



دراسة هيدرولوجية لدلتا تبين في اليمن وآثار تغير المناخ



إخلاء المسؤولية

إن التسميات المستخدمة في هذا التقرير وطريقة عرض مواده لا تشير ضمناً إلى التعبير عن رأي مهما كان من جانب الأمانة العامة للأمم المتحدة بشأن النظام القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطات أي منها أو فيما يتعلق بتعيين حدودها أو تخومها.

وليس بالضرورة أن تعكس الآراء المعرب عنها في هذا التقرير وجهات نظر برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية أو الأمم المتحدة أو الدول الأعضاء فيها.

جرت مراجعة هذا التقرير على يد:

- وكالة حماية البيئة - عدن؛
- وزارة الزراعة والري والثروة السمكية (<http://agriculture-ye.org>)؛
- الهيئة الوطنية للموارد المائية، وزارة المياه والبيئة؛
- البروفيسور من جامعة عدن؛ و
- البروفيسور روني بيرندتسون، أستاذ في قسم هندسة الموارد المائية ونائب مدير مركز دراسات الشرق الأوسط المتقدمة، جامعة لوند، السويد.

يجوز نسخ مقتطفات قصيرة من هذا التقرير دون طلب الإذن شريطة الإشارة إلى المصدر.

تصميم الغلاف: خلدون أ. مراد
الصور: وليد يعقوب

حقوق صورة الغلاف

اليونيسف، UN0813227، Alsunaidar

الشكر والتقدير:

- المؤلف الرئيسي: خلدون أ. مراد
- المساهمون: جويس أولي ووليد يعقوب وجولي غرينوالت ومحمد زين وعبد الواحد عرمان وعبد الرقيب العكيشي وعلاء عليّة.

معلومات أساسية

تعتبر هذه الدراسة جزءًا من مشروع جاهزية الصندوق الأخضر للمناخ الرامي إلى "تعزيز قدرات السلطات دون الوطنية والجهات الفاعلة الرئيسية في قطاع المياه للتكيف مع تغير المناخ في دلتا تبن"، ويجري تنفيذ المشروع على يد برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (برنامج موئل الأمم المتحدة) بالتنسيق مع هيئة حماية البيئة في اليمن بوساطة السيد عبد الواحد عرمان وبعض أصحاب المصلحة الوطنيين والدوليين.

يهدف المشروع إلى تمكين الحكومة اليمنية، ولا سيما السلطات دون الوطنية المستهدفة، من الاستجابة لتغير المناخ في دلتا تبن المتأثرة تأثرًا شديدًا به، إذ يتجلى ذلك في إعداد دراسة هيدرولوجية وتقييم قابلية التأثير بتغير المناخ يركزان على نظام مياه دلتا تبن، وبناءً على ذلك، تحديد تدابير التكيف، والتي ستسمح للحكومة بتحديد الأولويات الاستراتيجية والاستثمارية، مما يمكن من الاستجابة لتحديات تغير المناخ الأكثر إلحاحًا المتصلة بالمياه.

جدول المحتويات

i	إخلاء المسؤولية
ii	معلومات أساسية
iii	جدول المحتويات
v	قائمة الجداول
vii	قائمة الأشكال
viii	قائمة الاختصارات
ix	ملخص تنفيذي
xii	ملخص التقرير
1	1. مقدمة
1	1.1. الغرض من الدراسة وبيان المشكلة
2	1.2. السيناريوهات المناخية
3	2. المنهجية/البيانات
3	2.1 جمع البيانات
3	2.1.1. المشاورات
3	2.1.2. البيانات الميدانية
4	2.1.3. بيانات الاستشعار عن بعد
4	2.2. السيناريوهات المناخية
5	2.3. الجريان السطحي
5	2.4. التقييم ورسم الخرائط والتوقعات
5	2.5. منطقة الدراسة وترسيم مستجمعات المياه
6	2.6. تقييم المخاطر
7	3. توفر الموارد المائية
7	3.1. توفر المياه من المرتفعات
8	3.2. توفر المياه من الجريان السطحي
9	3.3. إجمالي المياه المتجددة
12	3.4. موارد المياه غير التقليدية
12	4. الاحتياجات المائية
13	4.1. استخدامات المياه المنزلية
13	4.2. الاستخدامات الزراعية للمياه
15	4.3. التدفق/الاستخدام البيئي
15	5. تقييم التوازن المائي
15	5.1. التوازن المائي الحالي
16	6. جودة موارد المياه
16	6.1. جودة المياه السطحية
16	6.2. جودة المياه الجوفية
17	7. التوقعات المستقبلية
17	7.1. توقعات الطلب على المياه
19	7.2. توقعات إمدادات المياه
22	7.3. توقعات التوازن المائي
24	8. التأثيرات/المخاطر المناخية

24	8.1 موجات الحرارة
24	8.2 تسرب المياه المالحة
27	8.3 ارتفاع مستوى سطح البحر
27	8.3.1 رسم الخرائط للمناطق المعرضة للتأثر بارتفاع مستوى سطح البحر
28	8.3.2 تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر
30	8.4 الفيضانات
31	8.4.1 قياس كمية الجريان السطحي
32	8.4.2 تقييم الفيضانات في المناطق الحضرية
34	8.4.3 تقييم الفيضانات المفاجئة
35	8.4.4 تأثيرات الفيضانات
38	8.5 الجفاف
39	8.5.1 الجفاف المناخي
42	8.5.2 الجفاف الاجتماعي والاقتصادي
42	8.5.3 تأثيرات الجفاف
43	9 خيارات التكيف
44	10 إدارة المياه والأطر المؤسسية
45	11 الاستنتاجات
47	12 التوصيات
47	المراجع

قائمة الجداول

5	الجدول 1. الأحواض الفرعية في حوض وادي تين المائي
6	الجدول 2. مساحة وعدد سكان مناطق دلتا تين الثلاث
8	الجدول 3. معامل الجريان السطحي لمختلف أنواع الغطاء الأرضي والمنحدرات والتربة.
8	الجدول 4. معامل الجريان السطحي لمختلف استخدامات الأرض في دلتا تين
8	الجدول 5. استخدامات الأراضي في دلتا تين
9	الجدول 6. معامل الجريان السطحي المرّجح في المناطق الثلاث لدلتا تين.
9	الجدول 7. توفر المياه في دلتا تين بناءً على تقديرات الجريان السطحي.
10	الجدول 8. موارد المياه المتجددة في دلتا تين.
12	الجدول 9. موارد المياه غير التقليدية (مليون متر مكعب/سنة).
13	الجدول 10. حقول الآبار وتصريف المياه الجوفية في المنطقة السفلى.
13	الجدول 11. الاستخدامات المنزلية للمياه في دلتا تين (2022).
13	الجدول 12. المساحات الصالحة للزراعة/المحاصيل في دلتا تين (بالهكتار).
14	الجدول 13. أساليب الري في دلتا تين.
14	الجدول 14. المتطلبات المائية للمحاصيل.
14	الجدول 15. الطلب على المياه الزراعية وفقاً لموردها (بملايين المتر مكعب).
16	الجدول 16. التوازن المائي (بملايين المتر مكعب) استناداً للبيانات المتاحة في دلتا تين في عام 2022.
18	الجدول 17. عدد السكان في المستقبل وتوقعات استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي) في ظل معدل نمو ثابت.
18	الجدول 18. عدد السكان في المستقبل وتوقعات استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض) في ظل انخفاض معدلات النمو.
18	الجدول 19. توقعات استخدامات المياه في المجال الزراعي.
19	الجدول 20. إجمالي توقعات استخدامات المياه (بملايين المتر مكعب).
19	الجدول 21. متوسط توقعات هطول الأمطار السنوية (مم) في ظل
20	المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.
20	الجدول 22. عوامل متوسط التغير في توفر المياه في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 مقارنةً بعام 2022.
22	الجدول 23. توقعات إمدادات المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3
22	الجدول 24. توقعات إمدادات المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5.
23	الجدول 25. توقعات التوازن المائي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3.
23	الجدول 26. توقعات التوازن المائي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5.
24	الجدول 27. شدة مخاطر موجات الحرارة
27	الجدول 28. خطر تسرب المياه المالحة في المنطقة الساحلية بدلتا تين.
28	الجدول 29. ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع (م) في إطار النموذج المناخي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6.

31	الجدول 30. أكبر هطول للأمطار في يوم واحد (مم).
32	الجدول 31. تدفق ذروة الجريان السطحي بسبب أكبر هطول للأمطار في يوم واحد (م/ثانية).
32	الجدول 32. التغير المستقبلي في معدلات هطول الأمطار في دلتا تبن.
33	الجدول 33. شدة الفيضانات في المناطق الحضرية بدلتا تبن.
33	الجدول 34. احتمالية حدوث الفيضانات في المناطق الحضرية.
	الجدول 35. تقييم مخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية في
33	ظل السيناريوهين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.
34	الجدول 36. شدة الفيضانات المفاجئة في دلتا تبن.
34	الجدول 37. تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة.
36	الجدول 38. الأصول والبنية التحتية الرئيسية والمخاطر المرتبطة بها في دلتا تبن.
38	الجدول 39. النازجون المعرضون لخطر الفيضانات في دلتا تبن.
	الجدول 40. تصنيف الجفاف بناءً على المؤشر الموحد لهطول الأمطار ومؤشر
39	التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار.
41	الجدول 41. تقييم مخاطر الجفاف في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.
42	الجدول 42. تقييم خطر الجفاف الاجتماعي والاقتصادي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي 3.
42	الجدول 43. تقييم خطر الجفاف الاجتماعي والاقتصادي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي 5.
43	الجدول 44. المخاطر المتعلقة بالمناخ التي تواجه دلتا تبن.
43	الجدول 45. تدابير التكيف الممكنة.

قائمة الأشكال

- الشكل 1. مجموعات من التحديات التي تواجه جهود التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معه (أونيل وآخرون، 2014). 2
- الشكل 2. موقع دلتا تبن وملاحمها وتياراتها. 6
- الشكل 3. المناطق الثلاث ومتوسط تيارات دلتا تبن المائية. 6
- الشكل 4. قيم تقييم المخاطر وفئاتها. 7
- الشكل 5. هطول الأمطار في عام 2022 في مناطق تبن بناءً على بيانات هطول الأمطار بمجموعات مرجحة متعددة المصادر. 9
- الشكل 6. طبقات المياه الجوفية في دلتا تبن. 10
- الشكل 7. عدد الآبار في دلتا تبن. 11
- الشكل 8. استنزاف المياه الجوفية في اليمن بناءً على آراء وكالة ناسا وحقل الجاذبية واختبار المناخ. 11
- الشكل 9. استخدامات المياه في دلتا تبن (%). 15
- الشكل 10. هطول الأمطار السنوي المتوقع في عدن (مم). 19
- الشكل 11. هطول الأمطار السنوي المتوقع في لحج (مم). 19
- الشكل 12. إجمالي توفر المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3. 21
- الشكل 13. إجمالي توفر المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5. 21
- الشكل 14. عدد الأيام الحارة < 40 درجة مئوية في لحج. 24
- الشكل 15. خطوط تركيز الموصلية الكهربائية في دلتا تبن. 25
- الشكل 16. تركيزات الموصلية الكهربائية في بعض الآبار بدلتا تبن. 25
- الشكل 17. حقول الآبار الرئيسية في المنطقة السفلى. 26
- الشكل 18. تأثير تسرب المياه المالحة على الأراضي الزراعية في المنطقة السفلى. 27
- الشكل 19. تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر في المناطق الساحلية بعدن. 27
- الشكل 20. التوقعات المستقبلية لمستوى سطح البحر على السواحل اليمنية. 28
- الشكل 21. ارتفاع مستوى سطح البحر بين عامي 2040 و 2100 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5. 29
- الشكل 22. الخطوط العريضة في منطقة المطار. 29
- الشكل 23. هطول الأمطار الشهري في دلتا تبن بين عامي 2015 و 2100، المسار الاقتصادي والاجتماعي المشترك 3. 30
- الشكل 24. هطول الأمطار الشهري في تبن من عام 2015 حتى عام 2100 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5. 30
- الشكل 25. حدود مستجمع مياه تبن الذي يسبب الفيضانات المفاجئة في دلتا تبن. 31
- الشكل 26. قد تتأثر قربتان في المنطقة العليا (الشقعة وزايدة) في حالة حدوث فيضانات في وادي تبن. 35
- الشكل 27. الجداول والبنية التحتية الرئيسية في دلتا تبن. 35
- الشكل 28. مؤشر الجفاف "المؤشر الموحد لهطول الأمطار" في دلتا تبن في عام 2022. 40
- الشكل 29. التوزيع السنوي لهطول الأمطار (2060-2063) في دلتا تبن (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3). 40
- الشكل 30. التوزيع السنوي لهطول الأمطار (2030-2033) في دلتا تبن (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3). 40
- الشكل 31. متوسط التوزيع السنوي لهطول الأمطار (بين عامي 2070-2073) في دلتا تبن (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5). 40
- الشكل 32. متوسط التوزيع السنوي لهطول الأمطار (2095-2100) في دلتا تبن (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5). 41

قائمة الاختصارات

(استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية	AWUa
(استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحديثة	AWUb
مجموعة تنسيق شؤون المخيمات وإدارتها	CCCM
التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه	CCUS
تقييم قابلية التأثير بتغير المناخ	CCVA
الطلب التجاري والحكومي على المياه	CGWD
مشاريع مقارنة النماذج المزدوجة	CMIPs
أيام ممطرة متتالية	CWD
الاحتياجات المائية للمحاصيل	CWR
نموذج الارتفاع الرقمي	DEM
(استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي	DWUn
(استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض	DWUr
الموصلية الكهربائية	EC
اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا	ESCWA
حقل الجاذبية واختبار المناخ	GRCE
وكالة حماية البيئة-عدن	EPA-Aden
الطلب البيئي على المياه	EWD
مجموعات النقاش المركزة	FGDs
مركز الهندسة الهيدرولوجية - نظام النمذجة الهيدرولوجية	HEC-HMS
النازحون	IDP
لجنة توجيهية مشتركة بين الوزارات	IMSC
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ	IPCC
الإدارة المتكاملة للموارد المائية	IWRM
نماذج المناخ العالمي	GCMs
المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي	LWSC
المنطقة السفلى	LR
المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي	LWSC
وزارة الزراعة والري والثروة السمكية	MAIFW
وزارة التخطيط والتعاون الدولي	MoPIC
المنطقة الوسطى	MR
الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية	MRI-ESM 02
هطول الأمطار بمجموعات مرجحة متعددة المصادر	MSWEP
وزارة المياه والبيئة	MWE
(الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا	NASA
موارد المياه غير التقليدية	NCWR

الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه والبرنامج الاستثماري	NWSSIP
تحديث الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه والبرنامج الاستثماري	NWSSIP II
التبخر المحتمل	PET
نظام المعلومات الجغرافية الكمية	QGIS
النماذج المناخية الإقليمية	RCMs
مسارات التركيز التمثيلية	RCPs
تناضح عكسي	RO
المؤشر الموحد للتبخر بالترسبات	SPEI
المؤشر الموحد لهطول الأمطار	SPI
مسارات اجتماعية واقتصادية مشتركة	SSPs
دلتا تين	TD
إجمالي المواد المذابة	TDS
المياه العادمة المعالجة	TWW
لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا	UNESCWA
برنامج الأمم المتحدة الإنمائي	UNDP
المفوضية السامية للأمم المتحدة لشؤون اللاجئين	UNHCR
منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية	UNIDO
المنطقة العليا	UR
جمعيات استخدام المياه	WUAs
محطة معالجة المياه العادمة	WWTP

ملخص تنفيذي

(1) الأهداف والغايات العامة:

ساهم كل من تغير المناخ والنمو السكاني وسوء ممارسات إدارة المياه والإفراط في استغلال الموارد المائية والحرب في ندرة المياه واستنزاف المياه الجوفية وتسرب المياه المالحة في اليمن، بما في ذلك دلتا تين. ولذلك، فإن الغرض من هذا التقرير هو تقييم مصادر واستهلاكات المياه الحالية والمستقبلية والمخاطر المناخية وآثارها في ظل سيناريوهات اجتماعية واقتصادية ومناخية مختلفة ولتحقيق هذا الهدف، يجب السعي نحو:

1. تحليل البيانات المجمعة لتحديد إمدادات ومتطلبات المياه الحالية.
2. استخدام بيانات الاستشعار عن بعد والنماذج المناخية والنماذج الهيدرولوجية لتقييم إمدادات المياه المستقبلية والطلب عليها وموازنة التوقعات في ظل سيناريوهات مناخية واجتماعية واقتصادية مختلفة.
3. تقييم المخاطر المناخية المحتملة ورسم خرائط لها باستخدام النماذج المناخية ونظام المعلومات الجغرافية الكمية والزيارات الميدانية.
4. اقتراح حلول مستدامة لتلبية الطلب المتزايد على المياه وللحد من المخاطر المناخية في دلتا تين.

(2) القيمة المضافة والجمهور المستهدف:

العمل المنجز في هذا التقرير هو نتاج لأسلوب مشترك قائم على التعاون بين مختلف أصحاب المصلحة بما في ذلك المجتمعات لإجراء زيارات ميدانية إلى مناطق مختلفة من دلتا تين، باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد لتغطية البيانات المفقودة، وباستخدام النماذج المناخية ونظام النمذجة الهيدرولوجية لمركز الهندسة الهيدرولوجية ونظام المعلومات الجغرافية الكمية لتقييم الظروف الهيدرولوجية ورسم خرائط للمخاطر المناخية المحتملة.

علاوة على ذلك، فإن المستوى العالي من التواصل والمشاركة مع مختلف أصحاب المصلحة الوطنيين والدوليين من خلال ورشات العمل ومجموعات النقاش المركزة تؤكد نتائج هذا التقرير، الذي يأتي بعد عشر سنوات من الحرب التي أثرت على قطاع المياه بما في ذلك البنية التحتية وتنفيذ التشريعات المتعلقة بالمياه (قانون المياه واستراتيجية المياه). وستكون نتائج هذا التقرير الأساس لتطوير تقييم قابلية التأثر بتغير المناخ، واقتراح تدابير/استراتيجيات محتملة للتكيف مع المناخ في دلتا تين. علاوة على ذلك، تتضمن هذه الدراسة نتائج وبيانات مهمة يمكن استخدامها من قبل جهات فاعلة مختلفة بما في ذلك وكالة حماية البيئة في اليمن، ووحدات نظم المعلومات الجغرافية، ووزارة المياه والبيئة، ووزارة الزراعة والري والثروة الغذائية، ووزارة التربية والتعليم، والمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي، والهيئة القومية للموارد المائية، وجمعيات استخدام المياه، وجامعة عدن، والمزارعون، والمجتمعات المحلية، والشركاء الدوليون.

(3) النتائج الرئيسية:

الوضع الحالي: تواجه المياه السطحية والجوفية في دلتا تين العديد من التحديات، بما في ذلك الإفراط في الاستخدام، وتغير المناخ، والافتقار إلى استراتيجية مستدامة لإدارة المياه. ولهذه القضايا تأثير على العدد المتزايد للسكان، واستخدام الأراضي ونوعية المياه وكمية المياه والنظم الزراعية.

أشارت تقديرات المياه المتاحة لعام 2022 أن المياه المتجددة و المياه المتدفقة من المرتفعات والموارد المائية غير التقليدية تقدر بـ 73 و 125 و 10 مليون متر مكعب على التوالي، في حين يشمل إجمالي الطلب على المياه 244 مليون متر مكعب للاستخدامات الزراعية و36 مليون متر مكعب للاستخدامات المنزلية، مما يعني أن المياه المستهلكة بالزراعة تمثل 82% من إجمالي استخدامات المياه. أدى عدم التوازن بين المياه المتاحة والمياه المستهلكة إلى عجز إجمالي في المياه يصل إلى 53 مليون متر مكعب.

علاوة على ذلك، أدى تطوير العديد من السدود وغيرها من تقنيات تجميع مياه الأمطار والإفراط في استخدام المياه السطحية في الجزء العلوي من حوض تبين (أعلى المنبع) إلى تقليل أخطار الفيضانات، ولكنه أدى إلى انخفاض توافر المياه السطحية في دلتا تبين (أسفل المصب).

ونتيجة لذلك، أصبح وصول المياه إلى المنطقة السفلى محدودًا ولا تصل المياه إلى المحيط، مما أجبر السكان والمزارعين على الاعتماد بشكل أساسي على المياه الجوفية باستخدام الطاقة المتجددة مما أدى إلى عجز مائي قدره 84 مليون متر مكعب في المنطقة السفلى من دلتا تبين في عام 2022.

وقد أدت عوامل تغير المناخ إلى زيادة تسرب المياه المالحة والتحصن وزيادة استنزاف المياه الجوفية وجفاف العديد من الآبار وتدهور التربة الخصبة في المنطقة السفلى من دلتا تبين.

التوقعات المستقبلية: تم استخدام النموذج المناخي المعروف باسم "الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية" ونظام المعلومات الجغرافية الكمية لتحليل توفر المياه في المستقبل في ظل مسارين اجتماعيين واقتصاديين مشتركين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3: مسار التركيز التمثيلي 7) و (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5: مسار التركيز التمثيلي 8.5)، كما تم تقييم سيناريوهين لإمدادات المياه: إما الأول فلا يتضمن أي تطوير جديد، بينما ينطوي السيناريو الثاني على إعادة استخدام مياه الصرف الصحي وتركيب محطة لتحلية المياه المالحة كل 20 عامًا في عدن بسعة 10 ملايين متر مكعب.

وتكشف النتائج عن مجموعة واسعة من تقديرات توفر المياه تصل إلى 2100 في المناطق الثلاث؛ إذا لم يتم إجراء تحسينات، فستكون إمدادات المياه حوالي 235 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، و 254 مليون متر مكعب في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3.

ومع ذلك، فإن السيناريو المحسّن سيزيد من إمدادات المياه حتى 424 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، و 358 مليون متر مكعب في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، ومن ناحية أخرى، تم تقييم إجمالي استخدامات المياه السنوية مع الأخذ في الاعتبار سيناريوهين، وهما: السيناريو المرجعي (بدون تحسينات) والسيناريو المحسّن (تحسين أنظمة الري وانخفاض النمو السكاني)، حيث تظهر النتائج أن استخدامات المياه ستصل إلى 696 مليون متر مكعب و 369 مليون متر مكعب في عام 2100 في ظل سيناريوهات الطلب على المياه، المرجعية والمحسّنة وبالتالي تشير تقديرات التوازن المائي إلى أن العجز المائي في ظل السيناريوهات المرجعية سيتجاوز 400 مليون متر مكعب في عام 2100 في ظل كلا المسارين المناخيين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5)، وستشهد المنطقة السفلى أكبر أزمة شح مائي بسبب ارتفاع الطلب الناجم من طرق الري التقليدية والنمو السكاني.

يتبين من فحص السيناريوهات المصحوبة بتحسينات أنها تعود بوضع أفضل في دلتا تبين، حيث إن العجز المائي قد لا يتجاوز 40 مليون مترًا مكعبًا. ومع ذلك، لن تغطي المنطقة السفلى عجزها المائي بعد الآن، لأن كل هذه السيناريوهات تُنذر بنقص حاد في المياه في المنطقة السفلى، والذي قد يتراوح بين 60 إلى 80 مليون متر مكعب في ظل السيناريوهات المصحوبة بتحسينات؛ لذلك، تحتاج المنطقة السفلى إلى موارد مائية إضافية مثل محطة لتحلية مياه البحر تعمل بالطاقة الشمسية بسعة 50 مليون متر مكعب في أقرب وقت ممكن، ثم محطات أخرى بسعة 10 مليون متر مكعب كل 10-5 سنوات.

ومن ناحية أخرى، فإن موارد المياه الجوفية آخذة في النضوب. دلتا تبين هي واحدة من الأحواض الحساسة في اليمن حيث توجد معظم أجهزة الحفر/الآبار غير القانونية، إذ يظهر تقييم عام 2023 أن هناك 3600 بئرًا، 1200 منها جفت، ويصل متوسط الانخفاض السنوي لمستويات المياه الجوفية إلى متر واحد بسبب غياب التوازن بين معدل التصريف وإعادة تغذية المياه الجوفية.

وإذا استمر هذا الخلل في التوازن الذي حصل في عام 2022، تشير التوقعات إلى أن معظم الآبار ستجف أو تصبح مالحة في المنطقة السفلى بحلول عام 2060، ولهذا السبب، نحن بحاجة إلى اتباع خطط فعّالة لتخصيص المياه، وموارد مائية إضافية من أجل تلبية الطلب المتزايد.

المخاطر المناخية: ستتأثر المناطق الثلاث بالجفاف والفيضانات في المستقبل، فعلى سبيل المثال، في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، قد تتسبب معدلات هطول الأمطار المرتفعة للغاية في حدوث فيضانات بين عامي 2060 و 2063، وبين عامي 2074 و 2076 في ظل والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، بينما قد يحدث الجفاف بين عامي 2029 و 2034 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، وبين عامي 2069 و 2072 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5. ومن ناحية أخرى، فإن المنطقة السفلى تعتبر الأشد تأثرًا بتغير المناخ، إذ تتعرض هذه المنطقة لأربعة مخاطر مناخية رئيسية هي الفيضانات والجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر وتسرب المياه المالحة، مما سيؤثر على أنظمة إمدادات المياه والبنية التحتية الساحلية، فضلًا عن أن هذه المنطقة كانت قد تعرّضت لجفاف مناخي واجتماعي اقتصادي شديد في عام 2022، وللأسف سيستمر الجفاف الاجتماعي الاقتصادي في السنوات القادمة إلى حين انبلاج مورد مائي جديد.

خيارات الإدارة والتكيف مع المناخ: تم تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق، كاشفةً عن وجود ثغرات في الإدارة، وعن الحاجة لاستراتيجية إدارة مستدامة للمياه من أجل توزيع الموارد المائية الحالية في ظل التحديات المناخية والاجتماعية الاقتصادية، كما تكشف الدراسة عن الحاجة إلى إيجاد حلول مستدامة جديدة لتلبية الطلب المتزايد على المياه في المنطقة السفلى والحد من تسرب المياه المالحة. لذلك، تمت مناقشة وتصنيف مختلف خيارات التكيف، مع أصحاب المصلحة الوطنيين من خلال التشاور وورش العمل بما في ذلك:

- إعادة تأهيل قنوات الري وتحسين نظام الري الحالي.
- إعادة تأهيل بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي لإعادة استخدامها في الزراعة.
- تغذية المياه الجوفية، ومحطة لتحلية المياه.
- محطة لتحلية مياه تعمل بالطاقة الشمسية لتلبية الطلب المتزايد على المياه في عدن.
- يلزم وجود خطة لإدارة الكوارث مصحوبة بنظام إنذار في وقت مبكر أعلى منطقة دلتا تبن لتنبيه السكان بمخاطر الفيضانات إذا ما تجاوز تدفق المياه 150 متر مكعب في الثانية، جنبًا إلى جنب مع خطة مناسبة لإدارة الكوارث للحد من هذه المخاطر، وفي ضوء ذلك، من الجدير الإشارة إلى أن فيضان دلتا تبن المدمر في عام 1982، كان قد وقع بسبب وصول قوة تدفق المياه 225 مليون متر مكعب من أعلى دلتا تبن (وادي تبن أعلى المنيع).

من جهة أخرى، فإن اليمن لديه قانون للمياه وسياسة مائية على السواء، إلا أنهما بلا فائدة تُذكر، وأثبتنا فشلهما في معالجة مشاكل قطاع المياه في اليمن؛ لذا فنحن بحاجة صيغ جديدة من شأنها أن تعالج المخاطر المناخية وأساليب إدارة المياه والأدوار والمسؤوليات بغية المحافظة على الموارد الطبيعية، ولا سيما المياه الجوفية، وتعزيز رفاهية الناس. ومع ذلك، قد يستغرق الأمر وقتًا طويلًا لتكييفها والموافقة عليها، وبالتالي انتهاز استراتيجية إدارة متكاملة للموارد المائية في دلتا تبن أصبح ضرورة حياتية.

ملخص التقرير

أولاً. الأهداف:

ساهم كل من تغير المناخ والنمو السكاني وسوء ممارسات إدارة المياه والإفراط في استغلال الموارد المائية والحرب في ندرة المياه واستنزاف المياه الجوفية وتسرب المياه المالحة في اليمن، بما في ذلك دلتا تبين. ولذلك، فإن الغرض من هذا التقرير هو تقييم مصادر واستهلاكات المياه الحالية والمستقبلية والمخاطر المناخية وتأثيراتها في ظل سيناريوهات اجتماعية واقتصادية ومناخية مختلفة وذلك عبر:

1. تحليل البيانات المجمعة لتحديد إمدادات ومتطلبات المياه الحالية.
2. استخدام بيانات الاستشعار عن بعد والنماذج المناخية والنماذج الهيدرولوجية لتقييم إمدادات المياه المستقبلية والطلب عليها وموازنة التوقعات في ظل سيناريوهات مناخية واجتماعية واقتصادية مختلفة.
3. تقييم المخاطر المناخية المحتملة ورسم خرائط لها باستخدام النماذج المناخية و نظام المعلومات الجغرافية الكمية الزيارات الميدانية،
4. اقتراح حلول مستدامة لتلبية الطلب المتزايد على المياه ولتحد من المخاطر المناخية في دلتا تبين.

ثانياً. القيمة المضافة:

العمل المنجز في هذا التقرير هو نتاج لأسلوب مشترك قائم على التعاون بين مختلف أصحاب المصلحة بما في ذلك المجتمعات لجمع البيانات، وإجراء زيارات ميدانية إلى مناطق مختلفة من دلتا تبين، باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد لتغطية البيانات المفقودة، باستخدام برامج المناخ وبرامج هيدرولوجية ونظام المعلومات الجغرافية الكمية لتقييم الظروف الهيدرولوجية ورسم خرائط للمخاطر المناخية المحتملة. علاوة على ذلك، فإن المستوى العالي من التواصل والمشاركة مع مختلف أصحاب المصلحة الوطنيين والدوليين من خلال ورشات العمل والاجتماعات مع السكان المحليين والمزارعين تؤكد نتائج هذا التقرير، الذي يأتي بعد عشر سنوات من الحرب التي أثرت على قطاع المياه بما في ذلك البنية التحتية وتنفيذ التشريعات المتعلقة بالمياه (قانون المياه واستراتيجية المياه). بالإضافة إلى ذلك، فإن تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق منفصلة سلب الضوء على الفجوات الإدارية والحاجة إلى خطة إدارة المياه المستدامة لتخصيص الموارد وحماية المائية المتاحة من التهديدات المحيطة. أخيراً، ستكون نتائج هذا التقرير الأساس لتطوير تقييم قابلية التأثر بتغير المناخ (CCVA) ، واقتراح تدابير التكيف مع المناخ في دلتا تبين.

ثالثاً. الجمهور المستهدف:

تتضمن هذه الدراسة نتائج وبيانات مهمة يمكن استخدامها من قبل جهات فاعلة مختلفة بما في ذلك وكالة حماية البيئة في اليمن بما في ذلك وحدات نظم المعلومات الجغرافية. وزارة المياه والبيئة؛ وزارة الزراعة والري؛ وزارة التربية والتعليم؛ الهيئة الوطنية للمياه والصرف الصحي؛ الهيئة القومية للموارد المائية؛ جمعيات استخدام المياه؛ المزارعون وأصحاب الآبار والمجتمعات المحلية؛ شركات المياه والصرف الصحي. الجامعات ومراكز البحوث، والشركاء الدوليون خاصة منظمة الأغذية والزراعة وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي.

رابعاً. النتائج الرئيسية:

الوضع الحالي:

تواجه المياه السطحية والجوفية في دلتا تبين العديد من التحديات، بما في ذلك الإفراط في الاستخدام، وتغير المناخ، والافتقار إلى استراتيجية مستدامة لإدارة المياه.

ولهذه القضايا تأثير على العدد المتزايد للسكان، واستخدام الأراضي ونوعية المياه وكمية المياه والنظم الزراعية. أشارت تقديرات المياه المتاحة لعام 2022 أن المياه المتجددة و المياه المتدفقة من المرتفعات والموارد المائية غير التقليدية تقدر بـ 73 و125 و10 مليون متر مكعب على التوالي، في حين يشمل إجمالي الطلب على المياه 244 مليون متر مكعب للاستخدامات الزراعية و36 مليون متر مكعب للاستخدامات المنزلية، مما يعني أن المياه المستهلكة بالزراعة تمثل 82% من إجمالي استخدامات المياه. أدى عدم التوازن بين المياه المتاحة والمياه المستهلكة إلى عجز إجمالي في المياه يزيد عن 53 مليون متر مكعب. علاوة على ذلك، أدى تطوير العديد من السدود وغيرها من تقنيات تجميع مياه الأمطار والإفراط في استخدام المياه السطحية في الجزء العلوي من حوض تبين (أعلى المنبع) إلى تقليل أخطار الفيضانات، ولكنه أدى إلى انخفاض توافر المياه السطحية في دلتا تبين (أسفل المصب). ونتيجة لذلك، أصبح وصول المياه إلى المنطقة السفلى محدوداً ولا تصل المياه إلى المحيط، مما أجبر السكان والمزارعين على الاعتماد بشكل أساسي على المياه الجوفية باستخدام الطاقة المتجددة مما أدى إلى عجز مائي قدره 84 مليون متر مكعب في المنطقة السفلى من الدلتا في عام 2022. وقد أدت عوامل تغير المناخ إلى زيادة تسرب المياه المالحة والتحصير وزيادة استنزاف المياه الجوفية وجفاف العديد من الآبار وتدهور التربة الخصبة في المنطقة السفلى من الدلتا.

التوقعات المستقبلية:

تم استخدام نموذج المناخ التصوير بالرنين المغناطيسي- ESM2-0 ونظام المعلومات الجغرافية الكمية لتحليل توافر المياه في المستقبل عبر (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك3: مسار التركيز التمثيلي 7) و(المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك5: مسار التركيز التمثيلي 8.5). تم تقييم سيناريوهين لإمدادات المياه، الأول لا يتضمن أي تغيير أو تطور في الأساليب المتبعة لإدارة المياه بينما يتضمن الثاني إعادة استخدام مياه الصرف الصحي وتركيب محطة لتحلية المياه المالحة كل 20 عامًا في عدن بسعة 10 ملايين متر مكعب. وتكشف النتائج أنه إذا لم يتم إجراء تحسينات، فستكون إمدادات المياه حوالي 235 و254 تحت المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك5 والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك3، على التوالي. أما السيناريو المحسن سيزيد إمدادات المياه بمقدار 424 و358 مليون متر مكعب في إطار السيناريو المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك5 والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك3، على التوالي. من ناحية أخرى، تم تقييم إجمالي استخدامات المياه السنوية مع الأخذ في الاعتبار سيناريوهين، الأول المرجعي (لا يوجد تحسن) والسيناريو المطور (تحسين أنظمة الري وانخفاض النمو السكاني). وكشفت النتائج أن استخدامات المياه ستصل إلى 696 مليون متر مكعب و369 مليون متر مكعب في عام 2100 في ظل السيناريوهات المرجعية والطلب المحسن، على التوالي. وبالتالي، تظهر تقديرات توازن المياه أن العجز المائي في ظل السيناريوهات المرجعية سيتجاوز 400 مليون متر مكعب في عام 2100 في ظل كلا المسارين المناخيين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك3 والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك5)، وستشهد المنطقة السفلى أكبر ندرة في المياه بسبب الطلب المتزايد على المياه الناجم عن طرق الري التقليدية والنمو السكاني.

من جهة أخرى تعطي السيناريوهات المحسنة وضماً أفضل في دلتا تبين حيث إن نقص المياه قد لا يتجاوز 40 مليون متر مكعب، ولكن المنطقة السفلى لن تتعافى من عجزها المائي. وتتنبأ كل هذه السيناريوهات بنقص حاد في المياه في المنطقة السفلى، والذي قد يتراوح بين 60 إلى 80 مليون متر مكعب في ظل السيناريوهات المحسنة. ولذلك تحتاج المنطقة السفلى إلى موارد مائية إضافية مثل محطة تحلية مياه البحر تعمل بالطاقة الشمسية في أقرب وقت ممكن بطاقة سنوية تقارب 50 مليون متر مكعب، ثم محطات أخرى بسعة 10 ملايين متر مكعب كل 5-10 سنوات.

ومن ناحية أخرى، فإن موارد المياه الجوفية آخذة في النضوب بسبب الاستنزاف الجائر عبر الآبار غير القانونية. ويشير تقييم 2023 إلى وجود 3600 بئر، 1200 منها جفت. ويصل متوسط الانخفاض السنوي لمنسوب المياه الجوفية إلى متر واحد بسبب عدم التوازن بين معدل السحب والتغذية.. وإذا استمر هذا الاختلال في التوازن كما هو الحال في عام 2022، فإن التوقعات تشير إلى أن معظم الآبار في المنطقة السفلى سوف تجف أو تتملح بحلول عام 2060. ولذلك، هناك حاجة إلى خطط فعالة لتخصيص المياه وموارد مائية إضافية لتلبية الطلب المتزايد على المياه.

أخطار المناخ:

المخاطر المناخية: ستتأثر المناطق الثلاث بالجفاف والفيضانات في المستقبل. على سبيل المثال، في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، قد تتسبب معدلات هطول الأمطار المرتفعة في حدوث فيضانات بين عامي 2060 و2063، وبين عامي 2074 و2076، على التوالي، في حين قد يحدث الجفاف بين عامي 2029 و2034، وبين عامي 2069 و2072. تعتبر المنطقة السفلى الأكثر عرضة لتأثيرات تغير المناخ لأنها تتأثر بأربعة أخطار مناخية رئيسية وهي الفيضانات والجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر وتسرب المياه المالحة، مما سيكون له تأثير على أنظمة إمدادات المياه والبنية التحتية الساحلية.

علاوة على ذلك، واجهت المنطقة السفلى حالات جفاف متروولوجية واجتماعية واقتصادية شديدة في عام 2022، ول سوء الحظ سيستمر الجفاف الاجتماعي والاقتصادي معظم السنوات القادمة حتى يتم إيجاد مورد مائي جديد.

خيارات الإدارة والتكيف مع المناخ:

تم تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق كشفت عن أوجه القصور الإدارية والحاجة إلى استراتيجية مستدامة لإدارة المياه لتوزيع الموارد المائية الموجودة في ظل التحديات المناخية والاجتماعية والاقتصادية. وتكشف الدراسة عن الحاجة إلى حلول مستدامة جديدة لتلبية الطلب المتزايد على المياه في المنطقة السفلى والحد من تسرب المياه المالحة. تمت مناقشة خيارات التكيف المختلفة وتصنيفها مع أصحاب المصلحة الوطنيين من خلال المشاورات وورش العمل. تم تبني تدابير التكيف التالية:

- إعادة تأهيل قنوات الري وتحسين نظام الري الحالي.
- إعادة تأهيل بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة
- تغذية المياه الجوفية.
- محطة تحلية المياه تعمل بالطاقة الشمسية لتلبية الطلب المتزايد على المياه في عدن.

- خطة إدارة للكوارث مع نظام إنذار مبكر في الجزء العلوي من دلتا تبين (دوكيم) للتخفيف من أخطار الفيضانات ولتنبيه الناس من أخطار الفيضانات إذا تجاوز تدفق المياه 150 متر مكعب/ثانية. وفي هذا الصدد، تجدر الإشارة إلى أن تدفق المياه بمقدار 225 متر مكعب في شهر مارس من عام 1982 تسبب في فيضان كارثي في دلتا تبين.

وفي الوقت نفسه، لدى اليمن قانون للمياه وسياسة مائية. ومع ذلك، فهي غير نشطة، ولم تتمكن من معالجة مشاكل قطاع المياه في اليمن. لذلك من أجل الحفاظ على الموارد الطبيعية، وخاصة المياه الجوفية، وتعزيز رفاهية الإنسان، هناك حاجة إلى إصدارات جديدة تعالج المخاطر المرتبطة بالمناخ، وطرق إدارة المياه، والأدوار، والمسؤوليات. ولكن قد يستغرق تعديلها والموافقة عليها وقتًا طويلاً. ولذلك، هناك حاجة ماسة إلى استراتيجية متكاملة لإدارة الموارد المائية في دلتا تبين.

1. مقدمة

1.1. الغرض من الدراسة وبيان المشكلة

لدى اليمن موارد مائية كافية لسد احتياجاته من مياه الشرب، لكن جزءًا كبيرًا من السكان يعاني من نقص حاد في المياه، حيث يتم استخدام 90% من هذه الموارد بشكل رئيسي لأغراض الري باستخدام الأساليب التقليدية (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي 2021). وبالإضافة إلى أساليب الري التقليدية، تواجه الموارد المائية في اليمن تحديات أخرى بما في ذلك تغير المناخ، وسوء ممارسات إدارة المياه، والاستهلاك المفرط للموارد المائية، والنمو السكاني. وقد أدت هذه العوامل إلى زعزعة الاستقرار في المجالين الاجتماعي والاقتصادي، وتسببت في نزاعات من أجل المياه، والتي للأسف لا يتم رصدها وغالبًا ما تكون معقدة جدًا لدرجة يعجز الشيوخ أو النظام القانوني وحده في اليمن عن حلها (هنتجينز وآخرون، 2014). ومن ناحية أخرى، أسفرت سنوات الحرب العشر عن زيادة ندرة المياه واستنزاف المياه الجوفية مما أدى إلى تسرب المياه المالحة، الأمر الذي يهدد الأمن الغذائي والمائي.

وفي هذا الصدد، تعد دلتا تبين واحدة من أكثر الأحواض ندرة في المياه في اليمن، الذي من بين مدنه عدن واحدة من أكثر المدن اكتظاظًا بالسكان. وقد أثر كل من ازدياد عدد السكان والإفراط في الاستغلال المياه الجوفية وتغير المناخ على المنطقة، مما أثار الحاجة إلى دراسة هذه التحديات وبالتالي يجب إجراء بحث هيدرولوجي من أجل تقييم الظروف الهيدرولوجية والمخاطر المناخية المحتملة التي تواجه دلتا تبين، مما يساعد في مواجهة هذه التحديات في أحواض المياه وغيرها من المجتمعات في اليمن؛ لذا أجريت هذه الدراسة بواسطة فريق موئل بالتعاون مع هيئة حماية البيئة في اليمن وتمويل من صندوق المناخ الأخضر. كما تستخدم الدراسة البيانات المحلية وبيانات الاستشعار عن بعد ونماذج المناخ العالمي ونظام المعلومات الجغرافية الكمية لتقييم الموارد المائية والمخاطر المناخية في ظل سيناريوهات مختلفة.

تركز الدراسة تركيزًا أساسيًا على المجالات التالية، حيث توضح الدراسة القضايا الحالية والمتوقعة التي تحيط بالأوضاع البيئية والاجتماعية والاقتصادية في دلتا تبين:

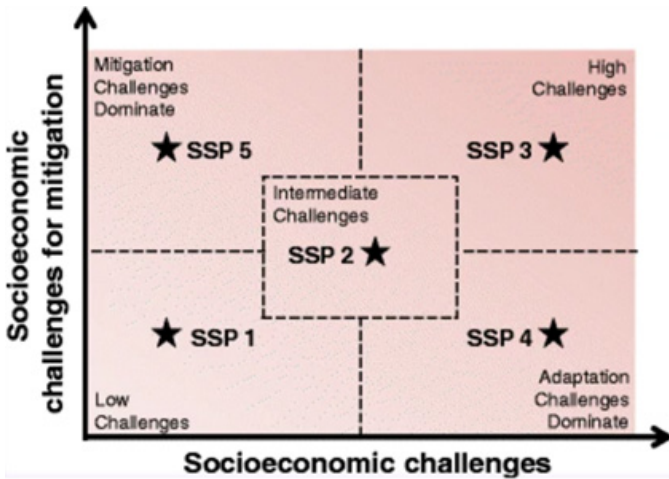
- تقييم الموارد المائية والتنبؤ بها.
- تقييم الطلب على المياه والتنبؤ به.
- رسم خرائط للتهديدات المناخية (الجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر وتسرب المياه المالحة والفيضانات).
- اقتراح بعض خيارات/تدابير التكيف

سيتم استخدام نتائج هذه الدراسة في إعداد تقرير تقييم قابلية التأثر بتغير المناخ واقتراح استراتيجيات محتملة للتكيف مع المناخ.

1.2. السيناريوهات المناخية

لدى مجتمع النماذج المناخية مشروعان رئيسيان للمقارنة بين النماذج المزدوجة (مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 5 و مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6) لغرض التنبؤ بتأثيرات تغير المناخ، إذ يعتبر النموذج مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 5 أن التركيزات المختلفة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ستؤدي إلى احتباس حراري عالمي قدره 2.6 أو 4.5 أو 6 أو 8.5 واط/م²، وهي المسارات التي يطلق عليها اسم "مسارات التركيز التمثيلية"، على النحو التالي:

- مسار التركيز التمثيلي 2.6: ستبدأ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالانخفاض بحلول عام 2020 وستصل إلى الصفر بحلول عام 2100.
- مسار التركيز التمثيلي 4.5: ستبدأ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالانخفاض بحلول عام 2040.
- مسار التركيز التمثيلي 6: ستبدأ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالانخفاض بحلول عام 2060.
- مسار التركيز التمثيلي 8.5: ستظل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون آخذة بالازدياد طوال القرن الحادي والعشرين (السيناريو الأسوأ).



الشكل 1. مجموعات من التحديات التي تواجه جهود التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف مع (أونيل وآخرون، 2014).

المشترك 4)، والتنمية بواسطة الوقود الأحفوري (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5)، والتنمية في منتصف الطريق (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 2) (رياهي وآخرون، 2017)، الشكل 1.

أما المساران الاجتماعيان والاقتصاديان المشتركان 1 و 5 فهما بمثابة مؤشرين عن المؤسسات الفعالة، والاستثمارات الحكيمة في مجالي الصحة والتعليم، والتوسع الاقتصادي السريع. كما يعتمد المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 1 على الممارسات المستديمة، في حين يعتمد المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 على الاقتصاد القائم على الوقود الأحفوري (باسيتي، 2022)، ويظهر المساران الاجتماعيان والاقتصاديان المشتركان 3 و 4 استثمارات منخفضة المستوى في مجالي الصحة والتعليم في الدول النامية، وتوسّعًا سكانيًا سريعًا، وازديادًا في مستويات عدم المساواة.

تزيد السيناريوهات القائمة على المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة من جودة وكفاءة مسارات التركيز التمثيلية، وبالتالي تُستخدم مسارات التركيز التمثيلية المقترنة بالمسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة لوصف الظروف البديلة المحتملة للمجتمع البشري والطبيعة على الصعيد العام (فرايف وآخرون، 2018)، والتي قد ترسم معالم مستقبل المجتمع (هاوسفاذر، 2018) على النحو التالي:

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 1: عالمٌ يعتمد على أهداف التنمية المستدامة (مسار التركيز التمثيلي 1.9 و مسار التركيز التمثيلي 2.6).

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 2: "منتصف الطريق" (مسار التركيز التمثيلي 4.5).

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3: عالمٌ مجزأ يعاني من التنافس الإقليمي وعودة التعصب القومي (مسار التركيز التمثيلي 7).

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 4: عالمٌ حيث عدم المساواة آخذة بالازدياد باستمرار (مسار التركيز التمثيلي 6).

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5: عالمٌ من النمو المتسارع بلا قيود باستخدام تطوير الوقود الأحفوري (مسار التركيز التمثيلي 8.5).

2. المنهجية/البيانات

2.1 جمع البيانات

2.1.1 المشاورات

يتطلب إجراء الدراسة الهيدرولوجية وتحليلها جمع أنواع مختلفة من البيانات وهي البيانات الهيدرولوجية، واستخدامات الأراضي والمياه، والبيانات الديموغرافية والاجتماعية الاقتصادية، والتوقعات المناخية.

وقد تم جمع بعض المعلومات المطلوبة من مواقع الويب مفتوحة الوصول والدراسات السابقة. ومع ذلك، فإن معظم هذه البيانات كانت بالية بسبب الحرب؛ لذا جمعنا بيانات إضافية من السلطات الوطنية بالتعاون مع أصحاب المصلحة الوطنيين، ومن بين المنظمات الوطنية التي ساهمت في جمع البيانات والتحقق من صحتها:

- هيئة حماية البيئة.
- الهيئة الوطنية للموارد المائية.
- وزارة الزراعة والري والثروة السمكية.
- وزارة المياه والبيئة.
- المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي.

وفي هذا الإطار، يجدر بنا ملاحظة أن العديد من القياسات الهيدرولوجية قد توقف نشاطها بسبب الحرب، وأن بعض المعدات تعرضت إما للسرقة أو للتدمير وبالتالي بعد عام 2015، أصبحنا نعاني في الحصول على بيانات موثوقة. ولهذا السبب، عملنا على ترتيب العديد من الاجتماعات التشاورية بغية تصحيح البيانات المجمعة.

2.1.2 البيانات الميدانية

في فبراير 2023، أُجريت مقابلات مع مسؤولين من الحكومة المحلية وممثلي جمعيات استخدام المياه، ثم أُجريت ثلاث رحلات ميدانية إلى كل من الجزء العلوي والمتوسط والسفلي من دلتا تبن، وعُقدت ثلاث مجموعات نقاش مركزة خلال كل زيارة ميدانية، مع المزارعين والرجال والنساء، حيث تمت مناقشة الموضوعات التالية:

- القضايا المحلية والاتجاهات الديموغرافية.
- الهياكل المؤسسية.

- الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية (الزراعة واستهلاك المياه واستخدام الأراضي).
- المخاطر المتصلة بالمناخ (بما في ذلك ارتفاع مستوى سطح البحر والجفاف وتسرب المياه المالحة والفيضانات).

أجرى أعضاء الفريق المحلي عدة زيارات ميدانية ترمي إلى جمع بيانات بشأن الآبار الزراعية والمنزلية، لغرض تقدير منسوب استخراج المياه الجوفية وجودة المياه التي يتم تصريفها من الآبار. وقد كانت البيانات المجمعة عن مستوى المياه ومتوسط معدلات استخراج المياه ودرجات الحرارة والموصلية الكهربائية لمقارنة البيانات التي تم جمعها مع بيانات العام 2007.

2.1.3. بيانات الاستشعار عن بعد

توقفت عمليات قياس سجلات هطول الأمطار بعد عام 2015 بسبب ظروف الحرب، لذا حصلنا على معدلات هطول الأمطار الشهرية من هطول الأمطار بمجموعات مرجحة متعددة المصادر، وهو ناتج الهطولات العالمي بغزارة 0.1 درجة كل 3 ساعات يجمع بين بيانات المقياس وبيانات الأقمار الصناعية وبيانات إعادة التحليل للوصول إلى تقديرات ذات جودة عالية للهطولات، ثم تمت معالجة معدلات هطول الأمطار الشهرية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية الكمية لحساب معدل هطول الأمطار السنوي في عام 2022.

2.2. السيناريوهات المناخية

كشفت دراسة لمدى جودة أداء نموذجي المناخ العالمي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 5 و مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6 في مختلف الدول أن نموذج المناخ العالمي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6 قد شهد تحسناً كبيراً في استخراج درجات الحرارة وإجمالي هطول الأمطار باستثناء درجة الحرارة الدنيا في أطر زمنية مختلفة، في حين أن نموذج المناخ العالمي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 5 يؤدي بشكل أفضل في نسخ التوزيع الجغرافي، إلا أنه أظهر جودة أقل في محاكاة التباين المكاني لمعظم المتغيرات المناخية (كامروزامان وآخرون، 2021). ونتيجة لذلك، سيجري النظر في الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية في إطار نموذج المناخ العالمي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6.

ويُرجَّح أن يكون أداء الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية أفضل في العديد من التجارب المجدولة لنموذج المناخ العالمي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6 مقارنةً بالنماذج السابقة التي شاركت في المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المزدوجة (يوكيموتو وآخرون، 2019 أ).

واستناداً إلى مشروع مقارنة النماذج المشتركة 6 الذي يدعم تقرير التقييم السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تم تنفيذ التوقعات المستقبلية الواردة في هذا التقرير وفقاً للسيناريوهات المناخية المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 و المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، ويُعزى هذا الأمر إلى زيادة حالات النزاع، والأنشطة الاجتماعية والاقتصادية التقليدية في جميع أنحاء العالم:

- اقتران المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 بمسار التركيز التمثيلي 7 يشير إلى وجود عقبات كبيرة تعترض جهود التكيف مع تغير المناخ والتخفيف من تأثيراته بسبب النزاعات وعدم الاستقرار، و
- اقتران المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 بمسار التركيز التمثيلي 8.5 يشير إلى وجود تحديات كبيرة تحول دون التخفيف من تأثيرات تغير المناخ مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الوقود الأحفوري.

إن المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 يمثلان بصورة عامة سيناريوهات عالية الانبعاثات والتأثير. ومع ذلك، فإن معدل خفض الانبعاثات خلال السنوات الـ 13 الماضية لا يدعو للتفاؤل بما يكفي للنظر في سيناريوهات الانبعاثات المنخفضة، مثل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 2.

زودتنا لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا ببعض التوقعات المناخية التي تمتد حتى عام 2100. وتم استخلاص التوقعات المناخية الأخرى من منصات الخدمات المناخية المختلفة، مثل بوابة المعارف الخاصة بتغير المناخ التي أنشأها البنك الدولي لخدمة العاملين في مجال التنمية وواضعي السياسات لتلبية احتياجاتهم. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>. علاوةً على ذلك، تم تعديل الأطر الزمنية لسيناريوهات الظواهر المناخية بالغة الشدة من 2010-2039؛ 2035-206؛ 2060-2089؛ و 2070-2099 لتصبح 2023-2040؛ 2041-2060؛ 2061-2080؛ و 2081-2100.

2.3. الجريان السطحي

يمكن حساب توفر مياه الجريان السطحي بطرح التبخر والتسرب من إجمالي هطول الأمطار (دينغمان 2015)؛ ثمة ثلاث طرق أساسية لتقدير الجريان السطحي وهي المنهج العقلاني، أو طريقة كوك، أو رقم منحني الجريان السطحي، حيث يمكن استخدام هذه الطرق لتقدير الجريان السطحي وتوفير المياه (جونياتي وآخرون، 2021). وقد تم اتباع المنهج العقلاني في هذا التقرير لتقدير توفر المياه في دلتا تبن باستخدام المعادلات التالية (جونياتي وآخرون، 2021):

$$(C = \sum (ci \times Ai) / \sum Ai) \quad (1)$$

$$(R = \sum Ri / m) \quad (2)$$

$$WA = C \times R \times A \quad (3)$$

حيث إن الرموز تشير إلى: WA = توفر المياه (مليون متر مكعب/سنة)، C = معامل الجريان السطحي المرّجح، Ci = معامل استخدام الأراضي، Ai = مساحة الأرض (كيلومتر مربع)، R = متوسط بيانات هطول الأمطار السنوية (م/سنة)، Ri = هطول الأمطار في محطة الرصد، m = عدد محطات رصد هطول الأمطار، A = المساحة الإجمالية (هكتار)، 10 = عامل التحويل من هكتار إلى متر مكعب.

2.4. التقييم ورسم الخرائط والتوقعات

ثم تم تحليل البيانات المجمعة لتقييم التوازن المائي الحالي والمتوقع (المعادلة 4):
التوازن المائي = إمدادات المياه - الطلب على المياه (4)

تشتمل إمدادات المياه على المياه المتاحة من الجريان السطحي والمياه الجوفية المتجددة والمياه المعالجة والمياه التي تأتي من المرتفعات الشمالية لوادي تبن، ومن ناحية أخرى، فإن الاحتياجات المائية هي منزلية وزراعية وتجارية وحكومية وصناعية وبيئية.

تمت صياغة البيانات المجمعة، والتوقعات المستقبلية، وتسرب المياه المالحة، وارتفاع مستوى سطح البحر، والجفاف، والفيضانات باستخدام نظام المعلومات الجغرافية الكمية.

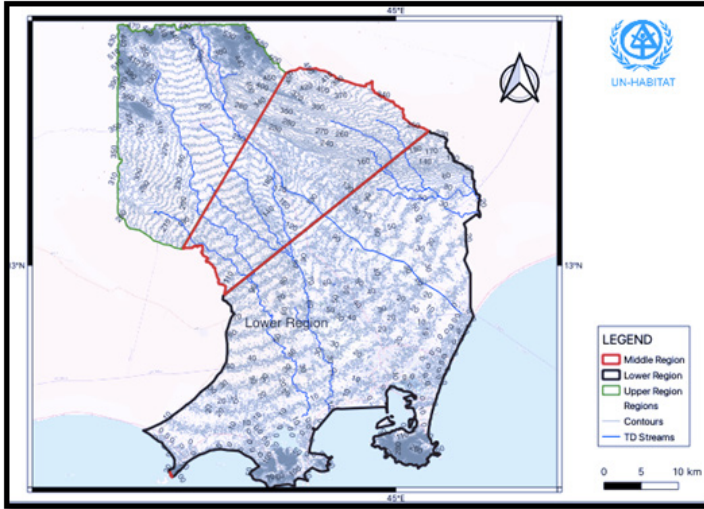
2.5. منطقة الدراسة وترسيم مستجمعات المياه

دلتا تبن (TD) هي المصب لحوض وادي تبن، إذ تبلغ مساحة وادي تبن الإجمالية 7360 كم مربع ويتكون من سبعة أحواض فرعية (صالح وآخرون، 2012)، الجدول 1

حوض فرعي	ميتم	قطابة	ورزان	أسودان	تبن	الانتشاري	أجرين
المساحة (كم مربع)	1068	765	1295	862	1448	1415	507

الجدول 1. الأحواض الفرعية في حوض وادي تبن المائي

تقع دلتا تبن بين 44.65 س - 45.10 و 12.70 - 13.30 ن، وتتراوح تضاريسها من 10 تحت مستوى سطح البحر إلى حوالي 800 فوق مستوى سطح البحر. يمكن تقسيم الدلتا إلى ثلاث مناطق هي المنطقة العليا والمنطقة الوسطى والمنطقة السفلى، الشكل 2. ترد مساحة وعدد سكان كل منطقة الجدول 2.

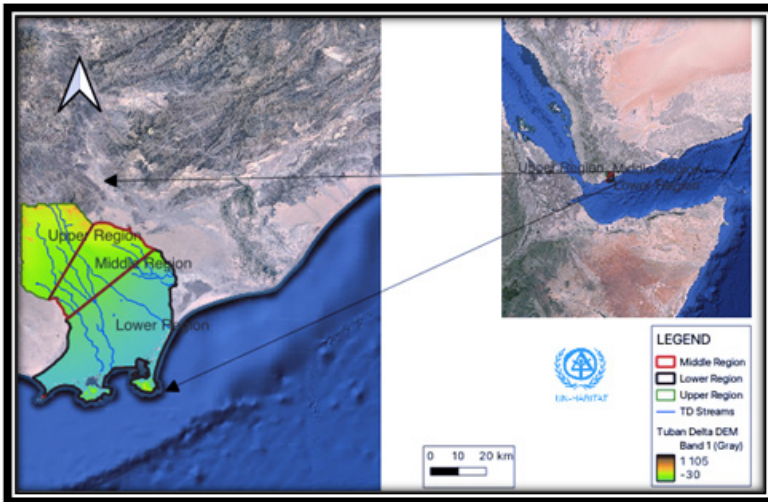


المنطقة	المساحة (كم مربع)	عدد السكان
المنطقة السفلى	10:30	013 133 1
المنطقة الوسطى	570	954 85
المنطقة العليا	450	921 36

الجدول 2. مساحة وعدد سكان مناطق دلتا تبن الثلاث

الشكل 2. موقع دلتا تبن وملامحها وتياراتها.

تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية الكمية ونموذج مركز الهندسة الهيدرولوجية - نظام النمذجة الهيدرولوجية في تحديد مستجمعات المياه في دلتا تبن، وتم تنزيل نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة من مهمة طبوغرافيا الرادار المكوكي (SRTM) التابعة لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية الكمية، وتم استخدام النموذج مركز الهندسة الهيدرولوجية - نظام النمذجة الهيدرولوجية في تحديد مستجمعات المياه.



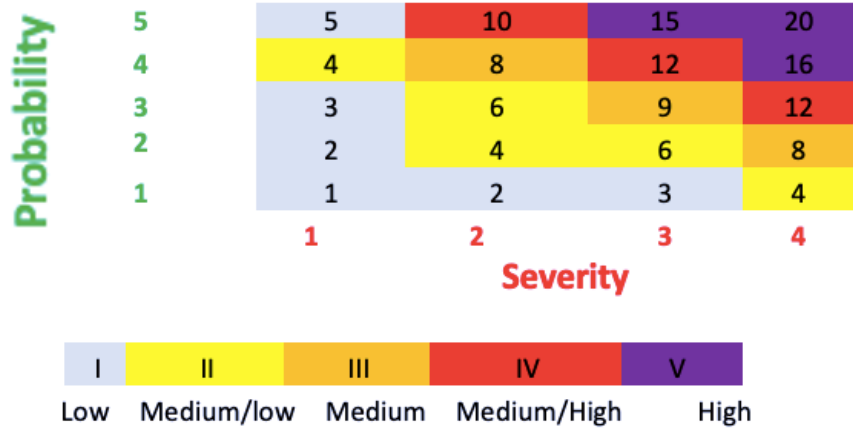
الشكل 3. المناطق الثلاث ومتوسط تيارات دلتا تبن المائية.

كما تم إنشاء عشر نقاط فاصلة (منافذ)، مما أدى إلى تشكيل العديد من الأحواض الفرعية، مدموجة في مستجمع مائي واحد، ثم تمت معالجة صيغة شيب فايل في نظام المعلومات الجغرافية الكمية للحصول على تصور أفضل لمنطقة الدراسة والمناطق الثلاث والتيارات المائية. الشكل 3

2.6. تقييم المخاطر

تُحدّد قيم تقييم المخاطر بضرب درجات قيم الشدة والاحتمال معًا لكل خطر معروف، أما الشدة فهي مقدار الضرر أو الأذى الذي قد يسببه الخطر، وغالبًا ما يتم تصنيفها على مقياس من أربعة مستويات: 4 - كارثية؛ 3 - درجة؛ 2 - عادية؛ 1 - لا تُكاد تذكر.

فيما يمثل الاحتمال أُرْجْحِيَّة حدوث الخطر، وغالبًا ما يتم تصنيفه على مقياس من خمسة مستويات: - متكرر؛ 4 - محتمل؛ 3 - عرضي؛ 2 - بعيد؛ 1 - غير محتمل. 5 وبعد ذلك، يمكن تصنيف قيم المخاطر في أربع فئات 1. منخفضة؛ 2. متوسطة/منخفضة؛ 3. متوسطة؛ 4. متوسطة/مرتفعة؛ و 5. مرتفعة، الشكل 4.



الشكل 4. قيم تقييم المخاطر وفئاتها.

3. توفير الموارد المائية

لم يتم حتى الآن وضع تقديرات محددة لتوفر الموارد المائية في دلتا تبين. ومع ذلك، هناك بعض التقديرات لليمن ككل أو لمحافظة محددة، على سبيل المثال، قام حيدرة ونعمان (2008) بتقدير موارد لحج المائية السنوية بـ 130 مليون متر مكعب.

دلتا تبين ليست مستجمع مياه منفصل، بل إنها المصب لحوض وادي تبين وبالتالي سيكون إجمالي المياه المتاحة في دلتا تبين هو مجموع التدفق من مرتفعات وادي تبين، والجريان السطحي من المناطق الثلاث، وتدفق المياه الجوفية من المرتفعات الشمالية.

3.1. توفر المياه من المرتفعات

بين عامي 1955 و 1983، قُدر متوسط التدفق السنوي في الجزء العلوي من دلتا تبين بـ 125 مليون متر مكعب، في حين أن أعلى تدفق حدث في عام 1982، بتدفق سنوي قدره 350 مليون متر مكعب، مما أدى إلى وقوع فيضان كارثي في مارس 1982.

ونظرًا لعدم وجود تقدير حديث للتدفق من المرتفعات وبعد التشاور مع السلطات المحلية، قُدر التدفق السنوي من المرتفعات الشمالية في عام 2022 بـ 125 مليون متر مكعب، وهو ما يتم استهلاكه عادةً بالكامل قبل الوصول إلى المحيط بنسبة 35% (43.75 مليون متر مكعب) في المنطقة العليا، و 50% (62.5 مليون متر مكعب) في المنطقة الوسطى، و 15% (18.75 مليون متر مكعب) في الجزء العلوي من المنطقة السفلى (قبل مدينة عدن). وقد نتج عن هذا التدفق المحدود إلى مدينة عدن تغيير خصائص التربة، وزيادة مستويات التصحر، وإجبار الناس على الإفراط في استهلاك المياه الجوفية للاستخدامات الزراعية والمنزلية، مما أدى في نهاية المطاف إلى زيادة تسرب المياه المالحة.

3.2. توفّر المياه من الجريان السطحي

لقد تم اتباع المنهج العقلاني (المعادلات 1 و 2 و 3) في تقدير توفّر المياه من الجريان السطحي المحلي، مع الأخذ في الاعتبار هطول الأمطار في عام 2022. يعتمد معامل الجريان السطحي (Ci) على نوع التربة، والأرض المنحدرة، والغطاء الأرضي. الجدول 3

وفقًا لما ذكره صالح وآخرون. (2017)، فإن أنواع التربة في دلتا تين هي طمي طيني وطفالي ومزيجي وطيني طفالي. ومع ذلك، نظرًا لأن الطمي الطيني والطيني الطفالي هما قواما التربة الأكثر شيوعًا، فقد تم اختيار القيم الوسطية للطمي الطيني والطيني الكثيف. تم حساب منحدر دلتا تين بنموذج مركز الهندسة الهيدرولوجية - نظام النمذجة الهيدرولوجية بحوالي 5 %، مما يشير إلى أن الحوض يمثل انحدار بسيط (متموج) (ماريفا وآخرون 2021). ونتيجةً لذلك، الجدول 4 يوضح الجدول 4 متوسط معاملات الجريان السطحي لاستخدامات الأراضي المختلفة في دلتا تين بناءً على قوام التربة والمنحدر.

استخدام الأرض	معامل الجريان السطحي
أرض زراعية	0.65
أراضي الرعي	0.45
أراضي مأهولة بالناس	0.6

الجدول 4. معامل الجريان السطحي لمختلف استخدامات الأرض في دلتا تين

نوع التربة			استخدام الأرض / الطبوغرافيا
الطينية الكثيفة	الطمي والتربة الطينية	التربة الطفالية	
الأرض الصالحة للزراعة			
0.6	0.5	0.3	مستوية
0.7	0.6	0.4	متموجة
0.82	0.72	0.52	مرتفعة
أراضي الرعي			
0.4	0.3	0.1	مستوية
0.55	0.36	0.16	متموجة
0.6	0.42	0.22	مرتفعة
الأراضي الحرجية			
0.4	0.3	0.1	مستوية
0.6	0.35	0.25	متموجة
0.6	0.5	0.3	مرتفعة
الأراضي مأهولة بالناس			
0.65	0.5	0.4	مستوية
0.8	0.65	0.5	متموجة

(سوريش 1997 وشريستا وآخرون. 2012).

الجدول 3. معامل الجريان السطحي لمختلف أنواع الغطاء الأرضي والمنحدرات والتربة.

تم تقدير استخدامات الأراضي المختلفة باستخدام خريطة جوجل الحديثة ونظام المعلومات الجغرافية الكمية والوثائق الوطنية من أجل تقدير معامل الجريان السطحي المرجح لكل منطقة. الجدول 5.

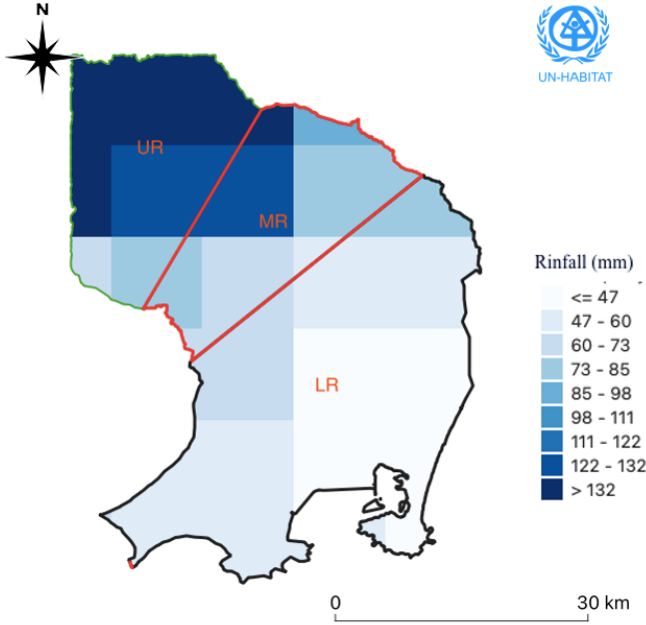
المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الغطاء الأرضي/استخدام الأرض
7.1	11.1	8.6	الأرض الزراعية (%)
91.4	86.6	79.6	أراضي الرعي (%)
1.6	2.3	11.8	أراضي مأهولة بالناس (%)

الجدول 5. استخدامات الأراضي في دلتا تين.

بعد ذلك، تم تقدير معاملات الجريان السطحي المرجحة باستخدام المعادلة (1)، الجدول 6.

المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	دلتا تبين
0.466	0.476	0.485	المعامل المرّجّح

الجدول 6. معامل الجريان السطحي المرّجّح في المناطق الثلاث لدلتا تبين.



تمت معالجة هطول الأمطار بمجموعات مرجحة متعددة المصادر لهطول الأمطار الشهري المكتسب بنظام المعلومات الجغرافية الكمية لحساب هطول الأمطار السنوي لعام 2022، الشكل 5

الشكل 5. هطول الأمطار في عام 2022 في مناطق تبين بناءً على بيانات هطول الأمطار بمجموعات مرجحة متعددة المصادر.

بعد ذلك، تم تقدير توفّر المياه في المناطق الثلاث باستخدام المنهج العقلاني كما هو موضح في الجدول 7.

المنطقة	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الإجمالي
هطول الأمطار (م)	0.118	0.084	0.051	
المعامل المرّجّح	0.466	0.476	0.485	
المساحة (كم مربع)	450	570	1030	
الجريان السطحي (بملايين المتر مكعب)	25	23	25	73

الجدول 7. توفّر المياه في دلتا تبين بناءً على تقديرات الجريان السطحي.

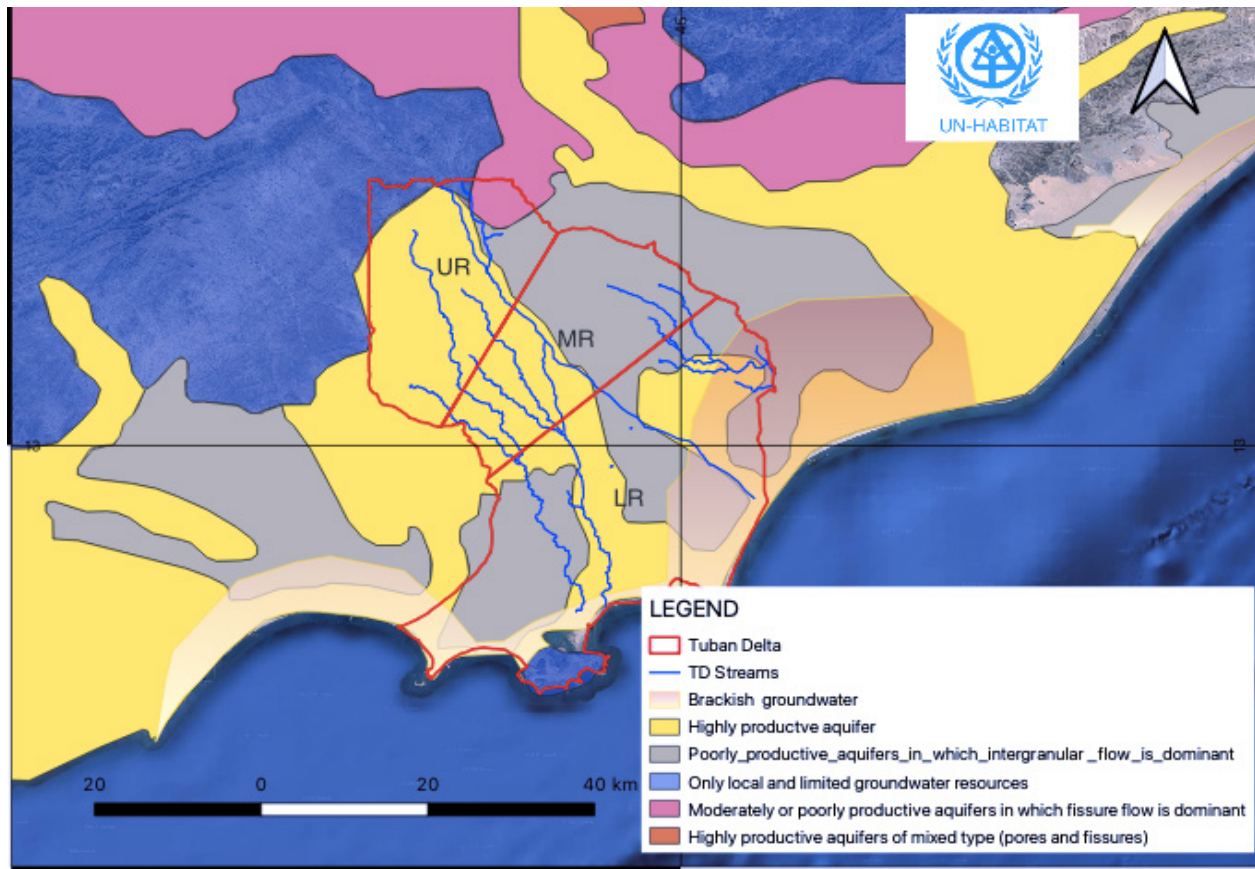
3.3 إجمالي المياه المتجددة

استنادًا إلى خريطة طبقات المياه الجوفية الشكل 6، تأتي تدفقات المياه الجوفية المحدودة من طبقات المياه الجوفية الشمالية، وبالتالي فإن تغذية المياه الجوفية في دلتا تبين ستحدث بشكل رئيسي بفضل هطول الأمطار المحلية والسدود السطحية والتدفق من المرتفعات إلى التيارات والقنوات.

ووفقًا لـ (جرجيرا وآخرون، الثانية)، فإن 70 ٪ من المياه المتاحة (الجريان السطحي والتدفق من المرتفعات) تسهم في تشكيل المياه الجوفية، وبالتالي فإن إجمالي المياه السطحية المتجددة سيكون النسبة المتبقية، الجدول 8.

المنطقة	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الإجمالي
المياه الجوفية المتجددة	47.9	59.7	31.0	138.6
المياه السطحية المتجددة	20.5	25.6	13.3	59.4
الإجمالي	68.5	85.3	44.2	198

الجدول 8. موارد المياه المتجددة في دلتا تبين.



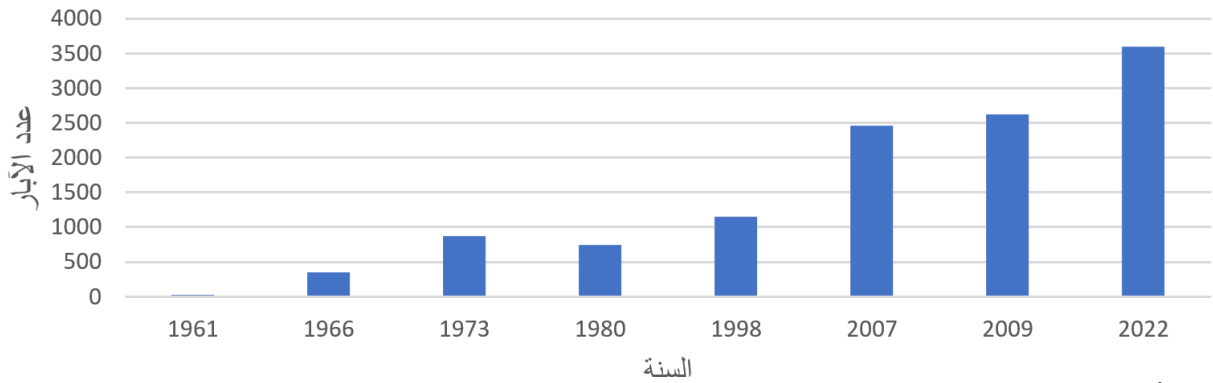
الشكل 6. طبقات المياه الجوفية في دلتا تبين

بعد إجراء مجموعات نقاش مركزة، تبين أن دلتا تبين تحتوي على حوالي 3600 بئر مقارنةً بـ 350 بئرًا في عام 1966؛ ومن بين هذه الآبار، تعرض أكثر من 1200 بئر للجفاف بسبب تغير المناخ والإفراط في استغلال المياه. وقد أظهرت الزيارات الميدانية التي تم إجراؤها أن هناك 2200 بئر مخصص للاستخدامات الزراعية، بينما توجد 107 آبار للاستخدامات المنزلية في عدن.

وبمقارنة متوسط منسوب المياه وتصريف 120 بئرًا في عام 2007 مع عام 2023، يظهر انخفاض في متوسط منسوب المياه من 37.1 مليون في عام 2007 إلى 49.5 مليون في عام 2023، مما يشير إلى أن استنزاف المياه الجوفية يصل إلى 12.4 مليون خلال هذه السنوات الـ 16 (أي أن استنزاف المياه الجوفية السنوي يصل إلى 80 سم). تقدّر معدلات التصريف السنوية للاستخدامات الزراعية والمنزلية بـ 147.4 و 50.1 مليون متر مكعب على التوالي.

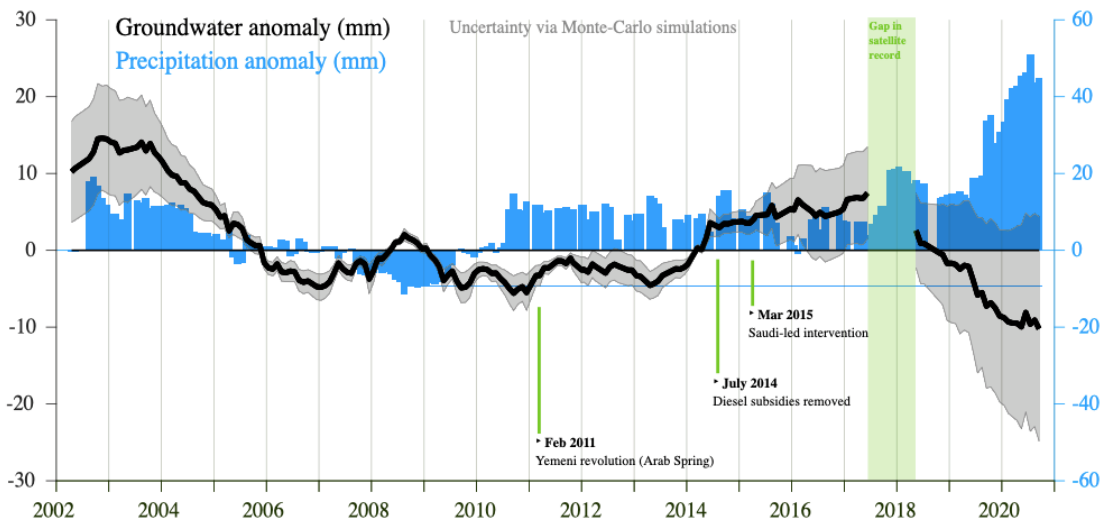
ومن ناحية أخرى، لم يتم العثور على أي تغيير في جودة المياه أو الموصلية الكهربائية (EC). وقد تم تقدير توزيع الآبار في دلتا تبين بنسب 10.2 % و 37.5 % و 52.3 % في المنطقة العليا، والمنطقة الوسطى، والمنطقة السفلى على التوالي. لذا، تقدّر عمليات استخراج المياه الجوفية للزراعة بـ 15 و 55 و 77 مليون متر مكعب من المنطقة العليا، والمنطقة الوسطى، والمنطقة السفلى على التوالي، في حين تقدّر عمليات استخراج المياه الجوفية للاستخدامات المنزلية بـ 1.3 و 3.2 و 45.5 مليون متر مكعب من المنطقة العليا، والمنطقة الوسطى، والمنطقة السفلى على التوالي.

يعني ذلك أن الاستخراج السنوي من المنطقة السفلى هو 122.5 مليون متر مكعب. وفي هذا الصدد، اقترح كومكس (2001) خفض معدل الاستخراج في المنطقة السفلى إلى 36.4 مليون متر مكعب لوقف تسرب المياه المالحة.



الشكل 7. عدد الآبار في دلتا تبين.

من ناحية أخرى، استنادًا إلى بيانات مأخوذة من حقل الجاذبية واختبار المناخ التابع لوكالة ناسا، وهو تقرير نُشر في عام 2021، ناقش بأن استخدام الطاقة الشمسية يساهم في نزوب المياه الجوفية في اليمن (CEOBS). الشكل 8، (2021)



الشكل 8. استنزاف المياه الجوفية في اليمن بناء على آراء وكالة ناسا وحقل الجاذبية واختبار المناخ.

3.4. موارد المياه غير التقليدية

تشمل موارد المياه غير التقليدية بشكل أساسي إعادة استخدام المياه الرمادية ومياه الصرف الصحي المُعالجة

1. إعادة استخدام المياه الرمادية: تعد إعادة استخدام المياه الرمادية ممارسة جيدة يمكن أن توفر ما يصل إلى 30 ٪ من الطلب المنزلي إذا ما تم استخدامها في تنظيف المراحيض (مراد وآخرون، 2011)، إلا أن هذه الممارسة تُطبَّق في اليمن بشكل محدود وبشكل أساسي في بعض المساجد، حيث تُستخدم هذه المياه لري حدائق المساجد.

2. مياه الصرف الصحي المُعالجة: يتوقف توفُّر مياه الصرف الصحي المُعالجة على وجود شبكات الصرف الصحي ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي. يوجد في دلتا تبين سبع محطات معالجة مياه الصرف الصحي (طريقة المُعالجة هي أحواض الأكسدة)، ثلاث محطات منها في منطقة تبين (محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الصابر؛ محطة معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة الوهط؛ محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الحمراء)؛ ومحطتان في مديرية الحوطة (محطة معالجة مياه الصرف الصحي في ظهور والفشلة) واثنان (محطة معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة العريش ومديرية المنصورة) في عدن.

من ناحية أخرى، ففي المنطقة السفلى، يتم استخدام 9 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي المُعالجة في المناطق الرطبة، بينما يتم تصريف الباقي مباشرة إلى المحيط. وهذا يعني أن المياه المستصلحة لا يعاد استخدامها كما ينبغي، بل وتلوث البيئة بما في ذلك المحيط، بسبب الحمل الزائد على محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي يحتاج معظمها إلى إعادة تأهيل.

وفي هذا الصدد، أُجريت دراسة لتقييم الفضلات السائلة الثانوية والمواد الصلبة الحيوية التي تنتجها أربع محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي في اليمن. وقد كشفت الدراسة أن تركيزات القولونيات البرازية كانت أعلى من تلك الموصى بها في المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية في جميع عينات مياه الصرف الصحي (الغيثي وآخرون، 2014).

أما بالنسبة للمنطقة الوسطى، لا تحتوي إلا على محطة واحدة لمعالجة مياه الصرف الصحي، حيث تُستخدم مياه الصرف الصحي المُعالجة (حوالي 1.0 مليون متر مكعب في السنة) في الري، في حين أن مياه الصرف الصحي في المنطقة العليا لا تُعالج ولا يُعاد استخدامها وبالتالي يقدر إجمالي موارد المياه غير التقليدية السنوية بـ 10 مليون متر مكعب كما هو موضح في الجدول 9.

المنطقة	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	إجمالي موارد المياه غير التقليدية (بملايين المتر مكعب)
مياه الصرف الصحي المنتجة (بملايين المتر مكعب) المعاد استخدامها	0.06	1.15	12.9	10
	0	1	9	

الجدول 9. موارد المياه غير التقليدية (مليون متر مكعب/سنة).

4. الاحتياجات المائية

يمكن تصنيف الطلب على المياه إلى أغراض مختلفة مثل الاستخدام الزراعي، أو المنزلي، أو التجاري/الصناعي، أو البيئي؛ أما بالنسبة للطلب الصناعي على المياه، فهو محدود في دلتا تبين، والطلب البيئي لا تتم تغطيته لأنه ما من تدفق مائي يصل المحيط. تخدم شبكات المياه البلدية جزءًا من المجتمع بما فيه المباني التجارية والحكومية، وبقيّة الاحتياجات تتم تلبيتها من خلال آبار الملكية الخاصة.

4.1. استخدامات المياه المنزلية

تتم تلبية الجزء الأكبر من الاستخدام المنزلي للمياه من خلال إمدادات المياه البلدية التي توفرها المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي، أو عن طريق الموارد الخاصة للأفراد غير المرتبطين بشبكة إمدادات المياه العامة. يصل نظام إمداد المياه العام إلى حوالي 40% من السكان في المنطقتين العليا والوسطى، في حين أن حوالي 25% من السكان في المنطقة السفلى غير مرتبطين به. يتم توفير مياه الشرب في المنطقة السفلى من خلال العديد من حقول الآبار التي تحتوي على حوالي 107 آبار عاملة الجدول 10.

حقول الآبار	الآبار العاملة	م ³ /يوم
مغرس ناجي (لحج)	16	8990.6
بئر ناصر (عدن)	46	56716.73
المناصرة (عدن)	16	21259.23
بئر أحمد (عدن)	29	48000
الإجمالي	107	

الجدول 10. حقول الآبار وتصريف المياه الجوفية في المنطقة السفلى.

وفقًا لمؤسسة مياه عدن، فإن نصف المياه المنتجة هي مياه غير مدرة للدخل (NRW) ووفقًا لمؤسسة مياه لحج، فإن 40% من سكان المنطقة الوسطى غير مرتبطين بنظام إمداد المياه العام، في حين أن حوالي 30% من المياه هي مياه غير مدرة للدخل. يشير استخدام البيانات المتاحة إلى أن الاستخدامات المنزلية للمياه تبلغ حوالي 110 و 103 و 100 لتر/فرد/يوم (بما في ذلك المياه غير المدرة للدخل) في المنطقة السفلى والمنطقة الوسطى والمنطقة العليا على التوالي. يعرض الجدول 11 إجمالي الاستخدام المحلي لكل منطقة بما في ذلك المياه غير المدرة للدخل. الجدول 11

المنطقة	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الإجمالي
عدد السكان	36921	85954	1133013	1255888
يوميًا (لتر/فرد/يوم)	100	103	110	
إجمالي الاستخدام المنزلي للمياه (بملايين المتر مكعب)	1.3	3.2	45.5	50.1

الجدول 11. الاستخدامات المنزلية للمياه في دلتا تين (2022).

4.2. الاستخدامات الزراعية للمياه

تبلغ مساحة الأراضي الزراعية في دلتا تين حوالي 18356 هكتارًا. ومع ذلك، وبسبب نقص المياه، بلغت المساحات المزروعة حوالي 60-40% من إجمالي المساحة الصالحة للزراعة، الجدول 12.

الجدول 12. المساحات الصالحة للزراعة/المحاصيل في دلتا تين (بالهكتار).

المحاصيل	الأراضي الصالحة للزراعة (بالهكتار)					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
السمسم	279	276	282	285	279	276
الذرة الرفيعة	4181	4139	3725	1308	3557	1252
التبغ	27	26	27	26	27	29
القطن	331	328	337	331	336	309
الخضروات	518	505	499	506	504	511
البطيخ الأحمر	119	117	117	119	127	132
(البطيخ) الشمام	34	34	35	37	39	36
العلف	4477	4519	4301	4507	4491	4467
المساحة الإجمالية	10739	10715	10118	7923	10175	7840

هناك ثلاثة أنواع من الري وهي، الجدول 13:

1. الري بالغمر: يستخدم هذا النهج المآخذ والقنوات التقليدية لتحويل تدفق المياه من الوديان والأنهار والجدول إلى الأراضي الزراعية الأقل ارتفاعًا من الوديان.

2. الري بأحواض الفحص: في هذا النهج، يتم بناء حواجز التربة في جميع أنحاء الحقل كحدود، ثم يتم غمر الحقل بالماء.

3. أساليب الري الحديثة: أنظمة الرش أو التنقيط.

المنطقة	الري بالغمر	الري بأحواض الفحص	أساليب الري الحديثة
المنطقة العليا	40%	50%	10%
المنطقة الوسطى	40%	55%	5%
المنطقة السفلى	20%	75%	5%

الجدول 13. أساليب الري في دلتا تين.

يعرض الجدول 14 المتطلبات المائية للمحاصيل في اليمن، إلا أن المزارعين لا يتبعون هذه المتطلبات. لذلك، تم تقدير إجمالي استخدام المياه في مجال الزراعة لكل منطقة على أنه مجموع تغذية المياه الجوفية من الآبار الزراعية، وموارد المياه غير التقليدية، و 30 ٪ من مياه المتدفقة من المرتفعات كما هو موضح في الجدول 15.

المحصول	استخدام المياه (م ³ /هكتار)	
	الري السطحي	الري بالتنقيط
السهم	8960	5282
الذرة البيضاء	6802	5328
الدخن	6367	5222
التبغ	7000	5000
القطن	11143	8750
الخضروات	10 000	4 706
البطيخ الأحمر	8571	5241
البطيخ (الشمام)	7785	4752
العلف	7500	5500

الجدول 14. المتطلبات المائية للمحاصيل.

المنطقة	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الإجمالي (بملايين المتر مكعب)
المياه الجوفية (بملايين المتر مكعب)	15	55.2	77.2	147.4
المياه السطحية (بملايين المتر مكعب)	13.1	18.8	5.6	37.5
معالجة المياه العادمة (بملايين المتر مكعب)	0	0	9	9
الإجمالي	28.1	74	91.8	193.9

الجدول 15. الطلب على المياه الزراعية وفقًا لموردها (بملايين المتر مكعب).

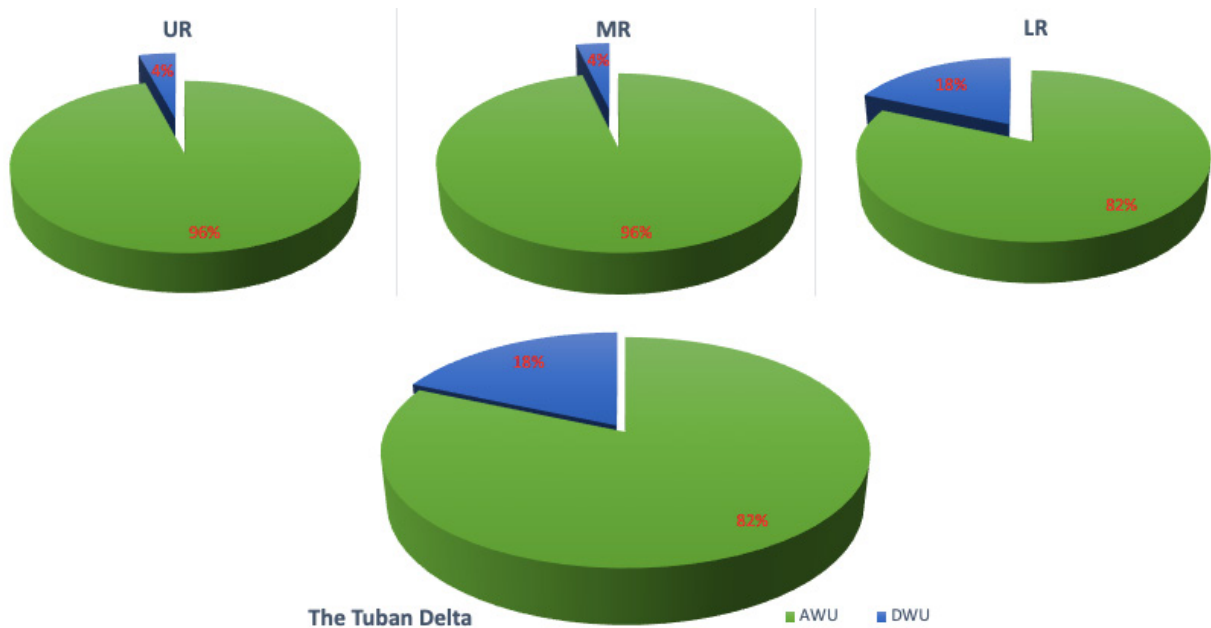
4.3. التدفق/الاستخدام البيئي

يشير مصطلح التدفق المائي إلى كمية وتوقيت التدفقات المائي اللازمة للحفاظ على مكونات النظم الإيكولوجية المائية ووظائفها وعملياتها ومرونتها، فضلاً عن المنتجات والخدمات التي توفرها هذه النظم للناس. علاوةً على ذلك، يتعين الحفاظ على حد أدنى من تدفق الأنهار، وذلك لضمان فعالية تخفيف التلوث وللحفاظ على التنوع البيولوجي.

بشكل عام، يهدد كل من النمو السكاني السريع والتمدّن والفقر وغياب القدرة على التكيف دلتا الأنهار في معظم بلدان قارتي آسيا وأفريقيا (كاظم، 2015). بالإضافة إلى ذلك، فإن تقليل تصريف الأنهار في دلتا الأنهار يزيد من تسرب المياه المالحة (بيلافوري وآخرون، 2021)؛ إذ إن تحقيق الحفاظ على التدفقات البيئية في الأودية يمكن أن يكون وسيلة فعالة لحماية موارد المياه العذبة، من خلال منع تسرب المياه المالحة.

من ناحية أخرى، أدى بناء السدود واستخدام المياه السطحية للري في أعلى المجرى إلى تقييد تدفق المياه الطبيعية وتقليل تغذية المياه الجوفية في اتجاه (تيار) مجرى النهر. ونتيجةً لذلك، فإن المياه لم تصل إلى المحيط في السنوات الثلاثين الماضية، وهذا يعني أن التدفق البيئي كذلك عرضة للإهمال، إلا أن تحقيق الحفاظ على التدفق البيئي قد يقلل من تأثير تسرب المياه المالحة والتصحّر.

تظهر مقارنة استخدامات المياه الزراعية والمنزلية للمناطق الثلاث أن الزراعة تستهلك حوالي 82 % من موارد المياه في دلتا تبين كما هو موضح في الشكل 9



الشكل 9. استخدامات المياه في دلتا تبين (%).

5. تقييم التوازن المائي

5.1. التوازن المائي الحالي

يمكن تقدير التوازن المائي بصورة عامة في منطقة مستجمعات المياه بطرح إجمالي الطلب على المياه (المنزلي + الزراعي + الصناعي + التجاري والحكومي + البيئي) من إجمالي إمدادات المياه (المياه السطحية + المياه الجوفية المتجددة + المياه غير التقليدية).

يعرض الجدول 16 أدناه تقدير التوازن المائي الحالي استنادًا للبيانات التي تم جمعها. كما يوضح الجدول أن دلتا تين تعاني من نقص في المياه، وخاصة في المنطقة السفلى، وذلك بسبب عدة عوامل مثل محدودية توفر المياه (تغير المناخ)، والإفراط في استخراج المياه الجوفية المهددة بالنضوب، فضلًا عن الافتقار لأنظمة المياه والصرف الصحي أو عدم فعالية تشغيلها وصيانتها.

المنطقة	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الإجمالي
المياه المنزلية	1.3	3.2	45.5	50.1
المياه المستخدمة في مجال الزراعة	28.1	74	91.8	193.9
إمدادات المياه	68	86	53	208
التوازن المائي	38.6	8.8	-84.3	-36

الجدول 16. التوازن المائي (بملايين المتر مكعب) استنادًا للبيانات المتاحة في دلتا تين في عام 2022.

6. جودة موارد المياه

6.1. جودة المياه السطحية

يتم استهلاك معظم المياه السطحية في المنطقتين العليا والوسطى، في الوقت الذي تعاني فيه هذه الموارد من الأسمدة الزراعية الملوثة، والمنتجات الكيميائية، ومياه الصرف الصحي غير المعالجة التي يتم تصريفها مباشرة إلى التيارات والقنوات.

6.2. جودة المياه الجوفية

لم تتم دراسة جودة المياه الجوفية بتفصيل يبيّن مدى صلاحيتها للري أو الشرب. وفيما يلي أهم مصادر تلوث المياه الجوفية:

1. النشاط الإشعاعي الطبيعي: قد تحتوي المياه الجوفية في عدن، على غرار مناطق أخرى حول العالم، على نويدات مشعة طبيعية مثل الراديوم واليورانيوم والثوريوم، ويمكن لهذه المواد أن تدخل المياه الجوفية من التكوينات الجيولوجية والصخور. قام حرب وآخرون (2013) بجمع واختبار ما مجموعه 37 عينة من المياه الجوفية في أربع مناطق بمحافظة عدن، وهي منطقة بئر أحمد ومنطقة بئر فضل ومنطقة دار سعد والمصايبان؛ أظهرت النتائج أن الجرعة (الإشعاعية) السنوية التي تم الحصول عليها كانت أعلى بكثير من القيمة التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية (0.1 مللي سيفرت/سنة) لمياه الشرب. علاوةً على ذلك، اختبر عبد ربه وآخرون (2016) النشاط الإشعاعي للمياه الجوفية في مديرتين بجان باليمن. وقد رأوا أن تركيزات النويدات المشعة العالية موجودة بشكل رئيسي في المياه القادمة من الآبار في طبقة المياه الجوفية السفلية. كما تبين من خلال الدراسة أن متوسط الجرعة الفعالة السنوية للرضع هو ما يقرب من عشرين ضعف المستوى التوجيهي الموصى به من قبل منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب. ولهذا السبب، يُنصح بإجراء تحقيق في هذه المسألة بتعاون بين السلطات المحلية والوكالات البيئية والمديريات الصحية والمؤسسات العلمية من أجل ضمان مأمونية المياه الجوفية وصلاحيتها للشرب في المجتمع، وتقليل المخاطر الصحية المرتبطة بالنشاط الإشعاعي.

2. الملوحة: وفقًا لمعايير مياه الشرب اليمنية، يفضل أن تكون الموصلية الكهربائية لمياه الشرب أقل من 1000 ميكرو ثانية/سم ويمكن أن يصل الحد الأقصى المسموح به إلى 2500 ميكرو ثانية/سم (صالح وآخرون. 2017). ومع ذلك، أشار اختبار عينات أخرى في المنطقة السفلى إلى قيم عالية للموصلية الكهربائية (أكثر من 2000 ميكرو ثانية/سم وفي بعض الآبار أكثر من 3000 ميكرو ثانية/سم). تعتمد نسبة معينة من الملوحة على خصائص طبقة المياه الجوفية (الملوحة الطبيعية). في حين يعزى الباقي منها إلى تسرب المياه المالحة، ولا سيما في المناطق الساحلية.

3. مياه الصرف الصحي: تصرّف المدن والصناعات مياه الصرف الصحي المنزلية والصناعية غير المعالجة في المناطق شبه الحضرية. وعلى الرغم من أن مخاطر تلوث مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية أكثر وضوحًا، إلا أن هناك أيضًا احتمال خطر تلوث طبقات المياه الجوفية بسبب مياه الصرف الصحي غير المعالجة من القرى الريفية. وقد عمل كل من صالح والسلامي (2022) على جمع 20 عينة من المياه الجوفية في الفترة من شهر فبراير حتى شهر يوليو 2021 لتقييم تلوث المياه الجوفية في حقلي مياه بئر ناصر وبئر أحمد بدلتا تبن؛ أظهرت النتائج أن معظم المعلمات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية أعلى من الحد الذي تسمح به منظمة الصحة العالمية. والأسباب الرئيسية وراء هذا التلوث هي استخدام البالوعات، وقرب الآبار من الأراضي الزراعية التي تستخدم الأسمدة الكيميائية والحيوانية، وعشوائية حفر الآبار، والإفراط في الضخ (صالح والسلامي، 2022).

7. التوقعات المستقبلية

7.1. توقعات الطلب على المياه

لم يُراعَ التدفق البيئي في خطط المياه الوطنية الأخيرة في اليمن، ولكن يُوصى بأن يُدرج هذا الجانب في خطط إدارة المياه المستقبلية، إذ يمكن أن يلعب متوسط التدفق البيئي في نطاق 10-30 لتر/ثانية دورًا هامًا في الحفاظ على استدامة المياه في منفذ الحوض بدلتا تبن؛ وعليه، لقد تم تقدير إجمالي توقعات الطلب في المناطق الثلاث بناءً على الطلب المنزلي والزراعي على المياه.

1. توقعات الاستخدام المنزلي للمياه: تم تقدير توقعات الطلب المنزلي على المياه حتى 2100 بناءً على متوسط استهلاك المياه للفرد على افتراض أنه سيتم التخلص من المياه غير المدرة للدخل بحلول عام 2040، وبالتالي فإن استهلاك المياه المنزلي ابتداءً من عام 2040 سيكون 90 و 99 و 96 لترًا في اليوم في كل من المنطقة السفلى والمنطقة الوسطى والمنطقة العليا على التوالي.

من ناحية أخرى، يعتمد توقع الطلب المنزلي على المياه على نمو السكان، وعليه يمكن تقدير عدد السكان في المستقبل وتوقعات الاستخدام المنزلي للمياه حتى عام 2100 بناءً على سيناريوهين:

(a) استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي): زيادة طبيعية، مما يعني أن معدل النمو بنسبة 3 % سيبقى كما هو حتى عام 2100 كما هو موضح في الجدول 17 باستخدام المعادلة التالية: $(PF = PP \times (1+R)^n$ (5)

حيث إن الرموز تشير إلى: $PF =$ عدد السكان في المستقبل في وقت ما $PP, T =$ عدد السكان الحالي، $R =$ معدل النمو السكاني (3 %)، و $N =$ عدد السنوات.

(b) استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض): انخفاض معدل النمو السكاني، مما يشير إلى معدل نمو بنسبة 3 % حتى عام 2040، وبنسبة 2.5 % من عام 2040 حتى عام 2060، وبنسبة 2 % من عام 2060 حتى عام 2080، ثم بنسبة 1.5 % من عام 2080 حتى عام 2100. في هذه الحالة يمكن استخدام المعادلة التالية: $(PF = PP (1+r1)^{n1}(1+r2)^{n2} \dots$ (6)

حيث إن الرموز $r1, r2, \dots$ تشير إلى معدلات النمو في الفترة المحددة، و $n1, n2, \dots$ إلى عدد السنوات لكل فترة

الجدول 17. عدد السكان في المستقبل وتوقعات استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي) في ظل معدل نمو ثابت.

السنة	المنطقة السفلى		المنطقة الوسطى		المنطقة العليا		إجمالي الاستخدام المنزلي للمياه (بملايين المتر مكعب)
	عدد السكان	استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي)	عدد السكان	استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي)	عدد السكان	استخدامات مياه الشرب (سيناريو عادي)	
2022	1133013	45.5	85954	3.2	36921	1.3	50.1
2040	1928879	77.4	146331	5.5	62856	2.3	85.2
2060	3483770	139.9	264290	9.9	113524	4.1	154.0
2080	6292076	252.6	477337	17.9	205037	7.5	278.1
2100	11364188	456.3	862124	32.4	370320	13.5	502.2

الجدول 18. عدد السكان في المستقبل وتوقعات استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض) في ظل انخفاض معدلات النمو.

السنة	المنطقة السفلى		المنطقة الوسطى		المنطقة العليا		إجمالي الاستخدام المنزلي للمياه (بملايين المتر مكعب)
	عدد السكان	استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض)	عدد السكان	استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض)	عدد السكان	استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض)	
2022	1133013	45.5	85954	3.2	36921	1.3	50.1
2040	1928879	77.4	146331	5.5	62856	2.3	85.2
2060	3160692	126.9	239780	9.0	102997	3.8	139.7
2080	4256995	170.9	356301	13.4	153048	5.6	189.9
2100	6325670	254.0	479886	18.0	206133	7.5	279.5

2 . توقعات استخدامات المياه في مجال الزراعة: يمكن تقييم ثلاثة سيناريوهات: في الجدول 19:

أ. استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية): الأراضي الثابتة وممارسات الري الحالية.

ب. استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحديثة): الأراضي الثابتة، يبدأ الري بالأساليب الحديثة بنسبة 50 % في عام 2040، و 70 % في عام 2060 و 100 % في عام 2080.

الجدول 19. توقعات استخدامات المياه في المجال الزراعي.

السنة	المنطقة السفلى		المنطقة الوسطى		المنطقة العليا		الإجمالي	
	استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية)	استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية)	استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية)	استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية)	استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية)	استخدامات المياه في مجال الزراعة (أساليب الري الحالية)	استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض)	استخدامات مياه الشرب (سيناريو ينطوي على انخفاض)
2022	92	92	74	74	28	28	194	194
2040	92	92	74	74	28	28	194	194
2060	92	66	74	53	28	20	194	139
2080	92	51	74	41	28	16	194	108
2100	92	42	74	34	28	13	194	88

بناءً على الخيارات المذكورة أعلاه، تم النظر في سيناريوهين للطلب على المياه: الجدول 20:

- السيناريو المرجعي: الأراضي الصالحة للزراعة الثابتة، ومعدلات النمو السكاني الثابتة، والممارسات الزراعية ذاتها
- سيناريو تحسين الري وانخفاض النمو السكاني: الري بالأساليب الحديثة وانخفاض النمو السكاني.

الجدول 20. إجمالي توقعات استخدامات المياه (بملايين المتر مكعب).

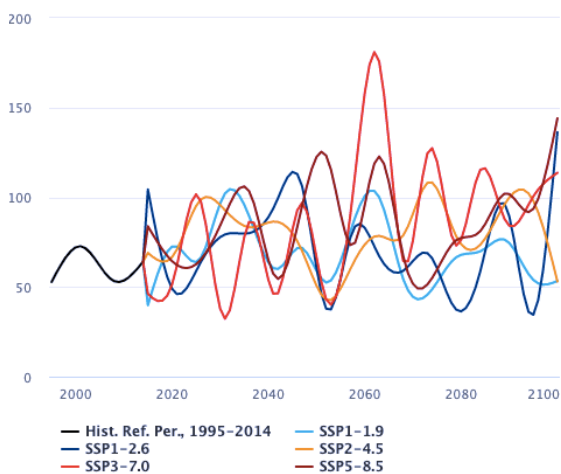
سيناريو تحسين الري وانخفاض النمو السكاني				السيناريو المرجعي				السنة
الإجمالي	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	الإجمالي	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	
244.1	29.3	77.2	137.5	244.1	29.3	77.2	137.5	2022
279.2	30.3	79.5	169.4	279.2	30.3	79.5	169.4	2040
278.7	23.8	62.0	192.9	348	32.1	83.9	231.9	2060
297.9	21.6	54.4	221.9	472.1	35.5	91.9	344.6	2080
368.5	20.5	52.0	296.0	696.2	41.5	106.4	548.3	2100

يوضح الجدول 20 أن سيناريو تحسين الري وانخفاض النمو السكاني وسيناريوهات الطلب على المياه قد تسهم في حل مشكلة نقص المياه حيث يمكن أن تحقيق توفير المياه بنسب تصل إلى 20 % و 37 % و 47 % في 2060 و 2080 و 2100 على التوالي.

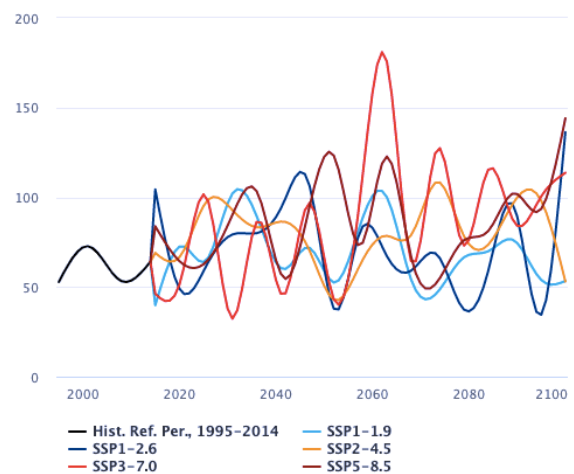
بوسعنا وضع سيناريوهات جديدة للطلب على المياه من خلال التعاون الفعال والمشاركة النشطة مع جميع أصحاب المصلحة المعنيين. ومع ذلك، ينبغي أن تكون السيناريوهات المطورة واقعية، وأن تستند إلى ما يمكن القيام به في دلتا تبين لتوفير موارد مائية جديدة، فعلى سبيل المثال، يمكن توفير 35 % من احتياجات المياه المنزلية من إعادة استخدام المياه الرمادية في تنظيف المراحيض (مراد وآخرون، 2011)، إلا هذا السيناريو يحتاج إلى قبول اجتماعي وينطوي على بعض التكاليف الخاصة.

7.2. توقعات إمدادات المياه

1. الجريان السطحي: وفقاً للنموذج المناخي الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية، يعرض الشكلين 10 و 11 معدل هطول الأمطار السنوي المتوقع في عدن ولحج على التوالي، بناءً على فترة مرجعية من 1995-2014، لسيناريوهات مناخية مختلفة. تظهر الأرقام زيادة في غزارة هطول الأمطار خاصة بين عامي 2060 و 2065 في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.



الشكل 11. هطول الأمطار السنوي المتوقع في لحج (مم).



الشكل 10. هطول الأمطار السنوي المتوقع في عدن (مم).

يُظهر متوسط توقعات هطول الأمطار السنوية في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 زيادة في معدلات هطول الأمطار بعد عام 2040، وستصل إلى أعلى مستوياتها بين عامي 2061 و 2080 في المنطقة السفلى، في حين ستبدأ معدلات هطول الأمطار السنوية في الارتفاع بعد عام 2060 في المناطق الوسطى والعلية. من ناحية أخرى، قد يؤدي انخفاض معدلات هطول الأمطار قبل عام 2040 إلى مزيد من سنوات الجفاف، إلا أن التوقعات تشير إلى زيادة السنوات الرطبة بعد عام 2040. الجدول 21

الجدول 21. متوسط توقعات هطول الأمطار السنوية (مم) في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.

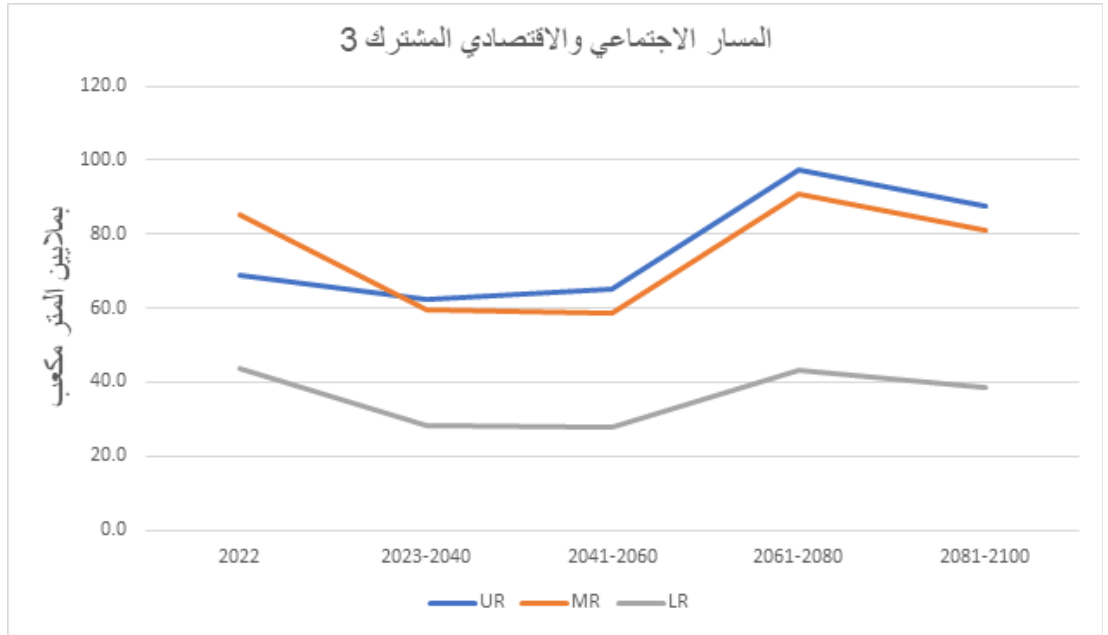
المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3			الأعوام المنطقة
المنطقة العلية	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	المنطقة العلية	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	
118	84	51	118	84	51	2022
87.8	79.9	82.3	76.3	69.4	69.8	20232040-
99.0	90.0	89.6	75.1	68.3	76.4	20412060-
82.3	74.8	77.7	116.8	106.2	110.4	20612080-
92.7	84.3	97.2	104.4	94.9	100.5	20812100-

من الجدول 1، يتم تقدير وعرض متوسط التغير في توفّر المياه من الجريان السطحي مقارنةً بعام 2022 في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5. الجدول 22. عوامل متوسط التغير في توفّر المياه في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 مقارنةً بعام 2022.

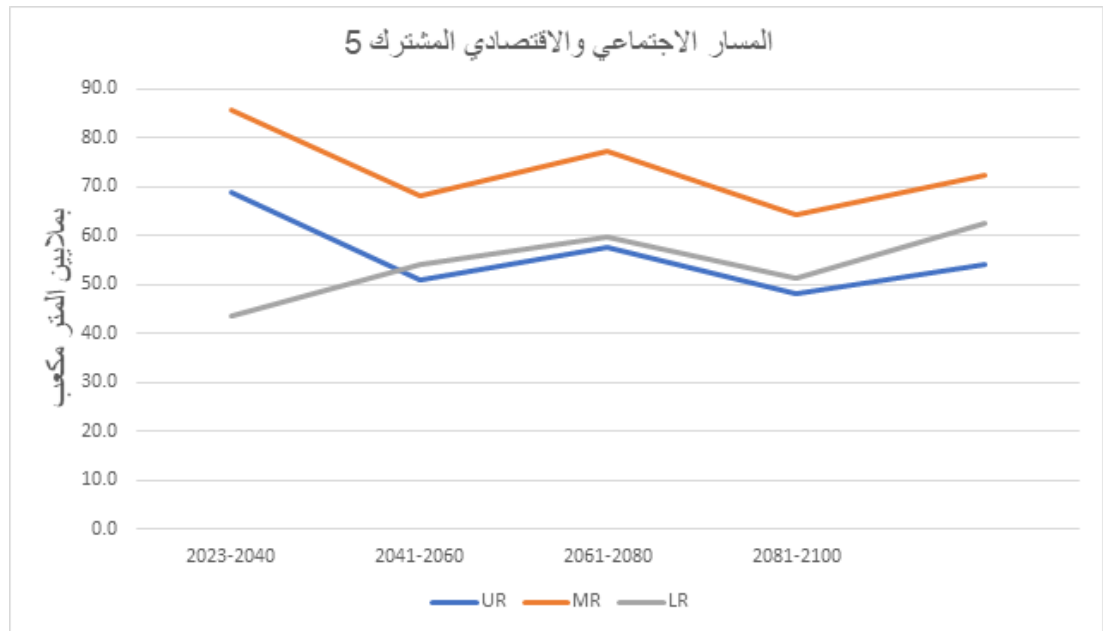
الجدول 22. عوامل متوسط التغير في توفّر المياه في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 مقارنةً بعام 2022.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3			المناخ
المنطقة العلية	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	المنطقة العلية	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	المنطقة
0.74	0.95	1.61	0.65	0.83	1.37	2022
0.84	1.07	1.76	0.64	0.81	1.50	20232040-
0.70	0.89	1.52	0.99	1.26	2.16	20412060-
0.79	1.00	1.91	0.88	1.13	1.97	20612080-
92.7	84.3	97.2	104.4	94.9	100.5	20812100-

من المفترض أن يكون للمنطقة العلية والمرتفعات نفس عوامل متوسط التغير في توفّر المياه، ثم باستخدام نفس الإجراء الذي تم استخدامه في القسم 3.2 في تقدير توفّر المياه من الجريان السطحي، يظهر الشكلين 12 و 13 التوقعات المستقبلية لتوفّر المياه في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 على التوالي. ففي ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، من المتوقع أن تزيد المنطقة السفلى من ندرة المياه بسبب سنوات الجفاف المتتالية التي ستستمر لفترات تتراوح من سنتين إلى أربع سنوات، خاصة بين عامي 2040 و 2060، فيما قد تكون هناك بعض الأعوام الممطرة بعد عام 2060 التي ستسبب فيضانات في المنطقتين العلية والوسطى، والتي سيتم دمجها مع عام ممطر بغزارة أكبر في المنطقتين العلية والوسطى، مما قد يسبب حدوث بعض الفيضانات.



الشكل 12. إجمالي توفّر المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3.



الشكل 13. إجمالي توفّر المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3.

موارد المياه غير التقليدية: تشمل موارد المياه غير التقليدية المعالجة والمياه المحلاة. يتم عرض سيناريوهين هنا:

- أ. السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية: ما من زيادة في موارد المياه غير التقليدية الحالية;
- ب. السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية: قُدرت المياه المعالجة بنسبة 33 % من الطلب المنزلي على المياه، وبالتالي سيتم تطبيق نفس النسب المئوية على التوقعات المستقبلية (سيتم إعادة استخدام المياه المعالجة كلها). علاوةً على ذلك، يمكن إضافة مورد مياه جديد، وهو محطة تحلية مياه تعمل بالطاقة الشمسية بطاقة إنتاجية تبلغ 10 مليون متر مكعب/سنة كل 20 عامًا إلى المنطقة السفلى بدءًا من عام 2040.

يعرض الجدول 23 والجدول 24 توقعات إمدادات المياه في المناطق الثلاث مع الأخذ في الاعتبار السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية والسيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية على التوالي.

الجدول 23. توقعات إمدادات المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3.

المنطقة السفلى		المنطقة الوسطى		المنطقة العليا		السنة
السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المرجعي لموارد المياه غير التقليدية	
52.8	52.8	86.5	86.5	68.8	68.8	2022
46.5	37.3	60.7	60.4	63.0	63.0	2040
60.7	36.8	60.9	59.5	66.2	66.2	2060
102.6	52.3	95.3	92.0	99.1	99.1	2080
145.7	47.6	88.8	82.0	90.8	90.8	2100

الجدول 24. توقعات إمدادات المياه في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5.

المنطقة السفلى		المنطقة الوسطى		المنطقة العليا		السنة
السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية	السيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية	
77.8	77.8	109.5	109.5	68.8	68.8	2022
112.7	103.6	91.3	91.0	62.5	51.0	2040
136.4	112.6	104.2	102.8	65.3	57.7	2060
148.6	98.3	89.0	85.7	97.4	48.1	2080
217.2	119.1	103.4	96.5	87.8	54.2	2100

7.3. توقعات التوازن المائي

بناءً على توقعات إمدادات المياه في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 وسيناريوهات استخدام المياه، يجري تقييم سيناريوهين لكل مسار منهما:

- **سيناريو مرجعي:** السيناريو المرجعي للطلب على المياه وموارد المياه غير التقليدية
- **سيناريو محسن:** سيناريو تحسين الري وتقليل النمو السكاني والسيناريو المحسن لموارد المياه غير التقليدية في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3

يعرض الجدول 25 التوقعات في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 مع الأخذ في الاعتبار السيناريو المرجعي والسيناريو المحسّن. كما يوضح الجدول أن المنطقتين الوسطى والسفلى ستعانيان من نقص في المياه في ظل السيناريو المرجعي حتى عام 2100، والذي سيصل إلى 29 و 288 مليون متر مكعب في عام 2100 في المنطقة الوسطى والمنطقة السفلى على التوالي. من ناحية أخرى، تُظهر التوقعات التي تستند إلى السيناريو المحسّن وضعًا أفضل في دلتا تبين بشكل عام بعد عام 2060. ومع ذلك، ستعاني المنطقة السفلى من نقص في المياه بحوالي 130 مليون متر مكعب، مما يبرز الحاجة إلى ما هو أكبر من محطات تحلية المياه الصغيرة في المنطقة السفلى.

السيناريو المحسّن				السيناريو المرجعي				السيناريو
الإجمالي	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	الإجمالي	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة
-36	-85	9	39	-36	-85	9	39	2022
-109	-123	-19	33	-119	-132	-19	32	2040
-91	-132	-1	42	-186	-195	-24	33	2060
-1	-119	41	77	-230	-292	0	62	2080
-43	-150	37	70	-479	-501	-24	46	2100

الجدول 25. توقعات التوازن المائي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3.

في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5

يعرض الجدول 26 التوقعات في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 مع الأخذ في الاعتبار السيناريو المرجعي والسيناريو المحسّن. كما يوضح الجدول أن المنطقة السفلى ستواجه نقصًا حادًا في المياه في ظل السيناريو المرجعي، في حين أن السيناريو المحسّن قد يحسن الوضع في دلتا تبين بشكل عام. ومع ذلك، قد يساعد وضع خطة مناسبة لإدارة المياه في تزويد المنطقة السفلى بالمياه من المنطقتين العليا والوسطى.

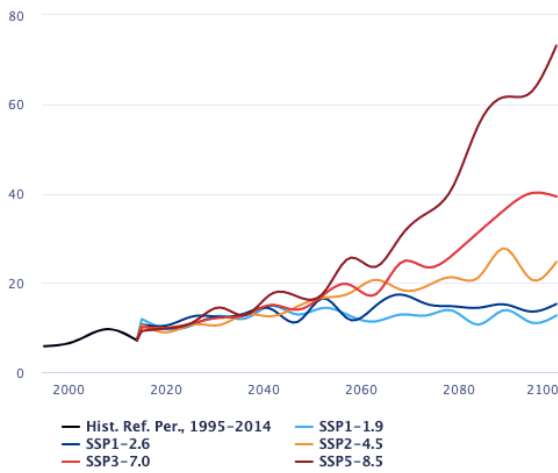
السيناريو المحسّن				السيناريو المرجعي				السيناريو
الإجمالي	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	الإجمالي	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة
-36	-85	9	39	-36	-84	9	39	2022
-40	-123	4	21	-65	-89	3	20	2040
5	-132	33	34	-102	-145	9	34	2060
-20	-119	26	28	-256	-268	-14	26	2080
-10	-150	41	36	-440	-455	-19	34	2100

الجدول 26. توقعات التوازن المائي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5.

8. التأثيرات/المخاطر المناخية

8.1. موجات الحرارة

وفقًا للنموذج المناخي الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية، سيزداد عدد الأيام الحارة لكل سنة، وقد تزيد بدءًا من عام 2050 لتصل إلى 40 يومًا في سنة في ظل مسار التركيز التمثيلي 7، و 70 يومًا في السنة ظل مسار التركيز التمثيلي 8.5 في عام 2100 الشكل 14.



الشكل 14. عدد الأيام الحارة > 40 درجة مئوية في لحد

سيؤدي هذا الارتفاع في درجات الحرارة إلى زيادة معدلات التبخر والنتح وندرة المياه في دلتا تبين، مما يتسبب في انخفاض مستوى الإنتاج الزراعي (الأمن الغذائي) وإمدادات المياه المنزلية. تظهر شدة موجات الحرارة، على مقياس من 1 إلى 4، حيث إن 1 - لا تُكاد تذكر؛ 2 - عادية؛ 3 - درجة؛ و 4 - كارثية، في الجدول 27.

الجدول 27. شدة مخاطر موجات الحرارة.

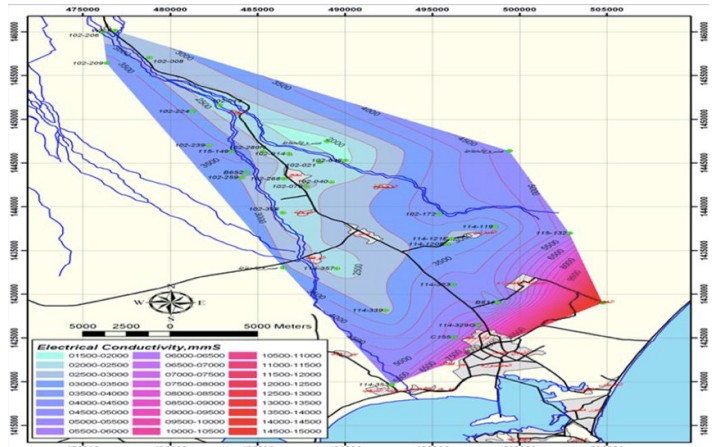
المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 ((مسار التركيز التمثيلي 7			السنة / المنطقة
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	
2	1	1	2	1	1	20232040-
3	2	2	3	2	2	20412060-
4	4	3	4	3	3	20612080-
4	4	3	4	4	3	20812100-

8.2. تسرب المياه المالحة

قُدِّرت ملوحة المياه الجوفية في دلتا تبين بناءً على الموصلية الكهربائية. وقد زادت تركيزات الموصلية الكهربائية بصورة عامة في دلتا تبين بالقرب من الساحل بسبب الاستهلاك المفرط وتسرب المياه المالحة. علاوةً على ذلك، فإن نوع طبقة المياه الجوفية بالقرب من الساحل شبه محصورة (Squarespace nd)، مما يسمح بتسرب المياه المالحة ودرجتها من طبقة المياه الجوفية قليلة الملوحة.

وعلى الجانب الآخر، تعمل خصائص الصخور على إبقاء مستويات الملوحة في المنطقتين الوسطى والعلية متوسطة الشكل 15

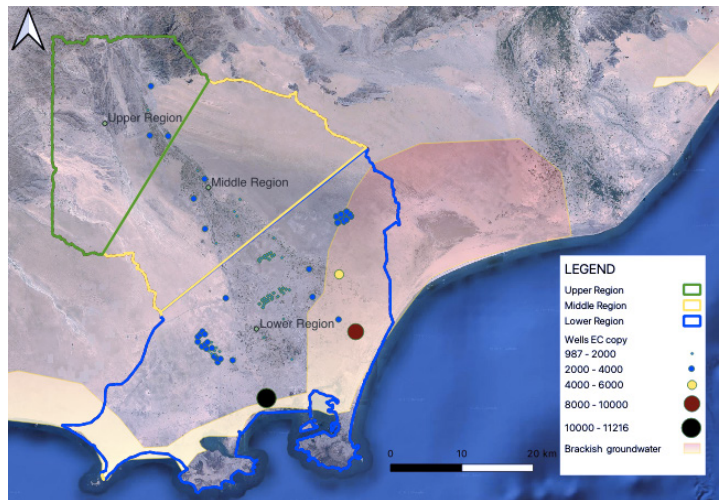
وفقاً لمعايير مياه الشرب اليمنية، يفضل أن تكون الموصلية الكهربائية لمياه الشرب أقل من 1000 ميكرو ثانية/سم ويمكن أن يصل الحد الأقصى المسموح به إلى 2500 ميكرو ثانية/سم (صالح وآخرون، 2017). من ناحية أخرى، توصي منظمة الصحة العالمية أن تتراوح الموصلية الكهربائية لمياه الشرب بين 400-800 ميكرو ثانية/سم، حيث إن المياه التي تتراوح موصليتها الكهربائية بين 800-2500 ميكرو ثانية/سم يمكن استخدامها لأغراض الري والثروة الحيوانية (الخشمان، 2014).



الشكل 15. خطوط تركيز الموصلية الكهربائية في دلتا تبن

يوضح الشكل 16 تركيزات الموصلية الكهربائية في بعض الآبار بدلتا تبن. كما يشير إلى أن تركيزات الموصلية الكهربائية عالية في جميع الآبار الموجودة بالقرب من الساحل ولا سيما الآبار الموجودة في طبقة المياه الجوفية قليلة الملوحة.

في عام 2023 وبعد دراسة بيانات الهيئة الوطنية للمياه والصرف الصحي لعام 2019، تبين أن العديد من آبار حقل بئر دار المناصرة الذي يقع على بعد 15 كم شمال الخط الساحلي الشرقي، تحتوي على تركيز عال في الموصلية الكهربائية (أكثر من 2500 ميكرو ثانية/سم)، مما يعني أن المياه التي يتم تصريفها قليلة الملوحة، والتي تقع حوالي 20 متراً تحت مستوى سطح البحر.



الشكل 16. تركيزات الموصلية الكهربائية في بعض الآبار بدلتا تبن.

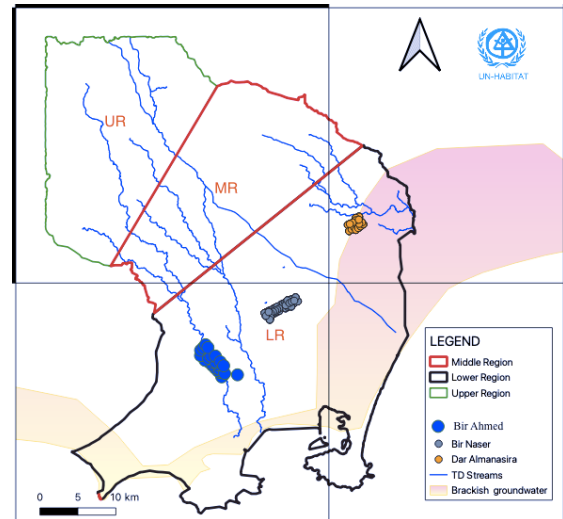
وبمتوسط انخفاض سنوي يبلغ 5 أمتار في منسوب المياه الجوفية، ستصبح جميع آبار حقل بئر دار المناصرة مالحة بحلول عام 2040، وبالتالي لن تكون المياه التي يتم تصريفها صالحة للشرب إلا، على سبيل المثال، بتنقيتها/معالجتها كما ينبغي من خلال نظام التناضح العكسي، إلا أنه بوسعنا استخدام هذه المياه لري المحاصيل التي تتحمل الملوحة.

تعتبر الزراعة الملحية الحيوية، وهي عملية زراعة ونمو النباتات في المياه الجوفية و/أو التربة الغنية بالمياه المالحة، مهمة. فهي تمكن من استخدام مياه ذات جودة منخفضة لري بعض الأنواع النباتية وتكييفها مع الظروف المناخية المحلية (عمارة واليوسف، 2022)، فذ عندك المغرب مثلاً، فقد تم اختبار بعض أنواع المحاصيل هناك، وتبين أن هذه المحاصيل تتحمل درجة عالية من الملوحة، وأهمها الكينوا والدخن اللؤلؤي والشعير والبانيكوم الأزرق (هيريتش وآخرون، 2021).

هناك عدد قليل جدًا من الآبار خارج حقل بئر أحمد موصلينها الكهربائية أقل من 2000 ميكرو ثانية/سم، وهو بئر يبعد 8-14 كم عن الساحل. وعلى هذا تتمركز هذه الآبار في طبقة مياه جوفية منخفضة الإنتاجية وفوق المياه المالحة، أي تقع على بعد حوالي 65-70 مترًا تحت السطح مما يعني أن هذه الآبار عرضة لمخاطر الجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر. يقع حقل البئر على ارتفاع 40 مترًا فوق مستوى سطح البحر، فإذا حدث جفاف قد يفكر الناس في تعميق هذه الآبار متجاهلين احتمالية وصولهم إلى طبقة المياه الجوفية المالحة، وإذا ما حدث جفاف وظل الناس يستخرجون المياه الجوفية ستصبح الآبار مالحة بعد عام 2080. وقد قال أبو بكر مناقشًا هذه القضية (2012): إن الآبار التي يبلغ عمقها 65 مترًا أو أكثر ستصبح مياهها مالحة.

يتمتع حقل بئر ناصر الذي يبعد حوالي 16 كم عن الساحل بجودة مياه ممتازة، والموصلية الكهربائية تتراوح بين 1500 و 1800 ميكرو ثانية/سم حسب المعايير اليمنية. ومع ذلك، فإن هذه الآبار عرضة لخطر ارتفاع مستوى سطح البحر والاستغلال المفرط، وعليه سترتفع تركيزات الموصلية الكهربائية. يبلغ منسوب المياه الساكنة في الآبار حوالي 20-30 متر تحت مستوى سطح البحر، وستصبح المياه مالحة عندما يصل منسوب المياه الساكنة إلى 80 مترًا تحت مستوى سطح البحر. وقد تصبح الآبار مالحة بعد عام 2080 إذا ما حدث جفاف وظل الناس يستخرجون المياه الجوفية.

إذا أصبحت هذه الآبار التي هي مورد مياه الشرب الرئيسي مالحة، فإن سكان المنطقة السفلى ولا سيما عدن سيعانون من أزمة مائية ستؤثر سلبيًا على الاحتياجات المائية المنزلية. الشكل 17 كما ستأثر الآبار القانونية وغير القانونية الأخرى المستخدمة للري في المنطقة الساحلية. وعليه سنحتاج إلى تبني استراتيجيات تخصيص جديدة وسيحتاج علينا البحث عن موارد مائية جديدة تغطي الطلب المنزلي.



الشكل 17. حقول الآبار الرئيسية في المنطقة السفلى.

وفي هذا السياق، اقترحت الهيئة الوطنية للمياه والصرف الصحي في عدن دفن آبار جديدة بعمق 300-350 مترًا لتغطية الطلب المتزايد على المياه، ويوصى بعدم تعميق الآبار في المنطقة الساحلية لأنها قد تصل إلى المياه المالحة؛ وإذا نظرنا إلى هذا الأمر، فإن هذا الحل قد لا يكون حلًا مستدامًا. من ناحية أخرى، قد يكون بناء محطات تحلية مياه تعمل بالطاقة الشمسية خيارًا مستدامًا لتغطية الطلب المتزايد على المياه في عدن.

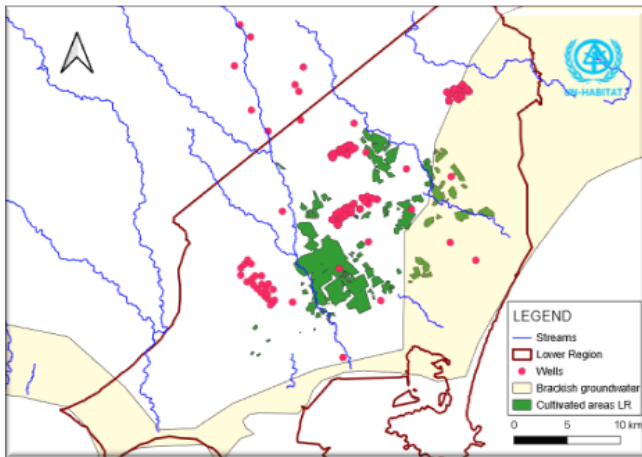
ستستمر مستويات تسرب المياه المالحة في الارتفاع بسبب ازدياد الطلب على المياه وسنوات الجفاف بين عامي 2023 و 2040. بعد عام 2040، سترتفع احتمالية قدوم سنوات أكثر رطوبة. ومع ذلك، قد تصعب عوامل مثل الزيادة السكانية والضخ غير الخاضع للرقابة مسألة الحد من تسرب المياه المالحة.

يوضح الجدول 28 مخاطر تسرب المياه المالحة في حقول آبار إمدادات المياه الرئيسية في عدن مع مراعاة استمرار استخراج المياه الجوفية بصورة غير قانونية وغير خاضعة للرقابة.

الجدول 28. خطر تسرب المياه المالحة في المنطقة الساحلية بدلتا تبين.

تسرب المياه المالحة			السنة/حقول البئر
بئر ناصر	بئر أحمد	دار المناصرة	
خطر منخفض	خطر منخفض	خطر مرتفع	20232040-
خطر متوسط	خطر متوسط	مالحة	20412060-
خطر مرتفع	خطر مرتفع	مالحة	20612080-
مالحة	مالحة	مالحة	20812100-

من ناحية أخرى، سيضر تسرب المياه المالحة بالمحاصيل الزراعية. في الآونة الأخيرة، لم يُزرع سوى 2948 هكتارًا من إجمالي الأراضي الزراعية في المنطقة السفلى (تبلغ مساحة أراضيها 8859 هكتارًا) بسبب تغير المناخ (قلة المياه). ومع ذلك، فإن حوالي 10 ٪ من الأراضي المزروعة يتم ريها بالمياه قليلة الملوحة الشكل 18، وستصل هذه النسبة إلى 20 ٪ بحلول عام 2040، مما قد يؤدي إلى تقليل مساحات الأراضي المزروعة، ويؤثر سلبيًا على الأمن الغذائي في المنطقة.



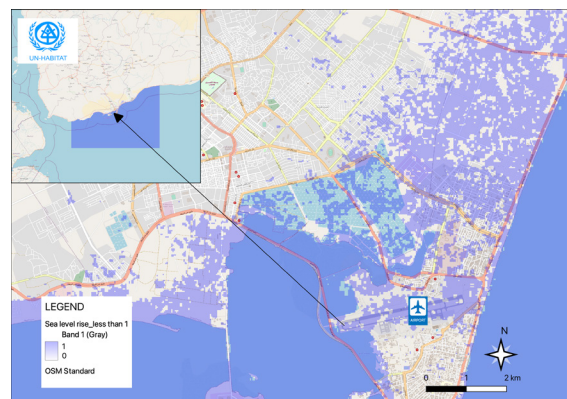
الشكل 18. تأثير تسرب المياه المالحة على الأراضي الزراعية في المنطقة السفلى.

في هذا الصدد، استنادًا إلى بوابة المعارف الخاصة بتغير المناخ، يظهر الشكل 20 ارتفاع مستوى سطح البحر بين عامي 2008 و 2100 في ظل مسارات التركيز التمثيلية 2.6 و 4.5 و 8.5. بينما استنادًا إلى النموذج المناخي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6، يظهر الجدول 29 ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 5 و 4 (المركزى 2023).

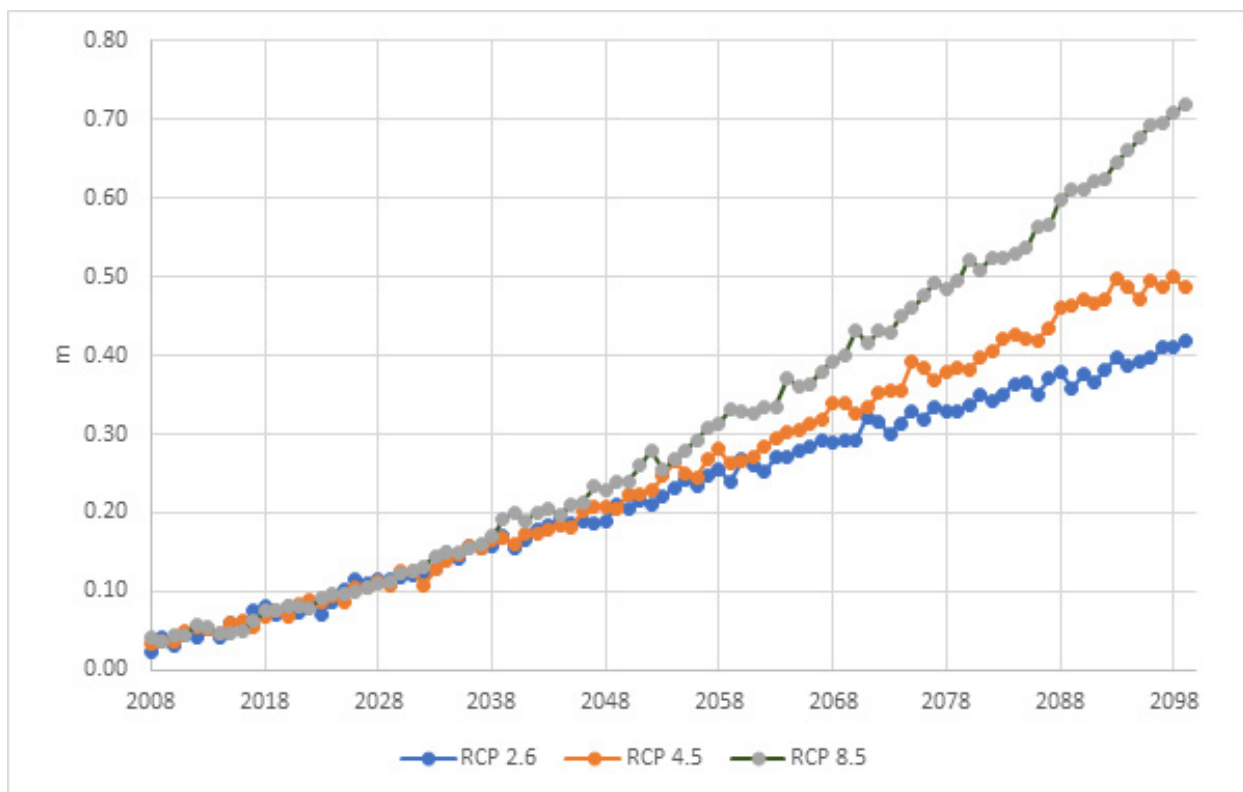
8.3. ارتفاع مستوى سطح البحر

8.3.1. رسم الخرائط للمناطق المعرضة للتأثر بارتفاع مستوى سطح البحر

تم رسم خرائط المناطق التي ستتأثر إذا ارتفع مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد باستخدام نظام المعلومات الجغرافية الكمية. يوضح الشكل 19 أن معظم المناطق الساحلية في عدن قد تتأثر ولا سيما المطار. ومع ذلك، فإن زيارة منطقة المطار تظهر أن البنية التحتية للطرق السريعة في محيط المطار ستتأثر وتقل من التأثير المتوقع على المطار وعلى المناطق الساحلية الأخرى.



الشكل 19. تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر في المناطق الساحلية بعدن.



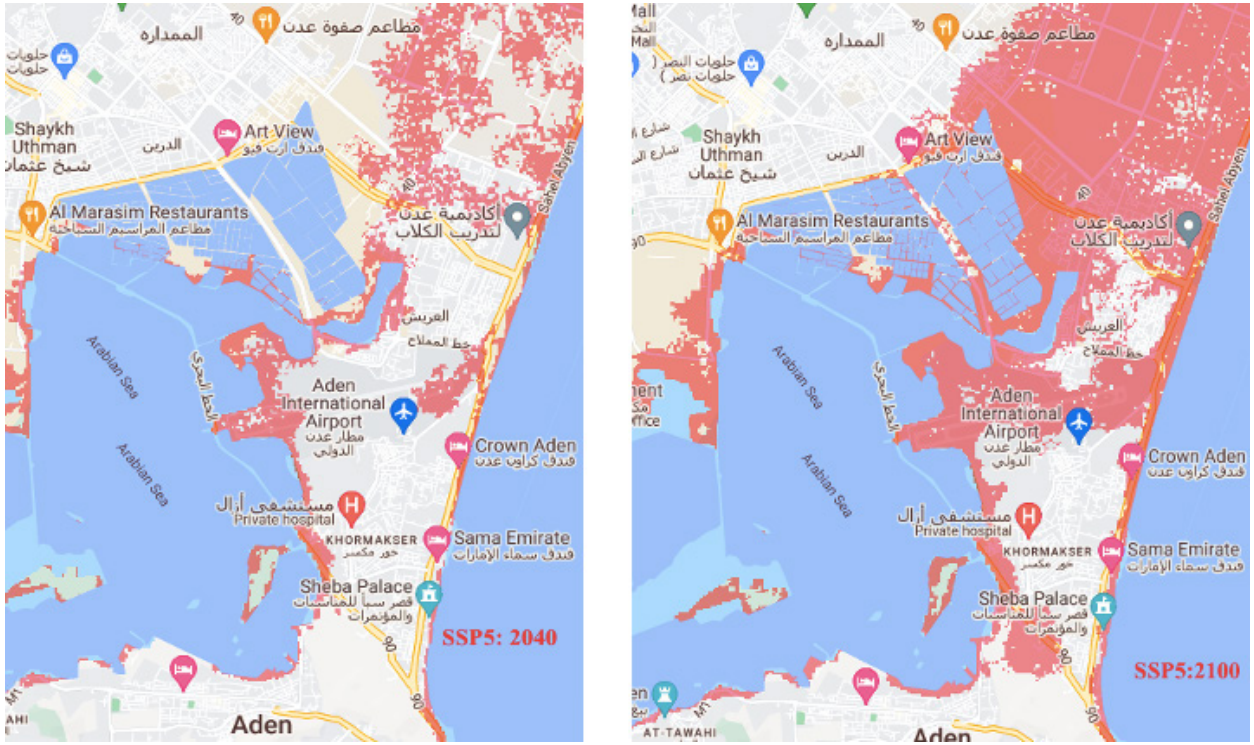
الشكل 20. التوقعات المستقبلية لمستوى سطح البحر على السواحل اليمنية.

السنة	المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)	المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)
2020	0.05	0.05
2040	0.16	0.16
2060	0.31	0.28
2080	0.51	0.46
2100	0.77	0.67

الجدول 29. ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع (م) في إطار النموذج المناخي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة⁶.

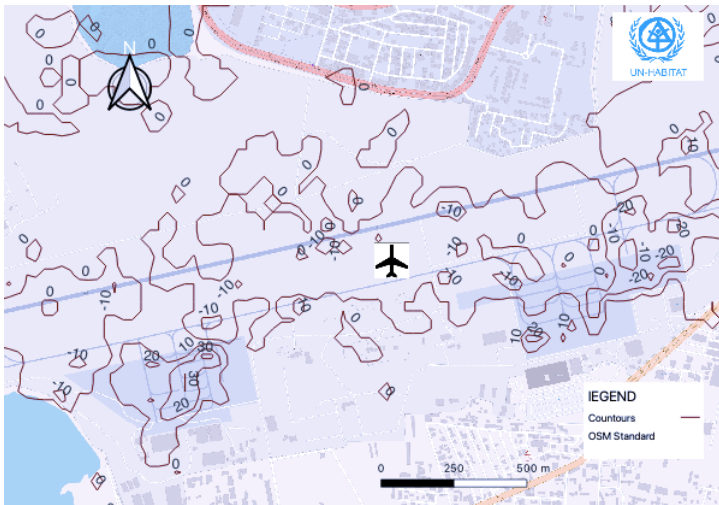
8.3.2. تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر

قد يؤثر ارتفاع مستوى سطح البحر على معظم المباني بالقرب من الساحل الذي يوازي سطح البحر أو يقل عنه ارتفاعاً. تظهر خرائط ارتفاع مستوى سطح البحر في ظل مسار التركيز التمثيلي 8.5 أن الخطر سيكون منخفضاً في عام 2040 في المنطقة الساحلية مقارنةً بعام 2100، والذي سيتأثر به المطار إذا لم يتم اتخاذ أي تدابير.



الشكل 21. ارتفاع مستوى سطح البحر بين عامي 2040 و 2100 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5.

وفقًا للشكل 21، ستصبح تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر خطيرة بحلول عام 2100 بناءً على المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، والتي قد تتضرر منها المواقع/البنى التحتية التالية إذا لم يتم اتخاذ تدابير حماية مناسبة في محيطها: فندق سما الإمارات وفندق كراون عدن وأكاديمية عدن ومطاعم المراسم وفندق آرت فيو. علاوة على ذلك، يقع المطار على ارتفاع يتراوح بين 0 و -10 أمتار تحت مستوى سطح البحر، مما يعني أن ارتفاع مستوى سطح البحر سيشكل تهديدًا حقيقيًا للمطار بحلول عام 2100.



الشكل 22. الخطوط العريضة في منطقة المطار

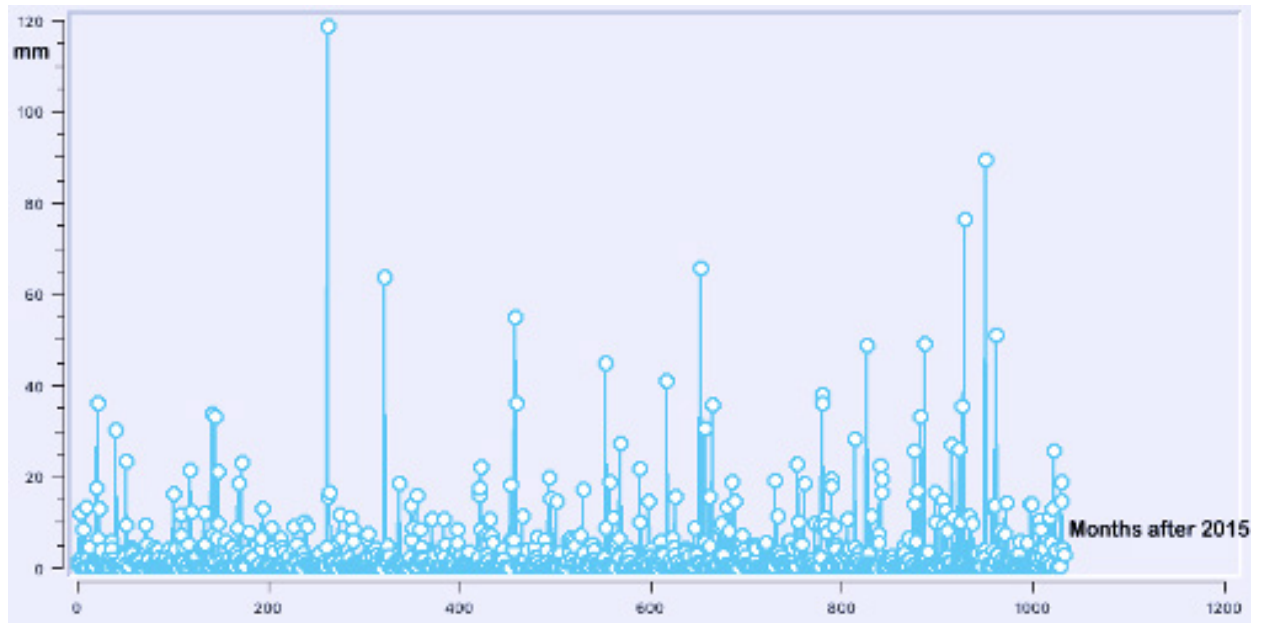
من ناحية أخرى، سيزيد ارتفاع مستوى سطح البحر من تسرب المياه المالحة إلى العديد من الآبار في عدن، ولا سيما حقل بئر دار المناصرة وبئر ناصر، الأمر الذي سيؤثر على إمدادات المياه المنزلية في عدن.

8.4. الفيضانات

قد يحدث المزيد من الفيضانات بسبب زيادة الأمطار الغزيرة/العواصف الممطرة. باستخدام النموذج المناخي الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية (يوكيموتو وآخرون. 2019 ب)، تشير التوقعات إلى هطول أمطار بالغة الغزارة التي قد تصل إلى 80-100 مم في بعض الأشهر، والتي قد تحدث بين عامي 2038 و 2040 في ظل كلا مساري التركيز التمثيليين، وبعد 2060-2063 و 2072-2077 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)، وبين عامي 2033 و 2037 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)، مما يؤدي إلى حدوث فيضانات.



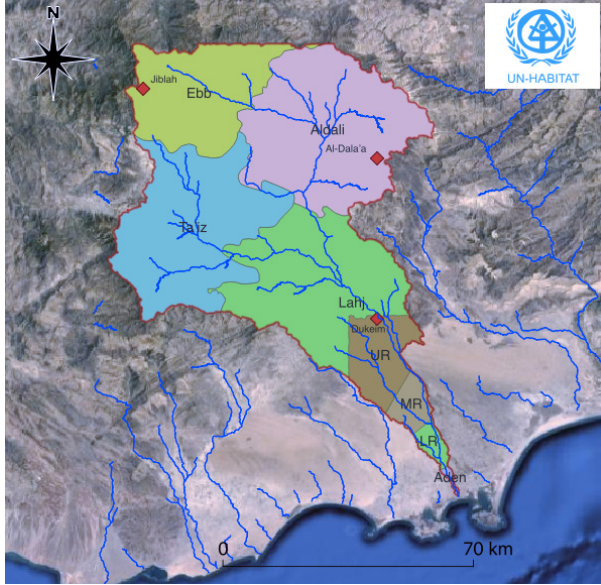
الشكل 23. هطول الأمطار الشهري في دلتا تين بين عامي 2015 و 2100، المسار الاقتصادي والاجتماعي المشترك 3.



الشكل 24. هطول الأمطار الشهري في تين من عام 2015 إلى عام 2100 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5.

8.4.1. قياس كمية الجريان السطحي

يعرض قياس كمية الجريان السطحي بسبب أكبر هطول للأمطار في يوم واحد فكرة عن مدى خطورة الفيضانات. ومع ذلك، لتقدير مخاطر الفيضان المفاجئ، سندرس مستجمعات المياه الرئيسية في تبن.



كما هو موضح في الشكل 25، سيأتي جريان المياه أولاً من 1730 كم² و 990 كم² و 1550 كم² من الضالع وإب وتعز على التوالي من خلال 1400 كم² من لحد إلى الدكيم في قمة دلتا تبن إلى 392 كم² من المنطقة العليا و 136 كم² من المنطقة الوسطى و 84 كم² من المنطقة السفلى ثم إلى المحيط في عدن.

الشكل 25. حدود مستجمع مياه تبن الذي يسبب الفيضانات المفاجئة في دلتا تبن.

يمكن قياس شدة الفيضانات بناءً على أكبر معدل هطول أمطار في يوم واحد بكل منطقة الجدول 30.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)							المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)							
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	لحد	الضالع	إب	تعز	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	لحد	الضالع	إب	تعز	المنطقة
2	2	2	2	6	7	1	1.5	8	8	8	10	11	9	2023-2040
5	11	11	11	15	14	9	4	10	10	10	16	14	13	2041-2060
20	20	20	20	24	28	27	24	19	19	19	16	19	23	2061-2080
41	30	30	30	26	30	33	18	23	23	23	29	39	30	2081-2100

الجدول 30. أكبر هطول للأمطار في يوم واحد (مم).

ثم يتم تقدير الجريان السطحي الناتج في دلتا تين باستخدام المنهج العقلاني، الجدول 31.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)			الأعوام
المنطقة السفلى/ عدن	المنطقة الوسطى	دوكيم/ المنطقة العليا	المنطقة السفلى/عدن	المنطقة الوسطى	دوكيم/ المنطقة العليا	
133	131	126	336	329	310	2023-2040
439	428	403	473	463	441	2041-2060
880	854	809	702	675	632	2061-2080
1087	1044	976	1053	1026	974	2081-2100

الجدول 31. تدفق ذروة الجريان السطحي بسبب أكبر هطول للأمطار في يوم واحد (م³/ثانية).

8.4.2. تقييم الفيضانات في المناطق الحضرية

تواجه المنطقة السفلى بشكل عام أربعة مخاطر مناخية رئيسية وهي الفيضانات والجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر وتسرب المياه المالحة، بينما تواجه المنطقة الوسطى بشكل أساسي الفيضانات والجفاف. بمقارنة المتوسط الفعلي لمعدلات هطول الأمطار السنوية التي كانت 45 و 54 و 62 ملم في المنطقة السفلى والمنطقة الوسطى والمنطقة العليا على التوالي مع معدلات هطول الأمطار المتوقعة، يمكن تقدير النسب المئوية لهذه التغييرات، الجدول 32 يوضح زيادة عامة في شركاء هطول الأمطار السنوي بعد عام 2040.

التغير السنوي (%) / مسار التركيز التمثيلي 8.5			التغير السنوي (%) / مسار التركيز التمثيلي 7			السنة / المنطقة
المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى	
42	49	84	23	29	56	2040-2023
60	68	100	21	27	71	2060-2041
33	40	74	88	98	147	2080-2061
4	4	117	68	77	125	2100-2081

الجدول 32. التغير المستقبلي في معدلات هطول الأمطار في دلتا تين.

يمكن تقسيم شدة الفيضانات في المناطق الحضرية في أربع فئات بناءً على ارتفاع نسب هطول الأمطار السنوي مقارنةً بمتوسط القيم، الجدول 33:

1. لا تُكاد تذكر: شدة منخفضة عندما يكون الارتفاع في أنماط هطول الأمطار أقل من 51 %.
2. عادية: شدة متوسطة عندما يكون الارتفاع في أنماط هطول الأمطار بين 51 و 99 %.
3. حرجية: شدة خطيرة عندما يكون الارتفاع في أنماط هطول الأمطار بين 100 و 200 %.
4. كارثية: شدة بالغة الخطورة عندما يكون الارتفاع في أنماط هطول الأمطار أكثر من 200 %.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3			السنة/ المنطقة
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	
2	1	1	2	1	1	2040-2023
3	2	2	2	1	1	2060-2041
2	1	1	3	2	2	2080-2061
3	2	2	3	2	2	2100-2081

الجدول 33 . شدة الفيضانات في المناطق الحضرية بدلتا تبين.

- 1- غير محتملة (أقل من 20 %)
- 2- عن بعد (بين 20 و 39 %)
- 3- عرضي (بين 40 و 59 %)
- 4- محتمل (بين 60 و 80 %)
- 5- متكررة: أكثر من 80 %

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3			السنة/ المنطقة
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	
1	1	1	1	1	1	2040-2023
2	2	2	1	1	2	2060-2041
1	1	1	3	3	4	2080-2061
3	3	3	3	2	3	2100-2081

الجدول 34 . احتمالية حدوث الفيضانات في المناطق الحضرية.

وعليه يمكن تقدير قيم تقييم مخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية وتصنيفها إلى خمس فئات (من الفئة الأولى (1) إلى الفئة الخامسة (5))؛ منخفضة أو منخفضة/متوسطة أو متوسطة أو متوسطة/مرتفعة أو مرتفعة الجدول 35.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)			السنة/ المنطقة
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	
1	1	1	1	1	1	2040-2023
2	2	2	1	1	1	2060-2041
1	1	1	3	2	3	2080-2061
3	3	3	3	2	2	2100-2081

الجدول 35 . تقييم مخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية في ظل السيناريوهين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.

8.4.3. تقييم الفيضانات المفاجئة

تحدث الفيضانات المفاجئة بسبب تدفق الجريان السطحي الذي يأتي من المرتفعات قبل دلتا تبن (في دوكيم). بلغ متوسط تدفق المياه السنوي في دوكيم 110 مليون متر مكعب بين عامي 1980 و 2014. وقد بلغ أكبر تدفق شهري حوالي 31 مليون متر مكعب في شهر سبتمبر بينما كان أدنى تدفق 0.25 مليون متر مكعب في شهر مارس. ومع ذلك، في شهر مارس 1982 وصل التدفق إلى 225 مليون متر مكعب مما أدى إلى حدوث فيضان كارثي. بالنظر إلى أن الفيضان قد حدث بسبب هطول الأمطار لمدة خمسة أيام، فإن متوسط التدفق في دوكيم سيكون حوالي 521 متر مكعب/ثانية. وعليه يمكن تقييم شدة الفيضانات المفاجئة بناءً على ذروة التدفق في دوكيم وعدن على النحو التالي:

1. شدة منخفضة عندما تكون ذروة التدفق أقل من 200 م³/ثانية،
2. شدة متوسطة عندما تكون ذروة التدفق بين 200 و 350 م³/ثانية،
3. شدة خطيرة عندما تكون ذروة التدفق بين 350 و 500 م³/ثانية
4. شدة بالغة الخطورة عندما تكون ذروة التدفق أكثر من 500 م³/ثانية.

يعرض الجدول 36 توقعات شدة الفيضانات المفاجئة في المناطق الثلاث حتى عام 2100.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)			الأعوام
المنطقة السفلى/ عدن	المنطقة الوسطى	دوكيم/ المنطقة العليا	المنطقة السفلى/عدن	المنطقة الوسطى	دوكيم/ المنطقة العليا	
1	1	1	2	2	2	20232040-
3	3	3	3	3	3	20412060-
4	4	4	4	4	4	20612080-
4	4	4	4	4	4	20812100-

الجدول 36 . شدة الفيضانات في المناطق الحضرية بدلتا تبن.

ثم يمكن تصنيف تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة، يمكن تصنيفها على أساس الخطورة والنظر في احتمالية منخفضة (أقل من 20%). الجدول 37

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)			الأعوام
المنطقة السفلى/ عدن	المنطقة الوسطى	دوكيم/ المنطقة العليا	المنطقة السفلى/عدن	المنطقة الوسطى	دوكيم/ المنطقة العليا	
1	1	1	1	1	1	20232040-
1	1	1	1	1	1	20412060-
2	2	2	2	2	2	20612080-
2	2	2	2	2	2	20812100-

الجدول 37 . تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة.

8.4.4. تأثيرات الفيضانات

يوجد أكثر من 200 سد وحاجز مائي في حوض تبن، وهي تتمركز بشكل رئيسي في المنطقة العليا والتي تبلغ سعتها 5 مليون متر مكعب. هذه السدود ممتلئة بنسبة 70 %، وبذلك يمكنها استيعاب 1.5 مليون متر مكعب فقط. وبالتالي، بناءً على معدلات هطول الأمطار البالغة الغزارة المعروضة في الجدول 30، ستندفق كميات كبيرة من مياه الفيضانات في اتجاه مجرى النهر في الجداول وقد تشكل مخاطر كبيرة على البنية التحتية والأراضي الزراعية القريبة من الجداول وفي المنطقة الساحلية. فعلى سبيل المثال في المنطقة العليا، قد تتأثر قريتان (وهما الشقعة وزايدة) وبعض الأراضي الزراعية القريبة من التيارات المائية بسبب الفيضانات من وادي تبن، الشكل 26



الشكل 26. قد تتأثر قريتان في المنطقة العليا (الشقعة وزايدة) في حالة حدوث فيضانات في وادي تبن

في هذا الصدد، بناءً على مجموعات النقاش المركزة، حدث فيضان بالغ الشدة في عام 1982 بسبب معدل هطول الأمطار الغزيرة التي أدت إلى تدفق عنيف للمياه، 225 مليون متر مكعب في مارس 1982، في دوكم (في الجزء العلوي من دلتا تبن).



الشكل 27. الجداول والبنية التحتية الرئيسية في دلتا تبن.

يعرض الجدول 38 البنية التحتية الرئيسية في دلتا تبن والمخاطر المناخية المرتبطة بها بناءً على مواقعها مراعيًا خطر ارتفاع مستوى سطح البحر بعد عام 2080، وخطر الفيضانات التي قد تحدث بعد عام 2060، والموقع (المسافة إلى الجداول/المحيط) الشكل 27

الجدول 38 . الأصول والبنية التحتية الرئيسية والمخاطر المرتبطة بها في دلتا تين.

المخاطر المناخية	المنطقة	الاسم
مخاطر مرتفعة من الفيضانات	المنطقة السفلى	مطار عدن
التنوع البيولوجي	التنوع البيولوجي	التنوع البيولوجي
خطر متوسط من الفيضانات	المنطقة الوسطى	القناة الطبيعية من بيزاج وير إلى الحزم وير
خطر مرتفع من ارتفاع مستوى سطح البحر	المنطقة السفلى	محمية البجع الطبيعية
خطر متوسط من ارتفاع مستوى سطح البحر	المنطقة السفلى	الأراضي الرطبة في الحسوة
التراث	التراث	التراث
خطر مرتفع في حدوث فيضان	المنطقة العليا	قصر دار العرائس
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة الوسطى	قصر الروضة
خطر منخفض	المنطقة الوسطى	قصر القمندان
المستشفيات		
خطر منخفض	المنطقة الوسطى	مستشفى ابن خلدون
خطر متوسط من الفيضانات	المنطقة السفلى	مستشفى الوهط
خطر متوسط من الفيضانات	المنطقة السفلى	مستشفى عدن
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مستشفى الجمهورية
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مستشفى الصادق
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مستشفى مصافي عدن
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مستشفى 22 مايو
محطات الطاقة	محطات الطاقة	محطات الطاقة
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة الوسطى	محطة عباس لتوليد الكهرباء
خطر منخفض	المنطقة السفلى	محطة الحسوة الكهرو حرارية
خطر منخفض	المنطقة السفلى	محطة المنصورة لتوليد الكهرباء
خطر منخفض	المنطقة السفلى	محطة كهرباء خور مكسر
خطر منخفض	المنطقة السفلى	محطة كهرباء جيف
خطر متوسط من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة كهرباء شيناز
إمدادات المياه ومحطات معالجة المياه العادمة		
خطر مرتفع من الفيضانات	المنطقة العليا	محطة إمداد مياه العند
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة الوسطى	محطة إمداد مياه الحوطة
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة الوسطى	محطة معالجة المياه العادمة بالحوطة
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة إمداد مياه بئر ناصر
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة إمداد مياه البرزخ
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة إمداد مياه بئر أحمد
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة معالجة المياه العادمة بصابر

خطر متوسط من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة إمداد مياه البرزخ
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة إمداد مياه بئر أحمد
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة معالجة المياه العادمة بصابر
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة معالجة المياه العادمة بالمنصورة
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة معالجة المياه العادمة بمنطقة العريش
خطر مرتفع من الفيضانات	المنطقة السفلى	محطة معالجة المياه العادمة بصلاح الدين
مدافن النفايات (إدارة النفايات)		
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة السفلى	مدافن النفايات بالفشلة
خطر متوسط من ارتفاع مستوى سطح البحر	المنطقة السفلى	مدافن النفايات بالحسوة
خطر منخفض	المنطقة السفلى	المتحف الوطني في عدن
خطر متوسط في ارتفاع مستوى سطح البحر	المنطقة السفلى	محمية الحسوة للأراضي الرطبة
مخيمات النازحين		
خطر منخفض من الفيضانات	المنطقة الوسطى	مخيم الخداد للنازحين
خطر مرتفع من الفيضانات	المنطقة السفلى	مخيم الفيوش للنازحين
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مخيم الرجاء للنازحين
خطر مرتفع من الفيضانات	المنطقة السفلى	مخيم الرباط للنازحين
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مخيم مدينة الشعب للنازحين 1
خطر منخفض	المنطقة السفلى	مخيم مدينة الشعب للنازحين 2
الطرق		
خطر مرتفع من الفيضانات	المنطقة السفلى	طريق واحة الرقاع
خطر مرتفع من الفيضانات	المنطقة السفلى	طريق واحة الرقاع

استنادًا إلى التحليل الوطني لمخاطر الفيضانات لمجموعة تنسيق شؤون المخيمات وإدارتها لمواقع النازحين في اليمن (REACH 2023)، يعرض الجدول 39 بعض هذه المواقع التي ستتأثر بالفيضانات بعد عام 2060.

المحافظات	اسم المنطقة	اسم الموقع باللغة الإنجليزية	اسم الموقع باللغة العربية	المنطقة	خطر الفيضانات
عدن	البريقة	البريقة	رأس عباس	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
عدن	دار سعد	دار سعد	حوش درهم	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
عدن	دار سعد	دار سعد	موقع عمار بن ياسر	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
عدن	دار سعد	دار سعد	حوش عثمان	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
عدن	دار سعد	دار سعد	المعهد السعودي	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
لحج	تبين	الحوطة - تبين	الرباط الغربي	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
لحج	تبين	الحوطة - تبين	المخشابة	المنطقة الوسطى	خطر مرتفع
لحج	تبين	الحوطة - تبين	سد فالج	المنطقة الوسطى	خطر مرتفع
لحج	تبين	الحوطة - تبين	مخيم عطيرة	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
لحج	ردفان	الحبيلين	المحوى الأعلى	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
لحج	ردفان	الحبيلين	محوى الكهرباء	المنطقة العليا	خطر مرتفع
لحج	الملاح	الملاح	سيلة بله	المنطقة السفلى	خطر مرتفع
لحج	ردفان	الحبيلين	المحوى الاسفل	المنطقة السفلى	خطر مرتفع

الجدول 39 . النازجون المعرضون لخطر الفيضانات في دلتا تين.

8.5. الجفاف

يعتمد الجفاف على درجة شدته وفترة دوامه، وللجفاف أربع أنواع:

1. الجفاف الجوي ويمثل التغير في القياس المناخي بالمحطات المناخية (هطول الأمطار، درجة الحرارة، الرطوبة،...وما إلى ذلك) .
 2. الجفاف الزراعي ويحدث بسبب انخفاض رطوبة التربة مما يؤثر على الإنتاج الزراعي.
 3. الجفاف الهيدرولوجي ويحدث بسبب انخفاض معدلات هطول الأمطار مما يؤثر على الجريان السطحي وتخزين المياه.
 4. الجفاف الاجتماعي والاقتصادي ويحدث بسبب الفجوة الهائلة بين العرض والطلب. ويتأثر هذا النوع من الجفاف بشكل أساسي بالزيادة السكانية والافتقار إلى إدارة إمدادات المياه المحلية كما ينبغي.
- تم تطوير مؤشرات الجفاف على مدى العقود القليلة الفائتة لتحويل البيانات المتعلقة بهطول الأمطار والثلوج وتدفق المياه وغيرها من مؤشرات إمدادات المياه إلى صورة كبيرة مركبة يسهل فهمها. وتشمل هذه المؤشرات: المؤشر الموحد لهطول الأمطار، ومؤشر بالمر لشدة الجفاف، ومؤشر الجريان السطحي الموحد، ومؤشر شذوذ هطول الأمطار، ومؤشر العشرية، ومؤشر مساحة الجفاف، ومؤشر التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار، ومؤشر الرطوبة السطحية، ومؤشر جفاف التدفق (إسلاميان وآخرون، 2017).

يعتبر تحليل بيانات هطول الأمطار الأسلوب الأكثر شيوعًا في دراسة الجفاف في كل منطقة لأن هطول الأمطار هو المتغير الأكثر الأهمية فهو يؤثر بشكل مباشر على مستوى محتويات التربة الرطبة وتدفق البخار وموارد المياه الجوفية (إسلاميان وآخرون، 2017)؛ لذا في هذا التقرير يعتبر المؤشر الموحد لهطول الأمطار ومؤشر التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار خيارين جيدين لتقييم التغير الزمني في هطول الأمطار بدلتا تبن. كما سيتناول هذا التقرير نوعين من أنواع الجفاف خلال التقييم وهما الجفاف المناخي والجفاف الاجتماعي والاقتصادي.

8.5.1. الجفاف المناخي

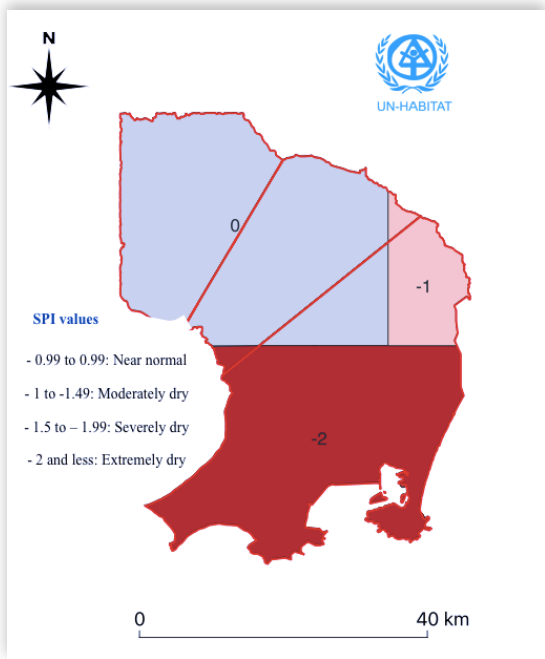
يمكن تقييم الجفاف المناخي من خلال المؤشر الموحد لهطول الأمطار ومؤشر التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار، حيث يظهر سبب المؤشر الموحد لهطول الأمطار بشكل أساسي بسبب نقص هطول الأمطار. ويجب الحصول على سجل لهطول الأمطار عبر فترة زمنية طويلة لحساب المؤشر الموحد لهطول الأمطار. وبعد إجراء التحليل الإحصائي وتحويل بيانات هطول الأمطار عبر فترة زمنية طويلة، يتم تقليل الانحرافات الخاصة بالمنطقة إلى أدنى حدودها. المؤشر الموحد لهطول الأمطار هو مؤشر قائم على الاحتمالات، وبالتالي فإن غزارة أو قلّة حدث هطول الأمطار في المؤشر الموحد لهطول الأمطار يرتبط بخصائص هطول الأمطار في تلك المنطقة.

يعتبر مؤشر التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار امتدادًا للمؤشر الموحد لهطول الأمطار، فهو يأخذ في الاعتبار كل من هطول الأمطار والتبخر المحتمل عند تقدير حالات الجفاف. وعلى ذلك فإنه يستخدم الفرق الشهري (أو الأسبوعي) بين هطول الأمطار والتبخر المحتمل. إن المؤشر الموحد لهطول الأمطار ومؤشر التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار يعرضان تصنيفًا سهلًا للغاية لمختلف حالات شدة الجفاف: بدءًا من حالة الجفاف بدرجة خطيرة حتى حالة الرطوبة التامة كما هو موضح في الجدول 40.

الجدول 40 . تصنيف الجفاف بناءً على المؤشر الموحد لهطول الأمطار ومؤشر التبخر والنتح الموحد لهطول الأمطار.

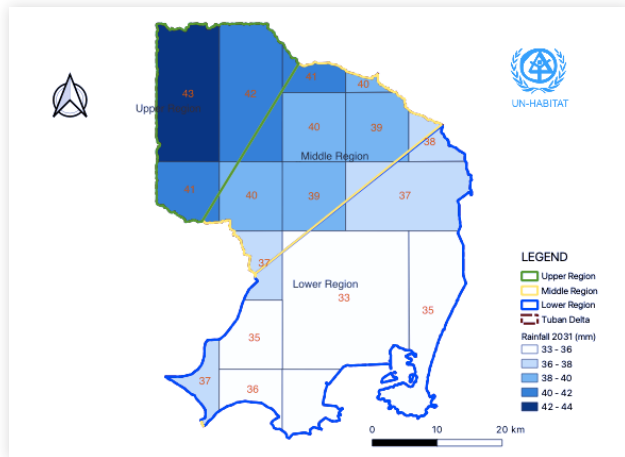
الحالة	تصنيف المؤشر الموحد لهطول الأمطار
رطوبة تامة	+2.0
رطوبة كبيرة	من 1.5 إلى 1.99
رطوبة بدرجة معتدلة	من 1.0 إلى 1.49
حالة شبه طبيعية	من - 0.99 إلى 0.99
جفاف بدرجة معتدلة	من - 1 إلى -1.49
جفاف شديد	من 1.5 إلى 1.99
جفاف بدرجة خطيرة	- 2 وأقل

لتقييم حالات الجفاف في عام 2022 بناءً على المؤشر الموحد لهطول الأمطار، تم تنزيل خرائط المؤشر الموحد لهطول الأمطار الشهرية من خدمة إدارة الطوارئ. تُظهر الخرائط أن المؤشر الموحد لهطول الأمطار للمنطقتين العليا والوسطى شبه طبيعي (0)، في حين أن الجفاف وصل للدرجة الخطيرة (-2) في المنطقة السفلى، الشكل 28

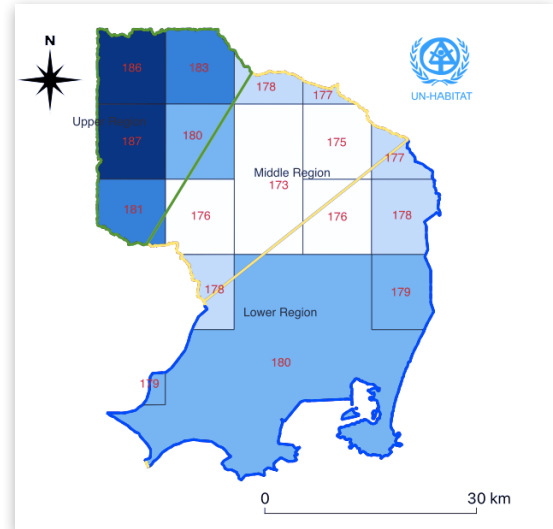


الشكل 28. مؤشر الجفاف "المؤشر الموحد لهطول الأمطار" في دلتا تين في عام 2022.

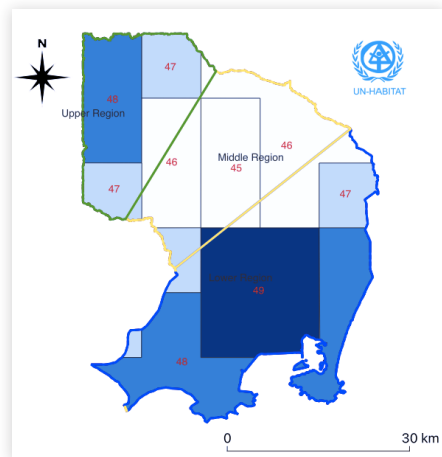
بالنسبة للتوقعات المستقبلية، ففي ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي من المتوقع أن يحدث هطول أمطار سنوي مرتفع في عدن ولحج بين عامي 2060 و 2065 مما يؤدي إلى سنوات ممطرة في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، وقد يحدث هطول أمطار سنوي مرتفع في عدن ولحج بين عامي 2060 و 2065 مما يؤدي إلى سنوات ممطرة، الشكل 29. ومع ذلك، من المرجح حدوث جفاف يمتد وسطياً لثلاث سنوات كل عقد بسبب هطول الأمطار المحدود (أقل من 50 مم) في عدن ولحج كما هو موضح في الشكل 30.



الشكل 30. التوزيع السنوي لهطول الأمطار (2030-2033) في دلتا تين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3).



الشكل 29. التوزيع السنوي لهطول الأمطار (2060-2063) في دلتا تين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3)

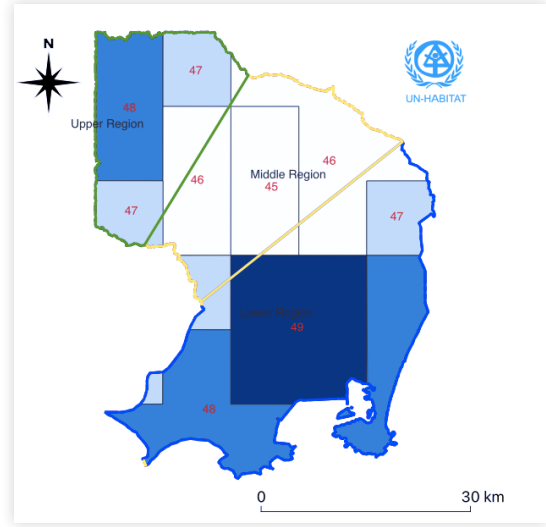


الشكل 31. متوسط التوزيع السنوي لهطول الأمطار (بين عامي 2070-2073) في دلتا تين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5).

قد يحدث الجفاف بين عامي 2070 و 2073 في ظل مسار التركيز التمثيلي 8.5، حيث سيكون هطول الأمطار السنوي أقل من 50 مم، الشكل 31. ومع ذلك، قد تكون معدلات هطول الأمطار مرتفعة بين عامي 2090 و 2100، الشكل 32

يمكن تقسيم شدة الجفاف في أربع فئات بناءً على ارتفاع نسب هطول الأمطار السنوي مقارنةً بمتوسط القيم:

1. لا تُكاد تذكر: شدة منخفضة عندما يكون الانخفاض في أنماط هطول الأمطار أقل من 25 %،
2. عادية: شدة متوسطة عندما يكون الانخفاض في أنماط هطول الأمطار بين 25 و 50 %،
3. درجة: شدة خطيرة عندما يكون الانخفاض في أنماط هطول الأمطار بين 51 و 75 %،
4. كارثية: شدة بالغة الخطورة عندما يكون الانخفاض في أنماط هطول الأمطار أكثر من 75 %.



الشكل 32. متوسط التوزيع السنوي لهطول الأمطار (2095-2100) في دلتا تبين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5).

تم تقدير احتمالية حدوث الجفاف بناءً على احتمالية انخفاض معدلات هطول الأمطار التي تولد شدة خطيرة أو بالغة الخطورة.

- 1- غير محتمل (أقل من 20 %):
- 2- عن بعد (بين 20 و 39 %)
- 3- عرضي (بين 40 و 59 %)
- 4- محتمل (بين 60 و 80 %)
- 5- متكرر: أكثر من 80 %

باتباع نفس إجراء تقييم مخاطر الفيضانات، يعرض الجدول 41 تقييم مخاطر الجفاف في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 و المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 الجدول 41 كما يوضح الجدول أن المنطقة السفلى قد تشهد فترات جفاف أكثر مقارنةً بغيرها من المناطق.

المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 (مسار التركيز التمثيلي 8.5)			المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 (مسار التركيز التمثيلي 7)			الأعوام
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	
3	2	2	3	2	2	20232040-
2	1	1	2	2	1	20412060-
3	3	3	1	1	1	20612080-
1	1	1	1	1	1	20812100-

الجدول 41. تقييم مخاطر الجفاف في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5.

8.5.2. الجفاف الاجتماعي والاقتصادي

بالنسبة للجفاف الاجتماعي والاقتصادي، تُظهر توقعات التوازن المائي المستقبلية نقصًا في المياه في ظل سيناريوهات الطلب الثلاثة لا سيما في المنطقة السفلى. تم تصنيف خطر الجفاف الاجتماعي والاقتصادي في خمس فئات تحت في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5، بناءً على نقص المياه المتوقع الذي سبق تقديره في القسم 7.5.3:

1. منخفض إذا كان النقص السنوي في المياه بمقدار 10 مليون متر مكعب أو أقل،
2. منخفض/متوسط إذا كان النقص السنوي في المياه بين 10.1 و 40 مليون متر مكعب،
3. متوسط إذا كان النقص السنوي في المياه بين 41 و 100 مليون متر مكعب،
4. متوسط/مرتفع إذا كان النقص السنوي في المياه بين 101 و 150 مليون متر مكعب،
5. مرتفع إذا كان النقص السنوي في المياه أكثر من 150 مليون متر مكعب.

الجدول 42. تقييم خطر الجفاف الاجتماعي والاقتصادي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي 3.

السيناريو المحسّن			السيناريو المرجعي			السيناريو
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة
3	-	-	3	-	-	2022
4	2	-	4	2	-	2040
4	1	-	5	2	-	2060
4	3	-	5	-	-	2080
4	2	-	5	2	-	2100

الجدول 43. تقييم خطر الجفاف الاجتماعي والاقتصادي في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي 5.

السيناريو المحسّن			السيناريو المرجعي			السيناريو
المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة السفلى	المنطقة الوسطى	المنطقة العليا	المنطقة
3	-	-	3	9	-	2022
3	-	-	3	3	-	2040
3	-	-	4	9	-	2060
3	-	-	5	-14	-	2080
3	-	-	5	-19	-	2100

8.5.3. تأثيرات الجفاف

سيؤدي الجفاف في دلتا تبين إلى تفاقم انعدام الأمن المائي، ولا سيما في المنطقة السفلى مما يؤثر سلبيًا على معدلات التغذية يزيد الاستهلاك المفرط لموارد المياه الجوفية، وعليه سيزداد استنزاف المياه الجوفية وتسرب المياه المالحة.

لذلك ستجف العديد من الآبار في المنطقة السفلى ولا سيما آبار حقل بئر أحمد التي تؤثر على مصدر المياه الرئيسي الذي يغطي الطلب المنزلي في عدن. يزداد سمك طبقات المياه الجوفية في دلتا تبين من 30 مترًا إلى 120-170 مترًا (Squarespace، بدون تاريخ). وستكون معدلات تغذية المياه الجوفية محدودة بسبب الجفاف وربما تصل إلى الصفر. وفي ظل الظروف الحالية، تنخفض مستويات المياه الجوفية بنحو 3-7 م/سنة (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 2021) بسبب الاستغلال المفرط؛ فبالنظر إلى انخفاض مستوى المياه الجوفية بمقدار 5 أمتار وسماكة 170 مترًا لطبقات المياه الجوفية، موارد المياه الجوفية العذبة في المنطقة السفلى لن تدوم أكثر من 40 عامًا ما لم يتم اتخاذ إجراءات مناسبة على الفور. ويمكن الوصول إلى نفس التقدير بناءً على التوازن المائي في المنطقة السفلى. سيؤدي نقص المياه بمقدار 7.6 مليون متر مكعب في عام 2022 إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية بمقدار 5 أمتار كل عام.؟؟؟ وعليه ستجف جميع الآبار بحلول عام 2080 حيث قُدِّر نقص المياه بناءً على سيناريوهات الطلب الثلاثة بـ 80-100 مليون متر مكعب.

9. خيارات التكيف

تسلط هذه الدراسة الهيدرولوجية الضوء على المخاطر المناخية الرئيسية التي تواجه دلتا تبين كما هو موضح في الجدول 44

الجدول 44. المخاطر المتعلقة بالمناخ التي تواجه دلتا تبين

المخاطر المناخية	المنطقة العليا	المنطقة الوسطى	المنطقة السفلى
الأمن المائي	متوسطة-مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة
الفيضانات	متوسطة	متوسطة-مرتفعة	مرتفعة

استطلعنا آراء أصحاب المصلحة من خلال ورش العمل والاجتماعات لتبادل الأفكار حول المخاطر المتعلقة بالمناخ وخيارات التكيف المحتملة من أجل اقتراح خيارات تكيف ممكنة. يلخص الجدول 45 نتائج ورشات العمل هذه آخذًا بعين الاعتبار خيارات التكيف قصيرة ومتوسطة وطويلة المدى.

المنطقة	الخيارات قصيرة المدى (1-3 سنوات)	الخيارات متوسطة المدى (4-6 سنوات)	الخيارات طويلة المدى (6+ سنوات)
المنطقة العليا	المناطق الحضرية: بناء جدران أو سدود حجرية للحماية من الفيضانات نظام إنذار مبكر. المناطق الريفية: نشر الوعي تحسين كفاءة الري	المناطق الحضرية: خطة لإدارة مخاطر الكوارث. نظام إنذار مبكر. المحافظة على المياه. المناطق الريفية: جمع المياه. تقنيات حديثة للري. إعادة استخدام المياه الرمادية	المناطق الحضرية: إدارة مستدامة لاستخدام المياه. إدارة مخاطر الفيضانات. زراعة الأشجار الخضراء المناطق الريفية: بناء حواجز مائية. تقنيات الري
المنطقة العليا	المناطق الحضرية: إعادة استخدام المياه الرمادية التوعية بترشيد استخدام المياه المناطق الريفية: نشر الوعي تحسين كفاءة الري	المناطق الحضرية: إعادة تأهيل الأراضي الرطبة المناطق الريفية: زراعة محاصيل تتحمل الجفاف زراعة محاصيل تتحمل الملوحة	المناطق الحضرية: إعادة استخدام المياه الرمادية. إدارة مستدامة للمياه. إعادة تأهيل خزانات الطويلة المناطق الريفية: إدارة مستدامة لاستخدام المياه: زراعة الأشجار الخضراء المناطق الريفية: زراعة أشجار المانجروف

المناطق الحضرية: إعادة استخدام المياه الرمادية. إدارة مستدامة للمياه. إعادة تأهيل خزانات الطويلة المناطق الريفية: إدارة مستدامة لاستخدام المياه؛ زراعة الأشجار الخضراء المناطق الريفية: زراعة أشجار المانجروف	المناطق الحضرية: إعادة تأهيل الأراضي الرطبة المناطق الريفية: زراعة محاصيل تتحمل الجفاف زراعة محاصيل تتحمل الملوحة	المناطق الحضرية: إعادة استخدام المياه الرمادية التوعية بترشيد استخدام المياه المناطق الريفية: نشر الوعي تحسين كفاءة الري	المنطقة السفلى
---	---	--	----------------

الجدول 45. تدابير التكيف الممكنة.

يقترح الجدولان 44 و 45 تدابير التكيف التالية:

1. بناء محطة تحلية جديدة لتغطية الطلب المتزايد على مياه الشرب في عدن.
2. إعادة استخدام المياه الرمادية من المساجد والمدارس في مناطق الزراعة/الإنباء.
3. إعادة تأهيل محطات معالجة مياه الصرف الصحي الموجودة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في مناطق الزراعة/الإنباء.
4. أنظمة الإنباء المبكر ووضع خطط إدارة المخاطر.
5. إعادة استخدام المياه المحلاة من محطة السواج الحرارية لتوليد الطاقة عن طريق (أ) إنشاء برك/بحيرة اصطناعية لتغذية المياه الجوفية أو (ب) إرسال المياه إلى شركة المياه الوطنية
6. إعادة تأهيل نظام الري في دلتا تبين وحمايته لضمان فعالية إيصال المياه وتقليل مخاطر الفيضانات

10. إدارة المياه والأطر المؤسسية

أظهرت نتائج الدراسة الحاجة الملحة لمعالجة تقنيات إدارة المياه والأطر ذات الصلة بناءً على مبادئ الإدارة المتكاملة للموارد المائية لغرض التخفيف من المخاطر المناخية وتنظيم الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية وضمان الاستدامة البيئية. وتكشف نتائج مجموعات النقاش المركزة أن المناطق الثلاث تواجه التحديات التالية: غياب خطط الإدارة المتعلقة بالمياه والمناخ؛ والخطط الزراعية غير الفعالة، وعدم وجود آلية رصد مناسبة، وعدم جدوى جمعيات استخدام المياه في قطاع الزراعة، أو الممارسات. وقد أجبرت كل هذه التحديات المزارعين على حفر المزيد من الآبار غير القانونية مما أدى إلى استنزاف موارد المياه الجوفية وانخفاض جودة المياه (بسبب الملوحة).

ومن حيث الأطر السياسية، يخضع قطاع المياه لقانون المياه والاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه والبرنامج الاستثماري (NWSSIP). وقد تم تعديل قانون المياه رقم 33 لعام 2002 واستبداله بالقانون رقم 41 لعام 2006، ونُشرت اللوائح التنفيذية في عام 2011 بعد إحداث وزارة المياه والبيئة. وقد أعاقَت هذه التأخيرات والصراعات والأمن والفقر تطبيق القانون وإنفاذه. لذلك، ينبغي تعديل التشريعات بحيث تشمل تفاصيل إضافية بشأن الإنفاذ والتشغيل والتعاون والواجبات والمسؤوليات استجابةً للتحديات الناشئة والتي من بينها تغير المناخ واستنزاف المياه الجوفية والصراعات والفقر.

صُدر قانون المياه والاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه والبرنامج الاستثماري 2005-2009 في عام 2004، متبوعاً بنسخة ثانية محدثة "قانون المياه والاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه والبرنامج الاستثماري 2" (2008-2015)، وتفتقر الاستراتيجية إلى تفاصيل بشأن مخاطر تغير المناخ، وتدابير التكيف، وضعف الموارد المائية.

تسلط الاستراتيجية الضوء على نزوب المياه الجوفية، إلا أنه لم يتم فعل أي شيء على أرض الواقع لمنع نزوب المياه الجوفية أو الحد من استخدام المياه أو الاستجابة لتهديدات تغير المناخ، لذا يلزم وضع خطة جديدة للمياه مع مراعاة ما يلي:

1. إدارة المياه وتوزيعها والأدوار والمسؤوليات.
2. المراقبة (التدريب والمعدات) لحماية الموارد الطبيعية، ولا سيما المياه الجوفية،
3. المخاطر المتعلقة بالمناخ (الفيضانات والجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر).
4. إدارة المعلومات: جمع البيانات ومشاركتها.
5. تخطيط الأحواض وإدارتها والمنظمات المجتمعية لتسهيل الإدارة اللامركزية للمياه على مستوى مستجمعات المياه.
6. المخاطر المناخية والتكيف معها وتدابير التخفيف من تأثيراتها.
7. حماية المياه الجوفية بمراقبتها والشروع في إنفاذ القانون.
8. توفير المياه في المجال الزراعي: تفعيل أنظمة الري الحديثة والتحقيق في إمكانية تغيير أنماط المحاصيل.
9. الإدارة اللامركزية: استحداث جمعيات استخدام المياه وتعزيزها لتكون بمثابة هيئات مسؤولة عن الإدارة المستدامة للمياه بين مستخدمي الأحواض، مع مراعاة نقص المياه وكفاءة استخدام المياه ومشكلات تسرب مياه البحر.
10. توعية الناس وتضافر الجهود ومشاركة أصحاب المصلحة (بما في ذلك واضعي القرارات ومعاهد البحوث) لإدارة إمدادات المياه والطلب عليها بطريقة متكاملة ومستدامة.
11. زيادة إمدادات المياه: ينبغي جمع الأموال وتضافر الجهود الدولية لمساعدة المشاريع الفردية والوطنية والدولية.

من ناحية أخرى، تفتقر معظم الوكالات الحكومية بما فيها مؤسسات المياه والبيئة إلى الأموال، مما يقلل من الالتزامات الشخصية ويعيق إمكانية التخطيط على المدى الطويل أو استدامة أي مشروع مقترح عند انتهاء التمويل. لذلك، فإن هذه المؤسسات بحاجة إطار مالي وموارد تمويل مستدامة لمواجهة جميع التحديات المذكورة أعلاه وأداء بواجباتها بما في ذلك تنفيذ القوانين/الاستراتيجيات/المشاريع، وأداء المهام اليومية الضرورية مثل التشغيل والرصد والصيانة.

11. الاستنتاجات

تم إجراء هذا التقييم الهيدرولوجي لدلتا تبن بمساعدة فريق موئل ووكالة حماية البيئة في اليمن، بالإضافة إلى أصحاب المصلحة الوطنيين والدوليين. كما جرى دراسة الحالة والمخاطر الهيدرولوجية الحالية والمستقبلية باستخدام النماذج المناخية ونظام المعلومات الجغرافية الكمية. أشارت تقديرات المياه المتاحة لعام 2022 أن المياه المتجددة و المياه المتدفقة من المرتفعات والموارد المائية غير التقليدية تقدر بـ 73 و 125 و 10 مليون متر مكعب على التوالي، في حين يشمل إجمالي الطلب على المياه 244 مليون متر مكعب للاستخدامات الزراعية و 36 مليون متر مكعب للاستخدامات المنزلية، مما يعني أن المياه المستهلكة بالزراعة تمثل 82% من إجمالي استخدامات المياه.

أدى عدم التوازن بين المياه المتاحة والمياه المستهلكة إلى عجز إجمالي في المياه يصل إلى 53 مليون متر مكعب. علاوة على ذلك، أدى تطوير العديد من السدود وغيرها من تقنيات تجميع مياه الأمطار والإفراط في استخدام المياه السطحية في الجزء العلوي من حوض تبن (أعلى المنبع) إلى تقليل أخطار الفيضانات، ولكنه أدى إلى انخفاض توافر المياه السطحية في دلتا تبن (أسفل المصب).

ونتيجة لذلك، أصبح وصول المياه إلى المنطقة السفلى محدودًا ولا تصل المياه إلى المحيط، مما أجبر السكان والمزارعين على الاعتماد بشكل أساسي على المياه الجوفية باستخدام الطاقة المتجددة مما أدى إلى عجز مائي قدره 84 مليون متر مكعب في المنطقة السفلى من الدلتا في عام 2022. بالإضافة إلى كل ذلك، أثر كل من الهجرة الداخلية والتوسع السكاني وتغير المناخ على مستويات المياه الجوفية وبالتالي زاد تسرب المياه المالحة وتغيرت خصائص التربة وارتفعت مستويات التصحر. وإذا استمر عدم التوازن بين تغذية المياه الجوفية وتصريفها، فستنخفض مستويات المياه الجوفية أكثر وسيزداد تسرب المياه المالحة.

تم استخدام النموذج المناخي الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية ونظام المعلومات الجغرافية الكمية في ظل المسارين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 لتوقع الحالة المستقبلية. كما تم تقييم سيناريوهين لإمدادات المياه: إما الأول فلا يتضمن أي تطوير جديد، بينما ينطوي السيناريو الثاني على إعادة استخدام مياه الصرف الصحي وتركيب محطة لتحلية المياه المالحة كل 20 عامًا في عدن بسعة 10 ملايين متر مكعب.

وتكشف النتائج عن مجموعة واسعة من تقديرات توفر المياه تصل إلى 2100 في المناطق الثلاث؛ وإذا لم يتم إجراء تحسينات، فستكون إمدادات المياه حوالي 235 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، و 254 مليون متر مكعب في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3. ومع ذلك، فإن السيناريو المحسّن سيزيد من إمدادات المياه حتى 424 في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5، و 358 مليون متر مكعب في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، ومن ناحية أخرى، تم تقييم إجمالي استخدامات المياه السنوية مع الأخذ في الاعتبار سيناريوهين، وهما: السيناريو المرجعي (بدون تحسينات) والسيناريو المحسّن (تحسين أنظمة الري وانخفاض النمو السكاني)، حيث تظهر النتائج أن استخدامات المياه ستصل إلى 696 مليون متر مكعب و 369 مليون متر مكعب في عام 2100 في ظل سيناريوهات الطلب على المياه، المرجعية والمحسّنة وبالتالي تشير تقديرات التوازن المائي إلى أن العجز المائي في ظل السيناريوهات المرجعية سيتجاوز 400 مليون متر مكعب في عام 2100 في ظل كلا المسارين المناخيين (المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3 والمسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5)، وستشهد المنطقة السفلى أكبر أزمة شح مائي بسبب ارتفاع الطلب الناجم من طرق الري التقليدية والنمو السكاني.

يتبين من فحص السيناريوهات المحسّنة أنها تعود بوضع أفضل في دلتا تبن. ومع ذلك، قد لا يكون نقص المياه أكثر من 40 و 80 مليون متر مكعب في ظل السيناريوهين الاجتماعيين والاقتصاديين المشتركين 3 و 5 على التوالي. ومن ناحية أخرى، لن تغط المنطقة السفلى عجزها المائي بعد الآن، لأن كل هذه السيناريوهات تُنذر بنقص حاد في المياه في المنطقة السفلى، والذي قد يتراوح بين 60 إلى 80 مليون متر مكعب في ظل السيناريوهات المحسّنة؛ لذلك، ستحتاج المنطقة السفلى إلى موارد مائية إضافية مثل محطة لتحلية مياه البحر تعمل بالطاقة الشمسية بسعة 50 مليون متر مكعب في أقرب وقت ممكن، ثم محطات أخرى بسعة 10 مليون متر مكعب كل 5-10 سنوات. ومن ناحية أخرى، فإن موارد المياه الجوفية آخذة في النضوب. دلتا تبن هي واحدة من الأحواض الحساسة في اليمن حيث توجد معظم أجهزة الحفر/الآبار غير القانونية. إذ يظهر تقييم عام 2023 أن هناك 3600 بئر، 1200 منها جفت، ويصل متوسط الانخفاض السنوي لمستويات المياه الجوفية إلى متر واحد بسبب غياب التوازن بين معدل التصريف وإعادة تغذية المياه الجوفية.

ومن ناحية أخرى، فإن المنطقة السفلى تعتبر الأشد تأثرًا بتغير المناخ، إذ تتعرض هذه المنطقة لأربعة مخاطر مناخية رئيسية هي الفيضانات والجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر وتسرب المياه المالحة، مما سيؤثر على أنظمة إمدادات المياه والبنية التحتية الساحلية. علاوةً على ذلك، يتوقع النموذج أن يزداد عدد الأيام الحارة سنويًا بدءًا من عام 2050، لتصل إلى 40 يومًا في السنة في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 3، و 70 يومًا في السنة في ظل المسار الاجتماعي والاقتصادي المشترك 5 في عام 2100، مما سيؤثر على الناس والأنشطة الاجتماعية والاقتصادية. كما أظهرت نمذجة ارتفاع مستوى مانع التسرب باستخدام نظام المعلومات الجغرافية الكمية أن معظم المناطق الساحلية ستتأثر ولا سيما المطار بطول عام 2100. وأخيرًا، فإن نقص الأموال وانعدام الأمن قد منع المؤسسة الوطنية من أداء مهامها اليومية المطلوبة ومن تنفيذ القوانين والاستراتيجيات ذات الصلة. لذلك، هناك حاجة إلى إطار مالي مناسب يمكنه تمويل المؤسسة الوطنية ودعمها من جهة، والحد من الفقر والإشراف على الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية من جهة أخرى.

12. التوصيات

لمواجهة تحديات تغير المناخ وندرة المياه في دلتا تبين، يجب اتخاذ التدابير التالية:

1. تحتاج المنطقة السفلى إلى موارد مائية إضافية، والتي يمكن توفيرها من خلال محطة تحلية تعمل بالطاقة الشمسية.
2. تحتاج محطات معالجة مياه الصرف الصحي إلى إعادة تأهيل ومراقبة وخطة مناسبة لإعادة استخدام المياه المعالجة في الري أو لإعادة تغذية المياه الجوفية.
3. ينبغي إصلاح أقنية الري، وتطبيق أسلوب الري الحديث.
4. ينبغي وضع خطة لإدارة الكوارث مصحوبة بنظام إنذار مبكر للاستجابة للفيضانات والجفاف.
5. ينبغي مراقبة تصريف المياه الجوفية للحد من استنزاف المياه الجوفية وتسرب المياه المالحة في المنطقة السفلى.
6. يجب باستمرار إقامة برامج لبناء القدرات تتناول النمذجة الهيدرولوجية وكفاءة استخدام المياه وتوزيعها والتكيف مع تغير المناخ.
7. يمكن تعزيز التدابير المذكورة أعلاه بوضع خطة/استراتيجية للإدارة المتكاملة للموارد المائية في دلتا تبين.

المراجع

- عبد ربه، و.أ.، صالح، رسالة ماجستير، رملي، أيه تي وآخرون. حدوث نشاط إشعاعي طبيعي وما يقابله من مخاطر صحية في المياه الجوفية مع خلفية إشعاعية مرتفعة في منطقة جوبان باليمن. علوم الأرض البيئية 75، 1360 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6142-z>
- أبو بكر، م.م.، السعفاني، رسالة ماجستير، ناجي، ه. م.، هاجر، عادل، الحبابي، أ.م. 2012. تقييم قابلية تأثر المناطق الساحلية والتكيف، محافظة عدن، الجمهورية اليمنية
- الغيثي أ وآخرون، 2014. فعالية محطات معالجة مياه الصرف الصحي المختارة في اليمن للحد من مؤشرات البراز والبكتيريا المسببة للأمراض في النفايات السائلة الثانوية والحماة. ممارسات وتكنولوجيا المياه 9(3): 293-306.
- الخشمان، أو.آيه، جرادات، آيه.كي. 2014. تقييم جودة المياه الجوفية ومدى صلاحيتها للشرب والاستخدامات الزراعية في البيئة القاحلة. مؤسسة ستوكاستيك للأبحاث البيئية وتقييم المخاطر 28، 743-753. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0787-x>

- الصابري، أ.، وحليم، م.ك.: 2012. الحالة والتطورات الجديدة بشأن استخدام المياه المالحة للإنتاج الزراعي في الشرق الأدنى. التقرير القطري لليمن. المكتب الإقليمي لمنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة في الشرق الأدنى (RNE). القاهرة، مصر، نوفمبر 2012. رابط. (تمت زيارته في 22.03.2023).
- باسيتي، ف. 2022. المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة. الاستشراق: مرصد المركز الأورومتوسطي حول تغير المناخ لسياسات المناخ والمستقبل. رابط. (تمت زيارته في 06.05.2023).
- بيلافوري، د.، فيرارين، س.، مايكو، ف.، مانفي، ج.، لورينزيتي، ج.، أومجيسر، ج.، وآخرون. (2021). تسرب المياه المالحة في دلتا البحر الأبيض المتوسط في ظل مناخ متغير. مجلة البحوث الجيوفيزيائية: المحيطات، 126، e2020JC016437. <https://doi.org/10.1029/2020JC016437>
- المناخ المركزي 2023. أداة فحص المخاطر الساحلية. <https://coastal.climatecentral.org> (تمت زيارته 05.05.2023).
- دينجمان، إس. إل. 2015. الهيدرولوجيا الفيزيائية (التعديل الثالث). شركة ويفلاند بريس.
- وكالة حماية البيئة، 2013. الاتصال الوطني الثاني لليمن بموجب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. رابط (تمت زيارته في 20.03.2023).
- إسلاميان، س.، أستاذ علي العسكري، ك.، سينغ، ف. ب.، وداليزيوس، ن. ر. (2017). استعراض مؤشرات الجفاف. المجلة الدولية للبحوث البناءة في الهندسة المدنية، 3(4)، 48-66. <https://doi.org/10.20431/2454-8693.0304005>
- فرايم، ب.، لورانس، ج.، أوسيل، أ.ج.، ريزنجر، أ.، دينبولت، أ. 2018. تكييف المسارات الاجتماعية والاقتصادية العالمية المشتركة مع السيناريوهات الوطنية والمحلية في إدارة المخاطر المناخية، 21، 39-51، 10.1016/j.crm.2018.05.001
- حيدرة، م.، ونعمان، أ. 2008. تطبيق أدوات دعم القرار لإدارة الموارد المائية في المناطق الساحلية القاحلة (دراسة حالة: عدن، اليمن). المؤتمر الدولي الثالث للموارد المائية والبيئات القاحلة والمنتدى العربي الأول للمياه. رابط.
- حرب، س.، الكامل، أ. ج.، زهران، أ. ج.، عبادي، أ. أ.، وأحمد، ف. أ. (2013). النشاط الإشعاعي الطبيعي للمياه الجوفية في بعض مناطق محافظة عدن جنوبي اليمن، الحماية من الإشعاع والبيئة، 36(3): 115-121. DOI: 10.4103/0972-0464.137476
- هاوسفاذر، ز. 2018. المفسر: كيف تستكشف "المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة" تغير المناخ في المستقبل. كربون بريف. رابط. (تمت زيارته في 28.03.2023).
- هيريش، أ.؛ شكر الله، ر.؛ الزاير، ر.؛ شايبير، ش.م.؛ ليماي، أ. إدخال المحاصيل البديلة كحل لتلح المياه الجوفية والتربة في منطقة العيون، الجنوب. المغرب. الأورومتوسطية. المجلة الدولية للبحوث البيئية والصحة العامة. للتكامل البيئي. 2021، 6، 52
- هانتيجنز، ب.، وآخرون. 2014. الاقتصاد السياسي لإدارة المياه في اليمن: تحليل النزاعات والتوصيات. التقرير الفني، معهد لاهاي للعدالة العالمية.
- جرجيرا، أ.أ.، مكتري، م.س.، ستار، ح.أ.، محمد، م.ف.، عباس، ح.ج.، الشبيهي، ح.م. تطوير الوادي للزراعة في جمهورية اليمن الديمقراطية الشعبية. <https://floodbased.org/wp-content/uploads/2021/05/Wadi-develop-ment-for-agriculture-in-PDR-Yemen.pdf>
- جونياتي، أ.ت.، كوسراتموتو، إي سوتجينييسيه، د. 2021. تقدير توفر المياه المحتمل والقدرة الاستيعابية للموارد المائية لخطه مدينة بوجور المكانية. مجلة جغرافيا البيئات الاستوائية. المجلد. 5: الرقم 1، المادة 4. متاحة على: <https://scholarhub.ui.ac.id/jglitrop/vol5/iss1/4>
- قمر الزمان، م.، شهيد، س.، إسلام، أ.ت.، هوانغ، س.، تشو، ج.، زمان، م.، أحمد، م.، رحمن، م.، حسين، ب. 2021. مقارنة أداء النموذجين المناخيين مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6 و مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 5 في محاكاة هطول الأمطار ودرجة الحرارة التاريخية في بنغلاديش: دراسة أولية. علم المناخ النظري والتطبيقي المجلد 145، الصفحات 1385-1406

- كاظم، م. 2015. تحديات وصعوبات العيش في نهر الدلتا. استعراض دلتا الأنهار الرئيسية في آسيا وأفريقيا. استعراض دلتا الأنهار الكبرى في آسيا وأفريقيا، ميونخ، GRIN Verlag، <https://www.grin.com/document/306464>
- كومكس 2001. دراسات إدارة الموارد المائية في منطقة تبين - أبين. كومكس انترناشيونال ليمتد رابط.
- ماريغا، ت. أ.، وآخرون. 2021. استخراج المعلومات الطبوغرافية كمنهج عملي لتحليل احتمالات الانهيارات الأرضية في المنحدر. مجلة تكنولوجيا الموارد المعدنية. المجلد. 2، الرقم 1،
- مراد، ك. أ.؛ بيرندتسون، جي. سي.؛ بيرندتسون، آر. 2011. توفير محتمل للمياه العذبة باستخدام المياه الرمادية في تنظيف المراحيض في سوريا. مجلة الإدارة البيئية، 92(10)، ص 2447-2453.
- مراد، ك. أ. الشهابي، أو. (2016). تقييم العرض والطلب على الموارد المائية في سوريا مستقبلاً من خلال نموذج تقييم وتخطيط الموارد المائية. مجلة العلوم الهيدرولوجية، 61(2)، 393-401. DOI: 10.1080/02626667.2014.999779.
- نوال، د. (2021). تخطيط وإدارة الموارد المائية في سياق التنمية الاقتصادية وتغير المناخ في المرتفعات الجزائرية من خلال نموذج تقييم وتخطيط الموارد المائية. حالة حوض جارة الطارف (شمال غربي الجزائر). كلية العلوم الطبيعية والحياة. مختبر التكنولوجيا الحيوية والمياه والبيئة والصحة. جامعة خنشلة، الجزائر.
- أونيل، بي سي، كريغلر، إي، رياهو، كيه، وآخرون. 2014. إطار سيناريو جديد لبحوث تغير المناخ: مفهوم المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة. التغير المناخي 122، 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- عمارة، N.G.A.؛ اليوسفي، ل. تملح التربة وطبقات المياه الجوفية في المغرب وبدائل الاستجابة. البيئية. العلوم. وقائع. 2022، 16، 65. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022016065>
- راجوسوا، أس.، عبد الباقي، س. ومراد، ك. أ. تقييم تأثير تغير المناخ على حوض نهر مجردة. المجلة العربية لعلوم الأرض، 15، 1052 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10288-y>
- REACH 2023. "REACH 2023 - تحليل مخاطر الفيضانات الوطنية لمركز تنسيق وإدارة المخيمات لمواقع النازحين في اليمن (فبراير 2023)"، رابط. (تمت زيارته في 02.05.2023).
- ريليف ويب. 2021. مشروع مياه اليمن. <https://reliefweb.int/report/yemen/yemen-water-project> (تمت زيارته في 28.03.2023).
- رياهي، ك. وآخرون. 2017. المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة وتأثيراتها على الطاقة واستخدام الأراضي وانبعاثات الغازات الدفيئة: نظرة عامة، التغير البيئي العالمي، 42، 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- صالح إي. إي.، القصاص إتش آي، الفقي إس إي، دياب إتش إي، النجاشي إي إس 2017. تقييم المخاطر البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية والنشاط الإشعاعي الطبيعي في دلتا تبين باليمن. مجلة التقنيات التحليلية والبيولوجية. 8:374. DOI: 10.4172/2155-9872.1000374
- صالح س.، وآخرون. 2017. تقييم جودة المياه الجوفية ومدى صلاحيتها للشرب والاستخدام الزراعي في المناطق الريفية لمديرية زبيد - وادي زبيد، الجديدة، اليمن. مجلة البحث العلمي والهندسي، 4(7):10-24. <http://jsaer.com/download/vol-4-iss-7-2017/JSAER2017-04-07-10-24.pdf>
- صالح، س. م. ك.، والسلامي، أ. م. أ. 2022. تقييم مستوى التلوث الفيزيائي والكيميائي والميكروبيولوجي للمياه الجوفية في أجزاء من حقل مياه بئر ناصر وبئر أحمد في دلتا تبين بمحافظة عدن ولحج - اليمن. المجلة الإلكترونية لجامعة عدن للعلوم الأساسية والتطبيقية. EJUA - BA المجلد. 3 رقم 2. <https://doi.org/10.47372/ejua-ba.2022.2.158>
- شريستا، أ. ب.، إيزي جي سي أديكاري، ر. ب.، راي، س. ك. 2012. دليل الموارد حول إدارة مخاطر الفيضانات المفاجئة. المركز الدولي للتنمية المتكاملة للجبال، كاتماندو، 2012. رابط.
- Squarespace nd. شبكة طبقات المياه الجوفية في اليمن. رابط. (تمت زيارته في 20.03.2023).
- سوريش، آر. 1997. المحافظة على التربة والمياه. نيودلهي، الهند: موزعو ناشري المعايير الهندسية
- تاباتشي، إي؛ لاميز، إل؛ غيلوي، إتش؛ بلانتي تاباتشي، إي إم؛ مولر، إي؛ ديكامبس، إتش. 2000. تأثيرات النباتات النهرية على العمليات الهيدرولوجية. العمليات الهيدرولوجية 14: 2959-2976

طول ناقلات الأمراض. 2018. حسابات مصفوفة المخاطر - الشدة والاحتمال وتقييم المخاطر. رابط. (تمت زيارته في 27.04.2023).

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي 2021. توفر المياه في اليمن: الدراسات السابقة للموارد المائية الحالية والمستقبلية والطلب على المياه في اليمن. رابط.

البنك الدولي 2010. تقييم تأثيرات تغير المناخ وتقلبه على قطاعي المياه والزراعة والآثار المترتبة على السياسات. رقم التقرير 54196 - YE. رابط.

يوكيموتو، س.، وآخرون. 2019. معهد بحوث الأرصاد الجوية نموذج نظام الأرض الإصدار 2.0، "الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية: الوصف والتقييم الأساسي للمكون المادي، مجلة جمعية الأرصاد الجوية في اليابان. Ser. II, 97(5): 931-965. DOI: 10.2151/jmsj.2019-051

يوكيموتو، س.، وآخرون. 2019. مخرج النموذج الإصدار 2.0 من نموذج نظام الأرض لمعهد بحوث الأرصاد الجوية المعد للنموذج المناخي مشروع مقارنة النماذج المزدوجة 6 مشروع مقارنة النماذج المزدوجة. شبكة نظام الأرض. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.621>



دراسة هيدرولوجية لدلتا تبين في اليمن وآثار تغير المناخ

Copyright © United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) 2024

All rights reserved

UN-Habitat Yemen Programme

unhabitat-yemen@un.org