المشروع: تحلية ونقل المياه العقبة عمّان (مشروع الناقل الوطني)

تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لعام 2025

الفصل 12: تقييم مخاطر الهشاشة المناخية

جدول المحتويات

12 تقييم مخاطر الهشاشة المناخية 5
12-1 مقدمة 5
12-2 المنهجية 5
12-2-1- تحديد نطاق تقييم مخاطر الهشاشة المناخية 5
12-2-2- محرك المخاطر 6
12-2-3- سيناريوهات المناخ 8
12-2-4- الأطر الزمنية 9
12-3 المخاطر المناخية المادية 10
12-3-1- الاتجاهات المناخية التاريخية 10
12-3-1-1- درجة الحرارة 10
12-3-1-2- هطول الأمطار 12
12-3-1-3- الفيضانات 15
12-3-1-4- ارتفاع مستوى سطح البحر 15
12-3-2- توقعات المناخ المستقبلية 18
12-3-2-1- درجة الحرارة 18
12-3-2-2- الحرارة الشديدة 20
12-3-2-3- هطول الأمطار 21
12-3-2-4- هطول الأمطار الغزير 23
12-3-2-5- الجفاف 24
12-3-2-6- العواصف الترابية 25
12-3-2-7- الإشعاع الشمسي 25
12-3-2-8- درجة حرارة مياه البحر 25
12-3-2-9- ملوحة مياه البحر 25
12-3-2-10- درجة حموضة مياه البحر 26
12-3-2-11- الرطوبة 26
12-3-2-12- ارتفاع مستوى سطح البحر 26
12-3-2-13- تآكل السواحل 27
12-3-2-14- تآكل التربة 27
12-4 تقييم المخاطر المناخية المادية 30
12-4-1- الفحص المخاطر 30
12-4-2- تقييم التعرض 33
12-4-3- تقييم الهشاشة وتدابير التخفيف 35

12-5 تقييم مخاطر التحول المناخي 38
12-5-1- فحص المخاطر 39
12-5-2- تقييم المخاطر 39
12-5-3- تقييم الهشاشة وتدابير التخفيف 40
12-5-4- مستويات المخاطر 41
المراجع 43

قائمة الأشكال

الشكل12 -1 : محرك المخاطر المناخية 6
الشكل12 -2 : توقعات تغير درجة الحرارة العالمية لسيناريوهات مسارات التركيز التمثيلية RCP 9
الشكل12 -3 : التغيرات الملحوظة في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي السنوية (1950-2023) 11
الشكل12 -4 : تطور الدورة الموسمية والتقلبات المتضمنة في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي (1951-2020) 11
الشكل12 -5 : السلاسل الزمنية المرصودة لهطول الأمطار السنوي (1950-2023) 12
الشكل12 -6 : الدورة الموسمية المتغيرة والتقلبات المدمجة في هطول الأمطار (1951-2020) 13
الشكل12 -7 : خريطة نقاط الهشاشة في مواجهة الجفاف، الأردن 14
الشكل12 -8 : خريطة مخاطر الفيضانات 17
الشكل12 -9 : متوسط التغير في درجة الحرارة السنوية (درجة مئوية) في ظل مسارات RCP 4.5 وRCP 8.5 – المستوى الإقليمي .. 19
الشكل12 -10 : توقعات درجة الحرارة السنوية (درجة مئوية) في ظل مسارات RCP 2.6 وRCP 6.0 – على المستوى المحلي. 19
الشكل12 -11 : متوسط التغير في عدد الأيام شديدة الحرارة (أيام/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 4.5 وRCP 8.5 – المستوى الإقليمي 20
الشكل12 -12 : عدد الأيام شديدة الحرارة (أيام/سنة) التوقعات في ظل مسارات التركيز RCP 2.6 وRCP 6.0 – على المستوى القطري 21
الشكل12 -13 : متوسط التغير في هطول الأمطار السنوي (مم/شهر) في ظل مسارات التركيز RCP 4.5 و RCP 8.5 – المستوى الإقليمي 22
الشكل12 -14 : توقعات هطول الأمطار السنوي (مم/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 2.6 و RCP 6.0 – على المستوى المحلي 22
الشكل12 -15 : متوسط التغير R10 أيام هطول الأمطار (يوم/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 4.5 و RCP 8.5 – المستوى الإقليمي 23
الشكل12 -16 : متوسط التغير R20 أيام هطول الأمطار (أيام/سنة) في مسارات التركيز RCP 4.5 و RCP 8.5 – المستوى الإقليمي24
الشكل12 -17 : توقعات عدد أيام هطول الأمطار الغزيرة (يوم/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 2.6 و RCP 6.0 – المستوى القطري 24
الشكل12 -18 : خريطة تآكل التربة في الأردن 28
الشكل 12-19 : المناطق المعرضة لتآكل التربة 29

قائمة الجداول

الجدول12 -1 : معايير التعرض لمخاطر المناخ المادية 7

الجدول 12-2 : معايير التعرض لمخاطر التحول المناخي 7
الجدول12 -3 : معايير الهشاشة المتعلقة بالمخاطر المناخية المادية 7
الجدول 12-4 : معايير الهشاشة المتعلقة بمخاطر التحول المناخي 8
الجدول12 -5 : مصفوفة المخاطر 8
الجدول12 -6 : مسارات التركيز التمثيلية 8
الجدول12 -7 : فحص المخاطر المناخية الحادة المنطبقة على مرحلة التشغيل 30
الجدول12 -8 : فحص المخاطر المناخية المزمنة 31
الجدول12 -9 : تقييم التعرض للمخاطر المناخية المادية 33
الجدول 12-10 : الإجراءات قبل اتمام التصميم التفصيلي 35
الجدول 12-12 : فحص مخاطر التحول المناخي 39
الجدول 12-12 : تقييم التعرض لمخاطر التحول 40
الجدول 12-13 : تقييم الهشاشة لمخاطر التحول 40

12 تقييم مخاطر الهشاشة المناخية

تم اجراء تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CVRA) في سياق تعرض الأردن لتأثيرات تغير المناخ في السنوات الأخيرة، بما في ذلك الجفاف المتكرر والفيضانات المفاجئة والانهيارات الأرضية، والأهم من ذلك، النقص الحاد في المياه في البلاد. وقد احتل الأردن المرتبة الخامسة بين الدول من حيث الضغط على المياه (مراقبة المياه، 2022). وستعمل الزيادات في درجات الحرارة وانخفاض هطول الأمطار وزيادة التبخر الناجمة عن تغير المناخ في تقليل توافر المياه وتفاقم ندرة المياه، مما يشكل خطرًا كبيرًا على سكان البلاد ومواردها الطبيعية واقتصادها (وزارة البيئة، 2022).

وقد تم إجراء تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CVRA) لتحديث التقييم الذي نُفِّذ كجزء من دراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي (ESIA) لمشروع الناقل الوطني في عام 2022 (تيتراتك للتنمية الدولية، 2022)، بحيث يعكس ما يلي:

- التغييرات في تصميم المشروع منذ عام 2022، والتي كانت معروفة وقت إجراء تقييم مخاطر الهشاشة المناخية، بما في ذلك إضافة مرفق الطاقة المتجددة وتغيير موقع محطة تحلية المياه
- تحديث منهجية تقييم مخاطر المناخ
- تحديثات لملامح مخاطر تغير المناخ الإقليمية والمحلية في الأدبيات المنشورة
- أحدث توقعات تغير المناخ.

يهدف تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CVRA) إلى اتباع المنهجية المعترف بها لـ "محرك المخاطر" الذي يشمل المخاطر المناخية والتعرض لها والقابلية للتأثر بها. في حين يمكن تقييم المخاطر المناخية والتعرض لمرافق للمشروع الدائمة، لم يكن من الممكن تحديد الهشاشة، التي تتطلب فهم الحواجز التي تم اخذها بعين الاعتبار في التصميم بسبب المراحل المبكرة للمشروع ومحدودية المعلومات الهندسية المتاحة. لذلك، يقدم تحديث تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CVRA) توصيات لإجراء مزيد من الدراسات والعوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم المشروع وتعزيز قدرته على التكيف مع المخاطر الناجمة عن تغير المناخ.

1-12 مقدمة

وقد توصل التقرير التقييمي الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) إلى استنتاجات قاطعة، حيث عزا سبب معظم الاحترار العالمي الذي لوحظ على مدى السنوات الخمسين الماضية الى الأنشطة البشرية (IPCC، 2007). كما خلُص تقرير التقييم السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أن التغير المناخي الناجم عن النشاط البشري، بما في ذلك زيادة تواتر وشدة الظواهر المناخية المتطرفة، قد تسبب في آثار سلبية واسعة النطاق وخسائر وأضرار مرتبطة بالطبيعة والبشر، متجاوزاً نطاق التقلبات المناخية الطبيعية (IPCC، 2022).

الأردن دولة متوسطية تعتمد بشكل أساسي على مياه الأمطار لتأمين إمداداتها المائية. في السنوات الأخيرة، أصبحت الأمطار شحيحة في مختلف أنحاء البلاد، مما أدى إلى جفاف العديد من المجاري المائية، وانخفاض مستويات المياه الجوفية إلى مستويات حرجة، كما أن معظم الأحواض الجوفية تعاني من ارتفاع الملوحة أو تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، مما يجعلها غير صالحة للاستخدام المنزلي أو الري. بالإضافة إلى ذلك، أصبحت الظروف الجوية القاسية، مثل السيول المفاجئة في الشتاء وموجات الحر في الصيف، أكثر تكرارًا في المنطقة. هذه الظروف هي نتائج مباشرة للتغيرات المناخية العالمية التي أثرت مؤخرًا على العديد من المواقع، مما أثر بشكل كبير على مجموعة واسعة من النظم البيئية (Walther وآخرون، 2007؛ Hamdi وآخرون، 2009).

2-12 المنهجية

1-2-12- تحديد نطاق تقييم مخاطر الهشاشة المناخية

يشمل تحديد نطاق تقييم مخاطر الهشاشة المناخية مرافق المشروع الدائمة التالية:

- مرافق السحب والتصريف في خليج العقبة التي تشمل أبراج السحب والأنابيب، وأنابيب التصريف وتكوين الموزع ومحطة ضخ السحب الشاطئية (IPS)
- محطة تحلية المياه على ساحل خليج العقبة داخل منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZ)

- خط أنابيب الناقل الذي يتألف من خط أنابيب مدفون بطول 438 كم تقريبًا لنقل المياه المحلاة من محطة تحلية المياه إلى الخزانات الحالية في أبو علندا والمنتزه بالقرب من عمّان
- تركيبات فوق الأرض (AGIs) على طول خط أنابيب الناقل، تتألف من أربع محطات ضخ (محطات تعزيز الضخ BPS1 وBPS2 وBPS3 ومحطة ضخ ممر عمان التنموي PS ADC)، مرافق لخزانات التنظيم (RGT1 وRGT3)، وخزان كسر الضغط (BPT) وخزانات تخزين المياه الحالية في أبو علندا والمنتزه في عمّان.
- مرفق جديد للطاقة المتجددة، تتألف من محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية مع محطة كهربائية فرعية على بعد أقل من 5 كيلومترات إلى الشرق من القويره، وخط نقل هوائي جديد (OHTL) لربط مرفق الطاقة المتجددة بمحطة تحلية المياه وإحدى محطات الضخ.

ويغطي تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CRVA) المخاطر المادية والمخاطر التحولية التي تنطبق على المشروع.

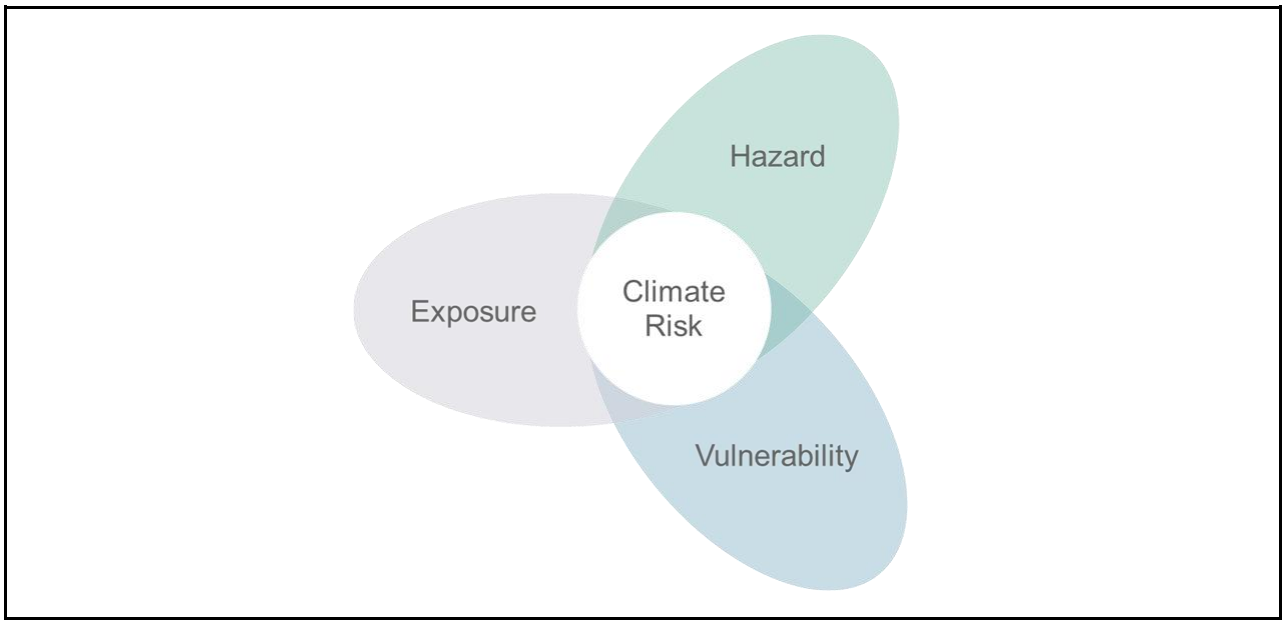
12-2-2- محرك المخاطر

تمت مواءمة منهجية تقييم مخاطر الهشاشة المناخية مع الأطر المعمول بها والارشادات ذات الصلة التالية:

- توصيات فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ (TCFD)، حزيران 2017
- إرشادات تنفيذ الافصاحات المالية المتعلقة بالمناخ TCFD، تشرين اول 2021
- إرشادات TCFD: إدارة المخاطر والدمج والإفصاح، تشرين اول 2020
- إرشادات TCFD: تحليل السيناريوهات، تشرين اول 2020
- إرشادات ممارسي التكيف مع تغير المناخ الصادرة عن معهد الاستدامة والمهنيين البيئيين (ISEP)، تشرين ثاني 2022

تطبق أطر ومنهجيات تقييم مخاطر المناخ المعترف بها مثل TCFD و ISEP و IPCC ثلاثة معايير لتحديد مخاطر المناخ: الخطر والتعرض والهشاشة، والمعروفة باسم "محرك المخاطر" (الشكل **No text of specified style in document.** !Error 1-).

الشكل *Error! No text of specified style in document.*-1 : محرك المخاطر المناخية



1.2.2.12 مخاطر المناخ

الأخطار المناخية المادية الحادة (قصيرة الأجل، مدفوعة بالأحداث) هي أحداث مفاجئة ومتطرفة يمكن أن تسبب أضرارًا أو اضطرابات فورية. وتشمل هذه الأخطار الفيضانات الساحلية والعواصف، والأمطار الغزيرة والفيضانات المفاجئة، وموجات الحرارة، والرياح القوية، وحرائق الغابات، من بين أمور أخرى. ,قد تهدد الأخطار المناخية الحادة استمرارية التشغيل وسلامة مرافق المشروع.

أما المخاطر المناخية المادية المزمنة فهي تغيرات بطيئة الظهور تؤدي إلى تدهور الأداء أو زيادة التكاليف بمرور الوقت. وتشمل هذه المخاطر ارتفاع مستوى سطح البحر، وارتفاع درجات حرارة الهواء والبحر، والتغيرات في أنماط هطول الأمطار، وحركة التربة (الانكماش والانتفاخ والهبوط)، وتسارع التآكل، وزيادة الغبار والتلوث، وتغير أنماط العواصف والأمواج، وغيرها.

تنشأ مخاطر التحوّل المناخي نتيجة التحوّلات نحو اقتصاد منخفض الكربون ومستدام، وتشمل التغيّرات في السياسات والأطر التنظيمية، وديناميكيات السوق والتمويل، إضافةً إلى التطوّر التكنولوجي وتطوّر سلاسل التوريد.

تم فحص المخاطر المناخية واختيارها بناءً على قابليتها للتطبيق على المشروع، كما هو موضح في القسمين1-4-12- و1-5-12- .

2.2.2.12 التعرض

يشير التعرض إلى شدة التأثير وسرعة ظهوره على مرافق المشروع الواقعة داخل منطقة المخاطر المناخية. وبالنسبة للمخاطر المادية، يتم تقييم التعرض بناءً على الموقع الجغرافي للمرافق الدائمة للمشروع وتكرار وحجم الحدث المناخي الخطير. وترد معايير التعرض للمخاطر المادية فيالجدول Error! No text of specified style in document.-*1* .

الجدول *1*- *Error! No text of specified style in document.* : معايير التعرض لمخاطر المناخ المادية

المستوى	التعريف
عالي	زيادة ملموسة في متغيرات المناخ مع احتمال توقف المشروع لأكثر من أسبوع
متوسط	زيادة ملموسة في متغيرات المناخ مع احتمال توقف المشروع لمدة تقل عن أسبوع واحد
منخفض	زيادة غير مادية في المتغيرات المناخية دون تأثير على عمليات المشروع

بالنسبة لمخاطر التحول المناخي، يأخذ التعرض في الاعتبار السياسات التشريعية أو تغييرات متطلبات المقرضين، والبيانات السياسية الطموحة، وسرعة بدء التأثير (أي على المدى القصير أو الطويل). وترد معايير التعرض لمخاطر التحول المناخي في الجدول 12-2.

الجدول 12-*2* : معايير التعرض لمخاطر التحول المناخي

المستوى	التعريف
عالي	متطلبات تشريعية/الجهة المقرضة ذات تأثير على المشروع على المدى القصير
متوسط	متطلبات تشريعية/الجهة المقرضة ذات تأثير على المشروع على المدى الطويل
منخفض	متطلبات تشريعية/غير متعلقة بالجهة المقرضة/طموحة مع تأثير محتمل على المشروع

3.2.2.12 الهشاشة

تشير الهشاشة إلى الاستعداد (أو الحساسية) للتأثر سلبًا بمخاطر المناخ، فضلاً عن عدم القدرة على التعامل معها أو التكيف معها. بالنسبة للمخاطر المادية، تأخذ الهشاشة في الاعتبار تصميم المرافق الدائمة للمشروع وتوافر آليات التكيف/الاستجابة (مثل قدرة الصرف في ذروة هطول الأمطار، وتصميم حالات الطوارئ لمعايير التشغيل، ومضخات الفيضانات، وما إلى ذلك)، فضلاً عن برامج المراقبة والاستعداد للطوارئ. وترد معايير الهشاشة المتعلقة بالمخاطر المادية فيالجدول Error! **No text of specified style in document.**-*3* .

في ظل المراحل المبكرة من تصميم المشروع، وحيث لا يمكن التأكد بشكل كامل من مدى قابلية مرافق المشروع للتأثر بالمخاطر المناخية، فإن تقييم مخاطر تغيّر المناخ ونقاط الضعف (CRVA) يقدّم إجراءات لإجراء دراسات إضافية وعوامل تصميم يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم المشروع (القسم3-4-12-).

الجدول *3- Error! No text of specified style in document.* : معايير الهشاشة المتعلقة بالمخاطر المناخية المادية

المستوى	التعريف
عالي	تجاوز عتبة تصميم مرافق المشروع، لا توجد آليات تكيف/استجابة متاحة
متوسط	تجاوز عتبة تصميم مرفق المشروع، توفر آليات التكيف/الاستجابة في غضون 24 ساعة للتعبئة/التنفيذ
منخفض	لم يتم تجاوز عتبة تصميم المشروع، تم تنفيذ آليات التكيف/الاستجابة الفورية

بالنسبة لمخاطر التحول، تأخذ الهشاشة في الاعتبار الضمانات والمرونة بموجب الاتفاقيات، والقدرة على إزالة الكربون وعمليات نظام الإدارة. وترد معايير الهشاشة المتعلقة بمخاطر التحول فيالجدول 12-4 .

الجدول 12-4 : معايير الهشاشة المتعلقة بمخاطر التحول المناخي

المستوى	التعريف
عالي	لا توجد ضمانات ضمن التصميم أو بموجب الاتفاقيات أو نظام إدارة محدد
متوسط	يجري حاليًا استكشاف الضمانات ضمن التصميم و/أو بموجب الاتفاقيات و/أو نظام الإدارة بشكل نشط.
منخفض	تم بالفعل تنفيذ الضمانات ضمن التصميم و/أو بموجب الاتفاقيات/نظام الإدارة

4.2.2.12 تصنيف المخاطر

يمكن تحديد مستويات المخاطر للأخطار المناخية ذات الصلة باستخدام الصيغة التالية:

مستوى المخاطر = مستوى التعرض × مستوى الهشاشة

الجدول *5- Error! No text of specified style in document.* : مصفوفة المخاطر

		القابلية للتأثر		
		منخفض	متوسط	عالي
التعرض	عالي	منخفض	متوسط	عالي
	متوسط	منخفض	متوسط	متوسط
	منخفض	منخفض	منخفض	منخفض

12-2-3- سيناريوهات المناخ

يعد تحليل السيناريوهات عنصراً حاسماً في تقييم مخاطر المناخ. حيث يصف السيناريو مساراً معقولاً، وإن كان افتراضياً، للتطور يؤدي إلى نتيجة مستقبلية معينة. ولا تهدف السيناريوهات إلى تقديم وصف شامل للمستقبل، بل إلى تسليط الضوء على العناصر المركزية لمستقبل محتمل ولفت الانتباه إلى العوامل الرئيسية التي ستدفع التطورات المستقبلية. فالسيناريوهات ليست تنبؤات أو توقعات؛ بل هي سرديات افتراضية تُعنى بـ "ماذا لو" بهدف إثراء التفكير الاستراتيجي وتحديه.

هناك أربع مسارات تركيز تمثيلية (RCPs) تم تطويرها واعتمادها رسمياً من قبل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) وتستخدم على نطاق واسع في نمذجة المناخ والبحوث. وقد تم تسمية السيناريوهات وفقاً لقوة الإشعاع المتوقعة، معبراً عنها بالواط لكل متر مربع (W/m²)، وهي RCP 2.6 و RCP 4.5 و RCP 6.0 و RCP 8.5 (الجدول Error! **No text of specified style in document.** *6-*). حيث تشير القيم الأعلى إلى انبعاثات أكبر من غازات الاحتباس الحراري (GHG)، مما يؤدي بدوره إلى ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض وظهور آثار أكثر وضوحًا لتغير المناخ. ومن ناحية أخرى، تعتبر مسارات التركيز التمثيلية RCP الأقل أكثر ملاءمة للبشر، ولكن تحقيقها يتطلب بذل جهود أكثر صرامة للتخفيف من آثار تغير المناخ.

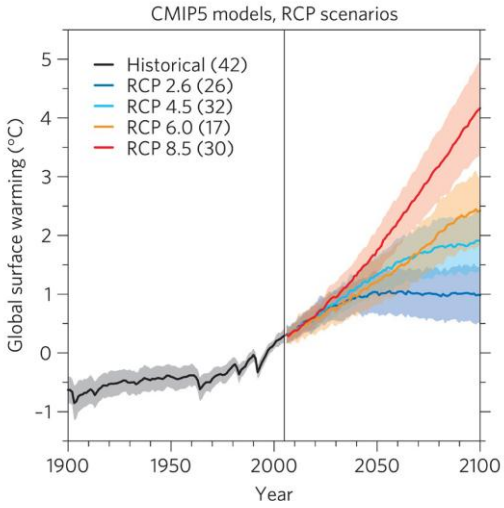
الجدول *6- Error! No text of specified style in document.* : مسارات التركيز التمثيلية

المسار	القوة الإشعاعية	تركيز مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2010	معدل التغير في القوة الإشعاعية
RCP 8.5 انبعاثات عالية	8.5 وات/متر مربع	1370 جزء في المليون	صاعد

RCP 6.0 انبعاثات متوسطة	6.0 وات/متر مربع	850 جزء في المليون	مستقر
RCP 4.5 الانبعاثات المتوسطة	4.5 وات/متر مربع	650 جزء في المليون	مستقر
RCP 2.6 انبعاثات منخفضة	2.6 وات/متر مربع	490 جزء في المليون	هابط

يمثل كل مسار من مسارات التركيز التمثيلية RCP مسارًا لتركيزات غازات الاحتباس الحراري يؤدي إلى تأثير إشعاعي محدد في عام 2100بمرور الوقت. وعلى هذا النحو، لا تضع مسارات RCPs أي افتراضات بشأن التغييرات السياسية التي قد تؤثر على المناخ؛ بل تحدد فقط نطاق التأثيرات المحتملة.الشكل **No text of specified style in document.** 2- Error! يوضح التغيرات المقابلة في درجة حرارة سطح الأرض المتوقعة في ظل مسارات RCPs الأربعة، والتي تم استخدامها لإنتاج نماذج مناخية للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC).

الشكل *2- Error! No text of specified style in document.* : توقعات تغير درجة الحرارة العالمية لسيناريوهات مسارات التركيز التمثيلية RCP



بالنسبة لهذا لتقييم مخاطر الهشاشة المناخية، تم استخدام المصادر التالية، استنادًا إلى سيناريوهات مسارات التركيز التمثيلية RCP التابعة للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، لتوقعات المناخ على المستويين الإقليمي والوطني:

- توقعات RCP 4.5 و RCP 8.5 من تقرير تقييم تغير المناخ العربي لعام 2017 الصادر عن المبادرة الإقليمية لتقييم آثار تغير المناخ على الموارد المائية والهشاشة الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية (RICCAR، 2017) (RICCAR):
- توقعات RCP 2.6 و RCP 6.0 من تقرير مخاطر الطقس ومخاطر المناخ لعام 2017: الأردن

تم اختيار السيناريوهات وفقًا للمبدأ الأساسي بحيث تكون الاختلافات بين السيناريوهات كبيرة بما يكفي لالتقاط تأثيرات وعدم اليقين للمخاطر الرئيسية التي تواجه المشروع.

12-2-4- الأطر الزمنية

تقوم الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) وتجارب نمذجة المناخ الإقليمية الأخرى عمومًا بإجراء محاكاة للمناخ لفترتين إلى ثلاث فترات زمنية مستقبلية، والتي يتم مقارنتها بفترة مرجعية تاريخية. بالنسبة للمخاطر المادية، تُستخدم عمومًا الفترات الزمنية التالية التي تمتد على 20 عامًا: 1986-2005 (الفترة المرجعية)، 2016-2035 (المستقبل القريب)، 2046-2065 (المستقبل المتوسط) و2081-2100 (المستقبل البعيد).

يقدم تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CVRA) تحليلًا لتغير المناخ للفترة المرجعية للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) والمستقبل القريب والمستقبل المتوسط. وقد تم استبعاد الفترة من 2081 إلى 2100، حيث أن العمر التصميمي لمرافق المشروع الدائمة هو 30 عامًا من بدء التشغيل المخطط في عام 2030.

ويتم النظر في مخاطر التحول لكل من التوقعات قصيرة الأجل (حتى عام 2030) وطويلة الأجل (بعد عام 2030) مع مراعاة التغييرات الحالية والمتوقعة في السياسات.

3-12 المخاطر المناخية المادية

1-3-12- الاتجاهات المناخية التاريخية

يقدم الفصل 6، الوصف البيئي، لمحة عامة عن مناخ الأردن على مستوى الدولة والمحافظات.

استنادًا إلى البيانات التاريخية طويلة الأجل التي نشرتها إدارة الأرصاد الجوية الأردنية (JMD)، تتغير المتغيرات المناخية بشكل كبير على المستويين الوطني ومحطات الأرصاد الجوية، مما يشير إلى أن تغير المناخ أصبح أكثر وضوحًا (GEF/UNDP، 2014). يشير كل من اختبار اتجاه الترتيب Mann-Kendall والانحدار الخطي إلى أن هطول الأمطار السنوي يميل إلى الانخفاض بشكل كبير بمرور الوقت بمعدل 1.2 ملم في السنة. وفي الوقت نفسه، تميل متوسطات درجات الحرارة القصوى والدنيا إلى الارتفاع بمقدار 0.02 و0.01 و0.03 درجة مئوية سنوياً على التوالي.

من ناحية أخرى، تميل الرطوبة النسبية إلى الزيادة بمعدل 0.08٪ سنويًا، في حين يبدو أن التبخر من المقلاة من الفئة أ يظهر انخفاضات غير واقعية تبلغ 0.088 ملم/سنة. يميل عدد أيام العواصف الترابية إلى الانخفاض بشكل كبير بمقدار 0.09 يومًا سنويًا و0.06 يومًا سنويًا للرؤية التي تقل عن 1 كم و5 كم على التوالي.

بالإضافة إلى ذلك، أشارت البيانات التاريخية، التي تم اختبارها سنويًا وشهريًا، إلى أن انخفاض هطول الأمطار كبير للغاية طوال موسم الأمطار بأكمله، باستثناء شهر كانون ثاني. وبالمثل، خلال مواسم الجفاف في حزيران وتموز وآب، كان هطول الأمطار يميل إلى الزيادة بمرور الوقت. ومع ذلك، يُعتبر هذا الارتفاع ضئيلاً من حيث الكمية، كما يتضح من مقدار الميل (GEF/UNDP، 2014).

1.1.3.12 درجة الحرارة

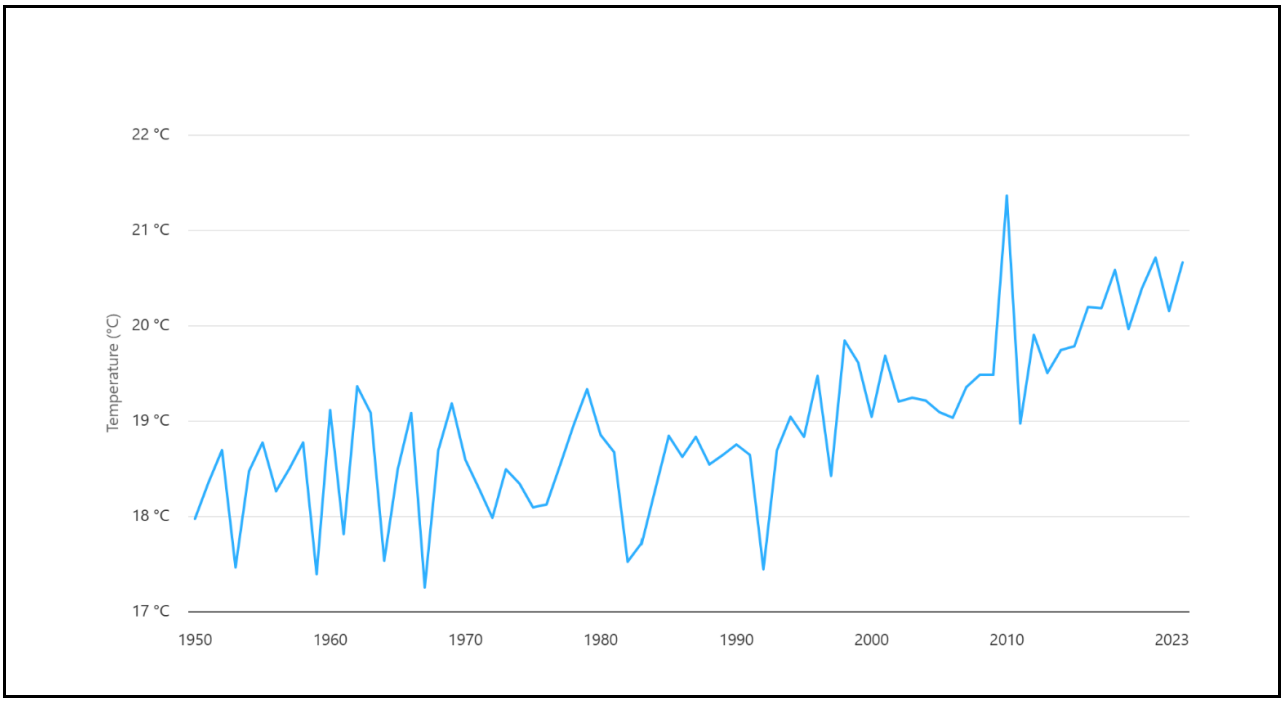
الشكل **No text of specified style in document.**-3 Error! متوسط درجة الحرارة السنوية التاريخية للبلد للفترة 1950-2023، مما يشير إلى اتجاه زيادة قدره 0.41 درجة مئوية لكل عقد (بوابة المعرفة المناخية للبنك الدولي، 2025). يُعرض تطور الدورة الموسمية والتقلبات في متوسط درجات حرارة الهواء السطحي للفترة 1951-2020 فيالشكل **No text of specified style in document.**-4 Error! . وقد لاحظت وحدة أبحاث المناخ بجامعة إيست أنجليا (Tetra Tech International Development، 2022) الاتجاهات التالية في درجات الحرارة:

- ارتفعت درجة الحرارة القصوى السنوية بمقدار 0.3-1.8 درجة مئوية منذ ستينيات القرن العشرين
- ارتفعت درجة الحرارة الدنيا السنوية بمقدار 0.4-2.8 درجة مئوية منذ ستينيات القرن الماضي
- ارتفعت متوسط درجة الحرارة السنوية بمقدار 0.89 درجة مئوية منذ عام 1900

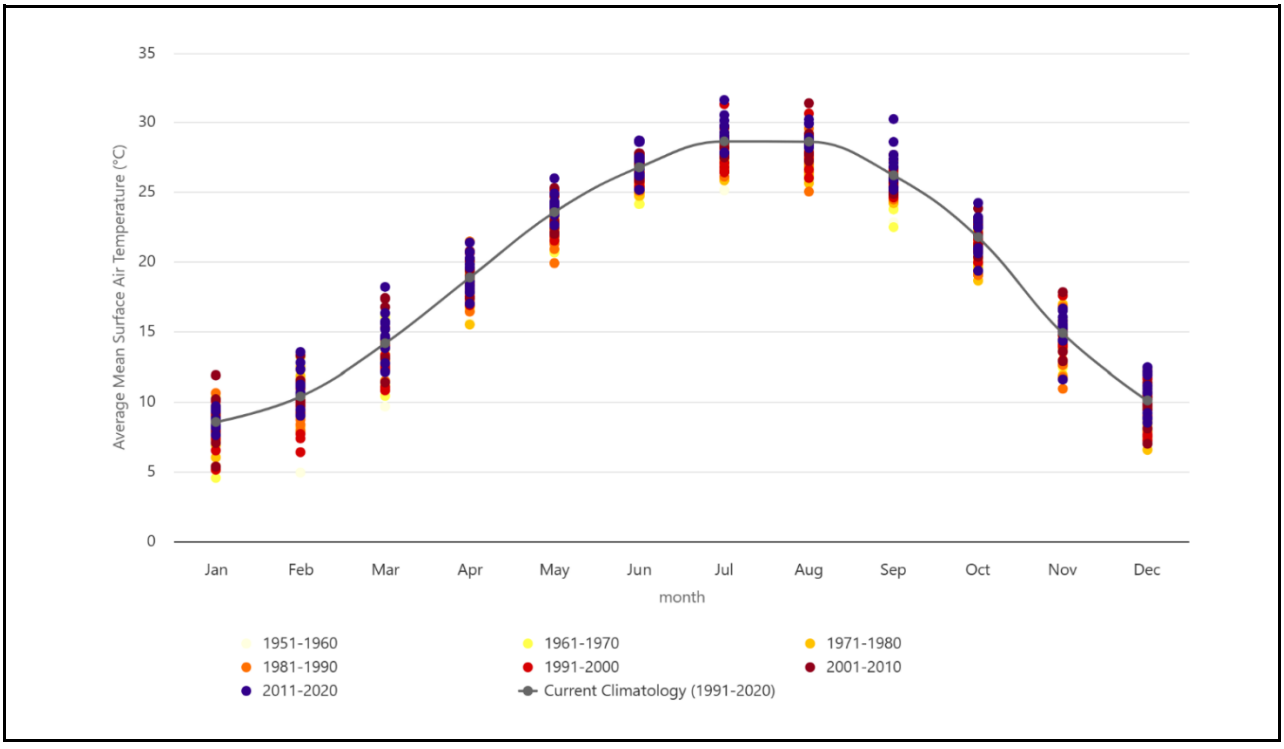
تشمل الاتجاهات منذ ستينيات القرن الماضي (USAID، 2017) ما يلي:

- ارتفاع درجة الحرارة القصوى السنوية بمقدار 0.3-1.8 درجة مئوية وارتفاع درجة الحرارة الدنيا السنوية بمقدار 0.4-2.8 درجة مئوية في جميع المناطق (ارتفعت درجات الحرارة الدنيا بوتيرة أسرع من درجات الحرارة القصوى).
- زيادة في متوسط عدد موجات الحرارة في جميع أنحاء البلاد، لا سيما في الصحراء.
- زيادة عدد الأيام الجافة المتتالية على مستوى البلاد (الأعلى في الصحراء، تليها المرتفعات ثم وادي الأردن).

الشكل *Error! No text of specified style in document.-3* : التغيرات الملحوظة في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي السنوية (1950-2023)



الشكل *Error! No text of specified style in document.-4* : تطور الدورة الموسمية والتقلبات المتضمنة في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي (1951-2020)



2.1.3.12 هطول الأمطار

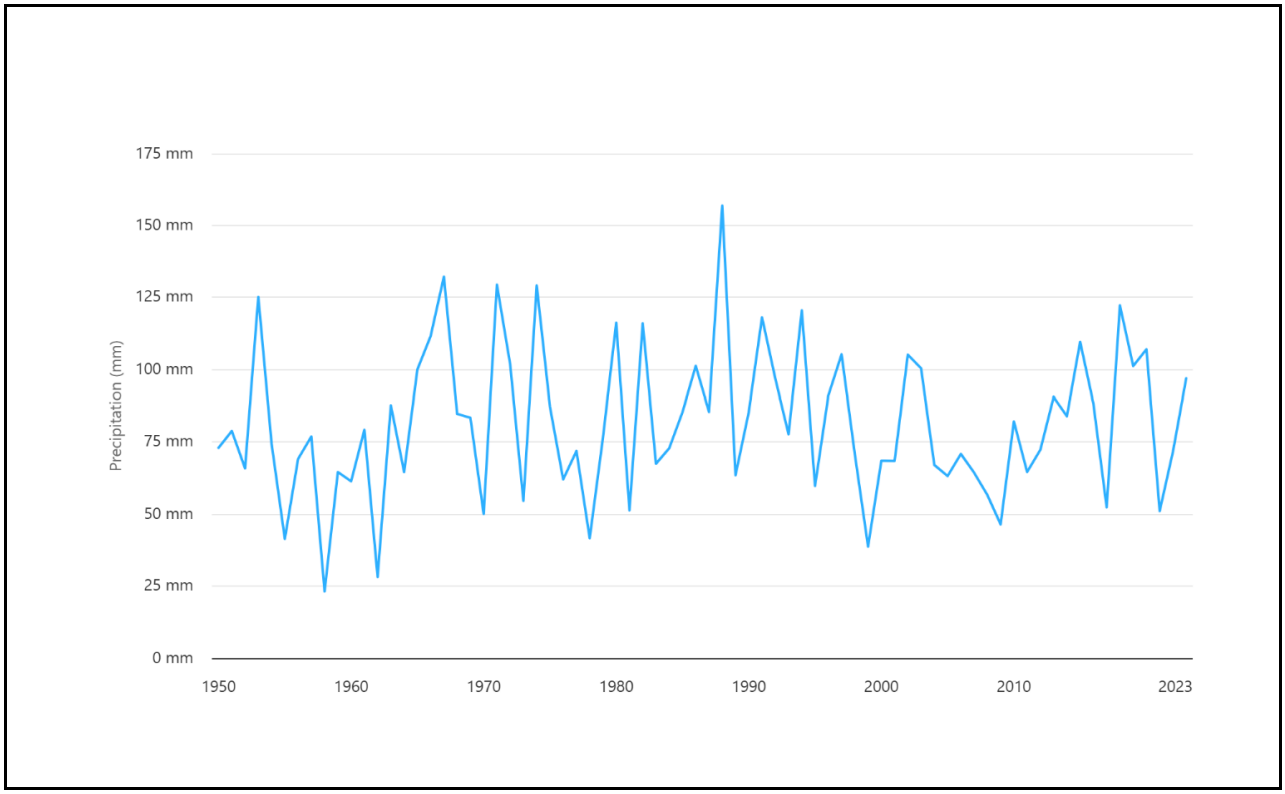
الشكل.Error! No text of specified style in document -5 التقلبات الموسمية في هطول الأمطار للفترة 1951-2020.

يستخدم نموذج المناخ الإقليمي لدراسة التغيرات في هطول الأمطار في فلسطين والأردن في نهاية القرن الحادي والعشرين على نطاقات زمنية يومية إلى شهرية. ويتنبأ النموذج بأن هذه المنطقة ستصبح أكثر جفافاً بشكل ملحوظ في ذروة موسم الأمطار، مما يعكس انخفاضاً في تواتر ومدة هطول الأمطار. قد تكون هذه التغيرات مرتبطة بانخفاض قوة مسار العواصف المتوسطية. يستخدم نموذج مناخي إقليمي لدراسة التغيرات في هطول الأمطار في فلسطين والأردن في نهاية القرن الحادي والعشرين على نطاقات زمنية يومية إلى شهرية. ويتنبأ النموذج بأن هذه المنطقة ستصبح أكثر جفافاً بشكل ملحوظ في ذروة موسم الأمطار، مما يعكس انخفاضاً في تواتر ومدة هطول الأمطار. قد تكون هذه التغيرات مرتبطة انخفاض قوة مسار العواصف المتوسطية. يستخدم نموذج مناخي إقليمي لدراسة التغيرات في هطول الأمطار في فلسطين والأردن في نهاية القرن الحادي والعشرين على نطاقات زمنية يومية إلى شهرية. ويتنبأ النموذج بأن هذه المنطقة ستصبح أكثر جفافاً بشكل ملحوظ في ذروة موسم الأمطار، مما يعكس انخفاضاً في تواتر ومدة هطول الأمطار. قد تكون هذه التغيرات مرتبطة انخفاض قوة مسار العواصف المتوسطية. يستخدم نموذج مناخي إقليمي لدراسة التغيرات في هطول الأمطار في فلسطين والأردن في نهاية القرن الحادي والعشرين على نطاقات زمنية يومية إلى شهرية. ويتنبأ النموذج بأن هذه المنطقة ستصبح أكثر جفافاً بشكل ملحوظ في ذروة موسم الأمطار، مما يعكس انخفاضاً في تواتر ومدة هطول الأمطار. قد تكون هذه التغيرات مرتبطة انخفاض قوة مسار العواصف المتوسطية.

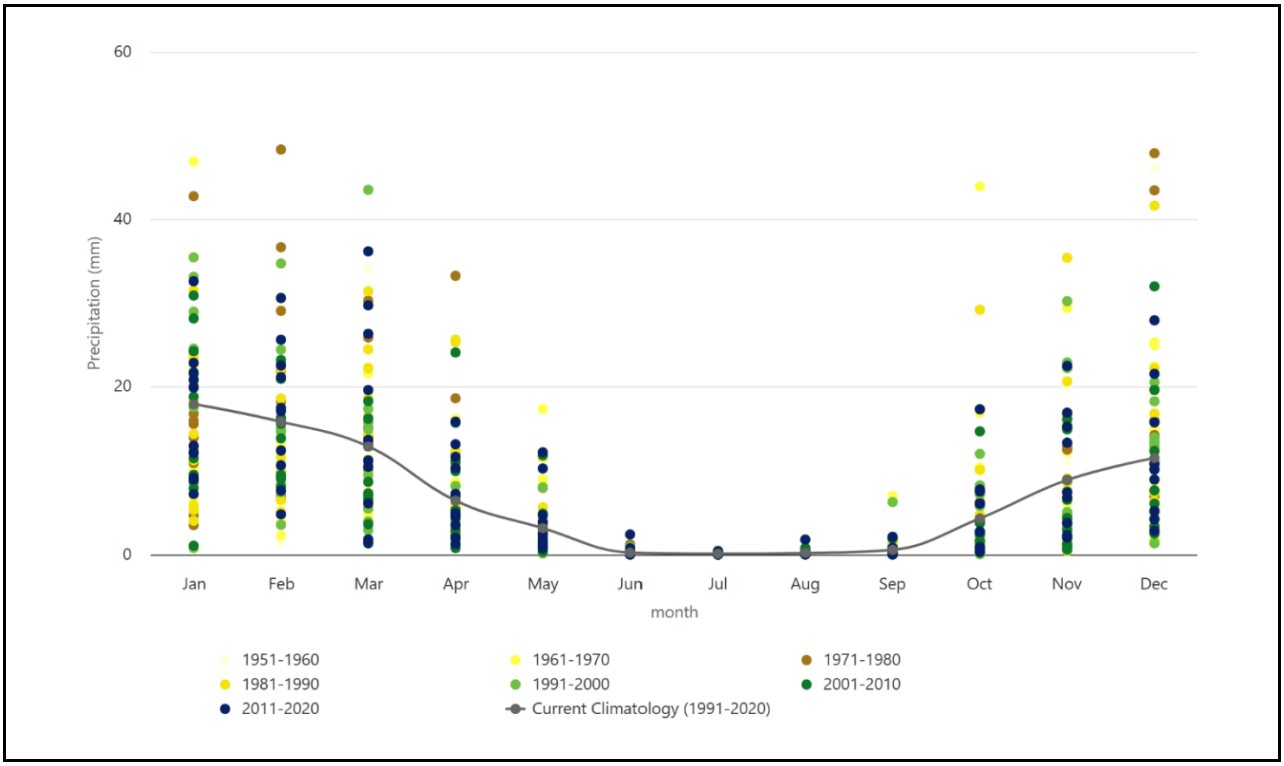
ملخص

يستخدم نموذج مناخي إقليمي لدراسة التغيرات في هطول الأمطار في فلسطين والأردن في نهاية القرن الحادي والعشرين على نطاقات زمنية يومية إلى شهرية. ويتنبأ النموذج بأن هذه المنطقة ستصبح أكثر جفافاً بشكل ملحوظ في ذروة موسم الأمطار، مما يعكس انخفاضاً في تواتر ومدة هطول الأمطار. قد تكون هذه التغيرات مرتبطة بانخفاض قوة مسار العواصف المتوسطية.

الشكل *Error! No text of specified style in document.* **-5 : السلاسل الزمنية المرصودة لهطول الأمطار السنوي (1950-2023)**



الشكل *Error! No text of specified style in document.*-**6 : الدورة الموسمية المتغيرة والتقلبات المدمجة في هطول الأمطار (2020-1951)**



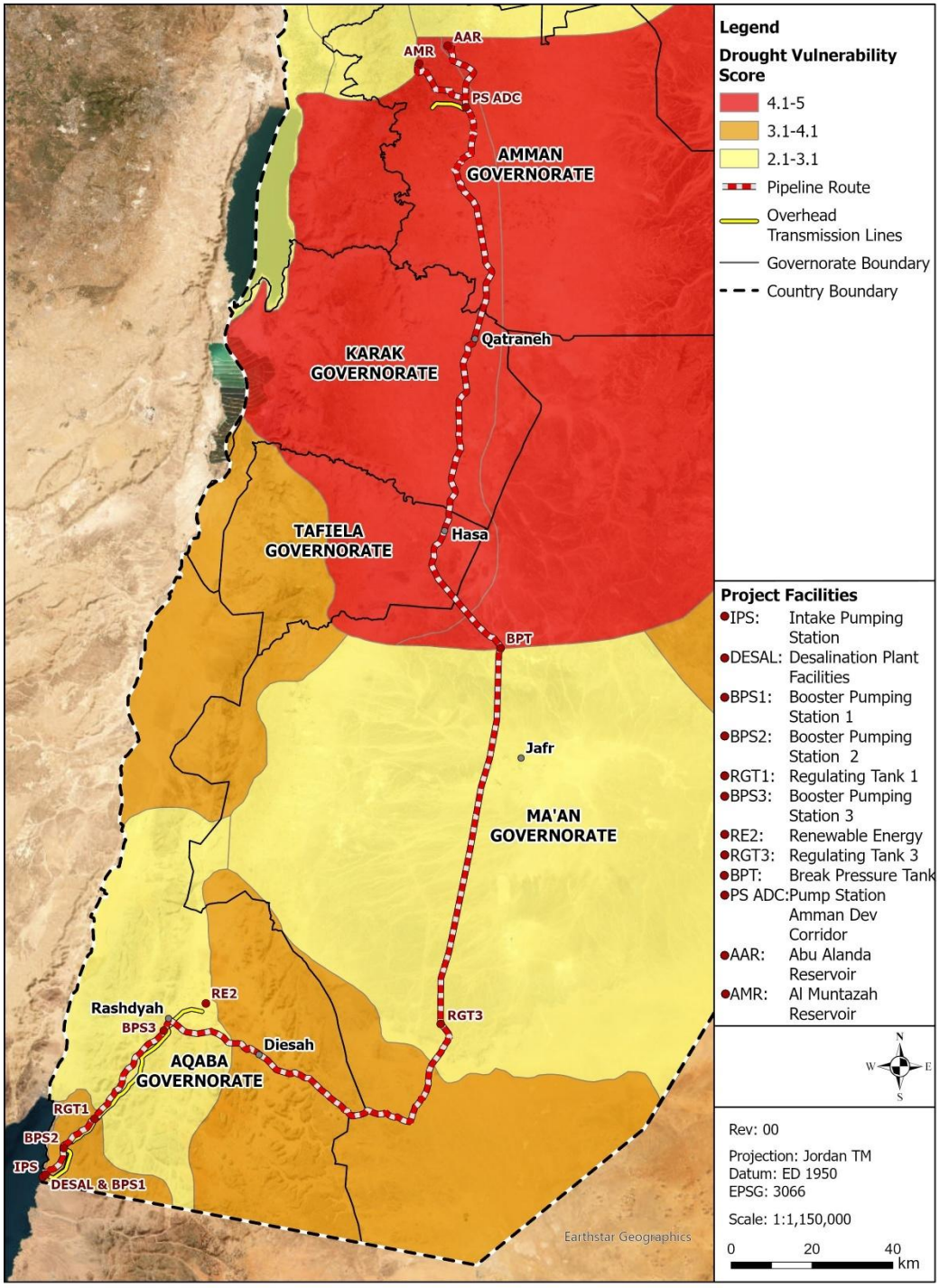
لوحظت الاتجاهات التالية في هطول الأمطار:

- تشير بيانات شبكة المناخ التاريخية العالمية للبلد إلى انخفاض متوسط هطول الأمطار السنوي بمقدار 2.92 ملم/شهر لكل قرن منذ عام 1900.
- تشير معظم سجلات المحطات المحلية إلى أن هطول الأمطار السنوي انخفض من 94 ملم إلى 80 ملم خلال السنوات العشر الأخيرة للفترة من 1937 إلى 2005.
- تظهر معدلات هطول الأمطار السنوية انخفاضًا في معظم محطات الأرصاد الجوية.

على الرغم من وجود اختلافات في تحليل اتجاهات هطول الأمطار، هناك إجماع على أن تواتر الجفاف آخذ في الازدياد وأن هذا الاتجاه سيستمر. قام العديلية وآخرون (2019) بإنشاء خريطة قابلية التأثر بالجفاف (الشكل Error! No text of specified style in document.-7) مع التركيز على شدة الجفاف واحتمالية حدوثه، واقترحوا اجراءات التكيف بناءً على تحليل تأثير قطاع المياه الجوفية من خلال دمج التقييمات الرقمية للتعرض والحساسية والقدرات التكيفية على مستوى أحواض المياه الجوفية والمناطق الأردنية.

تم التحقيق في آثار الجفاف على أحواض المياه الجوفية بناءً على قياسات شدة الجفاف واحتمالية حدوثه، وتم حساب التعرض للجفاف في جميع أنحاء البلاد باستخدام مؤشر جفاف مركب (CDI) يدمج مؤشرات هطول الأمطار ودرجة الحرارة وجفاف الغطاء النباتي من عام 1980 إلى عام 2017. وأشارت النتائج إلى أن الجفاف في الأردن يتميز بتقلب زمني ومكاني من حيث احتمالية حدوثه وشدته. وتراوحت أحداث الجفاف الأطول أمداً بين خفيفة إلى معتدلة، مع فترات تعرض طويلة قد تمتد إلى 13 عاماً متتالية.

الشكل *Z- Error! No text of specified style in document.* **: خريطة نقاط الهشاشة في مواجهة الجفاف، الأردن**



3.1.3.12 الفيضانات

على الرغم من أن الفيضانات لا تحدث بانتظام في الأردن، فقد شهدت المملكة مؤخرًا زيادة حادة في شدة الفيضانات وتكرارها، كما لاحظ المسؤولون الحكوميون المعنيون. حيث تتشكل الفيضانات على أساس موسمي في بعض مناطق المملكة، إما في بداية أو نهاية موسم الأمطار، خلال فترات الظروف الجوية غير المستقرة. ولا تزال الفيضانات والفيضانات المفاجئة السبب الرئيسي للوفاة بسبب الكوارث الطبيعية في البلاد، حيث تمثل حوالي 53٪ من الوفيات المرتبطة بالكوارث بين عامي 1980 و2012 (UNISDR، 2013).

وكما هو الحال في أي بلدان أخرى قاحلة إلى شبه قاحلة، تشكل الفيضانات المفاجئة تهديدًا للعديد من التجمعات السكنية في البلاد التي تقع في المناطق المنخفضة من سلاسل الجبال، مثل مدينة البتراء الأثرية، والمدن الواقعة أسفل منطقة مستجمعات المياه في تضاريس مسطحة (مثل مدينة معان) أو في المراوح الطمية (مثل مدينة العقبة). وعلى الرغم من التهديد الكبير الذي تشكله الفيضانات على أجزاء معينة من البلاد، إلا أن هناك عدداً محدوداً من المراجع الموثقة حول الفيضانات في الأردن، وتستند البيانات المتاحة إلى التقارير الإخبارية والمنشورات على الإنترنت وبعض المراجع التي قدمتها وحدة الحد من الكوارث (DRR) في منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة ASEZ (الإدارة المتكاملة للمياه المستدامة، 2014).

أحد الأودية المصنفة على أنها الأكثر عرضة للمخاطر والأضرار في الأردن هو وادي اليتم (بما في ذلك رافده وادي عمران، الذي يغطي منطقة مستجمعات مياه تبلغ مساحتها حوالي 4000 كم²)، وهو رافد للبحر الأحمر عند مصب نهر الأردن، ويشتهر بحدوث فيضانات شديدة تسببت في أضرار للمنشآت الواقعة في قناة الفيضان النشطة. وفي شباط 2006، تعرضت كل من العقبة ومعان في جنوب الأردن لفيضان كبير في الجزء السفلي من وادي اليتم وفي وادي أحيدة، غرب مدينة معان. وبلغت ذروة التدفق حوالي 550 متر مكعب في الثانية في وادي اليتم (يُقدر أن تكون بين 10 و40 سنة)، وحوالي 320 متر مكعب في الثانية في وادي أحيدة (الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية، 2011). وقد أدى هذا الحادث، الذي كان له تأثير إقليمي، إلى تدمير جزء من خط أنابيب نقل المياه بين الديسة والعقبة، مما أدى إلى انقطاع إمدادات المياه لمدة أسبوعين وتسبب في تآكل وتجريف أثر على الحواجز الخرسانية وهياكل التراب داخل قناة الوادي. كما تسببت الفيضانات في تعطيل محطة معالجة المياه العادمة في العقبة (WWTP) لعدة أشهر، وكذلك مطار العقبة، بسبب تدفق المياه والرواسب التي انتقلت إلى مدرج المطار (SWIM، 2014). وللتخفيف من مخاطر الفيضانات المفاجئة من هذا الوادي، قامت شركة تطوير العقبة (ADC) ببناء عدة سدود متتالية وتحسين اجراءات الناقل والحماية.

وفي عام 2013، أثرت فيضانات شديدة على البلاد بأكملها، لا سيما في الشمال (المفرق والزرقاء وعمّان ونهر اليرموك) ووادي الأردن في الغرب (بما في ذلك البحر الميت ونهر الأردن) والجنوب (معان والعقبة). غمرت الفيضانات الشوارع في المدن الرئيسية عمّان والزرقاء بمياه الأمطار. في وادي الأردن، غمرت المياه حوالي 8500 دونم من الأراضي الزراعية المجاورة لنهر الأردن. كما دمرت الفيضانات جميع المزارع المتضررة من الجريان السطحي الشديد وتآكل التربة، من العدسية في شمال وادي نهر الأردن إلى داميا. كما دمرت مزارع الأسماك في المنشية وأبو عبيدة. وفي الجزء الجنوبي من البلاد، أُغلقت الطريق التي تربط العقبة بالبحر الميت بسبب الرواسب المتآكلة، بينما تم اغلاق مطار العقبة لمدة يومين (SWIM، 2014).

يتميز الساحل الأردني لخليج العقبة بوجود هياكل صخرية من الشعاب المرجانية تتخللها وديان تنحدر من الجبال المحيطة. هذه الوديان جافة معظم أيام السنة، لكنها تتعرض لفيضانات من حين لآخر. وأنشأت سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) نظامًا من السدود لتجميع مياه الأمطار وتقليل تأثير الفيضانات على التنمية الساحلية والموائل. وتقع المنطقة البرية للمشروع داخل منطقة فيضانات، ويتميز تعرض المشروع بدرجة متوسطة (أساسية ومستقبلية) وفقًا لدراسة برنامج الأغذية العالمي التابع للأمم المتحدة (UNWFP) (2019) (راجعالشكل.Error! No text of specified style in document. 8-).

البحر الأحمر هو مسطح مائي طويل وضيق يقع بين شمال شرق إفريقيا وشبه الجزيرة العربية. ينقسم الطرف الشمالي حول شبه جزيرة سيناء، ويفصل خليج السويس الضحل إلى الغرب عن خليج العقبة الأعمق بكثير إلى الشرق. قام دروز (2015) بنمذجة استجابة ارتفاع الأمواج لاتجاه الرياح للمدن المعرضة على طول ساحل مستقيم. ويعتمد ارتفاع الأمواج على جيب التمام للزاوية بين اتجاه الرياح والمحور المركزي للخليج الضيق. وقد تسببت الرياح الجنوبية الشرقية (من 300° كارتيزي) في حدوث أعلى ارتفاع للأمواج في السويس، وأدنى ارتفاع للأمواج في العقبة، بمستوى 0.55 متر.

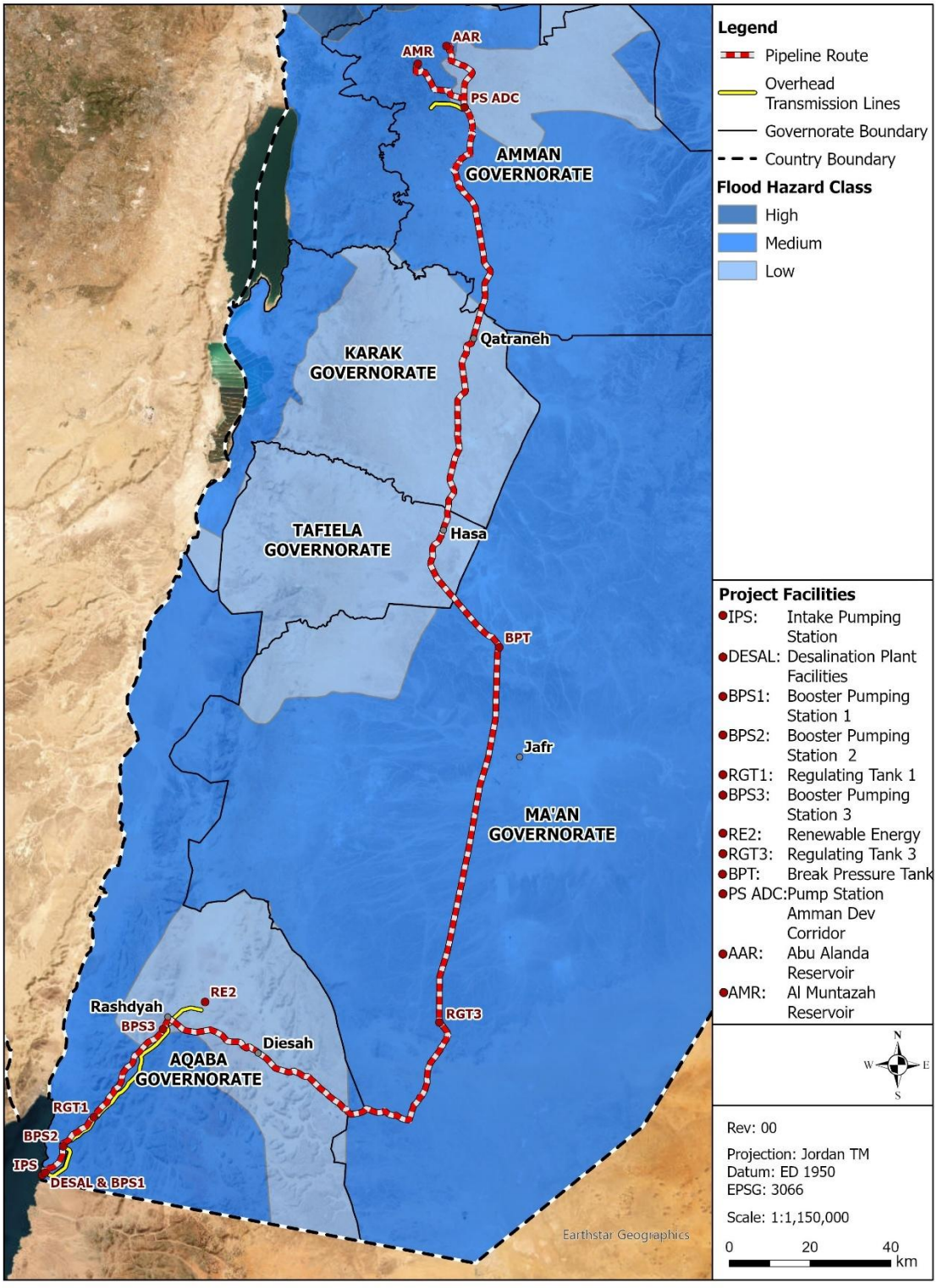
4.1.3.12 ارتفاع مستوى سطح البحر

يقع خليج العقبة على البحر الأحمر، وهو أحد امتدادات المحيط الهندي، ويتصل بالمحيط الهندي عبر بحر العرب. وتتميز مياه البحر الأحمر بدرجة ملوحة عالية وكثافة بسبب معدل التبخر المرتفع، وانخفاض هطول الأمطار، ومحدودية تدفق المياه العذبة (العوض وآخرون، 2019).

وتتراوح قيم ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي في القرن العشرين (SLR) استنادًا إلى سجلات مقياس المد والجزر المنشورة خلال التسعينيات بين 1 و2 ملم/سنة (Church and White، 2011). وتأتي المساهمة الأكثر أهمية في ارتفاع مستوى سطح البحر من التمدد الحراري الناجم عن ارتفاع درجة حرارة المحيطات، والذي حدث بشكل أساسي منذ الخمسينيات. وعلى الرغم من أن التغيرات في متوسط مستوى سطح البحر العالمي قد تعكس التغيرات في مستوى سطح البحر في خليج العقبة، فإن العلاقة بين متوسط ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي وارتفاع مستوى سطح البحر المحلي تعتمد على مجموعة من العوامل، بما في ذلك التغيرات في دوران المحيطات (التي يمكن أن تغير مستويات سطح البحر على النطاقين المحلي والإقليمي)، والتغيرات في مستويات المحيطات بسبب التمدد الحراري والتغير النسبي في مستوى سطح البحر المرتبط بحركات الأرض (أي الارتفاع الجيولوجي و/أو الهبوط) (Nicholls and Klein, 2005; Harvey and Nicholls, 2006). يعد خليج العقبة امتدادًا لصدع البحر الأبيض المتوسط أو البحر الميت وجزءًا من صدع البحر الأحمر، وكلاهما نشطان تكتونيًا، مما يترك احتمال لارتفاع مستوى سطح البحر.

ناقش مونيسميث وجينين (2004) ملاحظات التغيرات المدية في التيارات والارتفاعات التي تم تسجيلها على الشعاب المرجانية المحيطة بإيلات. وتظهر التيارات المدية ومستويات المياه في شمال خليج العقبة تأثيرات القوى البعيدة بوضوح، مع تغيرات سنوية في ارتفاع سطح البحر في الخليج مدفوعة بالتكوين الناتج عن الرياح في الجزء الأوسط من البحر الأحمر. ومع ذلك، فإن الرياح على الخليج نفسه لها تأثير كبير أيضًا. يبدو أن التيارات المدية الملحوظة هي نتيجة المد والجزر الداخلي المتولد في مضيق تيران. ويمكن أن يعزى ذلك إلى التغيرات السنوية في التيارات، وكذلك إلى التغيرات في التولد والانتشار المرتبطة بالتغيرات في قوة وبنية الطبقات على مدار العام. وعندما تكون طبقات خليج العقبة قوية في الصيف، تكون التيارات المدية قوية؛ وعندما تكون الطبقات ضعيفة، تكون التيارات المدية ضعيفة أيضًا.

الشكل *Error! No text of specified style in document.* **8 : خريطة مخاطر الفيضانات**



12-2-3- توقعات المناخ المستقبلية

هناك عدة مصادر متاحة لاستخراج توقعات تغير المناخ، وأكثرها شهرة واستخدامًا هي تقارير تقييم الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وبوابة المعرفة المناخية للبنك الدولي. لتوفير بيانات أكثر صلة، ويقدم هذا التقييم توقعات خاصة بالشرق الأوسط، ويحدد سياق مناخ موقع المشروع وتوقعات خاصة بالأردن، على المستوى الوطني فقط، حيث لا تتوفر توقعات أكثر تفصيلاً للمحافظات بشكل منفصل.

12-2-3-1- درجة الحرارة

تشير التوقعات الإقليمية) المبادرة الإقليمية لتقييم آثار تغير المناخ على الموارد المائية والهشاشة الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية، 2017 (RICCAR)) إلى أن درجات الحرارة في المنطقة العربية من المتوقع أن ترتفع خلال هذا القرن. ويُظهر التغير العام في درجات الحرارة في إطار سيناريو RCP 4.5 ارتفاعاً يتراوح بين 1.2 درجة مئوية و1.9 درجة مئوية في منتصف القرن، وبين 1.5 درجة مئوية و2.3 درجة مئوية بحلول نهاية القرن. بالنسبة لسيناريو RCP 8.5، ترتفع درجات الحرارة إلى 1.7 درجة مئوية - 2.6 درجة مئوية في منتصف القرن و3.2 درجة مئوية - 4.8 درجة مئوية في نهاية القرن (الشكل Error! No text of specified style in document. 9).

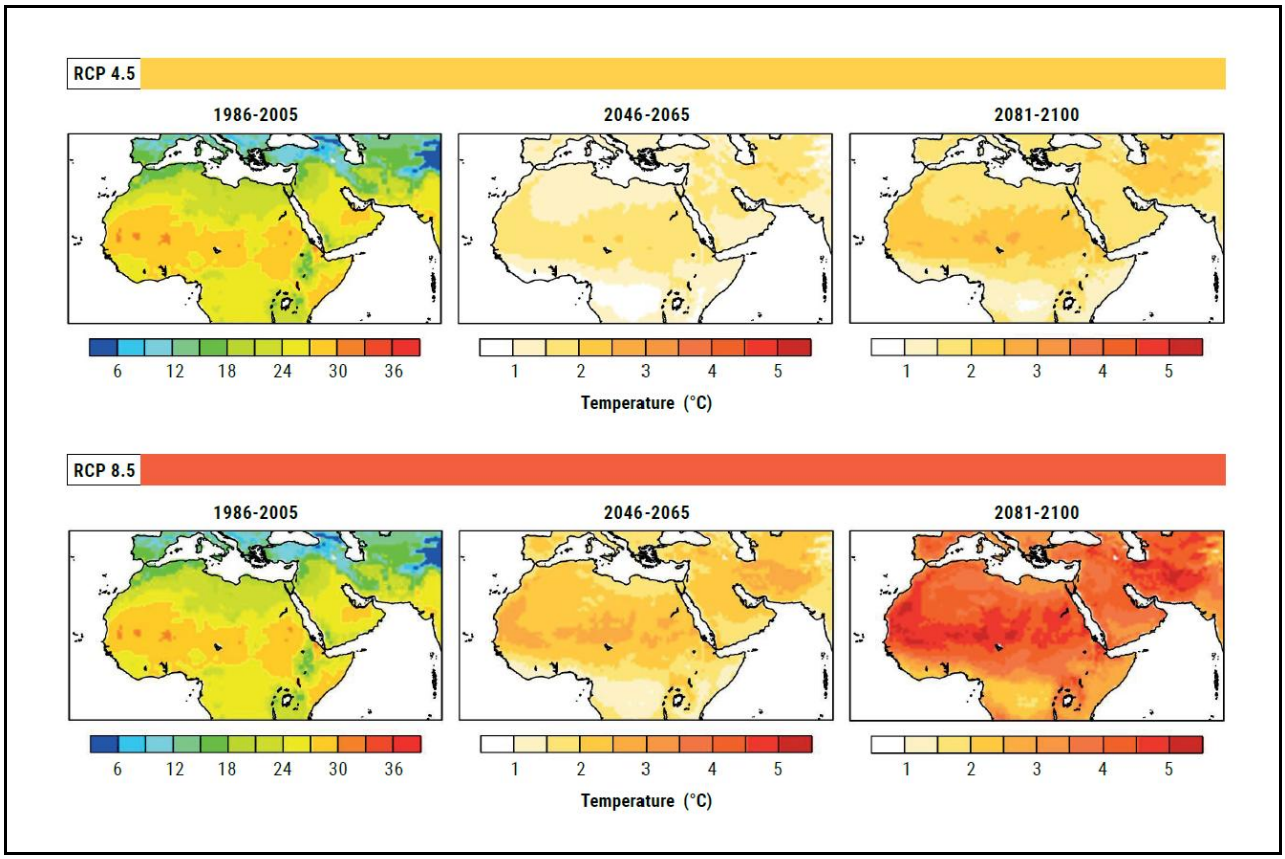
يعكس نطاق هذه القيم التباين في النتائج عبر مختلف مناطق المنطقة. وتظهر الزيادة الأعلى في منتصف القرن في المناطق غير الساحلية. عند التركيز على التغيرات الموسمية، لا تظهر النتائج أي اتجاه واضح لزيادة درجة الحرارة بشكل أكبر في أي موسم معين. حيث يتوزع الاحترار بشكل متساوٍ تقريبًا عبر جميع الفصول.

وعلى المستوى المحلي (Weathering Risk، 2017)، من المرجح جدًا أن ترتفع درجة حرارة الهواء فوق الأردن بما يتراوح بين 1.7 درجة مئوية و4.5 درجة مئوية بحلول عام 2080، مقارنة بعام 1876 واعتمادًا على سيناريو انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في المستقبل (الشكل Error! No text of specified style in document. 10).

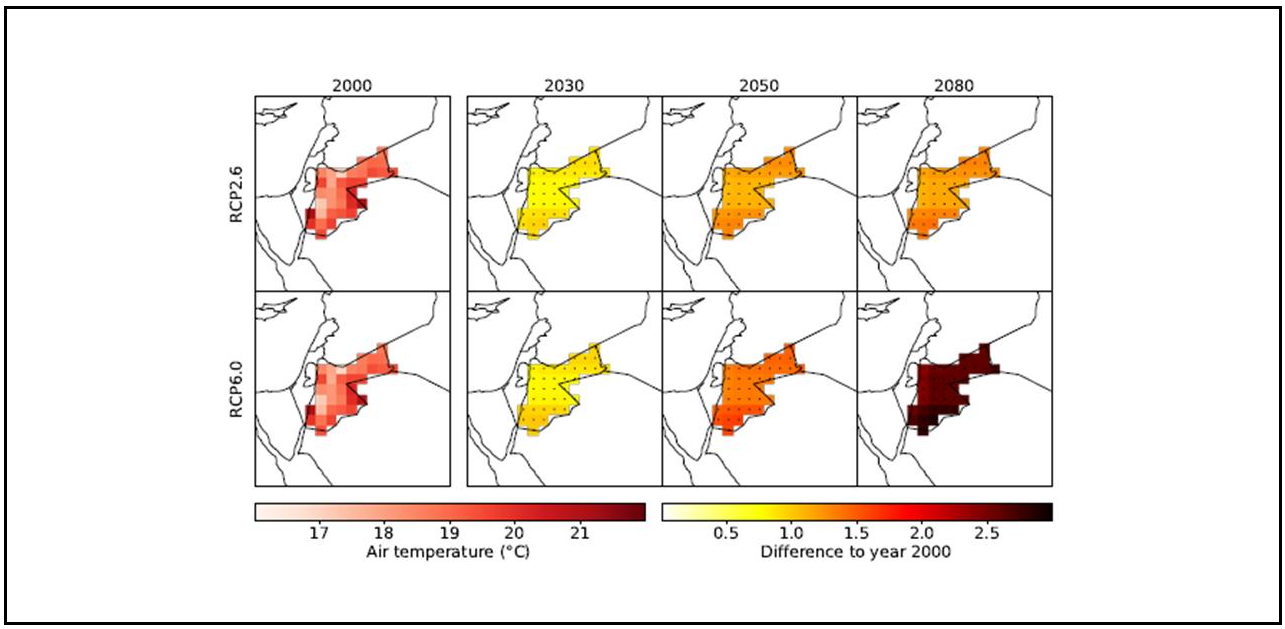
من المتوقع أن تؤثر الزيادة في درجة حرارة الهواء على البلد بأكمله بدرجة عالية من اليقين. في ظل سيناريو الانبعاثات المنخفضة، RCP 2.6، ستكون الزيادة في درجة الحرارة أكبر قليلاً في جنوب وشمال شرق الأردن. وبحلول عام 2030، من المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة بمقدار 0.77 درجة مئوية في وسط الأردن وحتى 0.97 درجة مئوية في الجنوب مقارنة بعام 2000. ومن المتوقع أن تكون الزيادة في درجات الحرارة بين عامي 2030 و2080 طفيفة. وبحلول عام 2080، تتوقع النماذج ارتفاعًا يصل إلى 1.3 درجة مئوية و1.4 درجة مئوية لشمال شرق وجنوب الأردن على التوالي، وارتفاعًا يصل إلى 1.1 درجة مئوية إلى 1.2 درجة مئوية لبقية البلاد.

وفي ظل سيناريو الانبعاثات المتوسطة إلى العالية RCP 6.0، ستتطور التغيرات في درجات الحرارة بحلول عام 2030 بشكل مشابه جداً لتلك التي في ظل سيناريو RCP 2.6 (بزيادة تتراوح بين 0.8 درجة مئوية في وسط الأردن و1 درجة مئوية في الشمال الشرقي والجنوب). اما على المدى الطويل، يتوقع سيناريو RPC 6.0 ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 2.4 درجة مئوية إلى 2.9 درجة مئوية بحلول عام 2080، مقارنة بعام 2000. ومرة أخرى، سيكون الجنوب القاحل هو الأكثر تضرراً، حيث ستصل درجة الحرارة إلى 2.9 درجة مئوية. ومن المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة بنحو 2.6 درجة مئوية في الصحراء الشمالية الشرقية وبنحو 2.4 درجة مئوية في شمال غرب البلاد شبه القاحل الأكثر كثافة سكانية.

الشكل *Error! No text of specified style in document.*-**9 : متوسط التغير في درجة الحرارة السنوية (درجة مئوية) في ظل مسارات RCP 4.5** و*RCP* **8.5 – المستوى الإقليمي**



الشكل *Error! No text of specified style in document.*-**10 : توقعات درجة الحرارة السنوية (درجة مئوية) في ظل مسارات RCP 2.6** و*RCP* **6.0 – على المستوى المحلي.**



12-3-2-2- الحرارة الشديدة

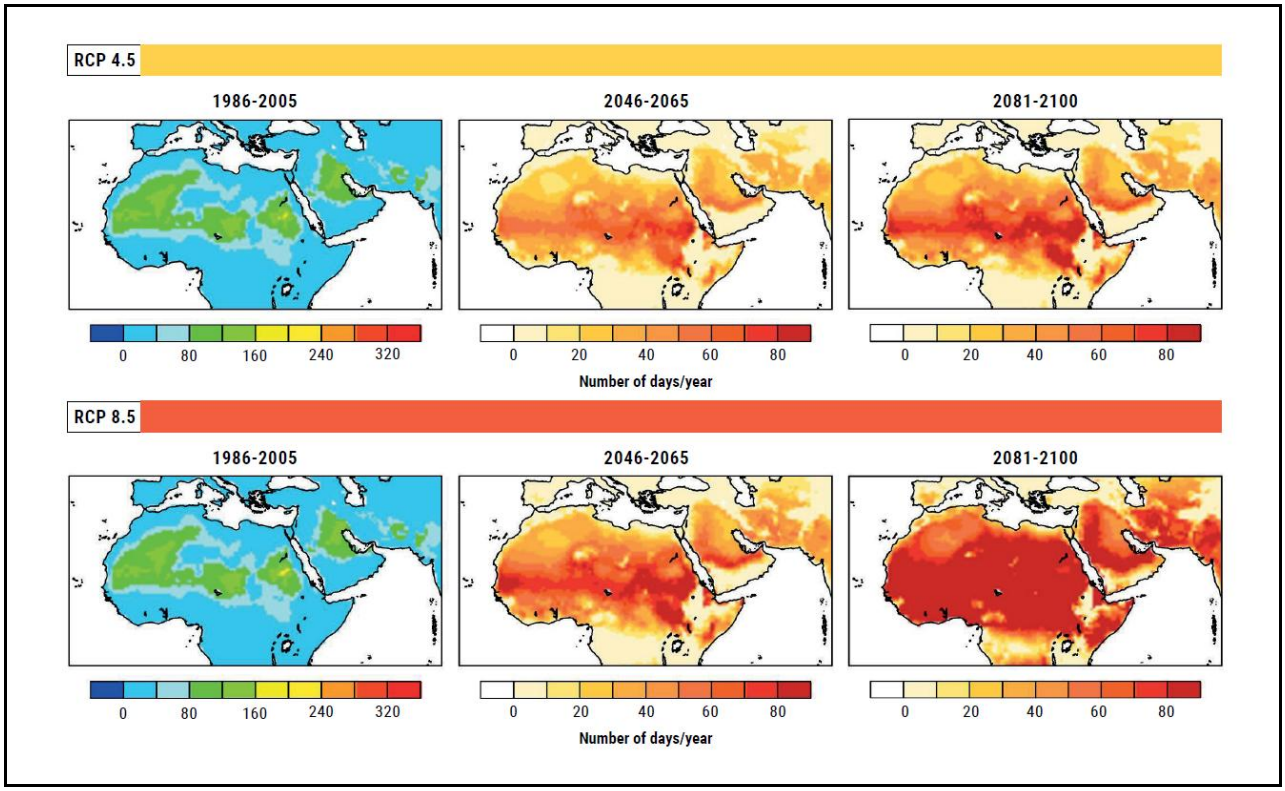
بالنظر إلى درجات الحرارة القصوى، تظهر جميع المؤشرات المتعلقة بالأيام الحارة اتجاهات متزايدة كما هو متوقع (RICCAR، 2017). وتُظهر التغيرات في عدد الأيام شديدة الحرارة (SU40) بشكل عام الزيادات الأكثر أهمية. ولا يُعد هذا الاستنتاج مفاجئًا، حيث إن عدد أيام الصيف في المناخ الحالي مرتفع بالفعل في معظم أنحاء المنطقة. تُظهر التغيرات في مؤشر أيام الإجهاد الحراري في فصل الصيف SU40 ارتفاعًا قويًا متوقعًا في درجات الحرارة بالنسبة لمسار RCP 8.5، مما يشير إلى أن الزيادة في درجات الحرارة القصوى في المناطق الساحلية ستكون أقل منها في المناطق الداخلية للمنطقة بالنسبة للمسارات RCP 4.5 و8.5 (الشكل Error! No text of specified style in document. 11-).

بالتزامن مع ارتفاع متوسط درجات الحرارة السنوية على مستوى البلاد، من المتوقع أن يرتفع عدد الأيام شديدة الحرارة (المعرفة بأنها الأيام التي تزيد فيها درجات الحرارة عن 35 درجة مئوية) بدرجة عالية من اليقين في جميع أنحاء الأردن، مع أعلى زيادة طويلة الأجل في الغرب، بما في ذلك شمال غرب الأردن المكتظ بالسكان في ظل مسار RCP6.0 (مخاطر التجوية، 2017). (الشكل Error! No text of specified style in document. 12-).

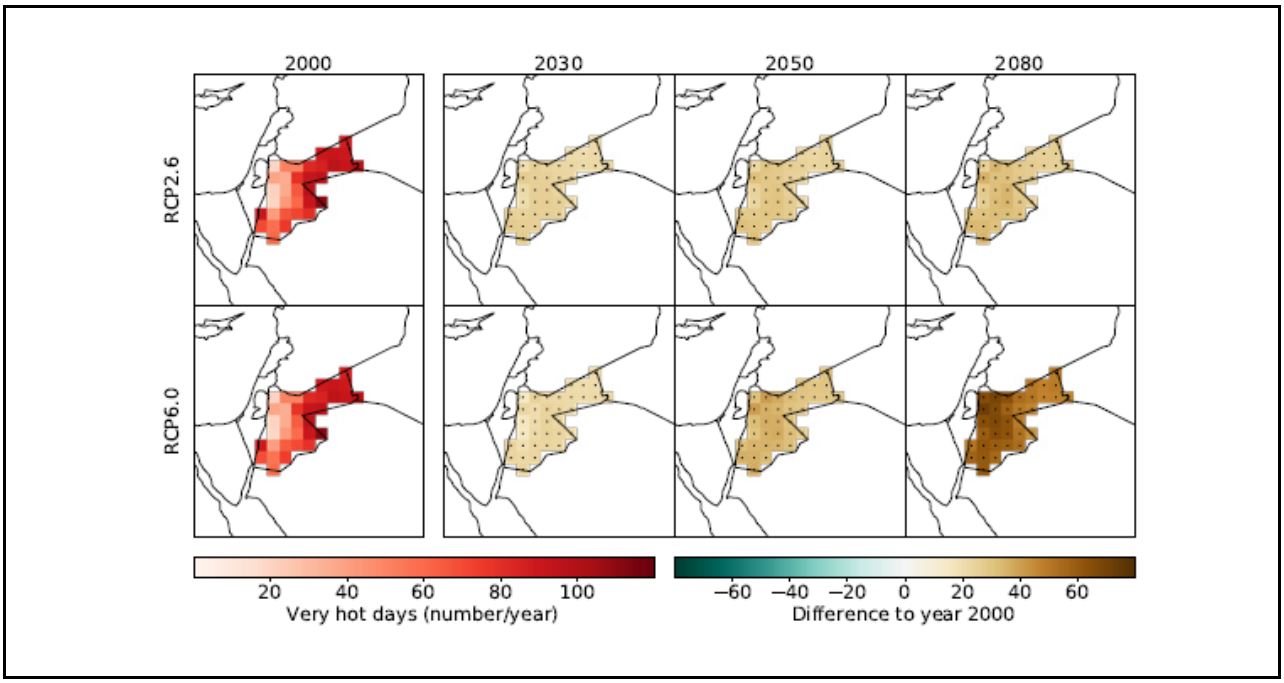
اما في ظل مسار RCP 2.6، فمن المتوقع أن يزداد عدد الأيام شديدة الحرارة بمقدار 20-26 يومًا في معظم أنحاء الأردن، مع حد أقصى يبلغ 28 يومًا شديد الحرارة إضافيًا سنويًا حتى عام 2030 في الجنوب الشرقي، مقارنة بعام 2000. بعد ذلك، وسيستمر عدد الأيام التي تتجاوز عتبة 35 درجة مئوية في الزيادة بشكل مطرد. في عام 2050، حيث سيكون هناك ما بين 23 و32 يومًا شديد الحرارة إضافيًا سنويًا، بينما بحلول عام 2080، ستتراوح الزيادة بين 25 و35 يومًا سنويًا، مقارنة بعام 2000.

في إطار مسار RCP 6.0، فمن المتوقع أن تزداد الأيام شديدة الحرارة بحلول عام 2030، كما هو الحال في مسار RCP 2.6، بمقدار 15 إلى 25 يومًا إضافيًا. ومع ذلك، سيكون الانحدار أقوى حتى عام 2080: فمن المتوقع حدوث زيادات أقل نسبيًا في عدد الأيام الحارة في الشمال الشرقي، حيث ستبلغ حوالي 45 يومًا إضافيًا سنويًا، بينما ستشهد المناطق الشمالية الغربية والوسطى من الأردن ارتفاعًا يصل إلى 71 يومًا شديد الحرارة سنويًا بحلول عام 2080.

الشكل *Error! No text of specified style in document.-11* : متوسط التغير في عدد الأيام شديدة الحرارة (أيام/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 4.5 و*RCP* 8.5 – المستوى الإقليمي



الشكل *Error! No text of specified style in document.-12* **: عدد الأيام شديدة الحرارة (أيام/سنة) التوقعات في ظل مسارات التركيز RCP 2.6 و** *RCP* **6.0 – على المستوى القطري**



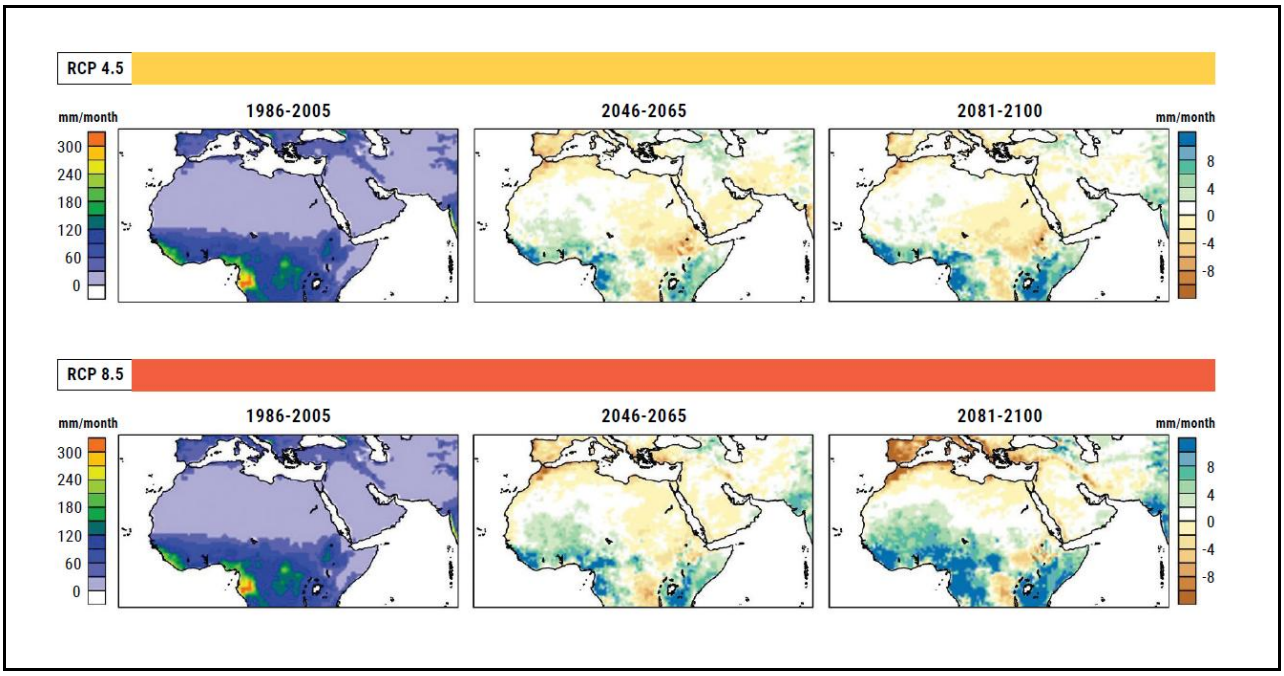
12-3-2-3- هطول الأمطار

تختلف التغيرات في هطول الأمطار بشكل كبير عبر المنطقة، ولا يوجد اتجاه عام واضح في النتائج السنوية أو الموسمية (RICCAR، 2017). ويمكن ملاحظة اتجاهات انخفاض في معظم المنطقة العربية في منتصف القرن (الشكل Error! No text of specified style in document.-13). وبحلول نهاية القرن، يشير كلا السيناريوهين إلى انخفاض متوسط هطول الأمطار الشهري إلى 8-10 ملم في المناطق الساحلية. وعلى المستوى الموسمي، فمن المتوقع حدوث تغيرات أكثر جوهرية في هطول الأمطار في البلدان الواقعة على ساحل البحر الأبيض المتوسط خلال أشهر الشتاء.

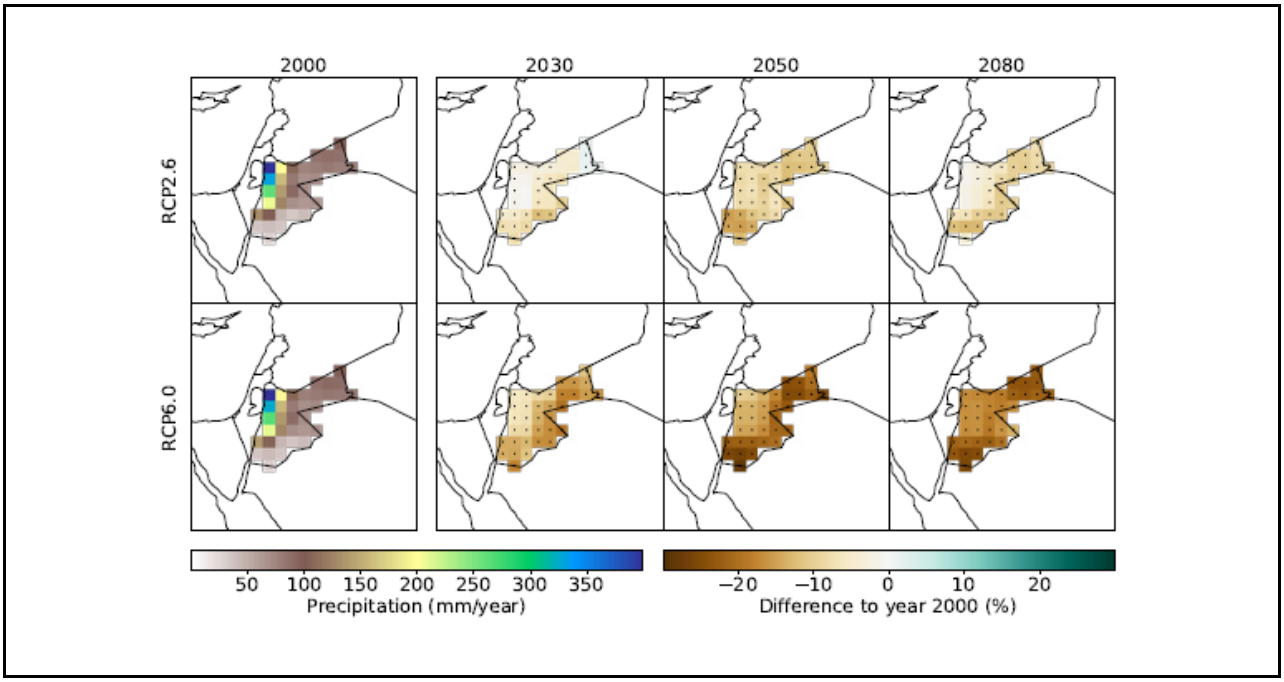
وستؤدي زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى مستقبل أكثر جفافاً للأردن (مخاطر التجوية،2017). حيث تتوقع جميع النماذج انخفاضًا واضحًا في متوسط هطول الأمطار السنوي في الأردن، مقارنة بعام 2000 (الشكل Error! No text of specified style in document.-14). ومع ذلك، فإن التوقعات المستقبلية لانخفاض هطول الأمطار تخضع لعوامل عدم اليقين والتقلبات الطبيعية من سنة إلى أخرى. وتظهر توقعات النموذج المتوسط لمسار التركيز RCP 2.6 انخفاضًا حتى منتصف القرن تقريبًا، على الرغم من أن هذا الانخفاض غير مؤكد إلى حد كبير. ومن المتوقع أن ينخفض معدل هطول الأمطار السنوي بما يتراوح بين 1.6 و14.2 ملم (أفضل تقدير: -3 ملم) بحلول عام 2030، وبما يتراوح بين 7.2 و13.9 ملم (أفضل تقدير: -10.8 ملم) بحلول عام 2050، مقارنة بعام 2000. وعلى الرغم من التقلبات بين السنوات، فمن المتوقع ان يستقر متوسط هطول الأمطار على المدى الطويل اعتبارًا من عام 2050 فصاعدًا.

وفي ظل مسار التركيز RCP 6.0، سينخفض معدل هطول الأمطار بشكل أكبر مقارنة بمسار التركيز RCP 2.6. ومن المتوقع أن ينخفض معدل هطول الأمطار السنوي بما يتراوح بين 2 و20.3 ملم حتى عام 2030 (أفضل تقدير: -12.5 ملم)، وبما يتراوح بين 12.8 و23.22 ملم بحلول عام 2050 (أفضل تقدير: -17.1 ملم). اما بحلول عام 2080، فمن المتوقع أن تنخفض معدلات هطول الأمطار بمقدار 12.5 إلى 26.1 ملم سنويًا (مع أفضل تقدير يبلغ -20 ملم)، مقارنة بعام 2000 (نطاق محتمل جدًا).

الشكل *Error! No text of specified style in document.* **13- : متوسط التغير في هطول الأمطار السنوي (مم/شهر) في ظل مسارات التركيز RCP 4.5 و RCP 8.5 – المستوى الإقليمي**



الشكل *Error! No text of specified style in document.* **14- : توقعات هطول الأمطار السنوي (مم/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 2.6 و RCP 6.0 – على المستوى المحلي**



12-3-2-4- هطول الأمطار الغزير

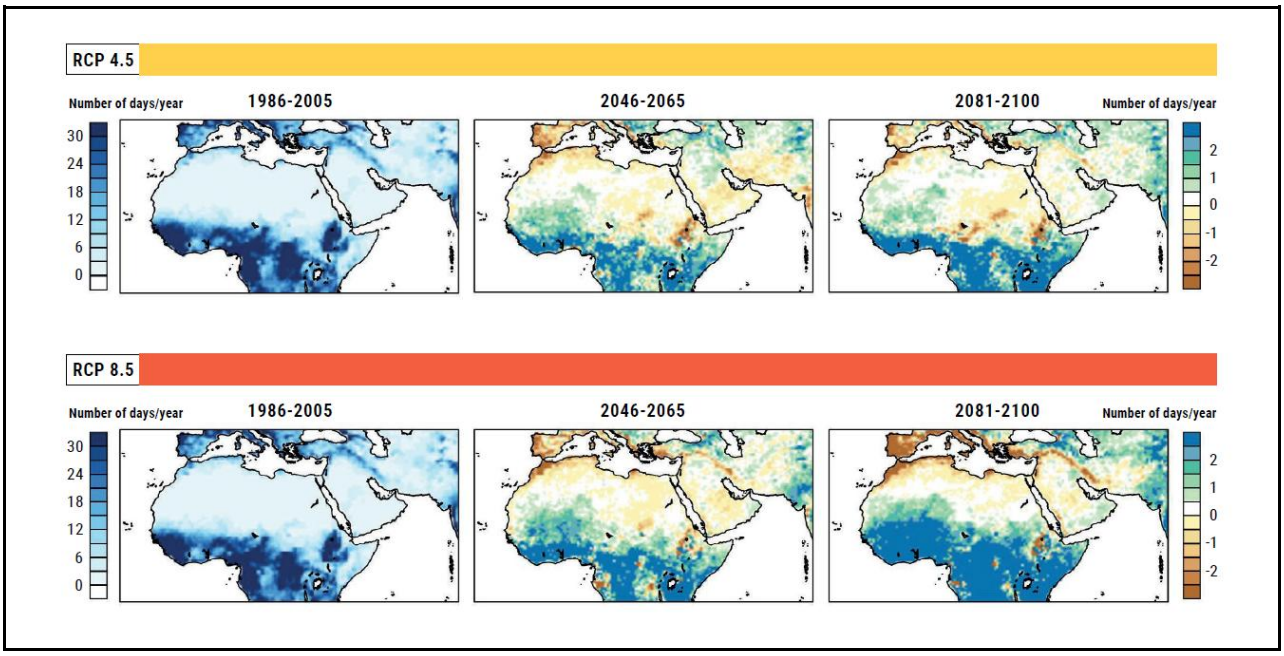
تختلف توقعات هطول الأمطار الشديد اختلافًا كبيرًا عبر المنطقة. تشير التغيرات في العدد السنوي لأيام هطول الأمطار التي يبلغ فيها معدل هطول الامطار الغزير 10 ملم (R10) إلى اتجاهات تنازلية بمرور الوقت مقارنة بالفترة الأساسية (الشكل Error! No text of specified style in document. *15*-). وبالمثل، فإن نتائج العدد السنوي لأيام هطول الأمطار الغزير التي تبلغ 20 ملم (R20) (الشكل Error! No text of specified style in document. *16*-) لنهاية القرن تشبه مؤشر R10، مما يشير إلى انخفاض عام متوقع في عدد أيام المطر بهذه الكثافة في المنطقة. ويُظهر مؤشر كثافة هطول الأمطار البسيط (SDII) اتجاهات متزايدة في معظم المنطقة.

اما على المستوى المحلي، لا يمكن تأكيد الاتجاه نحو زيادة تواتر حوادث هطول الأمطار الغزيرة (مخاطر التجوية،2017). حيث تتفق جميع النماذج على وجود اتجاه تنازلي في هطول الأمطار الغزيرة، على الرغم من أن الانخفاض المتوقع أعلى بكثير في أحد النماذج مقارنة بالنماذج الأخرى (الشكل Error! No text of specified style in document.*17*-).

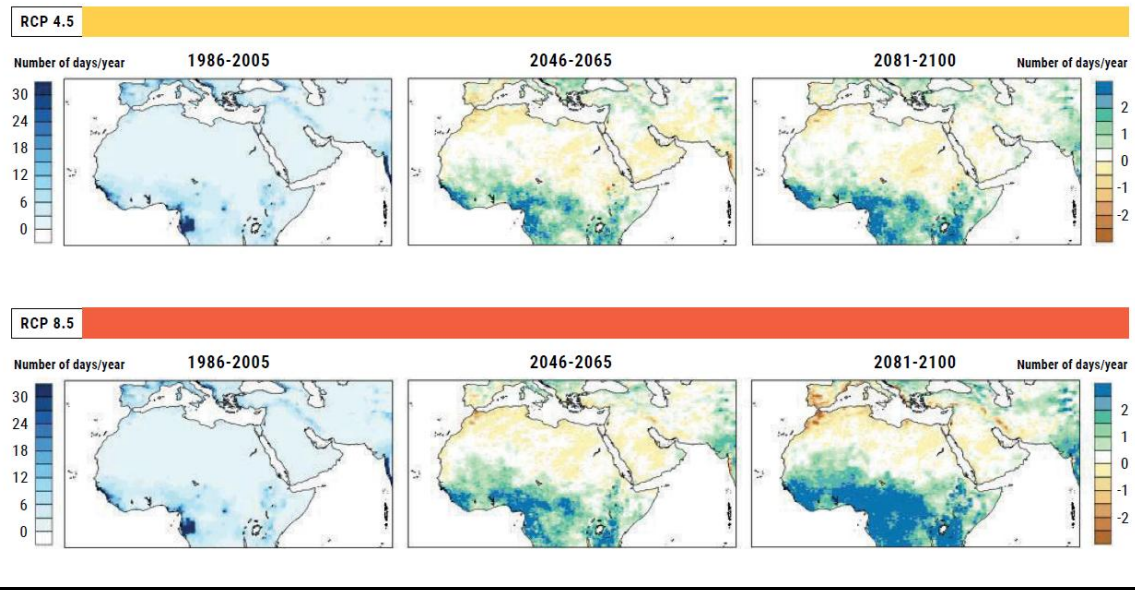
وفي إطار مسار التركيز RCP 2.6، ستنخفض أيام هطول الأمطار الغزيرة بشكل طفيف إلى ما بين 5.1 و6.6 أيام بحلول عام 2030، وما بين 4.5 و6.3 أيام بحلول عام 2050. وفي إطار مسار التركيز RCP 6.0، فمن المتوقع أن تنخفض وتيرة هطول الأمطار الغزيرة بشكل كبير نسبيًا. ومن المتوقع أن تنخفض حالات هطول الأمطار الغزيرة إلى 5-5.9 أيام في السنة بحلول عام 2030. ونظراً للتباين المتزايد بين النماذج، تزداد درجة عدم اليقين في النمذجة بشكل كبير اعتباراً من عام 2030 فصاعداً. وبالتالي، في حين أن أفضل التقديرات تشير إلى 5.5 أيام من هطول الأمطار الغزيرة في السنة بحلول عام 2050، فإن النطاق المحتمل جداً هو 3.9-5.7 أيام في السنة. وتتشابه التوقعات لعام 2080 (3.8 إلى 5.6 أيام/سنة). وبخاصة في إطار مسار التركيز RCP 2.6، فإن التوقعات الجغرافية الدقيقة للأمطار الغزيرة غير مؤكدة في العديد من المناطق.

وبشكل عام، فمن المتوقع أن تكون الاختلافات بين البلدان صغيرة نسبياً. وتكون الدقة أعلى بكثير في مسار التركيز التمثيلي RCP 6.0، حيث من المتوقع أن ينخفض هطول الأمطار الغزيرة في جميع أنحاء البلاد. ويمكن توقع الانخفاض الأكبر في المناطق الشرقية القاحلة في جميع الأطر الزمنية، وفي أقصى جنوب الأردن على المدى الطويل. بحلول عام 2080، ومن المتوقع أن يكون متوسط الانخفاض المتوقع حوالي 1.1 إلى 1.4 يوم في هضبة المرتفعات الجبلية المأهولة بالسكان، و1.6 يوم في الشمال الشرقي، وما يصل إلى 2.2 يوم في أقصى الجنوب، مقارنة بعام 2000.

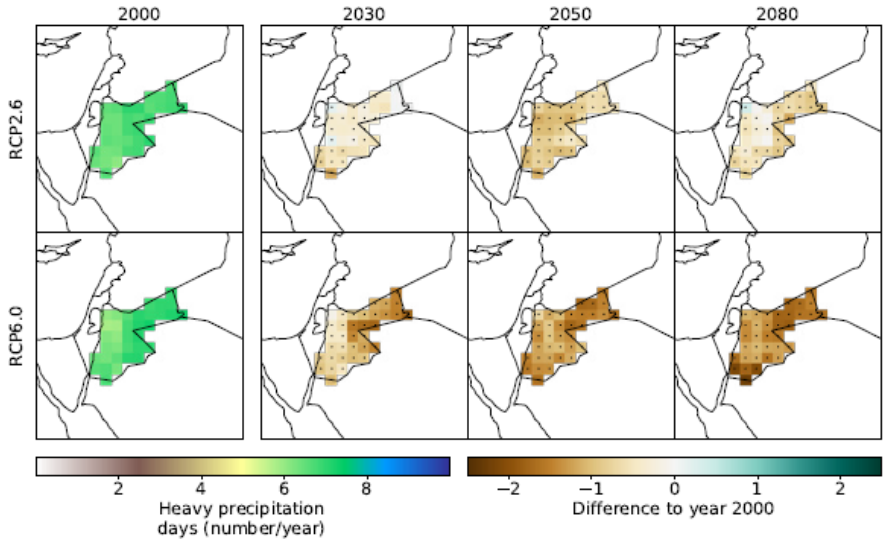
الشكل *15*- Error! No text of specified style in document. : متوسط التغير R10 أيام هطول الأمطار (يوم/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 4.5 و RCP 8.5 – المستوى الإقليمي



الشكل *Error! No text of specified style in document.-16* **: متوسط التغير R20 أيام هطول الأمطار (أيام/سنة) في مسارات التركيز RCP 4.5 و RCP 8.5 – المستوى الإقليمي**



الشكل *Error! No text of specified style in document.-17* **: توقعات عدد أيام هطول الأمطار الغزيرة (يوم/سنة) في ظل مسارات التركيز RCP 2.6 و RCP 6.0 – المستوى القطري**



12-5-2-3- الجفاف

من المتوقع أن تواجه الأردن ظروف جفاف متفاقمة بسبب تغير المناخ، لا سيما من خلال ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض هطول الأمطار. على الرغم من عدم نشر توقعات رقمية دقيقة بشكل مستمر، فإن الاتجاه واضح: ومن المرجح أن تكون حالات الجفاف أطول وأعمق وتغطي مساحة أكبر.

تشير الأبحاث إلى أن الأردن سيشهد تفاقم حدة الجفاف في ظل تغير المناخ. ووجدت دراسة حديثة أن الجفاف سيصبح أطول أمداً وأكثر انتشاراً من الناحية المكانية وأقل تواتراً إلى حد ما في الفترة 2070-2099 في ظل مسار التركيز RCP 8.5 (الخاسونه ورو، 2025). وتشير التغيرات المتوقعة إلى ارتفاع كبير في درجات الحرارة واتجاه نحو الجفاف، مصحوباً بانخفاض متوقع في هطول الأمطار. كما تشير خصائص الجفاف في المستقبل إلى زيادة كبيرة في شدته، مع انخفاض في تواتره وزيادة في مدته، وتوسع نطاقه المكاني.

12-2-3-6- العواصف الترابية

في الأردن، وجدت دراسة أن متوسط عدد العواصف الترابية على مدى 31 عامًا كان حوالي 17.2 عاصفة في السنة، مع قيم أعلى بكثير في جنوب/شرق البلاد (على سبيل المثال، حوالي 182 عاصفة في الجفر، وحوالي 102 عاصفة في الصفاوي على مدار الفترة بأكملها) وتحدث معظم العواصف في الربيع (غانم، 2020). وتكشف مراجعة شاملة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا أن العواصف الترابية تتزايد بالفعل من حيث التكرار/الشدة بسبب مزيج من الجفاف والتآكل بفعل الرياح وتغيرات استعمالات الأراضي والعوامل المناخية (شيباني،2022).

وتغطي دراسة مقبلة لعام 2025 (عبادي وآخرون، 2025) بشكل صريح منطقة الشرق الأوسط والعواصف الترابية. حيث تم تحليل نتائج ثلاثة نماذج مترابطة- المرحلة CMIP6 6 خلال الفترة 2015-2100. بالإضافة إلى ذلك، تمت دراسة تركيز الغبار السطحي في فترتين فرعيتين: 2024-2060 و2061-2100، في ظل ثلاثة سيناريوهات، متفائل (RCP 2.6)، متوسط (RCP 4.5) ومتشائم (RCP 8.5). ويشير التوزيع المكاني للتغيرات في تركيز الغبار من 2024 إلى 2060 إلى أن جميع السيناريوهات المناخية تتنبأ بتفعيل مصادر جديدة للغبار، لا سيما في سلطنة عمان واليمن. علاوة على ذلك، تتفق جميع السيناريوهات على أن توسع مناطق مصادر الغبار سوف يتسارع خلال الفترة 2061-2100 مقارنة بالفترة 2024-2060. وتشير النماذج المجمعة إلى اتجاه إيجابي في تركيز الغبار السطحي (0.05 ميكروغرام متر $^{-3}$ سنويًا)، مما يشير إلى زيادة في نشاط الغبار فوق الشرق الأوسط. وقد أظهرت القيم الشهرية المتوسطة لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح وهطول الأمطار، المتوقعة من تسعة نماذج عبر أربعة عشر منطقة مصدر للغبار والشرق الأوسط بأكمله من 2015 إلى 2100، اتساقًا قويًا وتباينات منخفضة بين مخرجات النماذج. ومع ذلك، عبر جميع مصادر الغبار، حدثت تباينات أكبر في هطول الأمطار بين النماذج خلال الفترة الباردة، كما حدثت تباينات أكبر في درجة الحرارة وسرعة الرياح السطحية خلال الفترة الدافئة.

12-2-3-7- الإشعاع الشمسي

تعرض بوابات بيانات المناخ (مثل بوابة المعرفة المناخية للبنك الدولي للأردن) التغيرات المتوقعة في مختلف المتغيرات (مثل درجة الحرارة وهطول الأمطار)، ولكنها لا تقدم تقديرات مفصلة للتغيرات في الإشعاع الشمسي.

يتمتع الأردن بالفعل بموارد شمسية عالية، حيث يبلغ متوسطها اليومي حوالي 5.5 كيلوواط ساعة/متر مربع في العديد من المواقع (الروسان وآخرون، 2021). وهناك أيضًا دراسات محلية تنمذج الإشعاع الشمسي لمناخات مختلفة في الأردن (مثل إربد وعمّان والعقبة ومعان)، وتحدد خط الأساس للإشعاع الشمسي وعلاقات الانحدار. استنادًا إلى مناخات مماثلة، يمكن توقع زيادة بنسبة 5٪ في الموارد الشمسية بحلول عام 2050 (بدران وآخرون، 2018).

12-2-3-8- درجة حرارة مياه البحر

وجدت دراسة أجراها م. شلتوت (2019). أن متوسط درجة حرارة مياه البحر القياسية (SWT) في البحر الأحمر كان حوالي 27.88 درجة مئوية، مع اتجاه ارتفاع في درجة الحرارة قدره 0.029 درجة مئوية/سنة (حوالي +0.29 درجة مئوية لكل عقد) خلال الفترة المدروسة. وتتوقع الدراسة نفسها ارتفاعًا مستقبليًا في درجة حرارة مياه البحر في البحر الأحمر، يتراوح بين 0.6 درجة مئوية و3.2 درجة مئوية لكل قرن في مختلف السيناريوهات.

وفي دراسة أحدث سينغوبتا وآخرون، 2024 فقد وجدت أنه في خليج العقبة:

- ترتفع درجات حرارة البحر بمقدار "بضعة أجزاء من مائة من الدرجة المئوية سنويًا" عبر مجموعة من الأعماق
- ويعزى الاحترار جزئياً إلى انخفاض الاختلاط الشتوي والتحول الجانبي للحرارة من منطقة الخليج الجنوبية.

وعلى الرغم من عدم تقديم قيم مستقبلية دقيقة لساحل الأردن وحده، يشير ملف المخاطر المناخية الوطنية للأردن إلى زيادة مخاطر الإجهاد الحراري البحري (في المياه الساحلية) بسبب ارتفاع درجة حرارة البحار (مخاطر التجوية).

12-2-3-9- ملوحة مياه البحر

تشير البيانات الحالية إلى ارتفاع مستوى خط أساس الملوحة في خليج العقبة، حيث تتراوح ملوحة السطح بين ~40.3‰ و46.6‰ على الساحل الأردني في الصيف (الطعاني وآخرون، 2020). وتشمل العوامل الرئيسية لارتفاع الملوحة التبخر المرتفع جدًا (حوالي 400 سم/سنة في بعض المواقع) والحد الأدنى من تدفق المياه العذبة (الحد الأدنى من هطول الأمطار وتدفق الأنهار الضئيل).

في حين توجد دراسات هيدروديناميكية للمنطقة (مثل نمذجة الدوران وتدفقات التبادل) توضح كيفية تصرف هياكل الملوحة ودرجة الحرارة في ظل الظروف الحالية، لم يتم إجراء أي دراسة نمذجة قوية للساحل الأردني تحدد التغيرات المستقبلية في الملوحة في ظل سيناريوهات تغير المناخ. تتحكم عدة عمليات متفاعلة في الملوحة في المنطقة: التبخر، والتساقط، والتبادل/التدفق المحيطي، والخلط، وربما الاستخراج/التصريف البشري. ولا يزال نمذجة كيفية تغير هذه العمليات في ظل تغير المناخ أمرًا معقدًا. ونظرًا لأن الملوحة الأساسية مرتفعة بالفعل، يمكن افتراض زيادة طفيفة في الملوحة (على سبيل المثال، بنسبة +0.5-2٪ بحلول منتصف القرن) في حالة عدم حدوث تغيرات كبيرة في تدفق المياه العذبة أو تغيرات في نظام الاختلاط، مدفوعة بزيادة التبخر الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض هطول الأمطار.

12-2-3-10- درجة حموضة مياه البحر

في الساحل الأردني لخليج العقبة، تبلغ قيم الأس الهيدروجيني لمياه البحر حوالي 8.3 وتظهر "تغيرات زمنية ومكانية طفيفة جدًا" (مناصرة وآخرون، 2019). وتتمتع المنطقة (البحر الأحمر/خليج العقبة) بقلوية وقدرة عازلة عالية نسبيًا مقارنة بالعديد من أحواض المحيطات، مما يشير إلى أنها قد تكون أكثر مقاومة للتحمض من البحار الأكثر انفتاحًا أو ذات القدرة العازلة المنخفضة (المركز العلمي لموناكو، 2017).

لا توجد توقعات كمية خاصة بالمنطقة بشأن انخفاض درجة الحموضة في مياه البحر على ساحل الأردن في الأدبيات المتاحة. قد لا تنطبق التوقعات العالمية القياسية لتحمض المحيطات (على سبيل المثال، بالنسبة لأحواض المحيطات الواسعة) بشكل مباشر على خليج العقبة، حيث تختلف العوامل المحلية (دوران المياه، والتبخر، والمدخلات من البحار، والقلوية). وقد تؤدي قياسات الأعماق العميقة في المنطقة وارتفاع الملوحة والتبخر ومحدودية الاختلاط إلى تخفيف الحموضة بشكل مختلف عن البحار المفتوحة، لذا يوصى بتوخي الحذر عند استخدام المتوسطات العالمية.

12-2-3-11- الرطوبة

وجدت دراسة قائمة على الملاحظة في محطة الأرصاد الجوية بمطار عمان اتجاهاً تصاعدياً في الرطوبة النسبية بنسبة 0.13٪ تقريباً سنوياً، وهو ما كان ذا دلالة إحصائية خلال فصلي الصيف والخريف (أبو طالب وآخرون، 2007). ومع ذلك، قد لا يكون هذا الاتجاه الملحوظ في عمان موحداً في جميع أنحاء الأردن (تختلف المناطق الساحلية والمرتفعات والمناطق الصحراوية). وتشير النماذج الخاصة بالشرق الأوسط الأوسع إلى ارتفاعات طفيفة في درجات الحرارة (ليلاً) وتغيرات في الرطوبة/الدوران الجوي قد تؤدي إلى ارتفاع الرطوبة ليلاً. وتسلط تقييمات المخاطر المناخية الوطنية للأردن الضوء على الزيادات في التبخر والرطوبة الجوية كجزء من تغير المناخ، مما قد يؤدي إلى تغيير ملامح الرطوبة (حتى لو لم تنخفض الرطوبة النسبية) (مخاطر التجوية، 2017).

12-2-3-12- ارتفاع مستوى سطح البحر

ارتفاع مستوى سطح البحر يترتب عليه عادةً عدة تأثيرات، منها تراجع السواحل وفقدان الأراضي، مما يؤثر على المنشآت الساحلية مثل السياحة والأنشطة الترفيهية على الشواطئ والصناعات والمرافئ، إضافةً إلى النظم البيئية والتنوع الحيوي. وبشكل خاص فيما يتعلق بخليج العقبة، فإن التنبؤ بتغيرات مستوى سطح البحر ليس سهلاً .وكما ذُكر في القسم 12.3.1.4، فإن مستوى سطح البحر في خليج العقبة يتأثر بشكل رئيسي بإجهاد الرياح البعيدة فوق البحر الأحمر، والأمواج الداخلية المتولدة عند مضيق تيران، والترسيب المحلي.

وتشير قياسات الارتفاع بالأقمار الصناعية إلى أن البحر الأحمر يرتفع بمعدل ~3.9 ملم/سنة منذ أوائل التسعينيات، وهو معدل مشابه بشكل عام للمتوسط العالمي ويتسارع (عبد الله والسبيحي، 2021). وتبلغ التقلبات السنوية في مستوى سطح البحر في البحر الأحمر حوالي 15-20 سم (ألثمان وآخرون، 2020). بالنسبة للبحر الأحمر، يشير التقرير التقييمي السادس للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC، 2022) إلى ارتفاع بمقدار 0.32-0.62 متر بحلول عام 2100 في ظل مسارات التركيز RCP 2.6، و0.44-0.76 متر بحلول عام 2100 في ظل مسارات التركيز RCP 4.5، و0.63-1.02 متر بحلول عام 2100 في ظل مسار التركيز RCP 8.5.

تُظهر العمليات التكتونية حول العقبة معدلات منخفضة من الرفع أو الهبوط (≤0.15 ملم/سنة من الرفع في بعض أجزاء المنطقة)، وهي معدلات تُعد غير مؤثرة مقارنة بارتفاع مستوى سطح البحر الناتج عن تغيّر المناخ، لكنها قد تكون ذات أهمية في حال التصميم لعمر تشغيلي طويل جداً (خانا وآخرون، 2021).

نظراً لمحدودية البيانات المُصغّرة لساحل العقبة القصير، يُمكن استخدام أداة توقعات مستوى سطح البحر التابعة للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ووكالة ناسا (NASA، 2025) لإجراء التوقعات في موقع مُحدد. بالنسبة لساحل العقبة، تُشير أداة ناسا إلى معدلات ارتفاع مستوى سطح البحر بـ 4 ملم/سنة وفقاً لمسار التركيز RCP 2.6، و5 ملم/سنة وفقاً لمسار التركيز RCP 4.5، و6 ملم/سنة وفقاً لمسار التركيز RCP 8.5، وذلك مقارنةً بخط الأساس للفترة 1995-2014.

12-2-3-13- تآكل السواحل

إن التفاعل بين ارتفاع مستوى سطح البحر، والتغيرات في مناخ الأمواج، وتواتر/شدة العواصف، وتوافر الرواسب (أو نقصها)، والحركة التكتونية (الارتفاع/الانخفاض) يعقد توقعات معدلات تآكل السواحل في المستقبل. ونظرًا لأن معظم ساحل الأردن على الخليج الصخري/متأثر بالشعاب المرجانية وليس رمليًا بحتًا، فقد تكون نماذج تآكل الشواطئ الرملية النموذجية أقل قابلية للتطبيق.

وقد وجدت دراسة حديثة (عبده، 2024) قيمت متوسط تراجع الساحل الغربي لخليج العقبة خلال الفترة 1848-2022 أن متوسط تراجع الساحل (التآكل) يبلغ حوالي 0.62 متر/سنة. وتعزو الدراسة هذا التراجع إلى مجموعة من العوامل، بما في ذلك الاحترار العالمي (ارتفاع مستوى سطح البحر)، والأحداث المتعلقة بالعواصف ومستوى سطح البحر، وربما هبوط التربة، وعمليات الساحل. وتجدر الإشارة إلى أن هذا المعدل يختلف باختلاف الموقع وقد لا ينطبق بشكل موحد على جميع أنواع السواحل (مثل الشعاب الصخرية مقابل الشواطئ الرملية) أو على كامل ساحل الأردن.

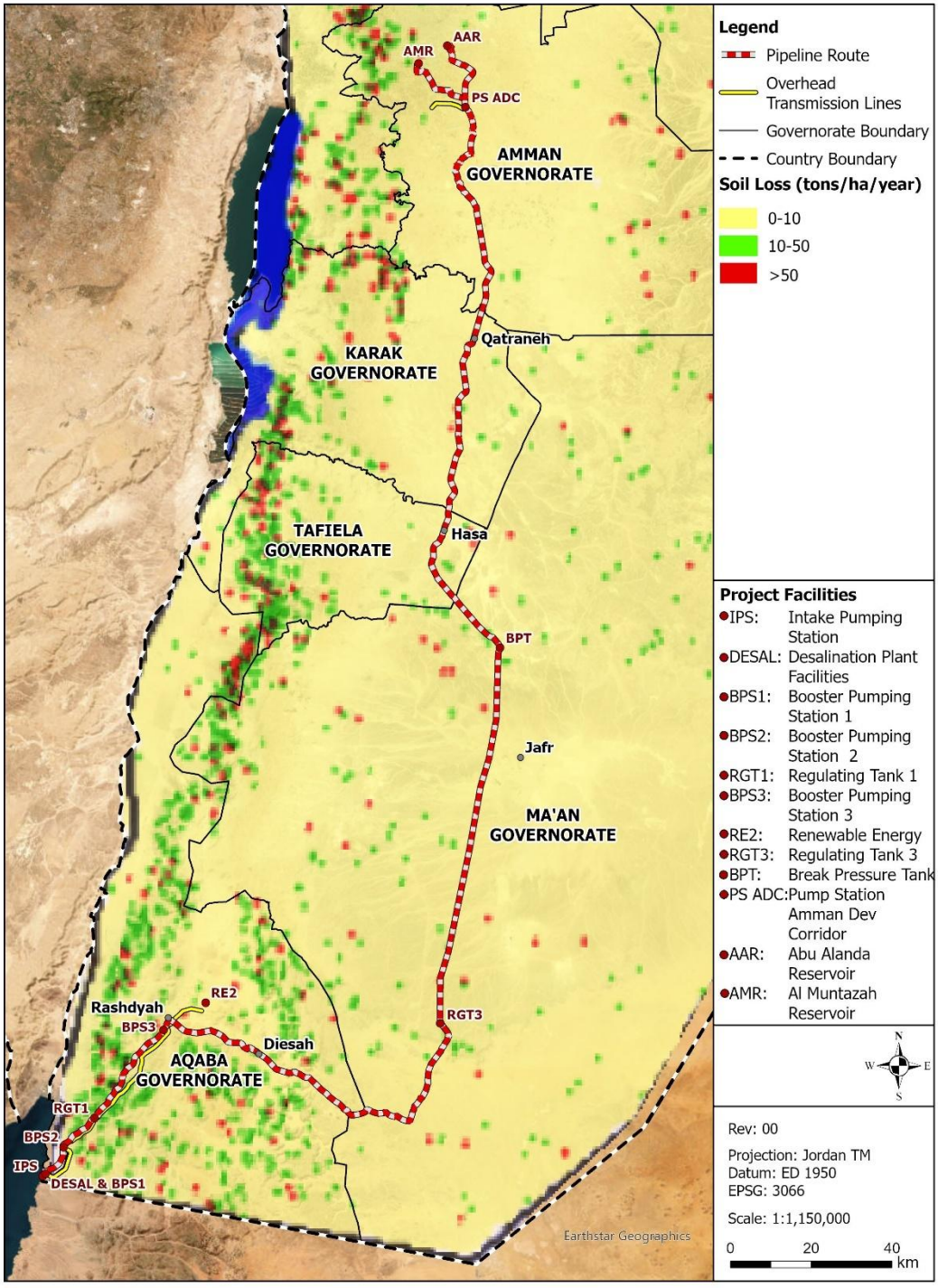
12-2-3-14- تآكل التربة

تعتمد توقعات التآكل بشكل كبير على إدارة استعمالات الأراضي، مثل إنشاء المصاطب الزراعية والزراعة الحافظة للبيئة ومراقبة الرعي، وهي متغيرات سياسية/سلوكية وليست متغيرات مناخية بحتة. لذلك، تختلف النتائج بشكل كبير اعتمادًا على التكيف. وتختلف العوامل المحلية المسببة للتآكل (الرياح مقابل المياه، جيولوجيا السطح، الغطاء النباتي، إدارة الأراضي) بشكل كبير في جميع أنحاء الأردن، مما يعني أن التوقعات المتوسطة على المستوى الوطني قد تخفي تباينات كبيرة على المستوى دون الإقليمي. ويتضمن جزء كبير من النمذجة رسم خرائط المخاطر المكانية (تحديد المناطق التي يرتفع فيها خطر التآكل حاليًا) بدلاً من نمذجة السيناريوهات المستقبلية، التي تربط تغير المناخ (مثل شدة هطول الأمطار وتغير الغطاء النباتي) بالتغيرات في معدلات التآكل.

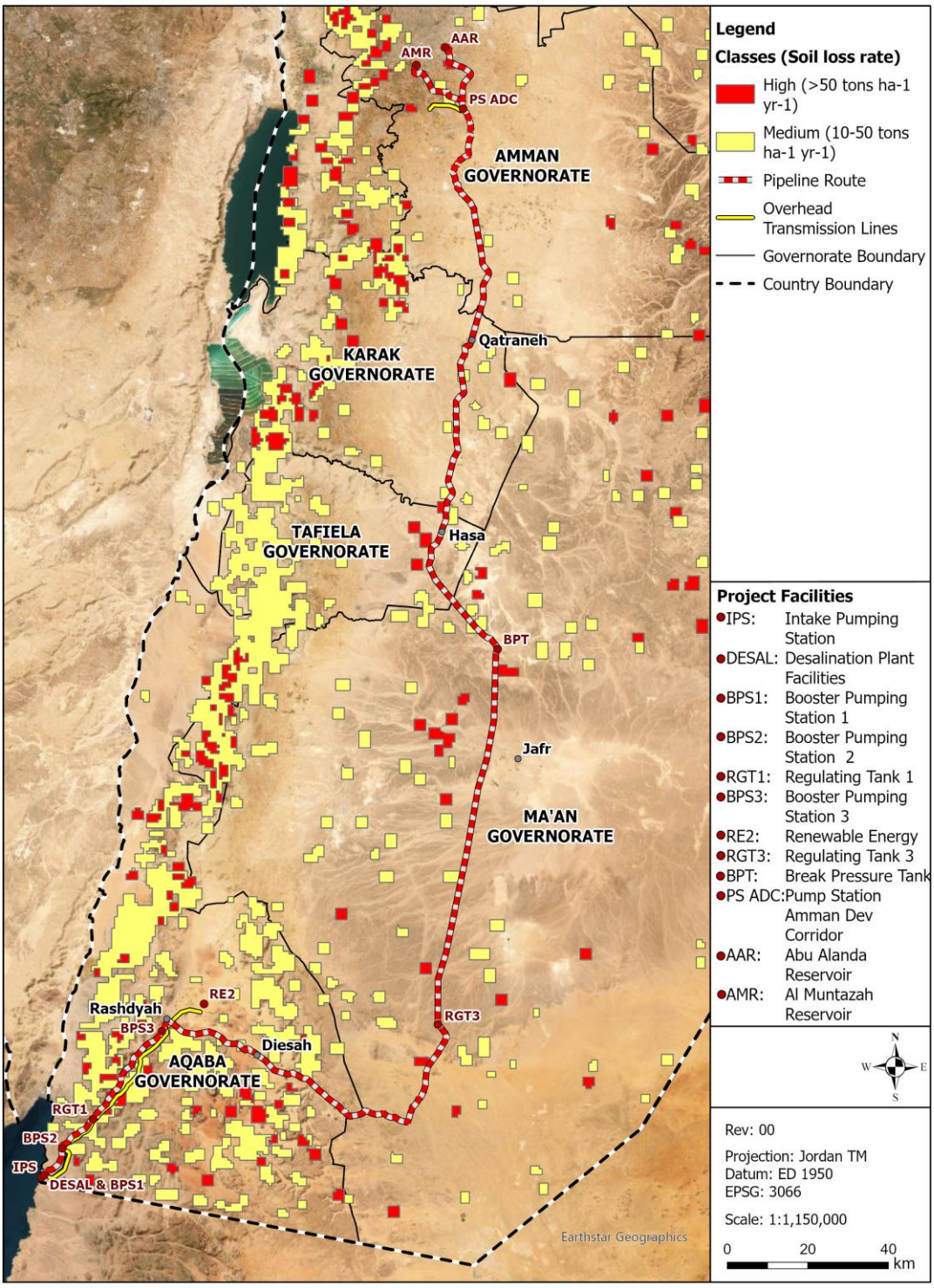
ويشير ملف مخاطر المناخ في الأردن إلى أن الاستخدام غير المستدام للأراضي، والرعي الجائر، وظروف الجفاف في ظل تغير المناخ من المرجح أن تؤدي إلى تفاقم تدهور التربة وتآكلها (مخاطر التجوية). وقد هدفت دراسة حديثة (أبو حمور وآخرون، 2025) إلى توفير تقييم مكاني مفصل لمخاطر تآكل التربة في جميع أنحاء الأردن وتحديد المناطق المعرضة للتآكل، وبالتالي دعم اتخاذ قرارات مستنيرة في إدارة الأراضي. وقد استخدم نموذج المعادلة العالمية المنقحة لفقدان التربة (RUSLE)، المدمج مع أدوات نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، لتقدير فقدان التربة ورسم خريطة لخطورة التآكل. وشمل النموذج عوامل أساسية بما في ذلك تآكل التربة بسبب الأمطار، وقابلية التربة للتآكل، وطول المنحدرات ودرجة انحدارها، والغطاء النباتي، وممارسات الحفظ. وتم تصنيف معدلات التآكل إلى ثلاث فئات: منخفضة (0-10 أطنان هكتار/سنة)، ومتوسطة (10-50 طن هكتار-1 سنة-1)، وعالية (>50 طن هكتار-1 سنة-1). أظهرت النتائج أن 94٪ من أراضي الأردن معرضة لخطر تآكل منخفض، و5٪ لخطر متوسط، وحوالي 1٪ لخطر مرتفع (انظرالشكل Error! No text of specified style in document. 18- والشكل19). المناطق الأكثر عرضة للتآكل هي المرتفعات الشمالية والوسطى، بالإضافة إلى أجزاء من وادي الأردن، ويرجع ذلك أساسًا إلى تضاريسها شديدة الانحدار وارتفاع معدل هطول الأمطار.

يكشف تقييم عالمي لتآكل التربة في ظل تغير المناخ (حتى عام 2070) أن التآكل المائي قد يزداد بأكثر من 60٪ في العديد من المناطق في ظل سيناريوهات الانبعاثات العالية (بوريلي وآخرون، 2020). وتشير الدراسة إلى أن التطورات الاجتماعية والاقتصادية التي تؤثر على استعمالات الأراضي ستؤدي إما إلى انخفاض (بنسبة 10٪ في إطار RCP 2.6) أو زيادة (بنسبة 2٪ في إطار RCP 4.5 و10٪ في إطار RCP 8.5) في التآكل/ التعرية المائية بحلول عام 2070. وتشير التوقعات المناخية، لجميع سيناريوهات الديناميكيات العالمية، إلى اتجاه نحو دورة هيدرولوجية أكثر قوة، مما قد يؤدي إلى زيادة التآكل/التعرية المائية العالمية (+30 إلى +66٪).

الشكل *Error! No text of specified style in document.*-**18 : خريطة تآكل التربة في الأردن**



الشكل*19* : المناطق المعرضة لتآكل التربة



12-4 تقييم المخاطر المناخية المادية

12-4-1- فحص المخاطر

تم استخدام المصادر التالية من الأدبيات لوضع قائمة بالمخاطر الحادة والمزمنة المرتبطة بالمخاطر المناخية المادية التي يتم تقييمها بشكل شائع:

- توصيات فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ 2017 (TCFD)
- تقرير خاص صادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) حول إدارة مخاطر الأحداث والكوارث المتطرفة لتعزيز التكيف مع تغير المناخ، 2012
- التقرير التقييمي السادس للفريق الدولي المعني بتغير المناخ: الآثار والتكيف والقابلية للتأثر، 2022
- تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) حول مخاطر المناخ، 2023
- المبادرة الإقليمية لتقييم آثار تغير المناخ على الموارد المائية والهشاشة الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية (RICCAR) تقرير تقييم تغير المناخ العربي 2017
- مخاطر الطقس 2022 ملف مخاطر المناخ في الأردن.

يعرض الجدول.Error! No text of specified style in document-7 والجدول 12-8 المخاطر المناخية المادية التي تم فحصها للتأكد من قابليتها للتطبيق على المشروع واختيارها لتقييم المخاطر المناخية المادية. تنطبق المخاطر المناخية المادية على مرحلتي الإنشاء والتشغيل للمشروع؛ غير أن مخاطر تغيّر المناخ ذات طبيعة طويلة الأجل، وبالتالي تنطبق بشكل أساسي على مرحلة التشغيل.

وتُعدّ المخاطر المناخية ذات الصلة بمرحلة الإنشاء مماثلة للمخاطر المناخية الحادّة المذكورة أدناه، وتنطبق على النحو التالي:

- الحرارة الشديدة: آثار على صحة وسلامة العمّال خلال مرحلتي الإنشاء والتشغيل.
- الهطول المطري الشديد والفيضانات المفاجئة: تدمير الأعمال الإنشائية البرّية قبل تنفيذ تدابير الحماية المناسبة؛ وتدمير المعدات.
- العواصف واشتداد الرياح: تدمير الأعمال الإنشائية البرّية قبل اكتمالها؛ وتدمير المعدات، إضافةً إلى مخاطر تهدّد سلامة العمّال في المواقع البحرية.

الجدول.*Error! No text of specified style in document-7* : فحص المخاطر المناخية الحادة المنطبقة على مرحلة التشغيل

المخاطر المناخية الحادة	نتيجة الفحص	التبرير	المشروع ذو الصلة
حرارة شديدة	تم اعتماده بعد الفحص	انخفاض كفاءة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وضغط على تبريد المعدات.	مرفق الطاقة المتجددة محطة تحلية المياه
هطول أمطار غزيرة وفيضانات مفاجئة	تم اعتماده بعد الفحص	تجاوز قدرة أنظمة الصرف الصحي، وإغراق غرف المنشأة ومداخل سحب المياه الملوثة بالرواسب/المواد العضوية.	محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs مرفق الطاقة المتجددة
الفيضانات (الساحلية والنهرية)	تم اعتماده بعد الفحص	يمكن أن يؤدي التآكل عند معابر الأودية إلى قطع الأنابيب وكشفها، مما يؤدي إلى إجهاد ميكانيكي واحتمال حدوث تمزق، بما في ذلك فقدان الغطاء الواقي أو الحجارة. وتؤدي التغييرات في مسارات الأودية إلى تغيير مناطق التآكل. فقدان قدرة التربة على التحمل. قيود الوصول.	خط أنابيب الناقل التركيبات فوق الارض AGIs في المناطق المنخفضة

المخاطر المناخية الحادة	نتيجة الفحص	التبرير	المشروع ذو الصلة
العواصف	تم اعتماده بعد الفحص	ارتفاع مستويات المياه الإجمالية يزيد من خطر تجاوز المياه وغمر هياكل السحب/الصرف.	مرافق السحب والتصريف
الانهيارات الأرضية/الانهيارات الطينية	تم اعتماده بعد الفحص	انزياح الأرض. فقدان الدعم أو انكشاف خط الأنابيب. خطر مضاعف للتآكل وعدم الاستقرار.	خط أنابيب الناقل
رياح شديدة	تم اعتماده بعد الفحص	زيادة حمل الرياح والأضرار التي تلحق بالهياكل المادية بسبب الحطام.	محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs مرفق الطاقة المتجددة
العواصف الترابية	تم اعتماده بعد الفحص	تؤثر على أداء الألواح الكهروضوئية الشمسية، مما يزيد من احتياجات الصيانة.	مرفق الطاقة المتجددة
حرائق الغابات	تم استبعادها	لا تقع مرافق المشروع في مناطق كثيفة النباتات.	-
موجات البرد	تم استبعادها	لا تقع مرافق المشروع في منطقة مناخية تتعرض لموجات برد	-
أضرار التجمد والذوبان	تم استبعادها	لا تقع مرافق المشروع في مناطق مناخية تتعرض لدرجات حرارة متجمدة.	-
الأعاصير المدارية	تم استبعادها	لا تقع مرافق المشروع في مناطق مناخية تتميز بالأعاصير المدارية.	-
الأعاصير والزوابع	تم استبعادها	لا تقع مرافق المشروع في مناطق مناخية تتميز بالأعاصير أو الأعاصير المدارية.	-

الجدول *Error! No text of specified style in document.*& **: فحص المخاطر المناخية المزمنة**

المخاطر المناخية المزمنة	نتيجة الفرز	التبرير	المشروع ذو الصلة
زيادة متوسط درجة حرارة السطح السنوية	تم اعتماده بعد الفحص	انخفاض المحصول على المدى الطويل بسبب معامل درجة الحرارة، وتسارع تقادم عناصر الهياكل المادية، وزيادة حالات الحرارة الشديدة، وارتفاع أحمال التبريد، وانخفاض قدرة تشتت المحلول الملحي، وارتفاع درجة حرارة التصريف.	مرفق الطاقة المتجددة محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs
تأثير الجزر الحرارية الحضرية (UHI)	تم اعتماده بعد الفحص		
الإشعاع الشمسي	تم اعتماده بعد الفحص	إدارة التقلبات (المحولات، حجم التخزين، هامش الاحتياطي).	منشأة الطاقة المتجددة
انخفاض متوسط هطول الأمطار السنوي.	تم استبعاده	تؤدي زيادة ملوحة وتعكر مياه السحب إلى ارتفاع ضغوط التناضح وحمل معالجة الترشيح التناضحي، مما يزيد من الطلب على الطاقة ويقلل من كفاءة التبريد.	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
الجفاف	تم اعتماده بعد الفحص		

المخاطر المناخية المزمنة	نتيجة الفرز	التبرير	المشروع ذو الصلة
درجة حرارة مياه البحر	تم اعتماده بعد الفحص	يؤدي تقليل لزوجة مياه البحر إلى زيادة احتمالية الترسبات والتلوث الحيوي وزيادة استهلاك الطاقة للتبريد والمعالجة اللاحقة.	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
ملوحة مياه البحر	تم اعتماده بعد الفحص	تؤدي زيادة ملوحة ومدى تعكر مياه السحب إلى ارتفاع ضغوط التناضح وحمل المعالجة المسبقة، مما يزيد من الطلب على الطاقة ويقلل من كفاءة التبريد.	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
زيادة درجة حموضة مياه البحر	تم اعتماده بعد الفحص	يمكن أن تؤدي زيادة درجة الحموضة إلى تقليل كفاءة التخثر والتلبد، مما يؤثر على إزالة الكلور من التصريف، وأداء الغشاء/المرشح، والتقشر، وسلامة الغشاء/المرشح، وزيادة تآكل الهياكل الفولاذية.	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
الرطوبة	تم اعتماده بعد الفحص	تسريع تآكل الهياكل الفولاذية والعناصر الكهربائية.	محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs مرفق الطاقة المتجددة وOHTL
التغير النسبي في مستوى سطح البحر	تم اعتماده بعد الفحص	زيادة تدريجية في مخاطر الفيضانات الساحلية، وتآكل الشواطئ بالقرب من مداخل/مخارج محطات تحلية المياه، وزيادة تعكر مياه المدخلات، وتعرض خط الأنابيب.	مرافق المداخل والمخارج أنابيب النقل (بين مرافق السحب والتصريف ومحطة تحلية المياه)
تآكل السواحل	تم اعتماده بعد الفحص		
تآكل التربة	تم اعتماده بعد الفحص	فقدان غطاء حماية خط الأنابيب.	خط أنابيب الناقل
ملوحة التربة	تم استبعاده	لا يعتمد تشغيل مرافق المشروع على ملوحة التربة.	-
نوعية الهواء	تم استبعاده	لا يعتمد تشغيل مرافق المشروع على نوعية الهواء.	-
انحسار التربة الصقيعية / الجليدية	تم استبعاده	لا تقع مرافق المشروع في مناطق مناخية تتميز بالتربة الصقيعية أو الأنهار الجليدية.	-
طول موسم النمو	تم استبعاده	لا يعتمد تشغيل مرافق المشروع على موسم النمو.	-
توافر المياه السطحية	تم استبعاده	لا يعتمد تشغيل مرافق المشروع على المياه السطحية	-
درجة حرارة المياه السطحية	تم استبعاده	لا يعتمد تشغيل مرافق المشروع على المياه السطحية	-

12-4-2- تقييم التعرض

يتم تلخيص تقييم التعرض لمرافق المشروع فيالجدول.9 Error! No text of specified style in document . ويستند ذلك إلى التوقعات المناخية المتاحة لكل خطر مناخي معني، مع تحديد مستويات التعرض وفقًا للمعايير الواردة في القسم2.2.2.12 .

الجدول.9 *Error! No text of specified style in document* : تقييم التعرض للمخاطر المناخية المادية

خطر مناخي	مستوى التعرض[1]	التوقعات	المشروع ذو الصلة
الحرارة الشديدة	عالي	RCP 2.6: بين 23 و32 يومًا إضافيًا شديد الحرارة سنويًا بحلول عام 2050. RCP 6.0: 45 يومًا إضافيًا شديد الحرارة سنويًا بحلول عام 2050.	محطة تحلية المياه مرفق الطاقة المتجددة
هطول أمطار غزيرة وفيضانات مفاجئة	متوسط	RCP 2.6، انخفاض في عدد أيام هطول الأمطار الغزيرة إلى 5.1 - 6.6 أيام بحلول عام 2030، وإلى 4.5 - 6.3 أيام بحلول عام 2050. RCP 6.0: انخفاض في أيام هطول الأمطار الغزيرة إلى 3.9 و5.7 أيام بحلول عام 2050. مستوى خطر الفيضانات لمعظم مواقع البنية التحتية للمشروع متوسط. وتساهم خصائص التربة الجافة والمتراصة في المناخات القاحلة وشبه القاحلة في سرعة معدلات الجريان السطحي.	محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs مرفق الطاقة المتجددة
الفيضانات (الساحلية والنهرية)	عالي	تقع المنطقة البرية للمشروع ضمن منطقة فيضانات (برنامج الأغذية العالمي التابع للأمم المتحدة، 2019): تقاطع وادي اليتم الرئيسي وعلى طول ضفة الوادي لمسافة 5 كيلومترات تقريبًا. وعلى الرغم من انخفاض معدلات التدفق القصوى التي قد تحققها سدود تخفيف الفيضانات، لا يزال خطر الفيضانات مرتفعًا.	خط أنابيب الناقل التركيبات فوق الارض في المناطق المنخفضة
العواصف	منخفض	حددت الدراسات أن عمق البحر الأحمر كبير جدًا بحيث لا يمكن أن يتسبب في حدوث عواصف أو رياح قوية: 0.55 مترًا لساحل العقبة، استنادًا إلى دراسة نمذجة (Drews، 2015).	مرافق السحب والتصريف
الانهيارات الأرضية / الانهيارات الطينية	متوسط	من المتوقع أن تنخفض الأمطار الغزيرة، مما يقلل من خطر الانهيارات الأرضية والانهيارات الطينية الناجمة عن هطول الأمطار الغزيرة. مستوى خطر الفيضانات لمعظم مواقع البنية التحتية للمشروع متوسط. وتساهم خصائص التربة الجافة والمضغوطة في المناخات القاحلة وشبه القاحلة في معدلات الجريان السريع.	خط أنابيب الناقل
رياح شديدة	منخفض	لا تشير الدراسات المحددة حول زيادة الرياح الشديدة في الأردن إلى وجود أي اتجاهات؛ ومع ذلك، فإن هذه النتيجة غير مؤكدة.	محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs مرفق الطاقة المتجددة

خطر مناخي	مستوى التعرض[1]	التوقعات	المشروع ذو الصلة
العواصف الترابية	متوسط	تتنبأ جميع السيناريوهات المناخية للفترة 2024-2060 بظهور مصادر جديدة للغبار (عبادي وآخرون، 2025).	مرفق الطاقة المتجددة
زيادة متوسط درجة حرارة السطح السنوية	عالي	مسار التركيز RCP 2.6: زيادة بمقدار 0.77 درجة مئوية في وسط الأردن وما يصل إلى 0.97 درجة مئوية في الجنوب بحلول عام 2030؛ زيادة إلى 1.3 درجة مئوية في شمال شرق الأردن و1.4 درجة مئوية في جنوب الأردن، على التوالي، وما يصل إلى 1.1 إلى 1.2 درجة مئوية في بقية أنحاء البلاد بحلول عام 2080. مسار التركيز RCP 6.0: زيادة بمقدار 0.8 درجة مئوية في وسط الأردن و1 درجة مئوية في الشمال الشرقي والجنوب بحلول عام 2030؛ زيادة بمقدار 2.9 درجة مئوية بحلول عام 2080.	مرفق الطاقة المتجددة محطة تحلية المياه AGIs
تأثير الجزر الحرارية الحضرية (UHI)	عالي		مرفق الطاقة المتجددة محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض AGIs
الإشعاع الشمسي	منخفض	بناءً على مناخات مماثلة، يمكن توقع زيادة بنسبة 5% في الموارد الشمسية بحلول عام 2050 (الروسان وآخرون، 2021).	مرفق الطاقة المتجددة
انخفاض متوسط هطول الأمطار السنوي	منخفض	مسار التركيز RCP 2.5: انخفاض في معدل هطول الأمطار السنوي بمقدار 1.6 - 14.2 ملم (أفضل تقدير -3 ملم) بحلول عام 2030، وبمقدار 7.2 - 13.9 ملم (أفضل تقدير -10.8 ملم) بحلول عام 2050. مسار التركيز RCP 6.0: انخفاض في معدل هطول الأمطار السنوي بمقدار 2 - 20.3 ملم حتى عام 2030 (أفضل تقدير -12.5 ملم)، وبمقدار 12.8 - 23.22 ملم بحلول عام 2050 (أفضل تقدير -17.1 ملم).	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
الجفاف	منخفض	مسار التركيز RCP 8.5: فترات جفاف أطول، وأكثر انتشارًا من الناحية المكانية، وإن كانت أقل تواترًا إلى حد ما بحلول عام 2070 (الخصاونة ورو، 2025).	
درجة حرارة مياه البحر	متوسط	زيادة بمقدار 0.029 درجة مئوية/سنة (حوالي 0.29 درجة مئوية لكل عقد) (شالتوت 2019).	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
ملوحة مياه البحر	متوسط	نظرًا لأن الملوحة الأساسية مرتفعة بالفعل، فمن المتوقع أن ترتفع من 0.5 إلى 2٪ بحلول عام 2050 في حالة عدم حدوث تغيرات كبيرة في تدفق المياه العذبة أو تغيرات في نظام الاختلاط، مدفوعة بزيادة التبخر الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض هطول الأمطار.	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
درجة حموضة مياه البحر	منخفض	يتميز خليج العقبة بانخفاض قلوية مياهها ومقاومتها للتحمض. ومن المتوقع أن ينخفض الرقم الهيدروجيني لمياه البحر بمقدار 0.10 وحدة بحلول عام 2050 وبمقدار 0.20 وحدة بحلول عام 2100، ما لم تتغير حدود التخزين المؤقت/الاستقرار المحلية.	مرافق السحب والتصريف محطة تحلية المياه
الرطوبة	منخفض	نظرًا لتوقعات ارتفاع درجات الحرارة، من المتوقع أن ترتفع بشكل طفيف بنسبة 1-3٪ في المناطق المأهولة	محطة تحلية المياه التركيبات فوق الارض

خطر مناخي	مستوى التعرض[1]	التوقعات	المشروع ذو الصلة
		بالسكان/الحضرية، خاصة في الليل (مخاطر التجوية، 2017).	AGIs مرفق الطاقة المتجددة وخط النقل الهوائي
التغير النسبي في مستوى سطح البحر	منخفض	التوقعات تستند إلى أداة توقعات مستوى سطح البحر التابعة للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPPC) ووكالة ناسا (NASA) (NASA، 2025): RCP 2.6: 4 مم/سنة RCP 4.5 5 مم/سنة RCP 8.5 6 مم/سنة	مرافق السحب والتصريف أنابيب النقل (بين مرافق السحب والتصريف ومحطة تحلية المياه)
تآكل السواحل	متوسط	افترضنا معدل تآكل يبلغ 0.62 متر/سنة كحد أقصى للأجزاء الساحلية المعرضة للتآكل (الشواطئ الرملية، حيث يكون توفر الرواسب منخفضًا وتزداد قوة الأمواج/المناخ) (Abdo، 2024)	
تآكل التربة	متوسط	RCP 2.6: انخفاض تآكل التربة بالمياه بنسبة 10 RCP 4.5: زيادة تآكل التربة بالمياه بنسبة +2 RCP 8.5: زيادة تآكل التربة بالمياه بنسبة +10 (بوريلي وآخرون، 2020)	خط أنابيب الناقل

[1] مستويات التعرض:
عالي - زيادة كبيرة في متغيرات المناخ مع احتمال توقف المشروع لأكثر من أسبوع
متوسط - زيادة ملموسة في متغيرات المناخ مع احتمال توقف المشروع لمدة تقل عن أسبوع
منخفض- زيادة غير ملموسة في المتغيرات المناخية دون تأثير على عمليات المشروع

12-4-3- تقييم الهشاشة وتدابير التخفيف

كما ذكر سابقًا، يتطلب تقييم الهشاشة فهمًا للضمانات التي تم أخذها في الاعتبار عند تصميم المرافق الدائمة للمشروع، والتي لم يكن من الممكن تحديدها نظرًا لكون المشروع في مراحله الأولى ومحدودية المعلومات الهندسية المتاحة.

وسيتم الانتهاء من الإجراءات الواردة في جدول تقييم مخاطر المناخالجدول10 قبل الانتهاء من التصميم التفصيلي لضمان تضمين التصميم احتياطات وتفاوتات كافية لضمان مرونة مرافق المشروع في مواجهة المخاطر المناخية المادية.

عند الانتهاء من التصميم التفصيلي، سيتم إعادة النظر في تقييم مخاطر الهشاشة المناخية (CRVA) هذا لإنهاء تقييم الهشاشة وتحديد مستويات المخاطر المناخية المادية.

الجدول*10*: الإجراءات قبل اتمام التصميم التفصيلي

مخاطر المناخ	الإجراء قبل اتمام التصميم التفصيلي
جميع المخاطر	• يجب إجراء مراجعة للمخاطر المناخية المادية ومستويات التعرض المحددة في تقييم مخاطر المناخ هذا لإثبات أن المخاطر يتم معالجتها من خلال تضمين ضمانات وتفاوتات تصميمية مناسبة
جميع المخاطر	• اختيار واحد أو أكثر من سيناريوهات المناخ الأربعة الممثلة لمسار التركيز (RCP) والتوقعات المناخية المستقبلية المرتبطة بها لإدراجها في أساس التصميم العام للمشروع

مخاطر المناخ	الإجراء قبل اتمام التصميم التفصيلي
جميع المخاطر	• سيتم إجراء تقييم لمخاطر الكوارث الطبيعية للمرافق المؤقتة والدائمة فيما يتعلق بالكوارث الطبيعية (الزلازل والفيضانات والانهيارات الأرضية والعواصف الشديدة، إلخ). وسيأخذ تقييم المخاطر في الاعتبار المخاطر التي تتعرض لها المجتمعات المحلية وقوة العمل في المشروع • يجب أن يأخذ اختيار المرافق المؤقتة والدائمة للموقع في الاعتبار نتائج تقييم مخاطر الأخطار الطبيعية والإجراءات الاحترازية.
الحرارة الشديدة وزيادة متوسط درجات الحرارة السطحية السنوية والإشعاع الشمسي والرطوبة	• بالنظر إلى التغيرات المتوقعة، تأكد من ملاءمة معايير تصميم محطة تحلية المياه للعمل في ظروف درجات الحرارة المحيطة الخارجية التالية: ○ أقصى درجة حرارة محيطة: 50 درجة مئوية ○ الحد الأدنى لدرجة الحرارة المحيطة: -2 درجة مئوية اعتبارات التصميم: • العناصر الخارجية للمرافق الدائمة لتراعي الزيادات المتوقعة في درجة الحرارة المحيطة • إمدادات الطاقة لتلبية الطلب المتزايد خلال فترات الحرارة الشديدة • تظليل الهياكل واستخدام مواد مصنفة لدرجات حرارة محيطة أعلى • اختيار المضخات والمحولات والمفاتيح الكهربائية ذات نطاقات تشغيل درجة حرارة ممتدة • الجمع بين برنامج تنظيف منتظم للألواح الكهروضوئية وأجهزة استشعار درجة الحرارة لتقليل التلوث والسخونة الزائدة • استخدام وحدات كهروضوئية ذات معامل درجة حرارة منخفض ومصنفة لمناطق الأشعة فوق البنفسجية العالية • تركيب مستشعرات الإشعاع والحرارة والأداء لتتبع المكاسب الفعلية مقابل التدهور • وضع مخصصات تشغيلية/صيانة للتأثيرات الناتجة عن الرطوبة العالية (معدلات تآكل أعلى، زيادة أحمال التبريد، صعوبة أكبر في تنظيف الألواح الشمسية)
هطول الأمطار الغزيرة والفيضانات المرتبطة بها، بما في ذلك مخاطر الفيضانات الساحلية والنهرية	• يجب أن تأخذ نماذج مخاطر الفيضانات في الاعتبار السدود الحالية للحماية من الفيضانات التي انشأتها شركة تطوير العقبة (ADC) وما إذا كانت مياه الفيضانات المحولة تشكل مصدر خطر فيضانات على مرافق المشروع • يتم تحديد مدى وحجم الفيضان من خلال تحديد مناطق مستجمعات المياه من خلال الخرائط والتحقق منها عن طريق استطلاع الموقع • يجب أن يكون ذروة تدفق الفيضان هو أعلى قيمة يتم تقديرها باستخدام واحدة أو أكثر من الطرق التالية: ○ السجل التاريخي: يجب تقدير ذروة الفيضان التي تحدث مرة كل 100 عام ○ التفاف الرسم البياني للوحدة المائية: يتم تقدير ذروة الفيضان الذي يحدث مرة كل 100 عام من خلال التفاف هطول الأمطار الفعال المتداخل من عاصفة ذات فترة عودة مُقدَّرة تبلغ 100 عام مع الرسم البياني المثلثي الاصطناعي للوحدة المائية المقترح من قِبل دائرة الحفاظ على التربة الأمريكية، وكما هو موضح في تصميم السدود الصغيرة الصادر عن مكتب استصلاح الأراضي الأمريكي. يمكن استقراء تقديرات حدث العاصفة الذي يحدث مرة كل مئة (100) عام من البيانات الواردة في "الورقة البحثية رقم 3، شدة الأمطار ومدتها وتواترها في الأردن" للمهندس السعد، نيسان 1986، وزارة المياه، إدارة تنمية موارد المياه - قسم المياه السطحية. ○ يجب استخدام نموذج حسابي لتقدير تدفقات القنوات وعمقها وسرعتها بالنسبة للأودية الموجودة في الموقع (إن أمكن). سيتم استخدام النموذج لتحديد أجزاء الأودية التي تتطلب حماية للحفاظ على استقرار المنصة. • يجب حماية خط الأنابيب والهياكل الدائمة من التلف الناجم عن الفيضانات التي تحدث مرة كل مائة (100) عام من خلال الحماية المناسبة من التآكل والتعرية. • ستكون الحماية من التآكل مطلوبة عندما تتجاوز سرعة تدفق الفيضان 1 م/ث في الحالات التالية:

مخاطر المناخ	الإجراء قبل اتمام التصميم التفصيلي
	○ عبور خط الأنابيب أو مروره على طول قناة الوادي ○ عبور خط الأنابيب لتضاريس معرضة للفيضانات • عند تقاطعات الوديان والقنوات، يجب أن تتكون الحماية من غلاف خرساني للخط الأنابيب أو أي طريقة أخرى. عندما يمتد خط الأنابيب على طول قناة وادي، يجب أن يتكون نظام الحماية من حجارة صخرية وفقًا لتوصيات HEC-11 الصادرة عن سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي. • يجب حماية خطوط الأنابيب عند عبورها للمناطق المعروفة بأنها معرضة للفيضانات السطحية. يجب تصميم أنظمة الحماية وفقًا للظروف الفعلية للموقع. ومع ذلك، فإن الاجراءات القياسية التي يمكن أخذها في الاعتبار في مثل هذه المواقع هي الحجارة الكبيرة أو التغليف بالخرسانة أو المراتب المملوءة بالحجارة الموضوعة فوق خط الأنابيب. • يجب استخدام المعايير التالية لتصميم نظام تصريف المياه في الموقع: ○ تحدد شدة هطول الأمطار وفقًا لـ "الورقة المهنية رقم 3، شدة هطول الأمطار ومدتها وتكرارها في الأردن" للمهندس علي سعد، نيسان 1986، وزارة المياه والري، إدارة تنمية الموارد المائية - قسم المياه السطحية: ○ عاصفة تحدث مرة كل 25 عامًا للطرق والمناطق المعبدة ○ عاصفة تحدث مرة كل 50 عامًا للمزاريب وأنابيب التصريف ○ عاصفة تحدث مرة كل 100 عام لحماية هياكل المشروع من التآكل
المخاطر الجيوتقنية بما في ذلك الانهيارات الأرضية أو الانهيارات الطينية وتآكل التربة	• الانتهاء من المسح الجيوتقني ورسم خرائط المخاطر الجيوتقنية على طول مسار خط أنابيب الناقل، وتحديد المناطق المعرضة للانهيارات الأرضية • سيتم إجراء تقييم لمخاطر التآكل على افتراض أن تآكل التربة في المناطق المعرضة الرئيسية سيزداد مقارنة بالظروف الحالية بحلول عام 2050 بسبب هطول الأمطار الغزيرة، وانخفاض الغطاء النباتي وزيادة الجفاف. وسيتم أخذ زيادة بنسبة 10-30٪ في التآكل بحلول عام 2050 في الاعتبار إذا ظل استعمالات الأراضي دون تغيير وتفاقمت العوامل المناخية • يجب توفير الحماية من التآكل والتجريف في شكل حجارة صخرية، ومسامير تثبيت التربة، وحصائر تصريف مسبقة الصنع، وواجهات من الخرسانة المرشوشة، ومراتب لمناطق الوديان والمناطق المعرضة للتآكل • يجب تركيب حواجز التحكم في التآكل والترسب وصيانتها خلال دورة حياة المشروع للحد من التآكل على المنحدرات بسبب هطول الأمطار والجريان السطحي اعتبارات التصميم: • تصميم خطوط الأنابيب وأساسات التركيب فوق الارض AGI وأنظمة الصرف الصحي وطرق الوصول بحيث تشمل هوامش لزيادة الترسبات والتجريف وخطر انهيار/انزلاق الضفاف بسبب ارتفاع معدلات التآكل • تركيب أجهزة استشعار جيوتقنية للكشف عن حركة الأرض
زيادة حوادث الرياح الشديدة وشدة العواصف الترابية وتكرارها	• يجب تصميم المرافق بحيث تتحمل سرعة رياح متوسطة تبلغ مائة وعشرين (120) كيلومترًا في الساعة • اعتبارات التصميم: • تعزيز تثبيتات الأسقف والكسوة • تحديد عتبات إيقاف تشغيل منشأة الطاقة المتجددة بسبب سرعة الرياح • استخدام أنظمة رفوف مقاومة للرياح ومثبتات آمنة للألواح الكهروضوئية. • تمكين وضع التخزين التلقائي (الوضع الأفقي أو المائل) أثناء الرياح العاتية • تصميم خط النقل الهوائي OHTL بحيث يأخذ في الاعتبار المسافات الأقصر وقوة الأذرع المتقاطعة ووصلات الدعامات والأساسات الأثقل في الأجزاء الأكثر تعرضًا للرياح من السقف

مخاطر المناخ	الإجراء قبل اتمام التصميم التفصيلي
	• تصميم مرفق الطاقة المتجددة بحيث يأخذ في الاعتبار تحسين الميل المعياري لتعزيز التخلص الطبيعي من الغبار
انخفاض متوسط هطول الأمطار السنوي / الجفاف	اعتبارات التصميم: • تصميم الأغشية والمضخات بمرونة تشغيلية • استخدام أغشية RO عالية الضغط تتحمل أحمال تناضحية أعلى • تنفيذ مراقبة في الوقت الحقيقي للكلوروفيل والحرارة والعكارة • تصميم محطة تحلية المياه بحيث تأخذ في الاعتبار سعة الغسيل الموسمي والغسيل العكسي • تصميم نظام غربلة المدخلات للتخلص من الحطام والمواد العضوية • توفير أنظمة جرعات قابلة للتكيف باستخدام مؤشر الموصلية في الوقت الحقيقي ومؤشر كثافة الطمي (SDI) • اختيار مواد مانعة للترسبات مُحسّنة للملوحة العالية
التغيرات في خصائص مياه البحر (درجة الحرارة، درجة الحموضة والملوحة)	اعتبارات التصميم: • مراعاة زيادة درجة حرارة مياه التغذية بمقدار 1-2 درجة مئوية عند تحديد حجم الأغشية وأحمال الطاقة وأنظمة التبريد • تصميم المصب على افتراض أسوأ حالة للملوحة المحيطة، مع افتراض زيادة طفيفة (بنسبة 0.5-2٪ بحلول عام 2050). • عند النظر في سيناريو عدم التغيير (أي بقاء الملوحة عند المستويات الحالية)، يجب تضمين هامش في التصميم (مثل تحمل الأغشية وقدرة المعالجة المسبقة) لضمان إمكانية التعامل مع الزيادات الصغيرة. نظرًا لأن الملوحة تؤثر على الضغط الاسموزي واستهلاك الطاقة، يجب النظر في التصميم وفقًا للحد الأعلى للزيادات المحتملة في الملوحة (على سبيل المثال، ~46.6‰ إلى ~48-50‰) لضمان المرونة. • إنشاء سلسلة زمنية أساسية للملوحة عند أعماق السحب ومراقبة الاتجاهات (السنوية والموسمية) للكشف عن الانحراف التصاعدي وبدء التخفيف إذا ارتفعت الملوحة بشكل أسرع من المتوقع • إجراء افتراض حالة الضغط للتصميم: كيف سيكون أداء النظام إذا انخفض الرقم الهيدروجيني بشكل معتدل (مما يؤدي إلى زيادة التآكل وتغير سلوكيات الترسب/السلوكيات الكيميائية)
التغير النسبي في مستوى سطح البحر وتآكل السواحل	اعتبارات التصميم: • تصميم خطوط أنابيب السحب/التصريف مع مراعاة تراجع الخط الساحلي + فقدان الشواطئ/الشعاب المرجانية الواقية • سيتم استخدام معدل التآكل الملحوظ البالغ ~0.62 م/سنة كحد أقصى لحالات الحافة بالنسبة لأجزاء الساحل المعرضة للخطر (الشواطئ الرملية، حيث يكون توفر الرواسب منخفضًا وقوى الأمواج/المناخ متزايدة) • بالنسبة للحالات المركزية الأكثر تحفظًا، سيتم افتراض تراجع الساحل بمعدل 0.3-0.5 م/سنة، مع الاعتراف بأن الساحل الصخري/الشعاب المرجانية المحلي قد يتراجع ببطء أكبر • على مدى عمر تصميمي يبلغ 30 عامًا، سيتم افتراض توغل نحو 15 مترًا نحو اليابسة (بمعدل 0.5 متر/سنة)، وافتراض توغل نحو 9 أمتار نحو اليابسة (بمعدل 0.3 متر/سنة) • سيتم إضافة عوامل ارتفاع مستوى سطح البحر والعواصف/الأمواج إلى تقديرات مخاطر تآكل الساحل

5-12 تقييم مخاطر التحول المناخي

قد تواجه الاستثمارات طويلة الأجل في البنية التحتية، مثل المشروع، مخاطر تحولية، أي المخاطر الناشئة عن التحول نحو اقتصاد مستدام منخفض الكربون.

12-5-1- فحص المخاطر

تم استخدام المصادر التالية لوضع قائمة بالمخاطر المادية الحادة والمزمنة المرتبطة بالمناخ التي يتم تقييمها بشكل شائع:

- توصيات فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ 2017 (TCFD)
- تقرير خاص صادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) حول إدارة مخاطر الأحداث والكوارث المتطرفة لتعزيز التكيف مع تغير المناخ، 2012
- التقرير التقييمي السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ: الآثار والتكيف والقابلية للتأثر، 2022
- تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) حول مخاطر المناخ، 2023
- المبادرة الإقليمية لتقييم آثار تغير المناخ على الموارد المائية والهشاشة الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية (RICCAR) تقرير تقييم تغير المناخ العربي 2017
- مخاطر الطقس 2022 ملف مخاطر المناخ في الأردن
- تقرير مجموعة البنك الدولي عن المناخ والتنمية في الأردن، 2022

الجدول11 نتائج المخاطر المناخية التي تم فحصها للتأكد من قابليتها للتطبيق على المشروع واختيارها لتقييم المخاطر المناخية.

الجدول*11* : فحص مخاطر التحول المناخي

خطر المناخ	نتيجة الفحص	التبرير	المرفق ذو الصلة بالمشروع
السياسة والأنظمة			
التزامات السياسة المناخية	تم اعتماده بعد الفحص	70٪ من إمدادات الطاقة للمشروع تعتمد على الشبكة الوطنية التي تعمل حالياً بالوقود الأحفوري	المشروع بأكمله
عوامل السياسة المناخية الدولية	تم اعتماده بعد الفحص	70% من إمدادات الطاقة للمشروع تعتمد على الشبكة الوطنية الحالية التي تعمل بالوقود الأحفوري	المشروع بأكمله
السوق والتمويل			
أسعار الطاقة والدعم وتكلفة الكربون	تم اعتماده بعد الفحص	70٪ من إمدادات الطاقة للمشروع تعتمد على الشبكة الوطنية التي تعمل حالياً بالوقود الأحفوري	المشروع بأكمله
التكنولوجيا وسلسلة التوريد			
تكنولوجيا الطاقة المتجددة وتكامل الشبكة	تم اعتماده بعد الفحص	التقدم التكنولوجي، وأهداف الطاقة المتجددة المنظمة، والضغط من أجل تحقيق الحياد الكربوني	مرفق الطاقة المتجددة

12-5-2- تقييم المخاطر

يتم تلخيص تقييم التعرض للمشروع فيالجدول . ويستند إلى السيناريوهات المحتملة للتغيرات في سياسات المناخ والطاقة والمياه وأولويات كل من الحكومة والمستثمرين، مع تحديد مستويات التعرض وفقًا للمعايير الواردة في القسم2.2.2.12 .

الجدول*12* : تقييم التعرض لمخاطر التحول

مخاطر المناخ	مستوى التعرض[1]	التوقعات
التزامات سياسة المناخ	متوسط	على المدى القريب، يُنظر إلى المشروع على أنه اجراء للتكيف مع تغير المناخ (أمن المياه) واجراء للتخفيف من آثاره (من خلال العنصر المتعلق بالطاقة المتجددة). ومع ذلك، قد يضطر المشروع إلى أن يتكيف المشروع باستمرار مع القيود المتزايدة الصرامة على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري مع تطور الالتزامات المناخية على مدار عمره.
محركات السياسة المناخية الدولية	متوسط	احتمال إدخال تسعير الكربون المحلي أو ضوابط أكثر صرامة على الانبعاثات في عام 2030 للحفاظ على القدرة التنافسية التجارية بسبب تأثير الية تعديل حدود الكربون CBAM على صناعات الأسمنت والأسمدة في الأردن.
أسعار الطاقة والدعم وتكلفة الكربون	متوسطة	من المتوقع أن تظل أسعار معدات الطاقة المتجددة متقلبة في المدى القريب. يستمر التخلص التدريجي من دعم الطاقة، ويمكن فرض أسعار أعلى على كهرباء الشبكة بسبب الارتفاعات العالمية في أسعار الوقود الأحفوري.
تكنولوجيا الطاقة المتجددة وتكامل الشبكات	متوسط	من المتوقع أن يظل أداء تكنولوجيا الطاقة المتجددة مرتفعًا في المدى القريب. على المدى الطويل، قد يؤدي التطور التكنولوجي في مجال الطاقة إلى جعل الإعداد الأولي غير مثالي، مما يستلزم إجراء تعديلات لتماشى مع أفضل الممارسات أو الضغوط التنظيمية المستقبلية نحو تحقيق الحياد الكربوني.
[1] مستويات التعرض: عالي - متطلبات تشريعية/مقرضة تؤثر على المشروع على المدى القصير متوسط - متطلبات تشريعية/مقرضة تؤثر على المشروع على المدى الطويل منخفض - متطلبات غير تشريعية/غير خاصة بالمقرض/طموحة مع تأثير محتمل على المشروع		

12-5-3- تقييم الهشاشة وتدابير التخفيف

يتم تلخيص تقييم الهشاشة لمخاطر التحول المناخي فيالجدول . ويستند إلى العمليات التعاقدية والإدارية، مع تحديد مستويات الهشاشة وفقًا للمعايير الواردة في القسم2.2.2.12 .

الجدول13 : تقييم الهشاشة لمخاطر التحول

فئة مخاطر التحول	مستوى الهشاشة[1]	الضمانات / عمليات نظام الإدارة
السياسة والانظمة	متوسط (حتى تنفيذ تدابير التخفيف) منخفض (بعد تنفيذ تدابير التخفيف)	• سيُنشئ المشروع فريقًا لمراقبة الانظمة والامتثال لمراقبة السياسات المتغيرة المتعلقة بالمناخ والمياه، لضمان تكيّف المشروع بسرعة مع القواعد الجديدة المتعلقة بمعايير الانبعاثات وحدود تصريف المياه/المياه المالحة، وما إلى ذلك. • سيتم إجراء مشاركة استباقية مع الهيئات التنظيمية والوزارات كجزء من خطة اشراك أصحاب المصلحة في المشروع لمواءمة المشروع مع الاستراتيجيات الوطنية والتراخيص في الوقت المناسب، ومنع المفاجآت في السياسات من خلال الحوار المستمر. • يشكل نظام إلادارة البيئية والاجتماعية (ESMS) ودراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي (ESIA) للمشروع جزءًا من عملية الموافقة التنظيمية. تم الاتفاق على جودة تصريف مياه التحلية مع سلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة (ASEZA) كجزء من اتفاقية المشروع. وسيتم تنفيذ خطة عمل للتنوع الحيوي مستندة إلى استطلاعات ما قبل البناء خلال مرحلة التشغيل لمراقبة التقدم المحرز نحو تحقيق أهداف التنوع الحيوي. كما سيتم مراجعة نظام الادارة البيئية والاجتماعية (ESMS) لمرحلة التشغيل وسيظل قابلاً للتكيف في حالة تشديد الانظمة البيئية.

فئة مخاطر التحول	مستوى الهشاشة[1]	الضمانات / عمليات نظام الإدارة
		• تتضمن اتفاقية الشراكة بين القطاعين العام والخاص بنودًا تتعلق بتغيير القوانين بحيث يمكن تعديل العقد (أو تقاسم التكاليف) ليظل متوافقًا في حالة تشديد الأردن لالتزامات إزالة الكربون أو متطلبات التراخيص. • يتضمن اتفاق الشراكة بين القطاعين العام والخاص أحكامًا صارمة بشأن التسليم والتحديث - تقتضي من المطور دمج تقنيات نظيفة جديدة قابلة للتطبيق وتسليم منشأة متوافقة وحديثة عند النقل. • سيتم إنشاء لجان حوكمة مستمرة بين الحكومة والشراكة بين القطاعين العام والخاص لمراجعة التغييرات التنظيمية سنويًا وتنفيذ التعديلات اللازمة في التصميم أو التشغيل.
المخاطر السوقية والمالية	متوسط (حتى تنفيذ تدابير التخفيف) منخفض (بعد تنفيذ تدابير التخفيف)	• تم أخذ مفهوم ترشيد الطاقة في الاعتبار من أجل المراقبة المثلى للطاقة والتحكم في الطاقة في تصميم محطة تحلية المياه، بما في ذلك: ○ استخدام محركات/مضخات عالية الكفاءة ومحركات متغيرة التردد (VFDs) حيثما أمكن ذلك. ○ استخدام نظام استعادة الطاقة الإيزوباري عالي الكفاءة لاستعادة الطاقة من المحلول الملحي عالي الضغط الذي يغادر وحدات غشاء التناضح العكسي لتقليل استهلاك الطاقة في نظام التناضح العكسي بشكل كبير. ○ سيتم تصميم جميع عناصر العملية بحيث تعمل العناصر قيد الخدمة ضمن نطاقات الكفاءة المثلى عند السعة المقدرة لمحطة تحلية المياه.
مخاطر التكنولوجيا وسلسلة التوريد	متوسط (حتى تنفيذ تدابير التخفيف) منخفض (بعد تنفيذ تدابير التخفيف)	• سيبرم المشروع عقود تشغيل وصيانة طويلة الأجل وضمانات مع الموردين الرئيسيين (مثل موردي الأغشية والمضخات) لضمان الأداء والعمر الطويل، وسيتطلب أنظمة صيانة وفقًا لأفضل الممارسات (تنظيف الأغشية بشكل متكرر، تنظيف الألواح، إلخ). • سيتم اعتماد استراتيجية إدارة أصول استباقية لمحطة تحلية المياه ومرفق الطاقة المتجددة، بما في ذلك استخدام تقنيات مجربة (أغشية التناضح العكسي الحديثة والمضخات والألواح الكهروضوئية مع ضمانات من الشركات المصنعة) لتجنب التقادم المبكر. • سيتم التخفيف من الاعتماد على سلسلة التوريد من خلال تنويع الموردين وتخزين قطع الغيار الهامة: الحفاظ على مخزون من أغشية التناضح العكسي الاحتياطية وقطع غيار المضخات عالية الضغط والإلكترونيات الهامة، نظرًا لأن هذه العناصر غالبًا ما يجب استيرادها. • سيهدف المشروع إلى بناء قوة عاملة محلية للصيانة من خلال الاستثمار في تدريب الفنيين والمهندسين الأردنيين على صيانة محطات تحلية المياه والطاقة الشمسية الكهروضوئية لتقليل الاعتماد على الخبراء الأجانب وضمان الاستجابة السريعة للمشكلات.

[1] مستويات الهشاشة:
عالي - لا توجد ضمانات ضمن التصميم أو بموجب اتفاقيات أو نظام إدارة محدد
متوسط- يتم بحث الضمانات ضمن التصميم و/أو بموجب الاتفاقيات/نظام الإدارة بشكل نشط
منخفض - تم بالفعل تنفيذ الضمانات ضمن التصميم و/أو بموجب الاتفاقيات/نظام الإدارة

12-5-4- مستويات المخاطر

يُقيَّم التعرّض لمخاطر التحوّل المناخي على أنه متوسط؛ إذ يُنظر إلى المشروع على المدى القريب (حتى عام 2030) على أنه يجمع بين إجراء للتكيّف مع تغيّر المناخ (تعزيز الأمن المائي) وإجراء للتخفيف (من خلال مكوّن الطاقة المتجددة)، مع احتمال حدوث تغيّرات في سياسات المناخ على المدى الطويل (بعد عام 2030).

كما يُقيَّم مستوى القابلية للتأثّر على أنه متوسط، نظرًا لأن تدابير الحماية ضمن التصميم والاتفاقيات ونظام الإدارة يجري استكشافها وتطويرها بشكل نشط.

وبالنظر إلى التعرّض المتوسط والقابلية المتوسطة للتأثّر لمخاطر التحوّل المناخي المرتبطة بالمناخ، فإن مستويات المخاطر الحالية تُعد متوسطة. ومع تنفيذ تدابير الحماية ضمن التصميم والاتفاقيات ونظام الإدارة (الجدول 12-13) وخفض مستويات القابلية للتأثّر، يُتوقَّع أن تنخفض مستويات المخاطر إلى منخفضة.

المراجع

عبادي، أ. ر. س.، حمزة، ن. هـ.، كوسكاوتيس، د. ج.، شو، ب.، لي، ل.، وغصابي، ز. (2025). التوقعات المستقبلية لديناميكيات العواصف الترابية ومصادرها في الشرق الأوسط: رؤى من نماذج CMIP6. بحوث تلوث الغلاف الجوي. متاح على الرابط: https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102775

عبدو، أ. ع. ح. س. (2024). تغيرات الشواطئ على الساحل الغربي لخليج العقبة: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية. متاح على الرابط: https://doi.org/10.21608/qarts.2024.249500.1931

أبو طالب، أ.، علونة، أ.، وصمادي، م. (2007). التحليل الإحصائي للتغيرات الحديثة في الرطوبة النسبية في الأردن. المجلة الأمريكية لعلوم البيئة، 3(2). متاح على: https://doi.org/10.3844/ajessp.2007.75.77

أبو حمور، د.، المحسنة، ل.، والطواهة، أ. ر. (2025). تحليل مكاني لمخاطر تآكل التربة بفعل المياه في الأردن. ساينس طاح - مجلة علوم التربة والمناخ الزراعي، 22(1)، 157-166. متاح على الرابط: https://doi.org/10.20961/stjssa.v22i1.94989

العديلة، ح.، والقنا، م.، وبرتا، ك.، والكرابلية، إ.، وراكونزاي، ج.، والعبيات، أ. (2019). نظام إدارة التكيف مع الجفاف لموارد المياه الجوفية قائم على مؤشر الجفاف وتحليل قابلية التأثر. أنظمة الأرض والبيئة، 3(3)، 445-461. متاح على الرابط: https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-019-00118-9

الروسان، ن.، النجار، ح.، والعمري، ع. (2021). تقييم توقعات الإشعاع الشمسي العالمي لكل ساعة في الأردن استنادًا إلى طرق القواعد والأشجار والميتا والكسل والتوقعات الوظيفية. تقنيات الطاقة المستدامة وتقييماتها، 44. متاح على: https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100923

الطاني، أ.، رشدان، م.، نزال، ي.، حواري، ف.، إقبال، ج.، الروابده، أ.، البسول، أ.، وخشاشنة، س. (2020). تقييم المياه الساحلية لخليج العقبة، الأردن. المياه، 12(8). متاح على: https://doi.org/10.3390/w12082125

Alawad, K. A., Al-Subhi, A. M., Alsaafani, M. A., Alraddadi, T. M., Ionita, M., & Lohmann, G. (2019). تأثيرات النمط واسع النطاق على مستوى سطح البحر فوق البحر الأحمر وخليج عدن. الاستشعار عن بعد، 11(19). متاح على: https://www.mdpi.com/2072-4292/11/19/2224

الخصاونة، ح.، ورو، ك. (2025). تغير المناخ والجفاف في الأردن: تحليل شامل باستخدام محاكاة نموذج المناخ الإقليمي CORDEX. متاح على: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-902

ألثمان، أ. أ.، وفرنانديز، م. ب.، ورادوان، أ. م.، ورشوان، م. (2020). التغيرات السنوية في مستوى سطح البحر في البحر الأحمر التي تم رصدها باستخدام GNSS. المجلة الجيوفيزيائية الدولية، 221(2)، 826–834. متاح على: https://academic.oup.com/gji/article/221/2/826/5710937

بدران، أ. أ.، وبلال، د. ف. (2018). توقعات الإشعاع الشمسي للمناخات الرئيسية في الأردن: نموذج انحدار. مجلة الهندسة البيئية، 19(2)، 24–38. متاح على: https://doi.org/10.12911/22998993/81240

بوريلي، ب.، روبنسون، د. أ.، باناجوس، ب.، لوغاتو، إ.، يانغ، ج. إ.، أليويل، ك.، ووبر، د.، مونتاناريلا، ل.، وبالابيو، ك. (2020). تأثيرات استخدام الأراضي وتغير المناخ على تآكل التربة العالمي بفعل المياه (2015–2070). وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم (PNAS)، 117(36). متاح على: https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117

المركز العلمي لموناكو (2017). استنتاجات ورشة العمل الدولية الرابعة حول اقتصاديات تحمض المحيطات، أكتوبر 2017. متاح على: https://www.centrescientifique.mc/uploads/documents/fr_Conclusions_ENG.pdf

Chibani, A. (2022). العواصف الرملية والغبارية في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا: مشكلة تنتظر التخفيف من حدتها. المركز العربي، واشنطن العاصمة. متاح على: https://arabcenterdc.org/resource/sand-and-dust-storms-in-the-mena

تشيرش، ج. أ.، ووايت، ن. ج. (2011). ارتفاع مستوى سطح البحر من أواخر القرن التاسع عشر إلى أوائل القرن الحادي والعشرين. دراسات في الجيوفيزياء، 32(4)، 585–602. متاح على: https://www.nhv.nu/wp-content/uploads/2021/01

دروز، سي. (2015). العواصف المدية الاتجاهية في البحار المغلقة: البحر الأحمر والبحر الأدرياتيكي والبندقية. مجلة العلوم والهندسة البحرية، 3(2)، 356-367. متاح على: https://www.mdpi.com/2077-1312/3/2/356

غامم، أ. أ. (2020). الخصائص المناخية للعواصف الترابية في الأردن. المجلة الأمريكية لتغير المناخ، 9(2)، 136–146. متاح على: https://www.researchgate.net/publication/342006359

مرفق البيئة العالمية (GEF) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) (2015). تقرير الأداء السنوي لوحدة برنامج الأمم المتحدة الإنمائي ومرفق البيئة العالمية لعام 2014. برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، نيويورك. متاح على: https://www.undp.org/publications/2014-undp-gef-unit-annual-performance-report

صندوق المناخ الأخضر (2025). المشروع والبرامج FP288: مشروع تحلية المياه ونقلها في العقبة-عمان بالأردن (AAWDCP). متاح على: https://www.greenclimate.fund/project/fp288#contacts

حمدي، م. ر.، أبو علبان، م.، الشايب، أ.، جابر، م.، ومومني، ن. م. (2009). تغير المناخ في الأردن: دراسة شاملة. المجلة الأمريكية للعلوم البيئية، 5(1)، 740-750.

Harvey, N., & Nicholls, R. (2008). ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي وهشاشة السواحل. علوم الاستدامة، 3(1)، 5–7. متاح على: https://digital.library.adelaide.edu.au/handle/2440/51770

معهد الاستدامة والمهنيين البيئيين (ISEP) (2022). إرشادات IEMA لممارسي التكيف مع تغير المناخ. ISEP (المعروف سابقًا باسم IEMA)، لندن. متاح على: https://www.isepglobal.org/resources/blogs/2022/11/11/iema-publishes-guidance-on-climate-change-adaptation/

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (2007). تغير المناخ 2007: الآثار والتكيف والقابلية للتأثر. التقرير التقييمي الرابع. مطبعة جامعة كامبريدج. متاح على: https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (2012). تقرير خاص عن إدارة مخاطر الأحداث والكوارث المتطرفة لتعزيز التكيف مع تغير المناخ. مطبعة جامعة كامبريدج. متاح على: https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (2022). تغير المناخ 2022: الآثار والتكيف والقابلية للتأثر. التقرير التقييمي السادس. مطبعة جامعة كامبريدج. متاح على: https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) والإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA). أداة توقعات مستوى سطح البحر – بوابة تغير مستوى سطح البحر التابعة لوكالة ناسا. متاح على: https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool

كيوان، س. وأبو عامر، م. (2023). سيناريوهات الطاقة المتجددة لتحلية المياه ونقلها: حالة مشروع البحر الأحمر والبحر الميت. تركيز الطاقة المتجددة، المجلد 46، 281-302. متاح على: https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.07.002

خانا، ب.، بيتروفيتش، أ.، رامداني، أ. إ.، هوموود، ب.، ميترو، م.، فارينكامب، ف. (2021). قاعدة بيانات مستوى سطح البحر حول شبه الجزيرة العربية من منتصف العصر الهولوسيني حتى الوقت الحاضر: دراسة مخاطر غمر المحيطات الساحلية في المستقبل على طول سواحل الصفيحة العربية. Quaternary Science Reviews، 261. متاح على: https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106959

مناصرة، ر.، أبو هلال، أ. ح.، ورشيد، م. ي. (2019). الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه البحر في خليج العقبة والبحر الأحمر. الجوانب الأوقيانوغرافية والحيوية للبحر الأحمر، 41-73. متاح على: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99417-8_3

وزارة البيئة (2002). تقديم محدث للمساهمة الوطنية المحددة الأولى للأردن 2021 (NDC)، متاح على: https://www.fao.org/faolex/country-profiles/general-profile-Jordan

مونيسميث، إس. جي.، وجينين، أ. (2004). المد والجزر ومستوى سطح البحر في خليج العقبة (إيلات). مجلة البحوث الجيوفيزيائية - المحيطات، 109. متاح على الرابط: https://doi.org/10.1029/2003JC002069

شراكة المساهمات المحددة وطنياً (2025). التزامات الأردن المناخية. متاح على: https://ndcpartnership.org/country/jor

نوليا ريسيرتش (2025). الندرة حسب التصميم: الاقتصاد السياسي للمياه في الأردن. متاح على: https://noria-research.com/mena/scarcity-by-design-the-political-economy-of-water-in-jordan/#:~:text=The%20fiscal%20fragility%20of%20Jordan%E2%80%99s,xxii

عرابي، ح.، عز، أ. أ.، حجازي، ج. إ. (2025). اختار في مجال تحلية المياه: الاسم الشهير ومستقبل استدامة المياه. اكتشف الماء، المجلد (5:88). الأسهم المتاحة على: https://link.springer.com/article/10.1007/s43832-025-00222-0

نيكولز، ر. ج.، وكلاين، ر. ج. (2005). تغير المناخ وإدارة السواحل على سواحل أوروبا. في إدارة السواحل الأوروبية (ص 199-226). سبرينغر، برلين، هايدلبرغ.

المبادرة الإقليمية لتقييم آثار تغير المناخ على الموارد المائية والهشاشة الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية (RICCAR) (2017). تقرير تقييم تغير المناخ العربي 2017. متاح على: https://www.unescwa.org/publications/riccar-arab-climate-change-assessment-report

مراقبة الموارد (2022). تصنيف الدول حسب الإجهاد المائي، 2022. متاح على الرابط التالي: https://resourcewatch.org/data/explore/wat036rw1-Water-Stress-Country-Ranking

Sengupta, S., Gildor, H., & Ashkenazy, Y. (2024). الاحترار المعتمد على العمق في خليج إيلات (العقبة). التغير المناخي، 177(107). متاح على: https://doi.org/10.1007/s10584-024-03765-8

شالتوت، م. (2019). اتجاهات درجة حرارة سطح البحر الحديثة والسيناريوهات المستقبلية للبحر الأحمر. Oceanologia، 61(4)، 484–504. متاح على: https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.05.002

الإدارة المتكاملة للمياه المستدامة (SWIM) (2014). التقييم الإقليمي لحالات الجفاف والفيضانات السابقة وإدارتها في بلدان مختارة من PCS SWIM-SM (تونس والأردن وفلسطين). متاح على: https://mewf.de/uploads/1552751175868.pdf

فرقة العمل المعنية بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ (TCFD) (2017). التقرير النهائي: توصيات فرقة العمل المعنية بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ. مجلس الاستقرار المالي، سويسرا. متاح على: https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/10/FINAL-2017-TCFD-Report.pdf

فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ (TCFD) (2020). إرشادات حول دمج إدارة المخاطر والإفصاح عنها. مجلس الاستقرار المالي، سويسرا. متاح على: https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/09/2020-TCFD_Guidance-Risk-Management-Integration-and-Disclosure.pdf

فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ (TCFD) (2020). ملحق تقني: استخدام تحليل السيناريوهات في الإفصاح عن المخاطر والفرص المتعلقة بالمناخ. مجلس الاستقرار المالي، سويسرا. متاح على: https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/03/FINAL-TCFD-Technical-Supplement-062917.pdf

فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ (TCFD) (2021). تنفيذ توصيات فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ. مجلس الاستقرار المالي، سويسرا. متاح على: https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/07/2021-TCFD-Implementing_Guidance.pdf

شركة تترا تك للتنمية الدولية (2022). التقرير النهائي لدراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي لمشروع تحلية ونقل المياه بين العقبة وعمان. متاح على الرابط التالي: https://www.ebrd.com/home/work-with-us/projects/psd/53620

UNISDR (2013). مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث، إحصاءات الكوارث القطرية. متاح على: https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=jor

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) (2025). مساهمة الأردن المحددة وطنياً 3.0 (NDC) رؤية للطموح والتكامل والعمل المناخي الشامل سبتمبر 2025. متاح على: https://unfccc.int/sites/default/files/2025-09/Jordan

برنامج الأغذية العالمي للأمم المتحدة (UNWFP) (2019). خريطة مخاطر الفيضانات في الأردن. متاح على: https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000106848/download/

الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID) (2011). تحسين الصرف الصحي ومكافحة الفيضانات لسلطة منطقة العقبة الاقتصادية الخاصة في العقبة (ASEZA)، المجلد 1: الخطة الرئيسية النهائية للحماية من الفيضانات لوادي اليتم والأودية الساحلية المجاورة. دراسة نفذتها شركة CDM International, Inc.

والثر، جي. آر.، بوست، إي.، كونفي، بي.، مينزل، إيه.، بارميزان، سي.، بيبي، تي. سي. جيه.، فرومنتان، جيه. إم.، هوغ-غولدبرغ، أو.، بايرلين، إف. (2002). الاستجابات البيئية لتغير المناخ الأخير. مجلة نيتشر، 416، 389-395. متاح على الرابط: https://doi.org/10.1038/416389a

مخاطر الطقس (2017). ملف تعريف مخاطر المناخ: الأردن. متاح على الرابط التالي: https://weatheringrisk.org/sites/default/files/document/Climate_Risk_Profile_Jordan.pdf

مجموعة البنك الدولي (2022). تقرير المناخ والتنمية القطري: الأردن. متاح على: https://www.worldbank.org/en/country/jordan/publication/jordan-country-climate-and-development-report#:~:text=The%20report%20indicates%20that%20Jordan%27s,agriculture%2C%20transport%20and%20urban%20development