

مجلة البحوث البيئية والطاقة  
جامعة المنوفية قطاع خدمة المجتمع وتنمية البيئة

**الجريان السيلي والتعرية المائية وأثرهما على التنمية في حوض وادي حجل**  
(دراسة جيومورفولوجية باستخدام التقنيات الحديثة)

**إعداد**

د/ محمد بن شهاب محمد بن عبد الجبار

أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد  
كلية الآداب - جامعة المنوفية

يناير 2024م

العدد (22)

المجلد 13



أقصى سعة تخزين لهذا النظام حوالي (12.3مليون م<sup>3</sup>) من مياه السيول وبكفاءة تصل إلى 100%.

كما أظهرت نتائج الدراسة أيضاً أن المعدل السنوي العام للتعرية المائية بأحواض وادي حجول بحسب نموذج جافريلوفيك، بلغ (6946.23) وهو معدل تعرية شديد جداً. ويوجد أحواض تصريف تتسم بمعدل تعرية سنوي يزيد عن المتوسط العام ونسبتها (20%)، وأحواض أخرى تقل عن المتوسط العام ونسبتها (80%). ومن الأحواض التي تتسم بمعدل تعرية سنوية عالية (حوض وادي حجول الرئيسي، غرب حجول الرئيسي، حجول الصغير، شمال أم زيتية، أبو سالي، أبو ريشات).

المقدمة:

يُعد الجريان السيلبي والتعرية المائية من الأخطار الطبيعية التي تهدد حياة الإنسان وأنشطته البشرية القائمة، كما تهدد التنمية المستدامة، ويرجع ذلك إلى أن السيول ظاهرة مقترنة بهطول أمطار غزيرة، يتبعها جريان مائي. ويتعرض حوض وادي حجول لعواصف من الأمطار الغزيرة؛ مما يؤدي إلى حدوث سيول فجائية لها تأثير كارثي على المنطقة الصناعية الواقعة في مصب الحوض. وتمثل مياه السيول أحد أهم مصادر المياه في المنطقة والتي يمكن إدارتها لتزويد المنطقة الصناعية والسكان المحليين بإحتياجاتهم المائية للتغلب على الزيادة المتوقعة في الطلب على المياه في المستقبل القريب.

إشكالية الدراسة:

تمثل منطقة الدراسة واحدة من أكثر مناطق المشروعات الواعدة في مصر للتخفيف من مشكلة الزيادة السكانية في الشريط الضيق من دلتا النيل. وبناء على ذلك، يتم تنفيذ العديد من مشروعات التنمية المتكاملة بما في ذلك العديد من مجالات البنية التحتية الرئيسية مثل المحاجر والطرق وتنمية الصناعة الوطنية ومحطات الكهرباء واستغلال المعادن ومواقع دفن النفايات والقرى السياحية. وأهم المشروعات القومية هو تنمية الجزء الشمالي من خليج السويس بما يشمل تكملة خطوط أنابيب الغاز عبر المسار الرئيسي لمنطقة الدراسة والمناطق المحيطة

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

بها. ويُعد الجزء الشمالي الغربي من منطقة خليج السويس من أهم مناطق الإستثمار في مصر. وتشمل منطقة مشروع الصناعة القومية المعروفة باسم "مشروع تطوير الجزء الشمالي الغربي من خليج السويس" والتي تعد مصدراً هاماً جداً للدخل القومي لمصر.

**خلال فصل الشتاء**، يتعرض حوض وادي حجول لعواصف من الأمطار الغزيرة؛ مما يؤدي إلى حدوث سيول فجائية لها تأثير كارثي على المنطقة الصناعية الواقعة في مصب الحوض. وتمثل مياه السيول أحد أهم مصادر المياه في المنطقة والتي يمكن إدارتها لتزويد المنطقة الصناعية والسكان المحليين بإحتياجاتهم المائية للتغلب على الزيادة المتوقعة في الطلب على المياه في المستقبل القريب.

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تقدير أخطار السيول والتعرية المائية في الحوض وإقتراح نظام إدارة مناسب للسيطرة على السيول والحفاظ على مياهها.

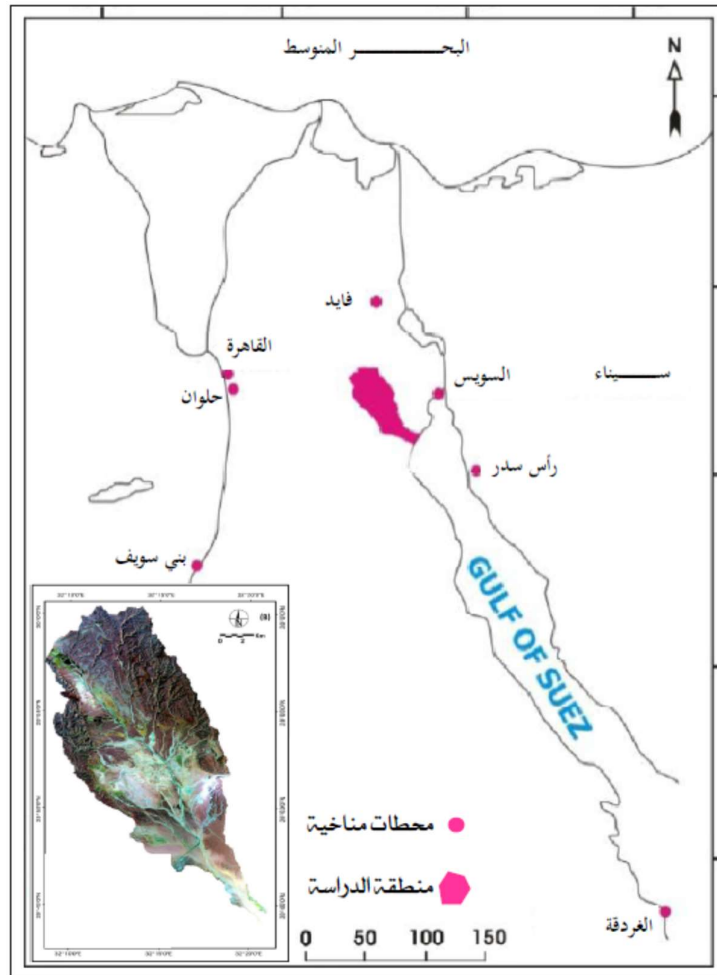
مصادر وأساليب الدراسة:

- إعتدت الدراسة الحالية على بيانات الأقمار الصناعية المستخدمة Landsat 7 (ETM+) و Landsat-8 (OLI) .
- تمت معالجة هذه البيانات وتفسيرها باستخدام العديد من البرامج، مثل ERDAS Imagine 2014، و ARC-GIS 10.4.1. وتم إنتاج صور (SRTM) وإعطاء تفاصيل عن الأطوال المكانية التي تصل إلى 90 متراً، ومن ثم تم إستخدامها لعمل خريطة DEM، والكنتور، والتضاريس، وكذلك لإستخراج شبكات التصريف.

موقع منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي حجول، في الجزء الشمالي الغربي من خليج السويس بين منطقة جبل عتاقة (870 م) وهضبة الجلالة البحرية (1260م)، ويمتد جنوباً وجنوباً شرقياً لينتهي في خليج السويس، فلكياً يمتد بين دائرتي عرض (29°41') و (30°01') شمالاً، وبين خطي طول

( $32^{\circ}08'$ ) و ( $32^{\circ}24'$ ) شرقاً (شكل 1). تبلغ مساحته حوالي (345 كم<sup>2</sup>). ويحده من الشرق خليج السويس، ومن الشمال جبل عتاقة، ومن الجنوب وادي البدع وبعض المرتفعات مثل جبل الكاهلية، وجبل أبو طريفة من الغرب. وتتقاطع عنده ثلاثة طرق أسفلتية رئيسة متجهة شمالاً إلى مدينة السويس، وجنوباً إلى الغردقة، وشمالاً غربياً إلى القاهرة. ويضم ميناء شمال السخنة الجديد والمنطقة الصناعية المطورة حديثاً أيضاً.



شكل (1) موقع منطقة الدراسة

أولاً: العوامل المؤثرة في الجران السيلي والتعرية المائية:

7- الجيولوجيا:

تمت دراسة التكوينات الصخرية بحوض وادي حجول بالتفصيل، من قبل العديد من المؤلفين، لأنها تشكل وحدة بنائية بارزة في الجزء الشمالي من الإطار التكتوني للصحراء الشرقية وخليج السويس ومن بين المؤلفات؛ دراسة (صادق، 1926)، (سعيد، 1962)، (فرج، 1972)، (بركات وآخرون، 1970)، (يوسف وآخرون، 1970)، (إسماعيل وآخرون، 1974)، (عبدالله، 1993)، وأشارت تلك الدراسات إلى أن معظم التكوينات الصخرية في منطقة الدراسة تعود إلى العصور الإيوسينية الوسطى والعليا والميوسينية والرباعية (الشكل 2). وتتكون صخور الإيوسين الأوسط من الحجر الجيري والصوان، وتشكل حوالي (45%) من إجمالي الصخور المكشوفة بالحوض. تم العثور أيضاً على تكوينات محدودة لعصر الأيوسين الأعلى ممثلة في الحجر الرملي والحجر الجيري والصخر الزيتي المختلطان بالبلاكونويدات المرجانية، وتشغل هذه التكوينات حوالي (20%) من إجمالي الصخور المكشوفة بالحوض، تنتشر على سطح المنطقة أيضاً الرمال والحصى والحجر الجيري غير المتماسك على نطاق واسع عند مصب الحوض، وتشكل حوالي (30%) من التكوينات الصخرية في منطقة الدراسة.

تعرضت منطقة الدراسة لتصدع شديد أدى إلى إرتفاع القمم الجبلية الرئيسية لإرتفاعها الحالي. وكان أبرزها جبل عتاقة، وقد تمت مناقشة التراكمات الجيولوجية لمنطقة الدراسة من قبل العديد من المؤلفين، من بينهم؛ (مصطفى وعبدالله، 1992)، (عبدالرحمن والعتار، 1979)، (صفي الدين، 1988)، (عبدالله، 1993)، (يوسف وعبدالله، 2003). وتقع منطقة الدراسة بنيويًا ضمن الحزام المستقر في مصر (Said, 1962).

ووصف (Youssef and Abd El-Rahman, 1978) منطقة الدراسة بأنها منطقة واسعة معقدة بسبب وجود العديد من الجبال الانكسارية على سطحها، حيث يوجد حوالي (392 صدعاً) أثر على صخور الأيوسين والميوسين بمنطقة الدراسة، وهذه الصدوع أمكن تقسيمها

بواسطة كلا من (Abdallah, 1993) و (Youssef and Abd Allah, 2003) إلى ثلاث مجموعات رئيسية، تأخذ عدة محاور أهمها:

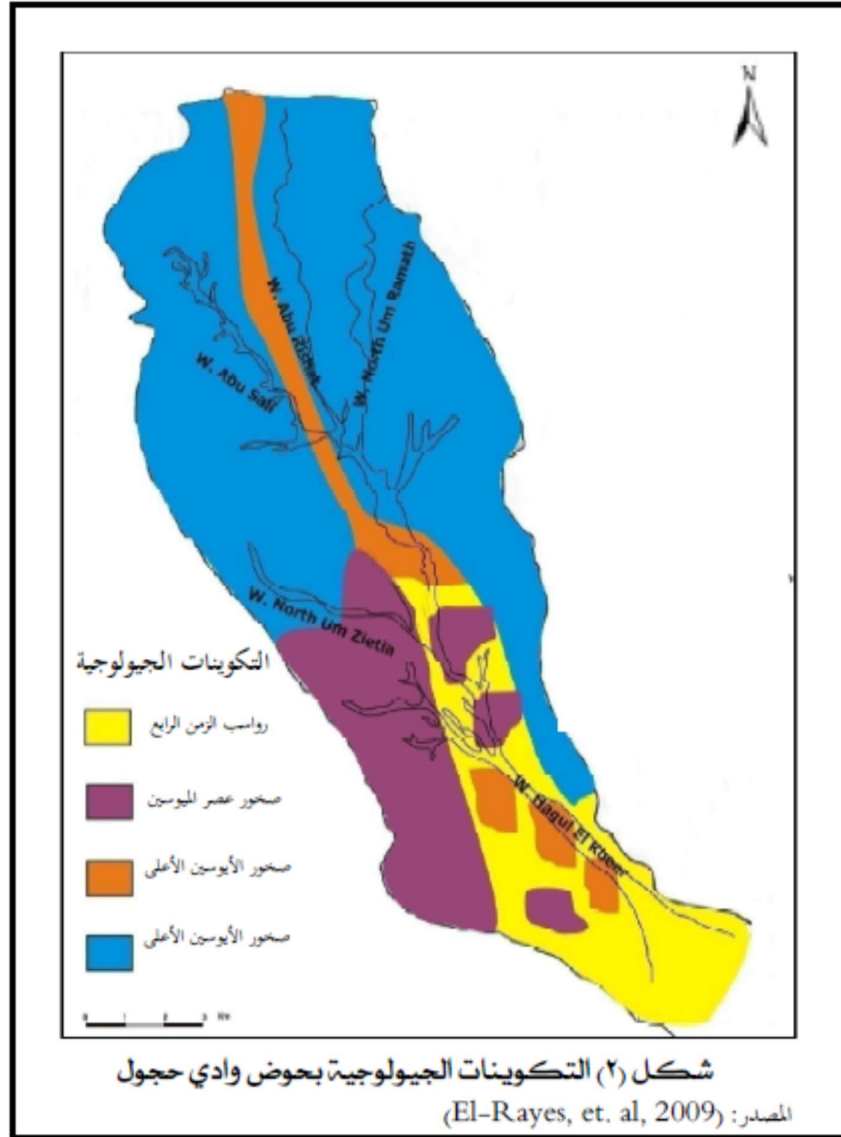
☒ المجموعة الأولى وتأخذ إتجاه (شمال الشمال الغربي - جنوب الجنوب الشرقي)، ويعد هذا الإتجاه من أكثر الإتجاهات شيوعاً بمنطقة الدراسة ويتسم بزوايا إنحدار خفيفة وأطوال معتدلة، وهو المسئول عن ربط الأودية الرئيسية بمنطقة الدراسة مثل وادي حمطة ووادي حجول ووادي بدع ووادي غويبة، ويؤثر على هضبة الحجر الجيري الأيوسيني (Sultan, et al, 2017, p232) (شكل 3).

☒ المجموعة الثانية وتأخذ الإتجاه (الشرقي - الغربي)، وهو يحتل المرتبة الثانية، ويتسم بزوايا إنحدار عالية وأطوال معتدلة، وترجع بدايته في أواخر عصر الأيوسين واستمر حتى عصر الأوليغوسين (SALEM, 1988).

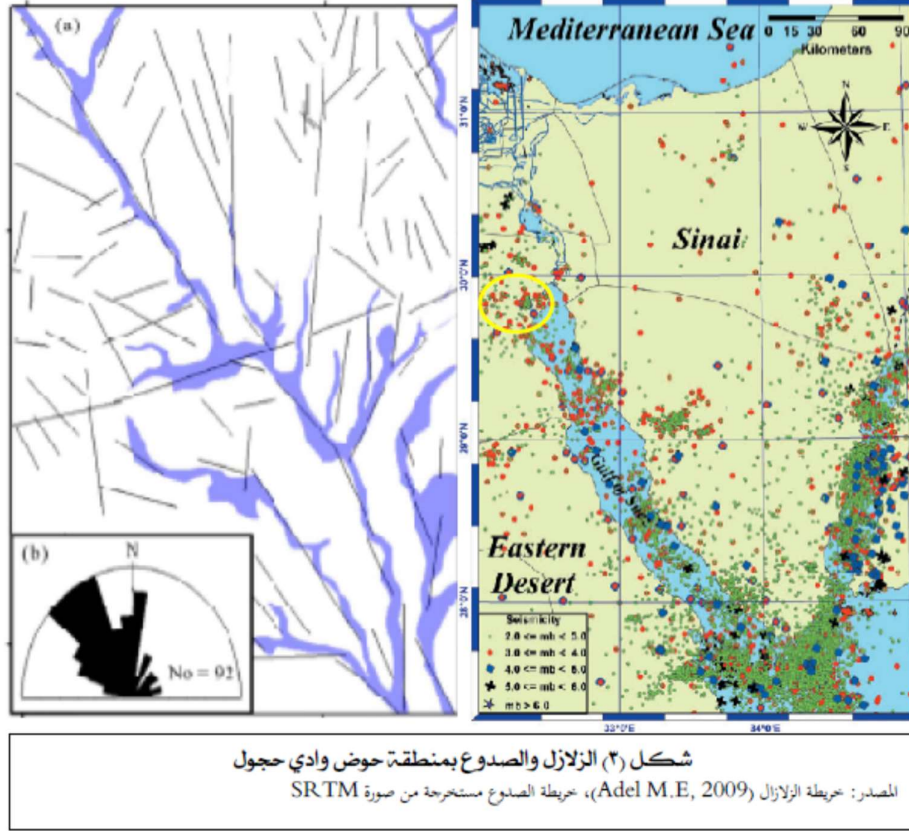
☒ المجموعة الثالثة وتأخذ الإتجاه (غرب الشمال الغربي - شرق الجنوب الشرقي)، ويتسم بزوايا إنحدار عالية وأطوال قصيرة وتتنوع هذه المجموعة في منطقة التلال المنخفضة في المنخفض الواقع بين جبل الجلالة البحرية وجبل عتاقة، ويكشف الإتجاه الرئيسي للفواصل التكتونية في منطقة هذه الصدوع أيضاً عن الإتجاهات العامة (الشمالية الشرقية-الجنوبية الغربية) و(الشمالية- الجنوبية) و(الشمالية الغربية-الجنوبية الشرقية).

## 2- العوامل التضاريسية:

يتضح من تحليل نموذج الإرتفاع الرقمي لمنطقة حوض وادي حجول، أنه عبارة عن منخفضاً مورفوتكتونياً يقع بين الحافة الجنوبية لجبل عتاقة شمالاً والتي يبلغ متوسط إرتفاعها (345.3م)، والحافة الشمالية لهضبة الجلالة البحرية جنوباً والتي يبلغ متوسط إرتفاعها (327.7م)، ويبلغ متوسط إرتفاع قاعه حوالي (183.5م) ومتوسط عرض قاعه حوالي (338م) (شكل 4، 5). ويتراوح درجة إنحداره بين (0) كحد أدنى في قاع الحوض، و (30.13) على حواف جبل عتاقة وهضبة الجلالة البحرية (شكل 6).







وبشكل عام يزيد الإرتفاع تدريجياً داخل الحوض بالإتجاه غرباً ليصل أقصاها (597م) عند الهضبة الجيرية الكبرى، ويقف بالإتجاه نحو ساحل خليج السويس ليصل إلى (20م). وتخضع تضاريس حوض وادي حجل إلى حد كبير للتركيبات الصخرية والجيولوجية، حيث أخذت شبكة التصريف معظم شكلها الحالي في عصر ما بعد الميوسين، وهي تتبع في معظم الأحيان خطوط الصدوع الكبرى، وتشتمل منطقة الدراسة على ست وحدات جيومورفولوجية رئيسية وهي (خليج السويس، وسهل وادي غوية، وهضبة الجلالة البحرية، وأخضر، وجبل عتاقة، وهضاب الكحالية- أم زيتا). وتنتمي منطقة وادي حجل إلى وحدة (كحالية - أم زيتا) (شكل 7)، على الرغم من أن النشاط الزلزالي في الجزء الشمالي من مصر منخفض نسبياً (شكل 3)، إلا ان

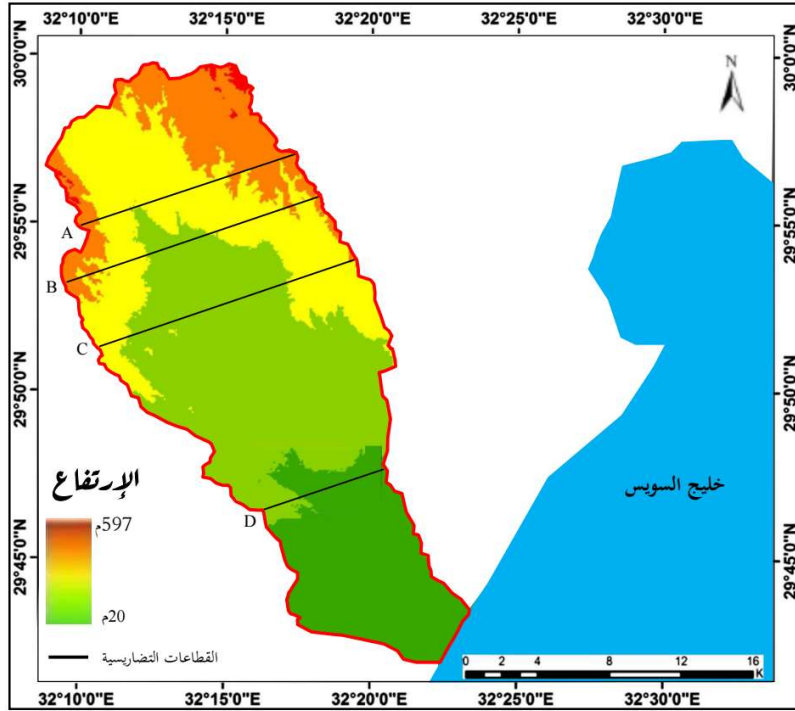
## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

المخاطر الزلزالية مرتفعة إلى حد كبير. ويرجع ذلك إلى أن معظم الزلازل تحدث بالقرب من المدن والقرى المكتظة بالسكان، إلى جانب قلة الوعي بالمعرفة والتعامل مع مشاكل المخاطر الطبيعية، وخاصة الزلازل.

وللتعرف على المرحلة الجيومورفولوجية التي يمر بها الحوض، تم عمل ثلاث قطاعات تضاريسية للتعرف على بعض الملامح الطبوغرافية للحوض (شكل 8)، وتم تطبيق مؤشر النسبة بين عرض قاع الوادي وارتفاعه ( $V_f$ ) من خلال المعادلة التالية:

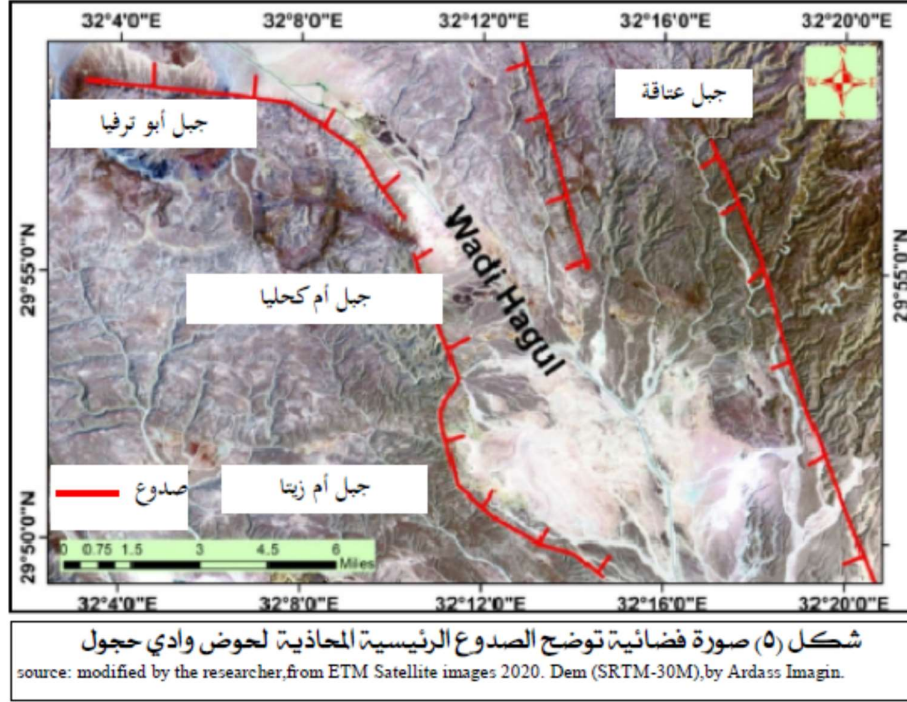
$$V_f = 2V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

$V_f$  = عرض قاع الوادي،  $E_{ld}$  and  $E_{rd}$  = هي ارتفاع جوانب الوادي (اليمنى واليسرى) في اتجاه مجرى الوادي،  $E_{sc}$  = ارتفاع قاع الوادي.



شكل (4) نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بحوض وادي حجول

source: modified by the researcher, from ETM Satellite images 2020. Dem (SRTM-30M), by Ardass Imagin.



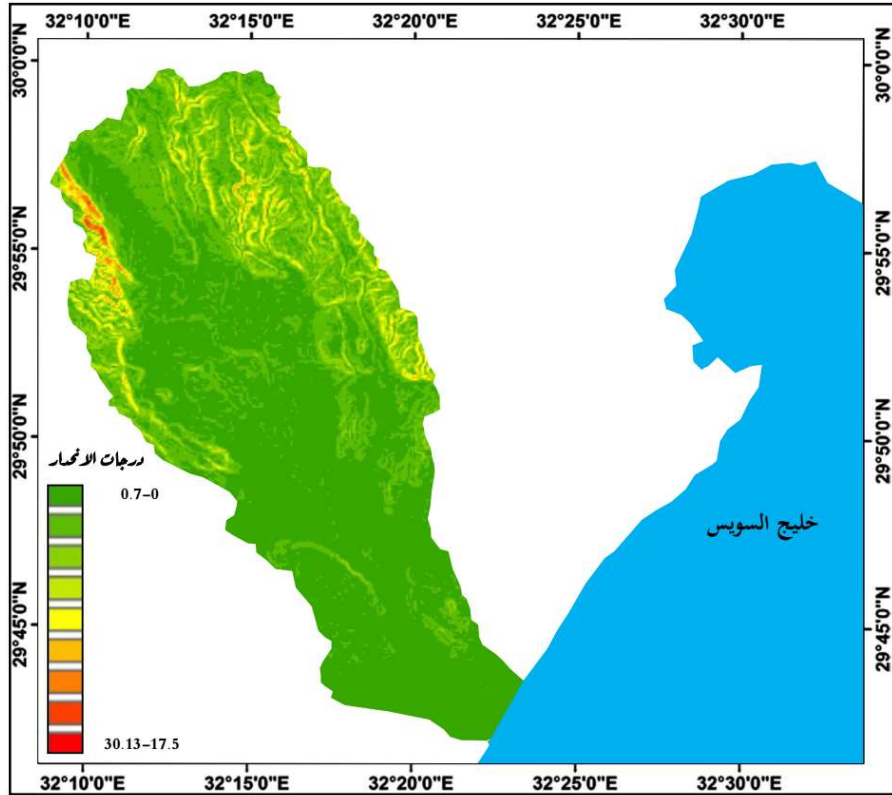
ومنها تبين أن قيمة ( $V_f$ ) تتراوح بين (1.3 - 6.2)، (جدول 1) وهذه القيم تؤكد أن حوض وادي حجول يمر بمرحلة جيومورفولوجية متأخرة في بعض قطاعاته وأن أوديته تتسم بجوانب قليلة الارتفاع وقيعان مسطحة على شكل حرف (U). أما بالنسبة للقطاعات التي تأخذ حرف (V) فهي تتسم بعمق مجاريها وجوانب ذات إرتفاع متزايد، وتتمثل في القطاع (B) وربما يرجع ذلك النشاط إلى عمليات الرفع المرتبطة بالصدوع.

جدول (1) قيم مؤشر ( $V_f$ ) لمنطقة حوض وادي حجول

$V_f$	$\{(Eld-Esc)+(Erd-Esc)\}$	Erd-Esc	Eld-Esc	2vfw	Esc	Eld	Erd	Vfw	القطاع
1.29	616.293	305.74	310.54	800	259.12	569.67	564.87	400	A
0.97	512.456	256.93	255.51	500	240.01	495.53	496.95	250	B
2.48	338.482	198.34	140.14	840	200.20	340.34	398.54	420	C
6.17	55.085	27.73	27.34	340	99.83	127.17	127.57	170	D

من عمل الباحث وفقاً لبيانات القطاعات المرسومة من  
modified by the researcher, from ETM Satellite images 2020. Dem (SRTM-30M), by Ardass Imagin.

### الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



شكل (6) درجات الانحدار (SLOP) بحوض وادي حجول

source: modified by the researcher, from ETM Satellite images 2020. Dem (SRTM-30M), by Ardass Imagin.

### 3- العوامل المناخية:

تعد عناصر المناخ من العوامل الرئيسية التي تؤثر في الجريان السطحي والتعرية المائية، وما يترتب على ذلك من ضعف في إمكانية التنمية داخل منطقة الدراسة. فحوض وادي حجول يقع ضمن الحزام شديد الجفاف بالصحراء الكبرى، ويتسم بعدة خصائص يوضحها (جدول 2)، كما يلي:

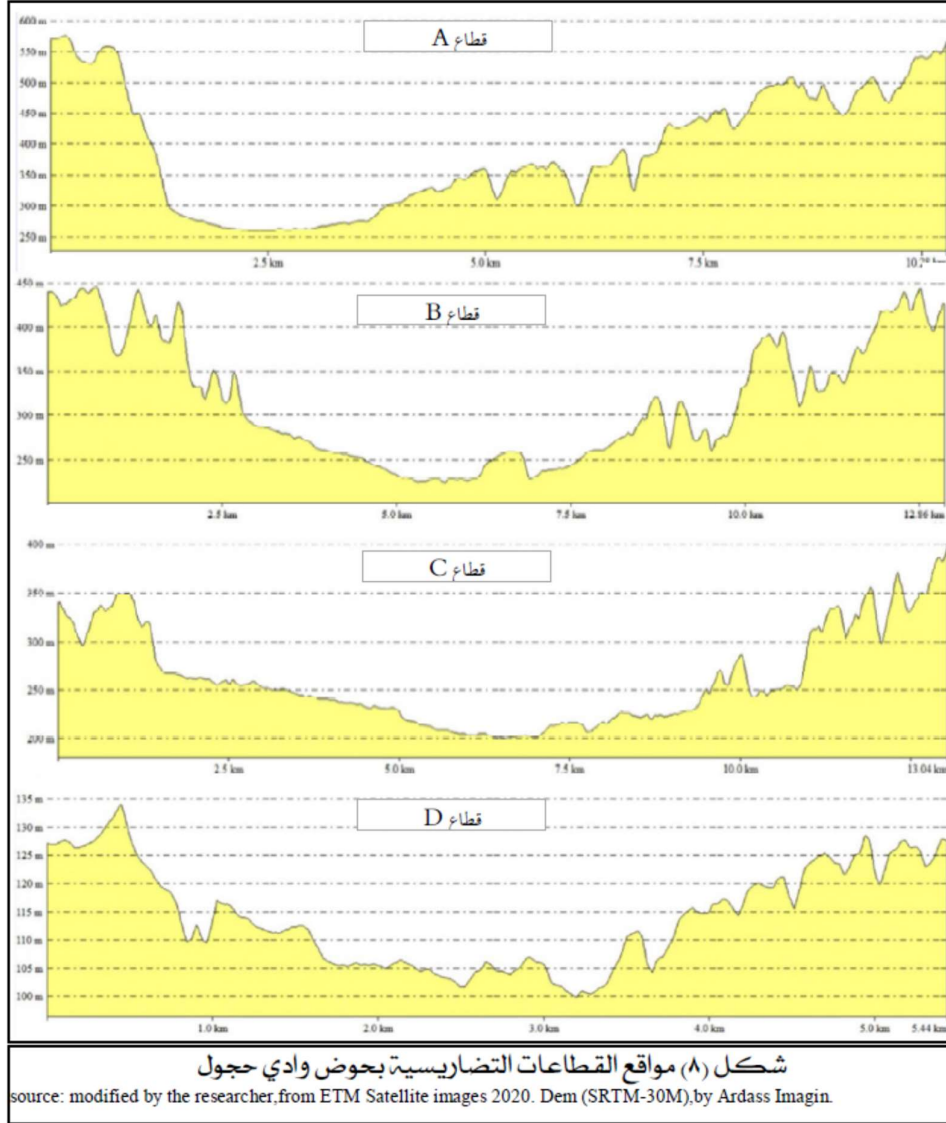
1- ارتفاع درجة الحرارة، فمتوسط درجة حرارة الهواء العظمى تتراوح بين (21- 37.4 درجة مئوية)، وسُجلت أعلى درجة حرارة عظمى (46 درجة مئوية) في يونيو 1965، في حين

تتراوح متوسط درجة حرارة الهواء الصغرى بين (9.5- 23.6 درجة مئوية) وسُجلت أدنى درجة حرارة صغرى (4.1 درجة مئوية) في يناير 1973. ويتراوح متوسط درجة الحرارة بين (15.3م - 20.9م) في فصل الشتاء بمتوسط فصلي بلغ (16.1م) وبين (29.4- 30.4م) في فصل الصيف بمتوسط فصلي بلغ (30)، مع متوسط حرارة سنوي بلغ حوالي (23.4). وتزداد درجة الحرارة تدريجياً بالاتجاه نحو الجنوب.





## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



جدول (2) المعدلات الشهرية لبعض عناصر المناخ بمحطة السويس، خلال الفترة من (1996-2022م)

الشهر	درجة الحرارة (درجة مئوية)			الرطوبة %	التبخير (مم)	سرعة الرياح (كم/س)	المطر (مم)
	العظمى	الصغرى	المتوسط				
يناير	21	9.5	15.3	62	5.5	10.6	3.4
فبراير	22.3	10	16.2	59	6.6	12.2	1.9
مارس	24.7	12.4	18.6	56	8.5	15.0	0.1
أبريل	29.8	15.3	22.6	49	11.1	16.3	0.8
مايو	33.5	19.1	26.3	46	12.6	16.9	0.9
يونية	36.9	21.9	29.4	51	12	16.7	0.2
يوليو	36.7	23.6	30.2	56	10.7	18.9	0
أغسطس	37.4	23.4	30.4	59	9.6	16.9	0
سبتمبر	35.5	22.1	28.8	61	8.4	18.7	0
أكتوبر	32.4	19.4	25.9	60	8	15.7	2.2
نوفمبر	27.3	14.4	20.9	62	6.9	13.3	1.3
ديسمبر	22.7	11.1	16.9	65	5.6	11.3	2.5
المتوسط السنوي	30.0	16.9	23.4	57.1	8.7	15.2	1.1

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية، بيانات مناخية غير منشورة، للفترة من 1996-2022

2- قلة هطول الأمطار، فهو محدود جداً ونادر ومتناثر، حيث يحدث بشكل متقطع وغالباً ما يكون موضعياً، ويحدث بمعدل (11 يوماً) فقط في السنة. تتوزع على أربعة أشهر من أكتوبر حتى فبراير بإجمالي (11.5 مم في السنة)، بينما باقي الشهور لا يسقط فيها أية أمطار تقريباً، وإحصائياً هناك دورات دورية للمطر بالمنطقة تتراوح بين (5-10 سنوات) قد يتجاوز فيها كمية المطر عن (50 ملم يومياً) مما يتسبب ذلك في حدوث سيول فجائية تهدد المنطقة ككل.

وتشير سجلات هطول الأمطار لسنة محطات أرصاد جوية محيطة؛ هي السويس ورأس سدر وفايد وحلوان وبني سويف والغردقة (شكل 1) إلى أن متوسط هطول الأمطار يزداد بالإتجاه نحو الشمال الغربي والغرب من منطقة الدراسة. وفي المقابل، يتناقص متوسط هطول الأمطار تدريجياً في الأجزاء الجنوبية الغربية والشرقية من المنطقة. ويقدر متوسط هطول الأمطار على منطقة الدراسة بناءً على سجلات البيانات للفترة من (1996-

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

- (2022)، حوالي (16.6 ملم) بحجم مياه يقدر بحوالي (5.9م3/ السنة) (EMA, 2002). وتم جمع سجلات الحد الأقصى لهطول الأمطار يومياً من ست محطات للأرصاد الجوية مجاورة لمنطقة الدراسة، وتراوح بين (49.6 ملم) في أكتوبر 1965، في محطة السويس (بحجم مياه يقدر بحوالي 17 مليون متر مكعب) و(41 ملم) في نوفمبر 1996 في محطة الغردقة (بحجم مياه يقدر بحوالي 3.4 ملم3).
- 3- يزداد متوسط معدل التبخر خلال فصل الصيف (من 10 ملم/يوم إلى 12 ملم/يوم) وينخفض خلال فصل الشتاء (من 4 ملم/يوم إلى 1.5 ملم/يوم). ويتراوح معدل التبخر أثناء هطول الأمطار بين (2- 4ملم/يوم) في محطة السويس، بينما يتراوح في محطة حلوان بين (1.5- 3ملم/يوم).
- 4- إرتفاع الرطوبة النسبية، وتُعد الفترة من شهر سبتمبر إلى مارس، من الفترات التي يزيد فيها الرطوبة النسبية لتتراوح بين (59- 65%)، تنخفض في الفترة من أبريل حتى أغسطس لتتراوح بين (46- 59%).
- تنخفض الرطوبة النسبية لتصل إلى (30%) أو أقل في شهر مايو. ويشير (جودة حسنين، 1996، ص215) أن الهواء يعتبر جافاً إذا انخفضت الرطوبة النسبية عن (50%)، بينما يعتبر الهواء متوسط الرطوبة إذا تراوحت الرطوبة النسبية بين (0- 70%)، ويعتبر الهواء عالي الرطوبة إذا زادت الرطوبة النسبية عن (70%). وبالتالي هواء المنطقة جافاً في فصل الربيع، ومتوسط الرطوبة في باقي فصول السنة.
- 5- يبلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح بمنطقة الدراسة (15.2 كم/الساعة)، يزيد عن ذلك في فصل الصيف ليصل إلى (17.5 كم/الساعة)، ويقل عن ذلك في فصل الشتاء ليصل إلى (11.4 كم/الساعة). وتهب الرياح على منطقة الدراسة من جميع الإتجاهات ولكن بنسب متفاوتة، وتعد الرياح الشمالية والشمالية الغربية هي السائدة بالمنطقة (61.8%)،



في حين أن الرياح الجنوبية الغربية التي تهب في فصل الشتاء هي أقل الرياح هبوباً (3.9%). وتهب الرياح الشمالية الغربية خلال الفترة من أكتوبر حتى مايو، بينما تهب الرياح الشمالية بقية العام. ويمكن إعتبار الرياح بالمنطقة هادئة بشكل عام باستثناء رياح خماسين الموسمية التي تهب في شهر أبريل. وتأتي رياح خماسين هذه من الجنوب بسرعة تتجاوز (14.4م/ث). ولا يدوم ذلك لفترات طويلة.

ثانياً: أثر الجريان السيلي على التنمية:

تُعَدُّ التعرية المائية من العمليات الجيومورفولوجية ميكانيكية الفعل التي تقوم بتوليد قوة يطورها أي عامل جيومورفولوجي بسبب خصائصه الذاتية أو خصائصه التي إكتسبها من الوسط البيئي التي تسود فيه تلك العملية وبدرجات متفاوتة حسب القوة المسببة لذلك ومنها (العوامل الجيولوجية والمورفولوجية البشرية) بالإضافة إلى البيئة التي تحدث فيها من حيث الجفاف والرطوبة، وبناءً عليه فالتعرية المائية من العمليات الجيومورفولوجية المتميزة التي تترك آثار واضحة على سطح المنطقة، حيث عملت بمرور الزمن على تغيير معالمها وتطويرها بشكل مستمر وبدون توقف، إنعكس ذلك على مختلف الأنشطة البشرية والبنية التحتية. ويُعَدُّ الجريان السيلي الناتج عن تجمع مياه الأمطار في مجاري الأودية، من القوى الأساسية المسببة للتعرية المائية بالإضافة إلى التجوية التي تتسبب في إضعاف الكتل الصخرية وتكسيروها وتفقيتها وتجعلها مهياة أمام التعرية المائية لنقلها وترسيبها في أماكن أخرى. ولتوضيح أثر الجريان السيلي والتعرية المائية على التنمية، سوف نتناول نشاط العوامل التعرية وأثرها على ميكانيكية التعرية المائية بالمنطقة، وقد سبق دراسة أثر كلاً من العوامل الجيولوجية والمورفولوجية والمناخية على العمليات المورفوديناميكية ومنها التعرية المائية، وسيتم دراسة العوامل المسببة للجريان السيلي كما يلي:

أ- خصائص الأمطار والعواصف المطرية:

تعد الأمطار أحد أهم العوامل التي يجب تحليلها تفصيلاً عند دراسة السيول ودرء أخطارها على المشاريع التنموية القائمة والمقترحة، لأنها تلعب دوراً كبيراً في تحديد التوقعات

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

المستقبلية لكمياتها، وتوزيعها على زمن سقوطها في العاصفة (عواد حامد موسى، 2016، ص18). والعواصف الممطرة هي الحدث المناخي المهم الذي يرتبط جريان السيل به في الأودية، وتختلف أحجام السيول تبعاً لما يسقط من أمطار في هذه العواصف، كما يرتبط ترددها بعدد هذه العواصف ومواعيد حدوثها، (عواد حامد موسى، 2011، ص40).

وتعتبر عواصف ممر البحر الأحمر أحد مصادر الجريان السيلي بمنطقة الدراسة، وهي تسهم بنسبة كبيرة في سيول المنطقة (شكل 9)، إذ يعتبر البحر الأحمر واحد من أهم العناصر المشكلة للعواصف الممطرة في فصل الخريف، ويعد ممر مائي ناقل للرطوبة خلال طبقات الجو العليا من المحيط الهندي وبحر العرب ووسط أفريقيا إلى سيناء والشمال، وهذه الأعاصير تعتبر إمتداد لنظام الأعاصير المدارية على طول البحر الأحمر الذي يتجه شمالاً نحو مصر وشرق البحر المتوسط، ويستغرق فترة حضانة عدة أيام ويتطور تدريجياً فوق الأراضي المصرية. وقد اختلف الباحثين في مصدر الرطوبة التي يحملها ممر البحر الأحمر وتُنقل إلى مصر وفلسطين والأردن وغرب السعودية، حيث أرجع البعض مصدر الرطوبة إلى المحيط الهندي وبحر العرب، والبعض الآخر أرجعها إلى غرب أفريقيا المداري (Vries et al, 2013, p. 7089)، والشكل (10) يوضح حركة كميات الرطوبة المدمجة وعمود المياه وتدفق عمود بخار المياه، خلال تشكل منخفض البحر الأحمر، حيث أن كمية كبيرة من بخار الماء (22-38كجم/م<sup>2</sup>) تتقدم شمالاً من مصدر الرطوبة المهيمن على أفريقيا الاستوائية.

وتشير سجلات هطول الأمطار لستة محطات أرصاد جوية محيطة؛ هي السويس ورأس سدر وفايد وحلوان وبنني سويف والغردقة (شكل 1) إلى أن متوسط هطول الأمطار يزداد بالإتجاه نحو الشمال الغربي والغرب من منطقة الدراسة. وفي المقابل، في الأجزاء الجنوبية الغربية والشرقية من الحوض يتناقص متوسط هطول الأمطار تدريجياً. ويقدر متوسط هطول الأمطار على منطقة الدراسة بناءً على سجلات البيانات للفترة من (1996-2022)، حوالي (16.6 ملم) بحجم مياه يقدر بحوالي (5.9م<sup>3</sup>/السنة) (EMA, 2002). وتم جمع سجلات الحد الأقصى لهطول الأمطار يومياً من ست محطات للأرصاد الجوية مجاورة لمنطقة الدراسة، وتراوح بين (49.6 ملم) في أكتوبر 1965، في محطة السويس (بحجم مياه يقدر بحوالي 17

مليون متر مكعب) و(41 ملم) في نوفمبر 1996 في محطة الغردقة (بحجم مياه يقدر بحوالي 3.4 ملم3)، (شكل 15).

ب- الفواقد (التبخّر والتسريب)

تؤثر كمية الفواقد (التبخّر والتسرب) على بدء عملية الجريان الذي يمثل في هذه الحالة الفائض من المطر بعد هاتين العمليتين، كما يمتد تأثيرها إلى ما بعد تولد بدء الجريان (أحمد سالم صالح، 1989، ص19).

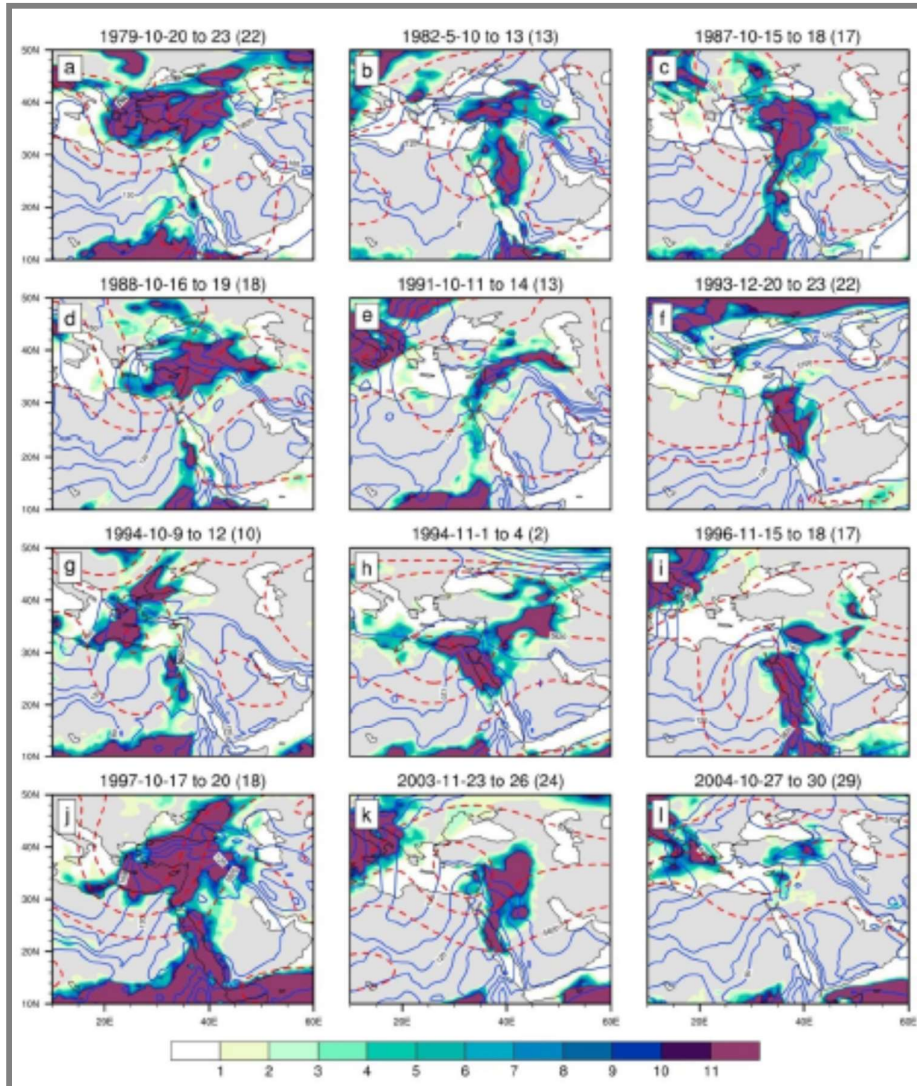
1- الفاقد بالتبخّر/التسرب:

يعد التبخر من أهم عناصر الموازنة المائية، ويعتبر أكثر عناصر الفقد المائي تأثيراً فيها، ويبلغ التبخر الفعلي ثلاثة أمثال المتوسط السنوي لكمية الأمطار، ويتأثر التبخر بعدة عناصر مناخية أهمها درجة الحرارة والرطوبة النسبية ودرجة التغميم (محمد عوض السيد، 2013، ص519).

ويتم تقدير فاقد التبخر بالمنطقة بصورة تقريبية، نظراً لأن عدد مرات التساقط لا يطول استمرارها أكثر من يوم واحد في أغلب الأحوال، ومن هنا يمكن مقارنة كمية التساقط في كل مرة بكمية الفاقد بالتبخّر أثناء سقوط المطر، خصوصاً عند دراسة الجريان المؤقت، ففي هذه الحالة تضع المقارنة الفاقد بالتبخّر في وضعه الطبيعي، وتوضح مدى تأثيره كعامل مؤثر في الجريان، فإذا استمر التساقط يوماً كاملاً كان الفاقد بالتبخّر في ذلك اليوم هو أهم كمية فيما يختص بالجريان المؤقت، وإذا استمر التساقط بضعة ساعات فقط، فمن الصواب أن يقدر الفاقد بالتبخّر لهذه الساعات فقط. وعلى هذا الأساس تم تقدير الفاقد بالتبخّر من خلال الخطوات التالية:

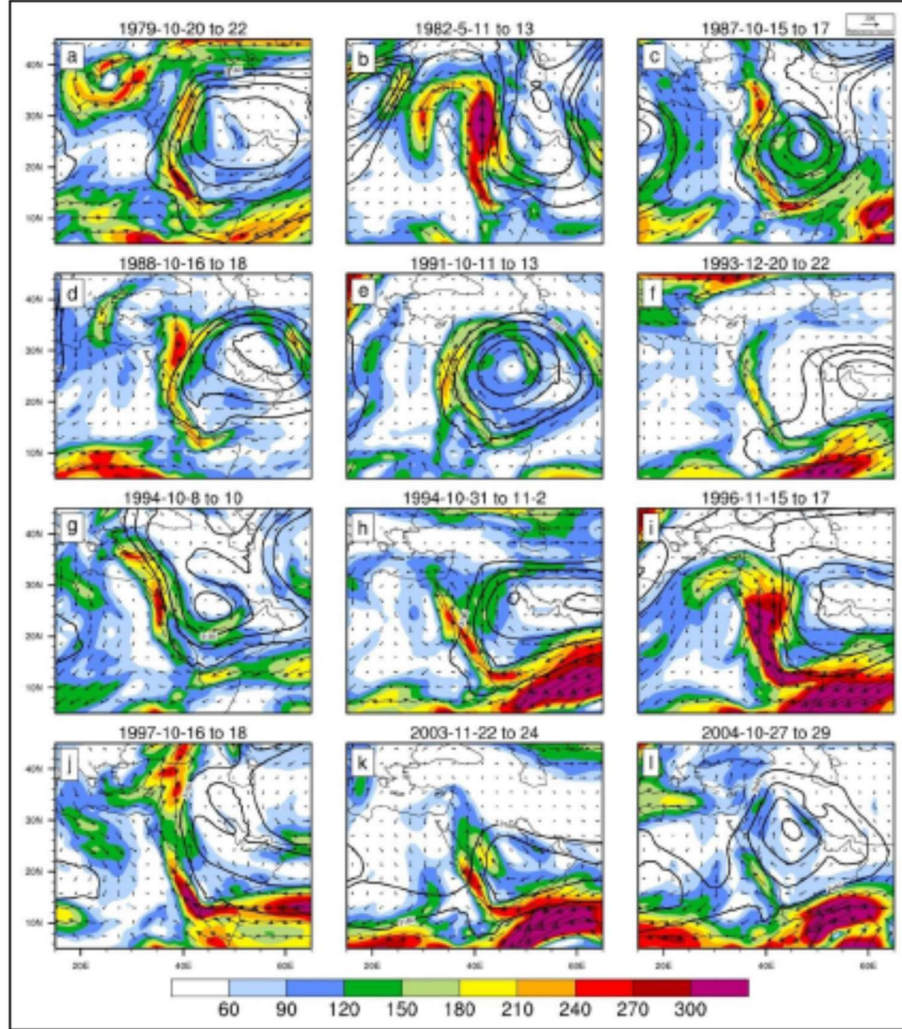
- اعتبار زمن العاصفة الممطرة مع زمن بقاء الماء في طبقات التربة حوالي ثلاث ساعات. وبناءً على ذلك فإن كمية التبخر في خلال هذه العاصفة الواحدة يساوي (24/3)\*متوسط معدل التبخر "14.4مم" = 1.8مم/عاصفة.

الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



شكل (9) كمية الأمطار الساقطة (مم) عبر ممر البحر الأحمر لسنوات مختلفة من خلال تحليل البيانات ERA- Interim

After; Vries et al, 2013, p. 7089



شكل (10) كميات الرطوبة المدمجة، وعمود بخار الماء، وتدفق عمود بخار الماء  
After; Vries et al, 2013, p. 7089

- إعتبار عدد العواصف الممطرة في المنطقة ثلاث عواصف في السنة. إذاً الفاقد من مياه الأمطار بالتبخير يساوي  $(3 * 1.8) = 5.4$  مم. وتكون المعادلة على النحو التالي (عبدالعزیز ذكي، 1994، ص 110):

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

كمية المياه المفقودة بالتبخر = (5.4 \* مساحة الحوض \* 1000000 \* 0.001) وتم تطبيق هذه المعادلة على أحواض التصريف بالمنطقة كما يوضحها نتائج الجدول (3) ومنه يتضح ما يلي:.

بلغت كمية المياه المتبخرة خلال الساعة في أثناء الجريان، حوالي (1463.7م<sup>3</sup>)، بمتوسط عام بلغ (146.4م<sup>3</sup>)، وبذلك بلغ عدد الأحواض التي تزيد عن المتوسط العام (حوضين) وهم (حجول الرئيسي، حجول الصغير)، بينما بلغ عدد الأحواض التي تقل عن المتوسط العام (ثمان أحواض) هم (غرب حجول الرئيسي، شمال أم زيتية، جنوب أم ريماس، جنوب أم زيتية، أبو سالي، أم ريماس، شمال أم ريماس، أبو ريشات).

### 2- الفاقد بالترب:

يتسرب الماء عن طريق الترشيح Infiltration، وهو دخول الماء إلى التربة بدءاً من سطحها بالإتجاه لأسفل، وبعبوض الماء المرشح العجز في رطوبة التربة، والباقي الذي يتحرك للأسفل بفعل الجاذبية الأرضية يدعى التسرب العميق (محمد عوض السيد، 2013، ص 523). وتتباين كمية المياه المتسربة من حوض لآخر داخل منطقة الدراسة وفقاً لتنوع التربة والتضاريس بالإضافة إلى درجة رطوبة التربة ودرجة الانحدار وطول فترة المطر وفترة ركود المياه على السطح إلى جانب تأثير بعض العمليات الواقعة على التربة من الخارج أو التي تحدث داخلها (أحمد سالم صالح، 1989، ص 20)

وقد قام هورتون بعمل نموذج لقياس القدرة التسريبية، حيث أتضح انها ليست ثابتة أثناء سقوط المطر، ولكنها تبدأ بقيم أولية مرتفعة ثم تتناقص سريعاً وبعد مرور حوالي ساعة أو ثلاثة ساعات تصل إلى قيمة ثابتة. لذلك فإن جزءاً كبيراً من بدايات المطر تضيع في التسرب مع مرور وقت معين والوصول إلى القيم الثابتة، هذا الوقت هو وقت التباطؤ (التأخير) فتصبح الفرصة مواتية لتوالد الجريان (عواد حامد موسى، 2004، ص 25).

من هنا تبين وجود علاقة بين التسرب ووقت التباطؤ، ولا بد من حساب قيمة التسرب خلال وقت التباطؤ في أحواض التصريف، وذلك من خلال المعادلة التالية:

التسرب في أثناء زمن التباطؤ = مساحة الحوض \* زمن التباطؤ \* 0.25م، حيث أن (0.25م<sup>3</sup>) تساوي كمية التسرب لكل أنواع الرواسب السطحية (عواد حامد موسى، 2011، ص 46).

جدول (3) كمية المياه المتوقع تسربها في أثناء حدوث عاصفة في أحواض تصريف منطقة الدراسة

م	الحوض	المساحة (كم <sup>2</sup> )	التبخر (مم)	كمية المياه المتبخرة (مم/سنة)	كمية المياه المتبخرة (مم/الساعة)
1	وادي حجول الرئيسي	291.70	8.7	2537790	579.4
2	غرب حجول الرئيسي	53.30	8.7	463710	105.9
3	حجول الصغير	158.00	8.7	1374600	313.8
4	شمال أم زيتية	40.80	8.7	354960	81.0
5	جنوب أم ريماس	28.00	8.7	243600	55.6
6	جنوب أم زيتية	25.80	8.7	224460	51.2
7	أبو سالي	64.50	8.7	561150	128.1
8	أم ريماس	23.50	8.7	204450	46.7
9	شمال أم ريماس	16.30	8.7	141810	32.4
10	أبو ريشات	35.00	8.7	304500	69.5

وبتطبيق المعادلة على أحواض تصريف بالمنطقة كما يوضحها جدول (4) تبين ما يلي: تتراوح كمية المياه المتسربة أثناء زمن التباطؤ داخل أحواض تصريف منطقة الدراسة بين (14.2 م<sup>3</sup>/كم<sup>2</sup>) في حوض وادي شمال أم ريماس، و(691.3 م<sup>3</sup>/كم<sup>2</sup>) في حوض وادي حجول الرئيسي، بمتوسط عام مقداره (144.9 م<sup>3</sup>/كم<sup>2</sup>)، وبذلك بلغ عدد الأحواض التي تزيد عن المتوسط العام حوضين هما (حجول الرئيسي، حجول الصغير)، بينما باق الأحواض تقل عن المتوسط العام.

أ- الخصائص الجيومورفولوجية لأحواض التصريف:

تتسم أحواض التصريف بمنطقة الدراسة بمجموعة من الخصائص التي لها تأثير على حدوث الجريان السيلبي وإمكانية حدوث السيول، وهذه الخصائص تتفاوت فيما بينها من حوض لآخر كما يوضحها الجدول (5) ومنه يتضح ما يلي:

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

جدول (4) كمية المياه المتسربة أثناء زمن التباطؤ في الأحواض (م/3كم<sup>2</sup>)

م	الحوض	المساحة (كم <sup>2</sup> )	التبخر (مم)	زمن التباطؤ	كمية المياه المتسربة (م/3كم <sup>2</sup> )
1	وادي حجول الرئيسي	291.70	8.7	9.5	691.3
2	غرب حجول الرئيسي	53.30	8.7	15.7	208.7
3	حجول الصغير	158.00	8.7	7.0	277.3
4	شمال أم زيتية	40.80	8.7	4.2	42.8
5	جنوب أم ريماس	28.00	8.7	4.8	33.6
6	جنوب أم زيتية	25.80	8.7	4.2	27.1
7	أبو سالي	64.50	8.7	6.2	100.6
8	أم ريماس	23.50	8.7	3.3	19.4
9	شمال أم ريماس	16.30	8.7	3.5	14.2
10	أبو ريشات	35.00	8.7	3.9	34.1

### 1- الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف:

تعد من المعاملات المهمة في دراسة الجريان السيلي حيث تغيد نتائجها في التعرف على الخصائص الهيدرولوجية المؤثرة في حدوث السيول، ومعرفة مدى خطورة الأودية ودرجاتها وتأثيرها على التنمية بالمنطقة ويفيد ذلك في إتخاذ التدابير اللازمة لدرء أخطارها والحد منها.

ويتضح من الجدول (5)؛ أن إجمالي مساحة أحواض التصريف بمنطقة الدراسة بلغت (736.9 كم<sup>2</sup>)، بمتوسط عام (73.7 كم<sup>2</sup>) للحوض، وتتراوح مساحة الأحواض بين (291.7 كم<sup>2</sup>) كحد أقصى في حوض وادي حجول الرئيسي، و(16.3 كم<sup>2</sup>) كحد أدنى في حوض وادي شمال أم ريماس، ويوجد أحواض تزيد في مساحتها على المتوسط العام وهي (حجول الرئيسي، حجول الصغير)، بينما باقي الأحواض تقل عن المتوسط العام.

وتتراوح أطوال أحواض التصريف بين (31.7 كم) كحد أقصى في حوض وادي غرب حجول الرئيسي، و(9.1 كم) في حوض وادي جنوب أم زيتية، بمتوسط عام قدره (15.6 كم). ويتراوح متوسط عرضها بين (9.5 كم) في حوض وادي حجول الرئيسي، و(1.7 كم) في حوض وادي غرب حجول الرئيسي، بمتوسط عام قدره (4.1 كم). أما محيطها فيتراوح بين



(90كم) في حوض وادي حجول الرئيسي، و(22 كم) في حوض وادي أم ريماس، بمتوسط عام قدره (38.6 كم).

## 2- الخصائص المورفولوجية لأحواض التصريف:

- معامل الاستطالة وتم حسابها من خلال معادلة (Farhan and Al-Shaikh, 2017,p.173) ويتضح من نتائج تطبيق المعادلة كما يوضحها الجدول (5)، أن معامل الاستطالة يتراوح بين (0.82) كحد أقصى في حوض وادي أبو سالي، و(0.26) كحد أدنى في حوض وادي غرب حجول الرئيسي، بمتوسط عام قدره (0.6). وهو يبتعد كثيراً عن الحد الأدنى لفئة الاستطالة (0-1) (عاشور وتراب، 1991، ص317). وبذلك فإن أحواض منطقة الدراسة تقل نسبة إستطالتها أي أنها تبعد عن الشكل المستطيل، وبالتالي يزداد معدل تفرعها لذا تتسم بسرعة جريانها السطحي نظراً لقصر الرحلة بين المنبع والمصب، ويترتب على ذلك قلة تبخر وتسرب المياه، ومن ثم تزداد خطورة الجريان السيلي المفاجئ.
- معامل الاستدارة ويتم حسابه وفقاً لمعادلة ميلر والتي أوردها (Gregory and Walling, 1976, p: 51) ويتبين من نتائج الجدول (5) أن معامل الاستدارة يتراوح بين (0.61) كحد أقصى في حوض وادي أم ريماس، و(0.35) كحد أدنى في حوض وادي شمال أم ريماس، بمتوسط عام قدره (0.49). وبذلك فإن أحواض منطقة الدراسة تبتعد قليلاً في نسبة إستدارتها من (1) أي أنها أقل ميلاً للاستدارة وأن مجاري أوديتها الرئيسية متوسطة الطول وتبتعد قليلاً من مخارج أحواض التصريف، مما تولد جريان سيلي في وقت متوسط.
- معامل الشكل ويتم حسابه من خلال المعادلة التي اقترحتها (Horton,1932,p.351) ويتضح من نتائج الجدول (5) أن معامل الشكل يتراوح بين (0.53) كحد أقصى في حوض وادي أبو سالي، و(0.05) كحد أدنى في حوض وادي غرب حجول الرئيسي، بمتوسط عام قدره (0.29). وبذلك فإن أحواض منطقة الدراسة يقل معامل شكلها عن (0.7854) أي أنها تميل إلى الشكل المثلث (Kumar et al, 2019, p, 144)، ويشير ذلك إلى أن التصريف المائي يبلغ الذروة مباشرة بعد سقوط المطر، وأن فترة الوصول إلى المصب قليلة.

## الجريان السيلبي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

جدول (5) الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف المتكاملة

م	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	وادي حجيل الأثري	291,70	30,88	9,46	90	0,62	0,45	0,31	1,49	1026,7	0,033	7,8	634	704	914	313	1,4	0,73	2,87	2,17	9,48	8,1	15,8	8,44
2	غرب حجيل الأثري	53,30	31,67	1,68	37	0,26	0,48	0,05	1,43	1818,1	0,057	11,4	197	5,32	211	3,96	1,3	0,76	3,61	3,70	15,66	3,1	26,1	5,19
3	حجيل الصغير	158,00	7,47	21,16	59	0,67	0,56	0,35	1,32	984,0	0,047	4,8	331	5,61	513	3,25	0,24	0,57	3,97	2,09	7,02	4,7	11,7	8,44
4	شمال أم زينة	40,80	13,10	3,11	32	0,55	0,49	0,24	1,41	755,9	0,058	6,6	15,8	2,06	108	2,65	0,96	0,25	3,86	1,62	4,2	2,7	7	9,58
5	جوب أم زينة	28,80	10,12	2,77	27	0,59	0,48	0,27	1,44	652,5	0,065	20,6	93	3,44	108	3,86	0,78	0,16	2,87	3,32	4,8	2,5	8	6,78
5	جوب أم زينة	25,80	9,09	2,84	25	0,63	0,51	0,31	1,39	579,3	0,064	21,6	62	2,48	82	3,18	1,2	0,14	3,48	2,40	4,2	2,6	7	8,15
7	أم سالي	64,50	11,05	5,84	38	0,82	0,56	0,53	1,34	678,3	0,061	19,5	107	2,82	255	3,95	0,59	0,12	4,53	1,66	6,24	2,7	10,4	5,69
8	أم ريضات	23,50	8,04	2,92	22	0,68	0,61	0,36	1,28	625,6	0,078	27	72	3,27	78	3,22	0,65	0,06	3,85	3,06	3,3	1,9	5,5	9,86
9	شمال أم ريضات	16,90	9,11	1,79	24	0,50	0,35	0,20	1,68	618,4	0,068	23	50	2,08	50	3,07	0,74	0,10	3,45	3,07	3,48	2,2	5,8	8,61
10	أم ريضات	35,00	12,13	2,88	32	0,55	0,42	0,24	1,53	838,4	0,069	12,6	53	1,66	78	2,23	0,44	0,11	3,55	1,51	3,9	3,1	6,5	9,71
1	الحوض	4	الفرع (ك)	7	7	الامتداد	10	مخارج تصريف	13	عدد المخارج	16	مساحة الحوض	17	مساحة الحوض	18	تعداد هيدرولوجي	19	معدل التصريف	22	مركز ظل الحوض	23	زمن التكرار	24	معدل الجريان
2	مخارج (ج)	5	المحيط (ك)	8	8	معدل التصريف	11	معدل تصريف	14	الارتفاع النسبي	15	عدد المخارج	20	مساحة الحوض	21	تعداد هيدرولوجي	20	معدل التصريف	23	زمن التكرار	24	معدل الجريان		

### 3- الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف:

#### • التضاريس القصوى

يتضح من نتائج الجدول (5) أن التضاريس القصوى تتراوح بين (678.33م) في حوض وادي حجول الرئيسي، و(110.5م) في حوض وادي أبو سالي، بمتوسط عام قدره (302.1م). وهذا يوضح أن هناك إرتفاعاً في قيم التضاريس القصوى بشكل عام، وهذا يقلل من الوقت اللازم لتركيز مياه الأمطار ويؤدي إلى قلة الفواقد وزيادة الجريان السيلبي، وهذا يرجع إلى تباين الصخور (رملية، جيرية)، واختلاف درجة صلابتها، ومدى قدرتها على مقاومة عوامل الحث.

#### • معدل التضرس ويتم حسابة من خلال معادلة (Schumm, 1956, p.168)

ويتبين من نتائج الجدول (5) أن قيم معدل التضرس تتراوح بين (0.03) كحد أقصى في حوض وادي أم ريماس، و(0.0083) كحد أدنى في حوض وادي غرب حجول الرئيسي، بمتوسط عام قدره (0.021). وهذا يعني أن الأحواض ذات المساحة الأكبر والأطول تكون عمليات التآكل فيها، أكثر فعالية من الأحواض ذات المساحة الأقل والأطول. وهذا يوضح أيضاً أنه مع تطور دورة التعرية، يتعرض سطح الوادي إلى تدهور بنسبة زيادة في الطول باتجاه المنابع العالية. ونتيجة لذلك، تنخفض قيم معدل التضرس. أما بالنسبة لارتفاع قيمة معدل التضرس في أحواض أبو ريشات وشمال أم ريماس وأم ريماس وشمال أم زيتية، فيرجع إلى أن عامل التعرية لم يكن قوياً بما يكفي لخفض سطح الحوض.

#### • معدل النسيج الحوضي:

يعتبر معدل النسيج الحوضي عنصراً هاماً لدراسة شبكات التصريف ومدى التقطيع السطحي للأحواض، وهو يتأثر بمجموعة من العوامل، أهمها شكل السطح والمناخ والتراكيب الجيولوجية والنباتات الطبيعية والمرحلة التي وصل إليها الحوض من دورة التعرية، ويتم حسابه من خلال المعادلة التي إقترحها (Smith, 1950, p., 657). ويتضح من نتائج الجدول (5) أن قيم معامل نسيج الحوض تتراوح بين (7.04 مجرى/كم<sup>2</sup>) كحد أقصى في حوض وادي حجول الرئيسي، و(1.66 مجرى/كم<sup>2</sup>) كحد أدنى في حوض وادي أبو ريشات، بمتوسط عام قدره (3.58 مجاري/كم<sup>2</sup>).

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

وحسب تصنيف (Morisawa, 1985, p.149) لمعدل نسيج الأحواض، تبين أن أحواض منطقة الدراسة تقع ضمن الأحواض ذات معدل نسيج حوضي ناعم جداً، والذي يتكون تحت طبيعة صخرية شديدة الصلابة قليلة النفاذية والمسامية ومقاومة لعوامل التعرية، مع خلو السطح من الغطاء النباتي. ويترتب على ذلك تأثير الأحواض بالجريان السيلي.

### • التكامل الهيسومتري:

يعد التكامل الهيسومتري من أدق المعاملات المورفومترية تمثيلاً للفترة الزمنية المقطوعة من الدورة التحاتية وتحديد المرحلة الجيومورفولوجية لأحواض التصريف، ويتم حسابها من المعادلة التي إقترحها (Pike and Wilson, 1971, P.6199).

ويتضح من الجدول (5) أن قيم التكامل الهيسومتري تتراوح بين (0.58) كحد أقصى في حوض وادي أبو سالي، و(0.08) كحد أدنى في حوض وادي أم ريماس، بمتوسط عام قدره (0.23)، وحسب تصنيف (Pike and Wilson, 1971, P.6199) فيوجد أحواض تصريف يقل فيها قيم التكامل الهيسومتري عن (0.3) وبذلك فهي تعتبر من أقدم أحواض التصريف عمراً، حيث قطعت فترة طويلة من دورتها التحاتية، وهي (أحواض أودية حجول الرئيسي وشمال أم زيتية وجنوب أم ريماس وجنوب أم زيتية وأم ريماس زشمال أم ريماس وأبو ريشات). أما باقي أحواض التصريف يزيد قيم التكامل الهيسومتري لها وبالتالي فهي أحدث الأحواض عمراً، وهي أحواض وادي حجول الرئيسي وحجول الصغير وأبو سالي.

### • قيمة الوعورة:

يتم حسابها من خلال معادلة (Strahler, 1964, p.819) والتي تعرف بدرجة الوعورة. وتشير الوعورة إلى مدى تقطيع تضاريس الأشكال الطبيعية، وتمثل العلاقة بين عمليات النحت والارساب. علاوة على ذلك، تميل الأشكال الطبيعية الوعرة إلى التمتع بدرجة عالية من الاتصال بين منحدرات التلال والمجاري المائية، مما يشير إلى إمكانية عالية لتوصيل الرواسب. ويتضح من الجدول (5) أن قيم الوعورة بأحواض التصريف تتراوح بين (2.13) كحد أقصى في حوض وادي حجول الرئيسي، و(0.44) كحد أدنى في حوض وادي أبو سالي، بمتوسط عام بلغ (0.95). وهي قيمة مرتفعة تعني أن المنطقة قد حققت تقدماً كبيراً في دورة

التعرية من خلال انتهاء مرحلة الشباب لتصل إلى مرحلة النضج. وتتميز هذه المرحلة بزيادة قيمة الوعورة لأن المجرى سيكون في حالة انشقاق بين النحت الرأسى والجانبى على طول حوضه. سيتم بعد ذلك تقسيم الأراضي على المناطق المنخفضة التي يغطيها المجاري والمناطق المرتفعة التي لا تتأثر بقوى التعرية (AKL, 1994). على العكس من ذلك كلاً من مرحلة الشباب ومرحلة الشيخوخة. كانت أراضي الحوض مرتفعة في المرحلة الأولى ومنخفضة ومسطحة في المرحلة الثانية بسبب عمليات الترسيب.

#### 4- تحليل شبكة التصريف:

- أعداد المجاري:

بلغ إجمالي عدد المجاري في أحواض تصريف منطقة الدراسة (1665 مجرى) (جدول 5) و (شكل 11، 12) وتمثل مجاري الرتبتين الأولى والثانية (97.1%) من إجمالي عدد المجاري، وهذه سمة من سمات أحواض التصريف في المناطق الجافة (أحمد سالم صالح، 1999، ص53)، وتختلف أعداد المجاري من حوض لآخر فقد بلغت أدها في حوض وادي شمال أم ريماس (50 مجرى)، بينما بلغت أقصاها في حوض وادي حجول الرئيسي (634 مجرى)، بمتوسط عام بلغ (167 مجاري).

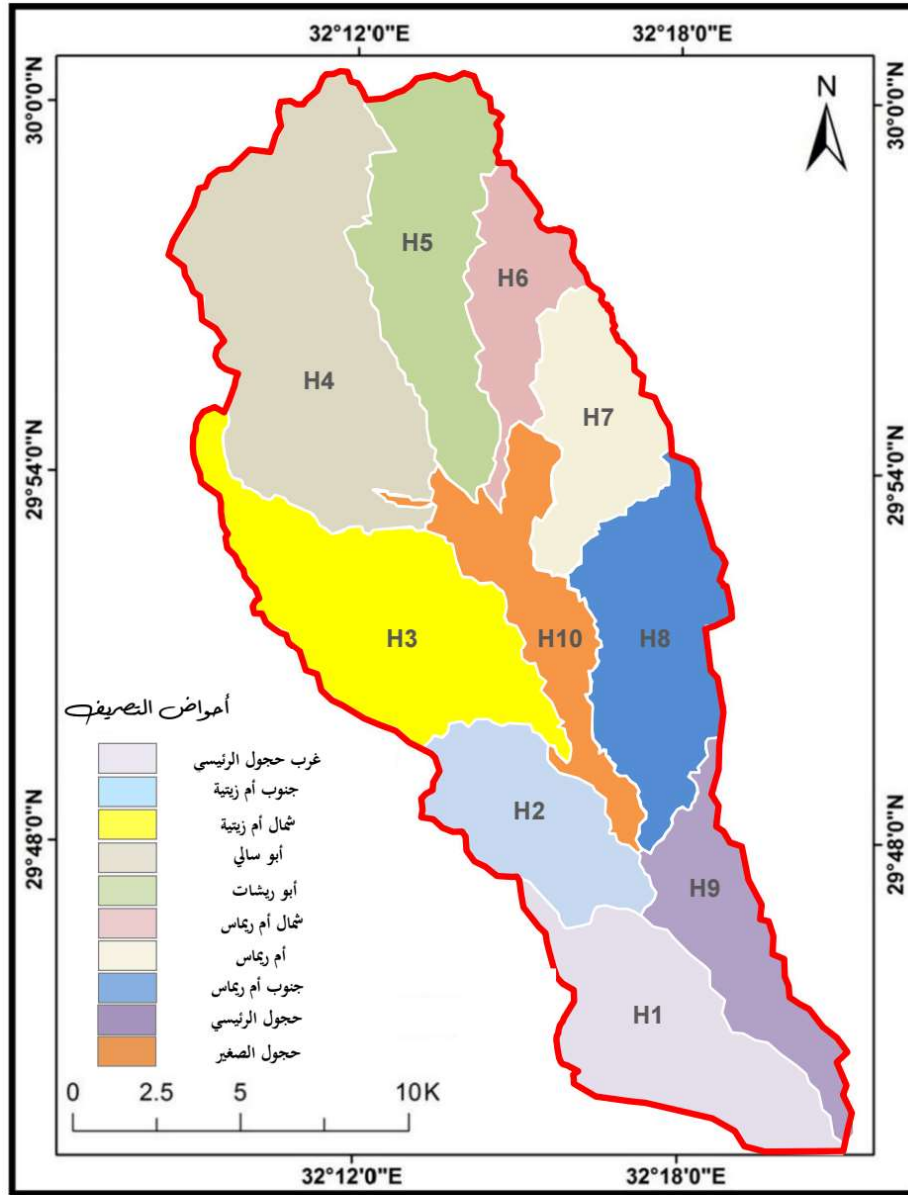
- أطوال المجاري:

يتضح من نتائج الجدول (5) أن إجمالي أطوال المجاري داخل أحواض التصريف بالمنطقة بلغ (2397 كم)، بمتوسط عام قدره (239 كم)، ويتراوح بين (50 كم) كحد أدنى في حوض وادي شمال أم ريماس، و(914 كم) كحد أقصى في حوض وادي حجول الرئيسي.

- معدل التفرع:

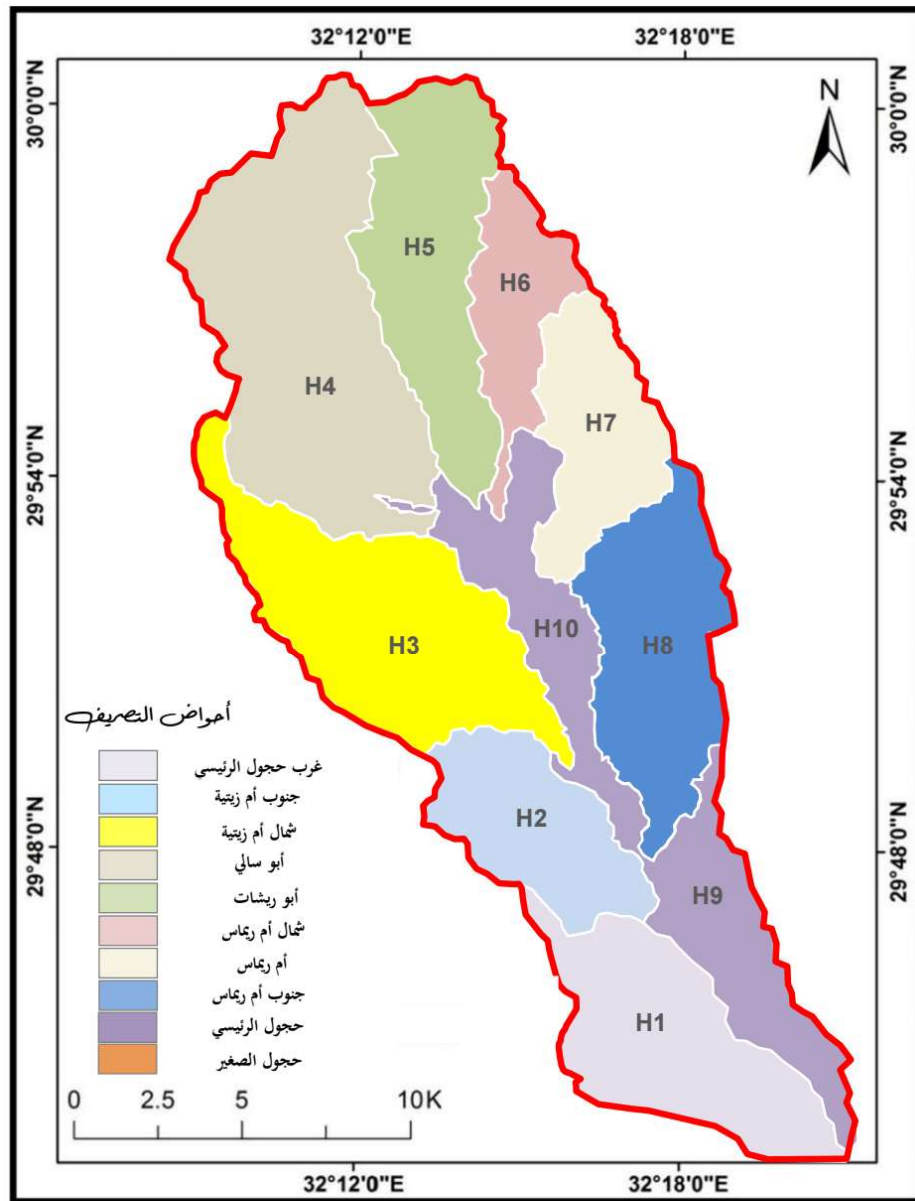
يتبين من الجدول (5) أن معدل التفرع بين رتب المجاري في الأحواض يتراوح بين (2.87) كحد أدنى في حوضي وادي حجول الرئيسي وجنوب أم ريماس، و(4.53) كحد أقصى في حوض وادي أبو سالي. بمتوسط عام بلغ (3.6)، ومن تحليل نتائج الجدول تبين أن عدد المجاري التي تزيد عن المتوسط العام عددها (5 مجاري)، بينما بلغ إجمالي عدد المجاري التي تقل عن المتوسط العام (5 مجرى). وهذا يدل على أن قيم معدل التفرع في الأحواض متوسط، مما يؤكد على خطورة الجريان السيلبي الناتج من تلك الأحواض.

الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



شكل (11) أحواض التصريف بمحوض وادي حجول

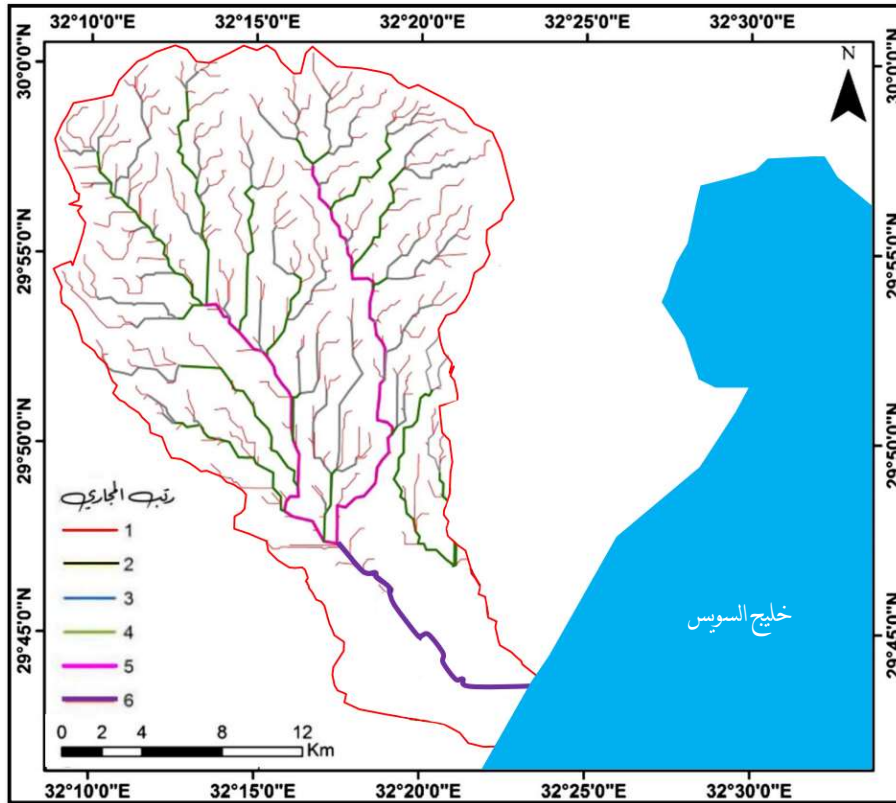
المصدر: خريطة مصر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.



شكل (11) أحواض الصريف، محوض واري عجول

المصدر: خريطة مصر الطوبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



شكل (12) شبكة التصريف بحوض وادي حجول

المصدر: خريطة مصر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc و GIS.Erdas Imagine.

● كثافة التصريف:

تتراوح كثافة التصريف بأحواض منطقة الدراسة بين (2.23 كم/كم<sup>2</sup>) في حوض وادي أبو ريشات، و(3.96 كم/كم<sup>2</sup>) كحد أقصى في حوض وادي حجول الصغير. بمتوسط عام قدره (3.26)، ويتوقف مدى التجاوب بين ما يسقط في الأحواض من أمطار وما يجري في أوديتها من سيول على كثافة التصريف كعامل من العوامل المؤثرة على الجريان. فالأحواض التي ترتفع فيها كثافة التصريف كما هو الحال في أحواض (وادي حجول الصغير، جنوب



أم ريماس، أبو سالي، أم ريماس) تكون نسبة الجريان السيلي إلى كمية الأمطار الساقطة أكبر بكثير مما يسمح بحدوث سيول كبيرة الحجم نسبياً والعكس.  
ب- المصاهر الهيدرولوجية لأحواض التصريف:

ينتج عن سقوط الأمطار الغزيرة حدوث جريان سيلي في مجاري الأودية ويتحكم في حدوثه مجموعة من المعاملات منها (مركز ثقل الحوض وزمن التركيز وزمن التباطؤ)، ويوضح (الجدول 6) نتائج هذه المعاملات وهي:

- مركز ثقل الحوض:

هو عبارة عن النقطة الرئيسية التي تتجمع فيها المياه من روافد الحوض في أسرع وقت، والتي يتم منها قياس المجرى حتى المصب من الخريطة، وهذا الطول هو ما يمثل مركز ثقل الحوض (عواد حامد موسى، 2011، ص 27).  
ويتم حساب مركز ثقل الحوض من خلال أخذ متوسط ناتج تطبيق المعادلتين التاليتين (أمجد فتحي، 2021، ص 226):

$$L_C = 0.2682 L_{CH}^{1.132}$$

حيث أن:  $L_C$  = مركز ثقل الحوض (كم)،  $L_{CH}$  = طول المجرى الرئيسي (كم).

$$L_C = 0.2682 L_H^{1.23}$$

حيث أن:  $L_C$  = مركز ثقل الحوض (كم)،  $L_H$  = طول الحوض (كم).

ويتضح من نتائج الجدول (6) أن قيم مركز ثقل أحواض التصريف بالمنطقة تتراوح بين (1.9 كم) كحد أدنى في حوض وادي أم ريماس، و(8.1 كم) كحد أقصى في حوض وادي حجول الرئيسي، بمتوسط عام مقداره (3.36 كم) وبذلك يوجد حوضين تزيد فيهما القيمة عن المتوسط العام وهما وادي حجول الرئيسي ووادي حجول الصغير، وباقي الأحواض تقل فيها القيمة عن المتوسط العام.

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

جدول (6) بعض الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة

م	الحوض	الطول (كم)	طول المجرى الرئيسي (كم)	مركز ثقل الحوض كم	زمن التباطؤ (الساعة)	زمن التركيز (الساعة)
1	وادي حجول الرئيسي	30.83	12.12	8.1	9.48	15.8
2	غرب حجول الرئيسي	31.67	12.12	3.1	15.66	26.1
3	حجول الصغير	21.16	8.20	4.7	7.02	11.7
4	شمال أم زيتية	13.10	5.10	2.7	4.2	7
5	جنوب أم ريماس	10.12	3.92	2.5	4.8	8
6	جنوب أم زيتية	9.09	4.16	2.6	4.2	7
7	أبو مسالي	11.05	4.29	2.7	6.24	10.4
8	أم ريماس	8.04	3.92	1.9	3.3	5.5
9	شمال أم ريماس	9.11	3.54	2.2	3.48	5.8
10	أبو ريشات	12.13	4.66	3.1	3.9	6.5

ويتضح مما سبق أن مركز ثقل الحوض يقل عن نصف طول المجرى الرئيسي في جميع أحواض تصريف منطقة الدراسة، وينعكس ذلك على مدى تجميع مياه الأمطار في الحوض عند مركز ثقله، فقد تقطع مسافة طويلة من المنبع، وكذلك وقت أطول حتى تصل إلى مركز ثقل الحوض، وهذا قد يخفف من خطورة السيول في تلك الأحواض.

• زمن التباطؤ (التأخير):

هو عبارة عن الوقت الفاصل بين بداية سقوط الأمطار وبدء الجريان ويزيد هذا الوقت مع انخفاض كثافة التصريف والأسطح خفيفة الانحدار والأجزاء شبه المستوية، وتؤدي هذه الظروف إلى مزيد من الفواقد (التبخر - التسرب) مع تراكم المياه لمدة أطول والعكس صحيح حيث تساعد الانحدارات الشديدة على انخفاض قيم وقت التباطؤ وإنخفاض كمية الفواقد، وبالتالي زيادة حجم التصريف وسرعته (عواد حامد موسى، 2011، ص27).

ويتم حسابه من خلال المعادلة التي إقترحها (Snyder, 1938, p.450) ويتضح من بيانات الجدول (6) أن قيم زمن التباطؤ في أحواض تصريف المنطقة تتراوح بين ثلاث ساعات ونصف كحد أدنى في حوض وادي أم ريماس، و (15.66 ساعة) كحد أقصى في حوض وادي غرب حجول الرئيسي. وبلغ المتوسط العام لزمن التباطؤ (6.23 ساعة) وهذا معناه أن ستة أحواض من إجمالي أحواض تصريف منطقة الدراسة تتسم بالسرعة والخطورة وهذا يرجع

في المقام الأول إلى صغر مساحتها وقصر أطوال أحواضها، وزيادة معدل إنحدارها التدريجي وسيادة الصخور الصلبة.

• زمن التركيز:

هو عبارة عن المدة الزمنية اللازمة لتجميع مياه الأمطار في مناطق إستقبالها ووصولها إلى مناطق تصريفها أو المجرى الرئيسي (U.S. Conservation Service. 1972).

ويتم حسابها من خلال المعادلة التي إقترحها (Ockert and Jeff, 2014, p.224) ويتبين من نتائج الجدول (6) أن قيم زمن تركيز الأمطار في أحواض التصريف بالمنطقة، تتراوح بين (5.5 ساعة) كحد أدنى في حوض وادي أم ريماس، و (26.1 ساعة) كحد أقصى في حوض وادي غرب حجول الرئيسي، بمتوسط عام مقداره (10.38 ساعة) وبذلك يوجد (6 أحواض) يقل زمن تركيز المطر فيها عن المتوسط العام، وباقي الأحواض تزيد عن المتوسط العام. أي أن (60%) من إجمالي أحواض التصريف بمنطقة الدراسة يقل فيها زمن تركيز الأمطار داخل الأحواض ويرجع ذلك إلى طبيعة الصخور الصلبة بالمنطقة والتي تتسم بقلّة نفاذيتها من ناحية وإنحدارها الشديد من ناحية أخرى، وهذا يزيد من فجائية السيول في حالة حدوث عواصف ممطرة.

**أولاً: تقدير الجريان السيلبي داخل أحواض التصريف وأثره على التنمية:**

لدراسة الجريان السيلبي في منطقة الدراسة تم دراسة أعلى كمية مطر يومي سقطت على منطقة الدراسة، وتعتبر أعلى كمية أمطار يتم تسجيلها في يوم واحد من المتغيرات المهمة لدراسة توزيع الأمطار والجريان السطحي خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. إن القيم التي تسجل أكثر من (10 ملم) من الأمطار في يوم واحد تؤدي في كثير من الأحيان إلى الجريان السطحي والسيول، وبالتالي، يمكن الاعتماد على هذه القيم في منطقة الدراسة لتقدير قدرة أحداث الجريان السطحي.

1- سجلت محطة السويس أعلى كمية أمطار في يوم واحد بلغت (49.6 ملم) في أكتوبر 1965.

2- تلعب التضاريس دوراً هاماً في زيادة كمية الأمطار بمنطقة الدراسة ممثلة في مرتفعات جبل عتاقة وهضبة الجلالة البحرية.

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

وتعتبر العلاقة بين هطول الأمطار والجريان السطحي واحدة من أهم المشاكل في الجيومورفولوجيا التطبيقية والهيدرولوجيا. كما أنها من أصعب المشاكل. وللتعرف على هذه العلاقة يتم تطبيق المعادلة الخاصة بحساب متوسط الجريان السيلي والتي إقترحها (Ball, 1937) وهي:

$$V = 750 A (R-8)$$

حيث أن :

$$V = \text{أعلى كمية جريان (م}^3\text{)}$$

$$R = \text{متوسط أعلى كمية مطر في يوم واحد مم.}$$

$$A = \text{مساحة الحوض كم}^2\text{.}$$

وتبين من نتائج الجدول (7) أن حجم الجريان السيلي المتوقع في يوم واحد يتفاوت من حوض لآخر، فقد بلغ أدناه في حوض وادي شمال أم ريماس (509 ألف م3) بينما بلغ أقصاه في حوض وادي حجول الرئيسي (9.101 مليون م3)، وبلغ المتوسط العام (2.299 مليون م3) وبذلك يوجد مجموعة من الأحواض يزيد حجم سيولها المتوقع في يوم واحد عن المتوسط العام وتتنز بالخطورة وهي (حجول الرئيسي، حجول الصغير) ومتوقع حدوث خطورة بحوض وادي أبو سالي، مع العلم أن الجريان السيلي لا يمثل سوى جزء بسيط من كمية الأمطار الساقطة.

جدول (7) حجم الجريان السيلي في أحواض تصريف منطقة الدراسة إعماراً على أعلى كمية أطار سقطت على المنطقة في يوم واحد خلال الفترة من (1987-2022)

م	الحوض	المساحة (كم2)	أقصى كمية مطر يومي (مم)	أقصى كمية سيول متوقعة في يوم واحد بالمليون م3
1	وادي حجول الرئيسي	291.70	49.6	9.101
2	غرب حجول الرئيسي	53.30	49.6	1.663
3	حجول الصغير	158.00	49.6	4.930
4	شمال أم زيتية	40.80	49.6	1.273
5	جنوب أم ريماس	28.00	49.6	0.874
6	جنوب أم زيتية	25.80	49.6	0.805
7	أبو سالي	64.50	49.6	2.012
8	أم ريماس	23.50	49.6	0.733
9	شمال أم ريماس	16.30	49.6	0.509
10	أبو ريشات	35.00	49.6	1.092

## ثانياً: أخطار السيول على تنمية المنطقة:

تُعد السيول الفجائية في المناطق القاحلة واحدة من أكثر الأخطار الطبيعية تدميراً في العالم وتسبب أعداداً كبيرة من الوفيات وأضراراً في الممتلكات (CEOS, 2003). وباعتبارها ظواهر هيدرولوجية متطرفة، يمكن أن تؤثر السيول على العديد من جوانب حياة الإنسان بسبب آثارها المدمرة والنقعات الكبيرة لجهود التخفيف.

وتعد المنشآت والبنية التحتية ومنها قطاعات الطرق التي تتقاطع مع الأودية أكثر المواقع خطورة وتعرضاً لخطر السيول، وبخاصة إذا كانت القطاعات الدنيا للأودية عميقة وضيقة وذات جوانب شديدة الانحدار ويصب بها روافد قصيرة ذات انحدارات شديدة حيث نجد أن السيول الفجائية تكون قادرة على نحت جوانب الطرق وبالتالي هبوطها في حالة إمتدادها داخل مجاري الأودية، بل تصل خطورتها أحياناً لإزالة الطريق بالكامل.

ونظراً لتعدد العوامل الطبيعية التي تؤدي لوجود السيول، فقد تعددت طرق تصنيف أخطار السيول، وتطبق الدراسة الحالية تصنيف (Sewidan, A. S., 2000) وهو يصنف أحواض التصريف على أساس المعاملات الجيومورفولوجية:

ويتضمن هذا التصنيف مجموعة من المعاملات الجيومورفولوجية والمتمثلة في (مساحة الحوض، كثافة التصريف، معدل التفريع، تكرار المجاري، عامل الشكل، معدل التضرس، معدل النسيج، قيمة الوعورة) وفيه تصنف الأحواض حسب درجة خطورتها على أساس أن لكل حوض تصريف درجة خطورة تبعاً لبعض المعاملات الجيومورفومترية والتي تم حسابها من المعادلة التالية:

$$\text{درجة الخطورة} = 4(m - v) \div (m - k) + 1$$

حيث أن  $m$  = قيمة المعامل،  $v$  = أصغر قيمة للمعامل،  $k$  = أكبر قيمة للمعامل. وتتراوح درجة الخطور وفقاً لتطبيق المعادلة بين (1-5) لكل معامل من المتغيرات السابقة على حده ثم تجمع درجات خطورة كل المتغيرات السابقة بالنسبة لكل وادي. وبناءً على هذا الجمع يتم تحديد درجة الخطورة الكلية للوادي والتي تشترك فيها كل درجات الخطورة التي تم التوصل إليها لهذه المتغيرات (Sewidan, A. S., 2000) والتي يوضحها الجدول (8) والتي يتضح

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

منها أن ما يقرب من نصف أحواض التصريف تمثل خطورة على إستخدامات الأرض بالمنطقة بصفة عامة، والطرق والبنية التحتية بصفة خاصة، ويتضح ذلك من نتائج الجدول (9) والشكل (13) ومنهما أمكن تقسيم أحواض تصريف منطقة الدراسة حسب درجة خطورة السيول إلى خمس فئات هي (أحواض شديدة الخطورة، أحواض خطيرة، أحواض متوسطة الخطورة، أحواض ضعيفة الخطورة، أحواض ضعيفة الخطورة جداً) وتمثل منها في المنطقة أربعة فئات فقط أما باقي الفئات ليس لها تمثيل على أرض المنطقة، وهي كالتالي:

جدول (8) تصنيف أحواض التصريف بلاطقة إلى فئات حسب احتمالية حدوث سيول، اعتماداً على درجة خطورة بعض الخصائص الجيومورفومترية

الكود	الحوض	المساحة	كثافة التصريف	معدل تكرار المجاري	معامل الشكل	معدل التضرس	معامل النسيج	قيمة الوعورة	معدل التفرع	مخ درجات الخطورة	درجة خطورة الحوض	درجة الخطر
H 9	وادي حجول الرئيسي	5.00	3.1	2.2	3.1	3.55	5.00	4.99	5.00	32.0	4.00	5.0
H 1	غرب حجول الرئيسي	1.54	5.0	5.0	1.0	1.05	3.72	2.42	3.00	22.8	2.84	2.0
H 10	حجول الصغير	3.06	3.4	2.1	3.5	3.55	3.94	3.54	2.00	25.0	3.13	3.0
H 3	شمال أم زيتية	1.36	2.0	1.2	2.6	4.69	1.30	2.28	3.00	18.4	2.29	1.0
H 8	جنوب أم ريماس	1.17	4.8	4.3	2.9	2.13	2.33	1.27	5.00	23.8	2.98	3.0
H 2	جنوب أم زيتية	1.14	3.2	2.6	3.2	3.27	1.61	1.36	4.00	20.4	2.55	2.0
H 4	أبو سالي	1.70	5.0	1.3	5.0	1.36	1.86	0.99	1.00	18.2	2.27	1.0
H 7	أم ريماس	1.10	3.5	3.8	3.6	5.00	2.20	1.85	2.00	23.1	2.89	3.0
H 6	شمال أم ريماس	1.00	2.9	3.8	2.2	3.71	1.31	1.47	4.00	20.5	2.56	2.0
H 5	أبو ريشات	1.27	1.0	1.0	2.6	4.84	1.00	1.82	3.00	16.5	2.06	1.0

- أحواض تصريف شديدة الخطورة، ويصعب فيها عملية التنمية: وتمثل (10%) من إجمالي أحواض التصريف بالمنطقة، وتضم حوض وادي حجول الرئيسي.
- أحواض تصريف متوسطة الخطورة: وتمثل (30%) من إجمالي أحواض التصريف بالمنطقة، وتضم ثلاثة أحواض تصريف هي (حجول الصغير، جنوب أم ريماس، أم ريماس).
- أحواض تصريف ضعيفة في خطورتها: ويسهل فيها عملية التنمية، وتمثل (30%) من إجمالي أحواض التصريف بالمنطقة، وتضم ثلاثة أحواض تصريف هي (غرب حجول الرئيسي، جنوب أم زيتية، شمال أم ريماس).
- أحواض تصريف ضعيفة جداً في خطورتها: ويسهل فيها عملية التنمية، وتمثل (30%) من إجمالي أحواض التصريف بالمنطقة، وتضم ثلاثة أحواض تصريف هي (شمال أم زيتية، أبو سالي، أبو ريشات).

جدول (9) تصنيف أحواض التصريف حسب درجة الخطورة بمنطقة الدراسة

%	عدد الأحواض	درجات الخطورة
10.0	1	أحواض تصريف شديدة الخطورة
0.0	0	أحواض تصريف خطرة
30.0	3	أحواض تصريف متوسطة الخطورة
30.0	3	أحواض تصريف ضعيفة الخطورة
30.0	3	أحواض تصريف خطورتها ضعيفة جداً

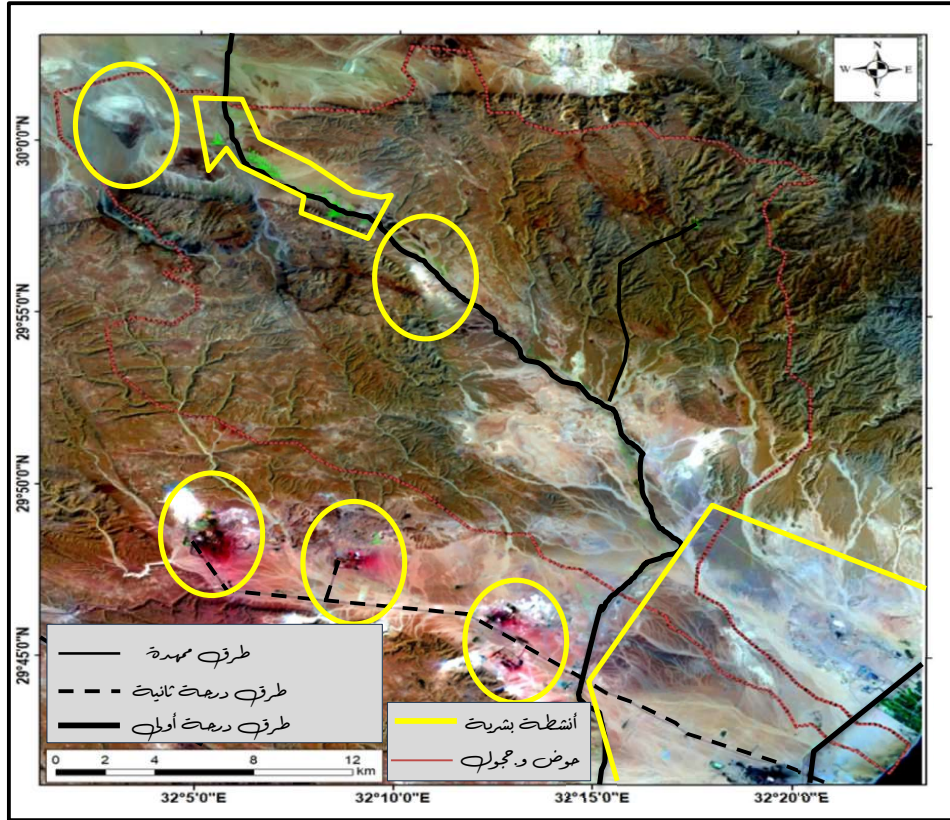
### ثانياً: أخطار السيول على شبكة الطرق بالمنطقة:

تتعرض شبكة الطرق بمنطقة الدراسة لأخطار السيول التي تتسبب في إلحاق الضرر بها أو تدميرها بالكامل. وتعد قطاعات الطرق التي تتقاطع مع الأودية أكثر المواقع خطورة وتعرضاً لخطر السيول، وبخاصة إذا كانت القطاعات الدنيا للأودية عميقة وضيقة وذات جوانب شديدة الانحدار ويصب بها روافد قصيرة ذات انحدارات شديدة حيث نجد أن السيول الفجائية تكون قادرة على نحت جوانب الطرق وبالتالي هبوطها في حالة إمتدادها داخل مجاري الأودية، بل تصل خطورتها أحياناً لإزالة الطريق بالكامل.

ويمكن من خلال الشكل (13) تحديد درجات تأثر الطرق بأخطار السيول كالتالي:

- طرق تتأثر بدرجة عالية بأخطار السيول: وتتمثل في الطرق الساحلية، ويبلغ إجمالي أطوالها (17.5 كم)، وتتوزع داخل أحواض التصريف ذات الخطورة العالية للسيول (حوض وادي حجول الرئيسي) وتخدم المنطقة الصناعية الواقعة في مصب الوادي (صورة 1).
- طرق تتأثر بدرجة متوسطة بأخطار السيول: وتتمثل في الطرق التي تقع داخل أحواض التصريف ذات الخطورة المتوسطة للسيول وهي (أم ريماس وجنوب أم ريماس وحجول الصغير)، ويبلغ إجمالي أطوالها (49.5 كم)، منها (30.5 كم) طرق درجة أولى، والباقي درجة ممهدة.

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



شكل (13) الطرق والأنشطة البشرية المتأثرة بأخطار السيول

- طرق تتأثر بدرجة ضعيفة بأخطار السيول: وتتمثل في الطرق التي تقع داخل أحواض التصريف ذات الخطورة الضعيفة والضعيفة جداً للسيول وهي (غرب حجول الرئيسي وجنوب أم زيتية وشمال أم زيتية وأبو سالي وأبو ريشات وشمال أم ريماس)، ويبلغ إجمالي أطوالها حوالي (31.2 كم)، منها (8.5 كم) طرق درجة أولى، والباقي درجة ممهدة إلى مناطق المحاجر الواقعة بالأحواض الغربية.



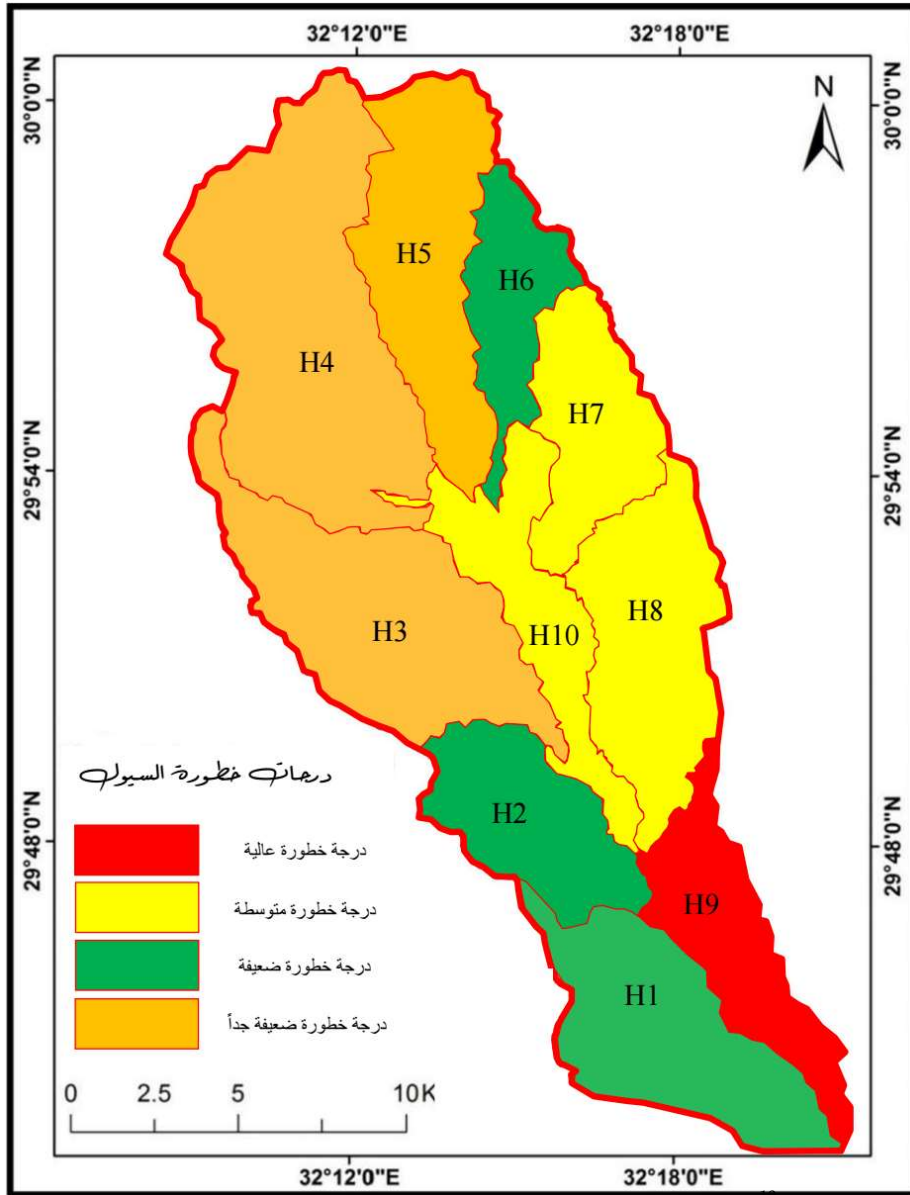


صورة (1) أخطار السيول على طريق وادي حجول الواقع داخل مصب الوادي



صورة (2) أخطار السيول على الطريق المتفرع من طريق وادي حجول المتجهة إلى جبل عتاقة

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حبول



شكل (13) تصنيف أحواض التصريف بحوض وادي حبول وفقاً لدرجة خطورة السيول  
المصدر: خريطة مصر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.

ثالثاً: التقييم الكمي للتعرية المائية وأثره على التنمية:

يوجد طرق عديدة لتقدير حجم التعرية المائية أو التنبؤ بحدوثها داخل المناطق الجافة، وقد استخدمت الدراسة الحالية نموذج جافريلوفيك Gavrilovic Model والذي أطلق عليه العالم جافريلوفيك مصطلح EPM وهو يعنى Erosion Potential Method وتم تصميم هذا النموذج في خمسينات القرن الماضي، ولم يتم تطبيقه إلا بعد الثورة التكنولوجية الحديثة، حيث تم الإستفادة من تطبيقات علم الجيوماتكس في تطبيق معادلات هذا النموذج، وقد طُور هذا النموذج لدراسة الأحواض الجبلية والمناطق المتضرسة، ويُعتمد في تطبيق نموذج EPM على عدة مؤشرات منها معامل الإنحدار، ومؤشر الغطاء النباتي، ومؤشر حماية التربة، أو خريطة التكوينات الجيولوجية السطحية، والمعدل السنوي لتساقط الأمطار، ومعامل الحرارة، ومن خلال دمج المؤشرات السابقة في برامج نظم المعلومات الجغرافية نستطيع حساب معامل التعرية المحتملة والتقدير الكمي لها.

ويتم تقدير معدل التعرية السنوي داخل منطقة الدراسة بصفة عامة وداخل كل حوض تصريف من أحواض التصريف بمنطقة الدراسة بصفة خاصة؛ من خلال معادلة نموذج EPM والذي يرمز له بالرمز W وهو كالتالي:

$$W=T \cdot h \cdot n \cdot \sqrt{Z^3 \cdot F}$$

W = المعدل السنوي للتعرية (م<sup>3</sup>/كم<sup>2</sup>/ السنة) وصنفها (Zachar D.1982) إلى ستة مستويات يوضحها (جدول 10).

T = معامل الحرارة، ويتم حسابة من خلال المعادلة التالية:

$$T=(0.1t_0+0.1)^{0.5}$$

حيث أن T<sub>0</sub> = المعدل السنوي لدرجة الحرارة.

h = المعدل السنوي للأمطار (مم).

F = مساحة المنطقة أم مساحة الحوض (كم<sup>2</sup>).

N = 3.14

Z = معامل التعرية المحتملة

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

ويُعد معامل التعرية المحتملة من أهم عناصر نموذج جافريلوفيك حيث يسمح بتتبع التغير في مستويات التعرية خلال فترة زمنية محددة ونستطيع من خلاله إختبار تأثيرات مستويات التدخل البشري والتغير في الأنشطة واستخدامات الأرض داخل الأودية. وقد صنفنا مستويات التعرية المحتملة تبعاً لقيمة (Z) على النحو الذي يوضحه (الجدول 11). ويتم حساب معامل التعرية المحتملة من خلال المعادلة التالية (سرحان نعيم الخفاجي، ص17) عن (الغامدي، 2009):

$$Z=Y*Xa*(Q+\sqrt{J_a})$$

$Y$  = معامل قابلية التربة للتعرية.

$Xa$  = معامل حماية التربة.

$Q$  = معامل تطور التعرية وتطور شبكة التصريف

$J_a$  = معامل انحدار التضاريس في منطقة الدراسة أو حوض التصريف.

وتستخرج قيم هذه المعادلة من خلال بيانات (الجدول 12) ويعد العمل الحقلية أحد ركائز هذا النموذج بإعتبار مدخلاته مهمة في تقديره لقيمة معامل التعرية.

جدول (10) مستويات التعرية تبعاً لمعدل التعرية السنوي

م	حجم أو معدل التعرية السنوي (م/3 كم/2 السنة)	مستويات التعرية
1	أقل من 50	تعرية ضعيفة جداً
2	50 - 500	تعرية ضعيفة
3	500 - 1500	تعرية متوسطة
4	1500 - 5000	تعرية شديدة
5	5000 - 20000	تعرية شديدة جداً
6	أكثر 20000	تعرية كارثية

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على Zachar D.1982.

جدول (11) مستويات التعرية تبعاً لقيم معامل التعرية المحتملة

م	معامل التعرية المحتملة	مستويات التعرية
1	1.01 - 1.51	تعرية شديدة جداً
2	0.71 - 1	تعرية شديدة
3	0.41 - 0.7	تعرية متوسطة
4	0.2 - 0.4	تعرية ضعيفة
5	0.01 - 0.19	تعرية ضعيفة جداً

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على (سرحان نعيم الخفاجي، ص17) عن (الغامدي، 2009).

جدول (12) العوامل الوصفية المستخدمة في تقدير معاملي التعرية المحتملة

Y	معامل قابلية التربة للتعرية
0.3-0.1	صخور صلبة شديدة المقاومة
0.5-0.3	صخور ذات مقاومة متوسطة
0.6-0.5	صخور ضعيفة المقاومة
0.8-0.6	ركام حطامي ورواسب خشنة وتراب صلصالية
0.9-1.0	رواسب رملية ناعمة وتراب لا مقاومة لها
Xa	معامل حماية التربة
0.2-0.005	غابات مختلطة كثيفة-متوسطة الكثافة وإحراج
0.4-0.2	غابات صنوبرية وجنابات متبعثرة وأجمات على جوانب القنوت المائية
0.6-0.4	مراع وغابات أو جنابات متضررة
0.8-0.6	مزارع ومراع متضررة
1.0-0.8	أرض جرداء
Q	معامل تطور التعرية وتطور شبكة التصريف
0.2-0.1	تعرية ضعيفة في حوض التصريف
0.5-0.3	تعرية في القنوت المائية بين 20% إلى 50% من حوض التصريف
0.7-0.6	تعرية في الأنهار، والأخاديد، والإرسابات الفيضية، وتعرية كارستية
0.9-0.8	حوض التصريف تحت تأثير التعرية والانزلاق الأرضية
1	جميع حوض التصريف تحت تأثير التعرية

وبتطبيق نموذج جافريلوفيك لتقدير مخاطر التعرية المائية على محاور التنمية بالمنطقة كما يوضحها (الجدول 13) و(الشكلين 14، 15، 16، 17)، تبين ما يلي:

☒ بلغ المتوسط العام لمعامل التعرية المحتمل بأحواض وادي حجول (0.76) وبحسب نموذج جافريلوفيك فهي تتسم بمستوى تعرية متوسط. ويوجد أحواض تصريف تزيد في مستويات تعريتها عن المتوسط العام ونسبتها (40%)، وأحواض أخرى تقل عن المتوسط العام ونسبتها (60%).

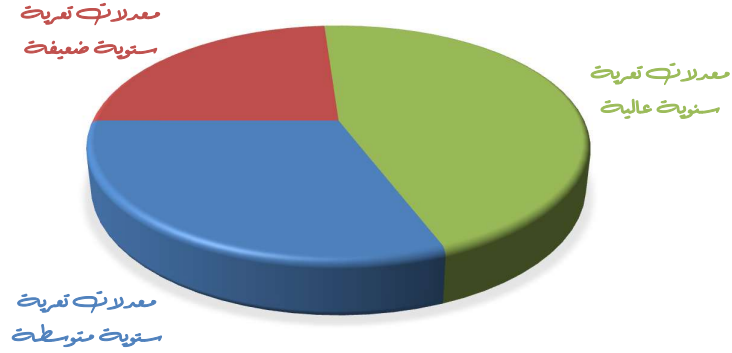
☒ أن أحواض منطقة الدراسة وفقاً لمعامل التعرية المحتملة تركزت في أربعة مستويات للتعرية المحتملة وهي:

الجران السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجل

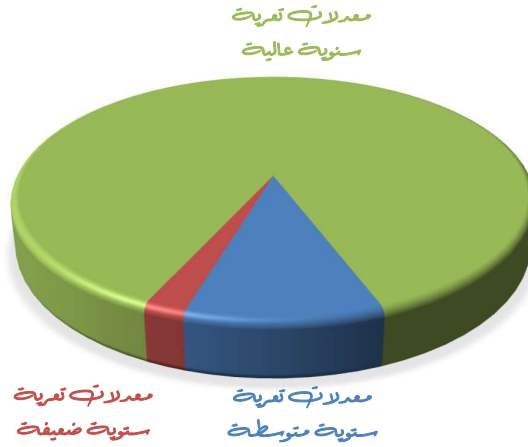
جدول (13) سترات الصرية المائية بأحواض منطقة الدراسة - حسب معادله وإثر الجريان المعرية

م	الحوض	المساحة م <sup>2</sup>	معامل الجذارة (1)	معامل قابلية التربة للتعرية (٧)	معامل حماية التربة (٨ف)	معامل شبكة التفرع (٩)	القطاعات (١٥)	معامل الجذر (١٥)	التعرية المعرية (معدل التربة م)	مستويات التعرية حسب نموذج جارنوليك	المعدل السنوي للتعرية (م <sup>3</sup> /م <sup>2</sup> /سنة)	مستويات معدل التعرية السنوي
1	بني حجل الأيسر	291,70	1,56	0,7	0,9	1	2,2	1,56	تعرية شديدة جدا	معدل تعرية عالي	47955,8	مستويات معدل التعرية السنوي حسب نموذج جارنوليك
2	غرب حجل الأيسر	53,30	1,56	0,4	0,9	1	0,83	0,69	تعرية متوسطة	معدل تعرية عالي	2555,4	معدل تعرية عالي
3	حجل المسير	158,00	1,56	0,4	0,9	1	2,2	0,89	تعرية شديدة	معدل تعرية عالي	11220,3	معدل تعرية عالي
4	شمال أو ربيعية	40,80	1,56	0,4	0,9	1	2,83	0,97	تعرية شديدة	معدل تعرية متوسط	3252,6	معدل تعرية عالي
5	جنوب أو ربيعية	28,00	1,56	0,2	0,9	1	1,42	0,39	تعرية خفيفة	معدل تعرية متوسط	582,9	معدل تعرية متوسط
5	جنوب أو ربيعية	25,80	1,56	0,2	0,9	1	2,05	0,44	تعرية متوسطة	معدل تعرية متوسط	627,7	معدل تعرية متوسط
7	الأوسط	64,50	1,56	0,2	0,9	1	1	0,36	تعرية خفيفة	معدل تعرية عالي	1170,5	معدل تعرية عالي
8	أر ربيعية	23,50	1,56	0,2	0,9	1	3	0,49	تعرية متوسطة	معدل تعرية متوسط	680,9	معدل تعرية متوسط
9	شمال أو ربيعية	16,30	1,56	0,2	0,9	1	2,29	0,45	تعرية متوسطة	معدل تعرية منخفض	416,7	معدل تعرية منخفض
10	أر ربيعية	35,00	1,56	0,2	0,9	1	2,91	0,49	تعرية متوسطة	معدل تعرية عالي	999,5	معدل تعرية عالي
	الإجمالي							6,74			69462,34	
	المتوسط							0,67		تعرية متوسطة	6946,23	معدلات تعرية سنوية لتربة حجل

شكل (14) معامل التعرية المحتمل بحوض وادي حجول



شكل (15) معدلات التعرية السنوية بحوض وادي حجول

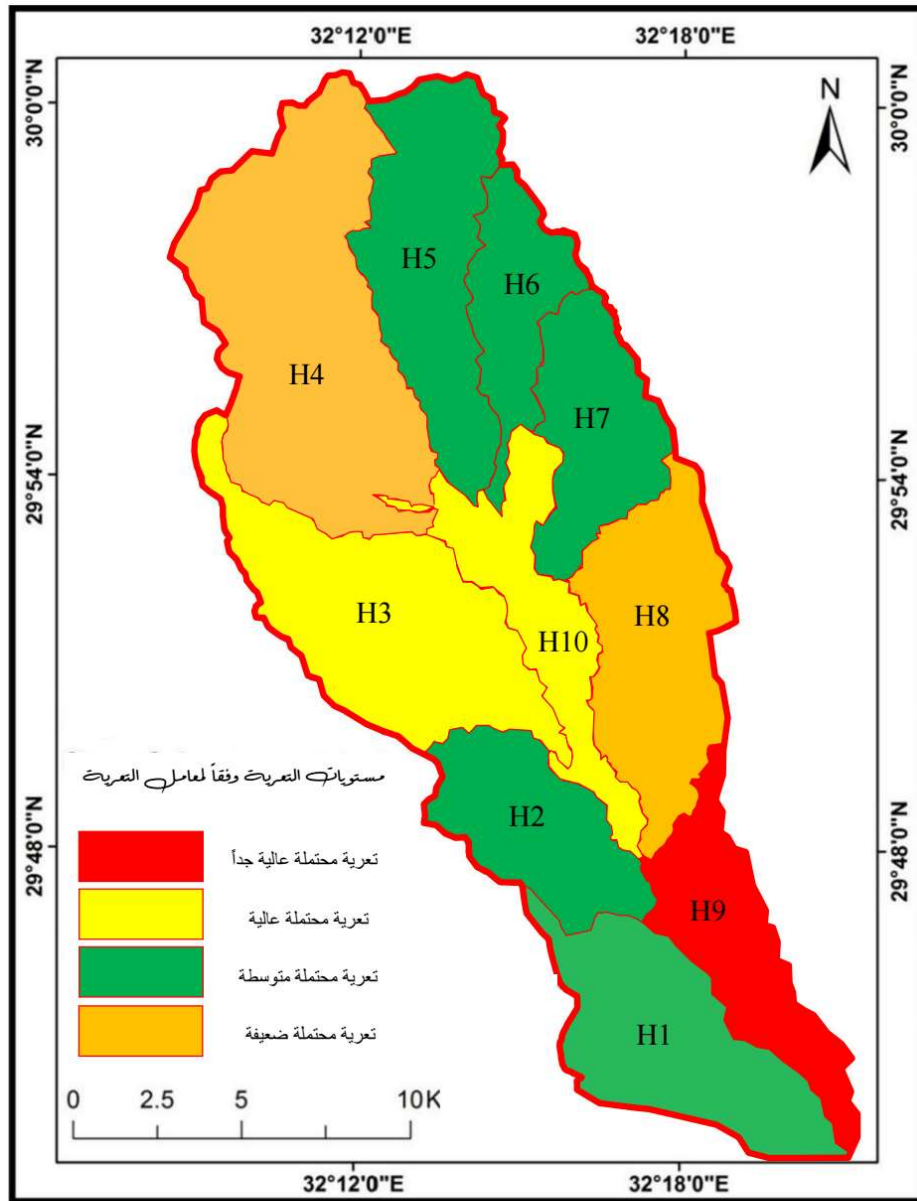


- تعرية محتملة شديدة جداً: وتضم (10%) من مساحة منطقة الدراسة، وتتمثل في حوض وادي حجول الرئيسي.
- تعرية محتملة شديدة، وتتمثل في (20%) من مساحة منطقة الدراسة، وتنتزع في حوضين تصريف هما (حجول الصغير وشمال أم زيتية).

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

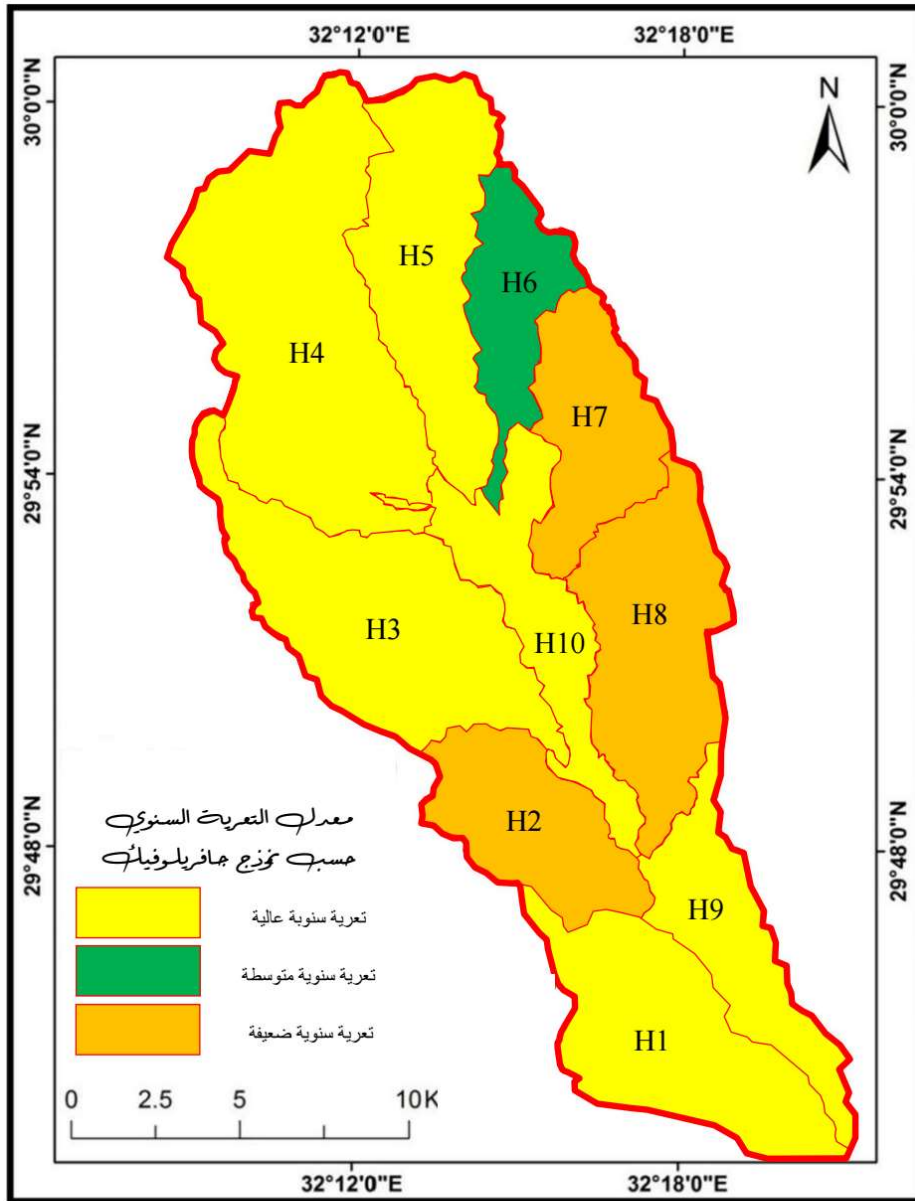
- **تعرية محتملة متوسطة**، وتتمثل في (50%) من مساحة منطقة الدراسة، وتوزع في خمسة أحواض تصريف هما (غرب حجول الرئيسي، وجنوب أم زيتية، أم ريماس، وشمال أم ريماس، أبو ريشات).
- **تعرية محتملة خفيفة**، وتتمثل في (20%) من مساحة منطقة الدراسة، وتتمثل في حوضين تصريف هما (جنوب أم ريماس، أبو سالي).
- ☒ **بلغ المعدل السنوي العام للتعرية بأحواض وادي حجول (6946.23) وبحسب نموذج جافريلوفيك فهي تتسم بمستوى تعرية سنوي شديد جداً. ويوجد أحواض تصريف تتسم بمعدل تعرية سنوي يزيد عن المتوسط العام ونسبتها (20%)، وأحواض أخرى تقل عن المتوسط العام ونسبتها (80%).**
- ☒ **أن أحواض منطقة الدراسة وفقاً لمعدل التعرية السنوي تتوزع في ثلاثة مستويات فقط من مستويات خطورة التعرية المائية السنوية وفقاً لنموذج جافريلوفيك، وهما:**
- **تعرية سنوية عالية**، وتتركز في (60%) من أحواض التصريف وهي (حوض وادي حجول الرئيسي، غرب حجول الرئيسي، حجول الصغير، شمال أم زيتية، أبو سالي، أبو ريشات).
- **تعرية سنوية متوسطة**، وتتركز في (30%) من أحواض التصريف وهي (حوض وادي جنوب أم ريماس، جنوب أم زيتية، أم ريماس).
- **تعرية سنوية ضعيفة**، وتتركز في حوض وادي شمال أم ريماس.
- ☒ **تبين من الربط بين خطورة السيول بأحواض التصريف بالمنطقة، ومعدلات التعرية المحتملة بتلك الأحواض، أن هناك علاقة طردية بين معدل خطورة السيل بالحوض وإحتمالية تعرضه للتعرية بدرجة كبيرة، حيث تبين من الشكل (18، 19) أن الأحواض التي تتسم بخطورة شديدة للسيول تزداد إحتمالية تعرضها للتعرية المائية على الرغم من أن معدل التعرية السنوية بها ضعيف، وربما يرجع ذلك لنوعية الصخور وكذلك الحمولة العالقة والمرسبة داخل مجاري الأودية.**



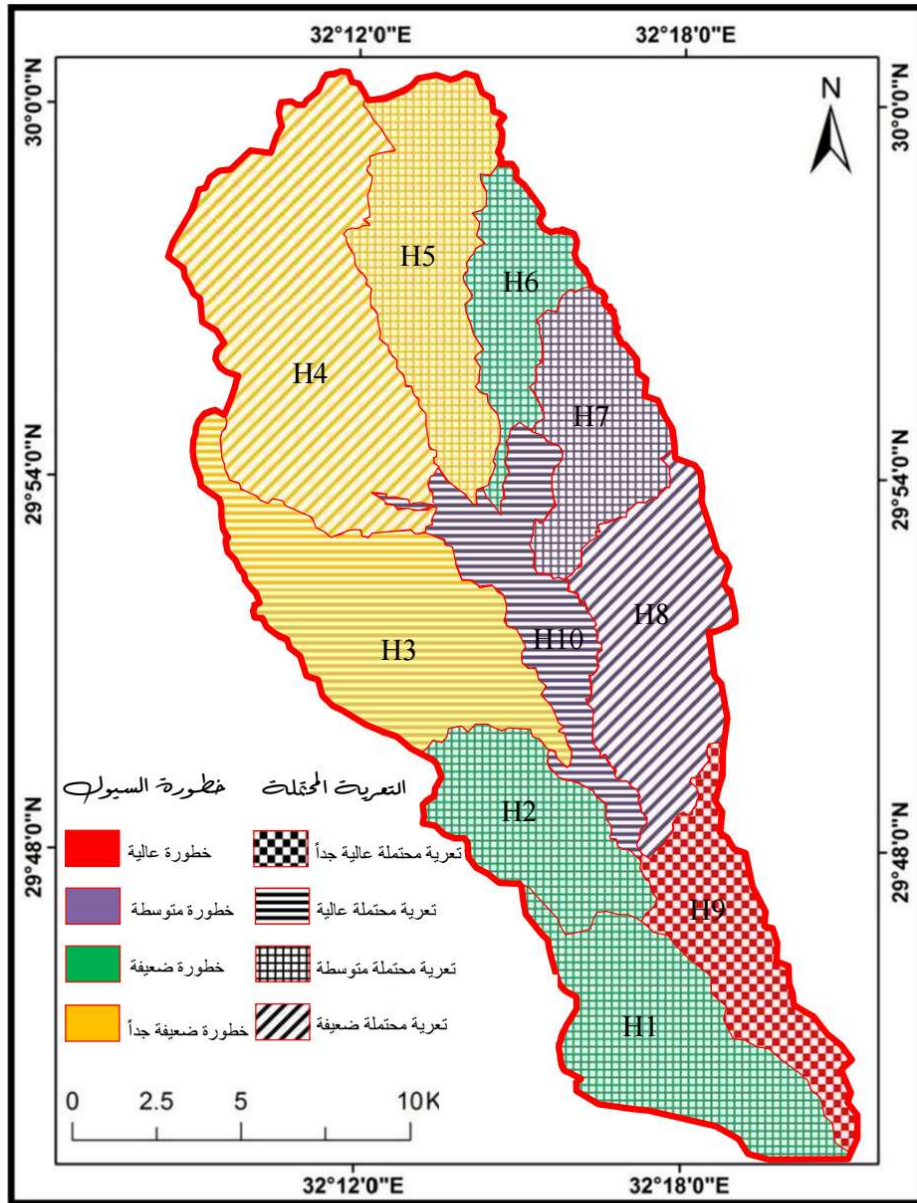


شكل (16) تصنيف أحواض التصريف بمحوض وادي مجول وفقاً لمستويات التعرية المحتملة "نموذج جافريلوفيك"  
المصدر: خريطة مصر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.

الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

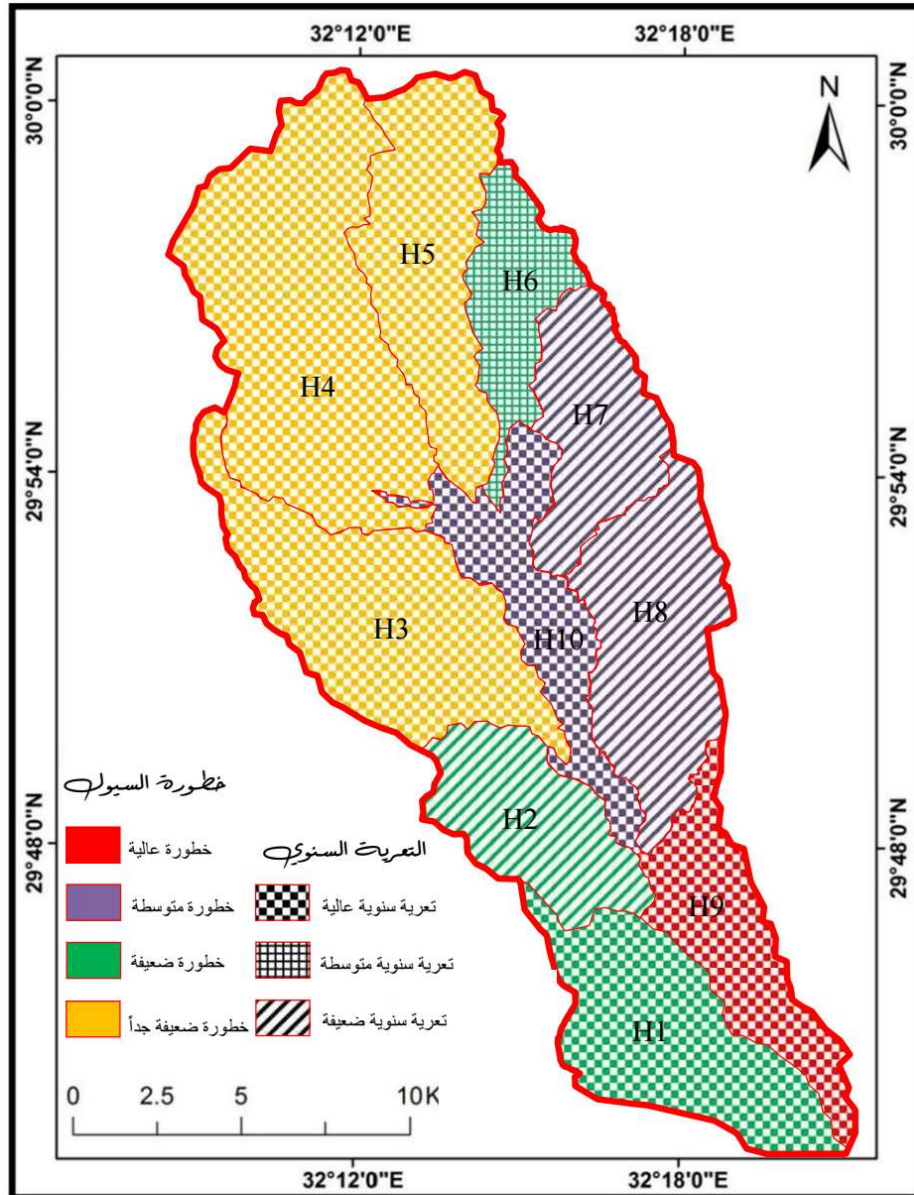


شكل (17) تصنيف أحواض تصريف وادي حجول وفقاً لمعدل التعرية السنوي "نموذج جافريلوفيك"  
المصدر: خريطة مصر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.



شكل (18) مستويات الخطورة الناتجة عن السيول والتعرضية المائية "نموذج جافريلوفيك" الأواض تصريف وادي حبول المصدر: خريطة مصر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.

الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي ححول



شكل (19) مستويات الخطورة الناتجة عن السيول والتعرية المائية "نموذج جافريلوفيك" بأحواض تصريف وادي ححول  
 المصدر: خريطة مسر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.

رابعاً: الحلول والمقترحات للحد من أخطار الجريان السيلبي والتعرية المائية:

تقترح الدراسة الحالية مجموعة من **الحلول العامة** التي يجب العمل بها للحد من أخطار أخطار السيول والتعرية المائية، وجعل منطقة الدراسة قادرة على مجابهة تلك الأخطار داعمة للتنمية، ومنها ما يلي:

- ✗ إزالة التعديات على مخرات السيول، والمخلفات والقمامة.
- ✗ تطهير مخرات السيول وبالوعات الصرف، لإستيعاب أكبر كمية أمطار.
- ✗ زيادة كفاءة البنية التحتية بإنشاء مراكز فنية وطنية وإقليمية مزودة بالمعدات لمجابهة مخاطر الكوارث والأزمات وتداعياتها مما يتطلب دعم ومشاركة المنظمات الدولية والإقليمية والدول والجهات المانحة والمستثمرين.
- ✗ إنشاء صندوق دائم على المستوى الوطني والإقليمي لمجابهة والحد من الكوارث ويدعم مالياً من كافة المنظمات الدولية والإقليمية والدول المانحة والمستثمرين ولا يقتصر على الموارد الوطنية للدول.
- ✗ الإهتمام بتنفيذ تجارب عملية سنوياً على مستوى الدول ( فردياً، ثنائياً، متعددة الأطراف) لمجابهة والحد من أخطار الكوارث المتوقعة على غرار ما تقوم به دول عديدة مثل (اليابان) لمجابهة الزلازل؛ تغطي تكلفتها من الصندوق الدائم المقترح إنشائه وتبادل اوسع للمعلومات والتقنيات الحديثه.
- ✗ وجود تنظيم وتنسيق لفهم الحد من المخاطر.
- ✗ حماية النظم البيئية الطبيعية والحواجر الطبيعية للتخفيف من آثار الكوارث.
- ✗ وضع ضمانات لتلبية احتياجات الناجين.
- ✗ الإبتعاد عن مناطق التحام والتقاء مصبات الروافد فى الوادى الرئيسى.
- ✗ أن يكون مستوى الطريق على مستوى قريب من مستوى بطن الوادى ، " أى على نفس منسوب الوادى " فكلما كان منسوب الطريق أكثر إرتفاعاً أدى ذلك إلى نحته وتآكله أثناء الجريان المتكرر.

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

- ✗ يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن تقاطع الجريان مع الطريق يؤدي إلى حدوث نحت تراجعى على جوانب الطريق Head ward Erosion لذا يجب تغطية جانبي الطريق باستخدام طبقات من الأسمنت المسلح فى وضع مائل على جانبي الطريق.
- ✗ إنشاء مجرى صناعى بجوار الطريق ويفصل عنه بمسافة أمان كافية حتى يمكن من خلاله تصريف مياه السيول.
- ✗ التقليل من حدة التعرجات فى الطرق بحيث لا تأخذ نفس انحناءات الوادى ودرجة تقوسها.
- ✗

وفيما يلي مجموعة من **الحلول والمقترحات الخاصة** للحد من أخطار السيول والتعرية المائية التي تؤثر على محاور التنمية بمنطقة الدراسة، وتحد منها كما يلي:

أ- سبل الحماية من أخطار السيول:

نظراً للأهمية الاقتصادية العالية لمنطقة الدراسة؛ حيث أنها تضم إحدى المناطق الصناعية الوطنية الكبرى في مصر، قام معهد بحوث الموارد المائية بإقتراح برنامج حماية لمنطقة شمال غرب خليج السويس من أخطار السيول (WRRI, 1998). ويقترح البرنامج إنشاء ستة عشر حاجزاً على طول مجاري الأودية ذات الخطورة العالية وخصوصاً وادي حجول الرئيسي. ولم يتم تنفيذ أية من هذه الحواجز حتى الآن.

وتقترح الدراسة الحالية برنامجاً جديداً للتخفيف والحماية يتكامل مع البرنامج المقترح من معهد بحوث الموارد المائية؛ وذلك لرفع مستوى الحماية وتوسيع كفاءة التخزين. وتم تطبيق أدوات مختلفة لإدارة المياه عند منبع وادي حجول ومصبه للحد من أخطار السيول ومنع تآكل التربة وزيادة إنتاجية طبقات المياه الجوفية الحالية. ويتم استخدام ثلاث أدوات إدارية لتنفيذ البرنامج للتحكم في السيول وتخزين كميات إضافية من المياه داخل طبقة المياه الجوفية الحالية. وفيما يلي شرح لأدوات الإدارة المستخدمة في البرنامج المقترح.

### 1- مفر آبار نشو Cistern:

تم إقتراح هذه الأداة لتكون بمثابة خزانات لحصاد مياه الجريان السطحي وتغذية طبقة المياه الجوفية، ولذلك يطلق عليها صهريج أو خزان وتشبه البئر (Geriesh, 1998). ويتم

حفرها في رواسب المراوح الفيضية، وإنشاء حاجز على طول جانبها الأمامي مع سد احتجاز عند منبع الوادي، يعملان كمرشحات للرواسب لمنع تراكم الطمي داخل البئر. وتصل الطاقة التصميمية للبئر الواحد إلى (400 م3) من المياه. ومن المقترح حفر (11 بئراً) على طول منبع حوض وادي حجول (شكل 20) لحصد ما يقرب من (4400 م3) من المياه في منطقة منبع الحوض.

### 2- سدود التخزين والإبرصجماز:

يمكن أن تضمن سدود الإحتجاز والتخزين موارد مائية مستدامة لأغراض مختلفة. وتقل هذه السدود من طاقة مياه السيول وتطيل زمن الرحلة. إن إطالة زمن انتقال السيول يشجع المياه على التسلل إلى الطبقات الأساسية، ويعطي فرصة جيدة للإستغاثة. ويفضل تطبيق هذه الأداة عند مصب الوادي لتشجيع عملية التغذية إلى طبقة المياه الجوفية الموجودة بتكوينات الزمن الرابع. وتقتصر هذه الدراسة تسعة سدود إحتجاز، بالإضافة إلى بحيرة صناعية (الشكل 20). وتتسم المواقع المختارة المقترحة بما يلي:-

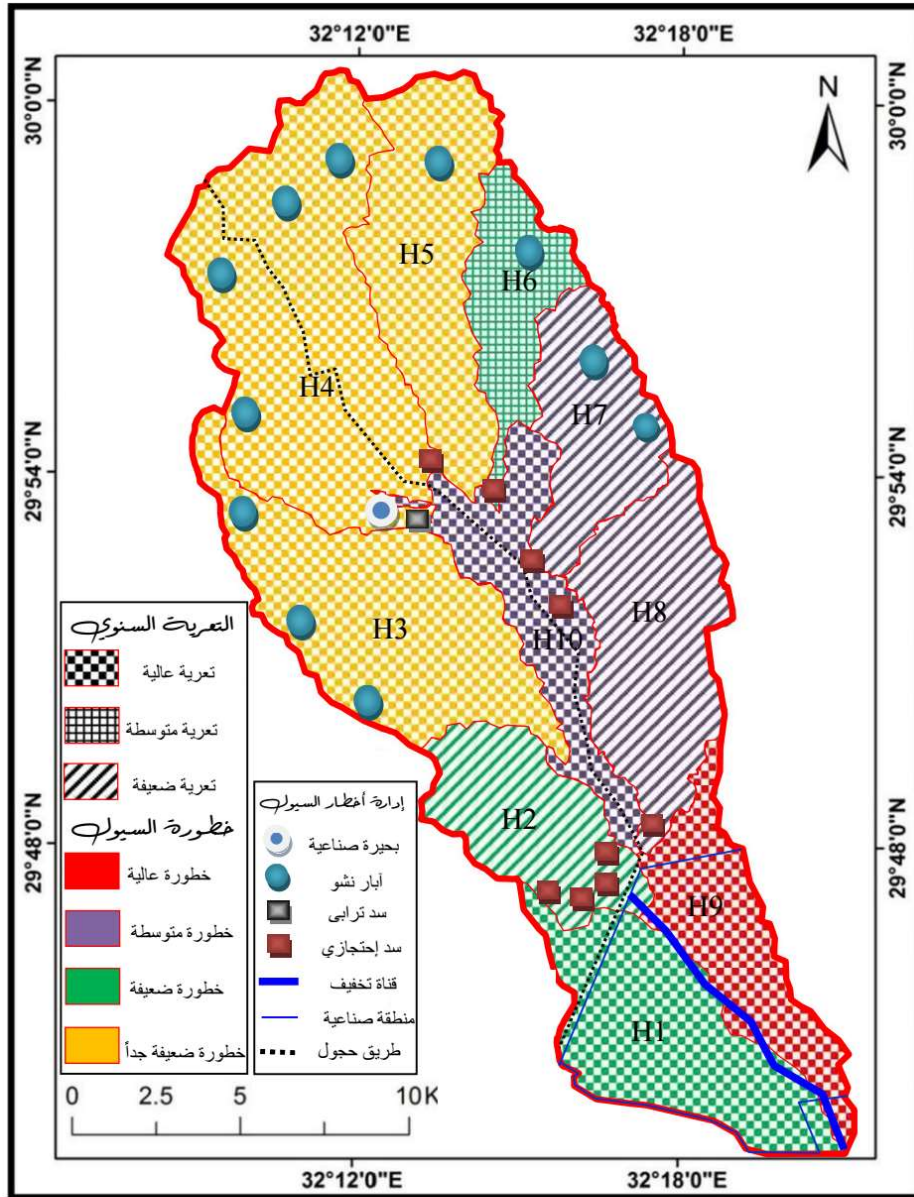
- تتمتع التربة بنفاذية كافية لإنتاج إمكانية تسرب مقبولة.
  - لا توجد طبقات غير منفذة في منطقة الفادوز، تقيد التسرب المفرط إلى الأسفل.
  - منسوب المياه عميقاً بما يكفي لإبقاء المياه الجوفية تحت قاع حوض التغذية.
  - إن طبقة المياه الجوفية من النوع الحر غير المقيد أو غير المضغوط، ولديها قدرة كافية على النفاذية، للسماح بالحركة الجانبية دون بناء تلال عالية للمياه الجوفية.
- وستصل القدرة التخزينية للسدود المقترحة مع البحيرة الاصطناعية إلى (1.5 مليون م3).

### 3- قناة التخفيف:

تقتصر الدراسة إنشاء قناة تخفيف كأداة للتحكم في مياه السيول في الأحواض الخطرة. وتم تصميم هذه القناة بحيث تقع في مصب وادي حجول، لتجميع مياه السيول الفائضة التي تفيض على السدود المقترحة وستزيد من تخزين طبقة المياه الجوفية في هذا الموقع.



الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول



شكل (20) برنامج التخفيف المقترح للحد من أخطار السيول بأحواض تصريف وادي حجول  
 المصدر: خريطة مسعر الطبوغرافية مقياس 1:50000، صورة جوية بمقياس 1:40000، و ETM Image 2003، باستخدام برنامجي Arc GIS و Erdas Imagine.



ومن المقترح حفر القناة في رواسب المراوح الفيضية، بطول 17 كم، وعمق 5م، وعرض 40م خلف السدود المشيدة (شكل 20، 21). وتبلغ سعة التخزين السطحية لقناة التخفيف (3.4 مليون م<sup>3</sup>)؛ بينما يمكن تقدير الحد الأقصى لمعدل التغذية من أحد جانبي القناة إلى الطبقة الجوفية الموجودة تحتها باستخدام المعادلة التالية:

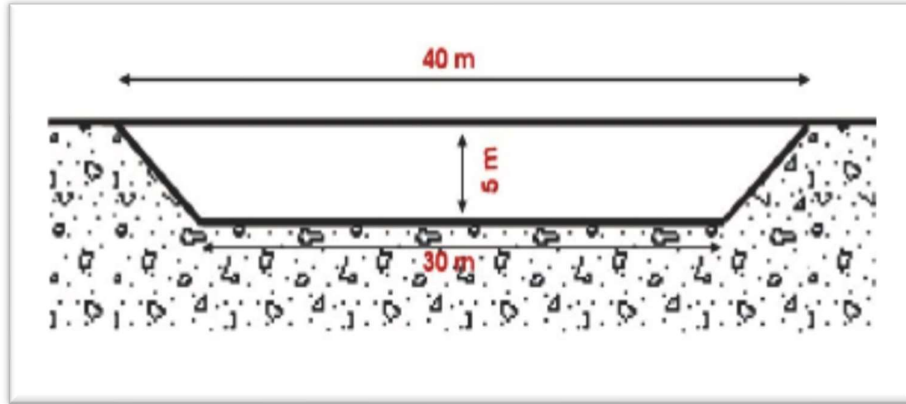
$$\frac{Q}{X} = K \left( \frac{H^2 - h^2}{2L} \right) \quad (\text{Driscoll, 2003})$$

h: هو سمك طبقة المياه الجوفية (م) = 47.5 م

L: هو نصف قطر التأثير (م) = 2H = 125 م

X: هو طول القناة (م) = 17000 م

K: هي الموصلية الهيدروليكية لرواسب المراوح القبيضية (متوسط التقدير = 4.1 م/يوم). ويبلغ الحد الأقصى لمعدل التغذية اليومي المقدر من القناة المقترحة إلى طبقة المياه الجوفية الأساسية حوالي (7.4 مليون م<sup>3</sup>/يوم). ولذلك فإن إجمالي قدرة التخفيف للقناة، بما في ذلك مياه التغذية. ويصل التخزين السطحي إلى (10.8 مليون م<sup>3</sup>/عاصفة).



شكل (21) هندسة قناة التخفيف المقترحة في حوض وادي عجمول

وكما ذكرنا من قبل فإن إجمالي السعات بالمقترح القديم (9 سدود مبنية) تبلغ (1.5 مليون م<sup>3</sup>) مع كفاءة تخزينية تبلغ حوالي (13.6%) عند أقصى عاصفة مطرية (49 ملم).

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

أما بالنسبة للمقترح الحالي الذي يتكون من قناة تخفيف في مصب وادي حجول، و 11 بئراً في منطقة منابع المياه بالإضافة إلى السدود التسعة ذات التصميم القديم وبحيرة صناعية سيزيد من السعة التخزينية حتى (12.3 مليون م<sup>3</sup>)، بكفاءة تخزين تصل إلى (100%) عند الحد الأقصى للعاصفة الممطرة.

إن كفاءة الحماية العالية للتصميم المقترح ستدعم بشكل كامل حماية الأجزاء الشمالية من المنطقة الصناعية ضد مخاطر السيول، بالإضافة إلى أنها ستستخدم أكثر من (90%) من مياه السيول في إعادة تغذية طبقات المياه الجوفية الضحلة للاستخدامات المستقبلية. سيرتفع معدل التغذية إلى (95%) خلال "أقصى عاصفة ممطرة".

خامساً: النتائج والتوصيات

أظهرت نتائج الدراسة أن هناك أربعة أحواض فرعية داخل الحوض الرئيسي لوادي حجول ذات درجات عالية ومتوسطة لخطورة السيول هي (حجول الرئيسي، حجول الصغير، جنوب أم ريماس أم ريماس)، حيث أن كمية حجم الجريان السيلي فيهم يصل في مجموعه إلى حوالي 15.5 مليون م<sup>3</sup>/عاصفة. وإقترحت الدراسة نظام للتحكم في مياه السيول بحوض وادي حجول يتكون من هرايات وسدود إعاقة وتخزين بالإضافة إلى قناة حماية وتغذية. وتصل أقصى سعة تخزين لهذا النظام بحوالي (12.3 مليون م<sup>3</sup>) من مياه السيول وبكفاءة تصل إلى 100%.

كما أظهرت نتائج الدراسة أيضاً أن المعدل السنوي العام للتعرية المائية بأحواض وادي حجول بحسب نموذج جافريلوفيك، بلغ (6946.23) وهو معدل تعرية شديد جداً. ويوجد أحواض تصريف تتسم بمعدل تعرية سنوي يزيد عن المتوسط العام ونسبتها (20%)، وأحواض أخرى تقل عن المتوسط العام ونسبتها (80%). ومن الأحواض التي تتسم بمعدل تعرية سنوية عالية (حوض وادي حجول الرئيسي، غرب حجول الرئيسي، حجول الصغير، شمال أم زيتية، أبو سالي، أبو ريشات).

وتقتصر الدراسة نظام للتحكم في مياه السيول بحوض وادي حبول يتكون من هرابات وسدود إعاقاة وتخزين بالإضافة إلى قناة حماية وتغذية. وتصل أقصى سعة تخزين لهذا النظام بحوالي (12.3 مليون م<sup>3</sup>) من مياه السيول وبكفاءة تصل إلى 100%.

سادساً: المراجع:

- 1- أحمد سالم صالح، (1989): الجريان السيلي في الصحاري، دراسة في جيومورفولوجية الأودية الصحراوية، سلسلة البحوث والدراسات التخصصية المحتملة، معهد البحوث والدراسات العربية، عدد 51، القاهرة.
- 2- أمجد فتحي رجب، (2021): السيول في حوض وادي الجرافي شرق شبه جزيرة سيناء "دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد"، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنوفية.
- 3- سرحان نعيم الخفاجي، (بدون سنة): التعرية المائية في المناطق الجافة.
- 4- عبدالعزيز نكي، (1994): معدل أمطار مناسب للتصميمات الهيدرولوجية بشبه جزيرة سيناء، ماجستير غير منشور، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.
- 5- عواد حامد موسى، (2004): أخطار السيول في أحواض التصريف بمنطقة مرسى مطروح "دراسة جيومورفولوجية"، مجلة مركز الخدمة للإستشارات البحثية، كلية الآداب، جامعة المنوفية.
- 6- عواد حامد موسى، (2011): السيول في منطقة الغردقة- دراسة جيومورفولوجية، مجلة مركز الخدمة للإستشارات البحثية، كلية الآداب، جامعة المنوفية.
- 7- محمد عوض السيد، (2013): الموازنة المائية وتوزيع الأراضي الزراعية بشبه جزيرة سيناء "دراسة في المناخ التطبيقي"، مجلة الانسانيات، كلية الآداب، جامعة دمنهور.

- 1- Abd El-Rahman, M.A and El- Etr, H.A. (1979): Structural pattern of the Northern part of the Eastern Desert of Egypt. Appollo-test project (ASTP). Summary Science Report, Vol. II, in Earth observation and photogeology, F. El Baz and Warner, M.D. (ed.), NASA SP-412, Washington, D.C., 87-96.
- 2- Abdallah, M.A. (1993): Structural geology of the area between El Galala El-Bahariya and Gabal Okheider, Egypt. Ph.D. Thesis, Fac. Sci., Ain Shams Univ. 199p.

- 3- AKL, M.T. (1994): An approach to the morphometric analysis of wadi Tayyibah drainage basin through using geographic information systems (GIS), Menoufia University, Faculty of Arts Journal, vol.19, pp.91-146.
- 4- Ball. J. (1937): The Water Supply of Mersa Matruh, Survey and Mines Deprd. Paper. No. 41, Cairo.
- 5- Barakat, G.M., Abd El- Khalek, M.L. and Abu Khadrah, M.A. (1970): The geology of Gabal Abu-Treifeya area, Cairo-Suez district, U.A.R. Desert Inst. Bull., Cairo, Egypt. V.20, No. 1, 1- 20.
- 6- Driscoll, F.G. (2003): Groundwater and wells. Johnson Screens, St. Paul, Minnesota, 1089pp.
- 7- EMA (2002): Meteorological records for the period from 1966 to 2001. Egyptian Meteorological Authority, Cairo, Egypt.
- 8- Farag, S.Y. (1972): Geomorphological and structural features of the area east of Helwan, Eastern Desert of Egypt. M.Sc. Thesis, Cairo University, 128p.
- 9- Farhan, and Al-Shaikh, N, (2017): Quantitative Regionalization of W. Mujib-Wala Sub-Watersheds (Southern Jordan) Using GIS and Multivariate Statistical Techniques, Open Journal of Modern Hydrology, Vol.7, PP. 165-199.
- 10- Gregory, K. J and Walling, D. E. (1976): Drainage Basin Form and Process A Geomorphologic Approach, Edward Arnold, London.
- 11- Horton, R.E (1932): Drainage Basin Characteristics, Transactions, American Geophysical Union, Vol.13, pp. 350-361.
- 12- Ismail, M.M., El- Mahdy, O.R. and El- Nozahi, F.A. (1974): Geological studies of Gebel Ataqa surface section part (1). Desert Inst. Bull., A.R.E., v. 24, No.5, 11-21.
- 13- Kumar Dilip., Singh, R. B., Ranjeet Kaur. (2019): Spatial Information Technology for Sustainable Development Goals, Springer International Publishing.
- 14- Morisawa, M. E. (1962): Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian plateau, Geological Society of America Bulletin, Vol. 73, pp 1025-1046.
- 15- Moustafa, A.R. and Abd-Allah, A.M. (1992): Transfer zones with en-echlon faulting at the northern end of the Suez Rift. Tectonics, v. 11, No. 3, 499- 506.

- 16- Ockert, J. G. Smithers. (d Jeff C. Smithers. (2014): Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation, Hydrological Sciences Journal, Vol 39:(00), pp.1935-1971.
- 17- Pike, R, and Wilson, S. (1971): Elevation- Relief Ratio, Hypsometric Integral, and Geomorphic Area-Altitude Analysis, U.S. Geological Survey.
- 18- Sadek, H. (1926): The geography and geology of the district between Gabal Ataqa and Gabal El- Bahariya, Egypt. Geol. Survey Egypt, No. 40, 120p.
- 19- Safei El-Din, A. (1988): Geological and hydrogeological studies on the area between Gabal Ataqa and Northern Galala, Egypt. Ph.D. Thesis, Fac. Sci., Zagazig Univ. 271p.
- 20- Said, R. (1962): The geology of Egypt. Elsevier Pub. Co., Amsterdam and New York, 377p.
- 21- Schuman, S. A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badland, at Perth Amboy, New Jersey. Bulletin of the Geological Society of America, Vol. 67, PP. 597-646.
- 22- Sewidan, A.S., (2000): Morphometry and Hazard Computer Programs of Morphometric Parameters and Basins Hazard Degrees Calculation, Hydrology Department, Desert Research Center, Cairo, Egypt.
- 23- Smith, K. G., (1950): Standards for grading texture of erosional topography, American Journal of Science, Vol.248, pp.655-668.
- 24- Snyder F.F. (1938): Synthetic Unit Hydrographs. Trans. Am. Geoph. Un., Part I, pp. 447- 454.
- 25- Strahler, A.N. (1964): Quantitative Geomorphology of Drainage Basin and Channel Networks, At Hand Book of Applied Hydrology.
- 26- U.S. Conservation Service, (1972): Hydrology Section 4, Natural Engineering Hand Book, Washington D.C.
- 27- Vries, A.J, Tyrlis, E., Edry, D, Krichak, S.O., Steil, B, Lelieveld, J.(2013): Extreme precipitation events in the Middle East: Dynamics of the Active Red Sea Trough, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, pp.7087-7108.
- 28- Youssef, M.I and Abd El-Rahman, M.A. (1978): Structural map by remote sensing of the area between Gabal Ataqa and Northern Galala

## الجريان السيلي والتعرية المائية بحوض وادي حجول

---

- plateau, Gulf of Suez region, Egypt. 10th Arab Petr. Conf. Tripoli, Libya. Vol. 135(C-3), 8p.
- 29- Youssef, M.I and Abd-Allah, A.M. (2003): Structural geology of the Southern part of the Cairo-Suez district, Egypt. 5th Inter. Conf. Geology of the Middle East, Cairo.
- 30- Youssef, M.I., Bassiouni, M.A. and Cherif, O.H. (1970): Some stratigraphic and tectonic aspects of the Miocene in the northeastern part of the Eastern Desert. Bull. Inst. Desert Egypt. V. 2, 119-155.
- 31- ZACHAR D. (1982). Soil Erosion. Amsterdam: Elsevier science publishing company, p547.