

تقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه باستخدام المعادلات التجريبية وتقنية الاستشعار عن بعد

د. مطلق فيحان البقمي^(١)

أ.د. فرحان حسين الجعيدي^(٢)

المُلخَص:

تعد أشجار النخيل من الروافد الاقتصادية الهامة التي تدعم الاقتصاد الوطني بإنتاج كميات كبيرة من التمور وتصديرها بعد الاكتفاء الذاتي، ولكن يظل هاجس تقدير استهلاكها من المياه قائم لدى الباحثين، وذلك للبحث عن أفضل الطرق من معادلات تجريبية تتناسب مع مناخ منطقة الدراسة. لذلك فقد كان الهدف العام لهذه الدراسة هو تقدير استهلاك أشجار النخيل من المياه باستخدام المعادلات التجريبية وتقنية الاستشعار عن بعد، وتقييم العلاقة بينهما باستخدام المعادلات الإحصائية.

ولتحقيق الهدف العام تم وضع هدفين فرعيين كالتالي: (١) استخدام بيانات محطة الأرصاد الأرضية لتطبيق المعادلات التجريبية، وبيانات الصور الفضائية من خلال تقنية الاستشعار عن بعد المتمثلة في معالجة وتحليل المرئيات الفضائية والبرمجيات الحاسوبية لتقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه، (٢) مقارنة النتائج المستخلصة من تقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه بين محطة الأرصاد الأرضية (باستخدام المعادلات التجريبية) والصور الفضائية (باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد).

كما تضمنت هذه الدراسة منهجية البحث العلمي التحليلي لمرحلتين أساسيتين لتقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه وهما؛ المرحلة الأولى من خلال البيانات المناخية المستخلصة من محطة الأرصاد الأرضية باستخدام المعادلات التجريبية، والمرحلة الثانية من خلال بيانات المحطة الفضائية من خلال القمر الصناعي Landsat 8 باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد.

وتوصلت النتائج باستخدام المعادلات التجريبية وتقنية الاستشعار عن بعد إلى ٢٤٧٧,٥ ملم/السنة و ٢٢٣٧,٩ ملم/السنة على التوالي، وعلاقة ارتباطية طردية قوية تصل إلى ٠,٩٣، أما نتائج المعادلات الإحصائية؛ كمعادلة التحديد (R2) ومعادلة الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (RMSE) ومعادلة متوسط الخطأ المطلق (MAE) ومعادلة متوسط مربع الخطأ (MSE) فكانت؛ ٠,٨٦٨ و ٠,٧٧٦ و ٠,٦٠٨ و ٠,٦٠٢ على التوالي.

الكلمات المفتاحية: أشجار النخيل، المعادلات التجريبية، البرمجيات الحاسوبية، تقنية الاستشعار

عن بعد، مؤشر الاختلاف الطبيعي للنبات (NDVI).

(١) باحث بجامعة الملك سعود.

(٢) أستاذ الجغرافية الطبيعية والإستشعار عن بعد، جامعة الملك سعود.

المقدمة:

تعتبر الزراعة لأي دولة أحد الركائز الأساسية التي تحرك عجلة الاقتصاد، فهي ضرورية لتلبية الاحتياجات الإنسانية المتعددة، وتنمية البيئة، وضمان استدامة التنمية الاقتصادية (خلف، ٢٠١٤). وعلى الرغم من أهميتها إلا إن الدول الصحراوية تواجه تحديات كبيرة، نظراً للاستخدام غير المستدام سواءً للزراعة أو مواردها المائية، فضلاً عن محدودية مخزون المياه الجوفية غير المتجددة، والتي تشهد استنزافاً متسارعاً بسبب الاستخدام المفرط للمياه لأغراض الزراعة والصناعة وغيرها.

إنّ لزراعة أشجار النخيل أهمية كبيرة في تنوع مصادر الغذاء في المملكة العربية السعودية، وأهميتها ليست كأمن غذائي فقط، بل بارتباطها بالإرث الاجتماعي وكمورد اقتصادي رئيسي. ونظراً للدعم الحكومي للقطاع الزراعي بشكل عام وأشجار النخيل بشكل خاص، حققت التمور اكتفاءً ذاتياً فاقت نسبته (١٢٥٪) وتجاوزت كميات إنتاجه (١,٥٤) مليون طن سنوياً، وبأكثر من ثلاثة مائة (٣٠٠) صنف من التمور مما ساهم في ارتفاع صادرات التمور السعودية بنسبة (٥,٤٪) في عام ٢٠٢٢م، مما جعل التمور أحد أهم القطاعات التي تساهم في رفع استثمارات المملكة وصادراتها حول العالم، تحقيقاً لمستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠ (موقع وزارة البيئة والمياه والزراعة ١٤٤٤، فقرة ١ و٣).

ما يميز أشجار النخيل أنها تتحمل التواجد في التربة المالحة والقلوية، ويمكن أن تنمو في المناخات شديدة الحرارة والجافة (Chao & Krueger, 2007) بالإضافة إلى قدرتها على التكيف مع الظروف المناخية والبيئية القاسية في المملكة العربية السعودية (Sayan, 2001).

بلغ إجمالي عدد أشجار النخيل السليمة في المملكة العربية السعودية أكثر من ٦٢ مليون نخلة، جاءت منطقة الرياض في المرتبة الأولى بين مناطق المملكة من حيث عدد أشجار النخيل، حيث بلغ العدد أكثر من ٢٠ مليون نخلة (وزارة البيئة والمياه والزراعة، ١٤٤٥ أ، ص ١٣٠).

يعد القطاع الزراعي أكبر مستهلك للمياه مقارنة بالقطاعات الأخرى في المملكة العربية السعودية، حيث يقدر استهلاكه خلال العام الواحد ١١,٤ مليار م^٣/السنة، أي ما نسبته أكثر من ٨٠٪ من إجمالي الاستهلاك للموارد المائية (وزارة البيئة والمياه والزراعة، ١٤٤٥ ب، ص ٢٩).

أصبح علم الجغرافيا مجالاً واسعاً لعلوم البيانات الضخمة، ففي مجال الجغرافيا الطبيعية وعلم المعلومات الجغرافية، تنتج أنظمة المراقبة العالمية، مثل؛ الأقمار الصناعية، والتي توفر المراقبة المستمرة للبيئة والغلاف الجوي والمحيطات ومكونات نظام الأرض الأخرى، كميات هائلة من مرئيات الاستشعار

عن بعد بدقة مكانية وزمنية وطيفية عالية، وتقوم أنظمة شبكة الاستشعار عن بعد المنتشرة في المدن أيضاً بجمع البيانات في الوقت الفعلي حول حالة البنى التحتية، وحركة الأشخاص والمركبات والمكونات الديناميكية للمدينة الذكية (Li,W. et al., 2020).

ومن هنا جاءت هذه الدراسة باستخدام المعادلات التجريبية وتقنية الاستشعار عن بعد والبرمجيات الحاسوبية لتقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه، والتي ستسهم في الحد من استنزاف المياه الجوفية المستخدمة في ري أشجار النخيل، وتقديم حلول تقنية وبيئية واقتصادية تساعد صناع القرار في اتخاذ القرارات المناسبة.

موضوع الدراسة وأهميتها:

تساهم نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد بتقديم صور جوية ومرئيات فضائية عالية الدقة، للقيام بتحليلها وتقييمها في استخلاص واكتشاف الظواهر الجغرافية محل الدراسة بكل دقة. يتمحور موضوع الدراسة حول تقدير استهلاك أشجار النخيل من المياه باستخدام المعادلات التجريبية والبرمجيات الحاسوبية وتقنية الاستشعار عن بعد القائمة على المرئيات الفضائية، لضمان ترشيد استهلاك المياه والحد من استنزافها بشكل عام والمياه الجوفية بشكل خاص. كما أن الدراسة لن تساعد فحسب على توضيح آلية عمل الخطوات العلمية، بل ستوضح قدرة المعادلات التجريبية وتقنيات الاستشعار عن بعد على تقدير الاستهلاك المائي لأشجار النخيل من خلال بيانات المحطات الأرضية وبيانات المحطات الفضائية.

مشكلة الدراسة:

يواجه قطاع المياه في المملكة العربية السعودية تحديات مختلفة، بما في ذلك الطلب المتزايد على المياه من القطاع الزراعي (Ouda, et al., 2013)؛ وانخفاض كفاءة الري (Baig, et al., 2020)؛ وندرة البيانات الموثوقة حول موارد المياه الجوفية (AlShehri, et al., 2020). وللتغلب على هذه المشاكل، لابد من التقييم الدقيق للبحر-نتح والذي يعتبر ضرورياً لإدارة الري بكفاءة، وإدارة الموارد المائية، وإنتاج المحاصيل، والتقييم البيئي، ونماذج النظم الإيكولوجية.

يعد تقدير الاستهلاك المائي لأشجار النخيل من الضرورة بمكان معرفتها، حتى تقلل من الهدر المائي الفائض عن الاحتياج أو الفاقد من أشجار النخيل.

لذا سوف تقوم هذه الدراسة باستخدام المعادلات التجريبية والبرمجيات الحاسوبية وتقنية الاستشعار عن بعد لتقدير الاستهلاك المائي لأشجار النخيل.

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تقدير استهلاك أشجار النخيل من المياه باستخدام المعادلات التجريبية بالاعتماد على برنامج (CROPWAT 8.0) وتقنية الاستشعار عن بعد المستندة على المرئيات الفضائية. ولتحقيق الهدف العام للدراسة تم وضع الأهداف الفرعية التالية:

- استخدام بيانات محطة الأرصاد الأرضية لتطبيق المعادلات التجريبية والبرمجيات الحاسوبية، وبيانات المحطة الفضائية للقمر الصناعي (Landsat 8) من خلال تقنيات الاستشعار عن بعد المتمثلة في معالجة وتحليل المرئيات الفضائية لمنطقة الدراسة في تقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه.
- مقارنة النتائج المستخلصة من تقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه بين محطة الأرصاد الأرضية (باستخدام المعادلات التجريبية) والمحطة الفضائية (باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد) ومعرفة العلاقة بينهما.

تساؤلات الدراسة:

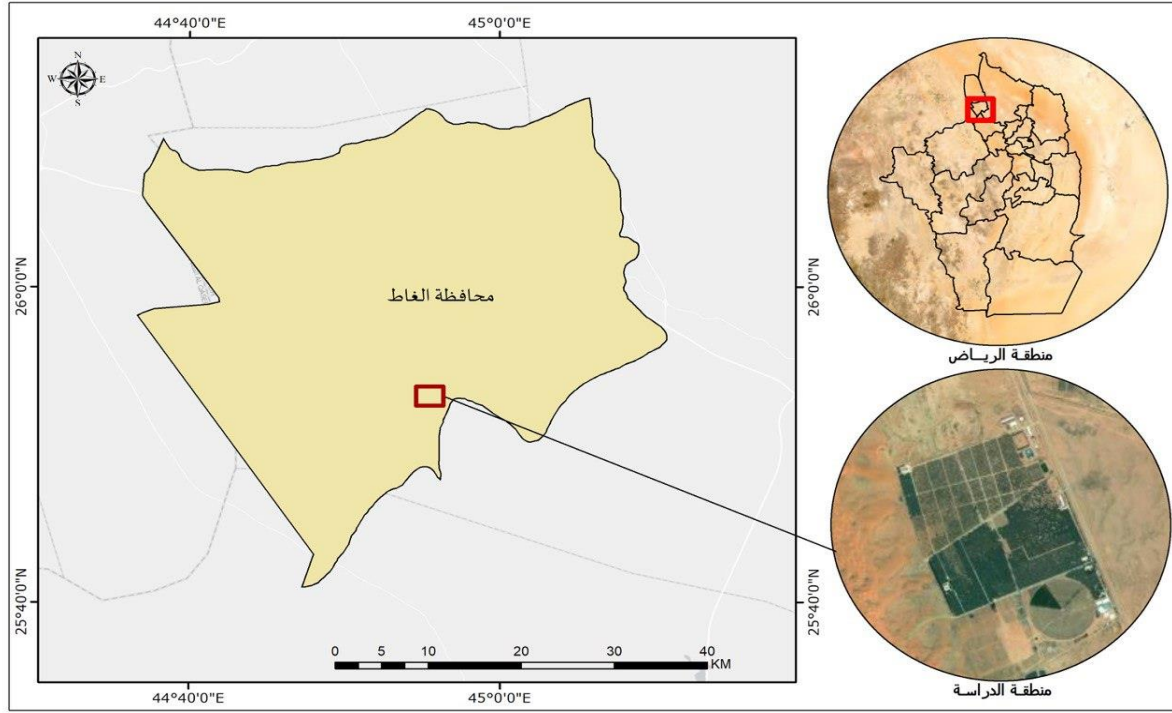
تسعى الدراسة إلى الإجابة عن التساؤلات التالية:

- ماهي المعادلات التجريبية والبرمجيات الحاسوبية والمنصات المستخدمة عند تقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه من خلال محطة الأرصاد الأرضية أو المحطة الفضائية؟
- هل هناك توافق بين النتائج المستخلصة من محطة الأرصاد الأرضية (باستخدام المعادلات التجريبية) والمحطة الفضائية (باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد) لتقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه؟ وماهي طبيعة العلاقة بينهما؟

حدود الدراسة:

- الحدود المكانية: محافظة الغاط هي إحدى محافظات منطقة الرياض وسط المملكة العربية السعودية، وتقع شمال غربي مدينة الرياض وتبعد عنها مسافة ٢٤٠ كلم، وتبلغ مساحتها ٥٥٠٠ كلم^٢ (الراشد، ٢٠٠٥)، ويبلغ عدد سكانها كم أشار له موقع الهيئة العامة للإحصاء (٢٠٢٤) بنحو "١٠,٧٩٩ نسمة".

يوضح الشكل (١)، منطقة الدراسة، والتي تقع على دائرة العرض ٣٤,١° ٥٢' ٢٥" شمالاً، وخط الطول ٥٨,٩° ٥٤' ٤٤" شرقاً، وتقدر مساحتها بحوالي ٤٩,٠٠٠ هكتار.



الشكل (١) منطقة الدراسة / المصدر: بيانات وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان، ٢٠١٨

- الحدود الموضوعية: يقتصر موضوع البحث على اشتقاق أشجار النخيل، وتقدير استهلاكها من المياه.
- الحدود الزمنية: اشتقاق أشجار النخيل مع معرفة استهلاكها المائي في محافظة العاظ من عام ٢٠١٢م إلى ٢٠٢٢م.

مصطلحات الدراسة:

١. الاستشعار عن بعد (Remote Sensing): الاستشعار عن بعد هو عملية اكتشاف ورصد الخصائص الفيزيائية لمنطقة ما أو جسم أرضي عن طريق قياس الإشعاع المنعكس و/أو المنبعث منه على مسافة من المنطقة المستهدفة دون اتصال مادي بالجسم (Badawy, 2019).
٢. البخر Evaporation: البخر هو عبارة عن تحول السائل إلى بخار، وانتشاره إلى المحيط الجوي، وينتج عادةً من السطوح الطبيعية، كالمسطحات المائية المكشوفة أو التربة أو من الغطاء النباتي (Jensen, 1974a, p.9).

٣. النتح Transpiration: يمثل النتح عملية خروج الماء من ثغور أوراق النباتات الحية وتبخرها إلى المحيط الجوي الخارجي، وتتأثر عملية النتح بالعوامل الجوية المحيطة وطبيعة النبات، وعادة يصاحب مرحلة نمو المحصول النباتي حركة مستمرة للماء بداية من التربة عندما يتم ترويتها بالماء ثم تنتقل إلى جذور النبات ثم إلى ساقه فأوراقه لتتم عملية النتح (Jensen, 1974b, p.25).
٤. البخر - نتح المرجعي Reference Evapotranspiration (ET_o): هو قيمة فاقد النبات والتربة من المياه والرطوبة في سطح مرجعي (قياسي) عندما يكون السطح مغطى بالأعشاب المرورية ومنه يتم تنسيب مقدار البخر - نتح المحصولي (Cuenca, 1989a, p.110).
٥. البخر - نتح الفعلي Actual Evapotranspiration (ET_c): هو البخر-نتح الفعلي الذي يحتاجه النبات خلال فترة نموه، ويساوي البخر - نتح المرجعي (ET_o) مضروباً بمعامل المحصول (K_c) وهو ما يعرف بالاستهلاك المائي للمحصول (Cuenca, 1989b, p.150).
٦. الاستهلاك المائي (Consumptive use): هو كمية الماء المفقودة بالكامل نتيجة البخر (Evaporation) من سطح التربة والنتح (Transpiration) من النبات، بالإضافة إلى كمية المياه المستعملة في بناء أنسجة النباتات والعمليات الحيوية والمؤثرة في نموه والتي تشكل نسبة ١٪ أو أقل من كمية المياه المستهلكة بعملية البخر-نتح، ويعبر عن الاستهلاك المائي بعمق مكافئ من الماء. وبما أن الماء المستهلك في بناء أنسجة النبات ضئيل جداً مقارنة بالاستهلاك المائي، لذا استخدم المصطلح البخر-نتح (Evapotranspiration) للدلالة على الاستهلاك المائي للنبات. (Jensen et al., 1990, p22).
٧. مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI): يعد مؤشر (NDVI) أحد أبرز مؤشرات الغطاء النباتي، وله العديد من التطبيقات في دراسات الموارد الطبيعية. يتراوح هذا المؤشر بين -١ و +١، حيث ترتبط القيم الإيجابية بالمناطق المغطاة بالنباتات، والزيادة في القيمة أكبر من الصفر تمثل نباتات أكثر كثافة. أما القيم السلبية ترتبط بالمناطق غير النباتية مثل المسطحات المائية والثلوج والأغطية السحابية (Jin et al. 2013) يتم حساب NDVI من بيانات النطاق الأحمر (RED) والنطاق تحت الأشعة الحمراء القريبة (NIR) بقسمة الفارق بينهما على مجموعهما (Tucker, 1980).

الدراسات السابقة:

قدر الطاهر (١٩٩٢م) البخر-نتح الكامن لأشجار النخيل في واحة الأحساء بالاعتماد على بيانات المحطة المناخية بالواحة، باستخدامه لثلاث معادلات تجريبية؛ بلاني -كريدل، ومعادلة حوض

التبخّر، ومعادلة جنسن-هيس، معللاً أن البخر-نتح الكامن يعد هو الأساس الذي يبني عليه الاحتياج المائي للمحاصيل الزراعية ومتطلباتها لمياه الري، وقد توصل إلى نتائج بعد تطبيق المعادلات التجريبية الثلاث تساوي ٢١٣١,٩٥ و ٢٤٢٧,٥٦ و ٢٦٠٨,٥٠ ملم/السنة على التوالي.

قدر السعران (٢٠٠٦م) الاحتياجات المائية الشهرية للمحصول المرجعي في واحة الأحساء بالاعتماد على معادلة بنمان-مونتيث المبتكرة من قبل منظمة الأغذية والزراعة (FAO Penman-Monteith) كأحد الطرق لتقدير الاحتياجات المائية الشهرية للمحصول المرجعي، وتوصل إلى نتائج تتراوح من ٨١,٥٣ ملم في شهري ديسمبر ويناير، إلى ٢٥٥,٧٥ ملم في شهر يوليو، وتبلغ كميتها السنوية ١٩٨٠,٦٧ ملم/السنة.

في دراسة (Biro, et al., 2020) أجريت في واحة الأحساء بهدف تقدير البخر-نتح الفعلي ETa اليومي والشهري والسنوي لأشجار النخيل، باستخدام بيانات القمر الصناعي Landsat 8 خلال العام ٢٠١٧/٢٠١٨. استخدمت الدراسة طريقة توازن الطاقة السطحية للأرض (SEBAL) معتمدة على البيانات المناخية للقيام بحساب قيمة البخر-نتح الفعلي، وللتحقق من صحة المخرجات تم استخدام طريقة (Monteith-Penman) المبتكرة من قبل منظمة الزراعة والأغذية التابعة للأمم المتحدة (FAO). أوضحت النتائج الخاصة بالبخر-نتح الفعلي أن فترة الصيف كانت ٩ ملم/اليوم كأعلى قيمة يومية، أما أقل قيمة يومية فكانت ٢ ملم/اليوم خلال فترة الشتاء. وتراوحت قيم البخر-نتح الفعلي السنوي بين ٨٠٠ و ١٤٠٠ ملم/السنة، في حين تراوحت احتياجات الري السنوية لأشجار النخيل بين ١١٠٠٠ - ١٣٠٠٠ م^٣/السنة. أما قياس دقة التحقق أظهر توافقاً بين طريقة توازن الطاقة السطحية وطريقة Monteith-Penman بمتوسط خطأ قياس للجذر التربيعي (RMSE) بلغ ٨٤,٠ ملم/يوم.

قدر (Alazba, 2004) الاحتياجات المائية للنخيل باستخدام نموذج Monteith-Penman على أساس العشب كمحصول مرجعي، وتم جمع البيانات المناخية من عدة محطات أرصاد جوية لعدد من مزارع النخيل في المملكة، واتضح من النتائج أن البخر-نتح المحصولي بشكل سنوي يختلف على حسب موقع الدراسة، حيث يتراوح من ١٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ ملم/السنة، وبلغت قيمة ETo و ETc في منطقة الرياض تحديداً ٢٢٧٥ ملم/السنة و ١٩٤٠ ملم/السنة على التوالي. أما بالنسبة لاحتياجات المائة الكلية للنخيل فهي تتراوح من ٥٥٠٠ ملم (لكفاءة ري تساوي ٤٠٪، ونسبة الاحتياجات الغسيلية بمقدار ١٠٪) إلى ١٥٠٠ ملم (لكفاءة ري تساوي ٩٠٪ وبدون الاحتياجات الغسيلية)، وقيمة هكتارية تساوي من ٥٥٠٠ و ٣١٥٠٠٠ م^٣ على التوالي.

استخدم الشربيني وآخرون (El-Shirbeny et al., 2014b) معادلة البخر-نتح المحصولي (ETc) ومعامل المحصول (Kc) والبخر-نتح المرجعي (ETo)، حيث تلعب (Kc) دوراً أساسياً في الممارسات الزراعية وقد تم استخدامها على نطاق واسع لتقدير (ETc). في هذا البحث تم استخدام مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI) لتقدير معامل المحاصيل وفقاً لبيانات الأقمار الصناعية (KcSat) Landsat 8 من خلال نموذج بسيط ($KcSat = 2NDVI - 0.2$)، يوفر النطاقان ٤ و ٥ قياسات باللون الأحمر (R) والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) ويستخدمان لحساب مؤشر الغطاء النباتي للفرق (NDVI). أما (KcFAO) مقدر بالشروط طبقاً لورقة الفاو ٥٦. يستخدم (KcFAO) للتحقق من صحة (KcSat). تم إنشاء العلاقة الخطية بين (KcFAO) و (KcSat) وكانت (R2) تساوي ٠,٩٦.

أجرت دراسة (AL Omran, et al., 2019) في ثمان مناطق مختلفة من المملكة العربية السعودية لتقدير الاحتياجات الشهرية والسنوية من المياه للمحاصيل (CWR). ومنها الرياض (سدوس) والقصيم (رياض الخبر)، استند تحديد (CWRs) إلى طريقة (Penman Monteith). أظهرت النتائج المبينة على طريقة بنمان-مونتيث أن تبخر نتح المحاصيل، (ETc) (ملم/السنة) للمواقع في؛ الرياض والقصيم ٢١٣٩,٢٣ ، ٢٢٠٧,٤١ ملم/السنة على التوالي. كان متوسط عدد نخيل التمر ١٠٠ شجرة/هكتار. كان إجمالي (CWRs) السنوي (م/٣ شجرة) في موقعي الرياض والقصيم ٨٦ و ٨٥,٧ م٣ على التوالي. بلغ متوسط الاحتياجات الإجمالية من مياه الري ٨٣٤٢,٤١ م٣/هكتار/السنة (١ هكتار = ١٠٠ شجرة). أظهرت نتائج طريقة التوازن المائي أن المياه المستهلكة في القصيم ٣٥١٥,٢٥ م٣/هكتار/السنة. وكانت مياه الري الفعلية المضافة بواسطة مقياس التدفق لمدينة الرياض والقصيم ١٠٠٧,٤٠ و ١٠,٠٣٥,٠ م٣/هكتار/السنة على التوالي.

في دراسة (الصميدعي وآخرون، ٢٠٢٢) تم استخدام الاستشعار عن بعد بناءً على صور القمر الصناعي Landsat-8 بواسطة مستشعر OLI كمدخل للبيانات الإشعاعية لمنطقة ديالي بالعراق لعام ٢٠٢٠م. تم أخذ ٢٨ نقطة بشكل عشوائي ضمن منطقة الدراسة. واستخدم كذلك معادلة بنمان-مونتيث (FAO56) لتقدير ET. أظهرت النتائج وجود علاقة انحدار خطي جيدة بين ET والمقدرة بنموذج SEBAL والمقاسة بمقياس الحرارة ($R2 = 0.9216$) FAO 56. ويلزم توفير ٣٧٤٣٧ م٣ من المياه لتلبية احتياجات المحاصيل، وهو ما يمثل الحد الأقصى لكمية المياه لفترة الدراسة.

ويمكن أن نستخلص من الدراسات السابقة مجموعة من الملاحظات نذكر منها:

فيما يخص الدراسات التي أشارت إلى تقدير استهلاك أشجار النخيل من المياه، فيمكن الاستفادة من تقدير الطاهر (١٩٩٢م) في تقدير البخر-نتح باستخدام معادلة بلاني-كردل، وتقدير السعران (٢٠٠٦م)

باستخدامه لمعادلة بنمان-مونتيث المبتكرة من قبل منظمة الأغذية والزراعة (FAO Penman-Monteith)، ودراسة (Alazba, 2004) ودراسة (AL Omran, et al., 2019) التي قامت باستخدام المعادلات التجريبية لتقدير البخر-نتح بشكل يومي وشهري لأشجار النخيل والوصول إلى نتائج يمكن مقارنتها مع النتائج التي سوف تتوصل إليها هذه الدراسة للتحقق من مدى ملائمة المعادلات التجريبية في تقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه.

وفي الدراسات التي قامت بتقدير استهلاك أشجار النخيل للمياه عن طريق الأقمار الصناعية مثل؛ دراسة (Biro, et al., 2020) ودراسة (El-Shirbeny et al., 2014b) التي أوضحت استخدام مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI) لتقدير معامل المحصول وفقاً لبيانات الأقمار الصناعية واستخدام معامل المحصول Kc على نطاق واسع في تقدير البخر-نتح المحصولي، والتي يمكن مقارنة النتائج التي توصلوا إليها عند استخدام تقنية الاستشعار عن بعد مع نتائج هذه الدراسة.

يمكن القول أن ما يميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة أنها قدرت استهلاك أشجار النخيل للمياه ليس بناءً على بيانات محطات الأرصاد الأرضية فحسب، بل باستخدام بيانات المحطات الفضائية وتوضيح قدرة تقنية الاستشعار عن بعد والبرمجيات الحاسوبية على تقدير الاستهلاك المائي.

منهجية الدراسة:

- منهج الدراسة: اعتمدت الدراسة المنهج العلمي التحليلي في الوصول لأهدافه، والذي يعتبر من أهم المناهج المستخدمة في المجالات التطبيقية. إذ يعمل على تحليل البيانات والمعلومات المتاحة بطريقة منهجية لتحديد العلاقات وفهم الظواهر واستنباط النتائج، وذلك باستخدام المعادلات التجريبية والبرمجيات الحاسوبية وتقنية الاستشعار عن بعد ومقارنة نتائج كل منهما ببعضه البعض لتقدير استهلاك أشجار النخيل من المياه وتوضيح مدى فعالية تقنيات الاستشعار عن بعد في مثل هذا النوع من الدراسات.
- المنصات والبرامج والبرمجيات الحاسوبية المستخدمة في الدراسة: في هذه الدراسة تم استخدام المنصات والبرامج والبرمجيات الحاسوبية التالية لتقدير استهلاك أشجار النخيل من المياه:
- منصة Google Earth Engine: هي عبارة عن منصة حوسبة سحابية لتحليل البيانات الجغرافية، تتيح الوصول إلى كتالوج كامل لمنتجات الاستشعار عن بعد مع القدرة على معالجة هذه المنتجات بسرعة عبر الإنترنت من خلال المؤازرة الضخمة (Gorelick, 2017).
- برنامج CROPWAT 8.0: هو برنامج حاسوبي لحساب الاحتياجات المائية للمحاصيل ومتطلبات الري من البيانات المناخية وبيانات المحاصيل، ويسمح البرنامج بوضع جداول الري لظروف الإدارة

المختلفة وحساب إمدادات المياه المخططة لأنماط المحاصيل المختلفة، (Smith, 1992, pp.3). ويستمد برنامج CROPWAT 8.0 بياناته من برنامج CLIMWAT والذي يحتوي على بيانات شهرية من ٣٢٦٢ محطة مناخية حول العالم، يتم تجميع المحطات حسب البلد والقارة، ويتم إدراج المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة القصوى والدنيا، ومتوسط الرطوبة النسبية، وسرعة الرياح، وساعات سطوع الشمس، وبيانات الإشعاع بالإضافة إلى هطول الأمطار وقيمة ETo المحسوبة باستخدام معادلة Penman-Monteith الخاصة بمنظمة الفاو (Allen, et al., 1998a, pp.57).

- برنامج ERDAS: يجمع برنامج ERDAS بين الاستشعار عن بعد والقياس التصويري وتحليل LiDAR ومعالجة الرادار في مكان واحد، وتتضمن إمكانيات ERDAS؛ تحليل الصور الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مع دعم كامل للصور الضوئية البانكروماتية، والمتعددة الأطياف. ويدعم أيضاً النمذجة المكانية للمعالجة باستخدام السحابة النقطية والمتجهة، بالإضافة إلى معاينة النتائج في الوقت الفعلي (Hexagon, 2019).
- برنامج ArcMap: وهو المكان الذي يقوم فيه الباحث بعرض واستكشاف مجموعة بيانات نظم المعلومات الجغرافية لمنطقة الدراسة، حيث يقوم بتعيين الرموز، وإنشاء تخطيطات الخريطة للطباعة أو النشر، وإنشاء مجموعة البيانات وتحريها (Esri, 2023).
- أنواع البيانات ومصادرها:

لتطبيق هذه الدراسة تم استخدام عدة بيانات من مصادر مختلفة تتمثل في التالي:

- البيانات المناخية: تعتمد المعادلات التجريبية لتحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية (Crop Water Requirements) على مجموعة من البيانات، تنقسم هذه البيانات إلى بيانات مناخية وبيانات تخص المحصول وبيانات خاصة بموقع الدراسة، فالبيانات المناخية تم الحصول عليها في صورة قياسات يومية لأحد عشر عاماً (من ٢٠١٢م إلى ٢٠٢٢م) من محطة الأرصاد الجوية بمحافظة الغاط عدا متغير مناخي واحد وهو "عدد ساعات السطوع الشمسي" فهي غير متوفرة بمحطة الغاط المناخية؛ ولذلك تم الحصول عليها من موقع weatheronline.
- وتم الحصول على بيانات المحصول (أشجار النخيل) وخصائصه من خلال برنامج (8.0 CROPWAT) وهو البرنامج المبتكر من منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو FAO)، بينما تم الحصول على الموقع الإحداثي لموقع الدراسة بالدراسة الميدانية من خلال جهاز (GPS).

- بيانات الاستشعار عن بعد:

✓ مرئيات فضائية لمنطقة الدراسة من الموقع الأمريكي (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov>)، والذي يوفر بيانات للقمر الصناعي Landsat 8، ويعمل على مسح للكرة الأرضية كل ١٦ يوم، ويحتوي على مستشعرات منها مستشعر حراري مزود بنطاقين حراريين وجهاز تصوير أرضي تشغيلي (OLI) ومستشعر الأشعة تحت الحمراء الحرارية (TIRS) وله أحد عشر نطاقاً كما في الجدول (١) (Gómez, et al., 2016, p.57; Engebretson, 2020, p.3).

جدول (١) النطاقات الطيفية للقمر الصناعي Landsat 8

رقم النطاق	نوع النطاق	طول الموجه (مايكرومتر)	الدقة المكانية
١	السواحل	٠,٤٥-٠,٤٣	٣٠م
٢	الأزرق	٠,٥١-٠,٤٥	٣٠م
٣	الأخضر	٠,٥٩-٠,٥٣	٣٠م
٤	الأحمر	٠,٦٧-٠,٦٤	٣٠م
٥	تحت الحمراء القريبة	٠,٨٨-٠,٨٥	٣٠م
٦	تحت الحمراء القصيرة ١	١,٦٥-١,٥٧	٣٠م
٧	تحت الحمراء القصيرة ٢	٢,٢٩-٢,١١	٣٠م
٨	البانكروماتي	٠,٦٨-٠,٥٠	١٥م
٩	السحاب الرقيق	١,٣٨-١,٣٦	٣٠م
١٠	تحت الحمراء الحرارية ١	١١,١٩-١٠,٦٠	١٠٠م
١١	تحت الحمراء الحرارية ٢	١٢,٥١-١١,٥٠	١٠٠م

المصدر: بالاعتماد على دراسة Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI) – Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 Level 1 (L1) Data Format Control Book (DFCB), (p.3). بواسطة (Engebretson,2020) بتصريف.

ويوضح الجدول (٢)، تاريخ المرئيات التي تم الحصول عليها من القمر الصناعي Landsat 8، والدقة المكانية التي تصل إلى ٣٠م، ونوعية النطاقات المستخدمة كنطاق الرابع والخامس.

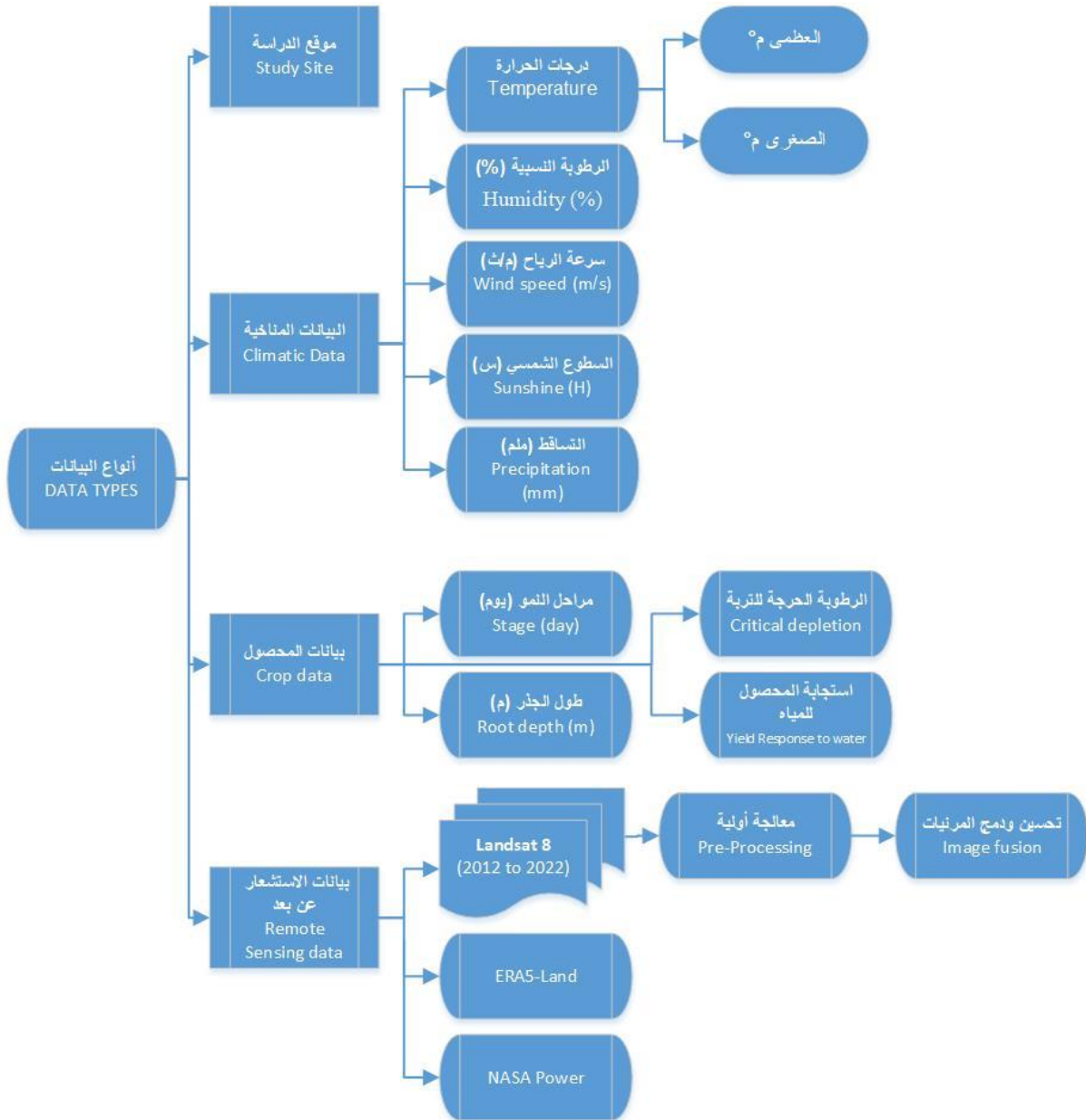
جدول (٢) المرئيات المستخدمة في استخراج قيمة NDVI

تاريخ المرئية	الدقة المكانية	الباند المستخدم
٢٠٢٢/٠١/١٧	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٢/١٨	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٣/٢٢	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٤/٠٧	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٥/٠٩	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٦/١٠	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٧/١٢	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٨/١٣	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/٠٩/١٤	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/١٠/١٦	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/١١/٠١	٣٠ متر	B4 – B5
٢٠٢٢/١٢/٠٣	٣٠ متر	B4 – B5

المصدر: من عمل الباحثان بالاعتماد على مرئيات القمر الصناعي Landsat 8.

✓ تم الحصول على بيانات متوسط درجة حرارة الهواء من خلال المرئيات الفضائية التي يوفرها المركز الأوروبي للتنبؤات: ("ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY_AGGR"). والتي تستخدم عند كتابة برمجية JavaScript من خلال منصة Google Earth Engine.

✓ تم الحصول على البيانات الخاصة بعدد ساعات النهار من موقع: NASA Power (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)، والتي يتطلب معرفتها عند تقدير الاحتياجات المائية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد.



الشكل (٢) البيانات الأساسية التي اعتمدت عليها الدراسة - المصدر: عمل الباحثان

○ إجراءات الدراسة وأهم مراحلها:

ولتحقيق أهداف الدراسة، قامت إجراءاتها وأهم مراحلها على مرحلتين رئيسيتين؛ المرحلة الأولى باستخدام المعادلات التجريبية والمرحلة الثانية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد مع البرمجيات الحاسوبية.

▪ المرحلة الأولى: تحديد الاحتياجات المائية بمعادلة (Penman-Monteith):

اعتمدت هذه المرحلة على تحديد استهلاك أشجار النخيل للمياه باستخدام معادلة بنمان - مونتيث المعدلة (Penman-Monteith) والمعتمدة على برنامج CROPWAT 8.0 وهو البرنامج المبتكر من منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة الفاو (FAO)، حيث يتم من خلاله حساب حجم المياه اللازمة لزراعة وحدة مساحية (لم² أو سم² أو م²) بمحصول معين حيث تم الحصول على مجموعة من البيانات من مصدرين؛ المصدر الأول؛ بيانات مناخية مصدرها المركز الوطني للأرصاد، تم الحصول عليها في صورة قياسات يومية لأحد عشر عاماً (من عام ٢٠١٢م حتى نهاية عام ٢٠٢٢م) من محطة محافظة الغاط المناخية عدا متغير مناخي واحد وهو "عدد ساعات السطوع الشمسي" فهو غير متوفر بمحطة محافظة الغاط المناخية؛ ولذلك تم الحصول عليه من موقع weatheronline. أما المصدر الثاني؛ فهي بيانات تخص موقع الدراسة، وتم الحصول على الموقع الإحداثي لموقع الدراسة بالدراسة الميدانية من خلال جهاز GPS.

- معالجة البيانات المناخية:

تم تحويل السلاسل الزمنية للبيانات المناخية من قيم متوسطات يومية إلى متوسطات شهرية وذلك لمدة أحد عشر عاماً ابتداءً من عام ٢٠١٢م حتى عام ٢٠٢٢م.

- حساب البخر - نتح المرجعي (ET_o):

أوضح (Allen, et al., 1998b, pp. 65) أن أفضل طريقة مستخدمة لتقدير استهلاك المياه هي معادلة Penman-Monteith، وتعتبر هذه الطريقة مقبولة على نطاق واسع باعتبارها الطريقة الأكثر دقة لحساب الاحتياجات المائية للمحاصيل، كما أوصت بها منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، ولتقدير معدل البخر - نتح المرجعي استخدمت المعادلة التالية:

$$ET_o = \frac{\left[0.408 \times \Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a) \right) \right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

حيث:

$$ET_o = \text{البخر نتح المرجعي [ملم/يوم]}$$

$$R_n = \text{صافي الإشعاع الشمسي على سطح المحصول (ميغا جول/م²/يوم)}$$

$$G = \text{تدفق حرارة التربة [ميغا جول/م²/يوم]}$$

$$T = \text{متوسط درجة الحرارة [درجة مئوية]}$$

$$u_2 = \text{سرعة الرياح مقاسة على ارتفاع ٢ متر [متر/ثانية]}$$

$$E_s = \text{ضغط بخار الماء المشبع [كيلو باسكال]}$$

$$e_s - e_a = \text{العجز في ضغط بخار الماء الفعلي [كيلو باسكال]}$$

$$\Delta = \text{انحدار منحنى ضغط البخار [كيلو باسكال/درجة مئوية]}$$

$$\gamma = \text{ثابت الرطوبة [كيلو باسكال/درجة مئوية]}$$

- حساب البخر - نتح (المحصولي) (ET_c):

البخر - نتح المحصولي (Crop evapotranspiration) (ET_c) هو مقدار البخر نتح في المحصول في ظل الظروف القياسية بحيث تكون المحاصيل خالية من الأمراض ومروية جيداً، وتزرع في حقول كبيرة، في ظل ظروف مياه التربة المثلى، وتحقيق الإنتاج الكامل في ظل ظروف مناخية محددة، ويعبر البخر نتح المحصولي عن إجمالي الاحتياجات المائية للنبات، ويتم حسابه عن طريق تطبيق المعادلة التالية:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

حيث:

$$ET_c = \text{بخر نتح المحاصيل (Crop evapotranspiration) (ملم/يوم)}$$

$$ET_o = \text{بخر نتح المرجعي (Reference crop evapotranspiration) (ملم/يوم)}$$

$$K_c = \text{المعامل المحصولي، وهو النسبة بين البخر نتح المحصولي وبين البخر نتح المرجعي}$$

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (\text{Savva and Frenken, 2002}) \text{ أي أن:}$$

ويلاحظ أن كل مرحلة من مراحل نمو النبات لها معامل محصولي مميز، كما أن معامل المحصول يختلف حسب عمر النبات فيزداد في وسط موسم الزراعة ويتراوح بين ٠ : ١ وقد يزيد عن ١ مع بعض المحاصيل.

- حساب كمية الأمطار الفعالة (Effective Rainfall (R_e)

"كمية الأمطار الفعالة أو المؤثرة" هي كمية مياه الأمطار المحتجزة في جذور النبات ويجب خصمها من إجمالي متطلبات مياه الري المحسوبة، ويمكن تقديرها تقريباً على النحو التالي:

$$R_e = \frac{R_t (125 - 0.2 \times (R_t))}{125} \quad (3)$$

125

حيث:

$$R_e = \text{كمية الأمطار الفعالة}$$

$$R_t = \text{كمية الأمطار الإجمالية}$$

- حساب صافي متطلبات الري اللازمة (Irrigation Water Requirement (IWR):

يعتبر حساب صافي مياه الري أحد متطلبات أشجار النخيل لمعرفة مياه الري اللازمة لنمو النبات، وهي ناتج الفرق بين كمية البخر - نتح المحصولي (ET_c) ومساهمات هطول الأمطار الفعالة خلال نفس الفترة الزمنية، عن طريق المعادلة التالية (Li, Y. et al., 2020):

$$\text{Irrigation requirements} = (ET_c \text{ (mm/day)} \times \text{Number of days per month}) - \text{Effective rain} \quad (4)$$

حيث:

$$\text{Effective rain} = \text{الأمطار الفعالة بمنطقة الدراسة}$$

المرحلة الثانية: تقدير الاحتياجات المائية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد:

لتقدير الاحتياجات المائية لأي محصول يتم استخدام المعادلة (2)، وللحصول على الاحتياجات المائية الشهرية لأشجار النخيل يتطلب الحصول على قيمتي K_c ، ET_o شهرياً، وتم الحصول على هذه البيانات من خلال تقنيات الاستشعار عن بعد على النحو التالي:

- **تحميل وتحسين المرئيات:** تم تحميل المرئيات من نوع Landsat 8 لمنطقة الدراسة، ثم تم زيادة الدقة التفريقية للمرئيات عن طريق أداة Pansharpening ببرنامج ERDAS IMAGINE لتتحول الدقة المكانية للأطياف (٤ و ٥) التي سيتم العمل عليها من ٣٠م إلى ١٥م.
- **حساب معامل المحصول الشهري لأشجار النخيل (Kc):** يتم حساب معامل المحصول الشهري Kc اعتماداً على قيمة مؤشر الفرق المعياري للغطاء النبات (NDVI)، لذلك تم الحصول على قيمة NDVI لشهور السنة من خلال مرئيات Landsat 8، وذلك باستخدام النطاق الرابع والنطاق الخامس الموجودان داخل المرئيات الفضائية، والتي تمثل قناة الأشعة الحمراء وقناة الأشعة تحت الحمراء القريبة وذلك عن طريق المعادلة التالية:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

وتم حساب قيمة معامل المحصول (Kc) عن طريق المعادلة التالية (El-Shirbeny, et al., 2014a):

$$KC = \frac{\text{maximum Kc for Palm Trees}}{\text{difference between minimum and maximum NDVI value}} (\text{NDVI-minimum NDVI value}) \quad (6)$$

حيث:

قيمة معامل المحصول العظمى لأشجار النخيل: ٠.٩ = maximum Kc

(المصدر: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0c.htm>)، أما بيانات NDVI الشهرية تم الحصول عليها من المرئيات الفضائية وتم تطبيق المعادلة باستخدام برنامج Arcmap.

- **حساب البخر نتح المرجعي (ET_o):**

تم حساب البخر-نتح المرجعي لجميع شهور السنة في منطقة الدراسة من خلال تطبيق معادلة

"بلاني - كريدل" (Blaney - Criddle):

$$ET_o = 4.57 \times k \times \frac{p}{100} \times (t + 17.8) \quad (7)$$

حيث:

K = معامل المحصول، وقد تم الحصول عليه من خلال صور Landsat 8

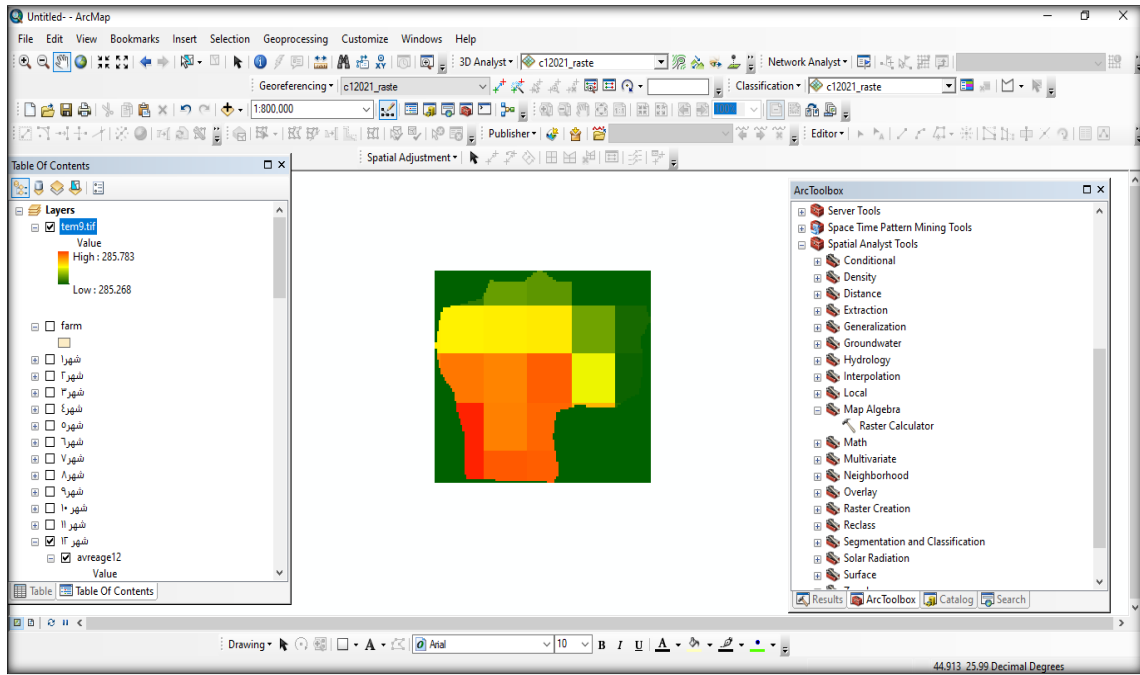
P = النسبة المئوية لعدد ساعات النهار للشهر من إجمالي السنة، وقد تم الحصول عليها من موقع Nasa

Power، شكل رقم (٤)

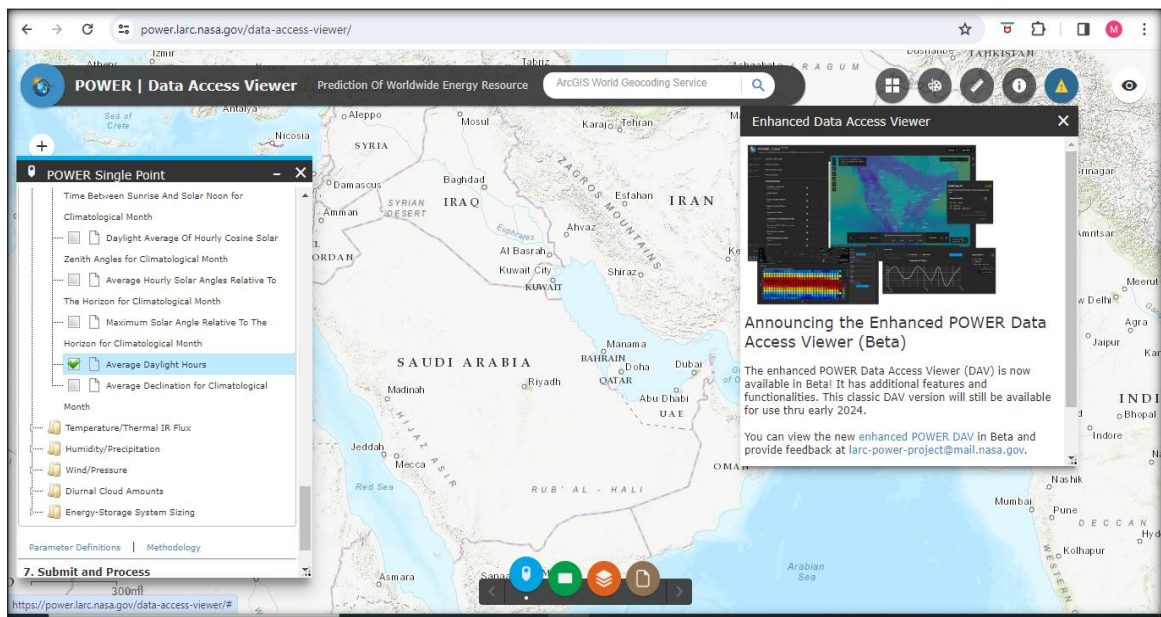
t = متوسط درجة حرارة الهواء (درجة مئوية) وتم الحصول عليها من صور المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية

وتم حساب متوسطات درجات حرارة الهواء الشهرية (ارتفاع ٢م) لأحد عشر عاماً بين عامي ٢٠١٢م و٢٠٢٢م، ولتوحيد الفترة الزمنية لمتوسط درجة الحرارة لكلاً من بيانات المحطات المناخية الأرضية وبيانات الاستشعار عن بعد لتسهيل عملية المقارنة بين نتائج كلاً منهما.

تم استخدام منصة Google Earth Engine لكتابة البرمجية من خلال JavaScript واستيراد صورة Raster تعبر كلاً منها عن متوسط درجة الحرارة لشهر من شهور السنة خلال (١١) عاماً، و بذلك تم استدعاء عدد (١٣٢) صورة لدرجات الحرارة لمنطقة الدراسة بواقع (١٢) صورة (شهور السنة) للأعوام المحددة وذلك للحصول على ١٢ صورة لمتوسط درجات حرارة الهواء لكل شهر، مع ملاحظة أن الوحدة كانت "الكلفن" فتم تحويلها إلى (المئوية) عن طريق طرح درجات الحرارة بالكلفن من ٢٧٣,١٥.



الشكل (٣) استخراج متوسط درجات الحرارة لعدد ١٢ مرئية- المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد برنامج (ArcMap)



الشكل (٤) استخدام موقع NASA Power للحصول على عدد ساعات النهار- المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على موقع (NASA Power)

تم حساب البخر-نتح المرجعي (ET_o) بتطبيق المعادلة (٧) "بلاني - كريدل" لكن كانت نتائج المعادلة بوحدة (سم/شهر)، وتم تحويله للوحدة (مم/يوم) ليسهل المقارنة مع الطرق التقليدية (برنامج CROPWAT 8.0) باستخدام المعادلة الآتية.

تم تحويل ET_o من (سم / شهر) إلى (ملم / يوم) عن طريق المعادلة التالية:

$$ET_o \left(\frac{mm}{day} \right) = ET_o (cm/month) \times \frac{10}{\text{No.of days per month}} \quad (8)$$

- حساب صافي متطلبات الري Irrigation requirements عن طريق المعادلة (4).
- المعايير الإحصائية المستخدمة في تقييم الدراسة: لغرض تقييم نتائج الدراسة إحصائياً، فقد تم استخدام كلاً من ؛ معادلة بيرسون للارتباط، ومعامل التحديد (R²)، ومتوسط الخطأ المطلق (MAE)، ومربع مجموع الخطأ (MSE)، والجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (RMSE)، وهذه المعايير

موضحة بالمعادلات التالية (Kennedy & Neville, 1986):

$$r = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2][N\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (9) \text{ معادلة معامل بيرسون للارتباط:}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (10) \text{ معادلة معامل التحديد:}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (11) \text{ معادلة متوسط الخطأ المطلق:}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (12) \text{ معادلة متوسط مربع الخطأ:}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (13) \text{ معادلة الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ:}$$

النتائج والمناقشة:

الاحتياجات المائية للمحاصيل هي حجم المياه اللازمة لكل وحدة مساحية مزروعة بالمحصول، وفيما يلي مقارنة بين نتائج تقدير استهلاك أشجار النخيل باستخدام المعادلات التجريبية بالاعتماد على برنامج CROWAT 8.0 وتقنية الاستشعار عن بعد المعتمدة على المرئيات الفضائية عالية الدقة.

أ. نتائج تقدير الاحتياجات المائية باستخدام معادلة Penman-Monteith:

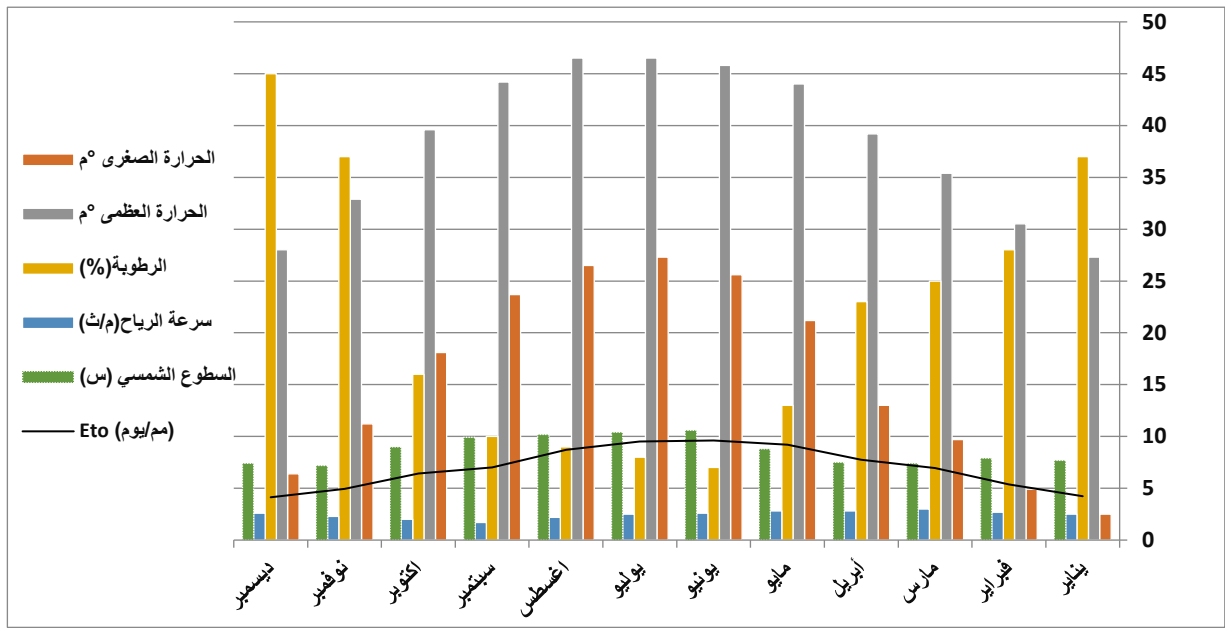
تم تطبيق معادلة Penman-Monteith المعدلة من خلال برنامج (CROPWAT 8.0) لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة الفاو (FAO) لتقدير الاحتياجات المائية لزراعة أشجار النخيل بمنطقة الدراسة، وتم افتراض بداية موسم الزراعة يوم ٢٠/٢/٢٠٢٣ وكانت النتائج على النحو التالي:

يظهر من الجدول (٣)، أن قيم البخر نتح المرجعي والتي تزداد مع أشهر الصيف حيث درجة الحرارة المرتفعة وزيادة ساعات السطوع الشمسي فتصل أقصاها في شهر يونيو بحوالي ٩,٦١ ملم/يوم (أي ٩,٦١ ملم ٣ مياه لكل ملم ٢ مساحة مزروعة بأشجار النخيل) بينما تصل أدناها في شهر ديسمبر بحوالي ٤,١٣ ملم/يوم، وهذا الأمر يؤثر بشكل مباشر على الاحتياجات المائية التي تتزايد بشكل واضح في أشهر الصيف.

جدول (٣) متوسطات المتغيرات المناخية والبخر - نتح المرجعي للفترة من ٢٠١٢م إلى ٢٠٢٢م

الشهر	درجات الحرارة		الرطوبة النسبية %	سرعة الرياح م/ث	ساعات السطوع ساعة	التساقط ملم	ET _o ملم/يوم
	الصغرى م°	العظمى م°					
يناير	٢,٥	٢٧,٣	٣٧	٢,٥	٧,٧	٤,٥	٤,٢٤
فبراير	٤,٩	٣٠,٥	٢٨	٢,٧	٧,٩	٤,٢	٥,٣٨
مارس	٩,٧	٣٥,٤	٢٥	٣	٧,٤	١١,١	٦,٩٦
ابريل	١٣	٣٩,٢	٢٣	٢,٨	٧,٥	١١,٣	٧,٧٥
مايو	٢١,٢	٤٤	١٣	٢,٨	٨,٨	٣,٤	٩,٢١
يونيو	٢٥,٦	٤٥,٨	٧	٢,٦	١٠,٦	٠,٢	٩,٦١
يوليو	٢٧,٣	٤٦,٥	٨	٢,٥	١٠,٤	٠,٤	٩,٥١
اغسطس	٢٦,٥	٤٦,٥	٩	٢,٢	١٠,٢	٠,٩	٨,٧١
سبتمبر	٢٣,٧	٤٤,٢	١٠	١,٧	٩,٩	٠,١	٧,٠١
اكتوبر	18.1	٣٩,٦	١٦	٢	٩	١,٣	٦,٤١
نوفمبر	١١,٢	٣٢,٩	٣٧	٢,٣	٧,٢	٢٢,٥	٤,٩٤
ديسمبر	٦,٤	٢٨	٤٥	٢,٦	٧,٤	٢,٤	٤,١٣

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج (CROPWAT 8.0) وفقاً لبيانات محطة الأرصاد الجوية لمنطقة الدراسة، وموقع "weatheronline".



الشكل (٥) المتغيرات المناخية للبحر-نتج المرجعي للفترة من ٢٠١٢م إلى ٢٠٢٢م - المصدر: عمل الباحثان

يوضح جدول (٤)، نتائج الاحتياجات المائية (ETc) لزراعة أشجار النخيل في منطقة الدراسة لكل ملم ٢ مزرع بأشجار النخيل لكل (١٠) أيام بمراحل نمو النبات الأربع؛ حيث تنقسم الاحتياجات المائية لمياه تصل للنبات بفعل الأمطار وأخرى يلزم توفيرها بمصادر الري المختلفة كالآبار وغيرها، وبدأت المرحلة الأولية لزراعة أشجار النخيل في شهر فبراير، ثم مرحلة التطور في شهر يوليو ثم بدأت مرحلة منتصف الموسم في شهر أغسطس، والمرحلة الأخيرة وهي مرحلة نهاية الموسم والتي بدأت في شهر يناير. يتضح أيضاً أن أعلى قيمة وصلت لها الاحتياجات المائية كان في شهر يوليو بقيمة ٩٩,٩ ملم ٣ مياه لكل ملم ٢ مساحة مزرعة بأشجار النخيل خلال (١٠) أيام، حيث يتم وصول حوالي ١,٩ ملم ٣ مياه من الأمطار ويلزم تدبير حوالي ٤٠,٦ ملم ٣ من مياه الري؛ وهذا الارتفاع بسبب الفقد الكبير للمياه من التربة وجسم النبات لارتفاع درجات الحرارة صيفاً، وأقل قيمة احتياج مائي كانت في شهر فبراير بقيمة ٤٢,٥ ملم ٣ مياه لكل ملم ٢ مساحة مزرعة بأشجار النخيل خلال آخر (١٠) أيام من شهر فبراير.

والجدير بالذكر أن هذه التقديرات تمثل الاحتياجات المائية لأشجار النخيل بالمزرعة محل الدراسة، وأي مزرعة أخرى تماثل نفس ظروف الدراسة من حيث المحصول والموقع والمناخ والتربة ووقت الزراعة.

جدول (٤) نتائج الاحتياجات المائية خلال مراحل نمو أشجار النخيل

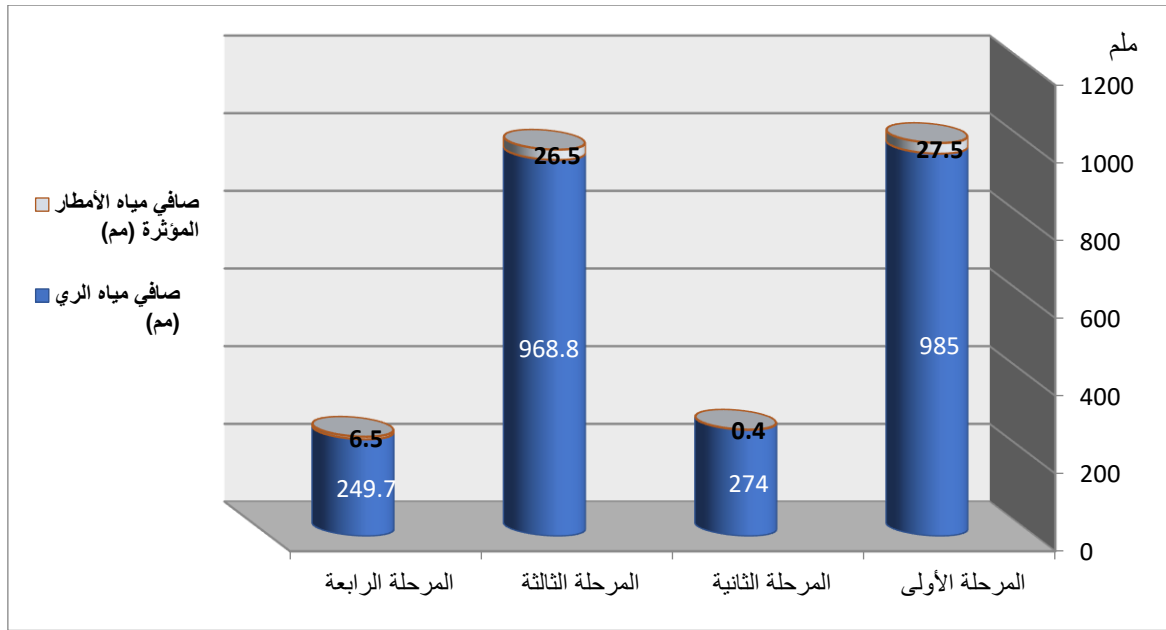
الشهر	العقد الشهري	مراحل نمو أشجار النخيل	معامل المحصول Coeff	الاحتياجات المائية (ETC)	الأمطار الفعالة	صافي مياه الري
فبراير	٢	المرحلة الأولى للزراعة	١,١٢	٦	٠,١	٥٢,٩
فبراير	٣		٠,٩	٤٢,٥	١,٩	٤٠,٦
مارس	١		٠,٩	٥٧,٩	٣,١	٥٤,٨
مارس	٢		٠,٩	٦٢,٦	٣,٩	٥٨,٧
مارس	٣		٠,٩	٧١,٥	٣,٨	٦٧,٧
أبريل	١		٠,٩	٦٧,٤	٣,٩	٦٣,٥
أبريل	٢		٠,٩	٦٩,٧	٤	٦٥,٧
أبريل	٣		٠,٩	٧٤,١	٣,١	٧١
مايو	١		٠,٩	٧٩,١	١,٩	٧٧,٢
مايو	٢		٠,٩	٨٣,٨	٠,٩	٨٢,٨
مايو	٣		٠,٩	٩٣,١	٠,٦	٩٢,٥
يونيو	١		٠,٩	٨٥,٣	٠,٣	٨٥
يونيو	٢		٠,٩	٨٦,٥	٠	٨٦,٥
يونيو	٣		٠,٩	٨٦,٢	٠	٨٦,١
يوليو	١		٠,٩	٨٥,٩	٠,١	٨٥,٨
يوليو	٢	٠,٩٣	٨٨,٦	٠,١	٨٨,٥	
يوليو	٣	٠,٩٨	٩٩,٩	٠,٢	٩٩,٧	
أغسطس	١	المرحلة الثانية (التطور)	١,٠٣	٩٢,٧	٠,٢	٩٢,٤
أغسطس	٢		١,٠٥	٩١,١	٠,٣	٩٠,٨
أغسطس	٣		١,٠٥	٩٣,٧	٠,٢	٩٣,٥
سبتمبر	١		١,٠٥	٧٨,٥	٠,١	٧٨,٤
سبتمبر	٢		١,٠٥	٧٢,٣	٠	٧٢,٣
سبتمبر	٣		١,٠٥	٧٠,٥	٠,١	٧٠,٤
أكتوبر	١		١,٠٥	٦٩,٢	٠	٦٩,١
أكتوبر	٢		١,٠٥	٦٧,١	٠	٦٧,١
أكتوبر	٣		١,٠٥	٦٨,١	١,٤	٦٦,٨
نوفمبر	١		١,٠٥	٥٦,٨	٦,٢	٥٠,٦
نوفمبر	٢		١,٠٥	٥١,٧	٩,١	٤٢,٦
نوفمبر	٣		١,٠٥	٤٨,٩	٦,٣	٤٢,٥
ديسمبر	١		١,٠٥	٤٥,٤	٢,١	٤٣,٣
ديسمبر	٢		١,٠٥	٤٢,٢	٠	٤٢,٢
ديسمبر	٣		١,٠٥	٤٧,٢	٠,٥	٤٦,٨
يناير	١	المرحلة الثالثة (منتصف الموسم)	١,٠٨	٤٤,٧	١,٣	٤٣,٤
يناير	٢		١,١٢	٤٦,٢	١,٥	٤٤,٦
يناير	٣		١,١٢	٥٥,٨	١,٥	٥٤,٣
فبراير	١		١,١٢	٥٥,٧	١,٢	٥٤,٥
فبراير	٢		١,١٢	٥٤	١	٥٢,٩
فبراير	٣		١,١٢	٥٤	١	٥٢,٩
				٢٤٩١,٩	٦٠,٩	٢٤٧٧,٥

أما الجدول (٥)، والشكل (٦)، فيوضحان مقارنة بين إجمالي مياه الأمطار المؤثرة وإجمالي مياه الري خلال مراحل نمو أشجار النخيل الأربع.

جدول (٥) نتائج صافي مياه الأمطار المؤثرة ومياه الري

مراحل نمو أشجار النخيل	صافي مياه الأمطار المؤثرة (مم)	صافي مياه الري (مم)
المرحلة الأولى (١١ فبراير - ٣٠ يونيو)	٢٧,٥	٩٨٥
المرحلة الثانية (١-٣١ يوليو)	٠,٤	٢٧٤
المرحلة الثالثة (١ أغسطس - ٣١ ديسمبر)	٢٦,٥	٩٦٨,٨
المرحلة الرابعة (١ يناير - ١٠ فبراير)	٦,٥	٢٤٩,٧
الإجمالي	٦٠,٩	٢٤٧٧,٥

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج (CROPWAT 8.0).



الشكل (٦) الاحتياجات المائية لأشجار النخيل اعتماداً على برنامج CROPWAT 8.0 - المصدر: عمل الباحثان

ب. نتائج تقدير الاحتياجات المائية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد:

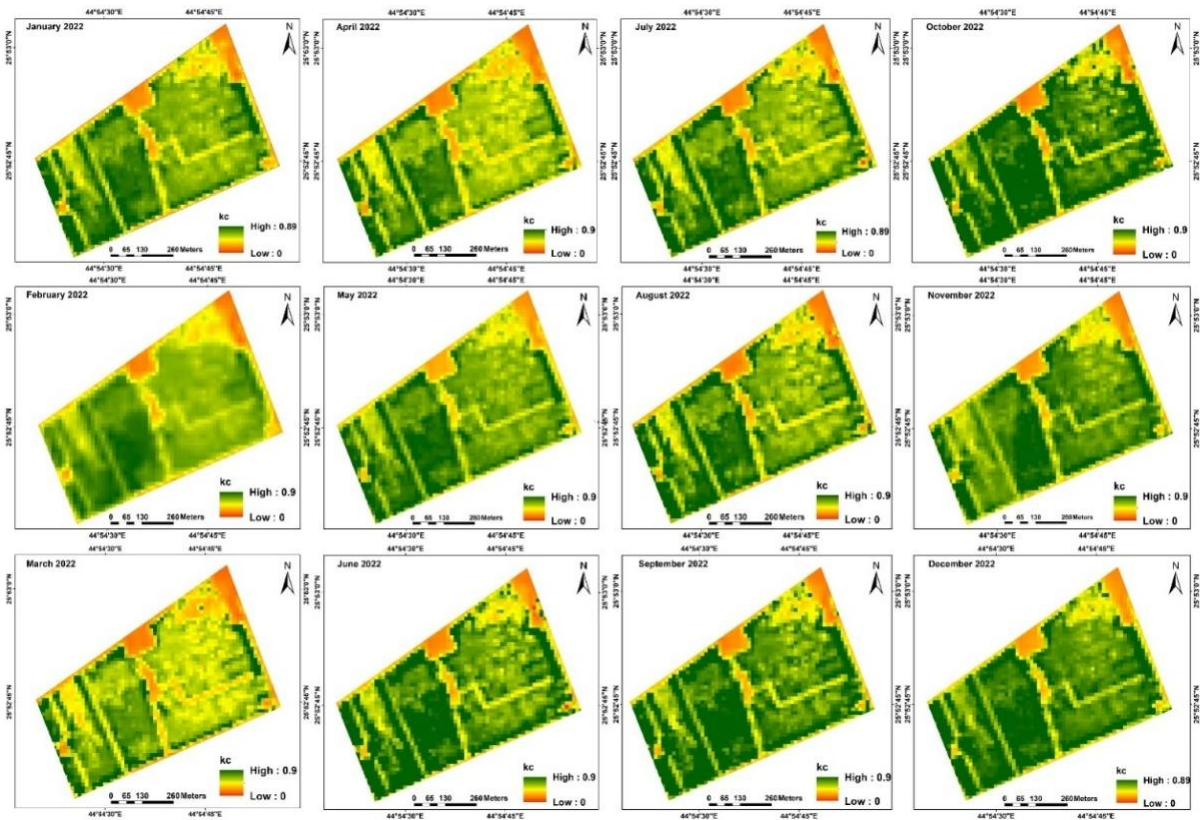
يظهر من الجدول (٦) أنه خلال موسم الصيف تصل القيمة العظمى لمعامل المحصول (Kc) الشهري في شهر يونيو ٠,٩، بينما تنخفض في فصل الشتاء حيث تصل قيمتها العظمى بمنطقة الدراسة لحوالي ٠,٨٩ وتحديداً في شهر ديسمبر ويناير، وبصورة عامة فإن متوسط معامل المحصول (Kc) الشهري هو متقارب لمعظم شهور السنة، ويعزى هذا التقارب في قيم (Kc) بشكل رئيسي إلى تقارب عمر أشجار النخيل وكثافة الأشجار وأصناف الأشجار.

ويتضح من الشكل رقم (٧) أن المناطق الكثيفة بالغطاء النباتي لها معامل محصولي عالي في حين تأخذ المناطق الموجودة على أطراف المزرعة والأراضي الموجودة بمحاذاة الطرق الداخلية لها معامل محصولي منخفض القيمة، ويدل ذلك على ضعف الغطاء المحصولي بها وقلة كثافته، وأحياناً تدل على عدم وجوده، ووجود استخدامات أخرى غير زراعية.

جدول (٦) نتائج قيم معامل المحصول KC لشهور السنة

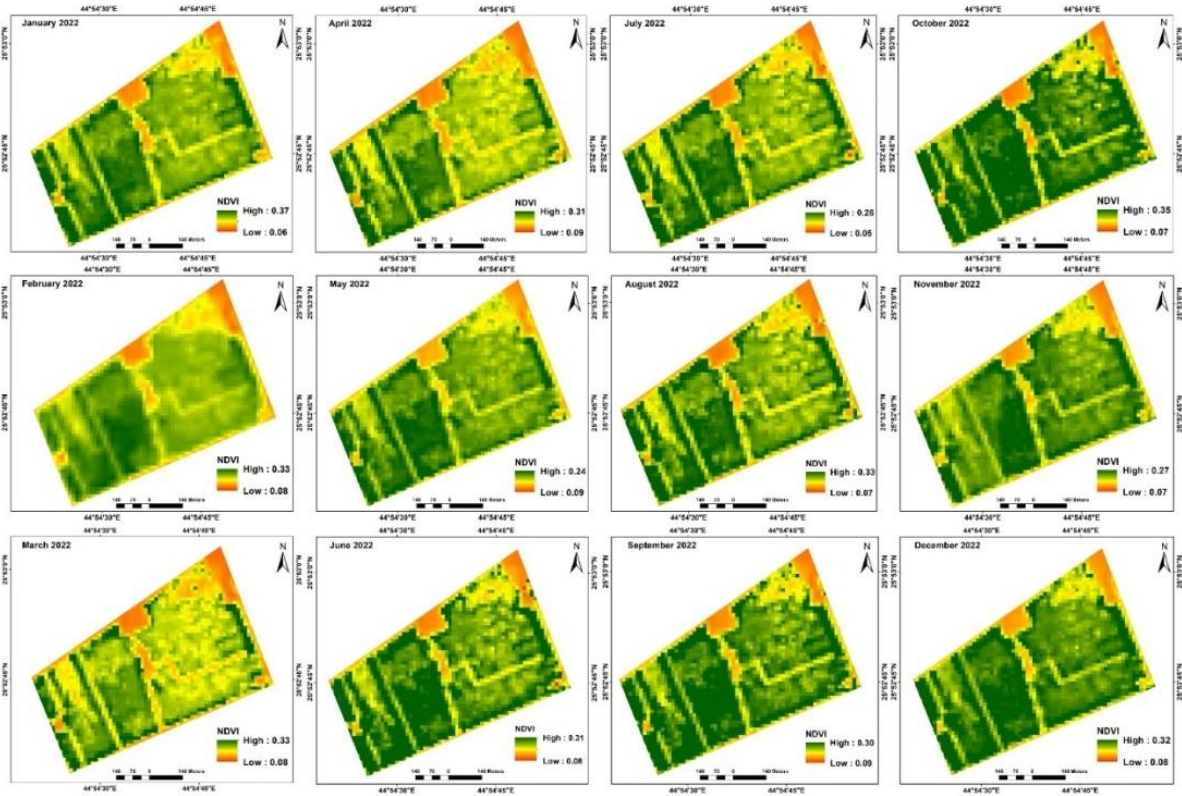
الشهر	معامل المحصول Kc
يناير	٠,٨٩
فبراير	٠,٩
مارس	٠,٩
أبريل	٠,٩
مايو	٠,٩
يونيو	٠,٩
يوليو	٠,٨٩
أغسطس	٠,٩
سبتمبر	٠,٩
أكتوبر	٠,٩
نوفمبر	٠,٩
ديسمبر	٠,٨٩

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج (ERDAS).



الشكل (٧) خرائط قيم معامل المحصول Kc - المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج (ERDAS)

كما يظهر الشكل (٨) قيم NDVI الشهرية لأشجار النخيل بمنطقة الدراسة، وتراوحت قيم NDVI بين ٠,٥ و ٠,٣٧، حيث تحتوي المناطق النباتية عادةً على قيم أكبر، وتشير القيم الأقل إلى ظواهر سطحية غير نباتية، ويختلف NDVI للمناطق المزروعة وفقاً لعمر المحصول وكثافة الزراعة ونشاط الكلوروفيل.



الشكل (٨) خرائط قيم NDVI - المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج (ERDAS)

ج. العلاقة بين معامل المحصول Kc ومؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي NDVI:

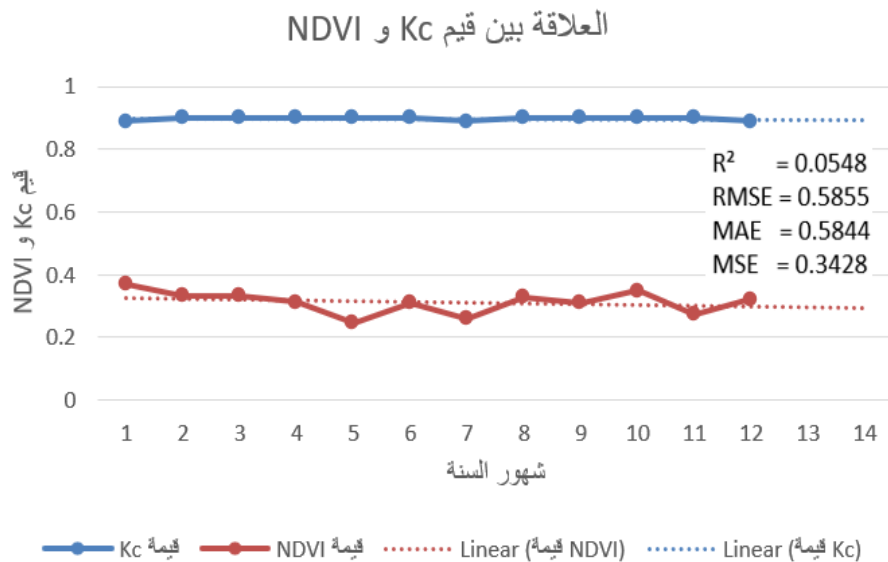
يظهر مما سبق أن هناك توفراً بين توزيع قيم Kc و NDVI خلال مراحل النمو حيث كانت قيم تسير بشكل متوازي خلال شهور السنة بحيث تكون متقاربة في المرحلة الأولية للإنبات، ثم يكون هناك تذبذب بسيط خلال مرحلة التطور لتصل إلى أعلى قيمة قبل نهاية مرحلة الحصاد.

ويوضح الشكل (٩) نتائج قيم المعايير الإحصائية R² و RMSE و MAE و MSE والتي تساوي

٠,٠٥٤٨ و ٠,٥٨٥٥ و ٠,٥٨٤٤ و ٠,٣٤٢٨ على التوالي.

تتوافق هذه العلاقة من حيث الشكل مع نتائج (Er-Raki, et al., 2007) و (Campos, et al., 2010)

و (داود وآخرون، ٢٠١٣) بأن العلاقة بين Kc و NDVI خطية.



الشكل (٩) العلاقة بين قيم Kc و NDVI - المصدر: عمل الباحثان

جدول (٧) تقديرات البخر - نتح المرجعي والمحصولي لأشجار النخيل بمنطقة الدراسة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد

الشهر	متوسط درجة الحرارة (مئوية) (t)	متوسط عدد ساعات النهار (P)	معامل المحصول (kc)	Eto (سم/يوم)	عدد أيام الشهر	ETo (ملم/يوم)	ETc (ملم/يوم)	صافي الأمطار الفاعلة (ملم/شهر)	صافي مياه الري (ملم/شهر)
يناير	13.7	10.59	0.89	13.6	31	4.4	3.9	4.3	116.5
فبراير	15.5	11.18	0.9	15.3	28	5.5	4.9	4.2	133.6
مارس	21	11.88	0.9	19	31	6.1	5.5	10.8	159.8
أبريل	25.8	12.63	0.9	22.6	30	7.5	6.8	11	192.8
مايو	22.2	13.27	0.9	21.8	31	7	6.3	3.4	193.1
يونيو	34.1	13.59	0.9	29	30	9.7	8.7	0.3	260.8
يوليو	35.7	13.45	0.89	29.3	31	9.4	8.4	0.4	260.1
أغسطس	35.3	12.91	0.9	28.2	31	9.1	8.2	0.7	253.1
سبتمبر	32.7	12.2	0.9	25.3	30	8.4	7.6	0.2	227.9
أكتوبر	27.4	11.45	0.9	21.3	31	6.9	6.2	1.4	190.2
نوفمبر	20.1	10.78	0.9	16.8	30	5.6	5	21.6	129.6
ديسمبر	14.8	10.42	0.89	13.8	31	4.5	4	2.6	120.4

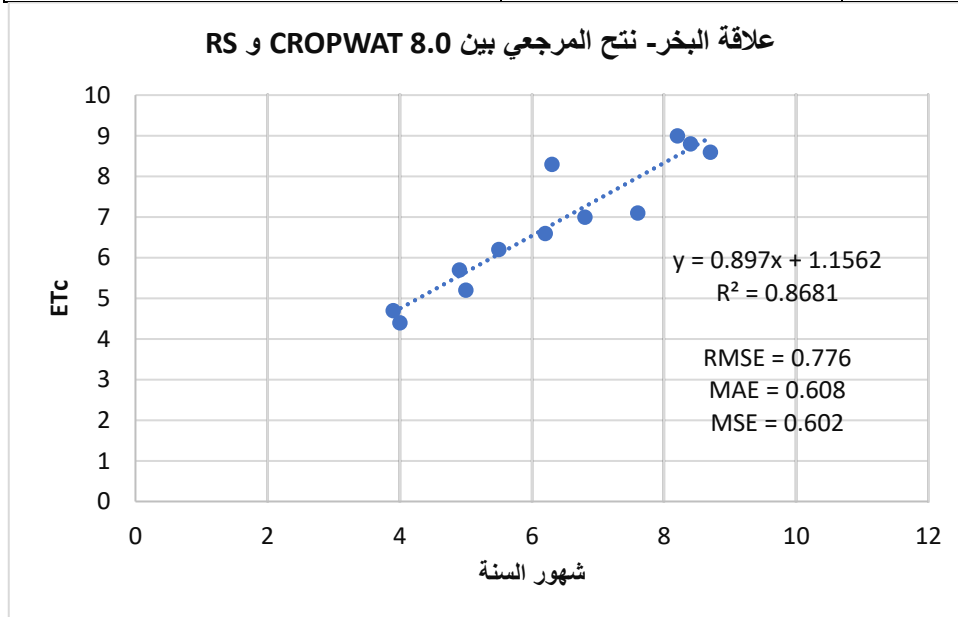
المصدر: عمل الباحثان بالإعتماد على بيانات الاستشعار عن بعد وتطبيق معادلة (٣).

يوضح الجدول (٧) نتائج البخر-نتح المرجعي والمحصولي باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد وهي تبين أن أعلى شهور السنة في متوسط البخر النتح المحصولي (ETC) هو شهر يونيو بمتوسط ٨,٧ ملم ٣ مياه لكل ملم ٢ مساحة منزرعة بأشجار النخيل في منطقة الدراسة بينما يعد شهر يناير هو أقل الشهور من حيث البخر نتح المحصولي وذلك لانخفاض معدلات الاشعاع الشمسي ودرجات الحرارة. وبناءً على نتائج الجدول (٨)، يتضح العلاقة بين نتائج البخر - نتح المحصولي اعتماداً على الطرق التقليدية معادلة Penman-Monteith وتقنية الاستشعار عن بعد، وتقييمها من خلال استخدام المعادلات الإحصائية رقم ٩ و ١٠ و ١١ و ١٢ (R^2 و $RMSE$ و MAE و MSE) وكانت النتائج ٠,٨٦٨ و ٠,٧٧٦ و ٠,٦٠٨ و ٠,٦٠٢ على التوالي.

ولتفسير النتائج المتحصل عليها في الشكل (١٠)، يتضح من (R2) وهو مقياس لمدى ملائمة النموذج للبيانات مقارنة بالمتوسط البسيط، وكانت قيمته تساوي ٠,٨٦٨ وهي تقريبا ٨٦٪ من التباين في البيانات، وكل ما اقتربت النتيجة من ١ كان مثالياً، أما الخطأ المطلق (MAE) وهو الفرق المطلق بين القيم الفعلية والمتوقعة وحساب متوسطها والتي كانت قيمتها تساوي ٠,٦٠٨، وهذه الانخفاض يوحي بأن النموذج يعطي تنبؤات أفضل، وفي متوسط الخطأ التربيعي (MSE) والذي يقوم بتسوية الاختلافات بين القيم الفعلية والمتوقعة قبل حساب متوسطها، لذا تكون الأخطاء الأكبر لها تأثير، وهي حساسة للقيم المتطرفة والأخطاء الكبيرة، وكانت النتيجة أيضاً منخفضة بدرجة ٠,٦٠٢. أما الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (RMSE) والذي يعمل على توازن بين الوضوح والحساسية للأخطاء الكبيرة، وتوصلت قيمته إلى ٠,٧٧٦، وهي أيضاً متدنية وتعطي علاقة مقبولة بين النموذجين.

جدول (٨) مقارنة تقدير الاحتياجات المائية (ETc) بين (CROPWAT 8.0) و (RS)

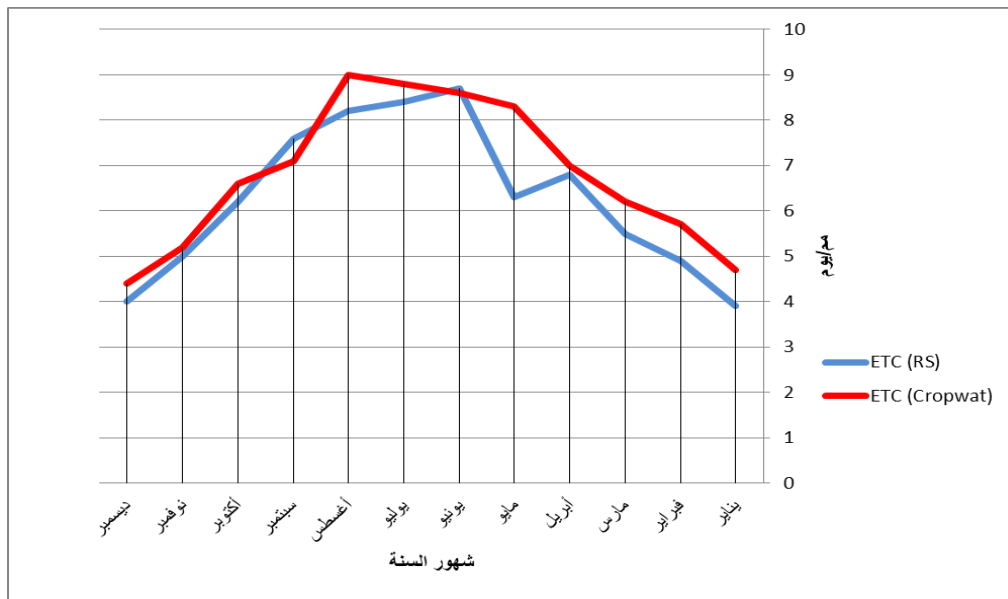
الشهر	ETc (RS) (mm/day)	ETc (CROPWAT 8.0) (mm/day)
يناير	3.9	4.7
فبراير	4.9	5.7
مارس	5.5	6.2
أبريل	6.8	7
مايو	6.3	8.3
يونيو	8.7	8.6
يوليو	8.4	8.8
أغسطس	8.2	9
سبتمبر	7.6	7.1
أكتوبر	6.2	6.6
نوفمبر	5	5.2
ديسمبر	4	4.4



الشكل (١٠) علاقة البخر-نتج بين CROPWAT 8.0 و RS - المصدر: عمل الباحثان

د. العلاقة بين نتائج الاحتياجات المائية بالطرق التقليدية والاستشعار عن بعد:

ولتحليل علاقة الارتباط بين الاحتياجات المائية الشهرية ETCMON باستخدام (الاستشعار عن بعد، وبرنامج CROPWAT 8.0) كما في الشكل (١١)، تم استخدام معادلة معامل بيرسون للارتباط، وكانت النتيجة ٠,٩٣١٧، ويدل ذلك على ارتباط طردي قوي لتقدير الاحتياجات المائية (ETc) باستخدام طريقة الاستشعار عن بعد وبرنامج CROPWAT 8.0 كما يوجد تقارب كبير في تقدير الاحتياجات المائية بين الطريقتين مما يوضح فاعلية وإمكانية تقدير الاحتياجات المائية باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد كبديلاً للطرق التقليدية خاصة في المناطق التي لا تتوفر بها قياسات مناخية أرضية.



الشكل (١١) الاحتياجات المائية الشهرية ETCMON باستخدام (الاستشعار عن بعد، وبرنامج CROPWAT 8.0)

المصدر: عمل الباحثان

هـ. تحليل العلاقة بين متوسط درجات الحرارة والاحتياجات المائية:

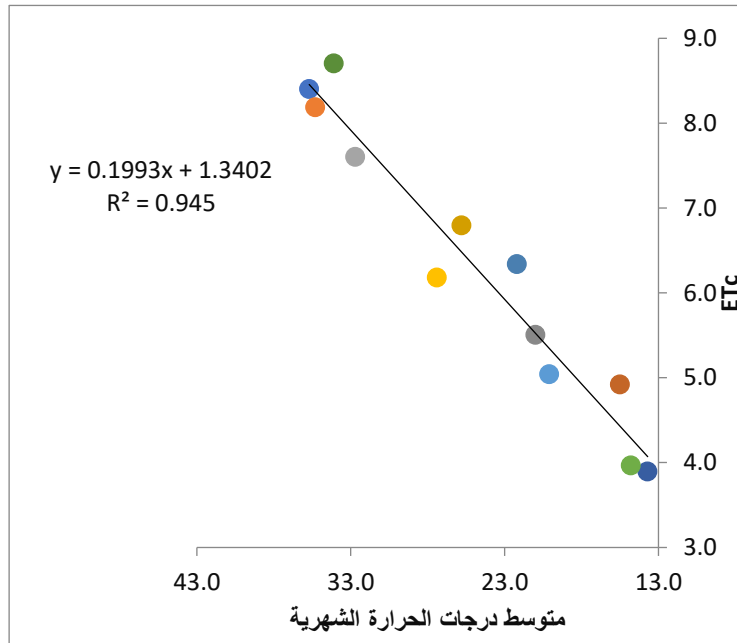
يعرف خط الانحدار باسم خط الملاءمة الأفضل، وهو خط مستقيم يمثل العلاقة بين متغيرين ويعمل على نمذجة العلاقات، يساعد على نمذجة وفهم العلاقة بين المتغيرين. ويشير ميل الخط إلى اتجاه وحجم العلاقة فإذا كان ميل خط الانحدار موجباً، فإنه يشير إلى وجود علاقة إيجابية بين المتغيرات، في حين يشير المنحدر السلبي إلى علاقة سلبية، باستخدام معادلة خط الانحدار $(\exists + Y = a + bx)$ لتحليل العلاقة بين درجات الحرارة والاحتياجات المائية لزراعة أشجار النخيل بمنطقة الدراسة.

بشكل عام، يوفر خط الانحدار ملخصاً موجزاً للعلاقة بين متغيرين، مما يسمح بالتنبؤ بالبيانات

واستدلالها وتفسيرها، كما في الجدول (٩)، والشكل (١٢).

جدول (٩) مقارنة بين متوسط درجة الحرارة وETc

الشهر	متوسط درجة الحرارة الشهرية	ETc (mm/day)
يناير	١٣,٧	٣,٩
فبراير	١٥,٥	٤,٩
مارس	٢١	٥,٥
أبريل	٢٥,٨	٦,٨
مايو	٢٢,٢	٦,٣
يونيو	٣٤,١	٨,٧
يوليو	٣٥,٧	٨,٤
أغسطس	٣٥,٣	٨,٢
سبتمبر	٣٢,٧	٧,٦
أكتوبر	٢٧,٤	٦,٢
نوفمبر	٢٠,١	٥
ديسمبر	١٤,٨	٤



الشكل (١٢) العلاقة بين متوسط درجات الحرارة وETc - المصدر: عمل الباحثان

التوصيات:

- إن النقص الحاصل في البيانات المناخية من المحطات الأرضية، وصعوبة الحصول عليها تعتبر من المشاكل الشائعة في تخمين البحر-نتج بطريقة Penman-Monteith والتي تعتبر من أفضل الطرق الحديثة في حساب قيم ETo، لذا يمكن استخدام معادلة (Blaney - Criddle)، والتي تعتمد على درجات الحرارة بشكل أساسي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد.
- الاستفادة من خدمات الحوسبة السحابية مثل منصة Google Earth Engine، التي يمكن الوصول إليها مجاناً وبيانات Landsat-8 المتعددة الأوقات، لضمان حصول صناع القرار على الموارد التي يحتاجونها لتتبع الغطاء الأرضي على مدار العام.

- ضرورة تفعيل الاعتماد الاستشعار عن بعد في أغراض البحث العلمي ليساعد في تحقيق التنمية المستدامة.
- ضرورة توفير موارد مياه الري اللازمة لتحقيق التنمية الزراعية مثل؛ (آبار - تحلية مياه البحر وغيرها).

قائمة المراجع

المراجع العربية:

- الراشد، محمد (٢٠٠٥)، محافظة الغاط، الطبعة الأولى، الرياض.
- السعران، ناصر بن عبد العزيز (٢٠٠٦م)، تقدير الاحتياجات المائية الشهرية للمحصول المرجعي في الأحساء، بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، العدد ٧٧.
- الصميدعي، إبراهيم؛ شهاب، رمزي؛ خلف، إياد (٢٠٢٢)، دراسة مقارنة تقدير التبخر نتح باستعمال نموذج سيبال (SEBAL) وجهاز قياس التبخر (Atmometer) في حوض نهر ديالي، المجلة العراقية لدراسات الصحراء، المجلد (١-١).
- الطاهر، عبد الله أحمد (١٩٩٢م)، جدولة ري المحاصيل الزراعية والمحافظة على المياه في واحة الأحساء بالمملكة العربية السعودية، مركز البحوث، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، العدد ٣٢.
- خلف، بلاسم (٢٠١٤)، أهمية الاستثمار الزراعي في تحقيق الأمن الغذائي في العراق، مجلة كلية بغداد للعلوم الاقتصادية الجامعة، العدد الخاص بالمؤتمر العلمي الخامس، ص ٣-٩.
- داود، أفين؛ جناد، أيهاب؛ وياغي، أحمد (٢٠١٣)، دراسة العلاقة بين معامل المحصول (Kc) لمحصول القمح المحدد حقلياً والقرينة النباتية المعدلة (NDVI) المستنتجة من بيانات الاستشعار عن بعد، المجلة العربية للبيئات الجافة، جامعة الدول العربية، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة.

المراجع الأجنبية:

- Alazba, A. (2004). Estimating Palm Water Requirements Using Penman-Monteith Mathematical Model. J. King Saud Univ., Vol. 16, Agric. Sci. (2), pp. 137-152, Riyadh (1424H./2004).
- Allen, R.G., L.S. Periera, D. Raes, and M. Smith. (1998a). Crop Evapotranspiration: Guideline for Computing Crop Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, pp. 57-58.

- Allen, R.G., L.S. Periera, D. Raes, and M. Smith. (1998b). *Crop Evapotranspiration: Guideline for Computing Crop Requirements*. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, pp. 65-75 .
- AL Omran, A. Eid, S. Alshammari, F. (2019). *Crop water requirements of date palm based on actual applied water and Penman–Monteith calculations in Saudi Arabia*. *Applied Water Science*, Springer. DOI: 10.1007/s13201-019-0936-6.
- Alshehri, F.; Sultan, M.; Karki, S.; Alwagdani, E.; Alsefry, S.; Alharbi, H.; Sahour, H.; Sturchio, N. (2020). *Mapping the distribution of shallow groundwater occurrences using Remote Sensing-based statistical modeling over southwest Saudi Arabia*. *Remote Sens*. 12, 1361 .
- Badawy, M. (2019). *Remote Sensing in Geoarchaeological Studies*. In: *Geomorphology, geoarcheology, and geoheritage: Modern Research and Advanced Geo-Techniques (International Workshop)*, 23rd and 24th March 2019, Department of Geography, Faculty of Arts, Ain Shams University, Cairo.
- Baig, M.B., Alotibi, Y., Straquadine, G.S., Alataway, A. (2020). *Water Resources in the Kingdom of Saudi Arabia: Challenges and Strategies for Improvement*. In: Zekri, S. (eds) *Water Policies in MENA Countries*. *Global Issues in Water Policy*, vol 23. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29274-4_7.
- Biro, K., Zeineldin, F., Al-Hajhoj, M., & Dinar, H. A. (2020). *ESTIMATING IRRIGATION WATER USE FOR DATE PALM USING REMOTE SENSING OVER AN OASIS IN ARID REGION*. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 51(4), 1173-1187. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/estimating-irrigation-water-use-date-palm-using/docview/2449680676/se-2>.
- Campos, I., Neale, C., Calera, A., Balbontín, C., and González-Piqueras, J. (2010). *Assessing satellite – based basal crop coefficients for irrigated grapes*. *Agricultural Water Management*.pp.45- 54.
- Chao, C. and Krueger, R. (2007). *The date Palms (Phoenix dactylifera L.): Overview of biology, Uses and cultivation*. *Horticulture Sciences* 42, 1077-1082. DOI:10.21273/HORTSCI.42.5.1077.
- Cuenca, R. H. (1989a). *Irrigation system design: An engineering approach*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.pp.110-113.
- Cuenca, R. H. (1989b). *Irrigation system design: An engineering approach*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.pp.150-155.
- El-Shirbeny, M.A., Ali, A.M., Badr, M.A. and Bauomy, E.M. (2014a). *Assessment of wheat crop coefficient using remote sensing techniques*. *World Res. J. Agric. Sci.* 1(2): 12-16.
- El-Shirbeny, M.A., Ali, A.M., Badr, M.A. and Bauomy, E.M. (2014b). *Assessment of wheat crop coefficient using remote sensing techniques*. *World Res. J. Agric. Sci.* 1(2): 6-8.

- Engebretson, C. (2020). *Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI) - Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 Level 1 (L1) Data Format Control Book (DFCB). USGS provides science for a changing world.*pp.3-4.
- Er-Raki, S., Chehbouni, A., Guemouria, N., Duchemin, B., Ezzahar, J. and Hadria, R. (2007). *Combining FAO-56 model and ground-based remote Sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. Agricultural Water Management.*pp.41- 54.
- Esri. (2023). *Esri. ArcMap. Retrieved from: What is ArcMap? —ArcMap/ Documentation (arcgis.com).*
- Gómez, C., Whitec, J., and Wulder, M. (2016). *Optical remotely sensed time series data for land cover classification: a review. ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing, vol. 116, pp. 55–72.*
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sens. Environ. 202, 18–27 .*
- Hexagon. (2019). *ERDAS IMAGINE The world's most widely used remote sensing software package. Product brochure.*pp.4- 5.
- Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allen, R. G. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70, American Society of Civil Engineers, New Work, 10017-2398. pp.22-23.*
- Jensen, M.E. (1974a), *Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep. Tech. Com. On Irrig. Water Requierments, Irrig. And Drain.Div., ASCE, 227. pp.9-10.*
- Jensen, M.E. (1974b), *Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep. Tech. Com. On Irrig. Water Requierments, Irrig. And Drain.Div., ASCE, 227. pp.25-26.*
- Jin, X. Guo, R. Xia, W. (2013). *Distribution of actual evapotranspiration over Qaidam basin, an Arid area in China. Remote Sens 5(12) :6976–6996. <https://doi.org/10.3390/rs5126976>.*
- Kennedy, J. B. and A. M. Neville. (1986). *Basic statistical methods for engineers and scientists. 3rd Ed., Harper & Row, New York, USA.*
- Li, W., Batty, M.; Goodchild, M., (2020). *Real-Time GIS for Smart Cities. International Journal of Geographical Information Science. 34, 311–324. doi.org/10.1080/13658816.2019.1673397.*
- Li, Y., Wang, H., Chen, Y., Deng, M., Li, Q., Wufu, A., Wang, D. & Ma, L. (2020). *Estimation of regional irrigation water requirements and water balance in Xinjiang, China during 1995–2017. PeerJ 8 (January), e8243. <https://doi.org/10.7717/peerj.8243>.*

- Ouda, O.; Shawesh, A.; Al-Olabi, T.; Younes, F.; Al-Waked, R. (2013). Review of domestic water conservation practices in Saudi Arabia. *Appl. Water Sci.* 2013, 3, 689–699 .
- Sayan, M. (2001). Landscaping with Palms in the Mediterranean. *Palms*, Vol. 45 No. 4, 171-176. [ar-agri_census_reporten_0.pdf \(stats.gov.sa\)](#)
- Savva, A. P., and Frenken, K. (2002). Crop water requirements and irrigation scheduling. *FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa Harare.*
- Smith, M. (1992). CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome.pp.3-4.*
- Tucker, C.J. (1980). A Spectral method for determining the percentage green Herbage material clipped samples. *Remote Sensing of Environment* 9(2): 175–181.

المراجع الالكترونية العربية:

- وزارة البيئة والمياه والزراعة (١٤٤٤، رمضان ٥)، البيئة: صادرات التمور تتخطى (١,٢٨) مليار ريال.. وإقبال كبير في الأسواق خلال شهر رمضان. موقع وزارة البيئة والمياه والزراعة. "البيئة:" صادرات التمور تتخطى (١,٢٨) مليار ريال... وإقبال كبير في الأسواق خلال شهر رمضان [\(mewa.gov.sa\)](#).

- وزارة البيئة والمياه والزراعة (١٤٤٥ أ، رجب ١٨)، الكتاب الإحصائي ١٤٤٣-١٤٤٤ هـ (٢٠٢٢م)، موقع وزارة البيئة والمياه والزراعة، وكالة الوزارة للشؤون الاقتصادية والتخصيص، الادارة العامة للمعلومات والإحصاء، الكتاب الاحصائي ص ص ١٣٠-١٣١.

[Statistical Year Book 2022.pdf \(mewa.gov.sa\)](#).

- وزارة البيئة والمياه والزراعة (١٤٤٥ اب، رجب ١٨)، الكتاب الإحصائي ١٤٤٢-١٤٤٣ هـ (٢٠٢١م)، موقع وزارة البيئة والمياه والزراعة، وكالة الوزارة للشؤون الاقتصادية والتخصيص، الادارة العامة للمعلومات والإحصاء، الكتاب الاحصائي ص ص ٢٩-٣٠، الكتاب الإحصائي ٢٠٢١ م [pdf \(mewa.gov.sa\)](#).

المراجع الالكترونية الأجنبية:

- <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0c.htm>.
- ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis | Earth Engine Data Catalog | Google for Developers.

Abstract:

Palm trees are one of the important economic tributaries that support the national economy by producing large quantities of dates and exporting them after self-sufficiency, but the obsession with estimating their water consumption remains among researchers, to search for the best methods through experimental equations that suit the climate of the study area. Therefore, the general objective of this study was to estimate the water consumption of palm trees using empirical equations and remote sensing technology, and to evaluate the relationship between them using statistical equations.

To achieve the general goal, two sub-goals were set as follows: (1) Using ground weather station data to apply experimental equations, and space station data through remote sensing technology, represented by processing and analyzing satellite visuals and programming to estimate palm trees' water consumption, (2) Comparing the obtained results. From estimating the water consumption of palm trees between the ground-based meteorological station (using empirical equations) and the space station (using remote sensing technology).

This study also included an analytical scientific research methodology for two basic stages to estimate palm trees' water consumption: The first stage is through climate data extracted from the ground meteorological station using empirical equations, and the second stage is through space station data through the Landsat 8 satellite using remote sensing technology.

The results, using experimental equations and remote sensing technology, reached 2477.5 mm/year and 2237.9 mm/year, respectively, and a strong direct correlation reaching 0.93. As for the results of the statistical equations, such as the determination equation (R^2), the root means square error (RMSE) equation, the mean absolute error equation (MAE), and the mean square error equation (MSE), were 0.868, 0.776, 0.608 and 0.602, respectively.

Keywords: *Palm trees, Empirical equations, Programming, Remote sensing technology, Natural Difference Vegetation Index (NDVI).*