

برنامج نظم معلومات جغرافية GIS لتقدير احتياجات مياه الري في المملكة العربية السعودية

العذبة¹، ع. ع.، القرني²، ع.م.، العرفج³، ف.م.

1- قسم الهندسة الزراعية، جامعة الملك سعود 2- قسم الهندسة المدنية، جامعة الملك سعود

3- قسم الميكانيكا والمعدات الثقيلة، كلية التقنيات الزراعية

الملخص

طور برنامج حاسوبي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS لتقدير احتياجات مياه الري في المملكة العربية السعودية. أنجز البحث على عدة مراحل، بدأت بالحصول على خريطة طبوغرافية للمملكة في صيغة ورقية بمقياس رسم قدره 1:4000000، ومن ثم مسحها ضوئياً وتحويلها إلى خريطة رقمية، وربطها بمحاور الشبكة الوطنية الجيوديسية للمملكة. كما تضمن العمل الحصول على البيانات الجغرافية لمخطات الأرصاء الجوية التابعة لوزارة الزراعة (الزراعة والمياه سابقاً) البالغ عددها 52 محطة، وتوقيعها على الخريطة الرقمية. كما تم الحصول على البيانات المناخية لجميع محطات الأرصاء وإعدادها بالصورة الملائمة وربطها بالخريطة الرقمية، وذلك للفترة من عام 1984 إلى عام 2000م. أعقب ذلك إعداد وبرمجة النماذج الرياضية المستخدمة في إجراء العمليات الحسابية اللازمة لتقدير احتياجات مياه الري بطريقة متوافقة مع قاعدة المعلومات الجغرافية. أخذنا في الاعتبار معامل الحصول؛ والاحتياجات المائية لغسيل التربة من الأملاح الزائدة؛ و فواقد مياه الري، يتم من خلال برنامج قاعدة المعلومات الجغرافي المطور حساب احتياجات مياه الري الكلية للمحصول المراد زراعته في المنطقة أو المناطق التي يتم تحديدها من على الخريطة الرقمية للمملكة، بعد أن يتم تقدير البخر-نتح المرجعي باستخدام نموذج بنمان-مونتيث. روعي في تصميم قاعدة المعلومات الجغرافية توطين التقنية وأن تكون سهلة الاستخدام، حيث تم تصميم وبرمجة الواجهات باللغة العربية، مما يساهم بإذن الله في إعطاء فرصة الاستخدام لأكثر عدد من المستفيدين، ومن المتوقع أن يساهم هذا العمل في مساعدة المسؤولين ذوي الصلاحية في اتخاذ كثير من القرارات ذات العلاقة بالمياه بصورة عامة، ومياه الري بصورة خاصة في المملكة العربية السعودية.

المقدمة

تقع المملكة العربية السعودية في نطاق المناطق الصحراوية القاحلة، ولذا فإنها تعاني من نقص حاد

في كمية وجودة المياه، وتصنف المملكة من الدول الفقيرة مائياً نظراً لمحدودية الموارد المائية فيها. كما أن النشاط الزراعي في المملكة يعتمد بشكل أساسي على المياه الجوفية غير القابلة للتجديد التي تمثل حوالي 75 % من مجمل مصادر مياه الري [1]. لذلك فإنه من الضروري استخدام مياه الري بأقصى كفاءة، أو بعبارة أخرى تعظيم إنتاجية وحدة المياه. إن الترشيد في استهلاك مياه الري يستند على عدد من العوامل والمتغيرات داخل وخارج الحقل المروي، من أهمها، تقدير الاحتياجات المائية للمحصول التي يطلق عليها عادة مصطلح البخر-نتح.

حظي تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية باهتمام كثير من الباحثين والمختصين لأهميته القصوى في المحافظة على الثروة المائية، وتحسين الإنتاجية المحصولية كماً ونوعاً، حيث أجرى العديد من التجارب الحقلية والدراسات النظرية لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل، وكان Briggs and Shantz [2،3] من أوائل الباحثين، ويعد Penman [4] و Budyako [5] أصحاب سبق في تطبيق مبدأ "اتزان الطاقة Energy balance" لتقدير البخر من سطوح النباتات، وكان Penman [6] هو أول من جمع بين اتزان الطاقة وانتقال الكتلة "Mass transfer" في معادلة واحدة سميت المعادلة المركبة، وعرفت فيما بعد بمعادلة بنمان المركبة، واستخدمت على نطاق واسع في أنحاء متفرقة من العالم. خلال الخمسة عقود الماضية حظيت معادلة بنمان بتحسينات عدة وأجرى عليها تعديلات مختلفة، خاصة عن طريق Doorenbos and Pruitt [7،8] من خلال منظمة الأغذية والزراعة (فاو)، و Monteith [9]. استخدمت معادلة بنمان-فاو على نطاق أوسع من معادلة بنمان-مونتيث نظراً لما تتطلبه الأخيرة من عناصر عديدة وحسابات دقيقة فضلاً على احتوائها على بعض المتغيرات التي يصعب تقديرها، خاصة عاملي مقاومة الهواء r_a ومقاومة السطح r_s ، واستطاع Allen et al. [10] تطوير علاقات رياضية أمكن من خلالها تقدير تلك العوامل كدوال خطية ولوغاريتمية في ارتفاع المحصول. وقد بين Jensen et al. [11] و Allen et al. [12] أن أفضل طريقة لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل هي معادلة بنمان-مونتيث. وللتأكد من ملائمة هذا النموذج للظروف البيئية للمملكة، أجرى Alazba [13] مقارنة بين صيغ مختلفة من معادلة بنمان المركبة من ضمنها معادلة بنمان-مونتيث، وتبين من الدراسة ملائمة معادلة بنمان-مونتيث للظروف البيئية للمملكة إلى حد كبير، ولذلك ستكون هي النموذج الرياضي المستخدم في البحث لحساب معدل البخر-نتح للمحصول المرجعي، ومن ثم احتياجات مياه الري في المملكة العربية السعودية.

على الرغم من قلة الأبحاث والدراسات التي أجريت في مجال تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل على المستوى المحلي مقارنة بالأبحاث والدراسات العالمية، إلا أن عدداً من الباحثين المحليين كان لهم جهوداً ملموسة في هذا الجانب. ومن خلال المسح الأدبي اتضح أن Saeed [14] من أوائل من قام بدراسة الاحتياجات المائية في منطقة الرياض، حيث أجرى تجربة حقلية لمعايرة عدد من المعادلات الرياضية المستخدمة في تقدير الاحتياجات المائية للمحصول، كما قدم في ذلك العمل بعض التقديرات الأولية لمعامل محصول القمح. ولقد استخدم Abo-Ghobar and Mohammad [15] ثلاثة لسيتمترات لقياس البخر-نتح

الفعلي لمحصل البرسيم في المزرعة التعليمية بكلية الزراعة، جامعة الملك سعود، وقد تم إيجاد معامل الارتباط بين كل من البخر-نتح المقاس والمحسوب من معادلة بنمان وجنسن-هيز وكذلك من معدلات التبخر من حوض البخر (صنف أ). كما قاس Mohammed [16] البخر-نتح المرجعي لمحصل البرسيم من ثلاثة لسنيمترات لمدة عامين متتاليين، كما تم تقدير البخر-نتح باستخدام عشر معادلات شائعة الاستعمال لنفس الفترة الزمنية بدلالة بعض البيانات المناخية، وتم قياس البخر من حوض البخر (صنف أ)، وبعد ذلك تم إيجاد معامل الارتباط المتعدد بين كل من البخر-نتح الذي تم تقديره من المعادلات والبخر المقاس من حوض البخر مع البخر - نتح الفعلي المقاس لغرض المعايرة، حيث وجد أن أفضل معامل ارتباط تم الحصول عليه هو من حوض البخر. ووجد أن معادلة بنمان هي الأفضل، لأن معامل الارتباط لها هو الأعلى خلال السنتين، والقيم المتحصل عليها يمكن أن تستخدم بدقة لتقدير البخر-نتح المرجعي تحت الظروف المناخية المحلية الجافة. استخدم Alazba [17] معادلة بنمان-مونتيت لتقدير الاحتياجات المائية للنخيل في عدد من المناطق المشتهرة بزراعة النخيل، وتوفر هذه الدراسة النظرية إلى جانب الأبحاث التطبيقية الأخرى السابقة الذكر بنية تحتية لمعرفة المنهج العلمي الصحيح في تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل على المستوى المحلي.

يتضح مما سبق أن تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لم تستخدم من قبل في تقدير الاحتياجات المائية في المملكة العربية السعودية، على الرغم من أنه منذ سنوات بدأ استخدامها عالمياً في التطبيقات الزراعية المختلفة بصورة عامة، وفي تقدير وإدارة مياه الري بصورة خاصة. فقد استفاد Thiruvengadachari and Conley [18] من تطبيق نظام الاستشعار عن بعد ومن تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تخطيط مشاريع الري الجديدة والتحكم في المشاريع القائمة. قام Papajorgji et al. [19] بتحديد توزيع المياه لاحتياجات الري الزراعي في ولاية فلوريدا بالولايات المتحدة بنظام المسح الجغرافي والذي تطلب استعمال بيانات إدارية ونظم معلومات جغرافية. كما طور Knox et al. [20] طريقة على هيئة خرائط لتنظيم التوزيع المكاني لمتطلبات مياه الري لمحصل البطاطس في إنجلترا وويلز باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

استخدم Ahmed et al. [21] صوراً فوتوغرافية للمساحات الزراعية وصنفتها في خرائط رقمية وتم استخدامها في نظم المعلومات الجغرافية لتحديد متطلبات المحصول من المياه، وطور Moon et al. [22] نظام معلومات جغرافي يساعد المسؤولين على تحليل نظم معلومات استخدام المياه والظروف المناخية. كما استخدم San-Payo et al. [23] جهازاً مبسطاً لموازنة المياه مع نظم المعلومات الجغرافية لتقدير الاحتياجات المائية في دراسة أقيمت جنوب البرتغال، وعمل Carreira et al. [24] على تقديم وصف تكاملي بين نموذج (ISAREG) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بهدف تقديم عمل مرّن لإدارة مياه الري على المستوى الإقليمي ويعمل نموذج (ISAREG) على عمل جداول ري وتقييم جداول الري القائمة، وقام Carvalho et al. [25] بإتمام عمليات حساب لاحتياجات الري وطول الدورات الإنتاجية لمحصل الذرة بريوفيرد ميناس جيريس-البرازيل عن طريق جمع البيانات من 8 محطات مع أنظمة المعلومات الجغرافية.

أستخدم Sousa et al. [26] عدد من محطات الأمطار والمحطات الجوية في منطقة تراس في البرتغال، ضمن نموذج محاكاة لجدولة الري للحصول على تقدير احتياجات الري لحصول البطاطس، وتم من خلاله تقدير البخر-نتح المرجعي باستخدام معادلة بنمان مونتيث حسب المنهج المتبع في منظمة الأغذية العالمية FAO56. كما قام Weatherhead et al. [27] بتطوير طريقة للتنبؤ بالنمو المستقبلي للطلب في الري بالدول التي تشمل أنظمة ري تقليدية، حيث استخدم فيها نظم المعلومات الجغرافية لوضع الرسم التخطيطي لهذا النمو، وقد تم تقديم خرائط توضح التغيير المتوقع في التوزيع الجوي لمتطلبات الري بين الأعوام 1996-2021 ومتطلبات الري النظرية لمخطط عام جاف لجميع المحاصيل المروية في عام 2021م. واستخدم Shih [28] بيانات نقل الصورة ذات التحليل العالي للطقس من القمر الصناعي Noaa لدراسة توزيع النباتات في Everglades، كما استخدم دالة الاحتمالات كأداة تكميلية لفحص نمط توزيع دليل النباتات الطبيعية تبعاً لظروف استخدامات الأرض، وقد تم ترميز هذه القيم وتخزينها في قاعدة بيانات مرتبطة بنظم المعلومات الجغرافية (GIS) يمكن عرضها على شاشة أو طباعتها لتوضيح التوزيع المكاني، وهذه الدراسة ذات أهمية خاصة لاستخدامها في تقدير الاحتياجات المائية للمحصول.

على الرغم من الانتشار الواسع لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية، فإن التطبيق المحلي لها لا يزال محدوداً سواء في المجال الزراعي أو غيره من المجالات، وربما يعتبر عمل ALWagdany [29] المتمثل في إنشاء خرائط رقمية للمتغيرين الهيدرولوجيين، وهما المطر ودرجة الحرارة، من أوائل الباحثين في تطبيق تقنية المعلومات الجغرافية في المملكة، ولكن البحث لم يتطرق إلى تقدير الاحتياجات المائية، بصورة عامة، ومياه الري بصفة خاصة، فضلاً عن عدم تغطيته للعناصر المناخية الأخرى مثل الرطوبة النسبية، وسرعة الرياح، والإشعاع الشمسي، التي تدخل في حساب احتياجات مياه الري. لذلك، فإن هذا البحث يهدف إلى تطوير برنامج حاسوبي يعتمد على تقنية نظم المعلومات الجغرافية لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية في المملكة العربية السعودية.

المواد ومنهجية تطوير البرنامج

المواد : تطلب إنجاز العمل استخدام عدداً من الأجهزة و البرامج الحاسوبية مثل الماسح الضوئي وبرنامج Map Info، وبرنامج Map X، وبرنامج Visual Basic، وبرنامج Access. كما تطلب العمل خريطة ورقية للمملكة وبيانات جغرافية ومناخية لمحطات الرصد التابعة لوزارة الزراعة (الزراعة والمياه سابقاً). كان لكل من هذه البرامج دوراً أساسياً في إعداد هذا العمل، حيث تم بواسطتها معالجة الخريطة الرقمية، وتصميم قواعد البيانات الأساسية، وإجراء العمليات الحسابية، وعمل الواجهات الرئيسية، وشاشات البحث، وشاشات التقارير، وشاشات التحديث، ويعد برنامج Map Info أحد النظم الحاسوبية لمعالجة الخرائط الجغرافية على الأجهزة الشخصية، ويوفر إمكانيات عالية في عرض الخرائط وتحليل البيانات، وإمكانية الربط بين قواعد البيانات العلائقية مثل Oracle و Access. تتكون خرائط Map Info من مجموعة من الملفات تشمل MAP *. وهو عبارة عن معلومات جغرافية هندسية لمكونات الخريطة، وDAT *. وهو عبارة عن

بيانات وصفية وجدولة ومرتبطة بالخصائص الأساسية للـ Map Info ، ID * وهو عبارة عن فهرس للبيانات الرسومية، وTAB * وهو الملف الأساسي لمعلومات Map Info ومرتبطة بالملفات السابقة، و * DBF وهو عبارة عن بيانات مجدولة باستخدام قواعد البيانات DBASE، وIND * وهو عبارة عن فهرس المعلومات للبيانات الجدولة (الوصفية). وقد تم استخدام Map Info لتوفير الخرائط الأساسية التي اشتملت على خريطة المملكة العربية السعودية، ومواقع المدن الرئيسية والمدن الصغيرة والقرى، ومواقع محطات الرصد المناخية، ومواقع الطرق والطواهر الخطية مثل الأودية.

أما برنامج Map X فهو عبارة عن مجموعة من حزم التحكم البرمجية (ActiveX(OCX) التي تمكن البرامج التطبيقية من التعامل مع الخرائط وعرضها ومعالجتها بسهولة، ويوفر Map X إمكانية واسعة من حزم التحكم ولغات البرمجة الحديثة مثل (Visual Basic وC++)، ومن خلال برنامج Visual Basic تم الاستفادة من مجموعة الحزم التي يوفرها Map X، ومنها حزمة التحكم Map X v4 Map Info، وذلك لعرض الخريطة ضمن شاشة البحث المصممة باستخدام لغة Visual Basic، كما يوفر Map X إمكانية الربط بين لغات البرمجة وتعريفات Map Info لشرائح الخرائط من خلال تعريف الشرائح باستخدام المعرف Object، إضافة إلى خدمة عرض التعليقات التي استخدمت في عرض نتائج العمليات الحسابية (ETref - IWR - ETc) على الخريطة وذلك بالربط بين نتيجة العمليات الحسابية وموقع المحطة من خلال خاصية الدالة الحركية Annotations. كما يوفر MapX مجموعة أخرى من أدوات وحزم التحكم بالخرائط المعالجة بواسطة نظام Map Info [30]. لقد مكن هذا البرنامج من تطوير البرنامج الحاسوبي باللغة العربية، حيث أن Map Info المتوفر آنذاك لم يوفر تلك الخدمة. في المقابل، فإن برنامج Visual Basic يتيح فرصة البرمجة المرئية باستخدام اللغة العربية بالنسبة للواجهات وتصميم الشاشات. لذا كان من ضمن البرامج المستخدمة لإنجاز هذا العمل برنامج Visual Basic وهو من لغات البرمجة الحديثة وتم استخدامها لتطوير البرنامج التطبيقي لقاعدة البيانات الجغرافية وإنشاء شاشات الربط بين قاعدة البيانات والمستخدم Front End . وتم الاستفادة من إمكانيات البرنامج في الربط بين قاعدة البيانات التي تم إعدادها باستخدام برنامج Access، والخرائط التي تم إنشاؤها بواسطة Map Info من خلال الأدوات التي يوفرها Map X كما ذكر من قبل. أما بالنسبة لبرنامج Access فقد أستخدم في حفظ بيانات المحطات الثابتة والبيانات المقاسة والبيانات التشغيلية لعمل البرنامج، وإعداد التقارير النهائية للعرض والطباعة والمراجعة من قبل المستخدم Back .End

منهجية تطوير البرنامج الحاسوبي

حساب احتياجات مياه الري : تمثل احتياجات مياه الري كمية المياه المضافة (عمق أو حجم/فترة زمنية) بواسطة نظام الري المستخدم التي يحتاج لها النبات لمواجهة البحر - نتج (الاستهلاك المائي)، مضافا إليها

الاحتياجات الغسيلية، وفوائد المياه خلال عملية النقل وأثناء توزيع المياه داخل الحقل المروي. وتم حساب الاحتياجات المائية للري من خلال المعادلة الرياضية التالية :

$$(1) \quad IWR = \frac{ET_c}{E_i (1 - LR)}$$

حيث:

IWR . الاحتياجات المائية الكلية.
ETc . معدل البخر - نتح للمحصول.
E_i . كفاءة الري (كسر عشري).
LR . الاحتياجات الغسيلية (كسر عشري).

تم تقدير معدل البخر-نتح للمحصول بواسطة العلاقة التالية:

$$ET_c = Kc \times ET_{ref} \quad (2)$$

حيث:

Kc . معامل المحصول.
ET_{ref} . معدل البخر -نتح المرجعي.

لحساب Kc و ET_{ref} في المعادلة رقم (2)، أتبع المنهجية التي وردت في FAO56 [12]، مع ملاحظة أنه تم اعتبار قيم Kc خلال مرحلة التطور (المرحلة الثانية)، ومرحلة النضج والحصاد (المرحلة الرابعة) قيم ثابتة كالتبع بالنسبة لقيم Kc خلال مرحلتَي الإنبات (المرحلة الأولى) والإثمار (المرحلة الثالثة). ويوضح الشكل رقم (1) الطريقة المتبعة في حساب قيم معامل المحصول Kc خلال الفترات أو المراحل الأربع لنمو المحصول. كما يتضح من الشكل رقم (1)، فقد أخذت قيمة Kc لمرحلة التطور (Kc₂) كقيمة متوسطة لقيمة Kc في مرحلة الإنبات (Kc_{ini}) وقيمة Kc في مرحلة الإثمار (Kc_{mid})، أي أن:

$$Kc_2 = \frac{Kc_{ini} + Kc_{mid}}{2} \quad (3)$$

بالمثل، حسب معامل المحصول خلال مرحلة النضج والحصاد (Kc₄) كقيمة متوسطة كالتالي:

$$Kc_4 = \frac{Kc_{mid} + Kc_{end}}{2} \quad (4)$$

بالنسبة لمعامل المحصول خلال مرحلة الإنبات (Kc₁) وخلال مرحلة الإثمار Kc₃ فقد أخذت قيمتهما مساوية لقيم Kc_{ini} و Kc_{mid}، على التوالي. ويمكن الحصول على قيم Kc_{ini} و Kc_{mid} و Kc_{end} من مراجع موثقة مثل ASCE70 و FAO56 [11،12]، أو قيم نتائج تجارب حقلية عملت في نفس المنطقة المراد حساب الاحتياجات المائية للمحاصيل التي يراد زراعتها في تلك المنطقة. على المستخدم أن يدرك مدى الارتباط المتلازم بين قيم Kc وبين المحصول المرجعي المستخدم في تقدير البخر-نتح المرجعي، حيث أن Kc تحسب

على أساس أن المحصول المرجعي هو البرسيم أو العشب. ففي حالة رغبة المستخدم تقدير البخر-نتح المرجعي على أساس العشب، فيجب استخدام قيم معامل المحصول التي تم الحصول عليها على أساس العشب. لتقدير معدل البخر-نتح المرجعي ET_{ref} استخدمت معادلة بنمان-مونتيث (Penman-Monteith) نظراً لدقتها [11،12]، ويمكن كتابتها بالصيغة الرياضية التالية [23]:

$$ET_{ref} = \lambda^{-1} \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K(e_s - e_a) \right] \quad (5)$$

حيث :

- λ الحرارة الكامنة للبخر [ميقاجول/كجم].
- ميل منحنى ضغط بخار الماء المشبع مع درجة الحرارة عند درجة الحرارة المتوسطة [كيلو باسكال/م].
- Δ ثابت جهاز قياس الرطوبة [كيلو باسكال/م].
- R_n صافي الإشعاع [ميقاجول/م².يوم].
- G تدفق الحرارة من وإلى التربة [ميقاجول/م².يوم].
- γ^* ثابت جهاز الرطوبة المطور [كيلو باسكال/م].
- K معامل حساسي [ميقاجول/م².يوم.كيوباسكال].
- e_s ضغط البخار المشبع [كيلو باسكال].
- e_a ضغط البخار الحقيقي [كيلو باسكال].

لحساب المتغيرات السابقة، اتبعت المنهجية المقترحة من قبل FAO56 [12]. أما بالنسبة للاحتياجات الغسيلية وكفاءة الري فقد أخذت كقيم محددة يقوم المستخدم بإدخالها إلى البرنامج الحاسوبي، وفي حالة عدم إدخال المستخدم القيمة المطلوبة، فإن البرنامج يستخدم قيماً افتراضية تساوي 0.1 و 0.7 لكل من الاحتياجات الغسيلية وكفاءة الري، على التوالي.

إعداد الخريطة الرقمية وقاعدة المعلومات الجغرافية

بعد الحصول على خريطة ورقية طبوغرافية للمملكة بمقياس رسم 1:4.000.000 من إدارة المساحة العسكرية التابعة لوزارة الدفاع والطيران، تم عمل المسح الضوئي للخريطة بدقة 400 نقطة في البوصة بواسطة جهاز مسح ضوئي بالتعاون مع قسم المساحة في وزارة الشؤون البلدية والقروية. وتم بعد ذلك معالجة الخريطة وتوجيهها وربطها جغرافياً بالشبكة الوطنية لتصبح ملائمة لأخذ المعلومات الأرضية الجيومترية منها، وذلك بالتعاون مع هندسة المساحة بجامعة الملك سعود، وتم حفظ الخريطة الرقمية بطريقة متوافقة وملائمة مع برنامج معالجة الخرائط Map Info المستخدم في هذا العمل.

بعد الحصول على البيانات الجغرافية لمحطات الأرصاد اللازمة لعمل قاعدة المعلومات الجغرافية عن طريق مركز الوثائق والمعلومات بالتنسيق مع قسم الهيدرولوجيا التابع لإدارة تنمية موارد المياه بوزارة الزراعة (الزراعة والمياه سابقاً)، وتمثل في المحطات المناخية التابعة للوزارة وعددها 52 محطة رصد موزعة في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية. وتم معالجة مواقع هذه المحطات وأسقاطها على خريطة المملكة لتأخذ مكانها الجغرافي الصحيح، وتمت هذه المعالجة في مختبرات هندسة المساحة بقسم الهندسة المدنية بجامعة الملك سعود. وقد اشتملت البيانات المناخية على درجات الحرارة العظمى والصغرى؛ والرطوبة النسبية العظمى والصغرى؛ والإشعاع الشمسي؛ وسرعة الرياح؛ وساعات السطوع الشمسي؛ والبحر؛ وكميات الأمطار. وكانت البيانات المناخية التي تم الحصول عليها تغطي في معظمها الفترة من عام 1984م إلى عام 2000م. كما اشتملت البيانات أيضاً على ارتفاع أجهزة القياس في تلك المحطات.

معالجة الخريطة والمعلومات الجغرافية للمملكة العربية السعودية

تعتمد نظم المعلومات الجغرافية اعتماداً أساسياً على المعلومات التي تحتويها وهي الوقود المحرك الذي بدونه لا يمكن أن تعمل هذه النظم. كما أن كفاءة ودقة هذه النظم تتأثر سلباً وإيجاباً بنوع المعلومات وجودها التي تغذى بها هذه النظم. وتقسّم المعلومات في نظم المعلومات الجغرافية إلى المعلومات الهندسية وتمثل في المعلومات الرقمية المكانية التي يمكن وصفها على أنها الخرائط الإلكترونية والصور وغيرها مما يعكس ويعبر ويحاكي عالم الواقع الجغرافي، والمعلومات الوصفية أو البيانية وتشمل كافة المعلومات التي توضع على هيئة نصوص رقمية أو أحرف هجائية في قاعدة بيانات ثنائية الأبعاد ترتبط بالظواهر الجغرافية المثلثة من خلال الخرائط الإلكترونية. يجب التنويه هنا بأنه تم إجراء بعض التعديلات والإضافات الأساسية على برنامج نظام المعلومات الجغرافي من أجل تسهيل التعامل مع المعلومات بشكل يعكس الواقع على نحو صحيح، حيث أن أغلب البرامج المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية تكون عامة وغير مهيأة للتعامل مع المعلومات الوطنية. ولذلك فجزء مهم من توطيق هذه التقنية يكمن في تهيئة هذه البرامج بشكل يتناسب مع الشبكات الوطنية الجيوديسية وجعلها مستوفية للشروط الخاصة بنقل المحاور ومساقط الخرائط المستخدمة في المملكة العربية السعودية، وقد تم هنا إضافة خصائص القطاع الناقص الاهليجي للمملكة وهو هايفور، وأدخلت مراجع الشبكة الوطنية المثلثة في مرجع عين العبد الإسنادي، واعتبر متوسط مستوى سطح البحر هو المرجع الرأسي. هذه المعلومات برمجت لتكون جزء من أساسيات الـ GIS المستخدم والممثل في برنامج الـ Map Info و رديفه Map X، وبواسطة هذا البرنامج أمكن إسقاط محطات الرصد المناخية على الخريطة الرئيسية للمملكة العربية السعودية.

النتائج والمناقشة

الشاشات الرئيسية

شاشة الخريطة الرئيسية وشاشة البحث

يبين الشكل رقم (2) أول شاشة تظهر أمام المستخدم، وتوضح الخريطة الرئيسية للمملكة العربية السعودية، ولذا سميت بشاشة الخريطة الرئيسية. توفر شاشة الخريطة الرئيسية إمكانية عرض الخريطة الأساسية للمملكة العربية السعودية موقعاً عليها المدن الرئيسية والمدن الصغيرة والقرى والمحطات المناخية، ويتم من خلالها البحث وتحديد المحطات المطلوب إجراء الحسابات عندها.

كما تحتوي هذه الشاشة على مجموعة من الأيقونات لكل منها خاصية تنفيذ عمل معين، وتظهر النتائج على أساس نظام المربعات. كما أن هذه الشاشة تشتمل على مربع سرد شرائح البحث لتحديد واختيار شريحة البحث المطلوب التعامل معها، وهو يحتوي على شرائح المدن الرئيسية - والمدن الكبيرة - والمدن الصغيرة - والمحطات. ومن خصائص الشاشة الرئيسية أيضا مربع إظهار نتائج البحث ليتم عرض أي نتائج يتم الاستعلام عنها بواسطة أيقونات البحث، ومربع إظهار عدد سجلات نتائج البحث لمعرفة عدد السجلات التي تم عرضها في مربع إظهار نتائج البحث.

يبين الشكل رقم (3) شاشة البحث الرئيسية التي تظهر للمستخدم بعد الضغط على أيقونة إجراء البحث بعد تحديد الموقع الجغرافي باستخدام وسائل البحث (اسم، نقطة، دائرة)، كما ذكر من قبل. وتشابه هذه الشاشة مع شاشة الخريطة الرئيسية إلى حد كبير، وتختلف عنها في ظهور أيقونات إجراء الحسابات التي تتكون من الآتي:

1 - أيقونات الدخول للعمليات الحسابية وتشمل:

- أ- أيقونة البحر-نتح المرجعي التي تمكن المستخدم من الدخول إلى شاشة حساب معدل البحر نتح المرجعي (الشكل رقم 4) بعد الضغط عليها بالمؤشر.
- ب- أيقونة البحر-نتح للمحصول التي بعد الضغط عليها بالمؤشر يتم الدخول إلى شاشة حساب معدل البحر-نتح للمحصول، الشكل رقم (5).
- ت- أيقونة الاحتياجات المائية الكلية التي من خلالها يتم الدخول إلى شاشة الاحتياجات المائية الكلية (الشكل رقم 6) بعد الضغط عليها بالمؤشر.

2 - أيقونة التقارير وتحديث البيانات التي من خلالها يتم الانتقال من شاشة البحث الرئيسية إلى شاشات التقارير والحسابات التفصيلية والمعلومات الأساسية لمحطات الأرصاد المناخية، بالإضافة إلى شاشة تحديث البيانات المناخية التي تعد ذو أهمية إذ أن عملية التحديث من سمات البرنامج المتميز. ويجب أن نوضح هنا بأن عملية التحديث لا تتم إلا من خلال كلمة سر لضمان عدم تغيير البيانات المناخية مما يؤدي إلى نتائج خاطئة لا تحقق الهدف المنشود من هذا العمل وهو الترشيد في المياه.

شاشات حساب IWR-ETc-ETref : تبين الأشكال رقم (4-6) شاشة حساب البخر-نتح المرجعي ETref، وشاشة حساب البخر-نتح للمحصول ETc، وشاشة حساب احتياجات مياه الري الكلية IWR، على التوالي. تشترك هذه الشاشات في المعلومات الخاصة بالموقع المراد إجراء الحساب عنده مثل رقم واسم المحطة، وعلى خانتين لتحديد السنوات المستخدمة في التنبؤ (البداية والنهاية). كما تشترك في المعلومات الخاصة بنوع المحصول المرجعي (البرسيم أو العشب)، وعلى خانة اختيار المحصول المراد زراعته من بين مجموعة من المحاصيل (حبوب، وخضروات وفواكه، وأعلاف). وتحتوي أيضاً على حقل فيه يتم تحديد مساحة الحقل المراد زراعته بالهكتار، وعلى مربعات لتحديد سنة الزراعة، وعدد أيام (طول) الموسم، وأربع فترات نمو التي تحتوي على عدة حقول لا بد من ملئها بالمعلومات الضرورية لإجراء العمليات الحسابية، وتشمل: بداية ونهاية فترة النمو باليوم والشهر للسنوات المحددة مسبقاً كما تحتوي على الارتفاع الخضري للمحصول المرجعي والذي يتم تحديده عند اختيار نوع المحصول المرجعي الذي قيمته الافتراضية هي 12 سم لمحصول العشب و 50 سم لمحصول البرسيم، ويمكن للمستخدم إدخال قيم مختلفة. وتحتوي تلك الشاشات على نتائج العمليات الحسابية، وهي متوسط عمق الاحتياج المائي، وعمق وحجم الاحتياج المائي الكلي. كما تشمل هذه الشاشات على أيقونة من خلالها يمكن الدخول إلى التقارير وتحديث المعلومات، وأيقونة العودة أو الرجوع إلى شاشة البحث الرئيسية للمحطات.

يبين الشكل رقم (5) شاشة حساب معدل البخر-نتح للمحصول التي تختلف عن سابقتها في وجود مربعات خاصة بمعامل المحصول لفترات النمو المختلفة. ويجب ملاحظة أن على المستخدم إدخال قيم المحصول الثلاث وهي Kc_{ini} ، و Kc_{mid} ، و Kc_{end} لمراحل النمو المختلفة. ويبين الشكل رقم (6) شاشة حساب الاحتياجات المائية الكلية التي تحتوي على خانتين إضافيتين لكل من نسبة الاحتياجات الغسيلية، وكفاءة الري. ويلاحظ من الشكل رقم (6) وجود خانتين نسبة الاحتياجات الغسيلية وكفاءة الري في جميع مراحل النمو الأربع، وذلك لإعطاء فرصة استخدام قيم تختلف من مرحلة لأخرى، إذ من المتوقع انخفاض كفاءة الري وزيادة الأملاح المتراكمة في التربة في نهاية الموسم عنها في بداية الموسم.

شاشة عرض النتائج على الخريطة : يوضح الشكل رقم (7) شاشة عرض النتائج على الخريطة الرقمية للمملكة. وكما يتضح من الشكل رقم (7)، فإن النتائج التي يمكن استعراضها على الخريطة هي قيم متوسط معدل البخر-نتح المرجعي ETref سواء البرسيم أو العشب، والبخر-نتح للمحصول المراد زراعته ETc، واحتياجات مياه الري الكلية IWR. كما يتضح من الشكل رقم (7) أن هناك ثلاث أيقونات للتحكم في إظهار وإخفاء نتائج الحسابات على الخريطة بالنسبة للبخر-نتح المرجعي، والبخر-نتح للمحصول، والاحتياجات المائية الكلية.

يجب التنويه هنا، أنه تم في هذا البرنامج تطوير عدد من الشاشات المتعلقة بتحديث البيانات الجغرافية والمناخية، وعدد من شاشات التقارير تشمل على نتائج تفصيلية لحسابات البخر-نتح المرجعي، والبخر-نتح للمحصول، والاحتياجات المائية الكلية لكل فترة من فترات النمو ولكامل موسم النمو [36].

التحقق من صحة البرنامج : تم التحقق من صحة برنامج نظم المعلومات الجغرافية المطور على مرحلتين. تمثلت المرحلة الأولى في تطوير برنامج حاسوبي باستخدام Excel الذي تم التأكد من نتائجه من خلال مثال محلول موثق اخذ من FAO56 [12]. في المرحلة الثانية تم التحقق من برنامج نظم المعلومات الجغرافية المطور باستخدام برنامج Excel. تم هذا الإجراء نظراً لأن البيانات المناخية المخزنة في قاعدة البيانات والمستخدمه في حسابات الاحتياجات المائية للمحاصيل مرتبطة بالموقع الجغرافي لمحطة الأرصاد الواقعة داخل نطاق جغرافي محدد، ولا يسمح البرنامج الحاسوبي المطور بإدخال بيانات مناخية عامة لا ترتبط بالموقع الجغرافي. في المقابل فإن البيانات المناخية للمثال المحلول مرتبطة بموقع جغرافي لا يقع في نطاق الحدود الجغرافية للمملكة.

اختبار صحة برنامج Excel : تشتمل معطيات المثال رقم (18) المأخوذ من Allen et al. [12] على: الموقع 50 درجة 48 دقيقة شمالاً، والارتفاع عن سطح البحر 100 متر، ودرجة الحرارة العظمى 21.5 م° ، والصغرى 12.3 م°، والرطوبة النسبية العظمى والصغرى 84 و 63 %، على التوالي، وسرعة الرياح 2.078 متر/ثانية، والإشعاع الشمسي قصير الموجة 22.07 ميغاجول/(متر².يوم)، وتدفق الحرارة من وإلى التربة صفر ميغاجول/(متر².يوم)، والمحصول المرجعي هو العشب وارتفاعه يساوي 15 سم.

حساب البخر-نتح المرجعي

نتائج المثال الموثق الضغط $P = 100.1$ كيلو باسكال، ودرجة الحرارة المتوسطة $= 16.9$ م°، و $= 0.122$ كيلو باسكال/م°، و $= 0.0666$ كيلو باسكال/م°، $e^o(T_{max}) = 2.564$ كيلو باسكال، و $e^o(T_{min}) = 1.431$ كيلو باسكال، و $e_s = 1.997$ كيلو باسكال، و $e_a = 1.409$ كيلو باسكال، $(e_s - e_a) = 0.589$ كيلو باسكال، وموقع اليوم بالنسبة للسنة (J) = 187، والموقع الجغرافي 50.80 درجة شمالاً، و $R_a = 41.09$ ميغاجول/(م².يوم)، و $R_{so} = 30.9$ ميغاجول/(م².يوم)، و $R_{nl} = 3.71$ ميغاجول/(م².يوم)، و $R_n = 13.28$ ميغاجول/(م².يوم).

البخر-نتح المرجعي $ET_o = 3.88$ مم/يوم

نتائج برنامج Excel $P = 100.1$ كيلو باسكال، ودرجة الحرارة المتوسطة $= 16.9$ م°، و $= 0.122$ كيلو باسكال/م°، و $= 0.0666$ كيلو باسكال/م°، $e^o(T_{max}) = 2.564$ كيلو باسكال، و $e^o(T_{min}) = 1.431$ كيلو باسكال، و $e_s = 1.997$ كيلو باسكال، و $e_a = 1.409$ كيلو باسكال، و $(e_s - e_a) = 0.589$ كيلو باسكال، و J = 187، والموقع 50.80 درجة شمالاً، والجوي $R_a = 41.09$ ميغاجول/(م².يوم)، و $R_{so} = 30.9$ ميغاجول/(م².يوم)، و $R_{nl} = 3.71$ ميغاجول/(م².يوم)، و $R_n = 13.28$ ميغاجول/(م².يوم).

البخر-نتح المرجعي $ET_o = 3.87$ مم/يوم

اختبار صحة النموذج المطور : تم اختبار صحة البرنامج من خلال تنفيذ العمليات الحسابية لمخطة الأرصاد التابعة لمنطقة الرياض، ثم أخذت المعطيات الجغرافية والمناخية لهذه المخطة وتم إدراجها في برنامج Excel، كما يتضح من الخطوات التالية:

- ✓ رقم المخطة المناخية = 452، واسمها = محطة الرياض، ارتفاع الموقع = 564 متر، خط الطول = 46.7167 شرقاً، خط العرض = 4.5667 شمالاً.
- ✓ نوع المحصول المراد زراعته = الشعير، والمساحة المراد زراعتها = 2 هكتار، و طول موسم الزراعة = 130 يوم، والمعلومات المناخية المستخدمة للتنبؤ بالاحتياجات المائية هي درجة الحرارة (العظمى والصغرى)، الرطوبة النسبية (العظمى والصغرى)، سرعة الرياح، الإشعاع الشمسي وذلك لموسمين زراعيين لعام 1994م وعام 1995م، و المحصول المرجعي = البرسيم، والارتفاع الخضري للمحصول المرجعي = 50 سم.
- ✓ معامل المحصول المستخدم للمراحل المختلفة:
- ✓ مرحلة بداية الموسم $Kc_{ini} = 0.3$ مرحلة وسط الموسم $Kc_{mid} = 1.15$ مرحلة نهاية الموسم $Kc_{end} = 0.4$.
- ✓ كفاءة الري = 0.7، والاحتياجات الغسيلية = 0.1.

نتائج الحسابات باستخدام برنامج Excel: متوسط البخر- نتح المرجعي (مم/يوم) = 7.93، ومتوسط البخر- نتح للمحصول (مم/يوم) = 5.69، و متوسط الاحتياجات المائية الكلية (مم/يوم) = 9.03. نتائج الحسابات باستخدام النموذج الحاسوبي المطور متوسط البخر- نتح المرجعي (مم/يوم) = 7.93، ومتوسط البخر- نتح للمحصول (مم/يوم) = 5.69، و متوسط الاحتياجات المائية الكلية (مم/يوم) = 9.03.

يتضح مما سبق أن هناك تطابقاً في نتائج برنامج Excel ونتائج برنامج نظم المعلومات الجغرافية المطور مما يثبت صحة نتائج البرنامج المطور، وأن جميع العمليات الحسابية تتم بالصورة المطلوبة. يجدر في هذا المقام التنبيه إلى أن مثل هذه البرامج الحاسوبية تحتاج إلى تطوير وتحسين مستمرين. وجددير بالذكر أنه على الرغم من الجهد الكبير الذي بذل في تلافي العيوب البرمجية، إلا أن اكتشاف بعض العيوب في البرامج الحاسوبية لا يظهر في غالب الأمر إلا مع الاستخدام العميق لها، مما يعني حتمية الاستمرار في تطوير هذا العمل.

الخاتمة والتوصيات

تم تطوير برنامج حاسوبي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لتقدير احتياجات المائية للمحاصيل الزراعية في المملكة العربية السعودية. يعطي البرنامج الحاسوبي المطور المستخدم فرصة اختيار المنطقة أو المناطق التي يرغب في معرفة احتياجات مياه الري لها من على الخريطة الرقمية للمملكة. يقوم المستخدم بعد ذلك بإدخال البيانات اللازمة من خلال عدد من الشاشات لإجراء العمليات الحسابية، ويكون أمام المستخدم ثلاث

خيارات، هي (1) حساب البخر-نتح المرجعي لحصول الريسم أو لحصول العشب باستخدام معادلة بنمان-مونتيث، (2) حساب البخر-نتح لحصول معين مستخدماً معادلة بنمان-مونتيث، وفي هذه الحالة يتطلب من المستخدم إدخال بعض خصائص الحصول، كطول فترات النمو المختلفة، وقيم معامل الحصول لكل فترة، (3) حساب الاحتياجات المائية الكلية للري، وفي هذه الحالة يتطلب من المستخدم إدخال البيانات المتعلقة بالحصول المرجعي والحصول المراد زراعته، بالإضافة إلى نسبة الاحتياجات الغسيلية وكفاءة الري. بعد الانتهاء من العمليات الحسابية، يقوم برنامج نظم المعلومات الجغرافية بعرض نتائج البخر-نتح المرجعي، والبخر-نتح للحصول، والاحتياجات المائية الكلية على الخريطة الرقمية للمملكة في المواقع التي تم تحديدها مسبقاً من قبل المستخدم. ويعطي البرنامج الحاسوبي المطور المستخدم فرصة إظهار أو إخفاء النتائج على الخريطة تبعاً للاحتياج والهدف من العملية الحسابية، ومقارنة الاختلاف في النتائج من على الخريطة الرقمية. كما أن البرنامج الحاسوبي يتيح للمستخدم استعراض تقارير تفصيلية عن النتائج ومن ثم حفظها في ملف أو إرسالها إلى الطابعة كي يتم مراجعتها والتأكد من صحتها على نحو متأن، ويمكن للمختصين والباحثين استعراض تفاصيل العمليات الحسابية على نحو أكثر شمولية، خاصة فيما يتعلق بمعادلة بنمان-مونتيث.

يتوقع أن يستفيد من هذا البرنامج أصحاب المزارع الخاصة والشركات الزراعية، بالإضافة إلى الباحثين والمختصين وطلاب الدراسات الجامعية وطلاب الدراسات العليا، ومن المتوقع الاعتماد على برنامج المعلومات الجغرافي المطور في التقدير المستقبلي (التنبؤ) لاحتياجات مياه الري على مستوى القطاع الخاص وعلى المستوى الوطني، ولذا فإن التطوير والتحسين المستمرين للبرنامج والتحديث الدوري لبيانات العناصر المناخية هي متطلبات رئيسية لديمومة الاستخدام الفاعل لهذا البرنامج الحاسوبي.

شكر وتقدير

إن هذا العمل لم يكن ليتم إلا بفضل من الله ثم تضافر الجهود وتعاون كثير من الجهات التي شملت إدارة المساحة العسكرية التابعة لوزارة الدفاع والطيران على المساعدة في الحصول على الخرائط الورقية، وقسم المساحة في وزارة الشؤون البلدية والقروية على المساعدة في مسح الخرائط ضوئياً وتحويلها إلى رقمية، وقسم الهيدرولوجيا ومركز السجلات والوثائق في وزارة الزراعة على المساعدة في الحصول على البيانات المناخية، وقسم الهندسة المدنية في جامعة الملك سعود ممثلاً في الهندسة المساحية على المساعدة في إعداد وهيئة الخرائط في مختبراتها، ومدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وعمادة الدراسات العليا بجامعة الملك سعود مركز البحوث الزراعية بكلية الزراعة بجامعة الملك سعود على دعمهم المالي لهذا البحث.

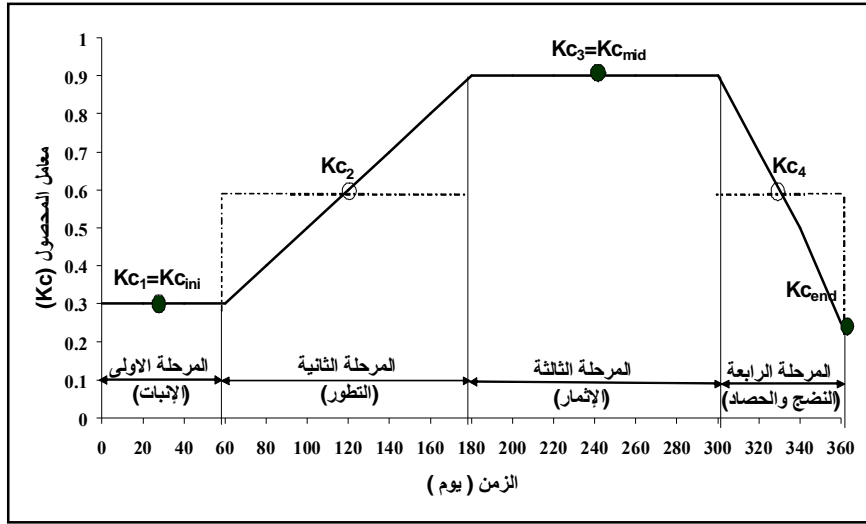
كما يعبر المؤلفون عن عميق الشكر ووافر التقدير لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث وإخراجه في صورته الحالية، ونود التنبيه إلى أن حقوق هذا العمل محفوظة لدى قسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة-جامعة الملك سعود بالرياض.

المراجع

- [1] وزارة الزراعة والمياه. (2000) ، "مؤشرات إحصائية عن الزراعة والمياه في المملكة العربية السعودية". إدارة الدراسات الاقتصادية والإحصاء، العدد الثالث عشر. الرياض، المملكة العربية السعودية ، 354.
- [2] **Briggs, L. J. and Shantz, H. L.** "The water requirements of plants. I. Investigations in the Great Plains in 1910 and 1911."U.S.Dep. Agric. Bur. Plant Indr. Bull. 284 (1913), 49.
- [3] **Briggs, L. J. and Shantz, H. L.** "Relative water requirements of plants." J. Agric. Res., 3 (1914), 11-64.
- [4] **Penman, H. L.** "Natural evaporation from open water, bare soil and grass." Proc. Roy. Soc. London, A193 (1948), 120-146.
- [5] **Budyko, M. I.** "Evaporation under natural conditions." (translated from Russian). U.S. Dep. Com. Program Sci. Transl. 751 (1948), 130.
- [6] **Penman, H. L.** "Vegetation and hydrology. Tech. Comn. No. 53, Common-wealth Bureau of Soils, Harpenden, England, (1963), 125.
- [7] **Doorenbos, J. and Pruitt, W. O.** "Guidelines for prediction of crop water requirements." FAO Irrig. And Drain. Paper No. 24, FAO, Rome, Italy, (1975), 179.
- [8] **Doorenbos, J. and Pruitt, W. O.** "Guidelines for prediction of crop water requirements." FAO Irrig. And Drain. Paper No. 24, 2nd ed., FAO, Rome, Italy., (1977), 156.
- [9] **Monteith, J.** "Evaporation and the environment." In The state and movement of water in living organisms, XIXth Symposium. Soc. For Exp. Biol., Swansea, Cambridge University Press, (1965), 205-234.
- [10] **Allen, R. G., Jensen, M.E., Wright, J. L. and Burman, R. D.** "Operational estimates of evapotranspiration." Agron. J.,81 (1989), 650-662.

- Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allen, R. G.** “evapotranspiration and irrigation water requirements” ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70, American Society of Civil Engineers, New York, (1990), 10017-2398. [11]
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M.** “Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements”. FAO Irrig. And Drain. Paper No. 56, FAO, Roma, Italy, (1998), 300. [12]
- Alazba, A. A.** “Assessment of Penman-Monteith equation and various methods of modeling reference evapotranspiration for hyper-arid area”, Bull. Fac. Agric., Cairo Univ., 55(1), (2004), xx-xx. [13]
- Saeed, M.** “The estimation of evapotranspiration by some equations under hot and dry conditions.” Trans. of ASAE, vol. 29 no. 2 (1986), 434-438. [14]
- Abo-Ghobar, H. M., and Mohammad, F. S.** “Actual evapotranspiration measurements by lysimeters in a desert climate”. Arab Gulf Journal of Scientific Research. Vol. 13 no. 1 (1995), 109-122. [15]
- Mohammad, F. S.** “Calibration and use of evapotranspiration equations under arid climatic conditions”. Journal of King Saud University, vol. 7 no. 3&4 (1998), 185-200. [16]
- Alazba, A. A.** “Theoretical Estimate of Palm Water requirements using Penman – Monteith Model.” ASAE, St. Joseph, MI, (2001), paper # 012100. [17]
- Thiruvengadachari, S. and Conley, A. H.** “Use of satellite remote sensing in irrigation system management”. Sustainability of irrigated agriculture-management information systems in irrigation and drainage (symposium), vol. 1-E (1993), 2-14 [18]
- Papajorgji, P., Zazueta, F. S., Xin, J. N., Moore, C. and Lamm, F. R.** “Simulated crop water use , a GIS approach”. In proceedings of the fifth International microirrigation Congress , ASAE, (1995), 532-537. [19]
- Knox, J. W., Weatherhead, E. K. and Bradley, R. I.** “Mapping the spatial distribution of volumetric irrigation water requirements for maincrop potatoes in England and Wales”. Agricultural Water Management , vol. 31 (1995), 1-15. [20]
- Ahmed, R. H., Neale, C. M. U., Camp, C. R., Sadler, E. J. and Yoder, R. E.** “Estimating crop water requirements of a command area using remote sensing”. In proceedings of the international conference, San Antonio, Texas ,ASAE, (1996), 1146-1150. [21]
- Moon, D., Der.Gulik.Van, T. W., Comp, C. R. and Sadler, E. J.** “Irrigation scheduling using GIS” Evapotranspiration and irrigation scheduling. proceedings of the International Conference , (1996), 644-649 . [22]

- San-Payo, M. M., Teixeira, J. L., Ragab, R., El Quosy, D. E. D., Den Broek, B. V. and Pereira, L. S.** “Use of a GIS and a water balance model to estimate irrigation requirements”. In proceedings of workshop at the 16th ICID congress, Cairo, Egypt. ICID, New Delgi, India, (1996), 199-208. [23]
- Carreira, D. N., Teixeira, J. L. and Hamdy, A.** “Integrating an irrigation model and GIS.” Water resources and irrigation water management, (1997), vol III : 255-267 [24]
- Carvalho, D. F., Bonomo, R., Griebeler, N. P., Ribeiro, A. and Carvalho, D. F.** “Estimate of maximum irrigation demand and cycle length for a maize crop (*Zea mays* L.), in the Rio Verde Grande watershed (MG)” *Ciencia.a.e.Agrotecnologia*, (1998), 97-104 [25]
- Sousa, V., Pereira, L. S., Manas, FM. de., Olalla, S. and Fabeiro, C.** “Regional analysis of irrigation water requirements using Kriging”. *Agricultural-Water-Management*. Vol.40 (1999), 221-233 [26]
- Weatherhead, E. K. and Knox, J. W.** “Predicting and mapping the future demand for irrigation water England and Wales” *Agricultural-Water-Management*. Vol.43 (1999), 203-218. [27]
- Shih, S. F.** “NOAA polar-orbiting satellite HRPT data and GIS in vegetation index estimation for the Everglades Agricultural Area”. In proceedings –Soil and –Crop-Science-Society-of-Florida , vol.53 (1994), 19-24. [28]
- Al Wagdany, A. S.** “Building a hydrological database for geographic information systems.” King Abdulaziz University Research Projects , (1998), 104. [29]
- العرفج، ف.م.** "تصميم قاعدة معلومات جغرافية لتقدير احتياجات مياه الري". رسالة ماجستير، قسم الهندسة الزراعية، جامعة الملك سعود، الرياض، (1423هـ)، 115. [30]



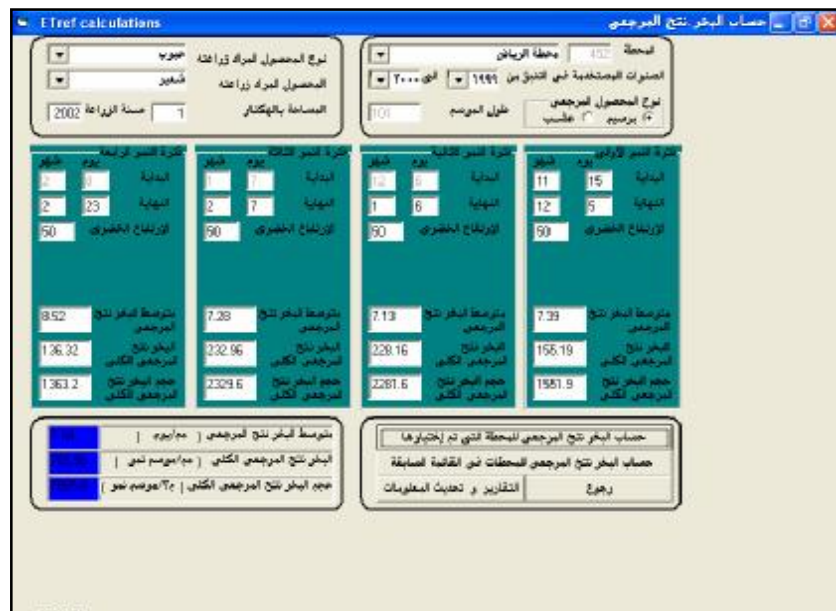
شكل رقم (1). نموذج توضيحي لطريقة حساب معامل المحصول



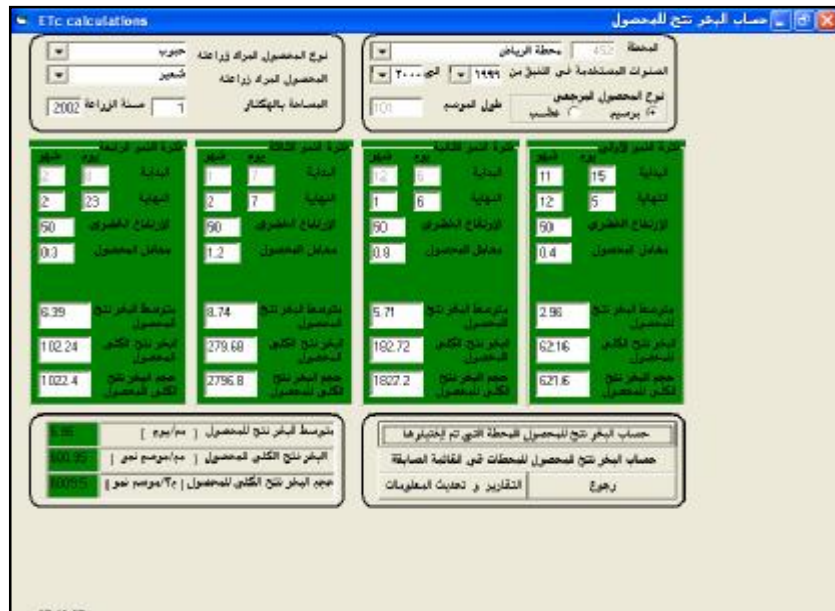
شكل رقم (2). شاشة الخريطة الرقمية الرئيسة للمملكة.



شكل رقم (3). شاشة البحث الرئيسية وبدء إجراء الحسابات المطلوبة.



شكل رقم (4). شاشة حساب معدل البخر-نتج المرجعي.



شكل رقم (5). شاشة حساب معدل البخر-تبخار للمحصول.



شكل رقم (6). شاشة حساب الاحتياجات المائية الكلية.

