

## دراسة الفيضانات

مشروع طاقة الرياح بقدرة 200 ميغاوات في خليج السويس من شركة مصدر  
انفينيتي باور هولدينغ

يوليو 2023



Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency  
المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة



## تاريخ الوثيقة

تاريخ	إصدار	المؤلفون	وصف المراجعة	مسؤول المراجعة	مسؤول الموافقة	تاريخ الموافقة
2023/05/21	1.0	دكتور/عصام حسن	مراجعة إصدار العميل	ماري محارب	فاطمة القصاص	
2023/05/30	2.0	دكتور/عصام حسن	التعامل مع المرحلة الأولى من تعليقات العملاء	كريم البكري	فاطمة القصاص	
2023/05/30	3.0	دكتور/عصام حسن	التعامل مع مرحلة تعليقات البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية (EBRD)	ماري محارب	فاطمة القصاص	

## جدول المحتويات

3	قائمة الأشكال
4	قائمة جداول
6	ملخص تنفيذي
1	1. مقدمة
2	2. نطاق العمل
3	3. المنهجية
4	4. موقع
5	5. المناخ
5.1	5.1 درجة حرارة
5.2	5.2 رياح
5.3	5.3 الرطوبة النسبية
5.4	5.4 شروق الشمس
5.5	5.5 هطول الأمطار (الهطول) والتبخر
6	6. الجيومورفولوجيا والتضاريس
6.1	6.1 الجيومورفولوجيا
6.2	6.2 الإعداد الطبوغرافي للمنطقة
6.2.1	6.2.1 نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة (DEM) استنادًا إلى صور SRTM
6.2.2	6.2.2 تم الحصول على البيانات الطبوغرافية من نموذج
7	7. جيولوجيا السطح
8	8. دراسة عن سقوط الأمطار على المنطقة
8.1	8.1 قياسات الهطول من صور الأقمار الصناعية (الهطول النظري)
8.1.1	8.1.1 معدل التساقط الشهري المتوقع في منطقة الدراسة
8.1.2	8.1.2 متوسط التساقط الموسمي بمنطقة الدراسة
8.1.3	8.1.3 المتوسط الشهري لأكبر كميات هطول الأمطار خلال فترة الدراسة
8.1.4	8.1.4 التحليل السنوي لمتوسط كميات الأمطار المحسوبة المتوقع سقوطها خلال فترة الدراسة
8.2	8.2 البيانات المقاسة لهطول الأمطار وتصميم العواصف الممطرة (البيانات الفعلية المقاسة)
8.2.1	8.2.1 بيانات هطول الأمطار الأخيرة

44	8.2.2 إن تقدير العواصف المطيرة يعود بالاحتمال .....
9	التحليل المورفومتري ..... 48
9.1	الموقع والخصائص الشكلية للموقع ..... 48
9.2	الخصائص المورفومترية لأحواض الصرف ..... 49
9.3	التحليلات المورفومترية لشبكات الصرف الصحي ..... 56
9.4	العوامل المؤثرة في حدوث الفيضانات ..... 60
9.5	ملخص للأحواض المدروسة حسب بعض المتغيرات المقاسة ..... 66
10	نموذج تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة ..... 67
10.1	مخاطر الفيضانات المفاجئة للأحواض الثلاثة المدروسة مقارنة بالبيانات الشكلية لجميع أحواض البحر الأحمر ..... 67
10.2	مخاطر الفيضانات الخاطفة الخاصة بمنطقة الدراسة (الأحواض الثلاثة) ..... 74
11	زيارة ميدانية ..... 79
11.1	التركيز على الزيارة الميدانية ..... 79
11.2	المواقع داخل حدود الموقع ..... 80
11.3	مواقع خارج حدود الموقع (على مسافة من الموقع) ..... 86
12	الملخص والاستنتاجات ..... 96
13	التوصيات ..... 98
14	مراجع ..... 100
15	المرفقات ..... 102
15.1	مرفق 1: بيانات محطة السويس للأرصاد الجوية ..... 102
15.2	مرفق 2: بيانات محطة بير عريضة للأرصاد الجوية ..... 103

## قائمة الأشكال

- شكل 1: موقع موقع المشروع في المنطقة الساحلية بين جبال البحر الأحمر وخليج السويس. 1
- شكل 2: محطات الطقس الأقرب لموقع المشروع 4
- شكل 3: موقع موقع المشروع 5
- شكل 4: خريطة توضح موقع وتشكل الأحواض الثلاثة التي ينتمي إليها موقع المشروع، حيث يتقاطع معها العديد من خطوط الصرف لتلك الأحواض الثلاثة 9
- شكل 5: التضاريس السطحية للمنطقة 10
- شكل 6: فئات الارتفاع في منطقة الدراسة 11



- شكل 7: نمط انحدار سطح المنطقة 13
- شكل 8: أنماط الانحدار لمنطقة الدراسة 13
- شكل 9: اتجاه المنحدرات السطحية للحوض 15
- شكل 10: توزيع شدة اتجاهات الانحدار في المنطقة 15
- شكل 11: صورة أرضية من الأقمار الصناعية توضح موقع موقع المشروع. 16
- شكل 12: خريطة جيولوجية إقليمية للمنطقة معدلة من الخريطة الجيولوجية لمصر 17
- شكل 13: الرواسب الرباعية شائعة على سطح الأرض لمنطقة المشروع وجميع المناطق المحيطة. 17
- شكل 14: توزيع المدرجات النهرية (1T، 2T) على امتداد منطقة المشروع بالكامل. 18
- شكل 15: المدرجات المكشوفة (1T، 2T؛ أ) في الجزء الجنوبي الغربي، ب) في الجزء الأوسط. 19
- شكل 16: الشرفة المكشوفة 2T و 3T في موقع المشروع. 19
- شكل 17: المدرج المكشوف 2T و 3T في موقع المشروع. 20
- شكل 18: ترسب تكوين المدرج 3T على طول مجرى وادي أبو حد شمال موقع المشروع. 21
- شكل 19: تكوين المدرج 3T البعيدة عن الشرق من موقع المشروع. 21
- شكل 20: المتوسطات السنوية للأمطار المتوقعة على الأحواض المدروسة خلال الفترة (2015-2021) 24
- شكل 21: التغير السنوي في كمية الأمطار المتوقع سقوطها على مستجمعات المياه في الأحواض المدروسة. 24
- شكل 22: التغيرات المكانية والزمنية في كمية الأمطار المتوقعة على حوض وادي عربية خلال الفترة (2015-2021) 26
- شكل 23: التغير الشهري في مساحة التساقط المتوقعة خلال الفترة (2015-2021) 27
- شكل 24: متوسط التساقط الموسمي المتوقع على منطقة الدراسة خلال الفترة (2015-2021) 28
- شكل 25: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2015 على المنطقة. 31
- شكل 26: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2016 على المنطقة. 32
- شكل 27: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2017 على المنطقة. 33
- شكل 28: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2018 على المنطقة. 34
- شكل 29: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2019 على المنطقة. 35
- شكل 30: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2020 على المنطقة. 36
- شكل 31: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2121 على المنطقة. 37
- شكل 32: محطات الطقس قريبة من حوض المنطقة 38
- شكل 33: احتمالية شدة سقوط المطر 44
- شكل 34: الفترات التي تم إرجاعها لأقصى شدة لسقوط الأمطار. 45
- شكل 35: موقع الموقع 46
- شكل 36: شبكة الصرف في المنطقة 53

- شكل 37: احتمالية حدوث فيضانات في منطقة البحر الأحمر بناءً على السجل التاريخي للفيضانات السريعة. 64
- شكل 38: أهم أحواض الصرف القريبة من موقع المشروع. 72
- شكل 39: التصميم المقترح للموقع 74
- شكل 40: جزء من روافد وادي الدرب في الجزء الشمالي الغربي من الموقع. 75
- شكل 41: فرق الارتفاع بين أرضية خطوط الصرف والمناطق المرتفعة التالية حيث توجد التوربينات. 76
- شكل 42: فرق الارتفاع بين أرضية خطوط الصرف والمناطق المرتفعة التالية حيث توجد التوربينات. 76
- شكل 43: فرق الارتفاع بين أرضية خطوط الصرف والمناطق المرتفعة التالية حيث توجد التوربينات 8T و 9T. لاحظ أن الفرق يتراوح بين 0.5 و 1 متر شرق الموقع. 77
- شكل 44: موقع 10T و 11T و 2VP في منطقة مرتفعة يبلغ ارتفاعها حوالي 1.5 متر من منطقة مستوية عريضة إلى SE. 78
- شكل 45: المنطقة التي توجد بها التوربينات من 13T إلى 18T. لاحظ خطوط الصرف الضعيفة جدًا دون أي علامة على الجريان السطحي الشديد. 78
- شكل 46: خطوط الصرف لحوض وادي كريم. الصرف واسع للغاية وضحل. 79
- شكل 47: الجزء الجنوبي من الموقع حيث توجد التوربينات 32T و 21T و 4VP. 79
- شكل 48: الجزء الشمالي الشرقي من الموقع حيث توجد التوربينات 5T و 6T و 7T. 80
- شكل 49: جزء من التيار الرئيسي لوادي أبو حد الذي يواجه موقع المشروع. 81
- شكل 50: عبوات (شوال) مملوءة بالرمل والحصى مكدسة فوق بعضها البعض مكونة جدار بارتفاع 1.5 متر لحماية الأبراج. 82
- شكل 51: تدابير التخفيف لحماية برج خط الكهرباء الذي يعمل NNE-SSW إلى الشرق من الموقع. 82
- شكل 52: إنشاء سد مقاومة المياه والتخزين على طول طريق غريب - الشيخ فضل عند الكيلو 8. 83
- شكل 53: تُظهر الصور الميدانية الحاجز المائي عند الكيلومتر 8 والقنوات المرتبطة به. 83
- شكل 54: سياج من الحجر والخرسانة لحماية محطة توليد الكهرباء. 84
- شكل 55: سياج من الحجر والخرسانة في قاعدة الأبراج ذات الجهد العالي لحمايتها من الجريان السطحي. 84
- شكل 56: أقيمت حاجز دام وبحيرتها الاصطناعية عند الإضاءة الخارجية بوادي الدرب 85
- شكل 57: السد الأول غرب وادي الحواشية. (إحداثيات: خط العرض: 28 ° 55.10'27" شمالاً، طول: 45°32'14.74" جنوباً) 87
- شكل 58: السد الثاني غربي وادي الحواشية (إحداثيات: خط العرض: 28 ° 52.50'27" شمالاً، طول: 48°32'57.61" جنوباً) 88
- شكل 59: السد الثالث غرب وادي الحواشية (لات: 28 ° 22.23'29" شمالاً، طول: 32 ° 33.9'52" شرقاً) 88

جدول 1: مؤشرات الأرصاد الجوية خلال الفترة 1971-2000 بالغردقة، أقرب محطة أرصاد جوية إلى رأس غارب (صالح وآخرون، 2021).	5
جدول 2: قيم درجة الحرارة وسرعة الرياح ومعدل التساقط والضغط عند مستوى سطح البحر خلال أشهر 2016 كما هو مسجل بمحطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي (صالح، 2021).	6
جدول 3: السجلات التاريخية للفيضانات على طول المناطق الساحلية للبحر الأحمر.	7
جدول 4: فئات مستوى المنطقة.	10
جدول 5: درجة انحدار السطح الرئيسي.	12
جدول 6: اتجاهات الانحدار في منطقة الدراسة.	14
جدول 7: التغير السنوي في هطول الأمطار المتوقع أن يسقط على حوض منطقة الدراسة خلال الفترة (2015 - 2021).	23
جدول 8: المتوسطات الشهرية المتوقعة لهطول الأمطار في المنطقة خلال الفترة (2015-2021).	27
جدول 9: المتوسطات الموسمية المحتملة لهطول الأمطار على المنطقة خلال الفترة (2015-2021).	28
جدول 10: متوسط هطول الأمطار لأكبر كمية متوقعة من الأمطار شهريًا خلال الفترة (2015-2021).	29
جدول 11: متوسط التساقط السنوي والشهري المحسوب في منطقة الدراسة خلال الفترة (2015-2021).	30
جدول 12: السجلات الشهرية لبيانات سقوط الأمطار خلال آخر 6 سنوات لمحطة بير عريضة.	39
جدول 13: السجلات الشهرية لبيانات سقوط الأمطار خلال آخر 6 سنوات لمحطة السويس.	40
جدول 14: معدل هطول الأمطار المتوقع مقارنة بأعماق الأمطار الفعلية خلال الفترة (2016 إلى 2021).	41
جدول 15: أعادت البيانات المحسوبة للعاصفة المطيرة الاحتمال.	42
جدول 16: يمكن الحصول على أقصى قدر من مياه الأمطار في يوم واحد.	43
جدول 17: المعلومات الشكلية للأحواض التسعة المدروسة التي تعبر موقع المشروع.	47
جدول 18: معلومات شبكة الصرف.	52
جدول 19: درجات كثافة الصرف (Strahler، Morisawa & 1957، 1985).	54
جدول 20: تصنيف نسبة النسيج (سميث، 1950).	55
جدول 21: المتغيرات الهيدرولوجية للأحواض المدروسة. (يتم حساب المعلومات تلقائيًا بواسطة برنامج ARC-GIS).	56
جدول 22: حجم التسرب في رواسب التربة.	59
جدول 23: معاملات الفيضان لأحواض البحر الأحمر مقسمة إلى أربعة مستويات (L1 إلى L4).	63
جدول 24: حدود ومستويات المخاطر للمعايير الخمسة المختارة وفقًا لأحواض البحر الأحمر بأكملها.	65
جدول 25: حدود ومستويات المخاطر للأحواض الثلاثة المدروسة.	65
جدول 26: شدة النسبة المئوية للمعلومات الخمسة المختارة على الأحواض التسعة.	65
جدول 27: مستوى فئة الشدة للأحواض المدروسة الثلاثة.	67
جدول 28: مصفوفة مخاطر الفيضانات المفاجئة التي يمكن توقعها في ثلاثة أحواض مدروسة.	67
جدول 29: درجة مخاطر الفيضانات لثلاثة أحواض مدروسة.	68

## ملخص تنفيذي

يقيم هذا التقرير مخاطر الفيضانات المتوقعة داخل موقع المشروع أثناء أحداث العواصف الممطرة. استخدم التقييم نماذج متكاملة مبنية على الخصائص الفيزيائية للمنطقة والظروف المناخية السائدة ومراعاة ظاهرة الديدان العالمية وتأثيرها المتوقع في المستقبل وخاصة الزيادة غير المتوقعة في كثافة هطول الأمطار. تم تحديد مدى الجريان السطحي الذي يمر مباشرة عبر خطوط الصرف الصحي التي تعبر الموقع والأماكن شديدة الخطورة داخل الموقع. تم وضع اقتراحات للتغلب على الآثار السلبية للفيضانات والتخفيف من حدتها وحماية المرافق والأشخاص في حالة هطول الأمطار الغزيرة.

تضمنت بيانات المدخلات المستخدمة لتطوير النموذج / النماذج البيانات المنشورة من مصادر مختلفة، وبيانات هطول الأمطار المسجلة خلال الفترة (2016 - 2021) من أقرب محطات الأرصاد الجوية، وصور الأقمار الصناعية المناخية للمنطقة التي تناولت الفترة (2015 - 2021)، القمر الصناعي SRTM صور لمنطقة المشروع والعديد من الزيارات / الملاحظات الميدانية.

استخدم برنامج ARC-GIS لتصميم نماذج تقييم مخاطر الفيضانات بناءً على التحليلات الشكلية لأحواض الصرف والتحليل المرئي للأقمار الصناعية وبيانات هطول الأمطار وبيانات شدة سقوط الأمطار القصوى المسجلة في يوم واحد في المنطقة.

تم تحديد شدة واحتمالية الفيضانات المتوقعة بناءً على نهجين مختلفين. تضمن الأول تحديد شدة واحتمالية الفيضانات المتوقعة في أحواض الصرف العابرة لموقع المشروع مقارنة بجميع أحواض البحر الأحمر وخليج السويس، بينما تم مقارنة الثاني بين أحواض الصرف العابرة للموقع والأحواض المجاورة ذات الظروف المماثلة.

نفذ التحقق من صحة / تأكيد نتائج النماذج التي وضعت خلال الزيارات الميدانية التي أجريت يوم الاثنين 15 مايو، 2023 لمراقبة المواقع التي تظهر آثار / بقايا الظواهر الطبيعية، ومؤشرات شدة هطول الأمطار، وحوادث الفيضانات، ومدى قدرة هذه الفيضانات، وتأثيرها على البيئة المحيطة وتدابير التخفيف المقترحة على الأرض.

كشفت تحليلات صور الأقمار الصناعية المناخية عن زيادة في معدل التغير في متوسط هطول الأمطار المتوقع على منطقة الدراسة نتيجة الزيادة في معدلات ممرات العواصف المطيرة القوية في المنطقة (والتي يمكن أن تكون نتيجة لتغير المناخ). تتركز التراكبات الغزيرة للسحب المسببة للأمطار في الأجزاء الوسطى والشرقية من منطقة الدراسة. يرتبط حدوث السيول الغزيرة في مخارج أحواض الصرف إلى حد كبير بكميات السحب المتراكمة والأمطار التي تهطل على المناطق المرتفعة في أقصى غرب وجنوب غرب المنطقة (سلسلة جبال البحر الأحمر).

وبحسب التقييم، فإن هطول الأمطار داخل موقع المشروع لا يواجه أمطار غزيرة، وبالتالي لا توجد مخاطر على مرافق الموقع. وذلك لأن موقع المشروع يقع بين الأحواض الثلاثة المدروسة وبعيداً عن مخارج الأحواض الثلاثة.

وضع نموذج العاصفة المطيرة بناءً على هطول الأمطار المسجل لمدة 6 سنوات (2016 - 2021) في السويس وبئر عريضة. من المهم أن نلاحظ أنه في أكتوبر 2016 عندما استقبلت منطقة الدراسة هطول أمطار غزيرة وما ترتب على ذلك من فيضانات قوية، تم تسجيل هطول الأمطار في محطة بئر عريضة (إلى الشمال الغربي بحوالي 120 كم من الموقع) ومحطات السويس (إلى الشمال). بحوالي 200 كم من الموقع) كانت 3.4 و0.8 مم على التوالي. في عام 2020 عندما سجلت المحطتان السابقتان أعماق أمطار 9 و25.4 مم على التوالي، لم تواجه منطقة الدراسة أي فيضانات خطيرة.

قام الاستشاري بحساب ظاهرة الاحتباس الحراري في حساب العواصف المطيرة، وفترات العودة بحلول؛ 1) زيادة كمية هطول الأمطار المسجلة بحوالي 25%، و2) إجراء الحساب على أساس أعماق هطول الأمطار القصوى المسجلة في يوم واحد في المحطتين (مارس 2020) بدلاً من القيمة المسجلة أثناء حدوث الفيضانات. (أكتوبر 2016). من المتوقع حدوث عواصف مطيرة تبلغ 1.21 و3.69 و6.88 و13 و19.6 و28.4 مم مع فترات العودة من 2 و5 و10 و25 و50 و100 سنة على التوالي. يمكن أن تعود العاصفة الممطرة التي سجلت بمقدار 9 مم في بئر عريضة و25.4 مم في محطة السويس في فترة حوالي 55 عامًا. يمكن أن تعود العاصفة الممطرة التي سجلت أثناء حدوث الفيضانات في منطقة الدراسة في بئر عريضة (3.4 مم) خلال 5 سنوات.

بعد كارثة فيضان عام 2016 على منطقة الدراسة، تم تطبيق عدد من الإجراءات الوقائية / التخفيفية على طول أحواض الصرف الخطرة في المنطقة مثل إنشاء ثلاثة سدود متتالية على طول المجرى الرئيسي لوادي الحواشية، مجموعة من السدود المتتالية. سدود مع تبطين الطريق ووضع عدة قنوات تحتها لمنع تدفق المياه فوق الطريق على طول وادي أبو حد، وسد بحيرة اصطناعية عند مصب وادي الدرب، وإنشاء أسوار خرسانية من 1 إلى 1.5 متر لحماية القائمة. مرافق في الروافد تغذي التيار الرئيسي من الجريان السطحي على طول وادي أبو حد.

نجحت جميع وسائل التخفيف المذكورة أعلاه إلى حد كبير في إنقاذ مدن المصب (رأس غارب) والبنية التحتية (الطرق الإسفلتية ومحطات الطاقة وأبراج الطاقة والاتصالات) من مخاطر الفيضانات والتدفق السطحي القوي على طول خطوط الصرف الموزعة في الأجزاء الوسطى والمنبع. من أحواض الصرف.

تم تنفيذ نموذج مخاطر الفيضانات بناءً على التحليلات الشكلية لحوالي 38 معلمة من ثلاثة أحواض تمت دراستها باستخدام صور SRTM التي تمت معالجتها عن طريق ARC-GIS، مع الأخذ في الاعتبار الفيضانات التاريخية المسجلة في المنطقة.

أدت الشدة المتوقعة واحتمالية حدوث فيضانات خطيرة في الأحواض الثلاثة المدروسة المحسوبة لمنطقة أحواض البحر الأحمر وخليج السويس إلى انخفاض شدة مخاطر الفيضانات. أيضًا، عند حساب شدة الفيضان للأحواض الثلاثة وفقًا للمعايير الشكلية لمنطقة المشروع الأكثر ضيقًا، وجد أن التدفق السطحي في حوضي وادي كريم والدرب ذو مخاطر متوسطة على طول خطوط الصرف التي تعبر موقع المشروع وفي فئة الجريان السطحي منخفض الخطورة في حوض وادي أبو خشبة. نتائج النموذج معقولة لأنها تتماشى مع معظم الدراسات السابقة التي أجريت على أحواض الصرف في المنطقة.

كشفت زيارات التحقق / التأكيد المكثفة التي تم إجراؤها على الموقع أن الموقع يتميز بخطوط تصريف ضحلة وواسعة (تصريف جميع الأمطار) في وادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة. ومع ذلك، تكون مواقع التوربينات في مناطق مرتفعة، بعيدًا عن أي خطوط صرف. لذلك تعتبر هذه المناطق آمنة من الفيضانات، بغض النظر عن شدة الجريان السطحي. لا توجد مؤشرات على الأرض تدل على وجود تدفق سطحي شديد، حتى في التيارات الرئيسية لخطوط الصرف. لم تكن هناك علامات على أي تأثير خطير (مثل التعرية الشديدة في الطرق المعبدة على طول الموقع) نتيجة موسم الأمطار هذا العام.

ومن أهم توصيات الدراسة ما يلي:

1. حماية الموقع والتوربينات والأبراج: تعتبر التوربينات وVPs في الموقع آمنة وبعيدة عن المناطق المتوقعة للجريان السطحي (خطوط الصرف) أثناء العواصف المطيرة الشديدة. وفقًا لمواقع التوربينات، والتي يتم وضعها في الغالب في مواقع مرتفعة، فإنها تعتبر محمية بشكل طبيعي.
2. الوصول إلى الموقع للطرق الممهدة أو الأسفلتية: أما بالنسبة لحماية طرق الوصول إلى الموقع، فإن خطوط الصرف التي قد يحدث فيها الجريان السطحي واسعة للغاية وضحلة تعكس كثافة الجريان الضعيفة إلى المتوسطة، ولا تتركز في مسارات ضيقة ومحددة. لذلك، فإن التأثيرات على طرق الوصول الممهدة والأسفلتية داخل الموقع ليست كبيرة حيث لا يوجد دليل على الانجرافات العنيفة في مسارات الطرق المتقاطعة مع خطوط الصرف. لذلك، في بعض الأماكن، يمكن وضع قنوات إسمنتية بسيطة بقطر متر واحد على الأكثر أسفل الطريق التي تعبر هذه الوديان في أماكن محددة لاستيعاب التدفق السطحي ومنع تدفقه إلى أعلى الطريق.
3. الكابلات الكهربائية: يجب دفن الكابلات تحت الأرض على عمق متر واحد، مع اتخاذ تدابير للحماية من تسرب المياه الجوفية من خلال ضمان تركيب عزل مناسب على جميع الكابلات الأرضية.



## 1. مقدمة

يقع موقع المشروع في منطقة رأس غارب على خليج السويس بحوالي 18 كم غرب المدينة. هذه المنطقة جزء من الشريط الساحلي الذي يعمل كحاجز بين سلسلة جبال البحر الأحمر إلى الغرب والمجاري المائية للبحر الأحمر وخليج السويس (راجع الشكل 1). وهي تتميز بطبقات من الرواسب البطينية، ناتجة عن تآكل الصخور المكشوفة في سلسلة الجبال والعوامل الجوية التي تنتقل عن طريق هطول الأمطار في المقام الأول. تمتد المنطقة حوالي 35 كم من ساحل الخليج إلى السفوح الغربية، وتتحدر تدريجياً باتجاه الشرق بمعدل أبطأ مقارنة بالتضاريس الجبلية.

نظراً للتكوين الكتل للرواسب التي تغطي هذه المنطقة والاختلاف الكبير في الارتفاع بين هذه المنطقة والمناطق الجبلية في الغرب، إلى جانب الطبيعة غير المنفذة للصخور التي تتكون منها سلاسل الجبال، تميل مياه الأمطار إلى التراكم في أحواض عديدة. يؤدي هذا التراكم إلى الجريان السطحي، مكوناً العديد من الأودية التي تتدفق باتجاه خليج السويس والبحر الأحمر. تتأثر شدة الجريان السطحي بعدة عوامل، منها حجم حوض الصرف، وطول الوادي، وتدرج المنحدر، وخصائص الصخور والرواسب، وشدة هطول الأمطار. في بعض الأحواض والأودية، يمكن أن يتطور هذا التدفق إلى فيضانات شديدة تُعرف بالفيضانات السريعة، مما يشكل مخاطر كبيرة لكل من الحياة والبنية التحتية الموجودة على طول مجرى هذه الأودية أو في منافذها



شكل 1: مكان موقع المشروع في المنطقة الساحلية بين جبال البحر الأحمر وخليج السويس<sup>1</sup>.

يوجد في المنطقة المحيطة بموقع المشروع العديد من الأودية الجافة التي تمثل أحواض تصريف مختلفة في الخصائص الطبيعية والشكلية، مما أدى إلى تباين في شدة الفيضانات التي تحدث أثناء العواصف الممطرة (الشكل 1). وادي الحواشية ووادي أبو حد ووادي الدرب من أخطر الوديان في المنطقة، حيث تم تسجيل العديد من أحداث الفيضانات في هذه الأودية، مما دفع الحكومة إلى إنشاء العديد من التطبيقات والإجراءات للتخفيف من مخاطر الفيضانات. قامت الحكومة ببناء ثلاثة سدود متتالية ببحيرة صناعية على طول وادي الحواشية، وسد واحد على طرف وادي الدرب، وتبطين الطريق الأسفلتي المار بوادي أبو حد، مع إنشاء العديد من قنوات التحويل لحماية الطريق في العديد من المواقع.

<sup>1</sup> لاحظ خطوط الصرف العديدة التي تصل إلى مياه الخليج التي تعبر المنطقة بأكملها وأكثر التصريف وضوحاً هو وادي الحواشية ووادي أبو حد ووادي الدرب.

. حماية أبراج الاتصالات والكهرباء من التدفق السطحي وذلك بإنشاء سياج خرساني حول قواعدها. نظرا لوجود هذه الوديان والفيضانات الخطيرة التي تم تسجيلها في المنطقة، فقد تم إجراء دراسة تفصيلية لتقييم مخاطر الفيضانات المتوقعة في موقع المشروع، مع الأخذ في الاعتبار نتائج التغيرات المناخية العالمية.

## 2. نطاق العمل

الهدف الأساسي من هذا التقرير هو إجراء دراسة شاملة عن الفيضانات المتوقعة داخل منطقة المشروع أثناء العواصف المطيرة. الهدف هو تقييم مستوى المخاطر المرتبطة بالجريان السطحي الذي يمر مباشرة عبر موقع المشروع عبر خطوط الصرف الصحي المتقاطعة معه. علاوة على ذلك، من الضروري تحديد المناطق عالية الخطورة داخل الموقع. سيقدم التقرير توصيات واستراتيجيات للتخفيف من الآثار السلبية للفيضانات، وحماية البنية التحتية والسكان في حالة حدوث مثل هذه الحوادث. سيتم تطوير نموذج لتقييم مخاطر الفيضانات من خلال النظر في الخصائص الطبيعية للمنطقة، والظروف المناخية السائدة خلال الدورة المناخية الحالية، وحساب التغيرات المناخية الديناميكية وتأثيراتها الناتجة، لا سيما التصعيد غير المتوقع في كثافة هطول الأمطار.

في إجراء التقييم، قام الاستشاري بالأنشطة التالية:

أ. مراجعة الأعمال والدراسات السابقة: جمع ومراجعة المقالات المنشورة المتاحة والتقارير الداخلية ... إلخ داخل المنطقة، حول المناخ، والأمطار، وما إلى ذلك، وسجلات الفيضانات المفاجئة.

ب. التحليل البصري للقمر الصناعي لبعثة الرادار المكون: توفر تصورات الأقمار الصناعية وسيلة مناسبة لتقدير كميات الأمطار التي تهطل في أي مكان على سطح الأرض من خلال تتبع صور الأقمار الصناعية، وخاصة الأقمار الصناعية المناخية. وهذا يساعد في رصد الظواهر المناخية المختلفة بما في ذلك ظاهرة المطر. لذلك بالإضافة إلى سجلات 6 سنوات التي سيتم جمعها من محطات الطقس النشطة في المنطقة (السويس وبر عريضة)، سيتم استخراج بيانات هطول الأمطار من صور الأقمار الصناعية المناخية عن طريق النماذج المحايدة للشبكات.

يسمح تحليل صور الأقمار الصناعية المناخية بالحصول على بيانات لعناصر مختلفة مثل المطر، حيث توفر المصادر بيانات وقياسات كمية المطر على أساس يومي وأسبوعي وشهري وسنوي. يتم استخدام هذه البيانات بعد استخراجها لتتبع حركة العواصف المطيرة ورسم مخطط هيدروغرافي للمطر، وكذلك إمكانية تحديد كل من حجم المطر وشدة المطر وفقاً للمعادلات الرياضية. يعتمد هذا النموذج على حساب هطول الأمطار باستخدام بيانات الأشعة تحت الحمراء GridSat-B1 وتعديلها باستخدام منتج بيانات المناخ العالمي الشهري. تتم عملية الاستخراج من خلال الخطوات التالية:

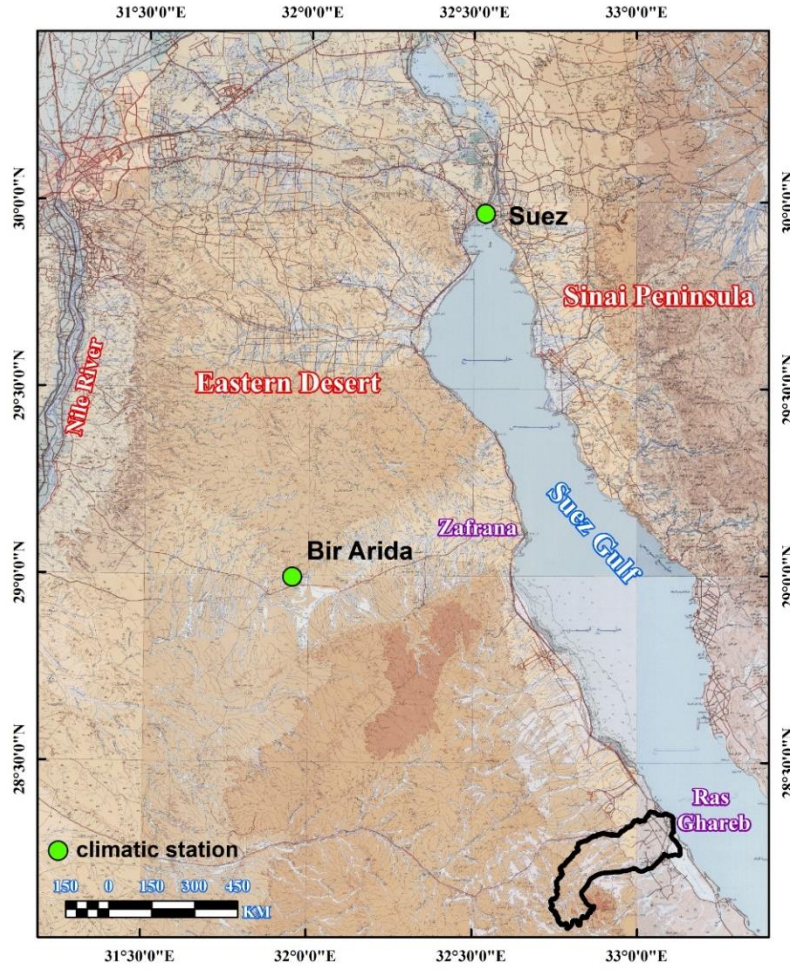
- تنزيل بيانات الأقمار الصناعية المناخية للسنوات العشر الماضية
- تم تحقيق رصد المطر وتتبعه في المنطقة من خلال استخدام الصور الساتلية الضغط الإدراكي الديكارتي (CPC) والإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA). يتم تضمين الإجراءات التالية:
  - جمع بيانات معدل هطول الأمطار الشهرية لفترة الدراسة وعمل خرائط مقابلة توضح كمية الأمطار لكل شهر.
  - تتبع العواصف المطيرة الشديدة التي تشهدها المنطقة من خلال تحليل عمق وشدة كل عاصفة.
  - الاستفادة من البيانات التي تم جمعها لتحديد فترات احتمالية وتكرار حدوث العواصف المطيرة الشديدة.
  - تقدير الحجم المحتمل للعواصف المطيرة في المستقبل.
  - توليد مخططات هيدروليكية لتصوير قيم الصرف الهيدروليكي داخل الحوض.
  - حساب العوامل الهيدرولوجية للأحواض وتحديد الميزانية المائية للأودية، بما في ذلك تقييم مخاطرها المحتملة.

ت. بيانات مقاييس المستوى المثبتة: جمع الأمطار الحقيقية خلال الفترة (2016 - 2021) لمحطتي السويس وبئر عريضة من الهيئة العامة للأرصاد.

يمثل السجل المتكامل لتاريخ هطول الأمطار مساحة موقع المشروع التي تم جمعها من محطتين للأرصاد الجوية: محطة بئر عريضة الواقعة على طريق الكريمت الزعفرانة ومحطة السويس. في حين أن المحطة الثالثة، وهي محطة سان أنطونيو تقع أيضاً بالقرب من موقع المشروع، فقد تم إيقافها منذ عام 1986. لذلك، تم الاعتماد على محطتي السويس وبئر عريضة كأقرب محطتين للأرصاد الجوية للمنطقة (شكل 2). البيانات التي تم الحصول عليها من الهيئة العامة للأرصاد الجوية تمثل سجلات 6 سنوات الماضية من السويس وبئر محطات العريضة فيما يتعلق بمعايير هطول الأمطار التالية للأشهر الستة الممطرة (يناير، فبراير، مارس، أبريل، أكتوبر، نوفمبر، ديسمبر):

- عدد الأيام الممطرة
- شدة هطول الأمطار
- غمر





شكل 2: محطات الطقس الأقرب لموقع المشروع

ث. أجرى التحليل الطبوغرافي والمورفومتري لأحواض الصرف في المنطقة بناءً على مهمة طبوغرافيا الرادار المكون (SRTM) / نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لصور الأقمار الصناعية لمنطقة مصر، باستخدام برنامج ARC-GIS، والحد الأقصى لسقوط الأمطار بيانات الشدة المسجلة في المنطقة. ثم تم تحديد شدة واحتمالية الفيضانات المتوقعة.

ج. زيارة ميدانية للتحقق من وجود أي ظواهر طبيعية في المنطقة تدل على كثافة الأمطار وأماكن حدوث الفيضانات ومدى قدرة هذه الفيضانات وتأثيرها على البيئة المحيطة. أيضاً، للتحقق من صحة جميع النماذج المعالجة وتدابير التخفيف المقترحة على الأرض.

ح. نموذج تقييم مخاطر الفيضانات: تم تنفيذ النموذج باستخدام مدخلات من التحليل المرئي للأقمار الصناعية للبيانات المناخية، وبيانات هطول الأمطار الحقيقية التي تم جمعها من محطتي الأرصاد الجوية بالسويس وبيبر عريضة، والتحليل المورفومتري لـ SRTM.

#### 4. الموقع

يقع موقع المشروع على الضفة الغربية لخليج السويس بحوالي 155 كم شمال الغردقة. أقرب المستوطنات للموقع هي مدينة رأس غارب من الشرق بحوالي 18 كم، حيث تقع مدينة الزعفرانة على بعد حوالي 120 كم شمال الموقع (شكل 3). تبلغ مساحة الموقع المتاح حوالي 80 كم<sup>2</sup> على ارتفاع حوالي 450 م (amsl). تمتد الجبال المرتفعة في الطرف الشمالي من البحر الأحمر في شمال غرب وجنوب شرق على مسافة حوالي 8 كيلومترات إلى الحد الغربي لموقع المشروع على ارتفاع حوالي 1100 متر (amsl).



شكل 3: مكان موقع المشروع

## 5. مناخ

مناخ منطقة رأس غارب شبه جاف، حار جاف صيفاً، شتاء معتدل وسقوط أمطار قليلة جداً (صلاح وآخرون، 2021). تم جمع البيانات المناخية في هذه الدراسة من هيئة الأرصاد الجوية العالمية ومن محطة أرصاد مطار الغردقة (أقرب محطة أرصاد جوية إلى رأس غارب).

### 5.1 درجة حرارة

تم تسجيل متوسط درجة الحرارة القصوى على مدى 30 عامًا (1971-2000) على أنه 46 درجة مئوية، بمتوسط درجة حرارة قصوى يبلغ 27.0 درجة مئوية. بالإضافة إلى ذلك، تم توثيق متوسط درجة الحرارة الدنيا على أنها 18.74 درجة مئوية (الجدول 1).

جدول 1: مؤشرات الأرصاد الجوية خلال الفترة 1971-2000 بالغردقة، أقرب محطة أرصاد جوية إلى رأس غارب (صلاح وآخرون، 2021).

شهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل السنوي
المعدل أعلى درجة حرارة بالسليزيوس	30	32	35	40	43	46	44	42	43	43	35	32	46
الحد الأدنى لدرجة الحرارة بالسليزيوس	11	11.4	14	17.8	21.9	24.8	26.4	26.2	24.2	20.9	16.6	12.5	18.74
معدل هطول الأمطار (مم)	0.4	0.02	0.3	1	0.04	0	0	0	0	0.6	2	0.9	5.26

46.67	51	51	53	48	46	45	41	42	43	46	46	48	معدل الرطوبة النسبية (%)
3844	279	270	310	330	372	403	360	341	300	310	290	279	شروق الشمس هس

كان نطاق درجة الحرارة 7 درجات مئوية خلال شهر يناير و46 درجة مئوية في مايو 2016 وكان متوسط درجة الحرارة الشهرية 26 درجة مئوية (الجدول 2). بلغ متوسط درجات الحرارة المرتفعة 26 درجة مئوية، بينما كان متوسط درجات الحرارة الصغرى 21 درجة مئوية في عام 2016. تم اختيار عام 2016 بشكل خاص لأنه كان العام الذي شهد السيول العنيفة التي ضربت رأس غارب، ونتيجة لذلك تم بناء السدود في وادي الحواشية وأبوهاد والدرب.

جدول 2: قيم درجة الحرارة وسرعة الرياح ومعدل التساقط والضغط عند مستوى سطح البحر خلال أشهر 2016 كما هو مسجل بمحطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي (صلاح، 2021).

معلمة	الحد الأقصى	معدل	دقيقة	مجموع
أقصى درجة حرارة	46 درجة مئوية	32 درجة مئوية	17 درجة مئوية	
درجة الحرارة المتوسطة	32 درجة مئوية	21 درجة مئوية	7 درجة مئوية	
درجة حرارة دقيقة	32 درجة مئوية	21 درجة مئوية	7 درجة مئوية	
أيام درجة التدفئة (الأساس 65)	10	1	0	199
أيام درجة التبريد (الأساس 65)	60	15	0	5561
تزايد عدد أيام الدراسة (الأساس 50)	75	30	5	10859
قطرة ندى	29 درجة مئوية	11 درجة مئوية	-22 درجة مئوية	
تساقط	40.9 مم	0.1 مم	0.0 مم	40.89 مم
سرعة الرياح	74 كم / ساعة	19 كم / لتر	-	-

## 5.2 رياح

سجلت أعلى سرعة رياح خلال عام 2016 بمحطة أرصاد الغردقة 74 كم / س بمتوسط 19 كم / س (جدول 2). الرياح السائدة التي تهب على رأس غارب بمحافظة البحر الأحمر هي الرياح الشمالية والشرقية صيفا وخريفيا أو جنوبية في الشتاء.<sup>2</sup>

## 5.3 الرطوبة النسبية

تقلب متوسط نسبة الرطوبة النسبية السنوية بين 41% و51% خلال الفترة 1971-2000 بمتوسط إجمالي 46.67% (الجدول 1). والجدير بالذكر أن رطوبة الهواء تشهد انخفاضاً كبيراً عندما تتعرض البلاد لرياح الخماسين، والتي تحدث عادةً من مارس إلى يونيو. تتميز هذه الرياح بكونها حارة وجافة ومغبرة، وغالباً ما تسبب تقلب الرمال الناعمة إلى حد يحجب الرؤية. علاوة على ذلك، خلال هذه الفترة، كانت مستويات الرطوبة منخفضة بشكل ملحوظ. غالباً ما يرتبط الانخفاض في الرطوبة بأنظمة الطقس مثل المنخفضات من البحر الأبيض المتوسط وشمال إفريقيا، أو الظروف الجوية التي تؤدي إلى عدم الاستقرار خلال فصل الربيع.

<sup>2</sup> محطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي GAENS 2009

#### 5.4 شروق الشمس

أفاد حجازي وعفت (2010) أن متوسط المدى الشهري للنسبة المئوية لساعات سطوع الشمس كان 65% إلى 70% في أشهر الشتاء و80-85% في أشهر الصيف كما هو موضح للفترة 1987-1996 في محطة الأرصاد الجوية البحرية بالسويس. كما تم ذكر أن المنطقة التي تم فحصها والتي تشمل رأس غارب ذات كثافة إشعاع شمسي عالية تتراوح من 1.900 إلى 2.600 واط / م<sup>2</sup> / سنة. كان متوسط سطوع الشمس خلال الفترة 1971-2000 بالغردقة 320.33 ساعة / شهر (الجدول 1).

#### 5.5 هطول الأمطار والتبخير

بناءً على البيانات التي تم الحصول عليها من محطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي، لوحظ أن أعلى معدل هطول للأمطار السنوي الإجمالي الشهري كان 40.89 مم خلال شهر أكتوبر 2016. في المقابل، كان متوسط هطول الأمطار في معظم شهور السنة أقل متوسط قدره 0.1 مم (الجدول 2). من ناحية أخرى، بلغ متوسط هطول الأمطار السنوي خلال الفترة 1971-2000 حوالي 2 مم / سنة (الجدول 1).

بالإضافة إلى ذلك، تم قياس معدل التبخر السنوي عند 300 مم، مع حدوث أعلى معدلات التبخر في يونيو ويوليو، كما ذكرت محطة الأرصاد الجوية البحرية بالسويس بين عامي 1987 و1996، وفي السنوات الأخيرة، كانت هناك زيادة ملحوظة في وتيرة فيضانات مفاجئة في مصر، أدت إلى خسائر في الأرواح وأضرار جسيمة. تم توثيق حدوث الفيضانات المفاجئة المدمرة بين عامي 1972 و2016، كما هو موضح في الجدول 3.

جدول 3: السجلات التاريخية للفيضانات على طول المناطق الساحلية للبحر الأحمر

تاريخ	منطقة	الأضرار المسجلة والمراجع
أكتوبر 2016	رأس غارب	مقتل العشرات وإلحاق أضرار بالبنى التحتية والممتلكات (الناظر وآخرون، 2017)
شباط 2015	سيناء، منطقة البحر الأحمر	أضرار الطرق
مايو 2014	الزعفرانة، جبل الزيت، طابا، سوهاج، أسوان، كوم أمبو سفاجا	قتل سد بمحافظة سوهاج .. أضرار الطرق جريده الوفد
2013	جنوب سيناء	2 وفيات وأضرار على الطرق
2012	وادي دهب، منطقة كاترين	انهيار السد والمنازل المدمرة
18-17 يناير 2010	على طول البحر الأحمر	معهد بحوث الموارد المائية (WRRI) - طبيعة الضرر غير معروف
أكتوبر 2004	وادي وطير	أضرار الطريق
مايو 1997	سفاجا والقصير	- المعلومات ودعم اتخاذ القرار - - مركز محافظة البحر الأحمر، 2009. - الهيئة القومية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء (NARSS) - محافظة البحر الأحمر، 1997. كانت الآثار تآكلًا وانقطاعًا في الطرق الرئيسية.
نوفمبر 1996	الغردقة ومرسى علم	
نوفمبر 1994	دهب، سوهاج، قنا، سفاجا، القصير	
أغسطس 1991	مرسى علم	- تقارير محافظة البحر الأحمر 1994.
20 أكتوبر 1990	وادي الجمال بين مرسى علم	

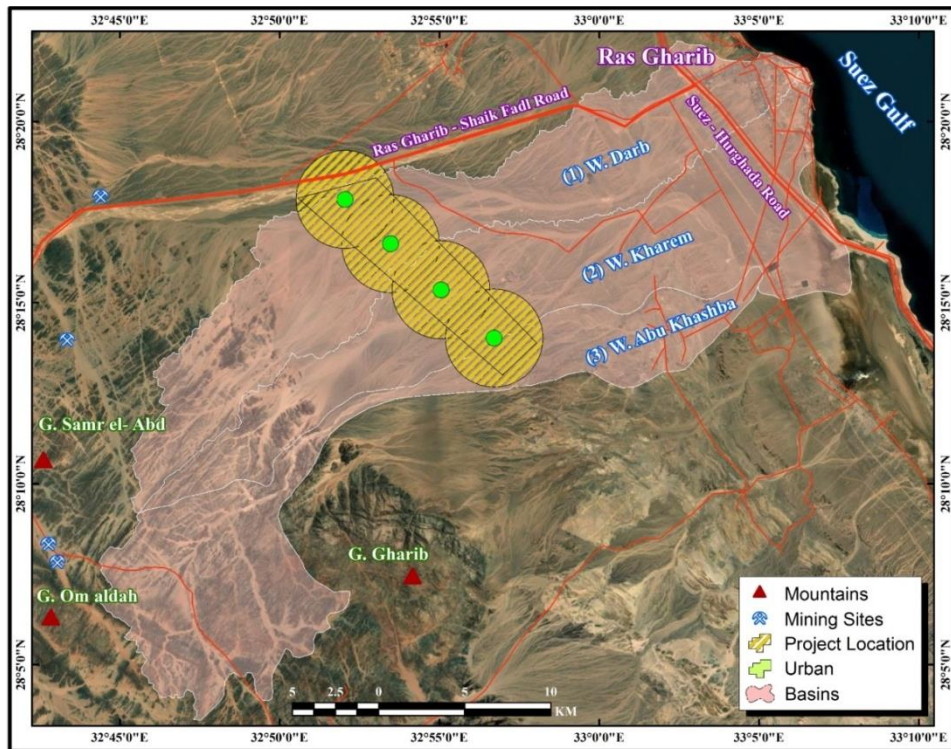


- ملف البحر الأحمر البيئي، 2008	وشلاتين	
	مرسى علم والقصير	23 أكتوبر 1979
5 وفيات	وادي السدر	يناير 1988
حالة وفاة، أضرار الطرق	جنوب سيناء	أكتوبر 1987
23 قتيلا وتدمير منازل	أسوان، كوم أمبو، إدفو، أسيوط، مرسى علم، القصير	مايو، أكتوبر 1979
20 حالة وفاة، مشاكل طرق	وادي العريش	فبراير 1975
منازل وطرق ومزارع مدمرة	الحيزة	1972

## 6. الجيومورفولوجيا والتضاريس

### 6.1 الجيومورفولوجيا

يقع المشروع في منطقة بها العديد من أحواض الصرف والأودية الجافة إلى خليج السويس في وإلى الجنوب من مدينة رأس غارب. تنتمي المنطقة إلى ثلاثة أحواض صرف، وهي حوض وادي الدرب وحوض وادي كريم ووادي أبو خشبة (الشكل 4).



شكل 4: خريطة توضح موقع وتشكل الأحواض الثلاثة التي ينتمي إليها موقع المشروع، حيث يتقاطع معها العديد من خطوط الصرف لتلك الأحواض الثلاثة

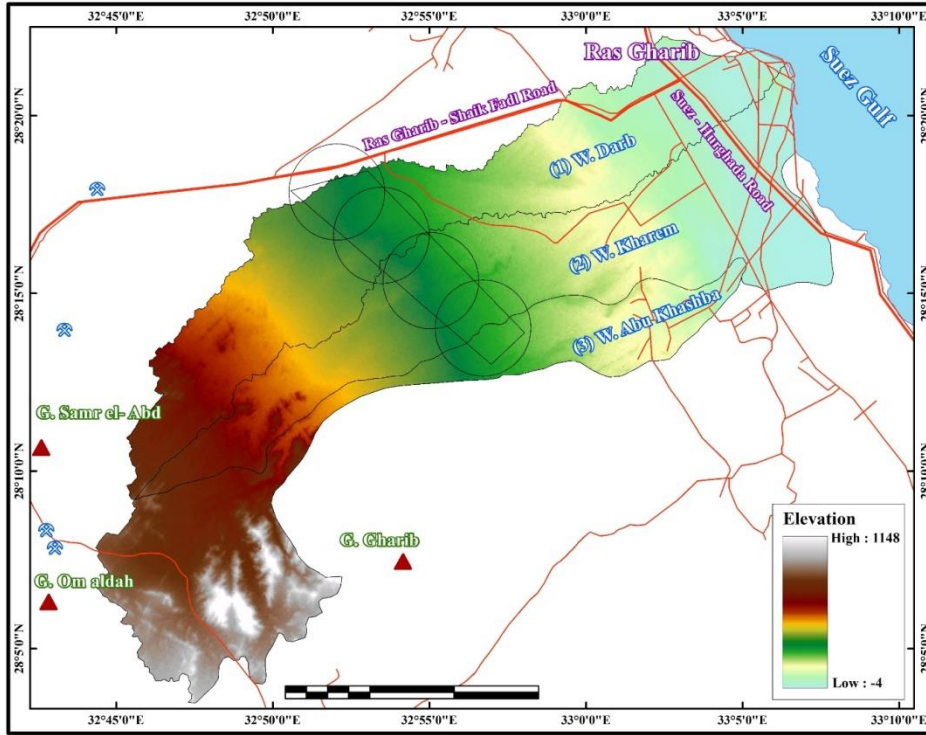
يحدها من الشمال منطقة الفجوة المائية مع حوض أبو حد، ومن الجنوب حوض وادي غريب، ومن الجنوب الغربي حوض وادي قنا، ومن الغرب حوض وادي طرفة، ومن الجنوب حوض وادي طرفة. شرقاً من خليج السويس. من الناحية الفلكية، تمتد منطقة الدراسة بين خطي عرض 20.6° 3' 28" - 29.6° 22' 28" شمالاً وخطي طول 32.7° 44' 33" شرقاً (الشكل 4).

## 6.2 الإعداد الطبوغرافي للمنطقة

يقع موقع المشروع بمنطقة رأس غارب على امتداد طريق غريب - الشيخ فضل غرب مدينة رأس غارب بحوالي 25 كم. يقع الموقع في الجزء الأوسط من ثلاثة أحواض تصريف تمتد من الشمال إلى الجنوب؛ حوض وادي الدرب وحوض وادي كريم ووادي أبو خشبة (الشكل 4). يتم شرح تنوع خصائص التضاريس جيداً في ما يلي:

### 6.2.1 نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة (DEM) استناداً إلى صور SRTM

بناءً على الخرائط الطبوغرافية للمنطقة بمقياس 1:50000 و 1:250000، نماذج الارتفاع الرقمية التي قدمتها هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (بدقة تمييزية مكانية تبلغ 30 م)، (لاندرسات 8-2022 (OLI)) صور الأقمار الصناعية، والدراسات السابقة، تم بناء نموذج الارتفاع الرقمي الخاص بـ منطقة المشروع (الشكل 5).



شكل 5: التضاريس السطحية للمنطقة

### 6.2.2 تم الحصول على البيانات الطبوغرافية من النموذج

#### 6.2.2.1 ملخص

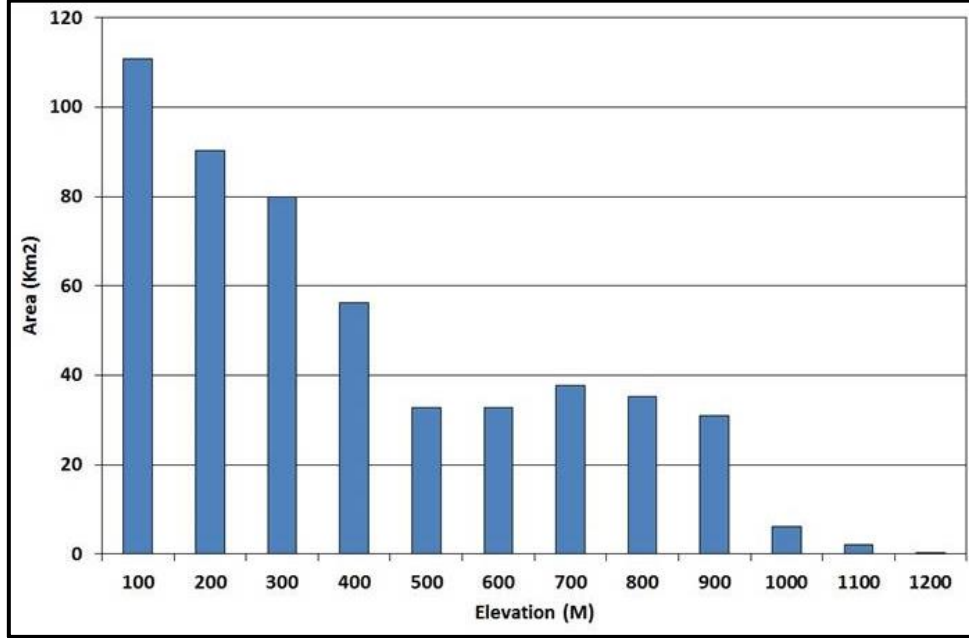
تتضمن بعض المعلومات المستمدة من النموذج ما يلي:

- يتراوح ارتفاع سطح الأرض لكامل المساحة من -4 متر جنوب شرق منطقة الدراسة في نهاية وادي الدرب في السهل الساحلي لخليج السويس، و 1148 متر حيث تقع القمم العالية شمال جنوب وادي أبو خشبة في مرتفعات جبل غريب (جدول 4 وشكل 6).
- سطح منطقة الدراسة متدرج من حيث الارتفاع من الغرب إلى الشرق كما هو الحال في منطقة البحر الأحمر وخليج السويس بشكل عام حيث ينحدر السطح من قمم الجبال في الغرب باتجاه منطقة السهل الساحلي شرقاً.
- يقدر أن حوالي 110.8 كم<sup>2</sup>، أو حوالي 21.5% من المساحة الكلية، تقع تحت مستوى 100 م. تشكل هذه المنطقة السهل الساحلي لخليج السويس وكذلك الروافد السفلية لأحواض الصرف. بينما تقع 145.6 كم<sup>2</sup> أو 28.2% من المساحة الكلية فوق مستوى 500 متر كأعلى أجزاء منطقة الدراسة، وجميعها تقع في الأجزاء الغربية من أحواض المنطقة.

جدول 4: فئات مستوى المنطقة

الارتفاعات		وادي الدرب		وادي خريم		وادي أبو خشبة	
	المساحة (كم <sup>2</sup> )	(%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	(%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	(%)	
>100	62.9	33.9	42.8	23.8	5.1	3.4	
200-100	36.7	19.8	27.2	15.2	26.3	17.4	
300-200	33.3	18	31.1	17.3	15.6	10.3	
400-300	20.8	11.2	31.8	17.7	3.7	2.4	
500-400	11.9	6.4	17.6	9.8	3.4	2.3	
600-500	11.8	6.4	16.2	9	4.9	3.2	
700-600	6.7	3.6	11.4	6.4	19.7	13.1	
800-700	1.2	0.7	1.5	0.8	32.5	21.5	
900-800					30.9	20.5	
1000-900					6.3	4.2	
1100-1000					2.2	1.5	
<1100					0.3	0.2	
المجموع	185.3	100	179.6	100	150.9	100	

- د. تغطي فئات الارتفاع من 100 إلى 200 متر حوالي 17.5% من المساحة الإجمالية، وهي الأجزاء السفلية من المنحدرات الجبلية، والتي تمثل القطاع السفلي لهذه المنحدرات.
- ه. تغطي فئات الارتفاع البالغ 200 متر أو أكثر حوالي 61.0% من المساحة الكلية للأحواض المدروسة. وتتركز هذه الفئات إلى الغرب من منطقة الدراسة حيث سلاسل جبال البحر الأحمر الشمالية.
- و. وتغطي المناطق التي يزيد ارتفاعها عن 1000 م حوالي 0.5% من مساحة المنطقة وتظهر في أقصى غرب المنطقة حيث منحدرات الكتل الجبلية الرئيسية مثل جبل غريب وأم العدا وسمر العبد.



شكل 6: فئات الارتفاع في منطقة الدراسة

#### 6.2.2.2 أنماط الانحدار السطحي للمنطقة

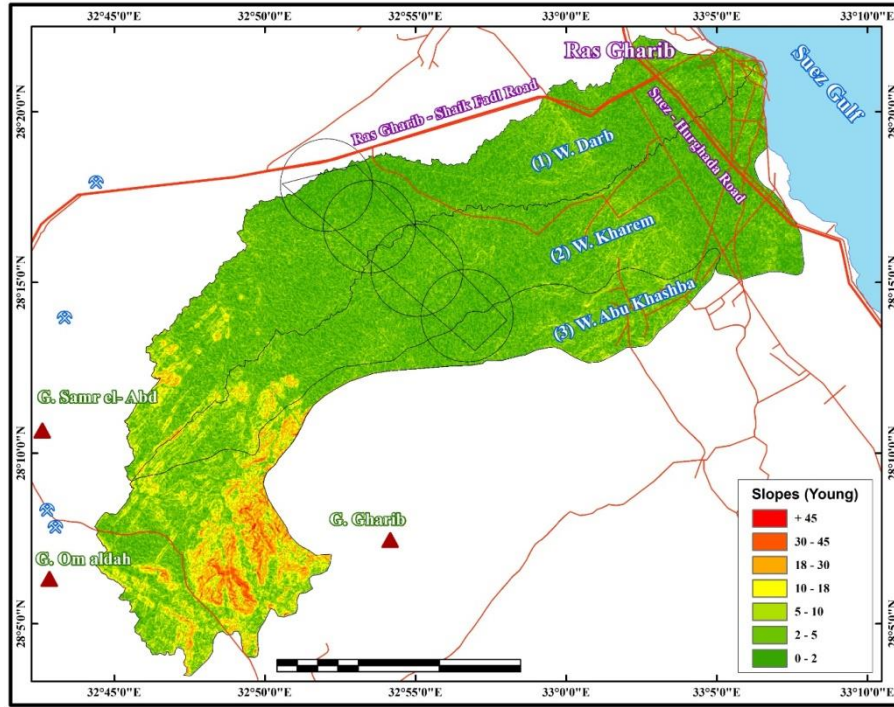
تشير أنماط الانحدار السطحي للمنطقة إلى درجة التدرج، وهي الزاوية بين السطح المنحدر لسطح الأرض والمستوى الأفقي. يقع موقع المشروع في مناطق ذات انحدار خفيف إلى فئات شبه أفقية بدرجة أقل من 2. يعد التعبير في شكل تدرج المنحدر من مكان إلى آخر مفيداً في تحليل أشكال السطح (الجدول 5 والشكلان 7 و8) على النحو التالي:



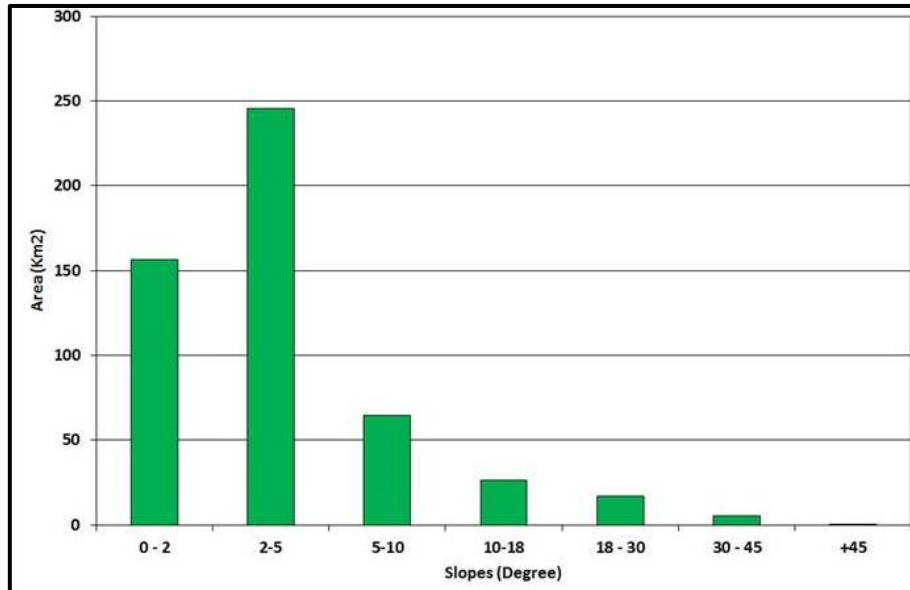
جدول 5: درجة انحدار السطح الرئيسي

وادي أبو خشبة		وادي خريم		وادي الدرب		درجة الانحدار
(%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	(%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	(%)	المساحة (كم <sup>2</sup> )	
16	24.2	35.5	65.7	37.1	66.7	2-0
37.6	56.8	52.3	96.9	51.2	91.9	5-2
21.1	31.8	9.5	17.6	8.5	15.2	10-5
13.1	19.8	1.8	3.4	1.8	3.2	18-10
9.4	14.1	0.6	1.1	0.9	1.7	30-18
2.4	3.6	0.3	0.6	0.5	0.9	45-30
0.4	0.6					45<
100	150.9	100	179.6	100	185.3	المجموع

- (a) الأراضي الأفقية وشبه الأفقية: وهي مساحات من سطح الأرض يقل ميلها عن درجتين. تغطي هذه الفئة حوالي 156.6 كم<sup>2</sup> بنسبة حوالي 30.4% من إجمالي مساحة الأحواض الثلاثة. تظهر هذه الأراضي في منطقة السهل الساحلي وأفواه الأودية الجافة وخطوط الصرف الخاصة بها أسفل حواف الجبال.
- (b) الأراضي المنحدرة بلطف: وهي تلك الأسطح التي تتراوح درجة انحدارها بين (2-5 درجات) وتغطي حوالي 245.6 كم<sup>2</sup> بنسبة 47.6% من إجمالي مساحة الأحواض الثلاثة. تظهر هذه الأراضي على شكل سهول أفقية إلى حد ما على جوانب خطوط الصرف وتغطي معظمها في غرب منطقة الدراسة.
- (c) الأراضي ذات الانحدار المتوسط: ويتراوح انحدار سطح الأرض بين (5-10 درجات) ويغطي حوالي 64.6 كم<sup>2</sup> بنسبة 12.5% من إجمالي المساحة. تظهر هذه الأراضي في الغرب حيث سفوح التلال المنقسمة إلى الشرق من المناطق المرتفعة المرتفعة.
- (d) الأراضي فوق منحدر متوسط: وتتراوح المنحدرات السطحية لهذه المناطق بين (10-18 درجة) حيث تغطي حوالي 26.4 كم<sup>2</sup> وتشكل حوالي 5.1% من إجمالي المساحة. تظهر هذه الأراضي على جوانب المرتفعات الغربية في المنطقة وعلى طول منحدرات جوانب الوديان الجافة في الجزء الغربي من المنطقة.
- (e) منحدرات شديدة الانحدار: وهي السطوح التي يتراوح انحدارها بين (18-30 درجة) وتغطي حوالي 16.98 كم<sup>2</sup> بنسبة 3.3% من المساحة الكلية. تظهر هذه الأراضي إلى الغرب وتمثل سفوح جبال البحر الأحمر.
- (f) الأراضي شديدة الانحدار: وهي الأراضي التي تتراوح درجة انحدارها بين (30-45 درجة) وتغطي حوالي 5.2 كم<sup>2</sup> بنسبة 1% من إجمالي المساحة. تظهر هذه الأراضي على جوانب قمم المرتفعات الجبلية في الغرب.
- (g) أراضي الجرف: تلك الأراضي التي يزيد انحدارها عن 45 درجة وتتمثل في مناطق قمم المرتفعات المحيطة بالمنطقة من الغرب والجنوب الغربي والتي تبلغ مساحتها 0.6 كيلومتر مربع أو 0.1% من إجمالي مساحة الثلاثة أحواض.



شكل 7: نمط انحدار سطح المنطقة



شكل 8: أنماط الانحدار لمنطقة الدراسة

### اتجاه المنحدر

### 6.2.2.3

تكشف البيانات الممثلة في الجدول 6 والشكلين 9 و 10 ما يلي:

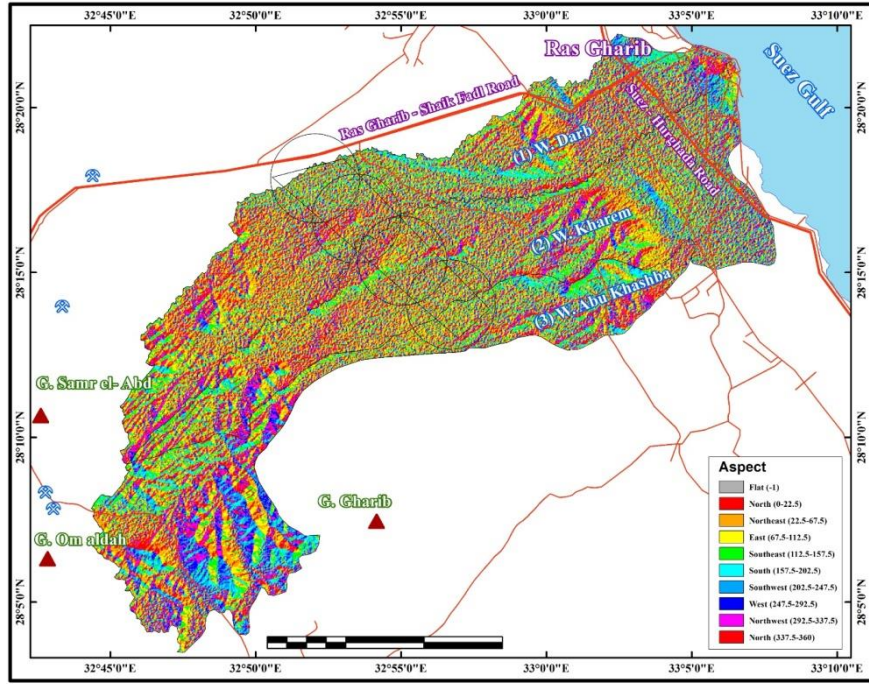
- الأراضي المسطحة: تعني الأراضي المسطحة أن الأراضي لا تأخذ أي اتجاه منحدر. تغطي هذه الأراضي حوالي 13.3 كم<sup>2</sup> أي ما يقرب من 2.6% من إجمالي مساحة حوض الدراسة. توجد في منطقة السهل الساحلي والأجزاء السفلية من الجداول الرئيسية للأودية.
- اتجاه الشمال: الأراضي التي تتراوح زاوية ميلها بين (0 - 22.5 درجة) وتغطي حوالي 76.1 كم<sup>2</sup> بنسبة 14.8% من إجمالي المساحة. تظهر هذه الأراضي بشكل واضح في الجوانب الجنوبية من الجداول الرئيسية وكذلك المنحدرات الشمالية لجبل غاربند سمر العبد.

- c. اتجاه الشمال الشرقي: الأراضي التي تتراوح زاوية انحدارها بين (22.5 - 67.5 درجة)، وتغطي حوالي 92.5 كم<sup>2</sup>، بنسبة 17.9٪ من إجمالي المساحة. يمثل هذا الاتجاه اتجاه خطوط الصرف التي تنحدر من الجنوب الغربي باتجاه الشمال الشرقي.
- d. اتجاه الشرق: الأراضي التي تتراوح زاوية انحدارها بين (67.5 - 112.5 درجة) وتغطي حوالي 81 كم<sup>2</sup> بنسبة حوالي 15.7٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. تظهر هذه الأراضي على الجانب الشرقي من سفوح المنطقة.
- e. اتجاه الجنوب الشرقي: الأراضي التي تتراوح زاوية انحدارها بين (112.5-157.5 درجة) وتغطي حوالي 72.8 كم<sup>2</sup> بنسبة 14.1٪ من إجمالي المساحة. تظهر على المنحدرات الجنوبية للمرتفعات الغربية.
- f. اتجاه الجنوب: الأراضي التي تتراوح زاوية انحدارها بين (157.5-205.5 درجة) وتغطي حوالي 50.5 كم<sup>2</sup> أي ما يقرب من 9.8٪ من إجمالي المساحة. تظهر هذه الأراضي على المنحدرات الجنوبية للمرتفعات الغربية، وخاصة في الجزء الجنوبي الغربي من المنطقة.
- g. اتجاه الجنوب الغربي: 17 الأراضي التي تتراوح زاوية انحدارها بين (205.5 - 247.5 درجة) وتغطي حوالي 35.8 كم<sup>2</sup> بنسبة 6.9٪ من المساحة الكلية. تظهر هذه الأراضي في القطاع الجنوبي الغربي من المنطقة.
- h. اتجاه الغرب: تتراوح زاوية انحدار السطح بين (247.5 - 292.5 درجة) وتغطي حوالي 36.6 كم<sup>2</sup> بنسبة حوالي 7.1٪ من المساحة الكلية. تظهر هذه الأراضي في القطاع الغربي من المنطقة وبعض الأجزاء في القطاع الأوسط والشرقي.
- i. اتجاه الشمال الغربي: الأراضي التي تتراوح زاوية انحدار سطحها بين (292.5 - 337.5 درجة) وتغطي هذه الأراضي حوالي 57.2 كم<sup>2</sup> بنسبة 11.1٪ من إجمالي المساحة. تظهر هذه الأراضي في وسط وشمال غرب منطقة الدراسة.

يتضح من فئة ارتفاع سطح الأرض للأحواض الثلاثة العابرة لموقع المشروع أن الموقع يقع في منطقة تدرج ارتفاع معتدل (200 إلى 300 متر). يختلف الارتفاع عبر حدود الموقع من 250 في الغرب إلى 200 في الشرق ضمن مسافة تزيد عن 3000 متر بزاوية انحدار حوالي 0.5 درجة. هذا يعني أن الموقع يقع في منطقة منحدرات شبه أفقية إلى منطقة انحدار لطيف. اتجاه خطوط الصرف التي تعبر موقع المشروع بشكل رئيسي في الشرق والشمال الشرقي باتجاه الخليج.

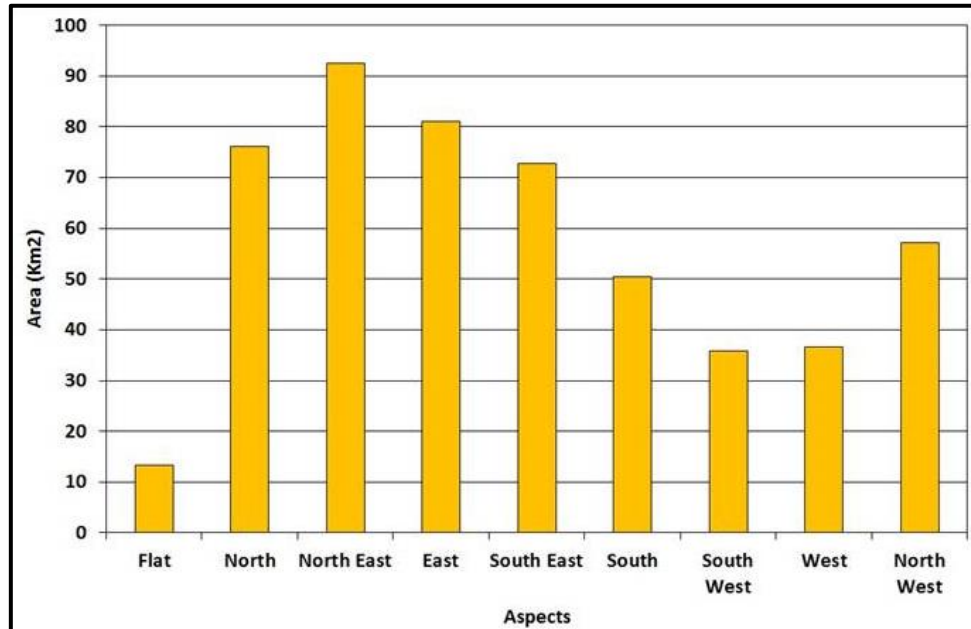
جدول 6: اتجاهات الانحدار في منطقة الدراسة

وادي أبو خشبة		وادي كريم		وادي الدرب		درجة الانحدار
	المساحة (كم <sup>2</sup> )		المساحة (كم <sup>2</sup> )		المساحة (كم <sup>2</sup> )	
(%)		(%)		(%)		
1.6	2.4	2.8	5.2	3.2	5.7	مستوي
14.5	21.9	13.9	25.8	15.8	28.4	شمال
16	24.1	18.2	33.7	19.3	34.7	الشمال الشرقي
13.9	21	16.8	31.1	16.1	28.9	شرق
13.6	20.5	15.3	28.4	13.3	23.9	الجنوب الشرقي
10.7	16.2	9.5	17.5	9.4	16.8	جنوب
8.7	13.2	6.4	11.8	6	10.8	جنوب غرب
9.1	13.7	6.5	12.1	6	10.8	غرب
11.9	17.9	10.6	19.7	10.9	19.6	الشمال الغربي
100	150.9	100	185.3	100	179.6	المجموع



شكل 9: اتجاه المنحدرات السطحية للحوض

لذلك فإن موقع المشروع يقع في منطقة ذات معدل انحدار منخفض حيث لا تتجاوز المساحات المرتفعة التي يزيد ارتفاعها عن 1000 متر مساحة 0.5% من إجمالي مناطق مستجمعات المياه للأحواض الثلاثة المارة بالمشروع. وهذا يدل على أن كميات المياه التي يتم تجميعها في هذه الأحواض محدودة مقارنة بالأحواض الكبيرة في المنطقة، مثل حوض وادي الحواشية أو حوض وادي أبو حد أو حتى وادي دارا في الجنوب.



شكل 10: توزيع شدة اتجاهات الانحدار في المنطقة

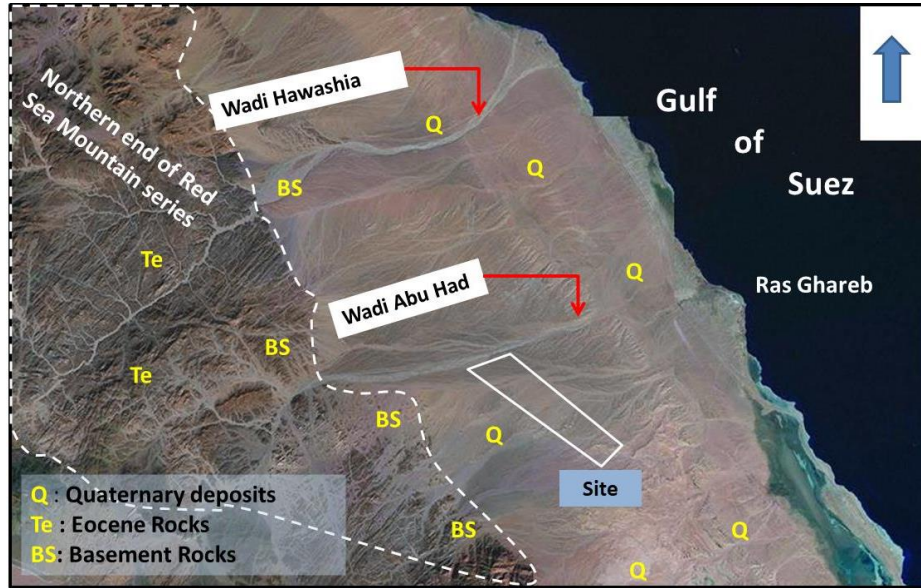
## 7. جيولوجيا السطح

موقع المشروع جزء من سهل غريب (شكل 11). يمتد السهل NW-SE موازياً لخليج السويس ويحده من الغرب سلسلة جبال عالية، الجزء الشمالي من سلسلة جبال البحر الأحمر المكونة من صخور نارية ومتحولة، ومن الشرق الساحل الغربي لخليج السويس.

من الناحية الجيولوجية، تقع المنطقة في الحوض الرسوبي المسمى بغرب بكر الذي يحتوي على العديد من آبار البترول المنتجة. استناداً إلى كونوكو والشركة المصرية العامة للبترول (EGPC) 1987 وكونوكو 1989، فإن القبو (الصخور النارية والمتحولة من عصر ما قبل الكامبري) تمثل مستجمعات المياه للأودية الجافة التي استنزفت المنطقة وخاصة وادي أبو حد ووادي الوادي. درب (الشكل 11). الرواسب الرباعية (ما بعد الميوسين) هي الرواسب الرئيسية المكشوفة التي تغطي منطقة المشروع بأكملها.

تم تمثيل رواسب ما بعد الميوسين التي تتكون من الحصى والرمال بسماكة كبيرة في منطقة الدراسة. وتتراوح هذه السماكة من حوالي 100 م في الغرب إلى أكثر من 450 م في الشرق.

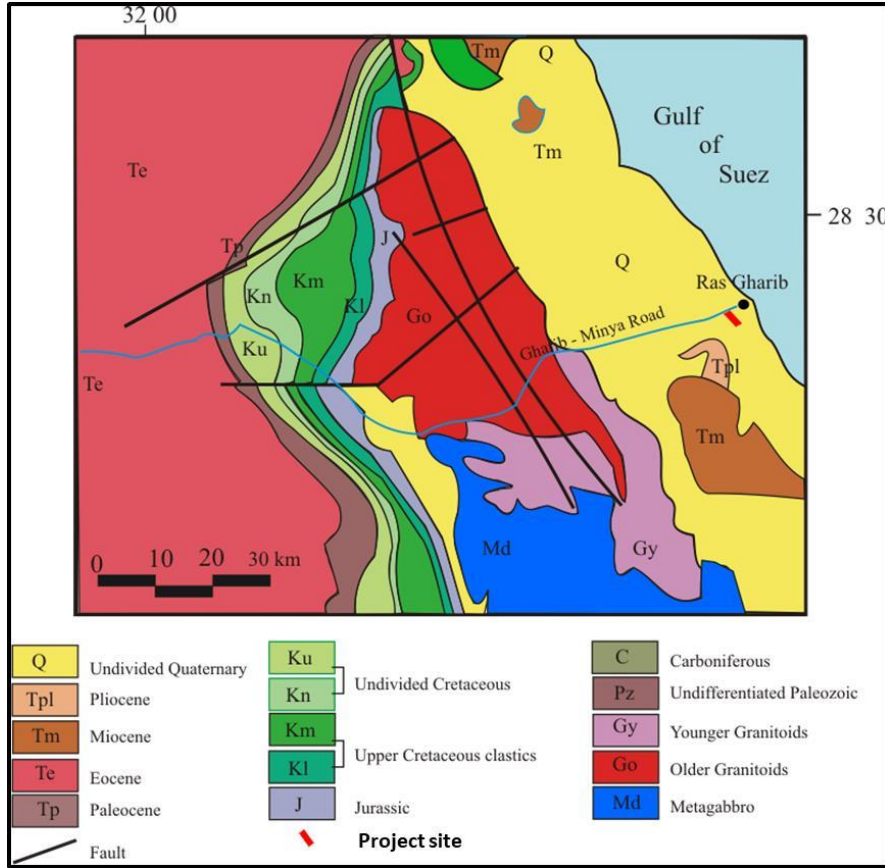
تغطي الرواسب الرباعية (ما بعد الميوسين) جميع مساحة موقع المشروع (الأشكال 11، 12). تكوين الرواسب الرباعية هو أساساً منتجات التجوية للصخور المكشوفة المحيطة. في المنطقة المحيطة بالمشروع مع وجود الصخور النارية لسلسلة جبال البحر الأحمر في أقصى الغرب والجنوب الغربي، والتي تتكون أساساً من صخور الجرانيت الغنية بالفلسبار ذات اللون الأحمر، ويغلب غطاء التربة في المنطقة الداكن حيث تتكون من شطايا الجرانيت والفلسبار، ومنتجات الجرانيت التي تعرضت للعوامل الجوية (الشكل 13).



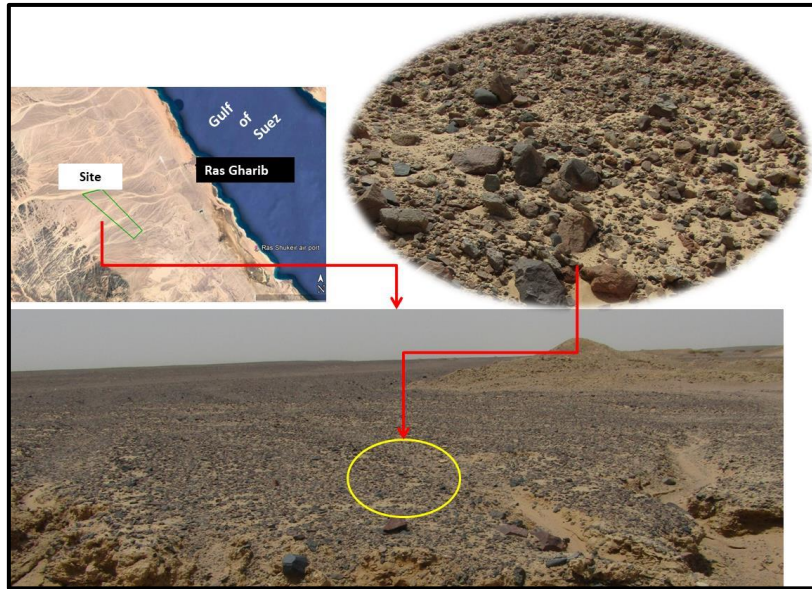
شكل 11: صورة أرضية من الأقمار الصناعية توضح موقع موقع المشروع.

الرواسب الرباعية هي الغطاء الرئيسي لمنطقة المشروع التي سيتم بناء جميع أعمال البناء عليها. وخلال المسح الميداني، بمساعدة الخرائط الجيولوجية والصور الجوية، تم فحص أنواع التربة المختلفة وخصائصها وموقعها في منطقة المشروع.





شكل 12: خريطة جيولوجية إقليمية للمنطقة معدلة من الخريطة الجيولوجية لمصر



شكل 13: الرواسب الرباعية شائعة على سطح الأرض لمنطقة المشروع وجميع المناطق المحيطة<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> لاحظ شظايا صخور الطابق السفلي؛ الجرانيت والفلسبار (اللون الأحمر)، البازلت، السربنتين (اللون الغامق) ممزوج بالرمال الإيولي.

تغطي التربة جميع مناطق المشروع تقريبًا على شكل سلاسل من المدرجات النهرية. تم وصف ثلاثة مدرجات نهرية من الطمي في موقع المشروع أثناء زيارة الموقع؛ مدرجات 1 و 2 و 3.

تتحكم رواسب النوع وحجم مكوناتها بالإضافة إلى إمكانية تدفق السطح في الارتفاع المكشوف للمدرج. تقع المدرجات بالقرب من المرتفعات في الغرب والجنوب الغربي على ارتفاعات أعلى، والمكونات قريبة جدًا من تلك الموجودة في المصدر وحجمها كبير. يقع المدرج 1 (أقدم مدرج) بالقرب من التعريضات المرتفعة بالقرب من الجبال العالية (جبال البحر الأحمر). بالذهاب إلى الشرق والشمال الشرقي لعبور الروافد الجميلة، تشكلت المدرجات الأصغر على مستويات متتالية منخفضة، مدرجات 2 و 3. تتميز المدرجات الأصغر سنًا بتخفيض متتالي في حجم الحبوب ومستواها وارتفاعها.

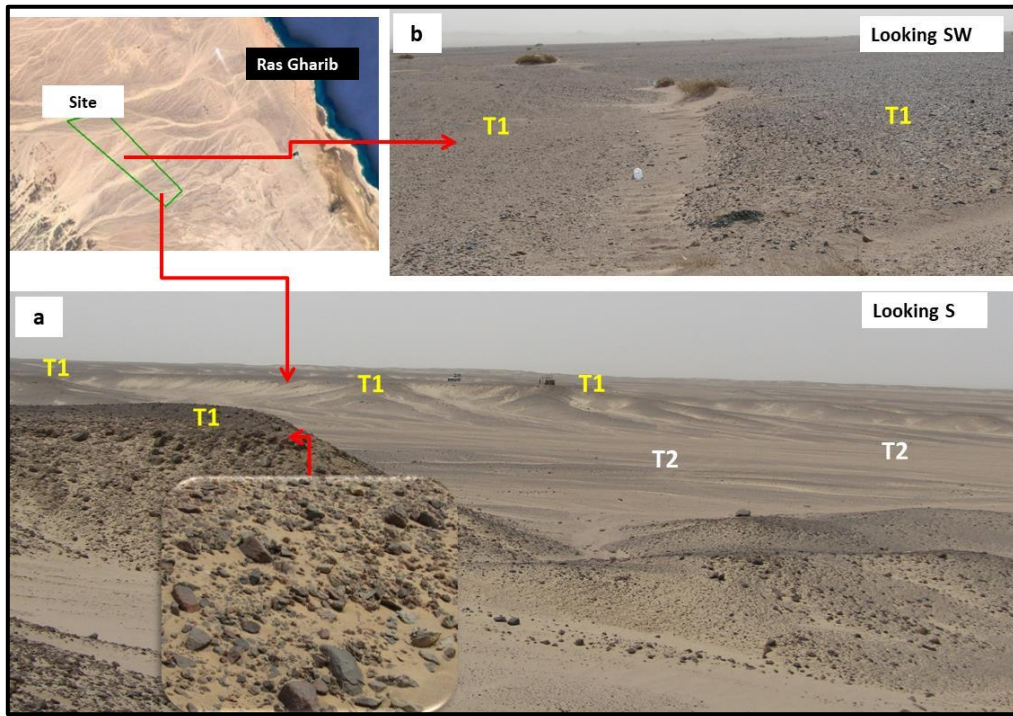
### سطح 1: أقدم مدرج

تمثل هذه المدرجات الجزء العلوي من المرتفع على طول المنطقة بأكملها من موقع المشروع (الشكل 14). تم تشريح هذه المدرجات القديمة من خلال العديد من الروافد الضحلة والواسعة التي تستنزف شرقًا إلى خليج السويس. يبلغ الحد الأقصى لارتفاع المدرجات في الجزء الشمالي الغربي حوالي 280 م (amsl) بينما يصل ارتفاعها إلى حوالي 240 م (amsl) في الجزء الجنوبي الغربي (الشكل 14).

يتراوح ارتفاع المدرج فوق مستوى سطح الأرض (مستوى المدرج التالية) من 1 م إلى حوالي 2 م في الشمال الغربي بينما يتراوح من 1 م إلى حوالي 3 م في الجنوب الغربي. يتكون هذا المدرج من عقيدات خرسانية شديدة الخشونة وحصى وصخور من الجرانيت والبازلت ممزوجة بالطين الناعم والرمل (الأشكال 14).

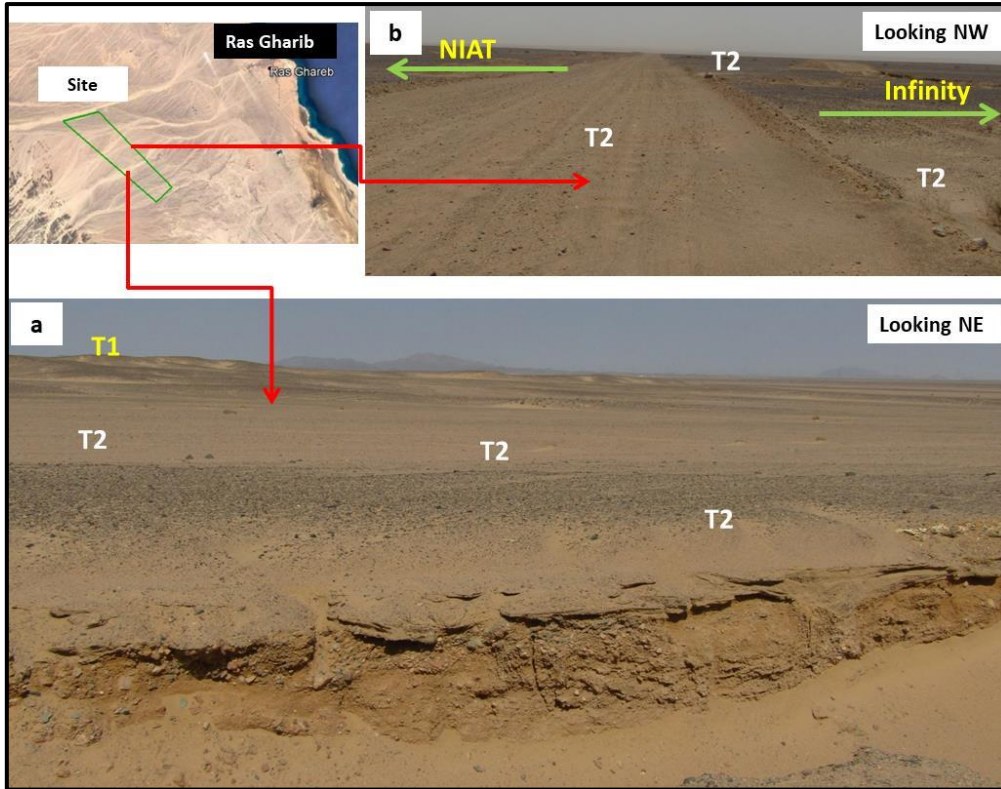
### مدرج 2: المدرج الوسيط

تظهر هذه المدرجات على طول أرضية الروافد التي تقطع المدرج 1 (الأشكال 15 و 16 و 17). يتراوح ارتفاع المدرج T2 فوق مستوى سطح الأرض (مستوى المدرج التالي) من 0.5 متر إلى حوالي 1.5 متر في الشمال الغربي بينما يتراوح من 0.5 متر إلى حوالي 2 متر في الجنوب الغربي. يتكون هذا المدرج من عقيدات شرت متوسطة الحجم، وشظايا صخور نارية معوقة في الطين الناعم والرمل (الشكل 15).

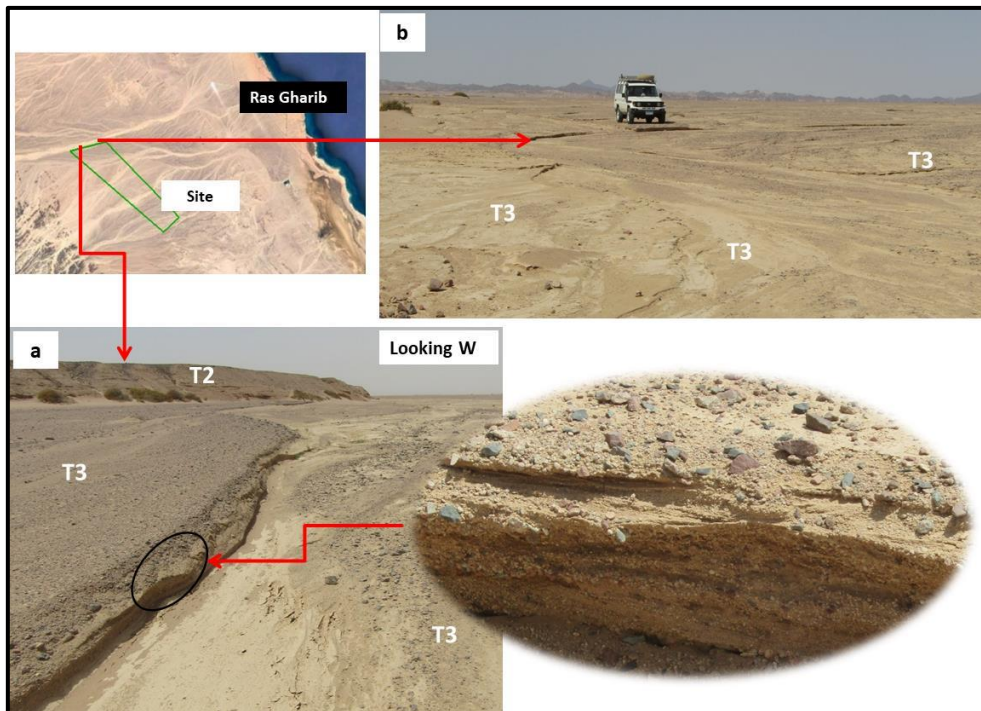


شكل 14: توزيع المدرجات النهرية (1، 2) على امتداد منطقة المشروع بالكامل.



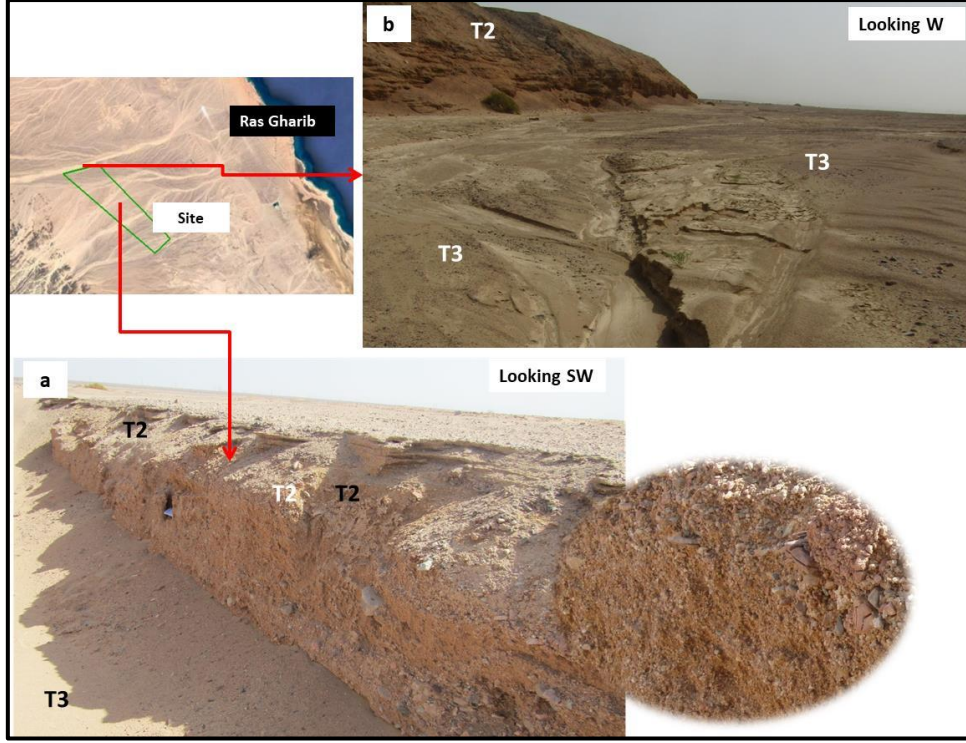


شكل 15: المدرجات المكشوفة (T2، T1 ؛ أ) في الجزء الجنوبي الغربي، (ب) في الجزء الأوسط.



شكل 16: المدرج المكشوف 2 و 3 في موقع المشروع.





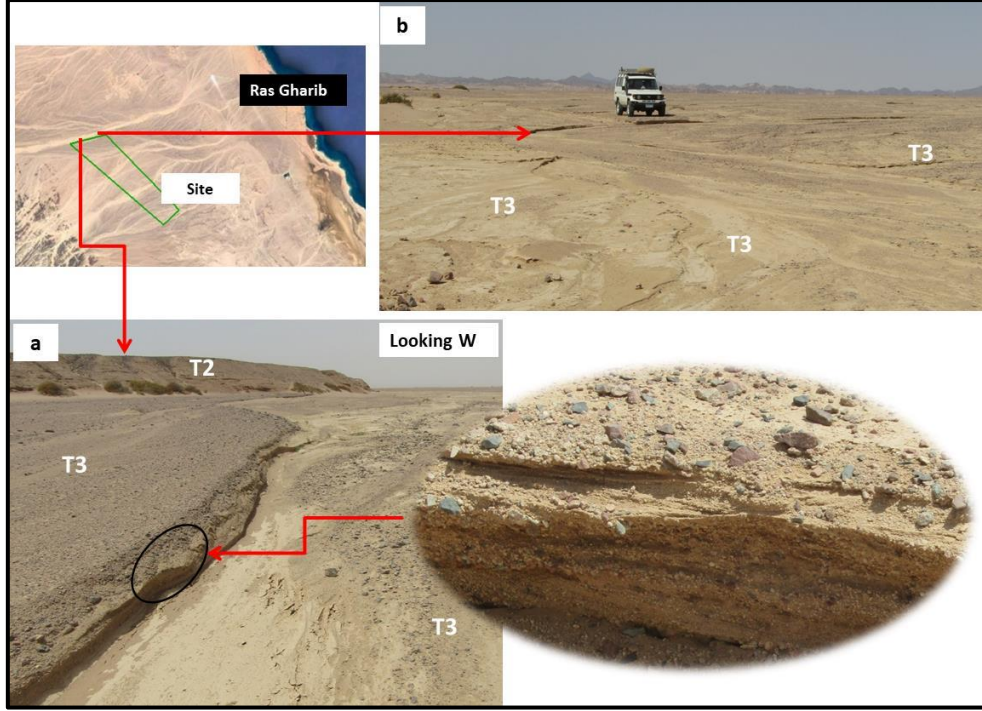
شكل 17: المدرج المكشوف 2 و 3 في موقع المشروع.

### T3: أحدث مدرج

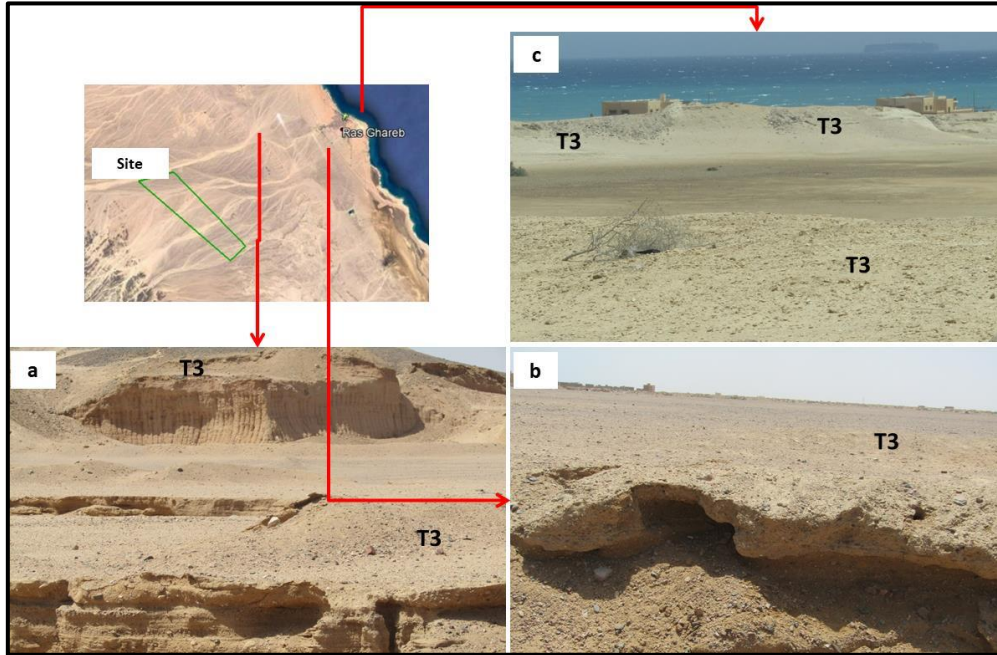
تظهر هذه المدرجات على طول أرضية الروافد التي تقطع المدرج 2 (الشكل 18 و 19). يختلف ارتفاع المدرج T3 فوق مستوى سطح الأرض (مستوى المدرج التالية) من أقل من 0.5 متر إلى حوالي 2 متر. في الشمال الغربي (الشكل 18 أ)، بينما يتراوح من 0.5 متر إلى حوالي 1 متر في الجنوب الغربي. يتكون هذا المدرج من عقيدات صغيرة، وشظايا من الصخور النارية المعوقة في الطين الناعم والرمل (الشكل 18). الطين الناعم وجزء الرمل أكبر من ذلك الموجود في المدرج السابقة 2.

في الشرق الأقصى "خارج حدود موقع المشروع تمامًا والاقتراب من مدينة رأس غارب" يزداد سمك مصطبة T3 وسيطرت الرمل الناعم وجزء الطين على تكوينها (الشكل 19 أ، ب). بالذهاب إلى الشرق بالقرب من مياه الخليج، يتميز المدرج 3 بوجود الأراضي الرطبة بسبب التدفق الداخلي لمياه البحر (الشكل 19 ج). تتعرض الشواطئ المرتفعة من الشعاب المرجانية والرمال البحرية الضحلة والمتبخرات على طول خط شاطئ الخليج (الشكل 19).

من المناقشة أعلاه، يتضح أن رواسب الطمي التي تغطي المنطقة بأكملها لها سمك كبير يتراوح من 100 متر في الغرب إلى حوالي 450 مترًا في الشرق. تتميز الرواسب الغرينية بدرجة عالية من المسامية والنفاذية مما أدى إلى تسرب كميات كبيرة من مياه الأمطار تحت السطح وإعادة تغذية الخزان الجوفي. هذا يعني أن مساهمة الرواسب الموجودة في الموقع وعبر خطوط الصرف التي تعبر المنطقة في تقليل كثافة الجريان السطحي كبيرة.



شكل 18: ترسب تكوين المدرج 3 على طول مجرى وادي أبو حد شمال موقع المشروع.



شكل 19: تكوين المدرج 3 البعيد عن الشرق من موقع المشروع.

بناءً على تحليل متعمق للدراسات البحثية السابقة المتعلقة بمخاطر الفيضانات السائدة في المنطقة المجاورة لموقع المشروع، إلى جانب مسح شامل في الموقع يهدف إلى مراقبة وتوثيق المظاهر الموسمية للفيضانات السريعة، النتائج المتعلقة بحجم من الفيضانات الخطيرة التي حدثت في هذا الموقع المحدد يمكن تلخيصها بإيجاز على النحو التالي:

- 1- مع الاحتباس الحراري والتغيرات المناخية، بدأت منطقة رأس غارب تشهد فيضانات خطيرة في مواسم الأمطار خلال الخمسة عشر عامًا الماضية.
- 2- تتجمع مياه الأمطار في العديد من الوديان الجافة المحيطة بالمنطقة، وخاصة وادي أبو حد ووادي الدرب، والتي تؤثر بشكل مباشر على مدينة رأس غارب.

- 3- يمتد التيار الرئيسي لوادي أبو حد خارج حدود موقع المشروع إلى الشمال ولا يسبب أي خطر على البنية التحتية التي سيتم بناؤها في الموقع، حتى في حالة هطول أمطار غزيرة وتدفق سطحي عنيف على طول هذا الوادي.
- 4- يمثل الموقع جزءاً من منطقة مستجمعات المياه لحوض وادي الدرب، حيث تتجمع مياه الأمطار من خلال روافد صغيرة تنتشر بكثرة في المنطقة على شكل تدفق سطحي ضعيف حتى تلتقي عند مخرج الوادي الرئيسي الواقع شرقاً للخارج. من الموقع، مما تسبب في سيل عنيف يضرب مباشرة مدينة غريب.
- 5- تحتوي الرواسب التي تغطي موقع المشروع على نسبة عالية من المسامية والنفاذية، مما يؤدي إلى حدوث تسرب تحت السطح لكمية كبيرة من مياه الأمطار، مما يقلل من التدفق السطحي في الموقع.
- 6- يتميز موقع المشروع بأكمله بالارتياح البسيط مع انحدار لطيف للغاية باتجاه الشرق والشمال الشرقي ولا توجد دلائل على تدفق سطحي شديد قد يتسبب في تعميق رأسي لمسارات الروافد مثل جميع خطوط الصرف في الموقع واسعة وضحلة.
- 7- الرواسب السطحية التي تغطي موقع المشروع وخطوط الصرف ذات الطلبات المختلفة هي رواسب متعددة الأحجام. وهذا يعني أن جريان السطح ضعيف وغير قادر على حمل رواسب كبيرة الحجم. بمجرد أن يصل تدفق السطح من الروافد الدقيقة إلى الأجزاء المرتفعة المرتبة من الوادي (مسار الوادي الرئيسي) تنخفض شدته بشكل كبير تاركة الرواسب الدقيقة (الطين والطيني) المترسبة على طول مجرى الوادي.
- 8- لا توجد بادرة على عبور أودية شديدة الجفاف موقع الامتياز أو حتى ترسبات مراوح طينية كبيرة تعكس التدفق السطحي القوي.
- 9- خطوط الصرف الصحي التي تستنزف موقع المشروع قصيرة جداً وعريضة وضحلة مما يعكس الغياب التام للفيضانات الخطرة باستثناء مخرج وادي الدرب خارج موقع المشروع شرقاً.

## التوصيات

مما سبق يتضح أن موقع المشروع جزء من حوض وادي الدرب وهو أحد الأحواض التي تسبب فيضانات خطيرة في مدينة رأس غارب. على الرغم من أن الموقع يقع في منطقة مستجمعات المياه، بعيداً عن المنفذ الرئيسي للوادي، ولم يظهر دليل واضح على حدوث فيضانات خطيرة، إلا أن البنية التحتية التي يمكن إنشاؤها في الموقع قد تتأثر بالجريان السطحي الشديد. لذلك، من الضروري تحديد شدة هذا الجريان السطحي، والذي قد يحدث في خطوط الصرف التي تمر عبر موقع المشروع، بحيث يمكن وضع تدابير التخفيف لتقليل مخاطر هذا الجريان السطحي.

بالنظر إلى الآثار المحتملة للتغيرات المناخية والاحترار العالمي، والتي من المتوقع أن تؤدي إلى تصاعد مستويات هطول الأمطار داخل المنطقة، تم تنفيذ نماذج شاملة لتقييم مخاطر الفيضانات للتأكد من الحجم الأقصى للجريان السطحي المتوقع في موقع المشروع. يستخدم هذا التقييم البيانات والعوامل المحدثة في زيادة احتمالية حدوث مثل هذه الأحداث في المستقبل. وبالتالي، من الضروري وضع استراتيجيات تخفيف مناسبة تهدف إلى التقليل إلى أدنى حد من العواقب السلبية المتوقعة الناشئة عن التدفق السطحي المكثف على البنية التحتية والأساسات للمشروع.

## 8. دراسة سقوط الأمطار على المنطقة

المطر هو أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في حدوث الجريان السطحي في أحواض الصرف على ساحل خليج السويس. بناءً على سرعة وكمية الجريان السطحي، يمكن توقع التأثير الخطير للفيضان الذي يؤثر على بعض مناطق التنمية الحالية والمستقبلية. بما أن الموارد المائية بالمنطقة محدودة، يجدر إبراز الجوانب الإيجابية للفيضانات وتقليل آثارها السلبية. على سبيل المثال، من خلال دراسة كيفية التخفيف من مخاطرها حفظ مياه الأمطار في بعض مجالات التنمية المختلفة.

بشكل عام، يتسم هطول الأمطار في منطقة الدراسة بندرتها. على الرغم من ذلك، غالباً ما تهطل الأمطار، مما يتسبب في حدوث فيضانات مفاجئة في أحواض المنطقة. تختلف هذه السيول من حيث شدتها وكميتها وسرعتها حسب كمية الأمطار المتساقطة والتي تتميز بعدم انتظامها وتغيرها الزماني والمكاني.

تختلف كمية الأمطار السنوية بشكل كبير من سنة إلى أخرى، وتتغير أيضاً من مكان إلى آخر داخل منطقة الدراسة. وهذا يعني أن هناك اختلافاً في الكمية والتوقيت، وهما من السمات المميزة للأمطار الصحراء التي تؤدي إلى الفيضانات.

وللتحقق من ذلك كان لا بد من دراسة أحوال الأمطار المتوقع أن تسقط على منطقة الدراسة بناءً على كثافة السحب التي تعبر المنطقة وتوزيعها من خلال بيانات الأقمار الصناعية. مقارنة هذه البيانات بكثافة هطول الأمطار التي سجلتها



محطات الأرصاد الجوية، ومدى ارتباط هذه السحب بالأمطار الغزيرة التي حدثت في منطقة رأس غارب، خاصة في عام 2016. لذلك، يمكن توقع مستقبل الفيضانات في المنطقة في ظل التغيرات المناخية السائدة.

#### 8.1 قياسات الهطول من صور الأقمار الصناعية (الترسيب النظري)

توفر صور الأقمار الصناعية مصدرًا مهمًا للبيانات التي يمكن الاعتماد عليها في دراسة عناصر الطقس والمناخ. يتم ذلك من خلال المراقبة المتتالية لهذه العناصر من أنظمة الاستشعار عن بعد مثل الأقمار الصناعية NOAA، أقدم أنظمة استشعار المناخ عن بعد.

باستخدام المدخلات من الأقمار الصناعية، يمكن بناء نماذج رياضية لتحديد توزيع الضغط ودرجة الحرارة وسمك وكثافة طبقات الغلاف الجوي.

يمكن حساب حركة الرياح من خلال مراقبة حركة السحب من الأقمار الصناعية الثابتة باستخدام تلسكوبات عالية الطاقة في كل من المناطق المرئية والحرارية، حيث يتم تسجيل تدرج درجة الحرارة داخل طبقات السحابة، من الممكن مقارنتها والحصول على نتائج أولية بسيطة.

اعتمدت الدراسة المدرجة في هذا القسم من التقرير على بيانات مشروع تقدير هطول الأمطار من المعلومات المستشعرة عن بعد باستخدام الشبكة العصبية الاصطناعية (PERSIANN) الذي أعده مركز الأرصاد الجوية والهيدرولوجيا والاستشعار عن بعد بجامعة كاليفورنيا، والذي يستخرج بيانات المطر. من صور الأقمار الصناعية باستخدام نماذج الشبكة العصبية. البيانات من النوع تقدير هطول الأمطار من المعلومات المستشعرة عن بعد باستخدام الشبكة العصبية الاصطناعية - نظام التصنيف السحابي (PERSIANN-CCS) هي بيانات مكانية عالية الدقة بحجم خلية يبلغ 4 كم × 4 كم. تمتد فترة الدراسة خلال الفترة (2015-2021)، حيث تم تحليل هذه الملفات الرقمية ونمذجتها لتحديد التغيرات المكانية والزمانية في كمية الأمطار المتوقع سقوطها خلال فترة الدراسة. تعرض الأقسام التالية نتائج التحليل المكاني والزمني لمجموعات البيانات هذه.

#### 8-1-1 متوسط التقييم السنوي لهطول الأمطار في منطقة الدراسة

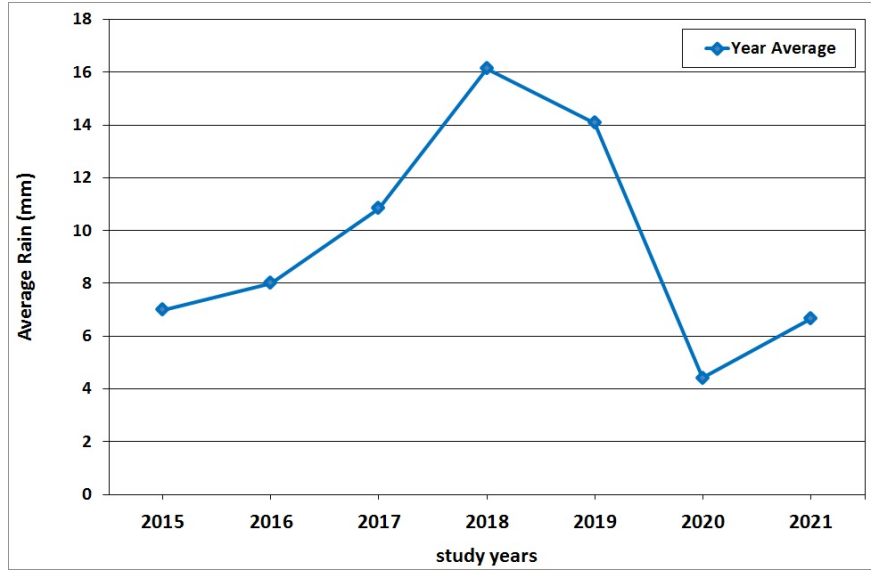
يعرض الجدول التالي المتوسطات السنوية المحتملة لهطول الأمطار في المنطقة. يقدر متوسط هطول الأمطار السنوي بحوالي 9.59 مم في السنة. لذا فمن المتوقع أن تحمل الأحواض الثلاثة المدروسة حوالي 5 ملايين م<sup>3</sup> من مياه الأمطار سنويًا، بوادي الدرب 1.7 مليون م<sup>3</sup>، ووادي الخريم 1.8 مليون م<sup>3</sup>، ووادي أبو خشبة 1.5 مليون م<sup>3</sup>. تزداد هذه الكمية في بعض السنوات مع ارتفاع معدلات هطول الأمطار، كما أنها تزداد في بعض الأشهر التي تزداد فيها معدلات العواصف المطيرة كمأ ونوعاً. الأشكال (20، 21) تصور التغير السنوي في كمية الهطول المحتمل في منطقة الدراسة. ويكشف أن عام 2018 هو الأعلى من حيث كمية الأمطار التي يحتمل سقوطها بمتوسط يبلغ حوالي 16.14 مم.

جدول 7: التغير السنوي في هطول الأمطار المتوقع أن يسقط على حوض منطقة الدراسة خلال الفترة (2015 - 2021).

سنة	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	المعدل
المعدل السنوي (مم)	7	8	10.52	16.14	14.9	4.41	6.66	9.59
إجمالي المطر (مم)	84	96	103.2	193.63	169.1	52.93	79.9	115.11
التغيير (%)	-	14.3	35.6	48.7	12.7-	68.7-	50.9	44.1

المصدر: تحليلات بيانات PERSIANN-CCS خلال الفترة 2021-2015

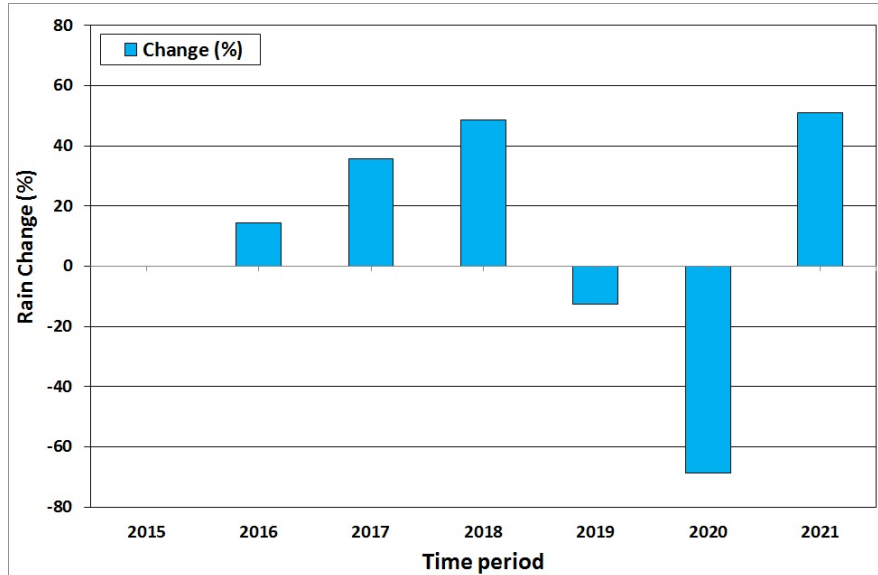
ينتج عن كثافة هطول الأمطار كمية من المياه تصل إلى حوالي 8.4 مليون متر مكعب تستقبلها مستجمعات المياه في الأحواض الثلاثة المدروسة. ويلاحظ من الجدول المرفق أن كميات الأمطار المتوقع سقوطها على الأحواض الثلاثة تنقلب خلال فترة الدراسة (2015 - 2021).



شكل 20: المتوسطات السنوية للأمطار المتوقعة على الأحواض المدروسة خلال الفترة (2015 - 2021).

ارتفع المنحنى العام لتوزيع مياه الأمطار خلال الفترة (2018-2015) نتيجة مرور وفرة من العواصف الممطرة. أهم الفيضانات المسجلة هي؛ العاصفة الممطرة في (26-27 أكتوبر 2016) والتي تسببت في حدوث الكثير في مصر. تسببت العاصفة المطيرة (26-27 أكتوبر 2016) في حدوث تدفقات غزيرة بمنطقة رأس غارب من أحواض وادي أبو حد شمال منطقة الدراسة ووادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة.

كما يُلاحظ أن كميات الأمطار انخفضت خلال الفترة (2020-2018)، ثم ارتفعت مرة أخرى تدريجياً في عام 2020 حيث بلغ المعدل العام للأمطار المحتملة 6.66 مم. وذلك بسبب مرور عدد من العواصف الممطرة خلال عام 2020. أهمها عاصفة التين في أيام 11 و12 و13 مارس 2020. وقد نتج عن هذه العاصفة جريان خطير في الجزء الشمالي من الصحراء الشرقية حيث تقع منطقة الدراسة وكذلك عاصفة مطرية يوم 2 نوفمبر 2020.



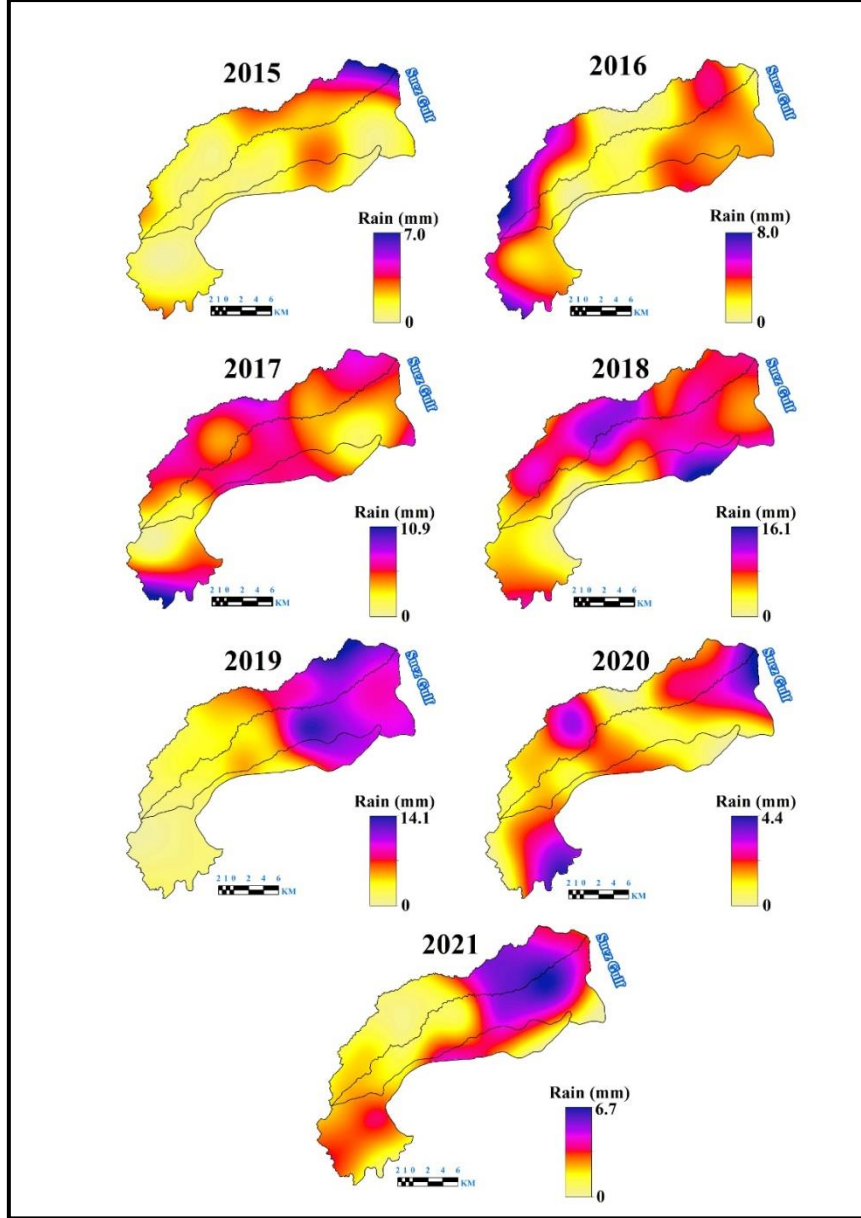
شكل 21: التغير السنوي في كمية الأمطار المتوقع سقوطها على مستجمعات المياه في الأحواض المدروسة.

بشكل عام بلغ معدل التغير في متوسط التساقط المتوقع على منطقة الدراسة 44.1%. ويرجع ذلك إلى زيادة معدلات مرور العواصف المطيرة الشديدة في المنطقة، والتي تُعزى إلى التغيرات الواضحة في عدد وقوة العواصف المطيرة في فصلي الخريف والربيع من كل عام. يوضح الشكل (22) أن كمية الأمطار الكبيرة تركزت في الجزأين الأوسط والسفلي من الأحواض خلال الأعوام من 2015 إلى 2021. لكن في عام 2016، تركز هطول الأمطار الغزيرة المتوقعة على

المنحدرات الجبلية العالية في الغرب والجنوب الغربي. شهد هذا العام أمطار غزيرة في رأس غارب. وبالتالي، يمكن القول أنه عندما تهطل الأمطار بغزارة على المناطق المرتفعة في أقصى الغرب والجنوب الغربي من المنطقة، فإن احتمال هطول أمطار غزيرة خطيرة يكون أكبر مما هو عليه في حالة هطول الأمطار على الأجزاء الوسطى والسفلى من الأحواض. كما لوحظ في الأعوام 2017 و2018 و2019 و2021، على الرغم من هطول كميات كبيرة من الأمطار يُتوقع أن تهطل في هذه السنوات نتيجة تراكم كميات كبيرة من السحب، إلا أنه لم يتم تسجيل أمطار غزيرة خطيرة هددت المنطقة. قد يكون هذا بسبب الوضع الطبوغرافي للمناطق الوسطى والشرقية من الأحواض من حيث الانحدار اللطيف لسطح الأرض واتساع خطوط الصرف بدلاً من المناطق الغربية ذات الارتفاعات الكبيرة والمنحدرات الشديدة التي تسمح بتجميع مياه الأمطار في المجاري الرئيسية للأودية وتدفقها بسرعة عالية لتتجمع في أجزاء المصب في وقت قصير مما يسبب فيضانات خطيرة.

من الدراسة السابقة لكميات الأمطار المتوقع سقوطها في المنطقة بحسب بيانات الأقمار الصناعية المناخية، يمكن استنتاج الآتي:

1. التغير المتوقع في معدل هطول الأمطار على المنطقة خلال السنوات السبع (2015-2021) هو 44.1٪. وهذا يعني أنه وفقاً للتغيرات المناخية السائدة خلال فترة الدراسة، فإن تراكم السحب المسببة للمطر يزداد فوق منطقة الدراسة، الجدول رقم 1.
2. تتركز التراكومات الغزيرة للسحب المسببة للأمطار في الأجزاء الوسطى والشرقية من منطقة الدراسة. قد يكون هذا بسبب تأثير الرياح على هذه السحب الكثيفة وتحريكها نحو الشرق.
3. يرتبط حدوث الأمطار الغزيرة في مخارج الوديان إلى حد كبير بكميات السحب المتراكمة والأمطار التي تهطل على المناطق المرتفعة في أقصى غرب وجنوب غرب المنطقة (سلسلة جبال البحر الأحمر).



شكل 22: التغيرات المكانية والزمنية في كمية الأمطار المتوقعة على حوض وادي عربية خلال الفترة (2021-2015)

4. هطول الأمطار على الجزء الأوسط من الأحواض الثلاثة المدروسة، والذي يقع فيه موقع المشروع، حتى لو كان غزيراً، لا يتسبب في هطول أمطار غزيرة، والتي قد تهدد المنشآت في الموقع. وذلك لأن موقع المشروع بعيد عن مخارج الأودية الثلاثة التي تمر عبره. ومع ذلك، قد يؤدي ذلك إلى جريان سطحي في الروافد التي تعبر الموقع، والتي تكون تصريفًا عريضًا وضحلًا ولا تحتوي على أي آثار للتدفقات السطحية العنيفة حتى الآن.

5. مع هذا الاتجاه الإيجابي في زيادة كميات السحب المتراكمة في الأجزاء الوسطى والشرقية من المنطقة نتيجة التغيرات المناخية، قد يزداد حجم الجريان السطحي، الأمر الذي يتطلب تطبيق بعض الإجراءات اللازمة لحماية أي منشأة قد تكون تقع في خطوط الصرف هذه.

#### 8.1.1 متوسط التساقط الشهري المتوقع في منطقة الدراسة

يعرض الجدول (8) والشكل (23) المتوسطات الشهرية المحتملة لهطول الأمطار في المنطقة خلال الفترة (2015-2021). أبريل هو أعلى شهر في السنة من حيث معدل هطول الأمطار المحتمل حوالي 21.31 مم. يصادف هذا الشهر منتصف الربيع الذي يتزامن مع تقلبات الطقس الربيعي وتزامن هبوب رياح دافئة من الجنوب لملء المنخفضات الهوائية التي تمر على السواحل الشمالية والتي تجذبها سلاسل جبال البحر الأحمر باتجاه الجنوب.

سجل شهر أبريل كميات كبيرة من الأمطار المتوقعة خلال عام 2017 بنحو 53.5 مم، وارتفعت إلى حوالي 60.1 مم في عام 2019.

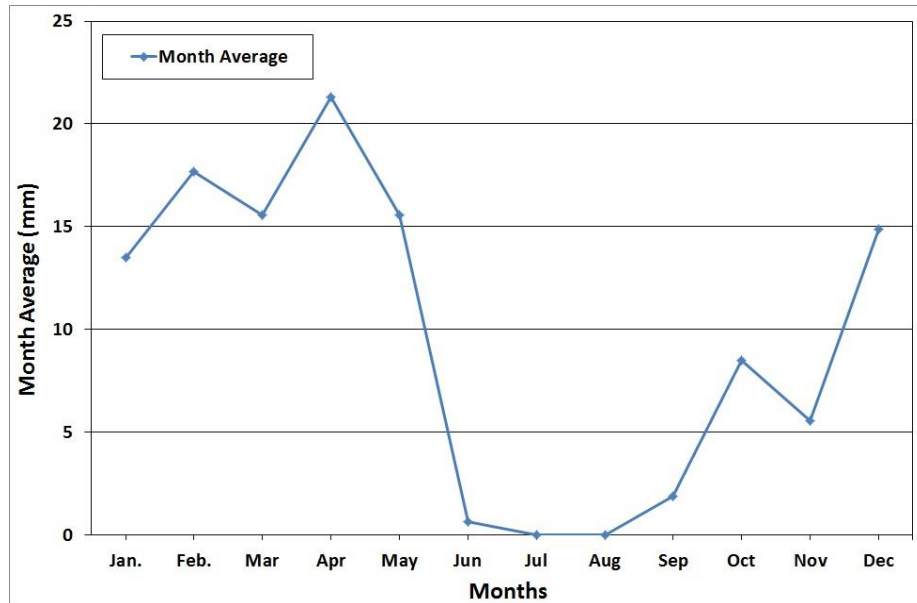
يأتي شهر فبراير في الفئة الثانية من حيث أعلى شهور السنة من حيث معدلات هطول الأمطار المحتملة. يمثل هذا الشهر منتصف فصل الشتاء، حيث تزداد معدلات المنخفضات الجوية على السواحل الشمالية. ثم تزداد فرص هطول الأمطار، خاصة عندما تغير بعض المنخفضات اتجاهها نحو الجنوب عبر جبال البحر الأحمر، مما يزيد من فرص هطول الأمطار في أحواض منطقة رأس غارب. كان المتوسط الشهري لهطول الأمطار في فبراير حوالي 17.67 مم. شهد هذا الشهر ارتفاع معدلات هطول الأمطار المتوقعة خلال عام 2018 حيث من المتوقع أن تبلغ حوالي 60.2 مم، و27.3 مم في عام 2019.

جدول 8: المتوسطات الشهرية المتوقعة لهطول الأمطار في المنطقة خلال الفترة (2015-2021).

شهور	يناير.	فبراير .	مارس	أبريل	مارس	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	معدل
معدل	13.5	17.67	15.6	21.13	15.6	0.67	0	0	1.89	8.5	5.54	14.9	1247.9

المصدر: تحليلات بيانات PERSIANN-CCS خلال الفترة 2015-2021

في الفئة الثالثة، يأتي شهري مارس ومايو بمتوسط متوقع لهطول الأمطار يبلغ حوالي 15.56 مم لكل منهما. يأتي يناير وديسمبر في الرابع، بمتوسط 13.5 و14.9 مم على التوالي. أكتوبر ونوفمبر هما الفئة الخامسة بمتوسط 8.5 و5.54 مم على التوالي. أما بالنسبة لأدنى شهور السنة من حيث معدلات التساقط فهي تتمثل في أشهر يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر والتي تمثل أشهر فصل الصيف وبداية الخريف والتي تتميز بارتفاع درجات الحرارة. غلبة الظروف الجافة وقلة فرص التساقط بشكل كبير جدا باستثناء بعض الأمطار الصاعدة الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة في ظل وجود مصدر تبخر متمثل في خليج السويس وهو نادر جدا ومنخفض- كمية الأمطار وليس لها تأثير على عملية الجريان السطحي. يوضح الشكل (32) التغيرات في كمية التساقط الشهرية في الأحواض الثلاثة المدروسة خلال الفترة 2015-2021، مما يكشف عن توقع ارتفاع معدلات هطول الأمطار المحتملة في أشهر الشتاء والربيع والخريف، وانخفاضها في الصيف.



شكل 23: التغير الشهري في مساحة التساقط المتوقعة خلال الفترة (2015-2021)

## 8.1.2 متوسط التساقط الموسمي في منطقة الدراسة

يوضح الجدول (8) والشكل (24) المتوسطات الموسمية المحتملة لهطول الأمطار في الأحواض المدروسة خلال الفترة (2015-2021)، والتي تبين أن الشتاء هو أعلى موسم في العام من حيث كمية الأمطار المتوقع سقوطها. بمتوسط



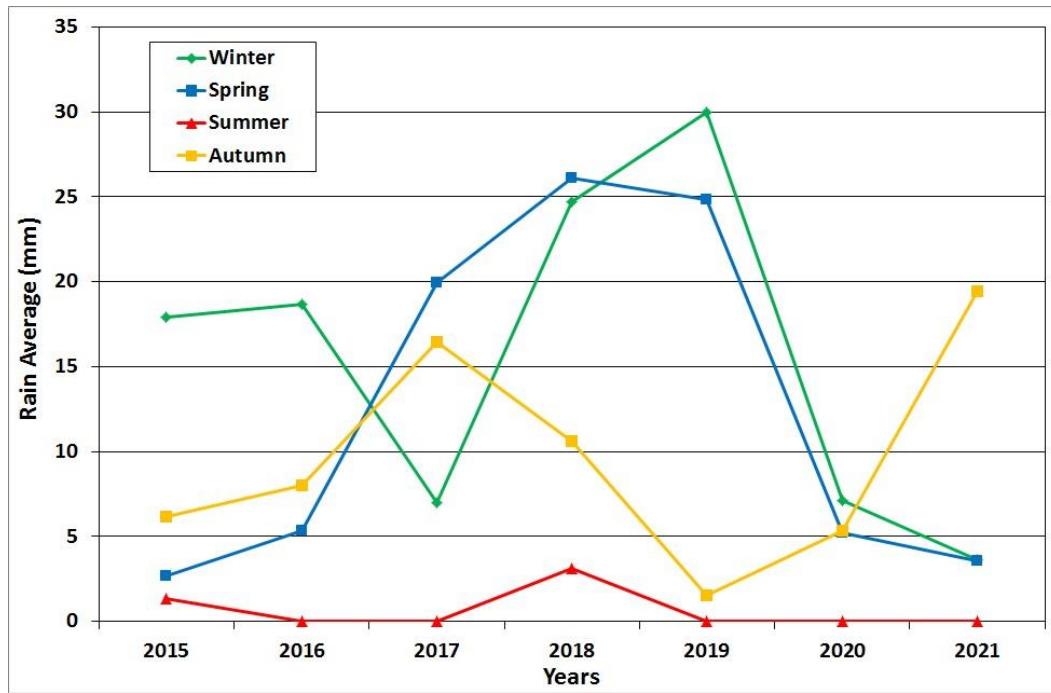
حوالي 15.58 مم خلال فترة الدراسة. وازدادت هذه الكمية لتصل في الشتاء إلى 29.97 مم نتيجة نشاط الغطاء السحابي وتقلبات الطقس المتكررة. كما وصل إلى 24.74 مم في شتاء 2018. تعود الزيادة في كمية الأمطار المتوقعة في هذا الموسم إلى مرور المنخفضات الجوية في الجزء الشمالي، والتي قد تمتد تأثيرها إلى الأجزاء الداخلية من الصحراء الشمالية الشرقية وجبال البحر الأحمر مما سيؤدي إلى زيادة في معدلات هطول الأمطار المتوقعة.

جدول 9: المتوسطات الموسمية المحتملة لهطول الأمطار على المنطقة خلال الفترة (2021-2015)

شهور	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	معدل
شتاء	17.93	18.87	6.97	24.74	29.97	7.13	3.63	15.58
ربيع	2.63	5.3	19.97	26.1	24.87	5.2	3.53	12.51
صيف	1.3	0	0	3.1	0	0	0	0.63
خريف	6.13	8.03	16.47	10.6	1.53	5.31	19.47	9.65

المصدر: تحليلات بيانات PERSIANN-CCS خلال الفترة 2021-2015

يأتي موسم الربيع في المرتبة الثانية من حيث كمية الأمطار المتوقع سقوطها والتي بلغ متوسطها 12.51 مم خلال فترة الدراسة. وقد يرجع ذلك إلى الاضطرابات الجوية المتمثلة في مرور المنخفضات في الجزء الشمالي من مصر مما أدى إلى هبوب رياح موسمية الخماسين وزيادة فرص هطول الأمطار. بلغت كمية الأمطار المتوقع سقوطها على حوض رأس غارب في موسم الربيع أقصى قيمتها في عام 2018، حيث بلغت 26.18 مم، تليها عام 2019 بنحو 24.87 مم، بينما بلغت أدنى قيمة لها في عام 2015 بنحو 2.63 مم.



شكل 24: متوسط التساقط الموسمي المتوقع على منطقة الدراسة خلال الفترة (2021-2015)

يأتي موسم الخريف في المرتبة الثالثة من حيث كمية الأمطار المتوقعة، بمتوسط حوالي 9.65 مم خلال فترة الدراسة. يمثل فصل الخريف فترة انتقالية بين الصيف الجاف والشتاء الممطر. لذلك تشهد بعض الاضطرابات الجوية التي ينتج عنها تساقط الأمطار في منطقة الدراسة. وبلغت كمية الأمطار المتوقع سقوطها أقصى قيمتها في موسم الخريف في سنوات 2017 بنحو 16.47 مم، وانخفضت إلى نحو 10.6 مم بحلول عام 2018. هذه هي السنوات التي زادت فيها شدة العواصف المطيرة وأدت إلى حدوث العديد من السيول في منطقة خليج السويس بشكل عام. من أخطر الفيضانات التي شهدتها منطقة خليج السويس كانت في خريف 2016 وتحديداً في 26-27 أكتوبر. وحدثت السيول في أحواض

وادي أبو حد شمال الموقع ووادي الدرب الذي يعبر الموقع، وأثرت على مدينة رأس غارب وأوقعت خسائر في الأرواح والممتلكات.

الصيف هو أقل فصول السنة من حيث هطول الأمطار حيث بلغ متوسط هطول الأمطار حوالي 0.63 مم خلال فترة الدراسة، حيث تتميز منطقة الدراسة بفصول الصيف شديدة الحرارة والجافة والرطوبة العالية.

### 8.1.3 المتوسط الشهري لأكبر كميات التساقط خلال فترة الدراسة

يوضح الجدول (9) متوسط التساقط الشهري المتوقع لأكبر كمية خلال فترة الدراسة (2015-2021). أبريل ومايو وديسمبر هي الأشهر الأعلى في العام حيث تسجل أكبر كميات من الأمطار المتوقعة خلال فترة الدراسة. بلغ متوسط هطول الأمطار المتوقع في هذه الأشهر 35.14 و37.57 و37.17 مم على التوالي، حيث كان الحد الأقصى المتوقع لهطول الأمطار في أبريل 2019 ومايو 2018 وديسمبر 2021 حوالي 98 و89 و83 مم على التوالي.

ولم تسجل آثار خطيرة لهذه السيول على المناطق السكنية الواقعة عند منافذ الوديان على البنى التحتية. هذا يرجع إلى عاملين مهمين؛ الأول: تصميم العديد من إجراءات الحماية في جميع الأحواض الخطرة مثل وادي الحواشية ووادي أبو حد شمال الموقع وأيضاً عند مخرج وادي الدرب شرق الموقع، والعامل الثاني: هو الكميات الثقيلة. سقطت من الأمطار على مناطق ذات منحدرات لطيفة في الأجزاء الوسطى والشرقية من أحواض الصرف. وشهدت المنطقة في مايو 2018، أمطاراً غزيرة أدت إلى توقف جميع الطرق المؤدية إلى خليج السويس، وتوقفت حركة المرور لأكثر من يوم نتيجة العاصفة المطيرة الغزيرة التي صاحبت جريان سطحي شديد دون أي ضرر يلحق بالأرواح والبنى التحتية.

جدول 10: متوسط هطول الأمطار لأكبر كمية متوقعة من الأمطار شهرياً خلال الفترة (2015-2021)

شهور	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	متوسط الشهر
يناير.	32	4	19	1	100	27	20	29
فبراير.	52	6	0	90	40	3	10	28.71
مارس	19	78	21	28	14	41	3	29.14
أبريل	0	10	69	43	98	4	22	35.14
مايو	17	46	25	89	25	29	32	37.57
يونيو	12	0	0	0	11	0	0	3.29
يوليو	0	0	0	0	0	0	0	0
أغسطس	0	0	0	0	0	0	0	0
سبتمبر	22	0	0	27	0	0	0	7
أكتوبر	25	021	0	59	3	1	42	21.57
نوفمبر	16	30	25	25	9	12	21	19.71
ديسمبر	16	2	77	46	13	27	83	37.71
المعدل السنوي	17.6	16.4	19.6	34	26.0	10	19.4	20.74

المصدر: تحليلات بيانات PERSIANN-CCS خلال الفترة 2015-2021

وتأتي يناير وفبراير ومارس في الفئة الثانية من حيث أعلى كمية أمطار متوقعة في المنطقة، حيث بلغ متوسط هطول الأمطار المتوقع 29 و28.71 و29.14 مم على التوالي. كان الحد الأقصى المتوقع للأمطار في الأشهر الثلاثة 100 مم في يناير 2019، و90 مم في فبراير 2018 و78 مم في مارس 2016.

يأتي شهري أكتوبر ونوفمبر في الفئة الثالثة من حيث أعلى كمية أمطار متوقعة في المنطقة، حيث بلغ متوسط هطول الأمطار المتوقع 21.57 و19.71 مم على التوالي. وبلغ الحد الأقصى المتوقع للأمطار في الشهرين 59 مم في أكتوبر 2018 و30 مم في نوفمبر 2016.

بالرغم من أن كمية الأمطار المتوقعة على منطقة الدراسة في عام 2016 تعتبر الأقل بين شهور العام، إلا أن تركيز السحب في شهر أكتوبر كان على المناطق المرتفعة المرتفعة في الغرب والجنوب الغربي، مما أدى إلى اندفاع قوي المياه في المجاري الرئيسية للأودية نتيجة الانحدار الحاد الذي أدى إلى هطول أمطار غزيرة عنيفة على مدينة رأس غارب.

#### 8.1.4 التحليل السنوي لمتوسط كميات الأمطار المحسوبة المتوقع سقوطها خلال فترة الدراسة.

من تحليلات بيانات القمر الصناعي PERSIANN-CCS خلال الفترة 2015-2021، أظهر متوسط هطول الأمطار السنوي المحسوب المتوقع في المنطقة الجدول (10) والأشكال (25، 26) ما يلي:

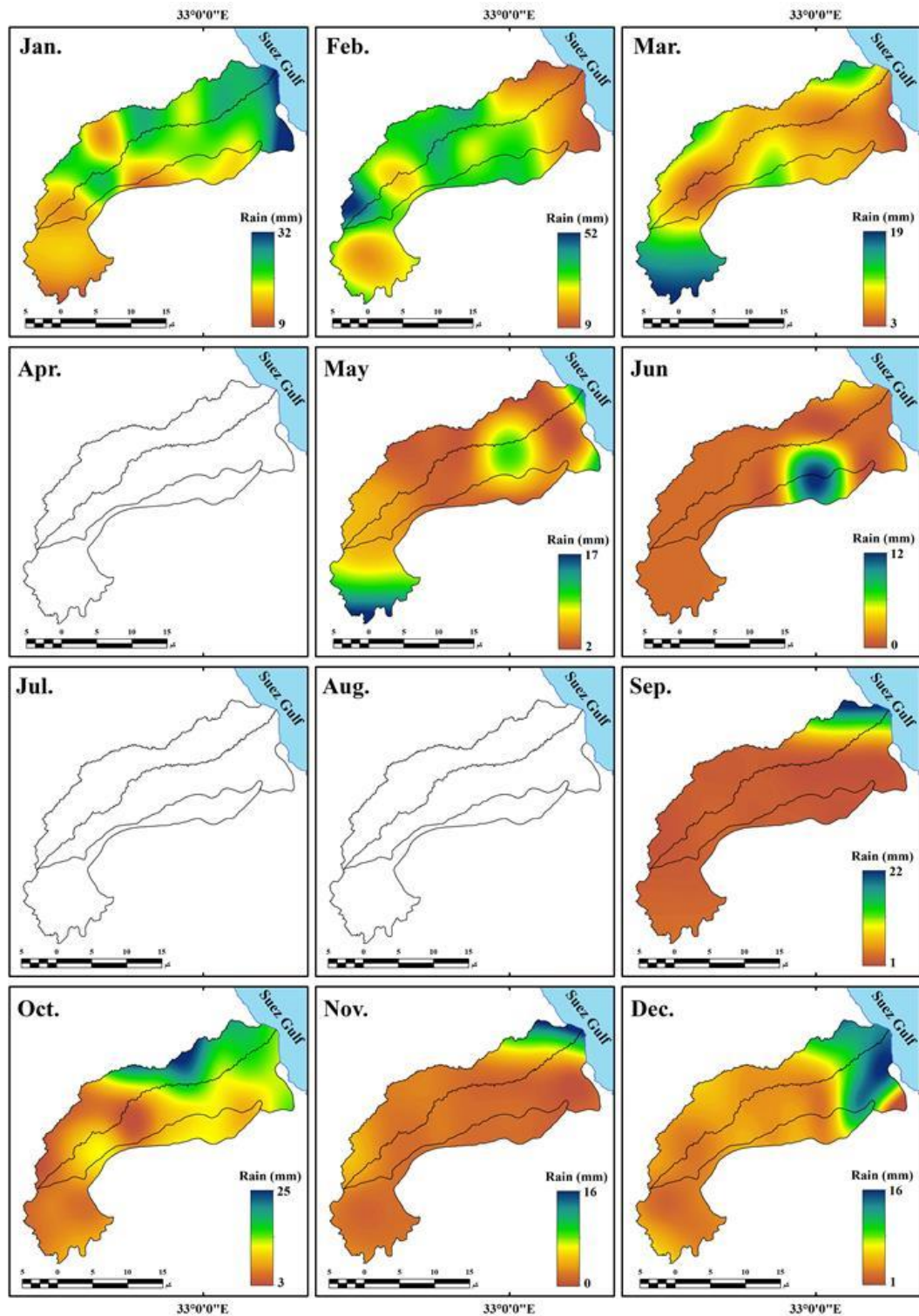
(1) **2015:** بلغ المتوسط السنوي المتوقع لهطول الأمطار في عام 2015 حوالي 7.0 مم. وارتفع هذا المعدل إلى 27.2 مم في فبراير، بينما انخفض إلى الصفر في أغسطس ويوليو. يعتبر فصل الشتاء أعلى موسم لهذا العام من حيث متوسط هطول الأمطار المتوقع، والذي بلغ حوالي 17.93 مم، يليه فصل الخريف الذي بلغ 6.13 مم (الجدول 10 والشكل 25).

جدول 11: متوسط التساقط السنوي والشهري المحسوب في منطقة الدراسة خلال الفترة (2015-2021)

شهور	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	متوسط الشهر
يناير.	18.2	2.8	10.4	0.03	54.4	4.3	4.4	13.50
فبراير.	27.2	2.2	0	60.2	27.3	1.1	5.7	17.67
مارس.	8.4	51	10.5	14	8.2	16	0.8	15.56
أبريل.	0	3.7	53.5	26	60.1	2	3.9	21.31
مايو	6.2	12.2	6.4	52.3	11.5	13.6	6.7	15.56
يونيو	1.7	0	0	0	3	0	0	0.67
يوليو.	0	0	0	0	0	0	0	0.00
أغسطس.	0	0	0	0	0	0	0	0.00
سبتمبر.	3.9	0	0	9.3	0	0	0	1.89
أكتوبر	10.7	14.8	0	14.4	0.9	0.03	18.7	8.50
نوفمبر.	2.6	8.4	5.8	7.8	1.9	6.6	5.7	5.54
ديسمبر.	5.1	0.9	43.6	9.6	1.8	9.3	34	14.90
المعدل السنوي	7.00	8.00	10.85	16.14	14.09	4.41	6.66	9.59

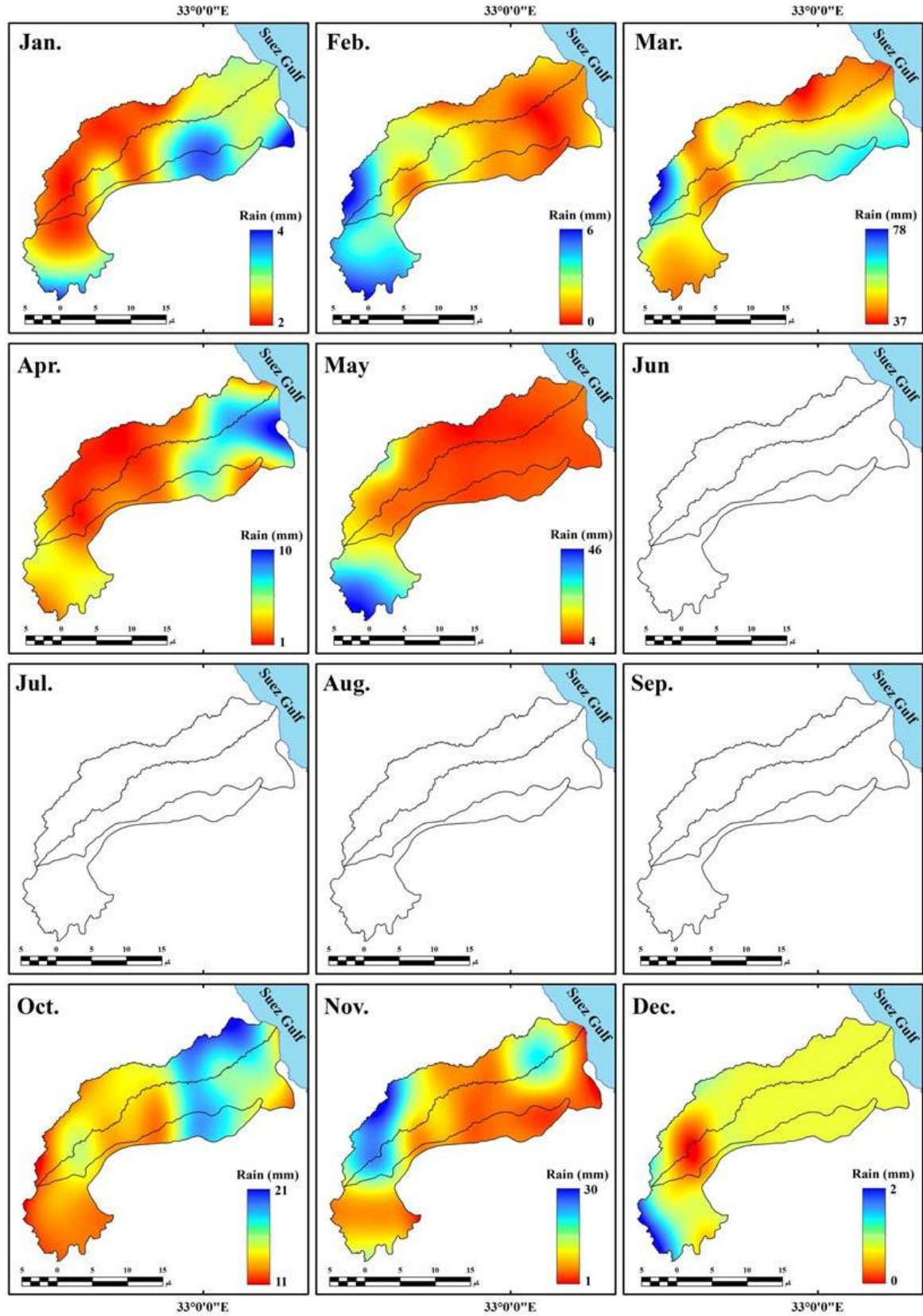
المصدر: تحليلات بيانات PERSIANN-CCS خلال الفترة 2015-2021

(2) **2016:** وبلغ المتوسط السنوي المتوقع لهطول الأمطار هذا العام حوالي 8.0 مم، وارتفع ليصل إلى 51.0 مم في مارس. وشهد شهر أكتوبر فيضانات خطيرة في الجزء الأوسط والجنوب من خليج السويس أسفرت عن غرق معظم مدينة رأس غارب. الشتاء هو أعلى فصل في السنة من حيث معدل التساقط المتوقع، والذي بلغ 18.67 مم، يليه الخريف بحوالي 8.03 مم، ثم الربيع بحوالي 5.3 مم (الجدول 10 والشكل 26).



شكل 25: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2015 على المنطقة.

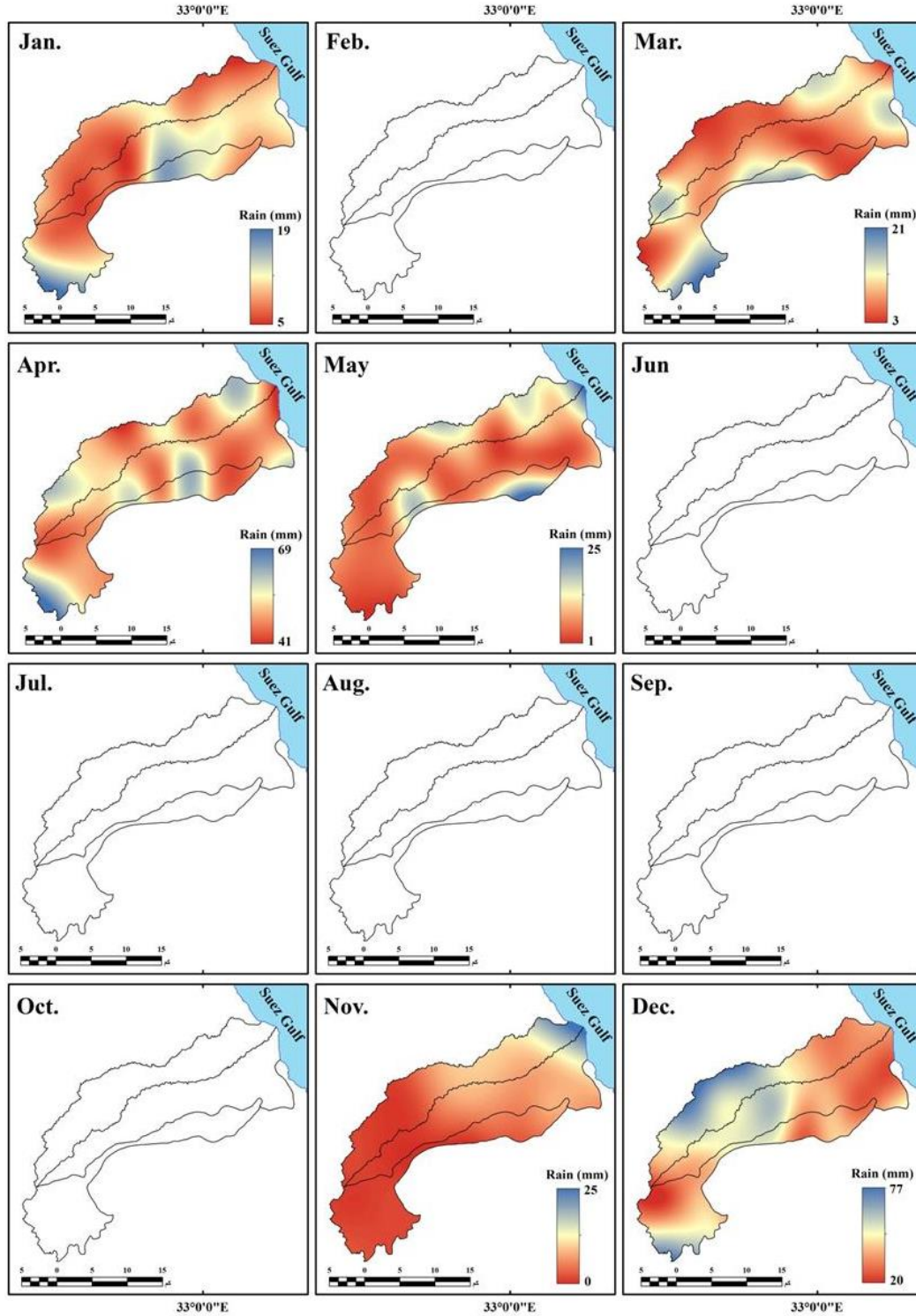




شكل 26: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2016 على المنطقة.

(3) **2017:** بلغ المتوسط السنوي المتوقع لهطول الأمطار لهذا العام حوالي 10.85 مم. ووصل هذا المعدل إلى أعلى قيمته في شهر أبريل الذي سجل حوالي 53.5 مم، تلاه شهر ديسمبر بنحو 43.6 مم. جاء فصل الربيع

في المرتبة الأولى من حيث معدل هطول الأمطار المتوقع بنحو 19.97 مم، يليه فصل الخريف بنحو 16.47 مم، ثم فصل الشتاء بنحو 6.97 مم (الجدول 10 والشكل 27).

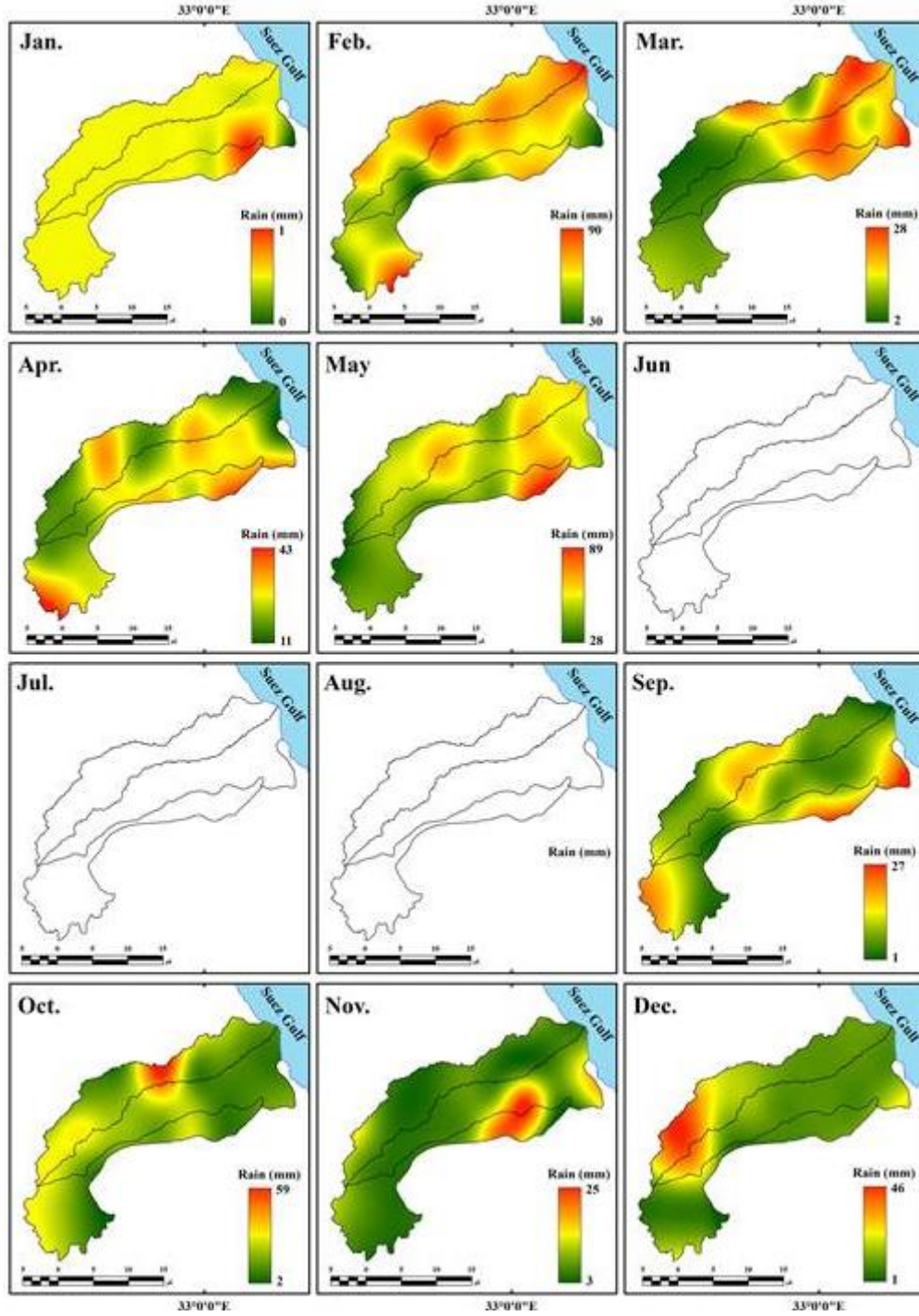


شكل 27: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2017 على المنطقة.

(4) 2018: هذا العام هو أعلى عام من حيث معدلات هطول الأمطار المتوقعة التي تم الحصول عليها من صور الأقمار الصناعية بمتوسط حوالي 16.14 مم. كانت أعلى قيمة في فبراير (60.2 مم). في الرابع والعشرين من فبراير، مرت عاصفة مطرية قوية نتج عنها تدفق كميات كبيرة من المياه في أحواض وسط وجنوب خليج السويس. وجاء شهر مايو في الفئة الثانية هذا العام وبلغت قرابة 52.3 مم، حيث شهد هذا الشهر مرور عاصفة ممطرة شديدة في 25 مايو، ما أسفر عن جريان كبير في أحواض الأجزاء الشمالية والوسطى من خليج

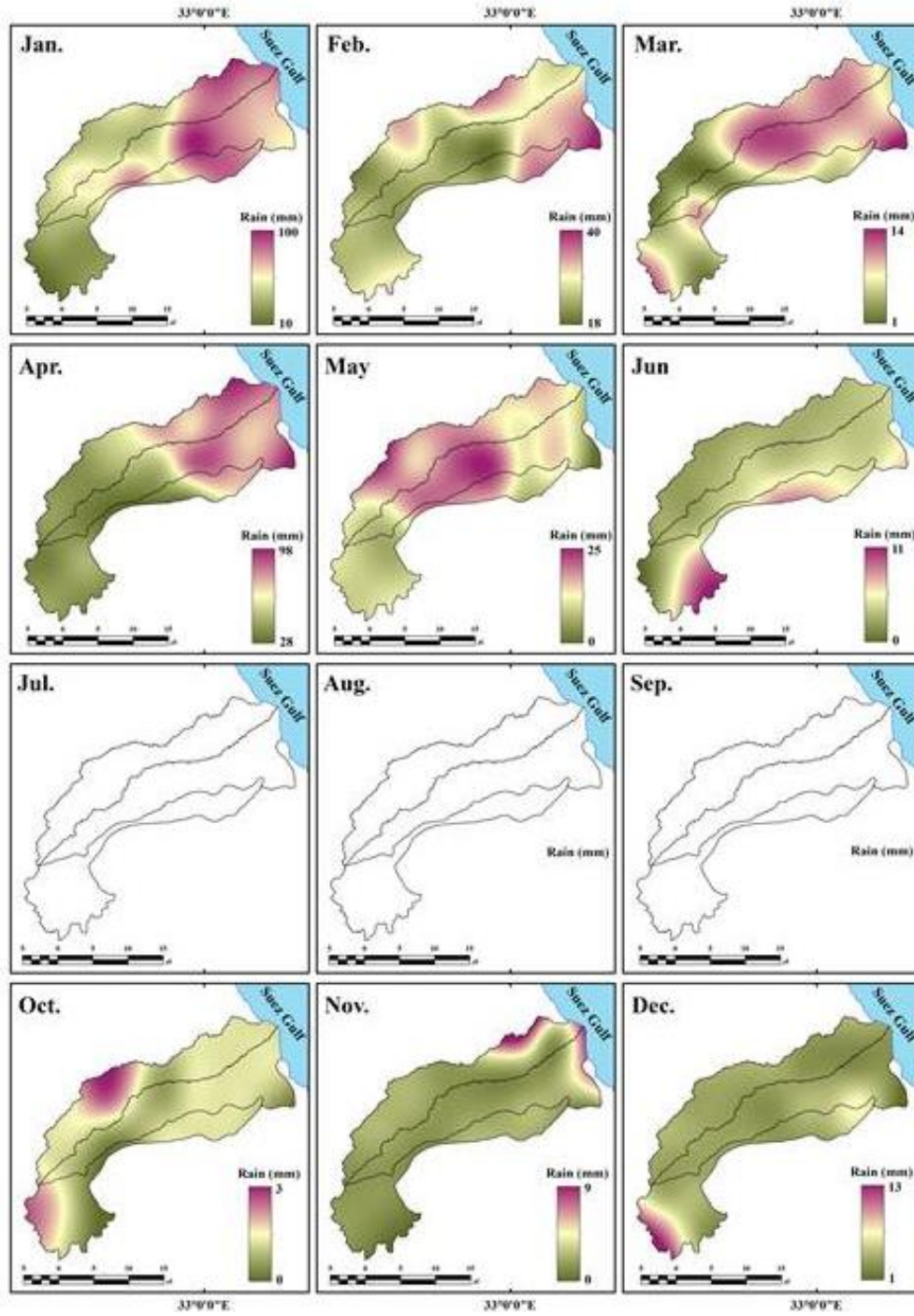


السويس. . كان الربيع هو أعلى موسم لهذا العام بمتوسط حوالي 26.1 مم، يليه الشتاء بحوالي 24.74 مم، ثم الخريف بحوالي 10.6 مم (الجدول 10 والشكل 28).



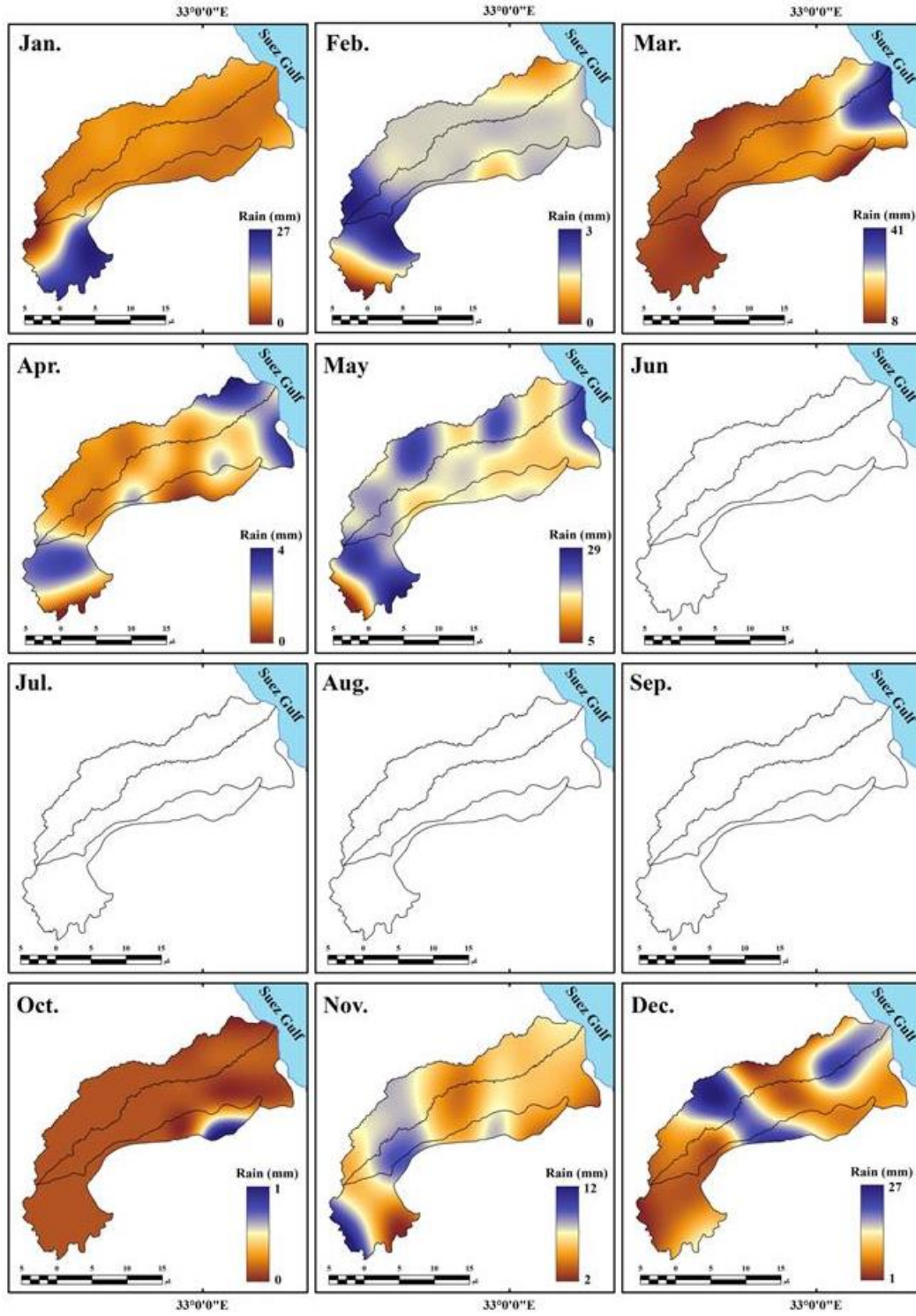
شكل 28: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2018 على المنطقة.

(5) **2019:** انخفض المتوسط السنوي المتوقع لهطول الأمطار هذا العام مقارنة بالعام السابق، حيث بلغ المتوسط السنوي لهطول الأمطار حوالي 14.09 مم، ونسبة انخفاض بلغت 12.7%. أبريل هو أعلى شهور السنة بمتوسط 60.1 مم، يليه يناير، بمعدل هطول 54.4 مم. من حيث الفصول، يعتبر الشتاء هو الأعلى في هذا العام حيث بلغ حوالي 29.97 مم، يليه الربيع بمتوسط هطول 24.87 مم، ثم الخريف 1.53 مم (الجدول 10 والشكل 29).



شكل 29: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2019 على المنطقة.

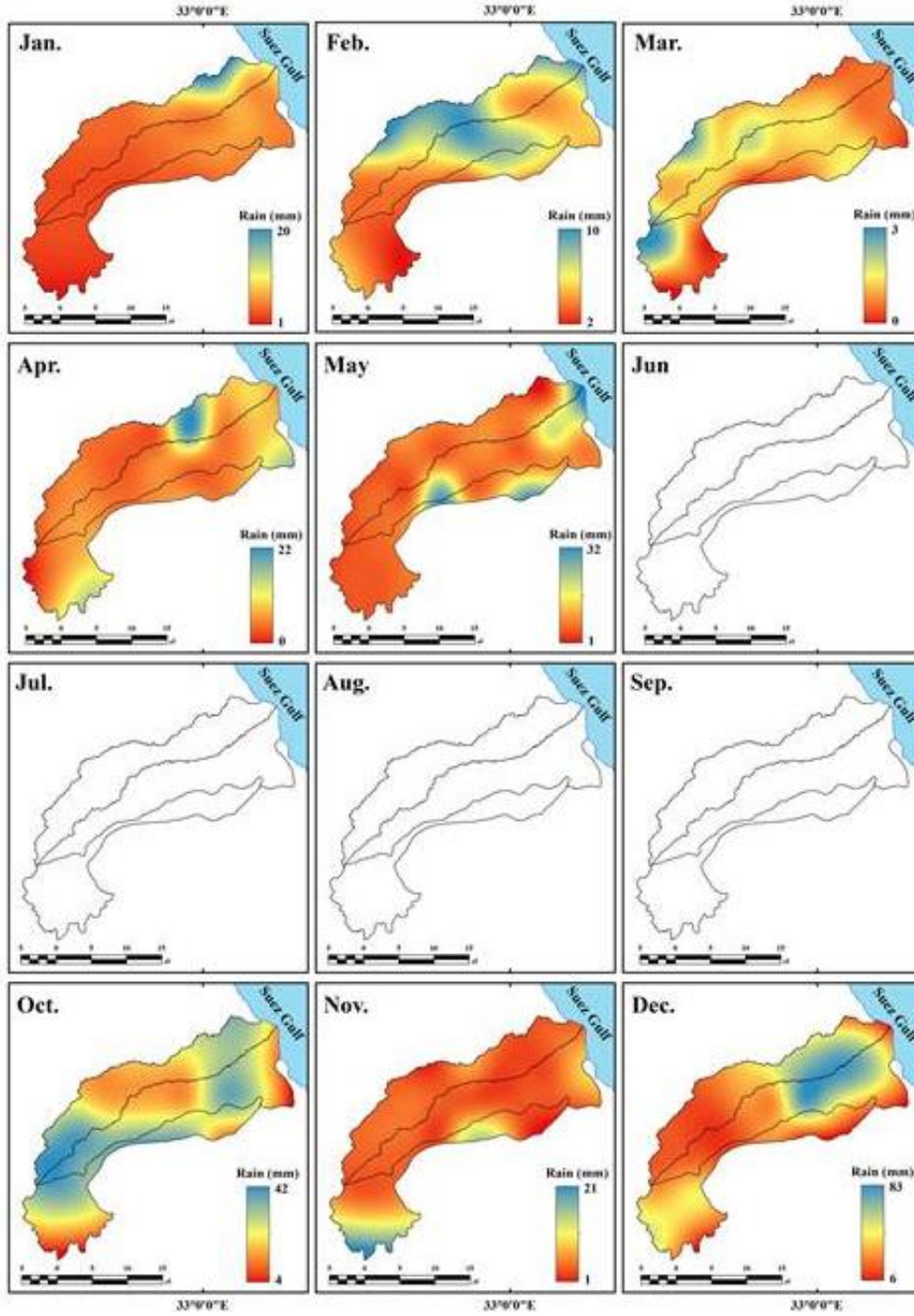
(6) **2020:** وبلغ المتوسط المتوقع لهطول الأمطار هذا العام حوالي 4.41 مم. وبذلك تعتبر أقل سنة للدراسة من حيث المعدل المتوقع لهطول الأمطار. مارس هو أعلى شهر في هذا العام بمتوسط 16.0 مم. من حيث الفصول، يعتبر الشتاء هو أعلى فصل في هذا العام بمتوسط متوقع لهطول الأمطار بلغ حوالي 7.13 مم، يليه الخريف (الجدول 10 والشكل 30).



شكل 30: معدل التساقط الشهري المتوقع لعام 2020 على المنطقة.

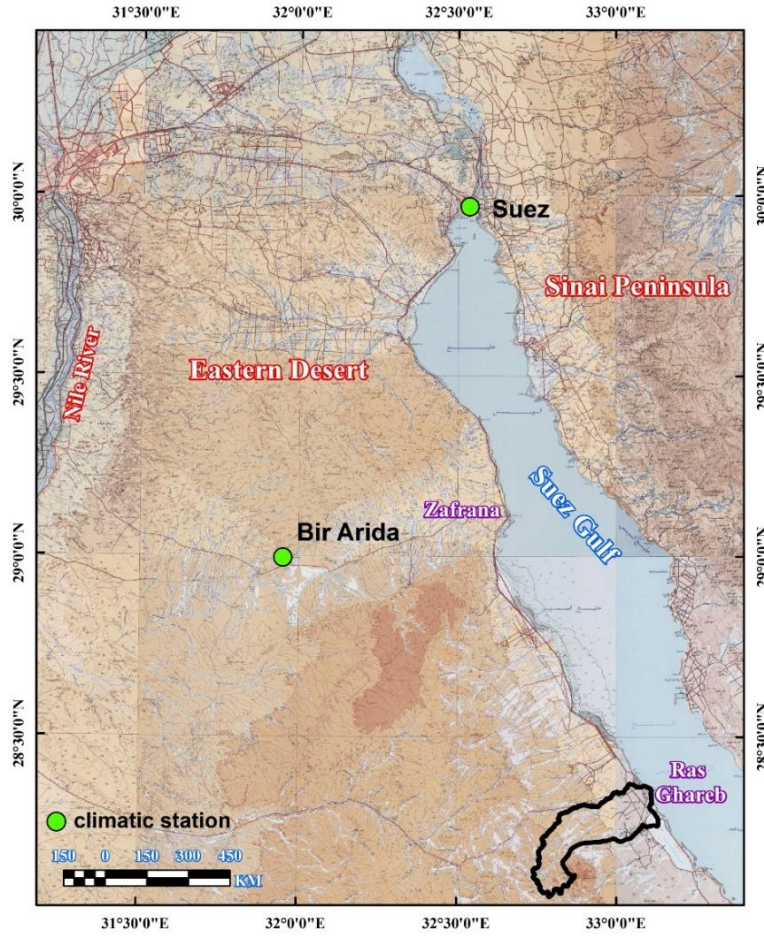
**2021:** ارتفع المتوسط العام لهطول الأمطار هذا العام، حيث وصل إلى 6.66 مم، بمعدل زيادة 50.9% عن العام السابق. ديسمبر هو أعلى شهر في هذا العام بمعدل حوالي 34.0 مم، يليه أكتوبر بنحو 18.7 مم. كان الربيع هو أعلى موسم لهطول الأمطار المتوقع بحوالي 19.47 مم، يليه فصلا الشتاء والربيع، حيث كانت معدلات التساقط المتوقعة حوالي (3.53 - 3.63 مم) لكل منهما على التوالي (الجدول 10 والشكل 31).





شكل 31: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2121 على المنطقة.

8.2 بيانات قياس هطول الأمطار وتصميم العواصف الممطرة (البيانات الفعلية المقاسة)  
تم جمع بيانات سقوط الأمطار الفعلية المستخدمة في هذا القسم من هيئة الأرصاد الجوية المصرية لأقرب محطتين للأرصاد الجوية إلى منطقة الدراسة وهما السويس وبير. محطات عريضة (شكل 32). تمثل البيانات التي تم جمعها 6 سنوات من السجلات من 2016 إلى 2021، لتكون متزامنة مع صور الأقمار الصناعية المناخية المختارة.



شكل 32: محطات الطقس قريبة من حوض المنطقة

### 8.2.1 بيانات هطول الأمطار الأخيرة

بيانات سقوط الأمطار للسنوات الست (2016 - 2021) لمحطتي الأرصاد الجوية بالسويس وبئر عريضة التي تم جمعها من الهيئة المصرية موضحة في (الجدول 11، 12).

بناءً على المقارنة بين بيانات هطول الأمطار المتوقعة من صور الأقمار الصناعية والتي تم قياسها بالفعل (الجدول 11 و 12 و 13)، يمكن الكشف عن ملاحظات مهمة:

- بالنسبة لعام 2016 بالضبط في أكتوبر، عندما تعرضت منطقة الدراسة لهطول أمطار غزيرة نتج عنها فيضان خطير ضرب مدينة راد غارب، توقع عمق سقوط الأمطار من صور الأقمار الصناعية أن يكون 21 مم، حيث تم قياس هطول الأمطار الفعلي من كانت أقرب محطات الأرصاد الجوية 3.4 مم في محطة بئر عريضة 0.8 مم في محطة السويس (الجدول 13).
- يمكن أن يمثل عمق هطول الأمطار الفعلي حوالي 16٪ من كثافة المطر المتوقعة المحسوبة من صور الأقمار الصناعية.



جدول 12: السجلات الشهرية لبيانات سقوط الأمطار خلال آخر 6 سنوات لمحطة بير عريضة

سنة	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	أبريل	مارس	فبراير	يناير	معلمة
2016	1	-	1	-	1	-	2	عدد الأيام الممطرة
	0.2	0	3.4	0	0.8	0	2	كمية المطر (مم / شهر)
	0.2	0	3.4	0	0.8	0	1.4	كمية المطر في اليوم الواحد (مم)
	23	-	27	-	13	-	27	تاريخ هطول الأمطار القصوى
2017	-	-	-	-	1	1	-	عدد الأيام الممطرة
	0	0	0	0	0.3	1.3	0	كمية المطر (مم / شهر)
	0	0	0	0	0.3	1.3	0	كمية المطر في اليوم الواحد (مم)
	-	-	-	-	18	16	-	تاريخ هطول الأمطار القصوى
2018	1	-	-	1	-	2	1	عدد الأيام الممطرة
	1.3	0	0	0.6	0	2	0.1	كمية المطر (مم / شهر)
	1.3	0	0	0.6	0	1.2	0.1	كمية المطر في اليوم الواحد (مم)
	5	-	-	25	-	13	25	تاريخ هطول الأمطار القصوى
2019	-	-	1	-	-1	1	1	عدد الأيام الممطرة
	0	0	1.6	0	1.8	0.1	0.1	كمية المطر (مم / شهر)
	0	0	1.6	0	1.8	0.1	0.1	كمية المطر في اليوم الواحد (مم)
	-	-	22	-	30	15	20	تاريخ هطول الأمطار القصوى
2020	-	-	-	-	1	1	-	عدد الأيام الممطرة
	0	0	0	0	9	4.8	0	كمية المطر (مم / شهر)
	0	0	0	0	9	4.8	0	كمية المطر في اليوم الواحد (مم)
	-	-	-	-	12	24	-	تاريخ هطول الأمطار القصوى
2021	-	1	-	-	-	1	-	عدد الأيام الممطرة
	0	1.6	0	0	0	2	0	كمية المطر (مم / شهر)
	0	1.6	0	0	0	2	0	كمية المطر في اليوم الواحد (مم)
	-	4	-	-	-	4	-	تاريخ هطول الأمطار القصوى

جدول 13: السجلات الشهرية لبيانات سقوط الأمطار خلال آخر 6 سنوات لمحطة السويس

معلمة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	سنة
عدد الأيام الممطرة	2	-	1	-	1	-	-	2016
كمية المطر (مم / شهر)	1.8	0	0.2	0	0.8	0	0	
كمية المطر في اليوم الواحد (مم)	1	0	0.2	0	0.8	0	0	
تاريخ هطول الأمطار القصوى	27	-	26	-	27	-	-	
عدد الأيام الممطرة	-	-	1	-	-	-	-	2017
كمية المطر (مم / شهر)	0	0	0.8	0	0	0	0	
كمية المطر في اليوم الواحد (مم)	0	0	0.8	0	0	0	0	
تاريخ هطول الأمطار القصوى	-	-	22	-	-	-	-	
عدد الأيام الممطرة	1	1	-	2	-	2	1	2018
كمية المطر (مم / شهر)	0.5	0.6	0	3	0	3.1	1.8	
كمية المطر في اليوم الواحد (مم)	0.5	0.6	0	2.3	0	2.1	1.8	
تاريخ هطول الأمطار القصوى	26	12	-	25	-	23	5	
عدد الأيام الممطرة	-	2	1	-	1	-	-	2019
كمية المطر (مم / شهر)	0	5.1	4	0	3	0	0	
كمية المطر في اليوم الواحد (مم)	0	4.6	4	0	3	0	0	
تاريخ هطول الأمطار القصوى	-	6	5	-	22	-	-	
عدد الأيام الممطرة	-	1	2	-	-	-	-	2020
كمية المطر (مم / شهر)	0	16.4	36.5	0	0	0	0	
كمية المطر في اليوم الواحد (مم)	0	16.4	25.4	0	0	0	0	
تاريخ هطول الأمطار القصوى	-	24	12	-	-	-	-	
عدد الأيام الممطرة	-	2	-	-	-	1	2	2021
كمية المطر (مم / شهر)	0	7.6	0	0	0	0.3	0.7	
كمية المطر في اليوم الواحد (مم)	0	5.2	0	0	0	0.3	0.6	
تاريخ هطول الأمطار القصوى	-	5	-	-	-	21	31	

- في شهري أبريل وديسمبر 2017، تم تسجيل هطول الأمطار الفعلي في محطات الأرصاد الجوية، بغض النظر عن معدل هطول الأمطار المتوقع 69 و77 مم على التوالي (الجدول 13).
- في عام 2018، كان معدل هطول الأمطار المتوقع عالياً في معظم الأشهر الممطرة بلغ 90 مم في فبراير ما عدا شهر يناير، بينما كان الحد الأقصى لسقوط الأمطار في محطة بير عريضة 2 مم في فبراير و3.1 مم في أبريل وأكتوبر. لم يتم تسجيل أي فيضان أو تدفق سطحي عنيف في منطقة الدراسة.
- في شهري يناير وأبريل 2019، كان عمق هطول الأمطار المقدر 100 و98 مم على التوالي، بينما بلغ معدل هطول الأمطار المسجل في محطة بئر عريضة 0.1 و0 على التوالي ولم يتم تسجيل هطول الأمطار في محطة السويس (الجدول 13).
- بلغ عمق هطول الأمطار المتوقع في شهري فبراير ومارس 2020 3 و41 مم، بينما بلغ هطول الأمطار المقاسة في محطة بئر عريضة 4.8 و9 مم على التوالي وفي محطة السويس 16.4 و25.4 مم على التوالي. ومع ذلك، فإن عمق هطول الأمطار المقاس في مارس مرتفع في المحطتين، ولم يتم تسجيل فيضان أو تدفق سطحي قوي في منطقة الدراسة.
- على الرغم من أن هطول الأمطار المتوقع أن يسقط على المنطقة في ديسمبر 2021 كان 83 مم، إلا أنه لم يتم تسجيل أي أمطار في المنطقة في هذا الشهر في محطة بير عريضة و0.7 مم في محطة السويس (الجدول 13).

**جدول 14: معدل هطول الأمطار المتوقع مقارنة بأعماق الأمطار الفعلية خلال الفترة (2016 إلى 2021)**

شهر	2016			2017			2018			2019			2020			2021		
	M. S	M. BA	Ex.	M. S	M. BA	Ex.	M. S	M. BA	Ex.	M. S	M. BA	Ex.	M. S	M. BA	Ex.	M. S	M. BA	Ex.
يناير.	1.8	2	4	0	0	19	0.5	0.1	1	0	0.1	100	0	0	27	0	0	20
فبراير.	0	0	6	0	1.3	0	0.6	2	90	5.1	0.1	40	16.4	4.8	3	7.6	2	10
مارس	0.2	0.8	78	0.8	0.3	21	0	0	28	4	1.8	14	25.4	9	41	0	0	3
أبريل	0	0	10	0	0	69	3	0.6	43	0	0	98	0	0	4	0	0	22
أكتوبر	0.8	3.4	21	0	0	0	0	0	59	3	1.6	3	0	0	1	0	0	42
نوفمبر.	0	0	30	0	0	25	3.1	0	25	0	0	9	0	0	12	0.3	1.6	21
ديسمبر.	0	0.2	2	0	0	77	1.8	1.3	46	0	0	13	0	0	27	0.7	0	83

Ex.: هطول الأمطار المتوقع بناءً على تحليلات صور الأقمار الصناعية  
M. BA: بيانات هطول الأمطار المقاسة من محطة الأرصاد الجوية بير عريضة  
M. S: بيانات هطول الأمطار المقاسة من محطة الأرصاد الجوية بالسويس

## 8.2.2 تقدير عودة العواصف المطيرة الاحتمالية

لتقدير احتمالية حدوث الفيضانات في منطقة الدراسة ووقت عودتها، تم الاعتماد على بيانات محطات الأرصاد الجوية في منطقة الدراسة للحصول على أكبر كمية من الأمطار سقطت في يوم واحد على هذه المحطات خلال فترة الدراسة. الفترة (2021-2016). تم تسجيل القيم القصوى 25.4 مم في محطتي السويس وبئر عريضة في عام 2020 على التوالي (الجدولان 11، 12). تم ترتيب هذه القيم بترتيب تنازلي بحيث تحتل أعلى قيمة للمطر المرتبة الأولى، متبوعة ببقية القيم، وهكذا (الترتيب) كما هو موضح في الجدول (13). كما تم حساب كمية الأمطار فوق جبال البحر الأحمر بزيادة قدرها 25٪ عن هطول الأمطار في نفس الفترة حسب دراسة (Gheith & sultan، 2002). تم حساب احتمالية حدوث الفيضانات المفاجئة في المنطقة (P (%)) بالاعتماد على المعادلة (Critchley & Siegert، 1991) على النحو التالي:

$$P (\%) = \frac{m - 0.375}{N + 0.25} \times 100$$

$$P(\%) = \frac{m - 0.375}{N} + 0.25 \times 100$$

P = الاحتمال في % من ملاحظة الرتبة م

M = مرتبة الملاحظة

N = العدد الإجمالي للملاحظات المستخدمة

من خلال تطبيق هذه المعادلة على بيانات الحد الأقصى من كمية الأمطار المتاحة، يتضح أن احتمال عودة 12 مارس 2020 فيضان "أقوى سيل حدث في المنطقة خلال فترة الدراسة" مرة أخرى يصل إلى 1.8%. نظراً لأن كمية مياه العواصف المطيرة ترتبط عكسياً باحتمال حدوث فيضانات مفاجئة، فإن احتمال حدوث الفيضانات الكبيرة أقل من احتمال حدوث الفيضانات الصغيرة. تم حساب وقت عودة الفيضانات  $T_p$  (yr) أيضاً من خلال اتباع المعادلة.

$$TP = 100/P$$

$$(T = \frac{100}{P_1} \text{ (years)})$$

من المعادلة السابقة، تم حساب وقت عودة الفيضانات، والتي تتناسب عكسياً مع احتمال حدوثها. كلما زاد احتمال حدوث الفيضان، كانت الفترة الزمنية الأقل لعودته والعكس صحيح (الجدول 14 والشكل 33). وبناءً على ما تقدم فإن احتمال عودة فيضان 12 آذار 2020 يقارب 55.6 سنة. لذلك، من المتوقع أن يعود فيضان مشابه في قوته لفيضان 2020 بحلول عام 2076.

جدول 15: أعادت البيانات المحسوبة للعاصفة المطيرة الاحتمال

تاريخ	سنة	الحد الأقصى للأمطار (مم)	RRSMG	رتبة	P (%)	$T_p$ (سنوي)
1/27	2016	1	1.25	21	59.4	1.7
1/27	2016	1.4	1.75	17	47.8	2.1
3/13	2016	0.8	1	22	62.2	1.6
3/26	2016	0.2	0.25	31	88.1	1.1
10/27	2016	0.8	1	23	65.1	1.5
10/27	2016	3.4	4.25	8	21.9	4.6
12/23	2016	0.2	0.25	32	91	1.1
2/16	2017	1.3	1.63	18	50.7	2
3/18	2017	0.3	0.38	29	82.4	1.2
3/22	2017	0.8	1	24	68	1.5
1/25	2018	0.1	0.13	33	93.9	1.1
1/26	2018	0.5	0.63	28	79.5	1.3
2/12	2018	0.6	0.75	25	70.9	1.4
2/13	2018	1.2	1.5	20	56.5	1.8
4/25	2018	2.3	2.88	10	27.7	3.6
4/25	2018	0.6	0.75	26	73.7	1.4

3.3	30.6	11	2.63	2.1	2018	11/23
2.8	36.3	13	2.25	1.8	2018	12/5
1.9	53.6	19	1.63	1.3	2018	12/5
1	96.8	34	0.13	0.1	2019	1/20
6.2	16.2	6	5.75	4.6	2019	2/6
1	99.6	35	0.13	0.1	2019	2/15
5.2	19.1	7	5	4	2019	3/5
2.6	39.2	14	2.25	1.8	2019	3/30
4	24.8	9	3.75	3	2019	10/22
2.4	42.1	15	2	1.6	2019	10/22
21.3	4.7	2	20.5	16.4	2020	2/24
7.5	13.3	5	6	4.8	2020	2/24
55.6	1.8	1	31.75	25.4	2020	3/12
13.2	7.6	3	11.25	9	2020	3/12
3	33.5	12	2.5	2	2021	2/4
9.6	10.4	4	6.5	5.2	2021	2/5
2.2	45	16	2	1.6	2021	11/12
1.2	85.3	30	0.38	0.3	2021	11/21
1.3	76.6	27	0.75	0.6	2021	12/31

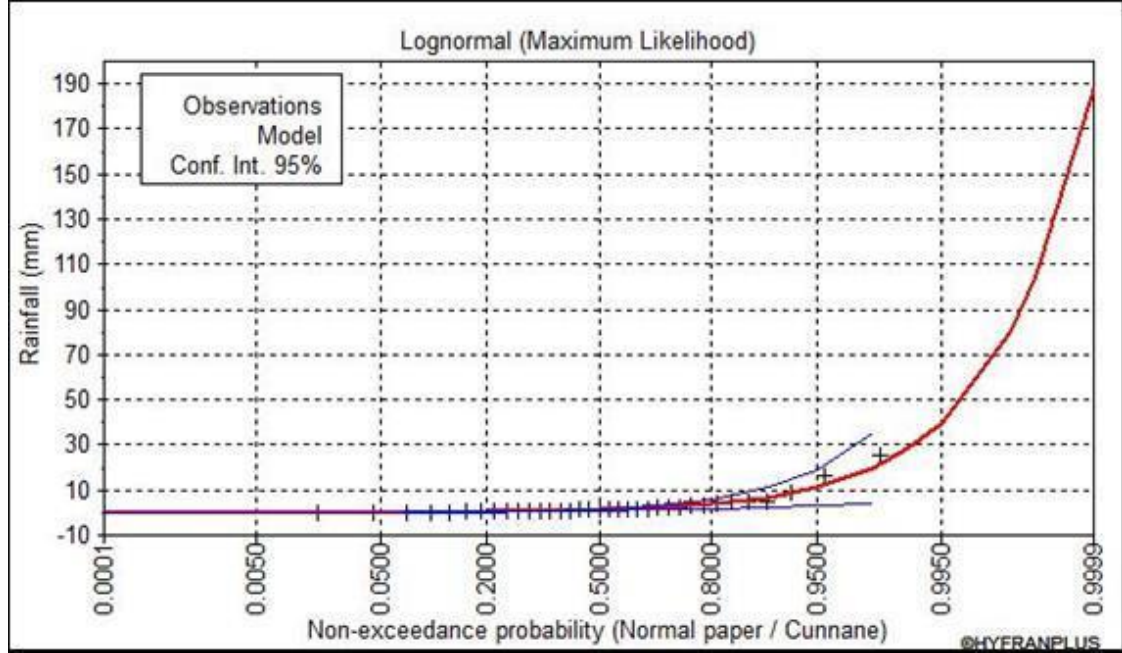
تم حساب عمق المطر في بعض الفترات المتكررة المطلوبة (2-5-10-25-50-100 سنة) من خلال تطبيق التوزيع الإحصائي العادي الطويل (الاحتمالية القصوى)، مما أدى إلى التنبؤ بكميات الأمطار التالية كأقصى كمية من الأمطار يمكن أن تهطل في يوم واحد (الجدول 14، الأشكال 33، 34):

جدول 16: يمكن الحصول على أقصى قدر من مياه الأمطار في يوم واحد

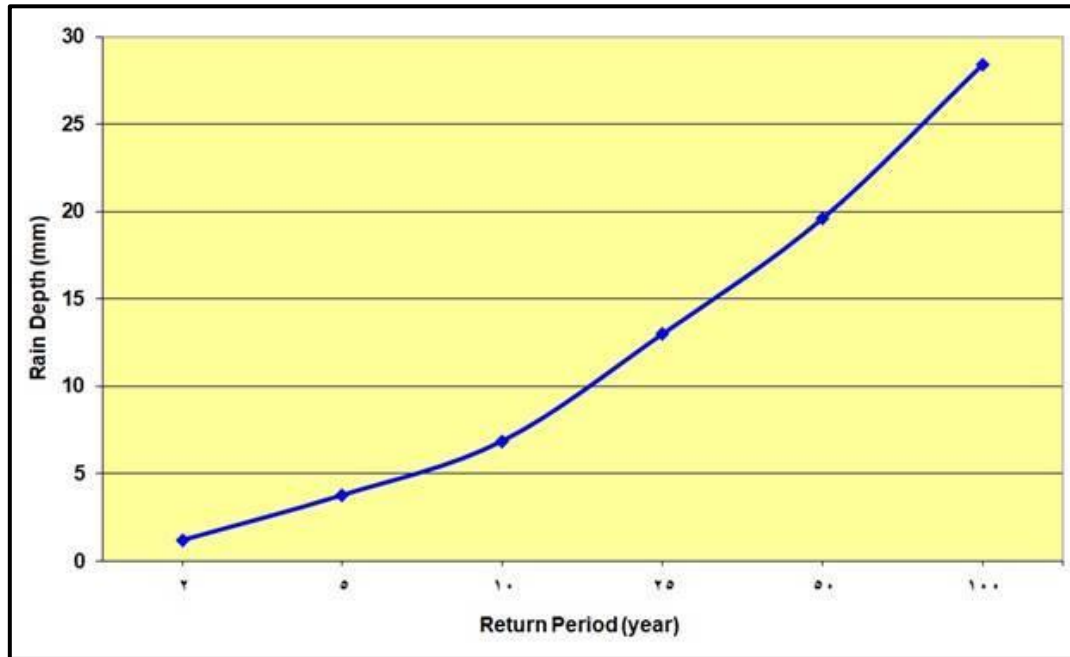
فترة العودة (سنة)	عمق المطر (مم)
2	1.21
5	3.79
10	6.88
25	13.0
50	19.6
100	28.4



ويلاحظ من بيانات الجدول السابق أن الحد الأقصى لمقدار المطر المتوقع هبوطه في يوم واحد يزداد مع زيادة الفترة الزمنية. يمكن أن تصل إلى حوالي 1.21 مم خلال فترة عودة عامين، بينما من المتوقع أن تصل إلى 28.4 مم في فترة عودة 100 عام.



شكل 33: احتمالية شدة سقوط المطر



شكل 34: الفترات التي تم إرجاعها لأقصى شدة لسقوط الأمطار.

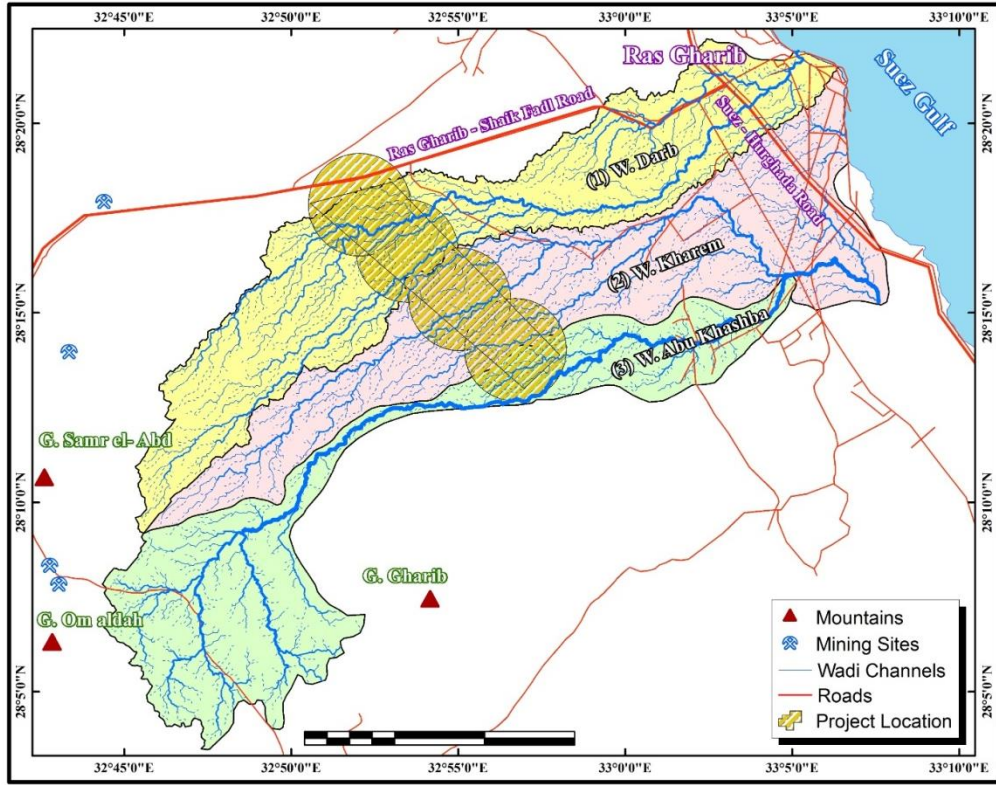
بناءً على الدراسة التفصيلية أعلاه لبيانات هطول الأمطار الفعلية التي تم جمعها من أقرب محطات الأرصاد الجوية إلى موقع المشروع (المحطة الجوية القاحلة ومحطة السويس)، يمكن استنتاج النقاط التالية:

- في أكتوبر 2016 عندما استقبلت منطقة الدراسة هطول أمطار غزيرة نتج عنها فيضانات قوية، تم تسجيل هطول الأمطار في محطة بير عريضة (شمال غرب بحوالي 120 كم من الموقع)، ومحطات السويس (شمال بحوالي 200 كم من الموقع). (كان 3.4 و 0.8 مم على التوالي).
- في عام 2020 عندما سجلت المحطتان السابقتان أعماق أمطار 9 و 25.4 مم على التوالي، لم تتعرض منطقة الدراسة لفيضانات خطيرة.
- تم أخذ ظاهرة الديدان العالمية في الاعتبار عند تصميم العواصف المطيرة وفترات عودتها؛ (1) زيادة كمية هطول الأمطار المسجلة بنحو 25٪، (2) الحساب على أساس أعماق هطول الأمطار القصوى المسجلة في يوم واحد في المحطتين (مارس 2020) بدلاً من القيمة المسجلة أثناء حدوث الفيضانات (أكتوبر 2016).
- يمكن أن تعود العاصفة الممطرة التي سجلت بمقدار 9 مم في بير عريضة و 25.4 مم في محطة السويس في فترة حوالي 55 عامًا.
- يمكن أن تعود العاصفة الممطرة التي سجلت أثناء حدوث الفيضانات في منطقة الدراسة في بير عريضة (3.4 مم) خلال 5 سنوات.
- بعد كارثة فيضان عام 2016 على منطقة الدراسة، تم تطبيق التخفيف على طول أحواض الصرف الخطرة في المنطقة مثل ثلاثة سدود متتالية مع بحيرات صناعية على طول المجرى الرئيسي لوادي الحواشبة على بعد 20 كم شمال الموقع، مجموعة من السدود المتتالية مع تبطين الطريق ووضع العديد من المجاري تحتها لمنع تدفق المياه فوق الطريق على طول وادي أبو حد، شمال الموقع مباشرة، سد ببحيرة اصطناعية عند مصب وادي الدرب شرق وبناء أسوار خرسانية بارتفاع يتراوح من متر إلى مترين لحماية المرافق الموجودة في الروافد التي تغذي التيار الرئيسي من الجريان السطحي. يتمثل ذلك في الأسوار المقامة حول المحطة وأبراج الجهد العالي وأبراج الاتصالات الواقعة في وادي أبو حد.
- جميع وسائل التخفيف المذكورة أعلاه تنتقل إلى حد كبير مدن المصب (رأس غارب) والبنية التحتية (الطرق الإسفلتية ومحطات الطاقة وأبراج الطاقة والاتصالات) من مخاطر الفيضانات وتدفق السطح القوي في خطوط الصرف الموزعة في الأجزاء الوسطى والمنبع. من أحواض الصرف.

## 9. التحليل المورفومتري

### 9.1 الموقع والخصائص الشكلية للموقع

تقع منطقة الدراسة على ساحل خليج السويس حيث تنتهي أحواض الصرف بالمنطقة إلى الخليج عند مدينة رأس غارب وجنوبها. ثلاثة أحواض صرف تمر بموقع المشروع وهي وادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة (الشكل 34). يحد المنطقة قيد الدراسة من الشمال حوض وادي أبو حد، ومن الجنوب حوض وادي غريب، ومن الجنوب الغربي حوض وادي قنا، ومن الغرب حوض وادي طرفة، ومن الغرب وادي طرفة. حوض طرفا. تمتد المنطقة بين خطي عرض 28° 3' و 20.6° و 22° 29.628' شمالاً، وتمتد بين خطي طول 4432' 9.7° و 1.333° 8° شرقاً، (الشكل 35).



شكل 35: موقع الموقع

يقع موقع المشروع في الجزء الأوسط من الأحواض الثلاثة حيث تتجه المخارج إلى الشرق. ستم دراسة وتحليل أحواض الصرف الثلاثة العابرة للموقع فيما يلي.

## 9.2 الخصائص الشكلية لأحواض الصرف

يشير Morphometric إلى عملية التحليل العددي لخصائص سطح الأرض من الخرائط الطبوغرافية وصور Land DEM وSat التي تكملها القياسات الجوية والفضائية والميدانية. أجريت التحليلات المورفومترية للأحواض الثلاثة المدروسة باستخدام برنامج ARC-GIS وتمت مقارنة القيم بحدود الأحواض على طول البحر الأحمر. تعتبر الدراسات الشكلية لأحواض الصرف مهمة لتحديد خصائصها الهيدرولوجية وبالتالي شدة الفيضانات.

تتضمن المعلومات الشكلية للحوض ما يلي:

- بعد الحوض
- شكل الحوض
- السمات الطبوغرافية للحوض.

### (a) بعد الحوض

يتم تمثيلهم بالمساحة والطول والعرض والمحيط.

منطقة الحوض (أ) كم<sup>2</sup>

تقيس مساحة حوض الصرف بالمنطقة التي تضم جميع الروافد الواقعة داخل إقليم الحوض والتي يحيط بها الخط الفاصل للمياه. تتأثر مساحة الحوض بشبكة المجاري المائية ونمط توزيعها.

هناك علاقة عكسية بين مساحة حوض الصرف وحجم الرواسب التي ينقلها الوادي إلى الجزء السفلي، فكلما كبرت المساحة، قل حجم الرواسب التي يحملها الوادي إلى الجزء السفلي. تزداد القدرة الكامنة لحوض الصرف على الاحتفاظ بالرواسب مع زيادة مساحته. كلما كانت مساحة حوض الصرف أكبر، زادت قدرة الحوض على الاحتفاظ بالرواسب وتخزينها بشكل مؤقت أو دائم داخل حوض الصرف نفسه (محمد عبد اللطيف، 2008، ص 57).

مساحة الحوض لها دور مؤثر في احتمالية حدوث الفيضانات، حيث توجد علاقة مباشرة بين مناطق الأحواض وحجم التصريف. وكلما كبرت مساحة الحوض، زاد حجم الأمطار التي يتلقاها وازداد احتمال حدوث الفيضانات ( Jouda et al, 1991). لذلك، هناك احتمال أكبر لحدوث الفيضانات في الأحواض الكبيرة الحجم مقارنة بالأحواض الصغيرة (Cooke et al, 1985).

تتراوح مساحة أحواض البحر الأحمر من 1796.5 كيلومتر مربع (مخاطر عالية للفيضانات) إلى 2.8 كيلومتر مربع (مخاطر منخفضة للفيضانات). بناءً على البرنامج، تم توضيح مناطق الأحواض الثلاثة المدروسة في الجدول 15.

يتضح أن المساحة الكلية للأحواض المدروسة تبلغ حوالي 515.8 كم<sup>2</sup> بمتوسط عام حوالي 171.93 كم<sup>2</sup>. وتتراوح مساحة الأحواض من 150.9 كيلومتر مربع (وادي أبو خشبة جنوباً) الأصغر، إلى 185.3 كيلومتر مربع (وادي خريم). بناءً على دور منطقة الحوض في توقع الفيضانات، تتمتع وادي خريم بإمكانيات أعلى لتوقع الفيضانات بدلاً من الوديان الأخرى.

جدول 17: المعلمات الشكلية للأحواض التسعة المدروسة التي تعبر موقع المشروع.

وادي درب	وادي خريم	وادي أبو خشبة	معدل
أ (كم <sup>2</sup> )	179.6	185.3	150.9
LB (كم)	38.4	44.1	55.2
W (كم)	4.3	4.8	3.6
Pr (Km)	113.9	109.4	107.8
Re	0.394	0.348	0.251
RC	0.175	0.196	0.164
Ish	0.122	0.095	0.05
SH	2.397	2.267	2.475
Rlw	8.93	9.188	15.333
الترددات اللاسلكية	779	792	1126
Rh	20.29	17.96	20.40
Rr	0.684	0.724	1.045
Rn	2.427	2.373	3.068
Hi	0.231	0.234	0.134
SI	1.162	1.029	1.169
Rb	4.18	4.11	3.57
د (كم <sup>1</sup> )	3.115	2.997	2.724
F (كم <sup>2</sup> )	3.614	3.648	4.023
Rm	0.321	0.334	0.367
Lo	1.558	1.499	1.362
Rt	5.698	6.179	5.631

أ؛ مساحة الحوض (كم<sup>2</sup>)، طول حوض BL (كم)، عرض حوض W (كم)، محيط الحوض (كم)، نسبة إعادة الاستطالة، نسبة دائرية Rc، مؤشر شكل Ish، نسبة انضغاط SH، K Lemniscates، النسبة، نسبة الطول / العرض Rlw، الإغاثة Rf (م)، نسبة الإغاثة R، الإغاثة النسبية Rr، رقم الصلابة Rn، الرقم الهندسي Gn، Hi Hypsometric، Integral، Sg slope index، kc، من قناة الجذع، Sn، مجموع أرقام التدفق، المجموع البطيء لأطوال التيار (كم)، نسبة التشعب Rb، كثافة الصرف D بطريقة هورتون (كم<sup>-1</sup>)، تردد تيار F (كم<sup>-2</sup>)، نسبة صيانة تيار Rm، طول Lo للتدفق البري (km)، نسيج Rt النسبة (كم<sup>-1</sup>).

### طول الحوض (LB) كم

يعد طول الحوض أحد الأبعاد الأساسية التي يتم على أساسها حساب بعض المعلومات الشكلية التي تعتمد على طول الحوض، وخاصة معاملات الشكل، وتحديد بعض الشكل والخصائص الطبوغرافية لأحواض الصرف (Gregory & Walling 1973).

يتأثر طول الحوض بعدد من العوامل والعمليات التي هي على النحو التالي اتجاه نمو وتطور المجاري المائية، والتي بدورها تخضع لاتجاه الصدوع والكسور، وتعرية جناح الرأس باتجاه خط تقسيم المياه أو في اتجاه مجرى النهر مع نمو مراوح الطمي.

تم قياس طول الحوض باستخدام برنامج ARC GIS بناءً على الطريقة المعتمدة من Schumm 1956. طول الحوض هو المسافة من مصب التيار الرئيسي إلى أبعد نقطة على المحيط الموازي للتيار الرئيسي.

يبلغ الطول الإجمالي لأحواض الصرف الثلاثة المدروسة حوالي 137.7 كم بمتوسط 45.9 كم، حيث يقل طول وادي الدرب عن 38.4 كم يليه وادي الدرب (44.1 كم) وأبو خشبة 55.2 كم. (الجدول 15).

كلما كان طول الحوض أقصر، زادت قوة تدفق المياه خلاله. وبناءً على ذلك، يمكن أن يكون لحوض وادي الدرب تدفق قوي للمياه السطحية أثناء العواصف المطرية أعلى من الحوضين الآخرين.

### عرض الحوض (W) كم

يساهم عرض الحوض في تحديد شكله.

بشكل عام، يمكن القول أن الأحواض صغيرة الطول والعرض هي الأكثر خطورة. وذلك لأن مناطق أحواضهم صغيرة وقصيرة الطول والعرض. لذلك، يمكن تغطيتها بالكامل بواسطة العاصفة الممطرة في فترة قصيرة مع فقدان محدود للمياه عن طريق التسرب والتبخر. وبالتالي، فإن الجريان السطحي يستغرق وقتًا قصيرًا للوصول إلى مخرج الوادي.

يبلغ عرض الأحواض المدروسة حوالي 12.7 كم بمتوسط 4.23 كم. مثل طول الحوض، كلما كان العرض أقصر، كلما زاد تدفق المياه، لذلك من المتوقع أن يكون حوض و. كريم أقل خطورة من الحوضين الآخرين.

### محيط الحوض (Pr) كم

المحيط هو خط تقسيم المياه الذي يفصل حوضًا عن الأحواض المجاورة.

تكمُن أهمية قياس محيط الحوض في أنه يستخدم لحساب المعلومات الشكلية الأخرى مثل معاملات الشكل واستطالة الحوض ودائرية الحوض (2002، 1997 and Mahsoub، Khader).

يتأثر محيط الحوض بعدة عوامل، مثل تطور الروافد من الدرجة الأولى، وظهور الروافد الموسمية الصغيرة التي تنشأ بعد العواصف المطيرة، وانحسار المنحدرات التي تمثل قممها خطوط المياه الفاصلة للأحواض. وبناءً على البرنامج، بلغ إجمالي محيط الأحواض 331.1 كيلومترًا بمتوسط 110.37 كيلومترًا. يبلغ أقصر محيط لوادي أبو خشبة حوالي 107.8 كم يليه وادي كريم ووادي الدرب بطول 109.3 و113.9 كم على التوالي (الجدول 15).

وبناءً على ما تقدم، كلما كان محيط الحوض أقصر، قلت مساحته وبقية أبعاده، وزادت مستويات مخاطره فيما يتعلق باحتمالية الفيضان والعكس صحيح. لذلك يعتبر وادي الدرب الحوض الأقل خطورة من الوديان الآخرين.

### (b) شكل الحوض

يساهم شكل الحوض وقربه من الشكل الدائري أو المستطيل في الوقت اللازم لوصول الفيضان إلى مخرج الحوض. ثم قم بتقييم مدى تأثير الحوض على الأشياء المواجهة. يؤثر شكل الحوض أيضًا على إمكانية إعادة تغذية طبقة المياه الجوفية (الرشيد، 1994).



يؤثر شكل حوض التفريغ على تدفق المياه حيث أن الأحواض الممتدة لها تصريف للمياه مع توزيع زمني أكثر اتساقاً وكمية أقل من الأحواض الدائرية. من ناحية أخرى تتميز الأحواض الدائرية بوفرة المياه، حيث تتجمع المياه في معظم الروافد في منطقة مركزية واحدة خلال فترة زمنية قصيرة وتصل إلى مخرج الحوض في وقت قصير مما أدى إلى حدوث فيضانات.

تم تطوير بعض المعلومات المورفومترية باستخدام برنامج Arc GIS الذي يحدد درجة تقارب شكل حوض الصرف على النحو التالي:

نسبة الاستطالة (إعادة)

الاستطالة من أدق العوامل الشكلية في قياس أشكال أحواض الصرف، حيث تقارن شكل حوض الصرف وشكل المستطيل. وتتراوح قيم هذه النسبة بين (0:1). كلما كانت القيمة أعلى، أي قريبة من 1، تشير إلى أن شكل الحوض يقترب أكثر من شكل مستطيل والعكس صحيح، أي أن شكل الحوض قريب من الشكل المستطيل (Gardiner 1975).

تشير نسبة الاستطالة إلى مستوى التدفق في الحوض. كلما زاد طول الحوض، أي كلما زاد الاستطالة وعدم الانتظام، قل تدفق المياه وقل احتمال حدوث الفيضانات.

بلغ متوسط نسبة الاستطالة للأحواض المدروسة حوالي 0.33 كم مما يدل على ميل هذه الأحواض للاستطالة.

تتراوح نسبة الاستطالة في أحواض البحر الأحمر من 0.32 (مخاطر عالية) إلى 0.83 (مخاطر منخفضة). تم سرد نسب الاستطالة في الأحواض الثلاثة المدروسة في الجدول 15. تشير هذه النسبة إلى أن أحواض الصرف المدروسة ذات احتمالية غمر متوسطة إلى عالية.

نسبة الدورة الدموية (Rc)

توضح نسبة الدورة الدموية درجة تشابه حدود الحوض مع الدائرة. يدرس العلاقة بين مساحة الحوض ومساحة الدائرة بمحيط يساوي محيط الحوض. وتعكس القيمة الصغيرة لهذه النسبة القريبة من الصفر "ما يلي:

- الشكل غير المنتظم للحوض (قريب من الاستطالة)
- زيادة التعرج لخطوط فاصل المياه
- انخفاض مخاطر الحوض في حالة الفيضانات
- وتعني القيمة العالية لهذه النسبة "قريبة من الوحدة" أن الأحواض تقترب من الشكل الدائري (الوداني، 2007).

غالبًا ما تكون الأحواض ذات المساحات الصغيرة دائرية أكثر لأنها لم تصل بعد إلى المرحلة الجيومورفولوجية المتقدمة مقارنة بالأحواض الكبيرة التي غالبًا ما تميل إلى الاستطالة. يؤدي الشكل الدائري إلى تراكم المياه من معظم الروافد في المسار الرئيسي في نفس الوقت مما يؤدي إلى تصريف كبير مفاجئ يؤدي إلى فيضانات مدمرة (موريساوا، 1958). يمكن حساب النسبة الدائرية وفقًا للمعادلة التالية (Gregory & Wallind، 1979)؛

$$Rc = \frac{4\pi A}{P^2}$$

حيث؛ Rc = النسبة الدائرية،  $A = 3.14 \cdot \pi$  = المنطقة (km<sup>2</sup>)، و P = محيط الحوض

تتراوح دائرية أحواض البحر الأحمر من 0.13 (مخاطر منخفضة) إلى 0.52 (مخاطر عالية). معدل الدورة الدموية للأحواض الثلاثة المدروسة هو 0.18. تتميز الأحواض الثلاثة المدروسة بإمكانية حدوث فيضان منخفض يمكن توقعه في هذه الأحواض الثلاثة حيث تكون قيم دائرتها قريبة من الصفر (الجدول 15).

مؤشر الشكل (Ish):

يعبر مؤشر الشكل عن درجة الاتساق بين أبعاد الحوض حيث يتم مقارنة شكل الحوض بالشكل المثلث أو المربع. تم حساب Ish بالمعادلة التالية (Horton، 1932)، باستخدام برنامج ARC - GIS.

$$Ish = A/L^2$$

حيث أن؛ Ish = مؤشر الشكل، A = مساحة الحوض (km<sup>2</sup>)، و L = طول الحوض (km)

تشير القيمة المنخفضة لهذا العامل إلى أن الحوض يقترب من شكل المثلث مع انخفاض مخاطر الفيضانات، بينما تشير القيمة العالية لهذا العامل إلى أن الحوض قريب من الشكل المربع مع وجود مخاطر عالية للفيضان. مؤشر الشكل هو المؤشر العددي (هورتون، 1932) الذي يشجع استخدامه لتمثيل أشكال الأحواض المختلفة. النطاق الدولي لهذا العامل

يتراوح بين 0.1-0.8. مؤشرات شكل الأحواض المدروسة موضحة في الجدول 16. متوسط عامل مؤشر الشكل للأحواض الثلاثة هو 0.09.

مؤشر الشكل الذي يتراوح بين 0.08 (مخاطر منخفضة) إلى 0.54 (مخاطر عالية). كلما كانت قيمة هذا العامل أصغر، كلما زاد طول الحوض. الأحواض ذات مؤشر الشكل العالي 0.8 أو أعلى لها تدفقات ذروة عالية للفيضان في فترة قصيرة. ومع ذلك، فإن حوض الصرف المطول ذو الشكل المنخفض يكون له ذروة تدفق أقل للفيضان في فترة طويلة. وفقًا لعامل مؤشر الشكل المحسوب للأحواض المدروسة (جدول 15) مقارنة مع قيم أحواض البحر الأحمر بأكملها، يمكن الإشارة إلى أن الأحواض الثلاثة المدروسة تقترب من شكل المثلث (ممدود) وبالتالي فهي ذات مخاطر منخفضة للفيضان إمكانية.

نسبة الطول / العرض (R / W)

يعتبر أحد العوامل المورفومترية البسيطة التي تقيس اتجاه الحوض إلى الشكل الدائري أو المستطيل. تشير الزيادة في قيمة هذه النسبة إلى قرب شكل الحوض من المستطيل ويمكن حسابها على النحو التالي:

$$R / W = L / W$$

أين؛  $R / W$  = نسبة الطول / العرض،  $L$  = طول الحوض،  $W$ ، عرض الحوض.

متوسط هذه النسبة هو 11.15 لأحواض الصرف المدروسة. تشير القيمة العالية إلى زيادة في طول الأحواض بالنسبة إلى عرضها، وبالتالي تميل الأحواض إلى الاستطالة. تراوحت قيم نسبة الطول / العرض لأحواض الصرف المدروسة من 8.93 لوادي درب إلى 15.33 وادي أبو خشبة. هذا يعني أن الأحواض الثلاثة المدروسة تقترب أكثر من الشكل المستطيل وأنها ذات احتمالية منخفضة لخطر الفيضان.

(c) السمات المورفولوجية لأحواض الصرف

تؤثر خصائص السطح على هيدرولوجيا الحوض فيما يتعلق بالجريان السطحي. توفر الأسطح ذات المنحدرات اللطيفة فرصة لزيادة التبخر وخسائر التسرب، نظرًا لحقيقة أن مياه الأمطار تستغرق وقتًا أطول للجريان، بينما تقلل الأسطح شديدة الانحدار الفقد وتساعد على تدفق المياه بشكل أسرع (خضر، 1997). ستعتمد خصائص سطح أحواض الصرف على عدة معايير شكلية على النحو التالي:

(1) الحد الأقصى للارتياح، (2) نسبة الإغاثة، (3) الارتياح النسبي، (4) قيمة الصلابة، (5) الرقم الهندسي، (6) التكامل الهيبسيومتري، و(7) تدرج المنحدر.

أقصى راحة (RF)

يعني الفرق بين أدنى نقطة عند مخرج الحوض وأعلى نقطة عند فاصل المياه.

هناك علاقة مباشرة بين الحد الأقصى للإغاثة وتدرج الميل من ناحية وشدة تدفق السطح وعدد المواد المحملة، ومن ثم شدة حوض الصرف من ناحية أخرى. وكلما زاد الاختلاف، زاد انحدار المنحدر، وبالتالي زاد تدفق المياه. يتراوح الحد الأقصى للإغاثة في أحواض البحر الأحمر من 30 (مخاطر منخفضة للفيضانات) إلى 2088 م (مخاطر عالية للفيضانات). استنادًا إلى البرنامج، يظهر أقصى قدر من الراحة للأحواض الثلاثة المدروسة في الجدول 15. متوسط قيمة الحد الأقصى للإغاثة هو 899. بناءً على قيم الأحواض مقارنة مع متوسط قيم أحواض تصريف البحر الأحمر، يمكن تصنيف الأحواض المدروسة على أنها ذات احتمالية منخفضة إلى متوسطة لمخاطر الفيضانات.

نسبة الإغاثة (Rh)

تقيس نسبة التضاريس العلاقة بين أقصى ارتفاع وطول الحوض، وبالتالي تعكس صورة مباشرة لمنحدر سطح الحوض. يعتبر سطح الحوض أكثر أهمية من الحد الأقصى للإغاثة حيث لا يأخذ في الاعتبار المسافة الأفقية بين أدنى المستويات وأعلى المستويات. تم حساب نسبة الإغاثة من خلال المعادلة التي قدمها (Strahler 1957).

نسبة الإغاثة (Rh) = الحد الأقصى للإغاثة (م) / طول الحوض (كم)

يعد نوع الصخور وكمية الأمطار والمرحلة المورفولوجية للحوض من العوامل المهمة التي تؤدي إلى انخفاض نسبة التضاريس (موسى، 2000). كلما زادت نسبة إغاثة الحوض، زاد خطر الفيضان. تتراوح نسبة الإغاثة في أحواض البحر الأحمر من 7.4 (مخاطر منخفضة للفيضانات) إلى 109.5 م / كم (مخاطر عالية للفيضانات). بلغ متوسط قيم R للأحواض الثلاثة المدروسة 19.55، حيث كان لوادي كريم أدنى قيمة بحوالي 17.96 وارتفعت إلى 20.40 و20.29.

لحوض وادي أبو خشبة ووادي الدرب على التوالي (جدول 15). بالمقارنة مع قيم أحواض البحر الأحمر، يمكن تصنيف الأحواض الثلاثة المدروسة على أنها ذات احتمالية منخفضة لمخاطر الفيضانات، في حالة أحداث سقوط الأمطار الغزيرة.

#### الإغاثة النسبية (Rr)

يقيس الارتداد النسبي العلاقة بين أقصى ارتفاع (الفرق بين أعلى وأدنى مستوى في الحوض) ومحيط الحوض. يمكن حسابها على النحو التالي؛ (جريجوري وولنج، 1979)

$$\text{التضاريس النسبية} = \left[ \frac{\text{الحد الأقصى للإغاثة (م)}}{\text{محيط الحوض (كم)}} \right] * 100$$

يرتبط معامل الارتداد النسبي ارتباطاً عكسياً بمنطقة الحوض، ودرجة مقاومة الصخور للتآكل في حالة الظروف المناخية الثابتة (Jode et al., 199). تتراوح التضاريس النسبية لأحواض البحر الأحمر من 0.2 (مخاطر منخفضة) إلى 3.4 (مخاطر عالية). بناءً على البرنامج، بلغ متوسط نسبة الإغاثة للأحواض الثلاثة المدروسة 0.82. أما وادي الدرب فكان الأقل قيمة بوادي الدرب حوالي 0.68 وارتفع إلى 0.72 و1.05 ل وادي كريم ووادي أبو خشبة على التوالي. قد تعكس هذه القيم انخفاض مقاومة الصخور للتعرية في وادي الدرب والخريم لمقاومة معتدلة في وادي أبو خشبة. تشير قيم التضاريس النسبية للأحواض المدروسة إلى مخاطر فيضان منخفضة إلى متوسطة متوقعة في الأجزاء الخارجة من الأحواض المدروسة.

#### عدد الصلابة (Rn)

يفحص هذا المعامل العلاقة بين تضاريس الحوض وطول شبكة الصرف فيه. يتعامل مع العلاقة المتبادلة بين أكثر من متغيرين. يقيس العلاقة بين ارتفاع الحوض وأطوال التيار ومنطقة الحوض. تعبر قيمة Ruggedness عن العلاقة بين تضاريس الحوض وكثافة الصرف. لذلك، فهي تعتمد بشكل كبير على نوع الصخر ووفرة الأمطار (عوض الله، 2005). تم حساب قيمة الصلابة باستخدام ARC-GIS بناءً على صيغة (Strahler 1964).

$$\text{الصلابة} = \text{تضاريس الحوض (م)} \times \text{كثافة الصرف (كم}^2\text{ / كم}^2\text{)} / 1000$$

تتراوح قيمة وعورة أحواض البحر الأحمر من 1.3 (مخاطر منخفضة) إلى 30.9 (مخاطر عالية). بناءً على البرنامج، يبلغ متوسط قيمة نسبة الصلابة 2.62 من الأحواض الثلاثة المدروسة. قيم الأحواض الثلاثة 2.4 و2.4 و3.1 ل وادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة على التوالي. تعكس هذه القيم احتمالات مخاطر الفيضانات المنخفضة في الأحواض المدروسة.

#### لا يتجزأ (Hypsometric (Hi)

يمثل التكامل الهائيسومتري المرحلة العمرية للحوض بناءً على العلاقة بين المنطقة والتضاريس (خضر، 1997). تم حساب التكامل الهائيسومتري للأحواض بالمعادلة التالية (مصطفى، 1982) باستخدام برنامج ARC-GIS:

$$\text{التكامل الهائيسومتري} = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)} / \text{تضاريس الحوض القصوى (م)}$$

تتفاوت قيم المقاييس الأساسية لأحواض البحر الأحمر من 0.02 متر (مخاطر منخفضة) إلى 1.6 متر (مخاطر عالية). بالاعتماد على البرنامج الحاسوبي، فإن مقياس ضغط الدم للأحواض الثلاثة المدروسة هو 0.231 و0.234 و0.134 ل وادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة على التوالي. يشير هذا إلى أن جميع الأحواض الثلاثة في المنطقة المدروسة ذات احتمالات منخفضة لخطر الفيضانات.

#### مؤشر المنحدر (SI)

يقيس مؤشر الانحدار العلاقة بين المسافة الأفقية (طول الحوض) والمسافة العمودية (الفرق بين أعلى الارتفاعات المتوقعة في الحوض). يشير هذا المؤشر إلى مدى تآكل الحوض (خضر، 1997). يتم التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$\text{مؤشر الانحدار} = \left[ \frac{\text{الحد الأقصى لتضاريس الحوض}}{\text{الحد الأقصى لطول الحوض}} \right] * 1000 * 57.3$$

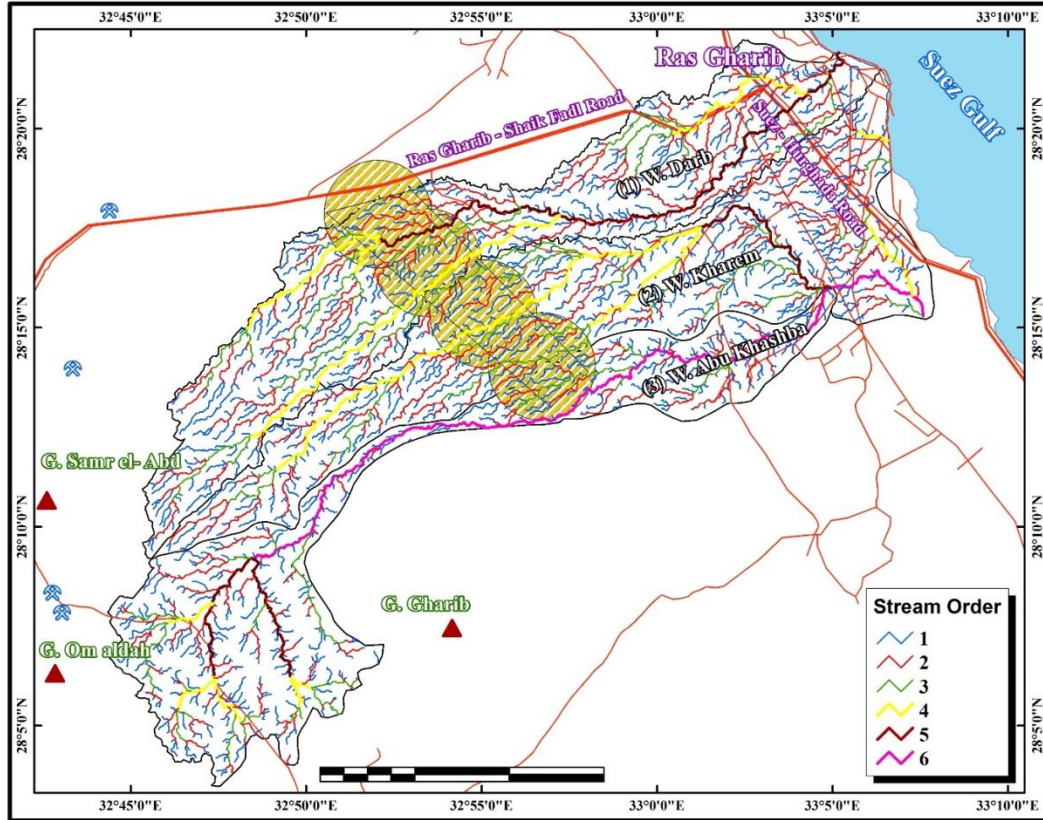
تتميز الأحواض ذات مؤشر الانحدار المنخفض بالتدرج البطيء وببطء تدفق المياه السطحية وحوض أقل خطورة والعكس صحيح. تتفاوت قيم الانحدار المنحدر لأحواض البحر الأحمر من 0.9 (مخاطر منخفضة) إلى 13.4 (مخاطر عالية). بالاعتماد على البرنامج الحاسوبي، فإن التكامل الهائيسومتري للأحواض الثلاثة المدروسة هو 1.03 و1.17 و1.16 لأودية الدرب والخريم وأبو خشبة على التوالي. انحدار الانحدار للأحواض المدروسة منخفض،

مما يشير إلى ببطء تدفق المياه السطحية وانخفاض احتمالات مخاطر الفيضانات المتوقعة في الأجزاء الخارجة من الأحواض الثلاثة.

### 9.3 التحليلات المورفومترية لشبكات الصرف

يشار إلى مصطلح شبكة الصرف بشكل عام إلى المظهر العام لمجموعة الصرف في منطقة ما (الشكل 36). هذه الشبكة هي مسار رئيسي تغذية مجموعة من الروافد، كل منها يقع في واد يتناسب مع حجمه. تتلاقى هذه الروافد على شكل شبكة تهبط باتجاه المسار الرئيسي.

شبكة الصرف هي نتيجة علاقة معقدة بين خصائص السطح، مثل نوع الصخر، ودرجة الصلابة، والحساسية، والنفذية، والخصائص الهيكلية مثل الشقوق والفواصل والصدوع والتنبات بالإضافة إلى الظروف المناخية. تم ذكر المعلمات الشكلية لشبكة الصرف للأحواض الثلاثة المدروسة في الجدول 16.



شكل 36: شبكة الصرف في المنطقة

جدول 18: معلمات شبكة الصرف

الأودية	الطلب 1		الطلب 2		الطلب 3		الطلب 4		الطلب 5		الطلب 6		المجموع	
	الطول	المساحة	الطول	المساحة	الطول	المساحة	الطول	المساحة	الطول	المساحة	الطول	المساحة	الطول	المساحة
س. الدرب	514	256.9	109	160.1	21	68.5	3	42.8	1	31.3	-	-	684	559.6
خريم	539	285.2	107	145.8	25	71.3	4	42.8	1	10.1	-	-	676	555.2
أبو خشبة	469	204.6	105	90.7	24	46.2	6	12.2	2	14.5	1	42.8	607	411
المجموع	1522	746.7	321	396.6	70	186	13	97.8	4	55.9	1	24.8	1931	1525.8

## ترتيب التدفق (Kc)

ترتيب التدفق هو الخطوة الأولى في الدراسة الشكلية لشبكات التفريغ، والتي من خلالها يمكن تحديد حجم وكثافة الشبكة. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط أوامر وأعداد الجداول بالنظام الهيدرولوجي للأحواض.

يتم تعريف الترتيب على أنه موقع التدفق من خلال عملية الترتيب. وهي تقوم على تقسيم شبكة الصرف إلى مجموعة من القنوات المنفصلة، تتكون كل منها من وصلة واحدة أو أكثر حسب ترتيب الترتيب.

بناءً على طريقة الطلب الدولية المشتركة (Strahler, 1958) المدمجة في البرنامج، فإن ترتيب أحواض الأودية الثلاثة يتراوح من 5 في وادي الدرب ووادي خريمو 6 في وادي أبو خشبة.

رقم التدفق (سنو)

يعد عدد المجاري من المؤشرات المهمة لحجم شبكة الصرف، ويظهر بوضوح المرحلة التنموية التي وصل إليها الحوض. كلما زاد عدد التيارات، زاد نضج الحوض. كما أن هناك علاقة مباشرة بين مساحة الحوض وعدد الجداول. كلما كبرت المساحة، زاد عدد التدفقات والعكس صحيح.

يجب أن يؤخذ عدد التيارات في الاعتبار عند تقدير مخاطر الفيضانات. تؤدي الزيادة في عدد التيارات إلى زيادة كفاءة شبكة الصرف لنقل المياه السطحية وبالتالي تزداد احتمالية الفيضان.

يتراوح عدد مجرى أحواض البحر الأحمر من 183 (مخاطر منخفضة) إلى 6630 (مخاطر عالية). بالاعتماد على برنامج ARC GIS، فإن أرقام تدفق الأحواض الثلاثة المدروسة هي 648 و 676 و 607 في أحواض وادي س. الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي (الجدول 16). أشارت أعداد المجرى للأحواض المدروسة مقارنة بأرقام مجاري أحواض البحر الأحمر إلى أن الأحواض الثلاثة ذات احتمالية منخفضة لمخاطر الفيضانات.

أطوال التيار (SL) كم

يشكل طول التيار المسافة التي يقطعها التدفق في روافده حتى يصل إلى الوادي الرئيسي ثم إلى مخرج الحوض. طول التيار هو انعكاس لعملية تآكل حركة المياه، وخصائص سطح المنحدر ونوع الصخور والعناصر الهيكلية السائدة في المنطقة. كلما انخفض التدرج، زاد طول مجرى المياه وزاد النحت الجانبي، مما يؤدي إلى تكوين خطوط تصريف ضحلة ومتعرجة وأوسع نطاقاً. في حالة الانحدار الحاد، تسود عمليات النحت الرأسية، مما يجعل خطوط الصرف أقصر وأعمق وأكثر استقامة.

طول التيار يؤثر على مخاطر الفيضانات. في المجرى الطويل، يستغرق الماء وقتاً للوصول إلى المخرج، بالإضافة إلى ما يضيع من التبخر والتسرب خلال هذه الرحلة الطويلة. في الجداول القصيرة، يتم تقليل الفاقد، ويصل الماء إلى مخرج الحوض في غضون فترة زمنية قصيرة.

يتراوح طول مجرى أحواض البحر الأحمر من 108.2 كم (مخاطر منخفضة) إلى 9813.7 كم (مخاطر عالية). بالاعتماد على برنامج ARC GIS، فإن أطوال تيارات الأحواض الثلاثة المدروسة بالكيلومتر هي 559.6 و 555.2 و 411 في وادي الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي (الجدول 16). يشير طول مجرى الأحواض المدروسة مقارنة بطول مجرى أحواض البحر الأحمر إلى أن الأحواض الثلاثة ذات احتمالية منخفضة لمخاطر الفيضانات.

نسبة التشعب (Rb)

تشير نسبة التشعب إلى النسبة بين عدد تدفقات الأمر وعدد التدفقات إلى الترتيب التالي. تم حساب نسبة التشعب بإدخال المعادلة التالية: في برنامج ARC- GIS

نسبة التشعب = عدد التدفقات بترتيب معين / رقم الترتيب التالي

نسبة التشعب مرتبطة بشكل الحوض. تتميز الأحواض المستطيلة بنسبة تشعب عالية، وبالتالي فإن الماء المتساقط على الحوض يصل إلى الوادي الرئيسي في فترة زمنية أطول من تلك الموجودة في الأحواض الدائرية. يكون التدفق في الأحواض الدائرية أكثر كثافة من الأحواض المستطيلة بسبب طول التدفق الأقصر لفترة التفريغ.

بناءً على ما سبق، فإن نسبة التشعب تتناسب عكسياً مع مخاطر الفيضانات. كلما انخفضت نسبة التشعب، زادت مخاطر الفيضانات والعكس صحيح. تتراوح قيمة نسبة التشعب لأحواض البحر الأحمر من 1.6 (مخاطر عالية) إلى 10.9



(مخاطر منخفضة). استنادًا إلى برنامج ARC GIS، كانت نسب التشعب للأحواض الثلاثة المدروسة 4.18 و 3.57 و 4.11 لودي الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي (الجدول 15). تكشف قيم نسب التشعب مقارنة بأحواض البحر الأحمر أن الأحواض الثلاثة التي تعبر الموقع تتميز بإمكانية منخفضة إلى متوسطة لمخاطر الفيضانات. كثافة الصرف (Dd) كم<sup>1</sup>

تعد كثافة الصرف مؤشرا هاما لمدى قطع الحوض بواسطة خطوط الصرف. كما يعكس تأثير نوع الصخور والتربة والتضاريس (الرشيدي، 1994). تشير الكثافة العالية للصرف إلى ضعف صخور القاعدة واستجابتها السريعة لعمليات التعرية، بالإضافة إلى قلة النفاذية. تشير الكثافة المنخفضة إلى صلابة الصخور ونفاذيتها العالية، وبالتالي انخفاض مخاطر الفيضانات.

تم حساب كثافة الصرف باستخدام المعادلة التالية (Horton، 1945) باستخدام برنامج ARC GIS؛  
كثافة الصرف = إجمالي أطوال الجداول (كم) / منطقة الحوض (كم<sup>2</sup>).

Morisawa، Strahler صنف كثافة التفريغ في عدة فئات كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول 19: درجات كثافة الصرف (Morisawa، Strahler & 1957، 1985)

رتبة	موريساوا، 1985	ستراهلر، 1957
منخفض	> 8 (صخور منفذة، نباتات رطبة كثيفة)	> 5 كم / كم <sup>2</sup>
متوسط	8-20 صخور نفاذة، أمطار غزيرة، نباتات كثيفة	5-13.7 كم / كم <sup>2</sup>
عالي	20-200 صخرة غير منفذة، وأمطار قليلة وغطاء نباتي	13.7: 155 كم / كم <sup>2</sup>
عالي جدًا	< 200 (200 صخرة غير منفذة، لا مطر ونباتات، صخور ضعيفة)	< 155.3 كم / كم <sup>2</sup>

تتراوح كثافة الصرف في أحواض البحر الأحمر من 5.4 (مخاطر منخفضة) إلى 77 (مخاطر عالية). بالاعتماد على برنامج ARC GIS، كانت كثافة الصرف للأحواض الثلاثة المدروسة 3.1 و 2.99 و 2.7 لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. تعتبر جميع الأحواض المدروسة ذات احتمالية منخفضة لمخاطر الفيضانات فيما يتعلق بقيمة كثافة الصرف.

تردد التدفق (F) كم<sup>2</sup>

يعكس تواتر التيار العلاقة بين العدد الإجمالي للتيارات في الحوض ومساحته. إنه مقياس مهم يوفر صورة مفيدة لمدى الشق السطحي في حوض الصرف، وكذلك كفاءة شبكة الصرف في سرعة تدفق المياه. تم حساب تردد التيار بالمعادلة التالية (هورتون، 1945، ص 285).

تردد التيار = عدد الجداول / مساحة الحوض (km<sup>2</sup>)

تزيد الأسطح الطينية المسدودة من تردد التدفق، بينما تقلل الأسطح الرملية والحصوية العالية النفاذية من تردد التيار (سلوم، 2004). يتراوح تواتر مجرى أحواض البحر الأحمر من 9.5 (مخاطر منخفضة) إلى 123 (مخاطر عالية). بالاعتماد على برنامج ARC GIS، فإن تردد تدفق الأحواض الثلاثة المدروسة هو 3.6 و 3.65 و 4.02 لأحواض تصريف وادي الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. تشير قيم تردد التدفق للأحواض الثلاثة إلى أن لديهم جميعًا احتمالية منخفضة لخطر الفيضان.

نسبة صيانة التيار (Rm)

تُستخدم نسبة صيانة التيار للإشارة إلى متوسط مساحة الوحدة المطلوبة لتغذية الوحدة الطولية من شبكة الصرف. وكلما ارتفعت قيمته، زاد حجم منطقة الحوض على حساب الجداول، وبالتالي تقل كثافة تصريفه، وبالتالي تقل مخاطر الفيضان. تتأثر نسبة صيانة مجرى الحوض أيضًا بكثافة الصرف بسبب الظروف المناخية السائدة في المنطقة، ونوع الصخور،

ومساهميتها ونفاذيتها، فضلاً عن كثافة الغطاء النباتي (Jode et al., 1991). تم حساب معدل بقاء Wadies بواسطة برنامج GIS - ARC باستخدام المعادلة التالية التي طورها (Schumm, 1956).

نسبة صيانة التيار = مساحة الحوض / إجمالي طول التيار

وتتراوح قيم معدل الحفاظ على التدفق في أحواض البحر الأحمر من 0.01 (مخاطر عالية) إلى 0.18 (مخاطر منخفضة). بالاعتماد على برنامج GIS ARC، كانت نسبة صيانة التيار للثلاثة المدروسة 0.32 و 0.33 و 0.37. لأحواض الصرف لأحواض الدرب، والخريم، وأبو خشبة على التوالي. تشير قيم معدل صيانة التيار للأحواض المدروسة إلى أن لديهم جميعاً احتمالية منخفضة لمخاطر الفيضانات.

#### التدفق السطحي (Lo) Km

يشير التدفق السطحي إلى المياه الزائدة التي تبدأ في التحرك على المنحدرات بعد التبخر والتسرب لتغذية خزان المياه الجوفية. هذه الحركة غير مركزة في اتجاهات مختلفة، وتغطي جزءاً كبيراً من السطح (صالح، 1999).

يغطي التدفق السطحي المنطقة الواقعة بين خط فاصل المياه وبداية التيار حيث تتراكم المياه السطحية وتحرك في تدفق مركز. يختلف عمق المياه وسرعتها وطول حركتها حتى الجداول الأولى وفقاً للخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لكل حوض (صالح، 1999).

تم حساب متوسط طول التدفق السطحي بإدخال المعادلة التالية (Horton, 1945) باستخدام برنامج GIS - ARC:

متوسط التدفق السطحي =  $2/1$  كثافة الصرف كم / كم 2

يتراوح التدفق السطحي لأحواض البحر الأحمر من 2.7 (مخاطر منخفضة للفيضانات) إلى 38.5 (مخاطر عالية للفيضانات). استناداً إلى برنامج GIS ARC، يبلغ التدفق السطحي للأحواض الثلاثة 1.56 و 1.5 و 1.47. لأحواض الصرف لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. تشير هذه القيم إلى أن جميع الأحواض المدروسة تتميز بإمكانية منخفضة لمخاطر الفيضانات.

نسبة الممس (Rt) كم<sup>1</sup>

تعكس نسبة نسيج التضاريس درجة قرب خطوط الصرف في الحوض، بغض النظر عن أطوالها. تكمن أهمية هذا العامل في حقيقة أنه يستخدم لتحديد مدى تشريح الحوض بواسطة خطوط الصرف (جودة وآخرون، 1991، ص 330).

تتأثر نسبة النسيج بالمناخ. في المناطق الرطبة، يتم قطع الحوض بوفرة من الجداول، بينما في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، يوجد عدد قليل من مجاري الحوض. كما يتأثر بنوع الصخرة. تتآكل الصخور الضعيفة بسهولة بواسطة الماء وتعكس ممساً ناعماً، في حين أن الصخور الصلبة بالكاد تتآكل وبالتالي تعكس نسيجاً خشناً. يساعد نقص الغطاء النباتي على تكوين النسيج الخشن. يتم حساب نسبة النسيج بالمعادلة التالية (هورتون، 1945، ص 288)

نسبة الممس = رقم التدفقات / محيط الحوض

تصنيف الأحواض المدروسة حسب تصنيف سميث كالتالي:

جدول 20: تصنيف نسبة النسيج (سميث، 1950)

تصنيف نسبة الممس، سميث، 1950	
نسيج خشن	> 4 تيار / كم
نسيج متوسط	4-10 تيار / كم
ممس ناعم	< 10 تيار / كم

وتتراوح نسبة تركيب أحواض البحر الأحمر من 6.7 (مخاطر عالية) إلى 100.6 (مخاطر منخفضة). استناداً إلى برنامج GIS ARC، كانت نسبة النسيج للأحواض الثلاثة التي تمت دراستها 5.69 و 6.18 و 5.6. بالمقارنة مع قيم نسبة نسيج حوض البحر الأحمر، فإن جميع الأحواض المدروسة ذات نسيج متوسط، وبالتالي فهي مصنفة على أنها احتمال متوسط لخطر الفيضان.

9.4 العوامل المؤثرة في حدوث الفيضانات  
يتم التحكم في تدفق الفيضان بعدة عوامل أهمها (جدول 19):

- العوامل الهيدرولوجية لأحواض الصرف.
- الميزانية الهيدرولوجية لأحواض الصرف

جدول 21: المتغيرات الهيدرولوجية للأحواض المدروسة. (يتم حساب المعلومات تلقائيًا بواسطة برنامج (ARC-GIS

وادي	الدرب	خرم	أبو خشبة	معدل
LT	229.4	228.6	323.2	260.4
CT	382.3	381	538.6	434.0
DR	160.3	164.9	137.1	154.1
DV	324.9	322.8	250	299.2
DT	2.42	2.39	2.58	2.5
FV	6.03	6.9	7.67	20.6
Pre	4561840	4706620	3832860	4367106.7
EL	159365.1	162384.6	142751.4	154833.7
Lti	171667.7	176498.3	203212	183792.7
Se	68671.86	69972.99	61512.88	66719.2
L	399704.7	408855.9	407476.3	405345.6
Ru	4162135	4297764	3425384	3961761.0

LT Lag - الوقت (دقيقة)، وقت تركيز CT (دقيقة)، معدل تصريف DR، حجم الصرف DV (م<sup>3</sup>)، وقت تفريغ DT (ساعة)، سرعة تدفق FV (م / ثانية)، الترسيب المسبق (مم)، EL خسائر التبخر (م<sup>3</sup>)، تسلل وقت تأخير LTI (دقيقة)، Se Seepage (م<sup>3</sup>)، خسائر TL الإجمالية (م<sup>3</sup>)، Ru Run off

#### (h) العوامل الهيدرولوجية لأحواض الصرف

العوامل الهيدرولوجية هي نتاج الخصائص الشكلية والظروف المناخية. استنادًا إلى صور Land Sat وDEM ومتوسط قيم الظروف المناخية، تم استخدام برنامج ARC-GIS لحساب العوامل الهيدرولوجية. سيتم دراسة تأثير العوامل الهيدرولوجية على الأحواض الثلاثة المدروسة من خلال بعض المؤشرات الهيدرولوجية وهي: زمن التأخير، ب) وقت التركيز، ج) حجم التفريغ، د) حجم التدفق، هـ) وقت التفريغ، و) سرعة الماء.

#### زمن التأخير (LT)

هو الفاصل الزمني بين بداية هطول الأمطار وبداية الجريان السطحي. تتميز هذه المرة بمعدلات عالية من التسرب والتبخر تحت السطح. كلما طالت فترة التأخير، زادت معدلات التبخر والتسرب، وبالتالي انخفضت احتمالية الفيضان. تكمن أهمية دراسة وقت التأخر في تحديد الفترة الزمنية اللازمة لبدء التدفق. كما أنها تستخدم لتحديد التدفق الصافي من خلال حساب التسرب خلال هذا الوقت. يتأثر وقت التأخير بالصخور الصخرية للحوض. نظرًا لأن الصخور شديدة النفاذية ومسامية وسميكة بالشقوق والمفاصل، يزداد وقت التأخير والعكس صحيح. يتأثر أيضًا منحدر السطح. كلما ارتفع المنحدر، كلما تباطأ وقت التأخير بسبب سرعة التدفق، والتي بدورها تقلل من فقدان التسرب والتبخر. وبالتالي، كلما قل وقت التأخير، كلما كان الحوض أكثر خطورة. تم حساب زمن التأخر في الأحواض من خلال المعادلة ( US Conservation Services، 1972 ).

$$LT = KI CT$$

حيث أن؛  $CT = KI \cdot TL = \text{Lag-Time}$ ، ثابت (0.6)،  $CT$  (زمن التركيز (دقيقة)

بلغ معامل التأخير في الأحواض الثلاثة المدروسة 229.2 و228.6 و323.2 دقيقة لأحواض الصرف لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. وفقاً لهذا العامل، تكون الأحواض الثلاثة المدروسة أقل عرضة لتوقع حدوث فيضانات في منافذ المصب.

زمن تركيز الحوض ( $CT$ ) دقيقة

يشير وقت التركيز إلى الفترة الزمنية التي يحتاجها هطول الأمطار من أبعد نقطة عند فاصل المياه للوصول إلى مخرج الحوض على شكل مياه جارية (جوروشكوف، 1979). تعتمد معادلة تركيز الوقت على تأثير طول الحوض والفرق الرأسي على سرعة المياه السطحية. حساب زمن التركيز بناء على المعادلة التالية:

$$CT = 0.28 (L / V)$$

أين؛  $CT$  = وقت التركيز (دقيقة)،  $L$  = الطول السائد (م)،  $V$  = سرعة التدفق ( $L \cdot m / T$  · دقيقة)

يعتبر وقت التركيز مفيداً في تحديد الوقت اللازم للوصول التدفق إلى مخرج الوادي وتحديد الوديان المناسبة لإنشاء محطات تحذير من الفيضانات. في بعض الأحيان قد ينخفض وقت التركيز في بعض الأودية إلى درجة لا يمكن تحذيرها. قيم  $CT$  للأحواض الثلاثة المدروسة 382.3 و381 و538.6 دقيقة لأحواض الصرف لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي (جدول 19). زمن التركيز للأحواض الثلاثة المدروسة أكثر من 6 ساعات، لذلك ليس من الضروري إنشاء محطات تحذير من الفيضانات في هذه الأحواض.

معدل التفريغ ( $DR$ ) م<sup>3</sup>/ثانية

معدل التصريف هو حجم المياه التي تمر عبر مساحة كيلومتر مربع بالمتر المكعب في الثانية. يعتبر هذا العامل أن جميع الأجزاء (أي قطرة مطر تسقط على أي سنتيمتر مربع تم أخذها في الاعتبار) من الحوض تضاف إلى حجم التفريغ. يمكن حساب معدل التفريغ من معادلة "مركز التطوير والتخطيط التكنولوجي".

$DR = 1.5 \cdot A^{0.9}$  "تسبب هذه المعادلة معدل التفريغ متجاهلاً نسب التسرب والتبخر". أين؛  $DR$  هو معدل التفريغ،  $A$  هو مساحة الحوض، 0.9 هو ثابت للإشارة إلى أحرف الحوض.

يتراوح معدل تصريف أحواض البحر الأحمر من 3.8 م<sup>3</sup>/ثانية (مخاطر منخفضة) إلى 1273.4 م<sup>3</sup>/ثانية (مخاطر عالية). بلغ معدل تصريف الأحواض المدروسة 160.3 و164.9 و137.1 لأحواض تصريف وديان الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. بالمقارنة مع معدلات تصريف أحواض البحر الأحمر، من المتوقع أن تكون الأحواض الثلاثة التي تمت دراستها ذات احتمالات منخفضة لمخاطر الفيضانات في منافذ المصب.

حجم التفريغ ( $DV$ ) م<sup>3</sup>

حجم التصريف هو مجموع ما يمكن تصريفه بواسطة شبكة الصرف، ويقاس حجم التصريف بألف متر مكعب. كلما زاد التدفق، زادت مخاطر فيضان الحوض. يمكن حساب حجم التفريغ من معادلة "مركز التطوير والتخطيط التكنولوجي".

$$DV = 1.5 \cdot (LT)^{0.85}$$

أين؛  $DV$  هو حجم التفريغ بالمتر المكعب، و  $LT$  هو مجموع أطوال الروافد، و0.85 ثابت للإشارة إلى أحرف الحوض.

يتراوح حجم تصريف أحواض الصرف في البحر الأحمر من 80.4 ألف متر مكعب (منخفض المخاطر) إلى 3708.1 ألف متر مكعب (عالي الخطورة). وفقاً لبرنامج ARC-GIS، تبلغ أحجام تصريف الأحواض الثلاثة 324.9 و322.8 و299.2 ألف متر مكعب من أحواض الصرف لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. أشارت القيم المحسوبة لحجم تصريف الأحواض مقارنة بمتوسط قيم أحواض البحر الأحمر إلى أن الأحواض المدروسة ذات احتمالية منخفضة لخطر الفيضان.

وقت التفريغ ( $DT$ ) ح

وقت التفريغ يعني الوقت اللازم للحوض لتصريف كل مياهه من المنبع إلى منطقة المخرج. تم حساب زمن تصريف الحوض بالمعادلة التالية (سلوى، 1989).

$$DT = (0.305 \text{ لتر}^{1.15} / 7700 \cdot 0.305) \text{ ارتفاع}^{0.38}$$

حيث أن؛  $DT$  = وقت التفريغ،  $L$  = طول التيار الرئيسي،  $H$  = فرق الارتفاع

يتراوح متوسط وقت تصريف أحواض البحر الأحمر من 0.05 ساعة (مخاطر عالية) إلى 4.9 ساعات (مخاطر عالية). وبلغ زمن التصريف في الأحواض الثلاثة 2.42 و 2.39 و 2.58 ساعة لأحواض تصريف وادي الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. يمكن الاستنتاج أن أحواض الصرف التي تعبر منطقة الموقع ذات مخاطر الفيضانات المنخفضة إلى المتوسطة فيما يتعلق بعامل وقت التصريف.

سرعة التدفق ( $FV$ ) كم / ساعة

يمكن حساب سرعة أي جسم متحرك بالمعادلة الرياضية التالية:

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الوقت}}$$

تعتمد هذه المعادلة على حساب سرعة تدفق المياه:

$$\text{سرعة التدفق (FV)} = \text{طول الحوض (L)} / \text{وقت التركيز (CT)}$$

تتراوح سرعة تدفق المياه السطحية في أحواض البحر الأحمر من 5.2 كم / ساعة (مخاطر منخفضة) إلى 39.9 كم / ساعة (مخاطر عالية). بلغت سرعة التدفق في الأحواض الثلاثة المدروسة 6.03 و 6.9 و 7.67 كم / ساعة في أحواض الصرف لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. بناءً على سرعة التدفق السطحي، يمكن القول أن أحواض الصرف في الأودية المدروسة يمكن اعتبارها احتمالات منخفضة لمخاطر الفيضانات.

#### (i) الميزانية الهيدرولوجية للأحواض

تعتمد الميزانية الهيدرولوجية على حساب كمية المياه المتساقطة على الحوض والتبخر وخسائر التسرب لتحديد التدفق الصافي وبالتالي تحديد إمكانية الجريان السطحي (Sabre، 2007). تمت دراسة الميزانية الهيدرولوجية من خلال العناصر التالية:

- حجم الماء الساقط على أحواض الصرف.
- حجم الخسائر.
- أحجام صافي التدفق.

حجم المطر الساقط على أحواض الصرف (قبل) م<sup>3</sup>

يعتمد حجم المياه المتساقطة على كل حوض على مساحة الحوض وأكبر كمية من الأمطار تتساقط في يوم واحد. يمكن حساب حجم الماء الساقط على الحوض. كانت أكبر كمية من الأمطار في يوم واحد من أقرب محطة أرصاد جوية 25.4 مم في 12 مارس 2020 حيث كان متوسط التبخر في نفس العام 8.8 مم. تم حساب أحجام الماء بالمعادلة التالية:

$$\text{كمية المياه المتساقطة (قبل)} = \text{مساحة الحوض} \times \text{أكبر كمية من الأمطار تسقط في يوم واحد}$$

كانت أحجام الأمطار على الأحواض الثلاثة التي تم دراستها في حالة أعلى قيمة هطول (25.4 مم) 4561840 م<sup>3</sup>، 3832860 و 4706620 م<sup>3</sup> لأحواض تصريف الوديان الدرب، كريم، أبو خشبة على التوالي. تستقبل أحواض الصرف في وادي الدرب والخريم حجمًا متساويًا تقريبًا من الأمطار بينما يتلقى وادي أبو خشبة حجمًا أقل.

حجم الخسارة م<sup>3</sup>

يؤثر الماء المفقود عن طريق التبخر والتسرب على التدفق. التدفق هو المطر المتبقي بعد التبخر والتسرب.

هناك أنواع عديدة من فاقد المياه:

- التبخر أثناء الجريان السطحي.
- التسرب خلال فترة التأخير.
- تسرب ثابت خلال وقت التفريغ.

يفقد التبخر أثناء الجريان السطحي ( $EL$ ) م<sup>3</sup>

بسبب الظروف المناخية القاحلة السائدة في المنطقة، تزداد معدلات التبخر بسبب ارتفاع درجة الحرارة، خاصة خلال فصل الصيف. بالإضافة إلى درجة الحرارة، تؤثر فترة هطول الأمطار أيضًا على التبخر؛ حيث كلما كانت فترة هطول



الأمطار أقصر، قلت فرصة التبخر. أيضاً، وقت هطول الأمطار يؤثر على التبخر. يزداد التبخر في نهار الخريف بينما يقل ليلاً (مصطفى، 2004). بالإضافة إلى ذلك، يؤثر تدرج المنحدر على التبخر؛ يزداد التبخر على الأسطح المنحدرة اللطيفة، بينما يتناقص على الأسطح شديدة الانحدار. تم استخدام بيانات التبخر من أقرب محطة أرصاد جوية لحساب التبخر أثناء الجريان السطحي من خلال مجموعة المعادلات التالية

$$\text{التبخر الكلي اليومي} = \text{متوسط التبخر} \times \text{مساحة الحوض}$$

ثم يتم حساب التبخر الكلي في ساعة بالمعادلة التالية:

$$\text{التبخر الكلي في الساعة} = \text{التبخر اليومي الكلي} / 24$$

ثم يتم استخدام القيم الناتجة عن حساب وقت تصريف الأحواض لحساب التبخر أثناء وقت التفريغ، كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$\text{التبخر أثناء وقت التفريغ (EL)} = \text{التبخر الكلي} / \text{ساعة} \times \text{وقت تصريف الحوض.}$$

وبلغت معدلات التبخر للأحواض الثلاثة المدروسة 159365.1 و162384.6 و142751.4 في أحواض الصرف لأودية الدرب وكريم وأبو خشبة على التوالي. تفقد أحواض الصرف لوائي الدرب والخريم حجماً مائياً أكبر من حوض الصرف في وادي أبو خشبة.

التسرب خلال فترة التأخير: (LTI) م<sup>3</sup>

التسرب هو تسرب المياه من خلال سطح التربة. التربة لديها حد تسلسل أعلى (قدرة التسلسل) حيث لا يمكن أن تتجاوز هذا الحد. عندما تكون كمية المطر المتساقطة أكبر بكثير من قدرة تسلسل التربة، يبدأ الجريان السطحي بالتشكل عن طريق جمع مياه الأمطار فوق سطح التربة. تعتمد درجة تسرب المياه عبر التربة على درجة مسامية الصخر ونفاذه ودرجة انحدار السطح وكذلك عمق ونوع الطبقة السطحية. يوضح الجدول التالي (الجدول 20) حجم التسرب عبر طبقات التربة (Wilon & Lane 1980).

جدول 22: حجم التسرب في رواسب التربة

ملحوظات	بوصة / ساعة	حجم الحبوب	نوع الرواسب
	5	2 مم	الحصى والرمل الخشن
ارض زراعية	2:5	2	تنظيف الرمال والحصى
قليل من الطمي والطين	3:1	يختلف	الرمل والحصى والطين والطين
الكثير من الطمي والطين	0.25	يختلف	الرمل والحصى الممزوج بالطين والطين
	0.001-0.1	يختلف	مواد متماسكة، نسبة عالية من الطمي والطين
0.08 مم / دقيقة	1.93		معدل

يتم حساب التسرب خلال فترة التأخير بالمعادلة التالية:

$$\text{التسرب خلال فترة التأخير} = \text{منطقة الحوض} \times \text{زمن التأخير} \times 0.08 \text{ مم / دقيقة}$$

أين؛ 0.08 مم / دقيقة هو متوسط كمية التسرب لجميع أنواع الرواسب السطحية (Wilon & Lane 1980).

يُعرف التسرب خلال فترة التأخر بالتسرب الذي يحدث في بداية هطول الأمطار ويستمر حتى يظهر الماء على سطح الأرض ويبدأ في التدفق. (LTi) للأحواض الثلاثة المدروسة هي 171667.7 و176498.3 و203212 لأحواض

تصريف وادي درب وكريم وأبو خشبة على التوالي. تفقد أحواض الصرف لوادي درب ووادي كريم حجم المياه من خلال التسرب أقل من ذلك في وادي أبو خشبة.

تسرب ثابت أثناء وقت التفريغ (سي) م<sup>3</sup>

تعكس قيم التسرب الثابتة مقدار التسرب داخل صخور الطبقة التي تقع تحت رواسب التربة السطحية التي تغطي جوانب وقيعان الحوض (عوض الله، 2005).

يتم حساب التسرب المستمر خلال وقت تصريف الحوض من خلال المعادلة التالية:

قيم التسرب الثابتة (Se) = مساحة الحوض × وقت التفريغ × w

حيث (ث) = ثابت يعبر عن نوع الصخور الأصلي

بلغت قيم التسرب الثابت للأحواض الثلاثة 61512.88 و 69972.99 و 68671.86 في أحواض الصرف لأودية درب وكريم وأبو خشبة على التوالي. التسرب الثابت خلال فترة التفريغ في حوض الصرف بوادي درب ووادي كريم أكثر ثباتاً في وادي أبو خشبة.

الخسارة الكلية (L) م<sup>3</sup>

الخسارة الكلية تعني كمية المياه المفقودة، إما بالتبخر أو عن طريق التسرب، والتي على أساسها يتم تحديد مقدار صافي التدفق. من الواضح ما إذا كان هناك جريان سطحي أم لا. يتم حساب الخسارة بجمع قيم التبخر والتسرب المحسوبة مسبقاً على النحو التالي:

الخسارة الكلية = التبخر أثناء الجريان السطحي + التسرب خلال فترة التأخير + قيم التسرب الثابتة

تتراوح الخسائر الإجمالية لأحواض البحر الأحمر من 0.02 \* 10<sup>6</sup> م<sup>3</sup> إلى 2.1 \* 10<sup>6</sup> م<sup>3</sup>. بلغ إجمالي الفاقد في الأحواض الثلاثة المدروسة 399704.7 و 408855.9 و 407476.3 م<sup>3</sup>. هذه القيم مرتفعة إلى حد ما بسبب الظروف المناخية، فضلاً عن خصائص السطح والتكوين الجيولوجي للمنطقة.

حجم التدفق الصافي في أحواض الصرف (Ru) م<sup>3</sup>

صافي التدفق يعني المياه المتبقية بعد طرح التبخر وخسائر التسرب الكلية من إجمالي هطول الأمطار. تشير الزيادة في صافي التدفق إلى احتمال أعلى للجريان السطحي (Sabre، 2007). وبالتالي، يتم حساب صافي التدفق بطرح إجمالي الخسائر من إجمالي الهطول.

التدفق الصافي (Ru) = إجمالي الهطول - إجمالي الخسائر

بالاعتماد على برنامج ARC-GIS، بلغت قيم التدفق الصافي في الأحواض الثلاثة المدروسة 4162135 و 4297764 و 3425384 م<sup>3</sup> في أحواض الصرف لأودية درب والخريم وأبو خشبة على التوالي. يمكن أن تشكل كميات التدفق الصافي هذه في أحواض الصرف فيضاً مفاجئاً عند مخرجها في حالة هطول الأمطار بكثافة تصل إلى 25.4 مم في مدة 24 ساعة. إنها كمية مياه متوسطة مقارنة بأحواض الصرف الكبيرة على ساحل البحر الأحمر وخليج السويس، لكنها قد تشكل تهديداً للمنشآت التي يمكن بناؤها في المجاري الرئيسية لخطوط الصرف خاصة في منطقة الخليج. الأجزاء الوسطى والسفلى من المنطقة عندما تسقط كمية من الأمطار مماثلة لأكثر كمية سقطت وفقاً للاحتباس الحراري. لذلك، يجب اتخاذ التدابير اللازمة لحماية هذه المنشآت من الجريان السطحي القوي. بينما بلغ الحد الأقصى لسقوط الأمطار في منطقة الدراسة 3.4 مم، فإن الأودية التي تعبر موقع المشروع بشكل فردي ذات احتمالات منخفضة للفيضانات الخطرة المتوقعة في ظل الظروف المناخية السائدة حالياً.

## 9.5 ملخص للأحواض المدروسة حسب بعض المتغيرات المقاسة

من أجل تحديد مخاطر ومعدل مخاطر التدفق السطحي في الأحواض الثلاثة المدروسة، تم دراسة الخصائص المورفولوجية لأحواض الصرف. كما تمت الإشارة إلى الخصائص الشكلية لأحواض الصرف على طول البحر الأحمر. تم تحديد درجة خطورة حوض الصرف وفقاً لمجموعة من المتغيرات الشكلية. تم اختيار المعلومات حسب أهميتها في خصائص الحوض وأهميتها الكبيرة فيما يتعلق بالفيضانات على النحو التالي:

1. خصائص الشكل: تم اختيار نسبة الدورة الدموية كمؤشر مهم لقياس مخاطر الجريان السطحي في المنطقة.

2. الخصائص الجيومورفولوجية: تم اختيار معدلات (نسبة الراحة، وقيمة الصلابة، وقياس الضغط المتكامل) كمؤشرات لقياس مخاطر التدفق في الأحواض.

3. الخصائص الشكلية لشبكة الصرف: تم اختيار معاملات (كثافة الصرف، تردد التيار، نسبة النسيج) للإشارة إلى تأثير خصائص صخور الطبقة على تدفق السطح.

4. العوامل الهيدرولوجية: تم اختيار معاملات (التأخر - زمن التركيز - سرعة الماء) كمؤشرات لقياس مخاطر التدفق في الأحواض الثلاثة.

يمكن استنتاج النقاط التالية بناءً على حدود كل معلمة للأحواض الثلاثة وفقاً لقيمتها في جميع أحواض البحر الأحمر وخليج السويس:

- من حيث الدوران، درس ثلاثة أحواض تتميز بإمكانية حدوث فيضان منخفض يمكن توقعه في هذه الأحواض الثلاثة حيث تكون قيم دائرتها قريبة من الصفر. وفقاً لذلك، سيكون لديهم فيضانات غير مدمرة في أوقات هطول الأمطار الغزيرة.
- من حيث عامل الإغاثة، تقع جميع الأحواض في فئة المخاطر المنخفضة، مما يشير إلى عدم شدة انحدار أحواض تصريف المياه في المنطقة. حيث تشير القيم العالية لعامل الإغاثة إلى احتمالية عالية لتدفق الفيضان؛
- من حيث الصلابة، فإن قيم نسبة الصلابة للأحواض الثلاثة هي 2.4 و 2.4 و 3.1 ل وادي درب و وادي كريم و وادي أبو خشبة على التوالي. تعكس هذه القيم احتمالات مخاطر الفيضانات المنخفضة في الأحواض المدروسة.
- من حيث تكامل القياس. بلغ التكامل الضخامي للأحواض الثلاثة المدروسة 0.231 و 0.234 و 0.134 ل وادي درب و وادي كريم و وادي أبو خشبة على التوالي. يشير هذا إلى أن جميع الأحواض الثلاثة في المنطقة المدروسة ذات احتمالات منخفضة لخطر الفيضانات.
- من حيث كثافة الصرف كانت قيم كثافة الصرف للأحواض الثلاثة المدروسة 3.1 و 2.99 و 2.7 لأودية درب والخريم وأبو خشبة على التوالي. تعتبر جميع الأحواض المدروسة ذات احتمالية منخفضة لمخاطر الفيضانات فيما يتعلق بقيم كثافة الصرف.
- من حيث تواتر التيار، بلغ معدل تكرار مجاري الأحواض الثلاثة المدروسة 3.6 و 3.65 و 4.02 لأحواض الصرف لأحواض درب والخريم وأبو خشبة على التوالي. تشير قيم تردد التدفق للأحواض الثلاثة إلى أن لديهم جميعاً احتمالية منخفضة لخطر الفيضان.
- من حيث التركيب الطبوغرافي، فإن نسب النسيج للأحواض الثلاثة التي تمت دراستها هي 5.69 و 6.18 و 5.6. بالمقارنة مع قيم نسبة نسيج حوض البحر الأحمر، فإن جميع الأحواض المدروسة ذات نسيج متوسط، وبالتالي فهي مصنفة على أنها احتمال متوسط لخطر الفيضان.
- من حيث الفارق الزمني فإن معامل التأخر في الأحواض الثلاثة المدروسة هو 229.2 و 228.6 و 323.2 دقيقة لأحواض الصرف لأودية درب والخريم وأبو خشبة على التوالي. وفقاً لهذا العامل، تكون الأحواض الثلاثة المدروسة أقل عرضة لتوقع حدوث فيضانات في منافذ المصب.
- من حيث زمن التركيز، قيم CT لأحواض الدراسة الثلاثة 382.3 و 381 و 538.6 دقيقة لأحواض تصريف وادي درب والخريم وأبو خشبة على التوالي (جدول 19). زمن التركيز للأحواض الثلاثة المدروسة أكثر من 6 ساعات، لذلك ليس من الضروري إنشاء محطات تحذير من الفيضانات في هذه الأحواض.
- من حيث معامل سرعة الماء، بلغت سرعة الجريان في الأحواض الثلاثة المدروسة 6.03 و 6.9 و 7.67 كم / ساعة في أحواض الصرف لأودية درب والخريم وأبو خشبة على التوالي. بناءً على سرعة التدفق السطحي، يمكن القول أن أحواض الصرف للأودية المدروسة يمكن اعتبارها احتمالات منخفضة لمخاطر الفيضانات.

## 10. مخاطر الفيضانات المفاجئة نموذج التقييم

10.1 مخاطر الفيضانات المفاجئة للأحواض الثلاثة المدروسة مقارنة بالبيانات الشكلية لجميع أحواض البحر الأحمر البيانات العددية الناتجة عن التحليل المورفومتري لأحواض الصرف الثلاثة التي تمت دراستها تمت معالجتها إحصائياً في إطار البيانات العامة المتوفرة لأحواض البحر الأحمر. تم اختيار أهم المعلمات الشكلية لتصنيف أحواض الصرف المدروسة حسب شدة الفيضان. تم اختيار 5 معلمات من أصل 23 معلمة لها حدود خلفية في منطقة البحر الأحمر للمعالجة الإحصائية البسيطة لإلقاء نظرة متعمقة على مستوى خطورة الأحواض الثلاثة المدروسة (الجدول 21). المعلمات الخمسة المختارة هي (المنطقة، الدائرية، مؤشر الانحدار، كثافة الصرف، صافي التدفق). هذه المعلمات هي

أهم العوامل في التحليلات الشكلية لأحواض الصرف. الأسباب الفعلية لاختيار المعاملات الخمسة السابقة في حسابات الخطورة هي:

- 1) تفاعلت معلمات أبعاد الحوض لتحديد منطقة الحوض.
- 2) تعكس المعلمة الدائرية معلمات شكل الحوض الأخرى.
- 3) مؤشر المنحدر هو المنتج النهائي لتبادل المعالم الطبوغرافية.
- 4) كثافة الصرف هي أهم عامل من بين المعلمات الشكلية للحوض.
- 5) العوامل التي تتحكم في حدوث الفيضان وهي الظروف المناخية والعوامل الهيدرولوجية والميزانية الهيدرولوجية نتجت عن صافي التدفق.

#### خطوات الحساب

القيم القصوى (القصوى) والدنيا (الدنيا) لمعايير حوض البحر الأحمر الـ 23 المصنفة في أربعة مستويات؛ تم استخدام L1 إلى L4 (الملحق 1، الجدول 22).

للمعلمات 5 المحددة؛ الفرق بين الحدين الأعلى والأدنى مقسومًا على 4 لتصنيف النطاق إلى 4 حدود فئة (C1 إلى C4) لكل معلمة (الجدول 22).

تم حساب نطاق مستويات فئة المخاطر الأربعة [منخفض (1)، متوسط (2)، مرتفع (3) ومرتفع جدًا (4)] على أساس حدود الفئات الأربعة (الجدول 22).

تمثل كل معلمة من 5 المحددة 20٪ من شدة الفيضان المتوقع.

تمت مقارنة قيم المعلمات الخمسة المحددة للأحواض الثلاثة مع حدود فئة المخاطر الأربعة (الجدول 23) لتحديد مستوى فئة المخاطر لكل معلمة على حدة في كل حوض (الجدول 23).

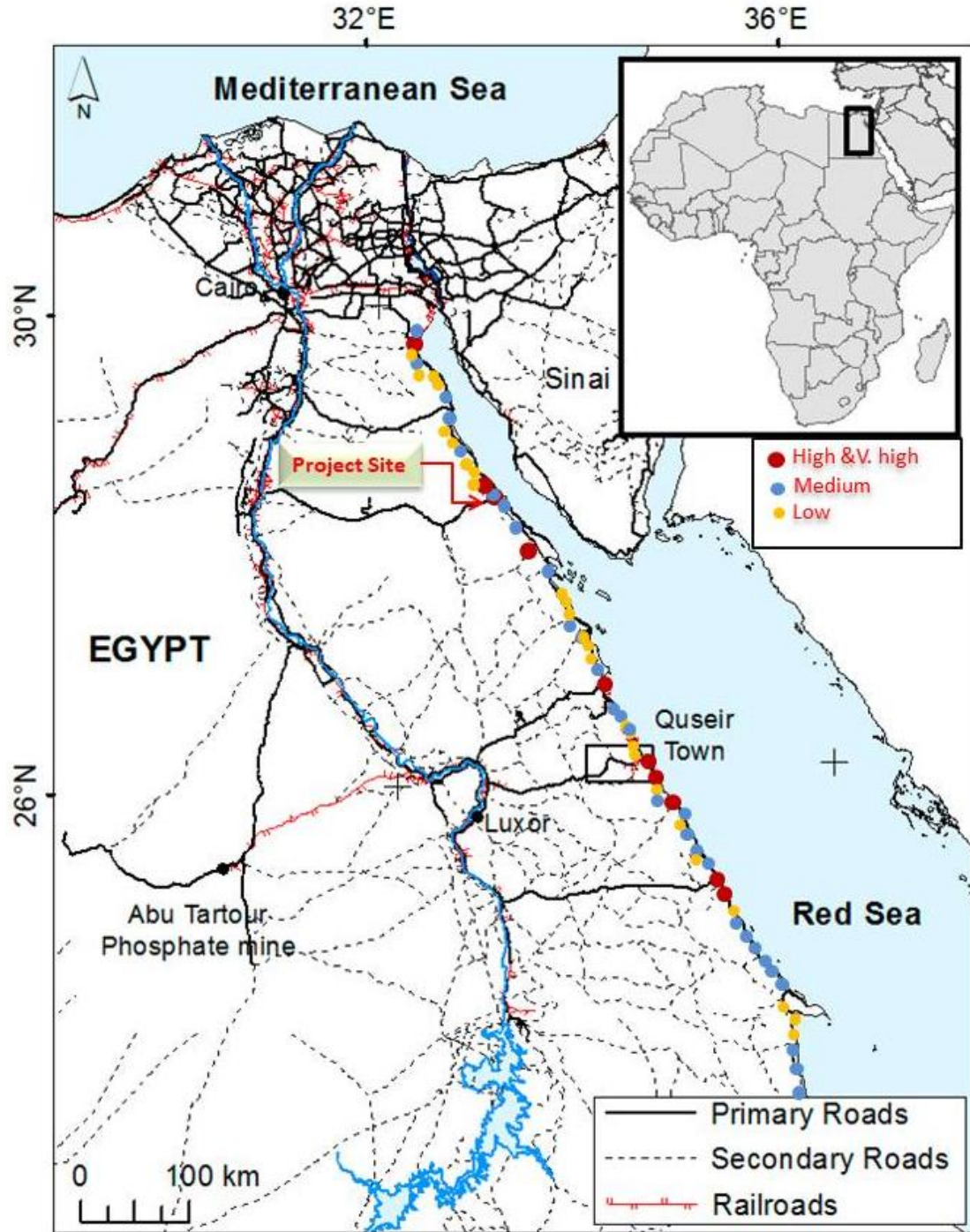
تم حساب النسب المئوية للشدة للمعلمات الخمس المحددة للأحواض الثلاثة بناءً على مستوى فئة المخاطر لكل معلمة (الجدول 24).

تم تحديد مستوى فئة شدة كل حوض (الجدول 25).

تم تحديد الاحتمالية المتوقعة (الاحتمالية) لفيضان مفاجئ بمستويات شدة منخفضة ومتوسطة وعالية وعالية جدًا بناءً على السجل التاريخي للفيضانات السريعة على طول منطقة البحر الأحمر كما هو موضح في الشكل (37). يوضح هذا الشكل أن موقع المشروع يقع في منطقة شهدت فيضانات متوسطة إلى شديدة الخطورة عند منافذ بعض أحواض الصرف.

ثم يمكن تصنيف احتمالية حدوث الفيضان السريع إلى أربعة مستويات [(1) منخفض، (2) متوسط، (3) مرتفع، (4) مرتفع جدًا].

تم حساب مصفوفة مخاطر الفيضان السريع بناءً على فئات الشدة والاحتمالية كما في (الجدول 26).



شكل 37: احتمالية حدوث فيضانات في منطقة البحر الأحمر بناءً على السجل التاريخي للفيضانات السريعة.

جدول 23: معاملات الفيضان لأحواض البحر الأحمر مقسمة إلى أربعة مستويات (L1 إلى L4)

حدود الفئات الأربع				نطاق المعلومات			
L4	L3	L2	L1	(الحد الأقصى) 4 /	دقيقة	الحد الأقصى ى	حدود



1796 5.	1348 1.	899.7	451. 2	448.4	2.8	1796 5.	المساحة (كم <sup>2</sup> )
0.52	0.42 25	0.325	0.22 75	0.1	0.13	0.52	نسبة دائرية (Rc)
0.8	0.7	0.6	0.4	0.1	0.3	0.8	نسبة الاستطالة (إعادة)
0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.5	شكل عامل
109. 5	84.0	58.5	32.9	25.5	7.4	109. 5	نسبة الإغاثة
2088 0.	1573 5.	1059. 0	544. 5	514.5	30.0	2088 0.	الأعلى. إرتياح
3.4	2.6	1.8	1.0	0.8	0.2	3.4	البروز النسبي
30.9	23.5	16.1	8.7	7.4	1.3	30.9	غلظة
1.6	1.2	0.8	0.4	0.4	0.02	1.6	كثافة العمليات.
13.4	10.3	7.2	4.0	3.1	0.9	13.4	مؤشر المنحدر
6630 0.	5018 3.	3406. 5	1794 8.	1611. 8	183. 0	6630 0.	رقم الدفع
9813 7.	7387 3.	4961. 0	2534 6.	2426. 4	108. 2	9813 7.	طول التيار (كم)
10.9	8.6	6.3	3.9	2.3	1.6	10.9	نسبة التشعب
77.0	59.1	41.2	23.3	17.9	5.4	77.0	كثافة الصرف (كم <sup>-1</sup> )
123. 0	94.6	66.3	37.9	28.4	9.5	123. 0	التردد (كم <sup>-2</sup> )
38.5	29.6	20.6	11.7	9.0	2.7	38.5	تدفق السطح
100. 6	77.1	53.7	30.2	23.5	6.7	100. 6	نسبة الملمس (كم <sup>-1</sup> )
0.2	0.13 8	0.095	0.05 3	0.04	0.01	0.2	ثبات التيار
3708 1.	2801 2.	1894. 3	987. 3	906.9	80.4	3708 1.	حجم التدفق
1273 4.	956	638.6	321. 2	317.4	3.8	1273 4.	حجم التفريغ
39.9	31.2	22.6	13.9	8.7	5.2	39.9	سرعة تدفق
2.1	1.6	1.1	0.5	0.5	0.02	2.1	خسارة كاملة
3.7	2.8	1.9	1.0	0.9	0.1	3.7	صافي التدفق

جدول 24: حدود ومستويات المخاطر للمعايير الخمسة المختارة وفقًا لأحواض البحر الأحمر بأكملها

مستويات فئة المخاطر				حدود الفئات الأربع				
حدود	ج 1	ج 2	ج 3	ج 4	منخفض (1)	متوسط (2)	مرتفع (3)	عال جدًا (4)
المساحة (كم <sup>2</sup> )	451.2	89	134	179	- 2.8	- 451.2	- 899.7	- 1348.1
	2	9.7	8.1	6.5	451.2	899.7	1348.1	1796.5
دائرية	0.22	0.3	0.42	0.52	- 0.13	- 0.2275	- 0.325	- 0.4225
	75	25	25	0.52	0.2275	0.325	0.4225	0.52
مؤشر المنحدر	4.0	7.2	10.3	13.4	4 - 0.9	7.2 - 4	10.3 - 7.2	- 10.3
	4.0	7.2	10.3	13.4	4 - 0.9	7.2 - 4	10.3 - 7.2	13.4
كثافة الصرف	23.3	41.	59.1	77.0	- 5.4	- 23.3	- 41.2	- 77
	23.3	41.	59.1	77.0	23.3	41.2	59.1	59.1
صافي التدفق	8.15	16.	24.2	32.3	- 0.1	- 8.15	- 16.2	- 24.25
	8.15	2	5	32.3	8.15	16.2	24.25	32.3

جدول 25: حدود ومستويات المخاطر للأحواض الثلاثة المدروسة

مستويات فئة المخاطر			أحواض			
حدود	ص. ابو حد	الدرب	خریم	W1	W2	W3
المساحة (كم <sup>2</sup> )	179.6	185.3	150.9	1	1	1
	179.6	185.3	150.9	1	1	1
دائرية	0.175	0.196	0.164	1	1	1
	0.175	0.196	0.164	1	1	1
مؤشر المنحدر	1.162	1.029	1.169	1	1	1
	1.162	1.029	1.169	1	1	1
كثافة الصرف	3.115	2.997	2.724	1	1	1
	3.115	2.997	2.724	1	1	1
صافي التدفق * 10 <sup>6</sup> م <sup>3</sup>	4.16	4.29	3.43	1	1	1
	4.16	4.29	3.43	1	1	1

جدول 26: شدة النسبة المئوية للمعاملات الخمسة المختارة على الأحواض التسعة

معلمة	فئة	منخفض (1)	متوسط (2)	مرتفع (3)	عالية (6)
منطقة					
	حدود%	1 - 5%	6 - 10%	11 - 15%	16 - 20%
	سلسلة جبال	- 2.8	- 451.2	- 899.7	17.96.5 - 1348.1

	13481.1	899.7	451.2	البحر الأحمر	
			2	W1	% من الخطورة
			2.1	W2	
			1.7	W3	
دائرية					
%20 – 16	%15 – 11	%10 – 6	%5 – 1	حدود%	
0.8 - 0.7	0.7 - 0.6	0.6 - 0.4	0.4 - 0.3	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			2.19	W1	% من الخطورة
			2.45	W2	
			2.05	W3	
مؤشر المنحدر					
%20 – 16	%15 – 11	%10 – 6	%5 – 1	حدود%	
13.4 - 10.3	10.3 - 7.2	7.2 - 4	4 - 0.9	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			1.45	W1	% من الخطورة
			1.29	W2	
			1.46	W3	
كثافة الصرف					
%20 – 16	%15 – 11	%10 – 6	%5 – 1	حدود%	
77 - 59.1	59.1 - 41.2	41.2 - 23.3	- 5.4 23.3	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			0.67	W1	% من الخطورة
			0.64	W2	
			0.58	W3	
صافي التدفق					
%20 – 16	%15 – 11	%10 – 6	%5 – 1	حدود%	
3.7 - 2.8	2.8 - 1.9	1.9 - 1	- 0.1 8.15	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			2.6	W1	نسبة (%)
			2.6	W2	من الخطورة

			2.1	W3	
--	--	--	-----	----	--

جدول 27: مستوى فئة الشدة للأحواض المدروسة الثلاثة

أحواض	W1	w2	w3
منطقة	2.00	2.10	1.70
دائرية	2.19	2.45	2.05
الانحدار الانحدار	1.45	1.29	1.46
كثافة الصرف	0.67	0.64	0.58
صافي التدفق	2.60	2.60	2.10
الإجمالي بالنسبة المئوية (%)	8.91	9.08	7.89
مستوى الفئة	1.00	1.00	1.00

جدول 28: مصفوفة مخاطر الفيضانات المفاجئة التي يمكن توقعها في ثلاثة أحواض مدروسة

خطورة احتمالية	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

منخفض  
متوسط  
مرتفع/مرتفع جداً

ملحوظة:

- عوامل الخطر للأودية 1 و 2 و 3:  
1 (خطورة) \* 2-4 (احتمال)  
عامل الخطر = إما 2 أو 3 أو 4  
كل منهم منخفضة شدة مخاطر الفيضانات

ختاماً

بناءً على التحليلات الشكلية لحوالي 38 معلمة للأحواض الثلاثة المدروسة مقارنة بجميع الأحواض الأخرى في البحر الأحمر وخليج السويس (مع الأخذ في الاعتبار أقصى هطول للأمطار في المنطقة في يوم واحد)، فإن الأحواض الثلاثة لديها مخاطر منخفضة للفيضانات خطيرة.

## 10.2 مخاطر الفيضانات المفاجئة الخاصة بمنطقة الدراسة (الأحواض الثلاثة)

في التحليل السابق تمت مقارنة الأحواض الثلاثة المدروسة مع جميع أحواض البحر الأحمر وخليج السويس. لذلك، خلصت نتائج هذا التحليل إلى أنه لا يمكن توقع حدوث فيضانات خطيرة في هذه الأحواض الثلاثة. بسبب التباين الشديد في خصائص أحواض البحر الأحمر، وصغر المساحات من الأحواض الثلاثة المدروسة مقارنة بمعظم أحواض البحر الأحمر، والظروف المناخية الخاصة بمنطقة الدراسة، وتسجيل العديد من الفيضانات الخطيرة في وحول رأس غارب. عند منافذ العديد من الأحواض التي تشمل الثلاثة قيد التحقيق، تم تقييم إمكانات الفيضان لهذه الأحواض الثلاثة بشكل منفصل وفقاً لخصائصها مقارنة بالأحواض المجاورة تحت نفس الظروف مثل وادي الحواشية ووادي أبو حد ووادي دارا.

تم الاعتماد على طريقة مصفوفة التقييم المتكاملة لدراسة مخاطر الفيضانات في المنطقة لشمولتها واعتمادها على عدد كبير من المتغيرات وكذلك الدقة العالية لنتائجها (Horton 1932، Strahler ، Gregorgy & Walling 1973، 1964، 1985). في حساب الخطر يعتمد على جميع المتغيرات التي تمت دراستها بالتفصيل لتحديد درجة خطورة الفيضانات في أحواض المنطقة، حيث بلغ عدد هذه المتغيرات 38 معاملاً. من دراسة العوامل المورفومترية لأحواض وشبكات الصرف، بالإضافة إلى العوامل الهيدرولوجية والميزانية الهيدرولوجية للأحواض وتصنيفها إلى فئات حسب شدة الفيضان، يتضح ما يلي:

- تمثل الفئة الثالثة فئة المخاطر الشديدة في عدد من العوامل تمثل حوالي 21 عاملاً.
- في بعض العوامل الأخرى "حوالي 17 عاملاً"، تمثل الفئة الأولى فئة الخطر بدلاً من الفئة الثالثة، بسبب الظروف الجيومورفولوجية والهيكلية والهيدرولوجية التي تؤثر على الأحواض.
- وبالتالي، قد يقع حوض واحد في الفئة الأولى في بعض العوامل، وفي الفئة الثانية أو الثالثة في عوامل أخرى، وبالتالي لا توجد قاعدة عامة في توزيع الأحواض بين الفئات في جميع العوامل.
- تم حساب متوسط درجة الخطر لكل حوض في المنطقة في مجموعة العوامل المختلفة، ثم تم حساب درجة الخطر لجميع العوامل ككل، كما هو موضح في الجدول 27.

جدول 29: درجة مخاطر الفيضانات لثلاثة أحواض مدروسة

الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة
الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة	الدرجة
3	1	1	كليه سي	1	3	2	أ (كم 2)
1	3	2	سنو	1	2	3	LB (كم)
3	2	1	Slu (كم)	3	1	2	W (كم)
3	2	1	Rb	3	2	1	Pr (Km)
1	2	3	D (كم -1)	2	2	2	معدل
3	2	1	F (كم -2)	2	2	2	فئة
1	2	3	Rm	1	2	3	Re
1	2	3	Lo	1	3	2	RC
1	3	2	Rt	1	2	3	Ish



1.9	2.1	1.9	معدل	1	3	2	SH	
2	2	2	فئة	3	2	1	K	
1	3	2	TL	1	2	3	Rlw	
1	3	2	ح	1.3	2.3	2.3	معدل	
1	3	2	Dr	1	2	2	فئة	
1	2	3	Dv	3	2	1	الترددات اللاسلكية	
1	3	2	Td	3	1	2	Rh	
2	3	1	Lt	3	2	1	Rr	
1.2	2.8	2.0	معدل	3	1	2	Rn	
1	3	2	فئة	1	2	3	Gn	
1	3	2	Pre	3	1	2	Hi	
3	1	2	EL	3	1	2	Sl	
1	2	3	Lti	2.7	1.4	1.9	معدل	
3	1	2	Se	3	1	2	فئة	
2	1	3	L					
1	3	2	Ru					
1.8	1.8	2.3	معدل					
2	2	2	فئة					

من فئات مخاطر الفيضانات المحسوبة أعلاه للأحواض الثلاثة، يمكن استنتاج النقاط التالية:

- أبعاد الحوض  
عدد عوامل أبعاد الحوض هو 4. وفقاً لأبعاد الحوض، تقع الأحواض الثلاثة المدروسة في فئة مخاطر الفيضانات الثانية، أي الجريان السطحي ذو الخطورة المعتدلة.
- شكل الحوض  
عوامل شكل الحوض هي 6. يقع حوض وادي درب ووادي كريم في الفئة الثانية من مخاطر الفيضانات بينما يقع حوض وادي أبو خشبة في الفئة الأولى. وهذا يعني أن وادي درب ووادي كريم يتوقعان جرياناً سطحياً معتدلاً الخطورة، في حين أن الجريان السطحي لوادي الخريم منخفض الشدة.
- تضاريس الحوض  
بلغ عدد عوامل الشكل 7 معاملات. جاء حوض وادي أبو خشبة في فئة الجريان السطحي الخطير، بينما جاء حوضي درب وكريم في فئتي الجريان المتوسط والمنخفض على التوالي.

- قياس شكل شبكات الصرف

عدد هذه العوامل هو 9، حيث تكون الأحواض الثلاثة المدروسة في شدة الجريان السطحي المتوسطة.

- هيدرولوجيا الأحواض الثلاثة

وبلغ عدد هذه العوامل 6، جاء فيها حوض وادي كريم في فئة الجريان السطحي الخطير، بينما جاء حوض الدرب في فئة الجريان السطحي المتوسط الشدة، وجاء حوض وادي أبو خشبة في فئة الجريان السطحي منخفض الخطورة.

- ميزانية المياه

هناك 6 عوامل تحدد الميزانية المائية للأحواض (الجدول 27). وفقاً لعوامل الميزانية المائية، يمكن أن تتعرض جميع الأحواض الثلاثة المدروسة إلى شدة الجريان السطحي المتوسطة.

تمثل هذه الفئة متوسط درجات المخاطر في الأحواض الثلاثة لمنطقة الدراسة لحوالي 38 عاملاً تمت دراستها (الجدول 27). بشكل عام في حالة هطول أمطار غزيرة، يمكن توقع تدفق سطحي لأحواض وادي كريم والدرب على طول خطوط الصرف التي تعبر موقع المشروع، بينما يقع حوض وادي أبو خشبة في فئة منخفض مخاطر الجريان السطحي.

ترجع أهمية مدينة رأس غارب والمناطق المحيطة بها إلى وجود العديد من الطرق المهمة مثل طريق الزعفرانة - الغردقة وطريق المنيا - رأس غارب وخطوط نقل النفط والغاز، بالإضافة إلى شبكات الكهرباء والاتصالات وغيرها من الطرق المهمة. بنية تحتية. هذا بالإضافة إلى العديد من حقول النفط ومحطات الرياح التي تم إنشاؤها وتحت الإنشاء. نظراً لتعرض هذه المنطقة للعديد من السيول الخاطفة ذات الآثار الخطيرة على العديد من هذه المرافق، لا سيما تلك الموجودة في مخارج بعض أحواض الصرف في المنطقة، مثل وادي الحواشية ووادي أبو حد ووادي الدرب (الشكل). (38). هناك العديد من الدراسات المعنية بتقييم مخاطر الفيضانات في معظم الأحواض. سيتم التعامل مع أهم هذه الدراسات حتى يتمكن من التحقق من نتائج تحليل البيانات للأحواض الثلاثة قيد التحقيق.



شكل 38: أهم أحواض الصرف القريبة من موقع المشروع.

لاحظ أن حوض الصرف لوادي الحواشية هو طريق إلى الشمال، وحوض وادي أبو حد يقع في الشمال مباشرة خارج منطقة المشروع. يقع موقع المشروع في الجزء الأوسط من أحواض الصرف بوادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة.

عبد المنعم (2004)، لمحة عامة عن الخصائص الجيومورفولوجية والهيدروجيولوجية لحوالي 27 حوض تصريف في الصحراء الشرقية. قام بتحليل البيانات الشكلية للأحواض التي نشرتها EShamy 1992 وخلص إلى أن وادي الحواشية ووادي أبو حد ووادي غريب ووادي دارا تتميز باحتمالية عالية للفيضانات (شكل 37). جمع الأحواض الثلاثة المدروسة في حوض واحد يسمى حوض الصرف لوادي غريب.

يوسف وحجاب (2005)، بناءً على نظام المعلومات الجغرافية والإحصاءات، قاموا بتطوير نظام إدارة قاعدة البيانات لمخاطر الفيضانات في منطقة رأس غارب. وذكر أن أحواض الصرف لوادي أبو حد ووادي الدرب هي أكثر الأودية انتشاراً التي تحدث فيها السيول وتهدد منطقة رأس غارب.

بعد Elnazer et al. (2017)، في أعقاب الفيضانات المفاجئة التي ضربت مدينة رأس غارب في أكتوبر 2016 والتي أسفرت عن عشرات القتلى وإلحاق أضرار بالبنى التحتية والممتلكات. لقد أثبتوا أن المدينة واجهت فيضاناً سريعاً شديد الخطورة من حوض الصرف في وادي أبو حد. لذلك، اقترحوا قناة فيضان مفاجئ يبلغ طولها حوالي 38 كيلومتراً لنقل المياه السطحية التي يتم تصريفها عند منفذ وادي أبو حد إلى الشمال من مدينة رأس غارب حتى يمكن حماية المدينة من السيول المستقبلية الخطيرة.

قام صادق ولي (2019) بتقييم تأثير فيضان 2016 على مدينة رأس غارب. وخلصوا إلى أن المصدر الرئيسي للفيضان هو حوض تصريف وادي أبو حد، حيث المنطقة الأكثر تعرضاً هي المدينة عند مخرج الوادي في منطقة المصب.

إبراهيم وآخرون (2021)، درس الظروف الهيدرولوجيولوجية وخصائص وجود المياه الجوفية في منطقة رأس شقير جنوب رأس غارب. قام بتقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة في حوض الصرف في المنطقة. وخلصوا إلى أن وادي أبو حد يصنف على أنه ذو احتمالية عالية للفيضانات حيث أن منطقة وادي الدرب والخريم وأبو خشبة ذات احتمالية متوسطة لخطر الفيضانات.

بناءً على البيانات المستخلصة من نماذج تقييم مخاطر الفيضانات للأحواض الثلاثة المدروسة والتي تم تطويرها في هذه الدراسة مقارنة ببيانات جميع أحواض البحر الأحمر من جهة والأحواض القريبة جداً من جهة أخرى، يمكن استنتاج ما يلي :

- المناطق المعرضة للفيضانات هي تلك الموجودة عند مصب أحواض الصرف.
- يعد وادي الحواشية ووادي أبو حد من أخطر الأودية التي تهطل فيها أمطار غزيرة خطيرة في منطقة رأس غارب في حالة ارتفاع كثافة هطول الأمطار. لا علاقة لهذين حوضي الصرف بموقع المشروع، حيث يقع التيار الرئيسي لأبو حد خارج حدود الموقع من الشمال، بينما يقع وادي الحواشية على بعد حوالي 20 كم من الموقع في الاتجاه الشمالي.
- للتخفيف من آثار الفيضانات والسيطرة عليها، تم إنشاء العديد من التطبيقات التي من شأنها التغلب على السيول ومنع وصول كميات كبيرة من مياه الأمطار إلى مخارج الأحواض، مما يتسبب في حدوث السيول المدمرة. سيتم التعرف على هذه الإجراءات.
- جاء وادي الدرب "أحد الأودية الثلاثة التي تعبر الموقع" في الفئة الثانية فيما يتعلق بمخاطر السيول المفاجئة، أي إمكانية تقييم مخاطر الفيضانات المتوسطة.
- على الرغم من صغر مساحة حوض وادي الدرب، إلا أنه قد يتسبب في فيضانات خطيرة في مدينة رأس غارب في حال هطول أمطار غزيرة، وبالتالي تم بناء سد وبحيرة تخزين اصطناعية عند مخرجه شرقاً خارج الموقع.
- تعتبر أحواض وادي كريم ووادي أبو خشبة من بين الأحواض التي لم يكن من المتوقع حدوث السيول فيها.
- بما أن أجزاء المصب من الأحواض معرضة للأخطار الناتجة عن الأمطار الغزيرة، فإن المناطق الوسطى والعليا من هذه الأحواض مسؤولة عن تجميع مياه الأمطار وتوجيهها إلى المجاري الرئيسية. تم تجميع مياه الأمطار في الأجزاء العلوية والمتوسطة من الأحواض في العديد من خطوط الصرف. تتفاوت هذه التصريفات من حيث الطول والعرض والعمق والشكل والانحدار وحجم الرواسب المنقولة والمترسبة على طول مساراتها. بسبب عدم وجود أي منشآت أو تجمعات سكانية في الغالب في هذه المناطق، فإن تأثير السيول عليها غير معروف. ولكن إذا تم تضمين هذه المناطق في نطاق التطوير، فيجب تقييم الجريان السطحي في روافدها ومدى خطورتها على المرافق التي سيتم بناؤها.
- وفقاً لموقع موقع المشروع، لا يمكن توقع حدوث فيضانات خطيرة في منطقة المشروع بأكملها.
- يمكن توقع جريان سطحي قوي في خطوط الصرف التي تعبر موقع المشروع.
- يمكن استنتاج شدة الجريان السطحي من خلال:
  - عدم وجود خطر في الجذوع الرئيسية لهذه الروافد
  - الانحدار العام لسطح الأرض في هذه المناطق
  - يشير اتساع وضخالة خطوط الصرف إلى ضعف الجريان السطحي والعكس صحيح
  - يشير الحجم الصغير للرواسب في خطوط الصرف هذه إلى ضعف الجريان السطحي والعكس صحيح.
- لذلك فإن الزيارة الميدانية للموقع والمناطق المحيطة بها مهمة، حيث كانت لتوضيح الصورة النهائية والتحقق من النماذج التي تم بناؤها بناءً على بيانات صور الأقمار الصناعية والأرصاد الجوية والتحليلات الطبوغرافية والمورفومترية، إلخ.

## 11. زيارة ميدانية

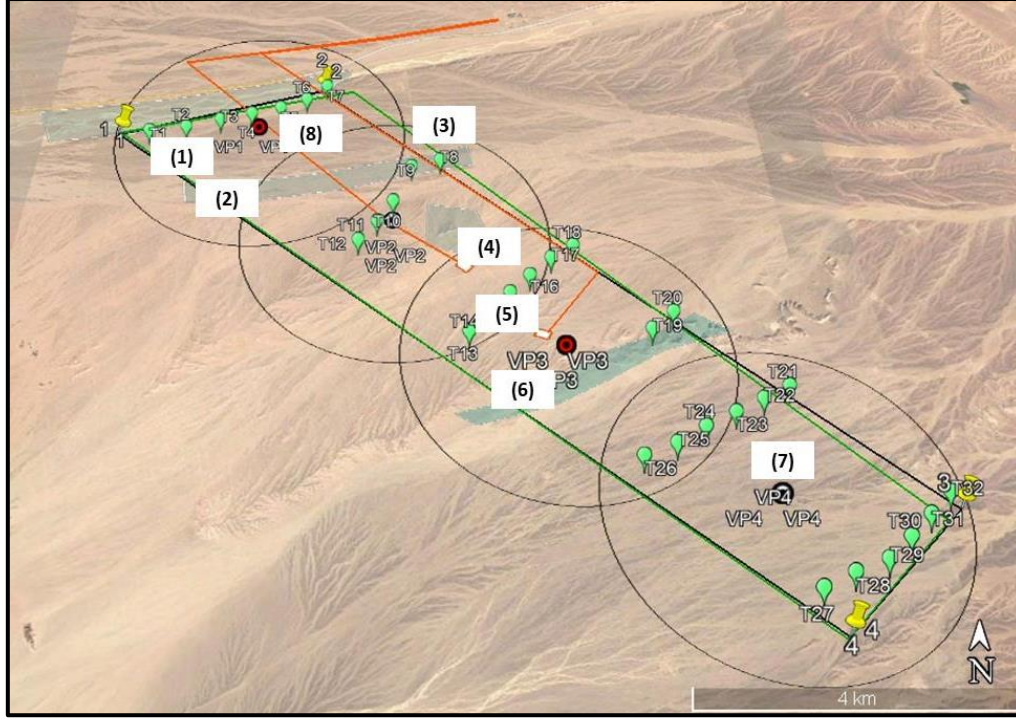
### 11.1 التركيز على الزيارة الميدانية

تمت الزيارة الميدانية يوم الاثنين الموافق 15 مايو الجاري 2023. كان تركيز هذه الزيارة على موقع المشروع المحدد من قبل العميل، مع التركيز على زيارة جميع المواقع الهامة المشار إليها والتحقق من جميع التفاصيل المطلوبة. تم توثيق جميع الملاحظات والأدلة على الأرض وتسجيلها من خلال العديد من الصور الميدانية التي توضحها قدر الإمكان. تم استخدام تطبيق GPS Map Camera Mobile لتحديد الموقع الجغرافي للصور الميدانية. وتجدر الإشارة إلى أن



المستشار واجه عدم استقرار في الشبكة وغياب كامل في بعض الأماكن التي تمت زيارتها، مما أدى إلى ظهور أخطاء في بعض المواقع كما يتضح في بعض الصور. للتغلب على هذه المشكلة، تم استخدام جهاز GPS لتحديد موقع الأماكن التي تم تصويرها.

مواقع الاهتمام موضحة في الشكل 39. كانت هذه هي المناطق التي تمت ملاحظتها عن كثب خلال زيارة الموقع.



شكل 39: التصميم المقترح للموقع

ركزت زيارة الموقع على مجالين (لأغراض المقارنة):

1. **داخل حدود الموقع-** فيما يتعلق بموقع المشروع، ركزت الزيارة الميدانية على فحص خطوط الصرف التي تمر عبر الموقع لفحص أي آثار للجريان السطحي الشديد، خاصة في أعقاب موسم الأمطار، وأبعاد هذه الوديان. كما تم فحص المواقع المقترحة للتوربينات فيما يتعلق بخطوط الصرف وإمكانية التأثير بأي جريان سطحي شديد قد يحدث في المستقبل. تصوير تأثير الجريان السطحي على الطرق المعبدة عبر الموقع. يوضح الشكل 39 المواقع التي تمت زيارتها في موقع المشروع، والتي سنتعامل معها بالتفصيل ونوجه الصور الميدانية أدناه.
2. **مناطق خارج حدود الموقع (مجاورة للموقع)**

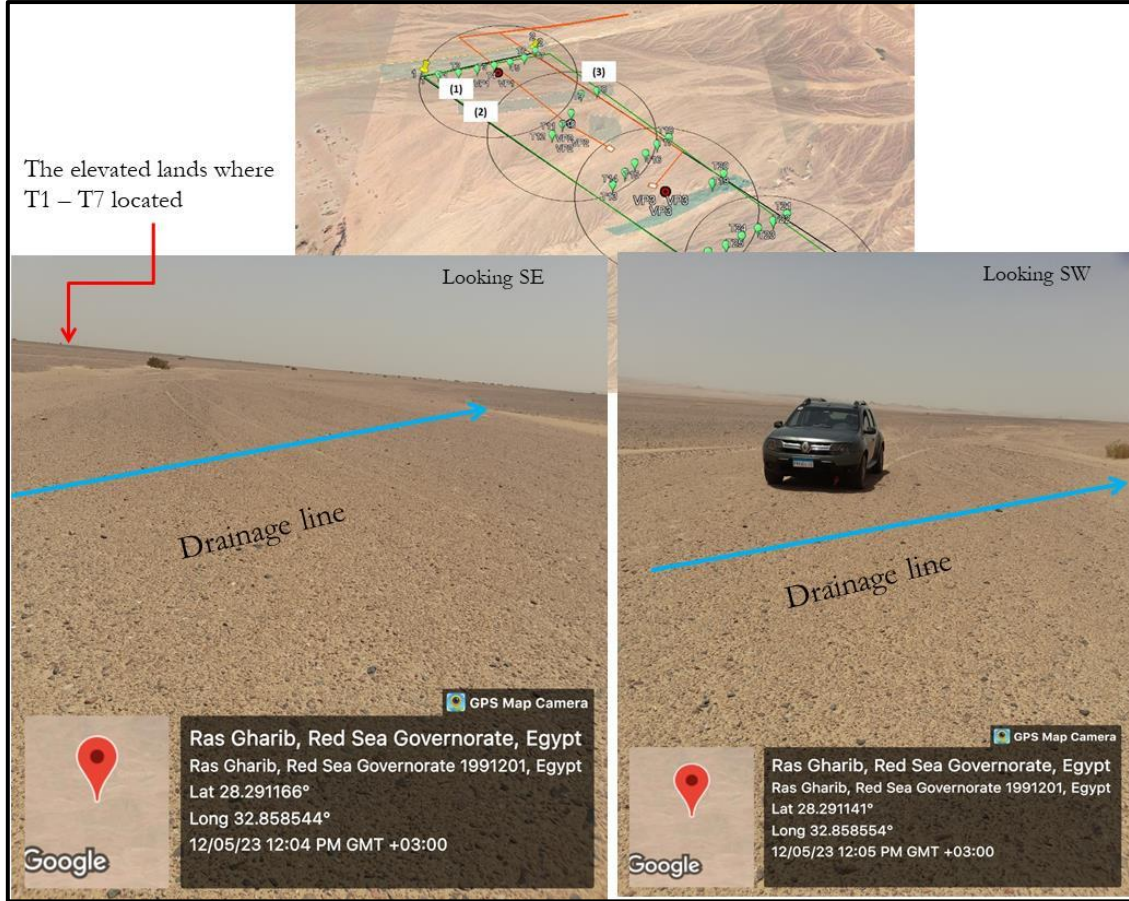
كما تناولت الزيارة أماكن خارج حدود الموقع والتعرف على إجراءات التخفيف التي تم تنفيذها لحماية المنشآت الموجودة في الجداول الرئيسية المعرضة بالفعل لتأثير السيول.

يتم تفصيلها أدناه.

## 11.2 المواقع داخل حدود الموقع

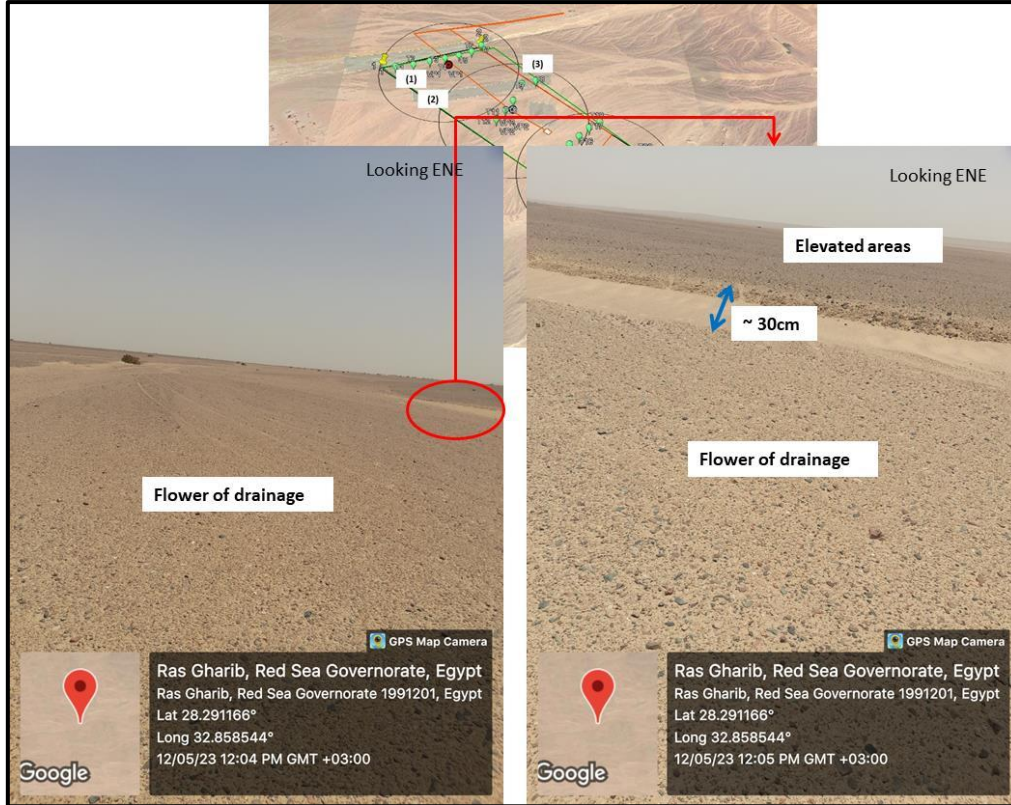
- النقاط المهمة التي تم أخذها في الاعتبار أثناء زيارة الموقع كما هو موضح في الشكل 39 هي:
- المواقع 1، 2، 3؛ هي أجزاء من خطوط الصرف التي تمر عبر الشمال الغربي للموقع وهي أجزاء من خطوط تصريف أودية الدرب (الأشكال 40-43).





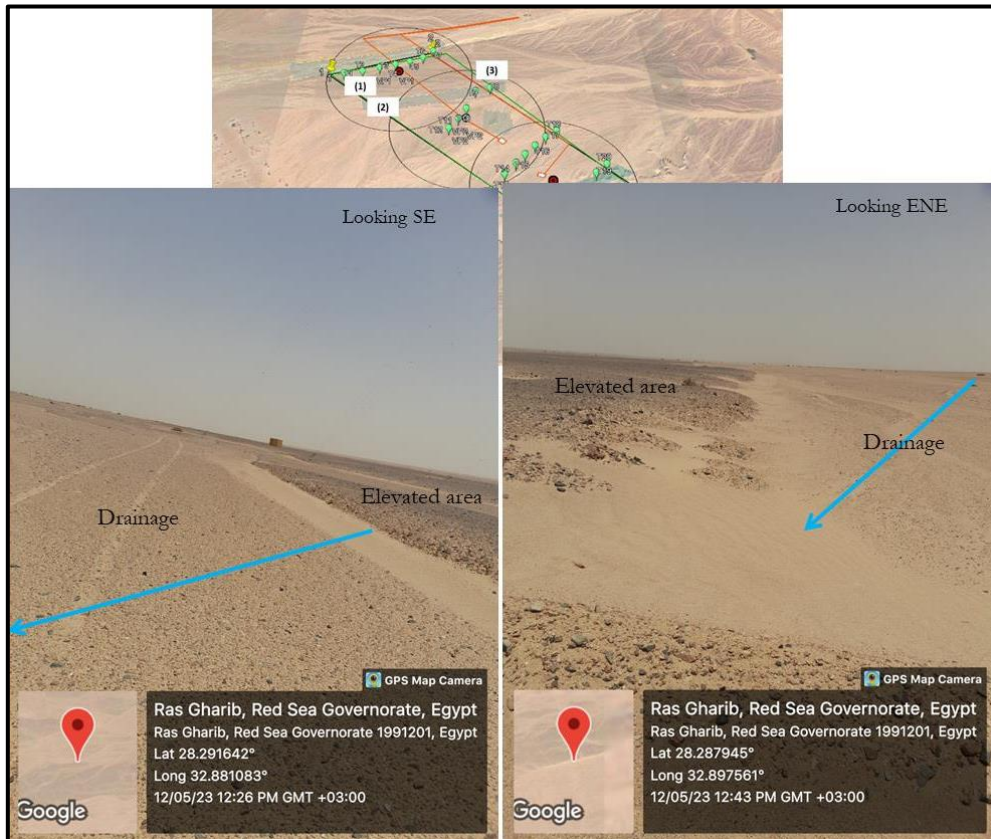
شكل 40: جزء من روافد وادي الدرب في الجزء الشمالي الغربي من الموقع.

لاحظ العرض الكبير والسطحية لخطوط الصرف. لا يوجد ما يشير إلى التدفق السطحي القاطع. تقع التوربينات من T1 إلى T7 في المناطق المرتفعة بعيداً تماماً عن خطوط الصرف.



شكل 41: فرق الارتفاع بين أرضية خطوط الصرف والمناطق المرتفعة التالية حيث توجد التوربينات.

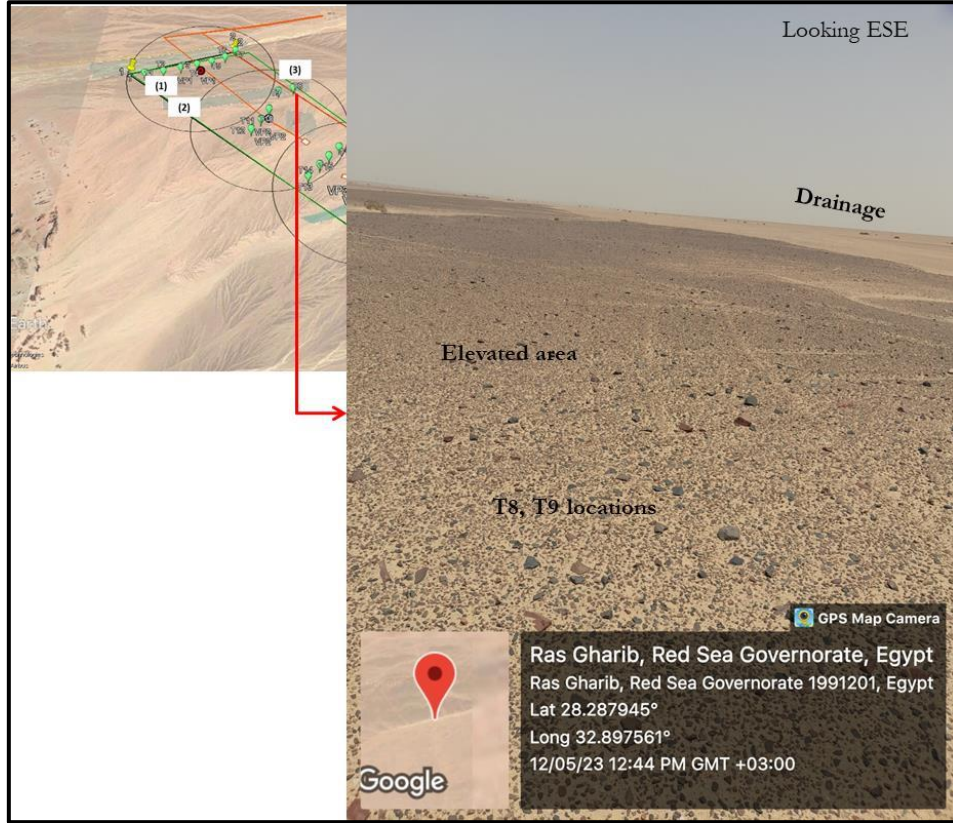
لاحظ أن الفرق يتراوح بين 0.3 و0.5 متر في الغرب.



شكل 42: فرق الارتفاع بين أرضية خطوط الصرف والمناطق المرتفعة التالية حيث توجد التوربينات.



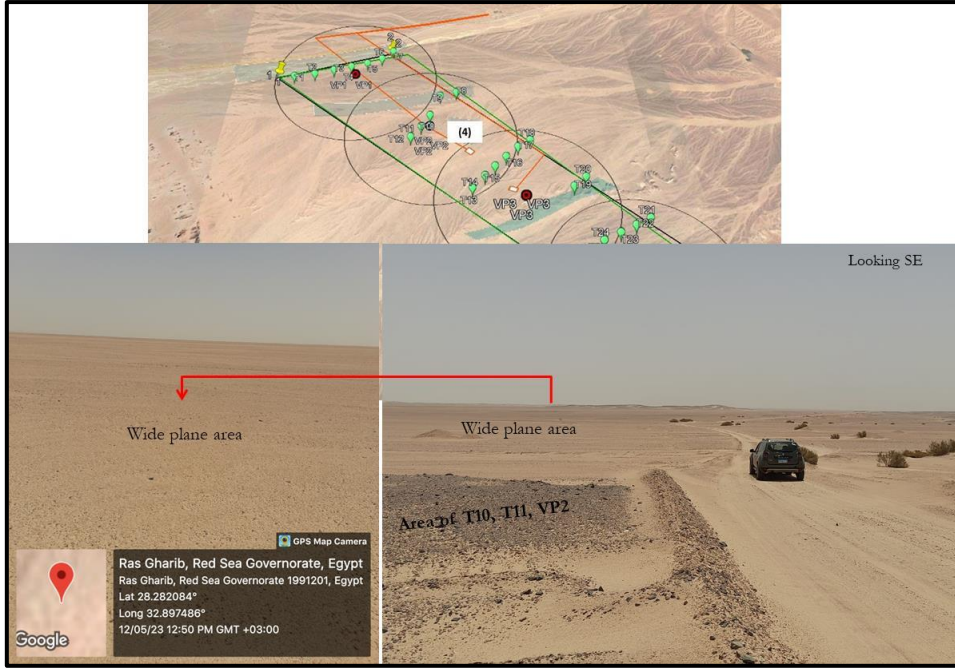
لاحظ أن الفرق يتراوح بين 0.3 و 0.5 متر في منتصف الموقع.



شكل 43: فرق الارتفاع بين أرضية خطوط الصرف والمناطق المرتفعة التالية حيث توجد التوربينات T8 و T9. لاحظ أن الفرق يتراوح بين 0.5 و 1 متر شرق الموقع.

لاحظ أن الفرق يتراوح بين 0.5 و 1 متر شرق الموقع.

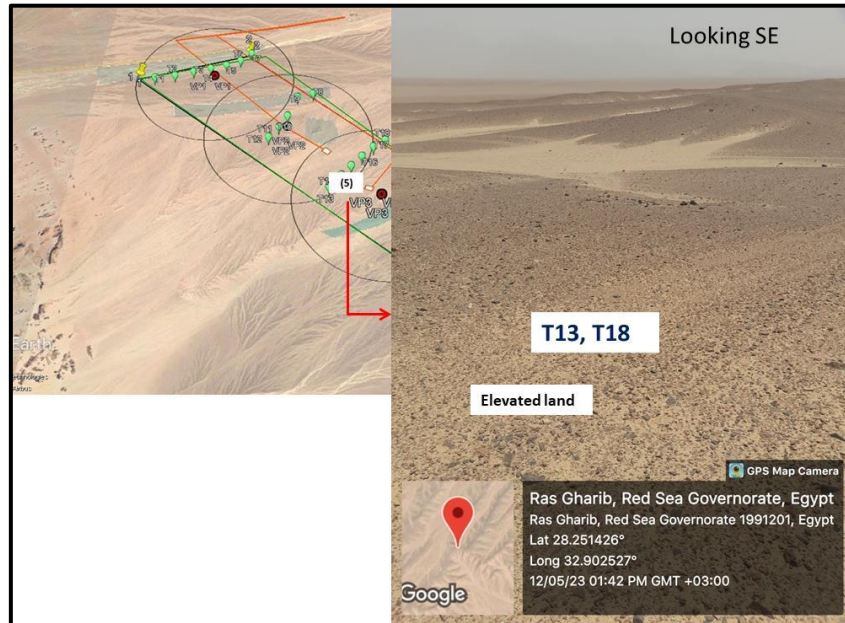
- الموقع 4 حيث يقع T10 و T11 و VP2 في المناطق المرتفعة التي تواجه منطقة مستوية عريضة ذات تصريف واسع للغاية (الشكل 44).



شكل 44: موقع T10 و T11 و VP2 في منطقة مرتفعة يبلغ ارتفاعها حوالي 1.5 متر من منطقة مستوية عريضة إلى SE.

المنطقة الواسعة هي جزء من خطوط الصرف الصحي التي تغذي وادي الدرب. لاحظ الغياب التام لأي تأثير للجريان السطحي سواء على أرضية الصرف أو على مسار السيارة الممهد.

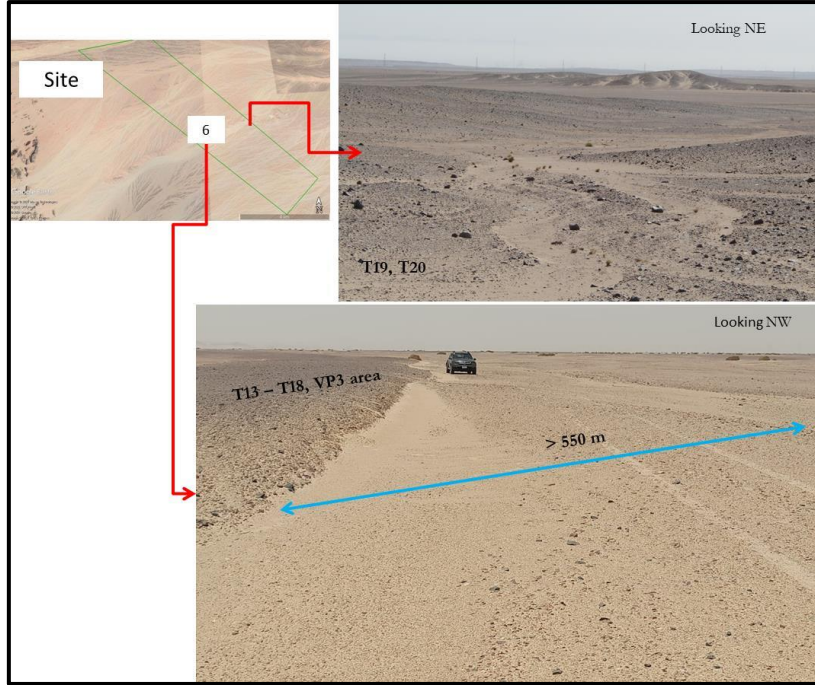
- الموقع 5؛ المنطقة المرتفعة حيث توجد التوربينات من T13 إلى T18 (الشكل 45). هناك أي علامة على وجود فيضان في هذا الموقع يمكن أن يسبب أي تأثير على المرافق المشيدة القريبة.



شكل 45: المنطقة التي توجد بها التوربينات من T13 إلى T18. لاحظ خطوط الصرف الضعيفة جداً دون أي علامة على الجريان السطحي الشديد.

- الموقع 6؛ خطوط الصرف التي تغذي وادي كريم (شكل 46). لاحظ أن الوادي واسع جداً وضحل من جانبه يعبر الموقع. في الشرق، توجد التوربينات T19 و T20 في منطقة مرتفعة بعيداً عن التيار الرئيسي للصرف.

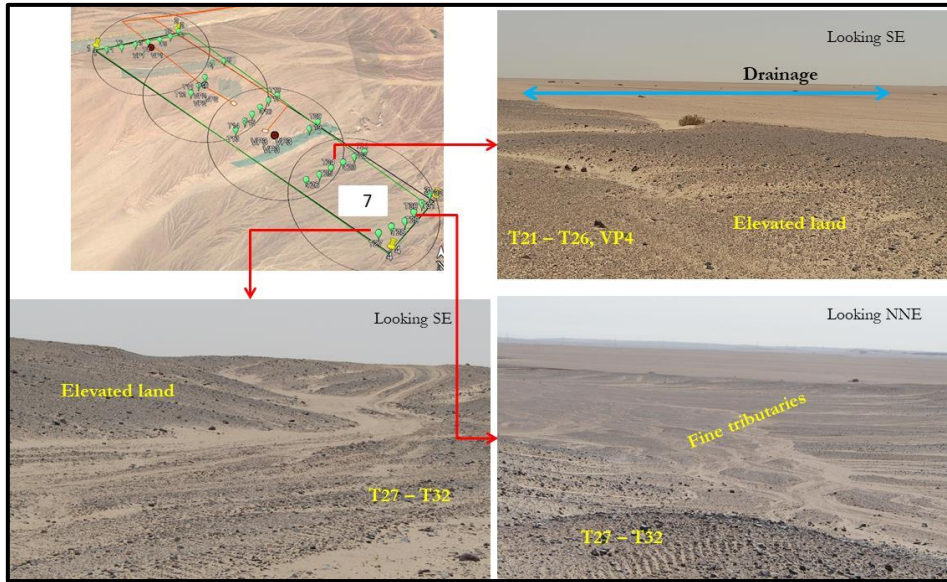




شكل 46: خطوط الصرف لحوض وادي كريم. الصرف واسع للغاية وضحل.

المنطقة التي تقع فيها التوربينات على ارتفاع يتراوح بين 0.5 و 1.5 متر فوق أرضية الصرف. يقع T20 و T19 في مناطق مرتفعة داخل ممر الصرف. لا يوجد ما يشير إلى وجود تدفق قوي للسطح على طول هذا الصرف.

- الموقع 7؛ المنطقة المرتفعة حيث توجد التوربينات T21 إلى T32 (الشكل 47). يتميز الجزء الجنوبي من الموقع بأرض مرتفعة مع العديد من الروافد الضحلة والواسعة.

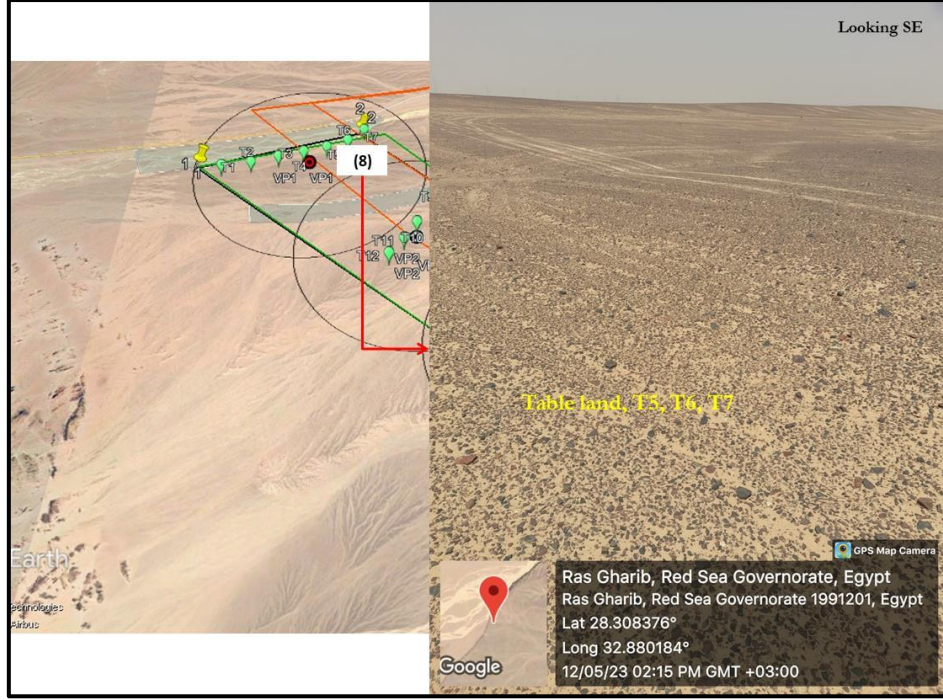


شكل 47: الجزء الجنوبي من الموقع حيث توجد التوربينات T21 to T32 و VP4.

لاحظ الروافد الدقيقة التي تصرف مياه الأمطار السطحية إلى التيار الرئيسي للحوض. الروافد ضحلة للغاية ومتعرجة تعكس ضعف تدفق المياه.

- الموقع 8؛ في الجزء الشمالي الشرقي من الموقع حيث توجد التوربينات T5 و T6 و T7 (الشكل 48). المنطقة عبارة عن أرض مائدة تقريباً بعيداً عن خطوط الصرف لحوض وادي الدرب. حوض أبو حد الذي يعتبر أخطر الأحواض في المنطقة على الإطلاق هو خارج منطقة الموقع بالكامل إلى الشمال.





شكل 48: الجزء الشمالي الشرقي من الموقع حيث توجد التوربينات T5 وT6 وT7.

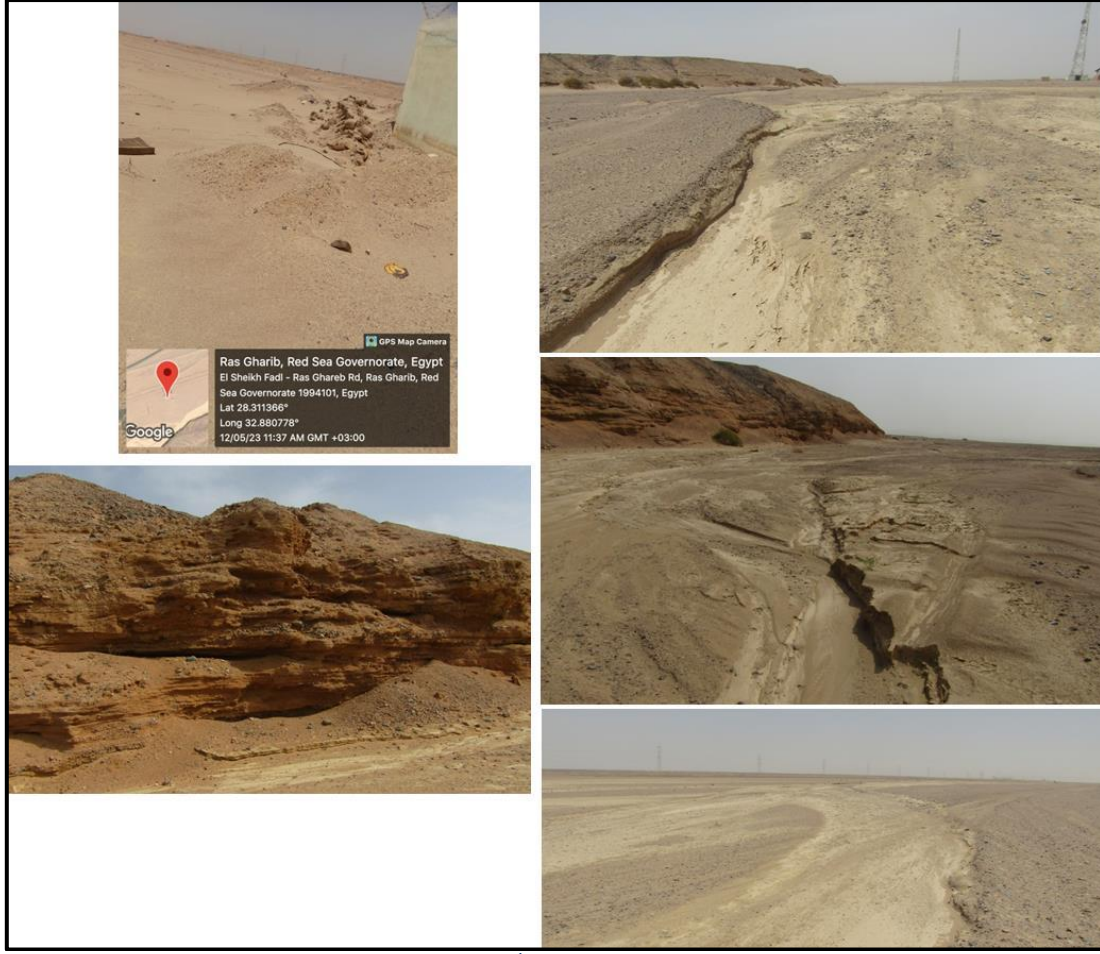
لاحظ المنطقة المستوية العريضة من أي خطوط صرف خالية تمامًا من أي خطوط صرف. يتم حفظ موقع التوربينات من T1 إلى T7 تمامًا من أي تدفق سطحي حاد يمكن أن يحدث في وادي أبو حد.

### 11.3 مواقع خارج حدود الموقع (على مسافة من الموقع)

خلال زيارة الموقع، قام المستشار بزيارة المواقع التي تقع خارج حدود الموقع. تم إجراء نفس التقييم مع ملاحظة خطوط الصرف بالإضافة إلى نوع الهياكل المستخدمة للتخفيف من آثار الفيضانات. تصور هذه الهياكل فهمًا لشدة الفيضانات في المنطقة.

#### 1- امتداد وادي أبو حد.

يعتبر وادي أبو حد من أخطر الأحواض في المنطقة فوق مدينة رأس غارب، بسبب السيول العاتية المتوقعة خلال العواصف الممطرة الغزيرة. خلال هذه العواصف، يحدث الجريان السطحي الشديد على طول التيار الرئيسي في الجزء العلوي والأوسط من الحوض (الشكل 49). قد يتسبب هذا التدفق في الطريق قطع وتآكل المنشآت الضعيفة في التيار. ونتيجة لذلك، تم تنفيذ العديد من الإجراءات التي من شأنها الاحتفاظ بكميات كبيرة من مياه الأمطار لمنعها من الوصول إلى مدن المصب، وأخرى لحماية المنشآت الموجودة في التيار من الانجراف. توضح الأشكال التالية بعض هذه المقاييس وموقعها بالنسبة لموقع المشروع.



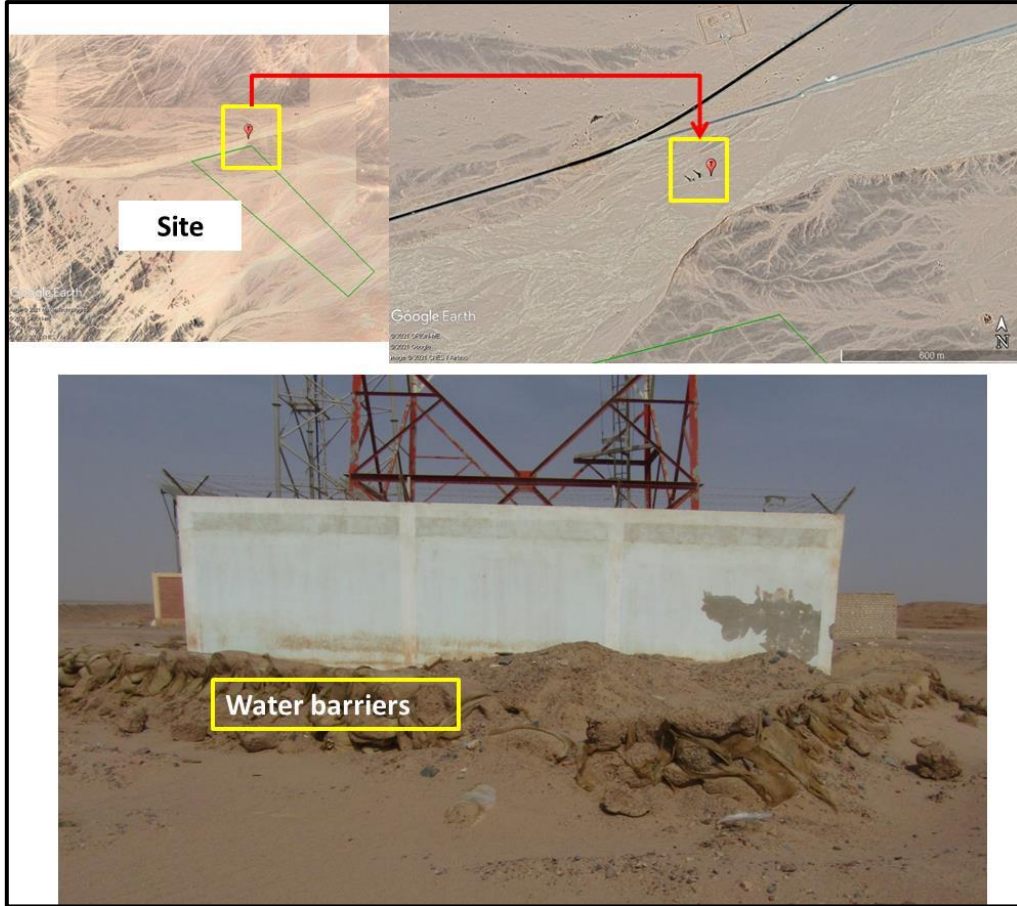
شكل 49: جزء من التيار الرئيسي لوادي أبو حد الذي يواجه موقع المشروع.

لوحظ أن التيار الرئيسي لأرضية الوادي أقل طبوغرافياً من سطح الموقع بحوالي 3 أمتار. إن تأثير الجريان السطحي في التيار واضح تمامًا، حتى لو بدا ضعيفاً بسبب عمق الحفريات الناتجة في الأرض، فضلاً عن صغر حجم الجزيئات المنقولة بواسطة الماء.

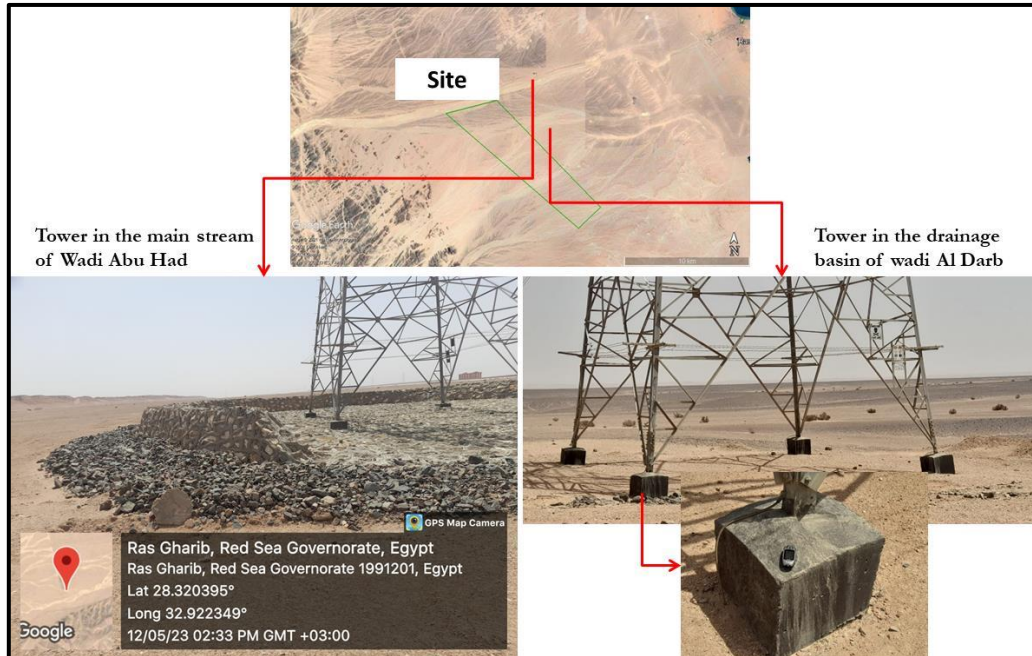
تم بناء سياج بسيط باستخدام المواد المحلية لحماية أبراج الاتصالات الواقعة على طول وادي أبو حد بالقرب من موقع المشروع (شكل 50).

بالنسبة لأبراج الكهرباء، تقع الأبراج في التيار الرئيسي لوادي أبو، وهي عبارة عن سور من الحجر والأسمنت يبلغ ارتفاعه حوالي متر ونصف عن الأرض، بالإضافة إلى تبطين الأرضية أسفل البرج بنفس المواد. يتم إغلاق هذا السور في اتجاهات المنبع ويتم فتحه من الجزء السفلي (الشكل 51). بينما تقع الأبراج في نفس المنطقة مثل موقع المشروع، لم يتم تطبيق أي تدابير خاصة لحماية البرج من المياه المتدفقة (الشكل 51).





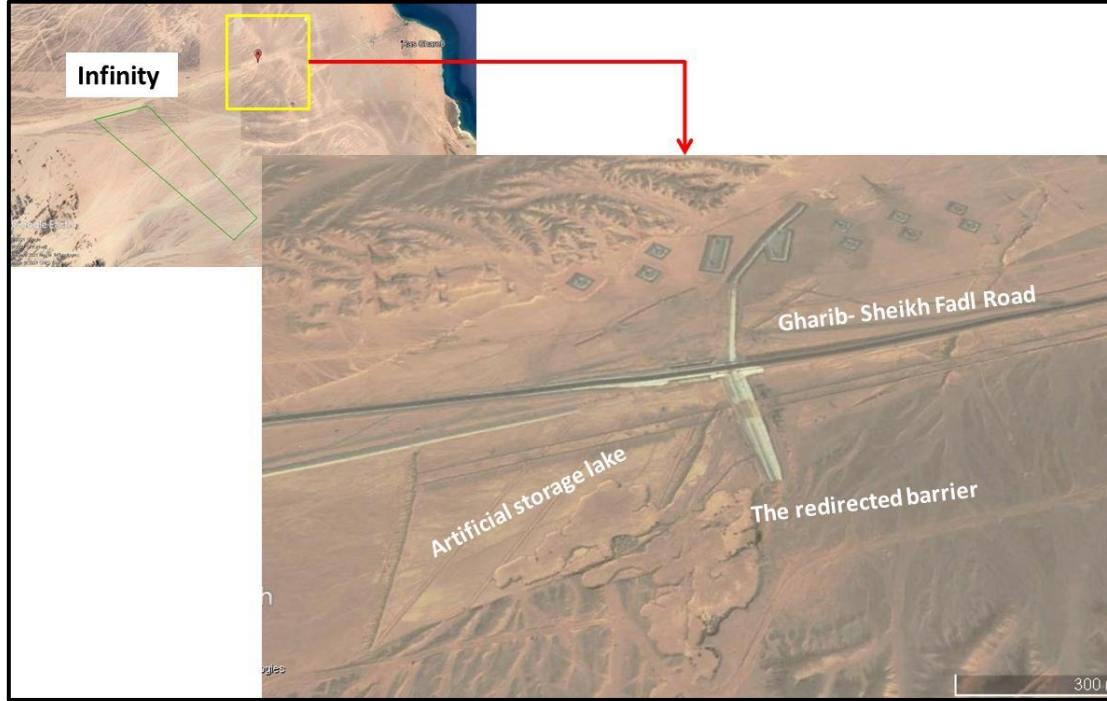
شكل 50: عبوات (شوال) مملوءة بالرمل والحصى مكدسة فوق بعضها البعض مكونة جدار بارتفاع 1.5 متر لحماية الأبراج.



شكل 51: تدابير التخفيف لحماية برج خط الكهرباء الذي يعمل NNE- SSW إلى الشرق من الموقع.

يقع برج الملاحظات في التيار الرئيسي حيث من المتوقع تدفق السطح، وقاعدة البرج محمية بسيج خرساني، حيث لا يوجد تطبيقات خاصة لحمايتها من التدفق السطحي للبرج المبني على الأرض العلوية.

على طول المجرى الرئيسي لوادي أبو حد، تم إنشاء العديد من السدود لعرقلة وتخزين المياه لمنع وصولها بكميات كبيرة إلى مخرج الوادي، بالإضافة إلى العديد من القنوات المعاد توجيهها الممتدة على طريق غريب - الشيخ فضل منذ عام 1916. على مسافة 8 كيلومترات من مدينة غريب، يضم السد 16 قناة بسعة  $3 \times 3$  متر (الشكلان 52 و 53).



شكل 52: إنشاء سد مقاومة المياه والتخزين على طول طريق غريب - الشيخ فضل عند الكيلو 8.



شكل 53: تُظهر الصور الميدانية الحاجز المائي عند الكيلومتر 8 والقنوات المرتبطة به.

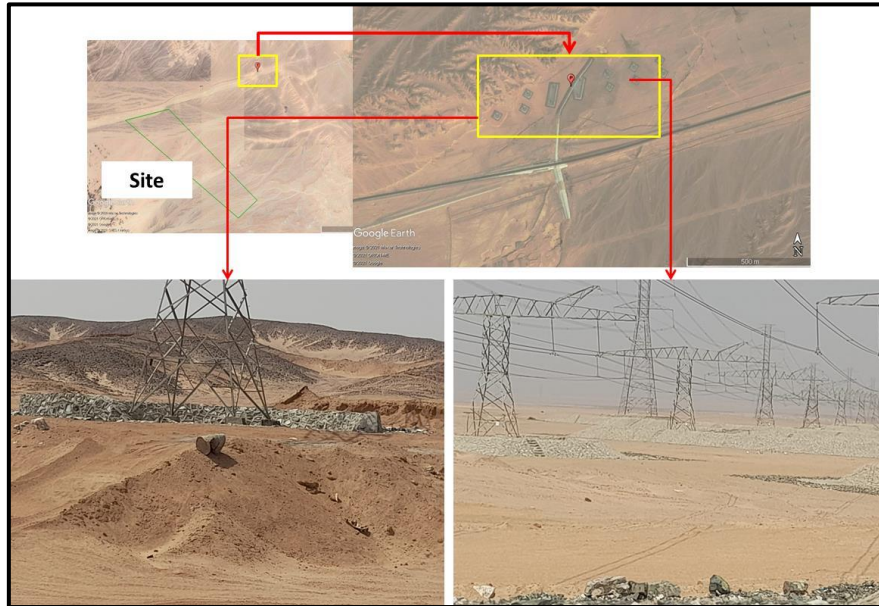
تم إنشاء تطبيقات أخرى لحماية المنشآت الهامة في المنطقة.



- سور خرساني لحماية محطة الكهرباء في المنطقة القريبة من وادي ابو حد (شكل 54، 55).



شكل 54: سياج من الحجر والخرسانة لحماية محطة توليد الكهرباء.



شكل 55: سياج من الحجر والخرسانة في قاعدة الأبراج ذات الجهد العالي لحمايتها من الجريان السطحي.

لاحظ أنه على الرغم من أن البرج يواجه خط تصريف فقط، فلا توجد حماية إضافية مطلوبة تمامًا مثل الآخرين في أي مكان على طول الجزء الرئيسي.

## 2- في الجزء السفلي من وادي الدرب

تم إنشاء حاجز دام في منفذ وادي الدرب ببحيرة اصطناعية يمكنها تخزين تسعة ملايين وسبع مائة متر مكعب من المياه في الأحداث الممطرة لحماية مدينة رأس غارب (الشكل 56). تقع السيدة في الشرق بعيداً عن موقع المشروع.



على الرغم من اندفاع كميات كبيرة من المياه عند مصب هذا الوادي، لم يلاحظ أي جريان شديد في خطوط الصرف على طول موقع المشروع، أو على الأقل تآكل بسيط في الطرق المعبدة.



شكل 56: أقيمت حاجز دام وبحيرتها الاصطناعية عند الإضاءة الخارجية بوادي الدرب

### 3- على طول المجرى الرئيسي لحوض وادي الحواشية

يقع حوض الحواشية في الشمال بحوالي 30 كم من موقع المشروع. ذكر مسعود وآخرون (2012) أن حدث هطول الأمطار بإجمالي 18.3 مم لمدة 3 ساعات في محطة الغردقة، والتي لديها احتمال تجاوز 5-10٪، ينتج حجم تصريف  $10.2 \times 106$  متر مكعب عند المنفذ. من وادي الحواشية أدى إلى فيضانات شديدة. وعليه فقد تم بناء ثلاثة سدود متتالية بعد كارثة السيول في عام 2016 وهي كالتالي:

السد الأول: يقع في أقصى الغرب أسفل سفوح جبال البحر الأحمر (شكل 57). تم إنشاء بحيرة اصطناعية أمام السيدة. متوسط أبعاد السد وبحيرته كالتالي:

السد	البحيرة الصناعية:
- طول: 250 م	- طول: 450 م
- عرض: 70 م	- عرض: 250 م
- ارتفاع: 5 م	- عمق: 3 م
- إحداثيات: خط العرض: 27'55.1028 °	طول: 32°45'14.74" جنوباً
"شمالاً"	

السد الثاني: بني شرقي السد الأول بحوالي 6 كم بالأبعاد التالية (شكل 58):

السد	البحيرة الصناعية:
- طول: 350 م	- طول: 450 م
- عرض: 70 م	- عرض: 350 م

- ارتفاع: 5 م - عمق: 3 م

- إحداثيات: خط العرض:  $27^{\circ}52.5028^{\circ}$  طول:  $32^{\circ}48'57.61''$  جنوباً  
"شمالاً"

السد الثالث: أقيم أسفل السد الثاني بنحو 7 كم شرقاً. يقع السد في الركن الشمالي الغربي من موقع AMEA بالأبعاد التالية (شكل 59).

● السد ● البحيرة الصناعية:

- طول: 450 م - طول: 400 م

- عرض: 70 م - عرض: 350 م

- ارتفاع: 5 م - عمق: 3 م

- إحداثيات: خط العرض: طول:  $32^{\circ}52'33.97''$  جنوباً  
 $28^{\circ}29'22.23''$  شمالاً

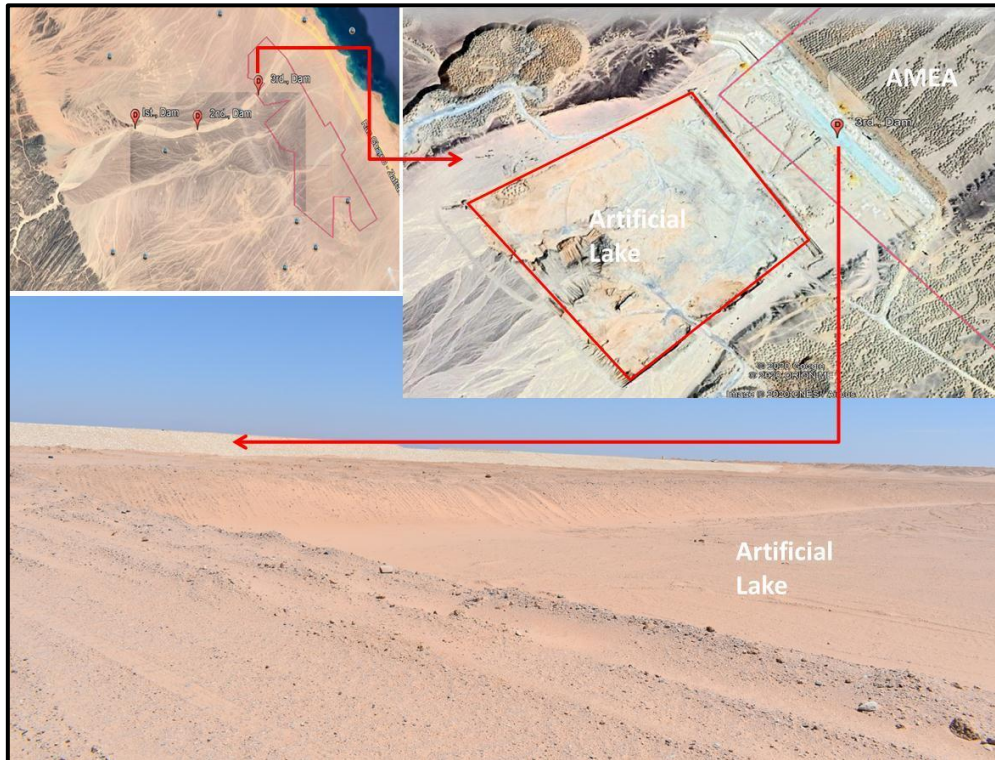


شكل 57: السد الاول غرب وادي الحواشية. (إحداثيات: خط العرض: 28° 27' 55.10" شمالاً ، طول: 32° 45' 14.74" جنوباً)





شكل 58: السد الثاني غربي وادي الحواشية (إحداثيات: خط العرض: 27°52.5028 ° "شمالاً، طول: 32°48'57.61" جنوباً



شكل 59: السد الثالث غرب وادي الحواشية (لات: 28° 29'22.23 " شمالاً، طول: 32°52'33.97" جنوباً

يوضح القسم أدناه الملخص والاستنتاجات الرئيسية التي تم التوصل إليها نتيجة للتحليل الذي تم إجراؤه:

- **الاهداف الرئيسية: (1)** تقييم مفصل لمخاطر الفيضانات المتوقعة داخل موقع المشروع أثناء العواصف المطيرة، (2) نماذج متكاملة لتقييم مخاطر الفيضانات بناءً على الخصائص الطبيعية للمنطقة، والظروف المناخية السائدة في الدورة المناخية الحالية، مع مراعاة المناخ النشط والتغيرات والآثار الناتجة، وخاصة الزيادة غير المتوقعة في كثافة هطول الأمطار، (3) تحديد مدى الجريان السطحي الذي يمر مباشرة في خطوط الصرف التي تعبر الموقع وتحديد الأماكن شديدة الخطورة داخل الموقع، و(4) وضع جميع الاقتراحات التي من شأنه التغلب على الآثار السلبية للفيضانات والتخفيف من حدتها وكيفية حماية المرافق والناس الذين يعيشون في حالة هطول الأمطار الغزيرة.
- **المنهجية: (1)** مراجعة جميع المقالات والتقارير المنشورة ... الخ حول مجال الاهتمام فيما يتعلق بالمناخ، والأمطار، ومخاطر الفيضانات المفاجئة. (2) الحصول على بيانات هطول الأمطار خلال الفترة (2016 - 2021) لمحطتي السويس وبئر عريضة "الأقرب إلى الموقع". (3) تصميم نماذج تقييم مخاطر الفيضانات بناءً على التحليل المرئي للأقمار الصناعية وخاصة الأقمار الصناعية المناخية وبيانات هطول الأمطار وبيانات شدة هطول الأمطار القصوى المسجلة في يوم واحد في المنطقة، والتحليل المورفومتري لأحواض الصرف باستخدام برنامج ARC-GIS. (4) تحديد شدة واحتمالية السيول المتوقعة. (5) القيام بزيارة ميدانية للمنطقة تبيين آثار / بقايا الظواهر الطبيعية والمؤشرات على شدة الأمطار، وحدوث الفيضانات، ومدى قدرة هذه الفيضانات وتأثيرها على البيئة المحيطة. أيضاً، للتحقق من صحة جميع النماذج المعالجة وتدابير التخفيف المقترحة على الأرض.
- لمحة عامة عن الموقع: يقع موقع المشروع على بعد حوالي 25 كم غرب مدينة رأس غارب بمحاذاة طريق غريب - الشيخ فضل. تعبر خطوط تصريف عديدة من ثلاثة أحواض تصريف الموقع في اتجاه الشرق والغرب. يمثل الموقع الجزء الأوسط من أحواض الصرف الثلاثة وهي وادي الدرب ووادي كريم ووادي أبو خشبة. تتميز مساحة الموقع بارتفاع معتدل مقارنة بكامل مساحة أحواض الصرف الثلاثة. يتم تغطية الموقع بشكل أساسي بطبقة سميكة من الرواسب البنية ذات المسامية العالية والنفذية مما أدى إلى تسرب كمية كبيرة من مياه الأمطار تحت السطح وتقليل شدة الجريان السطحي بشكل كبير. مع الاحتباس الحراري والتغير المناخي، بدأت منطقة رأس غارب تشهد فيضانات خطيرة في مواسم الأمطار خلال الخمسة عشر عامًا الماضية. تتجمع مياه الأمطار في وادي أبو حد ووادي الدرب وتؤثر بشكل مباشر على مدينة رأس غارب. يمتد وادي أبو حد خارج حدود موقع المشروع شمالاً ولا يسبب أي خطر على البنية التحتية المزمع بناؤها في الموقع. يمثل الموقع جزءاً من منطقة مستجمعات المياه لحوض وادي الدرب، حيث تتجمع مياه الأمطار من خلال روافد صغيرة تنتشر بكثرة في المنطقة على شكل تدفق سطحي ضعيف حتى تلتقي عند مخرج الوادي الرئيسي الواقع شرقاً. خارج الموقع، مما تسبب في حدوث سيل عنيف.
- موقع المشروع جزء من حوض وادي الدرب وهو أحد الأحواض التي تتعرض لفيضانات خطيرة في مدينة رأس غارب. على الرغم من أن الموقع يقع في منطقة مستجمعات المياه، بعيداً عن المخرج الرئيسي للوادي، ولم يظهر دليل واضح على حدوث فيضانات خطيرة، إلا أن البنية التحتية التي يمكن إنشاؤها في الموقع قد تتأثر بالجريان السطحي الشديد. لذلك، من الضروري تحديد شدة هذا الجريان السطحي، والذي قد يحدث في خطوط الصرف التي تمر عبر موقع المشروع، بحيث يمكن وضع تدابير التخفيف لتقليل مخاطر هذا الجريان السطحي.
- مع تغير المناخ وظاهرة الاحتباس الحراري التي قد تؤدي إلى زيادة كمية مياه الأمطار المتساقطة في المنطقة، يجب إجراء نماذج تقييم مخاطر الفيضانات لتحديد أكبر حجم من الجريان السطحي المتوقع في موقع المشروع بناءً على البيانات الحديثة ذات الاحتمالات الأعلى في المستقبل. لذلك ينبغي اقتراح تدابير التخفيف لتقليل التأثير المتوقع للتدفق السطحي القوي على البنية التحتية وأسس المشروع.
- **نماذج هطول الأمطار على أساس صور الأقمار الصناعية المناخية؛** وفقاً للتغيرات المناخية السائدة، يزداد تراكم السحب المسببة للمطر بمرور الوقت. 2- التراكبات الغزيرة للسحب المسببة للأمطار تتركز في الأجزاء الوسطى والشرقية من منطقة الدراسة. قد يكون هذا بسبب تأثير الرياح على هذه السحب الكثيفة وتحريكها نحو الشرق. يرتبط حدوث السيول الغزيرة في مخارج الأودية إلى حد كبير بكميات السحب المتراكمة والأمطار التي تهطل على المناطق المرتفعة في أقصى غرب وجنوب غرب المنطقة (سلسلة جبال البحر الأحمر). هطول الأمطار على الجزء الأوسط من الأحواض الثلاثة المدروسة، والذي يقع فيه موقع المشروع، حتى لو كان غزيراً، لا يتسبب في هطول أمطار غزيرة، والتي قد تهدد المنشآت في الموقع. وذلك لأن موقع المشروع بعيد عن مخارج الأودية الثلاثة التي تمر عبره. مع الاتجاه الإيجابي في زيادة كميات السحب المتراكمة في الأجزاء الوسطى والشرقية من المنطقة نتيجة للتغيرات المناخية، قد يزداد حجم الجريان السطحي، الأمر الذي يتطلب تطبيق بعض التدابير اللازمة لحماية أي منشأة قد تكون تقع في خطوط الصرف هذه. كان أعلى معدل متوقع لهطول الأمطار في أبريل 2019 ومايو 2018 وديسمبر 2021، ومع ذلك لم يتم تسجيل آثار خطيرة لهذه السيول على المناطق السكنية الواقعة عند منافذ الأودية



أو على البنى التحتية. قد يكون هذا بسبب إجراءات الحماية العديدة المعمول بها في جميع الأحواض الخطرة وخاصة وادي الحواشية ووادي أبو حد شمال الموقع وكذلك عند مخرج وادي درب شرق الموقع، ووسقطت كميات غزيرة من الأمطار على مناطق ذات منحدرات لطيفة في الأجزاء الوسطى والشرقية من أحواض الصرف. وشهدت المنطقة في مايو 2018، أمطاراً غزيرة أدت إلى توقف جميع الطرق المؤدية إلى خليج السويس، وتوقفت حركة المرور لأكثر من يوم نتيجة العاصفة المطيرة الغزيرة التي صاحبت جريان سطحي شديد دون أي ضرر يلحق بالأرواح والبنى التحتية. بالرغم من أن كمية الأمطار المتوقعة على منطقة الدراسة في عام 2016 تعتبر الأقل بين شهور العام، إلا أن تركيز السحب في شهر أكتوبر كان على المناطق المرتفعة المرتفعة في الغرب والجنوب الغربي، مما أدى إلى اندفاع قوي المياه في المجاري الرئيسية للأودية نتيجة الانحدار الحاد الذي أدى إلى هطول أمطار غزيرة عنيفة على مدينة رأس غارب.

- **تصميم نموذج العاصفة المطيرة بناء على بيانات هطول الأمطار المسجلة لمدة 6 سنوات (2016 - 2021) في السويس وبئر عريضة.** في أكتوبر 2016 عندما استقبلت منطقة الدراسة هطول أمطار غزيرة نتج عنها فيضانات قوية، تم تسجيل هطول الأمطار في محطة بير عريضة (شمال غرب بحوالي 120 كم من الموقع)، ومحطات السويس (شمال بحوالي 200 كم من الموقع). (كان 0.8 و 3.4 مم على التوالي. في عام 2020 عندما سجلت المحطتان السابقتان أعماق أمطار 9 و 25.4 مم على التوالي، لم تتعرض منطقة الدراسة لفيضانات خطيرة. تم أخذ ظاهرة الديدان العالمية في الاعتبار عند تصميم العواصف المطيرة وفترات عودتها؛ 1) زيادة كمية هطول الأمطار المسجلة بنحو 25٪، 2) الحساب على أساس أعماق هطول الأمطار القصوى المسجلة في يوم واحد في المحطتين (مارس 2020) بدلاً من القيمة المسجلة أثناء حدوث الفيضانات (أكتوبر 2016). من المتوقع حدوث عواصف مطيرة تبلغ 1.21 و 3.69 و 6.88 و 13 و 19.6 و 28.4 مم مع فترات العودة من 2 و 5 و 10 و 25 و 50 و 100 سنة على التوالي. يمكن أن تعود العاصفة الممطرة التي سجلت بمقدار 9 مم في بير عريضة 25.4 مم في محطة السويس في فترة حوالي 55 عامًا. يمكن أن تعود العاصفة الممطرة التي سجلت أثناء حدوث الفيضانات في منطقة الدراسة في بير عريضة (3.4 مم) خلال 5 سنوات. بعد كارثة السيول الكارثية لعام 2016 على منطقة الدراسة، تم تطبيق مجموعة من الإجراءات التخفيفية على طول أحواض الصرف الخطرة في المنطقة مثل ثلاثة سدود متتالية على طول المجرى الرئيسي لوادي الحواشية، ومجموعة من السدود المتتالية مع تبطين الطريق. ووضع العديد من المجاري تحتها لمنع تدفق المياه فوق الطريق على طول وادي أبو حد، وسد ببحيرة صناعية عند مصب وادي درب، وإنشاء أسوار خرسانية بارتفاع يتراوح من 1 إلى 1.5 متر لحماية المنشآت القائمة. في الروافد التي تغذي التيار الرئيسي من الجريان السطحي على طول وادي أبو حد. جميع وسائل التخفيف المذكورة أعلاه تنقذ إلى حد كبير مدن المصب (رأس غارب) والبنية التحتية (الطرق الإسفلتية ومحطات الطاقة وأبراج الطاقة والاتصالات) من مخاطر الفيضانات وتدفق السطح القوي في خطوط الصرف الموزعة في الأجزاء الوسطى والمنبع. من أحواض الصرف.
- **نموذج تقييم مخاطر الفيضانات على أساس التحليلات الشكلية لأحواض الصرف الثلاثة العابرة للموقع.** استناداً إلى التحليلات المورفومترية لحوالي 38 معلمة لثلاثة أحواض باستخدام صور SRTM التي تمت معالجتها بواسطة ARC-GIS. - الاهتمام بالفيضانات التاريخية التي سجلت في المنطقة. تم حساب الشدة المتوقعة واحتمالية حدوث فيضانات خطيرة في ثلاثة أحواض مدروسة في إطار عمل أحواض البحر الأحمر وخليج السويس بالكامل. ثم تكون الأحواض الثلاثة المدروسة منخفضة الخطورة لمخاطر الفيضانات. لكن عند حساب شدة الفيضان للأحواض الثلاثة وفقاً لمعاييرها الشكلية، يمكن توقع تدفق سطحي لأحواض وادي كريم والدرب على طول خطوط الصرف العابرة لموقع المشروع، بينما حوض وادي أبو خشبة يقع في فئة الجريان السطحي منخفض المخاطر. نتائج النموذج معقولة لأنها تتماشى مع معظم الدراسات السابقة التي أجريت على أحواض الصرف في المنطقة.
- **زيارة موقع التحقق في مواقع الموقع.** تركزت هذه الزيارة على التحقق من جميع المواقع المهمة والتحقق من جميع التفاصيل المطلوبة. تم توثيق جميع الملاحظات والأدلة على الأرض وتسجيلها من خلال العديد من الصور الميدانية التي توصلها قدر الإمكان. تم استخدام تطبيق GPS Map Camera Mobile لتحديد الموقع الجغرافي للصور الميدانية. إلا أن مشكلة عدم استقرار شبكة الاتصالات وغيبائها التام في بعض الأماكن التي تمت زيارتها أدت إلى ظهور أخطاء تم استخدام جهاز GPS لتحديد موقع الأماكن التي تم تصويرها. يتميز الموقع بـ: خطوط الصرف (تصريف تجميع مياه الأمطار) لوادي درب ووادي كريم ووادي أبو خشبة ضحلة وعريضة. تقع مواقع وضع التوربينات في المناطق المرتفعة بعيداً عن أي خطوط صرف. يتم حفظ هذه المناطق للغاية بغض النظر عن مدى شدة الجريان السطحي. لا توجد مؤشرات على الأرض تدل على وجود تدفق سطحي شديد، حتى في التيارات الرئيسية لخطوط الصرف. لا توجد مؤشرات على تأثير موسم الأمطار هذا العام على الموقع مثل التآكل الشديد في الطرق المعبدة للوصول على طول الموقع.
- **موقع التحقق من الصحة قم بزيارة مواقع الموقع.** كما تناولت الزيارة أماكن خارج حدود الموقع والتعرف على إجراءات التخفيف التي تم تنفيذها لحماية المنشآت الموجودة في الجداول الرئيسية المعرضة بالفعل لتأثير السيول. هناك العديد من التطبيقات التي تم إنشاؤها عند مخارج الأودية الخطرة لحماية البنى التحتية والمدن الواقعة عند

مصعب هذه الأحواض، مثل وادي الحواشية ووادي أبو حد ووادي الدرب. وهي سدود لاحتواء مياه السيول ومنعها من الوصول إلى مخرج الوادي بكميات كبيرة. أما المنشآت الموجودة في المجاري الرئيسية مثل وادي أبو حد فهي معرضة مباشرة للجريان السطحي. وتتمثل هذه المرافق في الطرق والجهد العالي وأبراج الاتصالات. تمت حماية هذه الهياكل عن طريق بناء الأسوار لتوجيه تدفق السطح بعيداً عن الهيكل، إما عن طريق الجدران الأسمنتية أو الركام. أما الطرقات فكانت مبطنة بالخرسانة ووضعت مجاري في الأسفل لامتصاص المياه الجارفة ومنعها من الانسكاب وتدمير الطريق.

### 13. التوصيات

تم إجراء دراسات متعمقة لتقييم إمكانية حدوث فيضانات خطيرة في موقع المشروع بالإضافة إلى كثافة الجريان السطحي أثناء العواصف المطيرة الشديدة. اعتمدت الدراسة على تصميم العديد من النماذج المحاكاة بناءً على بيانات متعددة المصادر مثل صور الأقمار الصناعية المناخية، وبيانات هطول الأمطار التي تم جمعها من أقرب محطات الأرصاد الجوية، ونماذج الارتفاع الرقمية للمنطقة ومعالجتها بواسطة برنامج ARC-GIS. تم إجراء زيارة ميدانية للتحقق من نتائج الدراسات والتحقق من النماذج التي تم تصميمها.

لذلك، يمكن التوصية بما يلي:

1. حماية الموقع والتوربينات والأبراج: تعتبر التوربينات VPs في الموقع آمنة وبعيدة عن المناطق المتوقعة للجريان السطحي (خطوط الصرف) أثناء العواصف المطيرة الشديدة. وفقاً لمواقع التوربينات، والتي يتم وضعها في الغالب في مواقع مرتفعة، فإنها تعتبر محمية بشكل طبيعي.
2. الوصول إلى الموقع للطرق الممهدة أو الأسفلتية: أما بالنسبة لحماية طرق الوصول إلى الموقع، فإن خطوط الصرف التي قد يحدث فيها الجريان السطحي واسعة للغاية وضحلة تعكس كثافة الجريان الضعيفة إلى المتوسطة، ولا تتركز في مسارات ضيقة ومحددة. لذلك، فإن التأثيرات على طرق الوصول الممهدة والأسفلتية داخل الموقع ليست كبيرة حيث لا يوجد دليل على الانجرافات العنيفة في مسارات الطرق المتقاطعة مع خطوط الصرف. لذلك، في بعض الأماكن، يمكن وضع قنوات إسمنتية بسيطة بقطر متر واحد على الأكثر أسفل الطريق التي تعبر هذه الوديان في أماكن محددة لاستيعاب التدفق السطحي ومنع تدفقه إلى أعلى الطريق.
3. الكابلات الكهربائية: يجب دفن الكابلات تحت الأرض على عمق متر واحد، مع اتخاذ تدابير للحماية من تسرب المياه الجوفية من خلال ضمان تركيب عزل مناسب على جميع الكابلات الجوفية.

#### 14. مراجع

- أجور تي أيه صادق أم أيه (2001) آلية التغذية لبعض حالات طبقات المياه الجوفية المختلفة، الصحراء الشرقية، مصر. بول فاك سايك-جامعة المنصورة 28 (1): 43-78
- الغزاوي أ، عبد الباقي أ (1991) المياه الجوفية في حوض وادي أسيل، الصحراء الشرقية، مصر. بول أوف مينوفا يوني V: 25-44.
- الناظر أ، سلمان س، أسموي س، 2017: أثر خطر الفيضان المفاجئ على مدينة رأس غارب، البحر الأحمر، مصر: قناة الفيضان المفاجئة المقترحة. نات هازاردز (2017) 89:1389-1400
- الراملي أي أم (1972) التقرير النهائي عن الجيومورفولوجيا والتخطيط الهيدرولوجي لموارد المياه الجوفية والاستصلاح في منطقة بحيرة ناصر وضواحيها. معهد دين اند ديز، القاهرة 603 ص
- الرملي أي زد (1992) فرص إعادة التغذية الأخيرة والفيضانات المفاجئة - في الصحراء الشرقية، مصر. حوليات المسح الجيولوجي لمصر. الثامن عشر: 323 - 334.
- الشامي، I.Z، 1992 ب: نهج جديد للتقييم الهيدرولوجي للآحواض الهيدروغرافية لإمكانيات التغذية والفيضانات الحديثة - المحاور العاشرة. المرحلة الرابعة والتنمية، مصر، جامعة المنصورة، 18 أبريل، ص 15 (الملخص).
- عز إتش، 2017: استخدام نظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن أسباب فيضان مدينة رأس غارب، مصر. المجلة الدولية للبحوث الهندسية في أفريقيا، 31، 135-142.
- عز إتش، جمعة م، أديلوارس م، 2019: تحديد مستجمعات المياه وتقدير إعادة تغذية المياه الجوفية لمنطقة رأس غارب، مصر. مجلة علوم الأرض وحماية البيئة، 2019، 7، 202-213.
- جريجوري، جيه وولينج، د. (1973): أحواض الصرف - الشكل والعملية، إدوارد أرنولد، لندن
- جمعة أم أيه، أجور (1999) الظروف الهيدروجيولوجية والهيدروجيولوجية الكيميائية لخزانات المياه الجوفية الكربونية في منطقة خليج السويس. كتاب أسبوط للعلوم، المجلد 28، العدد 2، الصفحات 191-214
- جمعة، أم أيه، وعجور، T.A، (1999): «الظروف الهيدروجيولوجية والهيدروجيوكيميائية لطبقات المياه الجوفية الكربونية في منطقة خليج السويس، مصر». كلية العلوم التطبيقية بجامعة أسبوط، الصفحات 191-214.
- هورتون، ر. (1932): خصائص أحواض الصرف، معاملات الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي، المجلد 13
- خليل جي حسن (1997) الجوانب الهيدروجيولوجية لطبقة المياه الجوفية الكارستية وتأثيراتها البيئية في الصحراء الشرقية، مصر. في: (طبعة جوناى جاي وجونسون أيه أيه) إجراءات الندوة الدولية الخامسة والندوة الميدانية حول المياه الكارستية والآثار البيئية. أنطاليا، تركيا، 10-20 سبتمبر: 59-66.
- مصطفى أيه أر خليل (1995) التشوه المترابك في صدع السويس الشمالي، مصر: صلتته باستكشاف الهيدروكربونات. مجلة جيولوجيا البترول 18:245-266
- معهد بحوث المياه الجوفية، (1988) خريطة هيدروجيولوجية لمصر. مقياس 1: 2000,000. دليل المستخدم، وزارة الري، القاهرة، مصر.
- ر الشركة العامة للأبحاث و المياه الجوفية (ريجوا)، 1991: الموارد المائية للمنطقة الواقعة بين غارب والقصور؛ منظمة تنمية البحر الأحمر. قدم التقرير إلى وزارة الإسكان والتنمية والمجمعات الجديدة. ص 271
- صادق م، لي إكس، 2019: حل منخفض التكلفة لتقييم تأثيرات الفيضانات الحضرية باستخدام صور القمر الصناعي Sentinel-2 وعملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي: دراسة حالة لمدينة رأس غارب، مصر. التطورات في الهندسة المدنية، المجلد 2019، معرف المقالة 2561215، 15 صفحة
- سعيد آر (1990) جيولوجيا مصر. أيه أيه بالكيما/روتterdam/بروكفيلد، 734 ص.
- صلاح محمد الأول، إمام دبلو إم، إمام دبلو دبلو (2021): الظروف الهيدروجيولوجية وخصائص حدوث المياه الجوفية في منطقة رأس غارب، خليج السويس، مصر (مراجعة). المجلة الدولية للتنمية، 10 (1): 21-40.
- شوم، أس أيه (1956): تطور نظام الصرف الصحي والمنحدرات في الأراضي الوعرة في بيرث أمبوي نيو جيرسي، بول جيولوجي علوم أمريكا، المجلد 67، الصفحات 597 - 646.
- ستراهلر، أ. (1985): تطبيق تحليل الأبعاد على التضاريس المتأكلة النهرية، الثور. جيولوجي علوم أمريكا، المجلد 63، الصفحات 279 - 300.
- ستراهلر، أ. (1964): الجيومورفولوجيا الكمية لحوض الصرف وشبكة القنوات، في تشاو، في تي (محرر)، دليل الهيدروجيولوجيا التطبيقية، نيويورك، ص 39 - 76.
- يوسف أ. م، وحجاب، 2005: استخدام نظام المعلومات الجغرافية والإحصاءات لتطوير نظام إدارة قواعد البيانات لمخاطر الفيضانات في منطقة رأس غارب، الصحراء الشرقية، مصر. المؤتمر الدولي الرابع حول جيولوجيا إفريقيا، أسبوط، مصر. 2، 1:15.

Ministry of civil aviation  
Egyptian Meteorological Authority

وزارة الطيران المدني  
الهيئة العامة للأرصاد الجوية  
الإدارة العامة للمناخ  
إدارة الدراسات والتقارير المناخية

Department of studies and climate reports

تاريخ الطلب : ٢٠٢٢/٨/٣١ رقم الطلب :- ٨٤٩ الصفحات : ١

قراءات شهرية لعدد أيام المطر & كمية المطر (مم)  
& أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم) وتاريخها  
للفترة من عام ( ٢٠١٦ حتى ٢٠٢١ ) لمحطة ارساد السويس البحرية

العالم ↓	يناير	فبراير	مارس	إبريل	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الشهر / ←
٢٠١٦	٢	=	١	=	١	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	١.٨	٠.٢	٠.٢	٠.٢	٠.٨	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	١.٠	٠.٢	٠.٢	٠.٢	٠.٨	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/يوم)
	٢٧	=	٢٧	=	=	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠١٧	=	=	١	=	=	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٠.٠	٠.٨	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٠.٠	٠.٨	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/يوم)
	=	=	٢٢	=	=	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠١٨	١	١	=	٢	=	٢	١	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٥	٠.٦	٠.٠	٣.٠	٠.٠	٣.١	١.٨	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٥	٠.٦	٠.٠	٢.٣	٠.٠	٢.١	١.٨	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/يوم)
	٢٦	١٢	=	٢٥	=	٢٣	٥	تاريخ حدوثها
٢٠١٩	=	٢	١	=	١	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٥.١	٤.٠	٠.٠	٣.٠	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٤.٦	٤.٠	٠.٠	٣.٠	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/يوم)
	=	٦	٥	=	٢٢	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠٢٠	=	١	٢	=	=	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	١٦.٤	٣٦.٥	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	١٦.٤	٢٥.٤	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/يوم)
	=	٢٤	١٢	=	=	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠٢١	=	٢	=	=	=	١	٢	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٧.٦	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٣	٠.٧	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٥.٢	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٣	٠.٦	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/يوم)
	=	٥	=	=	=	٢١	٣١	تاريخ حدوثها

ملاحظات :-  
# هذه البيانات من واقع سجلات و استمارات محطة أرصاد ( السويس )  
# أعدت هذه البيانات للاستاذ الدكتور /عصام عبد الرحمن محمد - وكيل كلية علوم الارض للدراسات العليا والبحوث - جامعة بني سويف  
بناء على طلبه بتاريخ ٢٠٢٢/٨/٣١ وذلك للإستعانة بها في الابحاث العلمية وتدريب الطلاب .  
# لايحوز تداول هذه البيانات الا للغرض المخصص لها  
أعدت بمعرفة  
رئيس البيانات  
مدير إدارة البيانات  
مدير عام المناخ

٩٠٩١١٥  
٩٠٩١١٥  
٩٠٩١١٥

شكل 59: بيانات محطة السويس للأرصاد الجوية




15.2 الملحق 2: بيانات محطة بير عريضة للأرصاد الجوية

Ministry of civil aviation  
Egyptian Meteorological Authority

Department of studies and climate reports

الصفحات : ١



وزارة الطيران المدني  
الهيئة العامة للأرصاد الجوية  
الإدارة العامة للمناخ  
إدارة الدراسات والتقارير المناخية

تاريخ الطلب : ٢٠٢٢/٨/٣١

رقم الطلب :- ٨٤٩

٢٠٢٢/٨/٣١

**قراءات شهرية لعدد أيام المطر & كمية المطر (مم)**  
**& أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم) وتاريخها**  
**للفترة من عام ( ٢٠١٦ حتى ٢٠٢١ ) لمحطة أرصاد بير عريضة**

العالم ↓	يناير	فبراير	مارس	إبريل	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الشهر / العنصر ←
٢٠١٦	٢	=	١	=	١	=	١	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٢.٠	٠.٠	٠.٨	٠.٠	٣.٤	٠.٠	٠.٢	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	١.٤	٠.٠	٠.٨	٠.٠	٣.٤	٠.٠	٠.٢	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/ يوم)
	٢٧	=	١٣	=	٢٧	=	٢٣	تاريخ حدوثها
٢٠١٧	=	١	١	=	=	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	١.٣	٠.٣	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	١.٣	٠.٣	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/ يوم)
	=	١٦	١٨	=	=	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠١٨	١	٢	=	١	=	=	١	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.١	٢.٠	٠.٠	٠.٦	٠.٠	٠.٠	١.٣	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.١	١.٢	٠.٠	٠.٦	٠.٠	٠.٠	١.٣	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/ يوم)
	٢٥	١٣	=	٢٥	=	=	٥	تاريخ حدوثها
٢٠١٩	١	١	١	=	١	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.١	٠.١	١.٨	٠.٠	١.٦	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.١	٠.١	١.٨	٠.٠	١.٦	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/ يوم)
	٢٠	١٥	٣٠	=	٢٢	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠٢٠	=	١	١	=	=	=	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٤.٨	٩.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٤.٨	٩.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/ يوم)
	=	٢٤	١٢	=	=	=	=	تاريخ حدوثها
٢٠٢١	=	١	=	=	=	١	=	عدد أيام المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٢.٠	٠.٠	٠.٠	١.٦	٠.٠	٠.٠	مجموع كمية المطر ( مم / شهر )
	٠.٠	٢.٠	٠.٠	٠.٠	١.٦	٠.٠	٠.٠	أكبر كمية مطر سقطت في يوم (مم/ يوم)
	=	٤	=	=	=	١٢	=	تاريخ حدوثها

**ملاحظات :-**

# هذه البيانات من واقع سجلات و استمارات محطة أرصاد ( بير عريضة )

# أعدت هذه البيانات للاستاذ الدكتور / عصام عبد الرحمن محمد - وكيل كلية علوم الارض للدراسات العليا والبحوث - جامعة بني سويف

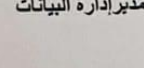
بناء على طلبه بتاريخ ٢٠٢٢/٨/٣١ وذلك للإستعانة بها في الابحاث العلمية وتدريب الطلاب .

# لايحوز تداول هذه البيانات الا للغرض المخصص لها

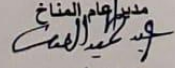
رئيس البيانات



مدير إدارة البيانات



مدير عام المناخ



٢٠٢٢/٩/١٥

شكل 60: بيانات محطة بير عريضة للأرصاد الجوية