دراسة حالة حول استخدام الاستشعار عن بُعد لتقدير كميات المياه الجوفية المستخدمة في الري

مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة - سلطنة عُمان

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

ازدهارُ البلدان كرامةُ الإنسان

وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

ازدهارُ البلدان **كرامةُ الإنسان**

رؤيتنا

طاقاتٌ وابتكار، ومنطقتُنا استقرارٌ وعدلٌ وازدهار

رسالتنا

بشغَف وعزْم وعَمَل: نبتكِر، ننتج المعرفة، نقدِّمُ المشورة،
نبني التوافق، نواكب المنطقة العربية على مسار خطة عام 2030.
يداً بيد، نبني غداً مشرقاً لكلِّ إنسان.

E/ESCWA/CL1.CCS/2025/TP.3

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

دراسة حالة حول استخدام الاستشعار عن بُعد لتقدير كميات المياه الجوفية المستخدَمة في الري

مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة - سلطنة عُمان

الأمم المتحدة
بيروت

© 2025 الأمم المتحدة
حقوق الطبع محفوظة

تقتضي إعادة طبع أو تصوير مقتطفات من هذه المطبوعة الإشارة الكاملة إلى المصدر.

توجّه جميع الطلبات المتعلقة بالحقوق والأذون إلى اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، البريد الإلكتروني: publications-escwa@un.org.

النتائج والتفسيرات والاستنتاجات الواردة في هذه المطبوعة هي للمؤلفين، ولا تمثل بالضرورة الأمم المتحدة أو موظفيها أو الدول الأعضاء فيها، ولا ترتب أي مسؤولية عليها.

ليس في التسميات المستخدمة في هذه المطبوعة، ولا في طريقة عرض مادتها، ما يتضمن التعبير عن أي رأي كان من جانب الأمم المتحدة بشأن المركز القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطات أي منها، أو بشأن تعيين حدودها أو تخومها.

الهدف من الروابط الإلكترونية الواردة في هذه المطبوعة تسهيل وصول القارئ إلى المعلومات وهي صحيحة في وقت استخدامها. ولا تتحمل الأمم المتحدة أي مسؤولية عن دقة هذه المعلومات مع مرور الوقت أو عن مضمون أي من المواقع الإلكترونية الخارجية المشار إليها.

جرى تدقيق المراجع حيثما أمكن.

لا يعني ذكر أسماء شركات أو منتجات تجارية أن الأمم المتحدة تدعمها.

المقصود بالدولار دولار الولايات المتحدة الأمريكية ما لم يُذكر غير ذلك.

تتألف رموز وثائق الأمم المتحدة من حروف وأرقام باللغة الإنكليزية، والمقصود بذكر أي من هذه الرموز الإشارة إلى وثيقة من وثائق الأمم المتحدة.

مطبوعات للأمم المتحدة تصدر عن الإسكوا، بيت الأمم المتحدة، ساحة رياض الصلح،

صندوق بريد: 8575-11، بيروت، لبنان.

الموقع الإلكتروني: www.unescwa.org.

مصدر صورة الغلاف: ©وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

شكر وتقدير

أعدّت اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا) هذا التقرير بتوجيهٍ عام من الأمينة التنفيذية السيدة رولا دشتي، وتحت إرشاد مديرة مجموعة تغيُّر المناخ واستدامة الموارد الطبيعية، السيدة كارول شوشاني شرفان.

المؤلّفون

المديرية العامة لتقييم موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

المنسّقون

السيد زياد الخياط والسيدة ترايسي زعرور، الإسكوا.

المُراجِع المختصّ

السيد هادي جعفر، أستاذ ورئيس قسم الزراعة، الجامعة الأميركية في بيروت.

الرسائل الرئيسية

يستحوذ الإستهلاك الزراعي على أكبر نسبة من المياه الجوفية في المنطقة العربية، المصدر الرئيسي للمياه العذبة في المنطقة.

مع التزايد المستمر في عدد السكان، والضغوط المتفاقمة على الموارد المائية، والتغيُّرات المناخية التي تؤثر سلباً على توفُّر المياه والأمن الغذائي، أصبح من الضروري البحث عن طرق مبتكرة ومستدامة لإدارة موارد المياه بكفاءة، وبالأخص المياه الجوفية.

تُعتبر منطقة وادي المعاول من المناطق الزراعية الحيوية في سلطنة عُمان، حيث تعتمد اعتماداً كبيراً على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المائية. وتؤدي المياه الجوفية دوراً محورياً في دعم الزراعة والصناعات المحلية في الوادي. وتعتبر الزراعة النشاط الاقتصادي الرئيسي في المنطقة، وتعتمد على الري من المياه الجوفية.

يُستخدم الاستشعار عن بعد لتقدير كميات المياه الجوفية المستخدمة في الري لمساعدة مديري المياه على زيادة كفاءة الري واتخاذ قرارات أفضل بشأن تخصيص المياه واستخدامها.

تتضمّن الدراسة تحليلاً لحجم استهلاك المياه الجوفية في المنطقة، مسلّطةً الضوء على العوامل المؤثّرة على هذا الاستهلاك. كما أنها تقدّم توصيات عملية لاعتماد استراتيجيات فعّالة تهدف إلى تحسين إدارة الموارد المائية واستدامتها ومنها:

1. اعتماد تقنيات ري حديثة وفعّالة.
2. استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد بشكل دوري.
3. تحسين البنية التحتية لجمع وتخزين المياه.
4. تعزيز وعي المزارعين بأهمية إدارة الموارد المائية.
5. مراقبة مستويات الملوحة واتخاذ إجراءات للحد منها.
6. تطوير برنامج لإعادة تغذية المياه الجوفية.
7. تشجيع استخدام المياه المعالجة.
8. إعادة تأهيل الأراضي الزراعية المتدهورة.
9. تشجيع البحث والابتكار في إدارة المياه.

المحتويات

شكر وتقدير 3

الرسائل الرئيسية 4

مقدمة 7

1. نبذة عن منطقة الدراسة 8

2. الملامح الجيولوجية لمنطقة الدراسة 10

3. الملامح الهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة 12

4. مصادر المياه في منطقة الدراسة 14

5. شبكة المراقبة الهيدرومترية 15

6. الأمطار وتدفقات الأودية في منطقة الدراسة 17

7. مناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة 19

8. تحليل مناسيب المياه لبعض الآبار المراقَبة في مستجمع وادي المعاول 20

9. المياه غير التقليدية 23

10. الميزان المائي 24

11. المناخ 25

12. المناطق الزراعية في منطقة الدراسة 26

13. نبذة عن نتائج مسح الملوحة لمنطقة الدراسة في عام 2023 28

14. التربة 30

15. استخدام الأراضي والغطاء الأرضي في مستجمع وادي المعاول 31

16. مساحة الأراضي المروية وغير المروية في منطقة الدراسة 34

17. تقدير التبخُّر النتحي الشهري (الشكل الشهري) 36

18. بيانات الأمطار في منطقة الدراسة 40

19. تحديد استخدام المياه الجوفية 43

20. التوصيات 45

المراجع 47

قائمة الجداول

الجدول 1. ملخص التكوين الجيولوجي ونوعه في منطقة الدراسة 9
الجدول 2. عدد ونوع محطات المراقبة في مستجمع وادي المعاول 15
الجدول 3. عناصر الميزان المائي في مستجمع وادي المعاول 24
الجدول 4. معدلات الأمطار والتبخُّر في مستجمع وادي المعاول حسب دراسة الميزان المائي لعام 2012 25
الجدول 5. معدلات التغيُّر في استخدام الأراضي في مستجمع وادي المعاول خلال الفترة من عام 2002 إلى عام 2022 33
الجدول 6. نتائج التبخُّر النتحي الشهري للمناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول 37
الجدول 7. معدل الهطول التراكمي السنوي (ملم/سنة) 40
الجدول 8. الفرق الشهري بين معدل التبخُّر النتحي الشهري وهطول الأمطار 44

قائمة الأشكال

الشكل 1. معدلات الهطول المطرية في المنطقة 18
الشكل 2. مناسيب المياه الجوفية لمجموعة من الآبار المراقَبة في مستجمع وادي المعاول 19
الشكل 3. مناسيب المياه الجوفية لآبار مراقَبة مختارة في مستجمع وادي المعاول 21
الشكل 4. متوسط التبخُّر النتحي الشهري للمناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول لعام 2023 39
الشكل 5. معدل الهطول المطري اليومي في مستجمع وادي المعاول خلال الفترة 2015-2023 40
الشكل 6. مقارنة بين كميات الأمطار (ملم/يوم) المأخوذة من محطة القياس بركاء (باللون الأزرق واللون الأخضر) وكميات الأمطار حسب بيانات الأقمار الصناعية 41
الشكل 7. مقارنة بين بيانات الهطول المطري التراكمي (ملم/سنة) المأخوذة من محطة القياس في بركاء القريبة من ساحل البحر والبيانات المأخوذة من القمر الصناعي 41
الشكل 8. هطول الأمطار الشهري (ملم) والتبخُّر النتحي الشهري (ملم) على مستجمع وادي المعاول لعام 2023 43

قائمة الخرائط

الخريطة 1. موقع منطقة الدراسة في مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة 9
الخريطة 2. الخارطة الجيولوجية 11
الخريطة 3. التوزيع المكاني للآبار الاستكشافية في منطقة الدراسة 13
الخريطة 4. توزيع محطات المراقبة الهيدرومترية في مستجمع وادي المعاول 16
الخريطة 5. التوزيع المكاني لآبار المزارعين في منطقة الدراسة 27
الخريطة 6. نتائج مسح الملوحة في منطقة الدراسة لعامي 2016 و2023 29
الخريطة 7. توزيع التربة في مستجمع وادي المعاول 30
الخريطة 8. تغيير استخدام الأراضي والغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة خلال 20 سنة 33
الخريطة 9. مؤشر الغطاء النباتي لمستجمع وادي المعاول (NDVI) 35
الخريطة 10. التبخُّر النتحي للمناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول 38

مقدمة

تعتبر المياه الجوفية مصدر المياه العذبة الأساسي للعديد من الأنظمة الزراعية في المناطق الجافة وشبه الجافة حول العالم. وتعتمد هذه الأنظمة إلى حد بعيد على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المائية، سواء لأغراض الري أو الاستخدامات الأخرى. ومع التزايد المستمر في عدد السكان، والضغوط المتزايدة على الموارد المائية، والتغيُّرات المناخية التي تؤثر سلباً على توفُّر المياه، أصبح من الضروري البحث عن طرق مبتكرة ومستدامة لإدارة الموارد المائية بكفاءة.

وتُعَدُّ تقنيات الاستشعار عن بُعد من الأدوات الحديثة والمبتكرة التي ساهمت في تحسين إدارة الموارد المائية. فهذه التقنيات تتيح للباحثين وصانعي القرار مراقبة استخدامات المياه الجوفية وتحليلها بدقة عالية، وذلك من خلال البيانات التي تُجمَع عبر الأقمار الصناعية والطائرات بدون طيار والمستشعرات الأرضية.

من هذا المنطلق، تتناول هذه الدراسة وتحلّل استهلاك المياه الجوفية لري الأراضي الزراعية في مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة في سلطنة عُمان، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد. وتُعتبر منطقة وادي المعاول من المناطق الزراعية الحيوية في سلطنة عُمان، حيث تعتمد اعتماداً كبيراً على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المائية. وتؤدي المياه الجوفية دوراً محورياً في دعم الزراعة والصناعات المحلية في الوادي. وتعتبر الزراعة النشاط الاقتصادي الرئيسي في المنطقة، وتعتمد على الري من المياه الجوفية. وتُستخدم المياه لري المحاصيل المتنوّعة، مثل النخيل والخضروات والفواكه. كذلك، تعتمد بعض الصناعات المحلية على المياه الجوفية في عمليات التصنيع والتبريد، مما يزيد من أهمية إدارة الموارد المائية بشكل مستدام.

وهذه الدراسة تسلّط الضوء على الوضع الحالي لاستهلاك المياه الجوفية في مستجمع وادي المعاول، وتستعرض الأدوات والتقنيات المستخدَمة في جمع البيانات وتحليلها. كما أنها تتضمن شرحاً مبسّطاً لطرق جمع البيانات باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد، بما في ذلك نوعية الأجهزة أو البرامج المستخدَمة، وكيفية تحليل البيانات المجمَّعة، وذلك لتقديم إطار عمل متكامل يمكن الاستفادة منه في تحسين إدارة الموارد المائية في مستجمع وادي المعاول.

وتقدّم الدراسة تحليلاً لحجم استهلاك المياه الجوفية في المنطقة، مع التركيز على العوامل المؤثّرة في هذا الاستهلاك، مثل نوعية المحاصيل المزروعة، وتقنيات الري المستخدَمة، والظروف المناخية السائدة. كما أنها تستعرض التحديات التي تواجهها إدارة الموارد المائية في مستجمع وادي المعاول، مثل التبخُّر العالي، والتسرُّب، والاستخدام غير المستدام للمياه.

وفي ضوء النتائج التي تخلُص إليها، تقدّم هذه الدراسة توصيات وتقترح إجراءات لتحسين كفاءة استخدام المياه الجوفية في مستجمع وادي المعاول.

1. نبذة عن منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة البالغة مساحته حوالي 1,076كم². وتشمل منطقة الدراسة أجزاء من ثلاث ولايات هي بركاء، ونخل، ووادي المعاول. ويحدّها بحر عُمان من الجهة الشمالية، وسلسلة جبال الحجر الغربي من الجهة الجنوبية، ووادي بني خروص ووادي الطو من الشرق والغرب.

ويمكن تقسيم منطقة الدراسة إلى منطقتين: الجهة الجنوبية (أعلى المستجمع)، وتتميّز بجبالها الشاهقة؛ والجهة الشمالية (أسفل المستجمع)، وتتميّز بأراضٍ منبسطة، وتتصل اتصالاً مباشراً بالبحر. وتُستخدم آبار كثيرة لأغراض زراعية في أجزاء المستجمع الدنيا القريبة من الساحل، حيث أدى الضخ الجائر من الخزانات الجوفية الساحلية إلى ظهور مشكلة تداخل مياه البحر بالمياه العذبة (الخريطة1).

وتُعتبر منطقة الدراسة من المناطق الهامة في محافظة جنوب الباطنة، حيث تسهم في توفير كميات كبيرة من المياه العذبة اللازمة للري والاستخدامات الزراعية المختلفة. وتعتمد الزراعة في هذه المنطقة اعتماداً كبيراً على مياه الآبار، مما يستدعي الاهتمام بإدارة الموارد المائية بشكل مستدام لتجنُّب استنزاف المياه الجوفية وتدهور جودتها.

وتشمل الأنشطة الاقتصادية في منطقة الدراسة الزراعة وتربية الماشية وصيد الأسماك، إضافة إلى بعض الصناعات الحِرفية التقليدية. وتشتهر المنطقة بإنتاج مجموعة متنوّعة من المحاصيل الزراعية، مثل التمور والخضروات والفواكه، مما يجعلها تؤدي دوراً مهماً في تحقيق الأمن الغذائي.

ومن التحديات التي تواجهها المنطقة التغيُّرات المناخية التي تؤثر على كمية الأمطار المتساقطة، وبالتالي على تغذية الخزانات الجوفية. لذلك، يعتبر اعتماد استراتيجيات فعّالة لإدارة المياه والاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية أمراً ضرورياً للحفاظ على استدامة الزراعة والبيئة في المنطقة.

والمناطق الجبلية في الجهة الجنوبية من المستجمع هي مصادر رئيسية لتغذية الأودية والخزانات الجوفية بالمياه، حيث تؤدي الأمطار الموسمية دوراً كبيراً في زيادة مخزون المياه الجوفية. كما أن التنوّع الطبيعي في المنطقة يوفّر موائل طبيعية للحياة البرية والنباتية، مما يعزّز من قيمة المنطقة بيئياً وسياحياً.

وتسعى الحكومة الرشيدة إلى تنفيذ مشاريع تنموية ترمي إلى تحسين البنية التحتية للمياه، وتعزيز كفاءة استخدام المياه في الزراعة والصناعة، فضلاً عن زيادة الوعي المجتمعي بأهمية الحفاظ على الموارد المائية وحمايتها من التلوث والتدهور.

وبفضل موقعها الجغرافي المتميّز وتنوّع تضاريسها، تشكِّل منطقة الدراسة بيئة فريدة من نوعها تتطلب اهتماماً خاصاً من قِبل الجهات المختصّة، لضمان استدامتها واستمرارية الموارد الطبيعية التي تحتويها. ويُعَدُّ التوازن بين التنمية الاقتصادية والحفاظ على البيئة والتنوّع البيولوجي في المنطقة من الأهداف الرئيسية التي ترمي الخطط الاستراتيجية للمحافظة على تحقيقها.

الخريطة 1. موقع منطقة الدراسة في مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة

المصدر: قاعدة بيانات الموارد المائية، المديرية العامة لتقييم موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان. تم الاطّلاع عليه في 9 أيلول/سبتمبر 2024.

الخريطة الأساسية: Esri- ArcGIS Imagery.

إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

الجدول 1. ملخص التكوين الجيولوجي ونوعه في منطقة الدراسة

التكوين الجيولوجي	نوع الطبقة
مجموعة الحاجر العظمى (تكوين ماحيل وسيق)	حجر جيري/دولوميت
مجموعة صخور الحواسنة/حمراء الدروع وبني عمر	حجر جيري/صخور كربونية/صوان
مجموعة صخور الأفيوليت	القشرة المحيطية وطبقة الوشاح
مجموعة صخور العصر الثلاثي	رواسب محيطية كربوناتية ضحلة
الطبقة الحصوية الحديثة الأولى	رواسب حديثة متماسكة وشبه متماسكة
الطبقة الحصوية الحديثة الثانية	رواسب حديثة مع طين

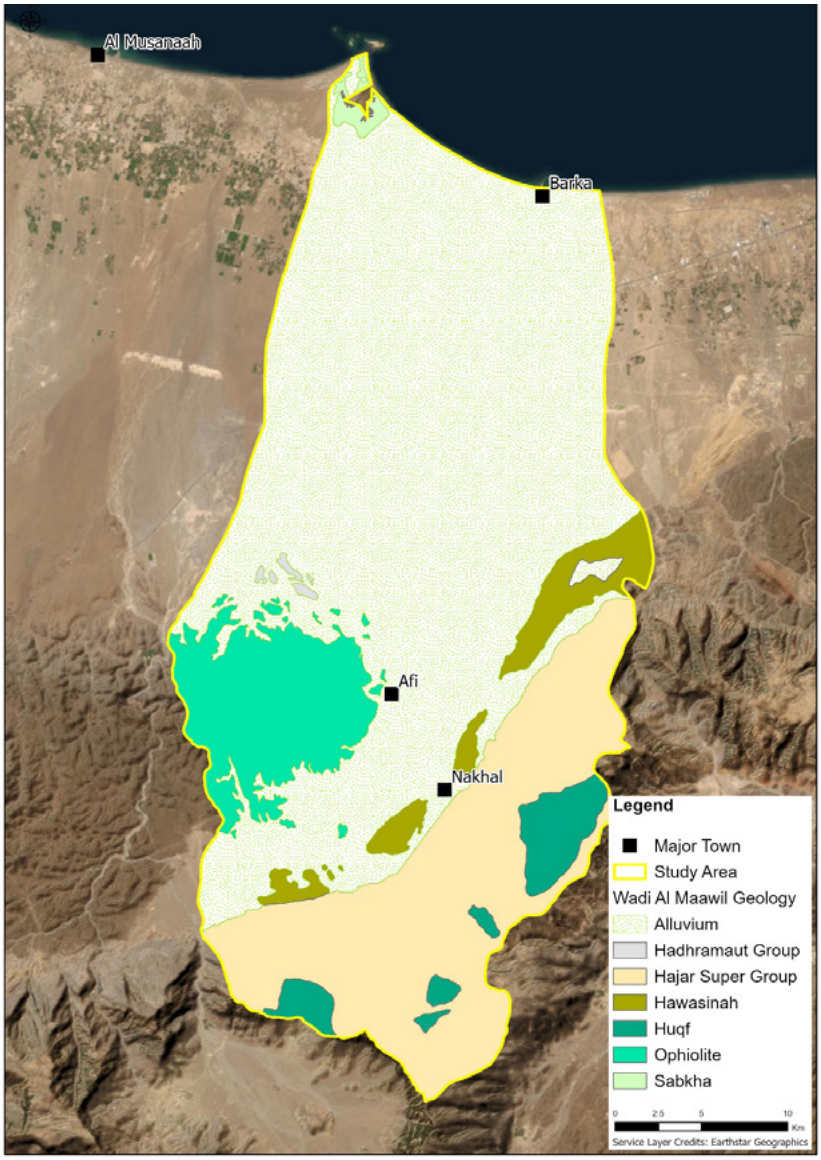
المصدر: المديرية العامة لتقييم موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

2. الملامح الجيولوجية لمنطقة الدراسة

تغطي منطقة الدراسة عامة الرسوبيات الغرينية الحصوية للأودية (من الحقبة الرابعة) التي تتراوح سماكتها بين 0 و40²متراً في أعالي المنطقة بالقرب من السلسلة الجبلية، وتصل إلى أكثر من 500²متراً في المناطق القريبة من الساحل (الخريطة2²). وتوجد في المنطقة وفي الجهة الجنوبية منها صخور مجموعة الحضرموت (الحقبة الثالثة)، وهي عبارة عن صخور كربوناتية من الحجر الجيري من العصر الثلاثي والدولومايت، وتظهر على شكل مرتفعات بأبعاد مختلفة وعلى مسار واحد. كما²تشكِّل جزر السوادي في الجهة الشمالية لمنطقة الدراسة جزءاً منها. وتتواجد في المنطقة بشكل عام الصخور النارية (Ophiolite) التي ربما تشكِّل سدّاً أو تعمل كحاجز لعملية تغيير مسارات جريان الأودية من الجنوب إلى الشمال، ولا²تسمح بمرور المياه من²خلالها إلا²بكميات قليلة. وتتداخل رسوبيات الطفلة الحمراء الناجمة عن تكوينات صخور الحواسنة (Chert/Shale) في التكوينات الجيرية، مشكِّلةً طبقة عازلة، ومساعِدةً في تحوّل معظم مياه الأمطار إلى مياه سطحية في الأودية، ومساهِمة بالتالي في تغذية الطبقات الرسوبية. أما²في أقصى الجنوب، فتحدّ منطقة الدراسة جبال شاهقة من تكوين صخور الحجر الجيري (HSG) التي تكوّن الجبل الأخضر وجبل شمس. وهي شديدة الانحدار، حيث تنحدر منها عدة أودية تشكِّل المصدر الرئيسي للتغذية الجوفية للخزانات الرسوبية بمنطقة الدراسة. كما²تمتاز هذه الصخور بوجود تراكيب جيولوجية وتشققات كثيرة تمثل مصدراً آخر مهماً للتغذية الجوفية في المنطقة السهلية لمستجمع وادي المعاول (الجدول1²).

©وزارة الثروة الزراعية والسمكية ومواردالمياه، سلطنة عمان

الخريطة 2. الخارطة الجيولوجية



المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه. مشروع الخارطة الهيدرجيولوجية لسلطنة عُمان في عام 2012.
الخريطة الأساسية: Esri- ArcGIS Imagery.
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

3. الملامح الهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة

تُعَدُّ هيدروجيولوجية منطقة الباطنة عاملاً أساسياً في تواجد المياه الجوفية في سهل الباطنة، حيث تكوَّن هذا السهل عبر ملايين السنين بفعل العوامل الطبيعية المختلفة مثل الأمطار وعمليات التعرية.

ويمكن تقسيم منطقة الباطنة إلى منطقتين أساسيتين استناداً إلى اختلاف نوعية الصخور والوضع الجيولوجي لكل منهما: الأولى هي منطقة الجبال، التي تتكوّن من صخور صلبة مثل الأفيوليت وصخور الحجر الجيري وصخور مجموعة الحقف، والتي تعود إلى أعمار زمنية تتراوح بين العصر البليوجيني (65مليون²سنة) والعصر البريكامبيرين (530مليون²سنة). والثانية هي منطقة الأراضي المنخفضة والسهل الساحلي، التي تتميّز بالصخور الهشة المكوّنة من ترسبات الأودية المتماسكة وغير المتماسكة. وتعود هذه الرسوبيات إلى العصر الرباعي، أي²إلى²قبل حوالي 1.65²مليون²سنة.

وتعتبر ترسبات الأودية وطبقة فارس الأعلى الخزان الرئيسي للمياه الجوفية في المنطقة، حيث تصل أعماقها إلى أكثر من 600²متراً في منطقة الدراسة. وحسب بيانات الخارطة الهيدروجيولوجية لسلطنة عُمان لعام²2011، فيما²يلي خصائص الخزان الجوفي: معامل الناقلية 1,330²م³/يوم، الموصلية الهيدروليكية 36²م³/يوم، معامل التخزين 0.0007، ومعامل الإنتاج النوعي 3.5²في²المائة.

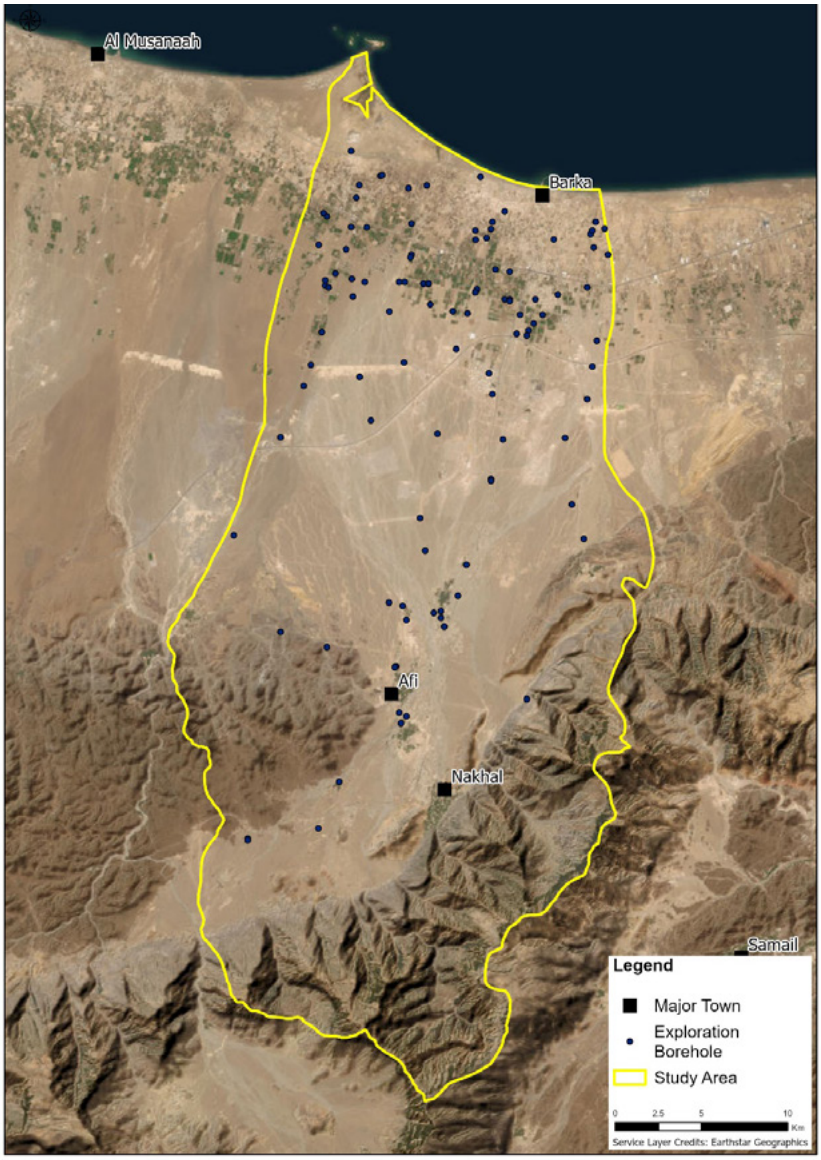
وتمثل الأمطار الهاطلة على الجبال المصدر الرئيسي لمعظم المياه العذبة التي تغذي الخزانات الجوفية الكامنة في سهل الباطنة. ويحدث الجزء الأكبر من عملية التغذية الجوفية على طول مسار الأودية سواء من²خلال التسرُّب المباشر من مياه الأمطار، أو أثناء جريان المياه في الأودية. والأمطار التي تسقط مباشرة على السهول الحصوية بين الساحل والجبال لا²تشكِّل مصدراً رئيسياً للتغذية الجوفية، وذلك بسبب قلة هذه الأمطار وامتصاص التربة لمعظمها ثم تبخُّرها.

وتمثل رسوبيات الأودية الحصوية من العصر الرباعي والحديثة الخزان الجوفي الرئيسي بالمنطقة. وقد تم تصنيفها وتقسيمها حسب الاختلاف في الخصائص الهيدروجيولوجية والفيزيائية ونتائج المسوحات الجيوفيزيائية إلى أربعة أقسام رئيسية: (1) الطبقة العلوية الجافة، التي تتكوّن من طبقات الحصى والطين غير المتماسكة أو من طبقات ضعيفة وشبه متماسكة ترسبت حديثاً فوق مستوى سطح المياه الجوفية؛ (2) الطبقة الحديثة الأولى، التي قُسِّمت إلى جزأين: جزء علوي يتكوّن من رسوبيات الأودية الحديثة الخالية من الطين والمتماسكة في بعض الأجزاء، وجزء سفلي يحتوي على كميات أكبر من الطين؛ (3) الطبقة القديمة الثانية، وتتكوّن من رسوبيات من العهد الثلاثي، وقد تحلّلت بعض صخورها إلى طين؛ (4) الطبقة الصماء أو القاعدة التي تمثل قاعدة الخزان الجوفي، وتتكوّن من صخور جيرية كربوناتية وطينية أو أجزاء متحلّلة من الصخور الكربوناتية المارل.

والمياه الجوفية في ترسبات الأودية لمنطقة الباطنة هي ذات نوعية جيدة بصفة عامة، حيث تتراوح الموصلية الكهربائية ما بين 500 و1,900 ميكروسيمنز/سم، ما عدا في بعض المواقع التي تتداخل فيها مياه البحر بالمياه العذبة وحيث تتعدى الموصلية الكهربائية 27,000 ميكروسيمنز/سم. وتتراوح درجة الحموضة القاعدية بين 7.53 و9.63. أما إنتاجية الآبار المحفورة في الطبقات الرسوبية للخزان الجوفي، فتتراوح بين 13 و52 لتراً/ثانية.

أكدت نتائج الحفر وجود تباين في إنتاجية الآبار المحفورة في الطبقات الرسوبية للخزان الجوفي من منطقة إلى أخرى، مع الاختلاف في سماكة تلك الطبقة. ويمكن أن يُعزى ذلك إلى مصادر التغذية الجوفية للمنطقة. وقد لوحظ وجود اتصال طفيف جداً بين الطبقتين عند إجراء تجارب الضخ التجريبي. ويشير الخريطة 3 إلى توزيع الآبار الاستكشافية في أعلى وأسفل المستجمع المائي لوادي المعاول، حيث تتركّز معظم آبار المراقبة في الأجزاء الدنيا من المستجمع.

الخريطة 3. التوزيع المكاني للآبار الاستكشافية في منطقة الدراسة



المصدر: قاعدة بيانات موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان. تم الاطّلاع عليه في 9 أيلول/سبتمبر 2024.
الخريطة الأساسية: Esri- ArcGIS Imagery.
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

4. مصادر المياه في منطقة الدراسة

تعتمد منطقة وادي المعاول على مصادر مياه متنوّعة تشمل المياه السطحية والمياه الجوفية، حيث يؤدي كل من هذه المصادر دوراً حيوياً في تلبية الاحتياجات المائية للسكان والزراعة والصناعات المحلية.

وتنجم المياه السطحية في وادي المعاول بشكل رئيسي عن تصريف الأمطار وتدفق الوديان في المنطقة. وتعتبر الأمطار الموسمية المصدر الأساسي للمياه السطحية، حيث تسهم بشكل كبير في تغذية الأودية. وينبثق وادي المعاول من سفوح جبال شمال عُمان ويتدفق شمالاً حتى يصب في بحر عُمان، مما يجعله مصدراً مهماً للمياه السطحية في المنطقة. وهذه المياه تُستخدم في ري الأراضي الزراعية وتوفير المياه للأنشطة المحلية المختلفة، مما يعزِّز من الإنتاج الزراعي ويساهم في استدامة الحياة الريفية في المنطقة.

وتعتمد منطقة وادي المعاول بشكل رئيسي على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المائية المختلفة. ويتم استخراج المياه الجوفية عبر الآبار التقليدية والحديثة، وهي تُستخدم لري الأراضي الزراعية ولتلبية احتياجات السكان والصناعات المحلية.

وتتأثر مستويات المياه الجوفية في منطقة وادي المعاول بعدة عوامل، منها كميات الأمطار التي تساهم في تغذية الأحواض الجوفية وزيادة مستويات المياه تحت سطح الأرض.

كذلك، تؤثر معدلات التبخُّر العالية على كميات المياه المتاحة في الأحواض السطحية والجوفية. وتؤدي التضاريس وأنواع التربة دوراً في تحديد كيفية تخزين المياه وتدفقها في المنطقة، حيث تسهم التضاريس الوعرة والتربة النفّاذة في تغذية الأحواض الجوفية بشكل أفضل.

ويعتبر المناخ عاملاً رئيسياً يؤثر على الموارد المائية في مستجمع وادي المعاول. وتساهم التغيُّرات المناخية في تغيُّر أنماط الهطول وتوزيع الأمطار، مما يؤثر بشكل مباشر على كمية المياه السطحية والجوفية المتاحة. وتؤدي فترات الجفاف المتكررة إلى انخفاض في مخزون المياه الجوفية، بينما يمكن للفيضانات أن تزيد من التغذية السطحية للأحواض الجوفية. وقد تؤدي التغيُّرات المناخية إلى تغيُّرات في معدلات التبخُّر والتسرُّب، مما يؤثر على توازن المياه في المنطقة، ويضع تحديات إضافية أمام إدارة الموارد المائية.

وتواجه منطقة وادي المعاول تحديات متعددة تتعلق بإدارة الموارد المائية، منها زيادة الطلب على المياه مع تزايد السكان والتوسّع الزراعي والصناعي الذي يضع ضغوطاً على الأحواض المائية الجوفية. فالاستنزاف المفرط للمياه الجوفية، دون تعويض كافٍ، يؤدي إلى انخفاض مستويات هذه المياه، مما يؤثر على استدامة الموارد المائية. كذلك، تؤثر التغيُّرات المناخية وما يصاحبها من تغيُّرات في أنماط الهطول والجفاف المتزايد سلباً على كمية المياه المتاحة ونوعيتها. وهذه التحديات تتطلب إدارة فعّالة للموارد المائية لضمان تلبية احتياجات المجتمع المحلي والحفاظ على التوازن البيئي. ومن خلال فهم مصادر المياه في منطقة وادي المعاول والتحديات المرتبطة بها، يمكن اتخاذ إجراءات فعّالة لضمان استدامة هذه الموارد الحيوية وتلبية احتياجات السكان والزراعة والصناعات بشكل متوازن.

5. شبكة المراقبة الهيدرومترية

تراقَب البيانات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة باستخدام حوالي 92محطة. وتتكوّن شبكة المراقبة من محطات لقياس الأمطار ومحطات لقياس تدفق الأودية والأفلاج والعيون وعدة آبار، إضافة إلى المحطات المناخية (الخريطة4). وتتفاوت وتيرة قراءات المحطات وفقاً لنوع المحطة، حيث تتراوح بين شهري وكل ثلاثة أشهر. ويتم تسجيل تدفق الأودية عبر ثلاث محطات، وتُجمع سجلات التدفق المستمر والذروة. وتُستخدم 15محطة لقياس تدفق الأفلاج، ومحطة واحدة لقياس تدفق العيون. ويبلغ إجمالي عدد آبار مراقبة مستويات المياه الجوفية 62بئراً. وتراقَب السدود من خلال محطتين. كما تؤخذ قياسات التوصيل الكهربائي بانتظام في مواقع مراقبة تدفق الأفلاج، وأحياناً في مواقع مراقبة مستويات المياه الجوفية. وتتم مراقبة شبكة من الآبار الخاصة على الساحل بانتظام (كل حوالي خمس سنوات، اعتباراً من عام1995) لقياس مستوى الملوحة، ولتحديد مدى تداخُل المياه المالحة في الخزان الجوفي الساحلي.

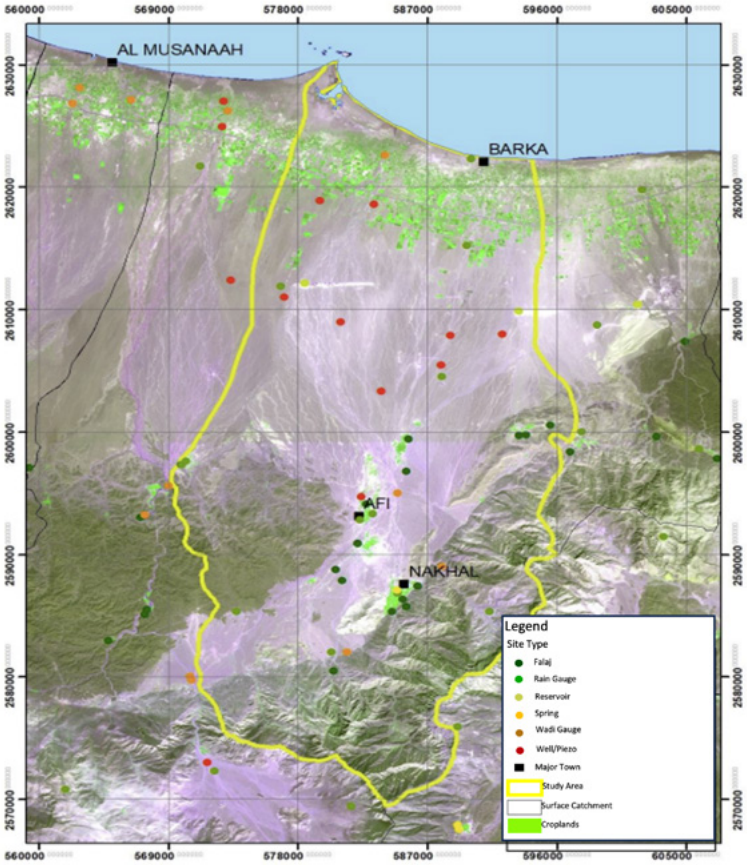
الجدول 2. عدد ونوع محطات المراقبة في مستجمع وادي المعاول

نوع المحطة	مناخية	سد	أفلاج	أمطار	عيون	أودية	آبار	المجموع
العدد	1	2	15	8	1	3	62	92

المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

©وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان

الخريطة 4. توزيع محطات المراقبة الهيدرومترية في مستجمع وادي المعاول



المصدر: قاعدة بيانات موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان. تم الاطّلاع عليه في 9 أيلول/سبتمبر 2024.
الخريطة الأساسية: Landsat 8-9 imagery, true color, December 2023.
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لاتعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

6. الأمطار وتدفقات الأودية في منطقة الدراسة

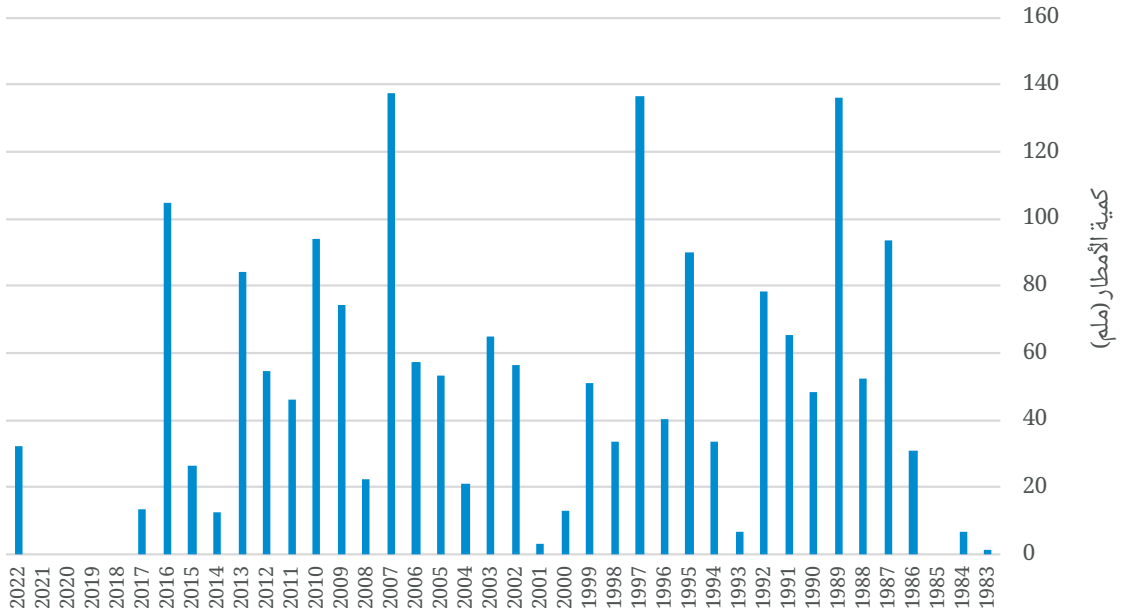
تشكِّل الأمطار المصدر الرئيسي للتغذية الجوفية والسطحية في مستجمع وادي المعاول. وبلغ متوسط الهطول المطري في الوادي 60²ملم في عام 2023²، أي أقل من المتوسط السنوي المقدر بـ 71²ملم (الشكل 1²).

وتقدَّر كمية الأمطار بحوالي 350²ملم سنوياً في جبال الحجر إلى 50²ملم سنوياً على طول الساحل، مع تباينات واسعة. ونمط الأمطار السائد في وحدة تقييم بركاء مميّز، إذ إن أشهُر الشتاء الثلاثة الأكثر رطوبة هي من شباط/فبراير إلى نيسان/أبريل، وهي تشهد 40²في المائة من إجمالي الأمطار السنوية في المتوسط. أما فترة الرطوبة الثانوية الأقل تأثيراً، فهي تمتد بين شهري تموز/يوليو وآب/أغسطس، وتشهد حوالي 23²في المائة من إجمالي الأمطار السنوية. وتخضع الأمطار لتأثيرات الجبال، مما يؤدي إلى أنماط متغيّرة من الأمطار على مسافات صغيرة نسبياً. وبالتالي، تسبّب هذه العوامل تبايناً أعلى في متوسط كميات الأمطار السنوية في جبال الحجر مقارنة بالسهل الساحلي. وغالباً ما تسقط الأمطار على شكل زخات محلية قصيرة وكثيفة.

وتُعَدّ تدفقات الأودية أحد مصادر التغذية الجوفية المهمة. وفي عام 2023، قُدِّر حجم التدفق السطحي للأودية في وادي المعاول بحوالي 0.56 مليون م³. وتساهم الأودية بشكل كبير في تغذية المياه الجوفية، مما يجعلها مصدراً حيوياً للحفاظ على مستويات المياه في المنطقة. ويوجد في وادي المعاول سد للتغذية الجوفية تقدَّر سعته بحوالي 10 ملايين م³. ويعتبر سد التغذية الجوفية في وادي المعاول من البنى التحتية الرئيسية التي تساعد في الحفاظ على المياه وزيادة تغذية المياه الجوفية.

©وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عمان

الشكل 1. معدلات الهطول المطرية في المنطقة

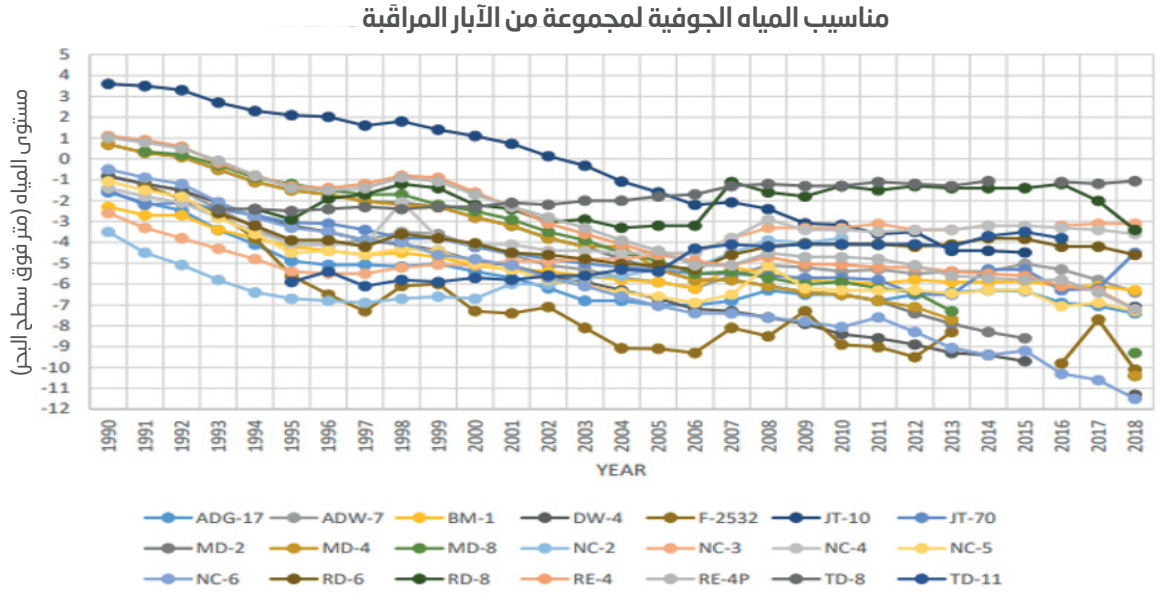


المصدر: قاعدة بيانات موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

7. مناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة

تراقب وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه بانتظام مستويات المياه في العديد من الآبار الموجودة في مختلف أنحاء المستجمع المائي. وتتراوح مستويات المياه الجوفية بالقرب من السواحل حول أكثر من 85م² متراً تحت مستوى سطح الأرض. وهي ترتفع في الأحباس العليا من المستجمع، حيث يصل عمق مستوى المياه إلى أقل من 20م² متراً ولا يتقلّب كثيراً لأنّ استهلاك المياه الجوفية يكون ضئيلاً. ويوجد أيضاً عدد قليل من آبار المراقبة في الأحباس العليا من المستجمع. ويشير الشكل 2² إلى مناسيب المياه الجوفية لمجموعة من آبار المراقبة في مستجمع وادي المعاول، حيث يلاحَظ استمرار انخفاض مناسيب المياه الجوفية منذ عام 1990².

الشكل 2. مناسيب المياه الجوفية لمجموعة من الآبار المراقَبة في مستجمع وادي المعاول



المصدر: قاعدة بيانات موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

8. تحليل مناسيب المياه لبعض الآبار المراقَبة في مستجمع وادي المعاول

البئر الواقع في الأحباس السفلى من المستجمع

يقع البئر المراقَب (BM-1) في الأحباس السفلى لمستجمع وادي المعاول بالقرب من البحر، حيث تنتشر المَزارع بشكل واسع. وتُظْهِرُ بيانات مناسيب المياه أن مستويات المياه الجوفية بالبئر تتراوح بين 4.5 و10م² أمتار تحت سطح الأرض، مع تقلبات ملحوظة خلال الفترة (1984-2021). وهذه التقلبات تعكس تأثير التغيُّر المناخي والاستخدام الزراعي المفرط للمياه الجوفية في المنطقة حيث يسجَّل انخفاض مستمر في مناسيب هذه المياه. وقد أفضى استنزاف الموارد المائية الجوفية مع مرور الوقت إلى آثار كبيرة على الأنشطة الزراعية المحلية.

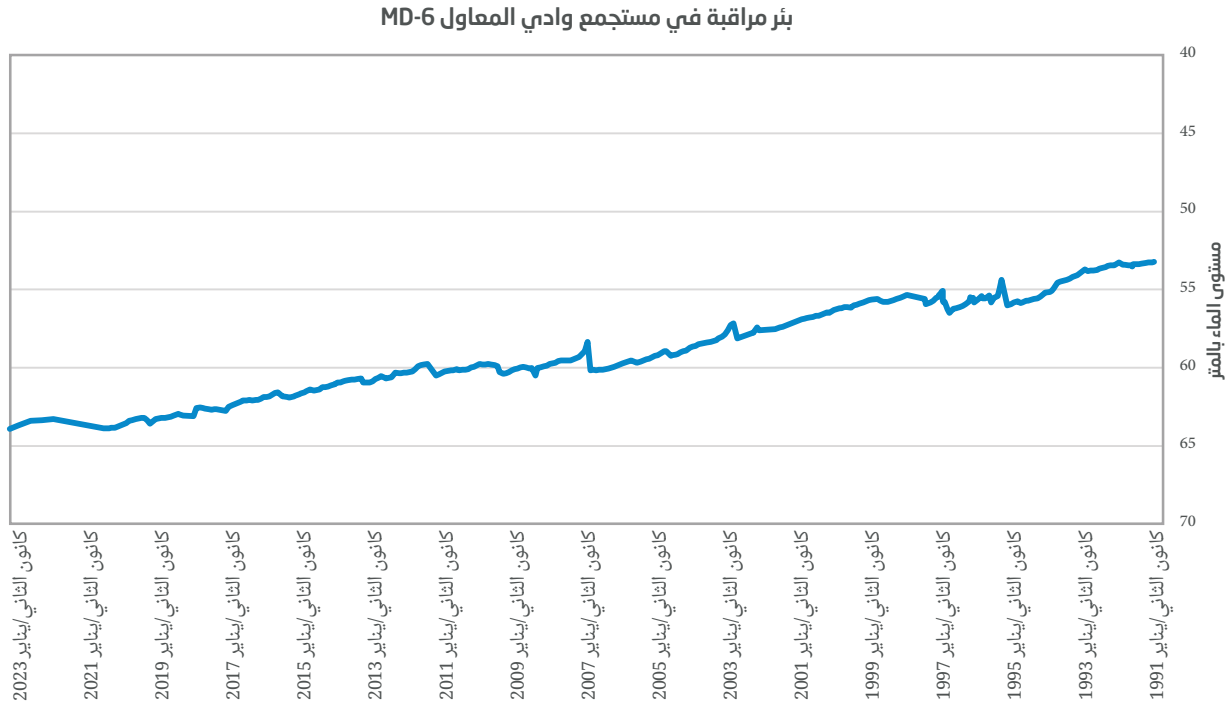
الآبار الواقعة في الجزء الأوسط من المستجمع

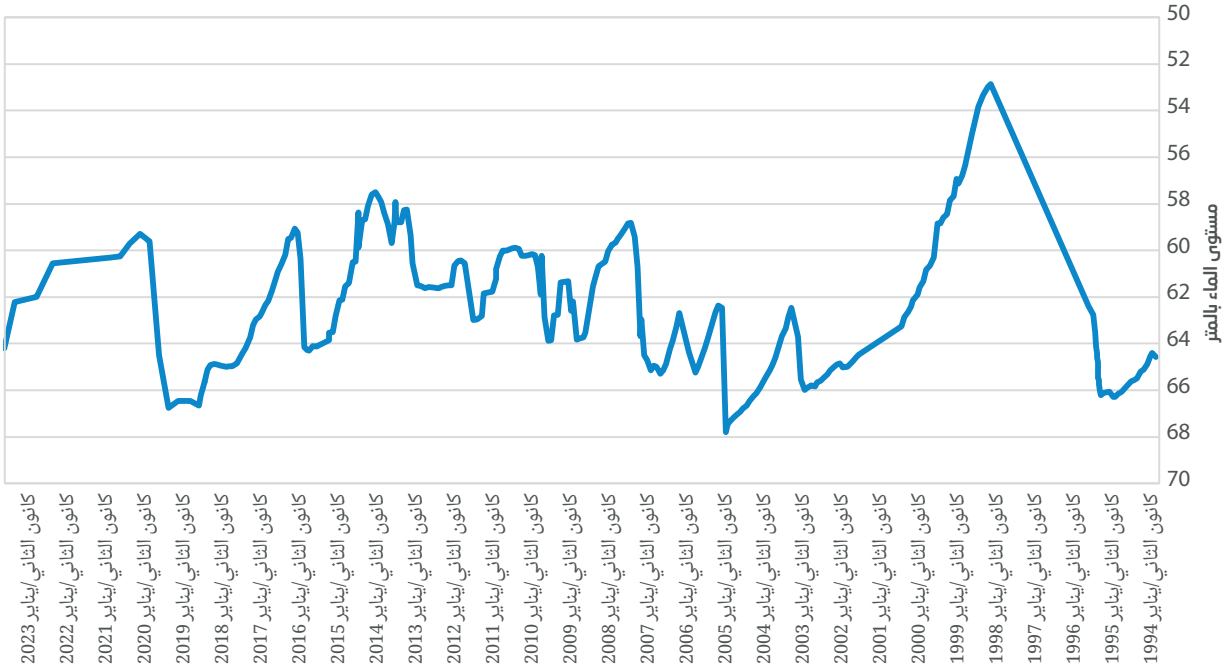
في الجزء الأوسط من المستجمع، يتم مراقبة مناسيب المياه من² خلال بئرين هما S8-21 وMD-6 اللذان تتراوح مستويات المياه الجوفية فيهما بين 53 و68م² متراً تقريباً تحت سطح الأرض. وهذه المستويات تبدو أكثر استقراراً مقارنةً بالجزء السفلي، نتيجة للعمليات الجيولوجية والتوزيع المكاني للتغذية المائية. غير أنها لا² تخلو من التقلّبات الدورية الناجمة عن التقلّبات في كميات الأمطار والتغيُّرات في استهلاك المياه لأغراض الري والشرب.

البئر الواقع في الأحباس العليا من المستجمع

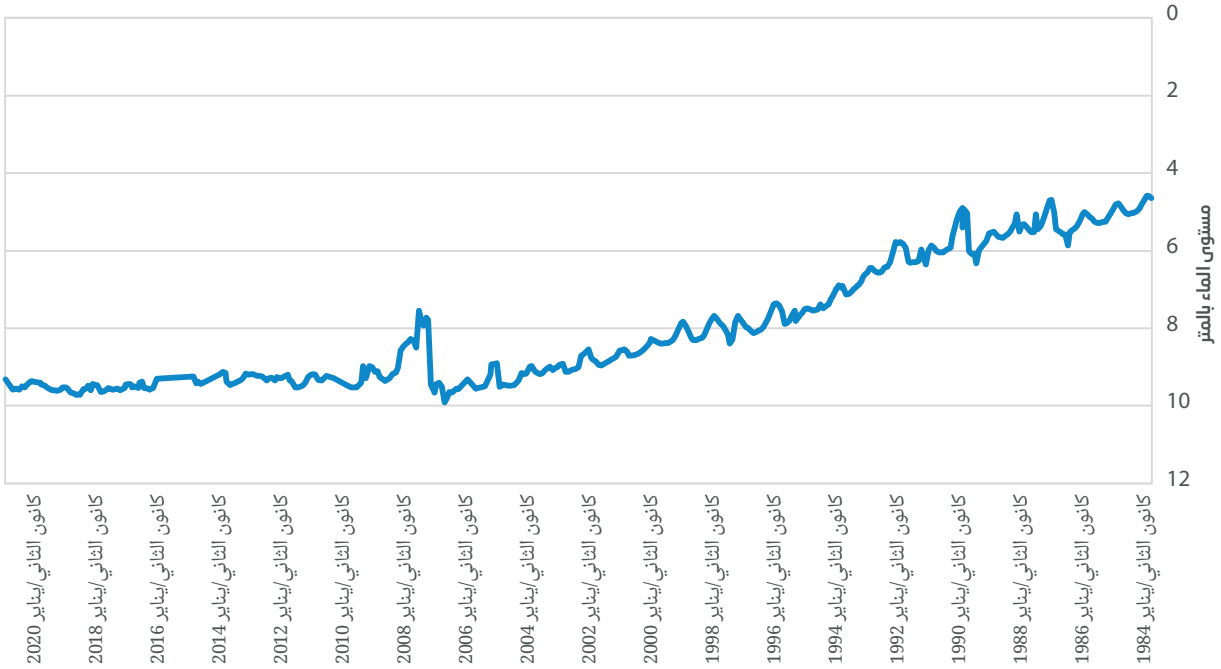
يقع البئر المراقَب (JT-9) في الأحباس العليا من المستجمع، حيث تشير البيانات إلى أن مناسيب المياه الجوفية مستقرة عند 22²متراً تحت سطح الأرض تقريباً. وتشير هذه المستويات إلى تغذية مائية جيدة نسبياً في هذه المنطقة التي تعتبر من أهم مناطق التغذية في المستجمع. ويُعزى استقرار مناسيب المياه في هذا البئر إلى تأثير العوامل الجيولوجية وزيادة الأمطار بشكل رئيسي، وكذلك إلى العوامل المناخية والبشرية. ويبيّن الشكل3² مناسيب المياه الجوفية لآبار مراقَبة مختارة في مستجمع وادي المعاول.

الشكل 3. مناسيب المياه الجوفية لآبار مراقَبة مختارة في مستجمع وادي المعاول

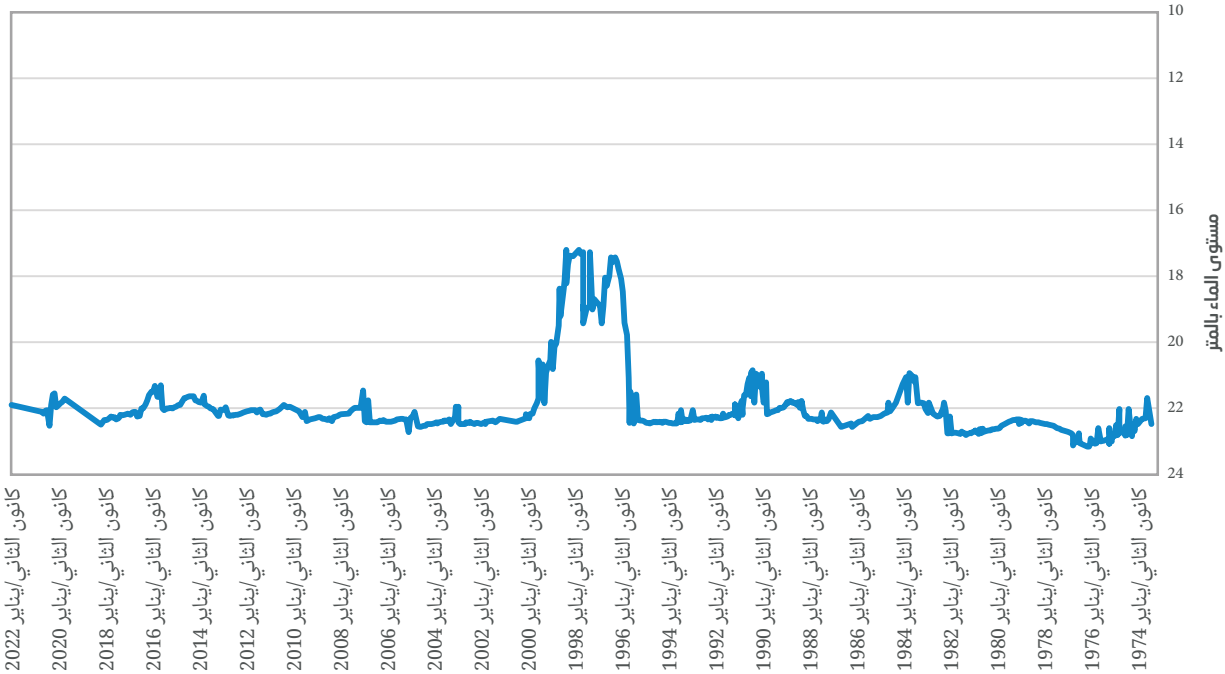




بئر مراقب في مستجمع وادي المعاول أسفل المستجمع المائي بالقرب من البحر BM-1



بئر مراقبة في مستجمع وادي المعاول JT-9



9. المياه غير التقليدية

تعتبر تحلية مياه البحر أحد مصادر المياه غير التقليدية في المنطقة. ويبلغ عدد محطات التحلية في محافظة جنوب الباطنة أربع محطات، وتقدَّر كميات المياه المحلاّة بحوالي 393,141م³/يوم كما توجد ست محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي، وتقدَّر كميات المياه المنتَجة من هذه المحطات بحوالي 10,196م³/يوم.

10. الميزان المائي

بشكل عام، تعاني معظم الأجزاء في ساحل الباطنة من انخفاض حاد في مناسيب المياه الجوفية، مما أسفر عن عجزٍ مائي في معظم المستجمعات. ويقدَّر العجز المائي في مستجمع وادي المعاول بحوالي 55.51 مليون م³/سنة حسب دراسة الميزان المائي لسلطنة عُمان (2013). ويُتوقّع أن يرتفع العجز نتيجة لتدهور مستوى المياه الجوية وتنامي الأراضي الزراعية في المنطقة.

الجدول 3. عناصر الميزان المائي في مستجمع وادي المعاول

المستجمع	المعاول				
وحدة التقييم	جنوب المعاول	أسفل المعاول	ربخة - ضيقة	شمال اللاجال	المجموع
الأمطار (مليون م³/سنة)	45	42	19	15	121
التبخّر (مليون م³/سنة)	30	33	13	14	90
الاستهلاك الزراعي (مليون م³/سنة)	-2.32	-46.47	-1.97	-16.72	-67.48
الاستهلاك الحضري (مليون م³/سنة)	-0.51	-1.71	-0.09	-0.4	-2.71
التغذية المباشرة (مليون م³/سنة)	12.08	7.48	4.75	1.49	25.8
التغذية من الأودية (مليون م³/سنة)	0.21	2.72	0.03	0.94	3.9
التغذية من السدود (مليون م³/سنة)	0	0.67	0	0.02	0.69
التغذية الحضرية (مليون م³/سنة)	0.36	1.22	0.06	0.28	1.92
فَقْد التربة (مليون م³/سنة)	0	-30.1	0	0	-30.1
جريان الأودية (مليون م³/سنة)	2.68	4.9	0.96	1.5	10.04
التدفق الخارجي (مليون م³/سنة)	0	2.66	0	2.01	4.67
التدفق الداخلي (مليون م³/سنة)	-58.54	63.16	-4.63	12.47	12.46
حجم الخزان (مليون م³/سنة)	0	0	-0.01	-0.4	-0.41
العجز/الوفرة (مليون م³/سنة)	-48.72	-3.02	-1.85	-1.92	-55.51

المصدر: قاعدة بيانات موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

11. المناخ

تتميّز منطقة الدراسة بمناخ جاف وشبه جاف. وهذا المناخ يؤثر على الحياة اليومية والأنشطة الاقتصادية في هذه المنطقة. ويتراوح الطقس بين حار جداً في فصل الصيف ومعتدل إلى بارد في فصل الشتاء. وفي الصيف، تصل درجات الحرارة إلى مستويات مرتفعة تتجاوز 40 درجة مئوية، مما يجعل الأجواء قاسية ويزيد من الحاجة إلى التكيُّف مع هذه الظروف الصعبة. وفي فصل الشتاء، تكون درجات الحرارة أكثر اعتدالاً، حيث تتراوح ما بين 15 و25 درجة مئوية، مما يوفِّر ظروفاً مناخية أكثر راحة للسكان.

والهطول المطري في مستجمع وادي المعاول قليل وغير منتظم. فالأمطار تتساقط خلال فترات محددة من السنة، غالباً في فصل الشتاء وأحياناً في فصل الربيع. ويبلغ متوسط الهطول المطري السنوي حوالي 71 ملم فقط، مما يتطلب استخدام تقنيات حديثة لترشيد استخدام المياه في الري بغية ضمان استدامة الأنشطة الزراعية. والرطوبة في المنطقة منخفضة معظم أيام السنة، لكنها قد ترتفع قليلاً في بعض الفترات، خاصة في المناطق القريبة من البحر. وهذا التفاوت في الرطوبة يؤثر على نوعية الحياة والأنشطة الزراعية. وتؤدي الرياح أيضاً دوراً هاماً، حيث تهبّ الرياح الجافة والدافئة التي يمكن أن تكون قوية في بعض الأحيان، مما يزيد من معدل التبخُّر ويعزِّز حالة الجفاف.

ونتيجة لهذه الظروف المناخية القاسية، تحتاج الأنشطة الزراعية والمائية في مستجمع وادي المعاول إلى استراتيجيات خاصة للتكيُّف. ويعتمد السكان المحليون على تقنيات متقدمة في الري والزراعة لضمان استدامة الموارد المائية وتحقيق الأمن الغذائي. كما تتطلب هذه الظروف العمل على إدارة المياه والحفاظ على البيئة لضمان التوازن بين الإنسان والطبيعة في هذه المنطقة الجافة. ويتضمن الجدول 4 معدلات الأمطار والتبخُّر في مستجمع وادي المعاول.

الجدول 4. معدلات الأمطار والتبخُّر في مستجمع وادي المعاول حسب دراسة الميزان المائي لعام 2012

المستجمع	وحدة التقييم المائية	المساحة (كم²)	معدل الأمطار (مليون م³/سنة)	معدل التبخُّر (مليون م³/سنة)
وادي المعاول	جنوب المعاول	315.1	45	30
	أسفل المعاول	517.5	42	33
	ربخة – ضيقة	173.4	19	13
	شمال اللاجال	193	15	14

المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

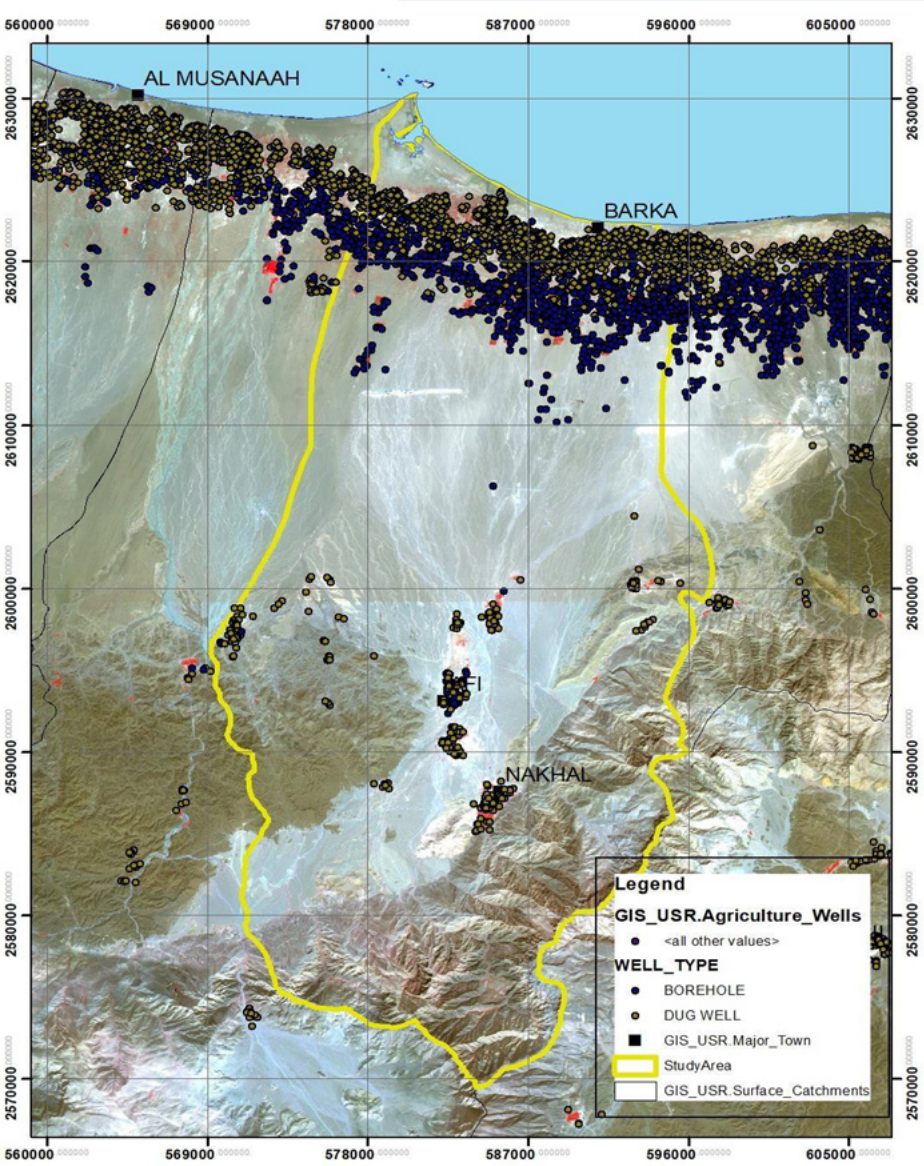
12. المناطق الزراعية في منطقة الدراسة

تواجه الزراعة في محافظة جنوب الباطنة تحديات كبيرة. ففي منطقة الدراسة، يوجد مصدر مياه واحد لري جميع المَزارع تقريباً، وهو المياه الجوفية المستخرجة من الطبقة الجوفية بواسطة الآبار الخاصة. ويتّبع المزارعون طرقاً مختلفة لري مزارعهم، والطريقة الرئيسية هي الري بالغمر. ويتم ري عدد قليل من المَزارع باستخدام طرق الري الحديثة، مثل التنقيط والرش.

وتعتبر معظم المَزارع في منطقة الدراسة مَزارع صغيرة الحجم، حيث تتراوح مساحتها بين أقل²من 10²فدانات و30²فداناً. وتقع معظم هذه المَزارع (54²في²المائة منها) على بُعد يتراوح بين كيلومتر واحد وخمسة كيلومترات فقط من البحر. ولا²يقع إلا²4²في²المائة منها على بُعد 15²كيلومتراً أو أكثر من البحر. وهذا يعني أن هذه المَزارع معرّضة لمشاكل الملوحة.

وتُظْهِر دراسة أُجريت عام²2011 أن مساحة الأراضي المتأثرة بالملوحة التي تزيد عن 10,000²ميكروسيمنز/سم في محافظة جنوب الباطنة قد ازدادت مع مرور الوقت منذ عام²1995، وذلك بمقدار 14,500²فدان. ونتيجة لتداخل مياه البحر مع المياه الجوفية، ماتت العديد من الأشجار، وخاصة أشجار النخيل، في المزارع التقليدية. ومع مرور الوقت، أصبحت العديد من الأراضي الزراعية في المناطق الساحلية غير صالحة للزراعة، وهُجرت بعض المَزارع. كذلك، تتدهور جودة المياه وتتقلّص مساحات المياه الصالحة للاستخدام الزراعي في مستجمع وادي المعاول (الخريطة5²).

الخريطة 5. التوزيع المكاني لآبار المزارعين في منطقة الدراسة



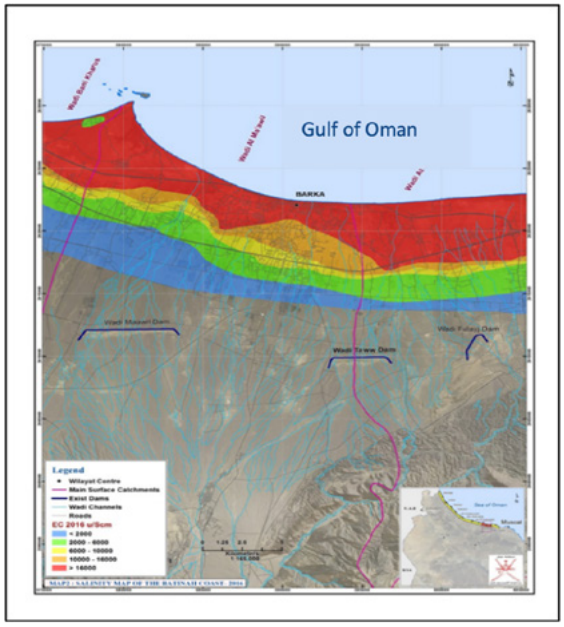
المصدر: قاعدة بيانات موارد المياه، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان. تم الاطّلاع عليه في 9 أيلول/سبتمبر 2024.
الخريطة الأساسية: Landsat 8-9 imagery, true color, December 2023.
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لاتعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

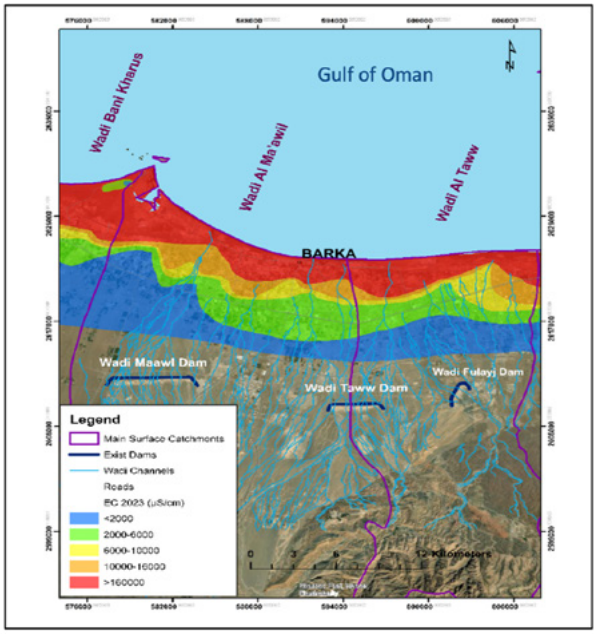
13. نبذة عن نتائج مسح الملوحة لمنطقة الدراسة في عام 2023

خلال الخمسين عاماً الماضية، أدى النمو السكاني المتزايد والتطوّر المستمر في المجالات الزراعية والصناعية في سهل الباطنة إلى زيادة كبيرة في الطلب على المياه العذبة. ولتلبية هذا الطلب، يتم ضخ كميات كبيرة من المياه الجوفية. وأدى ذلك إلى انخفاض كبير في مستويات هذه المياه، مما²تسبب في مشكلة دخول المياه المالحة إلى الأجزاء الساحلية. وفي هذا الصدد، تقوم وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه بإجراء مسح ميداني كل خمس سنوات لمراقبة مستويات الملوحة، حيث يتم جمع عيّنات مياه من الآبار الواقعة في الشريط الساحلي وإرسالها إلى مختبر الوزارة لتحليلها وتحديد النسب المختلفة لجميع العناصر الفيزيائية والكيميائية للمياه. وقد تم جمع عيّنات مياه من عدد من الآبار في مستجمع وادي المعاول لمراقبة مستويات الملوحة. وتقع منطقة الدراسة في ولاية بركاء، حيث تبلغ المساحة الإجمالية لمستجمع وادي المعاول حوالي 169.2²كم². وتمت مراقبة الملوحة عبر جمع عيّنات مياه من 52²بئراً، كما²تم تحليل 41²عيّنة²مياه.

وتشير البيانات إلى تحسُّن بسيط في مستجمع وادي المعاول، حيث تقلّصت نسبة المياه عالية الملوحة التي تزيد ملوحتها عن 16,000²ميكروسيمنز/سم، والممثَّلة باللون الأحمر، بنسبة 27²في²المائة مقارنة بعام²2016. في المقابل، زادت نسبة المياه المالحة التي تتراوح ملوحتها بين 10,000 و16,000²ميكروسيمنز/سم، والممثَّلة باللون البرتقالي بنسبة 10²في²المائة مقارنة بعام²2016. ويعكس هذا التحسُّن جهود إدارة الموارد المائية في تقليل مستويات الملوحة العالية، مما²يسهم في تحسين جودة المياه الجوفية في المنطقة.

الخريطة 6. نتائج مسح الملوحة في منطقة الدراسة لعامي 2016 و2023



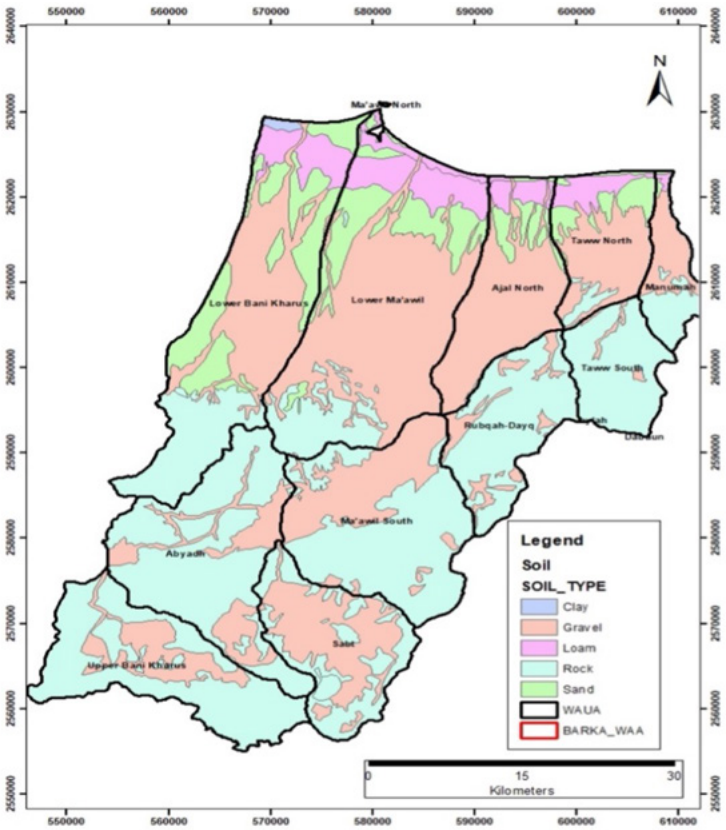


المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان (2016 و2023).
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لاتعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

14. التربة

معظم التربة في عُمان، وخاصة في ساحل الباطنة، هي تربة ذات نسيج خشن متوسط تتكوّن من الرمال، والرمال الطينية، والطميية الرملية. ويتراوح عمق التربة بين 30 و100سم في معظم المناطق. وتحتوي التربة على كميات قليلة من المواد العضوية التي تحتوي بدورها على النيتروجين والفوسفات. وتوجد كميات كبيرة من الحجر الجيري في جبال منطقة الباطنة، كما تشكّل كربونات الكالسيوم حوالي 35في المائة من مكوّنات التربة في الساحل. ومع ذلك، فإن نقص العناصر الدقيقة في تربة الباطنة ضعيف. وغالباً ما تكون درجة حموضة التربة معتدلة إلى قلويّة عالية.

الخريطة 7. توزيع التربة في مستجمع وادي المعاول



المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو). تم الاطّلاع عليه في 9 أيلول/سبتمبر 2024.
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

15. استخدام الأراضي والغطاء الأرضي في مستجمع وادي المعاول

أنماط استغلال الأراضي

تُعرف معظم منطقة الدراسة بأنها أراضٍ غير مستغلّة بسبب الظروف الفيزيائية الجغرافية، وتشكيلات الصخور الكبيرة، وندرة التربة والمياه. وبناءً على نتائج المشروع الوطني لحصر الآبار، الذي نفَّذته وزارة موارد المياه (سابقاً) عام 1993، يوجد حوالي 7,770 هكتاراً من الأراضي الزراعية. وتبلغ المساحة المزروعة في هذه الأراضي حوالي 3,644 هكتاراً، بينما تصل المساحة المتبقية غير المزروعة وغير المطوّرة إلى 4,126 هكتاراً. ويتوزّع السكان والممتلكات الزراعية بطريقة تجعل الطلب الأقصى على المياه يحدث في الجزء الشمالي الأقصى من المستجمع، ويمتد من الساحل إلى حوالي 14 كيلومتراً جنوباً.

تحليل تغيير استخدام الأراضي والغطاء الأرضي (LULC)

يعتبر تحليل تغيُّر استخدام الأراضي والغطاء الأرضي (LULC) أمراً حيوياً لفهم كيفية تطوّر المناطق الجغرافية وتأثير النشاط البشري والظروف الطبيعية عليها. ويقدّم هذا التحليل نظرة شاملة لتغيُّر استخدام الأراضي في مستجمع وادي المعاول خلال فترة 20 سنة، وذلك من عام 2002 إلى عام 2022، استناداً إلى الخريطة المرفقة والبيانات التي تم جمعها.

1. البيانات

تتضمن البيانات فئات مختلفة لاستخدام الأراضي والغطاء الأرضي في مستجمع وادي المعاول لعامي 2002 و2022. وتم تصنيف الأراضي في الفئات التالية:

- الشجيرات المفتوحة (Open shrublands).
- السافانا (Savannas).
- الأراضي العشبية (Grasslands).
- الأراضي الحضرية والمبنية (Urban and built-up lands).

- الأراضي القاحلة (Barren lands).
- المسطحات المائية (Water bodies).

2. التحليل

(أ) الشجيرات المفتوحة (Open shrublands)

- في عام 2002، كانت مساحة الشجيرات المفتوحة 23,915 كم^2.
- في عام 2022، انخفضت المساحة قليلاً إلى 23,784 كم^2.
- التغيُّر في المساحة هو انخفاض قدره 0.132 كم^2.

(ب) السافانا (Savannas)

- في عام 2002، كانت مساحة السافانا 0.429 كم^2.
- في عام 2022، انخفضت المساحة إلى 0.147 كم^2.
- التغيُّر في المساحة هو انخفاض بقدر 0.282 كم^2.

(ج) الأراضي العشبية (Grasslands)

- في عام 2002، كانت مساحة الأراضي العشبية 68,167 كم^2.
- في عام 2022، زادت المساحة إلى 82,760 كم^2.
- التغيُّر في المساحة هو زيادة قدرها 14,593 كم^2.

(د) الأراضي الحضرية والمبنية (Urban and built-up lands)

- في عام 2002، كانت مساحة الأراضي الحضرية والمبنية 6,780 كم^2.
- في عام 2022، زادت المساحة إلى 7,423 كم^2.
- التغيُّر في المساحة هو زيادة قدرها 0.643 كم^2.

(هـ) الأراضي القاحلة (Barren)

- في عام 2002، كانت مساحة الأراضي القاحلة 996,598 كم^2.
- في عام 2022، انخفضت المساحة إلى 982,698 كم^2.
- التغيُّر في المساحة هو انخفاض قدره 13,900 كم^2.

(و) انخفضت مساحة المسطحات المائية انخفاضاً بسيطاً جداً بالكاد يُذكر

3. استنتاج

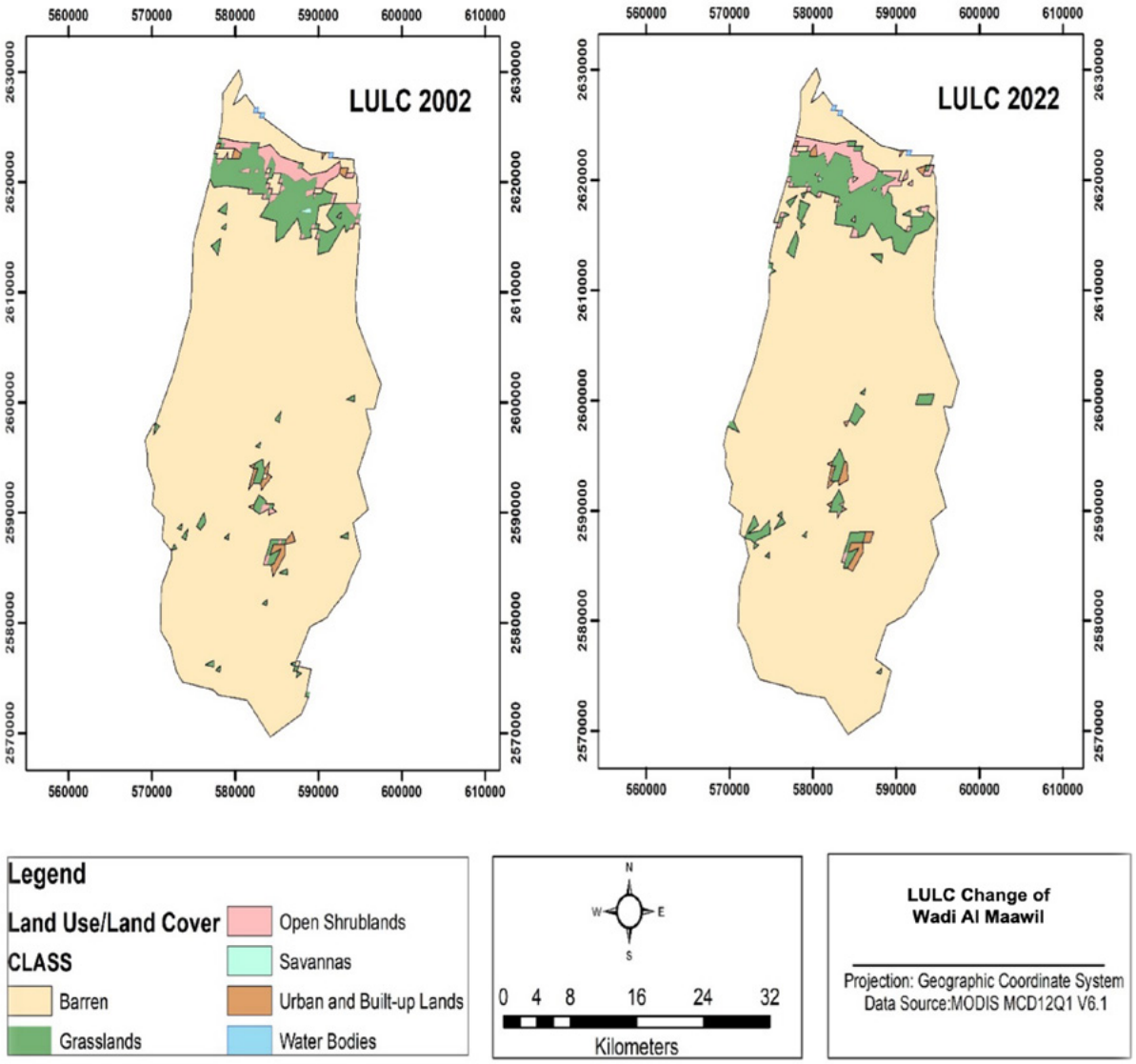
يبيّن هذا التحليل التغيُّرات الرئيسية في استخدام الأراضي في مستجمع وادي المعاول على مدار20 عاماً وتُظْهِر البيانات أن هناك تحوّلاً ملحوظاً في بعض الفئات، مثل الزيادة في مساحة الأراضي العشبية والأراضي الحضرية والمبنية، مقابل الانخفاض في مساحات الشجيرات المفتوحة والسافانا والأراضي القاحلة. وتشير هذه التغيُّرات إلى تأثيرات محتملة للنشاط البشري والتحوّلات البيئية في المنطقة.

الجدول 5. معدلات التغيُّر في استخدام الأراضي في مستجمع وادي المعاول خلال الفترة من عام2002 إلى عام2022

الفئة	المساحة (كم²) (2002)	المساحة (كم²) (2022)	المساحة المتغيّرة (كم²) (2002-2022)
الشجيرات المفتوحة	23.915	23.783	0.131
السافانا	0.429	0.147	0.282
الأراضي العشبية	68.167	82.760	14.592-
الأراضي الحضرية والمبنية	6.780	7.423	0.642-
الأراضي القاحلة	996.597	982.698	13.899
المسطحات المائية	0.642	0.642	0.000-

المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

الخريطة 8. تغيير استخدام الأراضي والغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة خلال 20 سنة



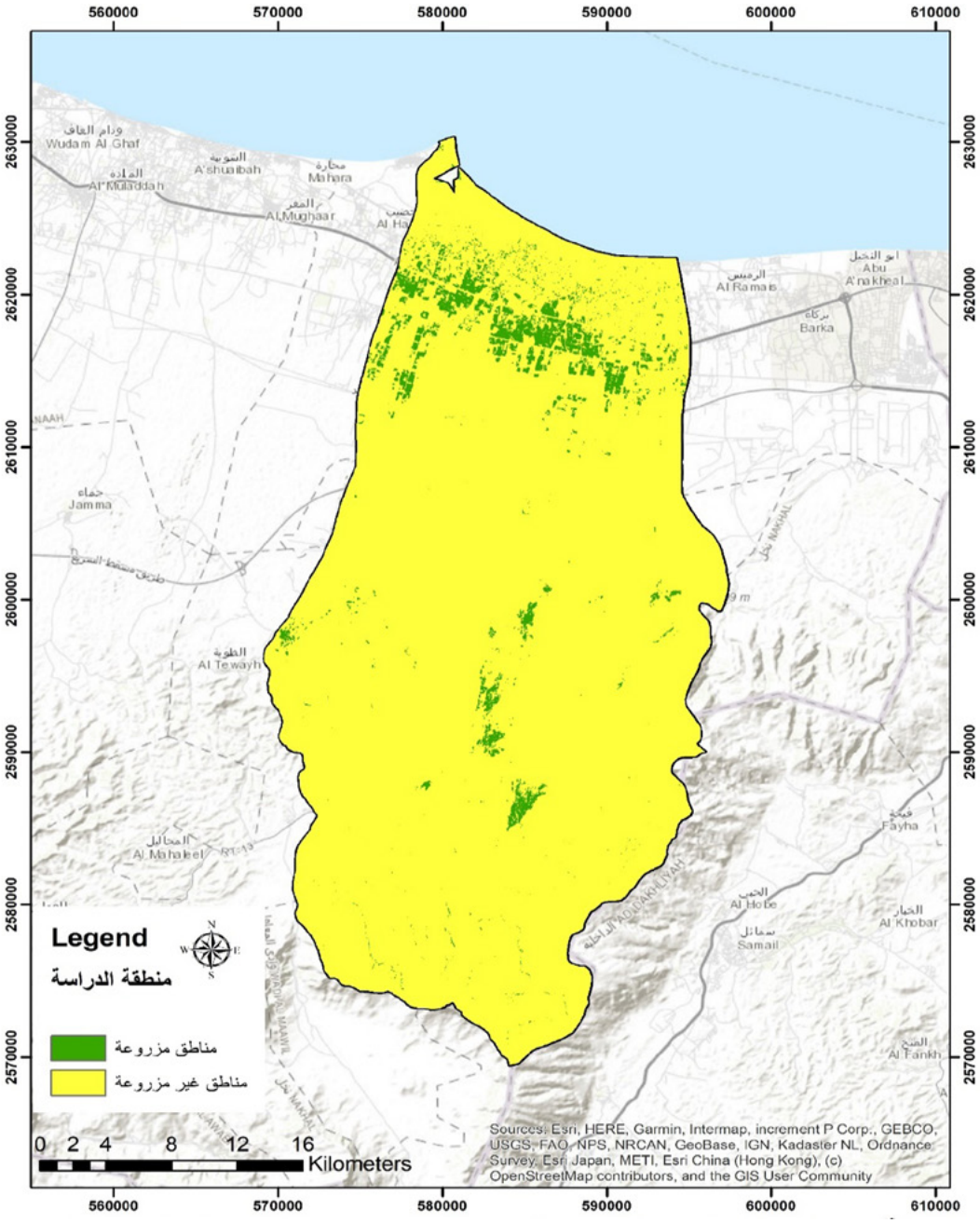
المصدر: MODIS (2002 و 2022)، ناسا، مصنفة من جانب وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.
إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لاتعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

16. مساحة الأراضي المروية وغير المروية في منطقة الدراسة

استُخدمت صور الأقمار الصناعية التي تم تنزيلها من موقع USGS Earth Explorer، وجرى تحليلها باستخدام برنامج ArcGIS. وبناءً على هذا التحليل، استُخرجت خارطة مؤشر الغطاء النباتي التي تبيّن توزيع الأراضي المروية وغير المروية في مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة.

ويشير الخريطة9² إلى أن مساحة الأراضي المروية في منطقة الدراسة تبلغ 141,737²كم². وتتميّز هذه المناطق بوجود أنشطة زراعية مكثفة، حيث يتم ري المحاصيل بشكل منتظم لضمان نموها وإنتاجها باستمرار. في المقابل، تبلغ مساحة الأراضي غير المروية في منطقة الدراسة 934,263²كم². وغالباً ما²تكون هذه الأراضي غير مستغلّة زراعياً بسبب نقص الموارد المائية أو الظروف البيئية غير الملائمة للزراعة.

الخريطة 9. مؤشر الغطاء النباتي لمستجمع وادي المعاول (NDVI)



المصدر: مصنّفة باستخدام لاندسات 8-9 (https://earthexplorer.usgs.gov) من قبل وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان. تم الاطّلاع عليه في 9 أيلول/سبتمبر 2024.

الخارطة الأساسية: ArcGIS Terrain map with labels.

إخلاء المسؤولية: إنّ الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

17. تقدير التبخُّر النتحي الشهري (الشكل الشهري)

يُعَدُّ التبخُّر النتحي (Evapotranspiration) من العمليات الحيوية الأساسية في دورة المياه على سطح الأرض، حيث يشمل هذا المصطلح عمليتين رئيسيتين: التبخُّر (Evaporation) والنتح (Transpiration). وتؤدي هذه العملية دوراً بالغ الأهمية في تبريد النباتات ونقل المغذيات من التربة إلى الأجزاء العليا من النباتات. وللتبخُّر النتحي دور حاسم في دورة المياه وفي الحفاظ على التوازن المائي في البيئة. ومن أهم وظائفه تنظيم درجة الحرارة، حيث يعمل التبخُّر النتحي على تبريد سطح الأرض والنباتات، مما²يساعد في تنظيم درجة الحرارة. كما²أنه يدعم الزراعة من²خلال تحديد كمية المياه المطلوبة للري، مما²يزيد كفاءة استخدام المياه في الزراعة، ويساهم في إعادة توزيع المياه من التربة والنباتات إلى الغلاف الجوي، مما²يعزِّز إعادة توزيع المياه في النظام البيئي. في هذا السياق، تُعَدُّ تقنية الاستشعار عن بُعد من الأدوات المتقدمة التي تُستخدم لجمع البيانات والمعلومات عن سطح الأرض والغلاف الجوي، باستخدام الأقمار الصناعية. وتتيح هذه التقنية مراقبة وتحليل مجموعة واسعة من الظواهر البيئية بشكل دوري ومستمر، مما²يجعلها أداة فعّالة لتقدير التبخُّر النتحي. ويمكن لتقنية الاستشعار عن بُعد تقدير معدلات التبخُّر النتحي بدقة عبر تحليل البيانات المستمَدة من الأقمار الصناعية، والتي تشمل معلومات عن درجة الحرارة، والإشعاع الشمسي، والرطوبة، ونوعية الغطاء النباتي. ومن²خلال نماذج رياضية ومعادلات هيدرولوجية، يمكن تحويل هذه البيانات إلى تقديرات دقيقة للتبخُّر النتحي، مما²يتيح جمع بيانات دقيقة ومتكررة على نطاق واسع، ويوفِّر وسيلة فعّالة من²حيث الوقت والكلفة لمراقبة التبخُّر النتحي مقارنة بالطرق التقليدية، بالإضافة إلى التطبيقات الواسعة في إدارة الموارد المائية والتغيُّرات المناخية والتخطيط البيئي. وتعتبر عملية التبخُّر النتحي عنصراً جوهرياً في دورة المياه وفي الحفاظ على التوازن البيئي. ومع تطوّر تقنيات الاستشعار عن بُعد، أصبح بالإمكان تقدير هذه العملية بدقة وكفاءة عالية، مما²يسهم في تحسين إدارة الموارد المائية والزراعية وتحقيق الاستدامة البيئية.

تحليل بيانات التبخُّر النتحي في منطقة الدراسة

خطوات تحليل التبخُّر النتحي في مستجمع وادي المعاول باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد.

1. طلب وتنزيل خرائط التبخُّر النتحي

(أ) طلب بيانات لاندسات حول التبخُّر النتحي

- تسجيل الدخول إلى موقع (https://earthexplorer.usgs.gov) Earth Explorer.

- تحديد موقع منطقة الدراسة (مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة) باستخدام الخريطة أو من خلال تحميل ملف KML أو shapefile.
- اختيار النطاق الزمني المناسب للبحث (1 كانون الثاني/يناير - 31 كانون الأول/ديسمبر 2023).
- اختيار مجموعة بيانات لاندسات وتحديد مسار وصورة المشهد المطلوب.
- تصدير النتائج وحفظها كملف CSV.
- تحديد الصوّر المطلوبة وحفظ الملف النصّي الذي يحتوي على معرِّفات المنتجات.
- الانتقال إلى رابط (https://espa.cr.usgs.gov) ESPA وتقديم طلب للحصول على البيانات باستخدام الملف النصّي المحفوظ.
- بعد معالجة الطلب، إرسال بريد إلكتروني يحتوي على رابط لتنزيل البيانات المطلوبة.

(ب) تنزيل وعرض خرائط التبخُّر النتحي

- بعد اكتمال معالجة البيانات، تنزيل الملفات المطلوبة.
- تحليل البيانات باستخدام ArcGIS.

2. تقدير التبخُّر النتحي:

(أ) تنزيل بيانات الاستشعار عن بُعد المناسبة (عبر لاندسات) لتحديد المناطق الزراعية

(ب) استخدام أداة «إحصائيات المنطقة» لحساب التبخُّر النتحي لكل منطقة

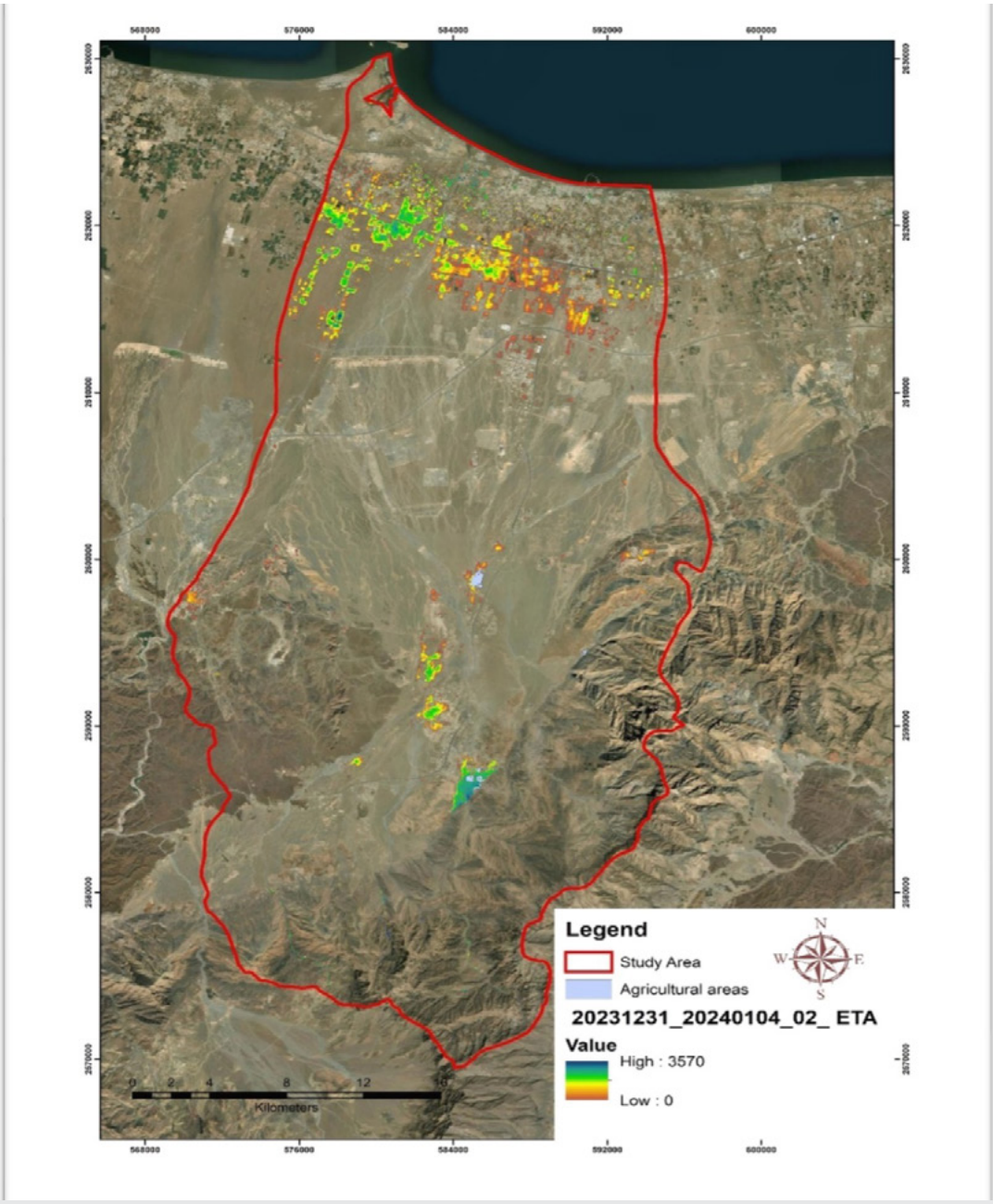
(ج) تصدير النتائج وتحليلها باستخدام أدوات GIS.

الجدول 6. نتائج التبخُّر النتحي الشهري للمناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول

الشهر (2023)	التبخُّر النتحي (ملم)
1 كانون الثاني/يناير	29.33
1 شباط/فبراير	24.22
1 آذار/مارس	39.76
1 نيسان/أبريل	36.36
1 أيار/مايو	47.04
1 حزيران/يونيو	55.14
1 تموز/يوليو	57.55
1 آب/أغسطس	43.32
1 أيلول/سبتمبر	45.17
1 تشرين الأول/أكتوبر	54.22
1 تشرين الثاني/نوفمبر	41.03
1 كانون الأول/ديسمبر	25.41

المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

الخريطة 10. التبخُّر النتحي للمناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول



المصدر: قاعدة بيانات الموارد المائية، وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان؛ وبيانات التبخر (ETA) مأخوذة من لاندسات 8-9، كانون الأول/ديسمبر 2023 (https://earthexplorer.usgs.gov).

إخلاء المسؤولية: إن الحدود والأسماء الواردة في هذه الخريطة والتسميات المستخدمة فيها لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً لها من طرف الأمم المتحدة.

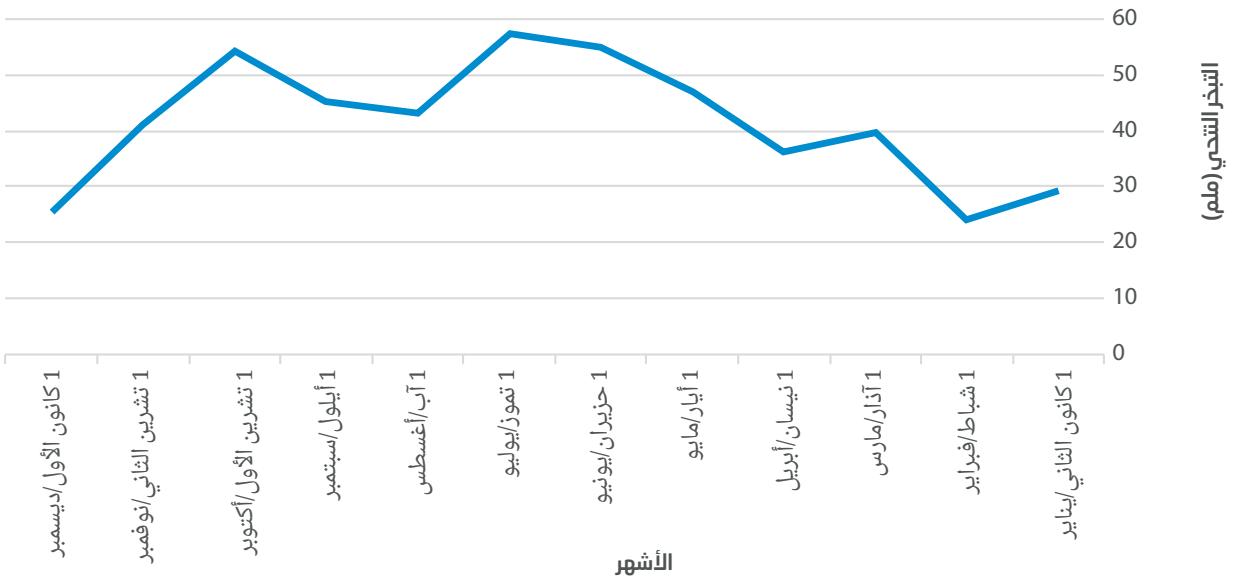
يُظْهِرُ تحليل نتائج التبخُّر النتحي الشهري لعام 2023 للمناطق الزراعية الواقعة في مستجمع وادي المعاول تبايناً واضحاً على مدار السنة، ويعكس العلاقة بين العوامل المناخية والظروف الزراعية.

- الشتاء (كانون الثاني/يناير-شباط/فبراير): في بداية العام، كانت قِيم التبخُّر النتحي منخفضة نسبياً (29.33 ملم في كانون الثاني/يناير و24.22 ملم في شباط/فبراير). ويرجع ذلك إلى انخفاض درجات الحرارة وقلة الإشعاع الشمسي خلال أشهر الشتاء. ففي هذا الوقت، تكون معدلات التبخُّر النتحي أقل بسبب نقص طلب النباتات على المياه.
- الربيع (آذار/مارس-أيار/مايو): مع بداية الربيع، تزداد قِيم التبخُّر النتحي تدريجياً مع ارتفاع درجات الحرارة وزيادة طول النهار. وقد سُجِّلت أعلى قيمة في أيار/مايو (47.04 ملم). وتتّسم هذه الفترة بنمو النباتات وزيادة الطلب على المياه، مما يزيد من معدّل التبخُّر النتحي.

- الصيف (حزيران/يونيو-آب/أغسطس): تصل قِيم التبخُّر النتحي إلى ذروتها خلال الصيف، مع تسجيل أعلى قيمة في تموز/يوليو (57.55 ملم). والسبب الرئيسي لهذا الارتفاع هو ارتفاع درجات الحرارة بشكلٍ كبير وزيادة الإشعاع الشمسي، مما يزيد من تبخُّر المياه من التربة والنباتات. كذلك، يكون النشاط الزراعي مكثفاً خلال هذه الفترة، مما يزيد الطلب على المياه للري.
- الخريف (أيلول/سبتمبر-تشرين الثاني/نوفمبر): تبدأ قِيم التبخُّر النتحي بالانخفاض التدريجي بعد أشهر الصيف، لكنها تبقى مرتفعة نسبياً خلال شهر أيلول/سبتمبر (45.17 ملم) وتشرين الأول/أكتوبر (54.22 ملم)، قبل أن تنخفض بشكل ملحوظ في تشرين الثاني/نوفمبر (41.03 ملم). ويرتبط هذا الانخفاض بتراجع درجات الحرارة وتناقُص طول النهار.
- الشتاء (كانون الأول/ديسمبر): مع نهاية العام، تعود القِيم إلى الانخفاض مرة أخرى (25.41 ملم في كانون الأول/ديسمبر)، حيث تنخفض درجات الحرارة ويخفّ النشاط الزراعي.

ويعكس ارتفاع قِيم التبخُّر النتحي في أشهر الصيف الحاجة المتزايدة للمياه في المناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول، مما²يعني أن هناك ضغطاً على الموارد المائية المستخدَمة في الري. كما²أن انخفاض القِيم في الشتاء يشير إلى فترة راحة نسبية للنظام الزراعي، حيث يقل الطلب على المياه، مما²يسمح بإعادة تغذية المياه الجوفية والسطحية.

الشكل 4. متوسط التبخُّر النتحي الشهري للمناطق الزراعية في مستجمع وادي المعاول لعام 2023



المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

18. بيانات الأمطار في منطقة الدراسة

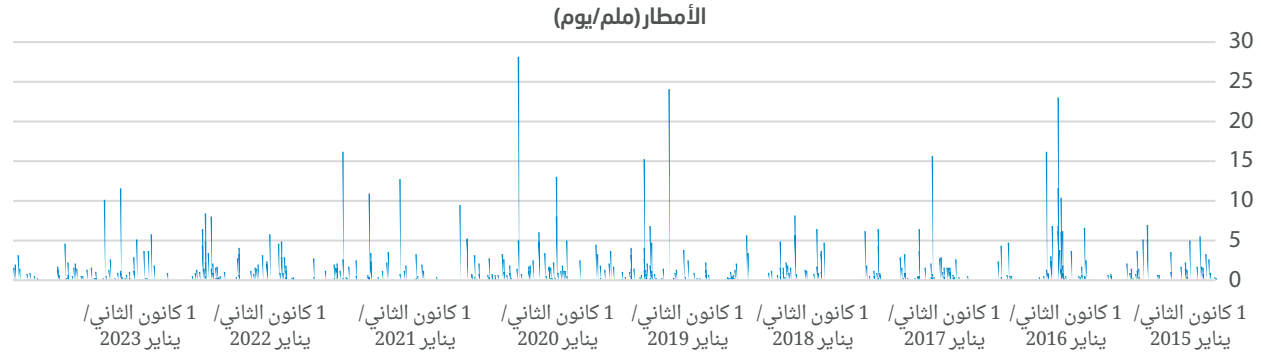
تم تنزيل بيانات الأمطار خلال الفترة 2015-2023 من[2]خلال موقع google earth engine. ويبيّن الجدول[2]7 معدّل الهطول التراكمي السنوي (ملم/سنة).

الجدول 7. معدل الهطول التراكمي السنوي (ملم/سنة)

السنة	الأمطار (ملم/سنة)
2015	78.344
2016	141.525
2017	99.439
2018	67.06
2019	148.416
2020	109.343
2021	97.259
2022	102.969
2023	78.097

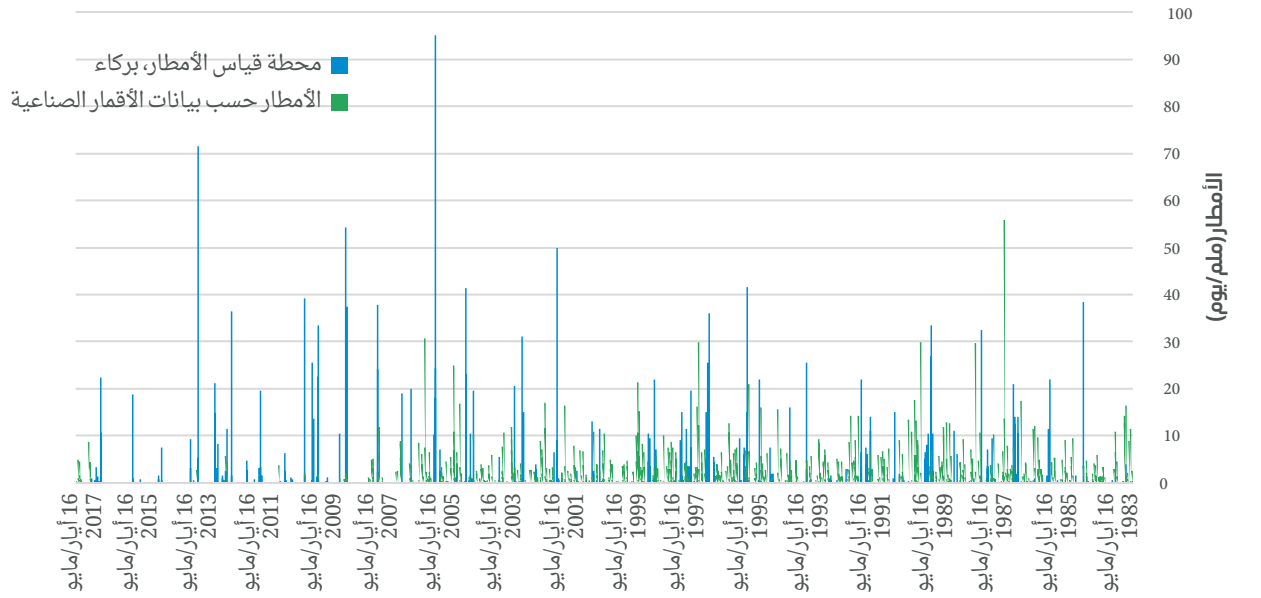
المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

الشكل 5. معدل الهطول المطري اليومي في مستجمع وادي المعاول خلال الفترة 2015-2023



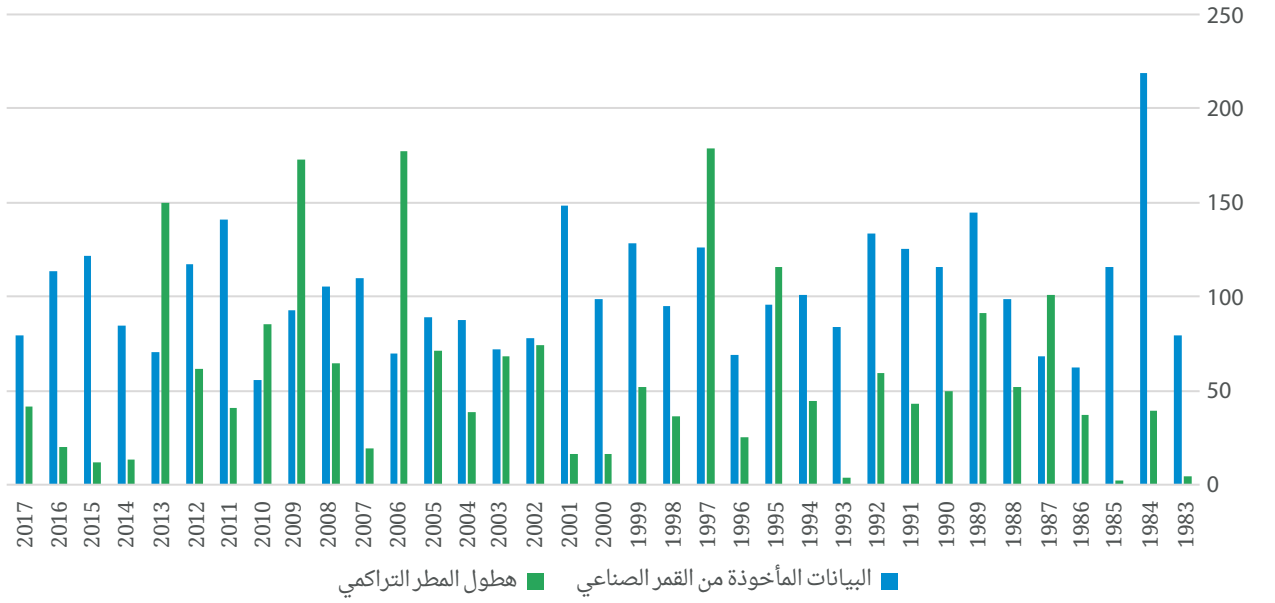
المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

الشكل 6. مقارنة بين كميات الأمطار (ملم/يوم) المأخوذة من محطة القياس بركاء (باللون الأزرق واللون الأخضر) وكميات الأمطار حسب بيانات الأقمار الصناعية



المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

الشكل 7. مقارنة بين بيانات الهطول المطري التراكمي (ملم/سنة) المأخوذة من محطة القياس في بركاء القريبة من ساحل البحر والبيانات المأخوذة من القمر الصناعي



المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

يشير الشكل[2]7 إلى وجود اختلاف في قراءات الأمطار بين المحطة المطرية بالقرب من الساحل وبيانات القمر الصناعي. ويمكن تفسير هذه الاختلافات بعدة أسباب، منها:

- **الموقع الجغرافي:** قد تختلف الظروف المناخية المحلية بين موقع المحطة المطرية والساحل وبين المساحة الكبيرة التي تغطيها الأقمار الصناعية. وتقيس المحطة المطرية كمية الأمطار في نقطة واحدة محددة، بينما تقدّم الأقمار الصناعية قراءات تغطي مناطق أوسع.

- **الدقة والأجهزة المستخدَمة:** تختلف تقنيات القياس المستخدَمة في المحطة الأرضية عن تلك المستخدَمة في الأقمار الصناعية. فالمحطات المطرية تعتمد على أجهزة قياس مباشرة، مثل مقياس المطر، بينما تعتمد الأقمار الصناعية على قياسات غير مباشرة، من خلال أجهزة استشعار تعمل بالأشعة تحت الحمراء أو الموجات الميكروية.
- **التأثيرات المناخية الصغيرة:** يمكن أن تؤثّر التغيُّرات المناخية الصغيرة والمحلية، مثل العواصف الرعدية المحلية أو الرياح المحلية، على قراءات المحطة المطرية بشكل أكبر من بيانات القمر الصناعي التي تميل إلى تقديم صورة عامة أكثر.
- **معالجة البيانات وتحليلها:** يمكن أن تختلف طرق المعالجة والتحليل بين البيانات المجمّعة من المحطات المطرية والبيانات المستخرجة من الأقمار الصناعية. على سبيل المثال، يمكن أن تتضمن بيانات الأقمار الصناعية بعض التقديرات أو التعديلات التي لا تتوافق تماماً مع القياسات الفعلية.
- **التغطية الزمنية:** قد تختلف التغطية الزمنية للبيانات بين المحطات المطرية والأقمار الصناعية. فبعض الأقمار الصناعية قد لا تقدّم قراءات مستمرة على مدار اليوم، أو قد تكون هناك فترات زمنية بدون بيانات.
- **التباين المكاني:** تعكس المحطات الأرضية القراءات عند نقطة معيّنة، بينما توفِّر الأقمار الصناعية متوسطات على نطاق أوسع، مما قد يؤدي إلى اختلافات بسبب التباين المكاني في توزيع الأمطار.
- **التداخلات البيئية:** قد تتأثر المحطات الأرضية بالعوامل البيئية المحلية مثل التضاريس، والنباتات، والبناء الحضري، مما قد يؤثر على قياسات الأمطار، في حين أن الأقمار الصناعية تقدّم قراءات تكون أقل تأثّراً بهذه العوامل.
- **الاختلافات في تقنيات المعايّرة:** تعتمد المحطات الأرضية والأقمار الصناعية على تقنيات معايّرة مختلفة لضمان دقة القياسات. وقد تؤدي هذه الاختلافات إلى تباين في القراءات النهائية للأمطار.
- **الدقة الزمنية:** توفِّر المحطات المطرية الأرضية بيانات دقيقة زمنياً مقارنةً بالأقمار الصناعية التي قد تقدّم بيانات مجمّعة على مدى فترات زمنية أطول.

وهذه العوامل وغيرها يمكن أن تساهم في التباين الملحوظ بين قراءات الأمطار من المحطات الأرضية وبيانات الأقمار الصناعية.

19. تحديد استخدام المياه الجوفية

هطول الأمطار الفعّال

هطول الأمطار الفعّال (Effective rainfall) هو الجزء الذي يستخدمه فعلياً النظام البيئي المحيط والنباتات من الهطول الكلي، والذي يساهم في تجديد موارد المياه الجوفية والتربة. ويشمل هطول الأمطار الفعّال الأمطار التي تتسرّب إلى التربة وتستخدمها النباتات، بينما لا يشمل الأمطار التي تتبخّر مباشرة أو تجري سطحياً دون الاستفادة منها. ويعتبر تحديد هطول الأمطار الفعّال حيوياً في إدارة الموارد المائية والزراعية، حيث يساهم في فهم كيفية توزيع المياه وتحقيق أقصى استفادة منها.

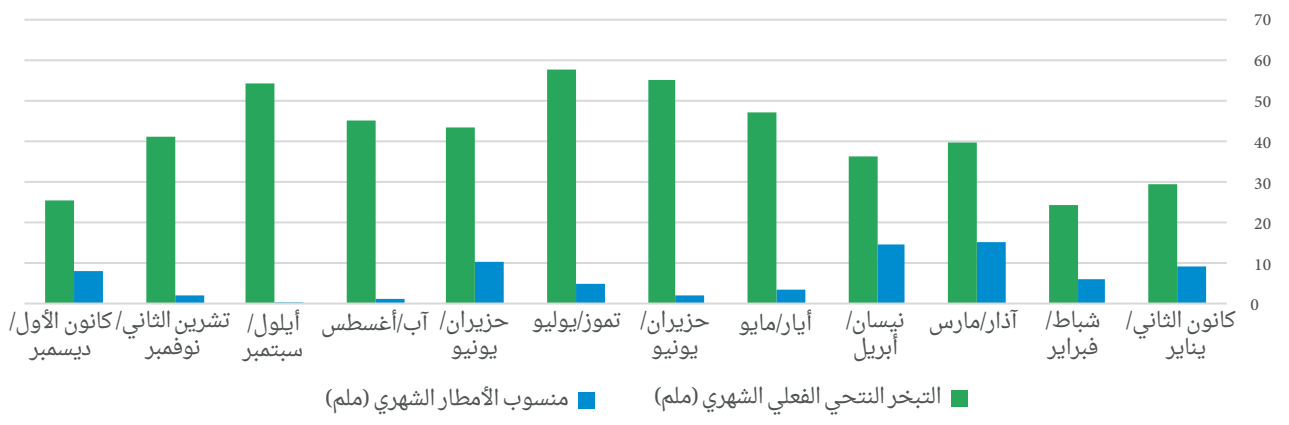
حساب هطول الأمطار الفعّال

لحساب هطول الأمطار الفعّال، يتم استخدام معادلات ومناهج مختلفة تعتمد على مجموعة من العوامل، بما في ذلك كمية الأمطار الكلية، ومعدل التبخُّر النتحي، وخصائص التربة والنباتات.

الخطوات الحسابية

- **جمع البيانات الشهرية:** تُجمع بيانات هطول الأمطار الكلي وبيانات معدل التبخُّر النتحي لكل شهر (الشكل 8).

الشكل 8. هطول الأمطار الشهري (ملم) والتبخُّر النتحي الشهري (ملم) على مستجمع وادي المعاول لعام 2023



المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.

- **حساب الفرق الشهري**: يُطرح معدل التبخُّر النتحي الشهري من هطول الأمطار الشهري. إذا كان الناتج إيجابياً، فهذا يعني أن هناك فائضاً من المياه يمكن استخدامه. وإذا كان سلبياً، فهذا يشير إلى نقص في المياه اللازمة للنباتات (الجدول 8).

الجدول 8. الفرق الشهري بين معدل التبخُّر النتحي الشهري وهطول الأمطار

الشهر	هطول الأمطار الشهري (ملم)	التبخُّر النتحي الشهري (ملم)	الناتج
كانون الثاني/يناير	9.125	29.33	-20.205
شباط/فبراير	5.965	24.22	-18.255
آذار/مارس	15.099	39.76	-24.661
نيسان/أبريل	14.534	36.36	-21.826
أيار/مايو	3.522	47.04	-43.518
حزيران/يونيو	2.178	55.14	-52.962
تموز/يوليو	5.053	57.55	-52.497
آب/أغسطس	10.421	43.32	-32.899
أيلول/سبتمبر	1.246	45.17	-43.924
تشرين الأول/أكتوبر	0.251	54.22	-53.969
تشرين الثاني/نوفمبر	2.152	41.03	-38.878
كانون الأول/ديسمبر	8.027	25.41	-17.383

المصدر: وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان.
مصدر بيانات الأمطار: Google Earth Engine.
مصدر بيانات التبخُّر: Landsat USGS earth explorer.

صافي استخدام المياه الجوفية = (مجموع هطول الأمطار السلبي) × المساحة (م²)

تم جمع القِيم الشهرية السلبية ثم أخذت القيمة المطلقة الفرق الشهري بين معدل التبخُّر النتحي الشهري وهطول الأمطار على1,000² للحصول على الوحدات بالمتر (في هذه الحالة تساوي 0.399م²).

ضُربت القيمة التي تم الحصول عليها في مساحة المنطقة الزراعية (مساحة المنطقة الزراعية في مستجمع وادي المعاول = 141,737,000م²2).

صافي استخدام المياه الجوفية = 0.399×141,737,000= 56.55 مليون م³

بلغ إجمالي صافي المياه الجوفية لعام2023² في منطقة الدراسة حوالي 56.55²مليون²م³. وهذه هي كمية المياه اللازمة للتعويض عن المياه التي تم استغلالها لمختلف الأنشطة الزراعية. وعادة ما²تكون كمية المياه التي يجري ضخّها أكبر من هذه الكمية بسبب عدم الكفاءة. وفي طبقات المياه الجوفية الضحلة، قد يُفترض أنّ المياه الإضافية التي تتسرّب في العمق ستغذي في النهاية طبقة المياه الجوفية، وبالتالي يمكن إهمالها. وهذه الدراسة تفيد جداً الوزارة في تحديث بيانات الميزان المائي للمستجمع المائي في وادي المعاول، من ناحية معرفة حجم المياه المستخدمَة للزراعة، لا²سيّما وأن الزراعة في سلطنة عُمان تستهلك حوالي 83²في²المائة من إجمالي الموارد المائية المتجددة. وهذه الدراسة مهمة جداً في الحصول²على تقديرات السحب من المخزون الجوفي ومقارنتها بحجم الموارد المائية المتجددة، وبالتالي في إدارة المخزون الجوفي بطريقة مستدامة تضمن الحد من مشكلة تداخل مياه البحر في الخزان الجوفي الساحلي. ويؤدي ذلك إلى التخفيف من مشكلة تدهور نوعية التربة إذا²أصبحت المياه الجوفية مالحة، حيث يحتوي سهل الباطنة على أفضل أنواع التربة في سلطنة عُمان.

20. التوصيات

في ضوء الدراسة حول استخدام الاستشعار عن بُعد لتقدير كميات المياه الجوفية المستعمَلة للري في مستجمع وادي المعاول،²يتضح أن هناك حاجة ملحة لاعتماد استراتيجيات فعّالة لإدارة الموارد المائية.

ومن²خلال تطبيق التقنيات الحديثة والتعاون بين الجهات المعنيّة، يمكن تحقيق استخدام مستدام وفعّال للمياه الجوفية. وفيما²يلي بعض التوصيات:

1. اعتماد تقنيات ري حديثة وفعّالة

التحوّل من طرق الري التقليدية مثل الري بالغمر إلى طرق أكثر كفاءة مثل الري بالتنقيط والرش، وهي تقلّل من فقدان المياه نتيجة التبخُّر والتسرُّب.

2. تحسين البنية التحتية لجمع وتخزين المياه

تعزيز قدرات السدود لتجميع مياه الأمطار وزيادة تغذية الخزانات الجوفية.

تطوير أنظمة جمع مياه الأمطار واستخدامها للري، خاصة في المناطق ذات الهطول المطري المنخفض.

3. تعزيز وعي المزارعين بأهمية إدارة الموارد المائية

تقديم برامج تدريبية للمزارعين حول أفضل ممارسات الري وإدارة المياه، وتوعيتهم بأهمية استخدام التقنيات الحديثة.

تشجيع المزارعين على اعتماد ممارسات زراعية مستدامة تقلّل من استنزاف الموارد المائية.

4. مراقبة مستويات الملوحة واتخاذ إجراءات للحد منها

تعزيز شبكة مراقبة الملوحة (بالآبار)، وتحليل البيانات بشكل دوري لتحديد التغيُّرات في مستويات الملوحة، واتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجتها.

5. تطوير برنامج لإعادة تغذية المياه الجوفية

إنشاء مشاريع لإعادة تغذية الخزانات الجوفية بمياه الأمطار أو مياه الصرف الصحي المعالَجة، خاصة في المناطق التي تعاني من انخفاض حاد في مستويات المياه الجوفية وارتفاع في الملوحة.

6. تشجيع استخدام المياه المعالَجة

التوسّع في استخدام المياه المعالَجة ثلاثياً من محطات معالجة مياه الصرف الصحي للري الزراعي، مما يقلّل من الضغط على الموارد المائية العذبة.

7. استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد بشكل دوري

تنفيذ مسوحات دورية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد لرصد التغيُّرات في مستويات المياه الجوفية ونوعية المياه، مما يساعد في اتخاذ قرارات مدروسة وسريعة.

8. إعادة تأهيل الأراضي الزراعية المتدهورة

العمل على استصلاح الأراضي الزراعية التي تدهورت نتيجة لتداخل المياه المالحة أو الممارسات الزراعية غير المستدامة، باستخدام تقنيات تحسين التربة وغيرها.

9. تشجيع البحث والابتكار في إدارة المياه

دعم الأبحاث والمبادرات الابتكارية التي تهدف إلى تحسين إدارة الموارد المائية، وتشجيع التعاون مع الجامعات والمؤسسات البحثية لتطوير حلول جديدة ومستدامة.

المراجع

وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه، سلطنة عُمان (2016، 2023)، مشروع الملوحة لعامَي 2016 و2023.

وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه ومنظمة الفاو (لا تاريخ)، مشروع الخريطة العامة للتربة. تم الاطّلاع عليه في 24 تشرين الثاني/نوفمبر 2024.

تعدّ المنطقة العربية من أكثر المناطق ندرة في المياه في العالم، حيث يعاني أكثر من 90 في المائة من سكانها من شحّ المياه. وتشكل المياه الجوفية المصدر الرئيسي للمياه في أكثر من نصف الدول العربية. ويتزايد الاعتماد على المياه الجوفية، حيث تصبح المياه السطحية أكثر ندرة تحت وطأة آثار تغيُّر المناخ وزيادة الطلب. وبما أن القطاع الزراعي يستخدم ما يقارب 80 في المائة من إجمالي استخدام المياه العذبة، يعدّ تقدير كميات المياه الجوفية المستخدمة للري أمراً بالغ الأهمية لاتخاذ القرارات المستنيرة، والتخطيط الطويل الأجل، والإدارة المستدامة للمياه الجوفية.

ومن أجل دعم الدول العربية بشكل أفضل في الإدارة المستدامة للمياه الجوفية باستخدام التكنولوجيات المبتكرة، أعدت الإسكوا دليلاً تدريبياً حول استخدام الاستشعار عن بعد لتقدير كميّات المياه الجوفية المستخدمة في الري، ونظّمت ورشة عمل لتنمية قدرات الفرق الوطنية بناء على الطلب.

ونتيجةً لورشة العمل، أكمل فريق وطني من وزارة الثروة الزراعية والسمكية وموارد المياه في سلطنة عُمان، بدعم من الإسكوا، دراسة الحالة المتضمَّنة في هذا التقرير: مستجمع وادي المعاول بمحافظة جنوب الباطنة – سلطنة عُمان. وتُعَدُّ منطقة وادي المعاول إحدى المناطق الزراعية الحيوية في السلطنة، وهي تعتمد اعتماداً كبيراً على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها المائية.

وتتضمّن الدراسة تحليلاً لحجم استهلاك المياه الجوفية في المنطقة، مسلِّطةً الضوء على العوامل المؤثّرة على هذا الاستهلاك. كما أنها تقدّم توصيات عملية لاعتماد استراتيجيات فعّالة تهدف إلى تحسين إدارة الموارد المائية واستدامتها.

2500023A