



مقدم إلى:

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

مقدم من:

EcoConServ
ENVIRONMENTAL SOLUTIONS

شركة إكوكونسرف للحلول البيئية

١٢ شارع الصالح أيوب، الزمالك، القاهرة ١١٢١١، جمهورية
مصر العربية

هاتف رقم: ٢٧٣٦٤٨١٨ / ٢٠٢٢٧٣٥٩٠٧٨

فاكس رقم: ٢٠٢٢٧٣٦٥٣٩٧

البريد الإلكتروني: genena@ecoconserv.com

الموقع الإلكتروني: www.ecoconserv.com

مزرعة رياح مصر للهيدروجين الأخضر
بقدرية 200 ميجا وات بجمهورية مصر
العربية

تقييم مفصل لمخاطر الفيضانات

مارس 2025

توثيق المستند

التاريخ	الإصدار	أعدده	وصف المراجعة	راجعته	اعتمده
19/12/2024	1.0	شركة إكوكونسرف	إصدار لمراجعة العميل		
28/02/2025	2.0	شركة إكوكونسرف	إصدار لمراجعة العميل		
24/03/2025	3.0	شركة إكوكونسرف	إصدار لمراجعة العميل		

إخلاء مسؤولية:

لا يجوز الاعتماد على هذا التقرير أو استخدامه في أي مشروع آخر دون إجراء فحص مستقل لملاءمته والحصول على موافقة خطية مسبقة من المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. لا تتحمل شركة إيكو كونسيرف أي مسؤولية عن عواقب استخدام هذه الوثيقة لأي غرض غير الأغراض التي كُلفت بإعدادها من أجلها.

هذا التقرير سري للمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، ولا يتحمل الاستشاري أي مسؤولية مهما كانت تجاه أي طرف ثالث يُطلع عليه هذا التقرير أو أي جزء منه. يعتمد أي طرف على هذا التقرير على مسؤوليته الخاصة.

فهرس المحتويات

7	1. تمهيد
8	2. نطاق العمل
8	3. المنهجية
9	4. موقع المشروع
10	5. المناخ
10	5.1 درجة الحرارة
11	5.2 الرياح
11	5.3 الرطوبة النسبية
11	5.4 الإشعاع الشمسي
11	5.5 هطول الأمطار والتبخر
12	5.6 التضاريس
13	6. جيولوجيا السطح
20	7. تقييم مخاطر الفيضانات
21	7.1 مراجعة السجلات الميدانية والسجل التاريخي للفيضانات
25	7.2 ظروف المياه السطحية
25	7.3 العمل الميداني
29	7.4 المصدر – المسار – المستقبلات للفيضانات المفاجئة
30	7.4.1 قياسات هطول الأمطار من صور الأقمار الصناعية
48	7.4.2 بيانات هطول الأمطار المقاسة ومخطط العواصف الممطرة
54	7.5 تقييم مخاطر الفيضانات في الأحواض المدروسة في الإطار العام لأحواض خليج السويس
54	7.5.1 الخصائص المورفومترية لأحواض الصرف
59	7.5.2 التحليلات المورفومترية لشبكات الصرف
64	7.5.3 العوامل المؤثرة في حدوث الفيضانات
70	7.5.4 ملخص الأحواض المدروسة وفقاً للمعايير المقاسة
71	7.5.5 تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة
76	7.6 المؤشرات الهيدرولوجية
81	7.7 زيارة الموقع
81	7.6.1 غطاء التربة ونقل الرواسب
82	7.6.2 تضاريس سطح الأرض وتقسيماتها
84	7.6.3 السُّمك المُحتمل للتدفق السطحي
85	7.6.4 المناطق ذات الغطاء النباتي
86	7.6.5 مناطق التراكم والتآكل
86	7.6.6 مناطق تجمع المياه
87	7.6.7 تدابير التخفيف من آثار الفيضانات المُطبقة
88	7.6.8 تقييم قابلية التأثر بالفيضانات
89	8. الملخص والاستنتاجات
92	9. التوصيات

فهرس الأشكال

- الشكل رقم ١: موقع المشروع في المنطقة الساحلية الواقعة بين جبال البحر الأحمر وخليج السويس 7
- الشكل رقم ٢: محطات الأرصاد الجوية القريبة من موقع المشروع 8
- الشكل رقم ٣: موقع المشروع 10
- الشكل رقم ٤: خريطة توضح موقع ومورفولوجيا الحوضين (وادي دارا وغرب الملاحة شمال دارا) حيث يقع الموقع عند مصبهما شرقًا 12
- الشكل رقم ٥: خريطة الكنتور الطبوغرافية للمنطقة المحيطة بموقع المشروع 13
- الشكل رقم ٦: خريطة جيولوجية إقليمية للمنطقة. معدلة من الخريطة الجيولوجية لمصر 14
- الشكل رقم ٧: صورة ميدانية لرواسب العصر الرباعي في الجزء الأوسط الشرقي من الموقع 14
- الشكل رقم ٨: صورة ميدانية لرواسب العصر الرباعي في الجزء الأوسط الغربي من الموقع 15
- الشكل رقم ٩: صورة ميدانية لرواسب العصر الرباعي في الجزء الشمالي الشرقي من الموقع. لاحظ أن السطح مغطى ببقايا صخرية من الطبقة السفلية محصورة بالرمل والطين، حيث يكون حجم هذه البقايا أصغر بكثير من الرواسب نفسها في الغرب 15
- الشكل رقم 10: المتبخرات المكشوفة على سطح الأرض في الغرب والجنوب الغربي 16
- الشكل رقم ١١: صور ميدانية للمدرجات T1 و T2 17
- الشكل رقم ١٢: صور ميدانية للمدرجات T1 و T2 17
- الشكل رقم ١٣: صور ميدانية للمدرجات T1 و T2 18
- الشكل رقم ١٤: صورة ميدانية لتوزيع T و T3 في موقع المشروع 19
- الشكل رقم ١٥: صورة ميدانية لتوزيع T و T3 في موقع المشروع 19
- الشكل رقم ١٦: صورة ميدانية لتوزيع T و T3 في موقع المشروع 20
- لوحظت تشققات الطين على سطح مصاطب T3 المرتبطة بأخر هطول للأمطار. هذا يعني أن التدفق السطحي ضعيف جدًا
- الشكل رقم ١٧: أضرار ناجمة عن فيضانات في رأس غارب، أكتوبر ٢٠١٦ 23
- الشكل رقم ١٨: أحواض الصرف المحددة في المنطقة. تجدر الإشارة إلى أن موقع المشروع يقع ضمن حوض وادي دارا. (مُعدّل بعد يوسف وحجاب ٢٠٠٥) 23
- الشكل رقم ١٩: خريطة مخاطر أحواض الصرف ونقاط الضعف في المنطقة. درجة خطر الفيضانات المفاجئة المتوقعة في الموقع متوسطة. بعد (يوسف وحجاب ٢٠٠٥) 24
- الشكل رقم ٢٠: الموقع المقترح لقناة الفيضانات المفاجئة في منطقة الدراسة. (بعد الناظر وآخرون، ٢٠١٧) 25
- الشكل رقم ٢١: أحواض الصرف التي تعبر المنطقة المحيطة بموقع المشروع. يُرجى ملاحظة أن موقع المشروع يقع في الجزء السفلي من منطقة مستجمعات المياه في وادي دارا. تستند الخريطة المنشأة إلى نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة باستخدام برنامج آرك جي آي اس 26
- الشكل رقم ٢٢: الشكل ٤٥: نموذج ثلاثي الأبعاد للمنطقة مُنشأ من خرائط طبوغرافيا الرادار المكوي هي جهد بحثي دولي باستخدام أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية الاحترافية، ويُظهر مسار غرب دارا جنوب الموقع 27
- الشكل رقم 23: الشكل 23: ثلاثة مقاطع طبوغرافية تم إنشاؤها على طول موقع المشروع 28
- الشكل رقم 24: تلال ضحلة مُتقطعة، تفصلها خطوط تصريف ضحلة عريضة، مُركزة في موقع المشروع 29
- الشكل رقم 25: متوسطات الأمطار السنوية المُتوقعة على الحوض المدرس خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥) 32
- الشكل رقم 26: التغير السنوي في كمية الأمطار المُتوقعة على مستجمعات المياه في الحوض المدرس 33
- الشكل رقم 27: التغيرات المكانية والزمانية في كمية الأمطار المُتوقعة على حوض وادي دارا خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥) 34
- الشكل رقم 28: التغير الشهري في كمية الأمطار المُتوقعة على منطقة الدراسة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥) 36
- الشكل رقم 29: متوسط هطول الأمطار الموسمي المتوقع على منطقة الدراسة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥) 37
- الشكل رقم 30: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٥ 39
- الشكل رقم 31: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٦ 40
- الشكل رقم 32: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٧ 41
- الشكل رقم 33: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٨ 42
- الشكل رقم 34: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2019 على المنطقة 43

44	الشكل رقم 35: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2020 على المنطقة
45	الشكل رقم 36: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2021 على المنطقة
46	الشكل رقم 37: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2022 على المنطقة
47	الشكل رقم 38: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2023 على المنطقة
47	الشكل رقم 39: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2024 على المنطقة
48	الشكل رقم 40: محطات الأرصاد الجوية القريبة من حوض المنطقة
51	الشكل رقم 41: احتمالية عودة العواصف المطرية
52	الشكل رقم 42: احتمالية شدة هطول الأمطار
53	الشكل رقم 43: فترات عودة أقصى شدة لهطول الأمطار
60	الشكل رقم 44: شبكة الصرف في المنطقة
72	الشكل رقم 45: احتمالية حدوث فيضانات في منطقة البحر الأحمر بناءً على السجل التاريخي للفيضانات المفاجئة
77	الشكل رقم 46: (أ) خريطة موقع نقاط السبر والمقاطع الجيوكهربائية، (ب) رسم بياني لمنحنى ΔV المُفسَّر باستخدام بئر محفور بتقنية RIGWA. (بيدار، 2015)
79	الشكل رقم 47: المقطع الجيوكهربائي E – E ووحدته الليثولوجية في وادي دارة (المصدر: بدير 2015)
80	الشكل رقم 48: المقطع الجيوكهربائي G – G ووحدته الليثولوجية في وادي دارة. (المصدر: بدير 2015)
81	الشكل رقم 49: تباين حجم حبيبات الرواسب التي تغطي سطح الموقع
82	الشكل رقم 50: تُظهر الصور الميدانية التغير في حجم حبيبات رواسب ردم الوادي على طول خطوط الصرف
83	الشكل رقم 51: مقاطع طبوغرافية مُعدّة من خرائط جوجل
84	الشكل رقم 52: خطوط الصرف الضحلة والواسعة التي تعبر الأجزاء الوسطى والجنوبية من الموقع
85	الشكل رقم 53: المجاري الرئيسية لخطوط الصرف التي تعبر الجزء الشمالي الشرقي من الموقع
86	الشكل رقم 54: الغطاء النباتي في منطقة الموقع؛ (أ) انعدام الغطاء النباتي تمامًا في مجرى نهر درعا الرئيسي، (ب) وجود نباتات متفرقة على طول مجرى نهر درعا الرئيسي
87	الشكل رقم 55: منطقة تراكم التدفق السطحي عند الحدود الشرقية للموقع حيث ترسب طبقة من الشقوق الطينية نتيجة هطول الأمطار الأخير
87	الشكل رقم 56: إجراءات تخفيف الفيضانات المطبقة خارج موقع المشروع. قنوات لحماية الطرق من التدفق السطحي، وخاصة عند مخرج وادي درعا
88	الشكل رقم 57: الأسوار الخرسانية حول قاعدة أبراج الجهد العالي
89	الشكل رقم 58: المواقع المقترحة للجريان السطحي القوي في مواقع المشروع، والتي تُشكل أساسًا أرضية مجرى خطوط الصرف الرئيسي
90	الشكل رقم 59: مخطط توضيحي لتقييم مخاطر الفيضانات المُجرى

فهرس الجداول

10	الجدول رقم ١: المؤشرات الجوية خلال الفترة ١٩٧١-٢٠٠٠ في الغردقة، أقرب محطة أرصاد جوية إلى رأس غارب
10	الجدول رقم ٢: قيم درجة الحرارة، والرطوبة، وسرعة الرياح، ومعدل هطول الأمطار، والرؤية، والضغط عند مستوى سطح البحر خلال أشهر عام ٢٠١٦ كما سجلتها محطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي (٣)
11	الجدول رقم ٣: أقصى هطول أمطار شهريًا في يوم واحد خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٤
21	الجدول رقم ٤: السجلات التاريخية للسيول الجارفة على طول المناطق الساحلية للبحر الأحمر
31	الجدول رقم ٥: التغير السنوي في هطول الأمطار المتوقع سقوطها على حوض المنطقة المدروسة خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢١)
35	الجدول رقم ٦: المتوسطات الشهرية المحتملة لهطول الأمطار في المنطقة خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢١)
36	الجدول رقم ٧: متوسطات هطول الأمطار الموسمية المتوقعة على المنطقة خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢١)
37	الجدول رقم ٨: متوسط هطول الأمطار لأكبر كمية أمطار متوقعة شهريًا خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢٤)
38	الجدول رقم ٩: متوسط هطول الأمطار السنوي والشهري المحسوب في منطقة الدراسة خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢١)
48	الجدول رقم ١٠: أقصى هطول أمطار شهريًا في يوم واحد خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢٤). محطة أرصاد الجودة
49	الجدول رقم ١١: هطول الأمطار المتوقع مقارنةً بأعماق الأمطار الفعلية خلال الفترة (٢٠١٦-٢٠٢١)

50	الجدول رقم ١٢: البيانات المحسوبة لاحتمالية عودة العواصف المطرية
52	الجدول رقم ١٣: أقصى كمية مياه أمطار يمكن استقبالها في يوم واحد
55	الجدول رقم ١٤: المؤشرات المورفومترية للحوضين المدروسين اللذين يعبران موقع المشروع
60	الجدول رقم 15: مؤشرات شبكة الصرف
62	الجدول رقم 16: رتب كثافة الصرف (ستراهلر، 1957 وموريساوا، 1985)
63	الجدول رقم 17: تصنيف نسبة الملص (سميث، 1950)
64	الجدول رقم 18: المؤشرات الهيدرولوجية للأحواض المدروسة. (المعاملات المحسوبة تلقائيًا بواسطة برنامج ARC-GIS)
68	الجدول رقم 19: حجم التسرب في رواسب التربة
73	الجدول رقم 20: المؤشرات المورفومترية لأحواض البحر الأحمر، مُصنفة إلى أربعة مستويات (من المستوى 1 إلى المستوى 4)
73	الجدول رقم 21: حدود ومستويات مخاطر المعاملات الخمسة المختارة وفقًا لأحواض البحر الأحمر بأكملها
74	الجدول رقم 22: حدود ومستويات مخاطر الحوضين المدروسين
74	الجدول رقم 23: نسبة شدة المعاملات الخمسة المختارة في الحوضين
75	الجدول رقم 24: مستوى شدة الفيضانات حسب الفئة للحوضين المدروسين
75	الجدول رقم 25: مصفوفة مخاطر الفيضانات المفاجئة المتوقعة في الحوضين المدروسين
78	الجدول رقم 26: طيف المقاومة ووحداته الليثولوجية للمقاطع الجيوكهربائية. (المصدر: بدير، 2015)

1. تمهيد

يقع المشروع في منطقة وادي دارا بين رأس شقير وجبل الزيت على خليج السويس. هذه المنطقة جزء من الشريط الساحلي الذي يفصل سلسلة جبال عالية إلى الغرب (جبال البحر الأحمر) عن مجرى البحر الأحمر وخليج السويس (الشكل 1). تبلغ مساحة الموقع حوالي 37 كم 2 مغطاة بطبقات من الرواسب الفتاتية الناتجة عن التجوية وتآكل الصخور المكشوفة في سلسلة الجبال والتي تنتقل بشكل رئيسي عن طريق مياه الأمطار. نظرًا للطبيعة الفتاتية للرواسب التي تغطي هذه المنطقة، واختلاف الارتفاع العالي بينها وبين المناطق الجبلية إلى الغرب، والطبيعة غير النفاذة للصخور التي تشكل سلاسل الجبال، فقد تم تجميع مياه الأمطار في العديد من أحواض الصرف مما تسبب في الجريان السطحي وتشكيل العديد من الأودية التي تتدفق نحو خليج السويس. تعتمد شدة الجريان السطحي على عوامل عديدة، أهمها مساحة حوض التصريف، وطول الوادي، ودرجة انحداره، وطبيعة صخور قاعه ورواسبه، بالإضافة إلى شدة هطول الأمطار. يتطور هذا الجريان في بعض الأحواض والوديان، مسبباً فيضاناتاً شديداً (فيضاناتاً مفاجئاً) قد يلحق أضراراً بالغة بالأرواح والمنشآت الواقعة على مجاري هذه الأودية أو على مخارجها.



الشكل رقم ١: موقع المشروع في المنطقة الساحلية الواقعة بين جبال البحر الأحمر وخليج السويس

يُلاحظ وجود خطوط تصريف عديدة تصل إلى مياه الخليج، عابرةً المنطقة بأكملها، وأبرزها وادي دارا الذي يعبر الموقع عبر منفذين شمالاً وجنوباً.

في المنطقة المحيطة بموقع المشروع، توجد العديد من الوديان الجافة التي تمثل أحواض تصريف مختلفة في الخصائص الطبيعية والمورفومترية، مما أدى إلى تباين في شدة الفيضانات التي تحدث أثناء العواصف الممطرة (الشكل 1). وادي جرف ووادي خرمة العين ووادي غريب ووادي أبو خشبة هي أحواض تصريف قريبة جداً إلى الشمال من الجناح. ونظرًا لصغر مناطق مستجمعات المياه في هذه الأحواض، لم يتم تسجيل أي أحداث فيضانات خطيرة في جميعها من قبل على عكس وادي الدرب ووادي أبو حد ووادي الحواشية في أقصى الشمال مما دفع الحكومة إلى إنشاء العديد من التطبيقات والتدابير للتخفيف من مخاطر الفيضانات التي تحدث كثيرًا فيها. ونظرًا لوجود هذه الوديان والفيضانات الخطيرة التي تم تسجيلها في بعض المناطق، يجب إجراء دراسة مفصلة لتقييم مخاطر الفيضانات المتوقعة في موقع المشروع، مع الأخذ في الاعتبار عواقب التغيرات المناخية العالمية.

في الواقع، يُمثل السجل المتكامل لتاريخ هطول الأمطار منطقة موقع المشروع المُجمّعة من الجودة، وهي أقرب محطة إلى الموقع (الشكل 2). تُمثل بيانات هطول الأمطار المُجمّعة السنوات العشر الماضية (2015 - مايو 2024) بالمعايير التالية:

- عدد أيام المطر

- كثافة الأمطار
- أكبر كمية أمطار هطلت في يوم واحد مع تاريخ محدد
- سجلات 6 أشهر خلال السنوات العشر الماضية من 2015 إلى 2024



الشكل رقم ٢: محطات الأرصاد الجوية القريبة من موقع المشروع

2. نطاق العمل

الهدف الرئيسي من هذا التقرير هو دراسة الفيضانات المتوقعة في منطقة المشروع خلال فترات هطول الأمطار دراسةً تفصيلية. وتحديد مدى خطورة الجريان السطحي الذي يمر مباشرةً بموقع المشروع عبر خطوط الصرف التي تعبره، بالإضافة إلى تحديد الأماكن شديدة الخطورة داخل الموقع. ووضع جميع المقترحات الكفيلة بتجاوز الآثار السلبية للفيضانات والتخفيف منها، وكيفية حماية المنشآت والمعيشة في حال حدوثها. كما يهدف التقرير إلى تطوير نموذج لتقييم مخاطر الفيضانات بناءً على الخصائص الطبيعية للمنطقة، والظروف المناخية السائدة في الدورة المناخية الحالية، مع الأخذ في الاعتبار التغيرات المناخية النشطة والآثار الناجمة عنها، وخاصةً الزيادة غير المتوقعة في شدة هطول الأمطار.

3. المنهجية

- الأعمال السابقة ومراجعة الأدبيات: جمع جميع المقالات المنشورة المتاحة والتقارير الداخلية ... إلخ عن المنطقة المعنية بالمناخ والأمطار وما إلى ذلك، وسجلات الفيضانات المفاجئة.
- بيانات مقاييس المستوى المثبتة: تم جمع تاريخ هطول الأمطار خلال الفترة (2015 - 2024) من محطة الجونة للأرصاد الجوية من الهيئة العامة للأرصاد الجوية.

ج. نموذج تقييم مخاطر الفيضانات: تم إجراء تحليل مورفومتري لأحواض الصرف في المنطقة بناءً على صور الأقمار الصناعية لمهمة تضاريس الرادار المكونية لمصر، باستخدام برنامج ARC-GIS، وبيانات شدة هطول الأمطار القصوى المسجلة في المنطقة. ومن ثم يمكن تحديد شدة واحتمالية الفيضانات المتوقعة.

د. التحليل المرئي عبر الأقمار الصناعية: توفر التصورات عبر الأقمار الصناعية وسيلة مناسبة لتقدير كميات الأمطار التي سقطت في أي مكان على سطح الأرض من خلال تتبع صور الأقمار الصناعية، وخاصة الأقمار الصناعية المناخية. وهذا يساعد في مراقبة الظواهر المناخية المختلفة، بما في ذلك ظاهرة المطر. بالإضافة إلى سجلات السنوات العشر التي سيتم جمعها من محطة الأرصاد الجوية النشطة في المنطقة (محطة الجونة)، سيتم استخراج بيانات هطول الأمطار من صور الأقمار الصناعية المناخية باستخدام نماذج الشبكات العصبية. يتيح تحليل صور الأقمار الصناعية المناخية الحصول على بيانات حول عناصر مختلفة، مثل الأمطار، حيث توفر المصادر بيانات وقياسات لكمية الأمطار يوميًا وأسبوعيًا وشهريًا وسنويًا. يمكن استخدام هذه البيانات بعد استخراجها لتتبع حركة العواصف المطرية ورسم مخطط هيدروجرافي للأمطار، بالإضافة إلى إمكانية تحديد حجم وكثافة الأمطار وفقًا لمعادلات رياضية. يعتمد هذا النموذج على حساب هطول الأمطار باستخدام بيانات الأشعة تحت الحمراء من GridSat-B1 وتعديلها باستخدام بيانات المناخ العالمي الشهرية. تتم عملية الاستخراج من خلال الخطوات التالية:

- تنزيل بيانات الأقمار الصناعية المناخية للسنوات العشر السابقة.
- من خلال الضغط الإدراكي الديكارتي وصور الأقمار الصناعية للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي، يمكن رصد وتتبع الأمطار في المنطقة على النحو التالي:

- الحصول على متوسطات كمية الأمطار الشهرية الساقطة على المنطقة خلال فترة الدراسة مع تصميم خرائط لكل شهر من حيث كمية الأمطار الساقطة.
- تتبع العواصف المطرية القوية التي تعرضت لها المنطقة، وفقًا لعمق الأمطار في كل عاصفة، ووفقًا لكمية وشدة الأمطار في كل عاصفة.
- من البيانات السابقة، يُمكن الحصول على احتمالية عودة العواصف المطرية القوية ووقت عودتها.
- تقدير العمق التصميمي للعواصف المطرية المستقبلية.
- رسم مخططات هيدروغرافية لقيم التصريف الهيدروليكي للحوض.
- كما يُمكن حساب العوامل الهيدرولوجية للأحواض، وكذلك حساب الموازنة المائية لحوض التصريف وتحديد درجة خطورتها.

هـ. إجراء زيارة ميدانية لرصد أي ظواهر طبيعية في المنطقة تشير إلى شدة الأمطار، وأماكن حدوث الفيضانات، ومدى قدرتها على استيعابها، وتأثيرها على البيئة المحيطة. كذلك، للتحقق من صحة جميع النماذج المُعالَجة وتدابير التخفيف المقترحة ميدانيًا.

4. موقع المشروع

يقع موقع المشروع على الضفة الغربية لخليج السويس، على بُعد حوالي 115 كيلومترًا شمال الغردقة. أقرب المناطق السكنية إليه هي مدينة رأس شقير، التي تقع شمالًا بحوالي 10 كيلومترات، بينما تقع مدينتا رأس غارب والزعفرانة على بُعد حوالي 40 و120 كيلومترًا شمال الموقع على التوالي (الشكل 3). يبلغ عرض منطقة المشروع (من الغرب إلى الشرق) حوالي 5 كيلومترات، بينما يبلغ طولها حوالي 6 كيلومترات. يمتد الطرف الشمالي لجبال البحر الأحمر المرتفعة من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي على بُعد حوالي 20 كيلومترًا من الحد الغربي لموقع المشروع.



الشكل رقم ٣: موقع المشروع

5. المناخ

بشكل عام، يتميز مناخ منطقة المشروع (وادي دارا) بشبه قاحل، يتميز بصيف حار جاف، وشتاء معتدل، وهطول أمطار قليلة. جُمعت البيانات المناخية في هذه الدراسة من المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، ومن محطة رصد مطار الغردقة (أقرب محطة رصد جوي للموقع).

5.1 درجة الحرارة

متوسط درجة الحرارة العظمى خلال 30 عامًا (1971-2000) هو 46 درجة مئوية، بينما يبلغ متوسط درجة الحرارة العظمى 27.0 درجة مئوية، ويبلغ متوسط درجة الحرارة الصغرى 18.74 درجة مئوية (الجدول رقم 1).

الجدول رقم ١: المؤشرات الجوية خلال الفترة ١٩٧١-٢٠٠٠ في الغردقة، أقرب محطة أرصاد جوية إلى رأس غارب

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط سنوي
متوسط أعلى درجة حرارة مئوية	30	32	35	40	43	46	44	42	43	43	35	32	46
متوسط أدنى درجة حرارة مئوية	11	11.4	14	17.8	21.9	24.8	26.4	26.2	24.2	20.9	16.6	12.5	18.74
متوسط هطول الأمطار ملم.	0.4	0.02	0.3	1	0.04	0	0	0	0	0.6	2	0.9	5.26
متوسط الرطوبة النسبية %	48	46	46	43	42	41	45	46	48	53	51	51	46.67
شروق الشمس	279	290	310	300	341	360	403	372	330	310	270	279	3844

تراوحت درجات الحرارة بين 7 درجات مئوية خلال يناير و46 درجة مئوية في مايو 2016، وبلغ متوسط درجة الحرارة الشهرية 26 درجة مئوية (الجدول 2). وبلغ متوسط درجات الحرارة العظمى 26 درجة مئوية، بينما بلغ متوسط درجات الحرارة الصغرى 21 درجة مئوية في عام 2016.

الجدول رقم ٢: قيم درجة الحرارة، والرطوبة، وسرعة الرياح، ومعدل هطول الأمطار، والرؤية، والضغط عند مستوى سطح البحر خلال أشهر عام ٢٠١٦ كما سجلتها محطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي (٣)

المؤشر	الحد الأقصى	المتوسط	الحد الأدنى	المعدل
أقصى درجة حرارة	46. °C	32 °C	17 °C	

متوسط درجة الحرارة	32 °C	21 °C	7 °C	
درجة الحرارة الدنيا	32 °C	21 °C	7 °C	
أيام درجة التدفئة (القاعدة 65)	10	1	0	199
أيام درجة التبريد (القاعدة 65)	60	15	0	5561
أيام الدرجات المتزايدة (القاعدة 50)	75	30	5	10859
الرطوبة	29 °C	11. °C	-22 °C	
هطول الأمطار	40.9 ملم	0.1 ملم	0.0 ملم	40.89 ملم
سرعة الرياح	74 كم/ ساعة	19 كم/ لتر	-	-

5.2. الرياح

سُجِّلَت أعلى سرعة رياح عام ٢٠١٦ في محطة أرصاد الغردقة الجوية، حيث بلغت ٧٤ كم/ ساعة، بمتوسط ١٩ كم/ ساعة (الجدول رقم ٢). وبدراسة اتجاهات الرياح في محطة أرصاد مطار الغردقة الدولي، تبين أن الرياح السائدة في المنطقة هي الرياح الشمالية أو الشمالية الشرقية صيفًا وخريفًا، والرياح الجنوبية شتاءً.

5.3. الرطوبة النسبية

تراوح متوسط الرطوبة النسبية السنوية كنسبة مئوية بين 41% و51% بمتوسط سنوي إجمالي قدره 46.67% خلال الفترة 1971-2000 كما هو موضح في الجدول (1). وتنخفض الرطوبة الجوية بشكل حاد عند تعرض البلاد لرياح الخماسين خلال شهري آذار وحزيران، وهي رياح حارة وجافة ومغبرة تؤدي إلى إثارة الرمال الناعمة بدرجة قد تحجب الرؤية، بالإضافة إلى انخفاض الرطوبة، وهي تترافق مع منخفضات جوية من البحر المتوسط وشمال أفريقيا، أو تترافق مع حدوث أحوال جوية مصحوبة بحالات عدم استقرار في فصل الربيع.

5.4. الإشعاع الشمسي

أفاد حجازي وعفت (2010) أن متوسط نسبة سطوع الشمس تراوحت بين 65% و70% خلال أشهر الشتاء، وبين 80% و85% خلال أشهر الصيف، وذلك استنادًا إلى بيانات الفترة 1987-1996 في محطة الأرصاد الجوية البحرية بالسويس. كما لاحظ أن المنطقة المدروسة، بما فيها دارا، تشهد كثافة إشعاع شمسي عالية، تتراوح بين 1900 و2600 واط/متر مربع/سنة. بالإضافة إلى ذلك، بلغ متوسط مدة سطوع الشمس في الغردقة خلال الفترة 1971-2000، 320.33 ساعة شهريًا (الجدول رقم 1).

5.5. هطول الأمطار والتبخر

أشارت بيانات محطة الأرصاد الجوية بمطار الغردقة الدولي إلى أن أعلى معدل شهري لإجمالي الأمطار السنوية بلغ 40.89 ملم خلال شهر أكتوبر 2016، بينما بلغ أقل متوسط 0.1 ملم في معظم أشهر السنة (الجدول 2)، بينما بلغ متوسط إجمالي الأمطار السنوية خلال الفترة 1971-2000 حوالي 2 ملم (الجدول رقم 1). في حين يبلغ معدل التبخر السنوي 300 ملم، ويحدث أعلى معدل تبخر في شهري يونيو ويوليو، والذي سُجِّل خلال الفترة 1987-1996 في محطة الأرصاد الجوية البحرية بالسويس. التسجيلات الشهرية لأعلى كمية أمطار هطلت في يوم واحد بمحطة الغردقة خلال الفترة 2015-2024 (الجدول 3). بلغ أعلى هطول مطري مسجل 51.3 ملم في 27 أكتوبر 2016، تلاه 16 ملم في 1 يناير 2022 (الجدول 3). وقد أدت عاصفة المطر المسجلة عام 2016 إلى فيضانات مفاجئة قوية في مدينة رأس غارب.

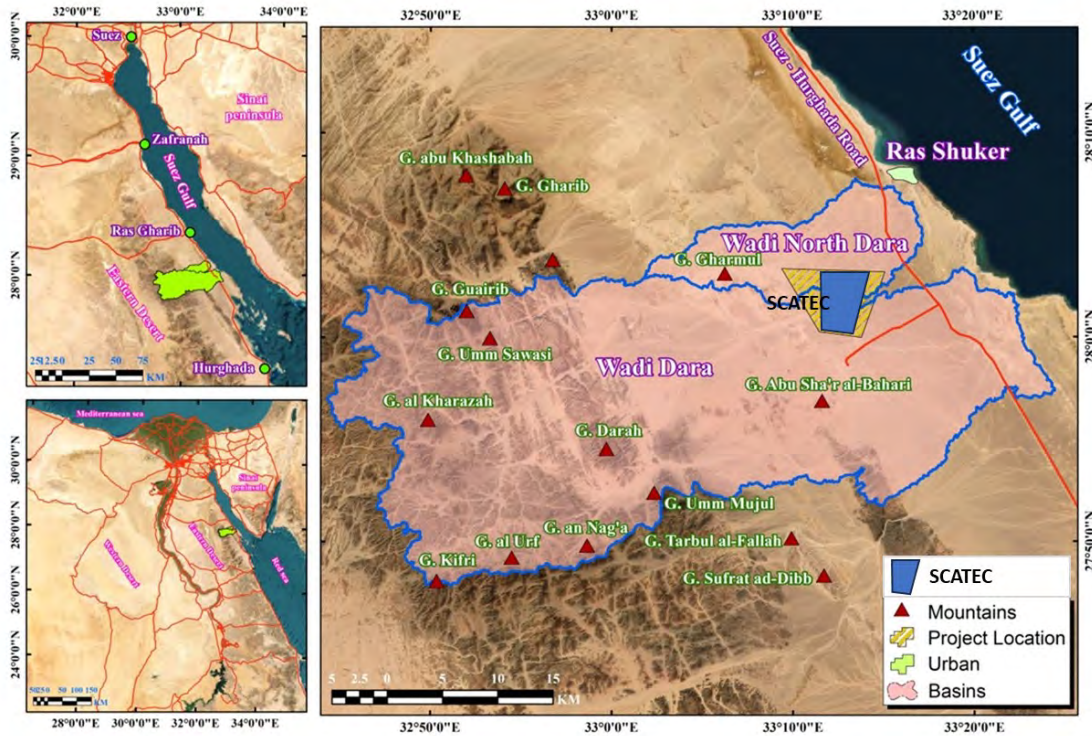
الجدول رقم ٣: أقصى هطول أمطار شهريًا في يوم واحد خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٤

السنة	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	مايو	أبريل	مارس	فبراير	يناير	المؤشر
2015	0	0	5.2	0	0	0	0.4	0	الحد الأقصى في اليوم ملم
			25						اليوم
2016	0	0	51.3	0	0	0	0	0	الحد الأقصى في اليوم ملم
			27						اليوم
2017	0	0	0	0	1.6	0	0	0	الحد الأقصى في اليوم ملم
					12				اليوم
2018	0	0	0	2	0	0	2	0	الحد الأقصى في اليوم ملم

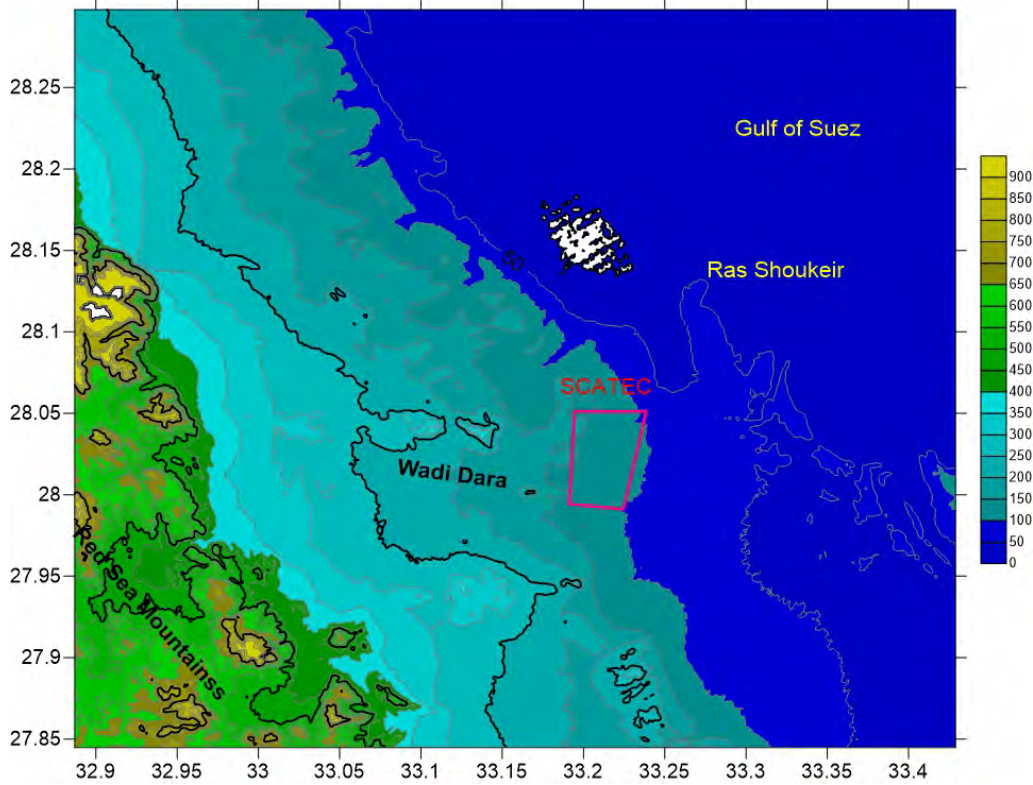
				6		23		اليوم
2019	0	0	0	0	0	0	0.1	الحد الأقصى في اليوم ملم
							5	اليوم
2020	0	0	0	0	0	3	0	الحد الأقصى في اليوم ملم
						12		اليوم
2021	1.8	0	0	0	0	0	0.1	الحد الأقصى في اليوم ملم
	27						3	اليوم
2022	0	0	0	0	0	0	2.1	الحد الأقصى في اليوم ملم
							15	اليوم
2023	0	0	0	0	0	0.1	2	الحد الأقصى في اليوم ملم
						14		اليوم
2024	0	0	0	1	0	0	0	الحد الأقصى في اليوم ملم
				30				اليوم

5.6. التضاريس

يقع المشروع في منطقة بها أحواض تصريف وتدفقات أودية جافة إلى خليج السويس جنوب مدينة رأس شقير. تنتمي منطقة المشروع إلى حوضي تصريف هما حوض وادي دارا ووادي شمال دارا (غرب الملاحه). يمتد موقع المشروع فلكيًا بين خطي عرض 27° 47' 47.5" - 28° 07' 45.9" شمالاً وخطي طول 23° 44' 19.5" - 33° 24' 29.2" شرقاً (الشكل رقم 4). لا تُظهر خريطة الكنتور الطبوغرافية للمنطقة المتضمنة موقع المشروع (الشكل رقم 5) أي تغيير كبير في التضاريس على طول موقع المشروع. يتراوح ارتفاع الأرض على طول موقع المشروع من 150 مترًا فوق مستوى سطح البحر في الغرب إلى حوالي 100 متر فوق مستوى سطح البحر في الشرق.



الشكل رقم ٤: خريطة توضح موقع ومورفولوجيا الحوضين (وادي دارا وغرب الملاحه شمال دارا) حيث يقع الموقع عند مصبهما شرقاً

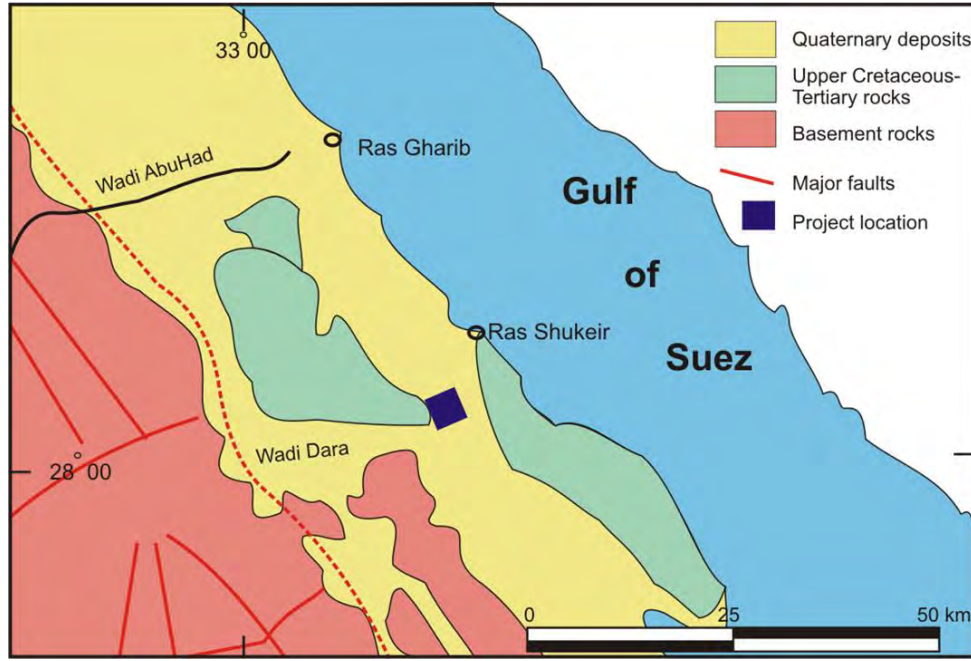


الشكل رقم ٥: خريطة الكنتور الطبوغرافية للمنطقة المحيطة بموقع المشروع

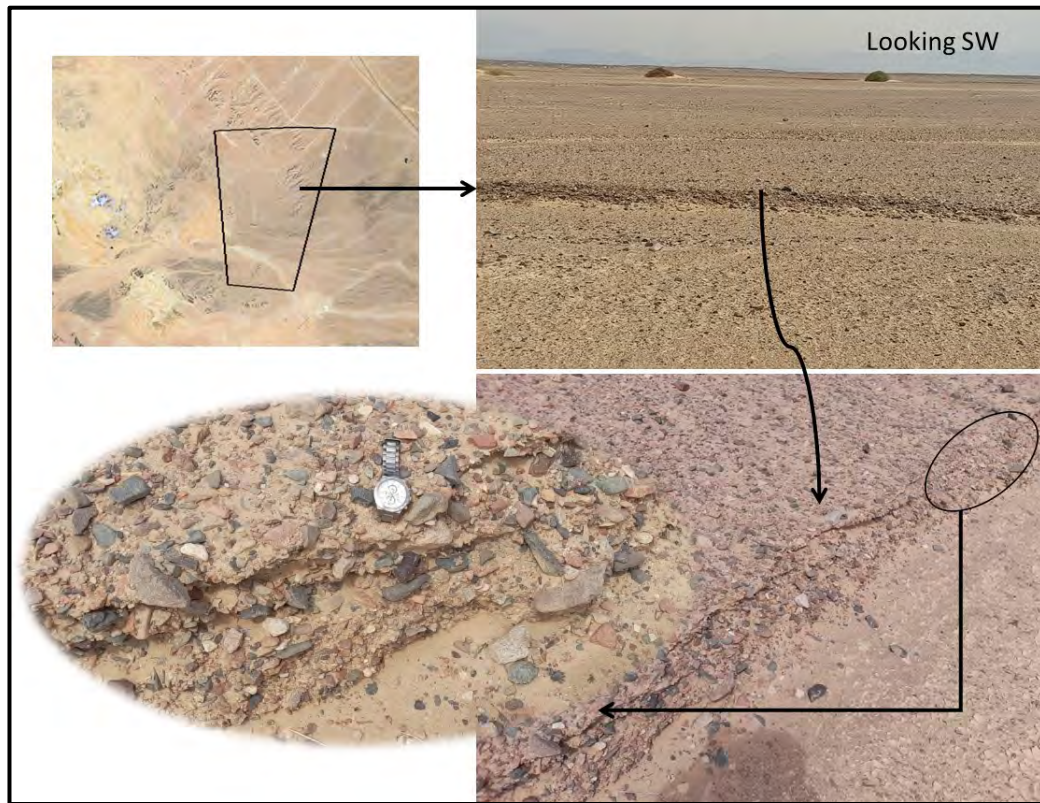
6. جيولوجيا السطح

تغطي رواسب العصر الرباعي (ما بعد الميوسين) كامل مساحة موقع المشروع (الشكل 6). تتكون هذه الرواسب من الحصى والرمل والطين والصفائح الرملية الهوائية وتراكمات الرمل. وهي في الغالب رواسب فتاتية ذات قوام مختلف يتراوح من حجم الطمي إلى حجم الحصى. يتكون تكوين رواسب العصر الرباعي في المقام الأول من منتجات التجوية للصخور المكشوفة المحيطة. في المنطقة المحيطة بالمشروع مع وجود الصخور النارية لسلسلة جبال البحر الأحمر في أقصى الغرب والجنوب الغربي، والتي تتكون بشكل رئيسي من الصخور الجرانيتية الغنية بالفلسبار المحمر اللون، فإن غطاء التربة في المنطقة دكن في الغالب لأنه يتكون من شظايا من الجرانيت الأصغر والفلسبار، وهي المنتجات المجوأة للجرانيت (الأشكال 7 و 8 و 9).

تُشكل رواسب العصر الرباعي الغطاء الرئيسي للجزأين الشرقي والجنوبي الشرقي من منطقة المشروع، حيث سُبني أجزاء رئيسية من أعمال البناء، بينما في الغرب والجنوب الغربي، ستكون أساسات البناء مُغطاة بالكامل برواسب ميوسينية (الشكل رقم 10). خلال المسح الميداني، وباستخدام الخرائط الجيولوجية والصور الجوية، تم دراسة أنواع التربة المختلفة وخصائصها وموقعها في منطقة المشروع.

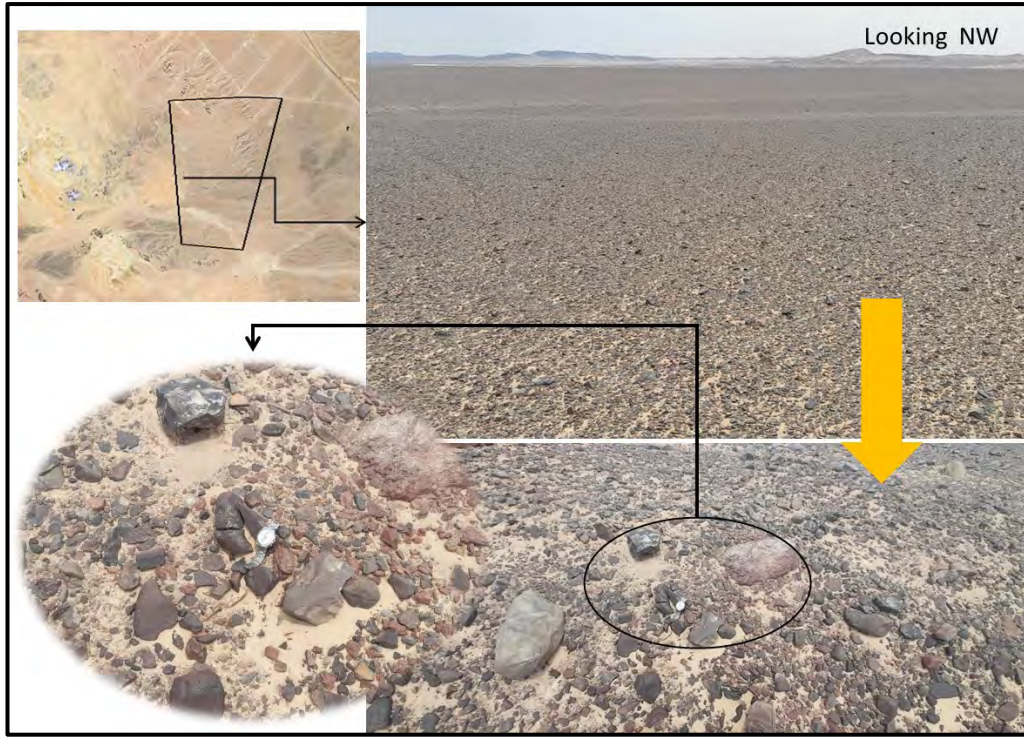


الشكل رقم ٦: خريطة جيولوجية إقليمية للمنطقة. معدلة من الخريطة الجيولوجية لمصر

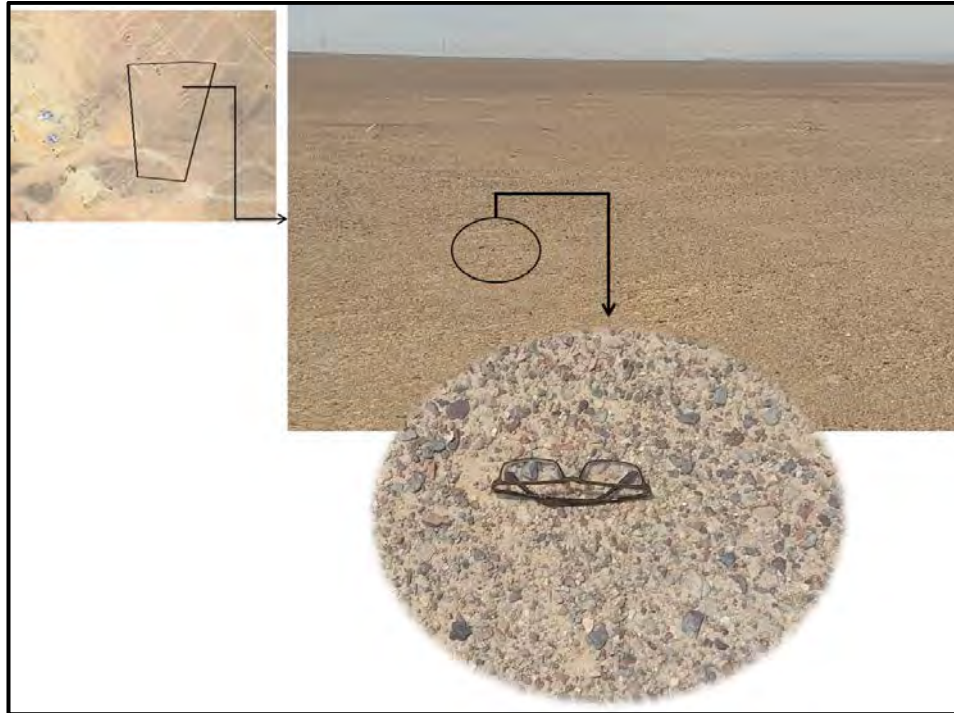


الشكل رقم ٧: صورة ميدانية لرواسب العصر الرباعي في الجزء الأوسط الشرقي من الموقع

*ملاحظة: تتكون الطبقة من فتات صخري من القاعدة المحصورة بين الرمال والطيني.

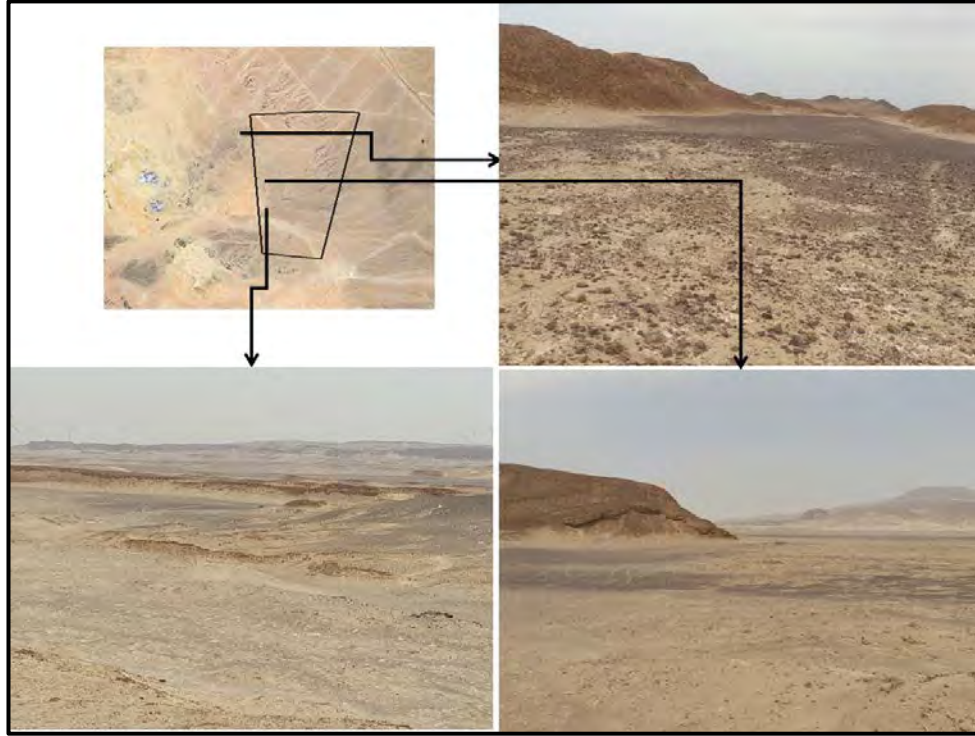


الشكل رقم ٨: صورة ميدانية لرواسب العصر الرباعي في الجزء الأوسط الغربي من الموقع
*ملاحظة: تتكون الطبقة من فتات صخري من القاعدة المحصورة بين الرمل والطيني، حيث يكون حجم الشظية أكبر قليلاً من نفس الرواسب في الشرق.



الشكل رقم ٩: صورة ميدانية لرواسب العصر الرباعي في الجزء الشمالي الشرقي من الموقع. لاحظ أن السطح مغطى ببقايا صخرية من الطبقة السفلية محصورة بالرمل والطيني، حيث يكون حجم هذه البقايا أصغر بكثير من الرواسب نفسها في الغرب

على الجانب الغربي والجنوب الغربي، تظهر الرواسب التبخرية من العصر الميوسيني على سطح الموقع، وتغطيها في بعض الأحيان طبقة رقيقة للغاية من رواسب العصر الرباعي (الشكل رقم 10).



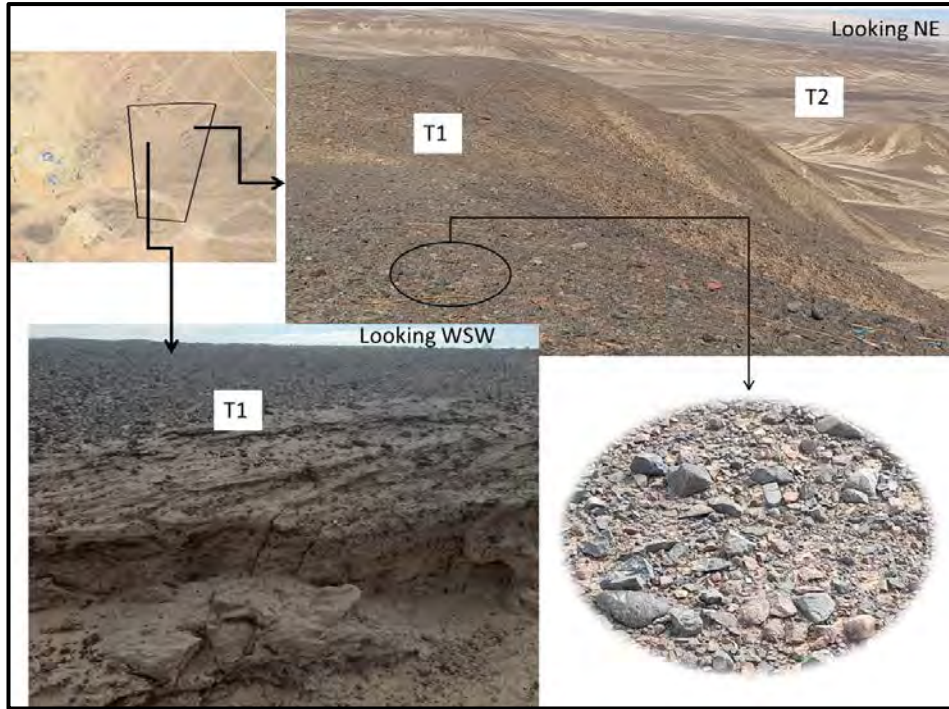
الشكل رقم 10: المتبخرات المكشوفة على سطح الأرض في الغرب والجنوب الغربي

تغطي التربة جميع المشاريع تقريباً (الشكل 11) وتكون على شكل سلاسل من مصاطب الطمي. وقد تم وصف ثلاث مصاطب طمي في منطقة المشروع والمنطقة المحيطة بها أثناء زيارة الموقع؛ T1 و T2 و T3. ترسبت المصاطب الثلاثة على صخور الطبقة الرئيسية المكشوفة والتي تتكون بشكل أساسي من صخور قاعدية إلى الغرب خارج منطقة المشروع، وحجر رملي طباشيري في الجزء الجنوبي الغربي من الموقع، وحجر جيرى من العصر الإيوسيني في الجزء الشمالي الغربي من الموقع. ويرجع وجودها على مستويات مختلفة بشكل أساسي إلى التعرية النهرية في اتجاه المنحدر. وهي من العصر الرباعي في فترات هطول الأمطار الغزيرة. ينخفض حجم حبيبات المصاطب من المنبع إلى المصب بسبب انخفاض شدة التدفق السطحي.

تختلف المدرجات في ارتفاعها عن قاع الوادي بالإضافة إلى نوع وحجم مكوناتها. تقع المدرجات بالقرب من المرتفعات في الغرب والجنوب الغربي على ارتفاعات أعلى، والمكونات قريبة جداً من تلك الموجودة في المصدر وحجمها كبير. تقع T1 (أقدم مدرج) بالقرب من التعرضات المرتفعة (جبال البحر الأحمر) إما من الغرب أو من الجنوب الغربي. بالانتقال إلى الشرق والشمال الشرقي، تصبح خطوط الصرف الدقيقة واسعة جداً وتختفي تقريباً باستثناء مخرج وادي دارة في الجنوب. تشكلت المدرجات الأحدث على مستويات متتالية منخفضة، T2 و T3. تتوزع أحدث المدرجات المكونة (T3) على طول قاع الصرف الضحل الذي يعبر 2 وتتميز بطبقة متتالية من الرواسب المختلفة تختلف في حجم الحبيبات وطبقة رقيقة من الطين المنقول بواسطة التدفق الصفحي لمياه الأمطار. سيتم التعامل مع هذه المدرجات بمزيد من التفصيل أدناه.

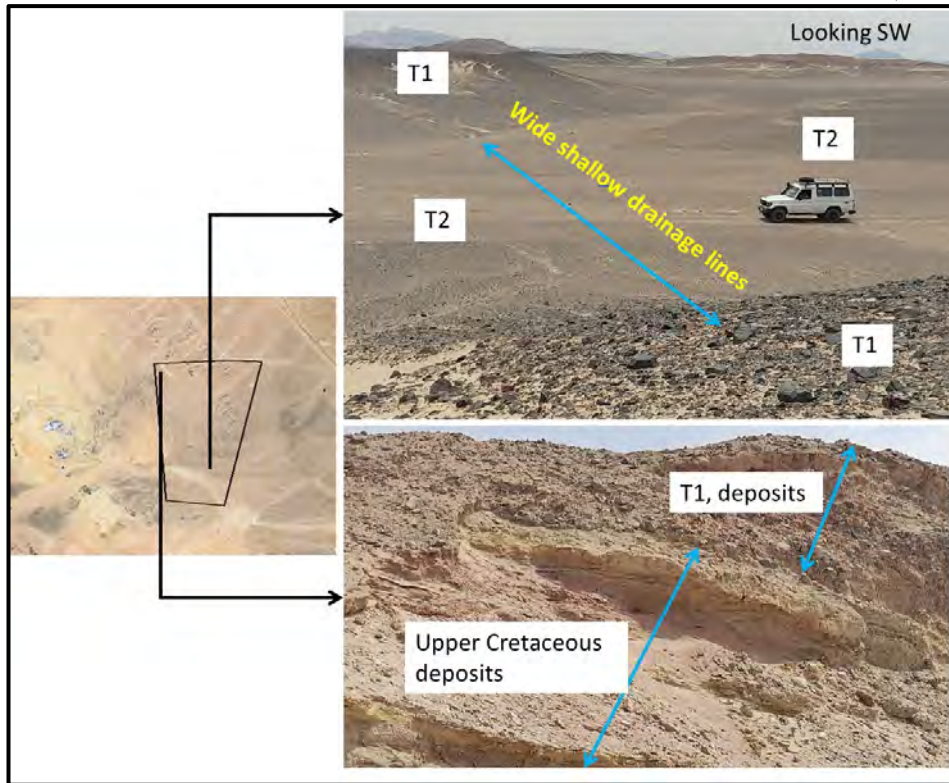
T1: المدرج الأقدم

تمثل هذه المصاطب قمة الأرض المرتفعة والتلال الطولية الضحلة المتقطعة في الغرب والشمال الغربي عند منطقة مستجمع مياه وادي دارا. وقد تَشَقَّقَت هذه المصاطب القديمة بفضل روافدها الضحلة والواسعة التي تصب شرقاً في خليج السويس. ويبلغ أقصى ارتفاع للمصاطب في الجزء الغربي والجنوبي الغربي حوالي 160 متراً فوق مستوى سطح البحر (الشكل رقم 11).



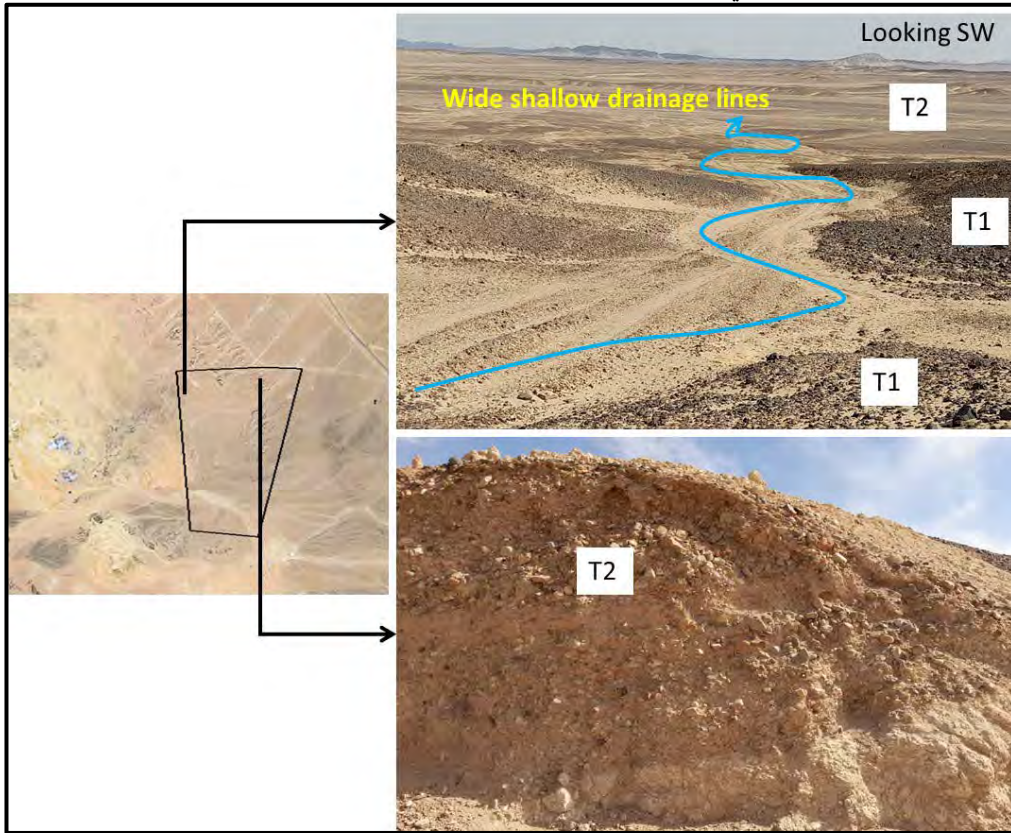
الشكل رقم ١١: صور ميدانية للمدرجات T1 و T2

يتراوح سمك المدرج، أو ارتفاعه عن مستوى سطح الأرض (مستوى المدرج التالي)، بين متر واحد وحوالي مترين في الشمال الغربي، وبين متر واحد وحوالي ثلاثة أمتار في الغرب والجنوب الغربي. يتكون هذا المدرج من عقيدات صوان خشنة جدًا، وحصى، وصخور جرانيتية، وبازلتية، مغلفة بطين ناعم ورمل (الشكلان ١٢ و ١٣).



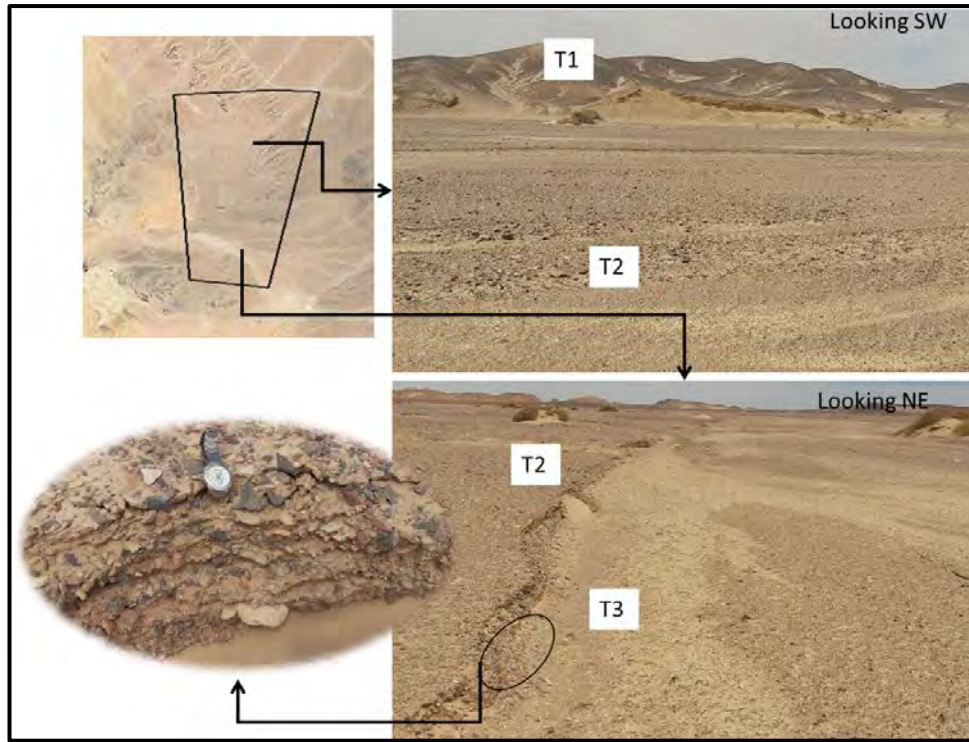
الشكل رقم ١٢: صور ميدانية للمدرجات T1 و T2

T2: تظهر هذه المدرجات على طول أرضية الروافد التي تخترق المدرجات T1 (الشكلان 13 و 14). يتراوح سمك المدرجات T2 المكشوفة (ارتفاعها عن سطح الأرض) بين 0.5 متر وحوالي 1.5 متر في الشمال الغربي، بينما يتراوح بين 0.5 متر وحوالي مترين في الجنوب الغربي. تتكون هذه المدرجات من عقيدات صوان متوسطة الحجم، وهي عبارة عن شظايا صخور نارية محصورة في طين ناعم ورمل. نسبة الطين الناعم والرمل أكبر من تلك الموجودة في المدرجات السابقة (T1).

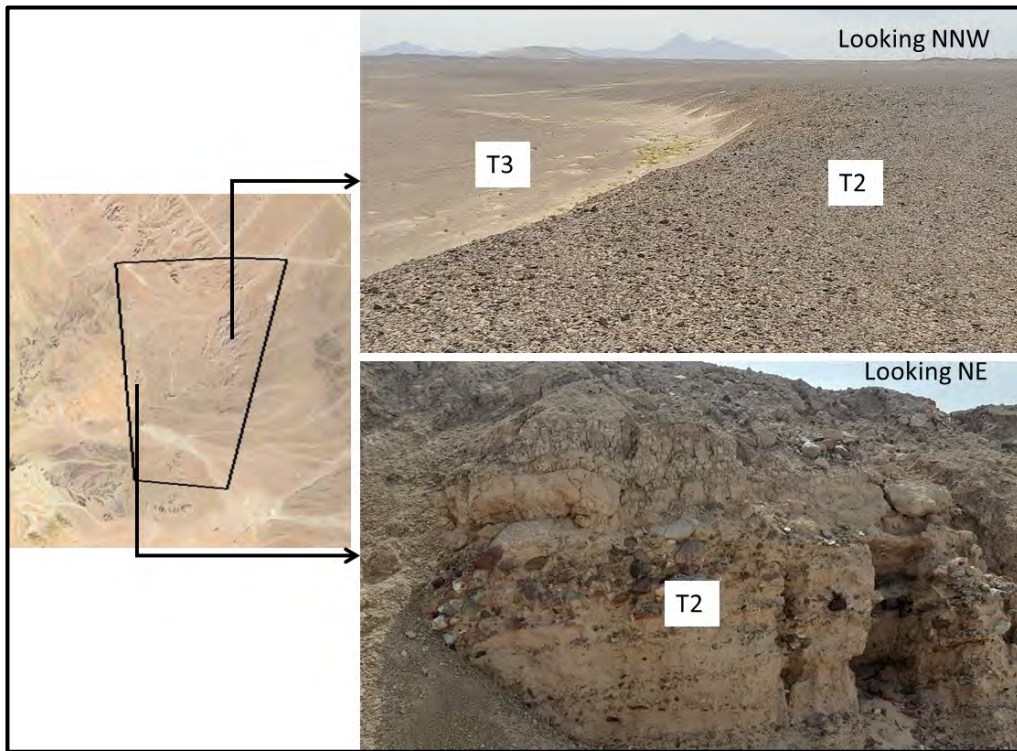


الشكل رقم ١٣: صور ميدانية للمدرجات T1 و T2

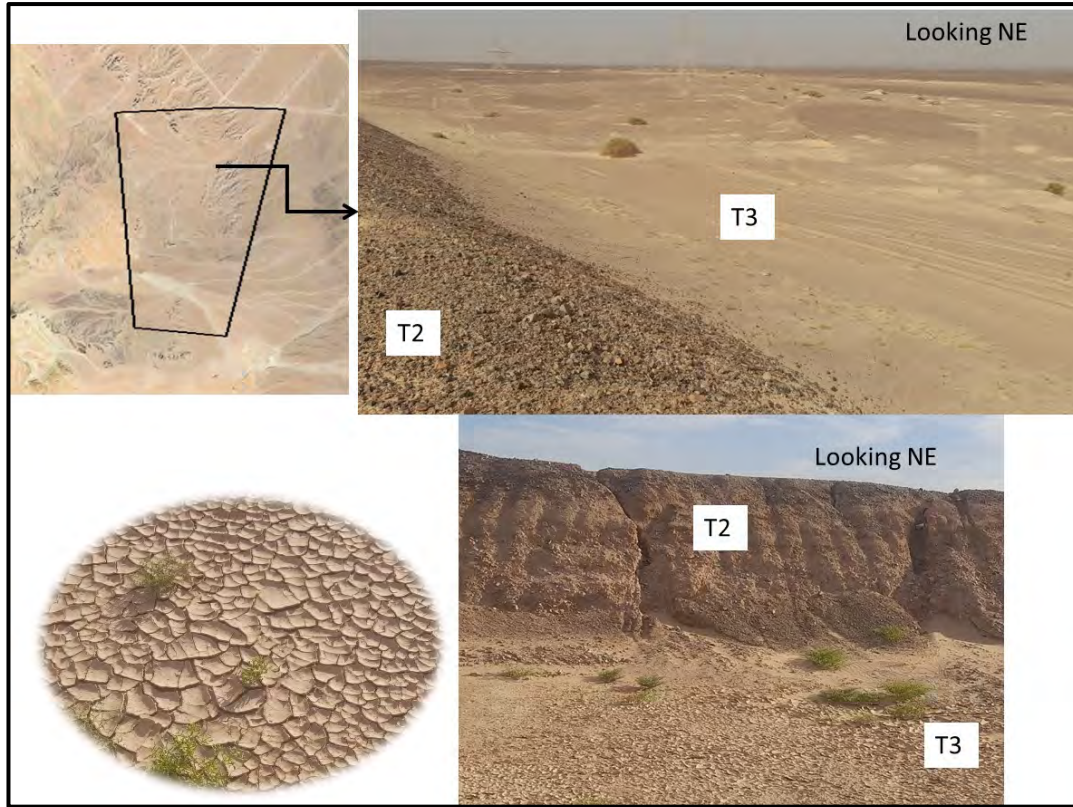
T3: تظهر هذه المدرجات على طول أرضية الروافد التي تخترق المدرج T2 (الأشكال 14، 15، 16). يتراوح سمك المدرج T3 المكشوف بين أقل من 0.5 متر وحوالي متر واحد في الشمال الشرقي، بينما يتراوح بين 0.5 متر وحوالي متر واحد في الوسط والجنوب الشرقي. يتكون هذا المدرج من عقيدات صغيرة، وهي شظايا من الصخور النارية المحصورة بين الطين الناعم والرمل. نسبة الطين الناعم والرمل أكبر من تلك الموجودة في المدرج T2 السابق.



الشكل رقم ١٤: صورة ميدانية لتوزيع T و T3 في موقع المشروع



الشكل رقم 15: صورة ميدانية لتوزيع T و T3 في موقع المشروع



الشكل رقم ١٦ : صورة ميدانية لتوزيع T و T3 في موقع المشروع

لوحظت تشققات الطين على سطح مصاطب T3 المرتبطة بآخر هطول الأمطار. هذا يعني أن التدفق السطحي ضعيف جداً

7. تقييم مخاطر الفيضانات

يمكن تحليل مخاطر الفيضانات من خلال النظر في المصطلحات الرئيسية لمعادلة المخاطر: الخطر، والضعف، والتعرض، والقدرة. بالمقارنة مع أنواع المخاطر الأخرى، يعاني تقييم مخاطر الفيضانات من خلل كبير في مستوى النضج في تقييم العناصر المختلفة: فبينما تُعد نمذجة المخاطر متقدمة جداً، فإن توصيف التعرض وتحليل الضعف لا يزالان غير متطورين (الاستراتيجية الدولية للحد من مخاطر الكوارث، 2017).

يتطلب تقييم مخاطر الفيضانات نمذجةً فيزيائية وإحصائية لحدث البدء (أي المُحفِّز، والذي عادةً ما يكون هطول الأمطار) وبعد ذلك نمذجة جريان/تطور هذا الحدث. في حالة خطر الفيضانات المفاجئة، يُنمذج الجريان باستخدام نموذج هيدرولوجي لتقييم مسار هطول الأمطار بشكل صحيح من هطول الأمطار إلى الجريان السطحي، ونموذج هيدروليكي لتقييم الامتدادات المكانية للمناطق المعرضة للفيضانات بالتفصيل. في هذا السياق، سيتم إجراء تحليلات كاملة لهطول الأمطار إما من بيانات مناخ الأقمار الصناعية أو السجلات الفعلية لهطول الأمطار، وتحليلات إحصائية للمعلومات المورفومترية لأحواض الصرف، وتحليلات هيدرولوجية وهيدرولوجية للموقع في الأقسام التالية. بعد الانتهاء من تقييم المخاطر، يتم تقييم مخاطر الفيضانات كمياً. سيتم النظر في العواقب والآثار السلبية المحتملة المرتبطة بالفيضان المفاجئ نوعياً ونوعياً.

يتم أيضاً مراعاة مستقبلات مخاطر الفيضانات بناءً على استخدامات الأراضي المختلفة سواء في موقع المشروع أو في المناطق المحيطة مع الهيئات الحكومية ذات الصلة والفئات المعنية.

سيتم إجراء تقييم للضعف والتعرض. يمثل الضعف خطوة مهمة في التقييم السليم لتأثير الفيضانات وجميع المؤشرات الكمية التي هي المنتج النهائي لتقييم المخاطر الاحتمالية. حتى الآن، في تقييم مخاطر الفيضانات، ربما تكون هذه هي الحلقة الأضعف. يتأثر الضعف بعوامل مثل ظروف المستوطنات والبنية التحتية وسياسة وقدرات السلطات وعدم المساواة الاجتماعية والأنماط الاقتصادية. سيتم النظر في ذلك بناءً على استخدامات الأراضي المختلفة ومستقبلات الفيضانات المهمة إما في الموقع أو في المناطق المحيطة به. يرتبط تقييم الضعف ارتباطاً وثيقاً بالقدرة على توصيف العناصر المعرضة للفيضانات بشكل صحيح. سيتم النظر في التعرضات المهمة للفيضانات ومستقبلات الفيضانات الموجودة في الموقع وسيتم تقييم مستوى ضعفها للفيضانات من خلال زيارات الموقع.

بناءً على السجل التاريخي للفيضانات المفاجئة في المنطقة، ونماذج تقييم مخاطر الفيضانات، ومستوى تعرض الموقع للفيضانات، ونقاط التعرض المهمة ومستقبلاتها، سيتم تحديد المناطق ذات احتمالية الفيضانات الكبيرة وقابليتها للتأثر داخل الموقع ورسم خرائط لها.

بعد ذلك، سيتم اقتراح تدابير التخفيف المناسبة بناءً على طبيعة المرافق المستخدمة.

سيتم استخدام مزيج من الأساليب التالية قدر الإمكان:

- * تقييم مخاطر الفيضانات التاريخية: معلومات عن الفيضانات المفاجئة التي حدثت في الماضي،
- * تحليل تنبؤي لتقييم المناطق المعرضة للفيضانات،
- * تدابير التخفيف من آثار الفيضانات بناءً على نماذج تقييم مخاطر الفيضانات، وإمكانية مستقبلاتها، والتدابير المطبقة في المرافق القريبة.

٧.١ مراجعة السجلات الميدانية والسجل التاريخي للفيضانات

يُعرّف الفيضان المفاجئ بأنه فيضان سريع التطور في غضون دقائق أو ساعات من هطول أمطار غزيرة دون ظهور علامات ظاهرة، أو حادث مثل انهيار سد أو حاجز. يمكن أن يحدث الفيضان المفاجئ أثناء عاصفة مطرية أو بعدها بفترة وجيزة، خاصةً عندما تهطل أمطار غزيرة على منحدرات شديدة الانحدار ذات تربة ضحلة وغير منفذة، وصخور مكشوفة، وغطاء نباتي ضعيف أو متناثر (لين، ١٩٩٩).

في السنوات الأخيرة، ازدادت وتيرة حدوث الفيضانات المفاجئة، مما تسبب في خسائر في الأرواح وأضرار جسيمة في مصر. وقد حدثت فيضانات مفاجئة مدمرة بشكل متكرر في مصر بين عامي ١٩٧٢ و ٢٠١٦ كما هو موضح في الجدول ٤.

الجدول رقم ٤: السجلات التاريخية للفيضانات المفاجئة على طول المناطق الساحلية للبحر الأحمر

التاريخ	المنطقة	الأضرار المسجلة والمراجع
أكتوبر ٢٠١٦	رأس غارب	الهيئات المحلية
فبراير ٢٠١٥	سيناء منطقة البحر الأحمر	أضرار الطرق
مايو ٢٠١٤	الزعفرانة، جزيت، طابا، سوهاج، أسوان، كوم أمبو، سفاجا	انهيار سد في سوهاج وتضرر الطريق
٢٠١٣	جنوب سيناء	وفاة شخصين وتضرر الطريق
٢٠١٢	و دهب منطقة كاترين	انهيار السد وتدمير المنازل
١٨-١٧ يناير ٢٠١٠	على طول البحر الأحمر	معهد بحوث موارد المياه
أكتوبر ٢٠٠٤	دبليو واتير	الطريق متضرر
مايو ١٩٩٧	سفاجا والقصر	- مركز المعلومات ودعم القرار بمحافظة البحر الأحمر، 2009. - الهيئة القومية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء - محافظة البحر الأحمر، 1997
نوفمبر ١٩٩٦	الغردقة ومرسى علم	
نوفمبر ١٩٩٤	سوهاج، قنا، سفاجا، القصر	
أغسطس ١٩٩١	مرسى علم	- تقارير محافظة البحر الأحمر، ١٩٩٤.
٢٠ أكتوبر ١٩٩٠	وادي الجمال بين مرسى علم وشلاتين	

٢٣ أكتوبر ١٩٧٩	مرسى علم والقصير	- الملف البيئي للبحر الأحمر، ٢٠٠٨
يناير ١٩٨٨	راس سدر	5 وفيات
أكتوبر ١٩٨٧	جنوب سيناء	1 حالة وفاة وتضرر الطرق
مايو، أكتوبر ١٩٧٩	أسوان، كوم أمبو، إدفو، أسيوط، مرسى علم، القصير	٢٣ حالة وفاة ومنازل مُهدّمة
فبراير ١٩٧٥	العريش	20 حالة وفاة وأضرار في الطرق
١٩٧٢	الجيزة	المنازل والطرق والمزارع المتضررة

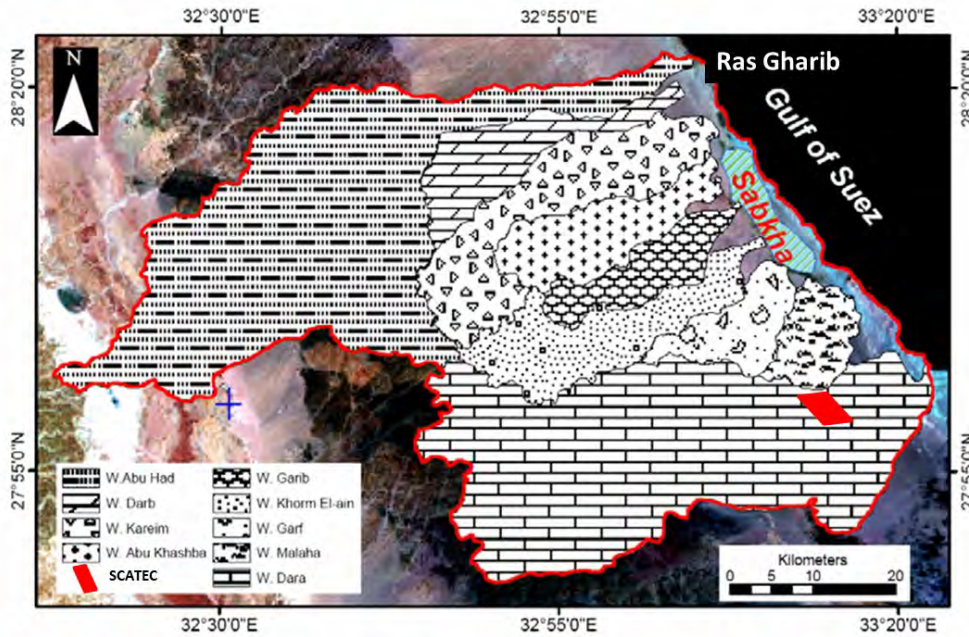
ولم تشهد منطقة وادي دارة أي أمطار غزيرة خلال الفترة من 26 إلى 27 أكتوبر/تشرين الأول 2016، في حين تعرضت مدينة رأس غارب التي تقع على بعد 45 كيلومتراً شمال الموقع لأضرار بالغة بسبب الفيضانات المفاجئة. (الشكل رقم 17).



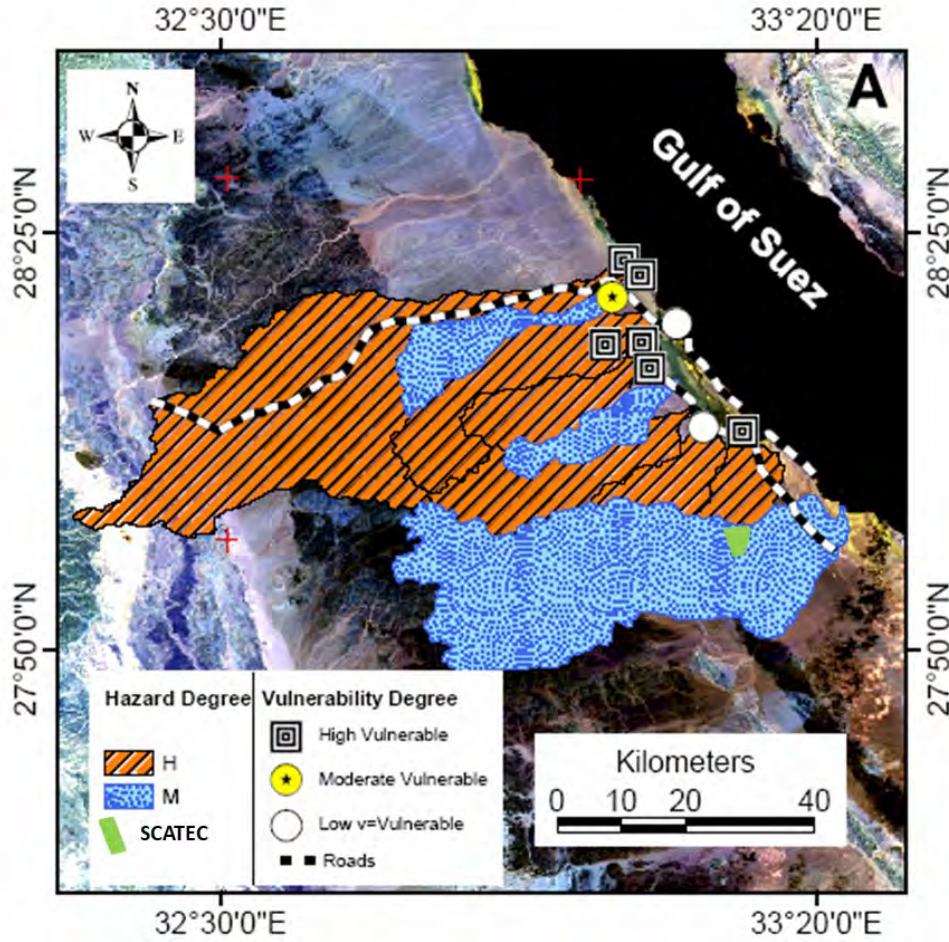
الشكل رقم ١٧: أضرار ناجمة عن فيضانات في رأس غارب، أكتوبر ٢٠١٦

تتحكم الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية السائدة في المنطقة في شدة وتوزيع الأضرار الناتجة عن الفيضانات في منطقة الدراسة. كما أن الكميات الكبيرة من الهطول خلال فترة زمنية قصيرة مع التنمية غير المخططة وغير المنظمة تزيد من تأثير الفيضانات. تشير النتائج إلى وجود حوضي تصريف يشكلان تهديدًا لمنطقة غارب مع احتمال كبير لحدوث فيضانات. وبناءً على ذلك، فإن إنشاء قناة تصريف حول المدينة بطول حوالي 38 كيلومترًا أمر ضروري لحماية المدينة من مخاطر الفيضانات في المستقبل.

استخدم يوسف وحجاب (2005) نظام المعلومات الجغرافية (GIS) والتحليل الإحصائي لتطوير نظام إدارة قاعدة بيانات لتقييم مخاطر الفيضانات في منطقة رأس غارب. وقد حددت دراستهم تسعة أحواض تصريف، من بينها وادي أبو حد ووادي الدرب اللذان يشكلان تهديدًا للمناطق الواقعة شمال موقع المشروع (الشكل 18). وباستخدام نهج درجة المخاطر الذي اقترحه الشامي (1992) ونماذج نظام المعلومات الجغرافية، أنشأوا خريطة لمخاطر الفيضانات وهشاشة المنطقة (الشكل 19).



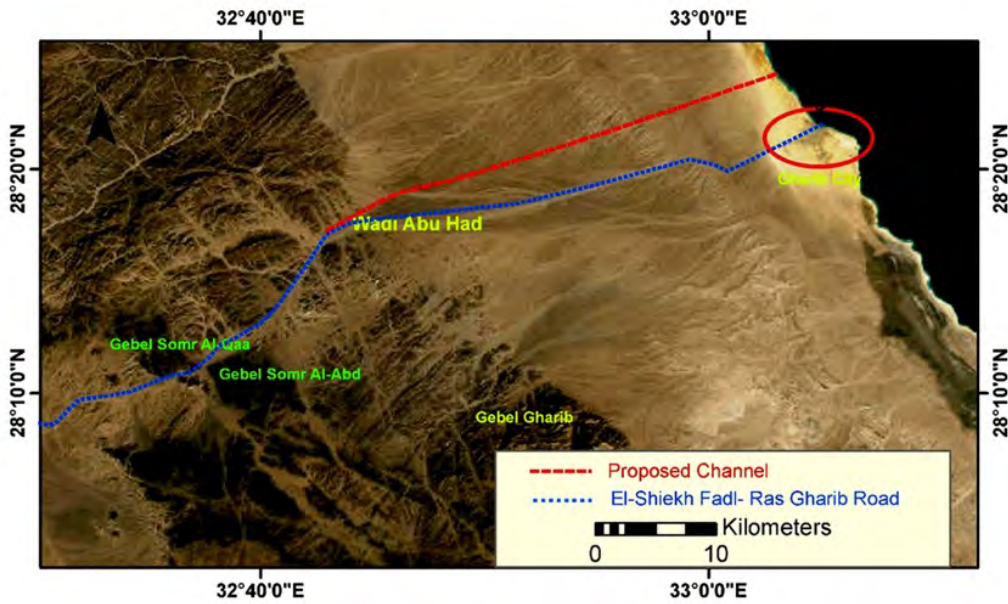
الشكل رقم ١٨: أحواض الصرف المحددة في المنطقة. تجدر الإشارة إلى أن موقع المشروع يقع ضمن حوض وادي دارا. (مُعدّل بعد يوسف وحجاب ٢٠٠٥)



الشكل رقم ١٩: خريطة مخاطر أحواض الصرف ونقاط الضعف في المنطقة. درجة خطر الفيضانات المفاجئة المتوقعة في الموقع متوسطة. بعد (يوسف وحجاب ٢٠٠٥)

إلناز وأخرون (2017) استخدموا أدوات نظم المعلومات الجغرافية لدراسة مخاطر الفيضانات المفاجئة التي تؤثر على مدينة رأس غارب. أشارت نتائجهم إلى أنه خلال فترات هطول الأمطار الغزيرة، تواجه رأس غارب مخاطر فيضانات كبيرة من وادي أبو حد ووادي الدرب، حيث يؤثر الأول على مركز المدينة بينما يؤثر الثاني على الجزء الجنوبي من المدينة (الشكل 18). وللتخفيف من تأثيرات الفيضانات، اقترح الباحثون إنشاء قناة بطول 38 كيلومترًا تتجه إلى شمال المدينة (الشكل 20). بالإضافة إلى ذلك، تم تحديد وادي الملاحة ووادي الجرف على أنهما يتمتعان بمخاطر عالية للفيضانات المفاجئة ولكن مع ضعف في القابلية للتأثر، ويرجع ذلك على الأرجح إلى صغر أحواض التصريف الخاصة بهما وتصريفهما في سبخة ملحية لا توجد بها أنشطة سكنية.

وفي المقابل، أظهر وادي دارا مستوى خطر متوسط للفيضانات المفاجئة ولكن دون تعرض كبير (الشكل 20).



الشكل رقم ٢٠: الموقع المقترح لقناة الفيضانات المفاجئة في منطقة الدراسة. (بعد الناظر وآخرون، ٢٠١٧)

2-7 ظروف المياه السطحية

يفتقر موقع المشروع والمناطق المحيطة به إلى وجود مسطحات مائية عذبة دائمة أو جداول مياه. ومع ذلك، تعبر المنطقة خطوط تصريف ضحلة وجافة تقوم بتوجيه الهطول المطري العرضي من جبال البحر الأحمر نحو خليج السويس. يمكن أن تكون هذه السيول المفاجئة شديدة، مما قد يتسبب في خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات. تشهد منطقة البحر الأحمر سيولاً موسمية مفاجئة تتميز بسرعة عالية، وفترة قصيرة، وقمم تصريف حادة. توضح السجلات التاريخية عدة أحداث كبيرة للسيول المفاجئة أثرت على المناطق الساحلية على طول البحر الأحمر، كما هو موضح في الجدول 7.

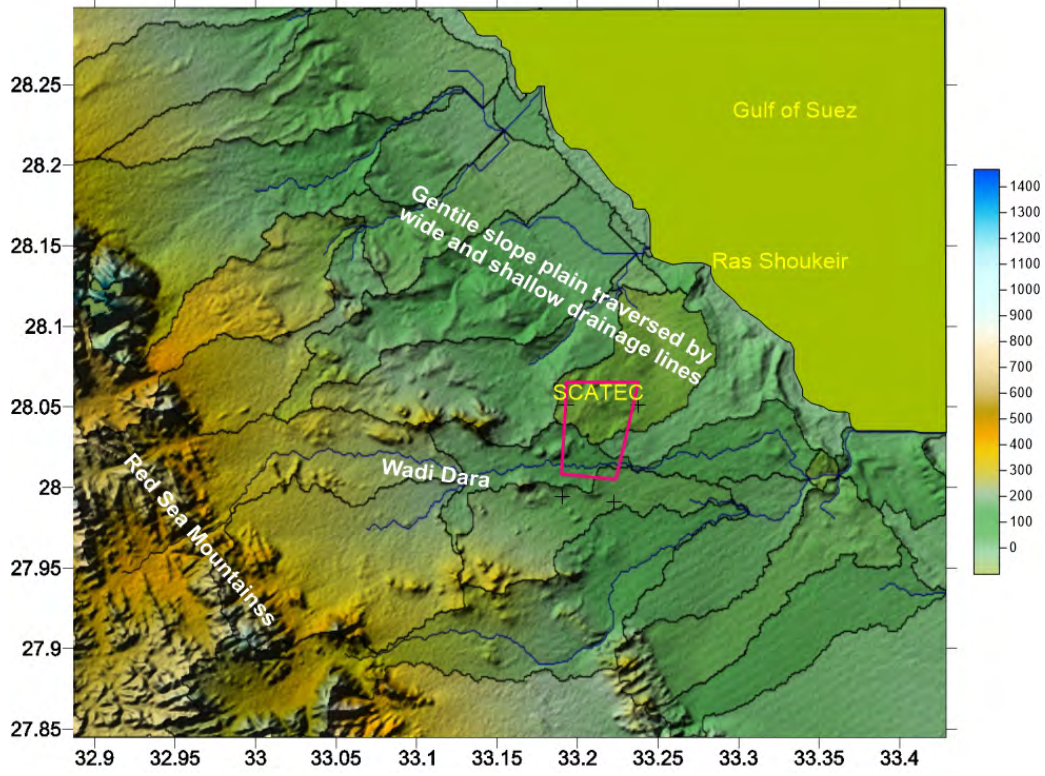
قام يوسف وآخرون (2024) بتحليل خصائص التربة واستخدام الأراضي في منطقة وادي دارا لتقدير حجم الجريان السطحي داخل الحوض. أظهرت النتائج أن متوسط الهطول السنوي الأقصى يبلغ حوالي 73 ملم/سنة على مساحة حوض إجمالية قدرها 1,175 كم² (تضم ستة أحواض)، مما يؤدي إلى إجمالي هطول سنوي يبلغ حوالي 85 × 10⁶ م³، منها 34 × 10⁶ م³ تساهم في الجريان السطحي. كما أظهرت التقديرات المستندة إلى حدث هطول مطري ليوم واحد أن التأثير يمكن أن يكون كبيراً. فعلى سبيل المثال، عاصفة مطرية بكمية هطول تصل إلى 27 ملم/يوم (وهو الحد الأقصى المسجل لهطول يومي) تؤدي إلى إجمالي حجم هطول يبلغ 31 × 10⁶ م³/يوم، منتجاً 3.5 × 10⁶ م³/يوم من الجريان السطحي.

تشير النتائج إلى أن حوالي 40% من الهطول السنوي يساهم في الجريان السطحي، بينما يتم فقدان 60% بسبب التسلسل والتبخر. بالإضافة إلى ذلك، فإن حوالي 11% فقط من إجمالي الجريان السطحي يتم توليده بواسطة حدث مطري واحد. هذه النتائج تبرز قدرة التربة العالية على الامتصاص في وادي دارا، مما يقلل بشكل فعال من كثافة الجريان السطحي.

3-7 العمل الميداني

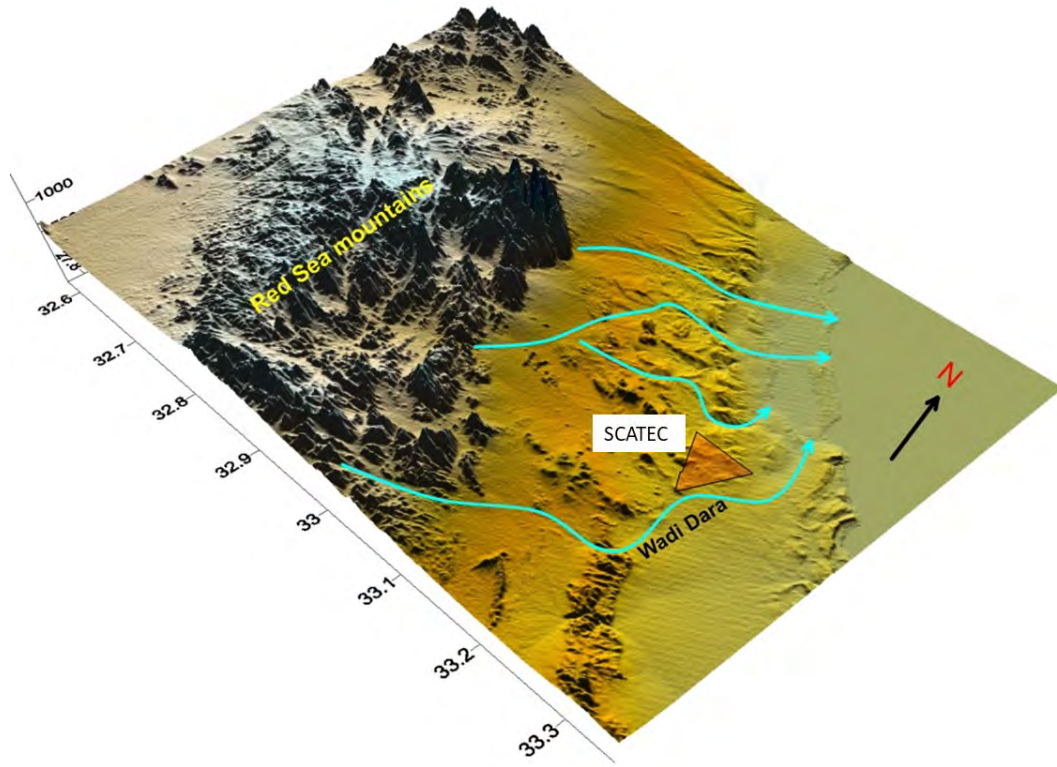
قبل زيارة الموقع، تم إجراء تحقيق أولي باستخدام الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية بالإضافة إلى نماذج الارتفاعات الرقمية المولدة من بيانات SRTM.

توضح الخريطة الطبوغرافية لمصر بمقياس 1:250,000 (الأوراق NH36-14 و NH36-15) أن موقع المشروع والمناطق المحيطة به تتميز بتضاريس بسيطة مع انحدار لطيف ومستمر نحو خليج السويس (الشكل 21). يقع الموقع ضمن سهل واسع يتقاطع مع خطوط تصريف واسعة وضحلة (الشكل 21).



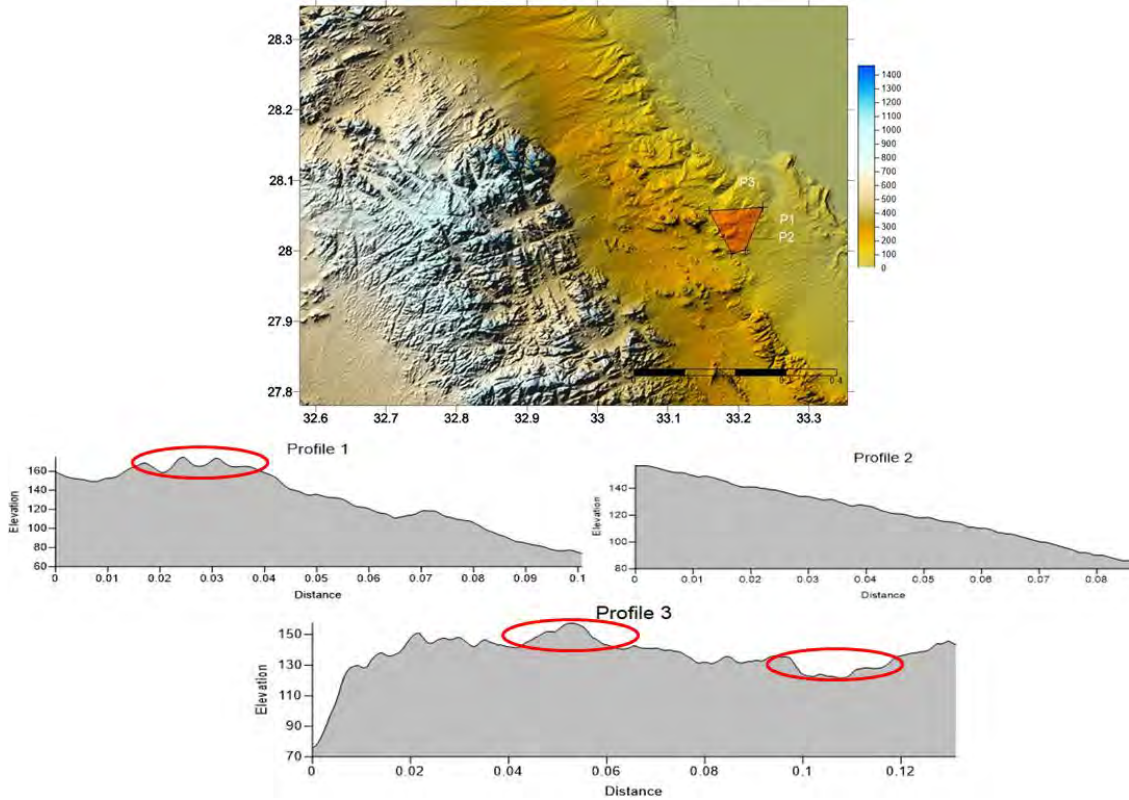
الشكل رقم ٢١: أحواض الصرف التي تعبر المنطقة المحيطة بموقع المشروع. يُرجى ملاحظة أن موقع المشروع يقع في الجزء السفلي من منطقة مستجمعات المياه في وادي دارا. تستند الخريطة المنشأة إلى نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة باستخدام برنامج آرك جي آي اس

يُعد وادي دارا أحد الأودية الجافة في المنطقة، يمتد من الشرق إلى الغرب في الجزء الجنوبي من موقع المشروع (الشكل 22)، ولا يُعتبر معرضًا لخطر السيول المفاجئة الخطرة. لتحليل تضاريس السطح الأرضي وانحداره في موقع المشروع، تم إنشاء ثلاثة مقاطع طبوغرافية باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (الشكل 23).



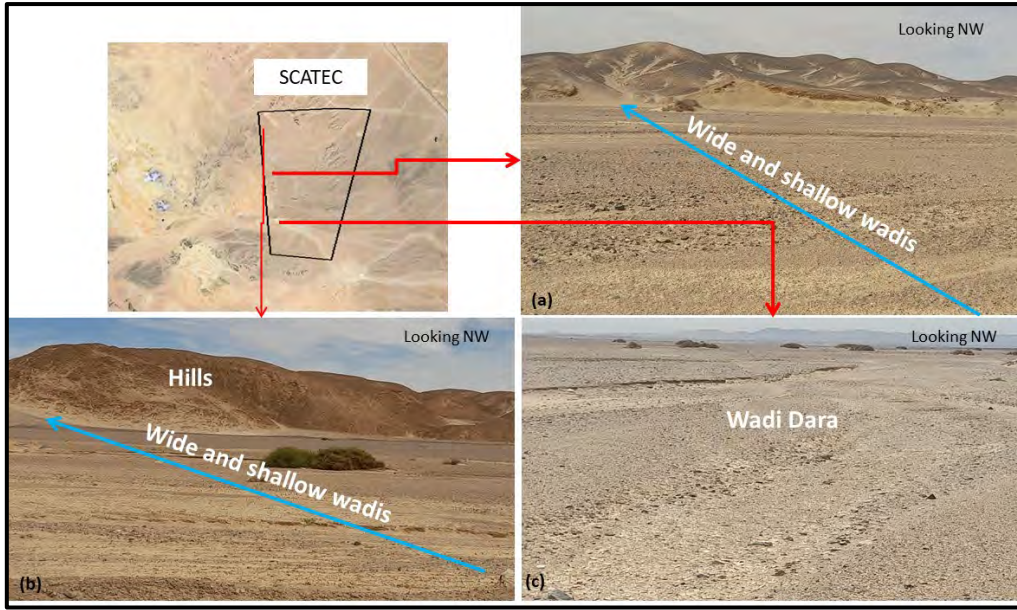
الشكل رقم ٢٢: الشكل ٤٥: نموذج ثلاثي الأبعاد للمنطقة مُنشأ من خرائط طوبوغرافية الرادار المكوّني هي جهد بحثي دولي باستخدام أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية الاحترافية، ويُظهر مسار غرب دارة جنوب الموقع

يمتد مقطعا الطبوغرافيا P1 و P2 من الشرق إلى الغرب، محاذاة مع خطوط التصريف عبر الموقع. بينما يتقاطع المقطع P3 مع خطوط التصريف في اتجاه شمال غرب - جنوب شرق عبر الجزء المركزي من الموقع (الشكل 23). يتراوح متوسط ارتفاع سطح الأرض ضمن موقع المشروع والمناطق المحيطة به بين 60 إلى 160 متراً فوق مستوى سطح البحر (الشكل 23).



الشكل رقم 23: الشكل 23: ثلاثة مقاطع طبوغرافية تم إنشاؤها على طول موقع المشروع

تُظهر المقاطع الطبوغرافية (P1 و P2) انخفاضاً طفيفاً في سطح الأرض في موقع المشروع، باستثناء الجزء الغربي، حيث ينحدر بلطف نحو الشرق، بالتوازي مع خطوط التصريف، مع ميل انحدار يبلغ حوالي 0.01. عمودياً على خطوط التصريف، يُظهر السطح الأرضي ميلاً طفيفاً للغاية نحو الجنوب والجنوب الشرقي، بمعدل انحدار يقارب 0.002. يُبرز المقطع P3 التكوين الضحل والواسع لخطوط التصريف، مما يشير إلى وجود تلال ضحلة ومشروحة تعبر موقع المشروع، مفصولة بقنوات تصريف عريضة وضحلة (الشكل 24).



الشكل رقم ٢٤: تلال ضحلة مُتقطعة، تفصلها خطوط تصريف ضحلة عريضة، مُركزة في موقع المشروع

فيما يتعلق باحتمالية حدوث سيول مفاجئة خطيرة في منطقة المشروع، ركزت الزيارة الميدانية على تحديد أي أدلة فعلية تؤكد حدوث السيول المفاجئة تحديداً ضمن منطقة المشروع. وفيما يلي أهم السمات التي لوحظت في الموقع:

1. تتميز منطقة المشروع بأنها واسعة وقريبة من الاستواء، مع وجود العديد من الروافد المستقيمة والضحلة والقصيرة. تشير هذه التضاريس البسيطة والانحدار الطفيف لسطح الأرض إلى ضعف شدة الجريان السطحي، مما لا يؤدي إلى تشكيل قنوات عميقة.
2. المجاري الرئيسية ضحلة وواسعة، ومغطاة بالرمال الناعمة والحصى الخشن، بما في ذلك الصوان وشظايا الصخور. يعكس هذا شدة التدفق الضعيفة، غير الكافية لحمل شظايا أكبر بحجم الصخور.
3. تظهر تلال ذات ارتفاعات متغيرة، تقطعها روافد المياه، في الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية من الموقع.
4. نحو الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية من الموقع، ظهرت خطوط تصريف ضحلة وواسعة جداً، مع رواسب حبيبية متعددة الأحجام. يشير الانخفاض في تعرج خطوط التصريف هذه كذلك إلى ضعف التدفق السطحي.
5. الروافد الصغيرة ضحلة ومستقيمة وتفتقر إلى المراوح الفيضانية الواسعة، مما يعكس الحجم الصغير للمياه المحمولة والتدفق البطيء للمياه السطحية.
6. تغطي المنطقة بأكملها طبقة سميكة من التربة ذات مسامية ونفاذية عالية، تتكون من صوان وشظايا صخور متعددة الأحجام مغمورة في الرمال. ينتج عن هذا تسرب كمية كبيرة من مياه الأمطار إلى السطح، مما يقلل من الجريان السطحي.
7. يجري المسار الرئيسي لوادي دارا عبر الجزء الجنوبي من الموقع.

بناءً على الدراسة الميدانية والصور المقدمة أعلاه، يمكن الاستنتاج أن حوض وادي دارا يعتبر حوضاً متوسط الخطورة من حيث أحداث الفيضانات المفاجئة. نظراً للتأثيرات المحتملة للاحتباس الحراري والتغيرات المتوقعة في كثافة هطول الأمطار في المنطقة، يوصى بتطوير نماذج للفيضانات المفاجئة لحوض دارا بأكمله. يجب أن تتضمن هذه النماذج كثافات تصميم وفترات عودة مختلفة لتقييم مدى خطورة مخاطر الفيضانات المفاجئة في حالة هطول أمطار أغزر بكثير من الأمطار التي تشهدها المنطقة حالياً.

7.4 المصدر – المسار – المستقبلات للفيضانات المفاجئة

يوفر نموذج المصدر – المسار – المستقبلات إطاراً نظامياً لتقييم نظم الفيضانات المفاجئة من حيث المكونات الفردية والعلاقات المتبادلة بينها. يُستخدم لوصف انتشار الفيضانات المفاجئة بدءاً من المصدر (المناطق العليا) مروراً بالمسارات (خطوط التصريف) وصولاً إلى المستقبلات عند مخارج أحواض التصريف (المناطق السفلى).

يأتي مصدر الفيضانات المفاجئة في كامل منطقة ساحل البحر الأحمر وخليج السويس من جبال البحر الأحمر المرتفعة غرباً. في حالات هطول الأمطار المكثفة، يتبع التدفق السطحي الانحدار الطبوغرافي الإقليمي متجهًا نحو الشرق. في الأجزاء العليا من أحواض التصريف، تتجمع المياه السطحية في العديد من الروافد الدقيقة المترابطة لتشكل خطوط صرف أكبر تؤدي إلى التيار الرئيسي في الأجزاء السفلى. وبناءً عليه، فإن مصدر الفيضانات المفاجئة هو الأراضي المرتفعة، بينما تكون المسارات هي التيارات الرئيسية لأحواض التصريف. وبالنظر إلى استخدامات الأراضي سواء داخل موقع المشروع أو في محيطه المباشر كما هو موضح في الجزء الأساسي، فإن مستقبلات الفيضانات المفاجئة في المنطقة محدودة للغاية وتقتصر في الغالب على المرافق الهندسية (مثل الطرق الرئيسية مع خدماتها كنقاط التفريش وسيارات الإسعاف ومحطات الوقود وخطوط الكهرباء وأبراج الاتصالات والأرصاد الجوية والمحطات الفرعية)، بالإضافة إلى المنازل والأنشطة الزراعية في وادي دارا والوحدات العسكرية ومرافق النفط والغاز الخام. وتشمل المناطق السكنية الكبيرة القريبة من الموقع مدينتي رأس غريب ورأس شكير. تم تطبيق العديد من إجراءات التخفيف من الفيضانات بعد العاصفة الشديدة التي وقعت في المنطقة عام 2016، مثل استخدام الممرات تحت الجسور لحماية الطرق، تخزين التدفق السطحي والسدود المعاد توجيهها، بالإضافة إلى استخدام الطوب الحجري والأسوار الخرسانية حول قاعدة المنشآت الهندسية. وسيتم ذكر إجراءات التخفيف المُطبقة في المناطق القريبة جدًا من الموقع لاحقًا في هذا التقرير.

7.5 هطول الأمطار في منطقة المشروع

تُعتبر الأمطار عاملاً رئيسياً يؤثر في الجريان السطحي داخل أحواض التصريف على طول ساحل خليج السويس. إذ يمكن لسرعة وحجم الجريان أن يحدد شدة الفيضانات، مما قد يؤثر على مناطق التنمية الحالية والمستقبلية. وعلى الرغم من محدودية الموارد المائية في المنطقة، إلا أنه من المهم النظر في الفوائد المحتملة للفيضانات والعمل على تقليل تأثيراتها السلبية؛ على سبيل المثال، يمكن اقتراح تدابير للتخفيف من مخاطر الفيضانات وجمع مياه الأمطار في مناطق مختلفة لاستخدامها في مشاريع التنمية.

عموماً، فإن هطول الأمطار في منطقة الدراسة نادر، إلا أنه عندما يحدث قد يؤدي إلى فيضانات مفاجئة في بعض الأحواض. وتختلف هذه الفيضانات المفاجئة في قوتها وحجمها وسرعتها تبعاً لكمية الأمطار، التي غالباً ما تكون غير منتظمة وتتميز بتقلبات زمنية ومكانية. كما تتقلب كميات الأمطار السنوية بشكل ملحوظ من عام لآخر ومن موقع لآخر داخل منطقة الدراسة، وهو ما يُعد من السمات المميزة لهطول الأمطار في المناطق الصحراوية، مما يسهم في حدوث الفيضانات.

7.4.1 قياسات الهطول من الصور الفضائية

تُعد الصور الفضائية أداة مهمة لدراسة أنماط الطقس والمناخ، إذ تتيح المراقبة المستمرة من خلال أنظمة الاستشعار عن بعد مثل أقمار NOAA. وتدعم هذه الصور النماذج الرياضية التي تقوم بتحليل الضغط الجوي ودرجة الحرارة وسماكة وكثافة طبقات الغلاف الجوي. ومن خلال تتبع حركة السحب واستخدام التلسكوبات عالية القدرة في النطاقات المرئية والحرارية، يمكن للأقمار حساب أنماط الرياح وتسجيل فروق درجات الحرارة؛ كما يوفر تحليل طبقات السحب بيانات مقارنة تقدم رؤى قيمة حول ظروف الطقس والمناخ.

استخدمت الدراسة بيانات من مشروع PERSIANN (تقدير الأمطار من المعلومات المستشعرة عن بعد باستخدام شبكات العصبية الاصطناعية)، الذي تم تطويره من قبل مركز الأرصاد والهيدرولوجيا والاستشعار عن بعد بجامعة كاليفورنيا. ويستخلص المشروع بيانات هطول الأمطار من الصور الفضائية باستخدام نماذج الشبكات العصبية. كما توفر بيانات PERSIANN-CCS (نظام تصنيف السحب لتقدير الأمطار من المعلومات المستشعرة عن بعد باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية) معلومات مكانية عالية الدقة بحجم خلية 4 كم × 4 كم. وتغطي الدراسة الفترة من 2015 إلى 2024، حيث تم تحليل الملفات الرقمية ونمذجتها لتقييم التغيرات المكانية والزمنية في أنماط هطول الأمطار على مدار فترة الدراسة. وفيما يلي عرض لنتائج التحليل المكاني والزمني لهذه البيانات:

7.4.1.1 متوسط هطول الأمطار السنوي في منطقة الدراسة

يعرض الجدول 5 متوسطات هطول الأمطار السنوية المقدرة للمنطقة، حيث تم احتساب متوسط هطول الأمطار السنوي ليصل إلى حوالي 1.1 مم سنوياً. وبناءً على ذلك، يُتوقع أن يحمل حوض تصريف وادي دارا حوالي 1.3 مليون متر³ من مياه الأمطار سنوياً على الأقل. ويمكن أن يتفاوت هذا الحجم من سنة إلى أخرى مع ارتفاع معدلات الهطول، وكذلك خلال الشهور التي تشهد عواصف مطرية أكثر

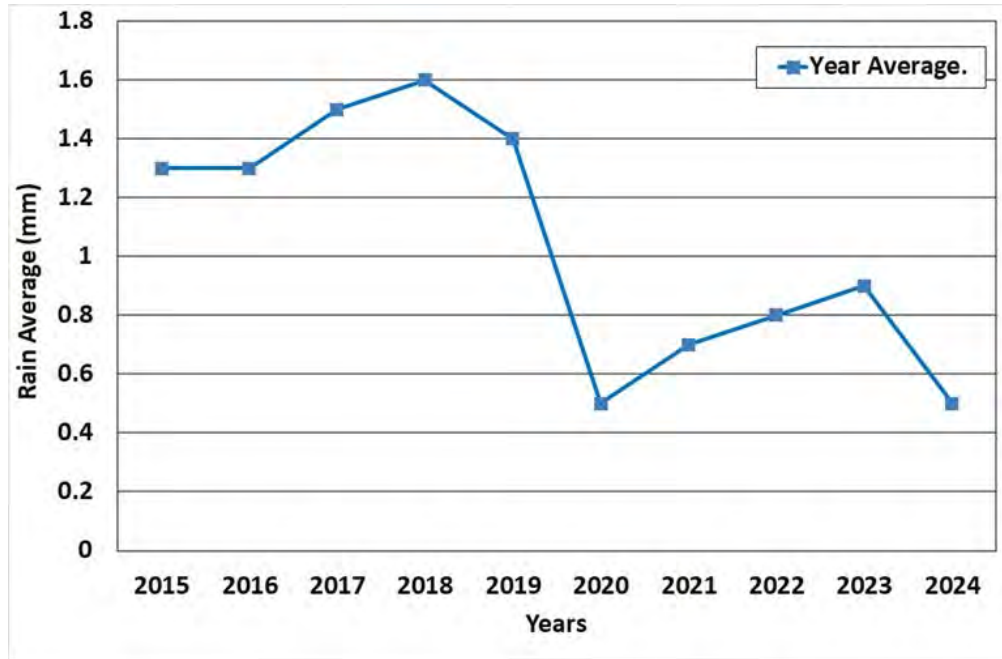
كثافة. وتوضح الشكلان 25 و26 التغير السنوي المتوقع في هطول الأمطار المحتمل عبر منطقة الدراسة، مع الإشارة إلى أن عام 2018 سجل أعلى كمية من الأمطار، حيث بلغ المتوسط حوالي 1.6 مم.

الجدول رقم ٥: التغير السنوي في هطول الأمطار المتوقع سقوطها على حوض المنطقة المدروسة خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢١)

السنة	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	AVE
متوسط السنة	1.3	1.3	1.5	1.6	1.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.5	1.1
إجمالي الأمطار	16	16.1	17.9	19.3	16.9	6.4	8.8	9.7	10.2	4.9	12.6
(%) التغير	-	0.00	15.38	6.67	12.5-	64.3-	40	14.3	12.5	44.4-	6.15-
الشتاء	1.53	1.07	1.27	3.9	3.73	0.5	1.13	1.5	0.37	1	1.6
الربيع	1.16	3.17	2.1	1.43	1.4	0.77	0.77	0.93	0.73	0.73	1.32
الصيف	0.27	0.07	0	0	0.4	0	0	0.17	1.37	0.27	0.26
الخريف	2.47	1.37	0.47	2.9	0.3	0.6	0.73	1.03	0.87	0	1.07

المصدر: تحليلات بيانات نظام PERSIANN-CCS خلال الفترة 2015-2024

تؤدي شدة الأمطار إلى استقبال حوض وادي دارا لحجم إجمالي من المياه يقارب 1.8 مليون متر³. وتظهر البيانات الواردة في الجدول المرفق أن كميات الأمطار المتوقعة أن تهطل على الحوض تتفاوت طوال فترة الدراسة (2024-2015).

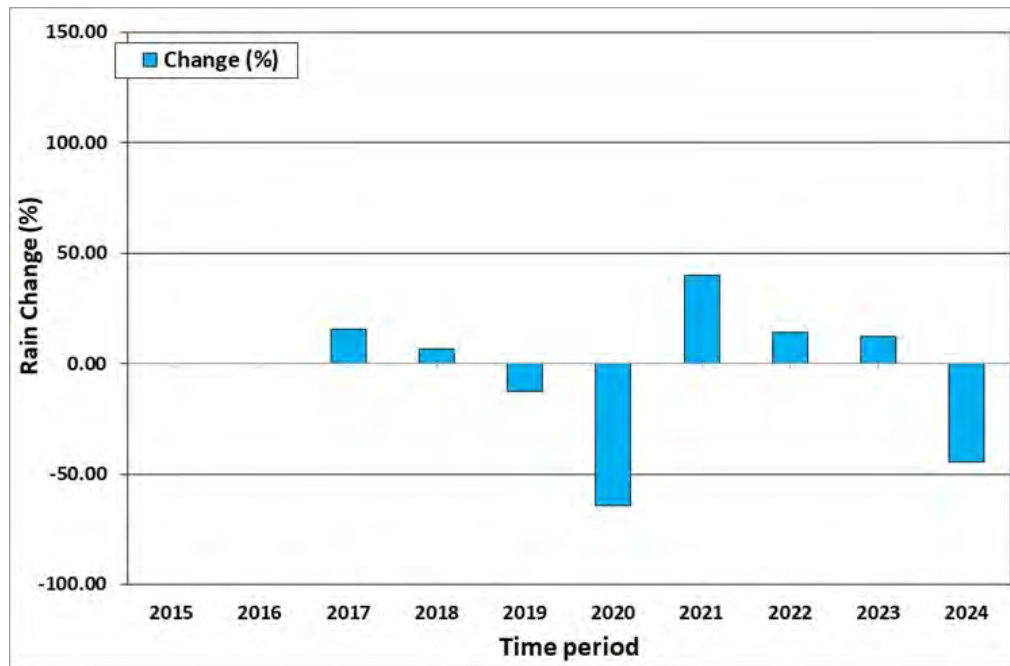


الشكل رقم ٢٥: متوسطات الأمطار السنوية المتوقعة على الحوض المدروس خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥)

الاتجاه العام لتوزيع مياه الأمطار شهد زيادة من عام 2015 حتى عام 2018، نتيجةً لحدوث عدة عواصف مطرية ملحوظة. وشملت الفيضانات المفاجئة خلال هذه الفترة عاصفة مطرية في الفترة من 26 إلى 27 أكتوبر 2016، التي أدت إلى حدوث جريان سطحي قوي في العديد من مناطق مصر، مما تسبب في أضرار واسعة النطاق وأسفر عن 26 حالة وفاة و72 إصابة، خاصة في محافظات البحر الأحمر، جنوب سيناء، وسوهاج. كما وقعت عاصفة مطرية كبرى أخرى في الفترة من 25 إلى 26 أبريل 2018، أدت إلى إغلاق طرق رئيسية، مثل طرق القطامية - عين سخو، وعين سخو - الزعفرانة، والكرات - الزعفرانة، بسبب الفيضانات المفاجئة الثقيلة. وتشمل العواصف المطرية الملحوظة الأخرى تلك التي حدثت في 25 يناير 2016، والتي تسببت في فيضانات مفاجئة مدمرة، وكذلك تلك التي في 24 ديسمبر 2016. وكان لعام 2018 تأثير خاص، إذ شهد عدة أحداث مطرية مكثفة، مثل عاصفة المطر في 24 يناير 2018 التي أدت إلى إغلاق الطرق بسبب السيول الكبيرة، وعاصفة 26 ديسمبر 2018.

يمكن ملاحظة انخفاض في كمية الأمطار من عام 2018 إلى 2020، على الرغم من حدوث عدة عواصف مطرية مكثفة، بما في ذلك عاصفة ستورم الملحوظة في الفترة من 11 إلى 13 مارس 2020، التي تسببت في فيضانات شديدة في شمال مصر. بالإضافة إلى ذلك، ساهمت العواصف المطرية في 7 و20 نوفمبر 2020 في هذه الفترة التي شهدت انخفاضاً في كمية الأمطار. وبلغ متوسط هطول الأمطار لعام 2020 (0.5) مم. ومع ذلك، بدأت كمية الأمطار في الزيادة تدريجياً في السنوات التالية، حيث وصلت إلى 0.7 مم في عام 2021، و0.8 مم في عام 2022، و0.9 مم في عام 2023. أما لعام 2024، فيُقدر متوسط هطول الأمطار المحتمل إجمالاً بنحو 0.5 مم للثلثين الأولين من العام، مع توقع زيادة لاحقاً، إذ لم تتوفر البيانات الكاملة بعد. ومن المتوقع أن تؤدي العواصف المطرية الملحوظة في عام 2024، بما في ذلك تلك التي في 1 فبراير و8 مارس، إلى رفع كمية الأمطار لهذا العام.

بشكل عام، تُظهر نسبة التغير في متوسط هطول الأمطار المتوقع في منطقة الدراسة قيمة -6.15%، مما يعكس انخفاضاً في تكرار وشدة العواصف المطرية القوية. ويرجع هذا الانخفاض إلى التغيرات الملحوظة في عدد وقوة العواصف المطرية، التي تميل إلى الزيادة بشكل ملحوظ خلال فصلي الشتاء والربيع من كل عام.

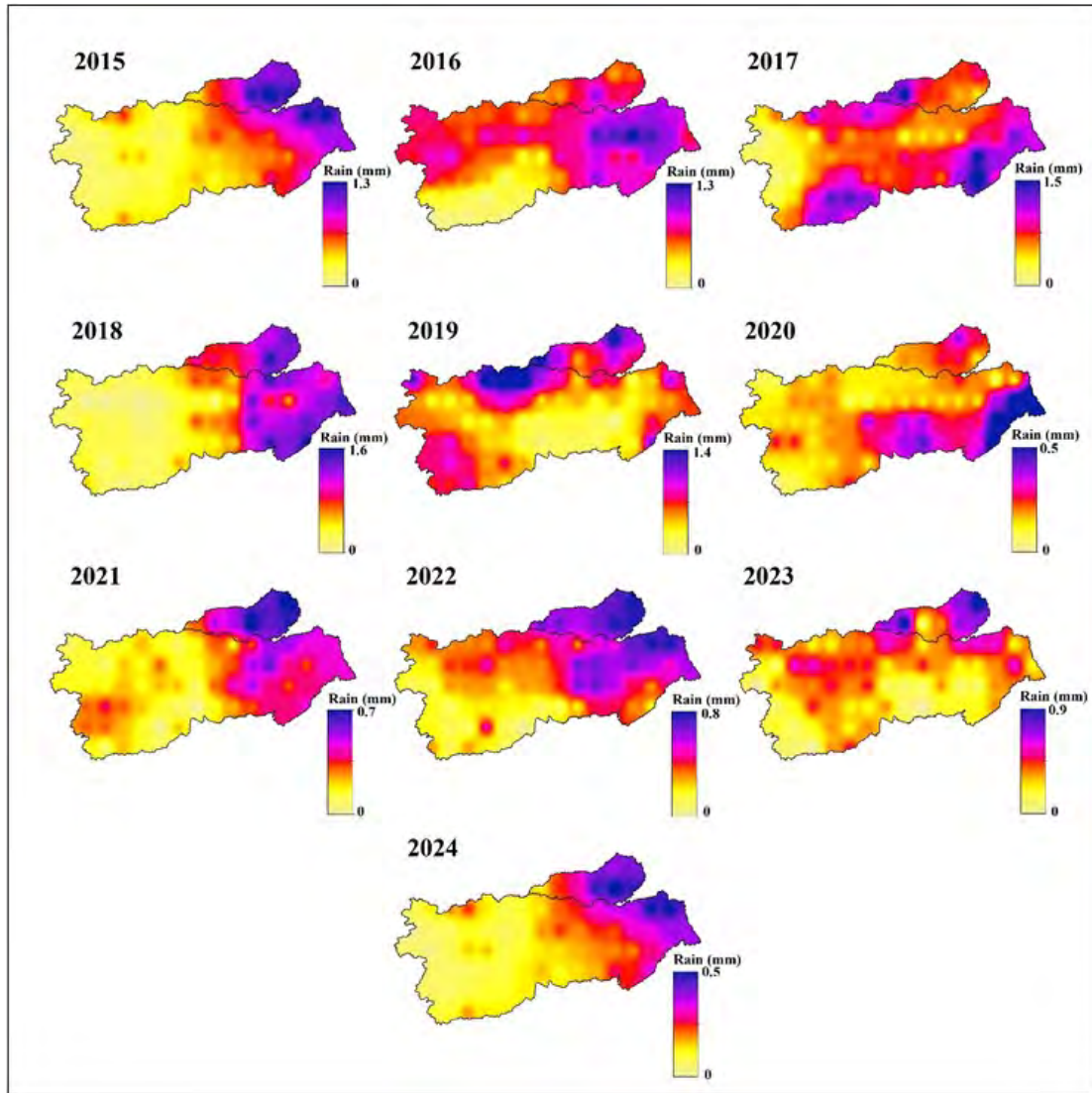


الشكل رقم ٢٦: التغير السنوي في كمية الأمطار المتوقعة على مستجمعات المياه في الحوض المدروس

الشكل أدناه يوضح التباين المكاني في هطول الأمطار عبر منطقة وادي دارا، حيث يبرز تركيز الأمطار الغزيرة في الأجزاء الشمالية والشرقية من منطقة الدراسة. وتمثل هذه المناطق التجمعات الرئيسية للعواصف المطيرة التي تمر عبر المنطقة.

ومن خلال دراسة كميات الأمطار المتوقعة في المنطقة وفقًا لبيانات الأقمار الصناعية المناخية، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1. يُتوقع أن يكون معدل التغير في هطول الأمطار خلال السنوات العشر (2024-2015) حوالي 1.1-6.15%. وهذا يعني أنه وفقًا للتغيرات المناخية السائدة، يؤدي تراكم السحب إلى انخفاض كمية الأمطار في منطقة الدراسة (انظر الجدول 5).
2. تتركز التراكبات الثقيلة للسحب المسببة للأمطار في الأجزاء الشرقية من منطقة الدراسة، وقد يعود ذلك إلى تأثير الرياح التي تدفع هذه السحب الكثيفة نحو الشرق.
3. يرتبط حدوث الأمطار الغزيرة عند مداخل الوديان بشكل كبير بكمية السحب المتراكمة والأمطار التي تهطل على الأجزاء الشرقية من المنطقة.



الشكل رقم ٢٧: التغيرات المكانية والزمانية في كمية الأمطار المتوقعة على حوض وادي دارا خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢١)

4. تلاحظ أن الأمطار في الجزء الأوسط من وادي دارا، حتى وإن كانت غزيرة، لا تؤدي إلى حدوث فيضانات مفاجئة قد تشكل تهديداً للمرافق الموجودة في الموقع. ويرجع ذلك إلى أن معظم الجريان السطحي في الروافد التي تعبر الموقع ناتج بشكل أساسي عن الأمطار المباشرة التي تسقط على الموقع.

5. مع هذا الاتجاه السلبي في انخفاض كميات السحب المتراكمة في الأجزاء الوسطى والشرقية من المنطقة نتيجة لتغيرات المناخ، قد ينخفض حجم الجريان السطحي. وهذا يتطلب تطبيق إجراءات بسيطة لحماية أي مرفق يقع على التيارات الرئيسية لخطوط التصريف.

7.4.1.2 متوسط هطول الأمطار الشهري المتوقع في منطقة الدراسة

يعرض الجدول 6 والشكل 28 المتوسطات الشهرية المحتملة لهطول الأمطار في منطقة الدراسة للفترة من 2015 إلى 2024. وتبرز شهرا فبراير ومارس كأشهر ذات أعلى معدل متوقع لهطول الأمطار، بمتوسط يقارب 1.8 مم. وتُعد هذه الشهور فترة انتقالية من الشتاء إلى الربيع، حيث تتزامن مع ذروة حدوث الانخفاضات الجوية على المنطقة الشرقية من مصر. وتساهم هذه التغيرات الجوية، بما في ذلك التحولات في الضغط وأنماط الرياح، في عدم استقرار ظروف الطقس، مما يؤدي إلى زيادة هطول الأمطار خلال هذه الفترة.

في شهر مارس، تم تسجيل أعلى متوسط لهطول الأمطار الشهري في عام 2016، حيث بلغ معدل الأمطار المتوقع 7.4 مم. كما سجل شهر مارس في عام 2018 معدل 1.9 مم من الأمطار المتوقعة.

أما بالنسبة لشهر فبراير، فقد شهد أعلى معدل لهطول الأمطار المتوقع في عام 2018، حيث بلغ 5.3 مم، تلاه عام 2019 بمعدل 5.2 مم، ثم عام 2015 بمعدل 2.1 مم.

يأتي شهرا أكتوبر ونوفمبر في المرتبة الثانية من حيث معدل هطول الأمطار المتوقع في المنطقة، حيث يمثلان بداية فصل الخريف، وهو الموسم الرئيسي لهطول الأمطار. خلال هذه الفترة، تبدأ درجات الحرارة في الانخفاض، ويزداد معدل مرور الانخفاضات الجوية على السواحل الشمالية، مما يزيد من فرص هطول الأمطار. ففي أكتوبر، تم تسجيل أعلى متوسط شهري لهطول الأمطار في عام 2015 بمعدل 6.2 مم، بينما بلغ المعدل 2.8 مم في عام 2016 و2.5 مم في عام 2018، مع تسجيل معدلات أقل في السنوات الأخرى. وفي نوفمبر، سجلت البيانات أعلى معدل لهطول الأمطار المتوقع في عام 2018 بمعدل 5.2 مم، وفي عام 2020 بمعدل 2.2 مم.

الجدول رقم ٦: المتوسطات الشهرية المحتملة لهطول الأمطار في المنطقة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥)

الشهور	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
المتوسط	1.5	1.8	1.8	1.4	0.8	0.7	0.0	0.1	0.1	1.7	1.7	1.6	1.1
الإجمالي													13.2

المصدر: تحليل بيانات PERSIANN-CCS خلال الفترة 20254-2015

يحتل شهر ديسمبر المرتبة الثالثة من حيث متوسط هطول الأمطار المتوقع، بمتوسط حوالي 1.6 مم، حيث بلغ ذروته 6.4 مم في عام 2017 و2.1 مم في عام 2021. ويتبعه شهر يناير بمتوسط هطول يبلغ 1.5 مم، مع بلوغه 5.0 مم في عام 2019 و2.9 مم في عام 2017. وتشهد أشهر الصيف—يوليو وأغسطس وسبتمبر—أقل معدلات لهطول الأمطار. يوضح الشكل (28) التباين في كميات هطول الأمطار الشهرية في منطقة وادي دارا للفترة من 2015 إلى 2024، حيث يُظهر زيادة في هطول الأمطار خلال فصلي الشتاء والربيع والخريف، وانخفاضاً خلال أشهر الصيف.



الشكل رقم ٢٨: التغير الشهري في كمية الأمطار المتوقعة على منطقة الدراسة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥)

7.4.1.3 متوسط هطول الأمطار الموسمية في منطقة الدراسة

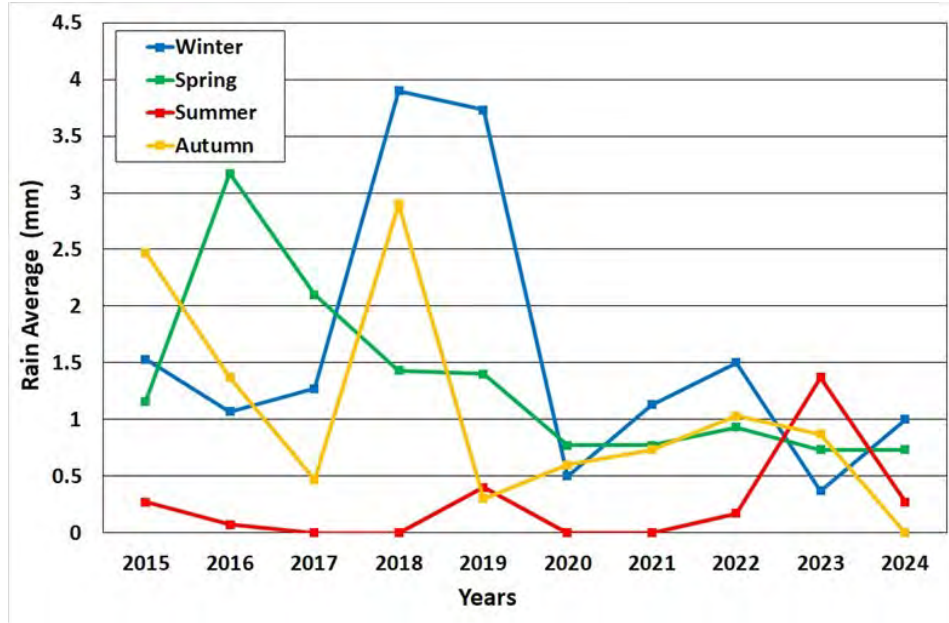
يعرض الجدول 7 والشكل 29 المتوسطات الموسمية المحتملة لهطول الأمطار في الحوض المدروس خلال الفترة (2024-2015). يُعد فصل الشتاء أعلى موسم من حيث كمية الأمطار المتوقعة، بمتوسط حوالي 1.6 مم خلال فترة الدراسة. وقد ارتفعت هذه الكمية لتصل إلى 3.9 مم في شتاء 2018 و 3.73 مم في شتاء 2019، وهو ما يرتبط بحدوث عدة عواصف مطرية وسائدة العديد من التقلبات الجوية في تلك السنوات. بينما سجلت معدلات أقل وصلت إلى 1.5 مم في شتاء 2015 و 2022.

الجدول رقم ٧: متوسطات هطول الأمطار الموسمية المتوقعة على المنطقة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥)

الأشهر	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	المتوسط
الشتاء	1.53	1.07	1.27	3.9	3.73	0.5	1.13	1.5	0.37	1	1.6
الربيع	1.16	3.17	2.1	1.43	1.4	0.77	0.77	0.93	0.73	0.73	1.32
الصيف	0.27	0.07	0	0	0.4	0	0	0.17	1.37	0.27	0.26
الخريف	2.47	1.37	0.47	2.9	0.3	0.6	0.73	1.03	0.87	0	1.07

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

يحتل فصل الربيع المرتبة الثانية من حيث هطول الأمطار، بمتوسط قدره 1.32 مم خلال فترة الدراسة. ويمكن أن يُعزى ذلك إلى الاضطرابات الجوية، بما في ذلك مرور الانخفاضات الجوية فوق شمال مصر، مما أدى إلى نشوء رياح الخماسين وزيادة كمية الأمطار. سجل فصل الخريف أعلى معدل لهطول الأمطار في عام 2018 بمعدل 2.9 مم، تلاه عام 2015 بمعدل 2.47 مم وعام 2016 بمعدل 1.37 مم. ومع ذلك، انخفض معدل هطول الأمطار في الخريف عام 2019 ليصل إلى أدنى قيمة له، حيث بلغ حوالي 0.3 مم.



الشكل رقم ٢٩: متوسط هطول الأمطار الموسمي المتوقع على منطقة الدراسة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥)

الصيف هو الجاف في العام، بمتوسط هطول أمطار حوالي 0.26 مم خلال فترة الدراسة. يعود ذلك إلى الظروف الصيفية الحارة والجافة والرطوبة للغاية في المنطقة، مما يحد من حدوث الأمطار.

7.4.1.4 المتوسط الشهري لأعلى كميات الأمطار خلال فترة الدراسة

يعرض الجدول 8 المتوسط الشهري المتوقع لهطول الأمطار مع أعلى الكميات خلال فترة الدراسة 2024-2015. برز شهر نوفمبر كالشهر الذي يُتوقع فيه أعلى معدل لهطول الأمطار، حيث بلغ المتوسط 16 مم في عام 2018. وقد سجل شهر أبريل 2019 أعلى معدل لهطول الأمطار بمعدل 98 مم، تلاه شهر مايو 2018 بمعدل 89 مم، وشهر ديسمبر 2021 بمعدل 83 مم.

تشير البيانات إلى أن أعلى المتوسطات الشهرية لهطول الأمطار تُلاحظ خلال فصل الشتاء، مع انخفاض تدريجي خلال فصلي الخريف والربيع، فيما تكون معدلات الأمطار في فصل الصيف ضئيلة. وقد بلغ متوسط هطول الأمطار المسجل في شهور نوفمبر، ويناير، وفبراير، ومارس حوالي 5.2 مم، و4.7 مم، و4.1 مم، و4.5 مم على التوالي. ويُعتبر فصل الشتاء هو الموسم الذي يُتوقع فيه أعلى معدل لهطول الأمطار، بمتوسط حوالي 4.17 مم عبر شهور ديسمبر، ويناير، وفبراير، مقارنة بـ 3.03 مم في الخريف، و2.97 مم في الربيع، و0.53 مم في الصيف.

الجدول رقم ٨: متوسط هطول الأمطار لأعلى كمية أمطار متوقعة شهرياً خلال الفترة (٢٠٢٤-٢٠١٥)

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
2015	4.0	5.0	9.0	1.0	2.0	1.0	0	0	0	13.0	4.0	1.0	3.3
2016	3	3	15	2	2	1	0	0	0	7	4	0	3.1
2017	10	1	2	8	4	0	0	0	0	0	4	14	3.6
2018	0	13	6	2	3	0	0	0	2	5	16	2	4.1
2019	18	13	3	5	1	2	0	0	0	0	1	1	3.7

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
2020	2	0	4	1	0	0	0	0	0	2	6	5	1.7
2021	3	1	1	1	3	0	0	0	0	2	3	7	1.8
2022	4	3	3	1	1	1	0	0	0	1	4	1	1.6
2023	1	0	0	2	2	6	3	0	1	2	5	2	2.0
2024	2	2	2	2	1	1	0	1	0	-	-	-	1.2
M AVE	4.7	4.1	4.5	2.5	1.9	1.2	0.3	0.1	0.3	3.6	5.2	3.7	2.7

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

7.4.1.5 التحليل السنوي لمتوسط كميات الأمطار المحسوبة المتوقعة خلال فترة الدراسة

من خلال تحليل بيانات الأقمار الصناعية لنظام PERSIANN-CCS خلال الفترة من 2015 إلى 2024، كشفت الحسابات عن متوسط هطول الأمطار السنوي المتوقع في المنطقة (انظر الجدول 9 والأشكال 30-409) ما يلي:

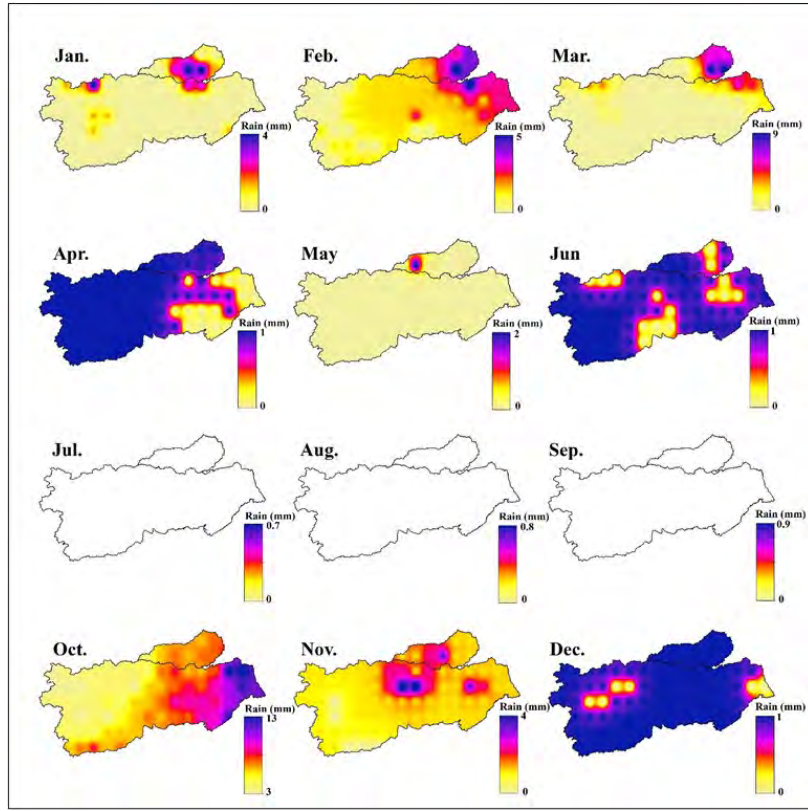
2015: كان متوسط هطول الأمطار السنوي المتوقع لعام 2015 حوالي 1.3 مم. ارتفع هذا المتوسط إلى 6.2 مم في شهر أكتوبر، بينما انخفض إلى صفر في شهور يوليو، وأغسطس، وسبتمبر. وسجل موسم الخريف أعلى معدلات هطول الأمطار المتوقعة للعام، حيث بلغ المتوسط حوالي 2.47 مم، تلاه موسم الشتاء بمعدل 0.53 مم (انظر الجدول 9 والشكل 30).

الجدول رقم 9: متوسط هطول الأمطار السنوي والشهري المحسوب في منطقة الدراسة خلال الفترة (٢٠٢١-٢٠١٥)

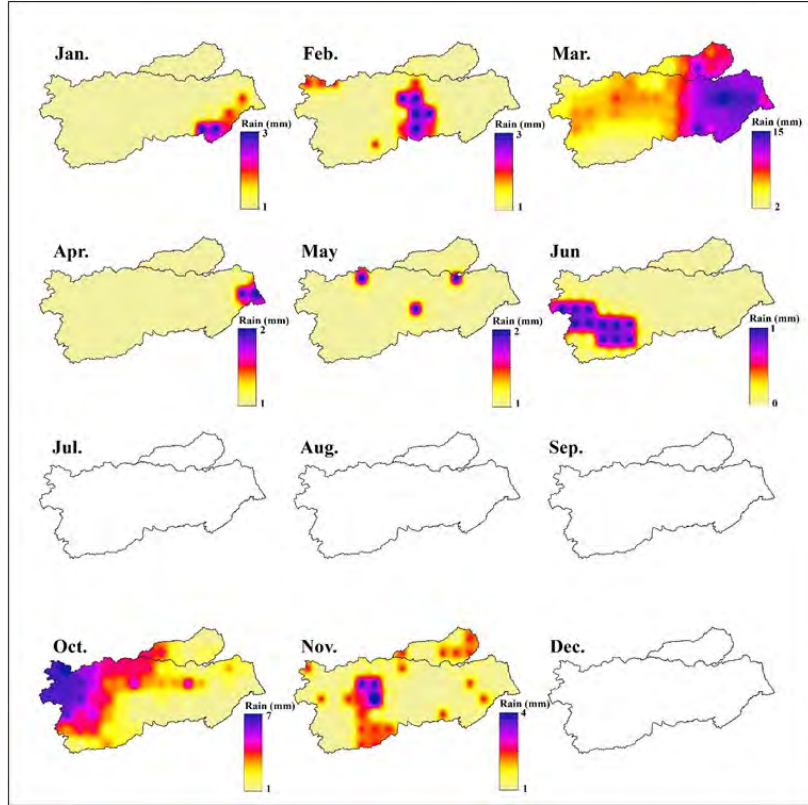
الأشهر	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	AVE
يناير	1.3	1.1	2.9	0	5	1.1	1.3	1.2	0.2	0.9	1.5
فبراير	2.1	1.2	0.9	5.3	5.2	0	0.9	1.2	0	1	1.8
مارس	1.7	7.4	1.1	1.9	1.4	1.4	0.5	1.2	0	1.1	1.8
أبريل	0.8	1	4.3	1.1	1.9	0.9	0.9	0.9	1.1	1	1.4
مايو	1	1.1	0.9	1.3	0.9	0	0.9	0.7	1.1	0.1	0.8
يونيو	0.8	0.2	0	0	1.2	0	0	0.5	3.7	0	0.7
يوليو	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.7	0
أغسطس	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
سبتمبر	0	0	0	1	0	0	0	0	0.2	-	0.1
أكتوبر	6.2	2.8	0	2.5	0	0.9	1.1	0.9	1.1	-	1.7
نوفمبر	1.2	1.3	1.4	5.2	0.9	0.9	1.1	2.2	1.3	-	1.7
ديسمبر	0.9	0	6.4	1	0.4	1.2	2.1	0.9	1.1	-	1.6
المتوسط	1.3	1.3	1.5	1.6	1.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.5	1.1

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

2016: كان متوسط هطول الأمطار السنوي المتوقع لهذا العام حوالي 1.3 مم، حيث ارتفع ليصل إلى 7.4 مم في شهر مارس، و2.8 مم في شهر أكتوبر، و1.3 مم في شهر نوفمبر. يُعد فصل الربيع أعلى موسم من حيث معدل الأمطار المتوقع، إذ بلغ 3.17 مم، يليه فصل الخريف بحوالي 1.37 مم، ثم فصل الشتاء بحوالي 1.07 مم (انظر الجدول 9 والشكل 31).



الشكل رقم ٣٠: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٥

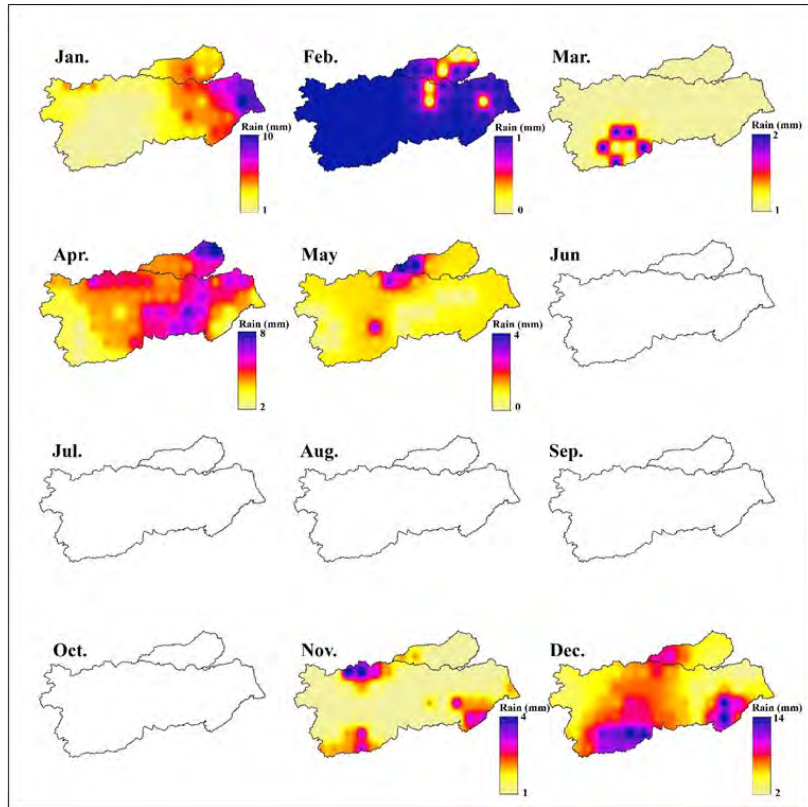


الشكل رقم ٣١: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٧

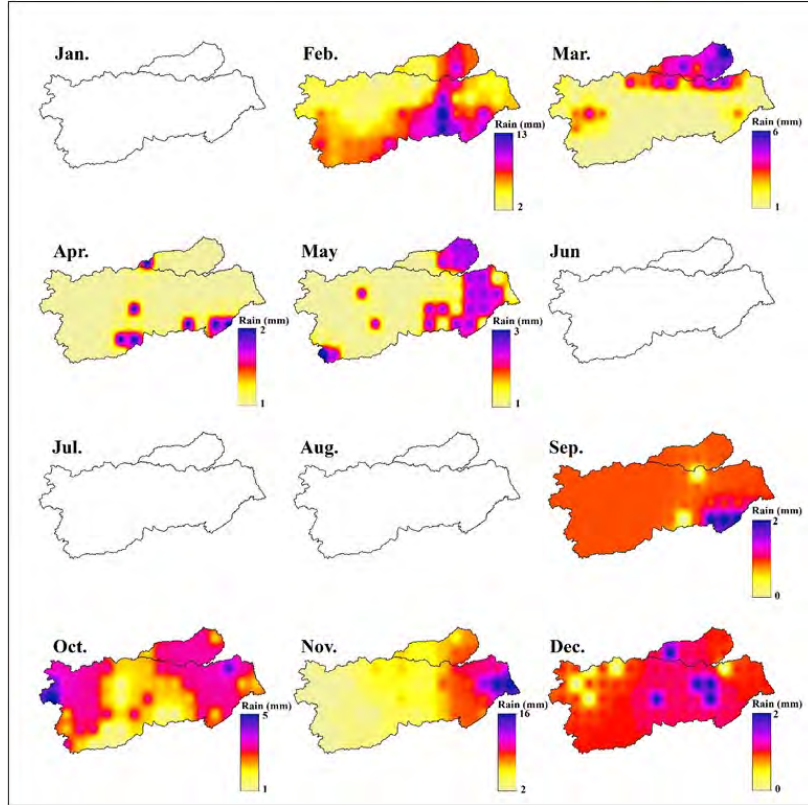
2017: زاد متوسط هطول الأمطار السنوي المتوقع لهذا العام إلى حوالي 1.5 مم، بزيادة تقريبية قدرها 15.38%. وبلغت أعلى قيمة في ديسمبر حوالي 6.4 مم، تلاها يناير بحوالي 2.9 مم. جاء فصل الربيع في المرتبة الأولى من حيث معدل الأمطار المتوقع بمتوسط حوالي 2.1 مم، يليه فصل الشتاء بحوالي 1.27 مم، ثم فصل الخريف بحوالي 0.47 مم (انظر الجدول 9 والشكل 32).

2018: يُعد هذا العام الأعلى من حيث الأمطار المتوقعة وفقاً للصور الفضائية، بمتوسط حوالي 1.6 مم. وكانت أعلى قيمة مسجلة في فبراير حيث بلغت 5.3 مم. وفي الثالث والعشرين من فبراير، مرت عاصفة مطرية قوية أدت إلى تدفق كبير للمياه في أحواض الجزء الأوسط والجنوب من خليج السويس. جاء شهر نوفمبر في المرتبة الثانية هذا العام، حيث بلغ حوالي 5.2 مم، تلاه شهر أكتوبر بمعدل

2.5 مم. وكان فصل الشتاء هو الأعلى معدلاً للأمطار هذا العام بمتوسط حوالي 3.9 مم، يليه فصل الخريف بمتوسط حوالي 2.9 مم، ثم فصل الربيع بمتوسط حوالي 1.43 مم (انظر الجدول 9 والشكل 33).

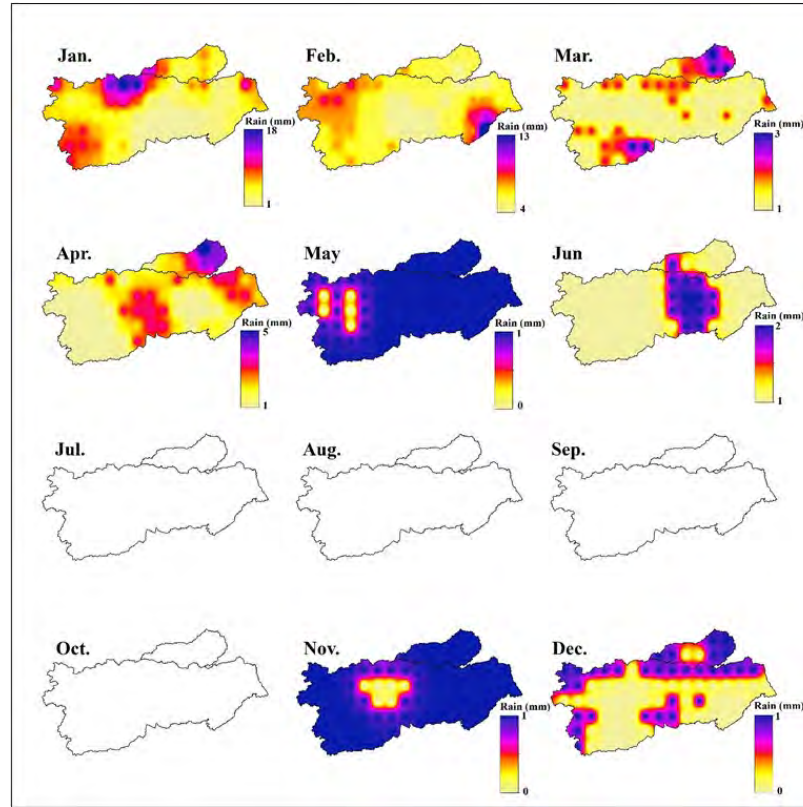


الشكل رقم ٣٢: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٧



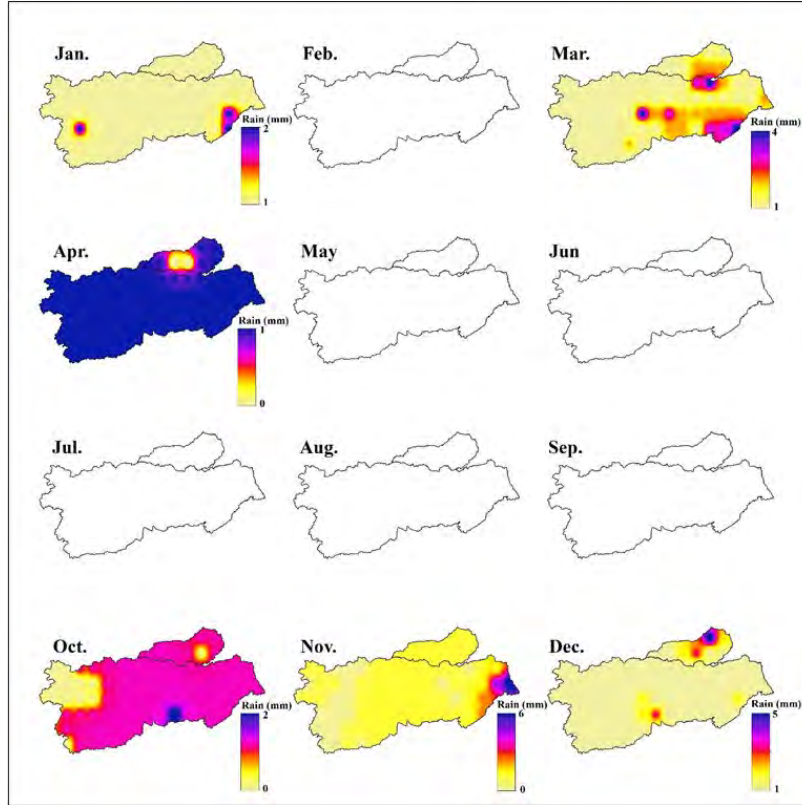
الشكل رقم ٣٣: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع على المنطقة لعام ٢٠١٨

2019: انخفض متوسط هطول الأمطار السنوي المتوقع في هذا العام مقارنةً بالعام السابق، حيث بلغ المتوسط السنوي حوالي 1.4 مم، مع معدل انخفاض قدره 12.5%. وكان شهر فبراير أعلى شهر في العام بمتوسط حوالي 5 مم، يليه شهر أبريل حيث بلغ معدل هطول الأمطار 1.9 مم. وفيما يتعلق بالمواسم، فإن فصل الشتاء كان الأعلى معدلًا للأمطار هذا العام، حيث بلغ حوالي 3.73 مم، يليه فصل الربيع بمتوسط 1.4 مم، ثم فصل الصيف بمعدل 0.4 مم (انظر الجدول 9 والشكل 34).



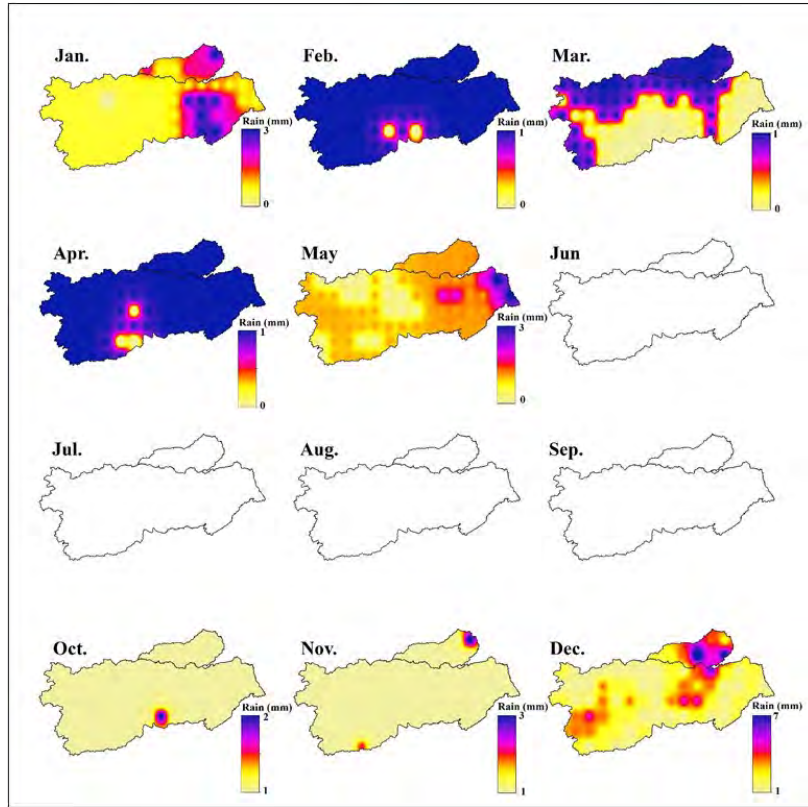
الشكل رقم 34: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2019 على المنطقة

2020: انخفض متوسط هطول الأمطار السنوي المتوقع في هذا العام إلى حوالي 0.5 مم مع معدل انخفاض قدره 64.29%. وكان شهر مارس هو الأعلى معدلًا لهذا العام بمتوسط حوالي 1.4 مم. وفيما يتعلق بالمواسم، فإن فصل الربيع هو الأعلى معدلًا للأمطار، حيث بلغ متوسط هطول الأمطار المتوقع حوالي 0.77 مم، يليه فصل الخريف بمتوسط 0.6 مم، ثم فصل الشتاء بمتوسط 0.5 مم (انظر الجدول 9 والشكل 35).



الشكل رقم 35: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2020 على المنطقة

2021: زاد متوسط هطول الأمطار العام في هذا العام ليصل إلى حوالي 0.7 مم، بزيادة نسبتها 40% مقارنةً بالعام السابق. ويُعتبر شهر ديسمبر هو الأعلى معدلًا لهذا العام بمتوسط حوالي 2.1 مم، يليه شهر يناير بمعدل حوالي 1.3 مم، ثم شهرًا أكتوبر ونوفمبر بمعدل حوالي 1.1 مم. وكان فصل الشتاء هو الموسم الأعلى من حيث معدل الأمطار المتوقع، حيث بلغ حوالي 1.13 مم، يليه فصل الربيع بمتوسط 0.77 مم، ثم فصل الخريف بمعدل حوالي 0.73 مم (انظر الجدول 9 والشكل 36).



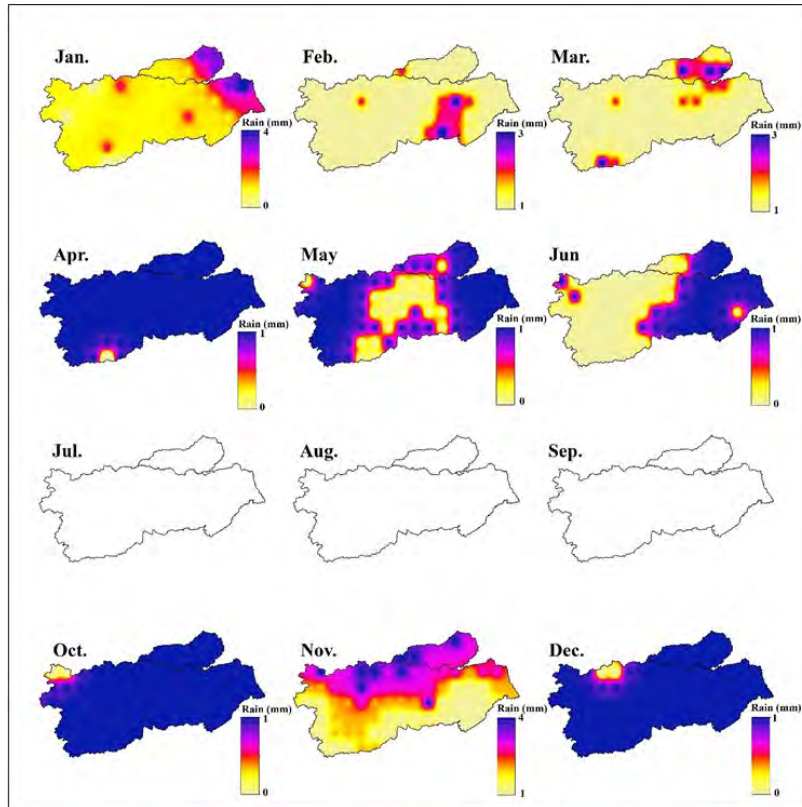
الشكل رقم 36: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2021 على المنطقة

2022: كان متوسط هطول الأمطار لهذا العام حوالي 0.8 مم، بزيادة قدرها حوالي 14.29% مقارنةً بالعام السابق. ويُعد شهر نوفمبر الأعلى من حيث الأمطار لهذا العام، حيث بلغ حوالي 2.2 مم، تليه شهور يناير، وفبراير، ومارس بمعدل حوالي 1.2 مم لكل منها. وعلى المستوى الموسمي، كان فصل الشتاء الأعلى معدلًا للأمطار بمتوسط حوالي 1.5 مم، يليه فصل الخريف بمتوسط 1.03 مم، ثم فصل الربيع بمتوسط 0.93 مم (انظر الجدول 9 والشكل 37).

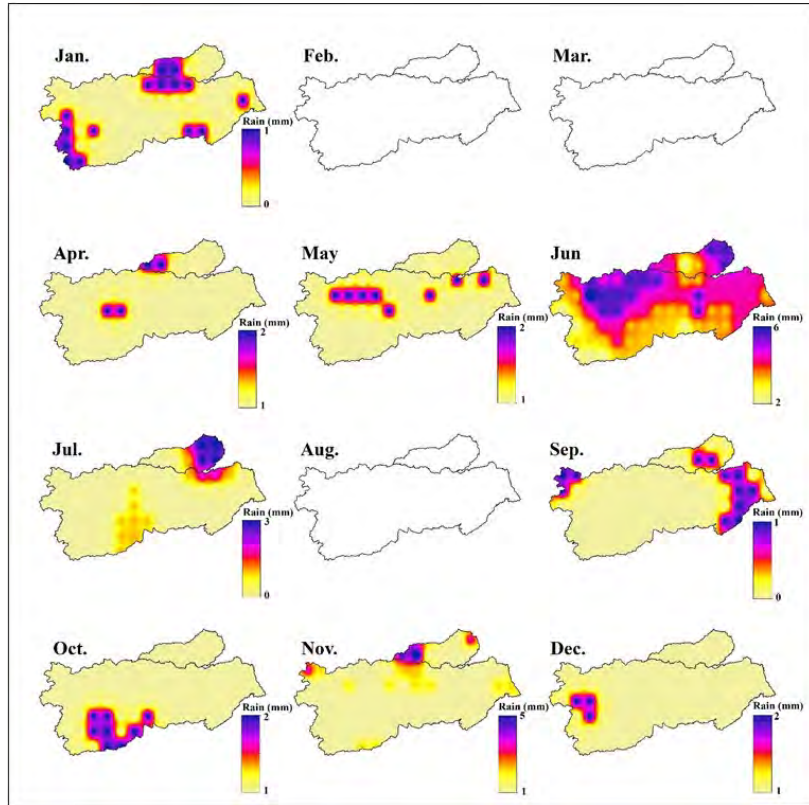
2023: ارتفع متوسط هطول الأمطار إلى 0.9 مم، بزيادة قدرها 12.5% مقارنةً بالعام السابق. وكان شهر يونيو هو الشهر الذي سجل أعلى معدل للأمطار، حيث بلغ 3.7 مم، يليه شهر نوفمبر بمعدل حوالي 1.3 مم. وعلى المستوى الموسمي، كان فصل الصيف الأعلى معدلًا للأمطار بمعدل 1.37 مم، يليه فصل الخريف بمعدل 0.87 مم، ثم فصل الربيع بمعدل 0.73 مم، وأخيرًا فصل الشتاء بمعدل 0.37 مم (انظر الجدول 9 والشكل 38).

2024: انخفض متوسط هطول الأمطار السنوي لهذا العام مقارنةً بالعام السابق، حيث بلغ المتوسط المحتمل حوالي 0.5 مم، مع معدل انخفاض قدره 44.44%. ويرجع ذلك إلى عدم توفر الصور الفضائية للثلث الأخير من هذا العام، إذ تتوفر الصور فقط لفصلي الشتاء والربيع والصيف. وكان شهر مارس هو الأعلى معدلًا للأمطار بمتوسط حوالي 1.1 مم، يليه شهري فبراير وأبريل بمعدل محتمل قدره 1.0

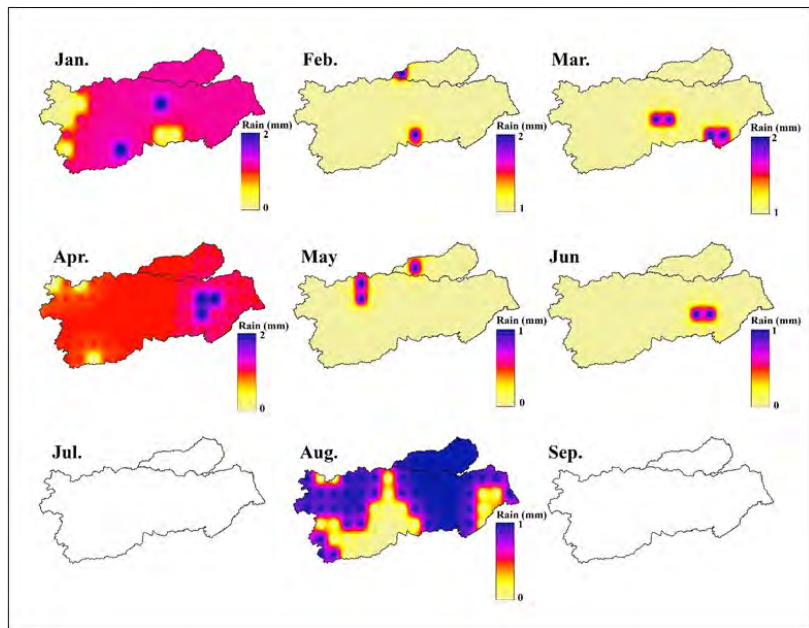
مم لكل منهما. وعلى المستوى الموسمي، كان فصل الشتاء الأعلى معدلًا للأمطار بمتوسط حوالي 1.0 مم، يليه فصل الربيع بمعدل 0.73 مم، ثم فصل الصيف بمعدل 0.27 مم، ولا تتوفر بيانات لفصل الخريف (انظر الجدول 9 والشكل 39).



الشكل رقم 37: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2022 على المنطقة



الشكل رقم 38: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2023 على المنطقة



الشكل رقم 39: معدل هطول الأمطار الشهري المتوقع لعام 2024 على المنطقة

7.4.2 بيانات الأمطار المقاسة وتصميم العواصف المطرية

تم جمع بيانات هطول الأمطار الفعلية المستخدمة في هذا الجزء من الهيئة المصرية للأرصاد الجوية، وذلك من أقرب محطة أرصاد جوية إلى منطقة الدراسة، وهي محطة الجونة (الشكل 40). تغطي البيانات فترة زمنية مدتها 10 سنوات من عام 2016 إلى 2024، متوافقة مع صور الأقمار الصناعية المناخية المختارة لضمان الاتساق.



الشكل رقم 40: محطات الأرصاد الجوية القريبة من حوض المنطقة

7.4.2.1 بيانات الأمطار الحديثة

استنادًا إلى المقارنة بين بيانات الأمطار المتوقعة من صور الأقمار الصناعية وتلك المقاسة (الجدول 10 و 11)، يمكن استخلاص الملاحظات الهامة التالية:

- في أكتوبر 2016، شهدت منطقة الدراسة هطول أمطار غزيرة أدت إلى حدوث فيضان خطير في مدينة رأس غارب. فقد قدرت بيانات الأقمار الصناعية عمق الأمطار بـ 7 مم، بينما سجلت أقرب محطة أرصاد جوية قياسًا فعليًا بلغ 51.3 مم. يُعد هذا التفاوت غير معتاد، إذ عادةً ما تكون كمية الأمطار الفعلية أقل من القيم المقدرة عبر الأقمار الصناعية. وقد يعود هذا الفرق إلى البعد الكبير (أكثر من 75 كم) بين الموقع ومحطة الأرصاد، بالإضافة إلى تأثير اتجاه الرياح الجنوبية الشرقية التي من المحتمل أن تقلل من كثافة السحب أثناء حدث الأمطار على هذا البعد.
- يُعدّ شهرًا أكتوبر 2016 وينايو 2022 الشهرين الوحيدان في العقد الماضي اللذين تجاوزت فيهما كمية الأمطار الفعلية الكميات المحسوبة من صور الأقمار الصناعية. ومن الجدير بالذكر أن أكتوبر 2016 شهد فيضانات شديدة في منطقة رأس غارب، التي تقع على بعد حوالي 40 كم شمال موقع الدراسة، حيث كانت كمية الأمطار الفعلية أعلى بكثير من تقديرات الأقمار الصناعية.

الجدول ١٠: الحد الأقصى الشهري لهطول الأمطار في يوم واحد خلال الفترة ٢٠١٥-٢٠٢٤. محطة أرصاد الجونة

المؤشر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	العام
التاريخ	0	0.4	0	0	0	5.2	0	0	2015
أقصى هطول في اليوم (مم)						25			
التاريخ	0	0	0	0	0	51.3	0	0	2016
التاريخ						27			
أقصى هطول في اليوم (مم)	0	0	0	1.6	0	0	0	0	2017
التاريخ				12					
أقصى هطول في اليوم (مم)	0	2	0	0	2	0	0	0	2018
التاريخ		23			6				
أقصى هطول في اليوم (مم)	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	2019
التاريخ	27	5							
أقصى هطول في اليوم (مم)	0	0	3	0	0	0	0	0	2020
التاريخ			12						
أقصى هطول في اليوم (مم)	0	0.1	0	0	0	0	0	1.8	2021
التاريخ		3						27	
أقصى هطول في اليوم (مم)	16	2.1	0	0	0	0	0	0	2022
التاريخ	1	15							
أقصى هطول في اليوم (مم)	0.3	2	0.1	0	0	0	0	0	2023
التاريخ	3	14							
أقصى هطول في اليوم (مم)	0	0	0	0	1				2024
التاريخ					30				

جدول 11: مقارنة هطول الأمطار المتوقع مع أعماق هطول الأمطار الفعلية خلال الفترة (2016 إلى 2021)

شهر	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024	
	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت	ق	ت
يناير	4	0	3	0	10	0	0	0	18	0.1	2	0	3	0	4	16	1	0.3	4.7	0
فبراير	5	0.4	3	0	1	0	13	2	13	0.1	0	03	1	0.1	3	2.1	0	0	4.1	0
مارس	9	0	15	0	2	0	6	0	3	0	4	0	1	0	3	0	0	0.1	4.5	0
أبريل	1	0	2	0	8	1.6	2	0	5	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2.5	0
مايو	2	0	2	0	4	0	3	2	1	0	0	0	3	0	1	0	2	0	1.9	1
يونيو	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	6	0	1.2	
يوليو	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0.3	
أغسطس	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
سبتمبر	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.3	

أكتوبر	13	5.2	7	51.3	0	0	5	0	0	0	2	0	2	0	1	0	2	0	3.6
نوفمبر	4	0	4		4	0	16	0	4	1	0	6	0	3	0	4	0	5	5.2
ديسمبر	1	0	0		0	0	14	0	2	1	0	5	0	7	1.8	1	0	6	3.7

ت: الهطول المتوقع بناءً على تحليلات صور الأقمار الصناعية
 ق: بيانات الهطول المقاسة من محطة الجونة للأرصاد الجوية
7.4.2.2 تقدير احتمالية عودة العواصف المطرية

لتقدير احتمالية حدوث الفيضانات وفترة عودتها في منطقة الدراسة، تم تحليل بيانات هطول الأمطار من محطة الجونة للأرصاد الجوية (2015-2024). بلغ أعلى معدل هطول أمطار مسجل في يوم واحد خلال هذه الفترة 51.3 ملم في عام 2016 و16 ملم في عام 2022، بإجمالي 16 قراءة (جدول 11). تم فرز هذه القيم تنازلياً، حيث صُنِّفَت أعلى قيمة لهطول الأمطار أولاً، تليها القيم المتبقية، كما هو موضح في الجدول 11. ثم حُسِبَت احتمالية حدوث الفيضانات المفاجئة (P (%)) في المنطقة باستخدام المعادلة التي قدمها كريتشلي (12) وسيغرت (1991)، على النحو التالي:

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

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

حيث:

P = الاحتمالية كنسبة مئوية للرصد ذي الرتبة m

M = رتبة الرصد

N = العدد الإجمالي للرصدات المستخدمة

بتطبيق المعادلة على بيانات الحد الأقصى لهطول الأمطار، يتضح أن احتمالية حدوث فيضان 27 أكتوبر 2016 / أقوى سيل حدث في المنطقة خلال فترة الدراسة - تبلغ 3.8%. وبما أن كمية مياه العواصف المطرية ترتبط عكسياً باحتمالية حدوث الفيضانات المفاجئة، فإن الفيضانات الأكبر تكون أقل احتمالاً للحدوث مقارنة بالفيضانات ذات النطاق الأصغر. إضافة إلى ذلك، تم حساب فترة العودة للفيضانات باستخدام المعادلة التالية:

$$TP = 100/P$$

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

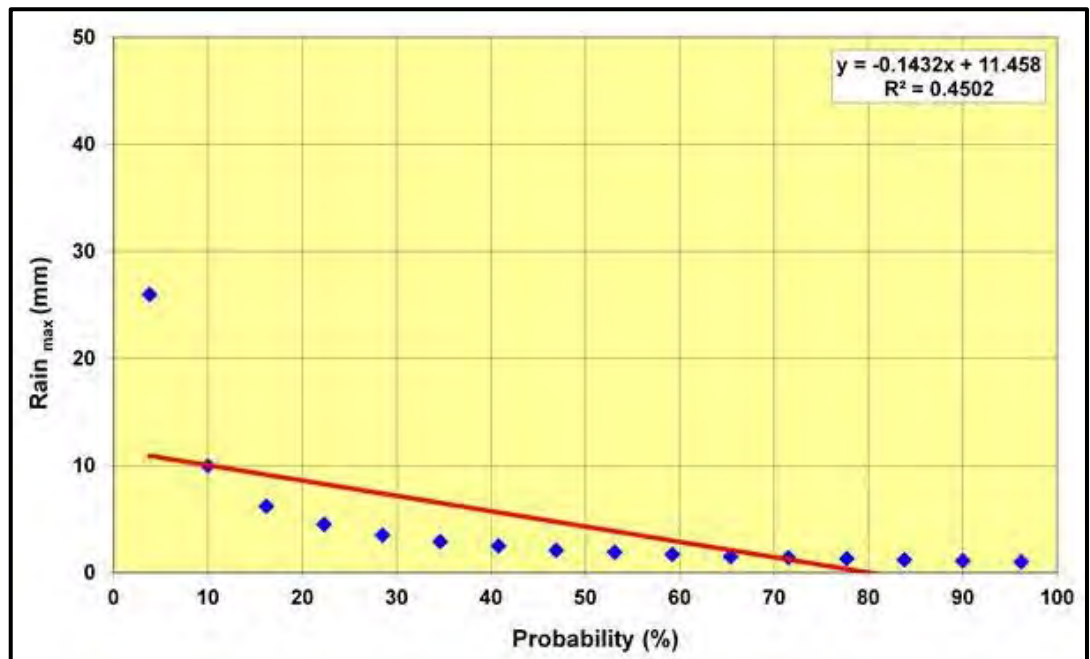
باستخدام المعادلة السابقة، تم حساب فترة العودة للفيضانات، والتي تتناسب عكسياً مع احتمالية الحدوث. الاحتمالية الأعلى للفيضان تعني فترة عودة أقصر، وبالعكس، فإن احتمالية أقل تؤدي إلى فترة عودة أطول (جدول 13 وشكل 41). وبناءً على ذلك، تبلغ فترة العودة لفيضان 12 مارس 2020 حوالي 26 عامًا. وبالتالي، من المتوقع أن فيضاً ذا حجم مماثل لحدث عام 2016 يمكن أن يتكرر بحلول عام 2042.

جدول 12: البيانات المحسوبة لاحتمالية عودة العواصف المطرية.

التاريخ	السنة	الهطول الأقصى (ملم)	الرتبة	الاحتمالية (%)	فترة العودة (سنة)
2/17	2015	0.4	11	65.4	1.5
10/25	2015	5.2	3	16.2	6.2
10/27	2016	51.3	1	3.8	26.0
4/12	2017	1.6	9	53.1	1.9

2.9	34.6	6	2.0	2018	2/23
2.5	40.8	7	2.0	2018	5/6

1.3	77.7	13	0.1	2019	1/27
1.2	83.8	14	0.1	2019	2/5
4.5	22.3	4	3.0	2020	3/12
1.1	90.0	15	0.1	2021	2/3
2.1	46.9	8	1.8	2021	12/27
10.0	10.0	2	16.0	2022	1/1
3.5	28.5	5	2.1	2022	2/15
1.4	71.5	12	0.3	2023	1/3
1.0	96.2	16	0.1	2023	3/14
1.7	59.2	10	1.0	2024	5/30



شكل 41: احتمالية عودة العاصفة المطرية

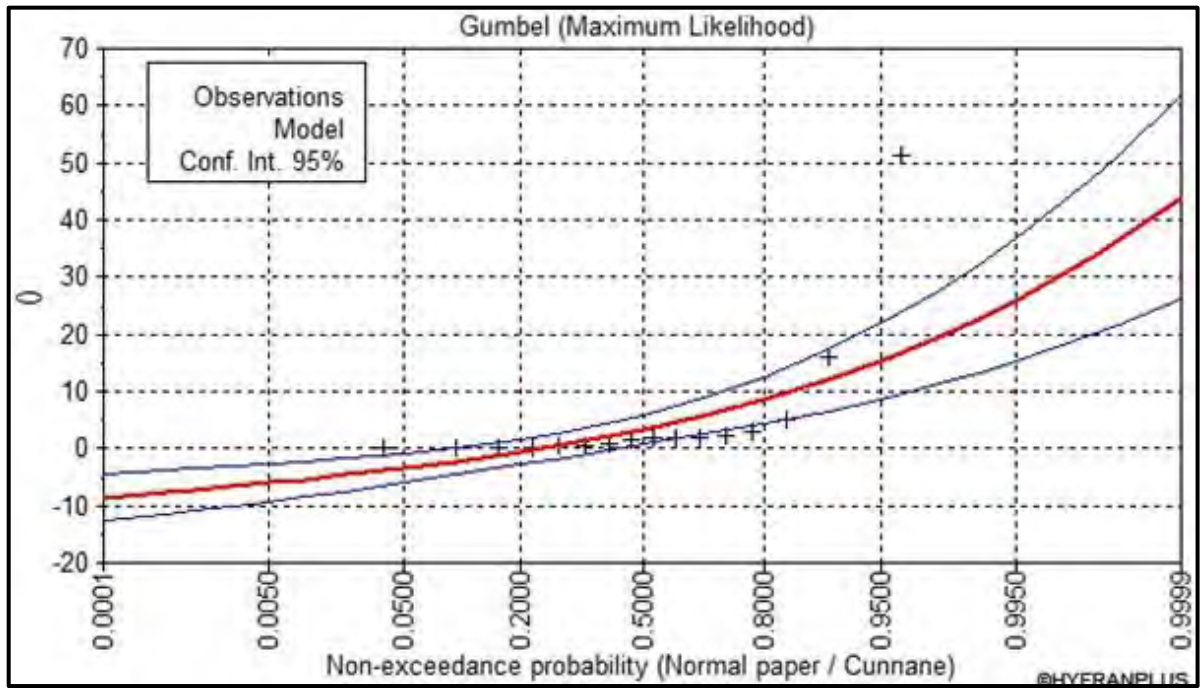
7.4.2.3 شدة هطول الأمطار والفيضانات التصميمي

تم حساب عُُمق هطول الأمطار لفترات عودة معينة (2، 5، 10، 25، 50، و100 سنة) باستخدام التوزيع الإحصائي اللوغاريتمي الطبيعي (طريقة الإمكان الأعظم). مكّنت هذه الطريقة من التنبؤ بالكميات القصوى لهطول الأمطار التي يمكن أن تحدث في يوم واحد، كما هو موضح في الجدول 13 والشكلين 41 و42. الكميات القصوى المتوقعة لهطول الأمطار لكل فترة من فترات العودة هذه هي كما يلي:

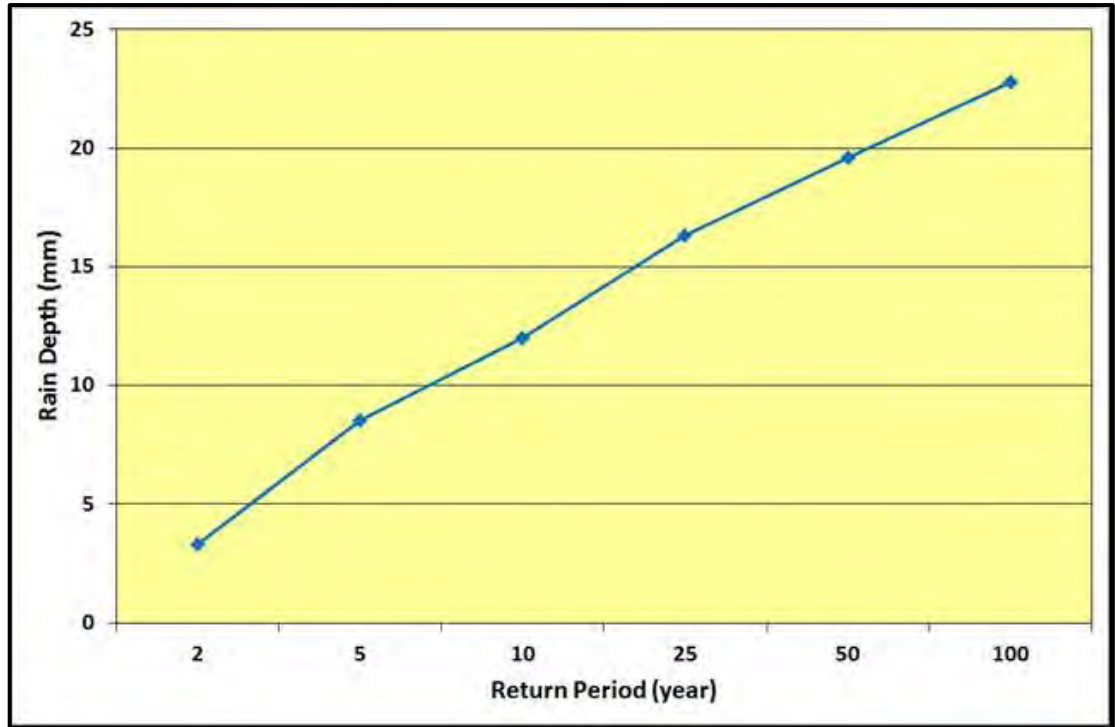
جدول 13: الحد الأقصى المتوقع لهطول الأمطار في يوم واحد

عمق المطر (مم)	فترة العودة (سنة)
3.31	2
8.52	5
12	10
16	25
19.6	50
22.8	100

يُلاحظ من البيانات في الجدول أعلاه أن الكمية القصوى لهطول الأمطار المتوقع هطولها في يوم واحد تزداد كلما زادت فترة العودة. على وجه التحديد، يبلغ عمق هطول الأمطار المتوقع حوالي 3.31 ملم لفترة عودة مدتها سنتان، بينما من المتوقع أن يصل إلى حوالي 22.4 ملم لفترة عودة مدتها 100 عام. يشير هذا الاتجاه إلى أنه مع فترات العودة الأطول، تزداد شدة وحجم هطول الأمطار المتوقع حدوثه في يوم واحد، مما يعكس ندرة وشدة مثل هذه الأحداث.



شكل 42: احتمالية شدة هطول الأمطار



شكل 43: مدد العودة لشدة الهطول المطري القصوى

بناءً على الدراسة التفصيلية أعلاه لبيانات الهطول المطري الفعلية المجمعة من أقرب محطات الأرصاد الجوية لموقع المشروع (الجونة)، يمكن استخلاص النقاط التالية:

- في أكتوبر 2016، عندما شهدت منطقة الدراسة هطول أمطار غزيرة، لم يُسجل أي سيل جارف قوي في وادي درة، على غرار ذلك الذي سُجل في منطقة رأس غارب الواقعة شمال الموقع بحوالي 40 كم.
- في العامين 2016 و 2022، عندما سجلت المحطة المذكورة أعلاه عمق هطول مطري بلغ 7 مم و 4 مم على التوالي، استقبلت منطقة الدراسة هطولاً بلغ حوالي 51.3 مم و 16 مم لنفس العامين على التوالي.
- وُضعت ظواهر الاحترار العالمي في الحساب عند تحديد معايير التصميم المتعلقة بالعواصف المطرية ومدد عودتها، وذلك من خلال: (1) زيادة كمية الهطول المسجلة بنحو 25%، و (2) الحساب بناءً على أقصى أعماق الهطول المطري المسجلة في يوم واحد بالمحطة (أكتوبر 2016).
- العواصف المطرية التي سجلت 51.3 مم في محطة الجونة، يُمكن تقدير مدة العودة لها بحوالي 26 عامًا.
- عمق الهطول المطري البالغ 53.1 مم (وهو مشابه لما حدث أثناء الفيضان في منطقة رأس غارب)، إذا تم تسجيله في محطة الجونة خلال يوم واحد، يُمكن تقدير مدة عودته في منطقة الدراسة بفترة تزيد على 100 عام.
- عقب حدث الفيضان الكارثي لعام 2016، نُفذت تدابير للتخفيف على طول أحواض التصريف الخطرة في المنطقة، ومنها: ثلاثة سدود متعاقبة مزودة ببخيرات اصطناعية على طول المجرى الرئيسي لوادي الحواشية (على بعد 60 كم شمال الموقع)، ومجموعة من السدود المتتالية التي تتضمن معابر للطريق ومزودة بعبّارات سفلية لمنع تدفق المياه فوق الطريق على طول وادي أبو حاد (على بعد حوالي 40 كم إلى الشمال)، وسد مزود ببخيرة اصطناعية عند مصب وادي الدرب (على بعد 35 كم شمال الموقع). ولكن، لم تُنشأ أي تدابير للتخفيف من آثار الفيضانات في وادي درة.

7.5 تقييم مخاطر الفيضانات في الأحواض المدروسة ضمن الإطار العام لأحواض خليج السويس

7.5.1 الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف

تُشير المورفومترية إلى عملية التحليل الرقمي لمعالم سطح الأرض المُستمدة من الخرائط الطبوغرافية، وصور لاندسات، ونماذج الارتفاع الرقمية، والتي تُستكمل بقياسات جوية وفضائية وحقلية. أُجريت التحليلات المورفومترية للأحواض المدروسة (وادي درة ووادي ن. درة) باستخدام برنامج ARC-GIS وتمت مقارنة القيم مع حدود الأحواض على امتداد البحر الأحمر. تُعد الدراسات المورفومترية لأحواض التصريف مهمة لتحديد خصائصها الهيدرولوجية بحيث يسهل التنبؤ بشدة الفيضانات.

تشمل المعاملات المورفومترية للحوض ما يلي:

- أبعاد الحوض
- شكل الحوض
- المعالم الطبوغرافية للحوض.

(أ) أبعاد الحوض

يتم تمثيلها بالمساحة والطول والعرض والمحيط.

مساحة الحوض (أ) كم²

تقيس مساحة حوض التصريف المنطقة التي تضم جميع الروافد الواقعة داخل نطاق الحوض والتي تكون محاطة بخط تقسيم المياه. وتتأثر مساحة الحوض بنمو شبكة المجاري المائية ونمط توزيعها.

توجد علاقة عكسية بين مساحة حوض التصريف وحجم الرسوبيات التي ينقلها الوادي إلى الجزء السفلي من المجرى؛ فكلما زادت المساحة، قل حجم الرسوبيات المنقولة. وتزداد قدرة حوض التصريف على احتجاز الرسوبيات بزيادة مساحته. فكلما كانت مساحة حوض التصريف أكبر، زادت قدرة الحوض على احتجاز وتخزين الرسوبيات بشكل مؤقت أو دائم داخل حوض التصريف نفسه (محمد عبد اللطيف، 2008، ص. 57).

لمساحة الحوض دور مؤثر في احتمالية حدوث الفيضانات، حيث توجد علاقة طردية بين مساحات الأحواض وحجم التصريف. فكلما كبرت مساحة الحوض، زاد حجم المطر الذي يستقبله وزادت احتمالية حدوث الفيضان (جودة وآخرون، 1991). وبالتالي، هناك احتمالية أكبر لحدوث الفيضانات في الأحواض كبيرة الحجم مقارنة بالأحواض الصغيرة (كوك وآخرون، 1985).

تتراوح مساحة أحواض البحر الأحمر بين 1796.5 كم² (مخاطر فيضانات عالية) و 2.8 كم² (مخاطر فيضانات منخفضة). بناءً على البرنامج، ترد مساحات الحوضين المدروسين في الجدول 14. تبلغ المساحة الإجمالية للأحواض المدروسة حوالي 1323.1 كم² بمتوسط قدره 661.55 كم². وتتراوح مساحة الأحواض بين 152.2 كم² (وادي ن. درة) و 1170.9 كم² (وادي درة). بناءً على دور مساحة الحوض في توقع الفيضانات، فإن لوادي درة الاحتمالية الأعلى لحدوث الفيضانات مقارنة بالآخر.

جدول 14: المعاملات المورفومترية للحوضين المدروسين المخترقين لموقع المشروع.

المتوسط	وادي شمال دارا	وادي دارا	
661.55	152.2	1170.9	(أ) مساحة الحوض (كم ²)
45.25	25.3	65.2	طول الحوض (كم)
12.20	5.9	18.5	عرض الحوض (كم)
159.60	75.8	243.4	محيط الحوض (كم)
0.29	0.33	0.25	نسبة الاستدارة
0.57	0.55	0.59	نسبة الاستطالة
0.26	0.24	0.28	معامل الشكل
1.87	1.73	2.01	نسبة الاندماج
0.98	1.05	0.91	معامل التراص/التماسك
3.91	4.29	3.52	نسبة الطول إلى العرض
857.50	407	1308	التضاريس الكلية
18.08	16.09	20.06	نسبة التضاريس
0.54	0.54	0.54	معامل الوعورة
3.22	1.61	4.82	رقم الوعورة
2.97	1.75	4.19	كثافة التدرج
0.64	0.37	0.9	التكامل الهيسومري
1.04	0.92	1.15	معامل التعرج
-	6	7	معامل الدمج
5038.00	1197	8879	عدد المجاري المائية
2458.05	601.4	4314.7	طول المجاري المائية (كم)
4.18	3.96	4.4	نسبة التشعب

مساحة الحوض (كم²)؛ طول الحوض (كم)؛ عرض الحوض (كم)؛ محيط الحوض (كم)؛ نسبة الاستطالة؛ نسبة الاستدارة؛ معامل الشكل؛ نسبة الاندماج؛ نسبة ليمنسكيت؛ نسبة الطول إلى العرض؛ التضرس (م)؛ نسبة التضرس النسبي؛ معامل الوعورة؛ العدد الهندسي؛ التكامل الهيسومري؛ مؤشر الانحدار؛ رتبة المجرى الرئيسي؛ مجموع أعداد المجاري؛ مجموع أطوال المجاري (كم)؛ نسبة التشعب؛ كثافة التصريف بطريقة هورتون (كم⁻¹)؛ تواتر المجاري (كم⁻²)؛ نسبة صيانة المجاري المائية؛ طول الجريان السطحي (كم)؛ نسبة النسيج (كم⁻¹).

طول الحوض (كم)

يُعد طول الحوض أحد الأبعاد الأساسية التي يُعتمد عليها في حساب معايير مورفومترية معينة تعتمد على طول الحوض، وبخاصة معاملات الشكل، وكذلك في تحديد بعض الخصائص الشكلية والطبوغرافية لأحواض التصريف. (Gregory & Walling, 1973)

يتأثر طول الحوض بعدة عوامل وعمليات، منها: اتجاه نمو وتطور المجاري المائية (والتي تخضع بدورها لاتجاه الصدوع والشقوق)، والنحت التراجعي باتجاه خط تقسيم المياه، أو النمو باتجاه المصب للمراوح الفيضية الغرينية.

تم قياس طول الحوض باستخدام برنامج ARC GIS استناداً إلى الطريقة المأخوذة من Schumm, 1956. ويُعرّف طول الحوض بأنه المسافة من مصب المجرى الرئيسي إلى أبعد نقطة على محيط الحوض تكون موازية للمجرى الرئيسي.

يبلغ الطول الإجمالي لأحواض التصريف المدروسة حوالي 90.5 كم، وبمتوسط 45.25 كم، حيث يُعد وادي شمال دارا الأقل طولاً بينها (حوالي 25.3 كم)، يليه وادي دارة (65.2 كم) (الجدول 14).

كلما كان طول الحوض أقصر، كان تدفق المياه عبره أقوى. وبناءً على ذلك، يمكن أن يشهد حوض وادي دارة تدفق مياه سطحية قوياً خلال العواصف المطرية، أعلى مما هو عليه في حوض وادي شمال دارا.

عرض الحوض كم

يُسهّم عرض الحوض في تحديد شكله.

بشكل عام، يمكن القول بأن الأحواض ذات الطول والعرض الصغيرين هي الأكثر خطورة. وذلك لأن مساحات أحواضها صغيرة، وقصيرة الطول والعرض. وبالتالي، يمكن أن تغطيها العواصف المطرية بالكامل خلال فترة قصيرة مع فقدان محدود للمياه بالتسرب والتبخّر. وهكذا، يستغرق الجريان السطحي وقتاً قصيراً للوصول إلى مخرج الوادي.

يبلغ العرض الإجمالي للأحواض المدروسة حوالي 24.4 كم. ومثل طول الحوض، كلما كان العرض أقصر، كان تدفق المياه أعلى، لذا يُتوقع أن يكون تدفق المياه في حوض وادي شمال دارا أقل منه في حوض وادي دارا.

محيط الحوض كم

المحيط هو خط تقسيم المياه الذي يفصل حوضاً ما عن الأحواض المجاورة.

تكمن أهمية قياس محيط الحوض في استخدامه لحساب معايير مورفومترية أخرى مثل معاملات الشكل، واستطالة الحوض، واستدارة الحوض (خضر، 1997 ومحسوب، 2002).

يتأثر محيط الحوض بعدة عوامل، مثل تطور الروافد من الرتبة الأولى، وظهور روافد صغيرة موسمية تنشأ بعد العواصف المطرية، وبسبب انحدار السفوح التي تمثل قممها خطوط تقسيم مياه للأحواض. بناءً على البرنامج، بلغ إجمالي محيطات الأحواض 319.2 كم. يمتلك وادي شمال دارا المحيط الأقصر بحوالي 75.8 كم، يليه وادي دارة بـ 243.4 كم (الجدول 14).

بناءً على ما سبق، كلما كان محيط الحوض أقصر، قلت مساحته وأبعاده الأخرى، وزادت مستويات خطورته فيما يتعلق باحتمالية الفيضان، والعكس صحيح. لذلك، يُعتبر حوض وادي شمال دارا ذا مخاطر فيضان أقل مقارنة بوادي دارا.

ب) شكل الحوض

إن شكل الحوض ومدى تشابهه مع الشكل الدائري أو المستطيل يؤثران على الزمن الذي تستغرقه مياه الفيضان للوصول إلى مخرج الحوض، مما يؤثر بدوره على مدى تأثيره على المناطق المحيطة. بالإضافة إلى ذلك، يؤثر شكل الحوض على إمكانيات إعادة تغذية الخزان الجوفي فيه (الرشدي، 1994).

يؤثر شكل حوض التصريف بشكل كبير على تدفق المياه؛ فالأحواض المستطيلة تميل إلى أن يكون لها توزيع زمني أكثر انتظاماً لتصريف المياه وبكميات أقل مقارنة بالأحواض الدائرية. وعلى العكس من ذلك، تتميز الأحواض الدائرية بحجم مياه أكبر، حيث تتجمع المياه من معظم الروافد في منطقة مركزية خلال فترة قصيرة، فتصل بسرعة إلى مخرج الحوض وتزيد من خطر الفيضان.

تم تطوير بعض المعايير المورفومترية باستخدام برنامج Arc GIS لتحديد درجة تشابه شكل حوض التصريف، وذلك على النحو التالي:

نسبة الاستطالة

تُعد الاستطالة أحد أدق العوامل المورفومترية في قياس أشكال أحواض التصريف، حيث تقارن شكل حوض التصريف بشكل المستطيل. تتراوح قيم هذه النسبة بين (0 : 1). وتشير القيمة الأعلى، الأقرب إلى 1، إلى أن شكل الحوض يشبه المستطيل بشكل أوثق، والعكس صحيح (جاردينر، 1975).

تعكس نسبة الاستطالة خصائص الجريان داخل الحوض. يرتبط طول الحوض الأكبر، الذي تشير إليه نسبة استطالة أعلى وزيادة عدم الانتظام (التعرج)، بانخفاض تدفق المياه واحتمالية أقل لحدوث الفيضان. يبلغ متوسط نسبة الاستطالة للأحواض المدروسة حوالي 0.57، مما يشير إلى ميل عام نحو الاستطالة. تتراوح نسبة الاستطالة لأحواض البحر الأحمر من 0.32 (خطورة عالية) إلى 0.83 (خطورة منخفضة). تم إدراج نسب الاستطالة في الحوضين المدروسين في الجدول 14. وتشير هذه النسبة إلى أن أحواض التصريف المدروسة تُظهر احتمالية فيضان منخفضة إلى متوسطة.

نسبة الاستدارة

تشير نسبة الاستدارة إلى درجة تشابه حدود الحوض مع الشكل الدائري. وتفحص العلاقة بين مساحة الحوض ومساحة دائرة لها محيط مساوٍ لمحيط الحوض. تعكس القيمة الصغيرة لهذه النسبة، القربية من الصفر، ما يلي:

- الشكل غير المنتظم للحوض (أقرب إلى الاستطالة).
- زيادة تعرج خطوط تقسيم المياه.
- انخفاض مخاطر الفيضان داخل الحوض.
- تشير القيمة العالية لهذه النسبة، القربية من الواحد الصحيح، إلى أن شكل الحوض يقترب من الشكل الدائري (الوداني، 2007).

غالباً ما تكون الأحواض ذات المساحات الصغيرة أكثر دائرية لأنها لم تصل بعد إلى المرحلة الجيومورفولوجية المتقدمة مقارنة بالأحواض الأكبر التي تميل غالباً إلى الاستطالة. تؤدي الأشكال الدائرية إلى تجمع المياه من معظم الروافد في المجرى الرئيسي في نفس الوقت، مما يؤدي إلى تصريف عالٍ ومفاجئ يتسبب في فيضانات مدمرة (موريساوا، 1958). يمكن حساب نسبة الاستدارة وفقاً للمعادلة التالية (جريجوري وواليند، 1979):

$$4\pi A / P^2 = Rc$$

حيث Rc = نسبة الاستدارة، $\pi = 3.14$ ، A = المساحة (كم²)، و P = محيط الحوض.

تتراوح استدارة أحواض البحر الأحمر من 0.13 (خطورة منخفضة) إلى 0.52 (خطورة عالية). يبلغ متوسط نسبة الاستدارة للأحواض المدروسة 0.29. تتميز الأحواض المدروسة باحتمالات فيضان منخفضة لأن قيم استدارتها قريبة من الصفر (الجدول 14).

معامل الشكل:

يعبر معامل الشكل عن درجة التناسق بين أبعاد الحوض حيث تتم مقارنة شكل الحوض بالشكل المثلث أو المربع. تم حساب معامل الشكل بالمعادلة التالية (هورتون، 1932)، باستخدام برنامج ARC – GIS.

$$Ish = A / L^2$$

حيث؛ Ish = معامل الشكل، A = مساحة الحوض (كم²)، و L = طول الحوض (كم).

تشير القيمة المنخفضة لمعامل الشكل إلى أن الحوض يشبه الشكل المثلث، وهو ما يرتبط بخطر فيضان أقل. وعلى العكس من ذلك، تشير القيمة العالية لهذا العامل إلى أن الحوض يقترب من الشكل المربع، وهو ما يرتبط بخطر فيضان أعلى. يعد معامل الشكل مقياساً عددياً (هورتون، 1932) يُستخدم بشكل شائع لتحديد أشكال الأحواض كمياً. يتراوح النطاق العالمي لهذا العامل عادة بين 0.1 و 0.8. تم عرض معاملات الشكل للأحواض المدروسة في الجدول 14، بمتوسط معامل شكل يبلغ 0.09 للأحواض الثلاثة.

يتراوح معامل الشكل لأحواض البحر الأحمر من 0.08 (خطورة منخفضة) إلى 0.54 (خطورة عالية). تشير القيمة الأصغر لهذا العامل إلى حوض أكثر استطالة، بينما يشير معامل الشكل الأعلى (فوق 0.8) إلى حوض ذي تدفقات فيضانية قصوى أعلى تحدث خلال فترة قصيرة. من ناحية أخرى، يتميز حوض التصريف المستطيل ذو معامل الشكل المنخفض بتدفق فيضاني أقصى أقل منتشر على مدى فترة أطول. بناءً على عامل معامل الشكل المحسوب للأحواض المدروسة (الجدول 14) ومقارنته بقيم معامل الشكل لكامل أحواض البحر الأحمر، يمكن استنتاج أن الأحواض المدروسة تُظهر شكلاً مستطيلاً ومثلثياً، وبالتالي، فهي مرتبطة باحتمالية مخاطر فيضان منخفضة.

نسبة الطول إلى العرض

تعد نسبة الطول إلى العرض عاملاً مورفومترياً بسيطاً يُستخدم لتقييم اتجاه شكل الحوض، سواء كان أقرب إلى الدائري أو المستطيل. تشير القيمة الأعلى لهذه النسبة إلى أن شكل الحوض أكثر استطالة (أقرب للمستطيل). يتم حساب النسبة على النحو التالي:

$$R/W = L / W$$

حيث؛ R/W = نسبة الطول إلى العرض، L = طول الحوض، و W = عرض الحوض.

يبلغ متوسط نسبة الطول إلى العرض لأحواض التصريف المدروسة 3.91. تشير القيمة العالية لهذه النسبة إلى أن الأحواض أكثر استطالة، حيث يكون الطول أكبر بكثير من العرض. تتراوح قيم النسبة للأحواض المدروسة من 4.29 لوائي شمال دارا إلى 3.52 لوائي دارا، مما يشير إلى أن كلا الحوضين أكثر استطالة في الشكل (أقرب للمستطيل)، وهو ما يرتبط بانخفاض مخاطر الفيضان.

ج) الخصائص المورفولوجية لأحواض التصريف

تؤثر خصائص سطح الحوض بشكل كبير على هيدرولوجيته، خاصة فيما يتعلق بالجريان السطحي. تميل الانحدارات الهينة إلى تعزيز زيادة التبخر والرشح، حيث تستغرق مياه الأمطار وقتاً أطول للتدفق عن السطح. في المقابل، تقلل الانحدارات الشديدة من هذه الفوائد، مما يسمح للمياه بالتدفق بسرعة أكبر (خضر، 1997). تُقَيِّم خصائص سطح أحواض التصريف بناءً على عدة معايير مورفومترية، تشمل:

التضرس الأقصى (2) نسبة التضرس (3) التضرس النسبي (4) قيمة الوعورة (5) العدد الهندسي (6) التكامل الهيسبومتري (7) درجة الانحدار.

التضرس الأقصى

يشير التضرس الأقصى إلى الفرق بين أدنى نقطة عند مخرج الحوض وأعلى نقطة عند خط تقسيم المياه.

توجد علاقة طردية بين التضرس الأقصى ودرجة الانحدار من جهة، وشدة الجريان السطحي وكمية المواد المنقولة من جهة أخرى. كلما زاد التضرس الأقصى، أصبح الانحدار أكثر شدة، مما يؤدي إلى تدفق أعلى للمياه. يتراوح التضرس الأقصى لأحواض البحر الأحمر بين 30 متراً (يشير إلى مخاطر فيضان منخفضة) و 2088 متراً (يشير إلى مخاطر فيضان عالية). يبلغ متوسط قيم التضرس الأقصى للأحواض المدروسة، كما هو موضح في الجدول 14، 857.5 متراً. مقارنة بالقيم المتوسطة لأحواض تصريف البحر الأحمر، تُصنّف الأحواض المدروسة على أنها ذات احتمالية مخاطر فيضان منخفضة إلى متوسطة.

نسبة التضرس

تقيس نسبة التضرس العلاقة بين التضرس الأقصى وطول الحوض، مما يوفر مؤشراً لانحدار الحوض. على عكس التضرس الأقصى، الذي لا يأخذ في الاعتبار المسافة الأفقية بين أعلى وأدنى نقطة، فإن نسبة التضرس تأخذ في الاعتبار كلاً من الأبعاد الرأسية والأفقية. تم حساب هذه النسبة، التي تعكس شدة انحدار سطح الحوض، باستخدام المعادلة التي اقترحها ستراهلر (1957).

$$\text{نسبة التضرس} = \frac{\text{التضرس الأقصى (م)}}{\text{طول الحوض (كم)}}$$

يعد نوع الصخر، وحجم الأمطار، والمرحلة المورفولوجية للحوض عوامل رئيسية تساهم في انخفاض نسبة التضرس (موسى، 2000). تشير نسبة التضرس الأعلى إلى انحدار أشد، وهو ما يرتبط بزيادة مخاطر الفيضان. تتراوح نسبة التضرس لأحواض البحر الأحمر من 7.4 (مخاطر فيضان منخفضة) إلى 109.5 م/كم (مخاطر فيضان عالية). يبلغ متوسط نسبة التضرس للأحواض المدروسة 18.08، حيث يسجل وادي شمال دارا أدنى قيمة عند حوالي 16.09، بينما تبلغ القيمة لوائي دارا 20.06 (الجدول 14). عند مقارنتها بأحواض البحر الأحمر، تقع الأحواض المدروسة ضمن فئة مخاطر الفيضان المنخفضة في حال هطول أمطار غزيرة.

التضرس النسبي

يقيس التضرس النسبي العلاقة بين التضرس الأقصى (الفرق بين أعلى وأدنى منسوب في الحوض) ومحيط الحوض. يمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية (جريجوري ووالينغ، 1979):

$$\text{التضرس النسبي} = \frac{\text{التضرس الأقصى (م)}}{\text{محيط الحوض (كم)}} * 100$$

يرتبط معامل التضرس النسبي بعلاقة عكسية مع مساحة الحوض ودرجة مقاومة الصخور للتعرية في ظل ظروف مناخية ثابتة (جود وآخرون، 199). يتراوح التضرس النسبي لأحواض البحر الأحمر من 0.2 (مخاطر منخفضة) إلى 3.4 (مخاطر عالية). بناءً على البرنامج، يبلغ متوسط التضرس النسبي

للأحواض المدروسة 0.54. قد تشير هذه القيمة إلى المقاومة المنخفضة للصخور للتعرية في كلا الواديين. تشير قيم التضرس النسبي للأحواض المدروسة إلى مخاطر فيضان منخفضة في مناطق خارجها.

معامل الوعورة

يفحص هذا المعامل العلاقة بين طبوغرافية الحوض وطول شبكة تصريفه، متناولاً العلاقة المتبادلة بين متغيرات متعددة. يقيس كيفية ارتباط تضرس الحوض بطول مجاريه المائية ومساحة الحوض. تعبر الوعورة عن العلاقة بين تضرس الحوض وكثافة التصريف، وبالتالي تعتمد بشكل كبير على عوامل مثل نوع الصخر وكمية الأمطار (عوض الله، 2005). تم حساب قيمة الوعورة باستخدام برنامج ARC-GIS بناءً على صيغة ستراهلر (1964).

$$\text{الوعورة} = \text{طبوغرافية الحوض (م)} \times \text{كثافة التصريف (كم/كم}^2\text{)} / 1000$$

تتراوح قيمة الوعورة لأحواض البحر الأحمر من 1.3 (مخاطر منخفضة) إلى 30.9 (مخاطر عالية). بناءً على البرنامج، يبلغ متوسط قيمة الوعورة للأحواض المدروسة 3.22. تبلغ القيمة لوادي شمال دارا 1.61، بينما تبلغ لوادي دارا 4.82. تشير هذه القيم إلى أن الأحواض المدروسة ذات احتمالية مخاطر فيضان منخفضة.

التكامل الهيسبومتري

يمثل التكامل الهيسبومتري مرحلة تطور الحوض بناءً على العلاقة بين مساحته وطبوغرافيته (خضر، 1997). تم حساب التكامل الهيسبومتري للأحواض باستخدام المعادلة التالية (مصطفى، 1982) بواسطة برنامج ARC-GIS:

$$\text{التكامل الهيسبومتري} = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)} / \text{أقصى ارتفاع طبوغرافي للحوض (م)}$$

تتراوح قيم التكامل الهيسبومتري لأحواض البحر الأحمر من 0.02 (مخاطر منخفضة) إلى 1.6 (مخاطر عالية). وفقاً لتحليل البرنامج، تبلغ قيم التكامل الهيسبومتري للأحواض المدروسة 0.37 لوادي شمال دارا و 0.9 لوادي دارا. يشير هذا إلى أن وادي شمال دارا ذو مخاطر فيضان منخفضة، بينما يمتلك وادي دارا احتمالية فيضان متوسطة.

مؤشر الانحدار

يقيس مؤشر الانحدار العلاقة بين المسافة الأفقية (طول الحوض) والمسافة الرأسية (الفرق بين أدنى وأعلى الارتفاعات المتوقعة في الحوض). يقدم هذا المؤشر دلالة على مدى تعرية الحوض (خضر، 1997). يتم التعبير عن العلاقة بالمعادلة التالية:

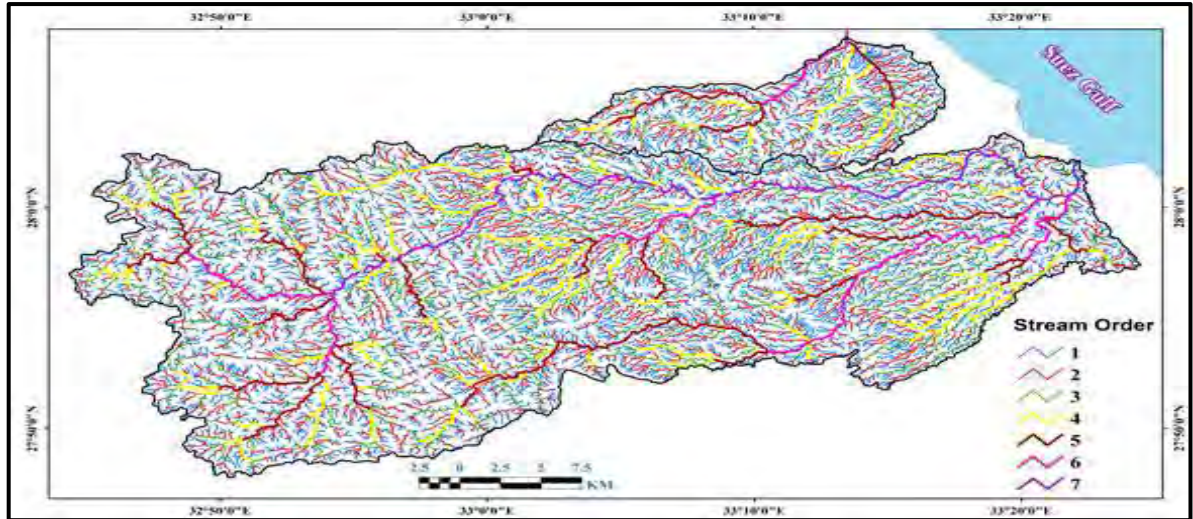
$$\text{مؤشر الانحدار} = \left[\frac{\text{أقصى ارتفاع طبوغرافي للحوض}}{\text{أقصى طول للحوض}} \right] * 1000 * 57.3$$

تتميز الأحواض ذات مؤشر الانحدار المنخفض بانحدار هين، وتدفق مياه سطحية بطيء، ومخاطر فيضان أقل، بينما تتميز الأحواض ذات مؤشر الانحدار المرتفع بانحدار أشد، وتدفق أسرع، ومخاطر فيضان أعلى. تتراوح قيم درجة الانحدار لأحواض البحر الأحمر من 0.9 (مخاطر منخفضة) إلى 13.4 (مخاطر عالية). بالنسبة للأحواض المدروسة، تبلغ قيم التكامل الهيسبومتري 0.92 لوادي شمال دارا و 1.15 لوادي دارا. تشير هذه القيم إلى أن الأحواض المدروسة ذات درجة انحدار منخفضة، مما يؤدي إلى تدفق مياه سطحية أبطأ ويشير إلى مخاطر فيضان منخفضة عند مناطق خارجها.

7.5.2 التحليلات المورفومترية لشبكات التصريف

يشير مصطلح "شبكة التصريف" إلى التخطيط العام لمجموعة من قنوات التصريف في منطقة ما (الشكل 44). تتضمن هذه الشبكة مجرى رئيسياً تغذيه عدة روافد، يقابل كل منها وادياً يتناسب مع حجمه. تتقارب كل هذه الروافد، مشكّلة شبكة تنحدر نحو المجرى الرئيسي.

تنتج شبكة التصريف عن تفاعل معقد لخصائص السطح، مثل نوع الصخر وصلابته وحساسيته (للتعرية) ونفاذيته، والخصائص البنيوية، بما في ذلك الشقوق والفواصل والصدوع والطيات، بالإضافة إلى الظروف المناخية. تُعرض المعايير المورفومترية لشبكة التصريف للأحواض المدروسة في الجدول 15.



الشكل 44: شبكة التصريف في المنطقة

الجدول 15: معايير شبكة التصريف

الإجمالي	شمال دارا	دارا	وادي		الإجمالي	شمال دارا	دارا	وادي	
26	3	23	العدد	الرتبة 5	7903	924	6979	العدد	الرتبة 1
185.6	26.4	159.2	(كم)		2442.2	309.3	2132.9	(كم)	
6	1	5	العدد	الرتبة 6	1649	208	1441	العدد	الرتبة 2
78.5	9.6	68.9	(كم)		1205.8	151.8	1054	(كم)	
1	-	1	العدد	الرتبة 7	393	48	345	العدد	الرتبة 3
71.4	-	71.4	(كم)		645	71.5	573.5	(كم)	
10076	1197	8879	العدد	الإجمالي	98	13	85	العدد	الرتبة 4
4916.1	601.4	4314.7	(كم)		287.6	32.8	254.8	(كم)	

رتبة المجري

رتبة المجاري المائية (معامل التعقيد)

تُعد رتبة المجاري المائية الخطوة الأولى في الدراسة المورفومترية لشبكات التصريف، إذ تتيح تحديد حجم الشبكة وكثافتها. يتم تعريف رتبة المجاري المائية وفقًا لترتيب المجاري، حيث تُصنّف كل مجرى ضمن رتبة محددة بناءً على موقعه داخل الشبكة. تتم هذه التصنيفية من خلال تقسيم شبكة التصريف إلى قنوات مميزة، بحيث تتكون كل قناة من رابط واحد أو أكثر وفقًا لرتبتها.

باستخدام الطريقة المعترف بها دوليًا (ستراهلر، 1958)، والتي تم دمجها في البرنامج، تتراوح رتبة المجاري المائية في الحوضين بين 6 في وادي نهر دارا و 7 في وادي دارا.

عدد المجاري المائية

يُعدّ عدد المجاري المائية أحد المؤشرات المهمة لحجم شبكة التصريف، حيث يوضح بوضوح المرحلة التطورية التي بلغها الحوض. فكلما زاد عدد المجاري المائية، زادت نضوجية الحوض. كما توجد علاقة مباشرة بين مساحة الحوض وعدد المجاري المائية، فكلما زادت المساحة، زاد عدد المجاري المائية، والعكس صحيح.

يجب أخذ عدد المجاري المائية في الاعتبار عند تقدير مخاطر الفيضانات، حيث يؤدي ارتفاع عدد المجاري إلى زيادة كفاءة شبكة التصريف في نقل المياه السطحية، وبالتالي تزداد احتمالية حدوث الفيضانات.

يتراوح عدد المجاري المائية في أحواض البحر الأحمر بين 183 (مخاطر منخفضة) و6630 (مخاطر مرتفعة). أما بالنسبة للأحواض المدروسة، فيبلغ عدد المجاري المائية 1197 في حوض وادي نهر دارا، و8879 في حوض وادي دارا (الجدول 14). وبمقارنة أعداد المجاري المائية في الأحواض المدروسة مع أعداد المجاري في أحواض البحر الأحمر، تبين أن وادي نهر دارا يقع ضمن فئة المخاطر المتوسطة، في حين أن وادي دارا لديه احتمالية عالية لمخاطر الفيضانات.

أطوال المجاري المائية بالكيلومترات

تمثل أطوال المجاري المائية المسافة التي تقطعها المياه عبر روافدها حتى تصل إلى الوادي الرئيسي، ومن ثم إلى مخرج الحوض. وتعكس أطوال المجاري عمليات التعرية الناتجة عن حركة المياه، وخصائص السطح من حيث الانحدار، بالإضافة إلى نوعية الصخور والعناصر البنائية السائدة في المنطقة. فكلما كان الانحدار أقل، زادت أطوال المجاري المائية، وازدادت عمليات النحت الجانبي، مما يؤدي إلى تكوّن مجاري متعرجة ضحلة وخطوط تصريف أوسع. أما في حالة الانحدار الشديد، فإن عمليات النحت الرأسي تصبح هي الغالبة، مما يجعل خطوط التصريف أقصر، وأعمق، وأكثر استقامة.

تلعب أطوال المجاري المائية دورًا مهمًا في تحديد مخاطر الفيضانات. ففي المجاري الأطول، تستغرق المياه وقتًا أطول للوصول إلى مخرج الحوض، مما يؤدي إلى فقدان كميات إضافية من المياه بسبب التبخر والتسرب خلال الرحلة الطويلة. في المقابل، تشهد المجاري الأقصر -فقدانًا أقل، مما يسمح بوصول المياه إلى مخرج الحوض بسرعة أكبر، وبالتالي زيادة خطر الفيضانات في فترة زمنية أقصر.

تتراوح أطوال المجاري المائية في أحواض البحر الأحمر بين 108.2 كم (مخاطر مرتفعة) و9813.7 كم (مخاطر منخفضة). وبالاعتماد على برنامج نظم المعلومات الجغرافية ARC GIS، بلغت أطوال المجاري المائية في الأحواض المدروسة 601.4 كم في حوض وادي نهر دارا، و4314.7 كم في حوض وادي دارا (الجدول 14). وعند مقارنة أطوال المجاري المائية في الأحواض المدروسة مع تلك الموجودة في أحواض البحر الأحمر، تبين أن وادي نهر دارا يقع ضمن فئة المخاطر العالية للفيضانات، في حين أن وادي دارا لديه احتمالية متوسطة لمخاطر الفيضانات.

نسبة التشعب

تشير نسبة التشعب إلى النسبة بين عدد المجاري المائية في رتبة معينة وعدد المجاري المائية في الرتبة التالية. وتم حساب نسبة التشعب باستخدام المعادلة التالية:

نسبة التشعب = عدد المجاري المائية في رتبة معينة / عدد المجاري المائية في الرتبة التالية

ترتبط نسبة التشعب بشكل الحوض؛ فالأحواض المستطيلة تميل إلى امتلاك نسبة تشعب أعلى، مما يعني أن المياه تستغرق وقتًا أطول للوصول إلى الوادي الرئيسي مقارنةً بالأحواض الدائرية، حيث يكون الجريان أكثر كثافة بسبب قصر فترة التصريف.

بناءً على ذلك، فإن نسبة التشعب تتناسب عكسيًا مع مخاطر الفيضانات؛ فكلما انخفضت نسبة التشعب، زادت مخاطر الفيضانات، والعكس صحيح. تتراوح قيمة نسبة التشعب في أحواض البحر الأحمر بين 1.6 (مخاطر مرتفعة) و10.9 (مخاطر منخفضة).

وبحسب برنامج نظم المعلومات الجغرافية آرك جي آي إس، بلغت نسب التشعب في الأحواض المدروسة 3.996 لحوض وادي نهر دارا و4.4 لحوض وادي دارا (الجدول 14). وعند مقارنة نسب التشعب في الأحواض المدروسة مع نظيراتها في أحواض البحر الأحمر، يتبين أن الحوضين اللذين يعبران الموقع مرتبطان بمستوى متوسط من مخاطر الفيضانات.

كثافة التصريف (ك ت) كم⁻¹

تعد كثافة التصريف مؤشرًا أساسيًا لمدى تفزّع الحوض بشبكة المجاري المائية. وتعكس كثافة التصريف تأثير عوامل مثل نوع الصخور، والتربة، والطبوغرافيا (رشدي، 1994). وتشير الكثافة العالية للتصريف إلى أن الصخور الأساسية ضعيفة وتستجيب بسرعة لعمليات التعرية، كما أنها ذات

نفاذية منخفضة، مما يزيد من مخاطر الفيضانات. وعلى العكس من ذلك، فإن الكثافة المنخفضة للتصريف تدل على وجود صخور صلبة ونفاذة، مما يؤدي إلى تقليل مخاطر الفيضانات.

تم حساب كثافة التصريف باستخدام المعادلة التالية (هورتون، 1945):

كثافة التصريف = إجمالي أطوال المجاري المائية (كم) / مساحة الحوض (كم²).

قام كل من ستراهلر وموريساوا بتصنيف كثافة التصريف إلى عدة فئات كما هو موضح في الجدول التالي:

الجدول 16: تصنيفات كثافة التصريف (ستراهلر، 1957 وموريساوا، 1985).

الرتبة	موريساوا، 1985	ستراهلر، 1957
منخفضة	أقل من 8: صخور نفاذة، رطوبة عالية، غطاء نباتي كثيف.	أقل من 5 كم ² /كم.
متوسطة	من 8 إلى 20: صخور نفاذة، أمطار غزيرة، غطاء نباتي كثيف.	من 5 إلى 13.7 كم ² /كم.
عالية	من 20 إلى 200: صخور غير نفاذة، أمطار قليلة، غطاء نباتي ضعيف.	من 13.7 إلى 155 كم ² /كم.
مرتفعة جدًا	أكثر من 200: صخور غير نفاذة، بدون أمطار أو غطاء نباتي، صخور ضعيفة.	أكثر من 155.3 كم ² /كم.

تتراوح كثافة التصريف في أحواض البحر الأحمر بين 5.4 (منخفضة الخطورة) و 77 (مرتفعة الخطورة). تبلغ كثافة التصريف في الأحواض المدروسة 3.95 لوائي ن. دارا و 3.68 لوائي دارا. وبناءً على قيم كثافة التصريف، فإن جميع الأحواض المدروسة تصنف ضمن فئة الاحتمالية المنخفضة لخطر الفيضانات.

تكرار المجاري المائية كم²

يمثل تكرار المجاري المائية مقياسًا يعكس العلاقة بين العدد الإجمالي للمجاري المائية في الحوض ومساحته. ويقدم هذا المقياس نظرة قيمة حول مدى تشريح سطح الحوض وكفاءة الشبكة المائية في تصريف المياه. يشير ارتفاع تكرار المجاري المائية إلى حوض أكثر تقطعًا مع شبكة كثيفة من الروافد، مما يؤدي إلى زيادة سرعة الجريان السطحي وارتفاع مخاطر الفيضانات. يمكن حساب هذا المقياس باستخدام المعادلة التالية (هورتون، 1945، ص 285):

تكرار المجاري المائية = عدد المجاري المائية / مساحة الحوض (كم²)

يتأثر تكرار المجاري المائية بالعديد من الخصائص السطحية، بما في ذلك نفاذية التربة ووجود الأسطح غير المنفذة. على سبيل المثال، تؤدي الأسطح الطينية المغلقة إلى زيادة تكرار المجاري المائية بسبب انخفاض نفاذيتها، مما يؤدي إلى تسارع الجريان السطحي وارتفاع مخاطر الفيضانات. في المقابل، تعمل الأسطح الرملية والحصوية عالية النفاذية على تقليل تكرار المجاري المائية من خلال السماح للمياه بالتسرب إلى باطن الأرض، مما يقلل من الجريان السطحي وخطر الفيضانات (سلم، 2004).

يتراوح تكرار المجاري المائية في أحواض البحر الأحمر بين 9.5 (منخفض الخطورة) و 123 (مرتفع الخطورة). أما بالنسبة للأحواض المدروسة، فقد بلغت قيم تكرار المجاري المائية 7.86 لوائي ن. دارا و 7.58 لوائي دارا. وتشير هذه القيم إلى أن كلا الحوضين يتمتعان باحتمالية منخفضة لخطر الفيضانات، حيث يقع تكرار مجاريهما المائية ضمن النطاق الأدنى المسجل لأحواض البحر الأحمر.

معامل صيانة المجاري المائية

يعد معامل صيانة المجاري المائية عاملاً أساسياً في فهم الخصائص الهيدرولوجية للحوض، حيث يمثل متوسط مساحة الوحدة المطلوبة لتغذية الوحدة الطولية لشبكة التصريف. يشير ارتفاع معامل صيانة المجاري المائية إلى أن مساحة الحوض أكبر نسبياً مقارنةً بشبكة التصريف، مما يؤدي عادةً إلى انخفاض كثافة التصريف، وبالتالي تقليل خطر الفيضانات. يتأثر هذا المعامل بعدة عوامل، منها الظروف المناخية، وأنواع الصخور، والمسامية، والنفاذية، وغطاء الغطاء النباتي (جود وآخرون، 1991).

تم حساب معامل صيانة المجاري المائية في الأحواض المدروسة باستخدام المعادلة التي طورها شوم (1956):

$$\text{معامل صيانة المجاري المائية} = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)} / \text{إجمالي طول المجاري المائية}$$

تتراوح قيم معامل صيانة المجاري المائية في أحواض البحر الأحمر بين 0.01 (مرتفع الخطورة) و 0.18 (منخفض الخطورة). أما بالنسبة للأحواض المدروسة، فقد بلغت قيم معامل صيانة المجاري المائية 0.25 لحوض تصريف وادي ن. دارا و 0.27 لحوض تصريف وادي دارا. وتشير هذه القيم إلى أن كلا الحوضين يتمتعان باحتمالية مرتفعة لخطر الفيضانات.

الجريان السطحي كم

يشير الجريان السطحي إلى المياه الزائدة التي تبدأ بالتحرك على المنحدرات بعد عملية التبخر والتسرب لتغذية الخزان الجوفي. تكون هذه الحركة غير مركزة وتتجه في اتجاهات مختلفة، مما يؤدي إلى تغطية جزء كبير من السطح (صالح، 1999).

يغطي الجريان السطحي المنطقة الواقعة بين خط تقسيم المياه وبداية المجرى حيث تتجمع المياه السطحية وتتحرك في تدفق مركّز. يختلف عمق المياه وسرعتها وطول حركتها حتى تصل إلى المجاري المائية الأولى تبعاً للخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لكل حوض (صالح، 1999).

تم حساب متوسط طول الجريان السطحي باستخدام المعادلة التالية (هورتون، 1945):

$$\text{متوسط الجريان السطحي} = 2/1 \text{ كثافة التصريف (كم}^2\text{/كم}^2\text{)}$$

يتراوح الجريان السطحي في أحواض البحر الأحمر بين 2.7 (منخفض الخطورة) و 38.5 (مرتفع الخطورة). أما في الأحواض المدروسة، فقد بلغ 1.98 في وادي ن. دارا و 1.84 في وادي دارا، مما يشير إلى أن جميع الأحواض المدروسة تتميز بانخفاض احتمالية خطر الفيضانات.

نسبة النسيج كم¹

تعكس نسبة النسيج الطبوغرافي درجة تقارب خطوط التصريف في الحوض، بغض النظر عن أطوالها. تكمن أهمية هذا العامل في أنه يُستخدم لتحديد مدى تشريح الحوض بواسطة خطوط التصريف (جودة وآخرون، 1991، ص. 330).

تتأثر نسبة النسيج بالمناخ ونوع الصخور. ففي المناطق الرطبة، تتميز الأحواض عادةً بعدد أكبر من المجاري المائية، مما يشير إلى نسيج أكثر تفصيلاً ودقة. في المقابل، تتمتع المناطق القاحلة وشبه القاحلة بعدد أقل من المجاري المائية، مما يؤدي إلى نسيج أكثر خشونة. كما يلعب نوع الصخر دوراً مهماً في تحديد نسيج الحوض؛ فالصخور الضعيفة وسهلة التآكل تساهم في تشكيل نسيج أكثر دقة، بينما تؤدي الصخور الصلبة والمقاومة إلى نسيج أكثر خشونة. بالإضافة إلى ذلك، فإن نقص الغطاء النباتي في بعض المناطق قد يسهم أيضاً في تكوين نسيج خشن.

يتم حساب نسبة النسيج باستخدام المعادلة التي اقترحها هورتون (1945، ص. 288):

$$\text{نسبة النسيج} = \text{عدد المجاري المائية} / \text{محيط الحوض}$$

يتم تصنيف الأحواض المدروسة وفقاً لتصنيف سميث كما يلي:

الجدول 17: تصنيف نسبة النسيج (سميث، 1950)

تصنيف نسبة الملمس، سميث، 1950	
ملمس خشن	> 4 تيار/كم

ملمس متوسط	4 - 10 تيار/كم
ملمس ناعم	< 10 تيار/كم

تتراوح نسبة النسيج في أحواض البحر الأحمر بين 6.7 (مخاطر عالية) و100.6 (مخاطر منخفضة). أما نسبة النسيج في الأحواض التي تمت دراستها، فهي 15.79 لوادي شمال دارا و36.48 لوادي دارا. وبمقارنة هذه القيم مع نسب النسيج في أحواض البحر الأحمر، يتبين أن وادي شمال دارا يتمتع بمخاطر فيضانات منخفضة، بينما يتمتع وادي دارا بإمكانية متوسطة لمخاطر الفيضانات.

7.5.3 العوامل المؤثرة في حدوث الفيضانات

يخضع تدفق الفيضانات لعدة عوامل، من أهمها (الجدول 18):

- العوامل الهيدرولوجية للأحواض المائية.
- الميزانية الهيدرولوجية للأحواض المائية.

الجدول 18: المعلومات الهيدرولوجية للأحواض التي تمت دراستها. (تم حساب المعلومات تلقائيًا باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية "آرك جي آي إس")

وادي	دارا	شمال دارا	المتوسط
الطول الإجمالي للمجري المائية	645.9	101.2	373.6
زمن التركيز	1076.5	168.6	622.6
كثافة التصريف	866.5	138.1	502.3
حجم التصريف	1844.2	345.4	1094.8
زمن التصريف	1.84	0.70	1.27
طول أطول رافد	3.6	9	105.3
الهطول المطري	60067170.0	7807860.0	33937515.0
مستوى الارتفاع	1250803.9	61845.6	656324.7
أطول زمن لتدفق المياه	1008371.9	20531.0	514451.5
انحدار الحوض	341226.5	16871.8	179049.2
طول الحوض	2600413.1	99250.1	1349831.6
معامل الجريان	57466756.9	7708609.9	32587683.4

زمن التأخر (دقيقة)، زمن التركيز (دقيقة)، معدل الصرف، حجم الصرف (متر مكعب)، زمن التصريف (ساعة)، سرعة الجريان (متر/ثانية)، الهطول (ملم)، الفاقد بالتبخر (متر مكعب)، زمن التأخر للتسرب (دقيقة)، التسرب (متر مكعب)، إجمالي الفواقد (متر مكعب)، الجريان السطحي.

أ) العوامل الهيدرولوجية لأحواض التصريف

تتأثر العوامل الهيدرولوجية بمزيج من الخصائص المورفومترية والظروف المناخية داخل الحوض. ومن خلال استخدام صور الأقمار الصناعية "لاندسات"، ونماذج الارتفاعات الرقمية (النماذج الرقمية للتضاريس)، والبيانات المناخية المتوسطة، تم حساب العوامل الهيدرولوجية الرئيسية للأحواض المدروسة باستخدام برنامج "آرك جي آي إس". سيتم تحليل تأثير هذه العوامل الهيدرولوجية على الأحواض الثلاثة من خلال عدة معايير هيدرولوجية تشمل: زمن التأخر، زمن التركيز، حجم التصريف، حجم الجريان، زمن التصريف، وسرعة تدفق المياه.

زمن التأخر (زمن الاستجابة) – دقيقة

يشير زمن التأخر إلى الفترة الزمنية بين بداية هطول الأمطار وبدء الجريان السطحي. ويتميز بمعدلات عالية من التسرب تحت السطحي والتبخر. يشير زمن التأخر الأطول إلى ارتفاع معدلات التبخر والتسرب، مما يقلل من احتمالية حدوث الفيضانات. وتكمن أهمية دراسة زمن التأخر في تحديد المدة المطلوبة لبدء التدفق، فضلاً عن تقدير صافي التدفق خلال فترة التسرب. يتأثر زمن التأخر بجيولوجيا الحوض، حيث تؤدي الصخور عالية النفاذية والمسامية والمتشققة إلى زيادة زمن التأخر. كما أن انحدار السطح يلعب دوراً مهماً؛ فالمنحدرات الأكثر انحداراً تقلل زمن التأخر لأن زيادة سرعة التدفق تقلل من خسائر التسرب والتبخر، وبالتالي فإن قصر زمن التأخر يرتبط بزيادة خطر الفيضانات.

تم حساب زمن التأخر للأحواض المدروسة باستخدام المعادلة التي قدمتها هيئة الحفاظ على الموارد الأمريكية (1972):

$$\text{زمن التأخر} = \text{ثابت} \times \text{زمن التركيز}$$

حيث إن:

زمن التأخر (TL) = الفترة بين هطول المطر وبداية الجريان السطحي

$$\text{الثابت (KI)} = 0.6$$

زمن التركيز (CT) = الزمن الذي تستغرقه المياه للوصول من أبعد نقطة في الحوض إلى مخرجه (بالدقائق).

بلغت قيمة زمن التأخر للحوضين المدروسين 101.2 دقيقة في وادي شمال دارا و625.9 دقيقة في وادي دارا. واستناداً إلى هذه القيم، فإن كلا الحوضين أقل عرضة للفيضانات عند مصباتهما السفلية، حيث يشير زمن التأخر الأطول إلى انخفاض مخاطر الفيضانات.

زمن تركيز الحوض (دقيقة)

يشير زمن التركيز إلى الفترة الزمنية التي تستغرقها مياه الأمطار من أبعد نقطة عند خط تقسيم المياه للوصول إلى مخرج الحوض على شكل مياه جارية (جوروشكوف، 1979). تعتمد معادلة زمن التركيز على تأثير طول الحوض والفرق الرأسي على سرعة المياه السطحية. ويتم حساب زمن التركيز باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{زمن التركيز} = 0.28 \times (\text{طول المجرى الرئيسي} / \text{سرعة التدفق})$$

حيث إن:

زمن التركيز (CT): الزمن اللازم للوصول الجريان إلى مخرج الوادي (بالدقائق).

طول المجرى الرئيسي (L): طول مجرى الوادي الرئيسي (بالمتر).

سرعة التدفق (V): سرعة تدفق المياه (متر/دقيقة).

يعد زمن التركيز عاملاً مهماً في تحديد الوقت اللازم لوصول الجريان إلى مخرج الوادي، كما يساعد في تحديد الأودية المناسبة لإنشاء محطات إنذار الفيضانات. في بعض الأحيان، قد يقل زمن التركيز في بعض الأودية إلى درجة لا يمكن معها إصدار تحذيرات في الوقت المناسب.

بلغت قيم زمن التركيز للحوضين المدروسين 168.6 دقيقة في وادي شمال دارا و 1076.5 دقيقة في وادي دارا (الجدول 18). ويعادل زمن التركيز في وادي شمال دارا حوالي 3 ساعات، بينما يصل إلى حوالي 18 ساعة في وادي دارا، ولذلك لا توجد حاجة لإنشاء محطات إنذار الفيضانات في هذه الأحواض.

معدل التصريف (متر مكعب/ثانية)

يشير معدل التصريف إلى حجم المياه التي تمر عبر مساحة قدرها كيلومتر مربع واحد، مقاساً بالمتر المكعب في الثانية. يأخذ هذا العامل في الاعتبار جميع أجزاء الحوض، حيث يتم احتساب كل قطرة مطر تسقط على أي سنتيمتر مربع ضمن الحجم الكلي للتصريف. يمكن حساب معدل التصريف باستخدام معادلة "مركز التنمية والتخطيط التكنولوجي":

$$\text{معدل التصريف} = 1.5 \times (\text{مساحة الحوض})^{0.9}$$

تعتمد هذه المعادلة على حساب معدل التصريف دون الأخذ في الاعتبار نسب التسرب والتبخر.

حيث إن:

معدل التصريف (DR): حجم المياه المتدفقة (متر مكعب/ثانية).

مساحة الحوض (A): المساحة الإجمالية للحوض (كيلومتر مربع).

0.9: ثابت يشير إلى خصائص الحوض.

يتراوح معدل التصريف في أحواض البحر الأحمر بين 3.8 متر مكعب/ثانية (مخاطر فيضانية منخفضة) و 1273.4 متر مكعب/ثانية (مخاطر فيضانية مرتفعة). أما بالنسبة للأحواض المدروسة، فقد بلغ معدل التصريف في وادي شمال دارا 138.1 متر مكعب/ثانية، وفي وادي دارا 866.5 متر مكعب/ثانية.

وبالمقارنة مع معدلات التصريف في أحواض البحر الأحمر، فإن وادي شمال دارا يتميز بمخاطر فيضانية منخفضة، بينما وادي دارا لديه احتمالية متوسطة لحدوث الفيضانات عند مخرجاته السفلية.

حجم التصريف (متر مكعب)

يشير حجم التصريف إلى إجمالي كمية المياه التي يمكن تصريفها عبر شبكة التصريف، مقاساً بالآلاف متر مكعب. كلما زاد التدفق، زادت مخاطر الفيضانات في الحوض. يمكن حساب حجم التصريف باستخدام المعادلة المقدمة من مركز التنمية والتخطيط التكنولوجي:

$$\text{حجم التصريف} = 1.5 \times (\text{إجمالي طول الروافد})^{0.85}$$

حيث إن:

حجم التصريف (DV): كمية المياه المتدفقة (متر مكعب).

إجمالي طول الروافد (LT): مجموع أطوال جميع الروافد في الحوض.

0.85: ثابت يشير إلى خصائص الحوض.

يتراوح حجم التصريف في أحواض البحر الأحمر بين 80.4 ألف متر مكعب (مخاطر فيضانية منخفضة) و 3708.1 ألف متر مكعب (مخاطر فيضانية مرتفعة). أما بالنسبة للأحواض المدروسة، فقد بلغ حجم التصريف في وادي شمال دارا 345.4 ألف متر مكعب، وفي وادي دارا 1844.2 ألف متر مكعب.

وبالمقارنة مع القيم المتوسطة لأحواض البحر الأحمر، فإن وادي شمال دارا يتميز بمخاطر فيضانية منخفضة، بينما وادي دارا لديه احتمالية متوسطة لحدوث الفيضانات.

زمن التصريف (ساعة)

زمن التصريف هو المدة الزمنية التي يحتاجها الحوض لتصريف جميع مياهه من المنطقة العليا إلى المخرج. وقد تم حساب زمن التصريف في الأحواض باستخدام المعادلة التالية (سلوى، 1989):

$$\text{زمن التصريف} = (0.305 \times \text{طول المجرى الرئيسي})^{1.15} / (0.305 \times \text{الفرق في الارتفاع})^{0.38}$$

حيث إن:

زمن التصريف (TD): المدة الزمنية اللازمة لتصريف المياه (ساعة).

طول المجرى الرئيسي (L): طول المجرى الأساسي للحوض.

الفرق في الارتفاع (H): الفرق بين أعلى وأدنى نقطة في الحوض.

سرعة الجريان (كم/ساعة)

يمكن حساب سرعة أي جسم متحرك باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$\text{السرعة} = \text{المسافة} / \text{الزمن}$$

وتُستخدم هذه المعادلة في حساب سرعة جريان المياه كما يلي:

$$\text{سرعة الجريان (Lt)} = \text{طول الحوض (L)} / \text{زمن التركيز (CT)}$$

تتراوح سرعة جريان المياه السطحية في أحواض البحر الأحمر بين 5.2 كم/ساعة (مخاطر فيضانية منخفضة) و39.9 كم/ساعة (مخاطر فيضانية مرتفعة). أما الأحواض المدروسة، فقد بلغت سرعة الجريان 9 كم/ساعة في حوض تصريف وادي شمال دارا، و3.6 كم/ساعة في وادي دارا.

واستناداً إلى سرعة الجريان السطحي، يمكن القول إن حوض تصريف وادي شمال دارا لديه مخاطر فيضانية متوسطة، بينما حوض تصريف وادي دارا لديه احتمالية منخفضة لحدوث الفيضانات.

ب) الموازنة الهيدرولوجية للأحواض

تعتمد الموازنة الهيدرولوجية على حساب كمية المياه المتساقطة على الحوض، والخسائر الناتجة عن التبخر والتسرب، وذلك لتحديد صافي الجريان ومن ثم تقدير احتمالية حدوث السيول (صابر، 2007). تمت دراسة الموازنة الهيدرولوجية من خلال العناصر التالية:

- حجم المياه المتساقطة على أحواض التصريف.
- حجم الفاقد المائي.
- حجم صافي الجريان.

حجم الأمطار المتساقطة على أحواض التصريف م³

يعتمد حجم المياه المتساقطة على كل حوض على مساحة الحوض وأكبر كمية أمطار تهطل في يوم واحد. يمكن حساب حجم المياه المتساقطة على الحوض باستخدام المعادلة التالية:

كمية المياه المتساقطة = مساحة الحوض × أكبر كمية أمطار هطلت في يوم واحد

أكبر كمية أمطار سُجلت في يوم واحد، وفقًا لأقرب محطة أرصاد جوية، بلغت 53.1 ملم في 27 أكتوبر 2016، حيث كان متوسط التبخر في نفس العام 13.9 ملم.

تم حساب حجم الأمطار المتساقطة على الحوضين المدروسين بناءً على أعلى قيمة للهطول المطري (53.1 ملم) وبلغت القيم كما يلي:

7,807,860.0 م³ في وادي شمال دارا.

60,067,170.0 م³ في وادي دارا.

حجم الفاقد من المياه (م³)

يؤثر الفاقد من المياه الناتج عن التبخر والتسرب على التدفق، حيث يمثل التدفق كمية الأمطار المتبقية بعد احتساب الفاقد بالتبخر والتسرب. هناك عدة أنواع من الفاقد المائي:

- التبخر أثناء الجريان السطحي.
- التسرب خلال زمن التأخر.
- التسرب الثابت أثناء وقت التصريف.

فاقد التبخر أثناء الجريان السطحي م³

نظرًا للظروف المناخية الجافة السائدة في المنطقة، تزداد معدلات التبخر نتيجة لارتفاع درجات الحرارة، خاصة خلال فصل الصيف. بالإضافة إلى درجة الحرارة، تؤثر مدة الهطول المطري على معدل التبخر؛ فكلما قصرت فترة الهطول، قلت فرصة التبخر. كما يؤثر توقيت الهطول على معدل التبخر؛ حيث يزداد التبخر عند سقوط المطر نهائياً، بينما يقل خلال الليل (مصطفى، 2004). علاوة على ذلك، يؤثر انحدار السطح على التبخر؛ إذ يزداد معدل التبخر على الأسطح ذات الانحدار البسيط، بينما يقل على الأسطح شديدة الانحدار. تم استخدام بيانات التبخر من أقرب محطة أرصاد جوية لحساب التبخر أثناء الجريان السطحي من خلال المعادلات التالية:

إجمالي التبخر اليومي = متوسط التبخر × مساحة الحوض

يتم بعد ذلك حساب إجمالي التبخر في الساعة باستخدام المعادلة التالية:

إجمالي التبخر في الساعة = إجمالي التبخر اليومي / 24

يتم استخدام القيم الناتجة عن حساب زمن تصريف الأحواض لحساب التبخر أثناء زمن التصريف، كما هو موضح في المعادلة التالية:

فاقد التبخر أثناء زمن التصريف = إجمالي التبخر في الساعة × زمن تصريف الحوض

بلغت خسائر التبخر في الحوضين 61,845.6 م³ في وادي ن. دارا، و 1,250,803.9 م³ في حوض تصريف وادي دارا.

التسرب خلال زمن التأخر م³

يُقصد بالتسرب عملية تغلغل المياه عبر سطح التربة. وتتمتع التربة بحد أقصى -لامتصاص المياه (قدرة التسرب)، بحيث لا يمكنها استيعاب كمية مياه تتجاوز هذا الحد. وعندما تكون كمية الأمطار الهاطلة أكبر بكثير من قدرة التربة على التسرب، يبدأ تكوّن الجريان السطحي نتيجة تجمع مياه الأمطار فوق سطح التربة. وتعتمد درجة تسرب المياه عبر التربة على مدى مسامية الصخور، ونفاذيتها، ودرجة انحدار السطح، بالإضافة إلى عمق ونوع الطبقة السطحية. يوضح الجدول التالي (الجدول 19) حجم التسرب عبر طبقات التربة (ويلون ولين، 1980).

الجدول 19: حجم التسرب في رواسب التربة

نوع الرواسب	حجم الحبيبات	بوصة/ساعة	ملاحظات
الحصي، الرمل الخشن	2 مم	5	
الرمل النظيف، الحصى	2	2:5	أراضي زراعية
الرمل، الحصى، الطمي، الطين	متغير	3:1	قليل من الطمي والطين
الرمل، الحصى ممزوج بالطين والطين	متغير	0.25	كثير من الطمي والطين
المواد المتماسكة، نسبة عالية من الطمي والطين	متغير	0.1-0.001	
المتوسط		1.93	0.08 مم/دقيقة

يتم حساب التسرب خلال زمن التأخير باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{التسرب خلال زمن التأخير} = \text{مساحة الحوض} \times \text{زمن التأخير} \times 0.08 \text{ ملليمتر/دقيقة}$$

حيث إن 0.08 ملليمتر/دقيقة هو متوسط كمية التسرب لجميع أنواع رواسب السطح (ويلسون ولين، 1980).

يُعرف التسرب خلال زمن التأخير بأنه التسرب الذي يحدث عند بداية هطول الأمطار ويستمر حتى يظهر الماء على سطح الأرض ويبدأ في الجريان. بلغت قيمة التسرب خلال زمن التأخير في الحوضين 20,531.0 متر مكعب لحوض تصريف وادي ن. دارا و 1,008,371.9 متر مكعب لحوض تصريف وادي دارا. وتفقد أحواض تصريف وادي الدرب ووادي خريم كمية من المياه عبر التسرب أقل مما يفقده وادي أبو خشبة.

التسرب الثابت خلال زمن التصريف متر مكعب

تعكس قيم التسرب الثابت كمية التسرب داخل الصخور الأساسية التي تقع أسفل رواسب التربة السطحية التي تغطي جوانب وأرضية الحوض (عواض الله، 2005).

يتم حساب التسرب الثابت خلال زمن التصريف للحوض باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{قيم التسرب الثابت} = \text{مساحة الحوض} \times \text{زمن التصريف} \times w$$

حيث إن (w) هو ثابت يعبر عن نوع الصخر الأصلي.

بلغت قيم التسرب الثابت للحوضين 16,871.8 متر مكعب في حوض تصريف وادي ن. دارا و 341,226.5 متر مكعب في وادي دارا. ويُلاحظ أن التسرب الثابت خلال زمن التصريف في وادي دارا أعلى بكثير منه في وادي ن. دارا.

إجمالي الفاقد بالمتر المكعب

إجمالي الفاقد هو كمية المياه المفقودة، سواء عن طريق التبخر أو التسرب، حيث يتم تحديد كمية الجريان الصافي. يتم حساب الفاقد من خلال جمع قيم التبخر والتسرب التي تم حسابها سابقاً كما يلي:

$$\text{إجمالي الفاقد} = \text{التبخر أثناء الجريان} + \text{التسرب خلال زمن التأخير} + \text{قيم التسرب الثابت}$$

يتراوح إجمالي الفاقد في أحواض البحر الأحمر بين $10^6 \times 0.02$ متر مكعب و $10^6 \times 2.1$ متر مكعب. أما إجمالي الفاقد في الحوضين، فقد بلغ 99,250.1 متر مكعب في وادي ن. دارا و 2,600,413.1 متر مكعب في وادي دارا. وتُعزى هذه القيم المرتفعة إلى الظروف المناخية، بالإضافة إلى خصائص السطح والتركيب الجيولوجي للمنطقة.

حجم الجريان الصافي في أحواض التصريف (الجريان السطحي) متر مكعب

الجريان الصافي هو كمية المياه المتبقية بعد طرح الفاقد الناتج عن التبخر والتسريب الكلي من إجمالي كمية الأمطار. يشير ارتفاع الجريان الصافي إلى زيادة احتمالية حدوث الجريان السطحي (صابر، 2007). وبالتالي، يتم حساب الجريان الصافي عن طريق طرح إجمالي الفاقد من إجمالي الهطول المطري:

الجريان الصافي = إجمالي الهطول المطري - إجمالي الفاقد

بلغت قيم الجريان الصافي في الحوضين المدروسين 7,708,609.9 متر مكعب في حوض تصريف وادي نخل دارا و 57,466,756.9 متر مكعب في حوض تصريف وادي دارا. ويمكن أن يؤدي هذا الجريان الصافي في أحواض التصريف إلى حدوث سيول مفاجئة عند مخرجها في حالة سقوط أمطار تصل إلى 53.1 ملم خلال 24 ساعة. وتُعد هذه كمية كبيرة من المياه مقارنةً بالأحواض المائية الكبيرة على ساحل البحر الأحمر وخليج السويس، وقد تشكل تهديدًا للمنشآت التي سيتم بناؤها في المجاري الرئيسية لخطوط التصريف، خاصةً في الأجزاء الوسطى والسفلى من المنطقة عند هطول أمطار مماثلة لأكثر كمية سُجلت وفقًا لظاهرة الاحتباس الحراري. ولذلك، يجب اتخاذ التدابير اللازمة لحماية هذه المنشآت من الجريان السطحي القوي.

7.5.4 ملخص الأحواض المدروسة وفقًا للمعايير المقاسة

لتقييم معدل المخاطر ومستوى الخطورة الناتجة عن الجريان السطحي في الأحواض المدروسة، تم تحليل ثلاث خصائص رئيسية تتعلق بالشكل المورفولوجي لأحواض التصريف. كما تم الاستناد إلى الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف على طول البحر الأحمر. وقد تم تحديد مستوى مخاطر الفيضانات لكل حوض تصريف بناءً على مزيج من هذه المتغيرات المورفومترية. وتم اختيار المعايير التالية نظرًا لدورها البارز في تحديد خصائص الحوض وعلاقتها بمخاطر الفيضانات، كما يلي:

1. خصائص الشكل: تم اختيار نسبة الاستدارة كمؤشر هام لقياس خطورة الجريان السطحي في المنطقة.
2. الخصائص الجيومورفولوجية: تم اختيار معدلات نسبة التضرس، قيمة الوعورة، والتكامل الهيبسومتري كمؤشرات لقياس خطورة التدفق في الأحواض.
3. الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف: تم اختيار كثافة التصريف، تكرار المجاري، ونسبة النسيج الطبوغرافي كمؤشرات لقياس تأثير خصائص الصخور الأساسية على الجريان السطحي.
4. العوامل الهيدرولوجية: تم اختيار معاملات زمن التأخر، زمن التركيز، وسرعة المياه كمؤشرات لقياس خطورة التدفق في الحوضين.

يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية بناءً على حدود كل معيار للحوضين، ومقارنتها مع قيمها في جميع الأحواض على طول البحر الأحمر وخليج السويس:

- من حيث نسبة الاستدارة، يتميز الحوضان بانخفاض مستوى مخاطر الفيضانات.
- من حيث عامل التضرس، تقع جميع الأحواض ضمن فئة المخاطر المنخفضة.
- فيما يتعلق بالوعورة، تعكس قيم نسبة الوعورة مستوى منخفضًا من مخاطر الفيضانات في الأحواض المدروسة.
- من حيث التكامل الهيبسومتري، يظهر حوض التصريف لوادي ن. دارا مخاطر فيضانات منخفضة، بينما يظهر وادي دارا مخاطر فيضانات متوسطة.
- من حيث كثافة التصريف، يقدم الحوضان مستوى منخفضًا من مخاطر الفيضانات.
- من حيث تكرار المجاري، يقدم الحوضان مستوى منخفضًا من مخاطر الفيضانات.
- فيما يتعلق بالنسيج الطبوغرافي، يظهر وادي ن. دارا مستوى منخفضًا من مخاطر الفيضانات، بينما يظهر وادي دارا مستوى متوسطًا من المخاطر.

- من حيث زمن التأخر، يتمتع الحوضان بمستوى منخفض من مخاطر الفيضانات.
- فيما يتعلق بزمن التركيز، لا توجد ضرورة لإنشاء محطات تحذير من الفيضانات لأي من الحوضين.
- من حيث معامل سرعة المياه، يُصنف حوض التصريف لوادي ن. دارا ضمن فئة المخاطر المتوسطة، بينما يُصنف وادي دارا ضمن فئة المخاطر المنخفضة.

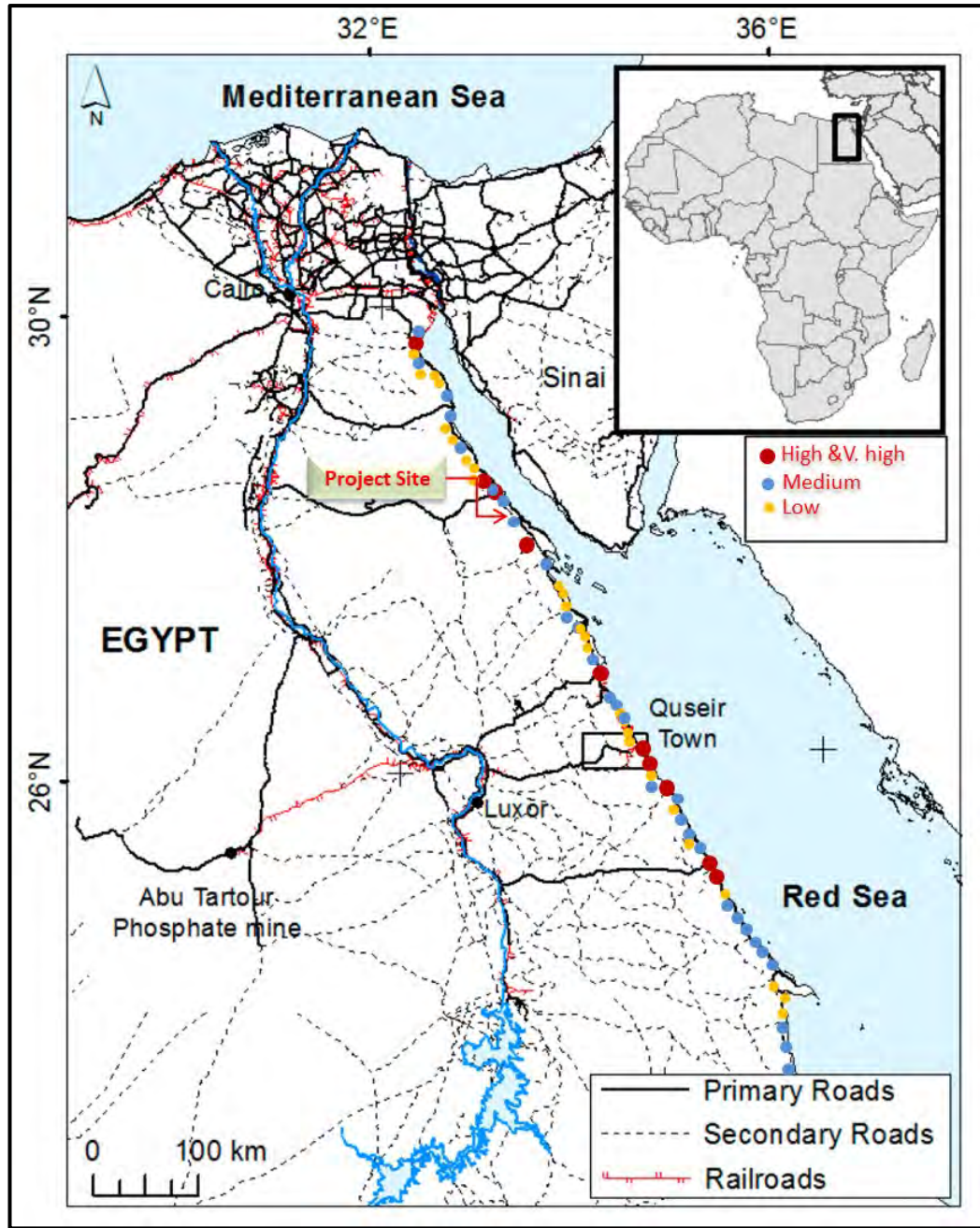
7.5.5 تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة

تمت معالجة البيانات الرقمية الناتجة عن التحليل المورفومتري لحوضي التصريف المدروسين إحصائيًا في إطار البيانات العامة المتاحة لأحواض البحر الأحمر (الشكل 45). وقد تم اختيار أهم المعايير المورفومترية لتصنيف أحواض التصريف المدروسة وفقًا لحدة الفيضانات.

تم اختيار خمسة معايير من بين 23 معيارًا تمتلك حدودًا مرجعية في منطقة البحر الأحمر لإجراء معالجة إحصائية بسيطة بهدف تقديم رؤية معمقة حول مستوى شدة الفيضانات في الحوضين المدروسين. وهذه المعايير الخمسة هي: المساحة، نسبة الاستدارة، معامل الميل، كثافة التصريف، والتدفق الصافي. وتعتبر هذه المعايير من أهم العوامل في التحليلات المورفومترية لأحواض التصريف.

الأسباب الفعلية لاختيار هذه المعايير الخمسة في حسابات الشدة:

- (1) معايير أبعاد الحوض تحدد بشكل جماعي مساحة الحوض.
- (2) معيار نسبة الاستدارة يعكس خصائص أخرى لشكل الحوض.
- (3) معامل الميل هو الناتج النهائي لتفاعل الخصائص الطبوغرافية.
- (4) كثافة التصريف تُعتبر أحد أهم المعايير ضمن التحليل المورفومتري للحوض.
- (5) العوامل المتحكم في حدوث الفيضانات مثل الظروف المناخية والعوامل الهيدرولوجية والموازنة الهيدرولوجية، ترتبط بشكل مباشر بالتدفق الصافي.



الشكل 45: احتمالية الفيضانات في منطقة البحر الأحمر بناءً على السجل التاريخي للفيضانات المفاجئة.

خطوات الحساب

تم تصنيف القيم العظمى (الحد الأقصى) والصغرى (الحد الأدنى) لـ 23 من معلمات أحواض تصريف البحر الأحمر إلى أربعة مستويات: المستوى 1 إلى المستوى 4 (الجدول 20). بالنسبة للمعلمات الخمس المختارة، تم تقسيم الفرق بين الحدود العليا والدنيا على أربعة لتحديد أربعة حدود تصنيفية (الفئة 1 إلى الفئة 4) لكل معلمة (الجدول 19). تم حساب نطاق مستويات تصنيف المخاطر الأربعة — منخفض (1)، متوسط (2)، مرتفع (3)، ومرتفع جدًا (4) — استنادًا إلى هذه الحدود التصنيفية (الجدول 19).

يساهم كل من المعلمات الخمس المختارة بنسبة 20٪ في إجمالي شدة الفيضان المتوقع. تمت مقارنة قيم المعلمات المختارة للأحواض المائية المدروسة مع الحدود التصنيفية الأربعة لتحديد مستوى تصنيف المخاطر لكل معلمة في كل حوض مائي (الجدول 20).

تم حساب النسب المئوية للشدة لكل من المعلمات الخمس في الحوضين استنادًا إلى مستوى تصنيف المخاطر لكل معلمة (الجدول 21). كما تم تحديد المستوى العام للشدة كل حوض مائي (الجدول 22).

تم استنتاج احتمالية حدوث الفيضانات المفاجئة بمستويات شدتها المختلفة — منخفضة، متوسطة، مرتفعة، ومرتفعة جدًا — بناءً على السجلات التاريخية للفيضانات المفاجئة في منطقة البحر الأحمر، كما هو موضح في الشكل 44. يوضح هذا الشكل أن موقع المشروع يقع في منطقة تعرضت لفيضانات تتراوح شدتها بين المتوسطة والمرتفعة جدًا عند مخارج بعض الأحواض المائية.

تم تصنيف احتمالية الفيضانات المفاجئة إلى أربعة مستويات: (1) منخفض، (2) متوسط، (3) مرتفع، و(4) مرتفع جدًا. تم حساب مصفوفة مخاطر الفيضانات المفاجئة بناءً على فئات الشدة والاحتمالية، كما هو موضح في الجدول 25.

الجدول 20: المعلمات المورفومترية لأحواض تصريف البحر الأحمر المصنفة ضمن أربعة مستويات (المستوى 1 إلى المستوى 4).

حدود الفئات				نطاق المعايير			المعايير
المستوى 1	المستوى 1	المستوى 1	المستوى 1	(الحد الأقصى - الحد الأدنى) / 4	الحد الأدنى	الحد الأقصى	
1796.5	1348.1	899.7	451.2	448.4	2.8	1796.5	المساحة (كم ²)
0.52	0.422	0.325	0.227	0.1	0.13	0.52	نسبة الدائرية
13.4	10.3	7.2	4.0	3.1	0.9	13.4	مؤشر الانحدار
77.0	58.67	40.43	22.1	18.33	3.68	77.0	كثافة الصرف (كم ²)
57.4	43.15	28.8	14.45	14.35	0.1	57.4	التدفق الصافي

الجدول 21: حدود ومستويات المخاطر للمعلمات الخمس المختارة وفقًا لجميع أحواض تصريف البحر الأحمر

مستويات فئات المخاطر				حدود الفئات				المعايير
عالية جدًا (4)	عالية (3)	متوسط (2)	منخفض (1)	C4	C3	C2	C1	
1348.1 - 1796.5	899.7 - 1348.1	451.2 - 899.7	2.8 - 451.2	1796.5	1348.1	899.7	451.2	المساحة (كم ²)
0.4225 - 0.52	0.325 - 0.4225	0.2275 - 0.325	0.13 - 0.2275	0.52	0.4225	0.325	0.2275	الدائرة
10.3 - 13.4	7.2 - 10.3	4 - 7.2	0.9 - 4	13.4	10.3	7.2	4.0	مؤشر الانحدار

58.67 - 77	40.43 - 58.67	22.1 - 40.43	3.68 - 22.1	77.0	58.67	40.43	22.1	كثافة الصرف
43.15 - 57.4	28.8 - 43.15	14.45 - 28.8	0.1 - 14.45	57.4	43.15	28.8	14.45	التدفق الصافي

الجدول 22: حدود ومستويات المخاطر للحوضين المدروسين

مستويات فئة المخاطر (الاحتمالية)		الأحواض			
وادي دارا	وادي شمال دارا	وادي دارا	وادي شمال دارا	المعايير	
3	1	1170.9	152.2	المساحة (كم ²)	
1	1	0.25	0.33	الدائرة	
1	1	1.15	0.92	مؤشر الانحدار	
1	1	3.68	3.95	كثافة الصرف	
4	1	57.5	7.7	التدفق الصافي* 106 متر مكعب	

الجدول 23: نسبة شدة المعايير الخمسة المختارة في الحوضين

المعايير	الفئة	منخفض (1)	متوسط (2)	عالية (3)	عالية جدًا (4)
المنطقة					
حدود %		1 - 5%	6 - 10%	11 - 15%	16 - 20%
سلسلة جبال البحر الأحمر		2.8 - 451.2	451.2 - 899.7	899.7 - 13481.1	1348.1 - 17.96.5
% من الشدة	وادي شمال دارا	1.7			
	وادي دارا			13.02	
التعميم					
حدود %		1 - 5%	6 - 10%	11 - 15%	16 - 20%
سلسلة جبال البحر الأحمر		0.3 - 0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8
% من الشدة	وادي شمال دارا	4.1			
	وادي دارا	3.1			
مؤشر المنحدر					
حدود %		1 - 5%	6 - 10%	11 - 15%	16 - 20%

10.3 - 13.4	7.2 - 10.3	4 - 7.2	0.9 - 4	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			1.15	وادي شمال دارا	%من الشدة
			1.44	وادي دارا	
كثافة الصرف					
16 – 20%	11 – 15%	6 – 10%	1 – 5%	حدود %	
59.1 - 77	41.2 - 59.1	23.3 - 41.2	5.4 - 23.3	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			0.89	وادي شمال دارا	%من الشدة
			0.83	وادي دارا	
التدفق الصافي					
16 – 20%	11 – 15%	6 – 10%	1 – 5%	حدود %	
2.8 - 3.7	1.9 - 2.8	1 - 1.9	0.1 – 8.15	سلسلة جبال البحر الأحمر	
			2.7	وادي شمال دارا	%من الشدة
5				وادي دارا	

الجدول 24: مستوى تصنيف شدة الفيضانات للحوضين المدروسين

الأحواض	وادي 1	وادي 2
المساحة	1.69	13.03
الدائرية	4.13	3.13
انحدار المنحدر	1.15	1.44
كثافة الصرف	0.89	0.83
التدفق الصافي	2.66	5.01
النسبة المئوية الإجمالية	10.52	23.43
مستوى الفئة	1	1

الجدول 25: مصفوفة مخاطر الفيضانات المفاجئة التي يمكن توقعها في الحوضين المدروسين

← احتمالية	1	2	3	4
↓				

الخطورة				
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16



ملاحظة:

- كلا الحوضين لديهما شدة فيضانات بمستوى 1.
- فئات احتمالية الفيضانات هي 1 أو 3 أو 4.
- عامل المخاطر للحوضين هو إما 1 أو 3 أو 4 (مخاطر منخفضة).

الخلاصة:

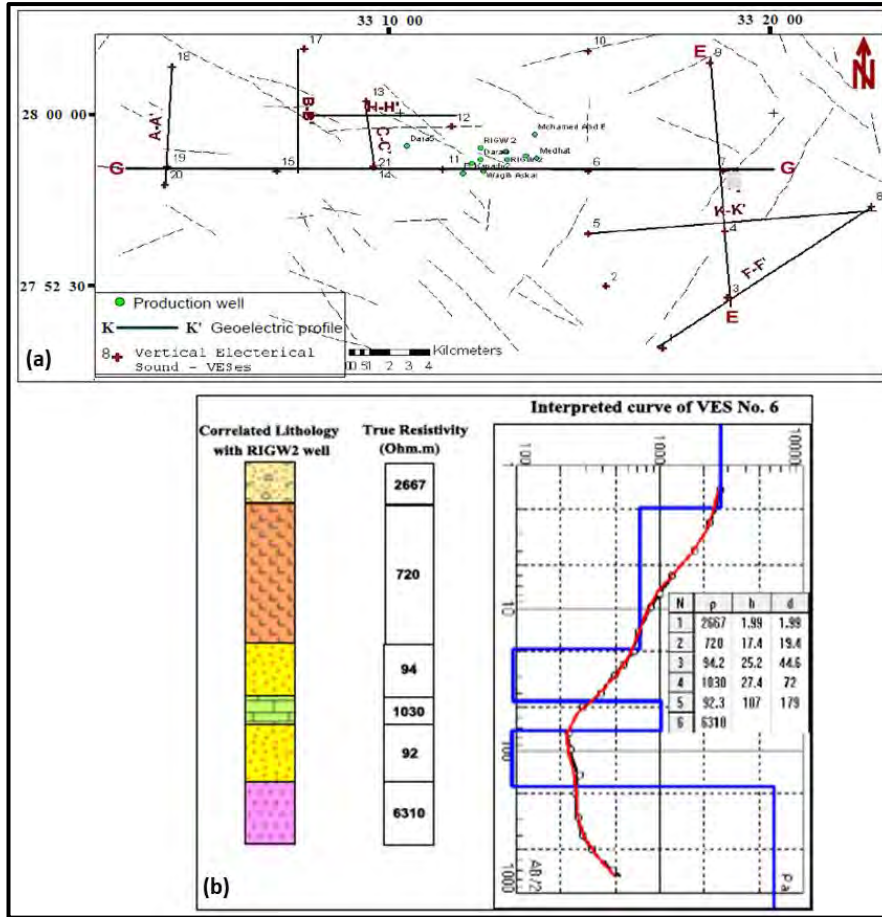
استنادًا إلى التحليلات المورفومترية لحوالي 38 من المعايير الخاصة بالحوضين المدروسين، في إطار دراسة جميع الأحواض في البحر الأحمر وخليج السويس، مع الأخذ في الاعتبار الحد الأقصى لهطول الأمطار في المنطقة خلال يوم واحد، فإن الحوضين يتمتعان بشدة مخاطر فيضانات منخفضة.

7.6 المعايير الهيدروجيولوجية

حدّد بدير (2015) مدى ونوعية وسمك ونمط الأنظمة الطباقية للمياه الجوفية الواقعة أسفل الجزء الجنوبي من الموقع، وتحديدًا على طول المجرى الرئيسي لوادي دارا. ومن خلال دمج الدراسات السابقة ومراجعة وتحليل الإعدادات الجيولوجية والهيدروجيولوجية التفصيلية لوادي دارا، تم إجراء مسح للآبار القائمة وجمع البيانات المتاحة، والتي تشمل تدفق المياه، ومستويات المياه الجوفية، وجودة المياه الجوفية، والوصف الصخري للوحدات المختلفة. تُعدّ هذه المعلومات ضرورية لدعم نموذج المياه الجوفية وسد الفجوات في البيانات الهيدروجيولوجية. تحدد هذه الدراسة الخصائص الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية الحالية استنادًا إلى التفسيرات الجيوفيزيائية وبيانات الآبار، مما يوفر رؤى حول الهياكل العميقة.

يوفر المعايرة بين الآبار المحفورة المتاحة والبيانات الجيوفيزيائية الكهربائية المفسرة المجاورة (بيانات السبر الكهربائي العمودي) فهمًا واضحًا للظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية تحت السطح. تَمَّت معايرة نتائج السبر الكهربائي الجيوفيزيائي مقابل بيانات الآبار المحفورة من حيث سمك الطبقات وقيم المقاومة الكهربائية. تم محاذاة ثلاث نقاط قياس كهربائي (6، 11، و14) على امتداد القطاع العرضي "GG" وأُجريت بالقرب من الآبار التابعة لمصلحة البحوث الجيولوجية والمياه الجوفية-2، بئر كاندي-2، وبئر دارا-5 على التوالي (الشكل 46أ).

تُظهر عملية المعايرة بين نقطة القياس الكهربائي (السبر الكهربائي العمودي-6) والبئر التابع لمصلحة البحوث الجيولوجية والمياه الجوفية-2 (الشكل 46ب) توافقًا قويًا بين الوحدات الكهربائية المفسرة وبيانات الآبار. ومع ذلك، تم تصنيف المقاطع المدروسة إلى خمس وحدات متميزة ذات سماكات وقيم مقاومة كهربائية متباينة، كما هو موضح في طيف المقاومة الكهربائية للتسلسل تحت السطحي (الجدول 26).



الشكل 46: أ) خريطة توضح مواقع نقاط السبر والقطاعات الجيوكهربائية، ب) رسم بياني لمنحنى التفسير لـ VES مع البئر المحفور التابع لمصلحة البحوث الجيولوجية والمياه الجوفية. (بدير، 2015)

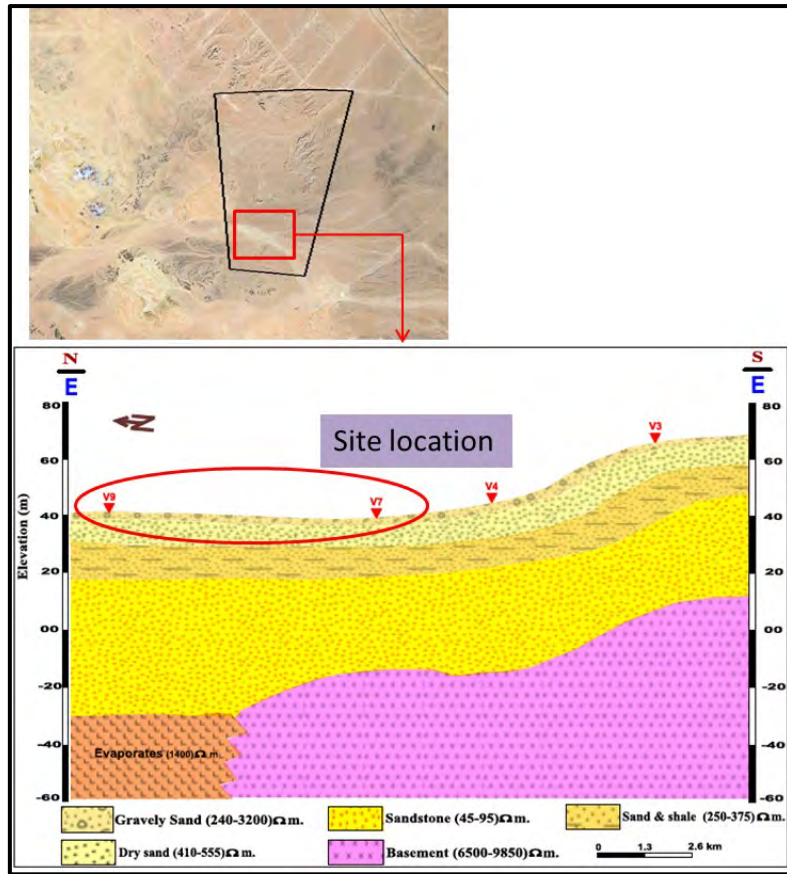
الجدول 26: طيف المقاومة ووحداته الليثولوجية للقطاعات الجيوكهربائية. (المصدر: بدير، 2015)

وحدة الجيوكهرباء	المقاومة (أوم)	وصف الوحدات الليثولوجية المتوقعة	السلك المشترك (م)
الوحدة الأولى	240-3200	الرواسب السطحية، الحصى، الرمال، الحصى الكبيرة، الرمال، وقطع الصخور القاسية (رمال حصوية)	8
الوحدة الثانية	410-550	رمال جافة ذات حبيبات ناعمة إلى خشنة، مع طبقات من الطين.	15
الوحدة الثالثة	250-275	طين أخضر مع رمال جافة، طيني في بعض الأجزاء.	22
الوحدة الرابعة	45-95	منطقة مشبعة بالمياه، حجر رملي متوسط إلى خشن من ألوان مختلفة، حجر رملي طيني وطيني في بعض الأجزاء.	90
الوحدة الخامسة	6500- 9800	الصخور الأساسية، كتلية، شديدة الصلابة، لونها أحمر فاتح.	غير متوفر
الوحدة السادسة	1400- 1600	تتبع المواد المتعفنة والجص بلون وردي.	غير متوفر

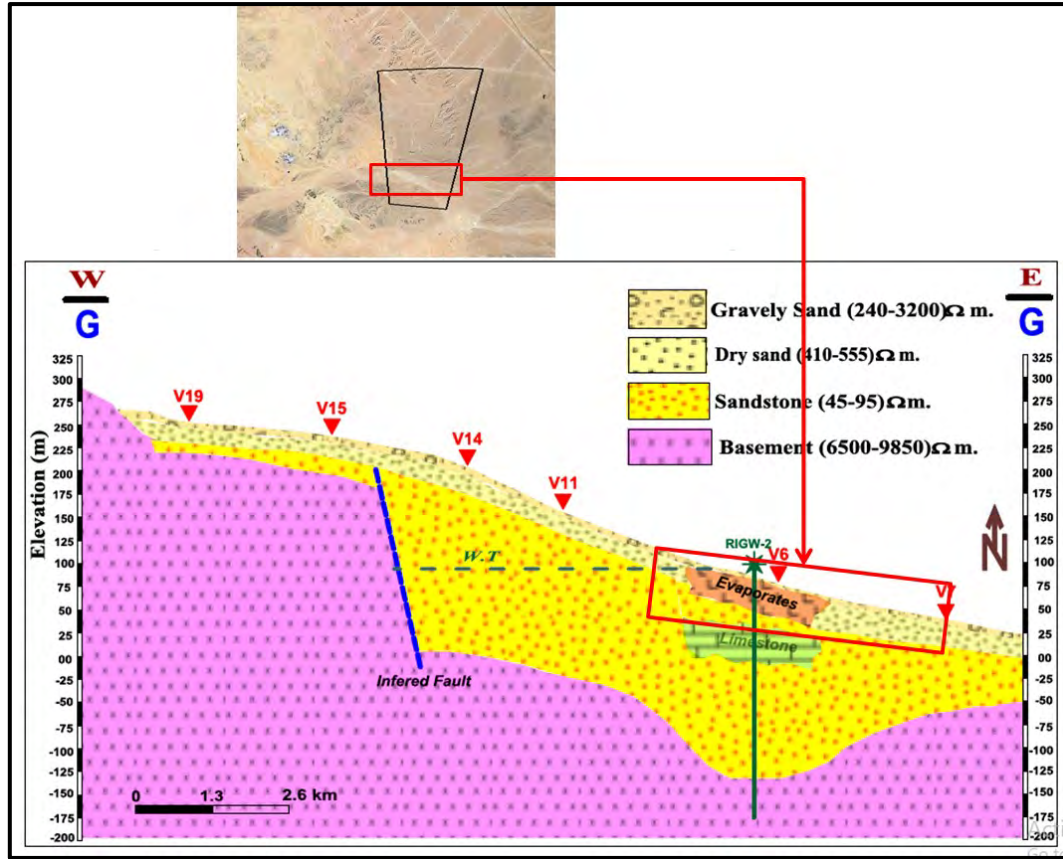
تكشف المقاطع العرضية المبينة E-E' و G-G (الشكلان 47 و 48) عبر منطقة الموقع أن الوحدة الجيولوجية الكهربائية العلوية تتكون من طبقة رقيقة نسبياً ذات قيم مقاومة عالية، ترتبط بالحصى والرمل والصخور الصلبة. أما الوحدة الثانية فهي أكثر سمكاً من الأولى بسبب تأثير النحت للطبقة الثالثة الأساسية. تظهر قيم مقاومة أقل مقارنة بالوحدة الأولى وتفسر على أنها رمال جافة. وبالمثل، تُظهر الوحدة الثالثة قيم مقاومة تدل على ظروف جافة في الغالب، مثل الودعتين الجيولوجية التي تعلوها، وتفسر على أنها رمال جافة.

والجدير بالملاحظة أن الوحدات الجيوكهربائية الأرضية الثلاث العليا التي يتجاوز سمكها مجتمعة 45 متراً تمثل منطقة غير مشبعة (جافة). وهذا يشير إلى أن التسرب المكثف للمياه السطحية يقلل بشكل كبير من حجم التدفق السطحي وكثافته. تتكون الـ 25 متراً العلوية بشكل أساسي من حصى ورمال عالية المسامية والنفاذية، مما يسهل التسرب بشكل أكبر.

تشير بارامترات طبقة المياه الجوفية لطبقة المياه الجوفية في وادي دارا، كما حسبها سويدان وحميدة (1991)، إلى أن قابلية الانتقال (T) تتراوح بين 198 إلى 3580 متر مربع/يوم، بينما تتراوح القدرة على التخزين (S) بين 0.00164 و 0.00236 مع زيادة كلا البارامترين مع زيادة محتوى الرمل والحصى.



الشكل 47: المقطع العرضي الجيو-كهربائي E - E ووحدته الصخرية في وادي دارة. (المصدر، بدير 2015)



الشكل 48: المقطع العرضي الجيو-كهربائي G - G ووحدته الصخرية في وادي دارة. (المصدر، بدير 2015)

وخلصت الدراسة إلى أن سُمك طبقة المياه الجوفية يتراوح بين 100 متر و300 متر، مع انخفاض عام باتجاه الغرب، وهي نتيجة تدعمها أيضاً البيانات المستقاة من الآبار المحفورة. إن المصادر الرئيسية لتغذية طبقة المياه الجوفية هي التسرب المباشر من الأمطار والتسرب من الصخور السفلية الحاملة للمياه والصخور السفلية المتصدعة على طول مناطق الصدع. يتماشى اتجاه تدفق المياه الجوفية مع التضاريس الإقليمية وانحدار الصخور السفلية الكامنة، وكلاهما يتجهان نحو الشرق.

واستناداً إلى مراجعة البارامترات الهيدروجيولوجية للرواسب التي تغطي الموقع وعمق منسوب المياه الجوفية تحت موقع المشروع فيما يتعلق بتقييم مخاطر الفيضانات، يمكن القول

- (1) المنطقة العلوية غير المشبعة ذات سمك كبير وتتكون في المقام الأول من الرمل الخشن والحصى مع مسامية ونفاذية عالية. تعزز هذه الخصائص قدرة التسرب للمياه السطحية، مما يقلل من كثافة التدفق السطحي خلال أحداث العواصف المطرية.
- (2) لا توجد مناطق لتراكم المياه داخل الموقع أو في محيطه المباشر، مما يشير إلى أن مستوى المياه الجوفية على عمق كبير.
- (3) لا يوجد استغلال مكثف للمياه الجوفية في معظم أجزاء منطقة المشروع، باستثناء مجرى وادي دارة الرئيسي. وهذا يشير إلى أن التدفق السطحي وتغذية المياه الجوفية يتأثران بشكل أساسي بالمجرى الرئيسي لأحواض الصرف الكبيرة، مثل وادي دارة.
- (4) يحدث تسرب للمياه السطحية عبر الموقع بأكمله بسبب الطبقة السمكية من الرواسب عالية المسامية والنفاذية التي تغطي المنطقة.
- (5) عند النظر إلى إجمالي مساحة المشروع بالنسبة للبصمة التراكمية للمنشآت (مثل قواعد التوربينات والطرق المعبدة)، فإن منشآت المشروع تشغل جزءاً أصغر بكثير من الأرض. وهذا يعني أن معدلات التسرب الطبيعي الإجمالية تظل غير

متأثرة إلى حد كبير بالمنشآت. وبالإضافة إلى ذلك، بما أن التدفق السطحي يحدث بشكل رئيسي على طول المجاري المائية، ينبغي تجنب هذه المواقع عند وضع التوربينات أو ينبغي النظر في اتخاذ تدابير الحماية المناسبة إذا لزم الأمر.

7.7 زيارة الموقع

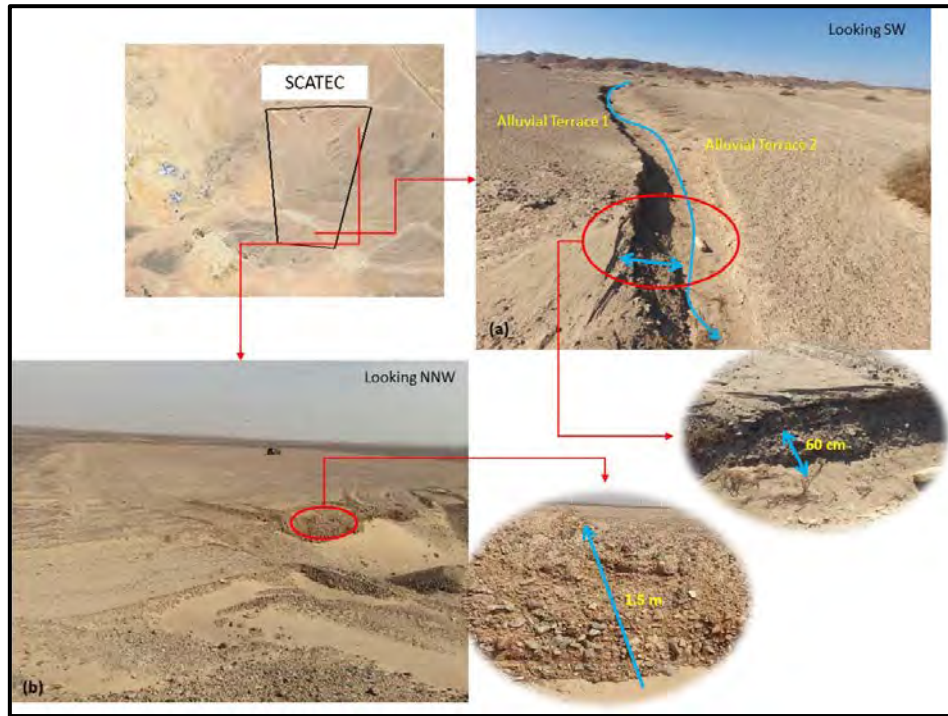
وركزت الزيارة الميدانية في المقام الأول على موقع المشروع لتقييم الظواهر الطبيعية التي تشير إلى كثافة هطول الأمطار، والمواقع المعرضة للفيضانات، وقدرة هذه الفيضانات على استيعابها، وتأثيرها على البيئة المحيطة والمرافق القريبة.

في موقع المشروع، تفقدت الزيارة خطوط التصريف التي تجتاز المنطقة لملاحظة آثار الجريان السطحي الشديد، خاصة بعد موسم الأمطار، وتقييم أبعاد خطوط التصريف هذه.

وتناولت الزيارة أيضاً الأماكن الواقعة خارج حدود الموقع وتحديد تدابير التخفيف التي تم تنفيذها لحماية المنشآت الواقعة في المجاري الرئيسية المعرضة لتأثير السيول.

7.6.1 غطاء التربة وانتقال الرواسب

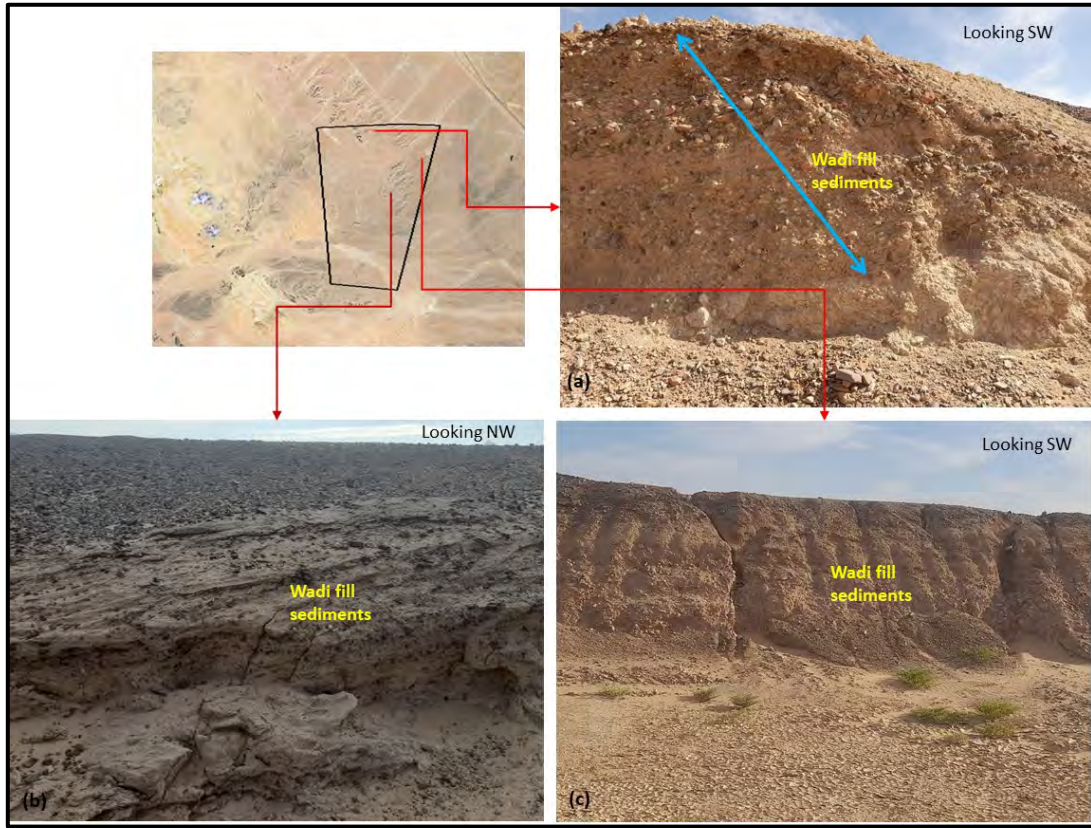
تغطي منطقة الموقع بأكملها رواسب من العصر الرباعي من أصل غريني، وتشكل مصاطب متعاقبة (الشكل 49). تتألف هذه المدرجات من رواسب متفاوتة الأحجام، مستمدة بشكل أساسي من الصخور المكشوفة في الأجزاء العلوية من الأحواض. السطح مغطى بالحصي وشظايا الصخور المدمجة في مصفوفة من الرمل والطمي ناعم الحبيبات، مما يظهر تضاريس متموجة بلطف ناتجة عن التعرية الأخدودية (NSSH, 2001). ويتراوح قوام التربة من الرمل إلى الطمي الرمل، وتتراوح ألوانها من البني الباهت جداً إلى الأصفر والبني المصفر الفاتح إلى الأصفر المائل إلى البني.



الشكل 49: تباين حجم الحبيبات في الرواسب التي تغطي سطح الموقع.

ويتميز غطاء التربة بنفاذية ومسامية عالية، مما يمنحها قدرة عالية على التسرب لامتصاص كميات كبيرة من التدفق السطحي وإعادة تغذية المياه الجوفية خلال أحداث هطول الأمطار. يتناقص حجم شظايا الصخور على طول اتجاه التدفق، خاصة في الجزء الشمالي الغربي من المنبع من وادي ن. دارا (الشكل 50). وتنتقل رواسب ملء الوادي من شظايا بحجم الصخور والحصي في مناطق المنبع (الشكل 50 أ) إلى شظايا خشنة وخشنة جداً مدمجة في الرمال الدقيقة الحبيبات والطين في المناطق المرتفعة بين خطوط الصرف

(الشكل 50 ب). وفي اتجاه مجرى النهر إلى الشرق، تتكون الرواسب من شظايا خشنة مدمجة في مصفوفة من الرمل الناعم إلى الخشن والطين (الشكل 50 ج).



الشكل 50: تُظهر الصور الفوتوغرافية المحفوظة التغير في حجم حبيبات رواسب ردم الوادي على طول خطوط الصرف.

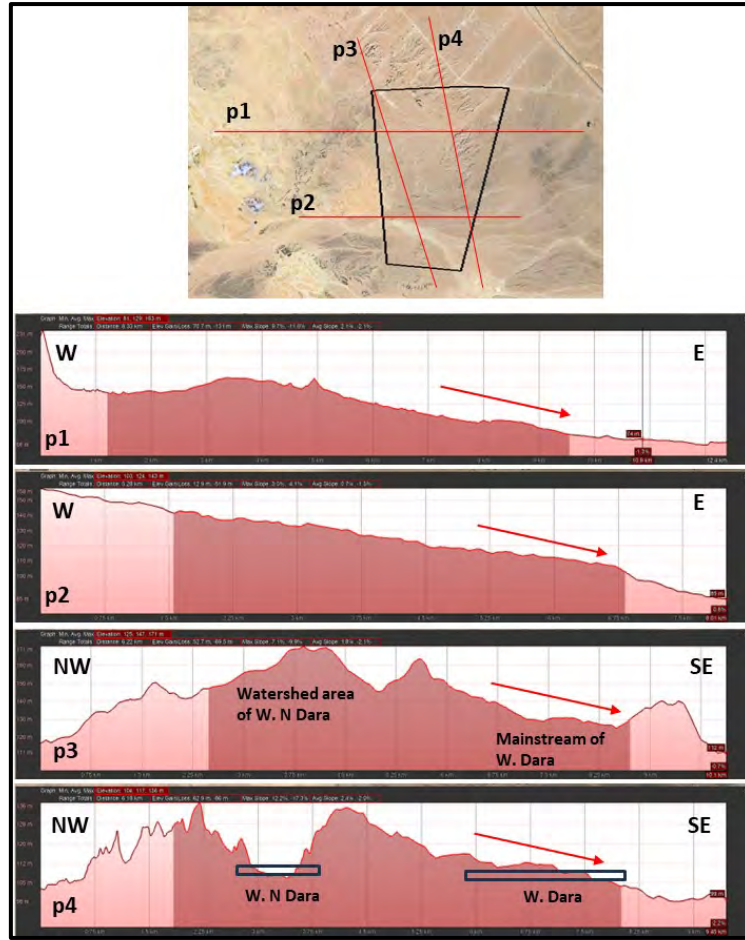
ويعتمد انتقال الرواسب في الأودية الجافة وروافدها على سرعة الجريان السطحي أثناء هطول الأمطار أو بعدها مباشرة. يوفر حجم وتوزيع الرواسب داخل قنوات الأودية دليلاً على قوة الجريان السطحي. في خطوط التصريف التي تعبر الموقع، يتراوح حجم الرواسب من كبير إلى كبير جداً في الجزء الغربي. وبالتحرك في اتجاه تدفق المياه، يتناقص حجم الرواسب حتى يتم تصريفها في مياه الخليج.

في الجزء الشمالي الغربي من الموقع، لا يتفاوت حجم حبيبات الرواسب بشكل كبير على طول خطوط التصريف، ويرجع ذلك على الأرجح إلى المسافة القصيرة نسبياً بين أقسام المنبع والمصب في حوض تصريف وادي ن. دارا (الشكل 50). ومع ذلك، على طول وادي دارا، يمتد الجزء العلوي من حوض التصريف لمسافة أكبر بكثير نحو الغرب. تتميز الأجزاء الوسطى والجنوبية من الموقع بمنحدرات لطيفة باتجاه الشرق، مما يقلل من سرعة التدفق السطحي وقدرته على نقل كميات كبيرة من الرواسب.

والجدير بالذكر أن الكسور الطينية والرملية الناعمة تهيمن على خطوط التصريف عبر الموقع، بما في ذلك الجزء الأعلى من وادي ن. دارا. وهذا يشير إلى أن حجم التدفق السطحي وسرعته غير كافيين لنقل جميع المواد الدقيقة إلى أسفل النهر على طول خطوط الصرف.

7.6.2 تضاريس وتضاريس سطح الأرض

من خلال الفحص الدقيق للتضاريس الطبوغرافية لمنطقة موقع المشروع كما هو موضح في المقاطع الطبوغرافية (الشكل 51، لاحظ النقاط التالية)



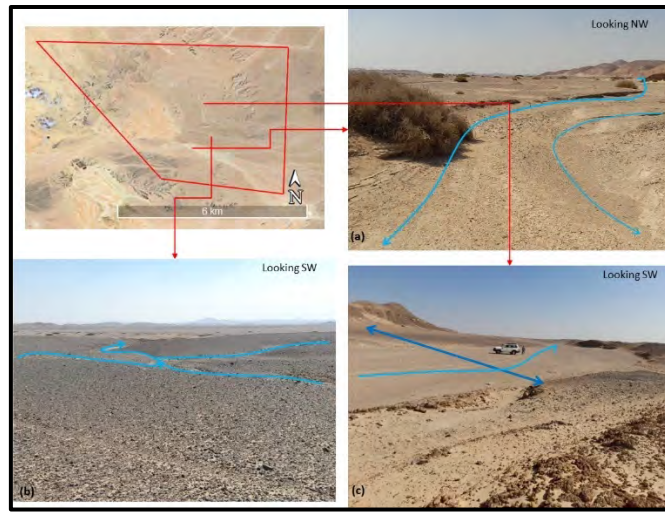
الشكل 51: الملامح الطبوغرافية المطورة من خرائط جوجل

- يمتد مقطعان جانبيين (P2 و P1) في اتجاه التدفق السطحي شمال غرب، ومقطعان جانبيين (P4 و P3) في اتجاه الشمال الغربي - الشرق.
- الموقع أفقي تقريباً مع انحدار لطيف جداً باتجاه الشرق الشرقي بدرجة انحدار تتراوح بين 0.007 في P1 و 0.008 في P2، بينما تنخفض زاوية الانحدار في الاتجاه الجنوبي الشرقي لتكون 0.002 في P3 و 0.003 في P4.
- ويتميز الجزء الشمالي الشرقي من الموقع بجبال مرتفعة تصل إلى 165 م فوق سطح البحر. تمثل هذه المنطقة مستجمعات المياه لحوض تصريف وادي الدارة حيث تتخللها روافد عميقة وضيقة قليلاً.
- يتميز الجزء الأوسط والجنوبي من الموقع، وهو مخرج وادي دارا، بتضاريس منخفضة وتضاريس بسيطة. المجرى الرئيسي لوادي دارا واسع جداً وضحلة مع وجود خطوط تصريف صغيرة تمر على طول المجرى الرئيسي.
- الموقع سهل الوصول إليه حيث لا توجد عناصر طبوغرافية وعرة مثل أحواض الصرف العميقة أو التلال الشبيهة بالتلال الموجودة في منطقة الموقع حتى في الجزء الشمالي الغربي.
- خطوط الصرف التي تعبر الموقع ضحلة جداً وعريضة مما يعكس ضعف التدفق السطحي. ويرجع ذلك إلى صغر مساحة مستجمع المياه في وادي شمال الدارة بينما يقع مستجمع مياه وادي الدارة على مسافة كبيرة إلى الغرب حيث تعيق التدفق السطحي التلال الطبيعية للصخور السفلية والرسوبية على طول وادي الدارة قبل دخوله منطقة المشروع.
- تكشف التحريات الميدانية عن حركة تدفق سطحية ضعيفة جداً عبر الموقع، مما يشير إلى انخفاض احتمال حدوث فيضانات مفاجئة. ومع ذلك، يمكن أن يحدث تدفق سطحي قوي داخل المجاري الرئيسية لأحواض التصريف، خاصة في وادي ن. دارا.
- إن المجاري الرئيسية لهذه الروافد ضحلة وواسعة وأرضيتها مغطاة برواسب دقيقة معظمها من الطين مما يؤكد ضعف الجريان السطحي حتى في أحداث شدة الأمطار.

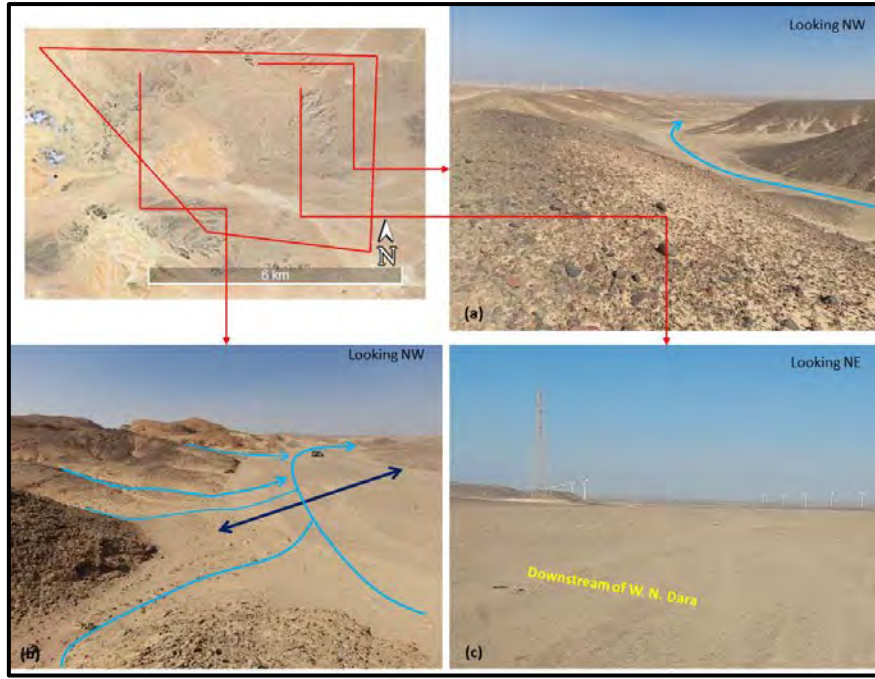
7.6.3 السماكة المحتملة للتدفق السطحي

ويشار إلى متوسط سمك تدفق المياه السطحية من خلال سمك المصاطب المطورة حديثاً على طول المجرى الرئيسي لخطوط الصرف. في الأجزاء الوسطى والجنوبية، ضمن خطوط تصريف وادي دارا، لا يتجاوز سمك هذه المصاطب 60 سم (الشكلان 52 و 53). بالإضافة إلى ذلك، فإن خطوط التصريف في المناطق المرتفعة بين المجاري المائية الرئيسية ضحلة جداً، مما يعكس ضعف التدفق السطحي خلال أحداث هطول الأمطار (الشكل 53 ب).

أما في الجزء الشمالي، حيث تبدو كثافة التدفق السطحي أعلى، فإن سمك المصاطب المطورة حديثاً على طول خطوط التصريف أكبر مما هو عليه في الجزء الجنوبي. وهذا يشير إلى أن تدفق المياه السطحية في القسم الأعلى من وادي ن. دارا أسرع مقارنة بالتدفق في القسم الأوسط والجنوبي حيث تقع خطوط تصريف وادي دارا. وبالتالي، فإن احتمالية حدوث فيضانات أو جريان سطحي شديد يشكل تهديداً للبنية التحتية للموقع ضئيلة للغاية. ومع ذلك، في حالة هطول أمطار عالية الكثافة، يمكن أن يتعرض الجزء الشمالي الشرقي من الموقع لتدفق سطحي قوي.



الشكل 52: خطوط الصرف الضحلة والعريضة التي تعبر الأجزاء الوسطى والجنوبية من الموقع



الشكل 53: المجاري الرئيسية لخطوط الصرف التي تعبر الجزء الشمالي الشرقي من الموقع.

7.6.4 المناطق ذات التغطية النباتية

ترتبط كثافة الغطاء النباتي في المنطقة ارتباطاً وثيقاً بمسار خطوط الصرف. فالغطاء النباتي متناثر وموزع بشكل متقطع على طول أراضي خطوط الصرف، مما يشير إما إلى انخفاض كثافة الأمطار في المنطقة أو إلى ارتفاع قدرة التربة على التسرب مما يحد من زمن احتباس المياه. وتكشف الملاحظات خلال زيارة الموقع عن غياب الغطاء النباتي على طول مجرى وادي ن. دارة (الشكل 54 أ)، في حين يمكن العثور على نباتات صغيرة ومتناثرة على طول مجرى وادي دارة (الشكل 54 ب).



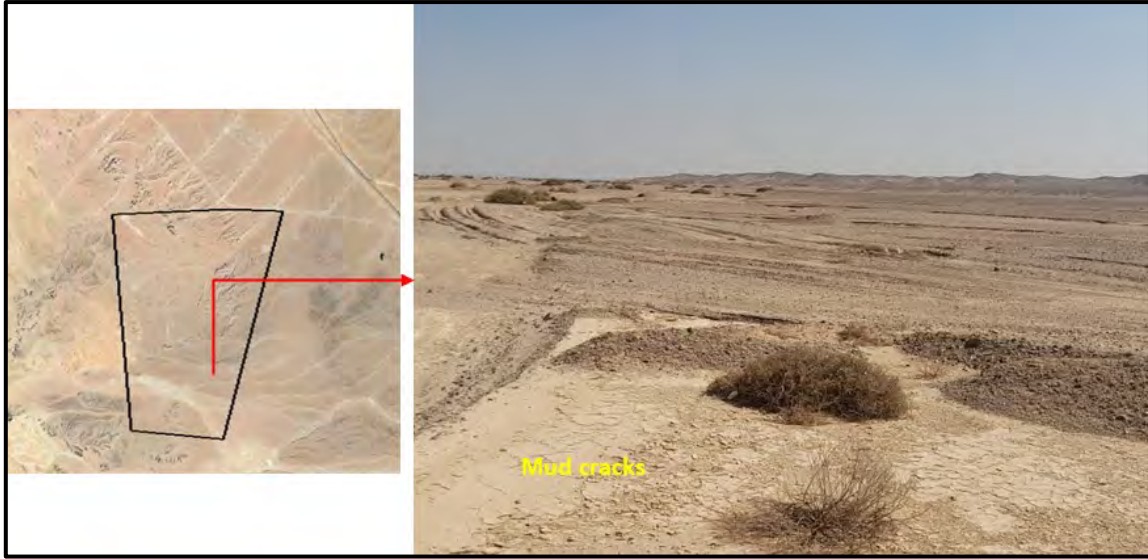
الشكل 54: الغطاء النباتي في منطقة الموقع؛ (أ) لا يوجد غطاء نباتي على الإطلاق في المجرى الرئيسي لوادي دارا، (ب) غطاء نباتي متقطع على طول المجرى الرئيسي لوادي دارا

7.6.5 مناطق التراكم والتآكل

يحدث التآكل في المقام الأول على طول جوانب خطوط الصرف التي تعبر موقع المشروع، حيث تعمل أرضيات هذه الخطوط كمناطق تراكم رئيسية. ونظراً لأن عوامل التعرية في المنطقة تعتبر ضعيفة جداً في الوقت الحالي، فإن سمك الترسبات السنوية للرواسب لا يتجاوز بضعة مليمترات. ويتضح ذلك من الطبقات الرقيقة للرواسب التي لوحظت على أرضيات القنوات التي تجتاز الموقع وعلى طول المجرى الرئيسي لخطوط الصرف.

7.6.6 مناطق تراكم المياه

لا توجد مؤشرات ميدانية تشير إلى إمكانية تراكم المياه ولو بشكل مؤقت. خلال فترة الأمطار أو بعدها مباشرةً، يحمل الجريان السطحي الطين الذي يتراكم في الأجزاء السفلية أو الأراضي المنخفضة الصغيرة لخطوط الصرف، مشكلاً حاجزاً مائياً رقيقاً. ومع ذلك، تتبخر المياه المتراكمة بسرعة، تاركة وراءها طبقة رقيقة من الطين المتشقق (الشكل 55).

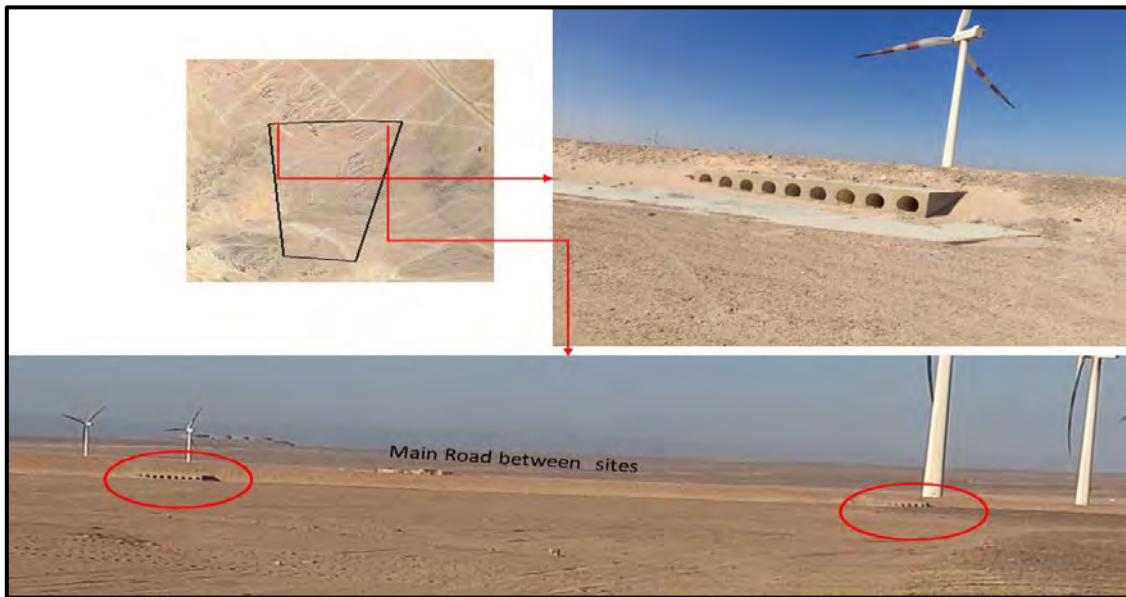


الشكل 55: منطقة تراكم التدفق السطحي عند الحدود الشرقية للموقع حيث ترسبت طبقة من التشققات الطينية الناتجة عن هطول الأمطار الأخيرة جداً

7.6.7 تدابير التخفيف من آثار الفيضانات المطبقة

عند معاينة الموقع الشمالي للموقع، لوحظ أنه تم تنفيذ تدابير تخفيف بسيطة للمرافق التي تم تطويرها على طول أرضية خطوط الصرف (الشكل 56). وتشمل هذه التدابير مجاري صغيرة مثبتة تحت الطريق الرئيسي، الواقع إلى الشمال من الموقع. تم تطبيق هذه المجاري تحديداً حيث يعبر الطريق مجرى وادي الدارة الرئيسي (الشكل 56). وبالإضافة إلى ذلك، تتألف وسائل التخفيف في الموقع من أسوار خرسانية بسيطة شيدت حول قواعد أبراج الجهد العالي الموضوعة على طول المجرى الرئيسي لخطوط الصرف (الشكل 57).

وتوفر هذه الملاحظات دليلاً قاطعاً على عدم وجود خطر متوقع على الموقع من الفيضانات المفاجئة الناشئة عن سيول البحر الأحمر الجبلية. والقلق الوحيد المحتمل هو الجريان السطحي الضعيف في خطوط الصرف، والذي يمكن إدارته بسهولة من خلال تنفيذ تدابير احترازية بسيطة. من شأن هذه التدابير حماية أي منشأة تقع في مسارات الروافد من تآكل التربة ومنع تعرض قاعدة المنشأة لتدفق المياه السطحية.



الشكل 56: وسائل تخفيف آثار الفيضانات المطبقة قبالة موقع المشروع. قنوات لحماية الطرق من التدفق السطحي خاصة عند مخرج وادي الدارة.



الشكل 57: الأسوار الخرسانية حول قاعدة أبراج الجهد العالي

7.6.8 تقييم قابلية التأثر بالفيضانات

تعد الفيضانات من بين أكثر الكوارث الطبيعية تدميراً وتسبب أضراراً كبيرة في الأرواح والممتلكات والبيئة. وقد تزايدت شدة الفيضانات ومن المتوقع أن تتصاعد حدتها بسبب التغيرات المناخية الناجمة عن تغير المناخ في هطول الأمطار الموسمية. ونظراً لتعرض البلد للفيضانات، فإن تقييم قابلية التأثر بالفيضانات أمر بالغ الأهمية لوضع استراتيجيات فعالة للتأهب والتخفيف من آثارها، لا سيما في موقع المشروع.

استناداً إلى تحليل استخدام الأراضي داخل موقع المشروع والمناطق المجاورة له، كما هو موضح في التقييم الأساسي، فإن مستقبلات الفيضانات المفاجئة في المنطقة محدودة. وهي تتألف في المقام الأول من البنية التحتية الهندسية، بما في ذلك الطرق الرئيسية والخدمات المرتبطة بها (مثل نقاط التفتيش ومحطات الإسعاف ومحطات الوقود) وخطوط الكهرباء وأبراج الاتصالات والطقس ومحطات الكهرباء الفرعية. وبالإضافة إلى ذلك، توجد تجمعات سكانية صغيرة وأنشطة زراعية في وادي دارا، إلى جانب الوحدات العسكرية ومنشآت النفط الخام والغاز. المناطق الكبيرة والمأهولة الوحيدة القريبة من الموقع هي مدينتا رأس غريب ورأس شقير.

في وادي دارا، وهو أكبر حوض تصريف يعبر الجزء الجنوبي من موقع المشروع، لم تسجل أي فيضانات مدمرة حتى الآن. وحتى خلال الفيضانات الشديدة التي حدثت في عام 2016 والتي أغرقت مدينة رأس غريب، لم يتأثر وادي دارا. ولذلك، يمكن القول بثقة أن موقع المشروع منخفض التعرض للفيضانات، حيث لا تحدث آثار الفيضانات المحتملة إلا في حالة هطول أمطار غزيرة بشكل استثنائي.

واستناداً إلى المراجعة الشاملة لاحتمالات الفيضانات المحتملة لموقع المشروع، كما هو موضح في الدراسات السابقة والمدعومة بالتحقيقات الميدانية في جيولوجيا الموقع، والجيومورفولوجيا، والهيدرولوجيا، والهيدرولوجيا واستخدام الأراضي، تحدد الخريطة

التالية المناطق التي قد تكون عرضة للجريان السطحي القوي أثناء أحداث هطول الأمطار الغزيرة. المنطقة الأكثر عرضة للجريان السطحي القوي هي في المقام الأول أراضي خطوط الصرف الرئيسية التي تعبر الموقع (الشكل 58).

إذا كان من المقرر إنشاء بنية تحتية في هذه المناطق، والتي تقع في الغالب في مسارات خطوط الصرف الرئيسية، فسيكون من الضروري توفير الحماية الكافية لهذه المرافق ضد المخاطر التي يشكلها الجريان السطحي الشديد أثناء البناء. ولضمان سلامة ومتانة أي بنية تحتية، ينبغي إجراء دراسة مفصلة خاصة بالموقع، مع الأخذ في الاعتبار طبيعة كل موقع ونوع البنية التحتية وحجمها. ستسمح هذه الدراسة بتطوير استراتيجيات التخفيف المستهدفة للحد من المخاطر المرتبطة بالجريان السطحي والفيضانات.



الشكل 58: المواقع المقترحة للجريان السطحي القوي في مواقع المشروع والتي هي في الأساس أرضية المجرى الرئيسي لخطوط الصرف.

8. الملخص والاستنتاجات

تم إجراء تقييم مخاطر الفيضانات في منطقة المشروع من خلال عدة مراحل مهمة.

مراجعة الأدبيات للدراسات السابقة التي تناولت الظروف المناخية السائدة، والسجل التاريخي لأحداث الفيضانات المفاجئة في المناطق المحيطة، ومدى تعرض أحواض الصرف التي تعبر منطقة المشروع للفيضانات المفاجئة. كشفت مراجعة الأدبيات عن أن موقع المشروع يقع في منطقة ذات مخاطر فيضانات معتدلة مع انخفاض درجة التعرض للفيضانات. في منطقة المشروع ومحيطها، يساهم حوالي 40% من الهطول السنوي في الجريان السطحي في منطقة المشروع، بينما تضيع الـ 60% المتبقية بسبب التسرب والتبخر. وعلاوة على ذلك، يتم توليد حوالي 11% فقط من إجمالي الجريان السطحي من حدث عاصفة واحدة. تسلط هذه النتائج الضوء على قدرة الامتصاص العالية لطبقات التربة في منطقة المشروع، مما يقلل بشكل فعال من كثافة الجريان السطحي.

أجريت زيارات ميدانية لتحديد أي أدلة فعلية تؤكد حدوث فيضانات مفاجئة داخل منطقة المشروع تحديداً. واستناداً إلى مراجعة الأدبيات ومسح الموقع، يعتبر حوض وادي دارا، حيث يقع الموقع، حوض تصريف متوسط الخطورة من حيث أحداث الفيضانات المفاجئة. ونظراً للتأثيرات المحتملة للاحتباس الحراري العالمي والتغيرات المتوقعة في كثافة هطول الأمطار على المنطقة، يوصى بتطوير نماذج للفيضانات المفاجئة لحوض دارا بأكمله. وينبغي أن تتضمن هذه النماذج تصميمات مختلفة لشدة العواصف وفترات عودتها لتقييم شدة مخاطر الفيضانات المفاجئة في حالة هطول أمطار أشد بكثير مما يحدث حالياً.

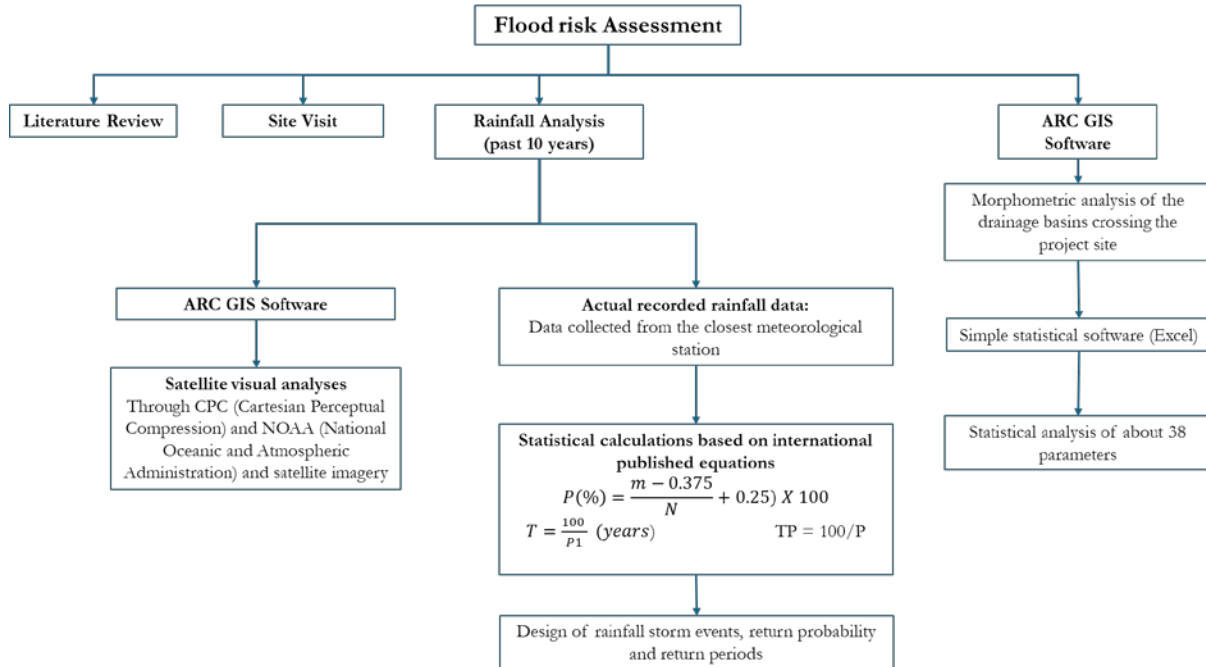
تم تحليل هطول الأمطار في منطقة الدراسة بناءً على كثافة هطول الأمطار المتوقعة المستخرجة من صور الأقمار الصناعية لأنماط الطقس والمناخ وبيانات الهطول الفعلية المسجلة التي تم جمعها من أقرب محطة أرصاد جوية. تغطي البيانات التي تم جمعها الفترة من 2015 إلى 2024، حيث تم تحليل الملفات الرقمية ونمذجتها لتقييم التغيرات المكانية والزمانية في أنماط هطول الأمطار خلال فترة الدراسة. استناداً إلى بيانات هطول الأمطار، سواء المتوقعة أو المسجلة، من الواضح أنه لم يسود أي نمط محدد لهطول الأمطار في المنطقة. دائماً ما يكون هطول الأمطار المتوقع أعلى بكثير من القيم الفعلية المقاسة. وقد تم حساب عمق هطول الأمطار لفترات عودة معينة (2 و 5 و 10 و 25 و 50 و 100 سنة) باستخدام التوزيع الإحصائي اللوغاريتمي اللوغاريتمي (تقدير الاحتمال الأقصى). يبلغ عمق هطول الأمطار المتوقع حوالي 3.31 ملم لفترة عودة مدتها سنتان، في حين من المتوقع أن يصل إلى حوالي 22.4 ملم لفترة عودة مدتها

100 عام. وقد أخذت ظاهرة الاحتباس الحراري في الاعتبار عند تصميم العواصف المطرية وفترات عودتها من خلال: (1) زيادة كمية الهطول المسجلة بحوالي 25%، و(2) الحساب على أساس أقصى أعماق هطول الأمطار المسجلة في يوم واحد في المحطة (أكتوبر/تشرين الأول 2016). يمكن أن تتوافق العواصف المطرية التي سجلت 51.3 ملم في محطة الجونة مع فترة عودة تبلغ حوالي 26 سنة. يمكن توقع عمق العاصفة المطرية المسجلة في محطة الجونة في يوم واحد أثناء حدوث الفيضان في منطقة رأس غارب (51.3 ملم) في منطقة الدراسة في فترة تزيد عن 100 عام.

تم تطوير نماذج مخاطر الفيضانات من خلال تحليلات مورفومترية لملامح سطح الأرض من الخرائط الطبوغرافية وصور لاندسات و DEM التي تم استكمالها بالقياسات الجوية والفضائية والميدانية. أجريت تحليلات مورفومترية للأحواض المدروسة (وادي دارة ووادي ن. دارة)، والتي تصب بشكل رئيسي في موقع المشروع. تشمل البارامترات المورفومترية للحوض أبعاد الحوض (4 بارامترات)، وشكل الحوض (4 بارامترات)، والسمات الطبوغرافية (11 بارامتر)، وشبكة الصرف (9 بارامترات)، والعوامل المؤثرة على حدوث الفيضان (11 بارامتر). من التحليلات الإحصائية لحوالي 38 بارامترًا مورفومترًا للحوضين المدروسين، في إطار جميع الأحواض في البحر الأحمر وخليج السويس، مع الأخذ في الاعتبار أقصى هطول للأمطار التي تتلقاها المنطقة في اليوم الواحد، فإن الحوضين في موقع المشروع (وادي دارة ووادي ن. دارة) يتمتعان بدرجة منخفضة لمخاطر الفيضان.

تغطي منطقة الموقع بأكملها ترسبات من العصر الرباعي من أصل غريني، مكونة مصاطب متعاقبة. تتألف هذه المصاطب من رواسب متفاوتة الأحجام، مستمدة بشكل أساسي من الصخور المكشوفة في الأجزاء العلوية من الأحواض. السطح مغطى بالحصى وشظايا الصخور المدمجة في مصفوفة من الرمل والطيني ناعم الحبيبات، مما يُظهر تضاريس متموجة بلطف ناتجة عن التعرية الأخدودية. يتميز غطاء التربة بنفاذية ومسامية عاليتين، مما يمنحها قدرة عالية على التسرب لامتصاص كميات كبيرة من التدفق السطحي وإعادة تغذية المياه الجوفية أثناء أحداث هطول الأمطار. تكشف التحقيقات الميدانية عن حركة تدفق سطحية ضعيفة للغاية عبر الموقع، مما يشير إلى انخفاض احتمالية حدوث فيضانات مفاجئة. ومع ذلك، يمكن أن يحدث تدفق سطحي قوي داخل المجاري الرئيسية لأحواض الصرف، خاصة في وادي ن. دارا. إن المجاري الرئيسية لهذه الروافد ضحلة وواسعة وأرضيتها مغطاة برواسب دقيقة معظمها طينية، مما يؤكد ضعف الجريان السطحي حتى أثناء أحداث شدة هطول الأمطار.

ويوضح الشكل التالي العمليات التي أجريت لوضع اللمسات الأخيرة على تقييم مخاطر الفيضانات.



الشكل 59: رسم تخطيطي توضيحي لتقييم مخاطر الفيضانات التي تم إجراؤها

استناداً إلى المراجعة الشاملة للدراسات السابقة حول مخاطر الفيضانات المفاجئة في المنطقة المحيطة بموقع المشروع، بالإضافة إلى زيارة ميدانية مفصلة لتقصي وتوثيق العلامات الفعلية لمؤشرات الفيضانات المفاجئة، يمكن تلخيص الاستنتاجات التالية فيما يتعلق بمدى خطورة الفيضانات التي قد تحدث في الموقع.

- (1) زيادة مخاطر الفيضانات بسبب تغير المناخ: شهدت منطقة رأس غارب على مدى السنوات الـ 15 الماضية زيادة في تواتر وشدة الفيضانات بسبب الاحتباس الحراري وتغير المناخ، خاصة خلال مواسم الأمطار. وقد أثر هذا التحول على المناطق المحيطة ولكن كان له تأثير مباشر محدود على موقع المشروع.
- (2) فيضانات الأودية المحيطة: في عام 2016، تجمعت مياه الأمطار في الأودية الجافة إلى الشمال من الموقع، خاصة في وادي أبو هاد ووادي الدرب، مما أثر على مدينة رأس غارب. ومع ذلك، لم تؤثر هذه الفيضانات على منطقة الدارة أو موقع المشروع بشكل مباشر.
- (3) خصائص المصب للموقع: يقع الموقع في الطرف السفلي لحوض وادي الدارة وحوض وادي الدارة الصغير عند الحدود الشمالية الشرقية. تخلق مياه الأمطار المتجمعة من خلال الروافد الصغيرة تدفقاً سطحياً ضعيفاً يتجمع عند منافذ هذه الأودية جنوب مدينة رأس شقير. يبقى التدفق معتدلاً نسبياً حتى الوصول إلى الموقع.
- (4) نفاذية التربة وتسربها: يتميز الموقع بترية ذات مسامية ونفاذية عالية، مما يسمح بتسلل كميات كبيرة من مياه الأمطار تحت السطح. هذا يقلل من الجريان السطحي ويقلل من شدة التدفق في الموقع، مما يمنع حدوث فيضانات كبيرة.
- (5) سُمك المنطقة غير المشبعة: توجد منطقة غير مشبعة سميكة في جميع أنحاء موقع المشروع، وتتكون بشكل رئيسي من رواسب عالية المسامية والنفاذية. تعمل هذه الميزة على تعزيز كثافة التسرب، مما يقلل بشكل فعال من حجم وسرعة تدفق المياه السطحية خلال أحداث هطول الأمطار الغزيرة. كما أن القدرة الكبيرة لهذه المنطقة على امتصاص المياه تقلل من احتمالية حدوث مخاطر متعلقة بالفيضانات.
- (6) التضاريس اللطيفة وخطوط الصرف الضحلة: يتميز الموقع بتضاريس بسيطة ومنحدرة بلطف نحو الشرق والجنوب الشرقي. خطوط الصرف واسعة وضحلة، مع عدم وجود دليل على وجود تدفق سطحي كبير أو تآكل رأسي لمسارات الروافد. وهذا يشير كذلك إلى انخفاض خطر الفيضان من الجريان السطحي.
- (7) الارتفاعات العالية في الشمال: يحتوي الجزء الشمالي الغربي من الموقع على تلال مرتفعة تمثل منطقة مستجمعات المياه لوادي ن. دارا. خطوط الصرف هنا أعمق من تلك الموجودة في الأجزاء الجنوبية والوسطى من الموقع. ومع ذلك، لا تؤثر هذه السمات بشكل كبير على مخاطر الفيضانات داخل موقع المشروع.
- (8) التدفق السطحي في وادي ن. دارا: يبدو أن التدفق السطحي على طول المجرى الرئيسي لوادي ن. دارا أسرع مقارنة بالمناطق الأخرى، ولهذا السبب تم تنفيذ تدابير بسيطة لتخفيف الفيضانات، مثل المجاري المائية بالقرب من الموقع لحماية البنية التحتية.
- (9) خصائص الرواسب والتدفق السطحي: تتفاوت الرواسب السطحية في الموقع من حيث الحجم، من الجسيمات الدقيقة إلى الصخور الكبيرة. ومع ذلك، فإن الجريان السطحي ضعيف وغير قادر على نقل الرواسب الكبيرة. ومع وصول الجريان السطحي إلى مجرى الوادي الرئيسي، تنخفض كثافة التدفق بشكل كبير، مما يؤدي إلى ترسب الرواسب الدقيقة مثل الطين والطين على طول مجرى الوادي.
- (10) عدم وجود أودية عميقة أو مراوح غرينية كبيرة: لا توجد أودية عميقة جافة أو رواسب مروحة غرينية كبيرة في الموقع تشير إلى وجود تدفق سطحي تاريخي قوي أو تآكل كبير. وهذا يدعم الاستنتاج بأن مخاطر الفيضانات منخفضة.
- (11) خطوط الصرف القصيرة والضحلة: خطوط الصرف التي تمر عبر الموقع قصيرة وعريضة وضحلة مما يعزز عدم وجود مخاطر فيضانات كبيرة. يمكن أن تكون المنطقة الوحيدة المحتملة للفيضانات في مخرج وادي ن. دارا في الشمال الشرقي من الموقع، ولكن حتى هذا سيكون حدثاً منخفض التأثير في ظل الظروف المعتادة.
- (12) مقارنة كثافة الأمطار المتوقعة مقابل كثافة الأمطار المسجلة: تكشف المقارنة بين تقديرات كثافة الأمطار المستمدة من الأقمار الاصطناعية وبيانات الأمطار المسجلة الفعلية من أقرب محطة أرصاد جوية عن وجود تباين كبير. في المتوسط، لا تزيد كثافة الأمطار المسجلة الفعلية عن 10% من القيم المتوقعة المحسوبة من صور الأقمار الصناعية. تؤكد هذه النتيجة أن كثافة هطول الأمطار في الموقع أقل عموماً من المتوقع، مما يقلل من احتمال حدوث فيضانات شديدة.

- 13) مواقع التعرض للفيضانات المفاجئة: على الرغم من أن الموقع بأكمله مصنف على أنه متوسط التعرض للفيضانات، إلا أنه لوحظ تدفق سطحي شديد في بعض الأحيان عند منافذ حوض وادي دارة وشمال وادي دارة. وتمثل هذه المناطق مناطق محلية معرضة للفيضانات داخل موقع المشروع الأوسع وقد تتطلب استراتيجيات مراقبة أو تخفيف إضافية.
- 14) مستقبلات الفيضانات الموجودة في الموقع: لا توجد مستقبلات كبيرة للفيضانات داخل موقع المشروع، باستثناء أبراج خطوط الكهرباء القائمة والطريق الرئيسي على طول الحدود الشمالية. إن عدم وجود بنية تحتية واسعة النطاق معرضة للخطر يعزز من انخفاض مستوى خطر الفيضان في الموقع.
- 15) تدابير تخفيف الفيضانات الحالية: تشمل أهم تدابير التخفيف من حدة الفيضانات التي تم تنفيذها في مرافق الموقع، قنوات متعددة الفتحات على طول الطريق الرئيسي لتسهيل التحكم في تدفق المياه والأسوار الخرسانية المسلحة حول قاعدة توربينات خط الطاقة. توفر هذه الأسوار التي يبلغ ارتفاعها حوالي 1.5 متر طبقة إضافية من الحماية ضد الجريان السطحي. إن التوربينات، التي تقع في المقام الأول داخل خطوط الصرف الرئيسية، معرضة بشكل خاص للفيضانات المفاجئة، مما يجعل هذه الهياكل الواقية ضرورية لتقليل آثار الفيضانات المحتملة وضمان استقرار البنية التحتية ووظائفها.
- 16) انخفاض شدة الفيضانات المفاجئة في منطقة المشروع: من المتوقع أن يتعرض الموقع بأكمله لفيضانات مفاجئة منخفضة الشدة. ومع ذلك، قد يحدث تدفق سطحي قوي عند منافذ وادي دارة ووادي دارا ووادي ن. دارا، خاصة أثناء أحداث الأمطار الغزيرة. في حين أن هذه المناطق قد تشهد فيضانات محلية، إلا أن مخاطر الفيضانات الإجمالية في جميع أنحاء الموقع تظل منخفضة، مما يجعله موقعاً مناسباً لتطوير المشروع مع الحد الأدنى من المخاوف المتعلقة بالفيضانات.

9. التوصيات

استناداً إلى الدراسات المستفيضة التي أجريت لتقييم احتمالية حدوث فيضانات خطيرة وجريان سطحي في موقع المشروع، بالإضافة إلى نماذج المحاكاة التي تم تطويرها من البيانات المناخية وسجلات هطول الأمطار ونماذج الارتفاعات الرقمية، تم تقديم التوصيات التالية للتخفيف من المخاطر المحتملة:

- 1) نظراً لاحتمال حدوث عواصف مطرية شديدة تتجاوز الحد الأقصى للتقديرات المحسوبة (أي الأحداث التي قد تحدث مرة كل مائة عام)، يوصى ببناء سياج خرساني بارتفاع متر واحد حول المنشآت الحرجة، وخاصة التوربينات أو أي بنية تحتية تقع ضمن مجرى خطوط الصرف. هذه المناطق أكثر عرضة للجريان السطحي، وسيوفر هذا السياج طبقة إضافية من الحماية ضد الفيضانات غير المتوقعة.
- 2) للتخفيف من مخاطر الفيضانات، يفضل تركيب التوربينات على أرض مرتفعة بعيداً عن مجاري الصرف الرئيسية، خاصة عند منافذ وادي دارة ووادي دارة الشمالي. تكون هذه المواقع أقل عرضة لتراكم الجريان السطحي، مما يقلل من احتمالية حدوث أضرار مرتبطة بالفيضانات. ومع ذلك، إذا لم يكن التجنب ممكناً، ينبغي تنفيذ تدابير تخفيف إضافية لتعزيز القدرة على الصمود. قد تشمل هذه التدابير تقوية أساسات التوربينات لتحسين الثبات، أو رفع قواعد التوربينات فوق مستوى الفيضان المتوقع، أو بناء أسوار خرسانية مسلحة حول قواعد التوربينات. الحد الأدنى للارتفاع الموصى به لهذه الأسوار هو 1.5 متر، مما يضمن الحماية من تأثيرات الجريان السطحي المحتملة. إن الاختيار السليم للموقع والتعزيز الهيكلي المناسب سيقبل بشكل كبير من مخاطر فشل التوربينات بسبب الفيضانات.
- 3) تعبر طرق الوصول إلى الموقع، سواء كانت مرصوفة أو أسفلتية، خطوط الصرف العريضة والضحلة. تُظهر هذه المناطق جرياناً سطحياً ضعيفاً إلى متوسط لا يتركز في مسارات ضيقة ومحددة، مما يعني أن التأثير على الطرق ليس كبيراً. ومع ذلك، ولتقليل أي اضطرابات محتملة، يوصى بتركيب مجاري أسمنتية بسيطة (بقطر متر واحد كحد أقصى) أسفل الطرق التي تعبر خطوط الصرف هذه في نقاط محددة. سيسمح ذلك بتدفق المياه السطحية دون إعاقة أو إلحاق الضرر بالبنية التحتية للطرق.
- 4) أما بالنسبة لكابلات الكهرباء، فيجب دفنها تحت الأرض على عمق متر تقريباً، مع اتخاذ كافة التدابير الخاصة بالعزل والحماية من المياه المتسربة تحت السطح.
- 5) وبينما تقع مسؤولية إنشاء نظام إنذار مبكر للفيضانات على عاتق السلطات المحلية في منطقة الغرب والشقيير، إلا أن الأهم من ذلك هو أن يضع فريق المشروع خطة داخلية لإدارة الفيضانات. وينبغي أن تحدد هذه الخطة بروتوكولات استجابة واضحة للتعامل مع حالات الطوارئ الناجمة عن الفيضانات، بما يضمن استعداد جميع الموظفين لاتخاذ الإجراءات المناسبة. وينبغي

أن تشمل المكونات الرئيسية للخطة رصد بيانات هطول الأمطار، وتحديد إجراءات الإخلاء، وتأمين البنية التحتية الحيوية، وتنفيذ تدابير الطوارئ في حالة حدوث فيضانات شديدة. من خلال الاستعداد بشكل استباقي لأحداث الفيضانات، يمكن للمشروع التخفيف من الأضرار المحتملة وتقليل وقت التوقف عن العمل وضمان سلامة الموظفين والبنية التحتية.

المراجع

- أجورتا، صادق م. م. صادق (2001) آلية تغذية بعض حالات طبقات المياه الجوفية المختلفة، الصحراء الشرقية، مصر. Bull Fac Sci Sci. 78-43: (1)28
- الغزاوي، عبد الباقي أ. (1991) المياه الجوفية في حوض وادي أصيل، الصحراء الشرقية، مصر. Bull of Meneufia Uni V: 25-44
- Elnazer AA., Salman S., Asmoay AS., 2017 مخاطر الفيضانات المفاجئة المتأثرة بمدينة رأس غارب، البحر الأحمر، مصر: قناة الفيضانات المفاجئة المقترحة. Nat Hazards (2017) 89:1389-1400
- الرملي، إ. م. (1972) التقرير النهائي عن الجيومورفولوجيا والتخطيط الهيدرولوجي لموارد المياه الجوفية واستصلاحها في منطقة بحيرة ناصر وضواحيها. Cen And Des Inst. القاهرة 603 ص.
- الشامي، إ. ز. (1992) فرص التغذية الحديثة والفيضانات المفاجئة في الصحراء الشرقية، مصر. حوليات حولية السور الجيولوجي في مصر. XVIII:323-334
- El- Shamy, I. Z., 1992b نهج جديد للتقييم الهيدرولوجي للأحواض الهيدرولوجية ذات التغذية الحديثة واحتمالات الفيضان - الندوة العاشرة، الرباعية والتنمية، مصر، جامعة المنصورة، 18 أبريل، ص 15 (ملخص).
- عزح، 2017: استخدام نظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن أسباب فيضان مدينة رأس غارب، مصر، المجلة الدولية للبحوث الهندسية في أفريقيا، 31، 142-135.
- عزح، جمعة م.، أديلوارس م.، 2019: ترسيم مستجمعات المياه وتقدير تغذية المياه الجوفية لمنطقة رأس غارب، مصر. مجلة علوم الأرض وحماية البيئة، 2019، 7، 213-202.
- Gregorgy, K. J. & Walling, D. E. (1973): أحواض الصرف - الشكل والعملية، إدوارد أرنولد، لندن
- جمعة م. أ.، أجور ط. (1999) الظروف الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية الكيميائية لطبقات المياه الجوفية الكربونية في منطقة خليج السويس. مجلة أسبوط للعلوم، المجلد 28، رقم 2 ص 214-191
- جمعة، م. أ. وأغور، ت. أ.، (1999): "الظروف الهيدرولوجية والهيدروجيوكيميائية المائية لطبقات المياه الجوفية الكربونية في منطقة خليج السويس، مصر". Bull.Fac.Science.Fac.Sci.Sci.Assi.Univ., pp. 191-214
- هورتون، ر. (1932): خصائص أحواض الصرف، معاملات الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي، المجلد 13
- خليل ج، حسن ت. م. (1997): الخصائص الهيدرولوجية لطبقة المياه الجوفية الكارستية وتأثيراتها البيئية في الصحراء الشرقية، مصر. في: Proc.5th (ed. Gunay G. and Johnson I.A.) دولية خامسة ندوة وحلقة دراسية ميدانية حول المياه الكارستية وتأثيراتها البيئية. أنطاليا، تركيا، 10-20 سبتمبر: 66-59.
- Moustafa AR, Khalil MH (1995) تشوه متراكب في صدع السويس الشمالي، مصر: الصلة باستكشاف الهيدروكربونات. J Pet Geol 18:245-266
- RIGW (1988) الخريطة الهيدرولوجية لمصر. مقياس رسم 1: 2000,000. دليل المستخدم، وزارة الري، القاهرة، مصر.
- REGWA، 1991: الموارد المائية للمنطقة الواقعة بين الغريب والقصير، منظمة تنمية البحر الأحمر. تقرير مقدم إلى وزارة الإسكان والتنمية والمجتمعات الجديدة. p 271
- Sadeq M., Li X., 2019 حل منخفض التكلفة لتقييم آثار الفيضانات المفاجئة في المناطق الحضرية باستخدام صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 وعملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي: دراسة حالة لمدينة رأس غارب، مصر. التقدم في الهندسة المدنية، المجلد 2019، رقم المادة 2561215، 15 صفحة
- سعيد ر (1990) جيولوجيا مصر. A.A. Balkema / روتردام / بروكفيلد، 734 صفحة.
- Schumm, S. A. A. (1956): تطور نظام الصرف الصحي والمنحدرات في الأراضي الوعرة في بيرث أمبوي نيو جيرسي، Bull. Geol. Soc. America, Vol, 67, pp. 597 - 646

- ستراهلر، أ.، (1985) : تحليل الأبعاد المطبق على التضاريس الطوفانية المتآكلة، Bull. Geol. Soc. America, Vol. 63, pp. 279 - 300.
- Strahler, A., (1964): الجيومورفولوجيا الكمية لحوض الصرف وشبكة عمل القنوات، في Chow, V. T. (محرر)، دليل الهيدرولوجيا التطبيقية، نيويورك، ص 39 - 76.
- UNISDR 2017: تقييم مخاطر الفيضانات والمخاطر.
- Youssef AM., & Hegab MA., 2005: استخدام نظام المعلومات الجغرافية والإحصاءات لتطوير نظام إدارة قواعد البيانات الخاصة بمخاطر الفيضانات في منطقة رأس غارب، شرق الدلتا، مصر. المؤتمر الدولي الرابع، المؤتمر الدولي لجيولوجيا أفريقيا، أسيوط، مصر. 2, 1:15.