استخدام الاستشعار عن بُعد لتقدير كميّات المياه الجوفيّة المستخدَمة في الريّ

دليل التدريب

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

ازدهارُ البلدان كرامةُ الإنسان

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.

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

E/ESCWA/CL1.CCS/2024/Manual.5

استخدام الاستشعار عن بُعد لتقدير كميّات المياه الجوفيّة المستخدَمة في الريّ

دليل التدريب

الأمم المتحدة
بيروت

© 2024 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

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

مراجعة: زياد خياط وتريسي زعرور، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا.

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 المستخدَمة 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.

موجز تنفيذي

في ظل التحديات المتزايدة التي تواجه الموارد المائية العالمية نتيجة تغيُّر المناخ والزيادة السكانية، فإن تقدير استخدام المياه الجوفيّة بدقة أمر بالغ الأهمية للإدارة المستدامة للمياه، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة مثل المنطقة العربية. ويقدّم هذا الدليل إجراءات شاملة خطوة بخطوة لتقدير استخدام المياه الجوفيّة في الزراعة المروية في المناطق الجافة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد. ويسعى الدليل إلى تزويد المستخدِم بالمعارف والأدوات اللازمة لاستخدام تكنولوجيات الاستشعار عن بُعد المتقدمة من أجل التوصل إلى تقديرات كفوءة ودقيقة للمياه الجوفيّة في المناطق التي تعاني من ندرة البيانات.

وتشير الأقسام الأولى من الدليل إلى أهمية الاستشعار عن بُعد في تقدير المياه الجوفيّة من الناحية النظرية وتحدد المتطلبات الأساسية (الفصل الأول – مقدمة). وفي الفصل الثاني، يُطلَب من المستخدِم التسجيل لولوج منصّات مثل محرِّك Google Earth وبوابة Earth Explorer. ويشرح الفصل الثالث كيفية الحصول على خرائط التبخُّر النتحي لساتل استشعار الأراضي عن بُعد (لاندسات) بدقة 30 م من بوابة Earth Explorer، ويقدّم تعليمات مفصّلة حول البحث عن البيانات وفرزها وتنزيلها. ويصف الفصل الرابع تقنيات برنامج ArcGIS لحساب معدل التبخُّر النتحي من البيانات التي تمّ تنزيلها عبر وحدات مكانية مميّزة. ثم يتمّ تزويد المستخدِم بشفرة محرِّك Earth لتحليل كميّة الأمطار (الفصل الخامس)، ممّا يتيح اشتقاق كميّة الأمطار الفعلية (وبالتالي استخدام المياه الجوفيّة) عن طريق دمج بيانات معدل التبخُّر النتحي والمتساقطات، سواء تمّ استشعارها أو قياسها عن بُعد (الفصل السادس). ويصف الفصل السابع كيفية التحقق من صحة النتائج، مع التشديد على أهمية دقة البيانات وموثوقيتها في تقدير استخدام المياه الجوفيّة. والغرض من هذا الدليل الشامل هو إفادة المهنيين والباحثين وواضعي السياسات في مجال الموارد المائية، وتوفير إطار متين لفهم تقنيات الاستشعار عن بُعد وتنفيذها من أجل الإدارة المستدامة للمياه في مواجهة التحديات البيئية المطردة.

المحتويات

موجز تنفيذي **3**
1. مقدمة **6**
2. استخدام هذا الدليل **8**
ألف. التسجيل للحصول على حساب على محرّك Google Earth 8
باء. التسجيل للحصول على حساب على بوابة Earth Explorer 9
3. طلب خرائط التبخُّر النتحي وتنزيلها **10**
ألف. طلب بيانات التبخُّر النتحي لاندسات 10
باء. تنزيل خرائط التبخُّر النتحي وعرضها 17
4. تقدير التبخُّر النتحي **19**
5. تقدير كميّة الأمطار **25**
6. تحديد استخدام المياه الجوفيّة **33**
ألف. كميّة الأمطار الفعلية 33
باء. الاستخدام الموسمي للمياه الجوفيّة في الزراعة 34
7. مقارنة مع القياسات الميدانية **36**
مقارنة اختيارية مع بيانات مستوى المياه الجوفيّة 36

قائمة الجداول

الجدول 1. قائمة مواصفات منتَج معدل التبخُّر النتحي الفعلي المؤقت لاندسات C2 18
الجدول 2. حساب استخدام كميّة الأمطار الفعلية والمياه الجوفيّة 33

قائمة الأشكال

الشكل 1. التسجيل في محرّك Google Earth 8
الشكل 2. صفحة تسجيل الدخول إلى بوابة Earth Explorer 10
الشكل 3. صفحة تسجيل الدخول لنظام التسجيل في مركز رصد وعلوم الموارد الأرضية (EROS) 11
الشكل 4. تحديد منطقة الدراسة في بوابة Earth Explorer 11
الشكل 5. تحديد تواريخ البحث عن الصور 12
الشكل 6. توسيع خيارات مجموعة البيانات 12
الشكل 7. نتائج البحث المعروضة في نافذة Earth Explorer 13
الشكل 8. تصدير نتائج البحث إلى تنسيق csv 13
الشكل 9. تصدير نتائج البحث للمعالجة 14
الشكل 10. نتيجة حالة تصدير نتائج البحث بعد تقديمها 14
الشكل 11. لقطة من موقع الملف الذي تمّ تنزيله 14
الشكل 12. ملف نصّي بأسماء صور للتنزيل 15

الشكل 13. إضافة منتجات المدخلات لترتيب البيانات 15
الشكل 14. اختيار وترتيب بيانات التبخُّر النتحي المتوقعة 16
الشكل 15. تعديل نطاقات الصورة لتطابق ملف شكل منطقة الدراسة المدرجة 16
الشكل 16. نطاقات طبقة المصدر في برنامج ArcGIS 16
الشكل 17. شاشة تأكيد تقديم الطلب 17
الشكل 18. مثال على معدل التبخُّر النتحي الفعلي المؤقت لاندسات L2 C2 لمنطقة سكاكا، المملكة العربية السعودية 18
الشكل 19. إنشاء ملف شكل منطقة الدراسة 20
الشكل 20. لوحة «جدول يحتوي على الإحصائيات لكل منطقة» 20
الشكل 21. قائمة منسدلة لحسابات إحصائيات المناطق 20
الشكل 22. اختيار رقم التعريف لإحصائيات المناطق 21
الشكل 23. اختيار الصور لحسابات إحصائيات المناطق 21
الشكل 24. تحديد إسم جدول النتائج 21
الشكل 25. اختيار المقاييس الإحصائية للنتائج 22
الشكل 26. لقطة من جدول محتويات برنامج ArcGIS مع جدول إحصائيات المناطق 22
الشكل 27. جدول سمات إحصائيات النتائج 22
الشكل 28. أداة "Dissolve" في برنامج ArcGIS 23
الشكل 29. جدول "Dissolved shapefile attribute" في برنامج ArcGIS 23
الشكل 30. السلسلة الزمنية لمتوسط التبخُّر النتحي (مم/يوم) للمنطقة الزراعية في سكاكا لعام 2022 24
الشكل 31. تحميل ملف الشكل كأصل في محرّك Google Earth 25
الشكل 32. اختيار ملف الشكل في محرّك Google Earth 26
الشكل 33. نظرة عامة على شفرة محرّك Google Earth المستخدَم لتحديد كميّة الأمطار 27
الشكل 34. المدرج التكراري الشهري لكميّة الأمطار في محرّك Google Earth 30
الشكل 35. لقطة شاشة لملف كميّة الأمطار csv 31
الشكل 36. مقارنة بين تقديرات استخدام المياه الجوفيّة المُستشعَرة عن بُعد وقياسات منسوب المياه 37

1. مقدمة

المياه الجوفيّة هي المصدر الرئيسي للمياه العذبة في أكثر من نصف الدول العربية. فالمياه شحيحة في المنطقة، وتُستَغلّ موارد المياه الجوفيّة المحدودة بوتيرة غير مستدامة، تتجاوز معدلات التجديد الطبيعية. وقد ساهم الإفراط في سحب المياه الجوفيّة، لا سيّما في القطاع الزراعي، مقروناً بالممارسات ذات الكفاءة المنخفضة، في انخفاض هائل في احتياطيات المياه الجوفيّة في أكثر من ثلثي المنطقة العربية. ووفقاً للبيانات الساتلية، تضاعف المدى المكاني لهذا الانخفاض بين عام 2002 وعامي 2018-2019.[1]

وفي مواجهة ندرة المياه الجوفيّة المتزايدة، من المهم أن تتبنّى بلدان المنطقة العربية أدوات مبتكرة لضمان استخدامها بشكل مستدام، من دون المجازفة بتوافرها للأجيال القادمة.

ويصف هذا الدليل الطرق التي يمكن أن تساعد مدراء خدمات إمداد المياه على تقييم كميّة المياه الجوفيّة المستخدَمة في الزراعة في البيئات القاحلة، ممّا يساعدهم على زيادة كفاءة الريّ واتخاذ قرارات أفضل بشأن تخصيص المياه واستخدامها. وذلك مهم خاصة في المناطق التي لا تتوفر فيها عدادات المياه على آبار المياه الجوفيّة أو يصعُب قراءتها.

وتتمثل الخطوة الأولى في مجال تحديد كميّة المياه الزراعية المستخدَمة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة في تحديد معدل التبخُّر النتحي. ويمثل التبخُّر النتحي فواقد المياه المشتركة الناتجة عن تبخر التربة ونتح النبات. وفي المناطق التي تعاني من ندرة المياه، يعتبر الريّ، الذي يُستحصل عليه غالباً من المياه الجوفيّة، هو المحرِّك الرئيسي للتبخُّر النتحي. وبالتالي، يمكن أن تكون قياسات التبخُّر النتحي بمثابة بديل لتقدير الطلب على الريّ باستخدام المياه الجوفيّة، خاصة عندما تكون المياه السطحية غير متوفرة. ويمكن، بعد ذلك، استخدام المسوحات الميدانية لتقييم كفاءة الريّ بهدف تحديد الوفورات المحتملة في المياه.

وتبدأ العملية بالخطوات الأولية التالية:

1. تحديد منطقة الدراسة.
2. تحديد الأراضي الزراعية.
3. تحديد الأراضي المروية.
4. تحديد مصدر مياه الريّ (السطحية أو الجوفيّة).
5. رسم خرائط تحويلات المياه السطحية من الجداول أيّاً كانت.
6. رسم خرائط الآبار أيّاً كانت مفيد ولكنه ليس ضرورياً.

وفي بعض الأحيان، يأتي جزء من التبخُّر النتحي من الأمطار المخزنة في منطقة جذر النباتات. ويجب تقدير هذا المكوِّن باستخدام نهج الميزان المائي في التربة. وفي المعادلة أدناه، ΔGW هو التغيير في تخزين المياه الجوفيّة:

ΔGW = المتساقطات – التبخُّر النتحي – التدفُّق السطحي – التغيُّر في التخزين/وقت تخزين مياه التربة

[1] الإسكوا، عام 2022.

وبالنسبة للمناطق التي يكون فيها التدفُّق السطحي ضئيلاً لفترات طويلة، يمكن أيضاً افتراض أن قِيم الحدّين الأخيرين في المعادلة لا تذكر، ويمكن اعتبار كميّة استخدام المياه الجوفيّة (أو الكسب) مساوية للفرق بين المتساقطات والتبخُّر النتحي.

وحيثما لا تكون البيانات الموقعية كافية، يمكن استخدام منتجات الاستشعار عن بُعد لتحديد المتساقطات. ومجموعة أخطار المناخ لهطول الأمطار بالأشعة تحت الحمراء من خلال المحطات (CHIRPS) هي منتَج من هذه المنتجات، وهي مجموعة بيانات شبه عالمية حول كميّة الأمطار لمدة تفوق 35 عاماً بقِيم تعود إلى عام 1981. وتستخدِم مجموعة بيانات CHIRPS صوراً ساتلية بدقة 0.05 درجة وبيانات المحطة في الموقع لإنشاء سلسلة زمنية شبكية للمتساقطات بهدف تحليل الاتجاهات ورصد الجفاف الموسمي. وأصبح الإصدار 2.0 متاحاً. وتتوفر مجموعة بيانات CHIRPS على نطاقات زمنية متعدِّدة (يومية وخماسية وشهرية).

وخوارزمية عمليات الاسترجاع المتكاملة المتعدِّدة السواتل لبعثة التساقطات العالمية (IMERG) هي مجموعة بيانات أخرى حول المتساقطات، تجمِّع المعلومات من البعثات المعنية بقياس معدل هطول الأمطار في العالم (GPM) لتقدير المتساقطات في غالبية سطح الأرض. وتتوفر بيانات IMERG على المستوى اليومي، وتغطي مناطق الدراسة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا منذ عام 2000 (حيث يُدمج التاريخ مع بعثة قياس هطول الأمطار المدارية (TRMM) منذ عام 2000). ويوفر منتَج IMERG Final Run تقديرات عالمية متعدِّدة السواتل وشبكية للمتساقطات بجودة بحثية مع استكمال وبيانات قياس وتكيُّف مناخي[2]. وتبلغ دقته المكانية نصف دقة منتَج CHIRPS (0.1 درجة × 0.1 درجة، أو ما يقرُب من 10 كم × 10 كم). وفي هذا الدليل، يُستخدَم منتَج CHIRPS بسبب دقته العالية.

ويصف هذا الدليل إجراءات تحديد معدل التبخُّر النتحي في منطقة الدراسة باستخدام الاستشعار عن بُعد. وسوف يصف كيف يمكن تحليل الصور الحرارية والمتعدِّدة الأطياف المتاحة علناً لتوفير تقديرات للاستخدام الفعلي لمياه المحاصيل. ويمكن حالياً تحديد معدل التبخُّر النتحي ممّا لا يقل عن خمسة منتجات لصور ساتلية عالية الدقة متاحة مجاناً:

1. مجموعة أجهزة قياس الإشعاع بالأشعة تحت الحمراء المرئية (VIIRS)[3] (1 كم).
2. مقياس الطيف التصويري المتوسط التحليل (MODIS) (1 كم).
3. لاندسات 8 و9[4] (30 م).
4. سينتينل-2 (10-20 م) مدمج مع سينتينل-3 (نطاق حراري 1 كم) أو VIIRS (نطاق حراري 375 م) أو MODIS (نطاق حراري 1 كم).
5. تجربة مقياس الإشعاع الحراري المحمول في الفضاء التابع للنظام الإيكولوجي على المحطة الفضائية (ECOSTRESS) (70 م).

وتتوفر صور MODIS وVIIRS يومياً، وتبلغ دقة منتَج معدل التبخُّر النتحي 1 كم. ويتوفر منتَج معدل التبخُّر النتحي بسهولة عن طريق الواجهة البينية لمحرِّك Google Earth. وهو مشتق باستخدام رصيد الطاقة التشغيلي المبسَّط أحادي المصدر (SSEBOP)، وهو متاح لتغطية صور VIIRS كاملةً، بدءاً من عام 2013[5].

وإذا كان لا بدّ من منتَج ذو استبانة مكانية أعلى، فيمكن استخدام صور لاندسات 30 م أو صور Sentinel-2 20 م لتحديد معدل التبخُّر النتحي. وتوفر سواتل لاندسات، لاندسات 8 ولاندسات 9، تغطية للأرض لمدة ثمانية أيام. ويجب إزالة الصور التي تشوبها الغيوم، أو إخفاء المناطق الغائمة، قبل استخدام الصور لتقدير معدل التبخُّر النتحي. ومنتجات لاندسات 4-9 C2 للتبخُّر والنتح المؤقتين متاحة حالياً على الواجهة البينية عند الطلب لهيكل معالجة العلوم التابع لمركز رصد وعلوم الموارد الأرضية EROS (ESPA) في مؤسسة الولايات المتحدة للمسح الجيولوجي.

وستتعمق الفصول التالية في وصف الإجراءات. ويصف الفصل 2 كيفية الوصول إلى بيانات السواتل. ويحتوي الفصل 3 على إرشادات خطوة بخطوة لتنزيل البيانات. ويشرح الفصلان 4 و5 كيفية تقدير التبخُّر النتحي والمتساقطات، بينما يناقش الفصل 6 تحديد المتساقطات الفعلية. وأخيراً، يغطي الفصل 7 معايرة النموذج والتحقق من صحته.

---

[2] https://gpm.nasa.gov/data/directory.

[3] https://doi.org/10.1002/jgrd.50771.

[4] https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6.

[5] Senay evapotranspiration al., 2013, 2022.

2. استخدام هذا الدليل

سيشرح هذا الفصل كيفية التسجيل في محرِّك Google Earth وبوابة Earth Explorer. وسيُستخدَم محرِّك Google Earth لتحديد كميّة الأمطار المتساقطة فوق منطقة الدراسة، فيما ستُستخدَم بوابة Earth Explorer لتنزيل خرائط التبخُّر النتحي لاندسات. ونحتاج إلى كل من بيانات التبخُّر النتحي والمتساقطات لتقدير استخدام المياه الجوفيّة.

ألف. التسجيل للحصول على حساب على محرِّك Google Earth

أولاً، يجب أن تسجّل معلوماتك للحصول على حساب على محرِّك Google Earth. ويحتاج جوجل من يوم إلى 3 أيام حتى يمنحك التفويض بفتح حسابك على محرِّك Google Earth. ويجب أن يكون لديك حساب Gmail لتتمكن من التسجيل في محرِّك Google Earth. اتبع هذه الخطوات لطلب حساب:

الخطوة 1:

انتقل إلى صفحة التسجيل في محرِّك Google Earth. https://signup.earthengine.google.com/.

الخطوة 2:

انقر على "الاشتراك في Earth Engine".

الخطوة 3:

أدخِل معلومات حسابك على جوجل وانقر على «التالي». إذا لم يكن لديك حساب على جوجل، عليك فتح حساب الآن.

الخطوة 4:

افتح حساباً، ثم سجّل الدخول وانتقل إلى الصفحة أعلاه. وافق على الشروط والأحكام وانقر على "متابعة".

الخطوة 5:

اختر التسجيل باستخدام حسابك الفردي على جوجل.

الخطوة 6:

انقر على "إنهاء". ولتوفير الوقت، يمكنك أن تختار منح حساب بريدك الإلكتروني الحالي على جوجل. وانقر على "التالي". وسيُطلب منك ربط بيانات اعتمادك على محرِّك Earth الجديدة بحساب بريدك الإلكتروني الحالي. (الشكل 1 ألف).

الشكل 1. التسجيل في محرّك Google Earth ألف. مثال على طلب حساب في محرّك Google Earth

Google Earth Engine

Your account (**kvutien@ibisa.network**) does not appear to be registered for Earth Engine access. Please try one of the following:

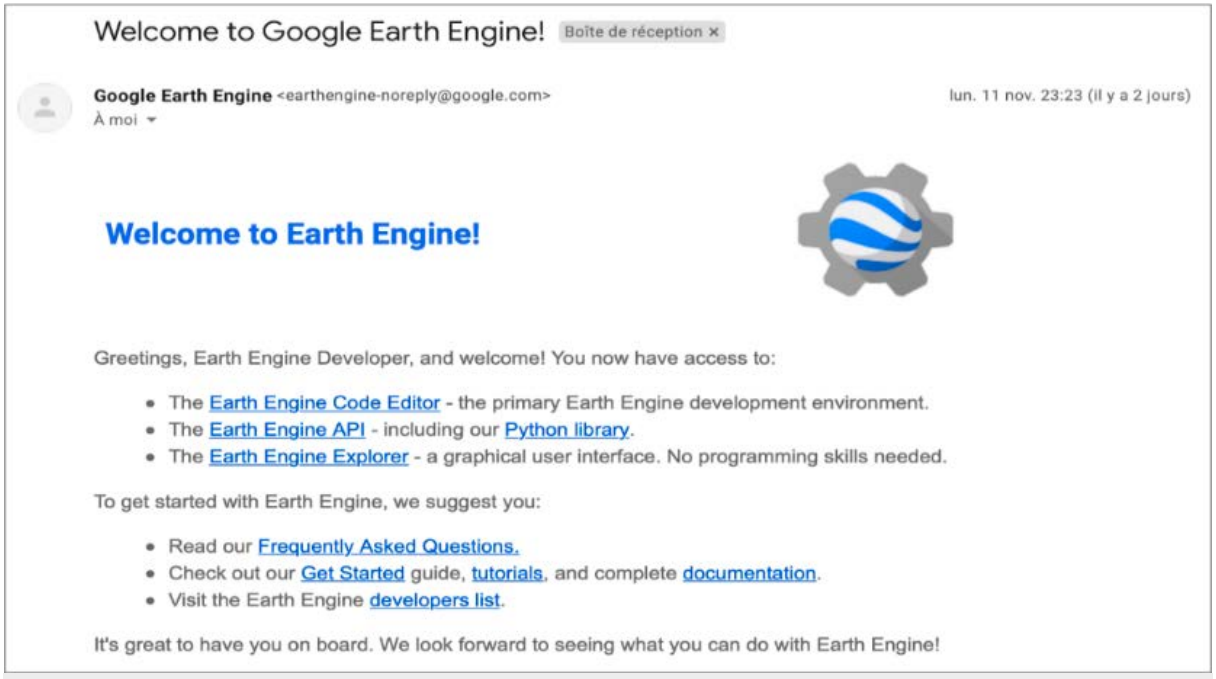
- If you have not registered yet, you can do so here. Note that currently registration involves manual review which may take up to a few days to complete.

المصدر: https://earthengine.google.com/.

الخطوة 7:

انتظر رسالة إلكترونية من محرِّك Google Earth تؤكد إنشاء حسابك.

باء. تأكيد الوصول إلى حساب محرّك Google Earth



المصدر: https://earthengine.google.com/.

الخطوة 8:

بمجرد تلقي رسالة التأكيد الإلكترونية، انقر على الرابط لتنشيط حسابك.

الخطوة 9:

سجِّل الدخول إلى حسابك على محرِّك Google Earth.

الخطوة 10:

ابدأ في استكشاف محرِّك Earth.

باء. التسجيل للحصول على حساب على بوابة Earth Explorer

يجب أن يكون لديك حساب على بوابة Earth Explorer لطلب بيانات التبخُّر النتحي لاندسات. الواجهة البينية للمستخدِم Earth Explorer هي أداة بحث واكتشاف وترتيب عبر الإنترنت طوّرتها مؤسسة الولايات المتحدة للمسح الجيولوجي. ولطلب منتجات مثل بيانات التبخُّر النتحي لاندسات، يجب أن تسجِّل الدخول إلى بوابة Earth Explorer باستخدام إسم المستخدِم الخاص بك. ولإنشاء حساب، تفضَّل بزيارة موقع https://ers.cr.usgs.gov/register. يستغرق التسجيل حوالي 5 دقائق، وستتلقى رسالة إلكترونية للتفعيل. وانقر على الرابط لتأكيد تسجيلك.

وعند التسجيل، استخدِم إسم المستخدِم الخاص بك لتسجيل الدخول إلى بوابة Earth Explorer.

3. طلب خرائط التبخُّر النتحي وتنزيلها

في هذا الفصل، سيتعلّم المستخدِم كيفية البحث عن بيانات التبخُّر النتحي لاندسات وطلبها وعرضها باستخدام بوابة Earth Explorer. وفي حين أن العديد من مصادر خرائط التبخُّر النتحي منخفضة الدقة متوفرة عالمياً، فإن بيانات التبخُّر النتحي المشتقة من لاندسات هي الأعلى دقة ضمن بيانات التبخُّر النتحي المتاحة، وهي الأكثر استخداماً في صفوف الباحثين. وتستخدم العديد من النماذج لتقدير التبخُّر النتحي من لاندسات.,SEBAL (Bastiaanssen, 1998; Jaafar and Ahmad 2020); METRIC (Allen and others, 2007; Jaafar and Ahmad 2020); SSEBOP (Senay, 2018), ETLook (AKA WAPOR, Bastiaanssen 2012); HSEB (Jaafar and others, 2022a); TSEB (Anderson and others, 2012; Jaafar and others, 2022b) هي أمثلة على هذه النماذج التي استخدمت لاندسات لإنشاء بيانات التبخُّر النتحي باستخدام النطاق الحراري. وسنستخدِم هنا SSEBOP، لأنه من الممكن طلب بيانات التبخُّر النتحي لاندسات من بوابة Earth Explorer.

ألف. طلب بيانات التبخُّر النتحي لاندسات

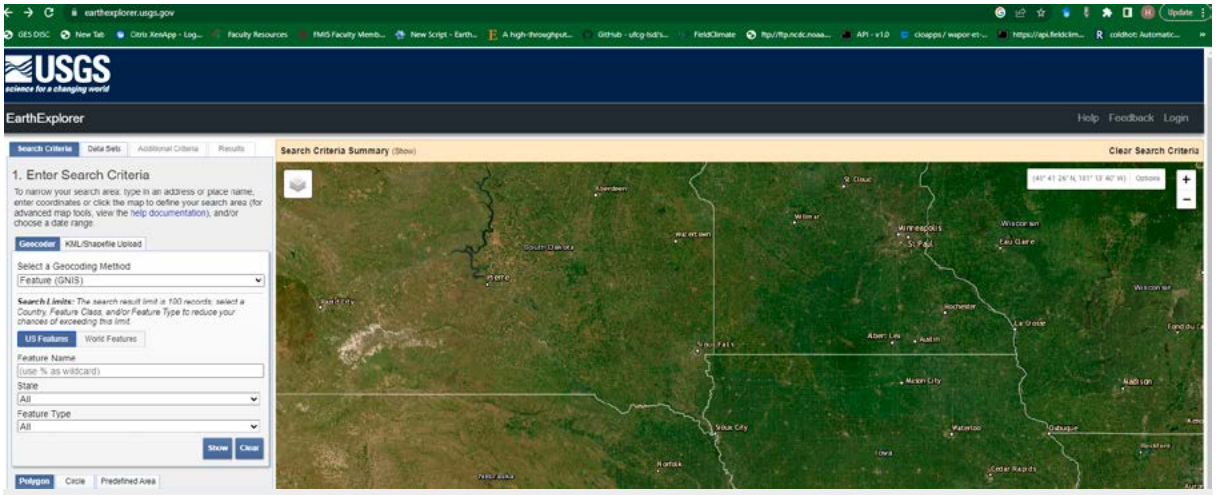
تتمثل الخطوة الأولى في تقديم طلب لإنتاج البيانات العلمية في إنشاء قائمة مشاهد كملف نصّي (*.txt). ويجب أن تكون القائمة ملفاً نصّياً، ويجب أن تحتوي على رقم تعريف منتَج لاندسات. وتُنشأ هذه المعلومات عن طريق إجراء بحث في الجردة المكانية والزمانية في بوابة Earth Explorer وتصدير نتائج البحث إلى جدول إلكتروني يمكن استخراج أسماء الملفات منه.

الخطوة 1:

الحصول على قائمة مشاهد لاندسات.

سجِّل الدخول إلى موقع https://earthexplorer.usgs.gov/ (الشكل 2).

الشكل 2. صفحة تسجيل الدخول إلى بوابة Earth Explorer

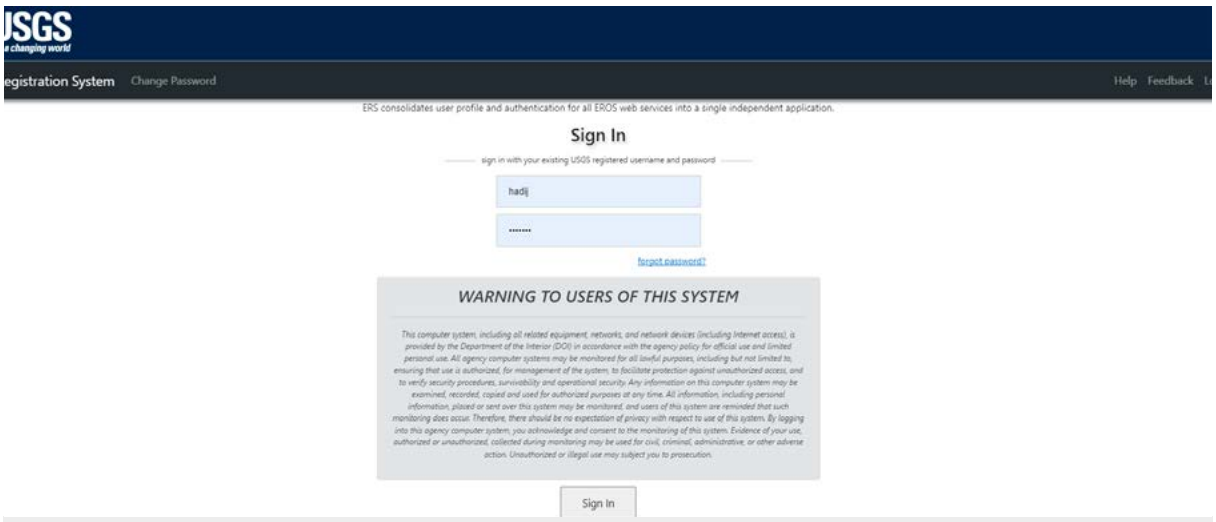


المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

زر تسجيل الدخول في أعلى الزاوية اليمنى.

للوصول إلى الواجهة البينية للطلب بالجملة، يجب تسجيل الدخول باستخدام إسم المستخدِم وكلمة المرور (الشكل 3).

الشكل 3. صفحة تسجيل الدخول لنظام التسجيل في مركز رصد وعلوم الموارد الأرضية (EROS)



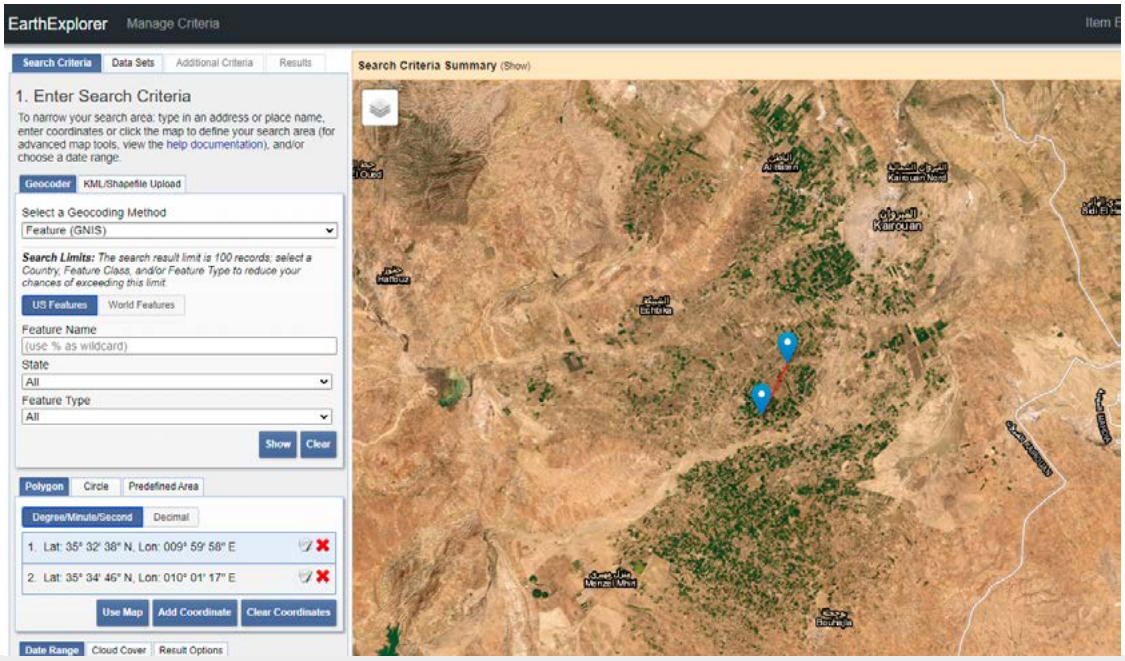
المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 2:

تحديد منطقتك.

قُم بتكبير منطقة الدراسة باستخدام الخريطة. وانقر على الخريطة لوضع نقطة في منطقتك، أو حمِّل ملف الشكل shapefile أو KML باستخدام زر KML/shapefile (الشكل 4).

الشكل 4. تحديد منطقة الدراسة في بوابة Earth Explorer

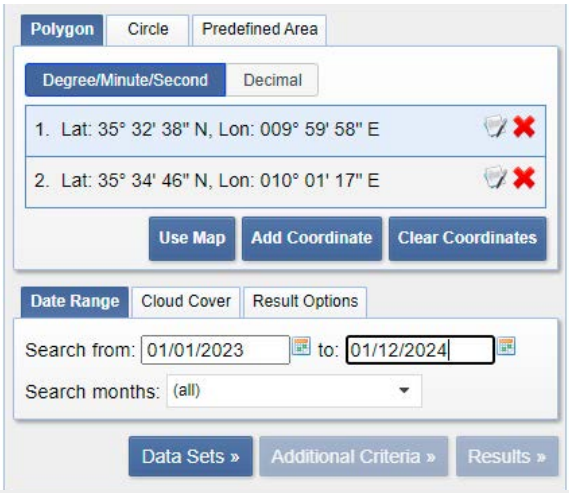


المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 3:

تعيين النطاق الزمني كفترة التحليل. الفجوة بين مشهدين متتاليين من لاندسات 8 ولاندسات 9 (الشكل 5) مدتها ثمانية أيام.

الشكل 5. تحديد تواريخ البحث عن الصور

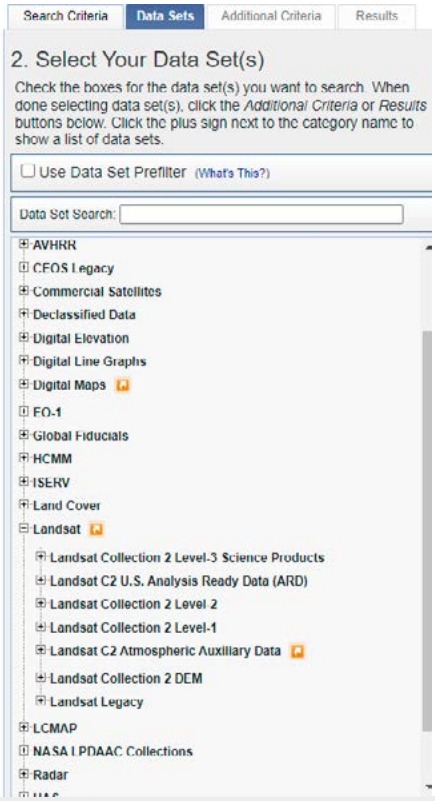


المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 4:

انقر على "مجموعات البيانات" وانقر على "+" بجوار "Landsat" لتوسيع قائمة الخيارات (الشكل 6).

الشكل 6. توسيع خيارات مجموعة البيانات



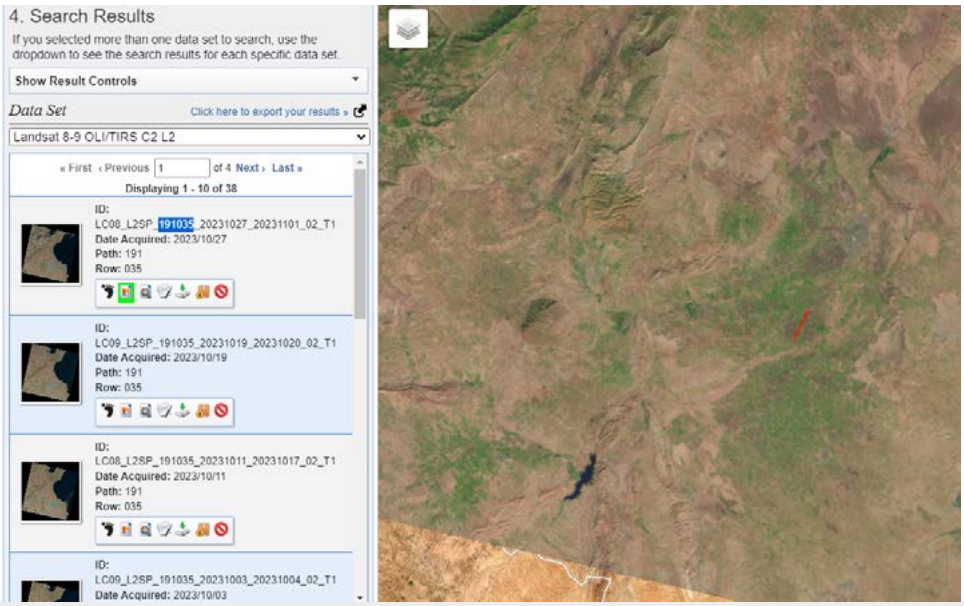
المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 5:

حدِّد "مجموعة لاندسات 2 المستوى 1" وانقر على "النتائج".

تحديد مسار مشهد لاندسات ورقم الصف. وبالنسبة للمثال أدناه، الموجود في تونس (الشكل 7)، فهذا هو المسار 191 والصف 035. وستتضمن المشاهد التي يتمّ تنزيلها هذه الأرقام في أسماء ملفاتها. وتحقَّق من أن المنتَج عبارة عن مجموعة لاندسات من المستوى 2.

الشكل 7. نتائج البحث المعروضة في نافذة Earth Explorer



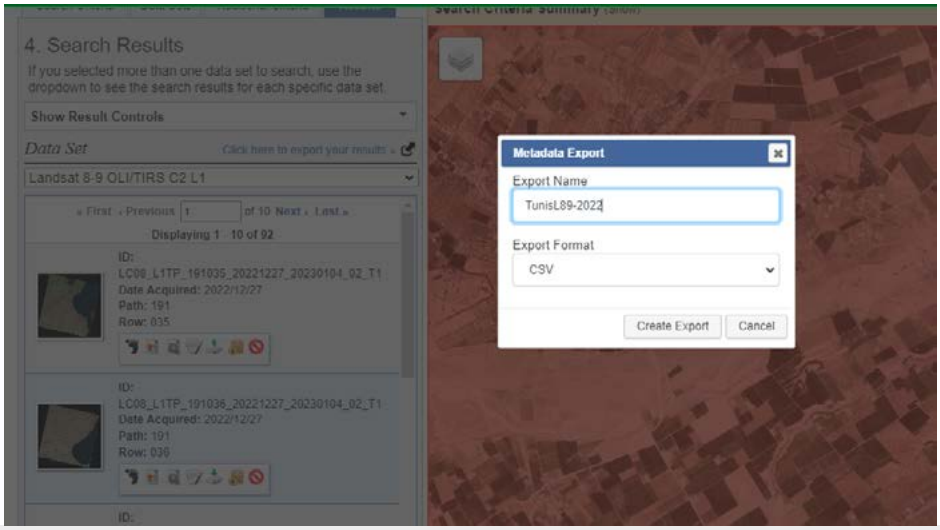
المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 6:

انقر على "تصدير النتائج" واختر تنسيق CSV (الشكل 8).

- انتقل إلى تبويب "مجموعة البيانات" لتحديد مجموعات البيانات التي تريد البحث عنها.

الشكل 8. تصدير نتائج البحث إلى تنسيق csv.



المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

لطلب منتجات التبخُّر النتحي لاندسات، اختر من الصور المتاحة. وتجنَّب الصور ذات الغطاء السحابي فوق منطقة الدراسة. ويوضح الشكل 9 صفحة الإرسال.

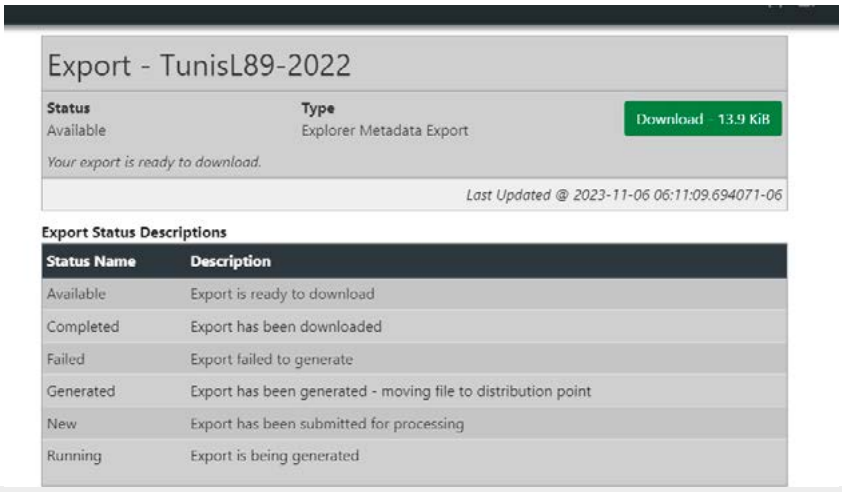
الشكل 9. تصدير نتائج البحث للمعالجة

المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 7:

انقر على "فتح صفحة حالة التصدير". وسيتمّ توجيهك إلى الشاشة الموضحة في الشكل 10.

الشكل 10. نتيجة حالة تصدير نتائج البحث بعد تقديمها

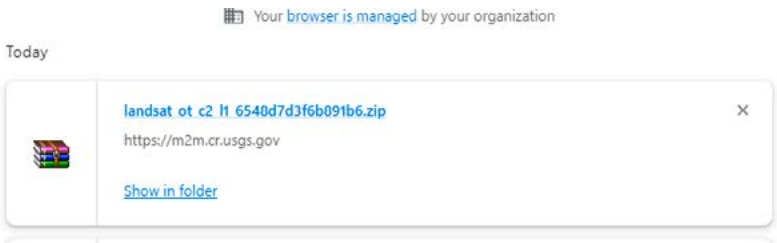


المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

الخطوة 8:

انقر على زر "التنزيل" وحدِّد موقع الملف المضغوط في دليل التنزيلات الخاص بك. وفك الملف المضغوط وافتحه في جدول إلكتروني (الشكل 11).

الشكل 11. لقطة من موقع الملف الذي تمّ تنزيله



المصدر: https://earthexplorer.usgs.gov/.

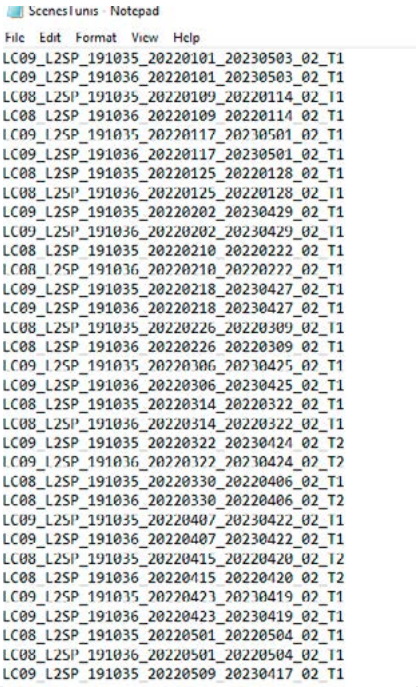
الخطوة 9:

انسخ محتويات العمود الأول باستخدام رقم تعريف منتَج لاندسات.

الخطوة 10:

أنشِئ ملف txt. جديد وألصق القائمة المنسوخة فيه. واحفظ الملف (الشكل 12) لإنشاء قائمة مشهد.

الشكل 12. ملف نصّي بأسماء صور للتنزيل

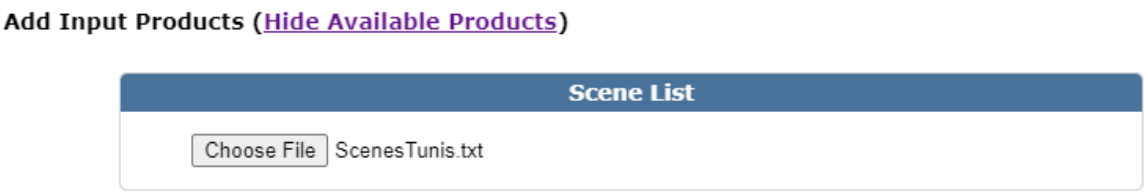


المصدر: المؤلفون.

الخطوة 11:

لطلب بيانات التبخُّر النتحي، انقر على هذا الرابط: https://espa.cr.usgs.gov/.
اختر الملف الذي قمت بحفظه بالنقر على "اختيار ملف" وتصفَّح وصولاً إلى موقعه (الشكل 13).

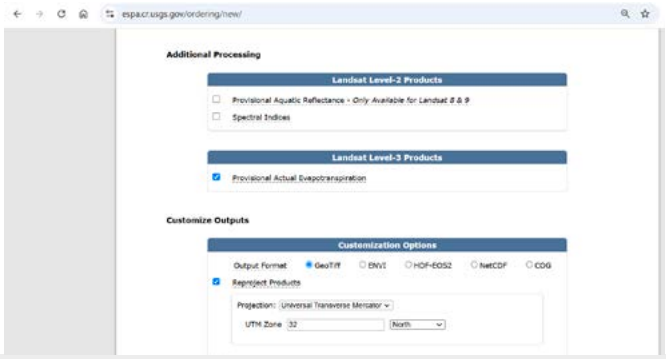
الشكل 13. إضافة منتجات المدخلات لترتيب البيانات



المصدر: https://espa.cr.usgs.gov/ordering/new/.

تحقَّق من الخيارات الموجودة على الصفحة (معدل التبخُّر النتحي الفعلي المؤقت) كما هو موضح في الشكل 14، ثم أدخل منطقة UTM الخاصة بك. UTM هي منطقة مركاتور المستعرض الشامل؛ إنه نوع شائع من الإسقاط يُستخدَم عادة عند التحويل من نظام إحداثيات جغرافي إلى نظام إحداثيات متوقع. ويعتمد على تقسيم الأرض إلى 60 منطقة UTM، كل منها 6 درجات في العرض. على سبيل المثال، يقع خط الطول 35.5 في منطقة UTM 36.

الشكل 14. اختيار وترتيب بيانات التبخُّر النتحي المتوقعة

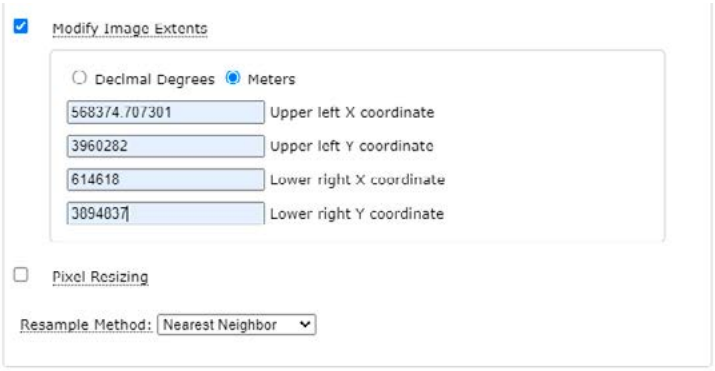


المصدر: https://espa.cr.usgs.gov/.

انقر على "تعديل النطاقات" لقص البيانات وصولاً إلى حدودك (الشكل 15).

واستخدم النطاقات إما من نطاقات ملف الشكل في برنامج ArcGIS أو من محرِّك Google Earth.

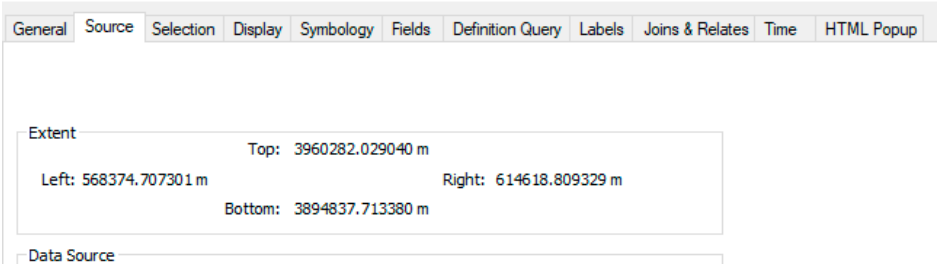
الشكل 15. تعديل نطاقات الصورة لتطابق ملف شكل منطقة الدراسة المدرجة



المصدر: https://espa.cr.usgs.gov/.

يمكنك عرض نطاقات ملف الشكل في تبويب "المصدر" للطبقة في برنامج ArcGIS (الشكل 16).

الشكل 16. نطاقات طبقة المصدر في برنامج ArcGIS



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

انقر على "إرسال". يجب أن تتلقى رسالة تأكيد إلكترونية.

الخطوة 12:

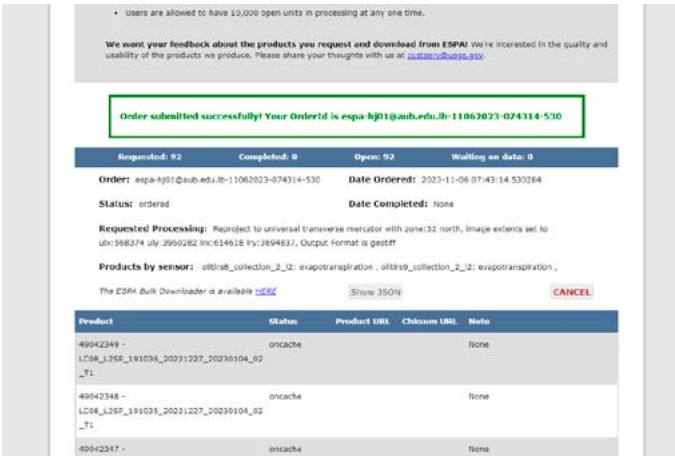
تتبع الطلب.

سيُضاف تبويب جديد بإسم «إظهار الطلب»، يعرض رقم تعريف المنتَج وحالته (الشكل 17).

وبمجرد اكتمال الطلب، ستتلقى رسالة إلكترونية أخرى تخطرك بأن بياناتك جاهزة للتنزيل.

ويختلف الوقت اللازم للحصول على الطلب وفقاً لعدد المنتجات المطلوبة. وفي هذه الحالة، يستغرق طلب 45 منتَجاً حوالي ساعة، ويستغرق تنزيل كل منتَج مضغوط حوالي ساعتين، اعتماداً على سرعة اتصالك بالإنترنت.

الشكل 17. شاشة تأكيد تقديم الطلب



المصدر: https://espa.cr.usgs.gov/.

باء. تنزيل خرائط التبخُّر النتحي وعرضها

الخطوة 13:

تنزيل بيانات التبخُّر النتحي لاندسات.

عند اكتمال معالجة الملفات، يمكنك تنزيلها. ويحتوي موقع التنزيل على أرشيفات ملفات مضغوطة (tar.gz) تضم الملفات المطلوبة.

المنتجات المتوفرة

الملفات المضمَّنة في حزمة منتَج بيانات معدل التبخُّر النتحي الفعلي لاندسات C2 المطلوبة مذكورة أدناه:

- **بيانات معدل التبخُّر النتحي الفعلي (ETA):** توفر تقديرات لكميّة المياه المنقولة يومياً بالبكسل من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي بوحدات عمق الماء (مم).
- **بيانات جزئية لمعدل التبخُّر النتحي (ETF):** تمثل جزءاً غير موحّد من قيمة مرجعية للتبخُّر النتحي بناءً على البرسيم المحصولي (ETr)، وتتراوح إسمياً بين 0 و1.
- **بيانات عدم اليقين في معدل التبخُّر النتحي (ETUN):** تمثِّل مستوى عدم اليقين في منتَج التبخُّر النتحي بوحدات عمق الماء (مم) باستخدام بيانات التبخُّر النتحي المساعِدة.

- **تقييم جودة البكسل (QA_PIXEL):** مجموعات البتات التي تحدِّد شروطاً معيّنة للجودة.
- **البيانات الوصفية:** تتضمن معلومات عن معدل التبخُّر النتحي الفعلي بتنسيق XML (Product_ID.xml) والبيانات الوصفية من المستوى 1 بتنسيق txt. وXML. ومواصفات المنتج موضحة في الجدول 1.

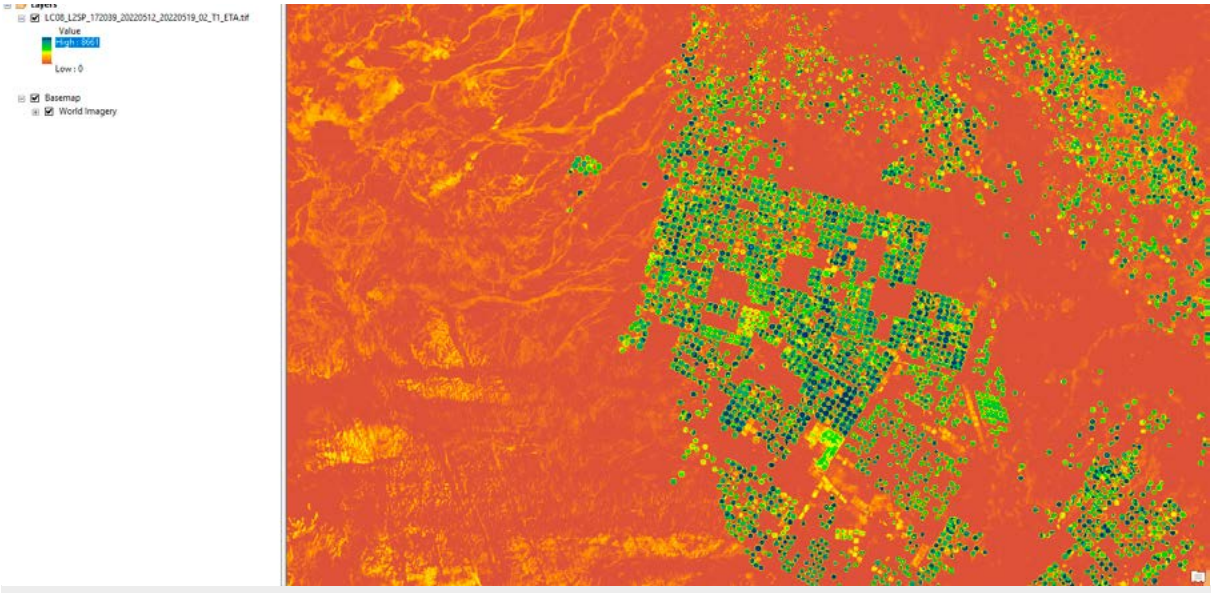
الجدول 1. قائمة مواصفات منتَج معدل التبخُّر النتحي الفعلي المؤقت لاندسات C2

وصف	إسم الصندوق	نطاق صالح	عامل مقياس الرسم	وحدة
بيانات معدل التبخُّر النتحي الفعلي (ETA)	ProductID_ETA	20,000–0	0.001	مم
بيانات جزئية لمعدل التبخُّر النتحي (ETf)	ProductID_ETF	10,000–0	0.0001	غير موحّد
بيانات عدم اليقين في معدل التبخُّر النتحي (ETUN)	ProductID_ETUN	15,000–0	0.001	مم
تقييم جودة البكسل (PIXEL_QA)	ProductID_QA_PIXEL	65,535–0	لا ينطبق	مؤشر البت

المصدر: Anderson, Martha C. and others, 2012.

ويوضح الشكل 18 مثالاً على منتَج معدل التبخُّر النتحي الفعلي للحقول الزراعية في منطقة سكاكا، المملكة العربية السعودية، في برنامج ArcGIS.

الشكل 18. مثال على معدل التبخُّر النتحي الفعلي المؤقت لاندسات L2 C2 لمنطقة سكاكا، المملكة العربية السعودية



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

4. تقدير التبخُّر النتحي

يصف هذا الفصل كيفية حساب متوسط التبخُّر النتحي، وهو بديل لاستخدام المياه، داخل منطقة زراعية محددة.

متطلبات البيانات:

- حدود الأراضي الزراعية: يتوجَّب تأمين ملف شكل أو قاعدة بيانات جغرافية تمثِّل الحقول الزراعية داخل منطقة الدراسة. وبدلاً من ذلك، يمكن رسم مضلَّع يدوياً لتحديد منطقة الدراسة.
- حالة الريّ: يجب التمييز بين الحقول المروية والبعلية بناءً على وجود البنية التحتية للريّ وأنماط كميّة الأمطار في منطقة الدراسة.

تصنيف المجالات الزراعية:

- عتبة الرقم القياسي الموحّد لتباين كثافة الغطاء النباتي (NDVI): يمكن استخدام عتبة الرقم القياسي الموحّد لتباين كثافة الغطاء النباتي المناسب للتمييز بين المناطق الزراعية وغيرها من أنواع غطاء الأرض.
- التصنيف الزمني: يمكن أن يساعد تحليل التغيُّرات الزمنية في الصور الساتلية في تحديد الحقول الزراعية بناءً على أنماط النمو الموسمي الفريدة.
- الصور المصنَّفة مسبقاً: غالباً ما تتضمن صور Sentinel-2 خرائط مصنَّفة مسبقاً لغطاء الأرض التي يمكن استخدامها بسهولة.

حساب إحصائيات المناطق

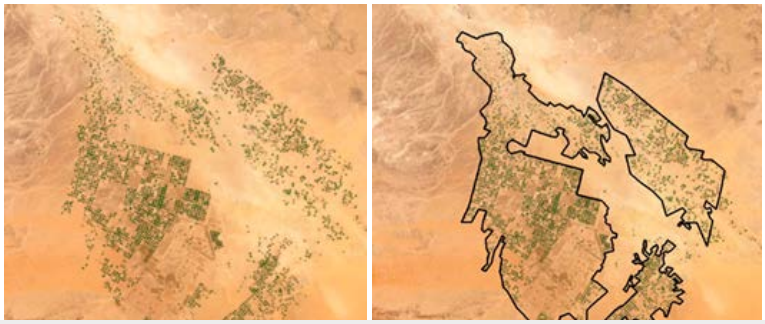
- بمجرد تحديد الحقول الزراعية، تُطبَّق إحصائيات المناطق (Zonal statistics) في ArcMap لتحديد متوسط التبخُّر النتحي لكل مشهد لاندسات.

الإجراءات:

1. استيراد نمط خطوط المسح للتبخُّر النتحي: أضف بيانات نمط خطوط المسح للتبخُّر النتحي إلى بيئة ArcMap.
2. تحديد منطقة الدراسة: حدِّد الحقول الزراعية داخل منطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكل 19. وفي هذه الحالة، حُدِّدت الحقول الزراعية في منطقة سكاكا (المساحة الإجمالية 8,098.5 كم^2)، وتضم ثلاث مناطق: المنطقة 1 (5,560.56 كم^2)، والمنطقة 2 (649.13 كم^2)، والمنطقة 3 (1,888.79 كم^2).
3. أداة إحصائيات المناطق (Zonal statistics tool): استخدِم أداة "Zonal Statistics as Table" لحساب متوسط قيمة التبخُّر النتحي لكل مشهد لاندسات ضمن مضلعات الحقول الزراعية المحدَّدة.

تُحسب أداة "Zonal Statistics as Table" الإحصائيات (المتوسط، الانحراف المعياري، المجموع) لقِيم الخلايا لطبقة نمط خطوط المسح داخل المناطق المحدَّدة بواسطة مجموعة بيانات أخرى (في هذه الحالة، مضلّعات الحقول الزراعية).

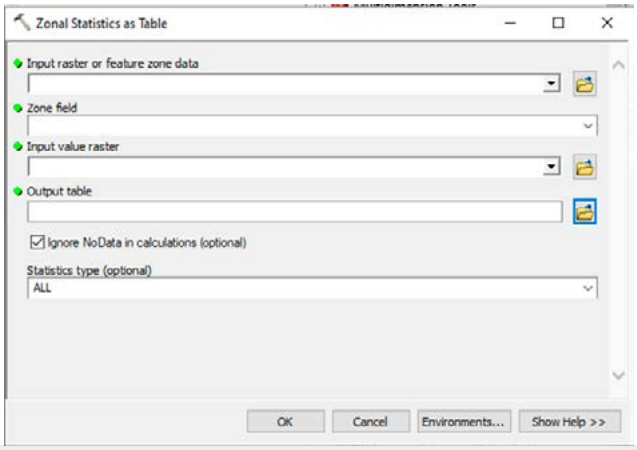
الشكل 19. إنشاء ملف شكل منطقة الدراسة



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

وفي صندوق الأدوات ArcToolbox، انتقل إلى "Spatial Analyst Tools"، وقُم بتوسيع "Zonal"، واختر "Zonal Statistics as Table". وستفتح لوحة "Zonal Statistics as Table"، كما هو موضح في الشكل 20.

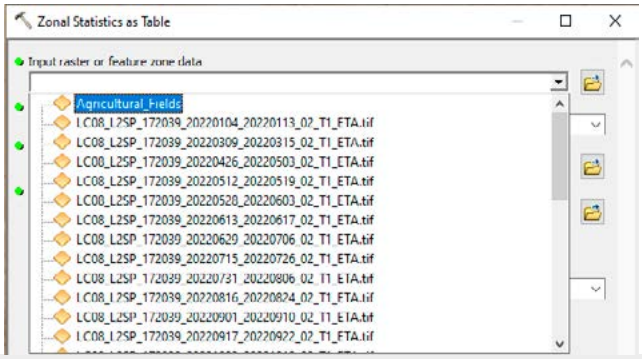
الشكل 20. لوحة "جدول يحتوي على الإحصائيات لكل منطقة"



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

وفي لوحة "Zonal Statistics as Table"، حدِّد مجموعة بيانات المنطقة من القائمة المنسدلة "Input raster or feature zone data" (الشكل 21).

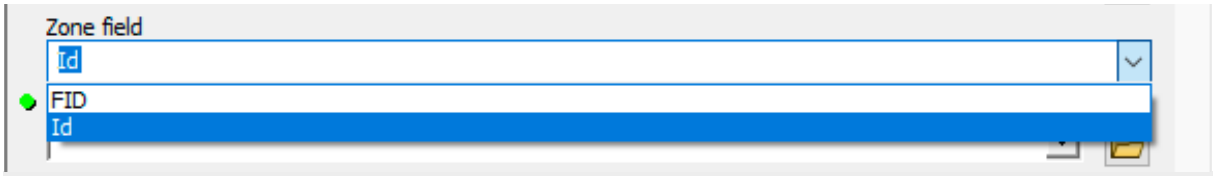
الشكل 21. قائمة منسدلة لحسابات إحصائيات المناطق



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

وفي معامل "Zone Field"، اختر الحقل الذي يحتوي على قِيم المنطقة من القائمة المنسدلة (الشكل 22).

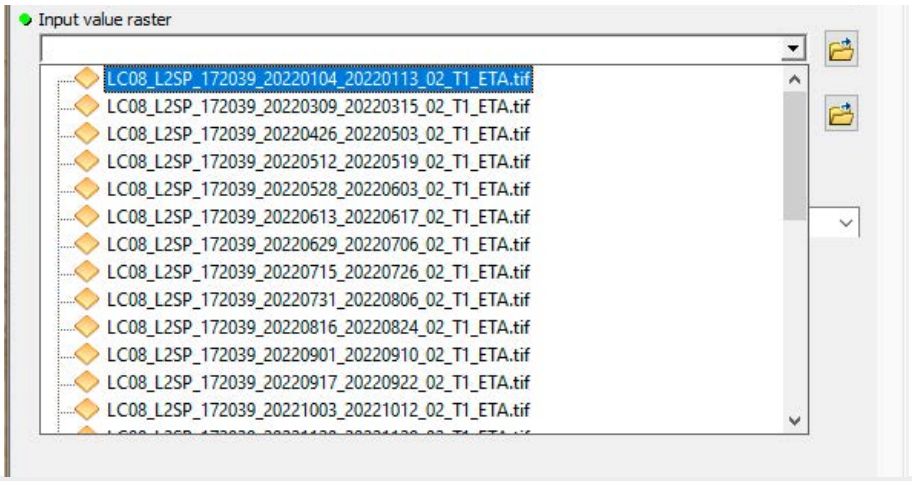
الشكل 22. اختيار رقم التعريف لإحصائيات المناطق



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

في معامل "Input value raster"، اختر بيان خطوط المسح من القائمة المنسدلة (الشكل 23).

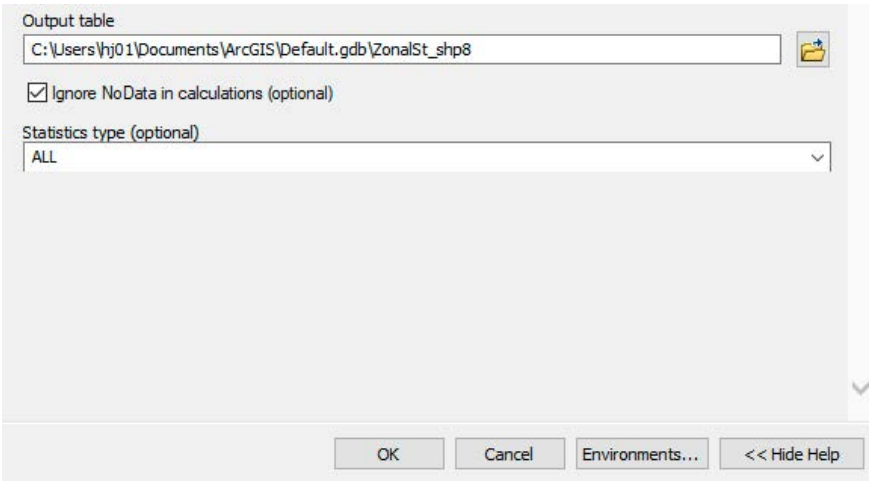
الشكل 23. اختيار الصور لحسابات إحصائيات المناطق



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

وفي معامل "Output table"، حدِّد موقعاً وإسماً لجدول النتائج (الشكل 24).

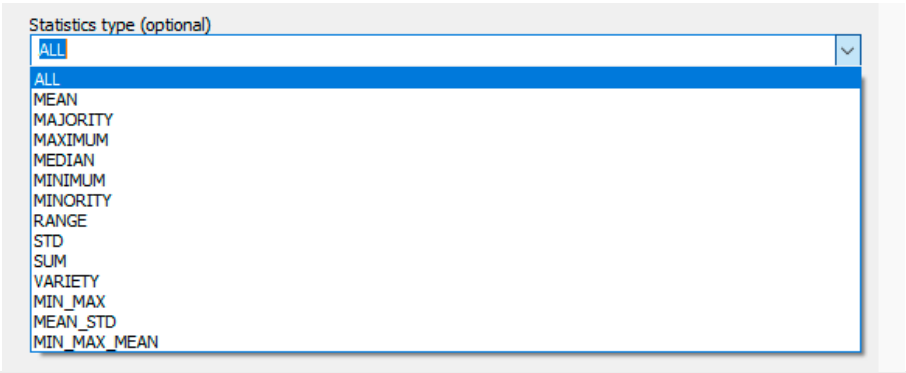
الشكل 24. تحديد إسم جدول النتائج



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

1. في معامل "Statistics type"، حدِّد مجموعة فرعية محدَّدة مسبقاً مناسِبة من القائمة المنسدلة لحساب إحصائيات متعدِّدة في وقت واحد (الشكل 25).

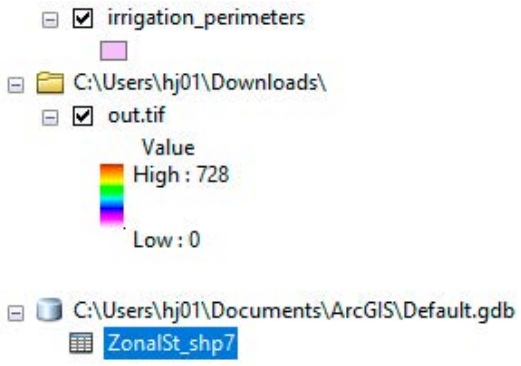
الشكل 25. اختيار المقاييس الإحصائية للنتائج



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

2. انقر على "نعم".
3. ثم سيضيف برنامج ArcGIS الجدول الإحصائي لمناطق النتائج إلى جدول المحتويات (الشكل 26).

الشكل 26. لقطة من جدول محتويات برنامج ArcGIS مع جدول إحصائيات المناطق



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

4. انقر نقراً مزدوجاً على شفرة الجدول لفتح الجدول وعرضه (الشكل 27). وتُظهِر البيانات الانحراف المتوسط والأدنى والأقصى والوسيط والمعياري لمعدل التبخُّر النتحي الفعلي على مناطق الدراسة.

الشكل 27. جدول سمات إحصائيات النتائج

Table

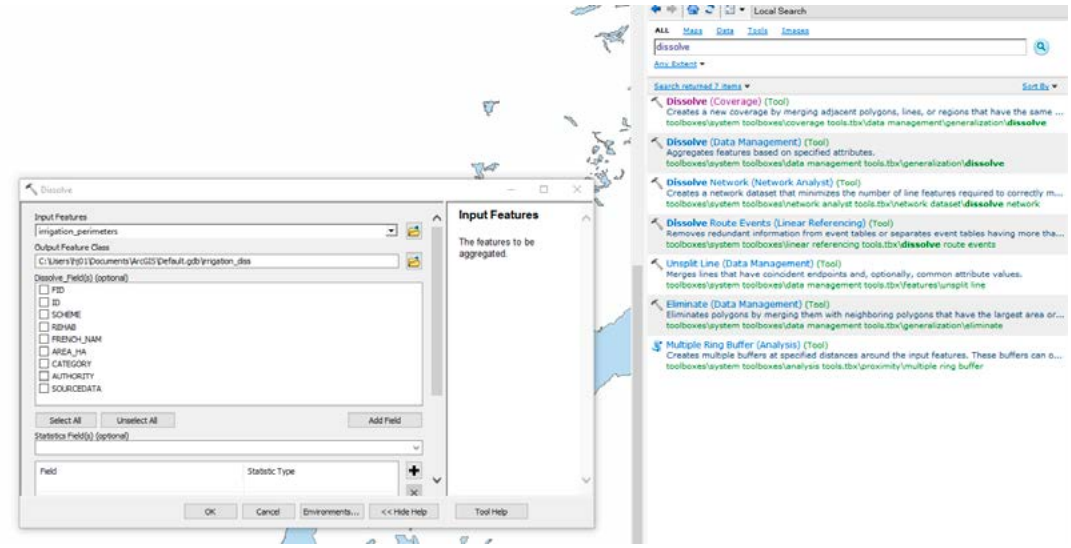
ZonalSt_01042022

OBJECTID *	FID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	0	4446984	4002285600	0	2460	2460	325.364652	228.425305	1446891401	1585	0	1503	314
2	1	537230	483507000	0	2570	2570	296.515444	231.129299	159296992	1388	0	1050	288
3	2	1557932	1402138800	0	1319	1319	260.236836	192.013967	405431295	1284	0	1115	257

المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

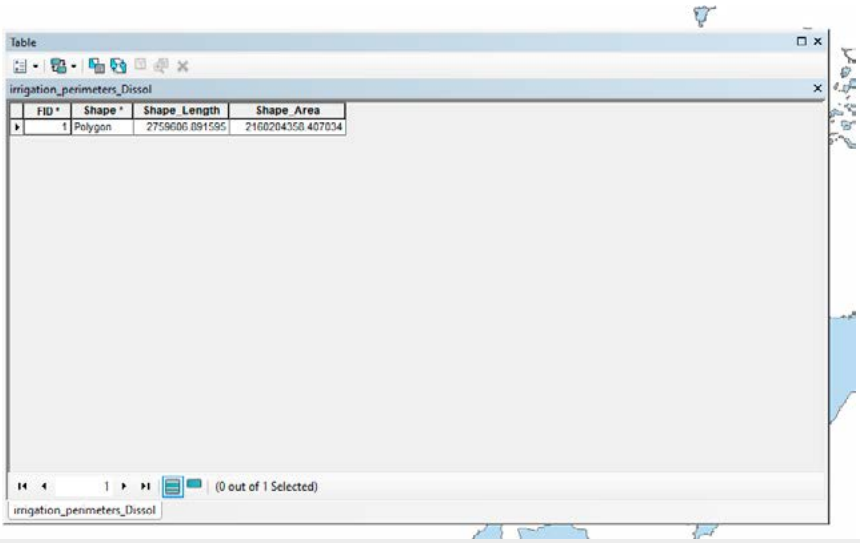
وفي كثير من الحالات، سيحتوي ملف الشكل الخاص بالحقل الزراعي على عدة مضلّعات. وفي هذه الحالة، ستُحتسب إحصائيات المناطق لكل مضلّع في ملف الشكل أو فئة المعالم. وإذا كنت ترغب في اشتقاق قيمة واحدة لمتوسط التبخُّر النتحي على جميع المضلّعات مرة واحدة، قُم أولاً بإلغاء مضلّعات ملف الشكل أو فئة المعالم باستخدام أداة " Dissolve (Coverage)" في برنامج ArcGIS (الشكل 28). وتأكد من عدم اختيار أي من المربعات في عمود "Dissolve_Fields". وسيؤدي ذلك إلى إرجاع ملف شكل بمعلم أو مضلّع واحد، مع جدول سمات يعرض ميزة واحدة (الشكل 29).

الشكل 28. أداة "Dissolve" في برنامج ArcGIS



المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

الشكل 29. جدول "Dissolved shapefile attribute" في برنامج ArcGIS

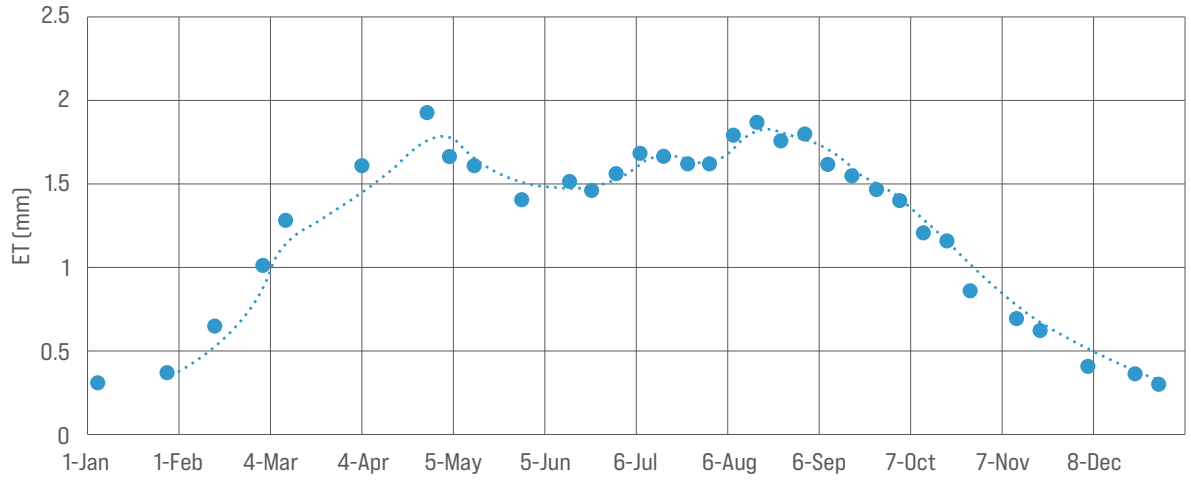


المصدر: الإسكوا، باستخدام برنامج ArcGIS.

يمكنك الآن تشغيل أداة "Zonal statistics" على شكل جدول على ملف الشكل الجديد.

ويوضح الشكل 30 التبخُّر النتحي (مم) من مشاهد لاندسات لعام 2022 فوق المنطقة الزراعية الملغية في منطقة سكاكا، بعد القسمة على عامل مقياس الرسم 1,000.

الشكل 30. السلسلة الزمنية لمتوسط التبخُّر النتحي (مم/يوم) للمنطقة الزراعية في سكاكا لعام 2022



المصدر: الإسكوا.

5. تقدير كميّة الأمطار

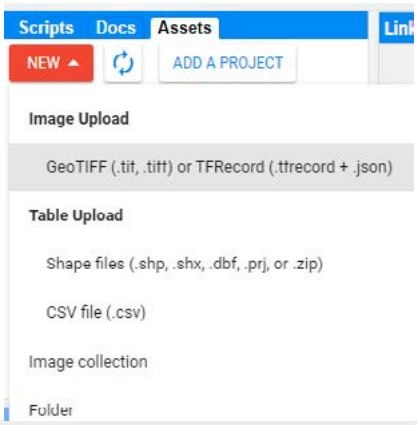
1. مقدمة ونظرة عامة حول محرّك Google Earth

- يركّز هذا الفصل على حساب متوسط كميّة الأمطار الشهرية المتساقطة على منطقة الدراسة، منطقة سكاكا الزراعية.
- منصّة محرّك Google Earth: سنستخدِم محرّك Google Earth، وهو منصّة قوية قائمة على السحابة تحتوي على كميّات هائلة من الصور الساتلية وبيانات الاستشعار عن بُعد. ويسمح محرّك Google Earth للمستخدِم بكتابة شفرة جافا سكريبت للحساب.
- الوصول إلى الشفرة: يمكن الوصول إلى الشفرة المقدَّمة لحساب كميّة الأمطار الشهرية من مجموعة بيانات CHIRPS في محرّك Google Earth على هذا الرابط: https://code.earthengine.google.com/ee5dfec ef43d9c58bbedc5d136af4492.

2. تحديد منطقة الدراسة

- استيراد منطقة الدراسة: حدِّد منطقة سكاكا الزراعية في محرّك Google Earth إما عن طريق:
  - تحميل ملف شكل (الشكل 31):
    - انتقل إلى تبويب "الأصول" في محرّك Google Earth.
    - حدِّد "New" واختر "Shapefiles" ضمن "Table upload".
    - حمِّل ملف الشكل الذي يمثل منطقة سكاكا الزراعية.
  - الرسم مباشرة في محرّك Google Earth:
    - استخدم أدوات الرسم في محرّك Google Earth لرسم منطقة سكاكا الزراعية على الخريطة مباشرة.

الشكل 31. تحميل ملف الشكل كأصل في محرّك Google Earth

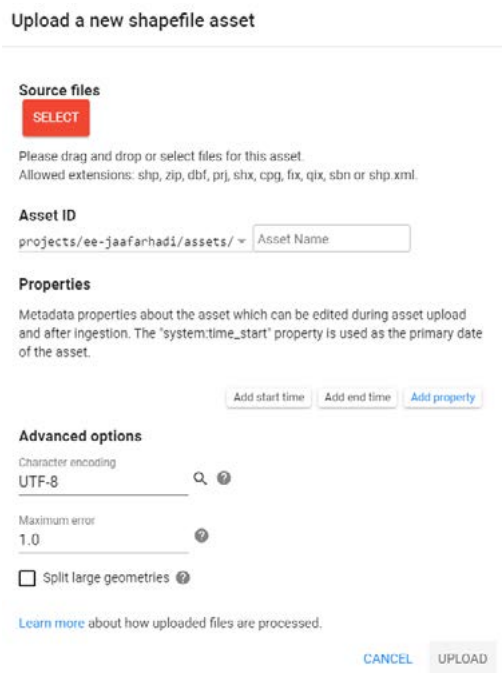


المصدر: الإسكوا، باستخدام https://earthengine.google.com/.

3. خطوات تحميل ملفات الأشكال واستيرادها إلى محرِّك Google Earth

- تحميل ملف الشكل الخاص بك:
  - انقر على "Select" في النافذة الجديدة (الشكل 32).
  - تصفَّح للوصول إلى موقع ملف الشكل المضغوط على الكمبيوتر.
  - انقر على "Upload".

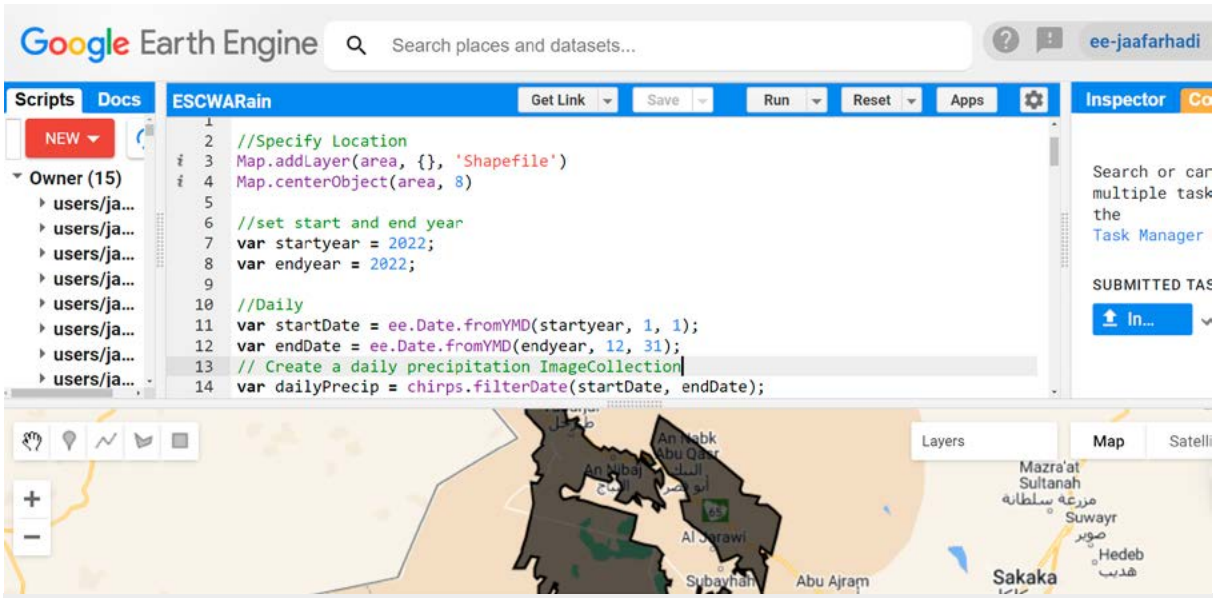
الشكل 32. اختيار ملف الشكل في محرّك Google Earth



المصدر: الإسكوا، باستخدام https://earthengine.google.com/.

- رصد التحميل:
  - سيبدأ التحميل بمهمة في تبويب "Tasks" في محرِّك Google Earth.
- الوصول إلى ملف الشكل الخاص بك:
  - عند اكتمال المهمة، سيكون ملف الشكل الخاص بك متاحاً في تبويب "Assets".
  - انقر على زر "Refresh" لتحديث قائمة الأصول الخاصة بك.
- استيراد ملف الشكل الخاص بك:
  - مرِّر مؤشر الماوس فوق ملف الشكل في قائمة الأصول.
  - انقر على السهم المواجه لليمين لاستيراد ملف الشكل مباشرة إلى محرِّر الرموز.
- تهيئة تحليلك:
  - عدِّل قِيم سنتي البدء والانتهاء في شفرتك لتطابق تواريخ الصور التي قُمت بتنزيلها.
- شغِّل شفرتك:
  - انقر على زر "Run" (الشكل 33) لتنفيذ تحليلك.

الشكل 33. نظرة عامة على شفرة محرّك Google Earth المستخدَم لتحديد كميّة الأمطار



المصدر: الإسكوا، باستخدام https://earthengine.google.com/.

4. شرح الشفرة

تحتسِب الشفرة أعلاه بيانات كميّة الأمطار اليومية والشهرية والأسبوعية وتعرضها من مجموعة بيانات CHIRPS في محرِّك Google Earth.

(أ) إعداد البيئة:

- Map.addLayer(area, {}, "Shapefile"): لإضافة ملف شكل يمثل منطقة الدراسة إلى خريطة محرِّك Google Earth.
- Map.centerObject(area, 8): لتوسيط الخريطة على المنطقة المحدَّدة بمستوى تكبير 8.
- startyear, endyear: لتحديد سنتي البدء والانتهاء في التحليل.
- startDate, endDate: تنشىء أشياء ee.Date تمثِّل تاريخَيّ البدء والانتهاء في حساب المتساقطات اليومية.

(ب) الوصول إلى مجموعة بيانات CHIRPS:

- مجموعة بيانات CHIRPS: للوصول إلى مجموعة بيانات CHIRPS باستخدام دالة ee.ImageCollection ("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY").
- dailyPrecip = chirps.filterDate(startDate, endDate): لتصفية مجموعة بيانات CHIRPS لتضمين الصور التي تعود للنطاق الزمني المحدَّد فقط.

(ج) مخطَّط المتساقطات اليومية:

- العنوان: يحدّد عنوان المخطَّط ومسميات المحور.
- ui.Chart.image.seriesByRegion(): تُنشِئ مخطَّطاً للسلسلة الزمنية عن طريق حساب متوسط قِيم المتساقطات اليومية داخل منطقة الدراسة.
- imageCollection: dailyPrecip: تحدّد مجموعة الصور التي ستُستخدَم في المخطَّط.

- regions: area: تحدد المنطقة التي يتم حساب متوسط المتساقطات فيها.
- reducer: ee.Reducer.mean(): يُستخدم متوسط الملخّص لحساب متوسط المتساقطات داخل المنطقة.
- band: "precipitation": يحدّد النطاق الذي يحتوي على بيانات المتساقطات.
- scale: 2500: لإعداد الاستبانة المكانية لتحديد المتوسط.
- xProperty: "system:time_start": تستخدِم الطابع الزمني كمحور x للمخطَّط.
- seriesProperty: "SITE": تُستخدَم خاصية "SITE" (إن وجِدت) لتجميع البيانات.
- setChartType("ColumnChart"): لتحديد نوع المخطَّط كمخطَّط عمودي.

(د) حساب المتساقطات الشهرية:

- years, months: إنشاء قوائم تمثِّل السنوات والأشهر خلال فترة التحليل.
- monthlyPrecip: حساب المتساقطات الشهرية حسب:
  - التكرار خلال كل عام (years.map()).
  - التكرار خلال كل شهر (months.map()).
  - تصفية بيانات CHIRPS للسنة والشهر المحدَّدين.
  - جمع الصور المصفاة للحصول على إجمالي المتساقطات الشهرية.
  - إعداد خاصيات "year" و"month" و""system:time_start"" لكل صورة.
- flatten(): لتسوية قائمة الصور المتداخلة في مجموعة صور واحدة.

(هـ) مخطَّط المتساقطات الشهرية:

- على غرار مخطَّط المتساقطات اليومية، تُستخدَم دالة ui.Chart.image.seriesByRegion() لتصوُّر قِيم المتساقطات الشهرية.

(و) حساب المتساقطات الأسبوعية:

- weeks: إنشاء قائمة تمثِّل أسابيع السنة.
- weeklyPrecip: تُحتسب المتساقطات الأسبوعية عن طريق:
  - التكرار خلال كل عام (years.map()).
  - التكرار خلال كل أسبوع (weeks.map()).
  - حساب تاريخَيّ بدء وانتهاء الأسبوع.
  - تصفية بيانات CHIRPS للأسبوع المحدَّد.
  - جمع الصور المصفّاة للحصول على إجمالي المتساقطات الأسبوعية.
  - إعداد خاصيات "year" و"week" و"system:time_start" لكل صورة.

(ز) مخطَّط المتساقطات الأسبوعية:

- على غرار مخطَّطات المتساقطات اليومية والشهرية، تُستَخدم دالة ui.Chart.image.seriesByRegion() لتصوُّر قِيم المتساقطات الأسبوعية.

5. التصوُّر وتصدير النتائج

(أ) التصوُّر:

- لتصوُّر بيانات المتساقطات الشهرية المحتسَبة على خريطة محرِّك Google Earth، أنشِئ ee.Image من monthlyPrecip ImageCollection.
- ثم استخدم Map.addLayer() لإضافة الصورة إلى الخريطة باستخدام خريطة ملونة مناسبة.
- يمكنك استخدام ee.Image.visualize() لإنشاء خريطة ملونة وتحديد نطاق الألوان لقِيم المتساقطات المختلفة.

(ب) تصدير:

- تصدير على شكل جدول: استخدم Export.table.toDrive() لتصدير بيانات المتساقطات الشهرية على شكل جدول إلى محرِّك جوجل.
- تصدير على شكل صورة: استخدم Export.image.toDrive() لتصدير صورة المتساقطات الشهرية إلى محرِّك جوجل. ويمكنك تحديد تنسيق ملف النتائج وضغطه ومعاملاته الأخرى.

(ج) طُرق بديلة:

- محرِّك المناخ: محرِّك المناخ (Climate Engine) هو منصّة أخرى توفر الوصول إلى بيانات المناخ، بما في ذلك بيانات كميّة الأمطار. ومع ذلك، يوفر محرِّك Google Earth بيئة برمجة نصّية أكثر مرونة وقوة مع إمكانات أكثر تقدّماً لمعالجة البيانات وتحليلها.
- مجموعات البيانات الأخرى: يمكنك أيضاً استخدام مجموعات بيانات كميّة الأمطار الأخرى مثل ERA5 أو TRMM ضمن محرِّك Google Earth.

(د) مصادر البيانات:

- مجموعة بيانات CHIRPS: مجموعة البيانات المحدَّدة المستخدَمة هي UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY.
- الاستبانة المكانية: 0.05 درجة (~ 5 كم).
- الاستبانة الزمنية: يومياً.

(هـ) جودة البيانات:

- القيود: تُقدَّر بيانات CHIRPS استناداً إلى عمليات الرصد بالسواتل وتعتمد على تقنيات الإستكمال، التي يمكن أن تؤدي إلى عدم الدقة.
- تشمل المصادر المحتملة للخطأ ما يلي:
  - الغطاء السحابي الذي يؤثر على عمليات الرصد بالسواتل.
  - تأثير التضاريس على أنماط المتساقطات.
  - عدم اليقين في طُرق تقدير المتساقطات.
- فحوصات جودة البيانات: لا تتضمن الشفرة فحوصات جودة بيانات محدَّدة. ويمكنك دمج فحوصات إضافية مثل:
  - إزالة القِيم الخارجة على التحليل الإحصائي.
  - تطبيق تقنيات التجانس المكاني لتقليل الضوضاء.
  - المقارنة مع غيرها من مجموعات بيانات المتساقطات للتحقُّق من صحتها.

وتذكّر تكييف الشفرة مع منطقة الدراسة المحدَّدة وفترة التحليل ومتطلبات جودة البيانات.

- استكشاف المخرجات:
  - ابدأ بفحص لوحة التحكم على الجانب الأيمن من الصفحة. هنا، ستجد نتائج تحليل محرِّك Google Earth.
- تحليل المدرج التكراري:
  - ستعرض لوحة التحكم مدرجاً تكرارياً يصور بيانات كميّة الأمطار الشهرية لعام 2022 على المنطقة المحدَّدة.
  - للحصول على عرض أكثر تفصيلاً، انقر على أيقونة السهم (الشكل 34) لتوسيع المدرج التكراري إلى تبويب منفصل.
- عرض مدرج تكراري موسّع:
  - ضمن العرض الموسّع، يمكنك فحص توزيع قِيم كميّة الأمطار في المدرج التكراري عن كثب.
  - يمكنك أيضاً تنزيل المدرج التكراري كملف لتحليل البيانات أو كصورة PNG للتمثيل المرئي.

الشكل 34. المدرج التكراري الشهري لكميّة الأمطار في محرِّك Google Earth

المصدر: الإسكوا، باستخدام https://earthengine.google.com/.

للبدء بالعمل، نزِّل ملف csv. الذي يحتوي على بيانات كميّة الأمطار الشهرية. ويحتوي هذا الملف، الموضح في الشكل 35، على عمودين:

- العمود أ: يمثل الشهر.
- العمود ب: يحتوي على قياسات كميّة الأمطار الشهرية بالمليمتر.

وستُستخدَم هذه البيانات، الواردة في الشكل 34، في التحليل اللاحق.

الشكل 35. لقطة شاشة لملف كميّة الأمطار csv.

	A	B
1	system:time_start	undefined
2	1-Jan-22	17.129
3	1-Feb-22	14.927
4	1-Mar-22	11.751
5	1-Apr-22	9.25
6	1-May-22	0.034
7	1-Jun-22	0.152
8	1-Jul-22	0
9	1-Aug-22	0
10	1-Sep-22	0.409
11	1-Oct-22	1.698
12	1-Nov-22	80.664
13	1-Dec-22	19.723
14		

المصدر: الإسكوا.

6. معايرة بيانات كميّة الأمطار لتقدير استخدام المياه الجوفيّة بدقة

لتقدير استخدام المياه الجوفيّة بدقة، يجب عليك معايرة بيانات كميّة الأمطار. ويتضمن ذلك مقارنة بيانات كميّة الأمطار من محطات الرصد الجوي المحلية مع مجموعة بيانات CHIRPS، التي توفر تقديرات كميّة الأمطار المستمرة مكانياً.

عملية المعايرة:

- جمع البيانات المحلية: احصل على سجلات كميّة الأمطار من محطات الرصد الجوي المحلية التي تغطي منطقة الدراسة.
- المقارنة مع مجموعة بيانات CHIRPS: حلّل البيانات التي جُمعت مع تقديرات كميّة الأمطار في بيانات CHIRPS المقابلة لنفس المواقع.
- تحديد الانحياز: حدِّد ما إذا كانت كميّة الأمطار في المحطة المحلية تنحرف باستمرار عن تقديرات بيانات CHIRPS.
- تطبيق العامل الضربي للانحياز: في حالة وجود انحياز ثابت، طبِّق العامل الضربي للانحياز على تقديرات بيانات CHIRPS. على سبيل المثال، إذا كانت كميّة الأمطار في المحطة المحلية أعلى بنسبة 20 في المائة باستمرار من بيانات CHIRPS على مدى عدة سنوات، فاضرب قِيم CHIRPS في 1.2.
- معالجة الاختلافات المكانية: إذا أظهرت محطات متعدِّدة انحيازات متفاوتة (على سبيل المثال، واحدة أعلى وأخرى أدنى)، استخدِم تقنيات الاستكمال (شريحة رسم المنحنيات أو كريج) بواسطة نظام المعلومات الجغرافية (GIS) لتقدير كميّة الأمطار عبر منطقة الدراسة بناءً على سجلات المحطة. وهذا سيفسر الاختلافات المكانية في كميّة الأمطار.

7. اشتقاق خرائط كميّة الأمطار الشهرية من بيانات المحطة باستخدام نُظُم المعلومات الجغرافية

على الرغم من أن مجموعات بيانات كميّة الأمطار متاحة بسهولة، قد تحتاج في بعض الحالات إلى إنشاء خرائط من قياسات المحطة. ويوضَّح أدناه كيفية إنشاء خرائط لبيانات كميّة الأمطار الشهرية في منطقة الدراسة باستخدام قياسات كميّة الأمطار من المحطة وبرامج نُظُم المعلومات الجغرافية.

(أ) إعداد البيانات:

- جمع بيانات كميّة الأمطار: احصل على بيانات كميّة الأمطار الشهرية لكل محطة داخل منطقة الدراسة وحوّلها. وتأكد من اكتمال البيانات وتغطية الفترة الزمنية المطلوبة.
- تنسيق البيانات: نظِّم البيانات بتنسيق جدول البيانات مع أعمدة لرقم تعريف المحطة والإحداثيات (خطوط الطول والعرض) والشهر وكميّة الأمطار.
- التحقُّق من دقة البيانات: تحقَّق من صحة البيانات للتأكد من تناسقها وتحديد الأخطاء المحتملة.

(ب) استيراد البيانات إلى نُظُم المعلومات الجغرافية:

- إنشاء مشروع جديد لنُظُم المعلومات الجغرافية: افتح برنامج نُظُم المعلومات الجغرافية (مثل QGIS أو ArcGIS) وأنشِئ مشروعاً جديداً.
- استيراد بيانات المحطة: استورد جدول البيانات المنسَّق الذي يحتوي على بيانات كميّة الأمطار على شكل طبقة نقاط.
- تحديد نظام الإحداثيات: تأكد من عرض البيانات بشكل صحيح في نظام إحداثيات منطقة الدراسة الخاصة بك.

(ج) إنشاء شبكات كميّة الأمطار:

- اختيار تقنية الإستكمال: حدِّد تقنية إستكمال مناسبة لإنشاء شبكات كميّة الأمطار. تشمل الخيارات الشائعة ما يلي:
  - المسافة العكسية المرجَّحة Inverse distance weighted (IDW): تقيّم الأوزان بناءً على المسافة العكسية من المحطة.
  - كريجيج (Kriging): يستخدِم النماذج الإحصائية لحساب الارتباط الذاتي المكاني.
  - مضلّعات ثيسن (Thiessen polygons): تُقسِّم منطقة الدراسة إلى مضلّعات، حيث تمثِّل كل محطة مركز مضلّعها.
- تعيين معاملات الاستكمال: اضبط معاملات الطريقة التي اخترتها، مثل نصف قطر البحث وعدد المحطات المستخدَمة وعوامل الترجيح.
- إنشاء شبكات منفصلة لكل شهر: شغِّل عملية الاستكمال لكل شهر لإنشاء شبكات كميّة الأمطار الفردية.

(د) إنشاء إحصائيات المناطق (Zonal statistics):

- استيراد حدود منطقة الدراسة: استورد ملف شكل أو طبقة متجهات تحدِّد حدود منطقة الدراسة.
- استخدم إحصائيات المناطق: استخدم أداة «إحصائيات المناطق» لحساب متوسط كميّة الأمطار لكل شهر داخل كل منطقة من منطقة دراستك. وسيؤدي ذلك إلى إنشاء طبقة جديدة بقِيم كميّة الأمطار لكل منطقة وكل شهر.
- تصوُّر النتائج: اعرض إحصائيات المنطقة كخريطة مواضيعية، حيث تمثِّل الألوان المختلفة كميّات مختلفة من الأمطار. ويمكنك أيضاً إنشاء رسوم بيانية ومخطَّطات لتصوُّر اتجاهات وأنماط الأمطار داخل منطقة الدراسة.

(هـ) اعتبارات إضافية:

- جودة البيانات: ستعتمد دقة خرائط كميّة الأمطار على جودة بيانات محطتك وتوزيعها.
- الاستبانة المكانية: تعتمد دقة شبكات كميّة الأمطار على كثافة المحطات وتقنية الإستكمال المختارة.
- الاتجاهات الزمنية: انظر في تحليل الاتجاهات في كميّة الأمطار الشهرية بمرور الوقت.

ويمكنك استخدام بيانات كميّة الأمطار من المحطة ونُظُم المعلومات الجغرافية لإنشاء خرائط لكميّة الأمطار الشهرية في منطقة دراستك.

تأثير الانحياز على استخدام المياه الجوفيّة

إن تأثير انحياز كميّة الأمطار على استخدام المياه الجوفيّة في الريّ منخفض بشكل عام، خاصة خلال فترات الجفاف عندما يكون الريّ أكثر انتشاراً. ومع ذلك، لا تزال المعايرة ضرورية لضمان دقة تحليلك عامة.

وبمجرد تحديد كميّة الأمطار الشهرية المعايرة لمنطقة دراستك، يمكنك حساب استخدام المياه الجوفيّة أو كميّة الأمطار الفعلية عن طريق دمج كل من بيانات كميّة الأمطار والتبخُّر النتحي. وسيوفر ذلك تقييماً أكثر دقة لتوافر موارد المياه الجوفيّة واستخدامها.

6. تحديد استخدام المياه الجوفيّة

ألف. كميّة الأمطار الفعلية

1. تحديد معدل كميّة الأمطار الفعلية واستخراج المياه الجوفيّة

سيصف هذا الفصل كيفية حساب كميّة الأمطار الفعلية، التي تمثّل كميّة الأمطار التي تساهم في تغذية المياه الجوفيّة. وتشير كميّة الأمطار الفعلية السلبية إلى صافي استخراج المياه الجوفيّة، ويرجع ذلك أساساً إلى الريّ.

2. حساب

لتحديد كميّة الأمطار الفعلية، اطرح معدل التبخُّر النتحي الفعلي الشهري من كميّة الأمطار الشهرية. وقد حُسِبت بيانات معدل التبخُّر النتحي هذه سابقاً في الفصل الرابع. ويمكن الحصول على بيانات كميّة الأمطار الشهرية من العمود ب في ملف csv. الذي تمّ تنزيله (الجدول 2).

3. تفسير

- كميّة الأمطار الفعلية السلبية: تشير القيمة السلبية إلى أن معدل التبخُّر النتحي الفعلي يتجاوز كميّة الأمطار، ممّا يعني أن الريّ يكمّل إمداد المياه. وفي المناطق الزراعية، تمثّل هذه القيمة السلبية تقديراً لصافي استخراج المياه الجوفيّة، بالمليمتر، كل شهر.
- كميّة الأمطار الفعلية الإيجابية: إذا تجاوزت كميّة الأمطار معدل التبخُّر النتحي الفعلي، فإن المياه الزائدة تساهم إما في الرشح العميق في المياه الجوفيّة أو في الجريان السطحي.
- رطوبة التربة المتبقية: في المناطق ذات الأمطار الغزيرة، قد تحافظ رطوبة التربة المتبقية على كميّة صغيرة من التبخُّر النتحي (0-50 مم) خلال أشهر الربيع.

ملاحظة: يفترض هذا التحليل أن المياه الجوفيّة هي المصدر الوحيد لمياه الريّ. وفي المناطق التي تُستخدَم فيها المياه السطحية أيضاً، سيكون تقدير استخراج المياه الجوفيّة المحتسَب أقل من الواقع.

الجدول 2. حساب استخدام كميّة الأمطار الفعلية والمياه الجوفيّة

الشهر	كميّة الأمطار الشهرية (مم)	معدل التبخُّر النتحي الفعلي الشهري (مم)	كميّة الأمطار الفعلية (مم/شهر)	صافي استخدام المياه الجوفيّة (مم/شهر)
كانون الثاني/يناير	17.1	10.6	6.5	-6.5
شباط/فبراير	14.9	18.3	-3.4	3.4
آذار/مارس	11	35.6	-24.6	24.6

الشهر	كميّة الأمطار الشهرية (مم)	معدل التبخُّر النتحي الفعلي الشهري (مم)	كميّة الأمطار الفعلية (مم/شهر)	صافي استخدام المياه الجوفيّة (مم/شهر)
نيسان/أبريل	9.2	57.6	-48.4	48.4
أيار/مايو	0	48.4	-48.4	48.4
حزيران/يونيو	0.15	45.4	-45.25	45.25
تموز/يوليو	0	51.2	-51.2	51.2
آب/أغسطس	0	56	-56	56
أيلول/سبتمبر	0.41	48.3	-47.89	47.89
تشرين الأول/أكتوبر	1.7	36	-34.3	34.3
تشرين الثاني/نوفمبر	80.7	20	60.7	-60.7
كانون الأول/ديسمبر	19.7	11.1	8.6	-8.6

المصدر: الإسكوا.

باء. الاستخدام الموسمي للمياه الجوفيّة في الزراعة

يركِّز هذا القسم على حساب الاستخدام التقديري للمياه الجوفيّة لأغراض الزراعة عندما لا تُستخدَم مصادر المياه السطحية (الخزانات والبرك والأنهار والبحيرات) لأغراض الريّ.

وعندما تُستخدَم المياه السطحية للريّ، فإن كميّة الأمطار الفعلية السلبية تمثل الاستخدام المشترك لكل من المياه السطحية والمياه الجوفيّة في الزراعة.

ولتحديد صافي استخدام المياه الجوفيّة لمنطقة معيّنة، اتبع الخطوات التالية:

- اجمع الأعماق السلبية لكميّة الأمطار الفعلية: حدِّد واجمع جميع الحالات التي تكون فيها كميّة الأمطار الفعلية سلبية.
- اضرب بالمساحة: اضرب الرقم الذي حصلت عليه في الخطوة 1 في مساحة المنطقة قيد الدراسة.

ويوفر هذا الحساب تقديراً لإجمالي حجم المياه الجوفيّة المستهلَكة لأغراض الزراعة خلال الموسم:

صافي استخدام المياه الجوفيّة = Σ| (كميّة الأمطار الفعلية)| (م) × المساحة (م^2)

- اجمع القِيم الشهرية معاً ثم خذ القيمة المطلقة واقسمها على 1,000 لتحصل على الوحدات بالمتر (في هذه الحالة 0.358 م).
- واضرب القيمة التي حصلت عليها في مساحة المنطقة (مساحة المنطقة الزراعية في منطقة سكاكا = 8.1×109 م^2).

1. استنزاف المياه الجوفيّة في منطقة سكاكا الزراعية

في عام 2022، شهدت منطقة سكاكا الزراعية استنزافاً لصافي المياه الجوفيّة بحوالي 2,904 مليون م^3. ويمثِّل هذا الرقم حجم الطلب على المياه للتعويض عن التبخُّر النتحي.

وفي حين أن الكميّة الفعلية للمياه التي يتمّ ضخها للريّ تتجاوز عادة صافي الاستنزاف نتيجة عدم كفاءة النظام، يمكننا تقدير المستوى العام لاستخراج المياه باستخدام نهج من خطوتين:

- طرح استخدام المياه السطحية: ابدأ بطرح أي مياه سطحية تُستَخدَم للريّ من إجمالي المياه المستخدَمة.
- حساب كفاءة الريّ: انظر في كفاءة نظام الريّ، بما في ذلك كل من نظام الريّ نفسه وشبكات النقل والتوزيع.

2. مثال على الحساب

باستخدام مثال منطقة سكاكا الزراعية، يشير توازن كميّة الأمطار الفعلية السلبية البالغة 358 مم لعام 2022 إلى وجود عجز مائي في عملية الريّ. وبافتراض كفاءة ري تبلغ 85 في المائة لنظام محوري مركزي وكفاءة نقل وتوزيع تبلغ 90 في المائة، فإن الكفاءة الإجمالية للنظام تبلغ 76.5 في المائة (0.85 × 0.9).

ويُترجَم ذلك إلى طلب على الضخ بحجم يبلغ حوالي 468 مم من المياه عبر 800,000 هكتار من الأراضي المروية باستخدام محاور مركزية. ونتيجة لذلك، يقدَّر استخراج المياه الجوفيّة السنوي لأغراض الريّ في منطقة سكاكا الزراعية بنحو 3,744 مليون م^3.

وفي طبقات المياه الجوفيّة الضحلة، يمكن للمياه التي تتسرّب إلى أعمق من منطقة الجذر أن تجدِّد طبقة المياه الجوفيّة في نهاية المطاف. لذلك، في هذه الحالات، يمكننا تجاهل المياه الإضافية التي تتسرّب إلى هذا العمق.

7. مقارنة مع القياسات الميدانية

مقارنة اختيارية مع بيانات مستوى المياه الجوفيّة

يركِّز هذا الدليل أولاً على تقدير استخدام المياه الجوفيّة في الريّ. ومع ذلك، يسمح إجراء اختياري بمقارنة هذه التقديرات بالتغيُّرات الصافية في مستوى المياه الجوفيّة، للوصول إلى فهم أكثر شمولاً لديناميات المياه الجوفيّة.

وإذا توفرت بيانات آبار المياه الجوفيّة، فإن مقارنة الاستخدام التقديري للمياه الجوفيّة مع الانخفاض الملحوظ في منسوب المياه يمكن أن يكون مفيداً. وينطوي ذلك على جمع البيانات عن أعماق آبار المياه الجوفيّة ومقارنتها بالكميّة التقديرية للمياه المستخرجة.

مثال: مقارنة كميّة الأمطار الفعلية بقياسات منسوب المياه الجوفيّة.

ويقارِن الشكل 36 البيانات الشهرية لمنسوب المياه (2012-2016) مع كميّة الأمطار الفعلية التراكميّة للفترة نفسها. وتُحتسَب كميّة الأمطار الفعلية التراكميّة عن طريق إضافة قِيم كميّة الأمطار الفعلية الشهرية (على سبيل المثال، كميّة الأمطار الفعلية التراكميّة في شباط/فبراير = كميّة الأمطار الفعلية في كانون الثاني/يناير + كميّة الأمطار الفعلية في شباط/فبراير).

وبالنسبة للمثال الموضّح، فإن صافي التغيُّر في منسوب المياه بين القمة الأولى (1 كانون الثاني/يناير 2013) والقمة الأخيرة (تموز/يوليو 2016) هو 62 م – 50 م = 12 م. ويقابل ذلك إجمالي استخدام المياه من طبقة المياه الجوفيّة مطروحاً منه إجمالي التغذية خلال تلك الفترة. ويمثِّل ذلك متوسط انخفاض سنوي قدره 4 م خلال فترة ثلاث سنوات.

وخلال الفترة نفسها، كانت كميّة الأمطار الفعلية التراكمية 180 مم – (-60 مم) = 240 مم، أو 80 مم في السنة.

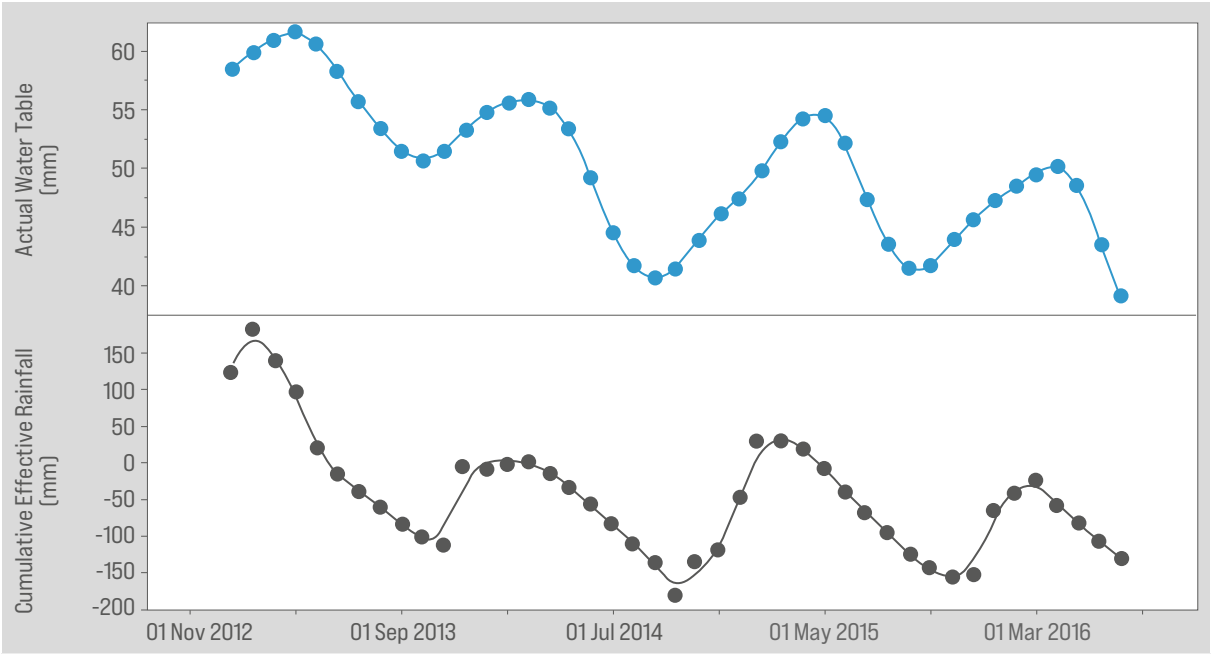
وتتوافق كميّة الأمطار الفعلية التراكمية 240 مم المحتسَبة باستخدام الاستشعار عن بُعد للمتساقطات والتبخُّر النتحي مع انخفاض قدره 12 م في منسوب المياه من طبقة المياه الجوفيّة الضحلة غير المحصورة. وإن قسمة 0.24 م (محوّلة من 240 مم) بانخفاض منسوب المياه الجوفيّة وقدره 12 م توفر تقديراً للعائد المحدَّد لطبقة المياه الجوفيّة (0.02 في هذه الحالة). وعلى العكس، فإن معرفة العائد المحدَّد لطبقة المياه الجوفيّة تسمح باحتساب الانخفاض المتوقع في مستوى المياه الجوفيّة بناءً على كميّة الأمطار الفعلية السلبية.

هذا التحليل هو تبسيط ولا يأخذ في الاعتبار العوامل الأخرى التي قد تؤثر على مستويات المياه الجوفيّة، مثل:

- تسرّب أو اكتساب المياه من مصادر أخرى.
- التصريفات إلى الينابيع في المنطقة.
- تفاعلات تدفُّق التيار والمياه الجوفيّة.

وعلاوة على ذلك، فإن استخدام البيانات المستمَدة من بئر واحدة قد لا يمثل تماماً خصائص طبقة المياه الجوفيّة بأكملها. وتتخطّى هذه العوامل نطاق هذا الدليل.

الشكل 36. مقارنة بين تقديرات استخدام المياه الجوفيّة المُستشعَرة عن بُعد وقياسات منسوب المياه



المصدر: الإسكوا.

المراجع

- Allen, Richard G., Masahiro Tasumi, and Ricardo Trezza (2007). "Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model." Journal of irrigation and drainage engineering 133.4: 380-394.
- Anderson, Martha C. and others (2012). "Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources." Remote Sensing of Environment 122: 50-65.
- Bastiaanssen, Wim G.M. and others (1998). "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation." Journal of hydrology 212: 198-212.
- Bastiaanssen, W. G. M. and others (2012). "Surface energy balance and actual evapotranspiration of the transboundary Indus Basin estimated from satellite measurements and the ETLook model." Water Resources Research 48.11.
- Jaafar, Hadi H., and Farah A. Ahmad (2020). "Time series trends of Landsat-based ET using automated calibration in METRIC and SEBAL: The Bekaa Valley, Lebanon." Remote Sensing of Environment 238: 111034.
- Jaafar, Hadi, Roya Mourad, and Mitch Schull (2022). "A global 30-m ET model (HSEB) using harmonized Landsat and Sentinel-2, MODIS and VIIRS: Comparison to ECOSTRESS ET and LST." Remote sensing of environment 274: 112995.
- Jaafar, H. H. and others (2022). "A Global Implementation of Single-and Dual-Source Surface Energy Balance Models for Estimating Actual Evapotranspiration at 30-m Resolution Using Google Earth Engine." Water Resources Research 58.11: e2022WR032800.
- Senay, Gabriel B. (2018). "Satellite psychrometric formulation of the Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) model for quantifying and mapping evapotranspiration." Applied Engineering in Agriculture 34.3: 555-566.
- United States Geological Survey (2023). EROS Science Processing Architecture (ESPA) On-Demand Interface Used Guide. Available at https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1417_EROS-On-Demand-Interface_User-Guide-v13.pdf.
- United States Geological Survey (2023). Landsat 4-9 Collection 2 Level-3 Provisional Actual Evapotranspiration Product Guide. Available at d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-2150_Landsat4-9-Collection2-Level-3_Provisional-Actual-Evapotranspiration_Algorithm-Description-Document-v2.pdf.

في ظل تزايد ندرة المياه، لا تزال المياه الجوفيّة المتجدِّدة بمواردها المحدودة تُستغَل بمعدلات غير مستدامة، تفوق معدلات التغذية الطبيعية. وأدى الاستخدام المفرط للمياه الجوفيّة، وخاصة في القطاع الزراعي، مقروناً بانخفاض الكفاءة، إلى انخفاض تخزين المياه الجوفيّة في معظم المنطقة العربية. ومن المتوقع بحلول عام 2050 أن تكون كميّة المياه الجوفيّة المتاحة للفرد الواحد قد انخفضت بأكثر من النصف منذ بداية القرن. وبالتالي، فإن التقدير الدقيق لاستخدام المياه الجوفيّة لأغراض الريّ أمر بالغ الأهمية للإدارة المستدامة للمياه، لا سيّما في المناطق القاحلة وشبه القاحلة مثل المنطقة العربية.

ووضِعَ هذا الدليل التدريبي لدعم الخبراء في مجال الموارد المائية في البلدان العربية في الوصول إلى بيانات الاستشعار عن بُعد من منصّات مفتوحة المصدر والبيانات المتاحة على المنصّة العربية للمعارف المتعلقة بالمياه الجوفيّة لتحسين إدارة المياه الجوفيّة المستخدَمة في الريّ. ويوجِّه هذا الدليل المستخدِم خطوةً بخطوة نحو تقدير استخدام المياه الجوفيّة في الزراعة المروية في المناطق الجافة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد. ويسعى إلى تزويده بالمعارف والأدوات اللازمة لاستخدام تكنولوجيات الاستشعار عن بُعد المتقدمة من أجل التوصّل إلى تقديرات كفوءة ودقيقة للمياه الجوفيّة في المناطق التي تعاني من ندرة البيانات.

2400564A