتماداً على طريقة SCS .Unit hydrograph

٣- النموذج الهيدروليكي

استخدمت الدراسة برنامج نظام تحليل الجريان في الأنهار (River Analysis System) المعروف باسم HEC-RAS، والذي تم تطويره من قبل المركز الهندسي للهيدروليك (Hydraulic Engineering Center)، وهو عبارة عن برمجيات هندسية تسمح للمستخدم بتأدية الحسابات الهيدروليكية للجريان المستقر وغير المستقر؛ وذلك لعمل نموذج ثنائي الأبعاد لتحديد عمق الجريان وسرعته، وتم ذلك من خلال سلسلة من الخطوات هي:

أ- إدخال البيانات الهندسية (Geometric Data):

تم من خلالها ترسيم حدود منطقة الدراسة، وتحديد منطقة المنبع

والمصب، وذلك باستخدام أدواتي 2D Flow Area  و BC

 Lines

ب- إدخال بيانات الجريان والشروط المحيطية Flow Data and Boundary Conditions:

يتم خلال هذه المرحلة إدخال بيانات الجريان التي تم استخراجها من النموذج الهيدرولوجي، وذلك عن طريق اختيار Edit من شريط القوائم في واجهة البرنامج، ثم نختار منها Unsteady Flow Data.

ج- إجراء الحسابات الهيدروليكية:

تم خلال هذه المرحلة وضع سيناريو للعاصفة المطرية، وذلك بالاستعانة ببيانات الجريان والبيانات الهندسية التي تم إدخالها في المراحل السابقة، حيث يتم تحديد بداية ونهاية زمن النمذجة وزمن حساب

التدفق، وذلك عن طريق اختيار Run من شريط القوائم في واجهة البرنامج، ثم اختيار Unsteady Flow Analysis.

ثالثاً- تطبيق النموذج الهيدرولوجي

تعرف النمذجة الهيدرولوجية لأحواض التصريف بأنها عملية محاكاة لعمليات الجريان المائي السطحي التي تحدث في أحواض التصريف منذ بداية حدوث التساقط المطري حتى انتهاء الجريان السطحي، ويسبب التعقيد الكبير في النظم الهيدرولوجية صعوبة وصف ودراسة الخصائص الفعلية للعمليات الهيدرولوجية في الطبيعة، فضلاً عن صعوبة القياسات الحقلية (الشمراي، مدني، 2022).

١- الاستخلاص الآلي للحوض وشبكة التصريف

تم الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي من بيانات الماسح الراداري الطبوغرافي SRTM بدقة 30 متراً؛ وذلك لاستخراج الحوض وشبكة التصريف، وذلك بالاستعانة ببرنامج النمذجة الهيدرولوجية (WMS)، كما تم التأكد من صحة النتائج بالاعتماد على الخرائط الطبوغرافية لاستخراج الخصائص المورفومترية للحوض، كما هو موضح في الجدول (1)، حيث بلغت مساحة حوض وادي سدر 538.5 كم²، وبلغ محيطه 193391.5 متراً، وطوله نحو 45515.44 متراً، وبلغ انحداره 0.14 م/م.

جدول (1) الخصائص المورفومترية لحوض وادي رأس سدر

القيمة	المعامل	القيمة	المعامل
1.51	معامل الانعطاف	538.5	المساحة (كم ²)
70793.09	أطول مسار في الحوض (م)	0.14	انحدار الحوض
0.0076	أكبر انحدار في الحوض	45515.44	طول الحوض (م)
68688.25	الطول الأقصى للمجرى (م)	193391.5	محيط الحوض (م)
0.0071	الانحدار الأقصى للمجرى	3.85	معامل الشكل
0.0087	الانحدار من وسط المجرى	95.22	المسافة من وسط المجرى (م)

المصدر: من عمل الطالب اعتمادًا على بيانات برنامج WMS.

٢- تحديد قيمة المنحنى الرقمي الموزون

تم استعمال طريقة المنحنى العددي لتقدير كميات المياه المفقودة بالتسرب لباطن الأرض، وتعتمد هذه الطريقة على تحديد المجموعات الهيدرولوجية للترتبة استخدامات الأرض بالحوض. وتتراوح قيم المنحنى العددي بين (صفر - ١٠٠)، وتوجد علاقة عكسية بين النفاذية وقيم المنحنى العددي؛ حيث إن الأسطح غير المنفذة للمياه أو قليلة النفاذية تأخذ قيم منحنى عددي مرتفعة، وهي أسطح قادرة على توليد الجريان السطحي، أما الأسطح المنفذة للمياه أو المرتفعة النفاذية فتأخذ قيم منحنى عددي منخفضة؛ حيث تتسرب المياه خلالها، ومن ثمَّ فهي ذات قدرة منخفضة على توليد الجريان السطحي (خطاب، سليم، 2021، ص 17).

وتطلبت هذه المرحلة عددًا من المدخلات تم تحليلها للحصول على قيم المنحنى الرقمي الموزون، وتمثلت تلك المدخلات في الآتي:

أ- المجموعات الهيدرولوجية للتربة:

من المعاملات الرئيسية لحساب المنحنى الرقمي (CN) تعريف المجموعات الهيدرولوجية للتربة، وقد حددت طريقة (SCS) أربع مجموعات هيدرولوجية للتربة وفقاً لمعدل سرعة انتقال الماء خلالها، وهذه المجموعات هي:

(A - B - C - D)، ولكل منها صفاتها الخاصة بخصوص نشوء الجريان السطحي (الضبيحي، 2020، ص90). وقد تم اشتقاق المجموعات الهيدرولوجية للتربة بحوض وادي سدر بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية، واتضح منها أنه يوجد نوعان فقط من التربة داخل حوض وادي سدر، هما:

المجموعة الهيدرولوجية A: تتمثل في تربة الرواسب الفيضية، وهي عبارة عن تربة رملية عميقة خشنة التحب، مع كمية قليلة من الطين والغرين، ومعدل التسرب أكبر من 25 مم في الساعة، وعمق الجريان قليل (السطيحة، 2018، ص119). وتشغل نحو 8% من إجمالي مساحة الحوض.

المجموعة الهيدرولوجية D: تتمثل في كامل الغطاء الجبلي، والتسرب لا يزيد عن 1مم في الساعة (السطيحة، 2018، ص119). وتشغل أغلب مساحة الحوض بنسبة 92% من إجمالي مساحة الحوض؛ مما ساعد على نشوء جريان سطحي مرتفع.

ب- تحديد غطاءات واستخدامات الأرض:

تتمثل غطاءات الأرض في الصخور والرواسب والنباتات، أي كل ما هو طبيعي، بينما تتمثل استخدامات الأرض في الطرق والمناطق

الزراعية والعمرانية بأشكالها سواء أكانت مباني حكومية أو أهالٍ (حسن، 2019، ص181).

وقد تم تصنيف غطاءات واستخدامات الأرض اعتمادًا على مرئية Landsat 9 من النوع OLI التي تم التقاطها في 6 أغسطس 2022، وذلك من خلال تطبيق التصنيف الموجه باستخدام طريقة Maximum Likelihood Classifier، وتعتمد هذه الطريقة في التصنيف على حساب مدى احتمالية وقوع الخلية المراد تصنيفها بالقرب من متوسط الفئات المختلفة المحددة، اعتمادًا على البيانات المستخرجة من مواقع التدريب Training Sites، ويتم تخصيص الفئة المناسبة اعتمادًا على أعلى نتيجة احتمالات من بين الفئات المختلفة، ويتم ذلك من خلال حساب المتوسط المتجه ومصفوفة التباين لكل فئة باستخدام بيانات مواقع التدريب، ويتم حساب الاحتمالات لقيمة الخلية المراد تعيين فئتها، ومن ثمَّ فإن كل الخلايا الموجودة في المرئية يتم تصنيفها (خطاب، سليم، 2021، ص12).

وقد أمكن التعرف على عدد من الغطاءات والاستخدامات الأرضية بحوض وادي سدر؛ إذ تمثلت في الصخور المكشوفة والرواسب المفككة لتمثلاً معًا نحو 99% من إجمالي مساحة الحوض، وتمثل الطرق والمناطق العمرانية والزراعية 1% من إجمالي مساحة الحوض. وتنوعت قيم رقم المنحنى العددي بحوض وادي سدر ما بين 63 و88، وبلغت قيمة المنحنى العددي الموزون 85.

٣- حساب زمن التأخير

يعبّر زمن التأخر عن الزمن الفاصل بين قمة منحني المطر أثناء العاصفة المطرية وقمة منحني الجريان السطحي بالحوض، ويتوقف زمن التأخر على قدرة سطح الحوض في الإمساك بالمياه أو زيادة الفاقد منها سواء أكان بالبخر أو التسرب داخل التربة، وتكمن أهميته التطبيقية عند الاستعداد لدرة أخطار الجريان المائي السيلي (الكومي، 2022، ص1233).

وبلغ زمن تباطؤ الجريان بحوض وادي سدر نحو 5.7 ساعة، وتم الحصول عليه من خلال استخدام طريقة SCS method التي تضع بعين الاعتبار نوع التربة مع الغطاء النباتي السائد واستخدامات الأرض، وذلك عن طريق المعادلة الآتية:

$$T_{LAG} = L^{0.8} \frac{(S + 1)^{0.7}}{1900\sqrt{y}}$$

حيث إن TLAG = زمن التأخير (ساعة)، L = أطول مسار للمياه (قدم)، Sr = أقصى جهد لرطوبة التربة (Maximum retention) ويحسب من معامل المنحنى، Y = الميل العام للحوض (نسبة %) (عواودة، 2021، ص 246).

٤- تحديد عمق الأمطار

تقع منطقة الدراسة ضمن إقليم المناخ الصحراوي الحار الذي يتسم بعدم انتظام موعد سقوط الأمطار ومكان سقوطها، كما أن مقدار تلك الأمطار غير ثابت ومتغير، فقد تسقط أمطار غزيرة في شهر ما، ثم تمر عدة سنوات دون

سقوط أمطار، أو قد تسقط في يوم ما كمية من الأمطار تتجاوز مجموع ما يسقط من الأمطار في سنة؛ مما يؤدي إلى تجمع كميات كبيرة من المياه الجارية تتشأ عنها السيول التي تجرف وتخرب ما تصادفه في طريقها؛ لذا تم التركيز على تلك القيم الشاذة لدراسة الجريان السطحي، ويتبين من الجدول (2) أكبر كمية يومية للأمطار سقطت خلال السنوات العشر الماضية.

يحدث الجريان السطحي في حالة سقوط أمطار كميتها أكبر من 10 ملم (Prana et al, 2020, P10)؛ لذلك عند عمل النموذج تم التركيز على تلك القيم. تم في البداية اختيار قيمتين؛ تمثلت القيمة الأولى في كمية الأمطار الساقطة يوم 30 نوفمبر 2016 التي بلغت كميتها 73.55 ملم، أما القيمة الثانية فتمثلت في الأمطار الساقطة يوم 17 مارس 2021 التي بلغت كميتها 28.95 ملم؛ وذلك لنمذجة الجريان لسنتين مختلفتين، واحدة قديمة وأخرى حديثة، إلا أن كمية الأمطار الساقطة عام 2021 والبالغة 28.95 ملم اقتصر الجريان السطحي الناتج عنها على الحوض فقط ولم تصل إلى المروحة؛ لذا تم استبدالها بقيمة أخرى أكبر وهي أمطار يوم 1 ديسمبر 2016 البالغ حجمها 58.18 ملم.

جدول (2) أكبر كميات التساقط اليومية خلال الفترة ما بين (2014 – 2023)

السنة	التاريخ	أكبر كمية تساقط في يوم واحد (مم)	السنة	التاريخ	أكبر كمية تساقط في يوم واحد (مم)
٢٠١٤	٠٩-يناير	٧,٥١	٢٠١٩	٠٦-ديسمبر	١٥,١٩
٢٠١٤	٠٩-مارس	٦,٨٨	٢٠١٩	٠٢-ديسمبر	٥,٣٧
٢٠١٤	١٦-فبراير	٥,٣١	٢٠١٩	٠٥-مارس	٤,٤٦
٢٠١٥	١٥-فبراير	٣	٢٠٢٠	١٢-مارس	٢١,٩٩
٢٠١٥	١١-أبريل	٢,٦٦	٢٠٢٠	٢٥-أبريل	١٣,٥٣
٢٠١٥	٢٥-أكتوبر	٢,٣٥	٢٠٢٠	١٣-مارس	١٢,٨٥
٢٠١٦	٣٠-نوفمبر	٧٣,٥٥	٢٠٢١	١٧-مارس	٢٨,٩٥
٢٠١٦	٠١-ديسمبر	٥٨,١٨	٢٠٢١	٠٤-فبراير	٦,١٢
٢٠١٦	٢٧-أكتوبر	٣٠,١	٢٠٢١	٣١-ديسمبر	٥,٣١
٢٠١٧	٢١-نوفمبر	١٩,٣٤	٢٠٢٢	٢١-مارس	١٩,٥٥
٢٠١٧	٢٦-فبراير	٦,١٦	٢٠٢٢	٢٠-سبتمبر	٩,٩١
٢٠١٧	١٩-نوفمبر	٥,٩	٢٠٢٢	٠١-يناير	٥,٦١
٢٠١٨	٢٥-أبريل	٢٨,٣٥	٢٠٢٣	٢٤-يناير	٧,٣٢
٢٠١٨	٢١-أبريل	١٣,٤٥	٢٠٢٣	٢٣-يناير	٥,١٩
٢٠١٨	١٨-أكتوبر	٩,٩	٢٠٢٣	١٤-مارس	٥,٠٣

المصدر: من عمل الطالب اعتمادًا على البيانات المناخية بقاعدة بيانات POWER بموقع NASA

[/https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer)

رابعًا - تحليل نتائج النموذج الهيدرولوجي

تم اختيار برنامج HEC-HMS للتعقب بالجريان السطحي الذي يفيد في بناء نظام إنذار مبكر لحركة السيول، وقد تم ذلك من خلال اتباع سلسلة من الخطوات التي تم خلالها الاعتماد على أكبر كمية مطر سقطت على منطقة الدراسة خلال الفترة ما بين (2016 – 2023)، بالإضافة إلى الاعتماد على طريقة المنحنى العددي CN لحساب قيمة الفواقد وطريقة soil conservation service، أو المعروف اختصارًا بطريقة (SCS)؛ لإعداد العاصفة التصميمية، حيث يتم افتراض مدة العاصفة 24 ساعة. وتم اختيار توزيع SCS – TYPE

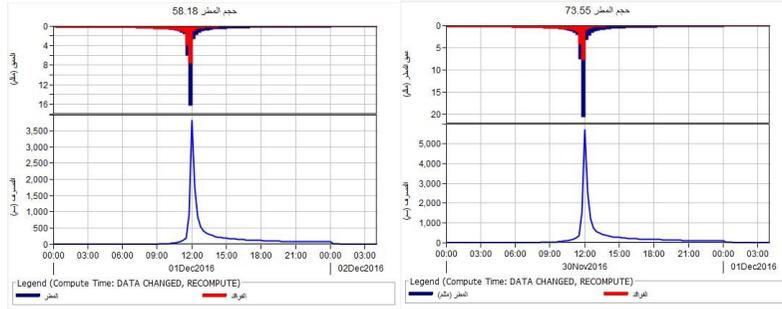
II للأمطار؛ إذ إنها الأنسب للمناطق الجافة وشبه الجافة. ويفترض هذا التوزيع أن نحو 60% من عمق المطر اليومي يسقط في أقل من ساعتين، والباقي يتم توزيعه على باقي اليوم (الكيالي، عبد الجواد، 2020).

تبين من الجدول (3) والشكل (2) أنه خلال يوم 30 نوفمبر 2016 استقبل حوض وادي سدر كمية مطر قُدرت كميتها بنحو 73.55 ملم، وبلغت كمية ما تم فقده منها 35.50 ملم، ليصبح إجمالي صافي الجريان 38.05 ملم، وهي التي أدت إلى حدوث الجريان السيلي الذي بلغ حجمه 19.2 ألف م³، وبلغت أقصى كمية تصريف 5736.2 م³/ث، وتم الوصول إليها خلال 12 ساعة. في حين استقبل الحوض خلال يوم 1 ديسمبر 2016 كمية أمطار بلغت كميتها 58.18 ملم، قُدد منها 32.48 ملم، ليصبح إجمالي صافي الجريان 25.7 ملم، وهذا أدى إلى حدوث جريان سيلي بلغ حجمه 12.4 ألف م³، وبلغت أقصى كمية تصريف 3832.8 م³/ث، وتم الوصول إليها خلال 12 ساعة أيضًا.

جدول (3) خصائص مياه السيول لحوض وادي سدر

السنة	30 نوفمبر 2016	01 ديسمبر 2016
المطر الكلي ملم	73.55	58.18
الفاقد الكلي (ملم)	35.5	32.48
المطر المتبقي (ملم)	38.05	25.7
حجم السيول (1000م ³)	19125.9	12915.4
أقصى تدفق (م ³ /ث)	5736.2	3832.8

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على نتائج تطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على نتائج تطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS.

شكل (2) منحنيات الجريان بحوض سدر

خامسًا- تحليل درجات خطورة السيول على سطح المروحة

تم بناء نموذج ثنائي الأبعاد للجريان السطحي للحوض باستخدام نموذج HEC-RAS، وذلك بالاعتماد على البيانات الخاصة بالجريان التي تم استخراجها من برنامج HEC-HMS، وتبين منه الآتي:

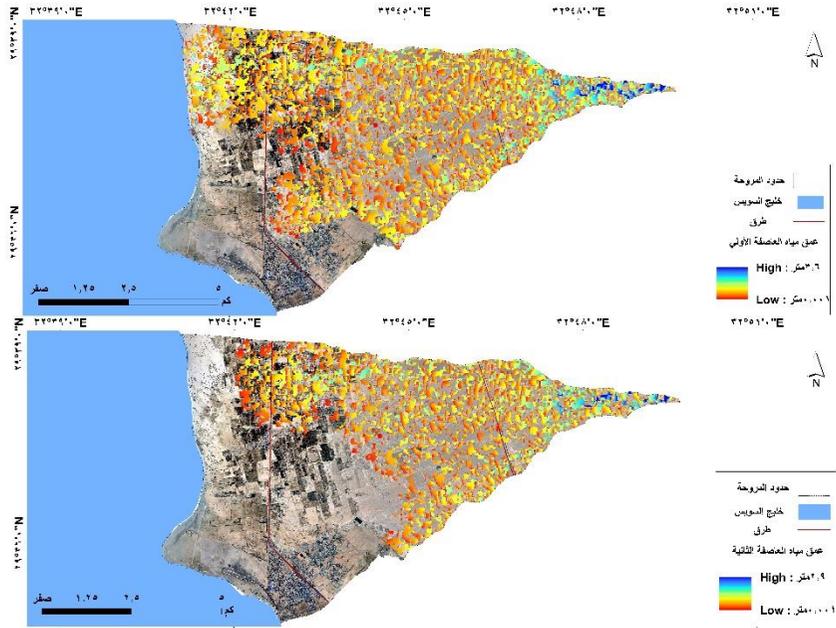
أن الجريان السطحي الذي نتج عن أمطار يوم 30 نوفمبر البالغ حجمها 73.55 ملم، قد غطى نحو 36% من إجمالي مساحة المروحة (شكل 3)، كما تراوح عمق المياه الناتج عن هذا الجريان ما بين 0.001 - 3.6 أمتار، ويزداد عمق المياه عند قمة المروحة، ويقبل بالاتجاه نحو قاعدة المروحة (شكل 3).

أما عن الجريان الناتج عن العاصفة المطرية الثانية يوم 1 ديسمبر البالغ حجمها 58.18 ملم، فقد غطى نحو 23% من إجمالي مساحة المروحة (شكل 3)، كما تراوح عمق المياه الناتج عن هذا الجريان ما بين 0.001 - 2.9 متر (شكل 3)، وقد اقتصر خطر الفيضان على الطرف الشمالي والشمالي الشرقي للمروحة؛ حيث توجد الأراضي الزراعية وبعض مباني البدو التي تم إقامتها بشكل عشوائي

في المجاري المائية الموجودة على سطح المروحة. ويتضح من الشكل (4) وجود مجرى سيلبي داخل قرية الدروز شرق، والذي أدى إلى تدمير مستمر للمنازل مع كل عاصفة مطرية شديدة، بالإضافة إلى التأثير على الزراعات الموجودة بالقرية؛ مما دفعهم إلى عمل سدود ترابية لحمايتهم، كما هو موضح في الشكل (5)، الذي يظهر سد تم بناؤه في القرية، وإن كانت تلك السدود غير مجدية في حالة الجريان السيلبي القوي، وذلك على عكس مدينة رأس سدر التي لم يتأثر أي جزء منها بالسيل؛ وذلك لوجودها على منسوب عالٍ نسبياً وبعيد عن المجاري المائية بسطح المروحة. وفيما يأتي تحليل نطاقات الخطورة على سطح المروحة ببعض من التفصيل:

(1) نطاقات الخطورة على سطح المروحة طبقاً لعمق الجريان السطحي

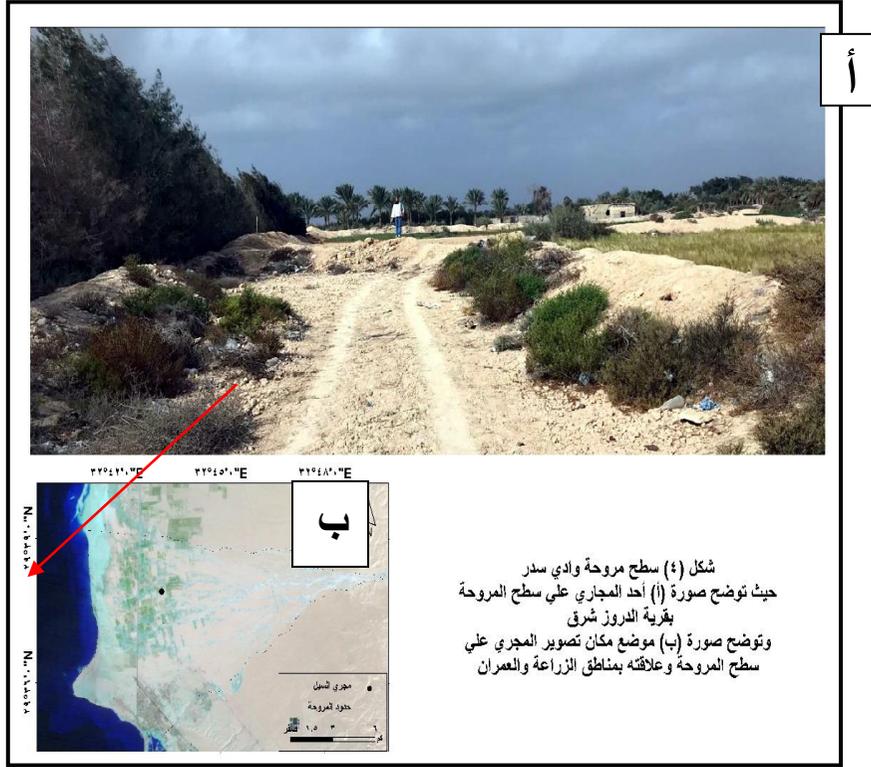
يتضح من الجدول (4) والشكل (6) أن المناطق شديدة الخطورة على سطح المروحة، والتي يتراوح عمق الجريان السطحي بها ما بين 1.3 - 3.6 أمتار، تنتشر في أغلبها بالأجزاء الشرقية من سطح المروحة الفيضية لوادي سدر؛ حيث يوجد طريق رأس سدر-النفق الذي يبتعد عن رأس المروحة بنحو 5 كم، ويبلغ طول الجزء المار منه داخل حدود المروحة نحو 3.30 كم، واقتصرت منشآت الحماية من أخطار السيول على طول ذلك الجزء على 6 بوابخ، تنوعت أشكالها حيث إن بعضها يتكوّن من أسطوانتين، والبعض الآخر يتكوّن من أربعة، كما هو موضح في الشكل (7)، بالإضافة إلى مناطق متفرقة من الجزء الشمالي من المروحة ولكن بنسبة أقل من الأجزاء الشرقية، وتزيد مساحة هذه الأراضي المهدة كلما اقتربنا من قمة المروحة، وتمثل تلك الأجزاء 10% من مساحة المنطقة المغمورة، و4% من إجمالي مساحة المروحة.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على نتائج تطبيق النموذج الهيدروليكي HEC-RAS.

شكل (3) تصنيف الجريان السطحي طبقاً لعمق الجريان

أما عن المناطق متوسطة الخطورة وهي التي يتراوح بها عمق المياه من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر، فتمثل 43% من مساحة المنطقة المغمورة، و16% من إجمالي مساحة المروحة، وتزداد مساحة هذه المناطق بالاتجاه ناحية قاعدة المروحة. والجدير بالذكر أن أغلب نطاقات الاستقرار البشري على سطح مروحة وادي سدر قد تأثرت بهذه الفئة من الخطورة؛ حيث يتأثر بها الجزء الشمالي من مدينة رأس سدر، بالإضافة إلى الأراضي الزراعية، وبعض التجمعات البدوية المقامة إلى الشمال منها.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على الدراسة الميدانية ومرئية فضائية Landsat5 بدقة 30 أمتار لعام 2010م.

بالنسبة للمناطق منخفضة الخطورة فهي تمثل 47% من مساحة المناطق المغمورة بالجريان، و17% من إجمالي مساحة المروحة، وبذلك تصل مساحة الأراضي المهدة بخطر السيل بدرجاته المختلفة أثناء هذه العاصفة المطرية نحو 37% من إجمالي مساحة المروحة، وبلغت نسبة الأراضي غير المهدة أثناء هذه العاصفة نحو 63% من سطح المروحة.



شكل (5) أحد السدود الترابية بقرية الدروز شرق

أما في حالة العاصفة المطرية الثانية التي حدثت يوم 1 ديسمبر، فيتبين من الجدول (4) والشكل (6) أن النطاقات شديدة الخطورة التي تراوح عمق مياهها ما بين 1.3 - 2.9 متر، قد غطت مساحة تعادل 6% من مساحة المنطقة المغمورة

بالجريان، وهو ما يعادل 1% من إجمالي مساحة المروحة، وتأخذ نفس توزيع النطاقات الشديدة الخطورة في العاصفة الأولى.

أما عن المناطق متوسطة الخطورة التي يتراوح عمق جريانها من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر، فقد غطت نحو 37% من مساحة المنطقة المغمورة، و8% من إجمالي مساحة المروحة، وتتأثر بها بعض الأراضي الزراعية والعمران البدوي في الجزء الشمالي من المروحة.

وبالنسبة للمناطق منخفضة الخطورة التي يقل عمق الجريان السطحي بها عن 0.6 متر، فهي تغطي 57% من المساحة المغمورة، و13% من إجمالي مساحة المروحة، وقد أثرت أيضًا على الأراضي الزراعية والعمران البدوي في الجزء الشمالي من المروحة. نخلص من ذلك أن إجمالي الأراضي التي تأثرت بالعاصفة المطرية الثانية بدرجات الخطورة المختلفة قد بلغت 23% من إجمالي مساحة المروحة، ومن ثمّ مثلت الأراضي غير المهددة نحو 77% من مساحة المروحة.

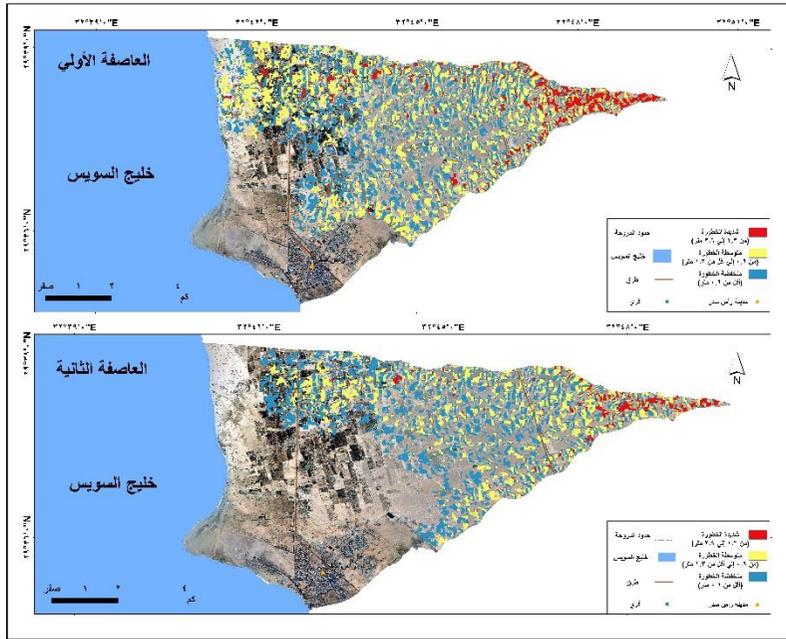
(2) نطاقات الخطورة على سطح المروحة طبقًا لسرعة الجريان السطحي

يتضح من الجدول (5) والشكل (8) أن النطاقات الأرضية شديدة الخطورة على سطح المروحة التي تتراوح سرعة الجريان السطحي بها ما بين 1.3 - 2.9 متر/ثانية، تركزت أثناء العاصفة المطرية الأولى في الجزء الشرقي من المروحة، وتشغل تلك النطاقات 4% من مساحة المنطقة المغمورة، و2% من إجمالي مساحة المروحة.

جدول (4) تصنيف درجات خطورة الجريان السيلي بالمروحة طبقاً لعمق الجريان

مساحة المنطقة المهددة بالنسبة لمساحة المروحة (%)		مساحة المنطقة المهددة بالنسبة للمساحة المغمورة بالمياه (%)		مساحة المنطقة المهددة بالنسبة للمساحة المغمورة بالمياه (كم ²)		درجة خطورة العاصفة
العاصفة الثانية 58.18 ملم)	العاصفة الأولى (73.55 ملم)	العاصفة الثانية (58.18 ملم)	العاصفة الأولى (73.55 ملم)	العاصفة الثانية 58.18 ملم)	العاصفة الأولى 73.55 ملم)	
1%	4%	6%	10%	0.83	2.15	شديدة الخطورة من 1.3م فأكثر
8%	16%	37%	43%	5.03	9.31	متوسطة الخطورة من 0.6 إلى أقل من 1.3م
13%	17%	57%	47%	7.79	10.17	منخفضة الخطورة أقل من 0.6 متر

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على نتائج تطبيق النموذج الهيدروليكي HEC-RAS.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على نتائج تطبيق النموذج الهيدروليكي HEC-
.RAS

شكل (6) تصنيف درجات الخطورة على سطح المروحة طبقاً لعرق الجريان



شكل (7) بوابخ على طريق رأس سدر - النفق

أما عن المناطق متوسطة الخطورة وهي التي تتراوح بها سرعة الجريان من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر/ثانية، فتمثل 26% من مساحة المنطقة المغمورة، و9% من إجمالي مساحة المروحة، ونقل المساحة التي تغطيها بالاتجاه ناحية قاعدة المروحة وتتأثر بها الأجزاء الشمالية والشرقية من المروحة. وبالنسبة للمناطق منخفضة الخطورة فهي تغطي 70% من مساحة المناطق المغمورة بالجريان، و25% من إجمالي مساحة المروحة، وهي بذلك تغطي أغلب المساحة المغمورة من المروحة، وتزداد المساحة بالاتجاه ناحية قاعدة المروحة، وتوزع عليها أغلب نطاقات الاستقرار البشري.

كما يتضح من الجدول (5) والشكل (8) أنه في حالة العاصفة المطرية الثانية تغطي النطاقات شديدة الخطورة التي تتراوح سرعة الجريان بها ما بين 1.3 - 2.4 متر/ثانية مساحةً تعادل 2% من مساحة المنطقة المغمورة بالجريان، و0.3% من إجمالي مساحة المروحة، وتتركز هذه المناطق عند قمة المروحة.

أما عن المناطق متوسطة الخطورة التي يتراوح جريانها من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر/ثانية، فهي تمثل 20% من مساحة المنطقة المغمورة، و5% من إجمالي مساحة المروحة، وتزداد مساحتها بالاتجاه نحو قمة المروحة. وبالنسبة للمناطق منخفضة الخطورة التي تقل سرعة الجريان السطحي بها عن 0.6 متر/ثانية، فتمثل 78% من المساحة المغمورة، و18% من إجمالي مساحة المروحة، وتتركز في هذه المناطق الأراضي الزراعية والعمران البدوي كما في الجزء الشمالي من المروحة.

جدول (5) تصنيف درجات خطورة السيول بالمروحة طبقاً لسرعة الجريان

مساحة المنطقة المهددة بالنسبة لمساحة المروحة (%)		مساحة المنطقة المهددة بالنسبة للمساحة المغمورة بالمياه (%)		مساحة المنطقة المهددة بالنسبة للمساحة المغمورة بالمياه (كم ²)		التصنيف
العاصفة الثانية 58.18 (ملم)	العاصفة الأولى (73.55 ملم)	العاصفة الثانية (58.18 ملم)	العاصفة الأولى (73.55 ملم)	العاصفة الثانية (58.18 ملم)	العاصفة الأولى (73.55 ملم)	
0.3%	2%	2%	4%	0.2	40.9	شديدة الخطورة من 1.3م فأكثر
5%	9%	20%	26%	2.77	5.61	متوسطة الخطورة من 0.6 إلى أقل من 1.3م
18%	25%	78%	70%	10.68	15.08	منخفضة الخطورة أقل من 0.6م

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على نتائج تطبيق النموذج الهيدروليكي HEC-RAS.

كما اتضح أيضًا أنه خلال العاصفة المطرية نفسها بلغت المساحة التي تم غمرها بالجريان السطحي من مروحة وادي سدر نحو 21.63 كم² من إجمالي مساحتها، وتراوح عمق تلك المياه ما بين 0.001 - 3.6 أمتار. أما الجريان الناتج عن سقوط أمطار في العاصفة المطرية الثانية يوم 1 ديسمبر التي بلغت كميتها 58.18 ملم، فقد غطى نحو 13.65 كم² من سطح المروحة، كما تراوح عمق المياه ما بين 0.001 - 2.9 متر.

- تم تقسيم نطاقات الخطورة على سطح مروحة وادي سدر إلى ثلاثة نطاقات طبقًا لعمق الجريان السطحي، يتمثل النطاق الأول في النطاق شديد الخطورة الذي يتراوح عمق الجريان السطحي به ما بين 1.3 - 3.6 أمتار، وقد شغلت أراضي هذا النطاق نحو 10% من مساحة المنطقة المغمورة، و4% من إجمالي مساحة المروحة. أما النطاق الثاني فيتمثل في المناطق متوسطة الخطورة التي تراوح بها عمق المياه من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر، وقد مثلت 43% من مساحة المنطقة المغمورة، و16% من إجمالي مساحة المروحة. أما النطاق الثالث فيتمثل في المناطق منخفضة الخطورة التي مثلت 47% من مساحة المناطق المغمورة بالجريان، و17% من إجمالي مساحة المروحة. أما في حالة العاصفة المطرية الثانية، فتغطي النطاقات شديدة الخطورة، التي يتراوح عمق مياهها ما بين 1 - 2.9 متر، نحو 6% من مساحة المنطقة المغمورة بالجريان، و1% من إجمالي مساحة المروحة. ومثلت المناطق متوسطة الخطورة، التي تراوح عمق جريانها من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر، نحو 37% من مساحة المنطقة المغمورة، و8% من

إجمالي مساحة المروحة. وبالنسبة للمناطق منخفضة الخطورة، التي يقل عمق الجريان السطحي بها عن 0.6 متر، فقد غطت 57% من المساحة المغمورة، و13% من إجمالي مساحة المروحة.

- تم تقسيم مروحة وادي سدر إلى ثلاثة نطاقات خطورة طبقاً لسرعة الجريان، شغل النطاق شديد الخطورة، الذي تتراوح سرعة الجريان السطحي به ما بين 1.3 – 2.9 متر/ثانية، نحو 4% من مساحة المنطقة المغمورة، و2% من إجمالي مساحة المروحة. أما المناطق متوسطة الخطورة، التي تتراوح بها سرعة الجريان من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر/ثانية، فقد مثلت 26% من مساحة المنطقة المغمورة، و9% من إجمالي مساحة المروحة. وبالنسبة للمناطق منخفضة الخطورة فقد غطت نحو 70% من مساحة المناطق المغمورة بالجريان، و25% من إجمالي مساحة المروحة. أما في حالة العاصفة المطرية الثانية، فقد غطت النطاقات شديدة الخطورة، التي تتراوح سرعة الجريان بها ما بين 1.3 – 2.4 متر/ثانية، نحو 2% من مساحة المنطقة المغمورة بالجريان، و0.3% من إجمالي مساحة المروحة. أما المناطق متوسطة الخطورة، التي تتراوح سرعة جريانها من 0.6 إلى أقل من 1.3 متر/ثانية، فقد غطت نحو 20% من مساحة المنطقة المغمورة، و5% من إجمالي مساحة المروحة. وبالنسبة للمنطقة منخفضة الخطورة، التي تقل سرعة الجريان السطحي بها عن 0.6 متر/ثانية، فقد غطت نحو 78% من المساحة المغمورة، و18% من إجمالي مساحة المروحة.

- تبين من خلال دراسة تأثير أكبر عاصفتين مطريتين خلال السنوات العشر الأخيرة أن مساحة المناطق المتأثرة بخطر الجريان السطحي بمروحة وادي سدر قد تراوحت ما بين 37% - 23%، وقد شغل أغلب هذه المساحات مناطق عمرانية وأراضٍ زراعية مستصلحة وطرق، وهو ما يعني ضرورة أخذ التدابير اللازمة للحد من خطورة الجريان السطحي بمروحة وادي سدر.

التوصيات:

- تقترح الدراسة عددًا من التوصيات للحد من الأخطار الناتجة عن الجريان السيلي على سطح مروحة وادي سدر، منها:
 - يتطلب إجراء الدراسات الهيدرولوجية للتعرف على خطورة الجريان السطحي على سطح المراوح الفيضية وجود وفرة في البيانات التفصيلية للأمطار، بالإضافة إلى القياسات التفصيلية للجريان من حيث كميته وسرعته ومدته وقمته وزمن الوصول إليه، وهو ما لا يتوافر في منطقة الدراسة؛ مما أدى إلى اللجوء لأساليب أخرى للوصول إلى تلك البيانات؛ لذا لابد من التوسع في إنشاء المحطات المناخية بمنطقة الدراسة، وكذلك إنشاء محطات الرصد وأنظمة الإنذار المبكر للتنبؤ بالسيول قبل حدوثها لتجنب الأضرار الناتجة عنها.
 - تحتاج منطقة الدراسة إلى التنوع في منشآت الحماية من الجريان السيلي؛ وذلك لتجنب الأخطار الناتجة عنه، حيث اقتصرت تلك المنشآت في سطح المروحة على الدرابخ والسدود الترابية، وهي وسائل بسيطة لم تكن فعّالة لمواجهة خطر الجريان السيلي.

- ضرورة تقديم الوحدات المحلية ومراكز المعلومات بالمحافظة نتائج دراسات الجريان السيلبي والخرائط للسكان المحليين والمسؤولين؛ لتوضيح مناطق الخطورة على سطح المروحة، ومن ثمّ منع إقامة المشروعات والمناطق السكنية بها، ورفع الوعي البيئي لدى المسؤولين والمواطنين لاتخاذ تدابير التخفيف قبل حدوث السيول، ووضع إستراتيجيات التكيف لإدارة الأزمات الناتجة عنها.
- هناك كميات كبيرة من الأمطار تسقط أثناء العواصف المطرية غير مستغلة؛ لهذا فإن هناك ضرورة لإنشاء السدود لحجز المياه داخل مجرى وادي سدر لإعادة استخدام هذه المياه للشرب والأنشطة البشرية المختلفة.

المراجع العربية:

١. حسن، ابراهيم محمد (2007). جيومورفولوجية المراوح الفيضية بالساحل الشرقي لخليج السويس، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.
٢. حسن، هويدا توفيق أحمد (2019). النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي أم عدوي بجنوب سيناء وأثره في التنمية باستخدام برنامج WMS بتطبيق CN-SCS، مجلة كلية الآداب جامعة السويس، العدد 17، ص ص 161 - 222.
٣. خطاب، محمد إبراهيم محمد، سليم، مها كمال (2021). النمذجة الهيدرولوجية للسيول في حوض وادي القرن شرق قفط بالصحراء الشرقية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية، 52(77)، 1-59. doi:

10.21608/agj.2021.162858

٤. السطيحة، وائل عطية حامد (2018). رصد المخاطر الطبيعية على الآثار في جنوب سيناء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة بنها.
٥. الثمراني، ندى سعد، مدني، فردوس محمد (2022). المناطق المعرضة لخطر السيول بحوض وادي بيشة في المملكة العربية السعودية، مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، م 6، عدد 4، ص ص 88-116.
٦. الضبيحي، مها عبد الله محمد (2020). تقييم مخاطر السيول وتخفيف حدتها لوادي الصعيد والمحبس بمدينة العمار منطقة القصيم، المملكة العربية السعودية، المجلة المصرية للتغير البيئي، م 12، العدد الثاني، ص ص 71 - 102.
٧. عبد الكريم، أشرف أحمد علي (2019). أثر التغيرات المناخية والتوسعات العمرانية على زيادة مخاطر السيول: قرية حجازة محافظة قنا أنموذجًا: باستخدام النمذجة الهيدرولوجية "WMS" والهيدروليكية "HEC-RAS" ونظم المعلومات الجغرافية "GIS" والاستشعار عن بعد "RS"، سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد 125، القاهرة، ص ص 119 - 179.
٨. عواودة، محسن محمد علي (2021). النمذجة المكانية لأخطار السيول في حوض وادي المخزوق شمال مدينة القريات، المملكة العربية السعودية، مجلة الخليج العربي، م 49، العدد الأول، ص ص 231 - 270.
٩. الكومي، عبد الرازق بسيوني (2022). النمذجة الهيدرولوجية لحوض وادي إيمو بالصحراء الشرقية باستخدام نموذج HEC-HMS دراسة في

الجيومورفولوجيا التطبيقية، مجلة كلية الآداب جامعة المنوفية، م14،

العدد الثاني، ص ص 1174 – 1253.

١٠. الكيالي، مني عبد الرحمن، عبد الجواد، صبحي عبد الحميد (2020).

المناطق المعرضة لخطر السيول بحوض وادي بيشة في المملكة العربية

السعودية، المجلة العربية للدراسات الجغرافية، م3، عدد 4، ص ص

114-77.

- المراجع الاجنبية:

1. Abdel-Lattif, A., et al (2012): Morphometric analysis and flash floods of Wadi Sudr and Wadi Wardan, Gulf of Suez, Egypt, Arabian Journal of Geosciences, Vol: 5, Issue: 2, Page: 181-195.
2. Aurthur, M., et al (2016): Characterizing flood hazards in alluvial fan during extreme rainfall events using Lidar and numerical modeling, 37th Asian Conference on Remote Sensing.
3. Chen, T., (2020): The distribution and land use characteristics of alluvial fans in Lhasa River Basin in Tibet, Journal of Geographical Sciences, Vol: 31, Issue: 10, Page: 1-11.
4. El-Rawy, M., Elsadek, W.M., De Smedt, F. 2022. "Flash Flood Susceptibility Mapping in Sinai, Egypt Using Hydromorphic Data, Principal Component Analysis and Logistic Regression" Water 14, no. 15: 2434. <https://doi.org/10.3390/w14152434>.
5. Gabr, S., El Bastawesy, M., (2015): Estimating the flash flood quantitative parameters affecting the oil-fields infrastructures in Ras Sudr, Sinai, Egypt, during the January 2010 event, The Egyptian Journal of

Remote Sensing and Space Science, Vol 18, Issue 2,
Pages 137-149.

6. Osman, S.A., Das, J. GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. SN Appl. Sci. 5, 134 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5>.
7. Prama, M., et al (2020): Vulnerability assessment of flash floods in Wadi Dahab Basin, Egypt, Journal of Environmental Earth Sciences, Vol: 79, Issue: 5, Page: 1-17.